АБДУҲАМИД НАРЗИЕВ

Китоб ба чопи 80-солагии
муаллиф бахшида шудааст

СПЕКТРОМЕТРИЯ ВА АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ

(ҲИФЗ АЗ АЛФА-, БЕТА-, ГАММА – НУРҲО ВА НЕЙТРОНҲО)

Китоби дарсӣ барои донишҷӯёни
Муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ
Вазорати маориф ва илми
Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия кардааст

Душанбе
«Авесто ЛТД»
2022

УДК: 520.626.05(г.Душанбе)
Н-28

ББК
УДК 539.16+538.16
Н-

Мукарризон:

Содиқов Тағоймурод *– доктори илмҳои физика ва математика, профессор, узви вобастаи АМИТ, ИИТ ДМТ;*

Абдуллоев Ҳасан Муминҷонович *– доктори илмҳои физика ва математика, профессор, ДМТ;*

Маҷидов Ҳамид *– Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои техникӣ, профессор, ДТТ;*

Нуров Пирмаҳмад *– физикдон, доктори илмҳои филологӣ, мудири шуъбаи илмию ташкилии Раёсати АМИТ;*

Низомов Зиёвуддин *– номзади илмҳои физика ва математика, дотсент, ФД "МИСиС";*

Исломов Зафар Зулфонович *– номзади илмҳои физика ва математика, дотсент, ДМТ;*

Насриддинов Абубакр *- номзади илмҳои химия; Аминов Шамсулло номзади илмҳои техникӣ;*

Авезов Зубайдулло *– номзади илмҳои техникӣ, дотсентони кафедраи физикаи ДТТ ба номи М.С. Осимӣ.*

Абдуҳамид Нарзиев.

Спектрометрия ва амнияти радиатсионӣ. – Душанбе: «Авесто ЛТД», 2022. - 664 с.

Китоб дар асоси лексияҳои хондаи муаллиф барои донишҷуёни Донишгоҳи миллии Тоҷикистон таълиф шудааст ва ба барномаи таълимии мактабҳои олӣ мувофиқат менамояд. Дар китоб усулҳои бакайдгирӣ ва чен кардани спектри нурҳои ядроӣ ва усулҳои таъмини бехатарии амнияти радиатсионӣ оварда шудааст.

Китоби мазкур ба донишҷуёни ихтисосҳои физика, экология, химия, фарматсевтӣ, геология, инчунин ба шахсоне, ки бо радиатсия сару кор доранд пешниҳод шудааст. Инчунин ин китоб ба муаллимони мактабҳои миёна ва онҳое, ки дар ин соҳа тадқиқот мебаранд мефид хоҳад буд.

ISBN 978-99985-900-1-4

7750/6
КИТОБХОНАИ ИЛМИИ
ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ
ТОҶИКИСТОН
ШУЪБАИ ПУРРАГАРДОНӢ

© Абдуҳамид Нарзиев, 2022.

МУНДАРИҶА

Пешгуфтор 8
Мукаддима 13

БОБИ I. АЛФА - СПЕКТРОМЕТРҲО

1.1. Маълумоти умумӣ дар бораи алфа – заррaҳо 17
1.2. Муайян кардани энергияи алфа -зарра аз дарозии дав 18
1.3. Гузариши зарра аз мода 21
1.4. Гузариши заррaҳои заряднокӣ сабук ва вазнин аз мода 25
1.5. Чен кардани энергияи алфа-заррaҳо бо ёрии камераи ионизатсионӣ. Қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ва нимноқилӣ 27
1.6. Алфа - спектрометрҳои магнитӣ 31
1.7. Камераи ионизатсионии турӣ барои чен кардани энергияи алфа – заррaҳо 38
1.8. Алфа – қайдгиракҳои мутаносибӣ 45

БОБИ II. ТАЪСИРИ МУТАҚОБИЛАИ БЕТА – ЗАРРАҲО ВА ЧЕНКУНИИ ОНҲО

2.1. Таъсири мутақобилаи бета -заррaҳо дар мода 49
2.2. Чен кардани энергияи бета-заррaҳо бо бета-камераи ионизатсионӣ 57
2.3. Чен кардани фаъолияти манбаҳои бета – заррaҳо 61
2.4. Бета – афканишот 68
2.5. Чен кардани тавсифҳои бета – афканишот 71
2.6. Графики Фермӣ. Энергияи сарҳадӣ ва бета - спектри парсиалӣ 75
2.7. Муайян кардани зариби конверсияи дохилӣ 80
2.8. Омӯзиши реҷаи коҳиш 84
2.9. Бета -ҳисобгиракҳои мутаносибӣ 91
2.10. Таносубҳои асосӣ дар бета – спектртроскопия 100
2.11. Спектрометри магнитӣ бо конундиҳии нимдонра 104

БОБИ III. ҲАМТАЪСИРОТИ ЗАРРАҲО БО УНСУРҲОИ СИНТИЛЛАТОРҲО

3.1. Навъҳои сарфи энергияи заррaҳо 115
3.2. Гузариши гамма – афканишот аз мода 117
3.3. Элементҳои асосии спектрометри синталлатсионӣ ва тавсифи онҳо 124
3.4. Фурубурди энергияи афканишот дар синтиллаторҳо 126
3.5. Афканишоти рӯшноӣ аз синтиллатор. Вакти рӯшноафканӣ 131

3.6. Гузариши рӯшной аз синтиллатор ба фотокатоди фотофузунсоз (ФФС) 133
3.7. Раванди пайдоиши электронҳо. Самаранокии фотокатод..... 136
3.8. Раванди фузуншавии электронҳо. Башаклдарории импулс дар аноди ФФС..... 138
3.9. Синтиллаторҳо. Навъ ва хусусияти онҳо..... 142
3.10. Вобастагии вақти рӯшноиафканнии синтиллаторҳо аз табиати афканишоти бакайдгирифташуда..... 157
3.11. Навъи тавсифи фотофузунсозҳо (ФФС) 160
3.12. Тағзияи ФФС. Интихоби тартиби муносибтарин 165
3.13.Рӯшноибар 169

БОБИ IV. ГАММА – СПЕКТРОМЕТРҲОИ СИНТИЛЛАСИОНӢ

4.1. Гамма – спектрометрҳои синтиллатсионии яккристалли ченакаш хурд 177
4.2. Гамма - спектрометри синтиллатсионии комптонии ду кристалл 193
4.3. Гамма - спектрометри сивтиллатсионии ҷуфт..... 212
4.4. Гамма - спектрометри ду: исталл бо идоракунии амплитудаи суммавӣ 228
4.5. Спектрометрҳои гамма-аф: знишот. Чен кардани энергияи пурраи гамма-квантҳо..... 236
4.6. Рамзхонии натиҷаҳои ченшудаи гамма - спектрҳои хаттӣ 245
4.7. Коркарди натиҷаҳои ченкунии гамма - спектри яклухт..... 254
4.8. Ченкунии гамма - спектрҳои манбаҳои фосилавии афканишот..... 259
4.9. Ченкунии спектрҳои гамма - афканишот бо иштироки дигар афканишотҳо..... 264
4.10. Таъсири шаффофияти коллиматор ба самаранокии спектрометр... 268

БОБИ V. ҲАМТАЪСИРОТ. СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ

5.1. Спектрометри нейтронҳои сареъ бо як синтиллатори ҳидрогендор..... 274
5.2. Маҳдудкунии гамма – фон дар спектрометри яккристалл..... 283
5.3. Коркарди натиҷаҳои ченшудаи спектри нейтронҳо спектрометри синтиллатсионӣ 299
5.4. Дарачабандии спектрометри нейтронҳои сареъ бо як кристалл 306
5.5. Речаи асосии спектрометри нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ..... 310
5.6. Самаранокии спектрометрӣ нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ 313

5.7. Тафрикаи энергиявии спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ..... 322
5.8. Интихоби кунҷи пароканиши муносибтарин аз масофаи парвоз 325
5.9. Спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ бо синтиллатори борухидрогендор 330
5.10. Тавсифи спектрометри нейтронҳои сареъ бо синтиллатори борухидрогендор..... 333
5.11. Спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ бо кристалли Li (Eu) 342

БОБИ VI. ОМӮХТАНИ СПЕКТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО УСУЛИ ЯДРОИ КАФОРАФТА

6.1. Маънои физикии усул 350
6.2.Усули ченкунии дифференсиалӣ..... 351
6.3. Усули ченкунии интегралӣ 355
6.4. Истифодабарии реаксияи ядроӣ барои спектрометри нейтронҳо..... 362
6.4.1. Речаи умумии усул 362
6.4.2. Интихоби модаҳои корӣ 363
6.5. Усули вақти парвоз..... 370
6.5.1. Моҳияти асосии усул 370
6.5.2. Тафрикаи энергиявии дастгоҳ..... 375
6.5.3. Интенсивияти ҳисоби нейтронҳо..... 377
6.5.4. Меъёр барои муқоисаи сифати дастгоҳе, ки бо усули вақти парвоз кор мекунад 379
6.6. Спектрометрҳои кристаллӣ..... 380
6.6.1. Инъикоси дифраксияи нейтронҳо аз кристалл..... 380
6.6.2. Полоишҳои поликристаллӣ..... 382
6.6.3. Монохроматори кристаллӣ..... 383
6.7. Усули истифодабарии спектрометри нейтронҳо бо вақти сустшавӣ дар сурб..... 389
6.7.1. Асоси физикии усул..... 389
6.7.2. Усули тафрикаи энергиявӣ..... 390
6.7.3. Спектрометр бо вақти дарангсозии нейтронҳо дар сурб 392

БОБИ VII. ВАЗИФАҲОИ АСОСИИ ДОЗАМЕТРӢ

7.1. Доимиҳои асосии физикӣ..... 394
7.2. Радиофаъолият ва навъҳои афканишот 395
7.3. Вазифаи асосии дозаметрӣ..... 399
7.4. Дозаи радиатсионӣ барои массаи бӯҳронӣ..... 399
7.5. Дозаметрҳои дармонгоҳӣ..... 401

7.6. Манбаҳои афканишоти радиофаъоли табиӣ 402
7.7. Манбаҳои афканишоти радиофаъоли рӯи замин 404

БОБИ VIII. ДОЗА, АЛОҚАМАНДИИ ФАЪОЛИЯТИ МАНБАИ РАДИАТСИОНӢ

8.1. Доза, тавоноии доза ва воҳидҳои он 407
8.2. Алоқаи фаъолияти манбаи нуктавӣ ва дозаи нурҳои ядроӣ 415
8.3. Дозаи фурӯбурди организмҳои зинда 420
8.4. Дозаи биологии гамма – афканишот 425
8.5. Алоқамандии воҳидҳои доза ва маънои физикии онҳо 425
8.6. Таъсири радиатсия ба инсон ва оқибатҳои хатарноки он 431
8.7. Қиматҳои махсуси дозаи нурбориш, ки инсон кабул мекунад 435

БОБИ IX. САВИЯҲОИ ҲУДУДИ ҶОИЗИИ ДОЗА

9.1. Савияҳои ҳудудии ҷоизи нурҳои ионӣ 438
9.2. Ҳудуди ҷоизи дозаи нурбориш 445
9.3. Ҳудуди ҷоизи таркиби 447
9.4. Ҳудуди ҷоизи ғаноиши ҳаво ва об 451

БОБИ X. ОЛУДАШАВӢ АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

10.1. Олудашавии муҳити зист аз модаҳои радиофаъол 453
10.2. Омилҳои олудашавии биосфера аз модаҳои радиофаъол 458
10.3. Олудашавии баҳрҳо 459
10.4. Олудашавии кабати атмосфера аз нуклидҳои радиофаъол 460
10.5. Олудашавии системаҳои обӣ 463
10.6. Олудашавии аз модаҳои радиофаъол ва ченкунии он 464

БОБИ XI. ОМИЛҲОИ БЕХАТАРӢ ВА ХАТАРНОКИ АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

11.1. Бехатарӣ ва ҳимояи радиатсионӣ 471
11.2. Меъёри амният ва ҳифзи радиатсионӣ 474
11.3. Омилҳое, ки ба дарачаи эҳтимолияти хафнокии кор бо модаҳои радиофаъол вобастаанд 476
11.4. Касалии нурӣ. Дозаи марговар 481
11.5. Тавсифи биологии афканишоти ядроӣ 483
11.6. Таъсири нейтронҳо бо бофтаҳо 490
11.7. Доза. Тавоноии доза. Спектри нейтронҳои сареъ 492
11.8. Дозае, ки бемор ҳангоми рентгенбинӣ қабул мекунад 495
11.9. Дастаи васеи гамма – нурҳо. Назардошти омили ғуншавӣ 497

11.10. Дастаи борики гамма – нурҳо 500
11.11. Миқдори элементҳои устувори таркиби организми инсон 505

БОБИ XII. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ АЗ МАНБАЪҲОИ РАДИОФАЪОЛ

12.1. Амнияти радиатсионӣ ва ҳифз аз зарраҳои заряднокии вазнин 512
12.2. Амнияти радиатсионӣ ва ҳифз аз бета – зарраҳо 514
12.3. Амнияти радиатсионӣ ва ҳифз аз гамма – нурҳо 520
12.4. Амнияти радиатсионӣ ва ҳифз аз афканишоти нейтронҳо 524
12.5. Амнияти радиатсионӣ ва ҳифз аз суръатфизоии зарраҳои заряднок 527
12.6. Амнияти радиатсионӣ ва ҳифз аз реакторҳои ядроӣ 531
12.7. Амнияти радиатсионӣ шахсӣ 538
12.8. Дастгоҳи махсуси амнияти радиатсионӣ аз нурҳои ядроӣ 541

БОБИ XIII. ДАСТГОҲ БАРОИ НИГОҲ ДОШТАНИ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

13.1. Гурӯҳи модаҳои радиофаъоли кушоди радиозаҳрнок 544
13.2. Синфбандии кор бо модаҳои радиофаъоли кушод 546
13.3. Мизи лабораторӣ ва дастгоҳ барои нигоҳ доштани модаҳои радиофаъол 549
13.4. Дастгоҳ барои нигоҳ доштани партовҳои радиофаъол. Тоза намудани олудашавии радиофаъол 550
13.5. Бартараф намудани партовҳои радиофаъол 555
13.6. Назорати дозасанҷӣ. Асбобҳои дозасанҷӣ 558

Ҳалли масъалаҳо 568

Иловаҳо 655

АДАБИЁТ 661

ПЕШГУФТОР

Солҳои охир бо усули синтиллатсионӣ чен кардани энергияи гамма- афканишот, алфа- заррахо, электронҳо ва нейтронҳои сареъро дар соҳаҳои гуногуни илм ва техника хеле васеъ истифода мебаранд. Васеъ пахншавии спектрометрҳои синтиллатсионӣ ва самаранокии кори онҳо ба осон будани коркарди натичаҳои чен шуда ва речаи электронии оддӣ вобаста аст.

Дар ин китоб муаллиф кӯшиш намудааст, ки масъалаҳои асосии усули синтиллатсионӣ, гамма – афканишоти, нейтронҳои сареъ ва дигар намуди афканишоти ионизатсияро пурра шарҳ диҳад. Китоб аз 13 боб иборат аст. Дар боби 1 асосҳои усулҳои синтиллатсионӣ ва параметрҳое, ки инҳоро тавсиф дода метавонанд ва сифати кори спектрометрҳои синтиллатсионӣ бо пурраги ва чузъҳои асосии онҳо омӯхта мешавад. Инчунин чен кардани энергияи алфа ва бета – заррахо бо камераҳои ионизатсионии турӣ, ҳисобгиракҳои мутаносибӣ, спектрометрҳои магнитӣ фахмонида шудааст.

Дар боби 3, 4 ва 5, 6 қоида ва тарзи кори намудҳои гуногуни гамма –спектрометрҳои синтиллатсионӣ ва нейтронҳои сареъ, усули ҳисобу китоби тавсифи онҳо, инчунин сохторашон баррасӣ шудааст. Барои ҳамаи намуди спектрометрҳо усули коркард ва тарзи шарҳ додани натичаҳои чешуда оварда шудааст. Аз сабаби он ки усули синтиллатсионӣ барои омӯхтани спектрҳои афканишотии аз мода гузаранда хеле ояндадор мебошад, дар ченкунӣ ва коркарди спектрҳои бефосила, инчунин масъалаи ченкунии спектрҳои манбаҳои фосилавӣ ва чен кардани спектрҳои конверсияи дохилии муҳитҳо муоина шудааст. Ғайр аз масъалаи чен кардани спектри гамма–афканишот дар иловагии фони нейтронҳо ва баръакс, спектри нейтронҳо бо иловагии гамма – фон низ баррасӣ карда мешавад. Бо мисолҳо истифодабарии спектрометрҳои синтиллатсионӣ намоиш дода мешавад; мисолҳои зиёде аз натичаҳои ченкунӣ реакторҳои ядрой инъикос шудааст.

Баъзе масъалаҳои усули синтиллатсионӣ, монанди ҳодисаи синтиллатсия, таъсири температура, майдони магнитӣ ва дигар масъалаҳо низ васеъ фахмонида шудааст.

Натичаҳои коркард аксар вакт барои ҳисобу китоби масъалаҳои амнияти ҳифзи радиатсионӣ аз таъсири афканишот алфа-, бета-, гамма ва нейтронҳо муфид мебошанд.

Китоби спектрометрҳо ва амнияти радиатсионӣ муҳити зист ва инсон ба масоили таъсири афканишот ба ҳуҷайраҳои зинда, бофтаҳои биологӣ, организми бадани инсон бахшида шудааст. Дар ин ҷо омилҳое, ки ба эҳтимолияти дараҷаи хавфнокии кор бо модаҳои радиофаъол вобастаанд, миқдори энергияи дар воҳиди массаи мода фурӯрафта ва воҳидҳои он, усулҳои муайянкунии он ва ҳимоя аз таъсири афканишот оварда шудаанд.

Амнияти радиатсионӣ қисми таъминоти бехатари умумӣ буда, таъсири нурафканишотро ба инсон ва муҳити зист меомӯзад. Таърихи амнияти радиатсионӣ моҳиятан аз охири асри XIX, вақте, ки нурафканишоти зуҳуркунанда ба пӯсти одам, нурафканишоти рентгенӣ (аз тарафи В. Рентген, соли 1895) ва нурафканишоти радиофаъол (аз тарафи А. Беккерел, соли 1896) кашф карда шудаанд, шурӯъ мешавад. Минбаъд, иттилоот оид ба таъсири нурафканишот ба организми зинда ба таври фаровон ҷамъоварӣ карда шудааст.

Муайян намудани дозаи афканишоти радиатсионӣ дар маводи гуногуни муҳит ва асосан дар бофтаҳои организмҳои зинда бо мақсади ошкор намудани баҳодиҳӣ ва огоҳ намудан аз пайдоиши хатари радиатсионӣ барои инсон мебошад. Ба таври дигар вазифаи асосии дозаметрӣ таъмини бехатарии радиатсионӣ ҳангоми гузаронидани кор дар шароити ионизатсия ба ҳисоб меравад.

Амнияти радиатсионӣ ва дозаметрӣ ба чунин бузургиҳои физикӣ алоқаманд аст: эффекти чашмдошти радиатсионӣ, барқарор намудани алоқаи байни бузургии физикавии чешавандаи эффекти чашмдошти радиатсионӣ, ки хусусияти асосии бузургии дозаметрӣ аст.

Физикаи ядроии амалӣ ва технологияи ядроӣ дар истеҳсолот истифодабарии манбаҳои афканишоти ионизатсияро ба таври васеъ дар соҳаҳои гуногуни илм ва техника ба роҳ мондааст. Амнияти радиатсионии афканишоти ионӣ қисми мустақили физикаи амалии ядроӣ мебошад. Усулҳои амнияти радиатсионӣ ва ҳимоя аз афканишоти ионӣ дар ҳама соҳаҳо татбиқшаванда мебошанд. Аз ҷумла, дар энергетикаи ядроӣ ҳангоми ба лоиҳагирии истифодабарӣ ва аз

нав кор намудани дастгоҳҳои энергетикии ядрой васеъ кор фармуда мешаванд.

Барои одамоне, ки бо манбаҳои нурӣ, ионҳо фаъолият менамоянд ҳудуди ҷоизии савияи афканишот муқаррар карда шудааст. Бузургии ҳудуди ҷоизӣ аз савияи умумие, ки нурҳои кайҳонӣ, афканишоти атмосфера, сатҳи замин ва модаҳои радиатсионӣ дар организми инсон ба вуҷуд меоранд, зиёд аст. Алфа, бета, гамма – радиатсия ва нейтронҳо ба организми зинда таъсир карда тағйироти гуногунро ба вуҷуд меоваранд. Масалан, нейтронҳои ҳароратӣ дар бофтаҳои биологӣ аз берун дар натичаи диффузия шудан ё сустшавии нейтронҳои сареъ дар бофтаҳо пайдо мешаванд. Онҳоро ядрои элементҳо, ки дар таркиби бофтаи биологӣ мавҷуд аст, метавонад дошта гирад. Дар натиҷа ядрои навъи (n, p) (n, Ү, саҳ.94) мегузарад. Протонҳо ва гамма – квантҳои ҳосилшуда дар ин бофтаҳо фурӯрафта, дозаеро пайдо мекунанд, ки дар организм тағйироти куллиро ба амал меоранд.

Омилҳои асосие, ки дараҷаи хафнокиро ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъол ба амал меоранд, аз таъсири биологӣ, кимиёвӣ ва физикии онҳо вобастаанд. Ҳар касе, ки дар соҳаи физикаи ядро кор мекунад, масъалаи хатару хафнокии диданашавандаи нурҳои ядроиро, ки реакторҳо, суръатфизоҳо хориҷ мекунанд, бояд донад.Одамон созандагон ва коргардоне, ки дар корхонаҳо бо модаҳои кимиёвию радиофаъол сару кор доранд ва бо нейтронҳо (реаксияҳои ядрой) кори тадқиқотӣ мебаранд, бо сабабҳои гуногун ба масъалаи хавфнокии радиатсия дучор мешаванд. Аз ин рӯ лоиҳаи таъмини амнияти радиатсионӣ аз ин ҳодисаҳо пешакӣ ҳисоб ва бехатарии инҳоро бояд таъмин карда шавад.

Чи тавре, ки қайд кардем, гузариши радиатсия ва таъсири нурборонкунӣ ба вайрон шудани организм оварда мерасонад ва ин гуна таъсирот ба ҳуҷайраҳои зиндаи организм зарари биологӣ меорад. Маънои гузариш ва таъсири зараровари радиатсия ба организми зинда дар он аст, ки гамма – нурҳо ва нейтронҳо молекулаҳои ҳуҷайраҳои зиндаро ионизатсия мекунанд. Ионизатсия фаъолияти ҳаётии муътадили ҳуҷайраҳоро вайрон карда, дар дозаи калон онҳоро нобуд месозад. Ҳуҷайраҳо қобилияти кории худро гум мекунанд ва одам ба касалиҳои нурӣ дучор мешавад.

Дозае, ки ба одам харобӣ меоварад, аниқ муайян кардан душвор аст, зеро ҳодисаи нургирӣ хеле кам ва айнан барои тасдиқи ин ҳодисаҳо натиҷаҳои лозимии оморӣ миқдоран каманд. Ғайр аз ин оқибати нургирӣ нишонаҳои худро баъди якчанд сол ошкор мекунад. Яке аз масъалаҳои асосии таъмини амнияти радиатсионӣ аз таъсири зарраҳои заряднокии паст-нин (алфа-зарраҳо ва протонҳо), бета – зарраҳо, гамма – нурҳо, афканишоти нейтронҳо ва ғайра - ин таъмини либосу лавозимоти ҳимоявӣ мебошад.

Модаҳои радиофаъол вобаста ба хатарнокӣ ва таъсирашон ба гурӯҳҳо, категорияҳо ва синфҳо ҷудо мешаванд. Кормандони касбӣ, ки ба ҷойгиршавӣ ва тақсимшавии модаҳо кор мекунанд, бояд дараҷаи хатарнокии онро донista, ҳимояи худро таъмин намоянд.

Модаҳои заҳрноки радиофаъол вобаста аз категория, гурӯҳҳо ва синфҳо дар хоначаҳои алоҳида, ки бо ҷевонҳои махсуси ҳавокаш таъминанд, бо иҷозатномаи санитарии эпидомологӣ ҷойгир карда мешаванд.

Дар китоб манбаҳои табиӣ ва сунъии радиатсионӣ ба таври пурра ва мукаммал оварда шудаанд. Қайд карда шудааст, ки дар кадом ҳолатҳо таъсири радиатсия фонда ва зарари экологиро ба муҳити зист ва инсон оварда метавонад. Хатари экологии онро ошкор намуда, пешбиниҳои махсуси санитарию эпидомологиро бояд таъмин кард.

Яке аз манбаҳои пурқувваттарини афканишоти радиатсионӣ коркарди реакторҳои ядрой, суръатфизоҳо ва садамаи стансияҳои электрикии атомӣ (СЭА) мебошад. Аз сабаби вайрон намудани қоидаҳои кории бехатарӣ ин дастгоҳҳои номбаршуда метавонанд ба таркиш дучор оянд, ки ҳаёти ҳазорон нафарро зери хатар мегузоранд.

Ғайр аз ин, беаҳамиятӣ метавонад ба ифлосшавии муҳити атроф (ҳаво, об, хок ва ғайра) оварда расонад, ки дар навбати худ тоза намудан ва пеши роҳи онро гирифтан хеле мушкил аст. Аз нуқтаи назари экологӣ энергетикаи ядрои хеле фоидаовар аст, агар инсон муносибати боаклона ва дониши баланди соҳавиашро хуб ба роҳ монад.

Китоби спектрометрӣ ва амнияти радиатсионӣ дар асоси курси мухтасари лексияҳо, корҳои амалӣ илмӣ ва лабораторӣ аз афкани-

шоти ядрой, ки аз тарафи муаллиф барои донишҷуёни факултаҳои физика ва тахассуси экологии факултаи биологияи ДМТ дар давоми 45 сол хонда шудааст, таҳия гардидааст. Дар китоби асосҳои спектрометри синтиллатсионӣ, амнияти радиатсионӣ, афканишоти ядрой, усулҳои таҷрибавии тадқиқи ҳимоя ва интихоби маводи ҳифзкунанда, маълумотҳо оид ба таъсири афканиши радиатсия ба мода ва ҳуҷайраҳои зинда, бофтаҳои биологӣ, муҳити зист ва чораҳои бехатарӣ ҳангоми кор бо маводи радиофаъол интишор ёфтааст. Масъалаҳои дар боло зикршуда дар якчанд номгӯи китобҳо бо забони рӯсӣ зикр шудааст, вале онҳо ё ташхиси тахассусӣ ё оммавӣ доранд ва бинобар ин чун дастури таълимӣ истифода шуда наметавонанд. Алалхусус, чунин китобҳои таълимии тахассусӣ бо забони тоҷикӣ оид ба масъалаҳои амнияти радиатсионӣ ва спектрометрӣ, ҳифзи радиатсионӣ вуҷуд надорад. Курси лексияҳо ва инчунин баъзе мавзӯъҳои алоҳидаи ба масъалаи амнияти радиатсионӣ ва спектрометрҳо, амнияти он бахшидашуда на танҳо барои аҳли муассисаҳои таҳсилоти олӣ, балки барои ташкилотҳои илмӣ – тадқиқотӣ ва корхонаҳои саноатӣ, ки дар он ҷойҳо корҳои амалӣ бо модаҳои радиофаъол ва афканишоти дигари ионизатсиякунанда бурда мешаванд, хеле муфиду фоидаовар аст.

Хонандаи мӯҳтарам! Китоб нахустин бор бо забони тоҷикӣ нашр мешавад, ки албатта аз камбудиҳои ошкоршуда ба суроғаи зерин хоҳиш менамоем, ки аз камбудиҳои ошкоршуда ба суроғаи зерин мурочиат намоянд: шаҳри Душанбе, хиёбони Борбад, бинои 82, ҳуҷраи 64. Қаблан муаллиф миннатдории худро ба Шумо изҳор менамояд.

Ба чопи китоб дотсенти кафедраи оптика ва спектроскопия Файзиева Малоҳат кумак расонид, ки муаллиф миннатдории худро баён мекунад.

Муаллиф

МУҚАДДИМА

Дар китоб алфа, бета, гамма ва спектрометри нейтронҳо, амнияти радиатсионӣ бо баъзе масъалаҳои иловагӣ оварда шудааст, яъне соҳаи васеъи радиофаъолият ва ҳодисаҳои ба онҳо вобаста дар паҳнои энергияи хурд омӯхта мешавад.

Чи тавре, ки маълум аст баъди кашфи ҳодисаи радиофаъолият ва пайдо намудани маводи ғаногардонидашудаи радиофаъол маълум карда шуд, ки нурҳои ядрой дорои энергияи хеле калон буда, ба организми инсон зарари калон меоранд. Таъсири ҳалокатоваре, ки афканишоти дар организм фурӯрафта ба вуҷуд меоварад, аз натиҷаҳои тадқиқотҳои таҷрибавӣ маълум шудааст. Масъалаҳои амнияти радиатсионӣ бехатарӣ ва муқаррар намудани меъёрҳои ҷоизи ҳудуди радиатсионӣ дар якчанд конфронсҳои илмии байналхалқӣ муҳокима ва баррасӣ карда шудааст. Ин меъёр бехатарӣ ва саломатии инсонро таъмин мекунад, агар интенсивияти нурҳои ядрои истифодашаванда аз дозаи ҷоизӣ нисбатан хурд бошад. Шахсоне, ки ҳангоми кор бо таъсири нурҳои ядрой гирифтор шудаанд, бояд аз курси дозасанҷӣ гузаранд ва дар ин бобат дониши кофӣ дошта бошанд. Махсусан, хатари калони ба афканишот вобастадошта пас аз коркарду корбасти бомбаи атомӣ фаҳмо ва равшан гардид. Аксарияти коргарон дар аввал аз бехатарӣ ва чораҳои эҳтиётӣ аз таъсири нурҳои ядрой тамоман бехабар буданд. Барои муҳофизати коргарон гурӯҳҳои махсус ташкил шуда буданд, ки онро “Физикони санитарӣ” ё “Коргарони бехатарии радиологӣ” меноманд. Ин гурӯҳҳо гарави салоҳият ва муҳофизату саломатии коргарон буданд. Ҳатто дар шароити ҳарбӣ, ки миқдори зиёди ашёи радиофаъол истифода мешуд, дар натиҷаи вайрон намудани қоидаҳои бехатарӣ аз ҷониби коргарони бохтисос чандин ҳолатҳои вазнин ҳам ҷой дошт.

Муқаррар шуда буд, ки ҳангоми риоя намудани чораҳои эҳтиётӣ корҳои зиёдро бо миқдори дилхоҳи зиёди радиофаъол гузаронидан мумкин аст. Дараҷаи таъсири радиатсионии изотопҳои дар организми инсон мавҷуда аз дозаи нурӣ, ки дар бофтаҳо фурӯ меравад, нургирии бофтаҳо, организмҳои гуногун, интихоб намудан ва ҷамъшавии изотопҳо дар организми инсон муайян карда мешаванд. Ин раванд ба босуръат ба организм бо ёрии маҳсулоти

хӯрока, монанди об, ҳаво, бо роҳи нафас ба меъдаву рӯда дохил шудани модаҳои радиофаъол ва ба дараҷаи азхудкунӣ, нигоҳдошташавии изотопҳои дар организм вобаста мебошад.

Бинобар ин, масъалаи таъмини бехатарии радиатсионии инсон ҳангоми истифодарии модаҳои радиофаъол дар маркази диққат меистад, зеро нури ионҳосилкунандаи аз берун ба организми инсон таъсиркунанда ё ба дохили организм бо роҳи нафас, об, хӯрока гузаранда хавфи калон дорад. Аз ин нуқтаи назар барои таъмини бехатарии коркунони касбӣ, ки бо нурҳои ядроӣ сару кор доранд, чорабиниҳои пешбинӣ карда шудааст: либосҳои махсус – сарпӯшак, хилъати сафед, пойафзоли резинӣ, хонаҷаҳои махсус, ки дар он модаҳои радиофаъол нигоҳ дошта мешаванд ва ғайраҳо. Инсон модаҳои радиофаъолро аз ғайрирадиофаъол бо воситаи узвҳои ҳиссиёт, ба монанди бӯй, шунавой, лаззат фарқ намекунад. Афканишот дида-нашаванда буда, бӯй ва овоз надорад, ҳангоми паҳншавӣ ҳиссиёту лаззат пайдо намекунад.

Бинобар он, модаҳои радиофаъолро аз ғайрирадиофаъол танҳо бо ёрии асбобҳои махсус фарқ намудан мумкин аст.

Дар айни замон дар бисёр соҳаҳои фаъолияти инсон, хоҷагии халқ, илму техника ва тиб модаҳои радиофаъол ва нурҳои иониватсионӣ торафт васеъ истифода мешаванд. Доираи шахсоне, ки бо нурҳои ионизатсионӣ кор мекунанд, рӯз то рӯз меафзояд. Дар чунин шароит масъалаи ҳифз аз нурҳои ионизатсионӣ аҳамияти хеле муҳим пайдо мекунад. Тӯли чанд даҳсола радиологҳо ва физикҳо ба масъалаҳои амнияти радиатсионӣ ва ҳимоя аз нурҳои радиофаъол машғуланд. Вобаста ба инкишофи физикаи атом ва ядро масъалаҳои амнияти радиатсионӣ ва ҳифз, ки дар аввал маҳдуд буданд, ба соҳаи басо васеъи тадқиқотӣ бо бисёр самтҳои илму техника алоқаманд табдил ёфтанд.

Вазифаи асосии амнияти радиатсионии нурҳои ионҳосилкунанда муайян намудани энергияе мебошад, ки нури фурӯрафта дар воҳиди массаи мода додааст. Маҳз аз ҳамин мавқеъ аст, воҳиди махсуси дозаи фурӯрафта рад, грей мебошад, ки ададан ба 100 эрг/гр баробар аст. (1 грей воҳиди дозаи фурӯрафтаи нурҳои ионҳосилкунанда, дар системаи СИ, 1 грей=100рад=1Ҷ/кг). Воҳиди

дозаи нурбориш бошад, рентген аст, ки дар оянда маънидод хоҳем кард. Ҳифзи инсон аз таъсири зарароварии нурҳои ионҳосилкунанда, аз сели афканишот, нурбориши берунӣ ва аз модаҳои радиофаъол ба дохили организм (нурбориши дарунӣ) вобаста мебошад. Дар ин мавриди ҳифз аз маҷмӯи чорабиниҳои зерин таъмин карда мешавад:

а) муқаррар намудани дараҷаи ҳудуди ҷоизи дозаи нурборишии берунӣ ва дохилӣ;

б) ба тариқи ворид намудани воситаҳои иловагӣ, ҳифзи фардӣ ва мувофиқи меъёр таъмин намудани вақти корӣ, ба вуҷуд овардани чунин шароити кор, ки дар он шахси бо нурҳои ионҳосилкунанда коркунанда аз ҳудуди дозаи ҷоизи зиёд нурборон нашавад;

в) гузаронидани назорати дозасанҷӣ, яъне назорати риояи шароити муайяншудаи корӣ;

г) ташкил намудани муоинаи тиббӣ.

Дар вақти кор бо нурҳои ионҳосилкунанда муқаррар намудани дозаи ҷоизӣ зарур аст. Ҳангоми баҳо додани таъсироти нурҳои ионҳосилкунанда ва дозаи нургирӣ ба организм, ин таъсиротро ба чунин гурӯҳҳо ҷудо намудан мумкин аст: дозаи ҷоизи яккарата, дозаи хатарнок ва дозаи марговар. Ин мафҳумҳо чунин шарҳ дода мешаванд:

Дозаи ҷоизи яккарата – дозаи калони имконпазири нургирӣ мебошад, ки дар зери таъсири он тағйироти дар организм бавуҷудоянда баргаштпазир аст.

Дозаи хатарнок – ҳамон дозаи нургирӣ аст, ки тағйироти дар организм баамаломада қисман бебозгашт мебошад.

Дозаи марговар – дозаи нургириест, ки дар зери таъсири он организм 100% ба марг дучор мешавад.

Дозаи ҳудудии сели бета-зарраҳо дар 6 соати корӣ ба 20 $(\frac{\text{бетта-зарра}}{\text{см}^2\cdot\text{сония}})$ баробар аст. Барои навъҳои дигари нурҳо (алфа – зарра, гамма – квант) онҳо киматҳои боз ҳам хурдтар дорад. Ғаноиши ҷоизи модаҳои радиофаъол, хусусан дар об ва ҳаво бояд ба ҳудуди ҷоизӣ баробар ё аз он кам бошад.

Инкишоф додани техникаи ҳифз, дар айни замон аҳамияти муҳим пайдо мекунад, зеро рӯз то рӯз доираи кор бо истифодаи

энергияи атомӣ бо мақсадҳои осоишта васеъ мешаванд ва доираи шахсоне, ки бо нурҳои ионизатсия низ кор мекунанд, афзун мегардад. Комёбиҳои хоҷагии қишлоқ, саноат, тиб, тараққиёти илму техника ва дигар соҳаҳои хоҷагии халқ ва умуман ҳаёти инсон бе истифодаи энергияи атомӣ ғайриимкон мебошад.

Ба авҷ тараққӣ кардани нерӯгоҳҳои атомӣ, дастгоҳҳои пуркудрати физикаи ядрой, суръатфизоҳои заррақои заряднок, реакторҳо, яке аз сабабҳои пайдоиши манбаҳои тавонои нурҳои ионҳосилкунанда гардид. Аз ин нуқтаи назар, ҳар як донишҷӯ ё коргар, ки бо модаҳои радиофаъол ва дар шароити таъсири нури ионҳосилкунанда кор мекунад, барои муайян намудани доза, тавоноии доза ва ислоҳоти он бояд хусусияти нурҳои ядроиро нағз донад ва фаҳмиши кофӣ дошта бошад, то ки ба қоидаҳои бехатарии радиатсионӣ дуруст баҳо дода тавонанд.

Тасаввуроти дуруст доштан ба таъсири биологии нури ионҳосилкунанда, қоидаи бехдошти шахсӣ, қоидаи кор бо модаҳои радиофаъоли кушода ва пӯшида, ба ҳама саволҳои махсус, ки дар истеҳсолот, дар ҳаёти ҳаррӯза, дар тадқиқотҳои илмии инсон дучор мешавад, масъалаҳои муҳим мебошанд.

БОБИ 1.
АЛФА – СПЕКТРОМЕТРҲО

1.1. МАЪЛУМОТИ УМУМӢ ДАР БОРАИ АЛФА–ЗАРРАҲО

Алфа–заррақои заряднок аз бисёр табдилёбии ядроҳо пайдо мешаванд. Тақсимшавии алфа-заррақо нисбат ба энергия дискретӣ рӯй медиҳад. Ядроҳои массаи атомиашон калон метавонанд ба алфа – коҳиш табдил ёбанд, ки спектри онҳо хаттӣ мебошад. Ченкунии энергияи алфа–зарра имконият медиҳад, ки нуқсҳои ядрои атом, ҳолатҳои савияҳои энергиявии ангезиш ва дигар тавсифҳои ядроро муайян кунем. Монанди ин мумкин аст ҳангоми омӯхтани спектри алфа–заррақои аз реаксияҳои (n, a)ˉ, (a, a^1) ва ғайраҳо, ин тавсифҳо пайдо мешаванд. Талабот барои аниқ муайян кардани энергияи алфа-заррақо вобаста аз масъалаи гузошташуда гуногун аст, ки вобаста ба он якчанд масъалаҳоро дида мебароем.

Агар тафриқаи энергиявии асбоб $\eta \approx 0.1$ Гр/E'_p бошад (Гр – паҳнои савияи ангезиши ҳолати ядро, E_p^i – энергияи протон баъди пароканиши ғайричандирӣ), онгоҳ Гр-ро чен кардан мумкин аст, ки он вақти зистро дар ин ҳолати ангезиш муайян мекунанд. Агар дар таҷриба танҳо ҳолати савияҳоро муайян кардан бошем, тафриқаи энергиявии спектрометр бояд нисбати масофаи нисбӣ байни ҳолатҳои ангезонидашудаи ядрои тадқиқотӣ на он қадар бад бошад. Бо вуҷуди ин, азбаски ҳангоми гузаронидани тадқиқотҳо фон мавҷуд аст, онгоҳ дар беҳтарин тафриқаи энергиявӣ мумкин аст бо саҳеҳии калон гурӯҳи алфа – заррақои моноэнергиявиро, ки интенсивнокиашон хурд аст, чен кунем. Агар барои чен кардани паҳнои савияи ҳолати ангезиши ядро дар энергияи тартиби якчанд мегаэлектронволт соҳаи тафриқаи энергиявӣ тартиби 10^{-3}-10^{-4}% дошта бошем, онгоҳ барои муайян кардани ҳолати мувофиқ ба савия тафриқаи энергиявӣ 10^{-1}-10^{-2}% ба қадри кифоя аст (дар тафриқаи энергиявӣ η% ҳолати максимумро бо аниқии 0.1η% барқарор кардан мумкин аст).

КИТОБХОНАИ ИЛМИИ ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН
ШУЪБАИ ПУРСАГАРДОНӢ

Ҳангоми аз шакли спектрҳо чен кардани ҳарорати ядро, ки аз ягон реаксия алфа–зарра хориҷ мешавад, бояд талабот ба тафрикаи энергиявӣ асбоб хеле муътадил бошад. Барои гузаронидани чунин навъи тадқиқотҳо спектрометри тафрикаи энергиявиаш якчанд фоиз лозим намеояд; дар бисёр ҳолатҳо спектрометрҳо бо тафрикаи энергиявӣ наздик ба 10% коршоям мебошанд. Дар спектрометрҳои амалӣ (бо мақсади дозасанҷӣ, амният ва ғайра) спектрометр бо тафрикаи энергиявӣ тахминан 10% зарур аст.

Энергияи алфа–зарраҳоро ба воситаи асбобҳои давӣ чен карда муайян мекунанд, махсусан ҳангоми ягон тавсифи дарозии дави алфа – зарра, ба монанди дарозии дав, зичии хос, шумораи δ-электронҳо ба равиши дав ва ғайра. Ин ченкуниҳо барои бисёр масъалаи аниқ ҳангоми гузаронидани ченкуниҳои нисбӣ бартарии зиёдеро доранд. Энергияи алфа- зарраҳоро аз рӯи ионизатсияи интегралӣ ё ин ки таъсири синтиллатсионӣ бо ёрии ионизатсияи газҳо ё ин ки қайдгиракҳои нимноқилӣ ё ин ки бо ёрии қайдгиракҳои синтиллатсионӣ муайян кардан мумкин аст. Дар охир, ин яке аз усулҳои мутлақан саҳеҳ аст, ки энергияи алфа – зарраро ҳангоми таҳлил намудани хатти сайр дар майдони магнитӣ муайян мекунад. Азбаски усулҳои асосии ченкунии энергияи алфа – зарра бо таъсири ионизатсия ва синтиллатсионӣ пештар фаҳмонида шуда буд, дар ин боб ба таҳлили таркиби спектралии алфа-зарраҳо бо усули майдони магнитӣ диққати асосӣ дода мешавад.

1.2. МУАЙЯН КАРДАНИ ЭНЕРГИЯИ АЛФА–ЗАРРА АЗ ДАРОЗИИ ДАВ

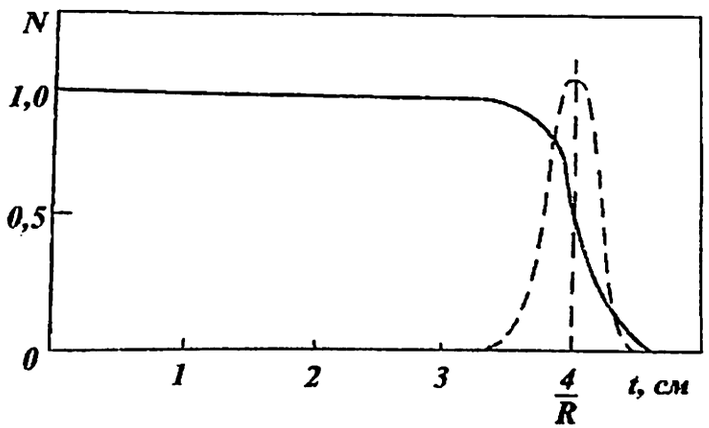
Дави алфа-зарраҳо функсияи энергия мебошад. Байни энергия ва дав алоқамандӣ мавҷуд аст. Аниқ муайян кардани энергияи алфа–зарра аз дави он дар муҳит ба мутаносубии маълуми байни дав ва энергия вобаста аст. Парешшавӣ дар бузургии дав аз флуктуатсияи сарфи энергия алоқаманд буда, ба рақами атоми хурд дар ҳудуди аз 0.5 то 2% мехобад. Ҳангоми хеле аниқтар ченкунии қимати миёнаи дав хатогӣ дар муайянкунии энергия мумкин нисбат ба флуктуатсияи давҳо якчанд мартиба кам шавад. Албата, бо аниқии зарурӣ алоқаи байни алфа–зарра ва дав маълум аст. Барои

зарраҳои заряднокӣ сабук флуктуатсияи дав хеле зиёдтар аст, бинобар ин энергияи онҳоро аз рӯи дав бо хатогии калон муайян кардан мумкин аст.

Энергияи зарраҳои заряднокро аз дав айнан нисбат ба давҳои зарраҳои энергияшон маълум меёбанд. Қимати мутлақи энергияи зарраҳои заряднокро аз рӯи дав бо аниқии на он қадар калон барқарор кардан мумкин аст. Ин ба он алоқаманд аст, ки дар ҳисоби дав потенсиали миёнаи ионизатсия ва сарфи энергияи зарраҳо дар соҳаи энергияи хурдро донистан зарур аст. Бузургии охирин аз ҳисобкуниҳои хеле аниқ ҳосил мешавад.

Дави зарраҳои заряднок бо асбобҳои давченкунанда чен карда мешавад. Дар ин ҳолат хатогӣ дар чен кардани қимати дав на танҳо аз флуктуатсияи сарфи энергия, инчунин аз баъзе хатогиҳои ба худ хос вобаста аст (ҳангоми расмгирӣ давро вайрон мекунад, ҳаракати газ ва моеъ дар камера ҳангоми зоҳир гардонидани тағйирёбии шаклу андозаи эмулсияи ядроӣ ва ғайра).

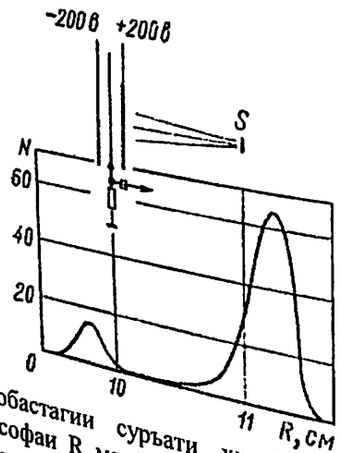
Қимати дави зарраҳои заряднокӣ энергияшон хурдро бо аниқии дастрас, бо истифодаи усули гузариш (интиқол) чен мекунанд. Дастаи паралели зарраҳои заряднокро ба ягон қайдгирак равон мекунанд ва суръати ҳисоби ин қайдгиракро вобаста аз ғафсии модаи фурӯбаранда, ки дар роҳи даста ҷойгир аст, чен мекунанд.



Расми 1.2.1. Вобастагии адади зарраҳо N, ки аз қабати модаи фурӯбарандаи ғафсиаш *t* мегузаранд, хатчаҳо баъди диференсияронидан аз ин вобастагӣ ҳосилшуда

Ин гуна вобастагӣ, ки дар расми 1.2.1. нишон дода шудааст, имконият медиҳад баъди дифференсиронидан дави зарраҳои зарядноккро ҳосил кунем.

Усули дифференсиронии ченкунии дав низ мавҷуд аст. Ин усул асосан қулай аст, ҳангоми аз ҳамдигар ҷудо кардан ду ё ин ки гурӯҳи зиёди алфа-заррaҳо, ё ҳангоми алфа–заррaҳои интенсивнокиашон хурдро дар фони дигар энергияҳои калон ҷудо кардан. Дар ин мавриd аз камераҳои дифференсиалӣ истифода мебаранд, ки он аз ду камера иборат буда, электродҳои марказиашон умумӣ аст. Девори пеши камера нисбати манба (расми 1.2.2.) ва электроди умумии камера аз варақаи хеле тунуки ғафсиаш тахминан 1 мг/см^2 тайёр карда шудааст. Масофаи байни электродҳои камера тартиби 1-2 мм аст. Агар шиддат ба камера чунин дода шавад, ки дар расм нишон дода шудааст, ва импулсҳо аз электродҳои марказӣ дорои қимати калонтарин бошанд, дар ин мавриd дави алфа–зарра дар электроди марказӣ тамом шавад. Агар зарра аз ҳарду камера гузарад, онгоҳ амплитудаи импулсҳо хеле хурдтар мешавад. Бо роҳи маҳдудкунии амплитудаи импулсҳо, мумкин чунин импулсҳоро интихоб кунем, ки алфа–зарра ба вучуд оварда бошад ва дави он дар камераи якум тамом мешавад.



Расми 1.2.2. Вобастагии суръати ҳисоби импулсҳои камераи дифференсиалӣ аз масофаи R манба то камера: дар қисми болои расм речаи пайваст кардани камераҳо ва ҷойгиршавии манбаи алфа-заррaҳо нишон дода шудааст

Ченкунӣ бо ин асбобҳо ба қайдгирии адади импулсҳо ба флуктуатсияи масофаи камера то манба меоварад. Ҳамин гуна ченкунӣ барои ду гурӯҳи алфа–зарра дар расми 1.2.2. нишон дода шудааст.

Дида мешавад, ки бузургии васеъи тақсимшавӣ дар ниман баланд 0.4 см-ро ташкил мекунад, ки ба тафриқаи энергиявӣ тахминан 3% мувофиқ меояд. Усули ченкунии дави заррaҳои заряднок бо гузариш хеле оддӣ ва дастгоҳи мураккаби ченкуниро талаб намекунад. Ин усул имконият медиҳад, энергияи заррaро то хатогии 100 КэВ муайян кунем.

1.3. ГУЗАРИШИ ЗАРРА АЗ МОДА

Гузариши зарра аз мода ба сарфи энергия ва ҳимояи суръатфизо ва ғайра алоқаманд аст. Ба гузаришҳо вобастаанд:

– қобилияти гузариши зарра;

– қобилияти ионизатсияи зарра ва ничунин ҳамаи таъсироти мутақобил (ҳамтаъсирот)-и бо мода;

Раванди ин ҳодисаҳоро мувофиқан бо чунин бузургиҳо муайян мекунанд:

а) зичии мода, б) рақами атомӣ, в) энергияи бандиши электронҳо (потенсиали миёнаи ионизатсия) - мода.

Бояд қайд кард, ки дар ин ҷо на ҳамаи хосиятҳои зарра ва мода номбар шудаанд. Гузариши заррaҳоро аз мода алоҳида дида мебароем:

1) Заррaҳои ионизатсияи заряднокӣ вазнин; 2) электронҳо; 3) гамма –фотонҳо (заррaҳои сабуки нейтрал). Ҳамаи инҳо сифатан гуногунанд. Ба гурӯҳи заррaҳои вазнин он заррaҳое, дохил мешаванд, ки массаашон чандин маротиба аз массаи электронҳо калон аст. Ба монанди: протонҳо, алфа–заррaҳо ва ин чунин мезонҳои заряднок. Манбаи асосии сарфи энергия таъсири калонии электронҳо мебошад. Ин сарфи энергияро ионизатсионӣ меноманд. Заррaҳои вазнин парвоз карда, энергияшонро барои ионизатсияи атомҳо сарф мекунанд, аз роҳи худ кам майл мекунанд, барои он ки массаи зарра аз массаи электронҳо ниҳоят калон мебошад. Бинобар ин дар ин ҷо ду бузургӣ дохил мешавад, ки равандро тавсиф медиҳанд: сарф дар воҳиди роҳ, давиш. Дар баъзе фарзияҳо ин бузургиҳоро бе

ягон мушкилӣ ҳисоб кардан мумкин аст, агар ингуна фарзияҳоро истифода барем:

Якум, мо ҳолатҳои ғайриквантиеро мебинем, ки массаи зарра бисёр калон мебошад;

Дуюм, мо ҳисоб мекунем, ки суръати электронҳо дар муҳит дар муқоиса бо суръати зарра зиёд аст. Импулсеро, ки ба электрон дода мешавад, чунин ҳисоб мекунем:

$$\vec{p} = \int F dt, \vec{p} = \overrightarrow{p_{\parallel}} + \overrightarrow{p_{\perp}} \quad (1.3.1)$$

Дар ин ҳолат

$$p_{\parallel} = \int F_{\parallel} dt = 0, \quad (1.3.2)$$

Тибқи фарзияи дуюм, азбаски ҳангоми парвози зарра $p_{\parallel}$-ҳангоми ба пеш равон будан, $p_{\perp}$- ҳангоми ба қафо парвоз кардан аст. Импулси арзӣ ба як тараф равон аст, ки чунин ифода кардан мумкин аст:

$$p = p_{\perp} = \int \mathrm{F}_{\perp} dx \frac{dt}{dx} = \frac{1}{\vartheta} \int F_{\perp} dx;\ F_{\perp} = e\varepsilon_{\perp} \quad (1.3.3)$$

Азбаски суръати зарра ҳангоми парвоз кам тағйир меёбад, пас:

$$p_{\perp} = \frac{e}{\vartheta} \int \varepsilon_{\perp} dx \quad (1.3.4)$$

Теоремаи Гаусро истифода мебарем. Ба сифати сатҳ силиндре-ро, ки радиусаш баробари параметри нишона аст, интихоб карда, ҳосил мекунем:

$$\int \varepsilon_{\perp} d\sigma = 4\pi z e^2 \text{ азбаски } d\sigma = b d\varphi dx, \text{ он гоҳ}$$

$$\int \varepsilon_{\perp} d\sigma = b \int \varepsilon_{\perp} d\varphi dx = 2\pi b \int \varepsilon_{\perp} dx \quad (1.3.5),$$

$$\text{инак } \int \varepsilon_{\perp} dx = \frac{2ze^2}{b}$$

Инро ба формулаи (1.3.6) гузошта меёбем:

$$p = p_{\perp} = \frac{2ze^2 c}{\vartheta b} = |p| \quad (1.3.7)$$

Ин гоҳ энергияе, ки ба электрон дода мешавад, баробар аст:

$$\frac{p^2}{2m} = \frac{4z^2 e^4 c^2}{2m\vartheta^2 b^2} = \frac{2z^2 e^4 c^2}{m\vartheta^2 b^2} \quad (1.3.8)$$

Аз ин ҷо тағйирёбии энергияи зарра дар воҳиди роҳ баробар аст ба:

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = \int_{b_{min}}^{b_{max}} \frac{p^2}{2m} n 2\pi b db \quad (1.3.9)$$

Дар ин формула n-адади электронҳо дар воҳиди ҳаҷми мода мебошад. Ба ҷои $\frac{p^2}{2m}$ аз формулаи (1.3.8) қиматашро гузошта, интегронида ҳосил мекунем:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m\vartheta^2} ln\left(\frac{b_{max}}{b_{min}}\right) \frac{\text{эрг}}{\text{см}} \quad (1.3.10)$$

Агар яке аз ҳудудҳои интегралро беохир интихоб кунем, он гоҳ натиҷаи физикии бемаънои беохир ҳосил мешавад (зарра якбора боздошта мешавад). Сабаб: тахминан содда кардан нодуруст аст, агар масофа калон ва хеле хурд бошад.

Қимати имконпазири b_{max} ва b_{min}-ро меёбем.

1. Дар масофаи калон; энергияе, ки ба электрон дода мешавад, аз энергияи бандиши электрон дар атом хурд аст, агар $\frac{b_{max}}{\vartheta} \gg \frac{1}{\omega}$, бошад ($\omega$ – басомади хусусии лаппиши электрон), он гоҳ энергия сарф намешавад, барои он ки электронҳо метавонанд дар вақташ аз қафои зарра парвоз кунанд.

Ҳамин тариқ, барои b_{max} чунин таносубро ҳосил мекунем:

$b_{max} = \frac{\vartheta}{\omega}$ дар ҳолати релятивистӣ ин таносуб мегузарад ба:

$b_{max} = \frac{\vartheta}{\omega\sqrt{1-\beta^2}}$, дар ин ҷо $\beta = \frac{\vartheta}{c}$,

2. Ҳангоми параметри нишонаи электрон кам будан, агар он ором бошад, дар вақти дакка хӯрдан чи қадаре набошад энергияи калон дода мешавад. Бинобар ин, дар ин ҷо фарзияи дуюм вайрон мешавад, яъне электрон аллакай дар вақти бархӯрдан наҷунбида наметавонад. Мо бояд ба чунин қиммат маҳдуд шавем, ки электрон суръати 2ϑ -ро гирад, барои он, ки дар системаи ороми зарраҳо, электронҳо ба беохирӣ парида ба зарраҳои вазнин бармехӯранд, ҳамчун тӯбе, ки аз девор ҷаҳида мегузарад, пас суръати он ба 2ϑ тағйир меёбад, импулсе, ки ба электрон медиҳанд, баробар мешавад ба:

$$p = 2m\vartheta = \frac{2ze^2}{b\vartheta}$$ он гоҳ; $b'_{min} = \frac{ze^2}{m\vartheta^2}$; (1.3.11)

(ҳангоми хурд будан электронро бечунбиш хисобидан мумкин нест).

Боз як шарти дигаре, ки соҳаи истифодабарии масофаи нишоваро ҳангоми хурд будан маҳдуд мекунад, бо фарзияти якум алоқаманд аст.

Ҳангоми ба назар гирифтани нисбати номуайяниҳо инро танҳо бо чунин шарт истифода мебарем: »аз ин ҷо қимати дуюми ҳудуди b''_{min}-ро ҳосил мекунем:

$$b''_{min} = \frac{h}{p} = \lambda, \text{ дар ин ҷо } \lambda = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1.3.12)$$

Азбаски бузургии ҳақикии $b_{min} = max(b'_{min}; b''_{min})$ *аст, пас* дар ҳолати релятивӣ:

$$b''_{min} = \frac{h\sqrt{1-\beta^2}}{m\vartheta} \quad (1.3.13)$$

Қайд мекунем, ки дар ҳақиқат муайяниии тартиби бузургӣ аниқии калонро талаб намекунад, барои он, ки ин бузургиҳо дар формулаи сарфи энергия дар зери логарифм дохил мешавад, ва вобастагии логарифмӣ хеле камқувват мебошад. Акнун b'_{min} –ро бо b''_{min} муқоиса мекунем:

$$\frac{b'_{min}}{b''_{min}} = \frac{e^2}{hc} \cdot \frac{1}{\frac{\vartheta}{c}} \cdot z = \frac{1}{137} \cdot \frac{1}{\vartheta/c} \cdot z = \frac{u}{\vartheta} z. \quad (1.3.14)$$

Азбаски доимии таркибӣ баробари $\frac{1}{137} = \frac{e^2}{hc} = \frac{u}{c}$ аст (дар ин ҷо u – суръати электрон дар мадори якуми Бор, атоми гидроген, яъне $\vartheta \gg u$,) он гоҳ равшан аст, ки ислоҳоти квантӣ пештар таъсир мерасонад, нисбат ба эффекте, ки аз ҳисоби ҷойивазкунии электронҳо вобаста аст. Дар охир ҳосил мекунем:

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{m\vartheta^2} ln \frac{m\vartheta^2}{h\bar{\omega}\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (1.3.15)$$

Ин ҷо $\hbar\bar{\omega} = \mathcal{J} \cong 13{,}5z_{эВ}$ потенсиали миёнаи ионизатсия мебошад. Ин формула барои сарфи ионизатсияи зарраҳои заряднок ба мода – формулаи Бор номида мешавад. Ин формула аниқ дар зери

логарифм дар намуди дигар меистад, (барои заррахои вазнин ва сабуки гуногун).

Барои электронҳо бояд майлкунии онро ҳангоми пароканиш ба назар гирем, ки ин равандро эффекти ивазшавӣ меноманд.

Массаи заррахои вазнин, ки ба формулаи Бор дохил мешаванд, дар таносуби байни E ва ϑ номуайян мебошанд.

ϑ – ро бо E, m –ро бо М ва $ln\frac{mv^2}{\hbar\omega^2(1-\beta^2)}$-ро MA бо ва *и*фода намуда, ҳосил мекунем:

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{4\pi z^2 e^4 n}{E \cdot M} \cdot MA \quad (1.3.16)$$

Пас маълум мешавад, ки ионизатсияи хос ба массаи зарра мутаносиб аст:

$$A = ln\frac{mv^2}{\hbar\omega^2(1-\beta^2)}$$

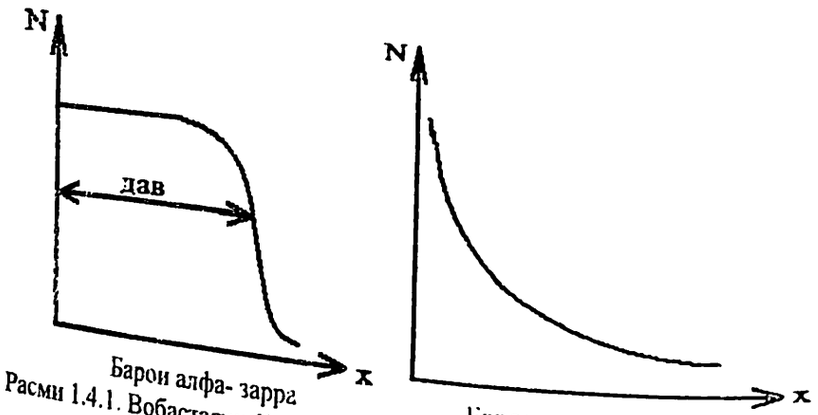
Ба ҳисоби миёна 33 КэВ энергия сарф кардани зарра нисбат ба заррахои вазнин як ҷуфт ионҳо ҳосил мекунад; чи қадаре, ки қобилияти ионизатсия (изи ғафс)-и он зиёд бошад, ҳамон қадар дави он кӯтоҳ аст. Барои дав ифодаи зеринро истифода мебарем.

$$dx = \frac{-m}{2\pi^2 z^2 e^4 nMA} EdE, R = \int_0^R dx = -x\int_{E_0}^0 EdE = \frac{ME_0^2}{4\pi z^2 e^4 MA}. \quad (1.3.17)$$

Ҳамин тавр, чи қадаре, ки ионизатсия зиёд бошад, ҳамон қадар суръат хурд мешавад (дар охир дав ғафс мешавад). Ҳангоми аниқ ҳисоб кардан $R{\sim}E_0^{3/2}$ мешавад. Барои энергияи хурд $R{\sim}\frac{1}{M}$ хатти кач дар таҷриба аниқ чен карда мешавад. Дави заррахои вазнин ниҳоят кам мебошад. Мисол, дави алфа -зарра бо энергияи 5 МэВ дар ҷисми инсон ба 45 микрон баробар аст.

1.4. ГУЗАРИШИ ЗАРРАҲОИ ЗАРЯДНОКИ САБУК ВА ВАЗНИН АЗ МОДА

Формулаи дав (R)-ро барои электронҳо низ истифода мебаранд, аммо дар ин ҳолат он дав не, балки роҳро медиҳад. Агар вобастагии адади алфа-заррахо ва электронҳоро (N) аз ғафсии мода (x) дида бароем, он чунин хатти качро медиҳад. (расми 1.4.1)



Расми 1.4.1. Вобастагии N –адади зарра аз X – гафсии модаи фурӯбурд

Дар ин вобастагиҳо N-адади зарраҳое мебошад, ки аз гафсии модаи фурӯбаранда мегузаранд. Роҳи ҳаман электронҳо якхела, аммо дав гуногун буда, ба ҳисоби миёна аз роҳ кам аст, барои он, ки роҳ монанди хатти шикаста мебошад.

Қайд кардан зарур аст, ки дар гамма- афканишот сарҳади бо-лоии дав мавҷуд буда, ба роҳ баробар аст.

Хулоса. Барои электронҳо дав аз роҳ фарқ дорад. Ҳангоми па-ро-каниши электронҳо бо ядро ислохоти квантӣ хурд аст. Аз фор-мулаи (1.4.1) мо мебинем, ки сарфи энергия ҳамчун функсия аз ϑ аст ва аз масса вобаста нест. Дав аз масса вобастаги зиёд дорад. Дар ҳолати ғайриреалитивӣ энергияшон баробар, вале дави зарраҳои вазнин хеле кӯтоҳ аст. Дар ҳолатҳои ултрарелативӣ $E \gg mc^2, \vartheta \to c$ $E_{кин} = \frac{Mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - Mc^2$ аз ин ҷо

$$\frac{1}{1-\beta^2} = \left(\frac{M^2c^4}{E_{кин}^2}\right)^{-1} \text{ ва } \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{ултрарелатив} = \frac{4\pi nz^2e^4}{mc^2}\left\{ln\frac{mc^2}{J} + 2ln\frac{E}{mc^2}\right\} \quad (1.4.1)$$

ин ҷо $J = \hbar\bar{\omega} = 13{,}5k$эВ

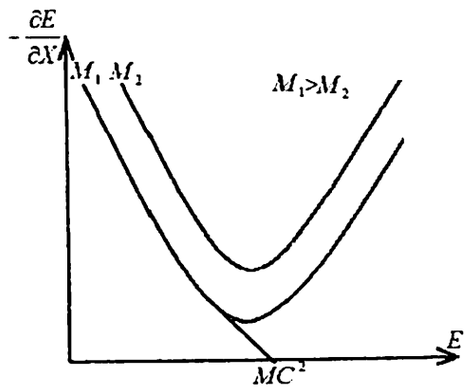
Массаи зарра дар зери логарифм мебошад. Бинобар ин, зарраҳои гуногун аз рӯйи массаашон камтаъсир мебошанд (дави мезони релативиро аз дави протони реалитивӣ фарқ кардан мушкил аст). Нисбати сарфи энергияи протон (ҳангоми $z = 1$) ва электрон,

энергияи онҳо E ба $10Mc^2$ баробар аст. Барои электрон зарбшавандан $\frac{M}{m}$ ҳамроҳ мешавад, он гоҳ:

$$\frac{\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_p}{\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_e} = \frac{ln\frac{mc^2}{J} + 2ln\frac{E}{mc^2}}{ln\frac{mc^2}{J} + 2ln\frac{E}{Mc^2} + 2ln\frac{M}{m}} \cong 0{,}5 \quad (1.4.2)$$

Мо дидем, ки ҳангоми фарқи массаҳо 200 маротиба будан, қобилияти ионизатсия ҳамагӣ ду маротиба тағйир меёбад.

Дар расми 1.4.2. вобастагии сарфи энергия аз энергияи зарра нишон дода шудааст. Дар формулаи 1.4.1 бузургии n адади электронҳо дар воҳиди ҳаҷм мефаҳмонад.



Расми 1.4.2. Вобастагии сарфи энергия аз энергияи зарра.

Маълум, ки n мутаносиб ба зичии мода ρ *мебошад*. Бинобар ин, ҳарду тарафи формулаи (1.4.1)-ро ба n тақсим карда, меёбем, ки $\left(-\frac{dE}{dx}\right)$ аз навъи мода вобаста нест. Ин дар таҷриба тасдиқ шудааст, дар мавриде, ки сарфи ионизатсия асосӣ бошад. Бузургии $x\rho$ чена-ки $г/см^2$-ро дорад.

1.5. ЧЕН КАРДАНИ ЭНЕРГИЯИ АЛФА –ЗАРРАҲО БО ЁРИИ КАМЕРАИ ИОНИЗАТСИОНӢ. ҚАЙДГИРАКҲОИ СИНСИЛЯТСИОНӢ ВА НИМНОҚИЛӢ

Камераҳои ионизатсионӣ, қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ва нимноқилӣ барои зарраҳои зарядноки моноэнергиявӣ функсияеро

медиҳад, ки ба намуди хати каҷӣ шаклаш ба тақсимшавии Гаус наздик мебошад. Самаранокии бақайдгирии зарраҳои заряднок, ки ба ҳаҷми ҳиссиёти қайдгирак меафтанд, баробари як аст.

Амплитудаи импулсҳо дар камераи ионизатсионӣ ва қайдгиракҳои нимноқилӣ аз энергияи зарраҳои заряднок хаттӣ алоқаманд аст, агар таъсири рекомбинатсия,сарфи энергияи зарраҳои заряднок ҳангоми гузоштан аз ҳаҷми ҳиссиёти қайдгирак нисбати дигар гуна монанд таъсиротҳо кам бошад. Дар қайдгиракҳои синтиллатсионӣ амплитудаи импулсҳо барои аксарияти кристаллҳо аз энергияи зарраҳои заряднок вазнин ғайрихаттӣ алоқаманд аст.

Баъзе бартариҳоро мухтасар қайд мекунем, ки ба ченкунии энергияи зарраҳои заряднок алоқамандӣ доранд, ченкуниҳо ба ситаи камераҳои ионизатсионӣ, қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ва нимноқилӣ гузаронида мешаванд.

Чен кардани энергияи зарраҳои заряднок вазнин

Усули ченкунии энергияи зарраҳои вазнини заряднок гуногун умумӣ мебошанд, бинобар ин ба сифати мисол ченкунии энергияи алфа – зарраро дида мебароем. Вобаста ба на он қадар калон будани дав барои омӯзиши спектри алфа-зарраҳо камераи ионизатсияро васеътар истифода мебаранд. Бо ёрии онҳо тафриқаи энергиявии хуб ~ 0.7% барои алфа – зарра бо энергияи 5 МэВ ионизатсия бо ҷамъшавии ионҳо асосан ба флуктуатсияи адади ионҳо ва ғалоғулаи тақвиятдиҳакҳо вобаста аст. Ҳангоми кори камера дар низоми ҷамъшавии электронҳо тафриқаи энергиявӣ боз аз таъсири индуксионӣ вобаста аст. Бинобар ин, чи тавре,ки дар боло гуфта шуда буд, тафриқаи энергиявие, ки бо камера ҷамъшавии ионҳо ҳосил мекунем, қаноатбахш аст.

Камераи ҷамъкунии ионҳо яке аз асбобҳои “сустарин” дар тафриқаи энергиявии калон имконият намедиҳад, ки зиёда аз як ё ду импулсро дар як сония ба қайд гирем. Вақти доимии RC камера бояд нисбати вақти дрейф (сайр)-и ионҳо дар камера якчанд маротиба калон бошад, ки дар камера бо ченаки тартиби якчанд сантиметрҳо 10^{-3} сонияро ташкил мекунад. Агар дар ин маврид, вақти доими RC наздиктар ба $5 \cdot 10^{-3}$ сония бошад, аммо вақти аф-

тиши импулсҳо то 0,01 сония аст, пас қиматаш 0,02 сонияро ташкил мекунад. Ҳамин тавр, ҳангоми қайдгирӣ бо қимати миёнаи 1 им/сония, эҳтимолияти болои ҳамомади онҳо дар фосилаи 0,02 сония тахминан 2%-ро ташкил мекунад.

Ҳангоми ҷамъ кардани системаи электронии камера маълум шуд, ки камера қобилияти бақайдгирии якчанд садҳо импулсҳоро дар 1 сония бо эҳтимолияти хурди болои ҳамгузорӣ дорад. Аммо дар ин гуна камераҳо бояд таъсири индуксионӣ бартараф карда шавад, ё ин ки бо ёрии гузоштани тур дар камераҳои ҳамвор, ё ин ки бо ёрии майдони электрикии ғайриякҷинса (камераи силиндрикӣ доправӣ) ба даст оварда шавад. Натиҷаҳои хубтарин аз нуқтаи назари тафриқаи энергиявӣ бо ёрии камераи ҳамвори турӣ гирифта шуд.

Нишон медиҳем чи гуна қувваи индуксионӣ ба тақсимшавии энергиявӣ таъсир мерасонад. Барои мисол камераи доправӣ, ки дар ҳаҷми он зарраҳои заряднок баробар пайдо мешаванд, ба пайдоиши ғалоғулаи якхелаи ионизатсияи нуқтавӣ меоварад. Бигузор $a=r_2/r_1$ (нисбати радиусҳои анод ба катоди камера ва $X=V/V_0$ мак (нисбати амплитудаи импулсҳои ченшуда ҳангоми ионизатсияи дар масофаи r аз маркази камера ба қимати калонтарини импулсҳо ҳангоми ионизатсия дар нуқтаи $r=r_2$) бошад, онгоҳ

$$E = r_1 r_2 U_0/[(r_2 - r_1)r^2]. \qquad (1.5.1.)$$

дар инҷо r_1 ва r_2 –радиуси дохилӣ ва берунии электродҳо буда, $X=a(r/r_1-1)/[(a-1)r/r_2]$. Тақсимшавии импулсҳо аз амплитуда F(x) бо тақсимшавӣ ионизатсия дар камера чунин алоқаманд аст: $F(x)dx = 2r^2dr/r^2$.

Алоқаманди байни x ва r–ро ба назар гирифта, тақсимшавии F(x)-ро меёбем:

$$F(x) = 3(a-1)/[(a-x)(a-1)]^2. \qquad (1.5.2.)$$

Васеъгии тақсимшавии F(x) дар нисфи баландии он имкон медиҳад таъсири индуксиониро ба тафриқаи энергиявӣ пурра ҳисоб кунем:

$$\Delta V/V = 1 - x^n = (\sqrt{2}-1)/(\alpha-1) \approx 0.2/(r_2/r_1 - 1), \quad (1.5.3)$$

Инчо x^n- ин чунин қимате, ки барои он $F(x^n) = F(x) = 1)/2$. Аз (1.5.3.) маълум мешавад, ки таъсири эффекти индуксионӣ дар тафриқаи энергиявӣ ҳангоми муқоиса кардан ба адади ҷуфти ионҳо ба назар нагирифтан мумкин аст, агар $r_2/r_1 \geq 30$ шавад.

Агар дар ҳамаи ҳаҷми камера алфа–зарра пайдо шавад, масалан, ҳангоми бақайд гирифтани протонҳои ақибрафта дар пароканишти чандирии нейтронҳо, он гоҳ дар байни онҳо ҳамавақт чунин давҳо ёфт мешаванд, ки дар деворҳои камера тамом мешаванд. Баҳо додани ҳиссаи алфа- зарраҳое, ки давашон дар камера ҷой намегирад, бигзор, ки дави онҳо R нисбати радиуси берунаи электроди камера хеле кам бошад ва $r_2/r_1 > 3$.

Нисбатан адади зарраҳое, ки давашон дар камера хоб намеравад, бо осонӣ баҳо додан мумкин аст (бо назардошти қитъаи ҳамвории сатҳи камераи доиравӣ чунин фарзият дуруст меояд, чи қадаре, ки дави зарра кам бошад, нисбати радиуси камера r_2). Агар дар воҳиди ҳаҷми камера бо тақсимшавии изотропи нисбати кунҷ $3/4\pi r_2^2$ зарра пайдо шавад, он гоҳ дар нуқтаи $r_2 - R < r < r_2$ зарраҳои пайдошуда дар ҳамвории камера мерасанд, агар кунҷи парвози онҳо 0 бошад, нисбати равиши радиалӣ аз $\arccos[(r_2 - r)/R]$ кам мешаванд. Ҳамин тавр, барои ҳосил кардани ҳиссаи зарра Δ, дави кадом зарра дар девори камера мехобад, бояд интеграли зеринро ҳисоб кунем:

$$\Delta \approx \frac{3}{16\pi^2 r_2^2} \int_{r_2-R}^{r_2} 4\pi r^2 dr \int_0^{\arccos[r_2-r/R]} 2\pi \sin\theta d\theta = \frac{3R(1-2R/3r_2)}{4r_2} \qquad (1.5.4)$$

Аз ин ифода маълум мешавад, ки ҳангоми $R/r_2 = 0.25$ бузургии $\Delta \approx 0.16$ аст, яъне 16% зарра импулсеро медиҳад, ки амплитудаи онҳо дорои қимати аз 0 то $V_{калонтар}$ соҳиб мешаванд. Ин тақсимшавӣ бефосила буда, функсияи тарафдории дастгоҳ ва тафриқаи энергиявиро ба мушкилӣ меоварад.

Ҳангоми омӯхтани спектри алфа-зарраҳо бо ёрии қайдгиракҳои нимноқилӣ ба натичаҳои хеле хуб соҳиб шудан мумкин аст. Бо қайдгиракҳои сатҳӣ-оддӣ (Au-Si) ба тафриқаи энергиявӣ барои энергияи алфа – зарраҳои 5 МэВ наздик ба 0.2%

соҳиб шудан мумкин аст. Дар ин маврид тафриқаи энергиявӣ аз ҳисоби ғалоғулаи гармии нимноқил маҳдуд мешавад. Ҳудуди поёнии энергияе, ки чен мекунем, аз ҳисоби ғалоғулаи ҳуди нимноқилҳо ва ғалоғулаи дастгоҳи ченкунанда маҳдуд мешавад. Ин ҳудуд наздик ба 15 кэВ аст. Ҳудуди болоии энергияе, ки чен мекунем аз ҳисоби чукурии кабати ҳиссиёт маҳдуд мешавад. Барои қайдгиракҳои сатҳӣ-оддӣ тафриқаи энергиявӣ наздики 40 МэВ –ро барои алфа–зарра ташкил мекунад. Ба воситаи қайдгиракҳои нимноқилии литийӣ қимати қалонтарини энергияи алфа-зарраҳо (то 200-300 МэВ) чен кардан мумкин аст.

Дар спектрометри алфа–зарраҳо, ки зичии ионизатсия хеле калон аст (ионҳои суст, ядропора) дар қайдгиракҳои нимноқилӣ чунин ҳодисаҳо, ба монандӣ бадшавии хусусияти спектрометрӣ мегузарад. Ин ҳодисаҳо алокаманд аст: якум бо эҳтимолияти калони рекомбинатсия, бинобар он ядропораҳо бо энергияҳои якхела ва массаашон гуногун импулсҳои амплитудаашон гуногунро ҳосил мекунанд. Таъсири рекомбинатсияро кам кардан мумкин аст, агар шиддати кунҷиширо зиёд кунем. Бо вуҷуди ин бо зиёд кардани шиддати кунҷиш метавонад дар қайдгиракҳо тақвияти дохилӣ пайдо шавад. Дуюм, барои зарраҳои заряднокӣ массаашон калон (алфа–зарра) таъсири пароканиш дар ядро назаррас мебошад, ки як қисми энергияи ҳастапора ба панҷараи кристаллии қайдгирак дода мешавад, илова бар ин, чи қадаре зиёд бошад, ҳамон қадар массаи ядропораҳо зиёданд. Равандҳои зикршуда ба бадшавии тафриқаи энергиявӣ, алокамандии ғайрихаттии байни амплитудаи импулсҳо бо энергияи ядропора ва пайдошавии "думи" хурди энергия дар тақсимшавии амплитудаи импулсҳо меоварад. Ҳаман инҳо заруратеро барои дарачабандии спектрометри нимноқилӣ, яъне омӯхтани функсияи онҳо вобаста аз масса ва энергияи алфа–зарраҳоро ба миён мегузорад.

1.6. АЛФА –СПЕКТРОМЕТРҲОИ МАГНИТӢ

Тарзи кори ин спектрометрҳо дар асоси тавсифи спектрометри магнитӣ имконият медиҳад, ки бартарии онҳоро нисбати дигар спектрометрҳо (синтиллатсионӣ, ионизатсионӣ, нимноқилӣ) нишон диҳем. Агар истифодабарии манбаҳои ченакашон калон зарур бо-

шад, яъне ҳангоми фаъолияти хос хурд будан, аз ҳама қулайтар истифодаи спектрометр бо конундиҳии ду равиша дар майдони кундаланги магнитӣ мебошад. Барои ҳосил кардани тафрикаи энергияи хуби наздик ба 1% дар қобилияти тасвирофарии асбоби оптикии калон бояд спектрометрҳоеро истифода барем, ки бо майдони тулии ғайриякчинса таъмин бошад, яъне спектрометр аз линзаҳои тунук ва ғафс иборат бошад.

Барои чен кардани спектрҳои алфа–зарра бо илова намудани коҳиши ядроҳои вазнин, спектрометри оддиро бо майдони магнитии кундаланг бо конундиҳии дуюмин истифода мебаранд. Ин дар асбобҳои алфа-спектрометрҳо ҳангоми гузаронидани тадқикотҳо бо қобилияти иҷозатдиҳии зиёд самаранoктар мебошад, барои он ки дар онҳо дар ҳар хел шароити мувофиқ манба бояд масоҳати начандон калон дошта бошад.

Манбаҳои алфа-зарраҳо бояд ғафсии ниҳоят хурд дошта бошанд, ҳосил кардани манбаи фаъолияташ калон танҳо аз ҳисоби зиёд кардани масоҳати он мебошад. Дар ҳақиқат агар даври нимкоҳиши ядроҳои вазнин наздикии 10^5 сол ва ченкунии энергия бо тафрикаи энергиявӣ 0.5% гузаронида шавад, он гоҳ ғафсии манба ба набояд аз 10 мкг/см^2 зиёд шавад ва бинобар он, дар 1 см^2 ин манба ба ҳисоби миёна $5\cdot10^3$ алфа – зарра дар як сония хориҷ мекунад. Ҳангоми қобилияти тасвирофарии спектрометр наздик ба 10^{-4} будан, дар фотолавҳа ба ҳисоби миёна 0.5 зарра/сония меафтад. Барои ҳосил кардани тасвир ва танвир кардани фотолавҳа даҳҳо соат талаб карда мешавад. Агар усули ба қайдгирии электрикӣ истифода шавад, онгоҳ барои тадқикоти фосилаи энергиявӣ ҳамагӣ дар 200 кэВ қариб 100 ченкунӣ талаб мекунад, ҳангоми сабти қимати шадидияти майдони магнитӣ. Вақти ҳар як ченкуниҳо тартиби 10-20 дақиқаро ташкил мекунад. Дар спектрометрҳои магнитӣ барои алфа–спектрометрҳо, аз рӯи қоида усули расмгирӣ ба қайд гирифтани зарраҳо истифода мебаранд, бинобар ин якбора алфа–зарраҳоро дар паҳноии энергияи ±100-250 кэВ чен кардан мумкин аст.

Барои алфа–зарра $Hg \approx 1.5\cdot10^5\sqrt{E}$, инҷо Е-энергияи алфа-зарра бо МэВ; H-бо эрстед·см. Ҳангоми истифодабарии магнитҳои калон, ки шадидияти майдони магнитӣ тартиби 10000 эр. ва радиуси 30-50 см дорад, дар амалия спектри ҳамаи алфа–афканишотҳои

манбаҳои табииро тадқиқот гузаронидан мумкин аст. Ин гуна магнитҳо хеле ҳам калон буда, массаи онҳо даҳҳо тоннаро ташкил мекунад. Спектрометрҳои беҳтарин имконият медиҳанд, ки спектри алфа–зарраро бо васеъгии хат ба ними баландӣ наздик ба 7 КэВ дар қобилияти тасвирофарии асбоби спектрометр тахминан $2\cdot10^{-4}$ бо хатогии 1-2 кэВ муайян кунем.

Спектрометрҳо бо майдони магнитии тулиро барои чен кардани энергияи алфа-зарраҳо истифода намебаранд, барои ин ки онҳо бояд, (дар ҳолати майдон якчинса будан) ниҳоят ченаки калон дошта бошанд. Барои алфа–зарраҳои энергияшон 5 МэВ дарозии соленоид, ҳангоми 5000 a·печак/см ба 400 см [нигаред ба (1.6.1.)] мерасад. Ададҳои овардашуда барои a=0.8 гирифта шудааст. Дарозии спектрометрро барои алфа–зарра хеле кам кардан мумкин аст, агар кунҷи а-ро ба $\pi/2$ наздик интихоб кунем, бо вуҷуди ин дар ин маврид тавсифи спектрометр бе фоида аст, барои он ки $\eta/L = 1/o\cdot\cos\alpha$.

$$L = \vartheta_2/T = 2\pi mc/(z_0\, eH), \qquad (1.6.1.)$$

дар инҷо ϑ_2 -ташкилкунандаи суръат ба тири z, ки ба $\vartheta\sin\alpha$ баробар аст; ϑ-суръати алфа–зарра; α-кунҷи байни равиши ҳаракати зарра аз манба ва тири z. Ҳамин тавр ҳамаи зарраҳои заряднокии энергияшон якхела дар зери кунҷи α ба тири z дар нуқта дар масофаи L дур ҷойгир шуда, аз манба хориҷ мешаванд, боз дар нуқтаи z ҷамъ мешаванд.

Дар ҷадвали 1.6.1. тафрикаи энергиявӣ ва қобилияти тасвирофарии спектрометрҳо барои усулҳои гуногуни спектрометрҳои зарраҳои заряднок нишод дода шудааст.

Ҷадвали 1.6.1.

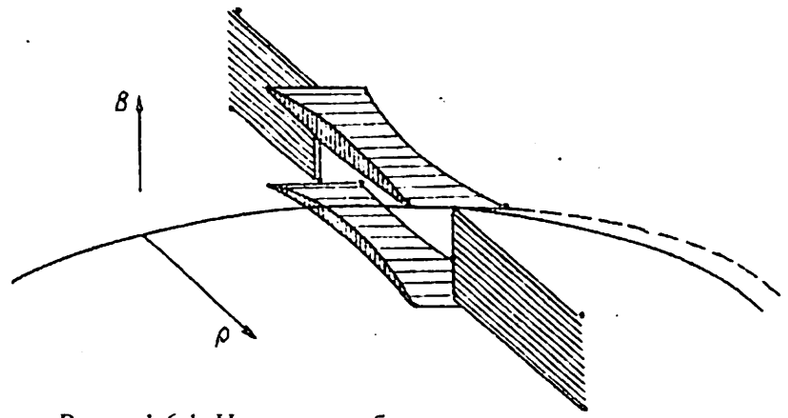
Тавсифи спектрометрҳои гуногуни зарраҳои заряднок

Спектрометрҳо	Зарраҳои заряднок	$\Delta E/E$, %	L
Камераҳои ионизатсионӣ	α	0.7	0.5-1
Спектрометрҳои синтиллатсионӣ	β (~1 МэВ) α (~1 МэВ)	5	0.5

Спектрометрҳои нимноқилӣ	α (~5 МэВ) β (~1 МэВ)	0.3 0.2	~0.5 ~0.5
Спектрометрҳои магнитӣ: а) майдони кундаланги ғайриякҷинсаи тулӣ б) майдони тулии якҷинса в) бо линзаи тунуки магнитӣ	α (~0.7 МэВ) β β	0.1 0.1 0.4 **2.5**	$2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-2}$

Аз байни алфа–спектрометрҳо дар замони ҳозира аз ҳама аниқтар спектрометрҳои магнитӣ мебошанд, ки ҳангоми ҳеле аниқ тайёр кардани манбаҳо хатҳоеро ҳосил кардан мумкин, ки васеъии хатти спектралиашон 2-4 кэВ аст. Новобаста аз он ки кунҷи телесии ҳурдро истифода мебаранд, ҳиссиёти спектрометрҳои магнитиро бо кам кардани фони қайдгирак монанди фотофузунсоз ҳеле зиёд кардан мумкин аст. Баъд аз тасвири дарозии дави зарраҳо дар фотоэмулсия бо диққат ба равиш ва дарозӣ интихоб кардан фон ҳеле паст мешавад. Дар таҳлили баръакси спектри бета–зарраҳо дар алфа–спектрометрҳо мушкилии аз ҳама калон интихоби $B\rho$ мебошад, ки майдони магнитӣ тахминан 10000 эрстедро ҳангоми $\rho = 50$ *см* будан ташкил мекунад. Аз ҳисоби баъзе хоричкуниҳо ду намуди спектрометрҳоро истифода мебаранд: спектрометр бо конундиҳии дуюмин - навъи $1/\sqrt{\rho}$. Ғайр аз ин, дар ҳолати охирон конундиҳии тартиби калон аз ҳисоби васеъгии апертураи баланд (равзанаи кории системаи оптикӣ, ки бо андозаҳои линзаҳо ё диафраммаҳо муайян карда мешавад, $\beta = \frac{1}{8}$), барои он ки апертураи баланд, тавоноии баландро талаб мекунад.

Аслан алфа–спектрометрҳо аз бета–спектрометрҳо ғайр аз ҷиҳати сохтор ва таркиб фарқе надоранд. Дар ҳолате, ки байни манба ва лавҳаи суратгирӣ линзаи ислоҳкунанда мегузоранд (расми 1.6.1.).



Расми 1.6.1. Ислоҳкунак ба намуди линзаҳои магнити слиндрӣ барои конундиҳии нимдоиравӣ

Дар ҳудуди муайян метавонем ҳамвории конуниро нигоҳ дорем (меҳварӣ конундиҳӣ нест). Баъдтар дар 0рсэ магнити доимӣ бо сатҳи қутбаш 1.6х1.0 м ва рахнаи байни қутбҳо 48мм, $\rho_{калонтар} = 50см$, $B = 8545$ *эрстед* бо конундиҳии оддӣ ва имконияти ченкунии мутлақи $B\rho$ бо аниқии ҳеле калон гузаронида шуд. Ҳамин тавр майдони магнитӣ бо равиши хати сайри зарраҳо бо усули резонанси протонҳо чен карда мешавад. Хатҳои стандартиро бо ин усул Ритс бо аниқии ҳеле калон муайян карда, дарёфт намуд, дар шакли спектр, яъне ба васеъгии хат ва ҷойгиршавии қуллаҳо ва инчунин аз натиҷаҳои ченкунии энергиявӣ нақши асосиро бо сифати баланд тайёр кардани манба мебозад. Аз тарафи дигар манбаҳои "бевазн" мета-вонанд ғеҷиши хатро ба як ё якчанд килоэлектронволт ба амал биёранд. Бинобар ин, энергияи хатҳо, ки якчанд муаллифон бо саҳеҳии калон чен карданд, ба бузургие фарқ мекунад, ки дар ҳудуди хатогии ченкуниҳо мехо-бад, агар мувофиқан таъсири сифати манбаро ба назар гирифта бошем.

Натиҷаҳои гирифтаи Ритс дар ҷадвали 1.6.2. оварда шудааст. Чи тавре дида мешавад, хатогӣ баробари 0.6-0.7 кэВ буда, ба қимати мутлақи энергия тахминан ба $10 \cdot 10^{-5}$ мувофиқ меояд.

Азаро ба таври танқидӣ ҳолати ҳозиразамонро дар соҳаи стандарти мутлақи энергиявӣ дар алфа–спектрометрӣ дида баромад. Равшан аст, ки бо назардошти стандартҳои нави энергиявии пештар қабулшуда бо сифати энергияи стандартӣ хатти RaC′ (7.6804

МэВ) бояд ба 6 кэВ зиёд шавад, ки қимати бузургии ин хат ($7 \cdot 10^{-5}$)-ро ташкил мекунад. Бо назари имконияти асосии сифати манба Азаро пешниҳод кард, ки ба ҷои манбаи P_0-210, ки пештар васеъ истифода мебурдем, ҳамчун манбаи стандартӣ Ra-224 (ThX бо τ=3.6 рӯз) қабул карда шавад. Ин манбаро аз Th -228 (бо τ=1.9 сол) бо усули маълуми ядрои ақибрафта тайёр кардан мумкин аст.

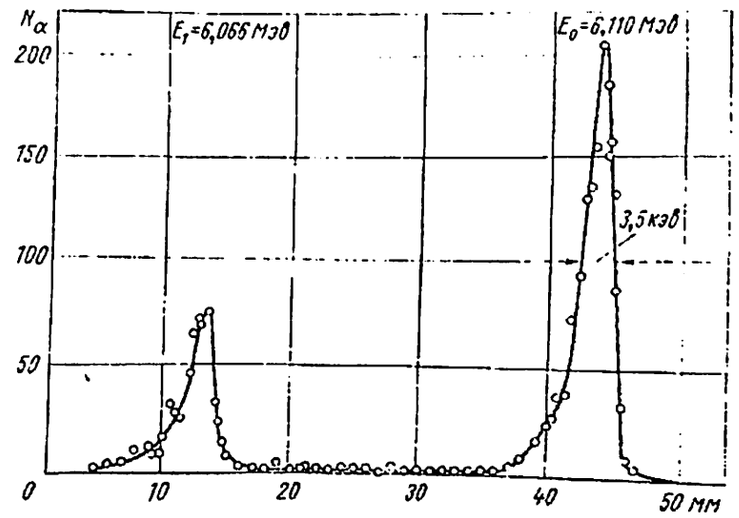
Дар давлатҳои пешрафта се намуди алфа–спектрометр истифода мешавад, ҳар яки он спектрометри конундиҳии дубора бо $\beta = \frac{1}{8}$ *мебошад*. Дастгоҳи П. Голдон ва дигарон дорои $\rho_0 = 50\,см, R = 7.5кэВ$ ва $T \approx 2 \cdot 10^{-4}$ (3.4π), вазни магнит тахминан баробарӣ 4.5 тонна аст.

Ҷадвали 1.6.2.

Хатҳои стандартӣ барои алфа – спектрометрӣ

Ядро	$\beta \cdot \rho$, кэ·см	$B'\rho$, мгс·см	E, МэВ
Po – 210	331,774	1412,561	5,30481±0,00062
Bi – 213	361,346	1508,605	6,05060±0,00066
α_0			
α_1	355,492	1513.546	6,08977±0,00066
Bi – 24			
α_0	370,720	1578.380	6,62219±0,00069
α_1	360,936	1536.720	6,27752±0,00068
Po – 214	399,442	1700.563	7,68695±0,00075
Po – 212	427,060±0.020	1818.254±0.085	8,78540±0,00080
Ro – 228			
α_4	345,29	1470.11	5,7455
α_5	344,36	1466.11	5,7143
α_6	341,06	1452.05	5,6063
α_7	339,96	1443.18	5,5371
Ra – 219			
α_0	376,16	1601.55	6,8176
α_1	368,72	1569.85	6,5509
α_2	365,12	1654.55	6,4239
Po – 215	391,49±0.028	1668.79±0.12	7,3841±0,00010

Баранов ва дигарон спектрометри худро коркард карданд, ки ба воситаи он параметри γ=3/16-ро ҳосил кардан мкумкин аст. Сабаб дар он аст, ки агар ҳамвории конунӣ талаб карда шавад, яъне барои ҳосил кардани конундиҳии хуб якбора дар фосилаи калони энергия (хеле хуб мешуд, ки ба ҷои қайдгирак лавҳаи расмгирӣ истифода бурда шавад), он гоҳ бояд зариби дигари якҷоякунӣ β=3/8, γ=-5/13 бошад, дар ин ҳолат конундиҳии тартиби калонро дар ҳамвории амудӣ ҳосил кардан мумкин аст. Азбаски бузургии β=3/8 барои алфа–спектрометр аз сабаби маҳдудияти рахнаи байни қутбҳо истифоданашаванда аст, пас бояд бузургии γ-ро мувофиқи β=1/8 баҳо диҳем. Чи тавре, ки Верстер ва дигарон нишон доданд, γ=1/16 конундиҳии тартиби сеюмро нисбати φ таъмин мекунад, танҳо барои зарраҳое, ки импулси додашудаашон P_0=(Bρ)бошад. А.Г. Зиновев ва дигарон нишон доданд, ки бузургии алтернативӣ γ=3/16 нисбати φ конундиҳии тартиби дуюмро таъмин мекунад, танҳо барои зарраҳои энергияшон гуногун. Нишеби ҳамвории конунӣ дар зери кунҷи 42° ба радиус-вектори фосилаи энергиявӣ барои якбор бо қайдгирии расмгирӣ 10%-ро ташкил мекунад.



Расми 1.6.2. Спектри алфа–афканишоти C_m – 242, ки бо спектросанҷи конундиҳии дубора гирифта шуда аст

Асбоби Баранов ва дигарон дорои радиуси калонии ρ=155см, дорои дисперсияи калон мебошад, тахминан $2{,}28\cdot10^{-4}$ E_0 дар 1мм, ки 2,2кэВ/мм-ро барои алфа–зарраи P_0 – 210 ташкил мекунад. Кунҷи телесӣ $8\cdot10^{-4}$ (аз 4π)-ро ташкил мекунад, тафриқа чи тавре, ки дар расми 1.6.2. барои алфа – спектри C_m – 242 (E=6,066 МэВ) нишон дода шуда аст, баробари 3,5 кэВ (Δ(Bρ)/Bρ=0,028%) мебошад.

Аз сабаби ченаки калон дошган дар ин асбоб намунаҳоеро истифода бурдан мумкин, ки дар таркибашон маводи фаъол ба миқдори 0.1 мг бошад.

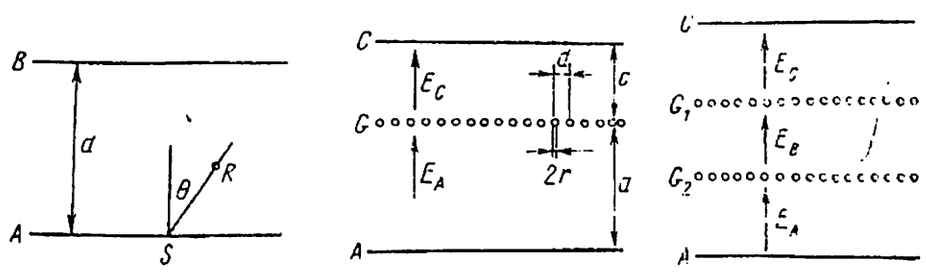
Спектрометри В.С. Ҷелепов ва дигарон дорои гузаронандагии максималии калон мебошад: 03% ҳангоми тафриқа 6 кэВ [(ΔBρ)/Bρ=0,05%] будан. Дар ин маврид ёфта шуд, ки васеъии хатҳои спектралӣ дар ҳамвории конунӣ, дар зери кунҷи 45° ба радиус – вектор ҳамшуда дар ҳудуди 300 кэВ доимӣ мемонад. Ҳиссиёти он чунин аст, ки вақти экспозитсияи 100 соатро ҳангоми фаъолият ҳамагӣ дар алфа – ҳам 10^{-5} мккюрӣ будан талаб мекунад.

1.7. КАМЕРАИ ИОНИЗАТСИОНИИ ТУРӢ БАРОИ ЧЕН КАРДАНИ ЭНЕРГИЯИ АЛФА–ЗАРРАҲО

Алфа спектрометрӣ бо якчанд усулҳо амалӣ карда мешавад: бо воситаи спектрометрҳои магнитӣ, қайдгиракҳои газӣ, спектрометрҳои синтиллатсионӣ, фотоэмулсияи ҳастаӣ, камераи Вилсон, усули ҷаббишӣ, қайдгиракҳои нимноқилӣ. Спектрометрҳои магнитиро дар вақте истифода мебаранд, ки тафриқаи энергиявии калонтарин лозим бошад. Дар ҳақиқат ба воситаи ин асбоб аниқ чен кардани энергия алфа–зарра гузаронида мешавад. Инчунин онро барои ченкунии миқдори зиёди алфа–афканишоти дар нишона мавҷудбуда истифода бурдан мумкин аст. Бо вуҷуди ин дар аксар мавридҳо ин масъала ба воситаи қайдгиракҳои газӣ, ки дар речаи камераи ионизатсионӣ ва инчунин қайдгиракҳои мутаносибӣ кор мекунанд хеле ба осони ҳали ҳудро меёбанд. Камераҳои ионизатсионӣ, ки дорои тафриқаи хеле калон (~1%) аст, барои бисёр масъалаҳо, аз ҷумла таҳлили корҳои гуногун васеъ истифода мебаранд. Аз ду усули ҳисоби импулсҳо дар камераи гази ионизатсионӣ хеле васеъ истифода мебаранд, ба-

рои он ки тафриқаашон хуб, парешшавӣ дар ҷамъшавӣ ё ин ки камбудидор риштаи симӣ вуҷуд надорад, чи тавре, ки дар қайдгиракҳои мутаносибӣ ҷой дорад. Аз тарафи дигар қайдгиракҳои мутаносибӣ ба баъзе бартариҳо соҳибанд, ки онро дида мебароем.

Таҳлили алфа- афканишот ба намуди газ ё ин ки таҳшони сахт дар сатҳи яке аз лавҳаҳо бо ёрии камераи оддӣ бо ҳамвориҳои паралели лавҳаҳо спектри тафриқаи хеле бадро медиҳад. Алфа–заррахое, ки дар зери кунҷи Θ аз нуқтаи S парвоз мекунанд, дида мебароем, чӣ тавре, ки дар расми 1.7.1.а нишон дода шудааст. Фарз кунем, ки маркази вазнинии тақсимшавии зарядҳои ҷуфти электрону ион аз нуқтаи S дар масофаи R ҷойгир аст. Бигзор заряди ҳамаи электронҳо Q ва ғунҷоиши камера ва тури лампаи якум C бошад. Он гоҳ импулси шиддат дар ҳолате пайдо мешавад, ки ҳамаи электронҳо дар лавҳаи B ҷамъшаванда ба Q/C баробар набуда, балки $\frac{Q}{c}=(1-\frac{Rcos\theta}{d})$ мутаносиб мешавад. Инҷо аъзои дуюм дар асоси нурафканиши маҷбурии ионҳои зарядашон мусбат, ки ниҳоят суст ҳаракат мекунанд, нисбати электронҳо ҳосил мешавад. Агар манба алфа–заррахои энергияшон якхеларо ба намуди изотропӣ дар зери кунҷи 2π (аниқтар 4π) хориҷ кунад, он гоҳ тақсимшавии амплитудаи импулсҳо хатти борикро ташкил накарда, гистограмман росткунҷаро ба вуҷуд меорад, ки нисбат ба бузургии E камшавиро дода, ба энергияи пурран алфа–зарра то E(1-R/d) мувофиқ меояд. Кам кардани парешониро аз энергия бо ёрдами коллиматсияи алфа-зарраҳо амалӣ мекунанд.



а *б* *в*

Расми 1.7.1. Речаи ҳамвории параллели камераи ионизатсионӣ (*а*), камераи турӣ ионизатсионӣ (*б*) ва камера бо ду тур (*в*).

Усули дигаре, ки Фриш пешниҳод кард, аз он иборат аст, ки байни манба ва лавҳаи коллектори С (нигаред ба расми 1.7.1. б) тури G ҷойгир мекунанд, ки коллекторро аз таъсири ионҳои мусбат ҳимоя мекунад.

Назарияи камераи ионизатсиониро якумин маротиба Бунеман коркард намуд. Пас аз он Крэншоу ва Харвей коркард ва усули онро тафтиш карданд. Ду меъёри муқобили ҳам вуҷуд дорад. Якум аз он иборат аст, ки экранбаст бояд, ки ба қадри кифоя хуб бошад. Бунеман ва ғайраҳо муайян мекунанд,ки тури "самаранокнабуда"-ро G ҳамчун $G = dE_C/dE_A$, инҷо dE_A – ҳосил мешавад, аз ҳисоби ионҳои мусбат ба вуҷуд меорад (нигаред ба расми 1.7.1. б). Онҳо нишон медиҳанд, ки G тахминан аз ифодаи $(d/2\pi c)\, lg\, (d/2\pi r)$ дода мешавад, ки маънои он дар ифодаи истифодашуда аз расми 6.7.1. б. фаҳмо аст. Барои он ки G -ро баҳо диҳем, бояд d/c кам бошад.

Усули дигар, ки бояд r баробари d шавад, имкон надорад, барои он ки мумкин аст тур қисми зиёдтарини электронҳоро қаппад. Меъёри дуюмро асосан ба эътибор мегиранд, ки қаппиш кам ва нишон медиҳад, ки вай баробари сифр бо шарти

дар инҷо: $$\frac{E_c}{E_A} \geq \frac{1+\rho}{1-\rho},$$

яъне: $$\rho = \frac{2\pi r}{d},$$

$\frac{V_c - V_G}{V_G - V_A} \geq \frac{c(1+\rho)}{a(1-\rho)}$, ё ин ки аниқтар: $\frac{V_c - V_G}{V_G - V_A} \geq \frac{c(1+\rho)+2l\rho}{a(1-\rho)-2l\rho}$,

дар инҷо:

$$l = \frac{d}{2\pi}\left(\frac{\rho^2}{4} - lg\rho\right);$$

ду ҳодиса – қаппиши электронҳои энергияшон хурд аз тарафи тур ва тури "самаранокнабуда" – ба ҳар ҳолати дилхоҳ ин ду ҳодисаро баробар кардан лозим меояд.

ТАФРИҚА. Тафриқаи камераи ионизатсиониро аз рӯи майлкунии стандарти Б ё ин ки нисбати васеъгии қулла ба нисфи баландии он муайян кардан мумкин аст, ки аксар вақт "нимвасеъгӣ" меноманд. Усули охиронро хеле васеъ истифода мебаранд. Дар ин ҷо,

мо майлкунии стандартиро истифода мебарем ва омилҳое, ки ба ин бузургӣ таъсир мекунад, дида мебароем. Шакли қулла ба тақсимшавии Гаус наздик аст ва майлкунии стандартиро ба осонӣ ба нимвасегӣ мебиёранд, ҳангоми онро ба омили 2.35 зарб задан. Ба тафриқа омилҳои зерин таъсир меунад: $Б_i$ –майлкунии стан-дартӣ аз ҳисоби флуктуатсияи адади ҷуфти ионҳо, ки алфа – зарра бо энер-гияи додашуда пайдо мекунад; $Б_n$ – майлкунии стандартӣ аз ҳисоби ғалоғу-лаи камера ва тақвиятдиҳак ҳосил мешавад; $Б_t$ – майлкунии стандартӣ, ки ба вақти афзоиши импулс вобаста аст; $Б_p$ – майлкунии стандартӣ аз ҳисоби таъсири индуксияи зарядҳои мусбат; $Б_R$ – майлкунии стандартӣ, тағйирёбии васеъгии канали таҳлилкунаки амплитудаи импулсҳоро ба назар мегирад.

$$Б = \sqrt{Б_i^2 + Б_n^2 + Б_t^2 + Б_r^2 + Б_p^2 + Б_R^2}$$

Агар манба тунуку якҷинса ва камера нағз сохта шуда бошад, идора карданаш хуб бошад, $Б_t$, $Б_r$, ва $Б_p$ – бузургиҳои хурд бошанд, меъёри Херинг ва Мерсбахер барои $Б_i$ ифодаи $\sqrt{0{,}4N}$-ро медиҳад, ки ба бузурги 7.8 кэВ барои алфа–зарраи энергияш 5 МэВ мувофиқ меояд.

Нисбат ба $Б_n$ қисман вобаста аз сохтори каскадӣ (қисми) якуми пеш аз тақвиятдиҳак, агар тафриқаи калон бошад ба ин диққати махсус додан лозим аст. Дастгоҳеро, ки барои иҷрои ин мақсад истифода мебаранд, тарзи кори он дар поён навишта шудааст. Таҳлилкунак аъзои $Б_R$-ро медарорад, ки ба васеъгӣ ҳиссагузор аст. Аз ҳама пештар ба тафриқа вобаста аз қулла каналҳо таъсир мерасонад. Бигзор мо мехоҳем, ки тадқиқоти алфа–спектрро дар ҳудуди аз 4,5 то 6 МэВ гузаронем. Бояд чунин шароитро интихоб кунем, ки канали якуми таҳлилкунак ба энергияи 4,5 МэВ мувофиқат кунад ва аз ҳама канали калон ба 6 МэВ. Он гоҳ васеъгии канал, албатта ба шумораи умумии каналҳо мутаносиби чаппа мешавад, пас васеъгӣ барои 30-, 100- ва 256 канали таҳлилкунак ба 50,15 ва 6 кэВ мувофиқат мекунад. Дар вақти ҳозира таҳлилкунаки 30-каналаро дар ягон кори тадқиқотӣ истифода намебаранд, дар ҳоле ки васеъгии канали таҳлилкунаки 100-канала дар васеъгии қуллаи спектр саҳми назаррасро медиҳад. Дигар имконияти манбаи васеъшавӣ дар сайр, таҳлилкунак ва тақвиятдиҳак мебошад. Барои

он ки ҳисоб дар мудддати фосилаи вақти дароз давом дода шавад (эҳтимол, то якчанд рӯз) фаҳмост, ки устувории баландро дастгоҳи кори талаб мекунад. Устувории наздик ба 0,1% ба васеъшавии дар 1 кэВ мувофиқат мекунад. Ғафсии манба дар оянда манбаи васеъшавии қулла $б_t$ мегардад, ки хеле аҳамиятнок мебошад. Дар баъзе ҳолатҳо метавонанд, то бе охир манбаҳои тунукро истифода баранд. Дар дигар мавридҳо барои ҳосил кардани ҳисоби оморий хуб, имконияти гирифтани тафриқаи хуб манба-ҳои ғаферо истифода бурдан мумкин аст. Ислоҳотро ба "думи" қулла (вобаста аз пареш) дохил кардан зарур аст, ки дар зери дигар қуллаи ҳамсоя мехобад. Усулҳои тайёр кардани манбаҳо нақши асосиро иҷро мекунад ва аксар вақт ба ин масъала коллиматор сахмгузор мебошад.

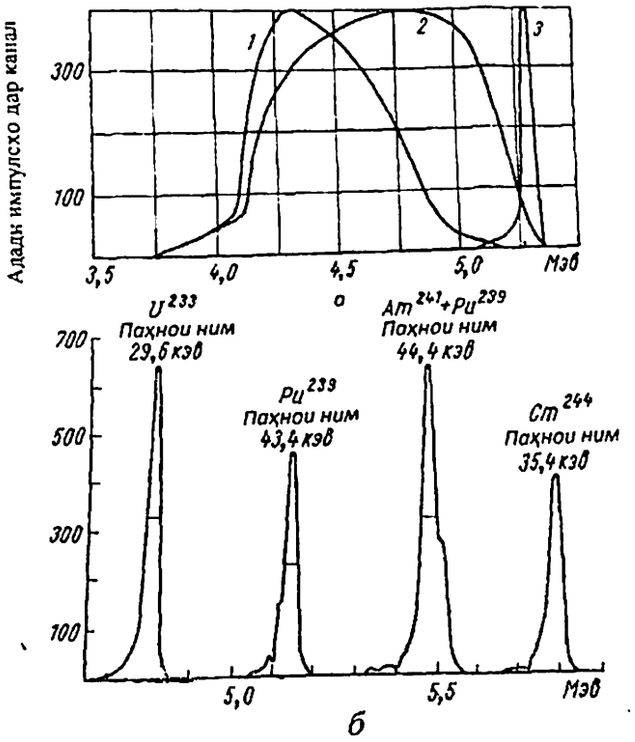
ТАҶРИБА. Дар таҷриба камераеро истифода мебаранд, ки аз ду лавҳаи масоҳаташон $10см^2$, масофаи байни онҳо 6 см бо ду деворӣ ивазшаванда иборат аст. Тури якум аз коллиматор дар масофаи 1,43 см ҷойгир буда, аз сими стандартии мис №38 сохта шуда, аз сими №36 масофаи байни онҳо 0,091 см – нисбат аз коллиматори дар масофаи 0,67 см ҷойгир шудааст.Онҳо тағйирёбии амплитудаи импулсҳоро вобаста аз шиддати майдон E_c *ва* $E_д$ барои ду девор (ρ=0.17; 0,44) омӯхтанд ва нишон доданд, ки натиҷаҳои онҳо бо назария мувофиқат мекунад. Баъд аз ин, онҳо тафриқаро омӯхтанд, ки камераи бетур истифода бурданд, манбаи ғайриколлиматсияшуда дар манбаи коллиматсияшударо истифода барем, дар пеши он варақаи алюминӣ ғафсиаш 0,79 мм бо сӯрохиҳои бисёри диаметрашон 3,18 мм гузорем. Бо вучуди ин, агар манбаи коллиматсияшударо дар камераи турӣ ҷойгир кунем, он гоҳ дар таҷрибаҳои бехтарин тафриқаҳои наздик ба 50 кэВ (васеъгӣ пурра бо ними баландӣ, чи тавре, ки дар расми 1.7.2. дида мешавад)-ро ҳосил кардан мумкин аст.

Бо ёрдами генератори импулсҳо онҳо нишон доданд, ки саҳми $б_п$, ба ғаллоғулаи дастгоҳи электронӣ вобаста буда, ~17 кэВ-ро ташкил мекунад. Дар ин ҳолат ҳисобиданд, ки ин бузургиро боз ҳам кам кардан мумкин аст. Майлкунии $б_п$, ҳамчун 2 кэВ баҳо дода

шуд ва $б_г$, $б_г$, ва $б_t$ ҳама якҷоя наздик ба 14,3 кэВ буданд. Бояд қайд кард, ки онҳо $б_t$ = 8 кэВ. Ҳамин тавр майлкунии умумии стандартӣ

$$б = \sqrt{17^2 + 14.3^2 + 2^2} = 22кэВ$$

ё ин ки васеъгии қулла ба ними баландӣ ба 52 кэВ баробар аст. Пешниҳод шуда буд, ки тафриқаи хубтаринеро барои Б=18 кэВ (42 кэВ-нимвасеъгӣ) мумкин ҳосил кунем. Бо вуҷуди ин, ин бузургӣ дар таҷрибаи аниқгузаронида бехтар карда шуд, ки он дар поён эзоҳ дода шудааст. Бартарии коллиматсия дар камераи тури ионизатсия дучанда мебошад.



Расми 1.7.2. Таксимшавии амплитудаи импулсҳо аз алфа-зарра аз натиҷаҳои Бунеман ва дигарон (а)-микёс дар тири ординат ихтиёрӣ, натиҷаҳои К.М.Гловер ва Ф.Дж. Роджер (б)-манба дар вакууми тайёршуда аст, 1-манбаи коллиматсияшуда бетур; 2-бетур; 3- ботур.

Агар манба ғафс бошад, алфа-зарра дар зери кунҷи калон аз он баромада, аз ғафсии калонтарини модаи манба мегузарад, бинобар ин энергияашро сарф мекунад, пеш аз он ки дар газ ионизатсияро ба вуҷуд оварад.

Ин дар қулла ба пайдошавии "дум" аз ҳисоби энергияи хурд меоварад ва агар интенсивияти якчанд алфа – коҳишҳои гуногун наздик бошанд, он гоҳ ин таъсир метавонад саҳми муайяни хатто-гиро биёрад. Бо вуҷуди ин истифодабарии коллиматор, ки дар боло гуфта гузаштем, "дум"-ро ниҳоят дараҷа ихтисор кардан мумкин аст, агар кунҷи ҷисмиро кам кунем. Ғайр аз ин тафриқаҳоро гум карда, пайдошавии "дум"-ҳо метавонанд инчунин эмиссияи дуюмини электронҳоро ба вуҷуд оваранд.

Аксар вақт, агар алфа-коҳиш мураккаб бошад, ба адади назараси коҳишҳо, ки ба ҳолати ангезиш меоварад, гамма-афканишоти пайдошуда, конвертиронидаи баланд мебошад ва электронҳои конверсионӣ дар ионизатсияи алфа-зарраҳо саҳми иловагиро медиҳад.

Энгелкемейр ва Магнуссон нишон доданд, ки истифодабарии коллиматори навъи асосӣ бо роҳи галванӣ, тури никелӣ ғафсиаш танҳо якчанд ҳазор дюма имконияти фурӯбарии электронҳои конверсионӣ ва аз тарафи дигар коллиматсияи манбаро таъмин кардаанд. Ду намуди турро истифода бурданд (нигаред ба ҷадвали 1.7.1.).

Ҷадвали 1.7.1.

Навъ	ғафсӣ, мм	Тавсифи турҳо: адади сӯрохиҳо дар 1 см	диаметри сӯрохиҳо, мм	Эзох
А	0,58	59	0,084	0,09
Б	0,07	39	0,107	0,04

Бо ин турҳо барои манбаҳои Th-230 ва Pu-238 тафриқаи нагз гирифтаанд, манбаҳоро дар асоси буғ кардан дар кураи платинӣ дар маҳлули намаки металӣ, дар маҳлулкунандаҳои органикӣ тайёр карданд. Бояд қайд кунем,ки ин навъи техникӣ тайёр кардани манбаҳо натиҷаҳои нагз медиҳад, танҳо дар шароити тозагиҳои хуб ва фаъолияти хоси хеле калони маводи манба, дар акси ҳол ифлосӣ ё ғафсии худи манба ба сарфи тафриқа меоварад. Баъдтар ба про-

блемаи тайёр кардани манба бармегардем. Th-230 ду қулла медиҳадӣ (4,682 ва 4,615 МэВ), ки аз ҷиҳати васеъгии пурра ба ними баландӣ 29 ва 32 кэВ (Б= 12,3 ва 13,6 кэВ-ро дод, ки мувофиқат мекунад. Манбаи Pu-238 ба алфа-қуллаҳои 5,492 ва 5,450 МэВ васеъгии қуллаҳо 26 ва 30,5 кэВ-ро дод, ки мувофиқ меояд. Саҳм дар васеъгии қулла, ки ғалогулаи дастгоҳи электронӣ пайдо мекунад, бо ёрдами генератори импулсҳо муайян карда шуд, монанди 23,5 кэВ (Б=10 кэВ) ва манбаи асосии васеъшавии қулла ба ҳисоб мерафт. Қимати миёнаи Б бо таъсири якҷояи дигар манбаҳое, ки ба васеъшавии қулла меоваранд, ҳисоб карда шудаанд; маълум шуд, ки онҳо ба 6,8 кэВ баробаранд. Васеъшавиро асосан худи раванди тарақиёти ионизатсия ба амал меоранд.

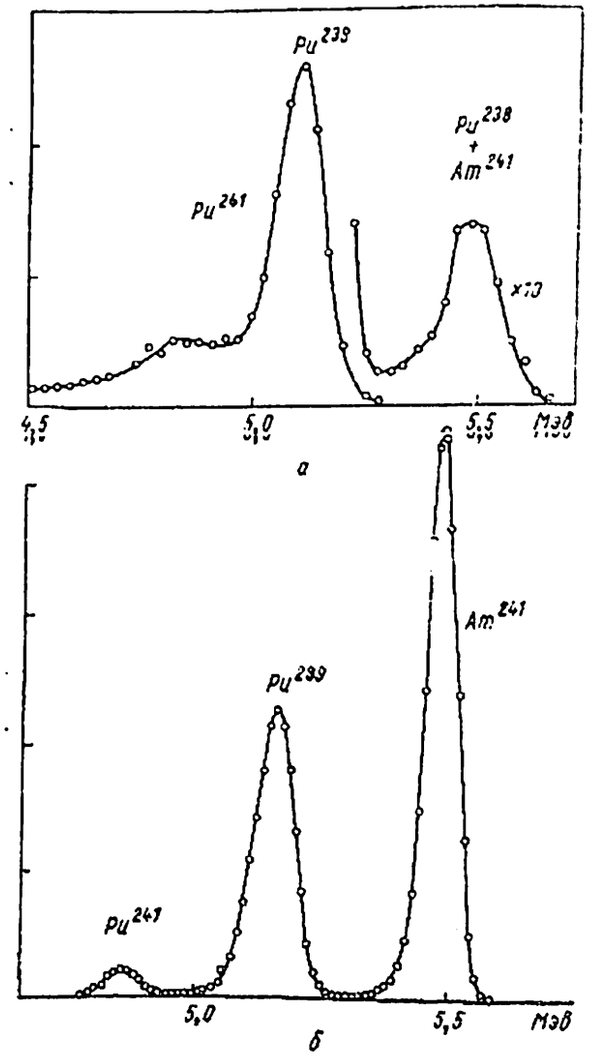
Б.А.Бочагов ва дигарон инчунин тафриқаи нагзро ҳосил карданд-бехтарин майлкунии стандартӣ барои U-234 15 кэВ (35 кэВ васеъгӣ бо ними баландӣ), дар ин маврид, инҳо меҳисобиданд,ки ионизатсия майлкунии стандартии 6,6 кэВ-ро медиҳад, ғалогула дар аввали тақвиятдиҳак 7,7 кэВ (бузургии ченшуда) ва манбаи парешони 2 кэВ-ро медиҳад, агар вай коллиматсияшуда бошад. Азбаски бузургии пурраи васеъшавӣ 25 кэВ аст, муайянкуниҳои гуногун ноустувории таҳлилкунаки импулсҳо ва ба қадри имкон экранбасти турро нишон медиҳанд. Коллиматсияи электронии импулсҳоро аз тур гузаронидаанд. Дар шароити хеле хуб истифода бурдани манбаи Po-210 ба таҳшинии электронӣ тайёр карда, ба тафриқаи 38 кэВ соҳиб шуданд, ки вақти хатои ҳисобкунӣ 200 сонияро ташкил мекунад. Хулоса ҳосил кардани тафриқаи хеле хуб аз шароит ва усули тайёр кардани манбаҳо вобаста мебошад.

1.8. АЛФА–ҚАЙДГИРАКҲОИ МУТАНОСИБӢ

Алфа-қайдгиракҳои мутаносибӣ нисбати камераи турӣ ва ионизатсионӣ дорои тафриқаи хеле бад мебошанд, барои он ки раванди афзуншавӣ васеъшавии иловагии қулларо медиҳад, гарчанде тақвияти калон ба камшавии нақши ғалогула дар дастгоҳи электронӣ меоварад. Нокифоя будани якҷинсагии ришта (сим) инчунин метавонад ба тафрика таъсир расонад. Бехтарини васеъгӣ ба нисфи баландӣ, ки дар таҷрибаи мо ҳосил карда шуд, наздики 70 кэВ-ро ташкил мекунад.

Аз сабаби он ки кунҷи ҷисмиро хеле аник ҳисоб кардан мумкин аст, қайдгиракро асосан барои муайян кардани алфа-фаъолияти мутлақ истифода мебаранд, аммо вай метавонад барои истифода бурдан ва чен кардани манбаҳои фаъолияташон баланд фоидаовар бошад. Бартарии дигари фоиданоктар нисбати камераи ионизатсионӣ аз он далел бармеояд, ки қайдгиракҳои мутаносибӣ метавонанд алфа-зарраро бо иштироки гамма, бета-афканишот, ингиранд. Дар мавриди камераи ионизатсионӣ ин – гуна манбаҳо вачунин афканишоти рентгении интенсивияташон баланд ба қайд васеъшудаи муаммои электронҳои конверсионӣ мебошад. Ҳангоми сеъшавии қулларо пуркувват мекунанд. Ин варианти ба таври оддӣ чен кардани нисбати алфа ба бета маълум шуд, ки гирехи кохиши P_u-241 ба $(2,31\pm0,06)\cdot10^{-5}$ баробар аст. Дар расми 1.8.1. спектре, ки бо "геометрияи бад" бо камераи ионизатсионӣ ва бо қайдгираки мутаносибӣ чен шудааст, нишон дода шудааст. Қуллаи тарафи рост аз A_m-241 дар ҳолати δ калон аст, барои он ки байни таҳлилҳо вақти зиёд сарф шудааст, дар муддати ин вақт қисми зиёди P_u-241 ба A_m-241 кохиш ёфта, фаъолияти A_m-241 мувофиқан зиёд гардид. Бояд қайд кард, ки қулла аз расми 1.8.1.б (125 ва 50 кэВ) барои P_u-241 мувофиқат мекунад, ҳол он ки дар шароити муқарарӣ тафриқаи қайдгираки мутаносибӣ бад аст. Ғайр аз ин, суръати ҳисоб байни қуллаҳо амалан то сифр меафтад. Фаҳмост, ки чен кардани фаъолияти P_u-241 дар мавриди δ, нисбати ҳолати а хеле осон мебошад. Барои илова буридани фони электронҳо дар камераи ионизатсионӣ, майдони магнитӣ истифода бурдаанд. Дар қайдгирак гази оддии метан, дар зери фишори 10 см.сут.симобӣ пур карда шуд. Дар ин ҳолат пуштакӯҳи давомнокиаш зиёд нисбати истифодабарии омехтаи метан бо аргон ҳосил карда шуд. Метанро пеш аз истифода бурдан тоза кардан лозим аст ва инро дар ваккуум мегузаронанд, ки дар натиҷа гази яхшудаи азоти моеъ ҳангоми дар оянда насос карда баровардани метан ва охирин кураи коллиматсиякунанда ҳосил мешавад.

Геометрияро аз назари аниқ чен кардани радиуси охири (коллиматсияшуда) курра ва масофаи он аз лавҳаи асосӣ ҳисоб мекунанд. Дигар сӯрохии коллиматсикунанда барои фурӯбурди алфа-зарра таъйин шудааст.



Расми 1.8.1. Спектри алфа-зарра аз P_u-241 дар иштироки бета-афканишоти интенсивияташон баланд, ки бо камераи ионизатсия (а) ва бо қайдгираки мутаносибӣ "геометрияи бад" (б) чен карда шудааст.

Ба ченаки охири курраи диамстраш 3,2 мм ислоҳот даровардан лозим меояд, ки он дар охири риштаи қайдгирак маҳкам аст ва дар ғафсии таҳлавҳаи алфа-манба кунҷи ҷисмиро наздик ба 1/700-ро

тағйир додан мумкин аст. Кура барои риштаро таранг кашида нигоҳ доштан ва ҳисоби ҳаҷмиро маҳдуд кардан зарур аст. Ришта-ро аз сими волфрамӣ диаметраш 0,025 мм тайёр мекунанд, камера-ро бояд хеле ҳамвор гузорем, ки ришта ба равиши тири он ҷойгир бошад. Геометрия нисбатан ба ҳолати манба беҳиссиёт аст, барои он, ки камшавии назаррасӣ ҳисоб (дар ҳудуди ± 0,5%) мушоҳида намешавад, то он даме, ки маркази манба аз ҳудуди масоҳати тас-вири сӯрохаи коллиматсияшуда дар лавҳаи асосӣ набарояд.

БОБИ II.
ТАЪСИРИ МУТАҚОБИЛАИ БЕТА–ЗАРРАҲО ВА ЧЕНКУНИИ ОНҲО

2.1. ТАЪСИРИ МУТАҚОБИЛАИ БЕТА–ЗАРРАҲО ДАР МОДА

Электронҳои энергияшон нисбатан хурд (≤ 2 МэВ) ҳангоми гузариш аз мода энергияи худро монанди заррахои заряднокй вазнин, дар натичаи ионизатсия ё ин ки ангезиши атомҳо сарф мекунанд. Бо вучуди ин фаркияташон аз заррахои заряднокй вазнин дар он аст, ки электронҳо дар як бархурд аксарияти энергияи худро сарф мекунанд, ба кунҷи калон пареш мешаванд. Ин маънои онро дорад, ки флуктуатсия ба дарозии дави электронҳо хеле калонтар мешавад ва роҳи электронҳо дар муҳит ростхатта намешавад, чи тавре, ки дар заррахои заряднокй вазнин мушоҳида мешавад. Дар энергияҳои калон сарфи энергияи электронҳо дар натичаи афканишоти электромагнитӣ дар майдони электрикии ядрои мода боздоштӣ мегузарад. Электрони бо тақвият ҳаракаткунанда энергия меафканад, ба квадрати тақвияташ мутаносиб аст. Дар майдони кулонии ядро тақвият ба квадрати заряди ядро мутаносиб роста ва ба массаи зарра мутаносиби чаппа мебошад. Бинобар ин сарфи энергия дар натичаи афканишоти электромагнитӣ (афканишоти боздорӣ) барои заррахои заряднокй вазнин назаррас намебошад, аз сабаби он ки массаи онҳо нисбати массаи электронҳо хеле зиёд мебошад. Ҳамтаъсироти электронҳо дар мода ба чунин равандҳо вобаста аст: атомҳо ангезонида ё ин ки ионизатсия мешаванд, инчунин таҷзияи молекулӣ, тайғирёбии сохтори панҷараи кристалл ва дигар равандҳои дубора мегузарад. Дар ин прараф электронҳоеро меомӯзем, ки энергияшон дар паҳнои 10^{-1} то 10^{7} эВ мехобанд, яъне соҳаи бета – заррахое, ки модаҳои радиофаъол хориҷ мекунанд.

Сарфи энергияи бета–заррахо асосан бо раванди бархурди чандирӣ ва ғайричандирӣ бо атомҳои мода мегузарад. Сарфи энергияро ҳангоми пареши чандирӣ дар атомҳои мода ба чор гурӯҳ тақсим кардан мумкин аст:

1) пареши яккарата; 2) пареши каратӣ;

3) пареши бисёркаратӣ; 4) таҷзияи молекулаҳо.

Агар қабати нафиси модаро гирем, ки дорои ғафсии d хеле нафис d≪1/Nб бошад, инҷо б–арзи самаранокӣ, N-ададҳои атоми парешкунанда дар 1см^3, он гоҳ амалан танҳо пареши яккарата, яъне ҳамаи пареш танҳо дар як ядро мегузарад. Арзи самаранокӣ парешши электронҳо бо ядро бо афзоиши кунҷи пареш хеле пурқувват кам мешавад, бинобар ин таносуби овардашудаи ғафсии қабати мода возеҳан ифодакунандаи вобастагӣ аз кунҷи пароканиши θ-ро дорад. Ҳангоми калон шудани ғафсии d~1/Nб, бархурд каратӣ мегузарад, яъне бархурд дар кунҷи додашуда дар натиҷаи якчанд пай дар пайи яккаратаи рӯйдоди пареш мегузарад. Агар ғафсии мода d хеле афзояд, он гоҳ, ададди миёнаи n рӯйдоди пареш сар шуда, аз 20 зиёд мешавад, яъне пареши бисёркарата иҷро мешавад. Дар натиҷаи ғафсии d ниҳоят зиёд шудан (d»1/Nб), шарти тақсимоти пареш намуди зеринро мегирад: $w(\theta)\sim\cos^2\theta$. Кунҷи миёнаи пареш θ ба максимум мерасад ($\theta_{мах}\approx 33^o$) ва доимӣ мемонад. Ҳолати зиёдшавии минбаъдаи ғафсиро – ҳолати муътадил ё ин ки таҷзияи пурраи молекулаҳо меноманд. Ғафсие, ки дар он ҳолати муътадил мерасад, "ғафсии муътадил" меноманд.

Пароканиши яккарата чунин мегузарад, агар электрон бо энергияи кинетикии E аз қабати модаи ғафсиаш d рақами атом z мегузарад. Эҳтимолияти он, ки ҳангоми гузариш аз қабати модаи ғафсиаш d дар зери кунҷи θ пареш мешавад, дар кунҷи ҷисмии dΩ таносуби зеринро медиҳад:

$$W(\theta)=Nd\text{б}(E,Z,\theta), \qquad (2.1а)$$

дар инҷо N–ададди атомҳои пароканишкунанда дар 1см^3. Ин ифодаро барои майдони ҳақиқии кулонӣ заряди нуқтавӣ ҳангоми бе экран кардан, дар асоси МОТУ ҳосил кунем:

$$\frac{d\text{б}}{d\Omega}=q_{мот}=q_{рез}R(E,Z,\theta), \qquad (2.1.б)$$

дар инҷо $q_{рез}$-арзи самаранокии резерфордӣ буда, ба баробар аст.

$$q_{рез}=\frac{Z^2/r_0^2}{\sin^4\frac{\theta}{2}}\cdot\frac{1}{\varepsilon^2(1-\frac{1}{\varepsilon^2})^2}, \qquad (2.1.в)$$

$r_0=\frac{e^2}{mc^2}$ – радиуси классикии электрон (2,8·10^{-13}см).

$\varepsilon=[(E+mc^2/m_oc^2)]$. Ифодаи (2.1.в) ба натиҷаҳои таҷриба дар паҳнии васеи энергия ва кунҷи пароканиш нағз мувофиқ меояд. Бо вуҷуди ин бояд чунин майлкуниҳоро қайд кунем:

а) барои кунҷҳои ниҳоят хурд пароканишро бояд ба назар гирифт, яъне пушонидани майдони кулонии ядрои атоми электронҳо;

б) барои энергияҳои калон ва кунҷи калони пароканиш дар асоси канори ченаки ядро майлкунӣ ҳосил мешавад. Дар асоси ҳисобу китоби Фриза ва Хейна ин майлкуниҳо назаррас мебошад.

в) дар охир, дар энергияҳои калон бояд ислоҳоти кванти электромагнитиро ба эътибор гирифт, ки ба афканиши кванти рӯшноӣ хеле маҳин вобаста аст, ки дар таҷриба ошкор карда намешавад.

Энергияи электрон ҳангоми аз мода гузаштанашон кам мешавад (нигаред ба расми 2.1.1.) ва спектри энергиявӣ новозеҳ шуда, ғайрисимметрӣ мешавад. Дар таҷриба аниқ муайян кардани энергия ғайриимкон аст.

Акнун саҳми сарфи энергияро барои дигар равандҳо дида мебароем. **Сарфи энергияи ионизатсия**. Ҳангоми бо ҳамдигар бархурдани электронҳо, онҳо метавонанд қисми зиёди энергияи худро сарф кунанд, (бо қимати миёна ½). Аммо агар ҳисобида шавад, ки электрони аввала нисбат ба электрони пуштрафта, дорои энергияи калон бошад, онгоҳ сарфи он ба қимати миёна ¼ -ро ташкил мекунанд. Ҳисоби сарфи энергия дар воҳиди роҳ, аз тарафи Бете гузаронида шудааст:

$$-\frac{dE}{dx}=2\pi e^4nZ(\ln m\vartheta^2/2\bar{J}^2[E/(2\sqrt{1-\beta^2}-1+\beta^2)(1-\beta^2)]-lm2+1-\beta^2+\frac{1}{8}(1-\sqrt{1-\beta^2})^2)/(m\vartheta^2), \qquad (2.1.1.)$$

Дар инҷо E-энергияи кинетикии электрон; $\beta=\vartheta/c$; ишораҳои дигар dE/dx –қобилияти боздории мода; -потенсиали миёнаи ионизатсия.

Барои электронҳои сустҳаракат:

$$-\text{dE/dx}=4\pi e^{4n}Zln[(m\vartheta^2/2\bar{J})\sqrt{e/2}]/(m\vartheta^2), \qquad (2.1.2.)$$

Дар инчо e-асоси логарифмаи натуралӣ.

Қимати миёнаи dE/dx барои электронҳо дар расми 2.1.1. оварда шудааст. Флуктуатсияи сарфи энергияи электронҳо нисбати зарраҳои заряд-ноки вазнин, ки ба пахнии энергияи калон алокаманд мебошад, назаррас зиёд аст ва электрон метавонад ин энергияро дар як бархурд сарф кунад.

Таксимшавии энергиявии электронҳо баъди гузариш аз кабатҳои гуногуни графит дар расми 2.1.1. нишон дода шудааст.

Албатта дар ин ҳолат таксимшавӣ электронҳо аз энергия баъди гузариш аз ғасии додашудаи графит на танҳо аз флуктуатсия, балки аз сарфи энергия вобаста аст. Ҳангоми бархурди бисёркаратаи чандирии электронҳо бо атомҳо, қимати на он қадар зиёдро дорад, ки ба афзоиши қисми роҳи электронҳо дар модаи фурӯбаранда меоварад. Аммо дар ин маврид ҳам, ҳангоми хориҷ кардани ғаъсири пареши бисёркарата (дар камераи Вилсон, мисол, роҳи электронҳои аллохидаро назорат кардан мумкин), парешонӣ дар қитъаи муайян хати сайр хеле калон аст.

Сарфи энергияи радиатсионӣ. Ҳангоми ҳаракати бошитоб электрон нури электромагнитӣ меафканад, ки онро боздорӣ меноманд. Афканишоти боздорӣ дорои спектри бефосила буда, сарҳади болои он энергияи электронро муайян мекунад. Агар арзи $\sigma(E,\nu)$ см^{2}с/атомҳо хориҷкунии фотон бо энергияи E ва басомади ν маълум бошад, онгоҳ ҳангоми ҳамтаъсироти электрон бо атомҳои мода сарфи энергияи радиатсионӣ, дар воҳиди роҳ, ба намуди зерин навишта мешавад:

$$-(dE/dx)_{рад} = n\int_0^{\nu_{max}} h\nu\sigma(E,\nu)\,d\nu \qquad (2.1.3.)$$

дар инчо -монанди пештара -адади атомҳо дар воҳиди ҳаҷми муҳит ва ν_{max}=E/h. Эҳтимолияти хориҷкунии фотон, афканишоти боздорӣ дар майдони ядрои атомӣ ва дар майдони электронҳо ба бузургии ν^{-1} мутаносиб мебошад, бинобар ин сарфи энергияи радиатсионӣ ба энергияи электрон мутаносиб аст.

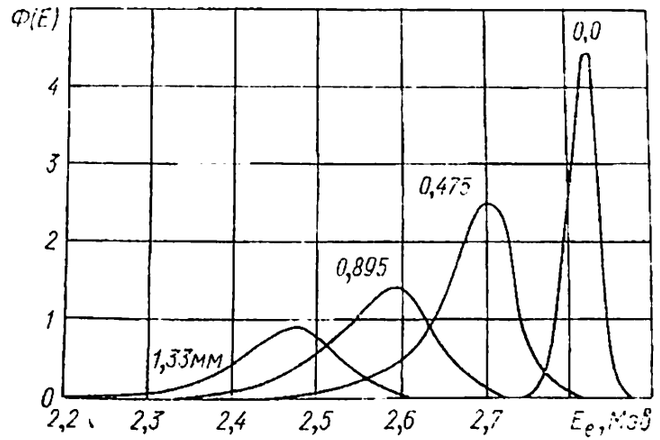
Барои навиштани сарфи энергияи радиатсионӣ, арзи самаранокӣ дохил кардан қулай аст, ки амалан аз энергия $\sigma_{рад}$ вобастагӣ надорад. Дохил кардани арзи миёнаи сарфи энергияи радиатсионӣ ба интегралӣ (2.1.3.), ки ба энергияи электрон тақсим мешавад, баробар аст, яъне

$$-(dE/dx)_{рад} = nE\sigma_{рад} \qquad (2.1.4.)$$

Агар энергияи электронҳо шарти $E \gg 137mc^2/z^{1/2}\ln(183/z^{1/2})$-ро қаноат кунонад, аммо барои энергияи хурди электронҳо $\sigma_{рад}$-функсияи энергия бошад, ин вобастагӣ хеле кам аст:

$$\sigma_{рад} \approx 6\cdot 10^{-23}\cdot z^2(4\ln[2E/(mc^2)(1-4/3)$$

Сарфи миёнаи энергияи электронҳо дар ионизатсияи атомҳои муҳит аз афканиши онҳо вобаста аст. Сарфи энергияи ионизатсия ҳангоми $\vartheta = c$ ба z ва логарифмаи энергия хаттӣ меафзояд ва ба z^2 мутаносиб аст, бинобар ин дар энергияи калон сарф дар афканишот зиёдшаванда мебошад. Энергияи бӯҳронии электрон $E_{бӯҳр}$-ро дохил кардан мумкин, агар сарфи энергия дар ионизатсия ва энергия дар афканишот баробар бошанд.



Расми 2.1.1. Таксимшавии электронҳо аз энергия баъди гузариш аз қабатҳои графитӣ, ки ғасии гуногун доранд. Энергияи ибтидоии электрон 2,8 МэВ.

Поён аз ин энергия (2.8МэВ) сарфи ионизатсия - зиёдшаванда ва боло аз он – сарф дар аканишот. Бете ва Гейтлер таносуби на-

здикшавиро барои сарфи энергияи ионизатсия ва радиатсионӣ чунин ифода намуданд:

$$\frac{(dE/dx)_{рад.}}{(dE/dx)_{ион}} \approx \frac{EZ}{1600mc^2}, \qquad (2.1.5)$$

Аз инҷо қимати энергияи бухронӣ $E_{бухр}=800z$ *МэВ* - барои унсурҳои вазнин, ба монанди сурб, ки сарфи энергияи радиатсионӣ зиёдшаванда дар энергияи электронҳо калон аз *10 МэВ*.

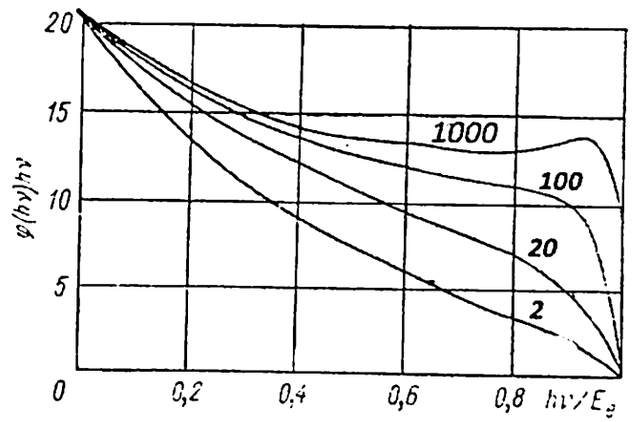
Барои ҳолатҳое, ки агар $E>Eбухр$ ва ҳангоми $б_{рад}$ аз энергия E вобаста набошад, баъди интеграл гирифтани (2.1.4.) байни логарифмаи энергияи зарра ва дави он алоқамандии хаттиро ҳосил мекунем. Масофае, ки дар он энергияи электрон дар натиҷаи афканишавад. Аз (2.1.4.) меҳисобем, ки $б_{рад}$ аз энергия вобаста нест,пас бо шот *e* маротиба кам мешавад, дарозии радиатсионӣ X_0 номида мешавад. Аз (2.1.4.) меҳисобем, ки $б_{рад}$ аз энергия вобаста нест,пас бо осонӣ ҳосил мекунем: $X_0=1/(Nб_{рад})$, он гоҳ

$$-(dE/dx)/E = 1/X_0, \qquad (2.1.6.)$$

Дарозии радиатсионӣ тағир меёбад аз $X_0= 5.82/см^2$ барои сурб ва $X_0=802/см^2$ барои гелӣ.

Боздории электронҳоро барои ҳосил кардани дастаи интенсивнокии гамма-квантҳо ва нейтронҳо истифода мебаранд, бинобар ин оид ба тавсифи афканишоти боздорӣ муфассалтар истода мегузорем. Тақсимшавии энергиявии интенсивияти афканишоти боздорӣ ҳангомӣ боздорӣ электронҳо аз нишонаи нафиси сурбӣ хориҷ мешаванд, дар расми 2.1.2. дода шудааст. Дар ҳолати нишона гафс ва ҷенакаш якҳанд маротиба аз дарозии радиатсионӣ калон будан. спектр навъи дигарро мегирад. Барои онро ҳосил кардан, боят қимати миёнаи спектрҳои овардашуда, сарфи ионизатсия ва вобастагӣ $б_{рад(E)}$-ро ба назар гирем.

Ҳангоми дав ба дарозии радиатсионӣ баробар шудан электрон бо ба қимати миёна энергияи калони $E_{бухр}$ соҳиб мешавад. Электрон як фотон хориҷ мекунад, ки нисбатан ба энергияи худи он баробар аст ва якҳанд гамма-квантҳои энергияи хеле камро низ меафканад. Квантҳо бо энергияҳои *1,02 МэВ* метавонад ҷуфти электрону позитронро ҳосил кунанд. Ҳамин тавр тармаи электронӣ фотон ҳосил мешавад.



Расми 2.1.2. Тақсимшавӣ энергиявии интенсивияти афканишоти боздорӣ, ки электронҳои энергияшон гуногун (энергия дар воҳиди mc^2 нишон дода шудааст) ҳангоми боздорӣ дар нишонаи нафиси сурб хориҷ мекунанд. Дар тири ординат ҳосилаи энергияи гамма-квантҳо ба адади квантҳо дар воҳиди фосилаи энергия гузашта шудааст.

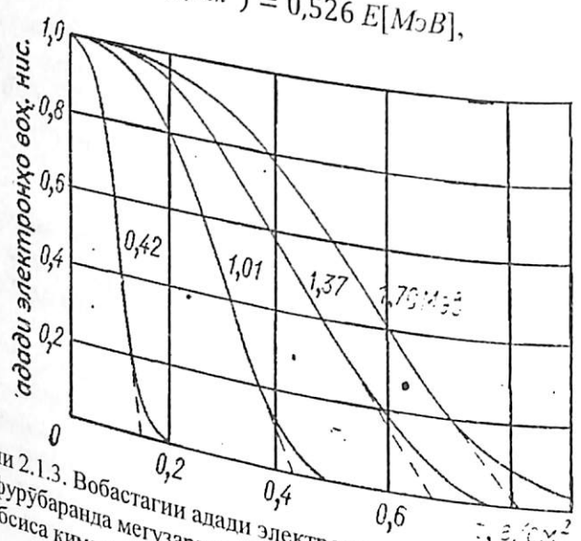
Тақсимшавии кунҷии афканишоти боздорӣ равиши равшани ифодашударо дорад. Пас, электрон бо энергияи релятивистӣ таҳти кунҷи миёнаи хориҷкунии кванти афканишоти боздорӣ ба mc^2/E баробар аст, дар инҷо E-энергияи электрон аз энергияи квантҳои афканишоти боздорӣ вобастагӣ надорад.

Дарозии дави электронҳо. Дар назария ҷиддӣ дида баромадани гузариши электронҳо аз қабати ғафси мода аз сабаби пареши бисёркарата сарфи энергияро ҳисоб кардан бисёр мушкил аст. Пареши бисёркаратаи электронҳоро аз кунҷи миёнаи майлкунӣ тавсиф додан мумкин аст, чи тавре, ки барои зарраҳои заряднок вазнин иҷро шуда буд. Бо вуҷуди он ингуна дида баромадан ба маводҳои ғафсиашон хурд ҷой дорад, ки сарфи энергияи электронҳо дар ин қабатҳо ниҳоят хурдтар аст. Агар электрони сареъ ба мода ворид шавад, он гоҳ пареши аввал дар зери кунҷи калон эҳтимолияти кам дорад. Дар натиҷаи ионизатсия ва сарфи радиатсионӣ энергияи электрон кам мешавад ва бисёртар қимати калони парешро дар кунҷи калон мегирад. Бо афзудани роҳи тайкарда дар мода кунҷи миёнаи майлкунии электронҳо меафзояд, пас баъди аз адади зиёди рӯйдоди пареш дар зери кунҷҳои калон элек-

трон равиши аввалаи худро “фаромӯш” мекунад ва ҷойивазкунии электронҳоро ҳамчун дифузия дида баромадан мумкин аст. Дар натиҷаи раванди пареши бисёркарата, адади электронҳое, ки аз қабати ғафсии модаи додашуда мегузаранд, бо афзоиши ғафсӣ кабат кам мешаванд. Вобастагии адади электронҳо аз ғафсии дошуда мода мегузаранд, ки ин қабати ғафсиро функсияи сустшавӣ мемоманд. Функсияи сустшавии дастаи электронҳои энергияшон якхела барои алюминий дар расми 2.1.3. овардашуда аст. Чи гавре, ки аз расм дида мешавад, дарози дави электронҳои энергияи додашударо муайян кардан хеле мушкил аст.

Одатан, дарозии дави имтидодшударо дохил мекунанд, ки онро дарозии дави имтидодшуда меноманд ва аз буриши давомияти қитъаи хаттӣ функсияи сустшавӣ бо тири абсис муайян мекунанд. Бо вуҷуди он, дарозии дави имтидодшуда бо энергияи электронҳо хаттӣ алоқаманд мебошад, масалан барои алюминий

$$R(г/см^2) = 0{,}526\,E[МэВ], \qquad (2.1.7.)$$



Расми 2.1.3. Вобастагии адади электронҳо, ки аз қабати ғафсии модаи фурӯбаранда мегузаранд. Буриши хатти қачи хатчаҳои рост ба тири абсиса қимати дарози дави имтидодшударо муайян мекунанд.

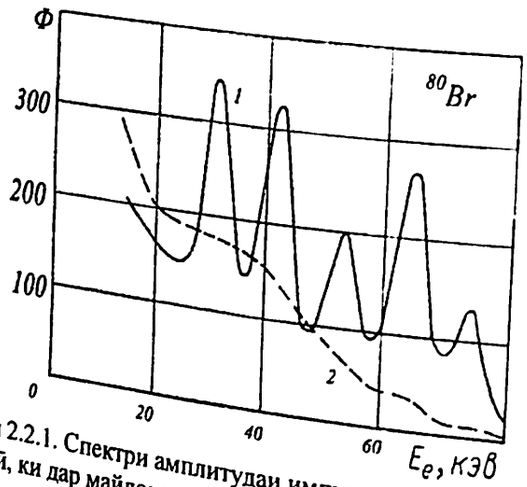
Сустшавии электронҳои бета-коҳиш ба ядроҳои варақа тақрибан хусусияти экспоненсиалиро дорад. Дар ин маврид муайян

кардани дарозии дави имтидодшуда мушкил мешавад. Ба ҳар ҳол дарозии дави имтидодӣ барои бета-зарраҳо, ҳамчун функсия аз энергияи сарҳадии бета-спектр ба натиҷаҳои гирифташуда барои электронҳо наздик аст. Ҳамин тавр, барои энергияи сарҳади бета-спектрҳо калон аз 0,8 МэВ ба дарози дави имтидодӣ барои алюминий баробар аст ба

$$R(г/см^2) = 0{,}542E_\beta[МэВ] - 0{,}133, \qquad (2.1.8.)$$

2.2. ЧЕН КАРДАНИ ЭНЕРГИЯИ БЕТА-ЗАРРАҲО БО БЕТА–КАМЕРАИ ИОНИЗАТСИОНӢ

Камераҳои ионизатсиониро барои тадқиқоти бета-зарраҳо кам истифода мебаранд, барои ин ки дави электронҳо дар ҳаво дар шароити муътадил хеле калон мебошад. Имтидоди дави электронҳо ба энергияи 0,1 МэВ тахминан баробари 12см мебошад. Дар ин вақт чен кардани энергияи электронҳои хурд аз 0,05 МэВ имконпазир аст, барои он ки тафриқаи энергиявиашон аз сабаби мавҷудияти ғалоғулаашон бад мебошад. Шавқи зиёдро қайдгиракҳои мутаносибӣ доранд, барои он ки дар зери фишори баланд (то 10 атмос.аргон), бо ёрдами инҳо имконият мешавад, ки спектрӣ электронҳоро то якчанд садҳо килоэлектронволт тадқиқот гузаронем. Сарҳади поёни тадқиқотии энергия дар ҳудуди аз *1-5 кэВ* мехобад. Дар ин бора натиҷаҳон бехтарин ҳосил карда шуд. Ҳангоми истифодабарии қайдгираки мутаносибии дароз (20-40см), ки дар дохили селоноид ҷойгир шудааст, шадидияти майдони магнитии якҷинсаро қариби 3000 эрстед ба равиши тири қайдгирак ба вуҷуд меоваранд. Электронҳо дар қайдгирак дар майдони магнитӣ якҷинса аз хати морпечмонанди масир (траектория) ҳаракат мекунанд. Ин роҳи онҳоро дар қайдгирак зиёд мекунад ва ҳамин тавр таъсири девори кам мешавад. Ба воситаи ингуна дастгоҳ энергияи электронҳоро то *0,6-0,8 МэВ* чен кардан мумкин аст. Таъсири майдони магнитӣ дар расми 2.1.2. нишон дода шудааст, ки дар он спектри электронҳои конверсионӣ аз унсури *Br-80* оварда шуда, ченкунӣ бо майдон ва бемайдон гузаронида шудааст.



Расми 2.2.1. Спектри амплитудаи импулсҳо аз кайдгираки мутаносибӣ, ки дар майдонимагнитии тӯли ҷойгир аст (хати яклухт) ва бемайдон (хатчавӣ).

Тафриқаи энергиявии қайдгиракҳои мутаносибиро аз флуктуатсияи чуфти ионҳои аввала ва флуктуатсияи зариби тақвияти гази муайян мекунанд. Пас, барои электронҳои конверсионӣ ҳангоми коҳиши Cs-137 (энергияи электронҳо 665 кэВ) тафриқаи энергиявӣ баробари 6%, барои энергияи электрон 50 кэВ наздик ба 9% мебошад. Ҳисобкуниҳо нишон медиҳанд, ки бо қайдгиракҳои мутаносибӣ натиҷаҳои хуб гирифтан мумкин аст. Дар инҷо ёдовар мешавем, ки тафриқаи энергиявии қайдгираки мута-носибӣ бисёртар аз тарзи сохтор ва тозагии газе, ки пур мекунанд, вобаста бошад. Қайдгиракҳои синтиллатсионӣ бо кристалли *NaJ(TL)*, аз трасен, стилбен имконият медиҳанд, ки тақсимшавии электронҳоро дар паҳнои васеи энергия чен кунем. Чен кардани ҳудуди поёнии энергияи электронҳо аз ҳисоби ғалоғулаи фотофузунҳо маҳдуд мешавад ва якчанд килоэлектронволтро ташкил мекунад, ҳудуди болои вобаста аз ченаки кристалл маҳдуд мешавад. Масалан, дар кристалли *NaJ(TL)* ченаки 100x100 мм мумкин аст, ки бо боварӣ энергияи электронҳоро то 15-20 МэВ чен кунем. Тафриқаи энергиявии бета-спектрометрҳои синтиллатсионӣ бо наздикшавии якум ба решаи квадратӣ аз энергияи электронҳо мутаносиби чаппа мебошад. Қимати хуб бо кристалли *NaJ(TL)* дар энергияи *0,665 МэВ*,

гирифта шудааст, ки баробари 6% аст. Пас дар соҳаи энергияи электронҳо наздики 10 кэВ, тафриқаи энергиявӣ дар ҳолати беҳтарин наздики 50%-ро ташкил мекунад. Афсус, ки чи қадаре, ки пареши баръакси электронҳо зиёд шавад, ҳамон қадар рақами атомии кристалл зиёд мешавад. Наздики 10% электронҳо, ки ба сатҳи ҳамвории кристалли органикӣ, ки ба манба наздик ҷойгир аст меафтанд ва аз кристалл дар натиҷаи пареш мебароянд, ҳамаи энергияи худро дар кристалл сарф кардан наметавонад. Ин спектри ченшудаи электронҳоро ба вайронӣ меоварад. Дар ин шароит боз сарфи калон дар натиҷаи пареш ҳангоми истифодабарии кристалли *NaJ(TL)* мегузарад.

Барои бартараф кардани нопуррагӣ (қисман)-и сарфи энергияи электронҳо дар кристалл, бояд спектрометри ду кристаллӣ истифода шавад, ки дар байни онҳо манбаи нафистари бета-зарра ҷойгир мекунанд. Агар ба манбаи бета-афканишот гамма-афканиш илова шавад, он гоҳ барои кам кардани самаранокии қайдгирии гамма-квантҳо аз кристалли органикӣ истифода мебаранд, ченаки кристаллро монанди пештара аз имтидоди дави бета-заррaҳои тадқиқотӣ интихоб мекунанд. Ҳангоми ин гуна интихоби кристалл нисбатан самаранокии ба қайдгирии гамма-квантҳо камтар мешавад. Аксар вақт ҳангоми тайёр кардани кристаллҳо бета-афканишотро ба таркиби онҳо дохил мекунанд,. Ин усул имкон медиҳад спектри бета-афканишотҳои фаъолияташон хурдро омӯзем.

Ба бета-спектрометрҳои синтиллатсионӣ баҳои баланд медиҳанд, ҳангоми гузаронидани тадқиқоти бета-спектрҳо, ки дар мувофиқӣ бо гамма-квантҳо бо коҳиши ядрои духтарӣ илова мешаванд. Ин намуди мувофиқӣ ҳангоми тадқиқоти реҷаи мураккаби коҳиш, ки ядро якчанд гурӯҳи бета-заррaҳоро хориҷ мекунад, чашмнорас мебошад. Самаранокии истифодаи усули мувофиқӣ дар спектрометрҳои синтиллатсионӣ баланд аст, барои он, ки спектрометрҳои синтиллатсионӣ дорои тавсифаи вақти хуб мебошанд. Дар бета-спектрометрҳо қайдгиракҳои нимноқилӣ низ истифода мешаванд, ки қабати чуқурии ҳиссиёташон якчанд миллиметр мебошад. Барои ин аз ҳама қулайтар литий-кремний (*p-i-n*) гузариш ва қайдгираки сатҳӣ-саддӣ -кремний бо муқовимати хоси калон (20 ком) соҳиб аст. Беҳтарин тафриқаи энергиявӣ ҳангоми энергияи

электронҳо 1 МэВ будан ва ҳангоми истифода бурдани дастгоҳи махсуси ченкунанда, ки ғалоғулааш ниҳоят кам бошад, ба 0,1% мерасад,. Тафриқаи энергиявии баланди қайдгиракҳои нимноқилӣ вобаста ба тарзи корашон калон мебошад. Ин имконият медиҳад онро бо муваффақият барои гузаронидани тадқиқоти бета-бета ё ин ки бета-гамма мувофиқӣ истифода барем.

Мушкилоти дар боло қайдшуда дар тадқиқоти бета-спектрҳо, ки бо эҳтимолияти калон ба пареши электронҳо алоқаманд аст, тавассути биатан иштироки қайдгиракҳои нимноқилӣ зарур мебошад. Ва дар ин маврид, барои кам кардани таъсири пареш, манбаи бета-зарраҳоро байни ду қайдгирак ҷойгир намуда, сигнали суммавӣ аз ҳарду қайдгиракро таҳлил мекунанд. Онгоҳ таъсиротеро, ки ба пареши баръакси электронҳо алоқаманд мебошад, мумкин хеле кам кунем, агар байни ду қайдгиракҳое, ки ба реҷаи номувофиқӣ пайваст мебошанд, манбаи нафиси бета-фаъол ҷойгир кунем.

Электронҳое, ки аз як қайдгирак иникос мешаванд, бо эҳтимолияти калон ба қайдгираки дуюм меафтанд, бинобар ин, ҳангоми инъикосшавӣ электронҳо аз ҳарду қайдгирак импулсҳо пайдо мешаванд. Ҳамин тавр реҷаи номувофиқии ин гуна импулсҳои воқеиро хориҷ мекунад. Усулҳои спектрометри зарраҳои заряднок (электронҳо)-и дар ин параграф номбаршуда бо таъсири ионизатсияи синтиллатсионӣ танҳо ҳангоми гузаронидани ченкунии нисбати энергияи зарра натиҷаҳои хуб медиҳанд. Ченкуниҳои мутлақ талаботи муайяни хатогии хурди энергияро талаб мекунад, ки ин энергия барои ҳосил кардани як ҷуфти ионҳо дар камераи ионизатсионӣ сарф мешавад. Ҷуфти электрон-сурохӣ дар қайдгиракҳои нимноқилӣ ва фотонӣ люминисентӣ дар синтиллаторҳо ҳосил мешаванд. Бояд ҳатман зариби тақвият ва барои қайдгиракҳои синтиллатсионӣ самаранокии конверсионии фотокатод ва эҳтимолияти афтидани фотонҳоро дар фотокатод ғайраҳоро донистан зарур аст.

Дар ҳолати хубтарин, ҳангоми мутлақан чен кардани энергияи зарраҳои заряднок хатогиро муайян кардан мумкин аст, агар энергияе, ки барои ҳосил кардани ҷуфти ионҳо (электрон-сӯрох) сарф мешавад, маълум бошад. Барои камераҳои ионизатсионӣ ва қайдгиракҳои нимноқилӣ бузургӣ хатогӣ ба якчанд фоиз маълум аст, аммо барои қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ин хатогӣ хеле калон мебошад. Дар ин маврид, дар ченкунии нисбии энергияи зарраҳои заряднокро назар ба васеъшавии амплитудаи импулсҳо то аниқии якчанд маротиба хубтар муайян кардан мумкин аст, яъне дар спектрометрҳои синтиллатсионӣ муқоиса кардани энергияи зарраҳои заряднок бо хатогии наздик ба 1% имконият ҳаст.

2.3. ЧЕН КАРДАНИ ФАЪОЛИЯТИ МАНБАҲОИ БЕТА – ЗАРРАҲО

Тарзи ченкардани алфа ва бета-зарраҳо аксаран якхела мебошад. Бо вуҷуди ин, фарқияти ҷиддӣ дар рафтори ин зарраҳо асосан аз сохтори қайдгиракҳо вобаста аст, ки ҳангоми гузаришашон дар мода ҷамъ мекунанд. Ҳамин тавр аксари даври калони бета-зарраҳо дар вақти тайёр кардани қайдгиракҳои деворашон ғафс ошкор мешаванд. Аз тарафи дигар, пареши бақуввати бета-зарраҳо ва қобилияти ками ионизатсияи онҳо барои ба қайд гирфтанашон мушкилӣ меоварад, монанди алфа-зарраҳо, ки ба ҷисми қайдгирак меафтанд, амалан бо эҳтимолияти 100% мегузарад.

Чен кардан дар зери кунҷӣ ҷисмии хурд. Бо сифати қайдгиракҳо ҳангоми чен кардани бета-зарраҳо айнан аз қайдгираки торсии Гейгер-Мюлер (расми 2.3.1.) истифода мебаранд. Аз хусусиятҳои дар боло қайдшуда маълум аст, ки вобаста ба ҳамтаъсироти бета-зарраҳо бо мода, муайян кардани самаранокии дастгоҳ нисбати бақайдгирии алфа-зарраҳо хеле мураккаб мебошад. Дар намуди умумӣ

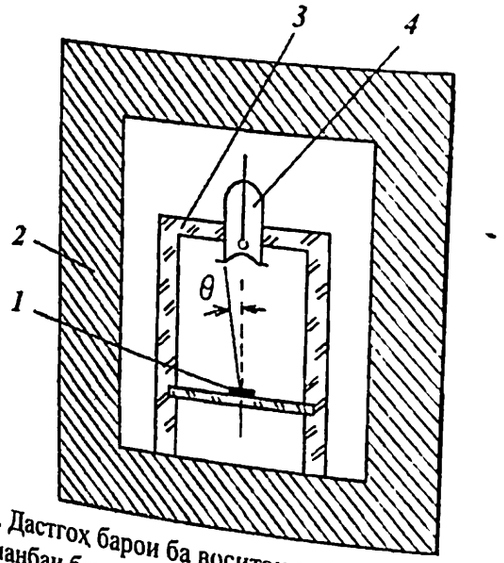
$$\varepsilon = \varepsilon_1 G f_u f_\rho f_o, \qquad (2.3.1.)$$

Дар инҷо f_0-зарибе, ки фурӯбурд ва пареши бета-зарраро дар тирезачаи қайдгирак ва дар фазои байни манба ва қайдгиракро ба назар мегирад, қимати бузургиҳои боқимонда монанди алфа-зарра буда, аммо онҳоро ба таври дигар муайян мекунанд.

Омили геометрӣ барои манбаи нуқтагӣ

$$G = (1 - \cos\theta)/2, \qquad (2.3.2.)$$

(нигаред ба расми (2.3.1.))



Расми 2.3.1. Дастгоҳ барои ба воситаи қайдгираки торсӣ чен кардан. 1-манбаи бета-зарраҳо; 2-ҳимояи сурбӣ; 3-сутун аз плексиглас; 4-қайдгираки бета-торсӣ.

Барои манбаҳои ғайринуқтавӣ, ки радиусашон r нисбати масофаи байни манба ва қайдгирак d бисёр кам аст:

$$G = \{1 - \cos\theta[1 + (3r^2/2d^2)\,(\sin 2\theta/4)^2]\}/2 \qquad (2.3.2.)$$

Барои он, ки бо ин формула натиҷаи дуруст ҳосил кунем, бояд шароити вайроншавии майдони электрикиро дар назди тирезачаи қайдгирак ва имконияти гузариши электронҳо дар газ қайдгирак баъзе порчаи хурдтарини дав барои пайдошавии импулси электрикиро ба назар гирем. Ҳардуи ин омилҳо ба назар гирифта мешаванд, ҳангоми муайян кардани кунҷи θ: тирезачаи ҳақиқии қайдгиракро нагирифта, балки арзи қайдгиракро мегиранд, ки дар масофаи 4-5 мм аз тирезача дур ҷойгир мебошад.

Ҳамин тавр, барои алфа-зарра дар бисёр ҳолатҳо $\varepsilon_g = 1$ аст. Бо вуҷуди ин, аз сабаби кам будани зичии ионизатсия баъзе бета-зарраҳо, ки ба ҳаҷми ҳиссиёти қайдгирак медаванд, порчаи хурди давро доранд, дорои энергияе мебошанд, ки ягон ҷуфти ионҳоро ба амал намеоваранд, эҳтимолияти назаррас доранд. Дар қайдгиракҳо бо фишори пасти омехтаи газҳо ин таъсирот назаррас мебошад.

Бинобар ин дар намуди умумӣ ҳангоми ченкунии комилан дақиқ дар асоси натиҷаҳои зичии ионизатсия қимати ε_g–ро баҳо медиҳанд, ки якчанд маротиба аз як хурд аст.

Ҳангоми муайян кардани зариби f_u на танҳо фурӯбурд ва инчунин пареши бета-зарраро дар манба бояд ба назар гирифт. Ин ду омил ба равиши муқобил таъсир мекунанд: фурӯбурд дар манба адади ҳисобро дар қайдгирак кам мекунад ва пареши электронҳо адади ҳисобро зиёд мекунад, барои он ки электронҳое пареш мешаванд, ки ба равиши қабат парвоз мекунанд. Дар қабатҳои нафис таъсири пареш ҷуброн мешавад ё ин ки ба таъсири фурӯбард табдил меёбад, бо вуҷуди ин бо афзудани ғафсии манба фурӯбурд бартарӣ дорад. Бузургии f_u аз ғафсии манба энергияи бета-зарра ва рақами атомии мода Z вобаста мебошад. Барои қимати миёнаи z ва ғафсии манба тартиби 1/20 бузургии дав зариби f_u хеле наздик ба як аст. Дар ҳолатҳои боқимонда қимати зариби f_u аз ҳама беҳтар амалӣ мешаванд, ҳангоми тайёр кардани манбаи ғафсиашон гуногун ва имтидод кардани суръати ҳисобу хос, яъне нисбати суръати ҳисоб ба ғафсии қабат (дар мг/см^2) ба сифри ғафсӣ. Бо вуҷуди ин, аз хусусияти вобастагии ғайримонотонӣ f_u аз ғафсии қабати эътиборнок хатогии пайдошуда на он қадар калон то 20% ба ислоҳоти дохилшуда мерасад, яъне фарқаш аз f_u дар як аст. Зариби f_p ба миқдори импулсҳои бақайдгирифташуда бо таҳлавҳа ва бетаҳлавҳа баробар буда, метавонад қимати 1 ё 2 гирад, вобаста ба ғафсӣ ва рақами тартиби атомии маводи таҳлавҳа. Мавод ва ғафсии онро тағйир дода, қимати онро дар амалия муайян кардан осон аст. Истифодабарии таҳлавҳаҳои ғафс аз маводҳои вазнин метавонад ба афзоиши суръати ҳисоб то 50-60% биёранд. Инчунин истифодабарии мавод бо Z хурд, ҳангоми ғафсии таҳлавҳа хурд аз $^1/_5$ будан, афзалияти бештар дорад ва дави электронҳо бо энергияи калонтарин ба ислоҳоти хеле хурд меоварад. Аз ин андешаҳо маълум мешавад, ки манбаро дар қаъри “хоначаи” ҳимоявӣ мондан лозим нест, онро аз сатҳи сурб дар масофаи якчанд см дуртар мондан лозим аст. Пареши электронҳо аз қаър ва деворҳои хоначаи ҳимоявӣ ба бузургии назарнораси хеле хурд ҳисобидан мумкин аст, агар дохили хоначаи ҳимоявӣ ва ҳамаи қисмҳои қабати модаи хурди Z пӯшонида шавад

ва онҳоро аз хати сайри электронҳо дуртар аз манба ва қайдгирак гузоштан лозим мебошад.

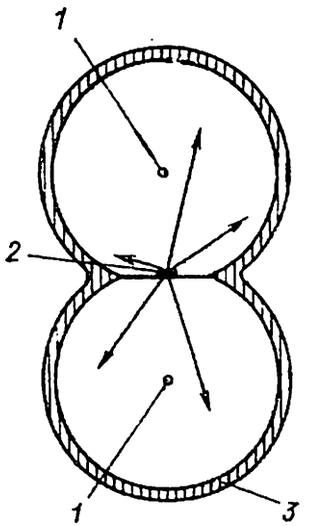
Бузургии охирони зариби f_o –ро дар формулаи 2.3.1. аз таҷриба муайян мекунанд. Байни манба ва қайдгирак варақаи алюминийи ғафсиаш гуногунро мегузоранд (дар алюминий, абрақ ва ҳаво зарибҳои қайдгиракро аз ғафсии умуми мавод (дар мг/см^2) мекашанд. Бузургии f_o аз энергияи электронҳо бештар вобастагӣ дорад. Ҳамин пас натиҷаҳои гирифташударо ба ғафсии сифр имтидод мекунанд. тавр, тиреза аз абраки ғафсиаш 3мг/см^2 қариб 7% зарраро бо МэВ фурӯ мебарад. Агар ислоҳот дар фурӯбурд хеле калон бошд, энергияи калонтарини бета-спектри 1 МэВ ва 30% дар энергияи 0,3 он гоҳ маълум мешавад, ки муайян кардани қимати f_o бо усули имтидоди имконнопазир аст. Пареш дар ҳаво дар масофаи байни манба ва тирезаи қайдгирак тартиби якчанд сантиметр, барои энергияи хурди бета-зарраҳо мумкин адади ҳисоб то 5% афзояд. Ислоҳоти мувофикро ёфтан мумкин аст, агар ҳаворо аз хонача кашида барорем ё ин ки масофаи байни манба ва қайдгиракро тағйир диҳем. Он гоҳ қимати ε ҳангоми қайдгирии бета-зарраҳо дар геометрияи кунҷи ҷисмии хурд бо назардошти ҳамаи омилҳои дар бало зикршуда маълум шуд, ки тартиби 0,03 ташкил мекунад. Аз сабаби адади калони ислоҳот, ки аксарияташон бо аниқии калон нокифоя мебошанд, хатогии умумии хеле калон ҳосил мешавад, ба 5-10% мерасад, дар баъзе шароити хубтарин онро то 2-3% кам кардан мумкин аст. Бинобар ин усули кунҷи ҷисмӣ хурдро аксар вақт барои ченкуниҳои нисбӣ истифода мебаранд.

4πбета -қайдгиракҳо. Барои ченкардани фаъолияти бета-манбаҳо усули 4π–геометрия хеле самараноктар мебошад, зеро он имконият медиҳад, ки дохил кардани ислоҳотҳои хеле мушкили муайяншавандаро хориҷ кунем. 4π-геометрия ҳангоми ҷойгир кардани бета-манба байни ду қайдгиракҳои мутаносибӣ ва синтиллатсионӣ ё нимноқилӣ (расми 2.3.2.) истифода мешавад, ки зарибҳои ислоҳоти f_u ва f_p фурӯбурди бета-зарра дар онҳо калон набошад (пареши бета-зарра дар маводи манба ва таҳлавҳа дар 4π бета-қайдгирак назарнорас аст). Ғайр аз ин имконияти аниқ ҳисоб

кардани G нест, ки масалан баробари як ҳисобида, инчунин зариби f_o–ро ёбанд. Дар натиҷа муайян кардани ε хеле осонтар мешавад:

$$\varepsilon = \varepsilon_g f_u f_p, \qquad (2.3.3.)$$

Бузургиҳое, ки дар ин формула дохил мешаванд, бисёр осон аст ва онҳоро бо саҳеҳи калон нисбати ҳолати гузашта муайян кардан мумкин аст. Дар ҷамъ маълум мешавад, ки ε ба як наздик аст.



Расми 2.3.2. Реҷаи 4π–қайдгираки мутаносибӣ:
1-риштаи қайдгирак; 2-манба; 3-тана.

Хатогӣ ҳангоми муайян кардани фаъолият асосан ба адади импулсҳои бақайдгирифташуда бо хориҷ кардани фон, ислоҳот бо вақти карахтӣ ва инчунин хатогӣ ҳангоми муайян кардани зарибҳои f_u ва f_p алоқаманд мебошад. Дар ҷамъ хатогиро то 0,3-0,5% кам кардан мумкин аст.

Бояд қайд кард, ки дар ченкунӣ 4π-геометрия истифодабарии қайдгиракҳои синтиллтсионӣ ба ҷои мутаносибӣ нисбати сохтори ҷамъкунӣ хеле қулайтар аст, бо вуҷуди ин аз сабаби зинаи баланди энергиявӣ ин гуна қайдгиракҳо бузурги ε_g барои бета-зарраи энергияи хурд метавонад то сифр паст равад.

Дохил кардани бета-модаи фаъол дар ҷисми корӣ қайдгирак. Агар модаи радиофаъол дар ягон газ ҷойгир бошад, масалан, дар ҳаво, онгоҳ ҳангоми ин газро ба камераи ионизатсионӣ дохил кардан фаъолияти онро муайян кардан осон аст. Ҳамин тавр, аз ҷумла, таркиби изотопи радиофаъоли С-14–ро дар гази ангедриди карбон муайян мекунанд. Ба ин монанд дар дозасанҷӣ барои назорати бефосила таркиби модаҳои радиофаъол дар ҳавои ҷои корӣ муайян мекунанд. Асосан самаранокии ин усулро барои бақайдгирии бета-зарраҳои энергияшон хурд истифода мебаранд. Айнан ин гуна хориҷкунии бета-зарраи энергияи хурд тритий мебошад, ки сарҳади болоии спектри бета-зарра дар энергияи 18,5 кэВ мехобад. Ин энергия ба дави электрон дар абрак мувофиқат мекунад, танҳо баробари 0,7 мг/см^2, онгоҳ монанди даричаи бета-қайдгиракҳои стандартӣ дорои ғафсии тартиби 2-3 мг/см^2 мебошад. Равшан аст, ки бета-зарраҳоро бо ин энергияи хурд чен кардан мумкин аст, танҳо ба шарте, ки ба ҳаҷми кории камера ё қайдгиракҳо (айнан сӯроҳдор) модаи бета-фаъол дохил кунем. Дар энергияи хеле хурд шароите муҳайё кардан мушкил нест, ки ҳамаи дави электрон дар гази қайдгирак хоб равад ин иммуҳити гази қайдгирак ҳисобидан мумкин аст, ки:

$$\varepsilon = \varepsilon_g \cdot G \cdot f_1 \cdot f_2 \dots f_n, \qquad (2.3.4.)$$

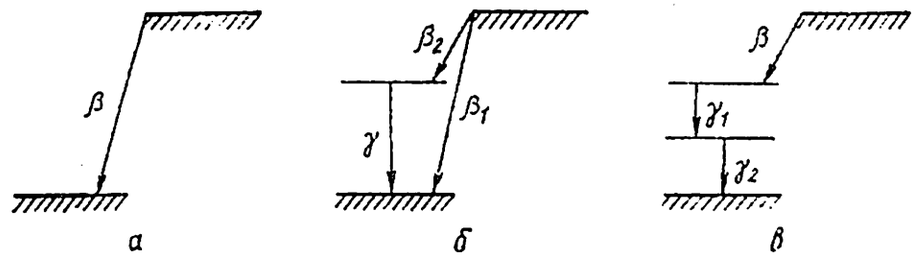
коният диҳад бета-зарраҳоро бо амплитудаи импулсҳои электрикиашон чен кунем. Ҳангоми дохил кардани бета-афканиш дар

f-равшанӣ ба самаранокии хусусии қайдгиракҳои навъи гуногун. Қимати ҳамаи зарибҳо баробарии як, ғайри якчанд ислоҳоте, ки ба бузургии самаранокии ҳаҷми кории қайдгирак ва таъсири девории онҳо дохил мекунанд. Агар модаи бета-фаъолро ба намуди маҳлул ба синтиллатори моеъ дохил кунанд, ин ҷамъшавандаҳо ҳам ба як майл мекунанд, аз тарафи дигар ҳангоми модаи дохилкардаро ба девори қайдгирак ҷабидан ва ҳисоб кардани электронҳои энергияшон хурд ислоҳот пайдо мешавад. Яке аз охиронҳоро ҳангоми дохил кардан ва хеле омехта кардани модан маҳлулшаванда ба таври қатъи кам кардан мумкин аст. Ба пуррагӣ хатогии ингуна ченкуниҳо маълум аст, он ба тартиби 1-2% баробар мебошад.

Усули бета-гамма мувофиқӣ. Ин усулро истифода бурдан мумкин аст, агар бета-коҳишро иловашавии гамма-квантҳо ҳамроҳӣ кунанд. Барои муайян кардани фаъолият формулаи

$$\Phi = a_\beta a_\gamma / a_{\beta\gamma}, \qquad (2.3.5.)$$

вобаста ба истифодабарии реҷаи оддии бета-коҳиш (расми 2.3.3.а) дар расм нишон дода шудааст.



Расми 2.3.3. Реҷаҳои гуногуни бета-коҳиш

Дар дигар мавридҳо ба онҳо ислоҳот дароварда мешавад. Бо сифати мисол бета-коҳиши дигар гирехҳоро β_1 ва β_2 (нигаред ба расми 2.3.3.б) бо эҳтимолиятҳои нисбии ω_1 ва $\omega_2(\omega_1+\omega_2=1)$ истифода мебаранд. Дар ин маврид:

$$\alpha_\beta = (\omega_1 \varepsilon_{\beta_1} + \omega_2 \varepsilon_{\beta_2}) \Phi, \qquad (2.3.6.)$$

$$\varepsilon_\gamma = \omega_2 \varepsilon_\gamma \Phi, \qquad (2.3.7.)$$

$$\alpha_{\beta\gamma} = \omega_2 \varepsilon_{\beta_2} \varepsilon_\gamma \Phi, \qquad (2.3.8.)$$

ва

$$\alpha_\beta \cdot \alpha_\gamma / \alpha_{\beta\gamma} = (\omega_1 \varepsilon_{\beta_1} / \varepsilon_{\beta_2} + \omega_2) \Phi, \qquad (2.3.9.)$$

Ҳангоми баҳодиҳии қиматҳои мутлақи самаранокӣ ε_β ва ε_{β_2} метавонад пайдо шавад, чи тавре, ки дар боло ишора кардем, хатогии назаррасро бояд ба эътибор гирифт. Бинобар ин, бо мақсад мувофиқ барои бета-зарраҳо 4π–бета қайдгиракро истифода мебаранд. Дар ин маврид $\varepsilon_{\beta_1} = \varepsilon_{\beta_2} = 1$ ва формулаи (2.3.9) ба формулаи хеле оддӣ (2.3.5) табдил меёбад. Монанд ба ин, имконияти ҳисоби ислоҳот барои дигар реҷаи коҳиш ва инчунин ислоҳот дар ченаки охирини манба, аз тарафи дигар 4π бета – қайдгирак барои

бақайдгирии бета-заррахо имконият медиҳад, ки формулаи ҳисоби оддиро ҳосил карда, натиҷаҳои дастрасро пайдо намоем. Хатогии умумии чен кардани фаъолияти бета-манбаҳо бо усули 4π бета – гамма – мувофиқӣ айнан 0,2-0,5% -ро ташкил мекунад.

2.4. БЕТА – АФКАНИШОТ

Беҳтарин синтиллаторҳоеро, ки аксар вақт барои қайдгирии бета-заррахо ва электронҳои конверсионӣ истифода мебаранд, антрасен, стилбен ва баъзе синтиллаторҳои пластмассӣ мебошанд, аммо антрасен дорои баромади рӯшноии хурд мебошад. Ҳангоми муқоиса кардани синтиллаторҳои ғайриорганикии маълум, синтиллаторҳо бо фосфорҳои органикӣ бартариҳо доранд, вобаста ба қимати хурди Z, пареш аз кристалл ба берун ва он қадар калон нестанд, ғайр аз он тафриқаашон бад ва камёфт мебошанд. Самараноки бақайдгирии электронҳо амалан баробари 100% аст, бинобарин зардошти соҳаи энергияи хурд, вақте ки электрон нисбатан наметавонанд, қабати ғайри ҳиссиётро бартараф кунад. Барои кристаллҳои ғафсиашон якчанд миллиметр аллакай самаранокии қайдгирии гамма-квантҳоро, ки ба таъсири комптонӣ вобаста аст, ба эътибор нагирифтан мумкин аст, агар барои фурӯбурди ҳаман электронҳо полояро аз берилий ва карбони хеле ғафс истифода барем. Вобастагӣ байни энергияи электронҳо ва бузургии импулсҳо барои энергияи калон аз 125 кэВ хаттӣ мебошад; ҳангоми имтидод хати рост тири энергиявиро дар ҳудуди 10-30 кэВ вобаста аз навъи синтиллатор бурида мегузарад.

Истифодабарии дастаи электронҳои коллиматсияшуда нисбати гамма-квантҳо қимати зиёди назаррас дорад; коллиматсияи нагз якчанд маротиба пареши электронҳоро аз синтиллатор кам мекунад. шакли кулла барои электронҳои энергияшон якхела пайвастунии Гаусро дорад ва вобастагии нимвасеъгӣ W аз энергия E тавассуби зеринро медиҳад:

$$W^2 = a + b/E.$$

Дар инҷо $a \ll b$. Айнан бузургии тафриқа 13% -ро дар $E=662кэВ$ ташкил мекунад ва дар энергияи хеле калонтар бо E мутаносиб тағир меёбад.

Барои бартараф кардани пареши электронҳо аз синтиллатор ҳангоми истифода бурдан дастгоҳҳои ҳиллагӣ, аз ҷумла истифода бурдани кристалл бо суроҳӣ ё ин ки ковокӣро бояд ба назар гирифт. Бо вуҷуди ин, онҳоро амалан на танҳо ҳама вақт истифода мебаранд, барои он, ки дар ин ҳолат барои бовариноқ муайян кардани гамма-фон ҳатман бояд бо модаҳои якхелаи фурӯбаранда кор кард.

Вобаста ба самаранокии баланди қайдгирии электронҳо вазифаи таъсири умумии афканишоти каскадӣ меафзояд; бо он тарзҳое, ки ҳангоми бақайдгирии гамма-квантҳо бо ёрдами кристаллҳои ғайриорганикӣ ин таъсирҳоро бо қимати хурдтарин овардан мумкин аст. Ҳангоми омӯхтани спектрҳои позитронҳо вазъият хеле мураккаб мешавад, барои он, ки ҳангоми сустшавии позитронҳо дар кристалл ду гамма-квант пайдо мешавад, ки раванди ҷамъшавӣ ҷой дорад. Дар усули спектрометри секристаллӣ таъсири ҷамъкунии номатлуб хориҷ мешавад, барои он, ки кристалли органикии марказӣ танҳо он позитронҳоеро, ки илова мешаванд, ба қайд мегирад. Барои бақайдгирии гамма-квантҳо ду кристалли дилхоҳи канориро (дар ин маврид, ба мақсад мувофиқ кристалли $NaJC(Tl)$ истифода бурдан мумкин аст. Ин усулро барои тадқиқоти спектри интенсивнокиаш хурди гурӯҳи позитронҳо бо иловашудани дигар афканишотҳое, ки интенсивияташон калонтар мебошад, истифода бурдан мумкин аст.

Дар ҷадвали 2.4.1. рӯйхати изотопҳое оварда шудааст, ки барои дараҷабандӣ истифодашаванда мебошанд. Байни усулҳои гуфташуда дараҷабандӣ фарқияти ҷиддӣ дорад: дар ҳолати якум электронҳоеро истифода мебаранд, ки дар дохили кристалл пайдо мешаванд; дар дутои дигар – электронҳо аз берун меоянд, ва онҳо метавонанд дар ҳаво, дар бандубаст дар сатҳи ғайриҳиссиётии қабати кристалл ва ғайраҳо фурӯ раванд.

Энергияи максималии бета-спектрҳоро аз графики Ферми-Кюрӣ муайян кардан мумкин аст. Тарзи ҳисоби онҳо аз коркарди спектрҳо ё ки бо спектрометри магнити ченшаванда якчанд маротиба фарқ мекунанд, вақте ки адади сарҳисоби бақайдгирӣ барои фосилаи импулсҳои электронҳои сабт шудааст.

Ҷадвали 2.4.1.

Изотопҳое, ки барои дарҷабандӣ истифода мебаранд (фосфорҳои органикӣ)

Изотопҳо	Даври нимкоҳиш	Энергияи электронҳои комптонӣ ва бета-зарраҳо, кэВ	Эзоҳ*
P -32	14.3 рӯз	17,12	В
Cu -62	10 дақиқа	2920	а,б
Zn -63	38 дақиқа	2336	а,б
Ga -66	9.5 соат	4166	г
Sr -89	50 рӯз	1463	г, д
Y -90	64 соат	2270	е
In -114m	50 рӯз	175	ж
Ba -137m	2.6 дақиқа	624	з
Bi -207	27 сол	482	з
		976	з

*-ҳамаи афканишоти позитронҳо пайдо мешаванд, ҳангоми маҳвиши афканишот дар фосфор;

а. гурӯҳи иловагии бета-зарраҳо мавҷуданд;

б. иловашавии гамма-квант вуҷуд дорад;

в. агар изотопи ченшаванда бо Zn -62 ($T_{1/2}$=9.3 соат) дар ҳолати мувозинатӣ бошад, он гоҳ шарти "а" ва "б" иҷро мешавад;

г. беҳамтоии спектри тартиби якум маънъ аст.

д. агар позитрон бо Sr -90 (28 сол) дар мувозинат бошад, он гоҳ шарти "а" иҷрошаванда аст.

е. дар иловагии (фони) пуркувват бета-зарраҳо бо энергияи 1984 кэВ ба қайд гирифта мешавад.

ж. агар изотоп бо Cs -137 (26,6 сол) дар мувозинат бошад, онгоҳ электронҳои конверсионӣ дар фони бета-зарраҳо ба қайд гирифта мешавад; Барои ҷудо кардани қуллаҳои яктогӣ дар ин маврид, бояд мувофиқӣ бо К-квантҳои рентгенӣ иҷро шавад.

з. Барои ҷудо кардани хатҳои яктой бояд мувофиқой бо гамма-квантҳо бо энергияи 1064 ё ин ки 569 кэВ иҷрошаванда бошад.

Барои бета-қайдгиракҳои синтиллатсионӣ бо доимӣ будани вақти канали таҳлилкунак, адади ҳисобҳо ба EN/p мутаносиб аст, дар инҷо E ва P ба энергия ва импулси электрон мувофиқат мекунад, N–адади электронҳо дар фосилаи доимии импулсҳо аз назарияи таҳлилии Фермӣ-Кюрӣ. Барои ҳосил кардани вобастагии оддии хаттӣ аз энергия бузургии $(N/J)^{1/2}$ (J-функсияи Фермӣ)-ро донистан зарур аст. Дар асоси бад будани тафриқа дар графики Фермӣ-Кюрӣ дар наздикии энергияи калонтарин баҳисобгирии фон лозим аст. Ислоҳот дар тафриқаро барои усули стандартӣ бо чен кардани васеъгии қуллаҳои электронҳои энергияшон якхела дохил мекунанд. Ингуна қуллаҳо шакли Гауссро дошта, аз рӯйи фони энергияи хурд, ки давомнокиашон бо тақсимшавии калонтарин якчанд фоизро аз баландии қулла ташкил мекунад,ёфта шудааст.

Дар шароити оддӣ графики Фермӣ-Кюрӣ хати ростро ташкил мекунад, ҳатто бе ислоҳот дар тафриқаи энергияи максималӣ. Истифодабарии ин гуна манбаҳо бо таҳлилҳои нафис дар якчоягӣ бо меъёри махсус барои бартараф кардани пареш ва дохил намудани ислоҳоти мувофиқ ба тафриқаи бад, мумкин ба он оварад, ки қисми ростхаттаи графики Фермӣ-Кюрӣ аз 200 ё, ки ҳато аз 100 КэВ сар мешавад.

2.5. ЧЕН КАРДАНИ ТАВСИФҲОИ БЕТА–АФКАНИШОТ

Барои он, ки энергияи пурраи реҷаи коҳишро муайян кунем, бояд тақсимшавии энергиявии бета-зарраҳоро (электронҳо ё инки позитронҳоро) чен кунем. Мақсади чен кардани бета-спектр дар он аст, ки бояд албатта энергияи сарҳадӣ ва интенсивияти нисбии якчанд гурӯҳи бета-зарраҳои мавҷударо муайян кунем. Таҳлили бета-спектр дар натиҷаи муқоиса кардани натиҷаҳои ченшуда ва аз назарияи бета-коҳиш муайяншуда гузаронида мешавад.

Аз нуқтаи назари он, ки спектри бета-афканишоти мода, ки ягона гурӯҳи бета-зарраҳоро хориҷ мекунад, аз энергияи калонтарини E_0 то энергияи хурд давом дорад. Дар коҳиш аксар вақт якчанд гурӯҳи бета-зарраҳо хориҷ мешаванд, фаҳмост, ки муайян кардани ин гурӯҳҳо ба таҳлили тақсимшавии спектралӣ алоқаманд аст. Бо ин сабаб бояд нисбати усули гузаронидани таҷриба барои боварӣ ба вайроншавии спектр роҳ надодан эҳтиёт кор кардан зарур аст. Бисёртар вайроншавии ҷиддӣ дар соҳаи энергияи хурд

пайдо мешавад; инро таъсири таҳлавҳаи манба, ғафсии охирони манба ва тирезачаи қайдгирак ба вуҷуд меорад. Вайроншавӣ метавонад дар соҳаи энергияи сарҳадӣ пайдо шавад, агар ислоҳотро ба қобилияти тафриқаи асбоб дуруст аз рӯи қоида дохил накунанд. Манба вобаста ба имконият бояд ғафсии хурдтарин дошта бошад, барои он, ки ҳангоми гузариши электронҳо аз мода, онҳо ба пареш дучор шуда, энергияшонро сарф мекунанд. Масъалан тайёр кардани манбаҳои нафис яке аз муаммои аввалиндараҷа мебошад. Яке аз тарзҳои беҳтарини тайёр кардани манбаҳои нафис ва якчинса – дар ваккум ба варақаи нафиси алюминий буғ кардан мебошад. Ин тарзи тайёр кардан бо сарфи хеле зиёди модаи радиофаъол мегузарад, аммо агар манба фаъолияти кифоя дошта бошад, ва агар дар маҷмӯи пайвастагиҳои химиявӣ коршоям бошад, онгоҳ манбаҳои нафисро тайёр кардани мумкин аст.

Дар баъзе маврид ҷойгиркунии манба бо роҳи электролиз ба даст оварда мешавад. Азбаски ба таври электролитӣ ҷо ба ҷо кардани манба дар алюминий умуман номумкин аст, бинобар ин барои ичрои ин мақсад металҳои вазнин, ба монанди мис истифода мешаванд. Дар бисёр мавридҳо манбаҳоро бояд ба лавҳаи тунуки ҷангзада бо роҳи буғронии маҳлулҳо пӯшонидан лозим аст. Дар ин ҳолат қабати ғайриякчинса бо ҷамъшавии хеле зиёди мода дар қитъаҳои алоҳида ҳосил мешавад.

Лангер нишон дод, ки аз ин таъсиротҳо пурра халос шудан мумкин аст, агар пешакӣ дар таҳлавҳаи манба қабати тунуки инсулин пӯшонида шавад. Аксар вақтҳо манбаҳои сахтро, ки дар натиҷаи такшониши мода аз маҳлул пайдо мешавад, истифода мебаранд. Дар ин мавридҳо манба бояд хуб заминвасл карда шуда бошад ва таҳлавҳаи нафисӣ бо қатраи ҷанги лок маҳкам бошад.

Ғафсии калонтарини манба, ки кор кардан мумкин аст, аз набъи спектри ченшаванда вобаста аст. Қоидаи умуми муҳимтар дар он аст, ки чи қадаре, ки имконият бошад бояд манбаи ниҳоят нафис ва якчинсаро тайёр намоем. Дар замони ҳозира манбаҳои ғафсиашон на калон аз 1 мкг/см^2 истифода мешавад.

Таҳлавҳаи манбаҳо бояд хеле нафис бошанд, то ки аз пареши баръакси электронҳо халос шавем. Дар аксар ҳолатҳо лавҳаи нафисро аз ҷангаки Формвар ё ин, ки LC600 истифода мебаранд. Варақаи нафиси алюминийро ки ғафсиаш 0,005мм аст, бо осонӣ

ҳосил мекунанд, ҳангоми манбаро бо роҳи буғшави пӯшонидан. Ошкор карда шуд, ки ҷангаки (қапон), формвар ва ғайраҳо – изолятсияи хеле хуб ва ғунҷоиши электрикии манба хурд мебошанд, он гоҳ намунаи фаъолияташ калон метавонад то якчанд киловолт нисбати камераи беҳаво (вакумӣ) заряднок шавад. Ин гуна зарядшавии манба метавонад ба шакли спектр таъсир расонад. Барои аз ин халосӣ ёфтан, манбаро ба камераи вакуумии электрикӣ пайваст кардан мумкин аст, ба лавҳа хати нафиси графити калондӣ мегузаронанд, ки васли қабатро бо нигоҳдораки манба таъмин мекунад (аквадог – суспензияи графитро дар об, барои ба вуҷуд овардани хати нафиси лавҳа дар сатҳҳои даруни асбобҳои электровакуумӣ истифода мебаранд).

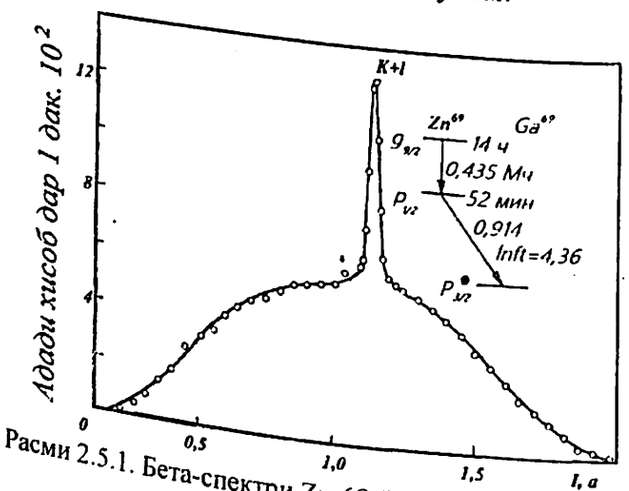
Агар қайдгираки зарраҳо қайдгираки Гейгер-Мюллер бошад, онгоҳ тирезачаи он ҳам бояд нафис бошад. Ғафсии охирони тирезача ба он меоварад, ки як қисми электронҳо ба қайдгирак намеафтанд. Кам ҳолатҳое мешавад, ки тирезачаро аз алюминий ё ин, ки аз абрақ тайёр кунанд, ки электронҳои энергияшон хурд аз 50 кэВ-ро гузаронад. Барои гузаронидани электронҳои энергияшон хурд, навори нафис аз сапон ё формвар тайёр кардан мумкин аст. Ин гуна наворҳо дорои тур мебошанд, метавонанд электронҳои энергияшон хурд аз 1 кэВ-ро гузаронанд. Қимати овардашуда - энергияи "зинагӣ" ба ғафсии тирезача мувофиқ меояд, ки аз он ягон электрон ба энергияи кам аз Е намегузарад. Гузаронандагии ин тирезача меафзояд бо афзоиши энергияи электронҳо то ҳудуди қимати 100%. Ҳамин тавр, ғафсии тиреза ба шакли спектр то худи расидан ба гузаронандаги калонтарин таъсир мерасонад.

Қоидаи таҷрибавии хуб вуҷуд дорад ва ба он меоварад, ки ғафсии охирноки тиреза ба шакли спектр таъсир карданро бас мекунад, ин аз энергияе сар мешавад, ки чор маротиба аз қимати зинагии он зиёдтар аст.

Солҳои охир қайдгиракҳои мутаносибиро истифода мебурдагӣ шуданд: маълум шуд, ки ин ҳисобгиракҳо нисбати қайдгираки Гейгер-Мюлер хеле боваринок мебошанд. Инчунин кайдгиракҳои синтиллат-сионро истифода бурдан мумкин аст, бо вуҷуди ин ба воситаи онҳо нати-ҷаҳон хубро дар соҳаи энергияи хурд аз 100 кэВ ҳосил кардан мумкин нест.

Чен кардани спектр. Меъёри бехатариро риоя намуда, манбаро дар спектрнигор ҷойгир мекунанд ва адади сарҳисоби қайдгиракро дар воҳиди вақт барои қиматҳои гуногуни майдони магнитӣ муайян мекунанд. Баъди дохил кардани ислоҳот ба коҳиш, графики вобастагии адади сарҳисоб дар дақиқа аз қимати майдони магнитиро месозем. Ба ин монанд дар расми 2.5.1. хати каҷе оварда шудааст, ки дар асоси чен кардан бо спектрнигори линзагии магнитӣ гирифта шудааст; ин майдон ба ҷараён мутаносиб буда, тафриқа тахминан баробари 3%-ро дорад. График фаҳмиши шакли спектрро медиҳад. Инчунин хати дохили конверсияи гамма-квантҳо бо энергияи 0,435 МэВ дида мешавад. Спектр танҳо аз як гурӯҳи бета-афканишот иборат аст.

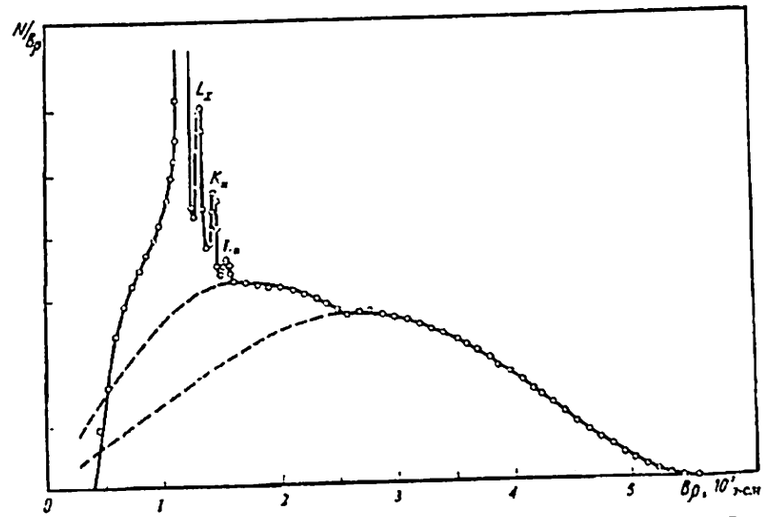
Барои он, ки дар бораи шакли спектр таҳлили назариявӣ гузаронем, зариби конверсияи дохилӣ ё ин ки интенсивнияти нисбии баъзе гурӯҳи бета-афканишотро (агар он мавҷуд бошад) бояд муайян кунем, ки барои ин лозим аст адади бета-зарраҳои дар воҳиди фосилаи импулс омадаро ҳисоб кунем. Барои ин вобастагии $N/B\rho$ аз B-ро месозем, бузургии $B\rho$-ро барои қимати саботшудан майдон аз натиҷаи дараҷабандии асбоб муайян мекунем.



Расми 2.5.1. Бета-спектри Zn-69 бо хати конверсионӣ

Ба сифати тасвири спектри мураккаб дар расми 2.5.2. графики спектри изотопи M_0-99 оварда шудааст. Дар ин график вобастагии $N/B\rho$ аз $B\rho$ сохта шудааст. Бо осонӣ дидан мумкин аст, ки спектр

аз ду бета-спектрҳои парсиалӣ иборат асту хати конверсияи дохилӣ низ дида мешавад.



Расми 2.5.2. Бета-спектри M_0-99 бо хатҳои конверсионӣ

2.6. ГРАФИКИ ФЕРМӢ. ЭНЕРГИЯИ САРҲАДӢ ВА БЕТА–СПЕКТРИ ПАРСИАЛӢ

Тақсимоти энергиявии бета-заррахо (ё ин ки позитронҳо)-ро, ки манбаҳои радиофаъол хориҷ мекунанд, аз назарияи тақсимоти энергиявӣ дида мебароем. Адади электронҳо ё позитронҳоро дар фосилаи энергияи W аз муодилаи зерин муайян мекунанд:

$$N_{\pm}(w)dwF(\pm z,w)\,pw(w_0-w)^2dwS_n(w) \qquad (2.6.1)$$

Дар инҷо PW $(W_0–W)^2$ dw– функсияи тақсимоти оморӣ, F(± Z, W)– омили Кулонӣ, S_n(W)- шакл-омил барои спектрҳои манъшуда, W-энергияи пурра дар воҳиди m_0c^2. Муодилаи (2.6.1)- ро дигаргун сохта, ҳосил мекунем.

$$[N_{\pm}(w)/F\,(\pm z,w)\,pw]^{1}/_{2} = K(w_0-w)[S_n(w)]^{1}/_{2} \qquad (2.6.2)$$

Барои спектрҳои иҷозатшуда, S_n(w)=1 аст. Бинобар ин вобастагии тарафи чапи муодилаи (2.6.2)-ро аз w сохта, дар ҳолатҳои

спектри ифозатшуда хати ростро ҳосил мекунем. Буриши ин хат бо тири w қимати w_0-ромедиҳад, яъне бузургии энергияи коҳиш дар воҳиди m_0c^2. Ҳамин тавр, қимати энергияи сарҳадиро бо мегаэлектронволтҳо баровардан мумкин аст. Ин гуна графикро графики Фермӣ ё ки графики Кюрӣ меноманд. Дар муҳокимаҳои баъдина меҳисобем, ки спектр шакли ифозатшударо дорад.

Вазифаи таҷрибакор дар асоси муодилаи (2.6.2) гузориши масъалаи ҳосилкунии натиҷаҳо дар спектрнигории магнитӣ мебошад. Бигузор дар аввал спектр оддӣ аст. Чи тавре, ки дар параграфи гузашта гуфта будем, ченкунӣ дар спектрнигор адади сарҳисобро дар дақиқа N медиҳад, ҳамчун функсия аз майдони B. Аз хати качи дараҷабандии асбоб бузургии импулс Bp (э.см)-ро муайян мекунанд, ки ба қимати додашудаи майдон мувофиқ мебошад. Адади сарҳисобҳо дар воҳиди фосилаи импулсҳо таносуби зеринро медиҳад:

$$N(\rho) = N/B\rho, \qquad (2.6.3)$$

$$P = B\rho/1700, \qquad (2.6.4)$$

Дар инҷо -дар воҳиди релятивистӣ ифода шудааст. Таносуби байни P ва W-ро аз формулаи зерин муайян мекунанд: $w = \sqrt{1+p^2}$

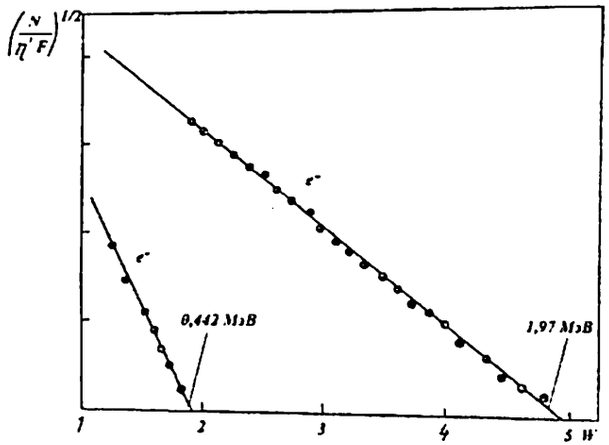
Муодилаи (2.6.1.) намуди зеринро мегирад:

$$\left.\begin{aligned} N_{\pm}(p)dp &= \frac{q^2}{2\pi^3}F(\pm z, w)p^2dp[\sqrt{1+p_0^2} - \sqrt{1+p^2}]^2 \\ N_{\pm}(p)dp &= \frac{q^2}{2\pi^3}G(\pm z, p)wpdp[\sqrt{1+p_0^2} - \sqrt{1+p^2}]^2 \end{aligned}\right\} \qquad (2.6.5)$$

Дар расми (2.6.1.) ду графики Фермӣ пешниҳод шудааст: дар он бета-спектри изотопи Cs-130 тасвир шудааст, ки ҳангоми коҳиш ёфтан элект-ронҳо ва позитронҳо хориҷ мекунанд. Инҳо спектрҳои аники ифозатшуда мебошанд. Мо мавриди як гурӯҳи бета-заррaҳоро дида баромадем.

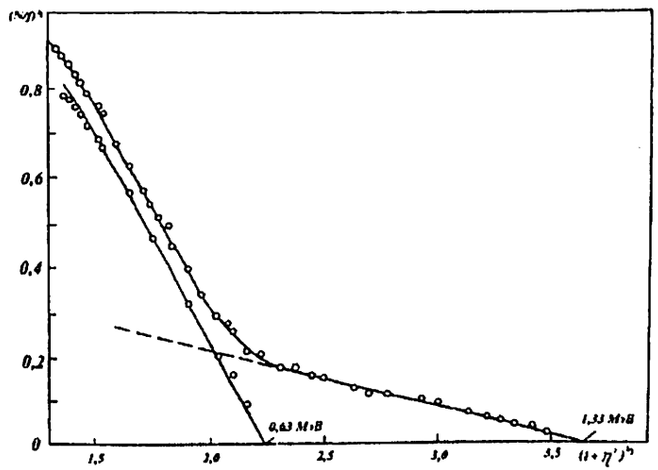
Мавриди якчанд гурӯҳи бета-заррaҳо. Дар спектр баъзе мавридҳо иловашавии якчанд гурӯҳи бета-зараҳо, ки ҳангоми сохтани вобастагии N/Bp аз Bp (нигаред ба расми 2.5.2.) ошкор мегардад, истифода мешавад. Дар аксар мавридҳо инро ифро кардан

ғайриимкон аст, зеро гурӯҳҳо танҳо ҳангоми таҳлили графики Фермӣ пайдо мешаванд.



Расми 2.6.1. Графики Фермӣ барои спектрҳои электронҳо ва позитронҳо ҳангоми коҳиши изотопи Cs-130.

Ба сифати мисол дар расми 2.6.2. графики Фермӣ барои бета-спектри W-187 бо ду гурӯҳи электронҳо оварда шудааст.



Расми 2.6.2. Графики Фермӣ барои бета-спектри W-187 бо ду гурӯҳи электронҳо.

Графики Фермӣ чи тавре, ки дар праграфи гузашта нависта будем, ҳосил карда мешавад. Вай аз сарҳади болои спектр сар мешавад. Ҳангоми ба қимати муайяни энергия расидан хати кач ба тарафи болои хати рост майл мекунад, ки ин мавчудияти гурӯҳи дуюми бета-зарраҳоро нишон медиҳад. Агар аз таҷриба адади сарҳисоб N(P) dp дар воҳиди фосилаи импулсҳо ёфта шавад, ва бузурги N(P) dp барои нуқта мувофиқ буда дар графики Фермӣ дар соҳаи энергияи калон хобад ва давомдиҳии он низ дар соҳаи энергияи хурд мехобад, он гоҳ барои фарқияти $N_2(p) = N(P) - N_1(P)$ графики нави Фермиро сохтан мумкин аст.

Графики Фермӣ барои ин фарқият дар ҳамон график нишон дода шудааст. Энергияи сарҳадӣ аз ду спектри парсиалӣ мувофиқан баробари 1,33 ва0,63 МэВ вобаста аст. Ошкор карда шуд, ки гамма-квантҳо бо энергияи 0,696 МэВ ба фарқияти энергияи сарҳадии бета-спектрҳо мувофиқ мебошад.

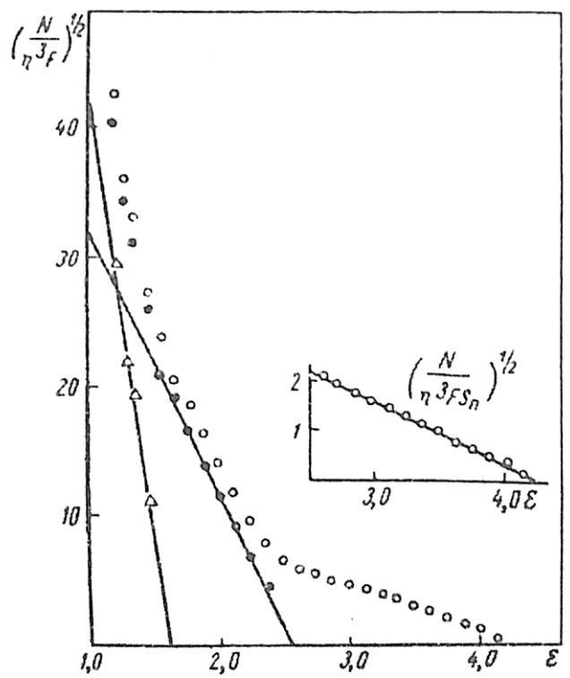
Агар дар спектр зиёда аз ду гурӯҳ бета-зарра иштирок кунад, онгоҳ спектрҳои парсиалии гуногун бо энергияи хурдтартиби такроршавӣ тафсири пешинаро мегирад. Барои спектрҳои ниҳоят мураккаб энергия сарҳадии бета-спектрҳо кам ва энергияи фосилавиро бо ин аниқӣ монанди дигар гурӯҳҳои энергияи калон бо сабабӣ гузаронидани ҳисобкуниҳои зиёд муайян кардан мумкин нест. Энергияи сарҳадии гурӯҳҳои гуногуни бета-зарраро аз энергияи савияи ядроии духтарӣ ва аз ҳолати асосии ядрои модарӣ ҳисоб карда, муайян мекунанд. Мавчудияти ин савияҳои энергиявӣ аз ченкунии энергияи гамма-квантҳо тасдиқ мешавад.

Интенсивияти нисбии гурӯҳи бета-зарраҳо. Агар якчанд гурӯҳи бета-зарраҳо маълум бошад, он гоҳ адади сарҳисобродар воҳиди фосилаи импулсҳо Ni (P) dp барои і-гурӯҳ аз якчанд графики Фермӣ муайян кардан мумкин.

Агар аз нуқтаҳои ёфташуда хати качро созем, масоҳати зери ҳар яки он Ni (P) адади бета-зарраро барои ҳар як гурӯҳ дар як коҳиш медиҳад. Аз инчо интенсивияти нисбии гурӯҳро муайян кардан мумкин аст. Интенсивияти нисбиро бо фоизҳо ифода мекунанд, нисбати адади электронҳо дар с-гурӯҳ одатан ба адади пураи электронҳои хоричшуда баробар аст.

Спектри гузаришҳои манъшуда. Тақсимоти бета-зарра-ро барои гузаришҳои манъшуда аз ифодаи (2.6.2) муайян мекунанд,

инчо $S_n(w)$- шакл-омил аз энергия вобаста мебошад. Хоричшавии гузариши радиофаъолро бо иловашавии танҳо як гурӯҳи бета-зарра мебинем. Агар шакли спектр манъшуда бошад, он гоҳ барои он графики оддии Фермӣ хати рост намешавад. Ҳангоми интихоби мувофиқӣ шакл-омили $S_n(w)$-и графики вобастагии $[N/FPW\ S_n(w)]^{1/2}$ аз W хати ростро ифода мекунад. Азбаски бузургии $[N/FPW\ S_n(w)]^{1/2}$ аллакай ба ҳисобкунӣ дохил аст, барои ҳосил кардани хати качи ислоҳшуда ба қадри кифоя ҳангоми муносибан интихоб кардани бузургӣ $[S_n(w)]^{1/2}$ онро тақсим мекунанд. Дар ҳар ҳолати муайян ҳангоми ҳали масъала онд ба интихоби шакл-омили $S_n(w)$ натичаҳои муайянии коҳиш, масалан қимати энергияи сарҳадии бета-спектрҳо ва даври нимкоҳишро истифода бурдан мумкин аст.



Расми 2.6.3. Графики Фермӣ барои спектри позитронҳои Rb-84

Ба сифати мисол, дар расми 2.6.3. графики Фермӣ барои спектри изотопи Rb-84, ки позитрон хэриҷ мекунад, оварда шудааст. Дида мешавад, ки спектри парсиалӣ бо энергияи калонтарин шакли иҷозатшударо надорад. Дар расми 2.6.3. замима мавҷуд аст, ки ин қисми спектро баъди дохил кардани ислоҳот дар шароите, ки $\Delta j=\pm 2$ ва тағйирёбии ҷуфтӣ ҷой дорад, нишон медиҳад.

2.7. МУАЙЯН КАРДАНИ ЗАРИБИ КОНВЕРСИЯИ ДОХИЛӢ

Акнун масъаларо дар бораи конверсияи дохилии электронҳо дида мебароем. Нишон дода шуда буд, ки чен кардани энергияи электронҳои конверсияи дохилӣ тасдиқи натиҷаҳои гирфташуда барои гамма-квантҳо ба фотоэлектронҳо мебошад. Мо усули муайян кардани адади электронҳои конверсиониро, ки дар як гамма-квант мувофиқ меояд муҳокима менамоем. Ин бузургиро зариби конверсияи дохилӣ меноманд ва аз таносуби зерин муайян мекунанд:

$$\alpha = N_e/N_\gamma, \qquad (2.7.1.)$$

Конверсия – ҳодисаи аз атом берун шудани яке аз электронҳо дар натиҷаи бевосита ба он гузаштани (ҷамъшавӣ ё гайбиши) энергияи ангезиши ядрои атом мебошад.

Бузургиҳое, ки назариявӣ ҳисоб кардан мумкин аст, зарибҳои a_K, a_L ва ғайраҳо, яъне зариби конверсия барои К, L-қишр ва ғайра мебошанд. (Масалан $a_K = (N_e)k/$ (N гамма). Дар таҷриба муайян кардани a_K ба фарзияте асос аст, ки Қ-ва L-хат мумкин иҷозатшуда боияи дохилиро аз гамма-хатҳои додашуда бо ин ё он роҳ бо интесивияти гамма-квантҳо муқоиса кардан мумкин аст. Бо назардошти шарти якум танҳо бояд асбобҳое истифода шаванд, ки барои ҷудо кардани К ва L-хатҳо тафриқаи хеле зиёд дошта бошанд. Ба таври ду бузургии ченшударо муқоиса карда тавонем.

Якчанд усулҳо мавҷуданд, ки онҳоро ба ин мақсадҳо истифода бурдан мумкин аст. Дар яке аз ин усулҳо дар муқоиса бо интенсивияти гамма-квантҳо одатан. адади электронҳоро чен мекунанд. Бо адади электронҳо конверсияи дохилиро, ки худи гамма-квантҳо

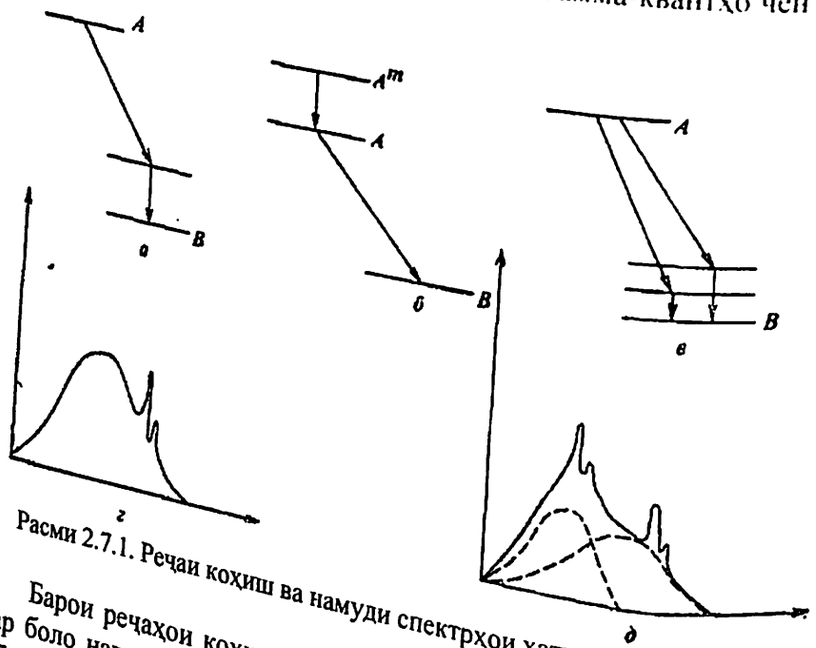
пайдо мекунанд (усули берунӣ-дохилӣ, конверсия) муайян менамоянд. Усули дуюм муайян кардани адади электронҳои конверсияи дохилӣ барои манбаи додашуда бо адади бета-зарра аст, ки худи ҳамин манба хориҷ мекунад. Усули сеюм муқоиса кардани интенсивияти афканишоти ренгенӣ бо хориҷшавӣ ва иловашавии электронҳои конверсионӣ ба интенсивияти гамма-квантҳо мебошад. Бузургиҳое, ки дар ин се усул бояд муайян шаванд, ҳамчун стандарт барои муқоисаи фаъолияти манба No мебошанд, масалан адади коҳишҳо дар сония. Ду усуле, ки дар боло нишон додем, барои истифодабарӣ дар спектрнигории магнитӣ пешбинӣ шудааст, сеюмаш барои ҳисобгиракҳои синтилатсионӣ. Аз он нуктаи назар, ки усули дуюмро бисёртар истифода мебаранд, мо онро дар марҳилаи якум менависем.

Диаграмаи речаи коҳишро дида мебароем, ки дар расми 2.7.1.а нишон дод шудааст; он дорои як гурӯҳи бета-зарраҳо буда, бо иловашавӣ ва хориҷшавии гамма-квантҳои як энергияро, ки конверсияи дохилӣ ба кор медарояд, мефаҳмонад. Спектр барои манбаи бета-зарра бо спектрнигории магнитӣ гирифта шуда, намуди ба расми 2.7.1г тасвиршударо дорад. Дида мешавад, ки К ва L қуллаҳои конверсионӣ дар бета-спектр мехобанд. Дар ин ҳолат ҳар як бета- коҳиш бо гузариши иловагӣ дучор мешавад, ки ба хориҷшавии гамма-квантҳо ё ин ки электронҳои конверсионӣ меоварад. Масоҳати зери хати качи бета-спектр баъди хориҷ кардани хатҳои конверсионӣ ба адади коҳиш дар як сония ва инчунин ба бузургии (Ne+Nгамма) мутаносиб аст. Пас адади электронҳои конверсиониро бо қимати (Ne+Nгамма) муқоиса кардан осон аст. Адади электронҳои конверсиониро барои К- қишр аз графики интегронии хатҳои конверсионӣ муайян мекунанд, яъне:

$$[\int N(p)dp]_k = (N_e)_k$$

Ҳамин тавр, қимати адади бузургиҳои (Ne)к/(Ne+Nгамма)-ро ҳосил кардан мумкин аст. Масоҳатҳои зери хати К ва L-ро муқоиса карда, инчунин бузургии (Ne)к/(Ne) L -ро ҳосил мекунанд,ки онро нисбати К/L меноманд. Чи тавре, гуфта мешавад, ин ҳолатҳо барои гузаришҳои асосӣ дар речаи коҳиши ядрои Au-198 ва Cs-137 ёфта мешавад. Равшан аст, ки ин усулро барои речаи коҳишҳои як

гурӯҳи бета-зарра бо хориҷ кардани якчанд гамма-квантҳое, ки дар як каскад бо иловашави дохил мешаванд, истифода мебаранд. Ҳамин усулро истифода бурдан мумкин дар ҳолате, ки дар расми 2.7.1.б. нишон дода шудааст; речаи коҳиш аз ду ҳолати изомери ядрои модарӣ иборат буда, илова бар ин, ҳолати энергиявии поёнӣ дорои вақти кутоҳтарини зист мебошад ва бо хориҷ кардани гурӯҳи ягонаи бета-зарра алоқаманд аст. Дар таҷриба вобаста ба гузариши изомерӣ зариби конверсияи дохилиро барои гамма-квантҳо чен мекунанд.



Расми 2.7.1. Речаи коҳиш ва намуди спектрҳои хатҳои конверсионӣ.

Барои речаҳои коҳиши мураккабтар истифодабарии усуле, ки дар боло навиштем, мушкилтар мебошад. Дар расмҳои 2.7.1.а. ва 2.7.1.г. ҳолати ду гурӯҳи бета-афканишот тасвир ёфтааст, ки бо иловашавии гамма-квантҳои энергияашон гуногуни конверсионӣ зарраҳоро гирифтан мумкин аст, он гоҳ ба осонӣ зарибӣ $a_к$-ро барои ҳар як хати гамма муайян мекунанд. Ҳангоми тадқиқоти ҳолатҳои мушкил речаи коҳишро донистан шарт аст.

Акнун усули дохилӣ-берунӣ конверсияро менависем. Онҳо бо спектрометрҳои якхела чен кардани интенсивияти гамма-квантҳо

(аз таъсири электрикӣ ё аз таъсири фотоэлектрикӣ) ва электронҳои конверсияи дохилӣ барои мадори муайян асос ёфтаанд. Фаҳмост, ки ин ба усули муқоисаи байни манбаи фотоэлектронҳо бо манбае, ки электронҳои конверсияи дохилиро хориҷ мекунад, дахл дорад. Гоҳе манбаҳои якхеларо истифода бурдан мумкин аст.

Варианти усули конверсияи дохилӣ-берунӣ аз ҳамдигар бо чунин ҷузъиётҳо фарқ мекунад. Яке аз усулҳоеро, ки Хелдберг истифода бурд менависем. Фарз кунем, ки зариби К-конверсияҳо барои баъзе гамма-хатҳои муайян чен кардан лозим бошад. Адади фотоэлектронҳо, ки аз манбаи додашуда ба қайд мегирем, бо формулаи зерин ифода мешавад:

$$A_\gamma = N_0 J_\gamma \tau_R f d b c_\gamma, \qquad (2.7.2.)$$

Агар барои чен кардани адади электронҳои конверсияи дохилии К-қишр манбаи гамма-афканишотро истифода бурдан мумкин бошад, онгоҳ адади электронҳои конверсиониро аз баробарии зерин муайян мекунанд:

$$A_k = N_0 J_\gamma a_k C_\beta, \qquad (2.7.3.)$$

Дар инҷо C_β зариби гузаронандагии асбоб барои электронҳо аст. Фарз кунем, ки бузургии $N_0 J_\gamma$ дар ҳар ду муодила якхела ва $C_\gamma = C_\beta$, он гоҳ ҳосил мекунем:

$$a_k = \frac{A_k}{A_\gamma} \tau_k f d B, \qquad (2.7.4.)$$

Акнун барои ҳосил кардани a_k, бояд бузургии f -ро донем. Айнан ҳамин гуна ҳолат дар усули "дараҷабандии спектрометр" ҷой дорад, он як қисми раванди дараҷабандӣ мебошад, ки бо ин гуна фарқият, қимати f-ро муайян мекунанд.

Баъзан манбаҳои якхеларо барои чен кардани интенсивияти фотоэлектронҳо ва электронҳои конверсияи дохилӣ истифода мебаранд. Дар ин маврид, барои муайян кардани бузургии A_γ манбаро бояд бо полояи алюминий пӯшонем, илова бар ин ғафсии он бояд хеле калон бошад, ки ҳамаи бета-зарраҳо ва электронҳои конверсияи дохилиро фурӯ барад; барои ин ҳамчун илова бояд радиатори нафисро истифода бурд. Ба фурӯбурди гамма-квант дар алюминий бояд ислоҳот дохил кунем, агар манбаҳои гуногун истифода шавад.

Аз тарафи дигар барои электронҳои конверсияи дохилӣ ва фотоэлектронҳо, бояд, тарзи муқоиса кардани фаъолияти ин манбаҳоро чустучӯй кунем. Дар охир, зариби конверсияи дохилиро бо ёрдами қайдгиракҳои синтиллатсионӣ чен кардан мумкин аст. Атоме, ки дар натичаи раванди конверсия дохилӣ К-электронашро гум мекунад, онро ҳамчун К-афканишоти рентгенӣ хориҷ мекунад. Ҳамин тавр, тадқиқоти омӯзиши манбаро бо ёрдами қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ва таҳлилкунаки амплитудии импулсҳо гузаронидан мумкин аст. Дар спектр ду қулла мешавад: яктои он аз гамма-квантҳо ва яктои дигар аз нурҳои рентгенӣ.

Усулҳои дар боло навишташуда (усули синтиллатсионӣ)-ро татбиқ намуда, интенсивияти нисбии гамма-квантҳо, нури рентгенӣ ва нисбати $N_{рентг}/N_{\gamma}$-ро ҳисоб кардан мумкин аст. Ҳар як электрони конверсионӣ аз k-қишр метаво-над кванти афканишоти рентгенӣ ё ин ки электрони ожэ хориҷ кунад; яъне:

$$N_e = N_{рентг} + N_{ожэ}, \qquad (2.7.5)$$

Баромади флуоресентсияро (люминиссенсияи кӯтоҳмуддат) чунин муайян мекунанд:

$$w_k = \frac{N_{рентг}}{N_{рентг}+N_{ожэ}}, \qquad (2.7.6.)$$

Ҳамин тавр,

$$a_k = \frac{N_e}{N_\gamma} = \frac{N_{рентг}}{w_k N_\gamma}, \qquad (2.7.7.)$$

Ҳамин тавр, бузургиҳои ҳосилшуда a_k пурра бо қиматҳое, ки дигарҳо ёфтанд, бо усули бисёртар паҳншуда байни худ мувофиқат мекунад.

2.8. ОМӮЗИШИ РЕҶАИ КОҲИШ

Дар ин параграф усулҳоеро дида мебароем, ки бо ёрдами онҳо реҷаи коҳишро барқарор мекунанд. Онҳоро интихоб мекунанд, танҳо барои тасвир кардани усул, бинобар ин, мо ҳамаи корҳои тадқиқотии ин соҳа ва саҳми берунаи коркарди реҷаи додашударо наовардем. Умуман гуфтан мумкин, ки аксарияти реҷаҳои оддӣ

якчанд сол қафо барқарор шудаанд, то вақте, ки коркарди усули бехтарини фаҳмо тараққӣ карда буд.

Реҷаи коҳиши Cs-137 яке аз шавқовартарин дар спектронигории ядроӣ мебошад:

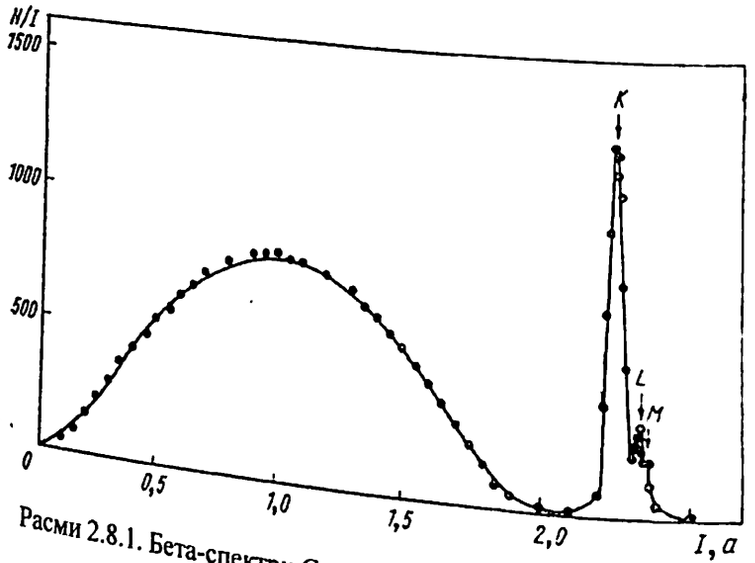
Реҷа: Cs- 137→Ba-137.

Аз сабаби он ки Cs-137 дорои вақти нимкоҳиши калон мебошад, (~30 сол), бо осонӣ фаҳмидан мумкин, ки маҳсули тақсимшавии он ҳамчун намуна, дар бисёр тадқиқотҳо хизмат мерасонад. Изотопи Cs- 137 гамма-квантҳои энергияшон якхелаи баробари 661,55 ±0,15 кэВ-ро хориҷ мекунад. Бета-спектри мувофиқ дар расми 2.8.1., ки вобастагии N(P)dp-ро аз p ифода мекунад, нишон дода шудааст. Намуди умумии он ба спектри бета-зарраҳо чавобгӯй буда, ба як гурӯҳи гамма-квантҳои конверсионӣ мувофиқ меояд. Спектр дар спектрометри магнитӣ бо қобилияти тафрикаи миёна гирифта шудааст. Дар таҳлили сатҳӣ ошкор карда шуд, ки танҳо як гурӯҳи бета-зарра вуҷуд дорад, ки ба интенсивияти гамма-квантҳо наздиктар мебошад; бинобар ин табиатан тахмин карда шуд, ки айнан ин гурӯҳ ба хориҷшавии гамма-квантҳо илова мешавад. Барои ошкор кардани бета-гамма-мувафиқӣ таҷриба гузаронида шуд, аммо онҳо натиҷаҳои манфӣ доданд. Азбаски мувофиқӣ нест, фаҳмонидан бузургии калони вақти зисти ҳолати якуми ангезонидан ядроӣ Ba-137 мумкин буд, онгоҳ аз чиҳати химиявӣ барий аз сирконӣ чудо карданро ичро намуданд; дар натича ёфта шуд, ки даври нимкоҳиш нисбати гамма-афканишот баробарӣ 156±3 сония аст.

Хати каҷе, ки дар расми 2.8.1. тасвир шудааст, имкон медиҳад нисбати K/L-ро бо зариби конверсияи дохили a_k дар k-қишр баҳо диҳем. Дар вақтҳои ҳозира қимати $a_{k=}$ 0,093±0,006 қабул шудааст. Нисбати масоҳати зери қулла барои К-хат ба масоҳати умумӣ L+M-хат, дар асоси расми 2.8.1. тахминан баробари 4,3 *аст*. Грейвс ва дигарон асбоби қобилияти тафрикаи калондоштаро истифода бурда, қимати k/(L+M)=4,64 –ро ба даст оварданд.

Агар графики Фермиро созем, якбора ду ҳақиқат ошкор мешавад: 1) Бо иловашавӣ ба гурӯҳи асосӣ гурӯҳи бета-зарраҳои энергияшон калон, аммо интенсивнокиашон кам вуҷуд дорад, ки ба гузариши ҳолати асосӣ мувофиқ меояд. 2) Ягонто аз бета-спектрҳои

парсиалӣ графики ростхаттаи Фермиро намедихад. Ин ҳолат дар расмҳои 2.8.2. ва 2.8.3. тасвир шудааст.



Расми 2.8.1. Бета-спектри Cs- 137 бо хати камбар вобаста ба электронҳои конверсияи дохилӣ

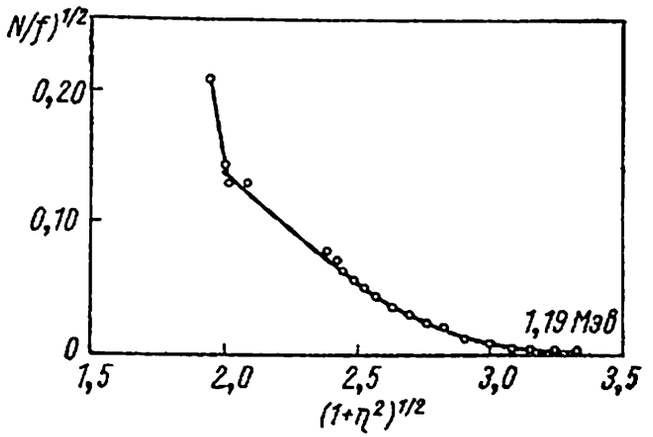
Гурӯҳе, ки энергияи калон дорад, дорои энергияи сарҳадии 1,17 МэВ ва баромади 8% дорад, аз тарафи дигар барои гурӯҳи энергияаш хурд, энергияи сарҳадӣ баробари 0,521МэВ, баромад 92%-ро ташкил мекунад.

Барои иҷрои баланси энергӣ бояд фарқ кард, ки гурӯҳи якуми нишондодашуда ба гузариши ба ҳолати асосӣ мувофиқат мекунад ва гурӯҳи дуюм - гузариш ба савияи ангезонида (метаустувор) бо хориҷ кардани гамма-квантҳо рост меояд. Речаи савияҳои энергӣ дар расми 2.8.4 оварда шудааст.

Дар расми 2.8.3 хатти қаҷи а графики Фермиро тасвир мекунад, ки дар он гурӯҳи энергияи хурд бо усули оддӣ сохта шудааст. Хатти қаҷи в графики Фермиро дар шакли ислоҳшударо медиҳад, ки бо истифодабарии ифодаи зерин ҳосил шудааст:

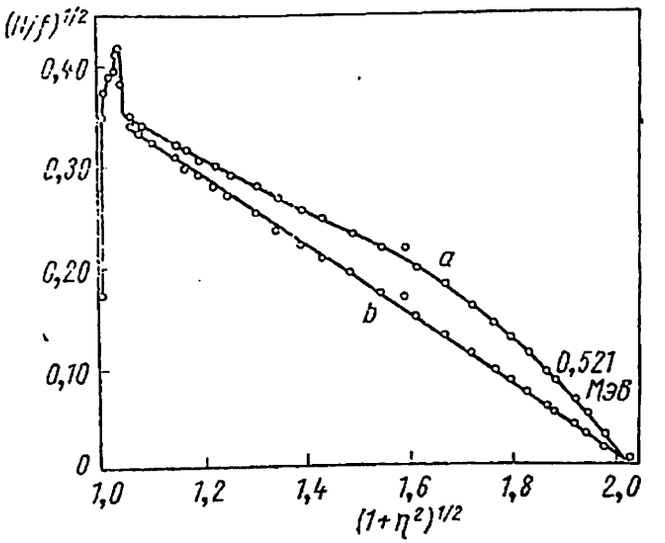
$$S_n(w) \approx [w^2 - 1 - (w_0 - w)^2],$$

ки дар мавриди $\Delta j = \pm 2$ бо тағйироти ҷуфтият татбиқшаванда аст.

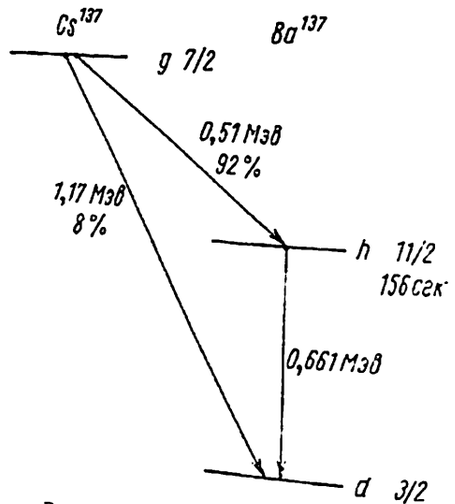


Расми 2.8.2. Гарфики Фермӣ барои бета-спектри Cs-137 дар соҳаи энергияи калон.

Баъдан, манбаи фаъолияташ калонро истифода бурда, Лангер ва Моффат спектри бета-зарраҳоро, ки дорои энергияи сарҳадии калон ҳастанд чен карда, ёфтанд, ки шакли ислоҳшудаи графики Фермиро ҳангоми истифода бурдани шакл-омили S_n (W), бетағйирдиҳии манба, ки барои $\Delta j = \pm 2$ хос аст, ҳосил кардан мумкин аст.



Расми 2.8.3. Графики Фермӣ барои Cs-137 бе назардошти ислоҳот (а), бо ислоҳот ба шакли спектр (б).



Расми 2.8.4. Реҷаи коҳиши Cs-137.

Маълумотҳои гирифташуда оид ба коҳиши ядрои Cs-137 имконият медиҳанд, ки бо нишондоди спин ва ҷуфтияти ҳамаи савияҳои ошкоршуда, реҷаи пурраи коҳишро созем. Спини ҳолати асосии ядрои Ba-137 чен карда шудааст, ки баробари 3/2 дар зариби $d_{3/2}$ мебошад Даври нимкоҳиши ҳолати метаустуворӣ, инчунин қимати α_k ва K/L барои гамма-квантҳо мувофиқат мекунад, бо фарзияте, ки гамма-гузариш ба навъи M4 дахл дорад. Азбаски афканишоти навъи M4 тағйирёбии спинро ба чор воҳид бо тағйирёбии ҷуфтият талаб мекунад, он гоҳ дигаргунсозии ҳолати якуми ангезиш бо ҳам $h_{11/2}$-ро ифода мекунад. Шакли бета-спектр бо энергияи сарҳадии хурд маҷбур мекунад, фарз кунем, ки ҳолати асосии ядрои Cs-137 дорои спини ½ ва ҷуфтияти мусбат бошад. Ҳамин тавр дигаргунсозии ин ҳолатро $q_{7/2}$ муайян мекунанд. Шакли спектр бо энергияи калон бо ин шарҳдиҳӣ мувофиқат мекунад. Дар охир инчунин спини ядрои Cs-137 чен шудааст, ки баробари 7/2 мебошад:

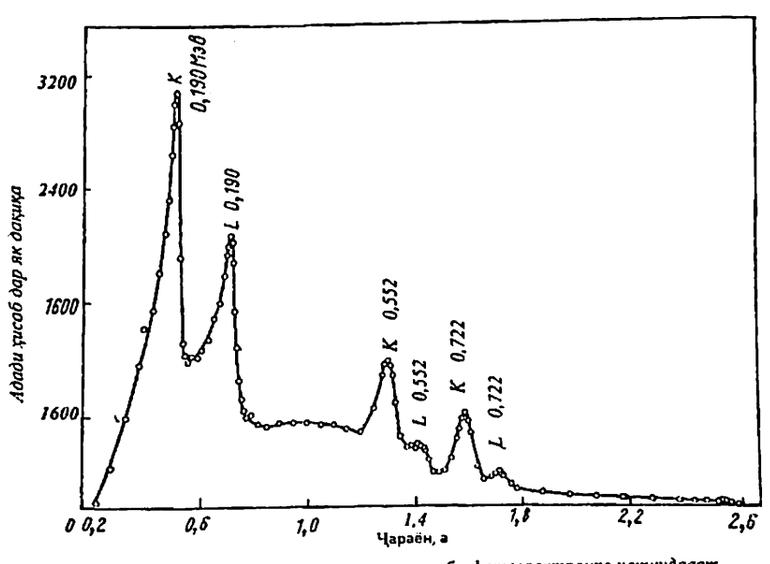
Реҷа:

$$Cd^{114} \leftarrow J_n^{114} \rightarrow Sn^{114}$$

Ба сифати мисоли охирон коҳиши ядрои J_n-114-ро муҳокима мекунем. Дар ин изотоп ду даври нимкоҳиш (50-рӯз ва 72 сония) ошкор карда шуд, яке аз онҳо ба гузариши изомерӣ мувофиқат мекунад. Ломсон ва Корк нишон доданд, ки дар ҳолати 72 сония бетазарраҳо бо энергияи 1,984 МэВ бе иловашавии ягон гамма-квантҳо

хориҷ мешаванд. Спектр дар шакли иҷозатдиҳӣ мебошад. Гузариш аз ҳолат бо даври 50 рӯз ба ҳолат бо даври 72 сония бо хориҷшавии гамма-афканишот бадал карда шуда, ки дорои энергияи 0,192 МэВ мебошад.

Баъдтар дар таҷриба бо истифодабарии усули мувофиқӣ онд ба гамма-квантҳои энергияшон калон, аммо интенсивияташон хурд, як навигарие пайдо шуд. Аз тарафи Бемом, Прейсверком ва Мейем ва ғайраҳо спектрро такроран тадқиқот таҳқиқкарда, ошкор намуданд, ки гамма-афканишотҳои камқувват бо энергияи 0,556; 0,722 ва 1,37 МэВ мавҷуд аст, ки дар расми 2.8.5 спектри ин гамма-квантҳо бо фотоэлектронҳои аз радиатори сурбӣ гирифташуда, нишон дода шудааст. Инчунин расм аз мавҷудияти гам-ма-квантҳои конверсионӣ бо энергияи 0,190 МэВ шаҳодат медиҳад. Инчунин қуллаи интенсивияти хурди гамма-афканишот бо энергияи 1,27 МэВ дар расм нишон дода шудааст. Ғайр аз ин, ду гурӯҳи гамма-квантҳои иловагии интенсивияташон хурд бо энергияи 0,576 ва 1,30 МэВ ёфта шудаанд.



Расми 2.8.5. Спектри гамма-квантҳои J_n-134 (аз рӯи фотоэлектронҳо чен шудааст).

Интенсивияти нисбии гурӯҳҳои гуногуни гамма-квантҳо, ки бо ёрдами хати каҷи Грей барои самаранокии фурӯбурд муайян карда шуд, дар ҷадвали 2.8.1 оварда шудааст.

Ҷадвали 2.8.1.

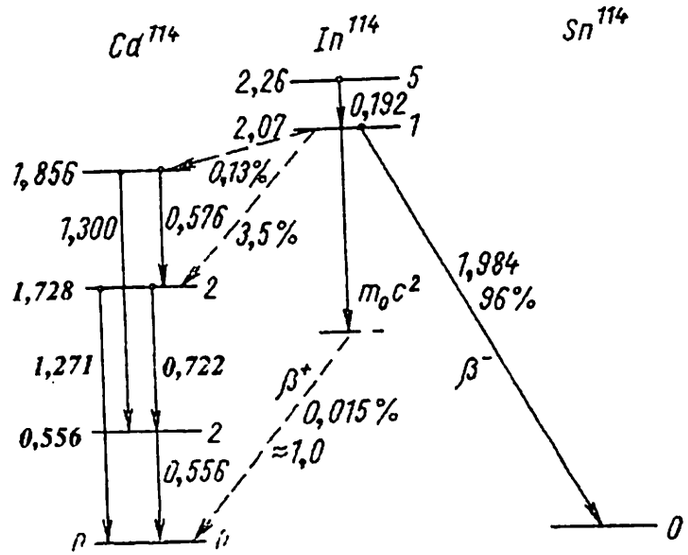
Энергия ва баромади гамма-квантҳои J_n-114

Энергия, МэВ	Интенсивияти нисбӣ		Энергия, МэВ	Интенсивияти нисбӣ	
	МэВ ва ғайра	Ҷонс ва дигарон		МэВ ва ғайра	Ҷонс ва дигарон
1,92	5,38	5,4	0,722	1,00	1,00
0,556	1,00	1,02	1,271	0,067	0,008
0,576	1,00	0,03	1,300	0,067	0,043

Мувофиқоии беҳтарин байни натиҷаҳои интенсивияти нисбӣ ошкор шудаанд. Илова бар ин, ёфта шуд, ки хатҳои 0,556 ва 0,722 МэВ каскадро ҳосил мекунанд, бинобарон интенсивияти онҳо бояд баробар бошанд. Ғайр аз ин, интенсивияти камкуввати гамма-квантҳо, ки дар натиҷаи К-рабоиш бо ҳосилшавии Cd-114 пайдо мешавад, дорои гурӯҳи позитронҳо буда, интенсивияташон хеле камкувват мебошад, ки ба гузариш ба ҳолати асосӣ мувофикат мекунад.

Дар расми 2.8.6 варианти охирони реҷаи коҳиш пешниҳод шудааст, ки ҳангоми гузариш ба ҳолати ангезиш позитрон хориҷ намешавад. Бинобар он нисбати гамма-квантҳое, ки дар гирехи К-рабоиш ва гамма-квантҳои энергияшон 0,192 МэВ ҳосилшудаанд, мумкин баъзе маълумотҳо дар бораи К-рабоиш нисбат ба бета-коҳиш ба даст орем. Модоме, ки ҳаман гузаришҳо баъди хориҷшавии гамма-квантҳо бо энергияи 0,192 МэВ ичро мешавад. Барои ҳисоби ҳиссаи гузаришҳо,ки бо роҳи К-рабоиш ҳосил карда мешавад, нисбати $N_o/(N+N_\gamma)$ барои гамма-квантҳои конверсионии энергияшон 0,192 МэВ-ро донистан зарур аст. Аз натиҷаҳои тадқиқот он ба 0,80±0,05 баробар аст. Ҳиссаи гузаришҳо, ки бо роҳи К-рабоиш меугузарад, тахминан баробар аст ба:

$$\frac{J_{0,722}+J_{1,27}}{J_{0,192}/(1-0,08)}=0,04$$



Расми 2.8.6 Реҷаи коҳиши J_n-114

Вобаста аз даври нимкоҳиши ҳолати (50 рӯз), қимати хати 0,192 МэВ-и зариби конверсияи дохилӣ ва таносуби К/(L+ M), барои онҳо (4,63) ин гуза-риш ҳамчун М4 синфбандӣ мешавад. Барои гузарише, ки хориҷшавии бета-зарра бо энергияи 1,984 МэВ илова мешавад, қимати Lg ft баробари 4,4 аст; ҳамин тавр ин гузариш ичрошаванда мебошад. Бинобар сабаби он, ки спини ҳолати асосии ядрои S_n-114 баробари сифр аст, ҳолати гузариши 72 сон. 1^+ мебошад ва ҳолати гузариши 50 рӯз 5^+ аст. Чен кардани кунҷи γ—γ- корелят-сия барои К-гирех натиҷаи спинро дод, ки дар расм нишон дода шудааст.

Барои дида баромадани реҷаи коҳиши дар боло муҳокимашуда натиҷаҳои зиёди ба ин монандро тасвир кардан мумкин аст. Реҷаҳои мураккабтаринро низ ҳамин тавр барқарор карданд, бо вуҷуди он муҳокимаи онҳо дар инҷо камсамаранок аст.

2.9. БЕТА-ҲИСОБГИРАКҲОИ МУТАНОСИБӢ

Дар боби гузашта истифодабарии қайдгиракҳои мутаносубиро барои алфа-заррaҳо дида баромадем, ки яке аз усулҳои кӯҳнатарин

мебошад, барои он ки коркарди пешинаи ин қайдгиракҳоро Резерфорд ва Гейгер ҳанӯз соли 1908 истифода бурда буданд.

Бета-қайдгиракҳои мутаносибӣ дар шароите, ки бузургии ионизатсияи аввала кам аст, дорои тақвияти 10^5 то 10^6 мебошанд. Ҳамин тавр онҳо қобилияти чен кардани энергияи электронҳои алоҳидаро доранд. Бета-қайдгиракҳо мутаносибӣ дорои чунин бартариҳоанд:

1) Ин қайдгиракҳо барои омухтани қисми спектри энергияи хурд истифодашаванда мебошанд.

2) Ба ҷои манбаҳои оддӣ манбаҳои газмонандро ба монанди гази тритий- T^3, ҳидрогени сулфур-S^{35}, аз дуоксиди карбон, метан, гази беранг CH_4 ё ин ки асетилен-C^{14} ва ғайра истифода бурдан мумкин аст, ҳамин тавр мушкилоте, ки барои сохтани он мавҷуд аст, бартараф мекунанд.

3) кунҷи ҷисмӣ вобаста ба шароити, чен кардани манбаҳои фаъолияташон камқувват калон (одатан 2π ё ин ки 4π) мебошад.

4) Имконияти истифода бурдани манбаҳои масоҳаташон калон аз 100 $см^2$ ва вазнашон 1 $гр/см^2$–ро бо қайдгиракҳои хурд истифода бурданд.

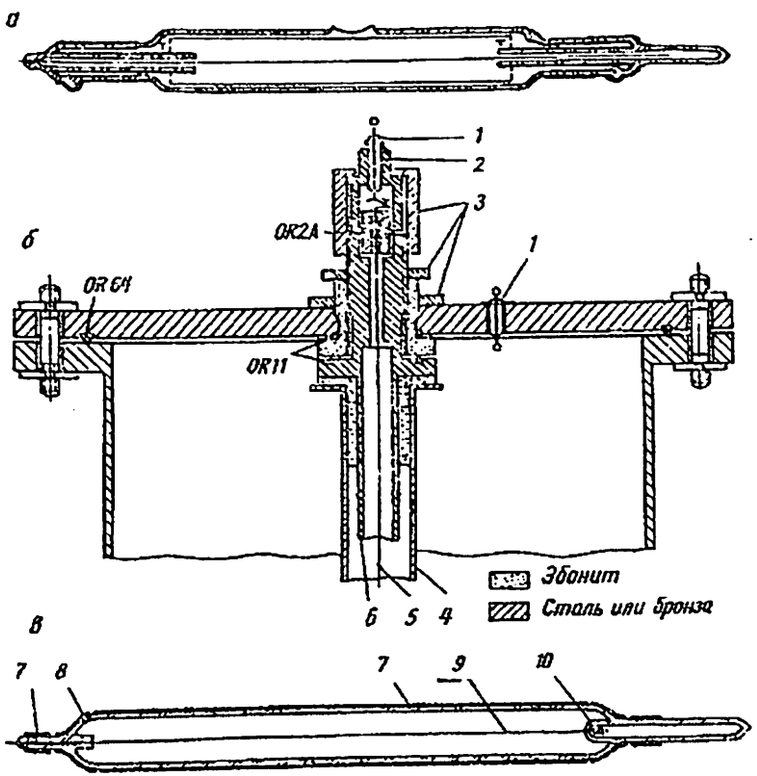
5) Фонро то қимати хурдтарин, агар қайдгирак калон бошад- аз як якчанд ҳазорҳо то даҳҳо сарҳисоб дар дақиқа паст фуровардан мумкин аст. Сохтори мувофиқомада ва системаи экранро аз шароити тачриба интихоб мекунанд.

6) Имконияти дигари паст фаровардани фон маҳдуд кардан аз боло ва поён, барои он ки паҳнии васеъи энергия тақсимшаванда аст.

Сохтори қайдгираки мутаносибӣ. Дар расми 2.9.1. се намуди сохтори қайдгиракҳо, ки барои ба қайд гирифтани бетта-заррахо истифода мешаванд, пешниҳод шудааст. Қайдгиракҳои шишагӣ (нигаред ба расми 2.9.1.а.) дар тайёркунӣ оддӣ буда, нисбати ченаки қайдгирак тақсим аст, ки онро барои омӯхтани спектри тритий истифода мебаранд. Риштаи волфрамии диаметраш 0,025 то 0,1мм бо пружина дар тири ҳисобгирак таранг кашида, ба сақои шишагӣ бо ришта мустаҳкам карда шудааст.Дар расм қабати риштагӣ-аквадаг нишон дода шудааст. Катод аз варақаи иловагии алюминийӣ иборат аст. Бартарии қайдгираки шишагӣ дар он аст, ки онро бо осонӣ бегаз мекунанд. Одатан дар катод потенсиали

манфии калонро нигоҳ медоранд, ришта ҳама вақт дар потенсиали замин аст.

Қайдгиракҳои металлӣ, ки дар расми 2.9.1.б нишон дода шуда аст, яке аз вариантҳои бисёршумори сохтори он ба ҳисоб меравад. Одатан металлро беҳтар мешуморанд, барои он, ки ҳисобгиракҳои металлӣ дар зери фишори баланд, наздик ба 1 атм.кор мекунанд ва ченакашон калон мебошад. Метали интихобшуда бояд тоза ва аз дигар омехтаҳо озод бошад. Аксар вақт мис ё ин ки пулодӣ зангногирро истифода мебаранд.



Расми 2.9.1. Қайдгираки мутаносибии шишагӣ (а), қайдгираки металлӣ (б) ва қайдгираки Гейгер-Мюллер - бо катоди беруна (в). 1-ҳилагарона ба дарун даровардашуда; 2-сатҳи шахшулӣ; 3-Ҷойкарда тоб додан; 4-лула барои коррексияи таъсири канорӣ; 5-риштаи марказӣ; 6-лулаи ҳимоягӣ; 7-пушонишии аквадагӣ; 8-ранги изолятсия; 9-риштаи платинӣ; 10-пружинаи волфрамӣ.

Лулаи ҳимоягӣ чи тавре мегӯянд "лулаи корексияи таъсири канориро" пурра иҳота мекунад. Онро дар қисми "таъсири канорӣ" маънидод хоҳем кард. Зичкунаки вакуумиро дар қайдгирак (нигаред ба расми 2.9.1.б) аз резинаи доира монанд тайёр мекунанд. Дар дигар қайдгиракҳо, ки ҳарорат аз муқаррарӣ зиёд, қабати металлиро дар фишор ва ҳарорати баланд истифода мебаранд.

Усули дигари фоидаовар истифодабарии изолятсияи шишагии (ё ин ки кварсӣ) дар метал бо аралдит мебошад. Мисоли хуби истифодабарии қайдгирак бо аралдит ба сифати спектрометри нейтронҳо (расми 2.9.2), ки гази He^3 пур карда шудааст, сифатнок мебошад. Танаи ин қайдгирак аз пӯлоди зангногири гафсиаш 1,6 мм сохта шудааст; қабати лавҳаи паҳлӯи он ба тана мустаҳкам буда, барои таъмини вакууми хубтарин бо лаҳими мулоим кафшер карда мешавад. Ҳалқаи кварсии бо он кафшершуда дар ёни саҳфаи металӣ (36%-и никелу оҳан) барои нагз таъмин кардани зичшавии вакуум мебошад. Майдони ислоҳкунандаи лулаи дюрал бо хӯлаи оҳану никел тоб дода, мустаҳкам карда шудааст. Диаметри ресмон 0,1 мм-ро аз пулоди зангногир тайёр мекунанд.

Навъи сеюми қайдгирак (нигаред ба расми 2.9.1.в.) - яке аз қисмҳое, ки ҳисобгирак бо катоди берунӣ сохта шудааст.

Ҳисобгирак аз шишаи натрийӣ бо қабати берунаи аквадаг тайёр карда шудааст. Ин ҳисобгиракҳо дорои чунин бартариҳо мебошанд; мисол, онҳо имконияти ҳамтаъсироти газ бо катодро ё ин ки фурӯбурди газро дар катод истисно мекунанд. Аммо аз ҳама муҳимтар он аст ки онро дар ҳароратҳои баланд истифода мебаранд.

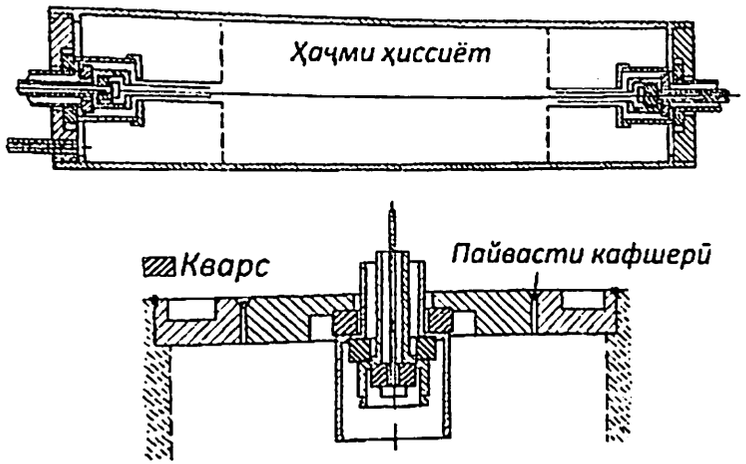
Таъсири канорӣ. Майдони якҷинса ба равиши тир асосан ба дарозии қайдгирак (нигаред ба расми 2.9.1.а.), майдони ғайриякҷинса бошад, дар лулаи муҳофиз равон аст.

Асосан майдон ҳангоми ба радиуси қайдгирак баробар шудан ба таври назаррас афтиданро сар мекунад. Ҳамин тавр, агар манбаи газиро омӯхтанӣ шавем, он гоҳ спектр метавонад вайрон шавад. Роҳи пешгирии ҳалли ин масъала чунин аст;

1). Истифода бурдани қайдгираки нисбатан дароз бо диаметр калон;

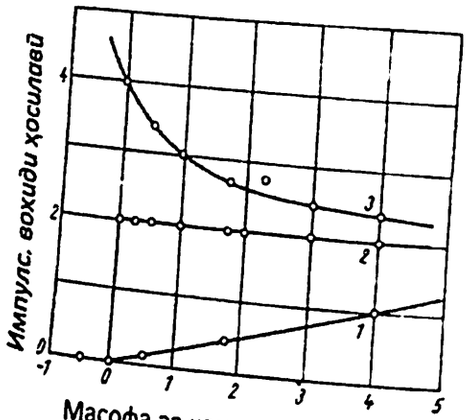
2). Тақсим кардани қайдгирак ба ду қисми шабеҳ шишагӣ (шаба ҳамчун изолятсия таъсир мекунад) ва тарҳ кардани як спектр аз дигараш;

3). Муқоиса кардани натиҷаҳо аз қайдгиракҳои диаметрашон якхела, аммо дарозиашон гуногун.



Расми 2.9.2. Ҳисобгирак барои спектрометри нейтронҳо.
Гази He^3 дар зери фишори 40 атм пур карда шудааст.

Дар ҳолати манба сахт будан ба қайд гирифтани зарраро дар соҳаи тақвияташ доимӣ маҳдуд кардан мумкин аст. Агар манбаи дорои фаъолияти хоснаш хурд масоҳати калонро талаб кунад, он гоҳ маҳлул қисми зиёди ҳаҷми кориро ишғол мекунад. Бо вуҷуди ин, Кокроф ва Керран пешниҳод карданд, ки барои ислоҳ кардани таъсири канорӣ ҳимояи буруна ва коак-сиалии он, луларо махкам кунанд, чи тавре, ки дар расмҳои 2.9.1.в ва 2.9.2 нишон дода шудааст. Дар лула, вобаста ба радиуси он шиддат дода мешавад. Дар расми 2.9.3 натиҷаҳое, ки вобастагии бузургии импулсҳоро аз масофаи тулӣ (аз охири лулаи ислоҳкунанда) мефаҳмонад, нишон дода шудааст. Нуқтаҳо ҳангоми ҷойивазкунӣ ба равиши нит (воҳиди пешини дурахшонӣ)-и дастаи борики афканишоти рентгенӣ, ки ба он перпендикуляр меафтад, гирифта шудааст.



Расми 2.9.3. Тағйирёбии амплитудаи импулс ба равиши нит (воҳиди дурахшонӣ). 1-бо майдони магнитӣ; 2- бе майдони магнитӣ; 3-манба.

Росси ва Штауб усули нави бартараф кардани таъсирро пешниҳод карданд: барои ин мӯякро аз ҳарду канори ҳисоби ҳаҷмӣ аз мобайни кураи шишагӣ даровардаанд, ки то катод паҳншаванда бошад. Ин гуна кураҳо то ҳудуди муносиб градиенти потенсиалро мебардоранд, аммо ин усул, ки шояд аз ҳисоби ихрочи заряд аз катод бошад, татбиқи ҳудро наёфт. Бояд нишон дод, ки маънои "таъсири канорӣ"-ро дар баъзе ҳолатҳо дар асоси сарфи энергия, ё ин ки сарфи ҳамаи энергияи электронҳо дар соҳаи экран-басти ҳимоявӣ ва лулаи ислоҳкунанда, ҳамчун сарфи суръати ҳисоб мефаҳманд. Ин хеле зарур аст ҳангоми чен кардани интенсивияти мутлақ. Усули дигар барои бартараф кардани таъсири канорӣ бояд мӯяки анодии дорои диаметри 0,57мм ва дарозии ҳасосияташ 56,8 см аст, истифода шавад, ки он бо тури силиндрии коаксиалӣ аз 24 риштаҳои диаметри ҳар кадомашон 13 мм сохта шудааст. Азбаски диаметри риштаҳои тур хурд аст, он гоҳ таъсирҳои канорӣ хурд буданд (~3 мм барои ҳаряки лулаи ҳимоявӣ) ва ҷамъшавии электронҳо дар ҳама арзи қайдгирак мушоҳида мешуд. Барои ҳосил кардани тақвияти газ - 400, турро нисбати мӯяки марказӣ дар зери потенсиалӣ -3 кВ ва катодро дар потенсиали -5 кВ нигоҳ медоранд

Таъсири деворӣ. Таъсири девори қайдгиракро ба шакли спектр ва адади умумии сарҳисоб дида мебароем. Агар хати сайри электрон чунин бошад, ки вай ба девор афтад, онгоҳ қисми энёд ё

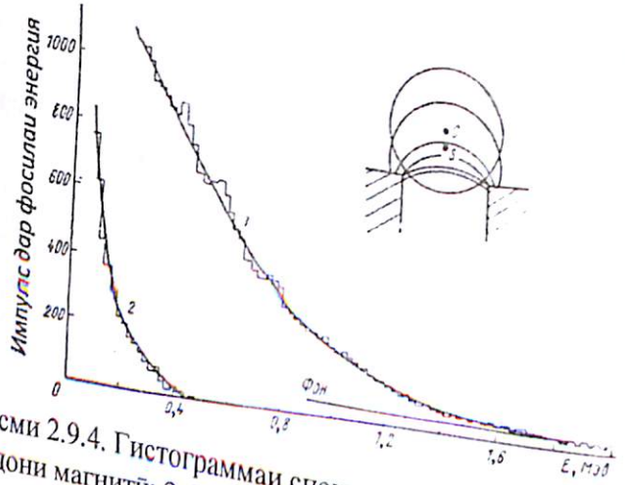
ками ионизатсия сарф мешавад, ки амплитудаи импулс хурд мешавад. Исбот кардан мумкин, ки ин таъсир зиёдшаванда, агар энергияи электронҳои спектр нисбатан калон ва ченаки қайдгирак хурд бошад. Дар ҳолати ҳудуди ионизатсия мумкин нокифоя бошад, ки электронро дар шароити дилхоҳи кори қайдгирак ба қайд гирад.

Дигар қувваи иловашуда ба он меоварад, ки ҷуфти ионҳои дар назди девори қайдгирак пайдошударо бо самаранокии 100% ҷамъ кардан мумкин нест, аз сабаби он ки майдони электрикӣ дар ин нуқта камқувват мебошад, аммо ин мушкилиро эҳтимолан баҳо додан мумкин аст. Барои бисёртар кам кардани таъсири деворӣ роҳҳои гуногуни мавҷуд аст, масалан, ченаки қайдгиракро калон кардан мумкин, аммо на зиёд аз имконияти ҳақиқӣ – афзоиши фишори газро ба назар бояд гирифт. Аз ҳама усули самаранокиаш баланд – ин маҳдудкунии хатти сайри электронҳо дар майдони магнитӣ мебошад. Агар магнити додашуда дорои сӯрохии калони байни кулоҳаки қутбӣ бошад, он гоҳ қайдгиракро мумкин дар байни қутбҳо ҷойгир кунем ва тири онро ба майдон параллел гузорем. Ҳамаи электронҳои дорои ҷузъи суръат ба равиши мӯяк, маҷбуран аз рӯи хати сайри симпеч парвоз мекунад, ҳамин тавр, ионизатсия зичтар мешавад. Заррачое, ки ба майдон параллел ҳаракат мекунанд, ба таъсири майдон намеафтанд, аммо онҳо дар қайд-гиракҳои оддӣ одатан хеле кам мебошанд. Баръакс, қайдгирак бо тираш, ки ба майдон перпендикуляр аст, мумкин дар майдони пареши магнитӣ ҷойгир карда шавад. Дар расми 2.9.4. ҷойгиршавии қайдгирак ва спектри Р-32 дар майдони магнитӣ бе майдон тасвир шудааст. Кор бо фони паст пешниҳод шуда, нисбати кулла-водӣ барои электронҳои конверсионӣ Cs^{137} (E_k=625кэВ ва E_p=657кэВ) ҳамчун функсия аз бузургии майдони магнитӣ омухта шуд.

Муаммои таъсири канорӣ ва девориро Холла ва дигарон бо истифодаи майдони магнитӣ дар қайдгиракҳо дида баромаданд, барои истифодабарӣ ченкунии фони паст нисбати кулла пешниҳод шудааст.

Дараҷабандӣ. Аксар ҳолатҳо дараҷабандӣ аз қуллан маълуми энергияи электонҳо дар спектр гузаронида мешавад. Ин на ҳама вақт имконпазир аст, вақте, ки хати қулайро интихоб мекунанд, манбаи қулайи модаи радиофаъолро истифода бурда, электронҳои энергияшон якхела ва афканишоти рентгениро меомӯзанд. Манба-

ро ба таҳлавҳа (плексиглас) дар назди девори қайдгирак - даричаи алюминий ғафсиаш ~0,05 мм буридашуда ҷойгир мекунанд. Барои дигар таҷрибаҳо дар энергияи хеле хурдтарин, ҳангоми илова намудани миқдори ками Ar^{37}, ки К-афканишотро ба энергияи 2,8 кэВ хориҷ мекунад, мумкин фоидаовар шавад.



Расми 2.9.4. Гистограммаи спектри бета-афканишот P^{32}; 1-бо майдони магнитӣ; 2-бе майдони магнитӣ; S-манба; С-қайдгирак.

Муаллифон аксар вақт дигар усулро бо дастгоҳи рентгенӣ истифода мебаранд, ки хеле қулай аст. Агар дастаи нурҳои рентгениро ба қоғази металлӣ равон кунем, он гоҳ нурҳое, ки дар зери кунҷи 90^0 пареш мешаванд, афканишот тавсифаи бартарии маводи қоғазро медиҳанд. Ҳангоми мавҷуд набудани дастгоҳ гуногунномои фоиданоки ин усул, ки Иншем пешниҳод намуд, истифодабарии манбаи радиофаъоли гаммаи маҳин ё ки афканишоти рентгениро медиҳад, ки дар варақаи нафиси унсури элемент маҳкам буда, афканишоти рентгенӣ энергияи даркориро медиҳад.

Манбаҳои радиофаъол ва тайёр кардани онҳо

Чи тавре, ки қайд кардем, манбаҳои газмонанд хубтаранд. Бо вуҷуди он, чунин мавридҳо мешавад, ки истифодабарии онҳо номумкин ё ин ки номатлуб аст. Он гоҳ бояд манбаҳои сахтро истифода барем. Манбаҳои гамма ё ин ки афканиши рентгениро ба дохил ё беруни қайдгирак ҷойгир кардан мумкин аст; барои дар берун

ҷойгир кардани манба дар қайдгирак аксар вақт даричаи нафисро аз, алюминӣ, берилӣ ё ин ки дигар маводҳои сабук сохта истифода мебаранд.

Бо вуҷуди он, бета-манбаро ба дохили ҳаҷми девори қайдгирак ҷойгир мекунанд, бо истисноӣ ҳолати махсус, вақте ки қайдгираки мутаносибӣ ба намуди торсӣ сохта мешавад. Манбаро ҳангоми бо қимати хурди Z таҳшин кардани варақаи нафиси металлӣ (масалан, алюминий) сохтан мумкин аст. Аз сабаби таъсирҳои хурдфурӯбар, қабат бояд, ки тамоман якҷинса бошад, бинобар ин усулҳои дигарро истифода мебаранд. Вобаста ба ин бояд ёдовар шавем, усуле ки истифодабариаш маҳдуд бошад, манбаҳои хеле якҷинсаро медиҳанд. Вай иборат аз таҳшин кардани манба, ҷузъ-ҷузъ шудани таркиби унсури гази радиофаъол дар сатҳи тафсони таҳлавҳа, чи тавре ки Уилсон ва Керран карданд. Ин усулро барои омӯхтани фаъолияти хоси хурди радиофаъоли Ni-63 истифода бурданд. Усули дигаре,ки Уилсону Керран кор фармуданд, чунин аст: Манбаро дар охири милае, ки дар дохили қайдгирак ба мӯяк параллел мустаҳкам шуда-аст, ҷойгир карда, ба он шиддати муносибро медиҳанд. Ба наздикӣ ин усулро Холла Оуэй ва дигарон барои чен кардани фаъолияти хоси хурд истифода бурданд. Усули сеюм дар он аст, ки манба ба намуди қабати якҷинса дар таҳлавҳаи нафис аз варақаи VVNS таҳшин карда мешавад, ки ресмонмонанд буда, бо ёрдами навори тиллогии нимшаффоф ба дигар тараф мустаҳкам аст.Ин навор-манбаи нафисро байни ду камераҳои қайдгиракҳои мутаносибӣ ҷойгир мекунанд ва барои чен кардани суръати мутлақи ҳисоб истифода мебаранд.

Ғайр аз ин, агар лозим бошад, манбаҳои масоҳаташон калонро истифода бурдан мумкин аст, барои ин қайдгираки махсус сохтан лозим меояд. Мак-Нейр ва Уилсон ин усулро ҳангоми чен кардани даври нимкоҳиши Rb^{87} истифода бурданд. Бартарии дигари усули навори нафис дар он аст, ки пареши баръакс нисбати манбаҳое, ки дар таҳлавҳаи ғафси " беохирӣ" тайёр карданд, нақши худро мебозад.

2.10. ТАНОСУБҲОИ АСОСӢ ДАР БЕТА-СПЕКТРОСКОПИЯ

Электрон (бо заряди e ва суръати ϑ) дар майдони магнитии якҷинсаи B ба ҳамворие, ки ба хатҳои қуввагӣ перпендикуляр аст, ҳаракат мекунад. Хати сайр радиуси хати қачи -ро мекашад, ки муодилаи зеринро қаноат мекунад:

$$Be\vartheta = m\vartheta^2/\rho, \qquad (2.10.1.)$$

Дар инҷо $m = m_0\sqrt{1-\vartheta^2/c^2}$, барои импулс ҳосил мекунем:

$$\rho = m\vartheta = eB\rho, \qquad (2.10.2.)$$

Дар бета спектринигорӣ қабул шудааст, ки импулси электронро бо қимати мувофиқи $B\rho$ ифода кунем ва ин вобастагӣ қадом бузургии майдони магнитӣ ва ченаки асбоб барои тадқиқи электронҳо зарурро дар таҷрибаи додашуда нишон медиҳад. Дар бета-спектринигор истифодабарии импулс ба ҷои энергия қисман ба он далеле оддӣ меоварад, ки майдони магнитии спектрометр (агар оҳан истифода барем) ҷараёни электрикие, ки меангезонад, ки он ба энергия мутаносиб набуда, балки ба импулси электрони конундо-дашуда мутаносиб аст. Дар инҷо энергияи электронҳо ба майдоне, ки онро майл мекунанд, мутаносиб мебошад. Бо вуҷуди ин, азбаски ингуна спектрометрҳо умуман истифода намешаванд, истифода бурдани бузургии $B\rho$ умумӣ қабул шудааст. Фарз кунем, ки тақсимоти электронҳоро бо ёрии спектрометри магнитӣ меомӯзанд. Бигзор тақсимоти онҳо аз импулси N(p)dp иборат бошад. Агар хати қачи тақсимоти энергиявиро сохтан хоҳем n(E) dE, он гоҳ равшан аст, ки фосилаи dE ва dp гуногунанд. Ин ҳаматарафа ба шакли спектр таъсир мерасонад. Азбаски $E=p^2/2m$ аст, пас ҳосил мекунем: $dE=(p/m)dp$. Ҳамин тавр, ба тири абсисса E-ро ба ҷои P гузошта, бояд интенсивияти мувофиқро дар тақсимшавии импулсҳо ба m/p зарб зананд.

Дар спектрометри магнитӣ бо геометрияи тағйирнаёбанда ва ивазшавии майдон B бузургии $R=\Delta(B\rho)/B\rho$ доимӣ мемонад, инҷо $\Delta(B\rho)$-ченаки фосилаи импулсе, ки истифода мебарем. Дар асоси ин барои ҳосил кардани шакли дурусти спектр, бояд ҳангоми со-хтани хати қачи тақсимоти импулсҳо адади ҳисоби ρ-ро барои ҳар

як қимати майдони магнитӣ ба майдон муносиб тақсим кунанд. Дар ҷадвали 2.10.1. чи тавр натиҷаҳои ҳосилшударо коркард кардан лозим аст, нишон дода шудааст. Дар мавриди спектрометри магнитӣ бо майдони доимӣ ё ин ки бо радиуси доимӣ ва инчунин дар мавриди спектрометри кундалангӣ электростатикӣ, ҳарду спектр аз рӯи энергия ва импулс дида мешавад.

Хатҳои конверсионӣ бо қимати Bρ аз 1000 то 3000 бо осонӣ мушоҳида мешаванд. Энергияи 50 кэВ ба Bρ≈3000 аст. Таносуби байни энергияе E ва импулс ρ аз ифодаи (2.10.2) ҳосил мешавад:

$$E= mc^2-m_0c^2, \qquad (2.10.3.)$$

Дар инҷо:

$$E=\sqrt{(m_0c^2) + e^2c^2(B\rho)^2} - m_0c^2, \qquad (2.10.1.)$$

Ифодаи E бо киллоэлектронволтҳо ва $B\rho$ бо эрстед ба сантиметр ифода шуда, ҳамчун бузургиҳои оддии доимӣ истифода мешаванд, ки бо саҳеҳии хеле хуб ҳосил мешаванд:

$$E_{(кэВ)} = (510{,}976 \pm 0{,}007)\cdot$$

$$(\sqrt{(3442{,}2 \pm 0{,}1)\cdot 10^{-10}(B\rho)^2 + 1} - 1), \qquad (2.10.5.)$$

Дар инҷо 510,976-энергияи оромии электрон бо кэВ. Ин бузургиро бо μ ишора намуданд, ки таносуби дигари фонданокро навиштан мумкин аст, махсусан таносуби байни тағйирёбии нисбии энергия ва импулс чунин аст:

$$\frac{\Delta E}{E} = \left(1+\frac{\mu}{\mu+E}\right)\cdot\frac{\Delta(B\rho)}{B\rho}, \qquad (2.10.6.)$$

Ин муодиларо истифода мебаранд, кадом вақте, ки интерполятсияи аниқ дар ҷадвали E- Bρ лозим бошад. Ғайр аз ин, азбаски тафриқаи спектрометри магнитӣ R ба намуди васеъгии нисбии хат дар дар баландии импулс гирифта мешавад, яъне $R=\Delta B\rho/B\rho$, он гоҳ муодилаи (2.10.6.)-ро барои баҳо додани тафриқаи энергияи муносубтарин истифода мебаранд.

Чадвали 2.10.1.

Сохтани хати качи тақсимшавии энергия ва импулса

Тавсифа	Спектрометри магнитӣ		Спектрометри электростатикӣ (майлкунии майдони тағйирёбанда)
	B-доимӣ	B-тағйирёбанда	
Бузургиҳои ченшаванда: Абсисса Ординат	Радиус $\boldsymbol{p}$ Адади сарҳисоб P	Майдони малнитӣ B, Адади сарҳисоб P	Шадидият V Адади сарҳисоб P
Хатти качи тақсимшавӣ импулс: Абсисса Ординат	$\boldsymbol{p}$ ρ	B ρ/B	$\sqrt{V}$ $P/\sqrt{V}$
Хатти качи тақсимоти энергия: Абсисса Ординат	$\boldsymbol{p}^2$ ρ/$\boldsymbol{p}$	B^2 ρ/B^2	V P/V

Адади импулсҳо ва энергия дар воҳиди релятивистӣ чунин ифода мешавад, яъне:

$$\Pi = \frac{P}{m_0 c} = \frac{Bp}{170.43}, \qquad (2.10.7.)$$

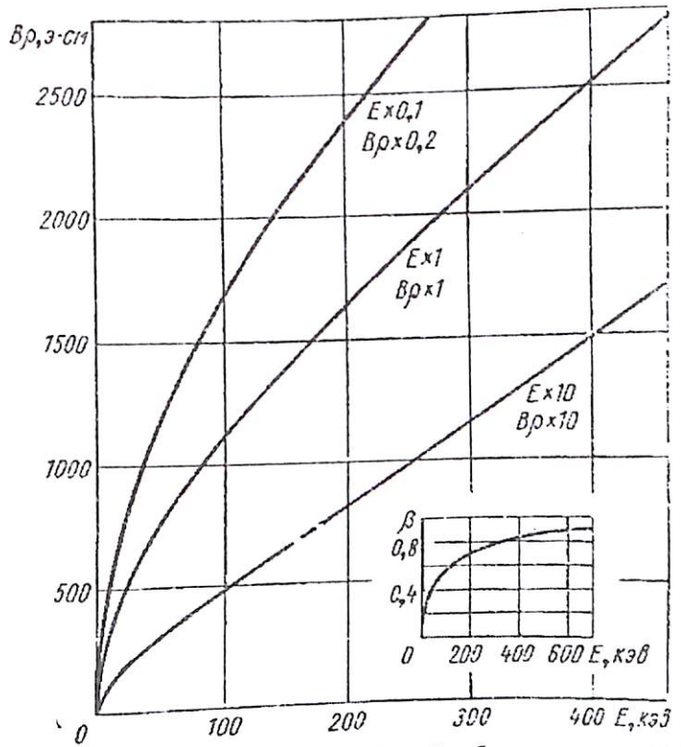
$$\varepsilon = \frac{\varepsilon}{m_0 c^2} = \frac{E}{510.976}, \qquad (2.10.8.)$$

Энергияи оромии электронро ба инобат гирифта, таносуби додиро ҳосил мекунем:

$$\varepsilon^2 = \Pi^2 + 1, \qquad (2.10.9.)$$

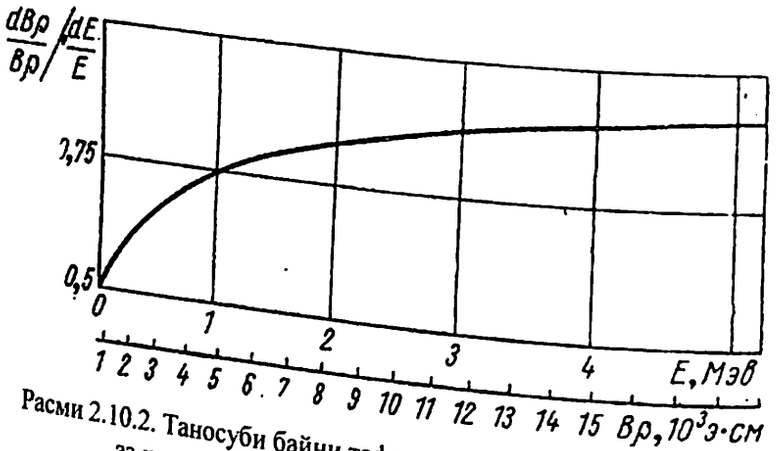
Таносубӣ байни E (бо киллоэлектронволт) ва BP (бо эрстед ба сантиметр), ки дар формулаи (2.10.5) ифода ёфта аст, ба таври графикӣ дар расми 2.10.1 пешниҳод шудааст.

Дар расми 2.11.1 таносуби байни бузурги $\beta = \vartheta/c$ ва энергияи E барои электронҳо пешниҳод шудааст. Қайд кардан мумкин, ки электрон дар энергия 100 кэВ дорои суръате мебошад, ки ба ними суръати рӯшной баробар аст. Барои алфа-заррaҳо, ки энергияшон 5 МэВ аст, бузургии бетта ҳамагӣ баробарӣ 0,05 мебошад. Бузургии калони бетта барои электронҳо, ки ҳангоми коҳиши радиофаъол хориҷ мекунанд, ҳангоми сохтани спектрометрҳои электростатикӣ, мушкилоти чиддиеро пеш меоранд, барои он ки таъсири релятивистӣ ба тағйирёбии хусусияти конундиҳӣ меоварад.



Расми 2.10.1. Таносуби байни E ва Bρ барои электронҳо (замима- вобастагии $\beta = \vartheta/c$ аз E)

Дар расми 2.10.2 таносуби (2.10.6.) байни тафриқа аз энергия ва тафриқа аз импулс оварда шудааст.

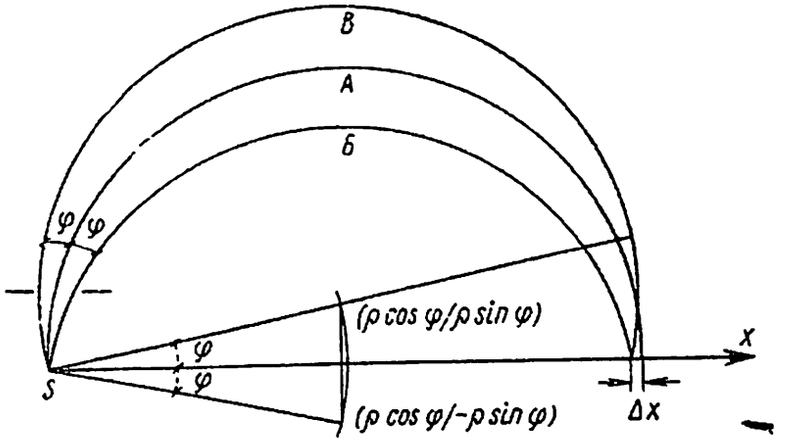


Расми 2.10.2. Таносуби байни тафрика аз энергия ва тафрика аз импулс дар асоси мутаносибии (2.10.6.)

2.11. СПЕКТРОМЕТРИ МАГНИТӢ БО ҚОНУНДИҲИИ НИМДОИРА

Муайян кардани энергияи бутта-заррањоро аз рӯи майлкунишон дар майдони магнитӣ якумин бор соли 1910 Байер ва Тан пешниҳод карданд. Онҳо "усули майлкунии ростро" истифода бурданд. Мӯяки фаъолшуда аз худ бета-заррањо хориҷ мекунад, ки онҳо аз сӯрохии танг мегузаранд, баъд дар ягон масофаи ихтиёрӣ интихобшудаи фотолавҳа ба қайд гирифта мешаванд, ки тарафи рӯяи чапи он ба сӯрох ва мӯяк гузошта шудааст. Майдони магнитии майлкунанда ба дастаи бета-заррањо перпендикуляр мебошад. Бо ёрдами ин дастгоҳ Байер ва дигарон мавҷудияти ҳатиҷ муайянро дар спектри энергиявии бета-афканишот ошкор карданд. Бо вуҷуди ин зариби гузаронандагӣ ва қобилияти тафриқа хеле бад буд, сабаб дар он ки қонундиҳии бета-заррањоро истифода набурданд. Якумин дастгоҳи истифодабарии қонундиҳии магнитӣ ба Даниш тааллуқ дорад. Вай дар соли 1912 тарзи қонундиҳии нимдоираро пешниҳод кард, ки то инҷониб дар бетта-спектрометр васеъ истифода мебаранд.

Манбаи нуқтавиро дида мебароем, ки ба ҳама тараф (4π) электронҳои энергияашон якхеларо (масалан, электронҳои конверсионӣ) хориҷ мекунад. Хати сайри электронҳоро дар ҳамвории перпендикуляр ба равиши майдони магнитии пайвастшуда тадқиқот мегузаронем. (расми 2.11.1.). Сӯрохии маҳдудкунанда дастаи парокандашавандаи хатти сайри электронҳоро бо радиуси хати қаҷи якхелаи Р, P_0 мебурад. Бо осонӣ дидан мумкин аст, ки баъди нимдавр даста дорои васеъгии хурдтарин мешавад. Қонундиҳӣ пура нест, яъне дорои баъзе аберратсияи (майл хӯрдан) куравӣ сабабияти васеъгии охирони тасвирӣ Δx мебошанд.



Расми 2.11.1. Тарзи конундиҳии нимдоира

Аз расм маълум, ки $\Delta x = 2\varphi - 2\rho\cos\varphi$,инҷо 2φ - апертураи даста, агар манба дорои васеъгии охирнок бошад, васеъи пурраи тасвир

$$\Delta x = S + 2\rho(1 - \cos\varphi), \qquad (2.11.1.)$$

Аз ин ифода васеъгии нисбии хатро ҳосил кардан мумкин аст, масалан барои тафриқи базиси R^0, бо назардошти он ки $\Delta x = \Delta 2\rho$ *ва* φ хурд аст, ҳосил мекунем:

$$R^0 = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{S}{2\rho} + \frac{\varphi^2}{2}, \qquad (2.11.2.)$$

Ҳамин тавр тафриқа аз ду аъзо иборат аст, якум вобаста аз васеъии манба, дуюм аз кунҷи апертура ва радиуси хати каҷ. Танҳо барои манбаи нафиси беохир тафриқа аз ченаки спектрасанҷ вобаста нест. Барои манбаҳое, ки дорои фаъолият ва васеъгии муайян

мебошанд, аъзои якум албатта саҳм ба тафрика медиҳад. Дар шароити муносибтарин ҳарду аъзо ба тафрика саҳми якхеларо медиҳанд. Ин ба таносуби зерин меоварад:

$$\varphi = \sqrt{\frac{S}{\rho}}, \qquad (2.11.3.)$$

То ин вақт мо танҳо васеъии пурраи хатро дида баромадем, яъне васеғӣ ба асосҳо. Мушоҳидаи тақсимшавии интенсивият дар ҳудуди хат хеле фоидаовар аст. Интесивият дар ҳар як нуқтаи лавҳа, ки ба равиши тири Х ҷойгир аст, ба адади зарра, ки дар воҳиди масоҳат меафтанд, мутаносиб аст. Аввало тақсимшавии интенсивиятро барои манбаи нуқтагӣ меомӯзем. Дода шудааст:

$$У \sim \frac{d\varphi}{dr}, \qquad (2.11.4.)$$

Азбаски $Х = 2\rho\cos\varphi$, ҳосил мекунем:

$$J \sim \frac{1}{2\rho\sin\varphi} \sim \frac{1}{\sqrt{4\rho^2 - x^2}}, \qquad (2.11.5.)$$

Ба сифати тағйирёбандаи нави масоҳат аз қафои хат ифодаи $z = 2\rho - x$ –ро дохил мекунем Ба мо тақсимшавии интенсивият танҳо аз наздикӣ ва канори хат лозим аст, ки $\rho \gg z$. Ифодаро ҳосил мекунем:

$$У \sim \frac{1}{\sqrt{z}}, \qquad (2.11.6.)$$

ки тақсимшавии интенсивиятро барои манбаи нуқтагӣ медиҳад. Нишон додан мумкин, ки хати каҷ нуқтаи қандашавиро дар z=0 ва $z = 2\rho(1 - \cos\varphi)$ медиҳад.

Акнун ҳолатеро дида мебароем, ки манба дорои васеъгии S бошад, он гоҳ бояд аз васеъгӣ манба интеграл гирем, яъне

$$У \sim \int_0^S \frac{dx}{\sqrt{z-x}}, \qquad (2.11.7.)$$

Аз сабаби мавҷуд будани нуқтаҳои шикаст интегралро бояд ба се қисм тақсим кунем:

$$У_1 \sim \int_0^z \frac{dS}{\sqrt{z-s}} \sim \sqrt{z} \text{ барои } 0 < z < S, \qquad (2.11.8.)$$

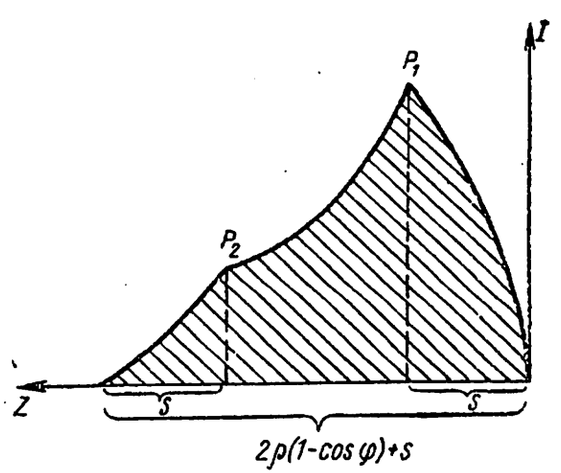
$$У_2 \sim \int_0^z \frac{dS}{\sqrt{z-s}} \sim \sqrt{z} - \sqrt{z-S} \text{ барои } S < z < 2\rho(1-\cos\varphi), \qquad (2.11.9.)$$

$$У_3 \sim \int_{z-\rho(1-\cos\varphi)}^{z} \sqrt{2\rho(1-\cos\varphi)} - \sqrt{z-S}, \qquad (2.11.10.)$$

аз тарафи дигар барои $2\rho(1-\cos\varphi) < z < 2\rho(1-\cos\varphi) - S$.

Ҳамин тавр тақсимшавии интенсивияти ҳосилшуда дар расми 2.11.2 тасвир шудааст. "Хатти" контурӣ дорои максимумҳои тез (нуқтаи асосӣ) ρ_1 ҳангоми Z=S ва нуқтаи асосии дигар ρ_2 ҳангоми $Z=2\rho(1-\cos\varphi)$ мебошад. Маълум аст, ки охири хат ҳангоми Z=0 будан ба канори манба мувофиқ аст, ба лавҳа наздиктар, он гоҳ баландии хат дар нуқтаи ρ_1 ба дигар канори манба мувофиқ меояд. Ҳар яки аз ин ду масофа баробари 2ρ аст. Ин натиҷаҳо аз майдони магнитӣ В ва импулси электронҳо ҳосил мешавад.

Аз гуфтаҳои овардашуда барои фаҳмо шудани натиҷаҳо баъзе пешниҳодҳо мавҷуд аст. Дар амалия сими фаъол дорои баландии муайян дар баъзе ҳолатҳо муддавар мешавад, на ҳамвор. Маълум аст, ки дар ин мавридҳо хусусияти асосии хати каҷ, ки дар расми 2.12.2. оварда шудааст, нигоҳ дошта мешавад, ҳол он ки ҳисобҳо ногаҳонӣ мураккаб мешаванд.



Расми 2.11.2. Тақсимшавии интенсивият дар бета-хатҳо

Камшавии кунҷи φ нуқтаҳои ρ_1 ва ρ_2–ро ба ҳам наздик мекунад ва хатро тезтар мекунад, бе тағйирёбии интенсивнокӣ дар нуқтаи ρ_1

то он ҳолате, ки ρ_2 ба ρ_1 мувофиқ наояд. Дар оянда камшавии φ ба камшавии интенсивият дар максимуми хат меоварад. Вобаста ба ин шароити муносиб мерасад, ҳангоми 2s=2ρ(1-cosφ)+S, яъне ҳангоми $\varphi = \sqrt{S/\rho}$.

Шароити муносибтаринро барои баландӣ h-и манба дида мебароем.

Хати сайри электрон, ки аз нуқтаи координатии h/2 парвоз карда, ба лавҳа меафтад, дар нуқтаи координатааш h/2 ҳамвории миёнаи кунҷи φ-ро пайдо мекунад. Дар ҳамвории перпендикуляр ба майдон B, радиуси хати каҷи сайр баробари ρ·cosφ мебошад. Ин гуна электронҳо, равшан аст, ки ба лавҳае, ки дар манба наздик аст, меафтанд, нисбат ба электрон, ки хати сайраш дар ҳамвории марказӣ мехобад. Масофа ба тули тири X байни ин ду нуқтаҳо чунин тасвир карда шудааст:

$$\Delta x=2\rho-2\rho\cos\varphi, \qquad (2.11.11.)$$

Аз сабаби он ки кунҷи φ хурд, таносуберо ҳосил мекунем:

$$\varphi=\frac{h}{\pi\rho}, \qquad (2.11.12.)$$

Дар якҷоягӣ бо ифодаи (2.11.11.) ҳосил мекунем:

$$\Delta x=\frac{h^2}{\pi^2\rho}, \qquad (2.11.13.)$$

Ба монанди пешина баландии пурраи манба бояд чунин бошад, ки васеъшавии тасвир, ки ба ҳамвории амудӣ манба вобаста аст, васеъшавиро зиёд накунад, ки ба васеъгии манба S алоқаманд буда, канори апертураи горизонталии даста ба бузургии φ мувофиқат мекунад, яъне:

$$\frac{h^2}{\pi^2\rho} \le S, \qquad (2.11.14.)$$

Аз инҷо барои шароити муносиб дар бисёр ҳолатҳо аз таҷриба мушоҳида мешавад, ки он чунин аст:

$$h \le \pi\sqrt{S\rho}, \qquad (2.11.15.)$$

Пас аз шарти (2.11.15.) мебарояд,ки агар майдон B тағйир ёбад ва хате, ки қайдгирак бо васеъгии сӯрохии ω ҳисоб мекунад, мувофиқан васеъ мешавад. Он гоҳ ифодаи пурарои барои васеъшавии базис (ду маротиба зиёд аз нимвасеъгии нисбие, ки дар таҷриба муайян мекунанд.) ҳосил мекунем:

$$R^0 = \frac{1}{2\rho}(S + \omega + \rho(\varphi^2 + \psi^2), \qquad (2.11.16.)$$

Онгоҳ дисперсия баробар мешавад ба:

$$\gamma=\frac{2}{B}, \qquad (2.11.17.)$$

Кунҷи ҷисмӣ аз ифодаи зерин ёфта мешавад,

$$\Omega = \frac{4\varphi}{2\rho}, \qquad (2.11.18)$$

Аммо бузургии -ро аз таносуби зерин муайян мекунанд:

$$\Lambda = Sh\frac{\varphi\psi}{2\pi}, \qquad (2.11.19)$$

Барои наздиктар баҳо додани шароити муносибтарин фарз кардан мумкин, ки саҳм дар васеъгии хат аз аъзои гуногуни ифодаи (2.11.16) якхелла ва $R^0 \approx 2\rho^2$ мебошад, он гоҳ кунҷи ҷисмӣ:

$$\Omega = \frac{R^0}{4\pi}, \qquad (2.11.20)$$

Барои баҳо додани зариби гузаронандагӣ T бояд ҳаматарафа бодиққат ба назардошти шакли аниқи тасвир, ҳисобу китобро иҷро кунем. Бо вуҷуди ин, аз ҳама пешниҳоди ақлона, ки $T \approx \Omega/2$ ва ним васеъгии нисбии хат $R \approx R^0/2$ аст, он гоҳ $T \approx 0.1R$-ро ҳосил мекунем.

Ҷефирион тадқиқоти чуқури ҳаматарафаи шароити муносибро барои ҳолатҳое, ки манбаи хеле дарозро истифода бурдан лозим аст, гузаронид. Вобаста ба он, интихоби сӯрохи аз ҷиҳати бузургии қайдгираки Гейгер, ҳангоми геометрия доимӣ будан, чунин шартҳоро пешниҳод кард:

1) $S = \omega = \frac{1}{3}\rho R$;

2) васеъгии диафрагма дар зери кунҷи 90^0 баробарӣ $2\rho\sqrt{2R/3}$;

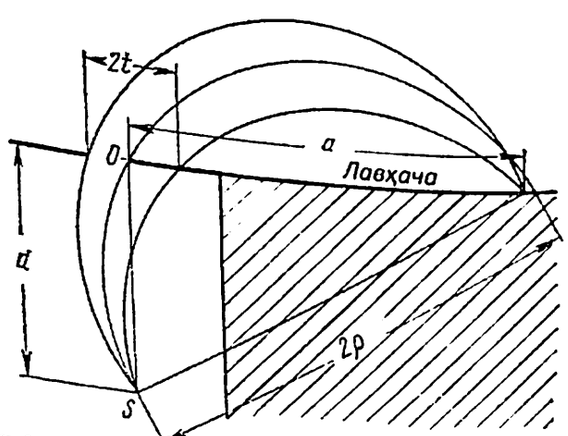
3) баландии манба, диафрагма ва сӯрохии ҳисобгираки Гейгер дар геометрияи доимӣ баробари $h = 2\pi\rho\sqrt{R/3}$.

Дар ин маврид таносуби байни интенсивият дар максимуми хат ва тафриқа чунин мешавад:

$$У_{max} = 0.457K\rho^2R^5/_2 , \qquad (2.11.21.)$$

Дар инҷо К-адади электронҳои энергияшон якхела, ки манба ба ҳама тараф дар воҳиди масоҳату вақт хориҷ мекунад.

Баъдтар асбобе, ки ин шартро қаноат мекунонад, Чефирон ва Гирекс сохтанд, ки он дорои чунин тавсифҳо аст: радиуси хатти қач 30,5 см, тафриқа дар кори муътадил 0,25%; зариби гузаронандагӣ 0,07%; баландии манба ва сӯрохи ҳисобгирак 5см, васеъгии онҳо 1мм. Қайдгирак бо тақвиятдиҳандаи электростатикӣ таъмин буд, ки имконият медод, электронҳои суст-тариро то бо энергияи даркорӣ тақвият дихад.



Расми 2.11.3. Манба ва лавҳача дар як ҳамворӣ намехобанд.

Ду варианти ҷойгир кардани манба мавҷуд аст: дар сурохи даромад ва дар лавҳачаи суратгирӣ, расмҳои (2.11.3.) ва (2.11.4.). Дар мавриди якум (нигаред ба расми 2.11.3.) қисми зиёди сӯрохии даромад истифода шуда, дар як ҳамворӣ бо лавҳачаи расмӣ ҷойгир аст. Манба рост гузошта шудааст, ки аз мобайни сӯрох мегузарад

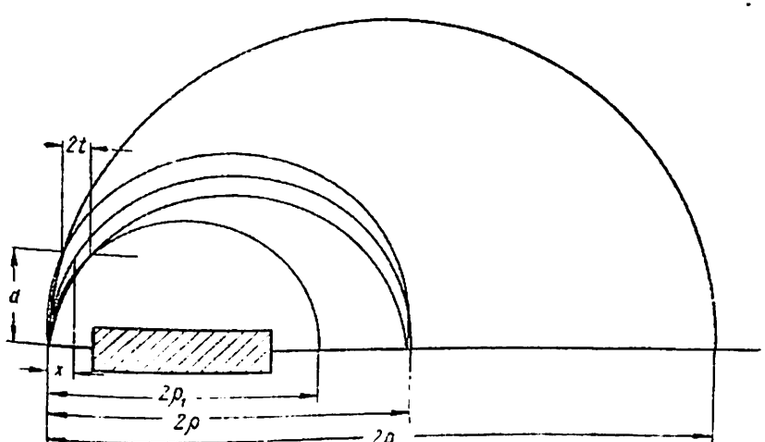
ва ба ҳамвории лавҳача перпендикуляр мебошад. Дар ин гуна ҷойгиршавӣ нури ба канори хат афтанда (нури марказӣ) аз нуқтаи О мегузарад, новобаста аз радиуси хати қачи онҳо ρ.

Бинобар он ҳамон лавҳачаро бехавф истифода бурдан мумкин, ки канори сӯрохро маҳдуд мекунад ба бета-афканишот, ки возеҳан дар канори хат ҳосил мешавад, таъсир мерасонад.

Дар ҳолати дуюм (нигаред ба расми 2.11.4.) манбаро ба ҳамвории лавҳачаи расмгирӣ мегузоранд. Сӯрох хеле ҳам ба манба наздик ҷойгир аст ва ҳамин тавр ҷойгир мекунанд, ки нури марказӣ дар қимати муайяни ρ аз мобайни сурохӣ гузарад. Бинобарин, ҳангоми аз ҳама калон ё аз ҳама хурд будани радиуси ρ нурҳои "марказӣ" пӯшонида шуда, сурохро маҳдуд мекунанд. Бо осонӣ нишон додан мумкин, ки

$$\rho_1 < \frac{\rho d^2}{d^2+2t\rho}, \qquad (2.11.22)$$

$$\rho_2 < \frac{\rho d^2}{d^2-2tS}, \qquad (2.11.23)$$



Расми 2.11.4. Манба ва лавҳача дар як ҳамворӣ.

Агар d хеле хурд бошад, ҳангоми калон будани тафриқа бе сарфи нури марказӣ соҳаи хеле калони қимати ρ мавҷуд аст, ки онро истифода бурдан мумкин аст. Ин гуна ҷойгиркунӣ чунин бартарӣ дорад, ки қимати ρ ва бузургии Вρ–ро барои хат мумкин аник ва

оддӣ чен кунем, барои он ки манба ва ҳамаи хатҳо дар як ҳамворӣ ҷойгир шудаанд. Ғайр аз ин, ҳамаи электронҳое, ки ба лавҳача меафтанд, ба сатҳи он перпендикуляранд.

Дастгоҳе, ки ρ чен карда мешавад, дар расми 2.11.3. тасвир шудааст, он барои спектрнигорӣ сохташуда дорои тафриқаи калон ва майлони магнитии доимӣ мебошад.

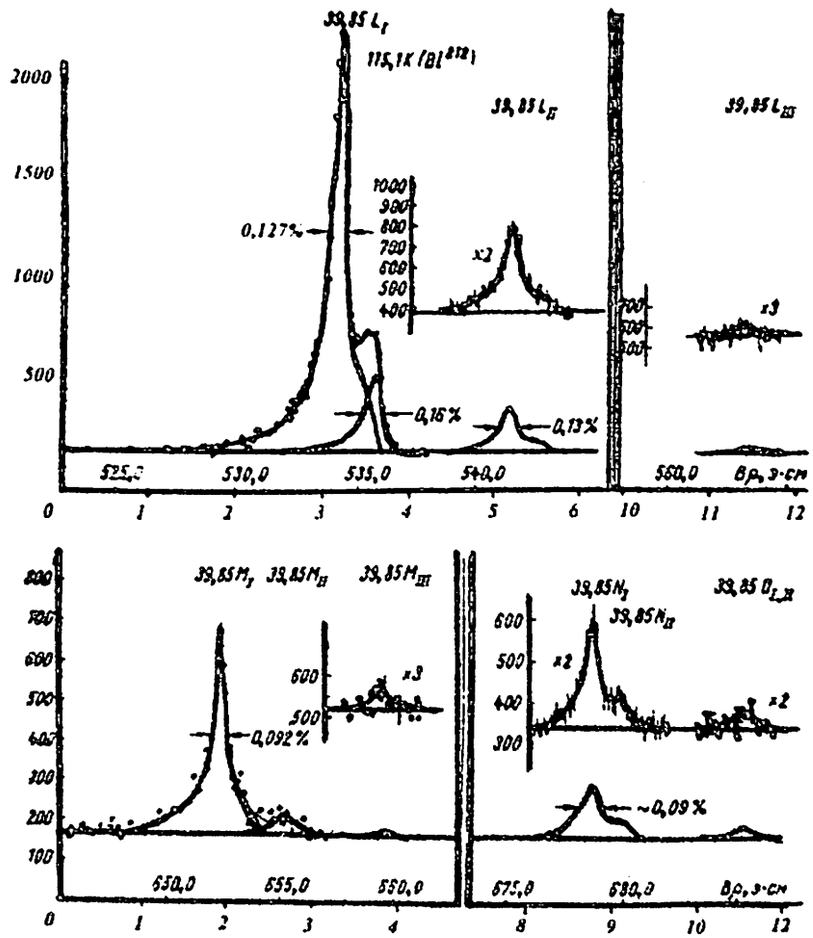
Дар сохтори пешниҳодкардаи Зигбан варианти дуюми ҷойгиркардани манбаро истифода бурданд. Манба, сурохӣ ва фотолавҳача дар як дорак бо саҳеҳии аниқ барқарор карда мешавад. Ченкунӣ бо ёрии компоратор гузаронида шудааст, ки майдони магнитӣ дар ин сохтор ба воситаи ғалтаки чаппаистода чен карда шуд.

Дар сохтори Линдстрём барои чен кардани майдони магнитӣ усули нуқтавии резонанси протониро истифода бурданд. Ба сифати қайдгирак қайдгираки Гейгер-Мюллерро, ки барои кам кардани фон ба реҷаи мувофиқӣ пайваст буд, истифода бурданд.

Гарчанд, ки спектрометри қонундиҳии нимдоира нисбати бузургии гузаронандагиаш назар ба бисёр дигар ҳолатҳо хеле бад аст, бинобар ин ба наздикӣ коркарди навъи спектрометрҳо (аз сабаби мавҷуд набудани қонундиҳии фазогӣ)-ро пешниҳод карданд, ки ба баъзе бартариҳои асосӣ соҳиб аст: а) сохтани он арзон ва оддӣ; б) вай аз ҷумла, ҳангоми бақайдгирӣ бо расм қисми зиёди спектр коршоям аст. Хусусияти охирон, эҳтимолан, хеле муҳим аст, барои он ки дар ин маврид гузаронандагии хурд онро ҷуброн мекунад, ки шумораи зиёди хатҳои конверсионии номаълум якбора ба қайд гирфта мешаванд. Дар дигар спектрометрҳои тафрикаашон баланд, зариби гузаронандагӣ хеле ҳам калон буда, ин гуна ченкуниҳо вақти дарозро талаб мекунанд. Бо вуҷуди ин, усули расмгириро истифода бурдан хеле мушкил аст, агар ченкунии аниқи интенсивият талаб карда шавад. Бояд сиёҳшавии лавҳачаро ба интенсивияти ҳақиқӣ баргардонем, ки ин хеле мушкил аст.

Бояд қайд кард, ки бартарии усули бақайдгирии расмгирӣ, тавре дар боло зикр кардем, - ин якбора ба қайдгирии қисми зиёди спектр мебошад. Ҳангоми фаъолияти манба камқувваттар будан барои ошкор кардани хат вақти экспозитсияро хеле ҳам зиёд гирифтан мумкин аст (ҳатто, якчанд ҳафта). Амалан ҳассосияти усули фотолавҳача чунин аст ки хат аз манбаи радиофаъол ҳамагӣ

1000 ҳати бета-зарраро дар як дақиқа ташкил медиҳад, ин мумкин аст баъди экспозитсияи якмоҳа ошкор шавад.



Расми 2.11.5. Хатҳои конверсионӣ бо энергияи 40 кэВ гузариш дар Te-208 бо усули ҳисоби дави электронҳо (эмулсияи Ильфорд K5) Севи гирифтааст. Энергияи баланд ва то 1 дараҷа қисми энергияи хурд, аз ҳисоби васеъшавии доплерӣ дар натиҷаи алфа-кафоравӣ

Даҳҳо маротиба ҳассостар, гарчанде усул хеле мушкил аст, - ин истифодабарии лавҳача бо эммусияи ядроӣ ва ҳисоби ҳар як да-

ви электрон ба ёрдами микроскоп ичро мешавад. Ҳудуди поёнии энергияи бақайдгирӣ тақрибан баробари 7 кэВ мебошад. Ҳангоми пешакӣ ё беҳтараш баъдан бо 10 килловолт тақвият додани электронҳо, яъне тақвият дар назди манба ё ин ки пеш аз фотолавҳача, мувофиқат кунад, электронҳоеро ба қайд гирфтан мумкин аст, ки энергияшон ба сифр наздик аст. Дар расми 2.11.5. хатҳои конверсионии гузариши 40 кэВ-ро дар теллур Te-208 бо усули ҳисоби дав ба қайд гирифта шудааст.

БОБИ III.
ҲАМТАЪСИРОТИ ЗАРРАҲО БО УНСУРҲОИ СИНТИЛЛАТОРҲО

3.1. НАВЪҲОИ САРФИ ЭНЕРГИЯИ ЗАРРАҲО

Сарфи ионизатсияй ягона нест. Номбар мекунем, ки аз ҳисоби қадом равандҳо зарра энергияашро дар мода сарф мекунад.

Сарфи ионизатсияй.

Таъсири кулонӣ бо ядро,

Таъсири ядро бо ядро,

Сарфи радиатсионӣ (афканишоти боздоштии суръатфизоии зарраҳо).

Сарфи черенковӣ

Аз тарафи дигар саҳми намудҳои гуногуни сарфи энергияро маънидод мекунем:

Сарфи ионизатсияро дар мавзӯъҳои гузашта номбар карда будем.

Сарфи кулонии ядро. Барои таъсири кулонӣ бо ядро аз формулаи зерин истифода мекунанд:

$$-\frac{\partial E}{\partial x}=\frac{4\pi z^2e^4n}{m\vartheta^2}ln\frac{m\vartheta^2}{\hbar\bar{\omega}\sqrt{1-\beta^2}},\ \hbar\bar{\omega}=\bar{J}=13{,}5z\ \text{эВ}, \qquad (3.1.1)$$

$\bar{J}$- потенсиали миёнаи ионизатсия. Аммо энергияе, ки дар як бархӯрд ба атомҳои мода дода мешавад, дигар аст. Қувваи таъсиркунанда (инчунин импулсе, ки медиҳад) z маротиба зиёд (z заряди ядро, зарра), аммо массаи ядро $\frac{\Delta M}{m}$ маротиба аз массаи электрон калон аст. Бинобар ин, нисбати энергияе, ки дар як бархӯрӣ ба ядро ва электрон медиҳад, баробари $\frac{z^2p^2}{2AM}/\frac{p^2}{2m}=\frac{ZM}{AM}$ мебошад.

Ғайр аз ин, бояд дар назар дошт, ки ядро дар мода нисбати электронҳо z маротиба камтар аст. Аз ин ҷо нисбати сарфи энергия барои ядрои кулонӣ ба ионизатсия баробар аст:

$$\frac{\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{ион}}}{\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{хастакулон}}}=\frac{m}{2M}\approx\frac{1}{4000}, \qquad (3.1.2)$$

Таъсири ядро бо ядро. Таъсири ядрой танҳо барои π –мезонҳо ва нуклонҳо вуҷуд дорад. Қувваи ядро кӯтоҳтаъсир аст. Майдони кулонӣ майдони электростатистикист ва он дар масофаҳои $>10^{-8}$ см ҷой дорад. Дар масофаи $\leq 10^{-13}$ ин майдон нест. Танҳо дар энергияи фавкулбаланди майдони кулонӣ зарра тела хӯрда, то масофаи 10^{-13}см аз ядро ҳаракат карда меравад. Бинобар ин сарфи ядро танҳо барои нуклонҳои энергияшон фавкулбаланд (нурҳои кайҳонӣ) назаррас мебошад.

Сарфи радиатсионӣ (афканишоти боздоштӣ). Интенсивнокии афканишоти боздоштӣ $\mathcal{J}$ баробар аст:

$$\mathcal{J} = \frac{2}{3}\frac{z^2e^2}{c^2}\left|\dot{\vec{V}}\right|^2, \qquad (3.1.3)$$

Дар ҳолати ғайриквантӣ ва ғайрирелативистӣ, азбаски $\dot{V} = \frac{F}{M}$ мебошад, бинобар ин сарфи радиатсионӣ танҳо барои электронҳо, на зарраҳои вазнин амал мекунад. Ҳисоби квантии релативистӣ тахминан ба чунин натиҷа мебиёрад.

$$\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{рад}} = \frac{E}{l_{\text{рад}}}, \qquad (3.1.4)$$

Дар ин ҷо $l_{\text{рад}}$ –доимии мода буда, ба $\frac{1}{z\rho}$ мутаносиб аст ва дарозии радиатсионӣ номида мешавад (онро ба таври назариявӣ ҳисоб кардан мумкин аст), $l_{\text{рад}} = 3{,}3$ м барои ҳаво ва 0,5 см барои сурб:

$$E = E_0 e^{-x/l_{\text{рад}}}, \qquad (3.1.5)$$

Сарфи радиатсионӣ ба таври хаттӣ бо зиёд шудани энергия меафзояд:

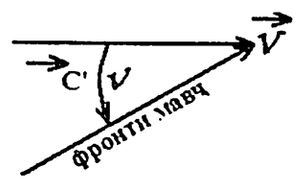
$$\frac{\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{рад}}}{\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{ионизатсия}}} = \frac{ZE(\text{МэВ})}{800}, \qquad (3.1.6)$$

дар ин ҷо энергияи $E > \frac{800}{Z}$ сарфи радиоатсионии зиёдшаванда аст.

Бузургии калони сарфи радиоатсиониро барои электронҳои зиёдэнергия дар суръатфизои электронӣ (мисол, дар синхротрон) барои ҳосил кардани дастаи гамма – нурҳо низ истифода мебаранд.

Сарфи черенковӣ: Дар муҳит суръати рӯшноӣ $c' = \frac{c}{n}$ аст, бинобар ин зарра метавонад бо суръате ҳаракат кунад, ки аз суръати рӯшноӣ зиёд бошад:

$$\left(\vec{\vartheta} > c'\right);\ \cos v = \frac{c'}{\vartheta}$$



Расми 3.1. 1. Афканишоти черенковӣ дар ҳудуди кунҷи v

Афканишоти черенковӣ – дар ҳудуди косинуси кунҷи v монанди мавҷи кишти паҳн мешавад (расми 3.1.1) Сарфи черенковӣ ба сарфи радиатсионӣ монанд аст.

Хулоса:

1. Барои электронҳои энергияшон хурд сарфи ионизатсионӣ, вале барои электронҳои энергияшон калон сарфи радиатсионӣ зиёд аст.
2. Барои зарраҳои вазнин сарфи ионизатсионӣ афзалият дорад.
3. Зарраҳои заряднок аз мода мегузаранд, роҳи муайяни охирнок доранд.
4. Зарраҳои вазнин дави муайян доранд.

3.2. ГУЗАРИШИ ГАММА-АФКАНИШОТ АЗ МОДА

Гузариши гамма-афканишот аз мода аз гузариши зарраҳои заряднок сифатан фарқ мекунад. Барои гамма – афканишот фаҳмиши дав вуҷуд надорад. Интенсивнокии даста дар ин ҳолат ба таври экспонентӣ бо афзудани масофа кам мешавад, аммо дар ягон ғафсии мода фурӯ бурда шуда, ба сифр майл намекунад.

Дарозии мавҷ $\left(\lambda\!\!\!^{-} = \frac{\lambda}{2\pi}\right)$ барои гамма–квант бо энергияи 1МэВ баробар аст ба:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E} = \frac{10^{-27}\cdot 3\cdot 10^{10}}{1{,}6\cdot 10^{-6}}\text{см} \approx 2\cdot 10^{11}\text{см}, \qquad (3.2.1)$$

$$(1\text{МэВ} = 1{,}6\cdot 10^{-6}\text{эрг}).$$

Ҳамин тавр, дарозии мавҷ дар соҳае, ки ба мо лозим аст, аз масофаи байни атомҳо хеле кам мебошад. Бинобар ин, дар ин ҷо ҳодисаи табиӣ квантии корпускулавӣ ошкор мешавад.

Барои омӯхтани назарияи ин масъалаҳо илми махсус машғул аст, яъне электродинамикаи квантӣ. Ҳолатҳои асосии электродинамикаи квантиро қайд мекунем:

Фаҳмиши мавҷмонанд.

Пайдошавии ҳодисаи корпускулавӣ.

Рӯшноиро ба намуди дастаи зарра – фотонҳо тасаввур мекунем. Қатъи зарраи релативистӣ бо массаи оромӣ ба сифр баробар аст. Шарти мавҷудияти зарраро бо массаи сифри оромӣ бо роҳи чунин гузариши ҳудудӣ нишон додан мумкин аст:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}}, K = \frac{m\vartheta}{\sqrt{1-\beta^2}}, E = \frac{kc^2}{\vartheta}, \qquad (3.2.2)$$

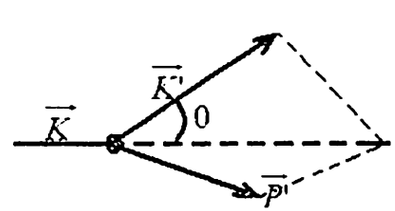
ҳангоми $\vartheta \to cE = kc, E = \hbar\omega, k = \frac{h}{\lambda}$

Дар мавриди ба мода афтидан (таъсир намудан) гамма-нур се раванд мушоҳида мешавад:

1. Фурӯбарии фотоэлектрикӣ.
2. Эффекти Комптон.
3. Пайдоиши ҷуфти электрону позитрон.

Дар раванди якум атом гамма-квантро фурӯ бурда, электронро ҳориҷ мекунад. Дар эффекти Комптон гамма-квантро электрон фурӯ мебарад, аммо электрон онро боз ҳориҷ мекунад, бо камшавии энергия, ки дар зери кунҷ мегузарад. Дар раванди сеюм квант дар майдони кулонии ядро фурӯ рафта, дар натиҷа дар ин майдон ду зарра - электрон ва позитрон пайдо мешавад. Акнун ин равандҳоро мухтасаран дида мебароем.

Эффекти Комптон: гамма-квант бо импулси K ба электрони ором меафтад. Дар натиҷаи бархӯрии квант ва электрон, он импулси мувофиқро мегирад: $\vec{K'}$ ва $\vec{P}$.



Расми 3.2.1. Эффекти Комптон

Қонуни бақои импулс ва энергияро менависем (расми 3.2.1).

$$\vec{K} = \vec{K'} + \vec{P}$$

$$ck + mc^2 = ck' + c\left(\sqrt{P'^2 + m^2c^2}\right), \qquad (3.2.3)$$

Формулаи 3.2.2-ро ба c тақсим карда, ҳосил мекунем:

$$p'^2 = k^2 + k'^2 - 2kk'\cos\theta, \text{ азбаски } \lambda = \frac{h}{k'}, \qquad (3.2.3а)$$

Аз формулаи (3.2.2):

$$p'^2 + m^2c^2 = (k - k' + mc)^2, \qquad (3.2.4)$$

p'^2 –ро хориҷ карда, ҳосил мекунем:

$$\text{КК}'^{(1-\cos\theta)} = mc(k - k'), \qquad (3.2.5)$$

инро бо kk'тақсим мекунем. Дар охир ҳосил мешавад:

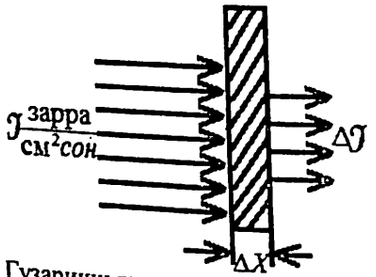
$$\lambda - \lambda = \Lambda(1 - \cos\theta), \Lambda = \frac{h}{mc} = 4\cdot 10^{-11}\text{см}. \qquad (3.2.6)$$

Бузургии Λ дарозии мавҷи комптонӣ номида мешавад.

Фаҳмиши буриши арзӣ: раванди бархӯрии фотон бо электронро дар соҳаи квантӣ ё классикӣ ҳамчун арзи кундаланг баррасӣ менамоянд. Арзи пурраро чунин фаҳмидан мумкин аст: зарраи парокандакунанда нишона мебошад. Ҳангоми ба нишона афтидани зарра, он аз роҳи худ майл мекунад (ё фурӯ меравад). Масоҳати нишонаро арзи кӯндаланг меноманд. Онро бо саҳеҳии аниқ чунин муайян мекунанд: Фарз кунем, ки дастаи зарраҳои пароканиши $J = N\vartheta$ ба модаи фурӯбаранда меафтад. Дар ин ҷо N –адади зарраҳои афтанда дар воҳиди ҳаҷм, ϑ –суръати парвози зарра (барои эффекти Комптон $\vartheta = c$), n –адади зарраҳои пароканишкунанда (нишона) дар воҳиди ҳаҷм, Δx –ғафсии нишона, ки ниҳоят ту-

нук интихоб карда шудааст (барои он ки пароканиши бисёркарата ба эътибор гирифта нашавад). Интенсивияти гамма-кванти аз ғафсии Δx –мода гузашта, ба бузургии $\Delta\mathcal{J}$ суст мешавад (расми 3.2.2.), яъне:

$$\frac{\Delta\mathcal{J}}{\Delta x} = -\mathcal{J}n\sigma, \qquad (3.2.7)$$



Расми 3.2.2. Гузариши гамма-квант дар модаи ғайнаш Δx

Бузургии σ –аз $\mathcal{J}, n, \Delta x$ вобаста нест, бинобар ин он як рӯйдоди пароканишро тавсиф медиҳад.

σ –арзи пурраи кӯндаланги пароканиш номида мешавад: он адади заррахои ба пароканиш дучоршударо муайян мекунад.

$\frac{\Delta\mathcal{J}}{\Delta x} = \sigma -$ сустшавии дастаи аввала дар воҳиди дарозии пароканда-шавии воҳиди зичӣ мебошад. Азбаски заррахои пароканда-шуда дар таҳти кунҷҳои гуногун мебароянд, бинобар ин адади заррахое, ки дар таҳти кунчи ҷисмӣ парвоз мекунанд, ба арзи диф-ференсиали пароканиш $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мутаносибанд ва ҳангоми нисбат ба кунҷ интегронидан арзи пурра σ –ро медиҳад.

Агар ғафсии модаи фурӯбаранда тунук бошад, он гоҳ

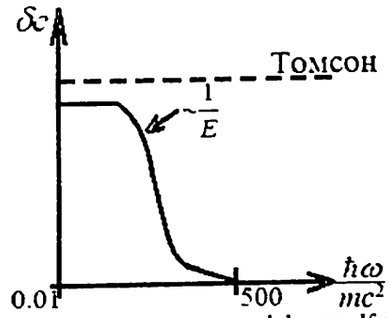
$$\frac{\partial\mathcal{J}}{\partial x} = -n\mathcal{J}\sigma \text{ пас} \mathcal{J} = \mathcal{J}_0 e^{-n\sigma x} \qquad (3.2.8)$$

бузургии $\tau = n\sigma -$ ро зариби хаттии фурӯбурд меноманд.

$[\sigma] = [\text{см}^2], [\tau] = [\text{см}^{-1}], \tau x = \frac{\tau}{\rho}$; $\rho x = \mu\varepsilon$ дар ин ҷо $\varepsilon \leq \rho x$ ва $\mu = \frac{\tau}{\rho}$ зариби массавии фурӯбурд мебошанд.

Арзро дар физикаи ядро бо барнҳо чен мекунанд. 1барн = 10^{-24}см^2 инчунин миллибарн ва микробарн истифода мешаванд.

1барн = 10^{-3}миллибарн = 10^{-6} микро-барн. Вобастагии арзи пурраи эффекти Комптон аз энергия чунин аст (ба расми 3.2.3 нигаред). Хусусияти ба худ хоси эффекти Комптон дар он аст, ки барои он σ_c аз Z вобаста нест ва $\tau = n_{\text{ат}} \cdot Z \cdot \sigma_c$ аст, пас зариби массавии фурӯбурд, $\mu = \frac{\tau}{\rho}$ аз навъи мода вобаста нест ва ин ба дигар равандҳо нӣрошаванда мебошад.



Расми 3.2.3. Вобастагии арзи пурраи эффекти Комптон аз энергия

Эффекти фотоэлектрикӣ: Электрони мода дар сохтори атоми он аст, яъне вай озод нест. Бинобар ин, раванди кандани электрон ҳангоми фурӯбарии фотон бе ҳарӣшавии гамма-кванти пароканишшуда мумкин аст. Ин равандро фотоэффект меноманд. Азбаски электрони озод фотонро фурӯбурда наметавонад, он гоҳ асосан фотоэффект дар энергияҳое иҷро мешавад, ки ба энергияи бандиши электрони атом баробар бошад ва саҳми асосиро (тартиби 80% ҳангоми $\hbar\omega > \mathcal{J}$) фотоэффект дар қишри k мебозад. Аз ин сабаб электронҳои фотоэффектро ҳамчун ғайрирелявистӣ баррасӣ кардан мумкин аст. Қонуни бақои импулс ва энергия дар фотоэффект чунин навишта мешавад:

$$\vec{k} = \vec{p} + \Phi_{\text{хаста}}, \qquad (3.2.9)$$

Импулсе, ки ба ядро дода мешавад кам не, аммо энергияе, ки ба ядро дода мешавад, аз сабаби калон будани массаи ядро хеле хурд мебошад:

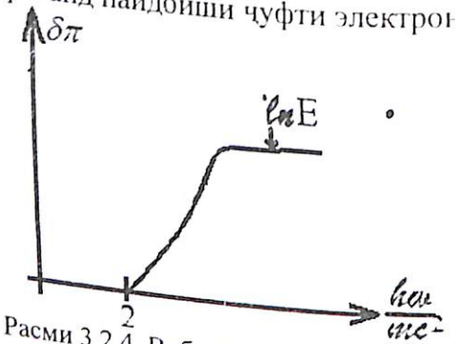
$$E_{\text{кин}} = \frac{p^2}{2\text{M}} = \hbar\omega - \mathcal{J}, \qquad (3.2.10)$$

Ҳамин тавр, фотоэффект ин ҳодисаи квантӣ мебошад: арзи фотоэффект $\sigma_\phi \sim Z^5$, арзи пароканиши Комптон дар атом $\sigma_c \sim Z$. Вобастагии σ аз энергия чунин аст: барои энергияи хурд дар раванди фотоэффект қишрҳои атом L ва K иштирок мекунанд. Бинобар ин, хосиятҳои фотоэффект чунинанд:

а) дар энергияи хурд арз бисёр калон аст, аммо ҳангоми зиёдшудани энергия ба тезӣ хурд шуда, ба назар ноаён мешавад.

б) Зариби массавии фурӯбурд аз Z вобастагии қавӣ дорад.

Ҷуфти электрону позитрон: ин раванд чунин аст: атом фотонро фурӯ мебарад, ҷуфти заррaҳо - электрон ва позитронро хориҷ мекунад. Позитрон – заррае мебошад, ки массааш ба массаи электрон баробар буда, аммо зарядаш мусбат аст. Аз назарияи Дирак маълум мешавад, ки барои энергияи калон гузариш дар ҳолатҳо бояд ба массаи манфӣ ҷой дошта бошад.Фарзияти Дирак: дар вакуум ҳамаи ҳолатҳо бо энергияи манфӣ пуршуда мебошад. Аз тарафи дигар, дар асоси принсипи Паули (дар як ҳолат на зиёда аз як зарра бо спини нимбутун ҷойгир аст) гузариш ба ҳолати энергияи манфӣ манъ аст. Аммо чунин ҳолате низ шуданаш мумкин аст, ки раванди гузариши электрон аз ҳолати энергияи манфӣ ба ҳолати энергияи мусбат иҷро шавад. Дар ин маврид электроне пайдо мешавад, ки дорои энергияи мусбат ва ҷавф дар фони ҳолатҳои пуршуда бо энергияи манфи соҳиб аст. Ҷавф дорои массаи мусбат ва заряд мебошад, заряди он муқобили заряди электрон аст. Ҷавф – позитрон мебошад ва худи раванд пайдоиши ҷуфти электрону позитрон аст.



Расми 3.2.4. Вобастагии арз аз энергия

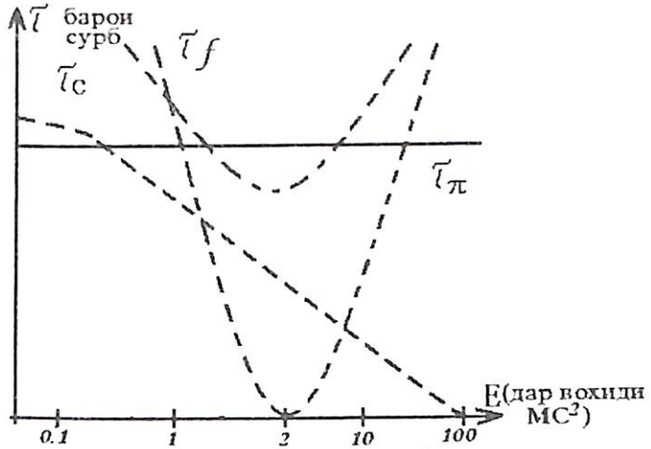
Акнун рафтори арзи пайдошавии ҷуфтро дида мебароем, ки айнан бояд зина (остона) дошта бошад (ҳангоми $E < 2mc^2$ зарра

пайдо намешавад); $\sigma_\pi \sim Z^2$, барои он, ки зариби массавии фурӯбурд аз Z вобаста аст. Раванди пайдоиши ҷуфт дар энергияи калони гамма-афканишот асосӣ ҳисобида мешавад. Дар расми 3.2.4. вобастагии арз аз энергия нишон дода шудааст.

Зариби пурраи фурӯбурди гамма–афканишот

Арзи пурра σ ва зариби пурраи фурӯбурд τ ба ҷамъи саҳми ҳаман равандҳо баробар аст (расми 3.2.5).

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_f + \sigma_\pi, \tau = \tau_c + \tau_f + \tau_\pi$$



Расми 3.2.5 Арзи пурраи фурӯбурд аз энергия

Зариби пурраи фурӯбурд дорои минимум дар энергияи $\sim 5mc^2$ барои сурб аст. Аз зариби пурраи фурӯбурд (онро бо осонӣ чен кардан мумкин аст) энергияи пурраи гамма – квантро муайян кардан мумкин аст. Дар зариби калони фурӯбурд як қимати τ ба ду қимати энергия мувофиқ меояд.

Раванди аннигилатсияи ҷуфти электрону позитрон

Дар асоси назарияи Дирак позитрон – ин ҷавфе мебошад, ки дар фони пуршудаи электронҳои энергияшон манфӣ ҷойгир аст. Чунин раванд мумкин аст дар вақти ба ин ҷавф бо энергияи мусбат «афтидани» электрон ҷуфти электрону позитрон нест шавад. Ин равандро аннигилатсия меноманд. Ҳангоми аннигилатсияи ҷуфт ду гамма-квант ҳосил мешавад (бо назардошти қонуни бақои импулс).

Хулосаи асосии гузариши гамма – нурҳо аз мода:

1. Барои зарраҳои заряднок сарфи энергияи ионизатсия чунин аст:

$$-\frac{\partial E}{\partial x} \sim \frac{z^2 n^2}{\theta^2} = \frac{z^2 zN}{\theta^2},$$

ки дар ин ҷо Z^2 –заряди зарра, Z –рақамии атомии мода, n –адади электронҳо дар $1см^3$ мода.

2. Зарраҳои вазнин аз рӯйи хатти рости масир ҳаракат мекунанд, $\sqrt{\theta^2} \sim Z\sqrt{\frac{R}{E}}$ дар ин ҷо $\bar{\theta}$ кунҷи миёнаи пароканиш.

3. Барои зарраҳои сабук ҳангоми зиёд шудани энергия, сарфи радиатсионӣ зиёдшаванда мебошад.

4. Қобилияти ионизатсиякунандагии зарра: 33эВ сарфи энергия дар ҳаво, ки як ҷуфт ионҳоро пайдо мекунад. Ҳамин тариқ, ионизатсияи пурраро дониста, энергияи зарраро муайян кардан мумкин аст.

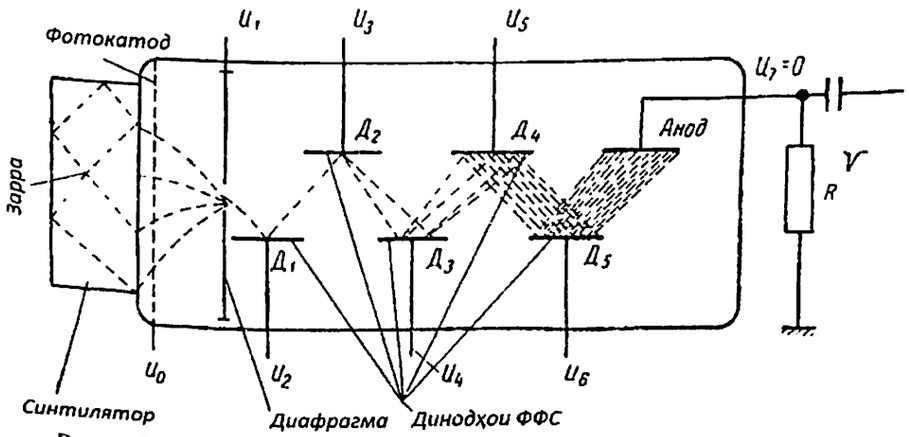
5. Аз зариби фурӯбурди гамма -афканиш энергияи гамма-квантро муайян мекунанд.

3.3. ЭЛЕМЕНТҲОИ АСОСИИ СПЕКТРОМЕТРИИ СИНТИЛЛАТСИОНӢ ВА ТАВСИФИ ОНҲО

Элементҳои асосие, ки спектрометрии синтиллатсионӣ ташкил медиҳад, қайдгиракҳои синтиллатсионӣ мебошад. Параметрҳо ва тавсифи қайдгиракҳо, тарзи кори спектрометрро сифатан муайян мекунад. Қайдгиракҳои синтиллатсионӣ аз синтиллятор ва фотофузунсоз (ФФС) иборат аст. Хусусияти қайдгиракро хосияти инъ маводҳо муайян мекунад. Тарзи кори ин гуна қайдгиракҳо чунин баҳо дода мешавад.

Дар натиҷаи фурӯбурди энергияи зарра ё гамма-афканишот дар модаи муайян, ки синтиллатор меноманд, дурахши рӯшной пайдо мешавад, ки вақти муайян сарф мешавад. Дурахшони рӯшноиро фотофузунсоз дошта мегирад ва ба импулси ҷараён табдил медиҳад. Агар фосилаи байни афтиши зарра дар синтиллатор нисбати давомияти дурахши рӯшной калон бошад, дар баромади қайдгирак якқатор импулсҳо пайдо мешаванд, ки ҳар яки он ба зарраҳои алоҳида мувофиқат мекунанд.

Дар расми 3.3.1. тарзи кори қайдгираки синтиллатсионӣ ба таври схематикӣ оварда шудааст. Зарра ба синтиллатор афтида, энергияи худро пурра сарф мекунад ё ин ки қисми энергияшро барои ангезиш ё ионизатсияи молекулаҳои синтиллатор сарф мекунад. молекулаҳои ангезонидашуда ё ионизатсияшудаи синтиллатор ба ҳолати муътадилӣ (арзӣ) гузашта, нур меафканад, ки он ба ҳама тарафи синтиллатор паҳн мешавад. Нури рӯшной аз синтиллатор ба фотокатод меафтад, аз он электронро канда мебарорад. Ин электронҳо дар майдони электрикӣ тақвиятшуда дар фосилаи фотокатод-диафрагма (сӯрохӣ) ва сӯрохӣ-динодӣ якум, ба динодӣ якум меафтанд ва аз сатҳи он якчанд электронҳои дуюминро канда мебароранд, шумораи ин электронҳои дуюмин аз шумораи электронҳои аз катод кандабароварда хеле зиёд аст. Электронҳои дуюмин дар шидати байни динодӣ якум ва дуюм тақвият гирифта ба динодӣ дуюм меафтанд, ки аз он ҳам электронро канда мебароранд. Ҳамин тавр шумораи электронҳо нисбати электронҳое, ки аз динодӣ сеюм канда бароварда мешаванд боз зиёдтар аст ва ғайра дар ҳар яки динодӣ ФФС шумораи электронҳо ба намуди тарман электронӣ меафзояд. Дар натиҷа ба анодӣ ФФС 10^6-10^7 адади электронҳо ҷамъ мешаванд.



Расми 3.3.1. Тарзи кори қайдгираки синтиллатсионӣ. $Д_1$, $Д_2$, …. $Д_5$ – динодҳои фотофузунсоз (ФФС) U_0, U_1, U_2,.... –потенсиал дар электродҳои ФФС.

Ин электронҳо дар баромади ФФС импулси ҷараёнро пайдо мекунанд. ФФС ва синтиллаторро барои ҳимоя намудан аз таъсири манбаҳои рӯшноии бегона ба хоначаи нурногузар ҷойгир мекунанд.

Чи тавре, ки дида мешавад, раванди қайдгирии зарраҳои алоҳида бо қайдгираки синтиллатсионӣ аз чунин қисмҳо иборат аст:

Энергияи зарра дар синтиллатор фурӯ меравад;

Синтиллатор ангезонидашуда нур меафканад;

Нур аз синтиллатор ба фотокатод мегузарад;

Аз фотокатод электронҳо канда мешаванд;

Зарбшавии шумораи электронҳо дар диноди ФФС мегузарад;

Электронҳо дар аноди ФФС ҷамъ мешаванд.

Дар ҳар як ҳолатҳои номбаршудаи раванди қайдгирӣ бо сабабҳои гуногун ба бузургии амплитудаи импулс тафрика таъсир мерасонад.

3.4. ФУРӮБУРДИ ЭНЕРГИЯИ АФКАНИШОТ ДАР СИНТИЛЛАТОРҲО

Ҳангоми дида баромадани фурӯбурди энергияи афканишот дар синтиллатор ду фарқиятро ба эътибор гирифтан лозим аст: 1) нурбориши синтиллатор бо зарраҳои заряднок (алфа, -бета-зарраҳо, протонҳо ва ғайра); 2) нурбориши синтиллатор бо гамма афканишот ё нейтронҳо, яъне афканишоте, ки заряд надорад.

Зарраҳои заряднок аз синтиллатор гузашта, энергияи худро ба молекулаҳои синтиллатор медиҳанд. Зарра метавонад энергияи худро пурра ё қисман ба синтиллатор диҳад. Қисми энергияи зарра E_0, ки ба синтиллатор медиҳад, дар намуди умуми баробари aE_0, аммо $\alpha \leq 1$. Бузургии зариби a аз нисбати дарозии роҳи ℓ, ки зарра дар синтиллатор тай мекунад, ба дарозии максималии дави зарра дар модаи синтиллатор λ вобаста аст. Агар ҳисоб карда шавад, ки зарра энергияи худро ба синтиллатор ба равиши роҳи тайкардаи баробар якхела медиҳад, онгоҳ $\alpha = \frac{L}{\lambda}$. Бузургии дави максималии зарра дар модаи синтиллатор аз табиат ва энергияи зарраи бақайдгирифта, аз тарафи дигар, аз қобилияти бозидории модаи синтиллатор, яъне аз зичии он, вазни атомӣ, рақами тартибии элементе, ки дар таркиби синтиллатор мавҷуд аст, вобаста мебошад.

Нейтронҳо ва гамма-афканишот ионизатсияро пайдо намекунанд, аммо дар натиҷаи ҳамтаъсироташон бо модаи синтиллатор зарраҳои заряднок ҳосил мешаванд, ки молекулаҳои синтиллаторро меангезонанд ва ионизатсия мекунанд.

Ҳангоми афтиши гамма-афканишот дар синтиллатор дар он бо раванди фотоэффект, комптон-эффект ё эффекти пайдоиши ҷуфт электронҳо пайдо мешаванд. Дар пайдоиши ҷуфт инчунин позитрон ҳам пайдо мешаванд. Нейтронҳои сареъ ба синтиллатор афтида, ядрои қафорафтаро пайдо мекунанд. Нейтронҳои сустҳаракат ва ҳарорат реаксияҳои ядроиро ба вуҷуд оварда, дар натиҷа зарраҳои заряднок ё гамма квантҳо ҳосил мешаванд, яъне гамма-квантҳо ва нейтронҳо дар натиҷаи ба синтиллатор таъсиррасониданӣ афканишоти дуюмин бо қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ба қайд гирифта мешаванд.

Пайдошавии зарраи заряднок дорои энергияи E_0 мебошад, ки аз энергияи гамма-квант ё нейтрони сареъ хурд ё баробар аст. Агар энергияи гамма-квант ё нейтрони сареъ E_1 бошад, онгоҳ $E_0 = \beta E$, β −зарибест, ки ҳиссаи (қисми) энергияи гамма-квант ё нейтронҳои сареъ, ки ба зарраи дуюмин медиҳанд, хурд ё баробари як аст, муайян мекунад. Миқдори энергияе, ки дар ин ҳолат ба синтиллатор дода мешавад: $E = \alpha\beta E_1$.

Агар гамма-квант дар натиҷаи фотоэффект ба синтиллатор фурӯ равад, онгоҳ ҳамаи энергияи гамма-квант E_1 ба электрони пайдошуда ва афканишоти характеристикӣ дода мешавад, ки ба раванди фотоэффект ҳамроҳ мешавад. Энергияи электрон ва афканишоти характеристикӣ аз рӯи қоида дар синтиллатор фурӯ меравад, дар охир ҳамаи энергияи гамма-квант барои ионизатсия ва ангезиши молекулаҳои синтиллатор сарф мешавад.

Электронҳое, ки дар натиҷаи пароканиши комптонӣ пайдо мешаванд, дар паҳнои энергии аз сифр то қимати максимали $E_{0max}<E_1$ спектри энергиявии бефосиларо доранд, дар инҷо E_1 – энергияи гамма-кванти якумин.

Энергияи электронҳои қафорафта вобаста аз кунҷи пароканиш ϑ аз формулаи зерин муайян кардан мумкин аст:

$$E = \frac{E_1(1-\cos\nu)}{1-\cos\nu+\frac{m_0c^2}{2E_1}}, \qquad (3.4.1.)$$

Электронҳои қафорафта бо энергияи максималӣ дар зери кунҷи пароканиши гамма-квант $\upsilon = 180^{\circ}$ ҳосил мешаванд:

$$E_{0max} = \frac{E_1}{1+\frac{m_0c^2}{2E_1}}, \qquad (3.4.2.)$$

Дар формулаи (3.4.1.) ва (3.4.2.) $m_0c^2 = 0{,}51$ МэВ энергияи оромии электрон аст. Гамма-кванти пароканишшуда аз рӯи қонда дар синтиллатор фурӯ меравад.

Ҳангоми фурӯбурди энергияи гамма-квант дар синтиллатор ҷуфти электрон+позитрон пайдо мешавад ва дорои энергияи зерин мебошад:

$$E_0 = E_1 - 2m_0c^2, \qquad (3.4.3.)$$

Электрон ва позитрон метавонанд дар синтиллатор фурӯ раванд ё аз ҳудуди он бароянд ва энергияи $2m_0c^2 = 1{,}02$ МэВ-ро гамма-квантҳои анигилятсияи электрону позитрон бо худ баранд.

Аз гуфтаҳои боло фахмо, ки энергияи электронҳои дуюмин, ки гамма-квантҳо дар синтиллатор ба вуҷуд меоранд, айнан бузургии зариби β аз энергияи гамма-кванти бақайдгирифташуда ва дар асоси қадом равандҳо фурӯбурди энергияи гамма-квант мегузарад, вобаста мебошад. Зариби α барои электронҳое, ки дар натиҷаи эффекти Комптон ва инчунин барои электронҳо ва позитронҳое, ки дар натиҷаи пайдоиши ҷуфт хосил мешавад, аксар вақт баробари як аст. Аммо ҳангоми пайдоиши ин зарра на дур аз канори синтиллатор электрон ё позитрон метавонад аз ҳудуди он барояд ва қисми энергияро бо худ барад, онгоҳ зариби α аз як хурд мешавад.

То ин дам ягона рӯйдоди ҳамтаъсироти гамма-квант бо модаи синтиллаторро дида баромадем, ки барои синтиллаторҳои ченакашон на он қадар калон ҷой дорад. Яъне барои синтиллаторҳо ченаки хаттиашон бо бузургии дави миёнаи озоди гамма-квант дар синтиллатор $d \leq \frac{1}{\mu}$ ё $R \leq \frac{1}{\mu}$, мебошад, дар инҷо d ва R мувофикан ғафсӣ ва радиуси синтиллатор ва μ-зариби умумии хаттии сустшавии гамма-квант дар синтиллатор. Дар синтиллаторҳои ченакашон калон эҳтимолияти ҳамтаъсироти бисёркаратаи гамма-квант дар синтиллатор зиёд аст. Дар ин ҳолат зариби β метавонад ба як баробар шавад. Ин эффектро – эффекти пурра фурӯбарии гамма-квант меноманд.

Нейтронҳои сареъ ба синтиллатор афтида, ядро унсурҳое, ки дар таркиби синтиллатор мавҷуданд, ба пароканиши чандирӣ ва ғайричандирӣ дучор мешаванд.

Дар натиҷаи пароканиши чандирӣ нейтрон бо энергияи E_1 ба ядрои массааш m бархӯрда, ядрои қафорафтаи энергияи E_0 пайдо мешавад:

$$E_0 = 2E_1 \frac{(M+m)-m\cos^2\upsilon\cos\upsilon\sqrt{(M^2-m^2)+m^2\cos\upsilon}}{(M+m)}, \qquad (3.4.4.)$$

дар ин ҷо m-массаи нейтрон.

Ҳангоми пароканиши ғайричандирии нейтрон ифодаи байни энергияи нейтрон ва ядрои қафорафта нисбати ифодаи (3.4.4.) хеле мураккабтар аст. Аммо пароканиши ғайричандирӣ барои ядроҳои вазнин имконпазир аст ва энергияе, ки онҳо аз нейтронҳо мегиранд на он қадар калон аст. Ғайр аз ин, ядроҳои вазнин амалан дар синтиллатор дурахши рӯшноиро ба вуҷуд намеоваранд. Заррачаҳои вазнин нисбати заррачаҳои сабук дурахши рӯшноиро ниҳоят кам пайдо мекунанд. Масалан, алфа-зарра бо энергияи 5 МэВ дурахши рӯшноиро пайдо мекунад, ки аз чиҳати бузургӣ 10 маротиба камтар нисбати электронҳое мебошад, ки энергияшон 5 МэВ аст. Бинобар ин, саҳми пароканиши ғайричандирии нейтронҳо ҳангоми қайдгирӣ бо қайдгиракҳои синтиллатсионӣ ба эътибор гирифта намешавад. Нейтронҳои сареъ ҳангоми пароканиши чандирӣ бо протонҳо энергияи зиёди худро ба ядрои қафорафта дода метавонанд. Дар ин маврид.

$$E_0 = E_1 \sin^2\upsilon, \qquad (3.4.5.)$$

ва зариби $\beta = \sin^2\upsilon$. Қимати максималии зариби β (β=0) ҳангоми пароканиш дар кунҷи $\upsilon=90^{\circ}$ қабул мекунад.

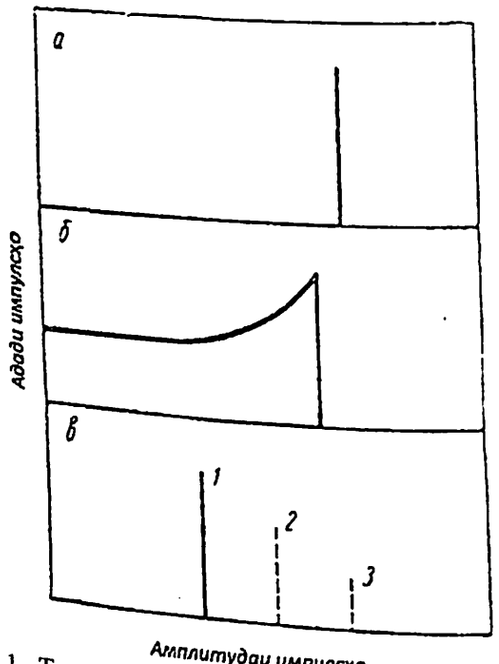
Ҳангоми бақайдгирии нейтронҳои ҳароратӣ синтиллаторҳое истифода бурдан мумкин, ки дар таркибашон литий ва бор мавҷуд бошад. Дар ин маврид реаксия бо алфа-зарра мегузарад:

$${}^{6}_{3}hi + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{3}_{1}H + 4{,}63 \text{ МэВ}, \qquad (3.4.5.а)$$

$${}^{10}_{5}\text{B} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{7}_{3}hi + 2{,}78 \text{ МэВ}, \qquad (3.4.5.в)$$

молекулаҳои синтиллаторро ба ангезиш ва ионизатсия мебиёрад.

Қайдгирии гамма-афканишоти энергияшон якхела бо қайдгиракҳои синтиллатсионӣ вобаста аз раванд, ки энергия фурӯ меравад, тақсимоти импулс дар баромади қайдгирак гуногун мешавад. Пас, ҳангоми фурӯбурди энергия дар натиҷаи фотоэффект ҳамаи импулсҳо дорои амплитудаи якхела мешаванд (расми 3.4.1.а.) (агар нобаробар тақсимшавии омориро дар синтиллатор ва ФФС ба назар нагирем).

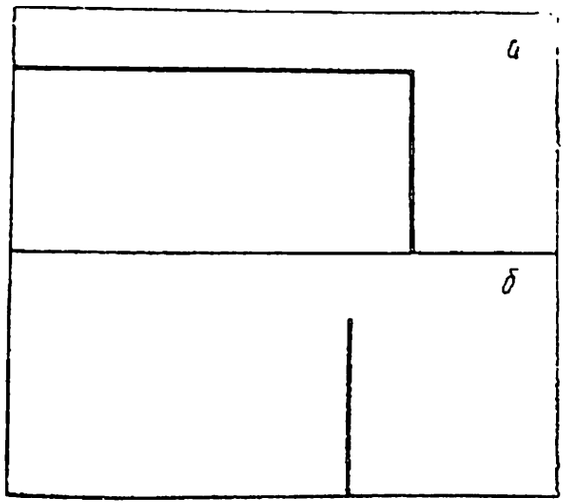


Расми 3.4.1. Тақсимоти импулс аз амплитуда ҳангоми фурӯбурди энергияи гамма-квантҳо дар натиҷаи фотоэффект (а), комптон-эффект (б) ва пайдоиши ҷуфти электрону позитрон (в).

Дар мавриди фурӯбурди энергия дар натиҷаи комптон-эффект тақсимшавии импулсҳо яклухт мешавад (расми 3.4.1.б.). Ҳол он ки амплитудаи максималии импулсҳо нисбати амплитудаи фурӯбурди пурраи энергияи гамма-квантҳо дар раванди-фотоэффект хеле хурд аст. Дар мавриди фурӯбурди энергия дар натиҷи пайдоиши ҷуфт амплитудаи ҳамаи импулсҳо якхела аст, аммо шароити

(эҳтимолияти) боз пайдоши ду гурӯҳи импулсҳо, пайдоиши гурӯҳи якум дар асоси фурӯбурди энергияи электронҳо, позитронҳо ва як гамма-кванти маҳвишӣ, гурӯҳи дуюм фурӯбурди энергияи электрону позитрон дар ҳар ду маҳвиши гамма-квантҳо, яъне фурӯбурди пурраи энергияи гамма-кванти манба ҷой дорад (нигаред расми 3.4.1.в.).

Ҳангоми қайдгирии дастаи монохроматикии нейтронҳои сареъ бо ҳисобгираки синтиллатсионӣ тақсимоти импулсҳо нисбати амплитуда яклухт мебошад (расми 3.4.2.а.), ҳангоми бақайдгирии нейтронҳои ҳароратӣ ҳамаи импулсҳои дорои амплитудаи якхела мебошанд (расми 3.4.2.б.).



Расми 3.4.2. Тақсимоти импулсҳо аз амплитуда ҳангоми бақайдгирии дастаи монохроматикии (якхелаи) нейтронҳои сареъ (а), дастаи нейтронҳои ҳароратӣ (б).

3.5. АФКАНИШОТИ РӮШНОЙ АЗ СИНТИЛЛАТОР. ВАҚТИ РӮШНОИАФКАНӢ

Дар модаҳои ғайрисинтиллатсиякунанда фурӯбурди энергияи афканишот бо энергияи ҳаракати лаппанда ё пешравандаи молекулаҳо табдил ёфта, ба намуди гармӣ ҷудо мешавад. Дар синтиллаторҳо қисми энергияи ангезиш ва ионизатсияи молекула

ба намуди рӯшноӣ афканда мешавад. Адади фотон m бо энергияи Еф, ки ҳангоми фурӯбурди он энергияи Е дар синтиллатор пайдо мешавад, аз ифодаи зерин ёфта мешавад:

$$m = \frac{E}{E_ф} к, \qquad (3.5.1)$$

Дар формулаи (3.5.1) k-зариби конверсияи рӯшноӣ, яъне зариби "таъсири фоиданоки синтиллатор" аст. Чи тавре, ки дар поён нишон дода мешавад, зариби конверсияи рӯшноӣ k аз бузургии энергияи Е фурӯбурд барои зарраи энергияш калон ва барои зарраи ионизатсияи хоси хурд вобаста нест. Дар ин ҳолат шумораи фотонҳо m дар як дурахш ба бузургии энергияи Е фурӯбурд мутаносиб аст. Аммо дар барои баъзе синтиллаторҳо зариби конверсияи рӯшноӣ бо камшавии энергияи заррахо ё бо афзоиши ионизатсияи хос, ки зарра ба амал меорад, зиёдтар кам мешавад ба вайроншавии таносуби байни энергияи фурӯбурд ва баромади рӯшноӣ меоварад. Ин эффект барои синтиллаторҳои органикӣ ба монанди антрасен назаррас мебошад. Раванди рушноиафканиии синтиллатор баъди ангезиш якчанд вақт давом мекунад ва интенсивияти афканишоти рӯшноӣ дар асоси қонуни экспоненсиалӣ нисбати вакт кам мешавад:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_0 e^{-\frac{t}{t_0}}, \qquad (3.5.2.)$$

дар инҷо -интенсивияти афканишоти рӯшноӣ бо гузаштани вақти t, t_0-вақти рушноиафкании синтиллатор, яъне фосилаи вақте, ки интенсивияти дурахши рушнои e маротиба кам мешавад, $\mathcal{J}_0$-интенсивияти аввалаи афканишоти рӯшноӣ. Дурахши рӯшноии лаҳзагӣ ба қимати максималӣ намерасад ва дар фосилаи вақти t меафзояд. Аммо бузургии t_1 аз вақти рушноиафкании синтиллатор t_0 хеле кам аст. Барои синтиллаторҳои гуногун вақти рӯшноиафканӣ t_0 гуногун ва тахминан дар ҳудуди аз 10^{-6} сония то 10^{-8} сония тайғир меёбад. Барои синтиллаторҳои органикӣ нисбати ғайриорганикӣ ин бузурги кам аст.

Дар асоси формулаи (3.5.2.) шумораи квантӣ рӯшноиро, ки синтиллатор дар фосилаи вақти t хориҷ мекунад, баъди саршавии нурафшонӣ аз формулаи зерин муайян мекунанд:

$$m_1 = m_0(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}), \qquad (3.5.3.)$$

Бузургии вақти рушноиафканиии синтиллаторро дар амалия муайян мекунанд.

3.6. ГУЗАРИШИ РӮШНОЙ АЗ СИНТИЛЛАТОР БА ФОТОКАТОДИ ФОТОФУЗУНСОЗ (ФФС)

Ҳангоми гузариши рӯшноӣ аз синтиллатор як қисми фотонҳоро худи синтиллатор фурӯ мебарад. Хосияти оптикии синтиллатор нисбат ба афканишоти худаш бо бузургии F шафофияти оптикӣ тавсиф дода мешавад, ки барои синтиллатор бо зариби фурӯбарии рӯшноӣ Б (ҳангоми бузургии роҳи фотон дар синтиллатори дарозиаш х) аз ифодаи $F = e^{-бx}$ муайян мекунанд.

Роҳе, ки фотон дар синтиллатор тай мекунад, ҳама вақт аз ғафсии d синтиллатор калонтар аст, барои он ки як қисми фотонҳо озмоиши инъикоси бисёркаратаи дохилиро мегузаронанд, пас ба фотокатод мерасанд. Зариби фурӯбурди рӯшноӣ аз дарозии мавҷи афканишоти рушноӣ вобаста буда, барои синтиллаторҳои гуногун ҳархела мебошад. Дар аксарияти синтиллаторҳо спектри нурафканӣ ва спектри фурӯбурд ҳамдигарро қисман мепӯшонад. Бинобар ин қисми фотонҳо, ки дар соҳаи пӯшидашуда мувофиқат мекунанд, фурӯ мераванд. Барои ингуна синтиллаторҳо Б калон аст. Аммо беҳтарин синтиллаторҳои органикӣ, ба монанди стилбен ва антрасен ва беҳтарин синтиллаторҳои ғайриорганикӣ натрий, йод мебошанд, ки барои онҳо зариби фурӯбурди рӯшноӣ калон аст. Зариби Б-ро хеле кам кардан мумкин аст, агар ба синтиллатор маводи махсус илова кунем, ки соҳаи пӯшидашавии спектри фурубурд ва афкандаи рушноиро кам кунад. Ба синтилллаторҳои органикӣ ҳамроҳкунии 1,4-ди-[2-(5-фанелок сазолил)]- бензол (РОРОР) самаранок аст. Ба синтиллаторҳои пластмассӣ аз полистирол бо терфенил ба сифати иловагии асосӣ бо миқдори 0,15% аз вазни нурхориҷкунии синтиллатор бе ҳамроҳ кардани РОРОР фоидаовар мебошад..

Аммо шумораи фотонҳо m_1, ки ба фотокатод меафтанд, аз шумораи m фотонҳои аз синтиллатор хориҷшуда ҳама вақт кам аст:

$$m_1 = mfF\varepsilon, \qquad (3.6.1.)$$

Зариби f аз ҷойгиршавии ҳамдигарии синтиллатор ва фотофузунсоз вобаста аст. Ба зариби f сифатан тамоси оптикии байни синтиллатор ва фотокатод таъсири калон мерасонад.

Аз рӯи қоида кристалли синтиллатсионӣ дар контейнери махсуси ҳавоногузар бандубаст мешавад, то ки кристаллро аз афтидани намнокӣ ва дигар зарбаҳо ҳимоя кунад. Дар ин маврид рӯшноӣ аз синтиллатор ба фотокатод аз тирезаи махсуси контейнер мегузарад ва қисман дар он фурӯ меравад. Синтиллатор бо ширеши махсус ба тирезачаи шишагӣ ширешонида мешавад – қисми рӯшноӣ дар қабати ширеш фурӯ меравад. Фотокатод ба сатҳи дохилии колбаи фотофузунсоз ҷойгир буда, қисми фотонҳо дар шишаи колбаи ФФС фурӯ мераванд. Ғайр аз фурӯбурди рӯшноӣ дар маводҳои номбаршуда, сарфи асосии рӯшноӣ дар натиҷаи инъикоси пурраи дохилӣ дар сарҳади ин маводҳо мегузарад. Нури дар синтиллатор инъикосшуда ба фотокатод бармегардад, аммо ҳиссаи рушноие, ки баъди инъикоси пурраи дохилӣ ба фотокатод мерасанд, хеле кам аст ва онро ба назар намегиранд. Ин намудҳои сарфи рӯшноиро бо зариби ε муайян мекунанд.

Барои зиёд кардани шумораи фотонҳо m_1, ки ба фотокатод мерасанд, бояд синтиллаторҳои шаклашон доира ё нимдоира тайёр шударо истифода баранд. Аммо натиҷаи беҳтаринро ҳангоми истифодабарии маводҳои инъикоскунанда ба даст овардан мумкин аст. Масалан, ҳама сатҳи синтиллаторро, ғайр аз қисме, ки ба фотокатод нигаронида шудааст, бо модаи диффузионии рӯшноиро пароканишкунанда пӯшондан лозим аст. Аз ҳама самараноктар модаи инъикоскунандаи рӯшноӣ оксиди магний MgO ва дуоксиди титан TiO_2 мебошанд.

Дар ҷадвали 3.6.1 якчанд намуди модаҳои инъикоскунанда нишон дода шудааст.

Аз ҷадвал дида мешавад, ки инъикоси рӯшноӣ аз дуоксиди магний 0,96 аст. Инчунин сатҳи синтиллаторро, ба ғайр аз қисме, ки ба фотокатод мехобад, шахшул тайёр мекунанд. Барои инъикоси рӯшноӣ тахтаи ҷарроҳиро низ истифода мебаранд, махсусан ҳангоми ченкунӣ бо синтиллаторҳои моеъ, ки дар кюветаҳои махсус васлшуда ҷойгир аст.

Ҷадвали 3.6.1.

Зариби диффузионии инъикоси рӯшноӣ баъзе модаҳо

Пӯшонидани сатҳи инъикоскунанда	Зариби инъикоси рӯшноӣ
Алюминий	0,55-0,85
Нукраи ношаффоф	0,7
Кремдори ношаффоф	0,5
Никели ношаффоф	0,5
Дуоксиди Титан	0,95
Гипс	0,85-0,9
Оксиди магний	0,96
Алибастер	0,92
Ширеши ранги сафед	0,8

Барои камсарфии рӯшноӣ дар шишаи контейнери синтиллатор ва колбаи фузунсоз бояд шишае истифода бурд, ки дорои зариби ҳурдтарини фурубурди рӯшноии афканишоти синтиллатор бошад. Дар замони ҳозира бо ин мақсад шишаи навъи "Увиолы" истифода мешавад.

Синтиллатор ба шишаи контейнер бо ширеши махсус пайваст карда мешавад, ки барои афканишоти рӯшноии синтиллатор шаффоф аст ва дорои зариби шикаст аст, ки он ба зариби шикасти модаи синтиллатор наздик буда, инъикоси пурраи дохилии рушноиро кам кунад. Бинобар ин, таркиби ширеш аз чунин модаҳо иборат аст: 25%-и маҳлули полистирол дар маҳлулли оби терфенил. Ин ширеш дорои зариби шикасти 1,58 буда, умуман рӯшноӣ соҳаи спектри дидашавандаро фурӯ намебарад. Бо ин ширеш синтиллаторро ба балони фотофузунсоз пайвастан мумкин аст. Аммо дар ин ҳолат дар раванди кори синтиллатор бо фотофузунсоз ба ҷои ширеш равғани вазелин ё глисерин истифода бурдан мумкин аст. Истифодабарии ширеш ё дигар пуркунандаҳо васли оптикии байни кристалл ва шишаи контейнер ва байни ФФС-и шишаи контейнерро беҳтар мекунад, шумораи фотонҳои m_1, ки ба фотокатод мерасанд, зиёд мешавад.

Барои синтиллатор ва фотофузунсози додашуда ҳосили зарби зариби $Ff\varepsilon$ доимӣ аст ва онро зариби нурҷамъкунии $\varkappa$ меноманд. Ин бузургиро дар амалия таҷриба муайян мекунад. Зариби $\varkappa$-ро

дониста, адади фотонҳое, ки ба фотокатод мерасанд, ёфтан мумкин: $m_1=\varkappa m$, дар оянда m_1-ро баромади рӯшной синтиллатор меноманд. Натиҷаҳои ҳисоб нишон медиҳад, ки баромади рӯшной аз ченаки синтиллатор ба зариби фурӯбурди рӯшной Б вобаста аст.

3.7. РАВАНДИ ПАЙДОИШИ ЭЛЕКТРОНҲО. САМАРАНОКИИ ФОТОКАТОД

Дар натиҷаи фурӯбурди рӯшной синтиллатор дар фотокатод аз он фотоэлекторҳо зада мебароянд, ки адади фотоэлектронҳои баромада ба m_1 мутаносиб аст. Шумораи фотоэлектронҳо G, ки як фотони рӯшной зада мебарорад, аз хосияти фотоэлектрикии фотокатод ва аз шаффофияти оптикии он нисбати афтиши афканишоти рӯшной вобаста мебошад. Бузургии G–ро самаранокии конверсионии фотокатод меноманд.

Ҳангоми ба фотокатод m_1 фотонҳо афтидан, n-фотоэлектронҳо пайдо мешаванд, яъне

$$n = m_1 GP(\nu), \qquad (3.7.1.)$$

дар инҷо зарбшавандаи $P(\nu) \leq 1$ бо назардошти майлкунии басомади фотонҳои оптималӣ барои фотокатоди додашуда бо басомади фотонҳои ν_0, ки аз маводи фотокатод ва ду таҳлавҳаи он вобаста мебошад. Ҳосили зарби GP(ν)-ро самаранокии миёнаи фотокатод G_ϕ меноманд. Барои ҳолатҳои конкретӣ аз формулаи зерин ҳисоб мекунанд:

$$G_\phi = \frac{\int C(\nu)Q(\nu)d(\nu)}{\int Q(\nu)d\nu}. \qquad (3.7.2.)$$

дар инҷо $C\nu$-ҳиссиёти спектралии фотокатод ва $Q(\nu)$-спектри нурафшонии синтиллатор аст. Агар G_ϕ маълум бошад, он гоҳ шумораи фотоэлектронҳои аз фотокатод хориҷшударо аз формулаи зерин ёфтан мумкин аст:

$$n = mG_\phi, \qquad (3.7.3.)$$

Умуман фотофузунсоз ҳамаи он сигнали рӯшноиро бақайд мегирад, ки $n \geq 1$ бошад. Аммо дар натиҷаи эмиссияи ҳароратӣ аз фотокатод, импулсҳои "торик" пайдо мешавад, ки импулсҳои бегоной шахсии фотофузунсоз буда, барои бақайдгирии импулсҳои фоиданок халал мерасонанд. Шумораи электронҳои "ҳароратӣ" n_t, ки дар як сония аз фотокатод парвоз карда мебароянд, аз кори баромади маводи фотокатод вобаста буда, температураи он ба масоҳати фотокатод S вобастагӣ дорад, ки электронҳо дар системаи динодҳои фотофузунсоз конундиҳӣ мешаванд. Шумораи электронҳои ҳароратӣ, ки якбора аз фотокатод хориҷ мешаванд, аз 3 зиёд нест.

Мавҷудияти импулсҳои "торик" дар ФФС ба он оварда мерасонад, ки барои бақайдгирии сигнали фоиданок ҳарорати хонагӣ ҳангоми кори ФФС зарур аст, ки дастаи рӯшной аз синтиллатор на кам аз 5 фотоэлектронро канда барорад. Якчанд усулҳои кам кардани фони "сиёҳ"-и ФФС мавҷуд аст, ки дида мебарорем:

1) Агар фони "сиёҳ" доимӣ бошад, онро бо осонӣ хориҷ кардан мумкин аст, ҳангоми аз натиҷаҳои ченшуда тарҳ кардан. Натиҷаҳои ченшуда бо манбаи афканишот ва бе манбаи афканишот:

$$N_{м+ф.с} - N_{ф.с} = N_м, \qquad (3.7.4.)$$

2) ФФС (асосан фотокатоди он) мумкин басо зиёд хунук карда шуда бошад; агар фотокатод аз унсури сурмаю сезий тайёр шуда бошад, ҳангоми то ҳарорати 0°C хунук кардан ҷараёни "торик" се маротиба кам мешавад, то -10°C панҷ маротиба, дар ҳарорати фотокатод -30°C ҷараёни "торик" 30 маротиба кам мешавад, нисбати ҳарорати хонагӣ;

3) Якчанд ФФС-ҳоро (дуто) ба назди як синтиллатор гузошта, онҳоро ба реҷаи мувофиқа пайваст карда мешавад, дар ин маврид импулсҳои "торик", ки нисбати вақт тасодуфан тақсим шудаанд, умуман бақайд гирифта намешаванд.

Афканишоти унсури радиофаъоли K^{40} манбае мебошад, ки импулсҳои ғалоғуларо дар ФФС пайдо мекунад: K^{40}-ро дар шишаи колбаи ФФС нигоҳ доштан мумкин аст. Фотофузунсоз (ФФС)-ҳое, ки аз шишаи ғайрикалий тайёр мекунанд, фони "торик"-и хеле хурд доранд. Манбаи иловагӣ фони импулсҳои худи афканишоти бақайдгирифташуда аст, ки ба фотокатод афтида, аз он электронҳоро зада мебарорад ва импулсҳои фонро пайдо мекунад. Барои аз ин ҳодиса халос шудан экрани ФФС ё геометрияи таҷрибаро истифода мебаранд.

3.8. РАВАНДИ ФУЗУНШАВИИ ЭЛЕКТРОНҲО. БАШАКЛДАРОРИИ ИМПУЛС ДАР АНОДИ ФФС

Электронҳое, ки аз фотокатод дар натиҷаи дурахши рӯшной хориҷ мешаванд, ба системаи афзоишдиҳандаи ФФС меафтанд, ки шумораи онҳо возеҳан меафзояд. Агар ФФС дорои k динодҳо бошад, зариби зарбшавии электронҳо дар ҳар яки онҳо q, онгоҳ зариби пураи зарбшавии ФФС баробар аст.

$$M = cq^k , \qquad (3.8.1.)$$

дар инҷо зариби с самаранокии ҷамъкунии электронҳоро дар системаи динодҳо ба назар мегирад, зариби *с* барои ҳамаи ФФС баробари як аст. Зариби афзуншавии электронҳо q аз маводи динод, яъне аз бузургии эмиссия дуюмини он, аз хусусияти электронй-оптикй системаи динодҳо вобаста аст. Бузургии q бо зиёдшавии энергияи электрони афтанда, яъне бо зиёдшавии фарқи потенсиалҳои байни динодҳо меафзояд. Бузургии M возеҳан меафзояд, ҳангоми афзудани шидати тағзияи ФФС U, бинобар ин зариби афзунбшавии M тақрибан ба U^7 мутаносиб аст. Бузургии зариби афзуншавии электронҳо *M-ро* ба таври амалй муайян мекунанд. Ин раванд чунин ичро мешавад. Ҳангоми равшан кардани фотокатод дорад, пас дастаи рӯшной *k*-маротиба кам мешавад (спектри равчараёни I_1 чен карда мешавад, ки ба электронҳои диноди якум дахл муайян мекунанд. Он гоҳ:

$$\frac{kI_2}{I_1} = M, \qquad (3.8.2.)$$

Азбаски бузургии M возеҳан аз бузургии шиддати манбаи ФФС вобаста аст, он гоҳ устувории зариби афзуншавии манбаи шиддати ФФС бояд устувор бошад. Аксар вақт тағйирёбии шиддати ФФС набояд аз 0,05% зиёд шавад.

Барои пӯшонидани динодҳо маводҳоеро истифода мебаранд, ки аз онҳо фотокатод сохта шуда бошад. Аз динодҳо монанди фотокатод дар натиҷаи эмиссияи гармй электронҳо канда шуда мебароянду импулсҳои "торикй"-ро пайдо мекунанд. Аммо амплитудаи импулсҳои "торикй", ки электронҳо пайдо мекунад, аз динодҳо

канда мешаванд ва аз амплитудаи импулсҳои "торикй"-и аз фотокатод кандашуда возеҳан кам мебошанд.

Агар аз фотокатод дурахши рӯшной n электронҳоро канда барорад, баъди афзуншавй дар системаи динодҳо ба зариби пураи M дар анод ФФС заряд ҷамъ мешавад:

$$Q = enM, \qquad (3.8.3)$$

дар инҷо *е*-заряди электрон. Аз формулаи (3.8.3) дида мешавад, ки заряди суммавй ба шумораи умумии фотоэлектронҳо, ки дурахши рӯшной аз фотокатод зада мебарорад мутаносиб аст.

Азбаски шумораи электронҳо n ба шумораи энергияи зарраҳои ба синтиллатор фурӯрафта мутаносиб аст, он гоҳ заряди Q дар анодии ФФС ба энергияе, ки дар синтиллатор фурӯ меравад, мутаносиб мебошад.

Ҳамин тавр, барои ченкунии энергияи зарраҳо аз рӯи амплитудаи импулсҳо дар баромади ФФС, бояд ҳатман ҳамаи заряди Q барои тартиб додани ин импулс иштирок кунанд.

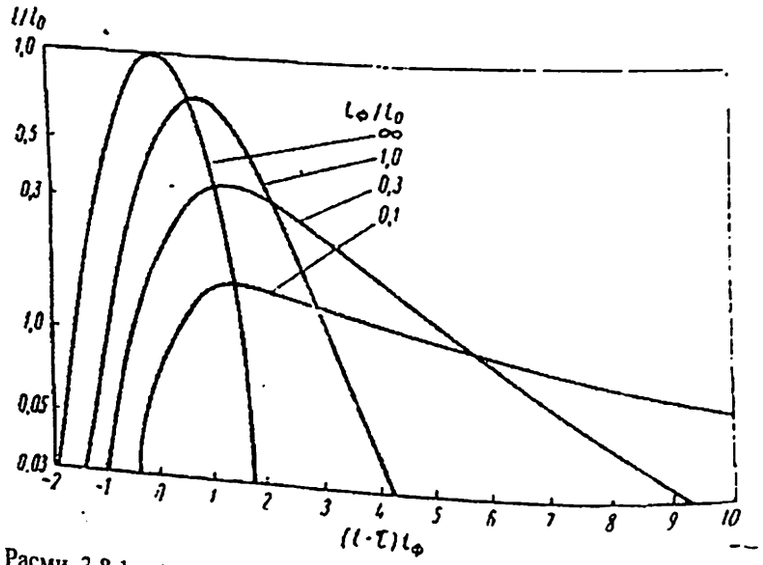
Заряди Q дар занҷири анод импулси ҷараёнро пайдо мекунад, ки шакли завқоварро дорад. Тадқиқоти шакли импулси ҷараён дар баромади ФФС нишон дод, ки адади электронҳое, ки дар фосилаи вақт ба анод ворид мешаванд, дар асоси қонуни Гаусс тағйир меёбанд. Агар вақти парвозро ба τ ишора кунем, доимии вақти парвози навозеҳшавиро $t_ф$ муайян мекунад, он гоҳ қимати ҷараёни $\mathcal{J}$ дар фосилаи вақти t чунин мешавад:

$$\mathcal{J} = \frac{Me}{\sqrt{\pi t_ф}} e^{-[(t-\tau)/t_ф]^2}, \qquad (3.8.4)$$

Зарбшавандае, ки дар ин формула пеш аз ифодаи $[-(t-r)/t_ф]^2$ меистад, бояд таносуби зеринро қаноат кунонад:

$$\int_0^\infty \mathcal{J} d\mathcal{J} = Me$$

Дар расми (3.8.1) шакли импулси ҷараён дар баромади ФФС барои қиматҳои гуногуни нисбати $t_ф/t_0$ ҳангоми доими будани вақти навозеҳшавй $t_ф$ (t_0-вақти рӯшной-афканиии синтиллатор) ба намуди графикй тасвир шудааст.



Расми 3.8.1. а). Шакли импулсҳои ҷараён дар баромади ФФС: а) ҳангоми доимӣ будани кимати $t_ф$ барои $t_ф/t_0$-гуногун (амплитудаи импулс дар воҳиди нисбӣ); б) ҳангоми доимӣ будани вақти рӯшноафканӣ дар синтиллатор ва $t_ф$ гуногун.

Аз расм дида мешавад, ки ҳангоми $t_0=0$ будан, дар натиҷаи лаҳзагӣ рӯшноӣ афкандани синтиллатор, шакли импулси ҷараён танҳо аз рӯи доимии навозеҳшавӣ нисбати вақти парвоз муайян карда мешавад; Бо афзоиши вақти рӯшноиафкании синтиллатор вазифаи доимии навозеҳшавӣ кам мешавад. Аммо ҷабҳаи пеши импулси ҷараён бо афзоиши вақти рӯшноиафканӣ t_0 амалан бетағйир мемонад ва онро танҳо бузургии $t_ф$ муайян мекунад. Қимати бузургии $t_ф$ дар ҳудудӣ $(0,1\text{-}1,0)10^{-9}$ мехобад, ҳамин тавр ҷабҳаи пеши импулси ҷараён дар аноди ФФС аз 10^{-8} сония зиёд намешавад.

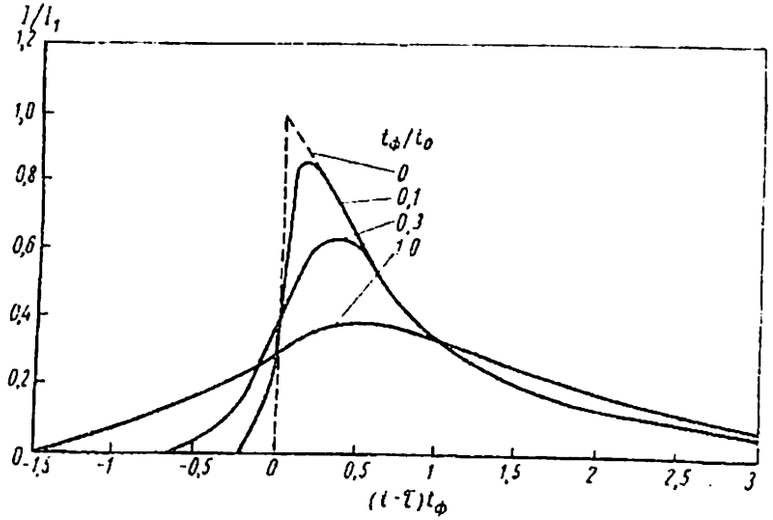
Азбаски вақти рӯшноиафкании синтиллатор t_0 аз ҷиҳати флуктуатсияи оморӣ тасдиқи худро ёфтааст, он гоҳ раванди эмиссияи фотоэлектронҳо метавонад нисбат ба вақт тағйир ёбад. Дар ин маврид қонуни эмиссияи фотоэлектронҳо дар ҳолате навишта мешавад, ки зарраи бақайдгирифташуда аз синтиллатордар фосилаи вақти t=0 гузарад, яъне:

$$n_1 = \frac{n}{t_0} e^{-t/t_0}, \qquad (3.8.5.)$$

дар инҷо n_1-адади электронҳое, ки фотокатод дар 1 сония меафканад. Натиҷаҳои амалӣ нишон медиҳанд, ки муодилаи (3.8.5.) наон қадар аниқ аст. Аз тарафи дигар нишон дода шудааст, ки ҷараёни аноди ФФС ба гузариши зарра аз синтиллатор дар фосилаи вақти t=0 асосноқ шудааст ва аз рӯи чунин қонун тағйир меёбад:

$$J = \frac{n^2 Me}{2t_0} \exp\left[-\frac{t-\tau}{t_0} + \frac{t^2 Ф}{4t_0^2}\right]\left\{F\left[\frac{t-\tau}{t_ф} - \frac{t_ф}{2t_0}\right] + F\left[\frac{\tau}{t_ф} + \frac{t_ф}{2t_0}\right]\right\}, \qquad (3.8.6.)$$

дар инҷо F-функсияи хатогиҳо. Дар расми (3.8.1.б) шакли импулси ҷараён дар аноди ФФС дар қимати собитшудаи вақти рӯшноиафкании синтиллатор t_0, ва қиматҳои гуногуни вақти парвози новозеҳшавии электронҳо аз фотофузунсоз (ФФС) оварда шудааст.



Расми 3.8.1.б. Мефаҳмонад, ки афзоиши новозеҳшавӣ ҳангоми парвози электронҳо дар системаи динодҳо ба афзоиши ҷабҳаи пеши импулси ҷараён дар аноди ФФС меоварад ва амалан ба бузургии ҷабҳаҳои қафои он таъсир намерасонад. Новозеҳшавии сифрӣ дар вақти парвоз ба ҷабҳаи сифри пеши импулси ҷараён мувофиқат мекунад.

Ҳамин тавр шакли импулси ҷараёни дар аноди ФФС овардашуда нишон медиҳад, ки ҷабҳаи пеши он новозеҳи парвози

электронҳоро дар ФФС муайян мекунад, яъне ФФС дар ин вақт ҳамчун ҷабҳаи қафои импулси ҷараён, вақти рӯшноиафканиш синтиллаторро муайян мекунад.

Аниқ дида баромадани башаклдарории импулси ҷараён дар аноди ФФС ба чунин хулоса меоварад: баъзе дермониҳо байни фосилаи фурубурди энергияи зарраҳо дар синтиллатор ва фосилаи максималии нурафшонии он, яъне баъзе фосилаи вақти афзоиши импулси рӯшной вуҷуд дорад. Инчунин байни фосилаи вақти фурӯбурди фотони рӯшной дар фотокатод ва фосилаи хориҷшавӣ электрони якум каме қафомонӣ мавҷуд аст. Ҳарду ин фосилаи вақтро флуктуатсияи оморӣ тасдиқ мекунад ва вақти афзоиши импулси ҷараёнро дар аноди ФФС зиёд мекунад. Бояд ба назар дошт, ки ҳарду ин фосилаи вақт хурд буда, дар ФФС ҳозиразамон вақти афзоиши импулси ҷараёнро асосан вақти парвози электронҳо аз системаи динодҳои ФФС муайян мекунад.

3.9. СИНТИЛЛАТОРҲО. НАВЪ ВА ХУСУСИЯТИ ОНҲО

Синтиллаторҳо ва ба кор омода будани онҳоро сифатан бо чунин бузургиҳо тавсиф дода мешавад: вобастагии баромади рӯшной аз энергияи зарра, вақти рӯшноиафканӣ ва спектри нурафшонӣ. Ҳангоми интихоби синтиллатор барои спектрометрӣ тавсифдиҳандаҳои асосӣ бузургии нурбаромад ва вобастагии нурбаромад аз энергияи зарра мебошанд. Асбобҳое, ки ҳамчун спектрометр барои чен кардани энергияи нейтронҳои сареъ бо вақти парвоз пешниҳод мешаванд, тавсифкунандаи муайянкуниашон вақти нурафканӣ мебошад. Донистани спектри нурафшонии синтиллатор аз интихоби аниқи ФФС вобаста аст.

Дар замони ҳозира маводҳои зиёди синтиллаторҳои мавҷуда маълум аст, ки онҳоро ба чунин гурӯҳҳо ҷудо кардан мумкин аст:

Синтиллаторҳои кристаллии ғайриорганикӣ;

Синтиллаторҳои кристаллии органикӣ;

Синтиллаторҳои моеъгӣ ва пластмассии органикӣ;

Синтиллаторҳои шишагӣ.

Синтиллаторҳои ҳар як гурӯҳ дорои хусусияти умумӣ мебошанд. Дар гурӯҳи алоҳида синтиллаторҳоеро ҷудо кардан мумкин. ки барои бақайдгирии нейтронҳои сареъ ва сустҳаракат дар

якҷоягии (фон) гамма-афканишот истифода мебаранд.Акнун тарзи кор ва тавсифи ҳар яки ин синтиллаторҳоро шарҳ медиҳем.

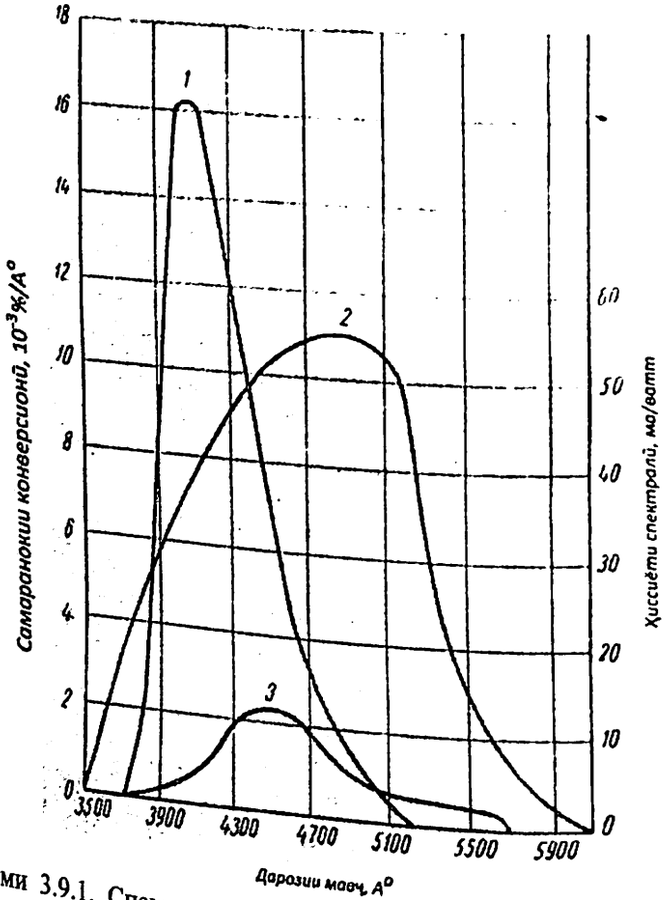
1. ***Синтиллаторҳои кристаллии ғайриорганикӣ*** – дорои вазни хоси калон (то 7 г/см^3), баромади рӯшной калон, нисбатан вақти рӯшноиафканиш зиёд доранд. Зичии калони кристалли синтиллатсионии ғайриорганикӣ бо баромади рӯшноии калон гувоҳӣ медиҳад, ки на танҳо гамма-афканишотро чен кунем балки энергияи онро низ муайян намоем. Ғайр аз ин, вобастагии рӯшнобарориш кристалли синтиллатсионии ғайриорганикӣ аз энергияи электронҳо хаттӣ мебошад. Дар замони ҳозира ингуна синтиллаторҳои ғайриорганикиро бисёртар истифода мебаранд: йоди натрий бо талийии фаъолкардашуда; йоди сезий, инчунин бо талийи фаъол кардашуда, йоди литий бо европий фаъолшуда ва ғайра. Ҳаман ин синтиллаторҳоро ба намуди яккристалл истифода мебаранд. Йоди натрий бо талийи фаъолкардашуда $NaJ(TL)$ дорои самаранокии конверсионӣ, аз ҳама зиёд нисбати дигар синтиллаторҳои маълум мебошад.

Спектри афканишоти кристалли $NaJ(TL)$ дорои дарозии миёнаи мавҷӣ $\lambda = 4100A°$ аст, ки ба максимуми ҳиссиёти фотокатоди сурма-сезий наздик аст. Спектри фурӯбурди $NaJ(TL)$ дар соҳаи ултрабунафш ҷойгир аст, ки аз спекри нурафшонӣ ҳамдигарро намепӯшонад. Ҳамин тавр, кристалли йодисти натрий ба шаффофияти афканишоти калон соҳиб аст. Вақти афзоиши импулси синтиллиятсия дар кристалли $NaJ(TL)$ дар темпратураи хона $6 \cdot 10^{-8}$ сония буда, вақти миёнаи рӯшноиафканӣ дар ҳамон темпратура $t_0 = 2{,}5 \cdot 10^{-7}$ сонияро ташкил мекунад.

Кристалли $NaJ(TL)$ дорои зичии $\rho = 3{,}67$ г/см^3 ва рақами атомии эффективӣ $Z_{эф.} = 50$ ва инчунин зариби фурӯбурд τ, σ, x ва μ барои гамма-афканишот басо зиёд аст. Кристалли $NaJ(TL)$ – ро дар гамма-спектрометрӣ бо ФФС фотокатодашон аз унсурҳои сурма-сезий тайёршуда, ба монанди ФФс-11, ФФЭ-13, ФФе-24, ФФС-42 ва ғайра истифода мебаранд.

Спектри нурафшонии натрий йод ба максимуми ҳиссиёти спектралии ин гуна фотокатодҳо мувофиқ меояд, ки дар расми 3.9.1. нишон дода шудааст.

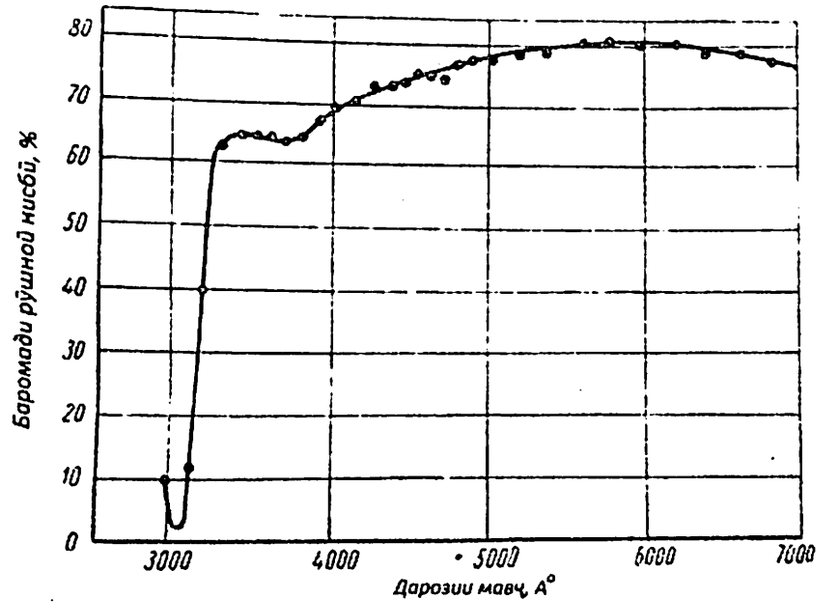
Ҳангоми кор бо кристалли $NaJ(TL)$ бояд чунин охистакориро риоя кард.



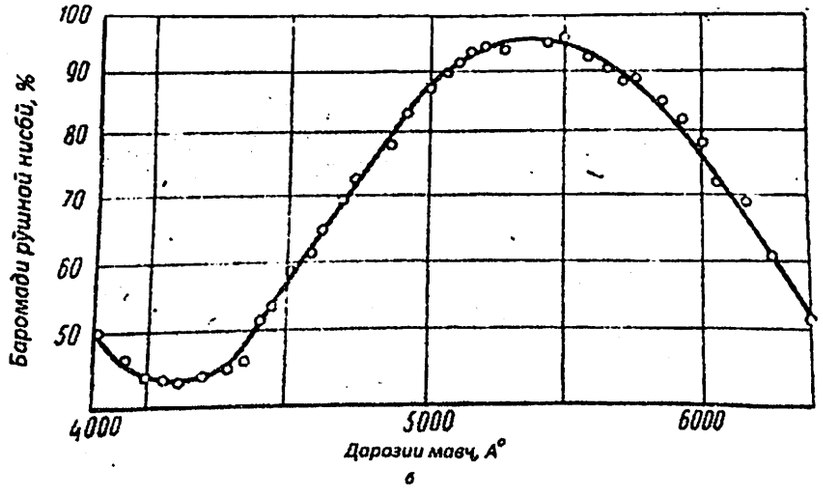
Расми 3.9.1. Спектри нурафкании кристалли $NaJ(TL)$: (1)тавсифи спектралии фотокатоди сурма-сезий(2); Спектри нурафканӣ синтиллатори пластмассӣ (3)

Кристалли йоди натрий бо таъсири намнокии ҳаво тез тира мешавад. Бинобар ин, бо мақсади ҳимоя аз намнокӣ кристалл бояд дар контейнери герметикӣ ҷойгир карда шуда бошад ё бо равғани вазелини пленкагӣ пӯшонида шавад. Коркарди кристалли бояд дар равған ё керосин гузаронида шавад. Ҳангоми кристалли $NaJ(TL)$– ро бо нури рӯшной ё гамма-афканишот дар фосилаи дуру дароз

нурборон кардан, кристалл ранги зарядро мегирад, бинобар ин безарурат нурборон кардан лозим нест.



а



б

Расми 3.9.2. Спектри нурафканӣ (а) ва спектри фурубурд (б) кристалли $CsJ(TL)$.

Сезий йоди бо талий фаъолшуда $CsJ(TL)$ синтиллатори беҳтарин буда, дорои самаранокии конверсионии беҳтарин аст. танҳо ~25% хурдтар нисбати самаранокии конверсионии $NaJ(TL)$. Аз $CsJ(TL)$ яккристалли шафоф тайёр кардан мумкин аст. Яккристалли $CsJ(TL)$ беранг, шаффоф буда, соҳаи бунафши спектрро ба қайд мегирад. Спектри нурафшонӣ ва фурӯбурди рӯшноӣ умуман ҳамдигарро намепӯшонад, расми 3.9.2.

Азбаски максимуми спектри нурафканӣ нисбати $NaJ(TL)$ дар соҳаи дарозмавҷи калон ҷойгир аст, онгоҳ кристалли сезиӣ йодро бо ФФС-и фотокатоди висмут-нукра сезий истифода бурдан мумкин аст.

Аз дигар кристаллҳои ғайриорганикӣ чунин синтиллаторҳоро зикр кардан мумкинаст: $LiF(EU)$, CsF ва $KY(TL)$. Ҳамаи ин кристаллҳо баромади рушноии кам доранд, нисбати $NaJ(TL)$ ва $CsJ(TL)$. Нишон дода шудааст, ки кристалли $KY(TL)$ дорои давомнокии синтиллатсия тақрибан 1,5 мксон буда, вобастагии баромади рӯшноӣ аз миқдори энергияи фурӯбурд, нисбати кристаллҳои $NaJ(TL)$ ва $CsJ(TL)$ каме хатӣ мебошад. Кристалли CsF асосан дар соҳаи спектри ултрабунафш ва вақти рӯшноӣ афканиш он $t_0 \cong 0{,}5$мксон синтиллатсия медиҳад. Баромади рӯшноии ин кристаллҳо чор маротиба хурд нисбати баромади рӯшноӣ кристалли $NaJ(TL)$мебошад.

Кристалли $LiF(EU)$-ро барои қайдгирии нейтронҳои ҳароратӣ ва спектрометрии нейтронҳои сареъ истифода мебаранд. Кристалли $LiF(EU)$ дар соҳаи спектри сабзу-зард нур меафканад; онро барои бақайд гирифтани ФФС истифода мебаранд, ки фотокатоди он аз висмут-нукра-сезий сохта шуда бошад. Вақти рӯшноиафканиш $LiF(EU)$ $t_0 = 1{,}2 \cdot 10^{-6}$сония мебошад. Зичии кристалл $\rho =$ 4,06 г/см^3. Баромади рӯшноӣ тақрибан нисбати баромади рӯшноӣ кристалаи $NaJ(TL)$ 5 маротиба кам аст.

Барои бақайдгирӣ ва спектрометрии гамма-афканишот волфрами калсий $CaWo_4$ ва волфрами кадмий $CdWo_4$ истифода мебаранд. Кристалли ин модаҳо дорои зичии калон ва рақами атомии эффективиашон калон аст. Кристаллҳо дорои зичии калон мебошанд: $CaWo_4$-6,12 ва $CdWo_4$-7,9г/см. Рақами атомии эффективии $CaWo_4$ $Z_{эф}$=59 аст.

2). ***Кристаллҳои синтиллатсионии органикӣ-*** ин синтиллаторҳо нисбати синтиллаторҳои ғайриорганикӣ вақти рӯшноафканиш хурд доранд ($t \sim 10^{-8}$ сония). Самаранокии конверсионӣ: дарозии мавҷи афканишоти рӯшноии онҳо дар наздикии максимуми ҳиссиёти фотокатоди сурмаю сезий ҷойгир аст. Кристалл дорои шаффофияти калон барои афканишоти хос мебошад.

Баромади рӯшноии кристаллҳои органикӣ аз энергия ва навъи афканишоте, ки ба қайд мегиранд, вобаста аст. Дар таркиби синтиллаторҳои органикӣ миқдори зиёди ядрои ҳидроген мавҷуд аст.

Аз кристаллҳои синтиллатсионии органикии бештар паҳншуда ва бисёр истифодашаванда антрасен ва стилбен мебошанд, ки онҳоро муфассал меомӯзем.

Антрасен - формулаи химиявиаш $C_{14}H_{10}$ буда, байни синтиллаторҳои органикӣ аз ҳама самаранокгар мебошад. Аммо истифодабарии он маҳдудшуда мебошад, аз сабаби он ки тайёр кардани кристалли шафоф басо мушкил аст. Самаранокии конверсионии антрасен ҳангоми онро бо бета-зарраҳо нурбориш кардан ба 0,04 мерасад, ки ин ба сарфи энергияи *65 эВ/фотон* мувофиқат мекунад.

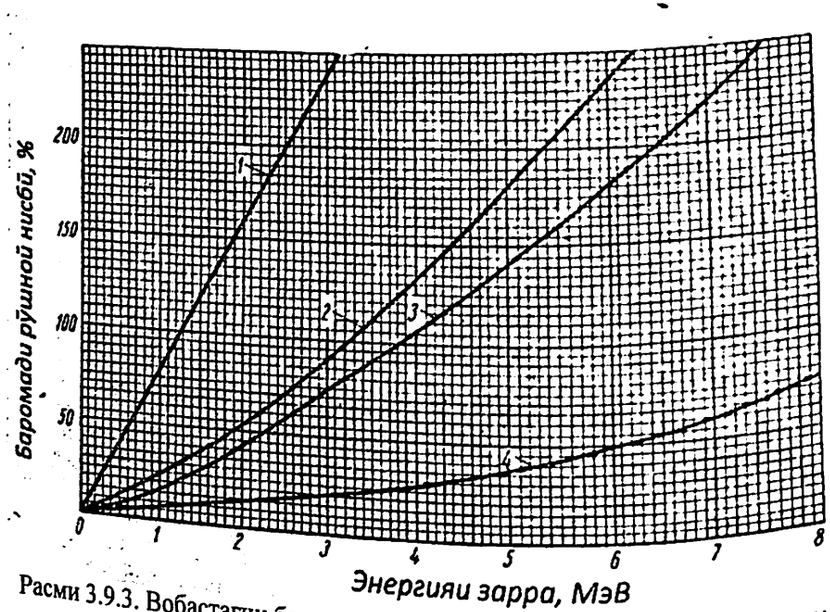
Спектри нурафшони антрасен се максимум дорад:

Максимуми асосӣ бо дарозии мавҷи 4450A° ва ду максимуми иловагӣ бо дарозии мавҷи 4240 ва 4700A°. Вақти нурафшонии антрасен ҳангоми онро бо алфа-зарраҳо нурборон кардан дар шароити темпратураи хона баробари $(2{,}7 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-8}$ сония аст. Вақти нурафшонӣ ҳангоми бо бета-зарраҳо нурборон кардан низ омӯхта шудааст.

Барои электронҳои энергияшон калон аз 120 кэВ, баромади рӯшноии антрасен аз энергия хаттӣ меафзояд. Ҳангоми антрасенро бо протонҳо нурборон кардан (расми 3.9.3.), вобастагии хаттӣ байни баромади рӯшноӣ ва энергия танҳо аз энергияи протонҳо калон аз 5 МэВ сар мешавад.

Ионҳои H_2^+ дар синтиллаторҳои органикӣ, аз ҷумла антрасен чунин баромади рӯшноиро пайдо мекунанд, монанди ду протоне,ки, энергияи ҳаряки он ду маротиба кам мебошад.

Агар энергияи электронҳо ба 25 кэВ баробар бошад, барои пайдо кардани як фотоэлектрон тахминан як кэВ энергияи электронҳо сарф мешавад, ки кристалли антрасен ба қайд мегирад. Ин натиҷаҳо истифода мешаванд барои баҳо додани энергияи минималии электронҳо ва энергияи минималии дигар заррачаҳо, ки қайдгиракҳои синтиллатсиони бо антрасен ба қайд мегиранд.



Расми 3.9.3. Вобастагии баромади рӯшной антрасен аз энергияи зарра: 1) электронҳо; 2) протонҳо; 3) ионҳои H_2^+; 4) алфа-заррачаҳо.

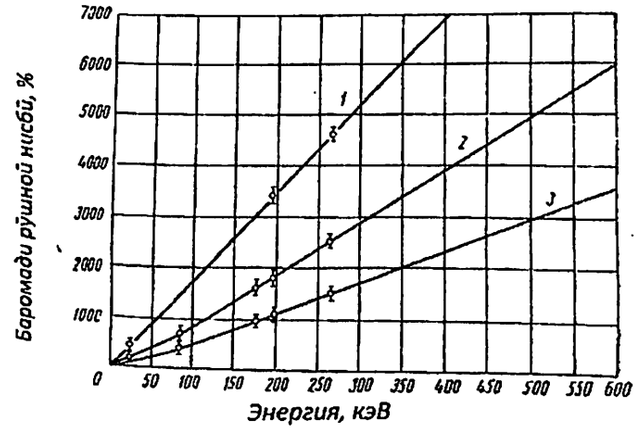
Дар 1 см^3 антрасен $4{,}22 \cdot 10^{22}$ атомҳои ҳидроген мавҷуд аст, пас кристалли антрисенро бо самаранокии басо калон барои бақайдгирии нейтронҳои сареъ истифода бурдан мумкин аст. Азбаски вобастагии арзи самаранокии ҳидроген аз энергияи нейтронҳо нағз маълум аст, он гоҳ самаранокии бақайдгирии нейтронҳои сареъ барои кристалли антрасен бо осонӣ ҳисоб карда мешавад.

Стилбен - формулаи химиявиаш $C_{14}H_{12}$, яке аз синтиллаторҳои кристаллии органикие, ки онро дар ҳама соҳаҳои физикаи ядро истифода мебаранд. Нуқтаи гудозиши стилбен на он қадар калон (124°С), ҳангоми бо хока нағз тоза кардани стилбен сабзонидани якккристаллӣ шафоф осон аст.

Самаранокии конверсионии кристалли стилбен ҳангоми бо бета-заррачаҳо нурборон кардан тақрибан 0,025-ро ташкил медиҳад, ки аз самаранокии конверсионии антрасен 40% кам аст.

Спектри нурафшонии стилбен дар ҳудуди дарозии мавҷи аз 3750 то 4700А° бо максимуми наздики 4100А° мехобад, ки ин бо максимуми ҳиссиёти фотокатодҳои сурма-сезиӣ мувофиқат мекунад.

Стилбен дорои хурдтарин вақти рӯшноиафканӣ нисбати антрасен мебошад. Ҳангоми бо алфа-зарра нурборон кардан вақти рӯшноиафканиии стилбен $t_0=7 \cdot 10^{-9}$ сония, ҳангоми бо гамма-нурҳо нурборон кардан бузургии $t_0=3 \cdot 10^{-9}$ сония мебошад. Ҳангоми камшавии температура вақти рӯшноиафканиии кристалли стилбен кам мешавад. Аз натиҷаҳои чопшуда маълум мешавад, ки дар темпратураи -196°С вақти рӯшноиафканӣ $4 \cdot 10^{-9}$сония-ро ташкил медиҳад, он гоҳ дар температураи +27·С ин бузургӣ баробари $6 \cdot 10^{-9}$ сония аст. Ҳангоми бо бета-заррачаҳои энергияшон калон аз 75 кэВ нурборон кардан вобастагии байни энергияи бета-зарра ва баромади рӯшной хаттӣ аст (нигаред ба расми 3.9.4). Аз расм дида мешавад, ки барои энергияи хурди бета-заррачаҳо аз вобастагии хаттӣ майлкунии хеле хурд мушоҳида мешавад. Дар ин расм барои муқоиса хатҳои қаҷ барои антрасен ва Na$\mathcal{J}$(TL) оварда шудаанд.



Расми 3.9.4. Вобастагии баромади рӯшной аз энергияи зарра бо кристалли Na$\mathcal{J}$(TL) (1), антрасен (2), стилбен (3).

Ҳангоми кристалли стилбенро бо алфа-зарра, дейтронҳо ва ионҳои H_2^+ нурборон кардан, яъне зарраҳои зичии ионизатсия хосашон калон. Соҳаи вобастагии ғайрихаттӣ байни бузурги энергияи фурӯбурд ва баромади рӯшноии булӯр бисёр дер давом мекунад. дар соҳаи энергияи калон нисбати бета-зарра, ғайр аз ин, вобастагии баромади рӯшной аз энергия ба кристалли антрасен монанд аст. Зичии кристалли стилбен $\rho = 1{,}16$ *г/см3* ва дар 1 $см^3$ гаркиби он $4{,}658 \cdot 10^{22}$ атомҳои ҳидроген мавҷуд аст. Булӯри стилбен монанди булӯри антрасен бо самаранокии калон соҳиб буда, онро барои бақайдгирии нейтронҳои сареъ аз рӯи протонҳои қафорафта истифода мебаранд. Аз ин нуқтаи назар булӯри стилбен ҳамчун спектрометри нейтронҳои сареъ дар ҳама соҳаҳои илмию амалии физикаи ядро васеъ истифода карда мешавад.

Толан - формулаи химиявии он $C_{14}H_{10}$, кристалл синтиллатор дар намуди тоза хеле паҳншуда буда, дорои самаранокии синтиллатсионии тақрибан ~20% калонтар аз самаранокии стилбен мебошад. Вақти нурафкании толан тақрибан ба стилбен баробар аст - $7 \cdot 10^{-9}$ сония, спектри афканишоти толан тақрибан аз 3550 то 4500А° бо максимуми 3900А° давом мекунад.

Нафталин - формулаи химиявиаш $C_{10}H_8$, кристалли синтиллатсионии органикӣ, якумин маротиба барои қайдгирии афканишот истифода бурда шудааст. Температураи гудозиши нафталин 80°С, мумкин ба осонӣ ба намуди якбулӯрӣ ченакаш калон сабзонида шавад. Баромади рӯшноии нафталин калон набуда, қариб 25% аз баромади рӯшной антрасенро ташкил мекунад, ғайр аз он, спектри нурафшонӣ асосан дар соҳаи ултрабунафш мехобад. Вақти рӯшноиафкании нафталин зиёдтар аст ва 50 нс ро ташкил медиҳад. Ҳангоми нурбориш кардан бо алфа-зарраҳо ва гамма-нурҳо 90 нс-ро ташкил мекунанд. Ҳангоми пастшавии температура баромади рӯшноии нафталин меафзояд. Дигар намуди синтиллаторҳои органикӣ: кристаллӣ п-терфенил, п, $п^1$-кватерфенил ва ғайраҳо. Ин кристаллҳо васеъ истифода намешаванд.

Маҳлулҳои сахти синтиллаторҳои органикӣ

Дар полистирол бо усули полимеризатсионӣ тайёр карда шуда, синтиллаторе мебошад,ки ҳангоми бо афканишоти гуногун ангезонидан дорои баромади рӯшноии калон аст. Синтиллаторҳои пластмассиро бо намуди блокҳои калони шаффоф ба осонӣ тайёр мекунанд.

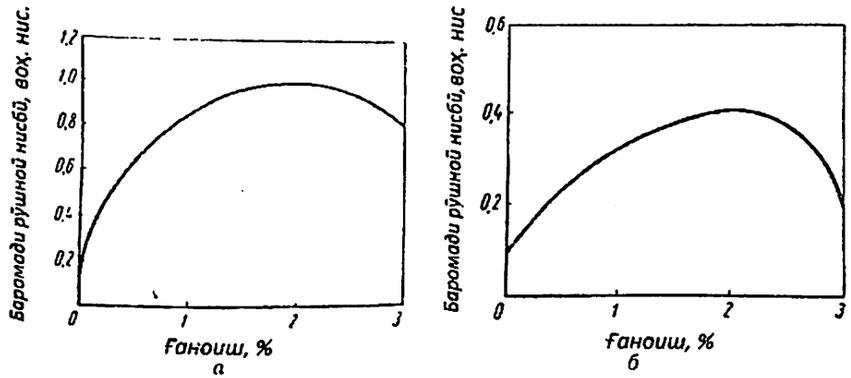
Бехтарин синтиллаторҳои пластмассӣ дорои баромади рӯшной тақрибан 50% -и баромади рӯшноии кристалли антрасенро ташкил мекунад. Синтиллаторҳое, ки таркибашон аз 40гр. п-терфенил ва 1гр Р, $Р^1$-дифенилстилбен ба 1кг стирол иборат аст, нисбат ба баромади рӯшноии антрасен дорои баромади рӯшной 51% мебошад.

Бо назардошти полимершавӣ **синтиллаторҳои пластмассиро** махсусан бо роҳи гудохта часпонидани резадонан полистрол тайёр мекунанд. Ин синтиллаторҳо дорои баромади рӯшной хурд буда, аммо имконият медиҳанд, ки бузургии амплитудаи импулси як афканишотро аз дигар афканишот ҷудо кунем.

Тадқиқоти хусусияти синтиллатсионии синтиллаторҳои пластмассӣ ба чунин хулосаҳо меоварад:

Спектри нурафкани синтиллаторҳои пластмассӣ ба спектри синтиллатсионии иловагӣ мувофиқат мекунад, на аз модаи асосӣ.

Баромади рӯшноии синтиллаторҳои пластмассӣ бо зиёдшавии ғаноиши иловагӣ меафзояд, ба максимум мерасад, ҳангоми ғаноиши вазни 1-4% будан, дар оянда афзоиши ғаноиш кам мешавад (расми 3.9.5)



Расми 3.9.5. Вобастагии баромади рӯшной аз синтиллаторҳои пластикӣ дар асоси полистирол аз ғаноиши иловагии он: а-1,4,4-тетрафенилбутаднен (ТФБ), б-п-терфенил.

Давомияти нурафшонии синтиллаторҳои пластикӣ ҳангоми ионизатсияи афканишот калон набуда, тахминан ба 10^{-8}-10^{-9} сония мувофиқат мекунад.

Ҳангоми нурбориши синтиллаторҳои пластикӣ дар давомияти вақти зиёд бо дастаи зарраҳои вазнини ионизатсия ё электронҳо камшавии баромади рӯшной мушоҳида мешавад, ки ба осеби синтиллатор вобаста аст.

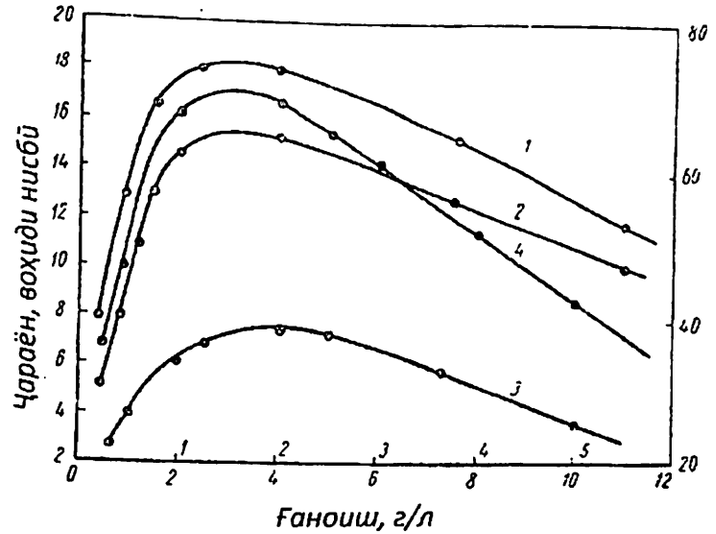
Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки дар натиҷаи часпонидани резадонаи полистрол синтиллатори ғайриорганикӣ нейтронҳои сареъро нағз ба қайд мегирад. Дар ҳақиқат синтиллаторе, ки аз 1,5гр ZnS ва 10гр хокаи плексиглас тайёр мекунанд, амалан гамма-афканишотро ҳис намекунад, самараноки бақайдгирӣ нисбати нейтронҳои сареъ ба 1% мерасад.

Синтиллаторҳои пластикии ZnS (Ag) ва пайвастагиҳои бори органикиро барои бақайдгирии нейтронҳои сустҳаракат дар фони (якҷоягии) гамма-афканишот ва нейтронҳои сареъ истифода бурдан мумкин аст.

Синтиллаторҳои органики моеъгӣ – аз маҳлули модаи синтилятсиякунанда дар маҳлул ҳалкунандаи органикӣ иборат буда, ба он метавон модаи омехтакунанда илова кард ва ҳангоми онро бо афканишотҳои гуногун нурборон кардан, баромади рӯшной маҳлулро зиёд кардан мумкин аст.

Баромади рӯшноии синтиллаторҳои моеъ аз ғаноиши ҳалкунандаи синтиллатор вобаста аст. Дар навбати аввал бо афзоиши ғаноиш, баромади рӯшной меафзояд. Дар баъзе ғаноиш, ки барои маҳлули додашуда бехтарин аст, баромади рӯшной ба максимум мерасад ва ҳангоми дар оянда зиёд кардани ғаноиш он кам мешавад. Бузургии муносибтарини ғаноиш на танҳо аз синтиллатор ва ҳалкунанда, расми 3.9.6; балки аз табиати афканишоте, ки онро меангезонад, низ вобаста мебошад расми 3.9.7.

Агар маҳлули n-перфенил дар ксилол бо ғаноиши *5г/л* истифода шавад, баромади рӯшной 48% -ро ташкил медиҳад, ки ба баромади рӯшноии кристалли антрисен баробар аст. Маҳлули n-перфенил бо дигар маҳлулкунандаҳои органикӣ баромади рӯшной камро медиҳад ва танҳо маҳлули n-терфенил ба ксилол хеле наздик аст.



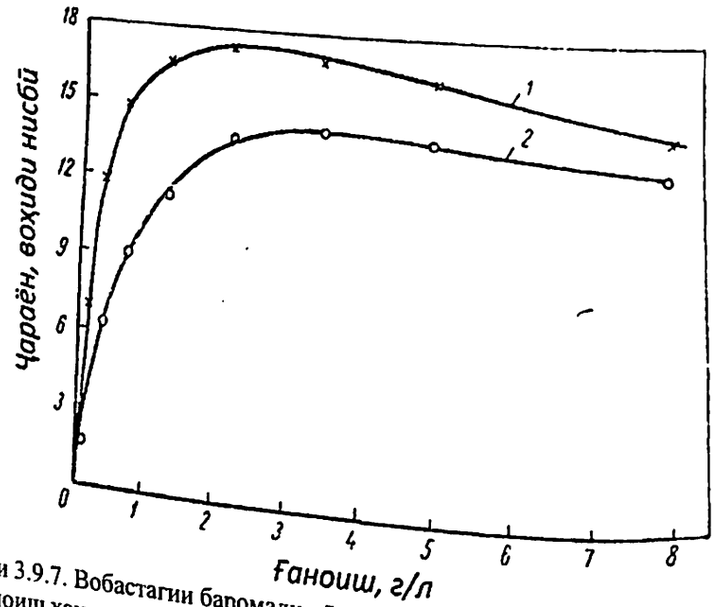
Расми 3.9.6. Вобастагии баромади рӯшноии баъзе синтиллаторҳои моеъи органикӣ аз ғаноиши модаи синтиллатсиякунанда: ҳангоми нурбориш бо нейтронҳои сареъ. 1-бета нафтилимин дар ксилол; 2-алфанафтиламин дар ксилол; 3-алфа нафталин дар диоксан; 4-дифенилбутадинен дар ксилол (ҷадвалҳо – болои ва тарафи рост).

Маҳлули 2,5-дифенилоксазол, баробар ба баъзе дигар модаҳо, масалан, ксилол ё фенилсиклогенсан бо хосияти синтиллатсиониаш маҳлули n-терфенил дар ксилолро иваз менамояд. Агар ба маҳлули n-терфенил дар ксилол ба миқдори 0,128 *г/л* POPOP илова намоем, баромади рӯшной 20-30% меафзояд.

Ғайр аз модаи асосии ҳалкунанда ва илова ба бузургии баромади рӯшноии синтиллатори моеъ ҳалкунанеда низ таъсир мерасонад. Мувофиқоии бештари ҳалкунандаҳо толуол ксилол ва фенилсиклогексан мебошанд. Дигар ҳалкунандаҳо, ки дар адабиётҳо номбар мешаванд, диоксан, бензан, кумен ва ғайраҳо мебошад. Ҳол он ки бо иловагии бехтарин баромади рӯшной камро медиҳад.

Вақти рушноиафканиии маҳлули n-терфенил бо ксилол баробари $2 \cdot 10^{-9}$ сония мебошад, ки нисбати вақти рӯшноиафканиии кристалли органикии дилхоҳ хеле кам аст. Суръати рӯшноиафканӣ хеле калон аст, бинобарон маҳлули n-терфенилро метавон барои чен кардани робитаи вақт истифода бурд. Афзоиши ғаноиши терфенил

дар маҳлулҳо ба камшавии вақти рӯшноиафканӣ меоварад. Нишон дода шуд, ки дар ғаноиши 1;5 ва 10*г/л* бензол вақти рӯшноиафканӣ баробарӣ $3{,}8\cdot10^{-9}$; $2{,}7\cdot10^{-9}$; ва $2\cdot10^{-9}$сония мувофиқат мекунад.



Расми 3.9.7. Вобастагии баромади рӯшноии лифенил бутадиен дар бензол аз ғаноиш ҳангоми нурбориш бо гамма-афканишот (1) ва алфа заррахо (2).

Ин гуна синтиллаторҳое, ки дида баромадем оддӣ мебошанд, барои он, ки массаи як ҳалкунанда як ё ду модаи иловашударо ҳал месозад. Мумкин аст, ки синтиллатори мураккаберо тартиб диҳад. Баромади рӯшноии маҳлулҳои метанол, эфирҳо а-нафтол, метилантранилата ва ғайра омӯхта шудааст. Нишон дода шудааст, ки баромади рӯшноӣ 1,6 барои маҳлули метилантранилата (С=2,5*г/л*) бо ивази 15% толуол аз вазни нафталин маротиба меафзояд. Баровардани оксигени CO_2 дар маҳлуле, ки иборат аз 3% меганол, 15% нафталин ва 82% толуол бо илова кардани 2,5*г/л* метилантронилат синтиллаторе ҳосил мешавад, ки баромади рӯшноии он 26% калонтар аз баромади рӯшноии маҳлули терфенил (*с=5г/л*) дар толуол аст, яъне синтиллатор нисбати баромади рушноии маҳлуи терфенил бо илова кардани POPOP ягон бартарӣ надорад.

Таркиби элементарии химиявии синтиллаторҳои моеъи органикӣ ба таркиби бофтаи биологӣ хеле наздик аст,бинобар ин онро барои чен кардани тавоноии дозаи гамма-афканишот ва нейтронҳои сареъ истифода бурдан мумкин аст.

Синтиллаторҳои моеъ бо дигар моеъҳои органикӣ бо осонӣ омехта карда мешавад, аз ҷумла бо моеъҳое, ки дар таркибашон унсури бор мавҷуд аст; дар ин маврид, ин омехтаро барои бақайдгирии нейтронҳои сустҳаракат истифода мебаранд.

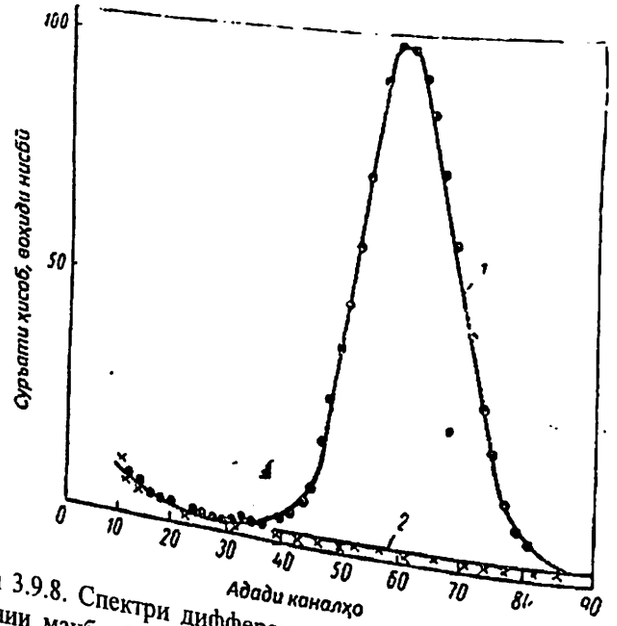
Маҳлуле, ки дар асоси ҳар хел синтиллатори моеъ бо триметилбор тайёр карда шудааст, густариши зиёд дорад. Ин омехта дорои баромади рӯшноии калон аст ва имкон медиҳад, ки таркиби триметилбаратро то 75% аз рӯи ҳаҷм бе бадшавии баромади рӯшноӣ ёбанд. Ғайр аз он, триметилборат дар таркибаш миқдори зиёди (10%) дигар пайвастагиҳои бороорганикии ядрои бор дорад, ки аз нуқтаи назари самаранокии бақайдгирии нейтронҳои ҳароратӣ хеле зарур аст.

Шишаи синтиллатсионӣ. Дар вақтҳои охир барои қайдгирии нейтронҳои сустҳаракат ва ҳароратӣ густариши васеъро шишаи синтиллатсионӣ соҳиб гардид, ки дар таркибаш унсури литий ва бор ворид шудааст. Бо ёрии ин гуна шишаҳо фони гамма-афканишот ва нейтронҳои сареъро пурра хориҷ кардан мумкин аст. Шиша ба нейтронҳои сареъ ҳиссиёт надорад, барои он ки дар таркибаш ҳидроген ё дигар унсурҳое, ки бо нейтронҳои сареъ ҳамтаъсирот гузаронанд, мавҷуд нест. Ҳиссиёти хурди шишаи синтиллатсионӣ бо ғафсии то 2-3мм барои гамма-афканишот хеле хурд аст. Аз тарафи дигар барои зиёд кардани ҳиссиёти нисбии нейтронҳои сустҳаракат ва ҳароратӣ, ба шиша пайвастагии литий, изотопи ғаникардаи Li^6 ва бор, изотопи ғаникардаи B^{10} ҳамроҳ мекунанд. Барои афзоиши баромади рӯшноӣ дар шиша миқдори ками серий низ ворид мекунанд. Дар ҷадвали 3.9.1. таркиби асосии синтиллатсияи шишагӣ ва бузургии нисбии баромади рӯшноӣ бо фоизҳо оварда шудааст. Барои мисол дар расми 3.9.8. натиҷаҳо бо шишае, ки таркибаш аз $Li_2^6O\cdot 3SiO_2\cdot 0{,}08Al_2O_3\cdot(0{,}01CeO_2)$ иборат аст, оварда шудааст.

Ҷадвали 3.9.1.

Таркиби шишаи синтиллатсионӣ

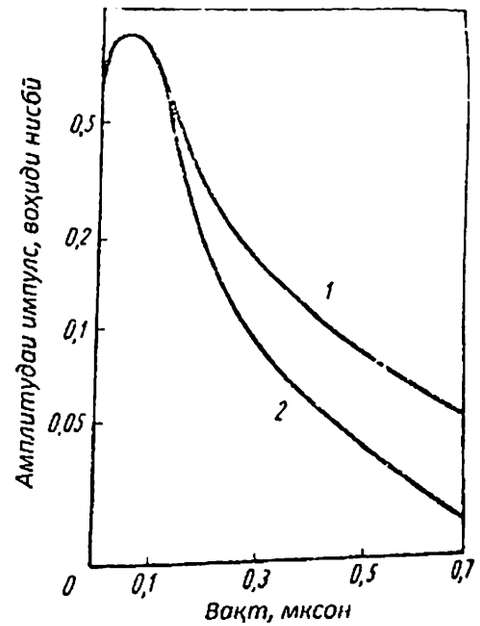
Na_2O	Li_2O	MgO	Al_2O_3	Be_2O_3	SiO_2	Ce_2O_3	Баромади рӯшной % барои $NaJ(TL)$
1.0	-	-	1,30	3,0	-	0,10	5,0
1.0	–	–	1,30	1,0	1,5	0,10	7,0
–	1.0	–	–	–	2,0	0,005	1,5
–	1.0	–	0,08	–	3,0	0,0075	3,0
–	–	0,625	1,125	3,25	–	0,10	5,0
–	0,015	0,26	0,05	–	0,30	0,0005	14,0
–	0,115	0,06	0,05	–	0,50	0,005	10,0
–	0,1825	–	0,376	–	0,55	0,005	9,0



Расми 3.9.8. Спектри дифференсиалии амплитудаи импулсҳои синтиллатсионии манба бо шишаи $Li_2^6O \cdot 3SiO_2 \cdot 0{,}08Al_2O_3 \cdot (0{,}01CeO_2)$. 1-дарангсози парафини манбаи нейтронҳо $P_o + Be$ (дар фони нейтронҳои сареъ ва гамма-афканишот бо энергияи 4,45 МэВ); 2-қайдгираки синтиллатсионӣ баъди ҳимояи кабати кадмийӣ.

3.10. ВОБАСТАГИИ ВАҚТИ РӮШНОИАФКАНИИ СИНТИЛЛАТОРҲО АЗ ТАБИАТИ АФКАНИШОТИ БАҚАЙДГИРИФТАШУДА

Натиҷаҳои тадқиқотӣ нишон доданд, ки тарақиёти раванди синтиллатсионӣ нисбати вақт аз табиати зарра, ки дурахши рӯшноиро ба вуҷуд меорад, вобаста мебошад. Аз натиҷаҳои тадқиқотӣ маълум шуд, ки шакли импулси синтиллатсионӣ дар кристалли неорганикии $NaJ(TL)$ ва $CsJ(TL)$ аз табиати заррае, ки синтиллаторро ба ангезиш меоварад, вобаста аст. Ғаноиши муътадили талаф дар кристалли $NaJ(TL)$ ошкор кард, ки импулс аз се қисм иборат аст (расми 3.10.1.): саршавии қулла бо вақти хомушшавии доимӣ $10 \cdot 10^{-9}$ сония, ташкилдиҳандаи асосии синтиллатсия бо вақти хомушавии $0{,}08\text{-}10^{-6}$ сония ва экспоненти дарозумр аз вақти хомӯшшавӣ $0{,}23 \cdot 10^{-6}$ сония, ғайр аз ин, вақти хомӯшшавии экспоненти дарозумр аз табиати зарра кам вобаста аст.



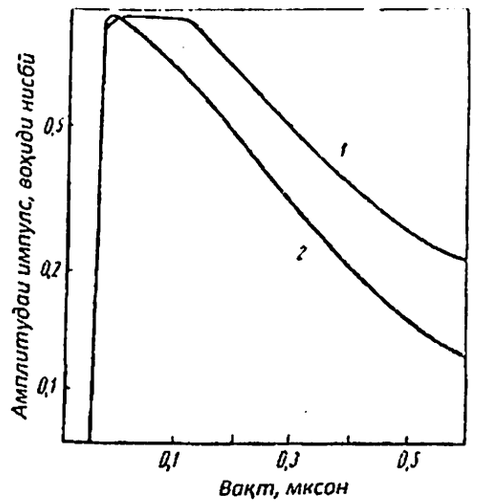
Расми 3.10.1. Шакли импулсҳои синтиллатсия дар кристалли $NaJ(TL)$ ҳангоми онро бо электронҳо (1) ва алфа-зарра (2) нурборон кардан.

Ҳангоми синтиллаторро бо электронҳо ангезонидан саршавии кулла дар импулс - мавҷудияти баландии ҳамвор (ташкилкунандаи асосӣ) мебошад, ки давомнокии он $0{,}15 \cdot 10^{-6}$ сонияро ташкил мекунад. Ҳангоми бо алфа-зарра нурборон кардани кристалли $NaJ(TL)$ ҳамвории баландӣ нест, импулс ба максимум расида, якбора аз рӯи қонуни экспоненсиалӣ хомӯш мешавад.

Шакли импулс дар кристалли $CsJ(TL)$, ки пайдо мешавад, вобаста аз намуди афканишот монанди кристалли натрий тайғир меёбад, аммо ба шакли импулси кристалли $CsJ(TL)$ таъсири зиёдтарро ғаноиши таллий мерасонад. Импулсе, ки аз ҳисоби алфа-зарра пайдо мешавад, ҷабҳаи пеши он дорои қуллаи равшантарин мебошад, ки синтиллятсия то сифр меафтад ва импулси асосӣ меафзояд. Импулси асосӣ возеҳан меафзояд, ва аз рӯи экспонент бо вақти хомӯшшавӣ $0{,}4 \cdot 10^{-4}$ сония меафтад. Ҳангоми кристаллро бо дастаи электронҳо нурборон кардан саршавии кулла мушоҳида намешавад, аммо импулс нисбатан оҳиста меафзояд то максимум, ки тақрибан баъди $0{,}2 \cdot 10^{-6}$ ба максимум мерасад ва аз рӯи ду экспонент.бо вақти доимӣ $0{,}4 \cdot 10^{-6}$ сония ва $7 \cdot 10^{-6}$ сония меафтад.

Ба натиҷаҳои таҷрибавӣ асоснок намуда, якчанд усулҳои бақайдгирии ин ё он намуди афканишот дар фони дигар афканишотҳо пешниҳод карда шуд. Тадқиқоти баромади рӯшноии кристалли стилбен ва дигар кристаллҳои синтиллатосионии органикӣ нишон доданд, ки вобастагии вақти рӯшнофкании онҳо ба табиати зарраҳои ангезонанда алоқаманд мебошад. Маълум мешавад, ки хати қаҷи афтиши импулсҳои синтиллатсионӣ аз дигар гунсозии як қатор экспонентҳо иборат буда, вақти хомӯшшавӣ вобаста бо кадом навъи афканишот, мисол, гамма-квант ё дастаи протонҳои кристалл нурбориш мешавад. Агар тартиби махсуси кори фотофузунсозро интихоб кунем, онгоҳ дар экрани осциллограф шаклҳои гуногуни импулсҳо мушоҳида мешаванд, ки ҳангоми кристаллро бо электронҳо ва протонҳо нурборон кардан пайдо мешаванд. Барои кристалли стилбен се ташкилкунанда нисбати вақти хомӯшшавӣ ошкор шудааст: экспонентаи тез бо $t_o = 6 \cdot 10^{-9}$ сония аз табиати заррае, ки синтиллаторро меангезонад, вобаста нест, ду экспонентаи дарозумр бо вақти хомӯшшавӣ аз $0{,}35 \cdot 10^{-6}$ сония то $10 \cdot 10^{-6}$ сония. Ин экспонентаҳои дарозумр ҳангоми ангезонидани

синтиллатор бо протонҳо тахминан интенсивнокии ду баробар пуркувватро нисбати ангезонидани синтиллатор бо электронҳоро медиҳад. Барои мисол дар расми 3.10.2. айнан шакли импулс барои кристалли антрасен ҳангоми нурборон кардан бо нейтронҳои сареъ ва гамма-афканишот нишон дода шудааст. Ин рафтори бӯлури синтиллатсиониро вобаста аз вақт чунин фаҳмонидан мумкин аст: тез хомӯшшавии экспонент ба нурафканиии молекулаҳо асоснок буда, ҳангоми аз синтиллатор гузаштани зарраҳо онро меангезонанд, аз тарафи дигар экспоненти дарозумр ба ангезонидани синтиллатор дар раванди рекомбинатсияи молекулаҳои понизатсия ва электронҳо алоқаманд мебошад. Фарқият дар шакли импулсҳо, аз табиати зарраҳо вобаста буда, дар моеъҳо ва синтиллаторҳои органикии пластмассӣ ошкор шудааст. Дар синтиллаторҳои моеъ фарқият дар шакли импулс равшантар мушоҳида мешавад, баъди баровардан аз синтиллатор баромадани оксигени ҳалшуда, барои он ки оксиген ҳамчун омехта электронҳоро қапида мегирад, дар натиҷа ангезиши синтиллатор дар раванди рекомбинатсия кам мешавад. Дар синтиллаторҳои пластмасӣ фарқият нисбати шакли импулс кам ифода ёфтааст.



Расми 3.10.2. Импулсҳое, ки аз кристалли антрасенӣ, ки ҳангоми ангезонидан бо нурбориши нейтронҳои сареъ (1) ва гамма-афканишот (2) ҳосил мешаванд.

Аз натиҷаҳои таҷриба маълум гардид, ки ба воситаи қайдгираки синтиллатсионии стилбен гамма-афканишотро бо энергияи калон аз 150 кэВ дар фони нейтронҳои сареъ алоҳида ба қайд гирифта метавонем ва баръакс, нейтронҳои сареъро бо энергияи калон аз 500 кэВ дар фони гамма-афканишот ба қайд гирем. Бо синтиллаторҳои моеъ нейтронҳоро бо энергияи калон аз 1МэВ дар фони гамма-афканишот ба қайд гирифтан мумкинаст ва гамма-афканишотро бо энергияи калон аз 200 кэВ дар фони нейтронҳои сареъ ба қайд мегиранд.

3.11. НАВЪУ ТАВСИФИ ФОТОФУЗУНСОЗҲО (ФФС)

Вобаста аз истифодабарӣ ҳамаи ФФС-ҳоеро, ки дар соҳаи физикаи ядро истифода мебаранд ба се гӯрӯҳ тақсим мешаванд: 1) ФФС барои ҳисоби оддии синтиллатсия барои муайян кардани дастаи зарра ё гамма квантҳо; 2) ФФС, барои таҳлили амплитудии импулсҳои синтиллатсия бо мақсади муайян кардани энергияи зарра ва гамма-афканишот 3) ФФС, барои бақайдгирии фосилаи кӯтоҳи вақт барои тадқиқи робитаи вақт дар равандҳои ядроӣ.

Агар ФФС барои муайян кардани дастаи гамма-афканишот ё зарра пешниҳод шавад, он бояд дорои фотокатоде бошад, ки афканишоти рӯшноии синтиллатсияро пурра фурӯ барад, зариби тақвияти он баробари 10^6 буда, ғалоғулаи хоси ФФС на он қадар калон, вақти хурди барқароршавии низоми муқимӣ ва вақти хурди тафриқа дошта бошад. Бо ингуна ФФС-ҳо дигар талаботҳо пешниҳод намешавад.

Барои ФФС, ки дар спектрометри синтиллатсионӣ истифода мебаранд, талаботи асосӣ барои муайян кардани энергияи зарра – ин тафриқаи амплитудаи нағз ва устувори нисбати вақт мебошад. Дар ин маврид ҳиссиёти интегралӣ бояд максималӣ бошад. Бояд, ки қитъаҳои алоҳидаи фотокатод дорои ҳиссиёти якхела бошанд ва фотоэлектронҳо ба диноди якум ҷамъ шаванд, бояд тафриқаи вақти минималӣ дошта, дар баромад импулси амплитудааш калонро пайдо кунанд.

Вобаста ба интихоби коркард ва тайёр кардани ФФС-ҳо гуногунанд ба монанди: ФФС-19; ФФС-25 ва ғайра барои қайдгиракҳои синтиллатсионӣ; ФФС-29; ФФС-42; ФФС-43; ФФС-11 ва ғайра барои спектрометри синтил-латсионӣ; ФФС-33; ФФС-36 ва ғайра барои тадқиқоти равандҳои вақтӣ.

Сифати кории ФФС-ҳо бо чунин бузургиҳо тафсиф дода мешавад:

Соҳаи ҳиссиёти спектралии фотокатод w, яъне қобилияти фосилаи дарозии мавҷи рӯшноӣ аз фотокатод вобаста аст. Бузургии w аз модаи фотокатод вобастаги дорад. ФФС-ҳои бештар паҳншуда бо сурма-сезий (Sb-Cs) ё фотокатод аз висмут-нукра-сезий (Bi-Ag-Cs) мебошанд. Дар расми 3.11.1. тавсифи спектралии ингуна фотокатодҳо нишон дода шудааст. Дар баъзе ФФС (ФФС-52) фотокатод аз унсурҳои сурма-калий-сезий тайёр шудааст, ки $w = 3000 \div 8000A°$.

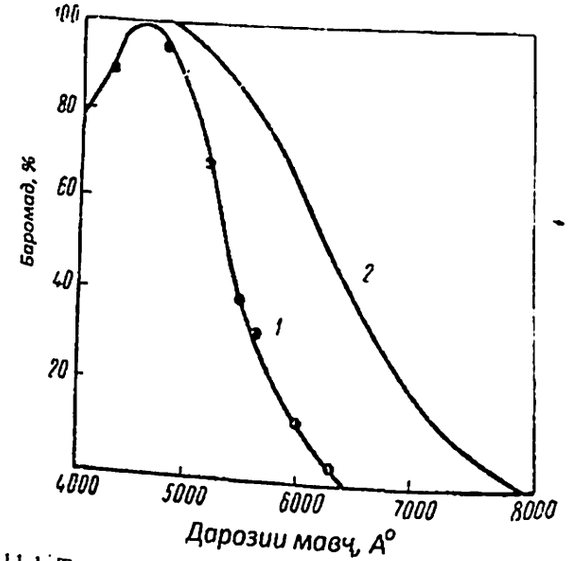
Баромади кванти G фотокатод, ки дар соҳаи дарозмавҷи рӯшноии синтиллатор чен шудааст, бузургии G-ро ҳамчун нисбати шумораи электронҳои аз фотокатод кандашуда ба шумораи кванти рӯшноӣ бо фотокатод афтанда муайян мекунанд. Барои фотокатоди сурма-сезий дар соҳаи максимум тавсифи спектралии G он ба 30% мерасад.

Ҳиссиёти интегралии фотокатод φ, яъне ҳиссиёти фотокатод барои рӯшноии сафед, ки ҳиссиёти интегралиро муайян мекунанд. Нисбати фотоҷараён ба дастаи рӯшноӣ, ғайр аз ин манбаи рӯшноӣ дорои температураи рангаи 2820°К мебошад. Бузургии φ –ро бо мка/лм чен мекунанд. Барои ФФС-ҳое, ки хеле васеъ паҳншуда бузургии ҳиссиёти интегралӣ дар ҳудуди 30÷80мка/лм мехобад. Баъзе вақтҳо ҳиссиёти ФФС-ро бо ёрии манбаи рӯшноии сабз низ муайян мекунанд. Ҳиссиёти “сабз”-и фотокатоди сурма-сезий тақрибан баробарӣ *6 мка/лм* аст.

Ҳиссиёти мунтазами фотокатод, яъне нисбати фотоҷараён бо қитъаи додашудаи фотокатодро ба қимати миёнаи фотоҷараён дар қитъаи алоҳидаи сатҳи фотокатод чен мекунанд.

Дар ФФС-ҳои ҳозиразамон бузургии ҳиссиёти мунтазами фотокатод ба 80-85% мерасад. Ҳиссиёти мунтазамии фотокатод тавсифаи асосии ФФС бо фотокатоди калон аст.

Мунтазам ҷамъшавии фотоэлектронҳо дар диноди якум зарбшавии системаи ФФС мебошад. Мунтазам ҷамъшавии фотоэлектронҳо айнан мунтазамии ҳиссиёти фотокатодро муайян мекунад.



Расми 3.11.1. Тавсифи спектралии фотокатодҳои сурма-сезий (1) ва висмут-нукра-сезий (2).

Бузургии зариби ҷамъшавии фотоэлектронҳо дар системаи диноди ФФС, ки хосияти электронӣ-оптикии даромади камераи ФФС-ро тавсиф медиҳад ва нисбати шумораи электронҳое, ки ба диноди якум меафтанд, ба шумораи пурраи электронҳое, ки аз фотокатод канда мешаванд, муайян мекунад. Зариби ҷамъшавии фотоэлектронҳо ба тафриқаи амплитудаи ФФС таъсир мерасонад, бинобар ин, дар ФФС-ҳои спектрометрӣ беҳтарин асбоби махсусро барои конундиҳии фотоэлектронҳои диноди якум истифода мебаранд. Барои ингуна ФФС-ҳо монанди ФФС-42 зариби ҷамъкунии фотоэлектронҳо ба 95-100% мерасад.

Ҳиссиёти интегралии анодии ФФС (бо якҷоягии ҳиссиёти интегралӣ), ки зариби таквияти ФФС *М-ро* муайян мекунад. Ҳиссиёти интегралии анод Ψ аз нисбати бузургии ҷараёни анодии ФФС бо бузургии дастаи рӯшноии дар фотокатод афтанда иборат аст ва Ψ -ро ба а/лм чен мекунанд. Зариби таквияти ФФС *М* –ро аз ифодаи зерин муайян мекунанд.

$$M = \frac{\Psi}{\varphi}, \qquad (3.11.1)$$

Бузургии ҳиссиёти интегралии анодии ФФС дар ҳудуди васеъ тағйир меёбад ва аз шиддати манбаи ФФС вобаста аст.

Бузургии ҷараёни торикӣ, яъне ҷараёне, ки аз занҷири анодии ФФС бе равшан кардани фотокатод ҷорӣ мешавад. Сабаби пайдошавии ҷараёни торикиро дар боло муҳокима карда будем. Барои ФФС беҳтарин бузургии ҷараёни торикӣ аз 0,02мка хурд аст. Ғайр аз он ба ҷараёни торикии ФФС, дар анодии ФФС пайдошавии импулсҳои ғалоғулаи худи ФФС алоқаманд мебошад. Амплитудаи импулсҳои ғалоғулаи худи ФФС-ро дар воҳиди энергиявӣ муайян мекунанд, нисбати ҳолати фотоқуллаи Cs-137, бо кристалли Na$\mathcal{J}$(TL) дар савияи 50 им/сон чен шудааст. Барои ФФС-и ҳозиразамон, ки васеъ истифода мебаранд, амплитудаи импулсҳои ғалоғулаи ФФС аз 5-10 кэВ зиёд нест.

Кори хатии дастгоҳ, ки ба воситаи тавсифи анод муайян мекунанд, вобастагии ҷараён дар занҷири анодии ФФС аз шиддати манбаи он мебошад.

Аксар вақт тафриқаи амплитудӣ ФФС-ро бо якҷоягии кристалли Na$\mathcal{J}$(TL) аз васегии фотоқулаи Cs-137 (E_γ=0,661) муайян мекунанд.

Чи тавре қайд карда шуд, ба ФФС-спектрометр чунин талаботҳо пешниҳод шуда буд, ба монанди устуворнии баланди зариби таквият ва тафриқаи хуби амплитудӣ.

Тафриқаи амплитудии ин гуна ФФС-ҳо, ба монанди ФФС-29, ФФС-24, ФФС-31 ва ғайра, ҳангоми интихоби махсус ё навъи низоми тағзия аз натиҷаҳои чеширда барои 500 то 1000 ФФС муайян мекунанд. Кори устуворӣ ин ФФС-ро аз ҳолати фотоқуллаи Cs-137 ва миқёси энергиявӣ дар фосилаҳои вақти гуногун муайян мекунанд. Якумин ФФС-и спектрометр (ФФС-42) бо роҳбарии Н. С. Хлебникова коркард шуда буд.Тадбиқи истифодабарии системаи махсуси динодҳо ва линзаҳои конундиҳӣ тафриқаи амплитудии ФФС-42 хеле ҳам беҳтар кард.

Бо кристалли Na$\mathcal{J}$(TL) (диаметри 30 мм, ғафсиаш 15 мм) тафриқаи амплитудии фотокатод аз 1,5% хубтар гирифта шуд. Колбаи ФФС-42 аз шишаи бекалий сохта шудааст, ки ғалоғулаи ФФС-ро возеҳан кам мекунад.

Фарқияти асосии навъи ФФС бо роҳбарии Г. С. Вилдгрубе коркард шудааст, ки дорои устувории калони зариби таҳвият мебошад.

Фотофузунакҳое, ки Г. С. Вилдгрубе бо кормандонаш коркард намудаст, бо фотокатоди Sb-Cs, инчунин Bi-Ag-Cs истеҳсол мекунанд. Барои муқоиса намудани ФФС-ҳо дар ҷадвали (3.11.1) ва (3.11.2) бузургиҳои нисбии амплитудаи импулсҳои натиҷаҳои чеширида барои ду намуди ФФС-ҳо оварда шудааст.

Ҷадвали 3.11.1

Амплитудаи нисбии импулс барои ФФС-11б ва ФФС-12Б

ФФС	Фотокатод	Синтиллатор	
		CsJ(TL)	NaJ(TL)
ФФС-11б	Sb-Cs	0,3	1
ФФС-12б	Bi-Ag-Cs	0,3	0,5

ФФС-33 вақти иҷозатдиҳии хеле хуб дорад, барои он, ки пеш аз сӯрохӣ силиндри иловагии конундиҳанда гузошта шудааст ва системаи махсуси зарбшавиро бо тӯри таҳвиятдиҳанда истифода мебаранд. Дар ФФС-36 барои ин мақсад шишаи ёнаш ҳамвори катшуда ва динодҳои шаклӣ махсусдоштаро истифода мебаранд. Дар ФФС—1В ихтисори парешони вақти парвози электронҳо ба истифодабарии намуди доиравии системаи динодҳо меоварад. Тавсифи асосии ФФС-33 ва ФФС-36 калон будани зариби таҳвият (10^8) аст. Тавсифи вақти баъзе навъҳо ФФС дар ҷадвали (3.11.2) оварда шудааст.

Ҷадвали 3.11.2

Тавсифи вақти баъзе навъҳои ФФС-ҳо

Навъи ФФС	Қаҷии пеши ҷабҳа ма/10^{-9}сония	Давомнокии импулс дар асоси он 10^{-9}сония
ФФС-33	200	20
ФФС-36	450	6÷8
ФФС-11Б	20÷100	100
ФФС-13Б	170	46

3.12. ТАҒЗИЯИ ФФС. ИНТИХОБИ ТАРТИБИ МУНОСИБТАРИН

Азбаски зариби таҳвияти ФФС тақрибан ба дараҷаи ҳафтуми бузургии таҳзия мутаносиб аст, пас таҳйирёбии ниҳоят ками шиддат возеҳан ба таҳйирёбии зариби таҳвият вобаста аст. Ин дар навбати худ ба пайдоиши хатоҳӣ меоварад. Ҳангоми истифодабарии қайдгиракҳои синтиллатсионӣ барои чен кардани дастаҳо ва энергияи зарра ба номумкинӣ меоварад. Барои аз ин раванд гузашт кардан, таҳзияи ФФС бояд бо росткунаки устуворӣ ё батарея таъмин бошад.

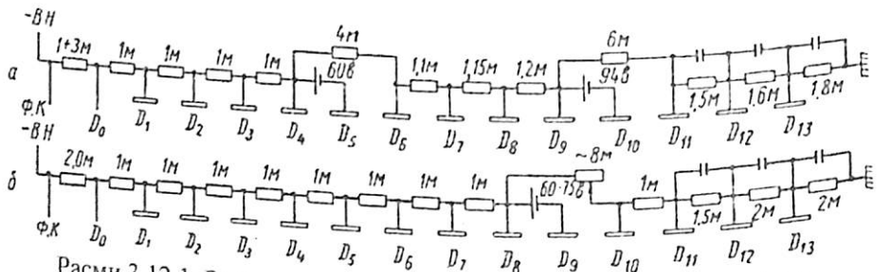
Якчанд навъи росткунаки баландшиддати устуворро барои таҳзияи ФФС истеҳсол мекунанд. Аз ҳама варианти беҳтарини росткунак асбоби ВС-10, ВС-22 ва В-2-2 мебошад. Ҳангоми чен кардани шиддати таҳзияи шабака ±10% аз шиддати баромад танҳо ±0,005% таҳйир ёбад; ҳамкори 8 соатаи бетанаффус, шиддати устувори ростшуда то 0,02%-баҳо дода мешавад.

Росткунаки устувори баландшиддати фотофузунсоз инчунин барои таҳзияи ФФС пешбинӣ шудааст, аммо аз тавсифаш маълум, ки аз росткунаки ВС-10 ва ВС-22 на он қадар хубтар мебошад. Ҳангоми лаппишнокии шиддати таҳзиярандаи шабака ба ±10% расидан, шиддати баромад ба ±0,5% таҳйир меёбад. Ғайр аз росткунакҳои номбаршуда, ҳангоми кор бо ФФС боз чунин росткунакҳоро ба монанди ВС-9 ва ВС-16 бо блоки баландшиддати дастгоҳи навъи Пс-10000 истифода бурдан мумкин аст. Устувории ин манбаҳои шиддат тахминан ба росткунаки баландшиддати башаклдорӣ (БРБ) монанд аст. Барои беҳтар кардани кори росткунаки устувории БРБ, ВС-9 ва дигар шароит, усулҳои гуногун, мисол устувории шабака ва устувории ростшудаи шиддат волти росткунакро ◦ истифода мебаранд. Аммо барои ҳосилкунии натиҷаҳои беҳтарин усули худустуворкуниро истифода бурдан мумкин аст.

Маълум аст, ки дар системаи оптикии электронӣ хати сайри электрон аз таносуби таҳйирёбии потенсиал дар ҳама электродҳои системаи электрони-оптикиро баамаловаранда вобаста нест. Дар ФФС ҳангоми таҳйирёбии шиддати таҳзия на танҳо зариби таҳвият, балки хусусияти оптикӣ-электронии он бетаҳйир мемонад.

Ҳангоми номутаносиб тағйир ёфтани потенсиал дар динодҳои ФФС шароити конундиҳии электронҳо дар қитъае, ки мутаносибӣ вайрон шудааст, тағйир меёбад. Ин шароитро барои зариби худустувории тақвияти ФФС истифода кардан мумкин аст; барои ин мақсад потенсиали яке аз динодҳо нисбати диноди пешина доимӣ дода мешавад ё ки бо ёрии батареяи иловаги ё ба воситаи тақсимкунаки иловагӣ устувориро таъмин мекунанд.

Дар расми 3.12.1 речаи тағзияи ФФС сабт шудани потенсиали динодро бо ёрии батарея таъмин мекунад. Барои ҳосил кардани эффекти беҳтарини худустуворӣ бояд бузургии муковимати R-ро интихоб кард, ки дар речаи бо батарея пайваст мешавад. Интихоби R чунин аст:



Расми 3.12.1. Речаи устувории зариби зарбшавии ФФС бо ёрии пайвасти тақсимкунак дуто (а) ё як батарея (б) (шиддати баланд. муковимати R баробари 4; 6 ва 8 мм).

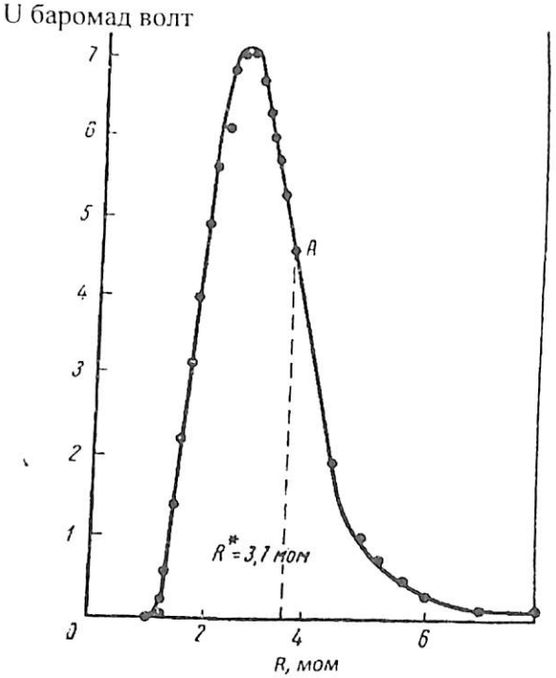
Агар синтиллатор бо ягон афканишот нурборон шавад, бо осциллограф ё дигар асбоби мувофиқбуда амплитудаи максималии сигнал дар қимати додашудаи шиддати тағзияи ФФС ва шиддати батарея барои қиматҳои гуногун муқовимати R чен карда мешавад. Аз натиҷаҳои чеширда R-тавсифнома тартиб дода шудааст, яъне вобастагии амплитудаи сигнал дар аноди ФФС аз бузургии муқовимати R расми 3.12.2. Аз R-тавсифнома муқовимати R*-ро интихоб мекунанд, яъне муқовимате, ки тахминан ба миёнаҷои пастии хати каҷ мувофиқат мекунад (нуқтаи А дар расми 3.12.2). Ин муқовиматро интихоб намуда, зариби устувории тақвиятро дар ҳудуди тағйирёбии шиддати тағзия аз ±40-50в гирифтан мумкин аст (расми 3.12.3).

Ҳамин тавр, агар шиддати тағзияи ФФС тахминан аз мобайни пуштакӯҳ интихоб шавад, он гоҳ лаппиши шиддати тағзия дар ҳудуди якчанд фоиз ба тағйирёбии зариби тақвияти ФФС намеоварад. Барои калонтар ҳосил кардани пӯштакӯҳ, шиддати батареяро бояд чунин интихоб кард, ки ба шидати байни динодҳои ҳамсоя баробар ва мунтазам дар қисми тақсимкунак бошад, яъне ба 60-85В баробар бошад. Дар ин ҳолат муқовимат бояд чор-панҷ маротиба калон бошад, нисбати муқовимати қисми тақсимкунак. R*-ро тағйир дода дар соҳаи дилхоҳ шиддати тағзияи ФФС-и пуштакӯҳро кӯчонидан мумкин аст.

Бузургии R*-ро аз формулаи зерин меёбем:

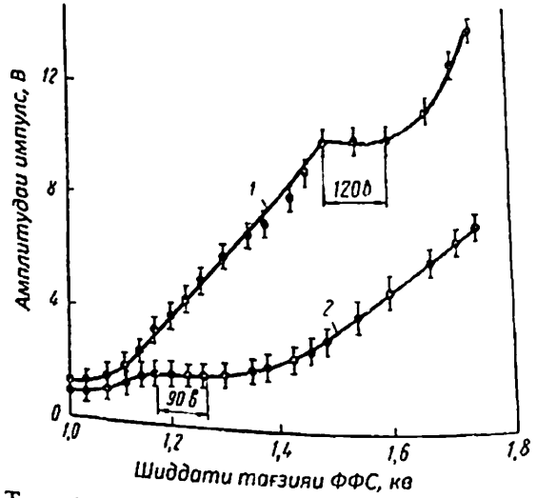
$$\frac{U_1 R^*}{U_б(R+R^*)} = k, \qquad (3.12.1)$$

дар инҷо U_1-саршавии шиддат дар пӯштакӯҳ; R-муқовимати умумии тақсимкунак; k-бузургии доимӣ, ки то аниқии 10-15% баробари 40 аст.

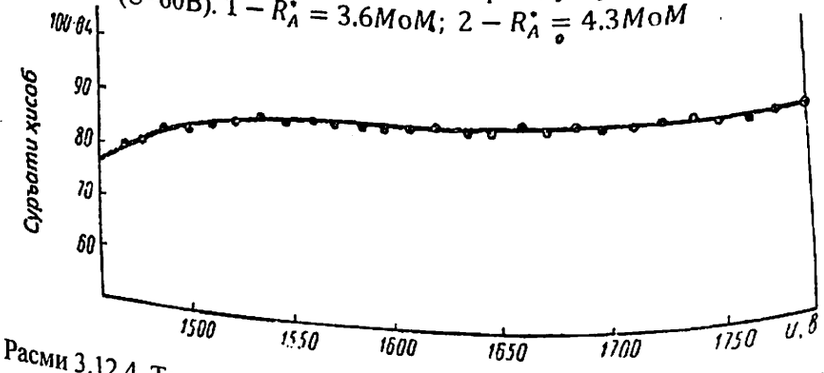


Расми 3.12.2. R-тавсифномаи ФФС.

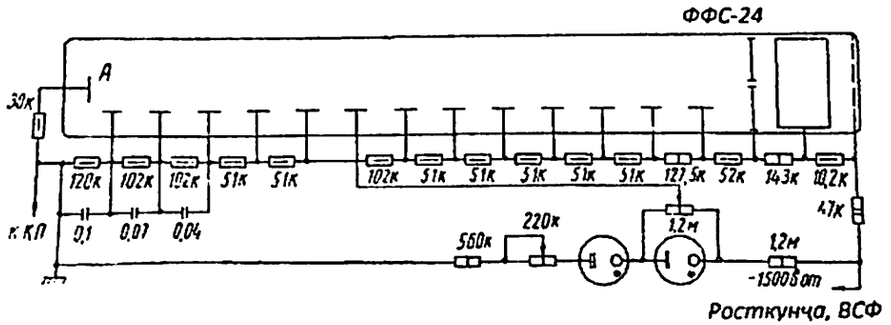
Бузургии пўштакўҳ дар тавсифи волтамперии ФФС ба воситаи ду диноду батарея (расми 3.12.1) ва ба воситаи речаи худустуворӣ зиёд карда мешавад. Речаи овардашударо истифода бурда, устувории бовариноқро дар кори ФФС (расми 3.12.4) гирифтан мумкин аст. Натиҷаҳо ҳангоми истифодабари тағзияи динод бо тақсимкунаки махсуси устуворкунанда дар расми 3.12.5 оварда шудааст. Натиҷаи беҳтарин барои ФФС-24 барои қимати бузургии тақсимкунаки иловагӣ гирифта шуд (расми 3.12.5). Ҳангоми дар ша-бака лаппидани шиддат аз -10 то +15% зариби таквияти ФФС тахминан ба ±1% тағйир меёбад.



Расми 3.12.3. Тавсифи амплитудии ФФС барои ду муковимати гуногун (U=60В). $1 - R_A^* = 3.6 МоМ;\ 2 - R_A^* = 4.3 МоМ$



Расми 3.12.4. Тавсифи ҳисоби ФФС-и бо расми 3.12.1 (а) тағзияшуда.



Расми 3.12.5. Речаи тағзияи ФФС. ФФС-24 бо ёрии тақсимкунаки иловагии устувор.

Ҳангоми муоинаи навъҳои алоҳидаи ФФС-ҳо қайд карда шуд, ки дар аксар ҳолат баъди интихоби махсус ва оптималӣ барои ҳар як ФФС, тақсимшавии шиддат байни электродҳои он беҳтарин тафриқаи энергиявӣ ва тафриқаи вақтро ҳосил кардан мумкин аст.

3.13. РЎШНОИБАР

Ҳангоми ченкуниҳо дар вакуум, дар майдони магнитӣ, дар майдонҳои пуркуввати афканишоти ионизатсия ва дигар шароитҳо синтиллаторро ба фотокатоди ФФС ҷойгир кардан номумкин аст. Барои таҳвили рўшноӣ аз синтиллатор ба фотокатод, рўшноибарро истифода мекунанд. Ба сифати рўшноибарҳо лулаи металлии бо сатҳи дохилии сайқалшуда, ки бо моеъи шафоф пур аст ё бе пур кардани он, милаи люсит ё ки шишаи органикӣ (плексиглас) ва лула аз шишаи органикии бо моеъи шафоф пуркардашударо истифода мебаранд. Истифодабари рўшноибарҳо ба ҳодисаи инъикоси пурраи дохилӣ асос ёфтааст. Вай аз он иборат аст, ки рўшноӣ ҳангоми аз муҳити рўшноибар баромадан аз сарҳади рўшноибар инъикос мешавад ва агар кунҷи афтиши нур дар сарҳад i аз баъзе кунҷи бўҳронӣ $i_{бўҳ}$ калон бошад, он гоҳ рўшноӣ аз он пурра инъикос шуда, аз ҳудуди рўшноибар намебарояд. Шарти инъикоси пураи дохилиро аз таносуби зерин меёбем:

$$i > arcsin\frac{n_0}{n}, \qquad (3.13.1)$$

Он гоҳ барои кунҷи буҳронӣ:

$$i = arcsin\frac{n_0}{n}, \qquad (3.13.1.a)$$

дар инҷо n–нишондоди шикаст барои маводи рӯшноибар ва n_0-нишондоди шикасти муҳите, ки рӯшноибарро иҳота мекунад. Аз ифодаҳои (3.13.1) ва (3.13.1.а) бармеояд, ки аз рӯшноибар танҳо он нури рӯшноиро мегузарад, ки барои он нобаробарии зерин ҷой дошта бошад:

$$\alpha \le arc\sin\sqrt{n^2 - n_0^2}, \qquad (3.13.2)$$

дар инҷо α-кунҷе, ки рӯшноӣ аз синтиллатор ба канори рӯшноибар меафтад

Азбаски нур аз синтиллатор метавонад ба канори рӯшноибар дар таҳти кунҷи $0 \le \alpha \le 90^0$ афтад, барои бартараф кардани сарфи хурдтарини нур дар рӯшноибар бояд шарти $n_0<n$ иҷро шавад. Маводҳои дар боло ишорашуда дараҷаи дурусти ин шартҳоро қаноат мекунад.

Тадқиқоти ҳодисаи инъикоси рӯшноӣ дар сарҳади ду муҳит нишон дод, ки ҳатто нуре, ки таҳти кунҷ ба сарҳад меафтад, аз кунҷи буҳронӣ калон аст. Мавҷҳои рӯшноии майдони магнитӣ ва электрикӣ аз сарҳади ҷудошудаи муҳит канда намешаванд, ҳатто муҳите вуҷуд дорад, ки қисми энергияи рӯшноӣ ҳамавақт аз ҳудуди рӯшноибар мебарояд. Ҳиссаи энергияи баромад чи қадар калон бошад, ҳамон қадар шаффофияти муҳити рӯшноибари муҳити иҳотакунанда нисбати ҷудои сарҳад камтар аст. Ҳамин тавр. ҷои байни синтиллатор ва фотокатоди рӯшноибар ба камшавии миқдори рӯшноии ба фотокатод рафта расанда меоварад. Камшавии шумораи рӯшноӣ дар асоси се сабаб ба амал меояд: 1) сарфи рӯшноӣ ҳангоми инъикос дар ҷои пайвастшавии синтиллатор бо рӯшноибар ва рӯшноибар бо ФФС; 2) Камкуватшавии рӯшноӣ дар ҳаҷми рӯшноибар; 3) Инъикоси рӯшноӣ аз сатҳи канории рӯшноибар. Истифодабарии ин гуна модаҳои гузариш, мисол, равғани вазелинӣ барои пайвасти синтиллатор бо ФФС. сарфи рӯшноиро дар дараҷаи пайвастшавӣ метавонад хеле кам кунад.

Сарфи рӯшноиро ҳангоми инъикоси он аз сатҳи канорҳои рӯшноибар бо истифодаи модаи иникоскунандаи бехтарин истифо-

да ва бодиққат сатҳи рӯшноибарро сайқал кардан хеле кам кардан мумкин аст.

Сарфи асосии рӯшноиро, ки ҳангоми истифодаи рӯшноибар дар маво-ди рӯшноибар мегузарад, ҳангоми интихоби мавод метавон кам кард. Нати-ҷаҳои бехтарини рӯшноигузар дар милан люсит бо диаметри 12,7 ва 9,5 мм, сарфи рӯшноиро то 97%, милан диаметраш хурд сарфи рӯшноиро то 99%-ро таъмин мекунад. Ҳангоми истифодабарии кристалли антрасен бо ФФС 1Р28, ки бо яхи хушк хунук карда шудааст, ҳангоми бодиққат коркард кардани сатҳи рӯшноибар чунин натиҷаҳо гирифта шуд, нигаред ба ҷадвали 3.13.1.

Ҷадвали 3.13.1.

Интиқоли рӯшноӣ бо рӯшноибарҳо дарозиашон гуногун дар маводҳои гуногун.

Дарозӣ, мм	Адади бақайдгирӣ дар як дақиқа		
	Люсит	Плексиглас	Полистрол
76,2	5191	4256	3949
152,4	4715	3138	2754
228,6	4003	2075	1314
304,8	3633	1505	533

Нишон дода шуда буд, ки рӯшноибари хубро аз кварс ҳосил кардан мумкин аст: чунин рӯшноибар бо дарозиаи 305мм тахминан 70% рӯшноиро мефиристад. Полистрол аз ҳама бадтарин рӯшноибар аст. Тадқиқоти хосияти рӯшноибари плексиглас, равғани вазелин ва оби дистиллатсияшуда омӯхта шуд. Равғани вазелини дар лулаи аз плексиглас 0,0018мм$^{-1}$ буда, барои плексиглас баробари 0,0023-0,003мм$^{-1}$ мувофиқат мекунад. Равғани вазелин ва оби дистиллатсионӣ ба лулаи сайқалии шишаи органикӣ рехта шудааст. Нишон дода шудааст, ки часпакии рӯшноибарҳо аз резаҳои алоҳидаи плексиглас ба бадшавии фиристонидани рӯшноӣ намеоварад.

Дар баъзе таҷрибаҳо бояд рӯшноибари каҷшударо истифода баранд. Дар ҷадвали 3.13.2. натиҷаҳои таҷрибавӣ бо рӯшноибар аз люсити дарозиаш 305мм ва диаметраш 9,5мм оварда шудааст.

Ҷадвали 3.13.2.

Таъсири кӯчӣ ба фиристодани рӯшноии рӯшноибар

Кунҷи кӯчӣ	Адади сарҳисоб дар дақиқа		
	Дарозии кӯчӣ	Кӯчии кӯтоҳ	Бе кӯчӣ
0°	-	-	26743
45°	24307	14998	–
90°	17426	13646	–
180°	14599	9208	–

Дар ҳар як ченкунӣ кӯчӣ ҳаман дарозӣ ва диаметри рӯшноибарро ишғол мекард – кӯчии дароз ва дигар қитъаи ками рӯшноибар – кӯчии кутоҳ.

Барои беҳтар намудани шароити фиристодани рӯшноӣ ба рӯшноибар дастгоҳи махсус –рӯшноиҷамъкунакро истифода бурдан мумкин аст, ки онро байни рӯшноибару синтиллатор ҷойгир мекунанд; онро аз он маводе месозанд, ки рӯшноибарро сохтанд.

Ду намуди рӯшноиҷамъкунак маълум аст:

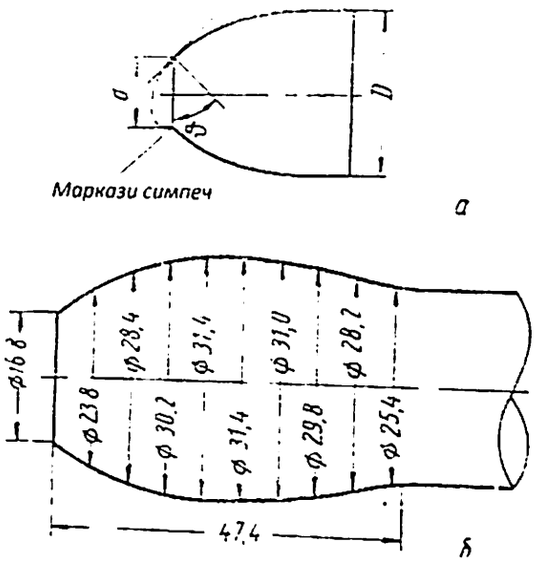
1) Рӯшноиҷамъкунаке, ки сатҳи он аз даврзании симпечи логарифмӣ (расми 3.13.1.а) ташкил ёфтааст ва 2) Рӯшноиҷамъкунак бо васеъшавӣ (нигаред ба расми 3.13.1.б).

Барои хуб ҷамъкунии рӯшноибар, ҷамъкунаки симпечи логарифмӣ бояд шарти зеринро риоя кунад:

$\frac{д}{d} = 2\sin\vartheta \cdot e^{-\nu tg\nu} - 1$, бояд $\vartheta \geq arc\sin\frac{1}{n}$, дар инҷо n-зариби шикасти маводи рӯшноиҷамъкунак.

Барои шишаи органикӣ бузургии $\frac{д}{d} \leq 0.54$. Ҳангоми истифода бурдани ин ё он рӯшноиҷамъкунак бузургии диаметри хурди d-ро интихоб мекунанд, ки ба диаметри синтиллатор баробар бошад.

Инчунин масъалаи истифодабарии рӯшноибарҳо барои спектрометрии гамма-афканишот омӯхта шудааст. Бо рӯшноибари дарозиаш 50 мм ва диаметраш 25,4 мм, ки аз плексиглас тайёр карда шудааст, натиҷаҳои гирифта ба ҷадвали 3.13.3 оварда шудааст. Ченкунӣ бо кристалли NaJ(TL) ва манбаи гамма-афканишоти Cs-137 гузаронида шудааст.



Расми 3.13.1. Рӯшноиҷамъкунакҳо: а) сатҳи ташкилёфтан даврзании симпечӣ логарифмӣ; б) бо васеъшавӣ.

Ҷадвали 3.13.3.

Натиҷаҳои ченкунии спектри гамма-афканишот бо рӯшноибар

Тарзи пайвасткунии синтиллатор бо ФФС	Амплитуда дар фотоқулла, воҳиди нисбӣ	Нимвасеъгӣ %
Кристалл бе восита дар фотокатод	96,5	8,5
Кристалл бо рӯшноиҷамъкунак бе рӯшноибар, расми 3.13.1.а	22,5	9,8
Кристалл бо рӯшноиҷамъкунак бе рӯшноибар, нигаред ба расми 3.13.1.б	22,9	9,3
Кристалл бо рӯшноибару бе рӯшноиҷамъкунак	17,0	11,5
Кристалл бо рӯшноибару бо рӯшноиҷамъкунак, нигаред ба расми 3.13.1.б	21.7	9

Бо рӯшной барои шишаи органикии дарозиаш 1.2 м ва рӯшноиҷамъкунак, ки дар расми 3.13.1а тасвир шудааст, тафрика дар фотокулла барои Cs-137 баробари 27% ва бо рӯшноиҷамъкунаки дар расми 3.13.1.б тасвиршуда 25%-ро дар дарозии 1,8м ва рӯшноибар -30%-ро ташкил мекунад. Чи тавре дида мешавад истифодабарии рӯшноибарҳо барои ченкунихои спектрометрӣ номатлубанд, барои он ки ҳатто на он қадар дароз будани рӯшноибарҳо асосан тафрикаи спектрометри синтиллатсиониро бадтар мекунанд. Аз тарафи дигар рӯшноибари бовариномро дар қайдгиракҳои синтиллатсионӣ истифода мебаранд.

Ғайр аз ин, дар баъзе ҳолатҳо рӯшноибарҳоро дар спектрометри синтиллатсионӣ истифода мебаранд, ки онҳо якчанд маротиба тафрикаи синтиллаторро беҳтар мекунад. Аммо ғафсии рӯшноибар бояд аз якчанд мм зиёд нашавад. Ин гуна рӯшноибар дастаи рӯшноиро ба ҳама сатҳи фотокатоди ФФС тақсим мекунад.Аз тарафи дигар истифодабарии ин гуна рӯшноибари нафис хеле кулай буда. ба конструксияи он бояд мувофиқат кунад.

Вақтҳои охир барои аз тори пилаи шишагӣ сохтани рӯшноибари чандирӣ корҳои зиёде гузаронидаанд, ки ин гуна рӯшноибар аз тафтабанд иборат буда, аз миқдори зиёди ришта маҳини шишагии диаметраш 20-50 мк тайёр карда шудааст. Азбаски ҳар як ришта маҳин аст, онгоҳ рӯшной дар ин рӯшноибар дар натиҷаи инъикоси бисёркарата аз сатҳи ришта сарф мешавад. Дар ҳақиқат аз таносубҳои (3.13.1) ва (3.13.1а) бармеояд, ки адади инъикосшуда дар девори дохили ришта баробар аст.

$$a = \frac{L}{Д}\sin\alpha \cdot \left(\frac{n}{n_0} - \sin^2\alpha\right)^{-\frac{1}{2}}, \qquad (3.13.2)$$

дар инҷо L-дарозии ришта ва Д-диаметри он. Ҳамин тавр дар диаметри 25мк ва $\frac{n}{n_0}$=1,8; а=10° шумораи инъикоси дохилӣ дар 1см дарозӣ тақрибан ба 40 адад мерасад. Бинобарин, дар сарфи хурд ба ҳар як инъикоси алоҳида аз ҳисоби адади инъикоси зиёд сарфи умуми хеле зиёд мешавад. Барои кам кардани сарф дар натиҷаи инъикос бояд нахи сатҳаш ҳамворро истифода бурд. Муҳити иҳотакунанда бояд шафофияти калон дошта бошад, фарқияти $(n-n_0)$ бояд на он қадар калон бошад. Ин шартҳо дар нахи шишагӣ бо нахи қабатӣ иҷро мешаванд. Дар ҷадвали 3.14.4 натиҷаҳои ченшудан рӯшноибар аз нахи шишагӣ оварда шудааст.

Ҷадвали 3.13.4.

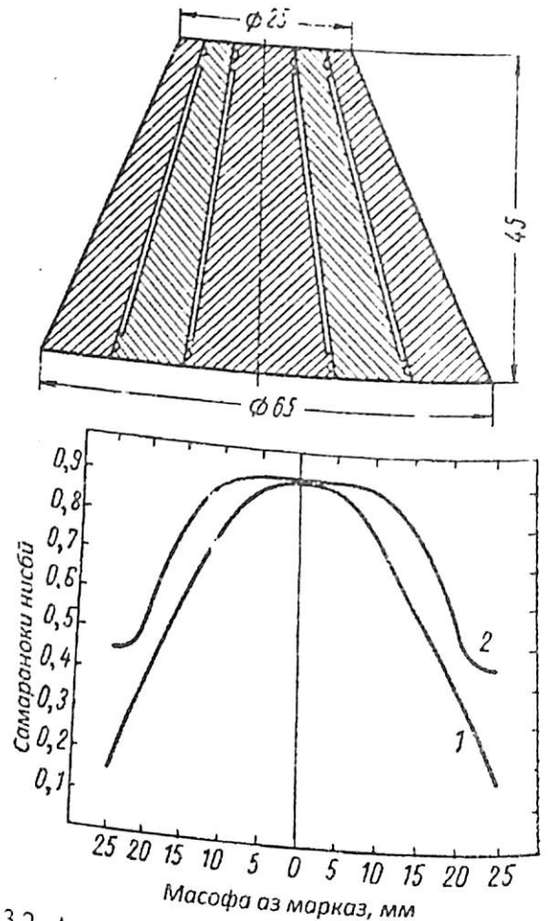
Хосияти рӯшноибарҳои нахи шишагӣ

Шиша	Диаметри нах, мк	Зиреби фурӯбурди рӯшной, см$^{-1}$	Кунҷ $\alpha°$	Рӯшноигузаронӣ %			Фурӯбурди рӯшной дар 1 см дарозӣ, %
				L=0,5м	L=1м	L=1,5м	
Оптикӣ №1	Шишаи яклухт			58	33	19	1
		0,0011	-				
	Нахи шишагӣ						
Оптикӣ №2	20	0,035	10 40	17 10	2,8 1,0	0,5 0,1	4 5
Оптикӣ №3	20	0,06	10 40	5 2	0,3 0,07	0 0	6 8
Ғайриишқори техникӣ	20	0,11	10 40	0,3 0,07	0 0	0 0	11 14
Ҳамон	50	0,07	10	2,8	0,08	0	7
Ҳамон бо пӯшонидани металлӣ	50	0,19	10 40	0 0	0 0	0 0	18 22
Сими рӯшноигузар аз шишаи №1 қабат аз шишаи №2	20	0,1	10 40	60 52	36 25	22 14	1 1

Аз натиҷаҳои ҷадвал маълум аст, ки рӯшноибар аз нахи шишагӣ (шиша №1) дар қабат (сатҳ) (шиша №2) аз рӯшноибари шишаи яклухт беҳтар буда, аз рӯшноибари плексиглас ё равғани вазелинӣ фарқият надорад. Дар шароити мусоид аз нахи шишагии

чандирӣ рӯшноибар тайёр мекунанд, ки он дар бисёр тачрибаҳо ивазнашаванда мебошад.

Дар баъзе ҳолатҳо қайдгираки синтиллаториро нисбат ба қайдгираки ФФС бештар истифода мебаранд. Он гоҳ барои ду карат фиристодани рӯшноӣ аз синтиллатор бо фотокатод, рӯшноибари конуси истифода мебаранд, ғайр аз ин рӯшноибари яклухтро бо қисмҳои алоҳида истифода кардан мумкин аст (нигаред ба расми 3.13.2).

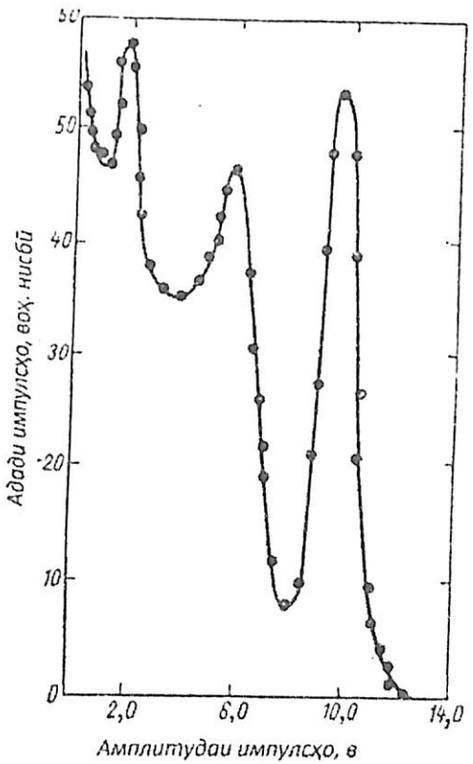


Расми 3.13.2. Асоси рӯшноибари конусӣ ва самаранок тақсимкунии ҷамъоварии рӯшноии таркибӣ (2) ва яклухт (1)-и рӯшноибарҳои ченакашон якхела.

БОБИ IV.
ГАММА СПЕКТРОМЕТРҲОИ СИНТИЛЛАТСИОНӢ

4.1. ГАММА СПЕКТРОМЕТРҲОИ СИНТИЛЛАТСИОНИИ ЯККРИСТАЛЛИ ЧЕНАКАШ ХУРД

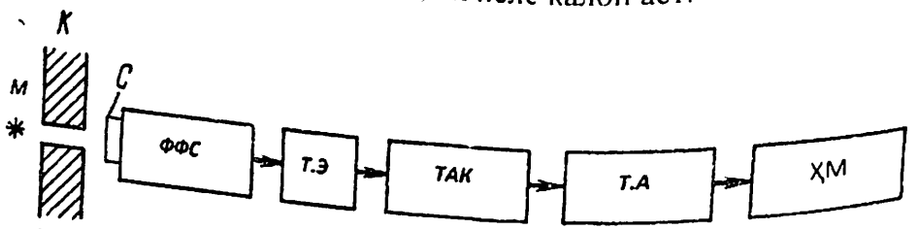
Спектрометри синтиллатсионии гамма–афканишоти яккристаллии ченакаш начандон калон (диаметр 30–40мм, ғафснаш 20–40 мм), яке аз спектрометри оддӣ ва бобаринок мебошад. Муаянкунии энергияи квант ҳангоми чен кардан бо спектрометри яккристаллӣ аз ҳолати фотоқуллаи электронҳо мегузарад (расми 4.1.1).



Расми 4.1.1.Спектри гамма–афканишот Z_n–85, ки бо гамма-спектрометри $NaI(Tl)$(диаметр 30 мм, ғафсӣ 10 мм) чен шудааст.

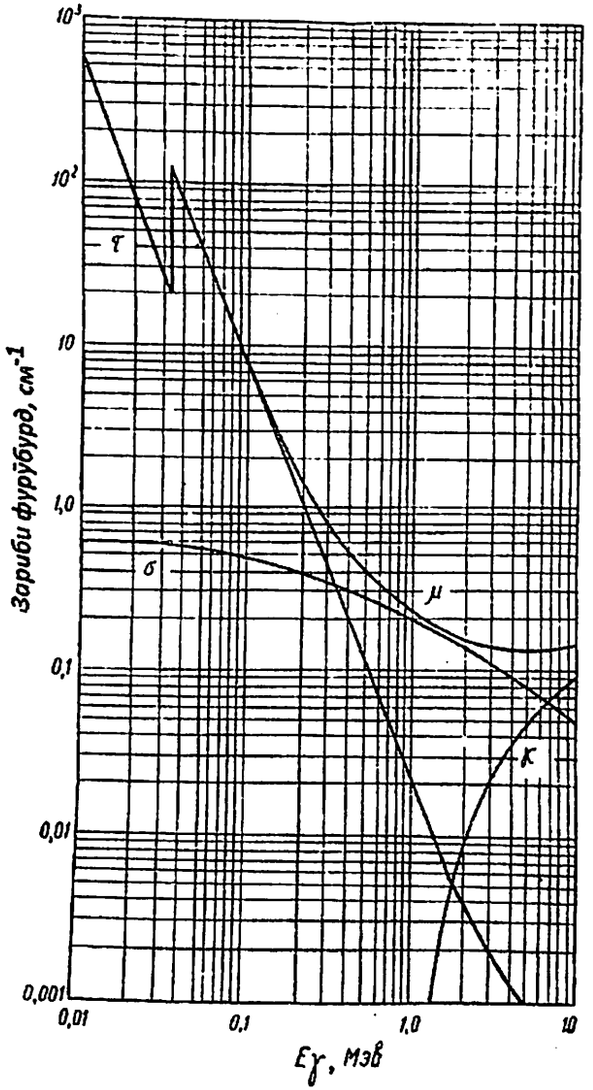
Агар гамма–квант аз рӯи қоида дар натичаи фотоэлектрон ва афканишоти тавсифӣ ба кристалл фурӯ равад, ҳаман энергияи гамма–квант ба ангезонидани кристалл сарф мешавад. Бузургии дурахши рӯшной дар ин маврид ба энергияи пурраи гамма–квант E_γ мутаносиб аст. Ҳамин тавр барои муайян кардани энергияи гамма–квант бояд амплитудаи импулсро чен кард, ки ба эффекти фотоэлектрикӣ фурӯбурди энергия дар анодии фотофузӯнсоз (ФФС), мувофикат кунад.

Вобаста ба ин реҷаи 4.1.2 гамма–спектрометри яккристаллӣ аз ФФС бо синтилятор(ФФС ва С), такроркунаки эмитерӣ(э.п) иборат аст, ки импулсро аз ФФС ба таквиятдиҳандаи хаттии импулсӣ медиҳад (т.и.). Импулси таквиятшудаи аз чиҳати амплитуда таҳлилшуда (Т.А) ба таҳлилкунаки якканала ё бисёрканала мегузарад ва импулс аз рӯи амплитуда тақсимшуда бо дастгоҳи ҳисобкунанда (ҳ.к) ба ҳисоб гирифта мешавад. Ҳама вакт манбаи гамма–афканишот (М) ба синтиллатор бо сӯрохии ба (с) равон мешавад. Аз тарафи дигар барои чен кардани энергияи гамма–афканишот, спектрометрро бе сӯрохӣ истифода бурдан мумкин аст. Бартарии асосии гамма–спектрометри синтиллатсионии яккристаллӣ самаранокии он аст, ки хеле калон аст.



Реҷаи 4.1.2. Гамма–спектрометри яккристаллии синтиллатсионӣ.

Ҳангоми қайдгирии гамма–квантҳо энергияи 0,5 МэВ бо спектрометри яккристаллии $NaI(Tl)$ гафсиаш 20 мм, самаранокии бақайдгирӣ баробари 48% ва гафсии кристалл 40 мм ~75% мебошад. Ҳатто барои гамма–квантҳои энергияш 2 МэВ спектрометр бо кристалли гафсиаш 40 мм дорои самранокии ~45% аст. Ба ин гуна самранокии калон ягон навъи дигари гамма–спектрометр соҳиб нест.



Расми 4.1.3. Зариби фурӯбурди гамма–афканишоти $NaI(Tl)$ вобаста аз энергияи гамма–афканишот.

Самаранокии спектрометри яккристаллӣ ҳангоми синтиляторро бо дастаи борики коллиматсияшудаи гамма–квантҳо нурборон кардан ва ин гамма–квантҳоро ба сатҳи кристалл

перпендикуляр равон кардан, ғафсии кристалл d, аз таносуби зерин муайян мекунанд:

$$\varepsilon \frac{\tau(E_\gamma)}{\mu(E_\gamma)} \left[1 - e^{-\mu(E_\gamma)\cdot d}\right], \qquad (4.1.1.)$$

дар инҷо $\tau(E_\gamma)$ - зариби хаттии фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо дар модаи синтилятор дар раванди фотоэффект ва $\mu(E_\gamma)$– зариби пурраи фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо дар синтилятор (расми 4.1.3) $e^{-\mu(E_\gamma)}$

Барои таъмини зиёдтарини самаранокӣ дар спектрометр бояд синтиляторе истифода бурда шавад, ки зичиаш калон бошад, дар таркиби он бояд унсури рақами тартибиаш Z–калон дохил шавад. Ҳисобкуниҳо бо формулаи (4.1.1) нишон медиҳад, ки истифодабарии чунин кристаллҳо, ба монанди $NaI(Tl)$ ё ки $CsI(Tl)$ самаранокиашон наздик ба 100%, мерасад ва энергияи гамма–квантҳоро аз якчанд даҳҳо киллоэлектронволт то 0,5 МэВ чен кардан мумкин аст.

Ҳангоми ченкунӣ бо дастаи гамма–квантҳои ғайриколимат-сионии манбаи радиофаъол, ки дар давомнокии тири силиндрикӣ синтилятор ҷойгир карда шудааст (расми 4.1.4.), самаранокии баланди спектрометри яккристаллиро ҳангоми ададан интегронии ифодаи (4.1.2.) ба даст овардан мумкин аст.

Азбаски эҳтимолияти ҳамтаъсироти гамма–квант бо модаи кристалл ба $e^{-\mu(E_\gamma)\cdot x}$ мутаносиб аст, ки дар инҷо x–роҳи тайкардаи гамма–квант дар кристалл мебошад, он гоҳ самаранокии бақайдгирӣ аз таносуби зерин муайян мешавад:

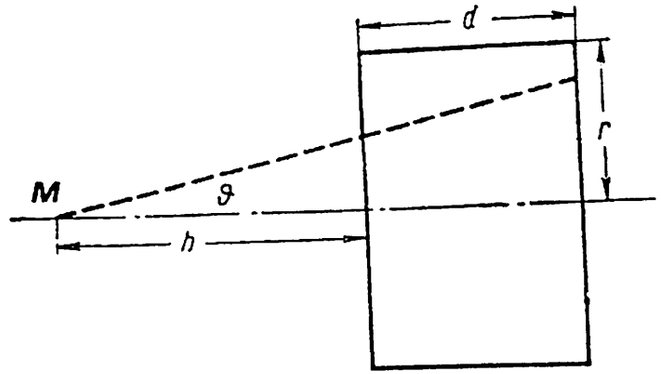
$$\mathcal{E}(E_\gamma) = \frac{1}{\Omega}\int_0^{\nu}\left[1 - e^{-\mu(E_\gamma)\cdot x(\nu)}\right] sin\nu d\nu, \qquad (4.1.2)$$

дар инҷо Ω–кунҷи ҷисмӣ, ки дар зери он аз нуқтаи ҳолати манба кристалл дида мешавад. Аз тарафи дигар (бо назардошти байниҳам ҷойгиршавии манба ва кристалл, дар расми(4.1.4), навиштан мумкин, ки:

$$\mathcal{E}(E_\gamma) = \frac{B_1 + B_2}{2\Omega}, \qquad (4.1.2.a)$$

дар инҷо $B_1 = \int_0^{\nu}\left\{1 - exp\left[-\mu(E_\gamma) * \frac{b}{\cos\vartheta}\right]\right\} \sin\vartheta d\vartheta$ ва

$$B_2 = \int_{\nu_1}^{\nu_2}\left\{1 - exp\left[\mu(E_\gamma) * \frac{h}{\cos\nu}\mu(E_\gamma) * \frac{a}{\sin\vartheta}\right]\right\} \sin\vartheta d\vartheta \qquad (4.1.2.б)$$

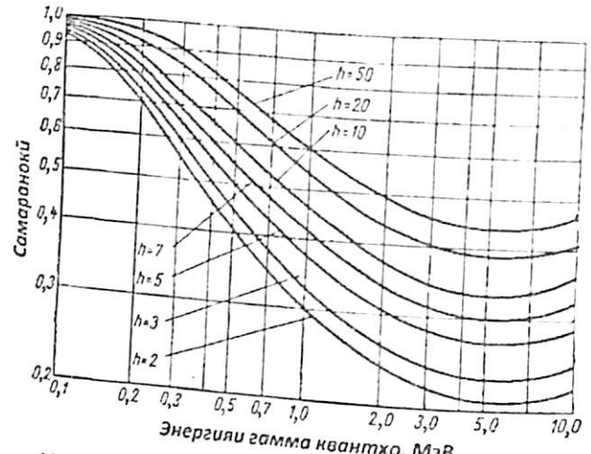


Расми 4.1.4. Ҳисоби самаранокии қайдгирии гамма–афканишот бо кристалли $NaI(Tl)$.

Ҳудуди интегронидан ϑ_1 ва ϑ_2 аз ченаки кристалл, масофаи h байни манбаи гамма–афканишот ва кристаллро муайян мекунанд. Аз формулаҳои овардашуда самаранокии пурра, яъне адади пурраи ҳамтаъсирот новобаста аз намуди онҳоро муайян мекунанд. Барои самаранокӣ дар натиҷаи фотоэффект, ба энергияи фурӯбурди гамма–квантҳо асос ёфтааст, бо формулаи (4.1.2) бояд зарбшавандаи зерин дохил карда шавад: $\tau(E_\gamma)/\mu(E_\gamma)$.

Натиҷаҳои ададан интегронидани ифодаи (4.1.2) бо шонздаҳ оилаи хатҳои каҷ ифода шудааст, ки барои ҳисобу коркарди натиҷаҳои таҷрибавӣ истифода бурдан мумкин аст. Барои мисол дар расми 4.1.5 (а ва б) вобастагии самаранокии қайдгирии гамма–квантҳо аз энергияшон барои кристалли $NaI(Tl)$ диаметри 38 ва ғафсии 38 мм ва диаметри 51 ва ғафсии 38 мм барои масофаҳои гуногуни h байни манбаи радиофаъол ва кристалл тасвир шудааст.

Дар энергияи гамма–квантҳо тартиби якчанд садҳо киллоэлектронволт шарҳи натиҷаҳои гирифташуда нисбатан оддӣ аст, барои он ки дар кристаллҳои $NaI(Tl)$ ва $CsI(Tl)$ барои ин энергия гамма–квантҳо фурӯбурд дар асоси эффекти фотоэлектрикӣ мегузарад.



Расми 4.1.5 (а ва б). Вобастагии самаранок қайдгирии гамма-афканишот бо кристалли $NaI(Tl)$ аз ченаки кристалл ва масофаи байни манбаи радиофаъолу кристалл (масофаи h бо см дар хатҳои қаҷ нишон дода шудааст); а–диаметр 38, ғафсӣ 38 мм; б–диаметр 51, ғафсӣ 38 мм.

Барои энергияи калонтарини гамма–квантҳо дар кристалли $NaI(Tl)$ ва $C_sI(Tl)$ бо эҳтимолияти якхела ду раванди фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо дар асоси фотоэффект ва комптон-эффект мегузарад. Аз ин сабаб, ки ҳар як гамма, ки хати фотоқулларо пай-до мекунад, онро тақсимшавии комптонӣ ҳамроҳӣ мекунад. Ин гуфтаҳо дар расми 4.1.1 равшан тасвир шудааст, ки дар он гамма–

спектри $Z_п$–65 (E_γ=1.12 МэВ) бо кристалли $NaI(Tl)$ диаметри 30 ва ғафсии 10 мм чен шудааст.

Чи тавре аз расми 4.1.1 дида мешавад, дар ин соҳаи энергия шарҳдиҳии натиҷаҳои ченшуда мушкилтар аст, яъне энергияи гамма–квантҳоро бо осонӣ муайян мекунанд, аммо бузургии дастаро муайян кардан мушкил аст. Агар дар спектри ченшуда гамма–квантҳои якчанд энергия иштирок кунанд, он гоҳ тақсимшавии импулсҳо аз электронҳои комптонии энергияшон калон компонен-ти гамма–спектр фотоқуллаи компоненти энегияш хурдро мепӯшонад, дар ин маврид на ҳамавақт имконият мешавад, ки энергияи ҳаман гамма–хатти спектро муайян намоем. Ҳангоми ченкунии спектрҳо бо энергияи гамма–квантҳои калон аз 1,02 МэВ, тасвир боз ҳам мураккабтар мешавад, барои он ки дар кристалл ғайр аз фотоэффект ва пароканиши комптонӣ, инчунин эффекти пайдоиши ҷуфт мумкин гузарад, дар натиҷа ба тақсимшавии импулсҳо ду қуллаи иловагӣ мумкин пайдо шавад. Ҳамин тавр дар реҷаи интизорӣ тақсимшавии се қулла ба амал меояд; қулла вобаста ба таровиш энергияи як маҳвиши гамма–квант аз кристалл ва дар охир, қулла бо энергияи E_γ=1,02 МэВ, сабаби таровиши ҳарду маҳвиши гамма–квантҳо.

Азбаски эҳтимолияти пайдоиши ҷуфт зиёдтар аён мешавад, (ҳангоми $E_\gamma \geq 2$ МэВ будан), он гоҳ барои энергияи ками гамма–квантҳо қуллаи иловагӣ пайдо намешавад. Пас ҳангоми ченкунии гамма–спектрҳо, мисол, $Z_п$–65 (E_γ=1,12 МэВ) ё ки Co–60 (E_γ=1,17 МэВ ва E_γ=1,33 МэВ) қулла вобаста ба пайдоиши ҷуфт, дар ғалоғулаи тақсимшавии яклухти комптонӣ ошкор намешавад. Пай-дошавии максимумҳои иловагӣ ҳангоми $E_\gamma \geq 2$ МэВ боз зиёдтар мушкил мешавад, ва коркарди натиҷаҳои ченшуда танҳо дар баъзе ҳолатҳо имконпазир аст.

Аз ин гуфтаҳо фаҳмост, ки истифодабарии гамма–спектрометри яккристаллии ченакаш на он қадар калон, барои чен кардани гамма–спектрҳои мураккаб ва бефосила ба мушкилиҳои коркарди натиҷаҳои ченшуда вобаста мебошад. Аммо ин мушки-лиро оддӣ будани спектрометрҳо ва ба қадри имкон истифодабарии синтилаторҳо, ки тафриқаи хуби он имконпазир аст, бартараф ме-кунад. Бо ин сабаб спектрометр бо як кристалли ченакаш на он қадар калонро аксар вақт барои чен кардани гамма–спектрҳои

изотопҳои радиофаъол ва баъзе вақтҳо барои чен кардани спектри бефосилаи гамма–квантҳо истифода мебаранд.

Ба мисоли гамма–спектрометри яккристаллӣ баъзе чиҳатҳои ченкунии энергияи гамма–квантҳо, асосан ченкунии гамма–спектрҳои бефосиларо бо спектрометри синтилатсионӣ дида мебароем.

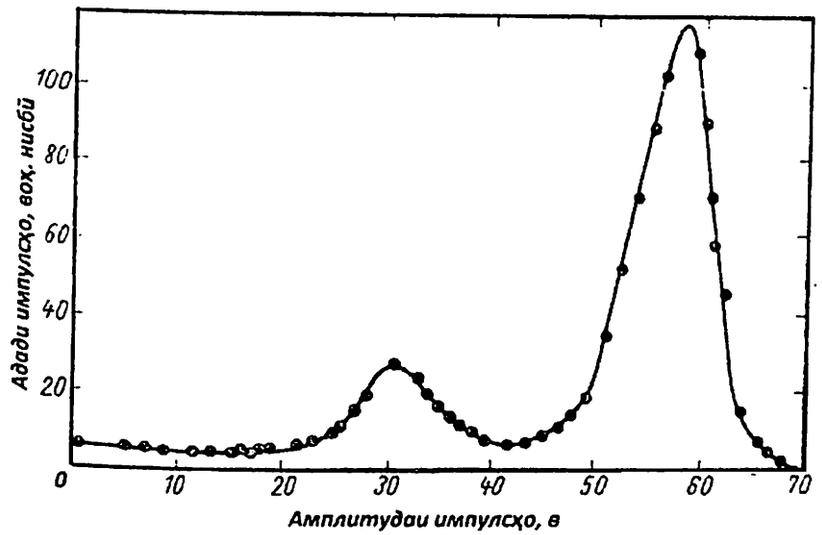
Агар гамма–спектрометри яккристаллӣ барои омӯхтани гамма–спектри бефосила пешбинӣ шуда бошад, он гоҳ барои ин гуна спектрометр аввалан бояд шакли хатти асбоб аз гамма–квантҳои энергияшон якхела омӯхта шавад, яъне гамма–спектри якчанд изотопҳоро чен мекунанд, аз дигар тараф энергияи гамма–квантҳои ин изотопҳо дар ҳудуди энергияи спектри бефосилаи гамма спектр бояд интихоб шавад. Барои омӯхтани шакли хатти дастгоҳ, мумкин изотопҳое истифода бурда шавадё, ки тавсифи асосиашон дар чадвали 4.1.1 оварда шудааст.

Чадвали 4.1.1

Манбаҳои гамма–афканишот барои дарачабандии спектрометрҳо

Изотоп	Энергияи гамма–квантҳо, МэВ	Адади гамма–квантҳо дар як коҳиш, %	Даври нимкоҳиш
Co–60	1.17; 1,32	100; 100	5,3 сол
Zn–65	1,17	45	280 рӯз
Bi–207	1,07; 1,77; 0,57	84; 9,6; 100	50 сол
Na–24	2,76; 1,36	100; 100	15 соат
Na–22	1,277	100	2,7 сол
Mn–54	0,84	100	310 рӯз
Zn–95	0,721	99	65 рӯз
Cs–137	0,661	92	33 сол
Hg – 283	0,279	100	45 рӯз
Ce–141	0,145	67	30 рӯз
As–78	0,054	100	76 рӯз
Y–88	1,85	99	105 рӯз
Te–127	0,088	100	115 рӯз
W–185	0,134	100	73 рӯз
S–37	2,7	90	5 дақиқа

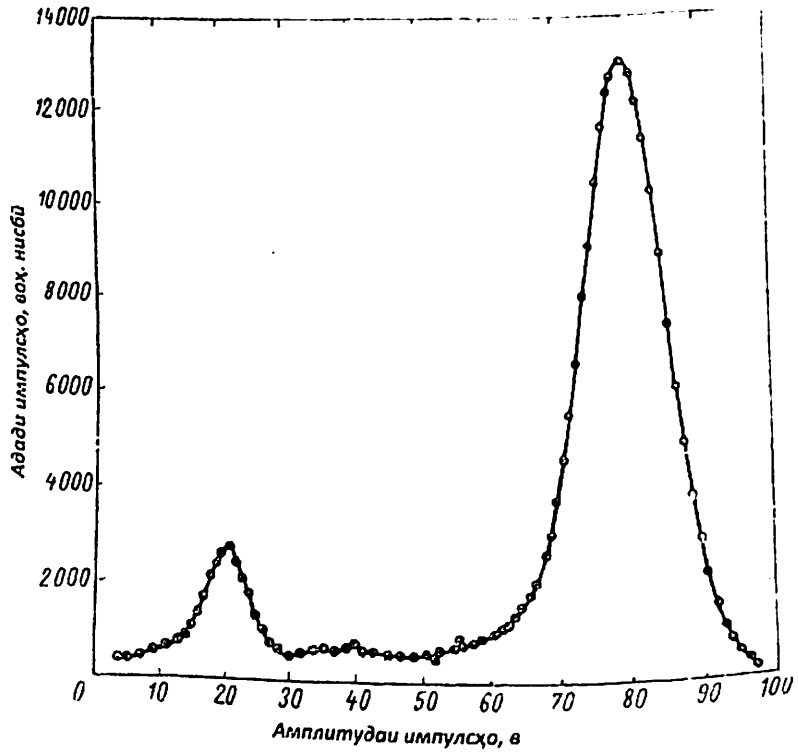
Ҳангоми омӯхтани шакли гамма–хати дастгоҳ бояд имконият дар тақсимоти амплитуди пайдоиши максимумҳои иловагиро ба назар дошт, ки вобаста ба таъсири дастгоҳ ё ки тавсифи афканишотҳои унсурҳои духтарона, ҳангоми коҳиши унсури асосӣ пайдо мешавад. Ҳамин тавр, ҳангоми ченкунии гамма–спектрҳои Ce–141 ($E\gamma$=0.145 МэВ) максимуми иловагӣ ошкор шуд (расми 4.1.6), ки бо тавсифи афканишоти сурб аз коллиматор (сӯрохӣ) ва аз полоиши сурбӣ, ки дар байни манбаи радиофаъол ва коллиматор гузошта мешавад, барои фурӯбурди бетта зарраҳои Ce–141 истифода мебаранд.



Расми 4.1.6. Спектри гамма–афканишоти унсури Ce–141

Максимуми иловагиро тавсифи афканишоти унсури талий дар кристалли $NaJ(Tl)$ ба вуҷуд меоварад, ки ҳангоми ченкунии гамма–спектри унсури Hg–203 (расми 4.1.7) пайдо мешавад. Имконияти пайдоиши максимумҳои дурӯғ ба пароканиши баръакси гамма–афканишот аз таҳлавҳаи кристалл, яъне аз шишаи контейнери кристалл ва аз тирезаи даромади ФФС вобаста аст. Сабабҳои пароканиши баръакс, дар қисми тақсимоти энергияи хурд, ҳангоми чен кардани гамма–спектри унсурҳои Au–198, Cs–137, Co–60 ва ғайра огоҳонида мешавад. Ғайр аз ин, халали гуфташуда, инчунин аз им-

конияти пайдоиши максимуми иловагӣ аз гамма–афканишот мавҷуд аст, пароканиш дар манба, ин таъсир мушоҳида мешавад. мисол ҳангоми ченкунии гамма–спектри метали Co–60.



Расми 4.1.7. Спектри гамма–афканишоти унсури Hg–203.

Бузургиҳои асосӣ, ки ҳангоми омӯхтани шакли гамма–хатти дастгоҳ ҳосил мекунем, бузургии фотоҳисса $P(E_\gamma)$ мебошад. Вобастагии $P(E_\gamma)$, барои коркарди натиҷаҳои чеширудаи гамма–спектри яклухт зарур аст. Бузургии фотоҳисса аз таносуби зерин муайян мешавад:

$$P(E_\gamma)=\frac{S_\Phi}{S_{\Phi+S_K}}, \qquad (4.1.3)$$

дар инҷо S_Φ–масоҳати зери тақсимшавӣ бо фотокулла маҳдудшуда, S_K–масоҳати тақсимшавии бефосилаи фотокулла. Тадқиқоти зиёди шакли фотокуллаи гамма–афканишоти якранг нишон дод, ки хатти

кaҷи тaҷрибавӣ ба хатти кaҷи тақсимоти Гаусс мувофиқат мекунад. Ин имкон медиҳад, ки хосияти хатти кaҷи Гауссро истифода бурда, бо осонӣ масоҳати зери фотокулларо ба воситаи таносуби зерин муайян кунем:

$$S_\Phi = Hb_{1/2}\sqrt{\pi / 4\ln 2} = 1{,}064\ Hb_{1/2}, \qquad (4.1.4)$$

дар инҷо H–максимуми ординатаи фотокулла (расми 4.1.8),

$b_{1/2}$–васеъгии пурраи фотокулла аз ними баландии он (ҳангоми H/2). Формулаи (4.1.4) имконияти муайян кардани S_Φ – ро бо аниқии ±2,65% медиҳад. Дар тақсимоти энергиявии хуби спектрометр, яъне дар камбартарин хатти кaҷи Гаусс, ҳангоми $b_{1/2}$ бузургии хурд аз S_Φ будан, S_Φ–ро аз формулаи зерин муайян мекунанд:

$$S_\Phi = H^1 2\sigma\sqrt{\frac{\pi e}{8}} = 1{,}033H^1 2\sigma\ , \qquad (4.1.4.a)$$

дар инҷо $H' = 2H\sqrt{e^{-1}}$ ординатаи буриши хати рост, расанда ба хати кaҷи Гаусс дар нуқтаи камшавии он; 2σ аз буриши ин хатҳои рост бо тири абсиса (расми 4.1.8), муайян карда мешавад, аз тарафи дигар байни 2δ ва $b_{1/2}$ алоқамандӣ мавҷуд аст, муайянкунии таносуби $b_{1/2} = 2\sigma(2\ln 2)^{1/2}$ ё ки $b_{1/2}=2{,}355\sigma$.

Муайян кардани масоҳати фотокуллаи маҳдудшуда бо формулаи (4.1.4.) ва (4.1.4.а) аз рӯи аниқӣ аз усули одии интегронии графикӣ беҳтар аст. Дар намуди умумӣ масоҳати умумии зери тақсимшавии бефосила чунин ёфта мешавад:

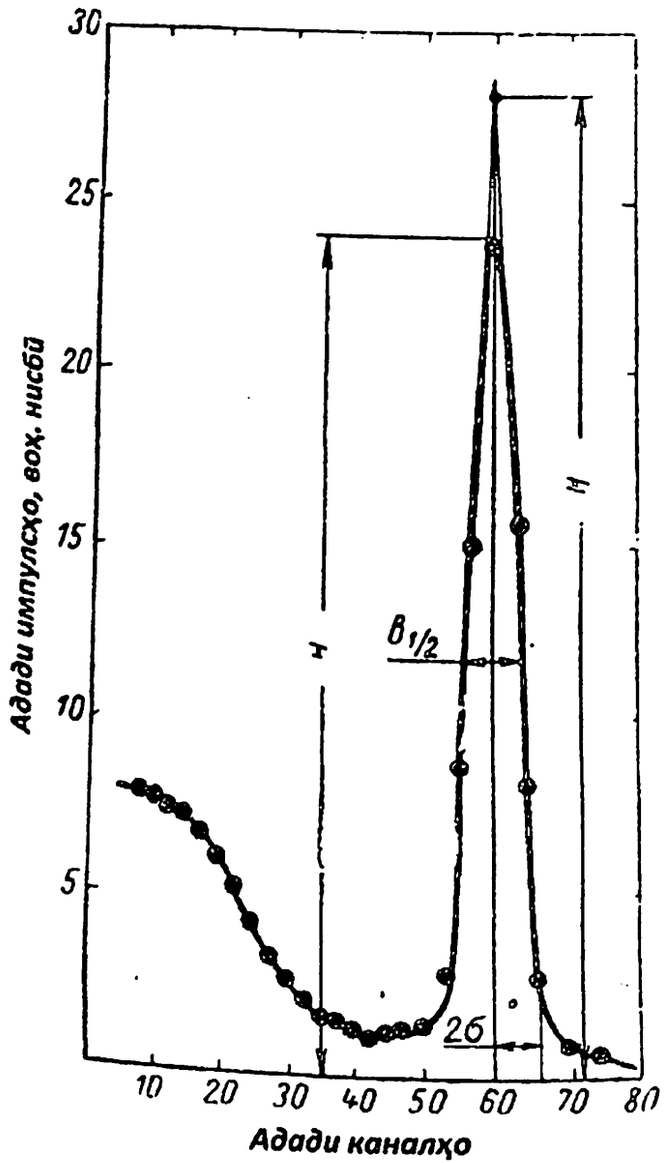
$$S_k = S'_k + S_e + S_t + S_x, \qquad (4.1.5)$$

дар инҷо S'_k --масоҳати зери тақсимоти ҳақиии комптонӣ;

S_e –масоҳати зери тақсимшавӣ вобаста ба но фурӯбурди пурраи энергияи фотоэлектронҳо аз ҳисоби қисман ихроҷшавии онҳо аз кристалл;

S_t –масоҳати зери тақсимшавӣч вобаста ба ихроҷи афканишоти бездорӣ аз кристалл.

S_x –масоҳати зери тақсимшавӣ вобаста ба ихроҷ аз афканишоти тавсифӣ аз кристалл.



Расми 4.1.8. Шакли хати гамма–манбаи эфканишоти якранг (ишора барои ҳисоб бо формулаи 4.1.4 ва 4.1.4.а).

Азбаски дар кристалли $NaI(Tl)$ фурӯбурди энергияи гамма–афканишот дар натиҷаи фотоэффект асосан ҳангоми ҳамтаъсироти гамма–квант ба атомҳои йод мегузарад, он гоҳ дар формулаи 4.1.4

таровишро танҳо дар афканишоти йод ба назар гирифтан мумкин аст. Аммо дар таҷриба ошкор шуд, ки ихроҷи афканишоти тавсифии йод зиёдтар аст, танҳо дар энергия гамма–квантҳои тадқиқоти хурд аз ~100 кэВ ва бузургиҳои S_e ва S_t дар ҳудуди энергияи то 1,3 МэВ хурд назарногир аст, барои он ки дар амалия $S_k = S'_k$ аст, пас S_k аз натиҷаҳои масоҳати тақсимшавии бефосила, ки дар таҷриба ҳосил мешавад, айнан аз масоҳати аслии зери тақсимшавии комптонӣ бо бузургии ΔS_k калон аст ва ин фарқият аз омилҳои дастгоҳ, чи тавре дар боло дидем, вобаста аст:

$$S_k = S_{k.таҷр} - \Delta S_k , \qquad (4.1.6)$$

Он гоҳ барои ҳисоби бузургии фотоҳисса $P(E_\gamma)$ аз формулаи(4.1.3) аз масо-ҳати тақсимшавии бефосила бояд бузургии ΔS_k хориҷ карда шавад (4.1.6).

Бузургии тақсимшавии бефосилаи комптонӣ, ки барои муайян кардани $P(E_\gamma)$ лозим аст, бояд пешакӣ муайян карда шавад. Наздикшавии якумро бе назардошти омилҳои дастгоҳ бо вобастагии тақсимшавии комптонӣ аз энергияи гамма квантҳо аз таносуби зерин муайян кардан мумкин аст:

$$\frac{dN_0}{dE} = N_0 \frac{nz}{\mu d}(1-e^{-\mu d})\, a \frac{d\sigma_k}{dE}, \qquad (4.1.7)$$

Инҷо $\frac{dN_0}{dE}$ –адади электронҳои комптонӣ дар воҳиди фосилаи энергия; N_0–адади гамма–квантҳои ба кристалл афтанда; a– энергияи гамма–квант дар воҳиди mc^2; n–ғаноиши ядро бо заряди z – дар кристалл; μ–зариби пурраи хаттии сустшавии гамма–афканишот дар мадори кристалл, $\frac{d\sigma_k}{dE}$ –арзи самаранокии пайдошавии электронҳои комптонӣ дар воҳиди фосилаи энергия:

$$\frac{d\sigma_к}{dE} = \frac{\sigma_0}{a}\left[2 + E\,\frac{E((a+1)^2 - a(E+2a)}{a^2\,(a-E)^2}\right],$$

аз тарафи дигар: $0 \le E \le \frac{2a^2}{2a+1}$

Дар асоси формулаҳои (4.1.7) спектри амплитудӣ ба тақсимшавии энергиявӣ гардонида мешавад. Ҳангоми дида баромадани самаранокии спектрометри якбулӯрии ченакаш на он қадар калон тахмин карда мешавад, ки дар кристалл танҳо як рӯйдоди

ҳамтаъсироти гамма–квант мегузарад, дар натиҷа энергияи гамма–квант ё ки пурра фурӯ меравад (фотоэффект), ё ки қисман фурӯ меравад (комптон-эффект). Аммо ин фарзият на он қадар ба ҳақиқат наздик мебошад, агар барои кристалли $NaI(Tl)$ ё ки $CsI(Tl)$ бо диаметри 20–30 ва ғафсии 10–15 мм пароканиши бисёркаратаро ба назар нагирифтан мумкин бошад, онгоҳ барои ингуна булӯрҳо бо диаметри ≥40 ва ғафсии ≥30 мм ба назар нагирифтани пароканиши бисёркаратаи гамма –квантҳо дар кристалл номумкин аст. Бо ин сабаб бисёр дуруст аст, ки самара-нокии спектрометри яккристаллиро на аз формулаи(4.1.1), балки аз формулаи

$$\varepsilon(E_\gamma) = P(E_\gamma)(1-e^{-\mu d}), \qquad (4.1.8.)$$

муайян мекунанд.

Дар инчо μ–зариби пурраи хаттии сустшавии гамма–квантхо бо модаи синтилатор вобаста аз энергияи квантхо; $P(E_\gamma)$ – фотоҳисса.

Агар ба назар гирифт, ки коллиматор як дараҷа шаффоф аст ва девори хоначаи (контейнери) кристалл на он қадар тунук аст, он гоҳ формулаи(4.1.8) ба таври зерин навишта мешавад:

$$\varepsilon(E_\gamma) = P(E_\gamma)\frac{\Omega_{самар.}}{\Omega_0}(1-e^{-\mu d})\, e^{-\mu_1 d_1}, \qquad (4.1.8.а)$$

дар инҷо Ω_0 – кунҷи ҷисмии геометрии колиматор; $\Omega_{самар.}$ –кунҷи ҷисмии самаранокии коллиматор; μ_1–зариби пурраи хаттии сустшавии гамма–афканишоти кристалли ғафсиаш d_1. Нишон дода шудааст, ки барои коллиматори дарозиаш $\mu_к L>10$,

$$\frac{\Omega_{самар.}}{\Omega_0} = 1+\frac{1}{2M_к\ell}, \qquad (4.1.9)$$

$\mu_к$–зариби пурраи хаттии сустшавии гамма–афанишот дар маводи коли-матор; L–дарозии колиматор ва ℓ– масофаи байни манбаи гамма–афка-нишот ва кристалли қайдгираки спектрометр. Дар ҷадвали 4.1.2 натиҷаҳои ҳи-собкунии самаранокӣ бо формулаи (4.1.8.а) ва (4.1.9) бо натиҷаҳои таҷриба гирифташуда барои кристалли $NaI(Tl)$ ва $CsI(Tl)$ бо диаметри 30 ва ғафсии 27мм мукоиса шудааст. Майлкунии зиёд барои манбаҳои гамма–афканишоти Co–60 ва Cs–137 гирифта шудааст, ки ба қимати речаи

коҳиши Cs–137 ва мушкилоти ҷудо кардани ду хати ба ҳам наздики Co–60 вобаста аст.

Ҷадвали 4.1.2.

Муқоисаи натиҷаҳои ҳисоби таҷрибавии самаранокии гамма–спектрометри яккристаллӣ

Манбаи гамма–афканишот	E_γ, МэВ	$\varepsilon_{ҳисоб}$	$\varepsilon_{таҷриба}$	Майлкунӣ $\varepsilon_{таҷриба}$ аз $\varepsilon_{ҳисоб}$,%
Cs–134	0.796	0.212±0.009	0.223±0.012	+4
	0.801			
Co–60	1.33	0.121±0.005	0.125±0.011	+13
Cs–137	0.661	0.272±0.011	0.226±0.011	–3
	0.796	0.214±0.009	0.221±0.005	+3
Cs–134	0.801			
	1.360	0.107±0.005	0.090±0.008	–16

Тафриқаи энергиявии гамма–спектрометри яккристаллӣ, яъне васеъгии хати гамма ба ними баландии фотоқулларо нисбати энергияи гамма–квантҳои бо фонзҳо ифодашуда, аз рӯйи тафриқаи ФФС η_1, синтилятор η_2 ва дастгоҳ η_3 муайян мекунанд:

$$\eta = \sqrt{\eta_1^2 + \eta_2^2 + \eta_3^2}, \qquad (4.1.10.)$$

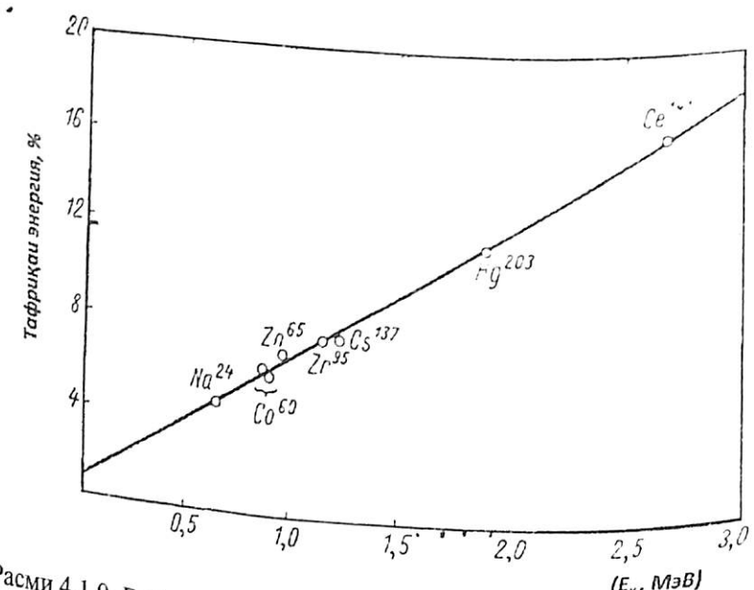
Ҳангоми ченкунии энергияи гамма–квантҳо бо гамма–спектрометри яккристаллӣ, яъне аз ҳолати фотоқулла, гамма–квант дар кристалл ҳамаи энергияи худро сарф мекунад, дар ин маврид ба тафриқаи энергиявӣ омили геометрӣ таъсир намерасонад. Бинобар ин, бо ин гуна спектрометрҳо имконияти нисбати дигар спектрометрҳо ҳосил кардани тафриқаи энергиявии хубтарин мавҷуд аст. Ин бартарӣ то дараҷае ба речаи оддитарини электронии спектрометр (нигаред ба речаи 4.1.2.) вобаста аст, ҳамин тавр бузургии η_3 хеле хурд аст. Дар ҳақиқат истифодабарии бехтарин фотофусунсози спектрометри ФФС–42 бо кристалли мувофиқомадаи спектрометри $NaI(Tl)$ бо ченаки на он қадар калон имконият медиҳад, тафриқаи энергиявии хатти гаммаро барои манбаи $Ce-131,7\%$ ва аз ин хубтарро ҳосил кунем.

Чи тавре қайд карда шуд, тафрикаи энергиявии гамма–спектрометри яккристалларо чунин муайян кардан мумкин аст:

$$\eta = (A + B\frac{1}{E_\gamma})^{1/2}, \qquad (4.1.10a)$$

дар инчо А ва В ададҳои доимӣ барои ҳар як спектрометр мебошанд.

Дар расми 4.1.9 ин вобастагӣ барои спектрометр бо кристалли $NaI(Tl)$ (диаметр 30 ва ғафсӣ 10 мм) тасвир шудааст. Ченкунӣ бо спектрометри навъи ФФС–42 гузаронида шудааст. Гамма–квантҳоро аз манбаҳои радиофаъоли Na–22, Zn–65, Co–60, Jz–95, Cs–137, Hg–203 ва Ce–141 ба кристалл аз коллиматори сурбии диаметри сӯрохиаш 8 мм дарозиаш 220 мм равон мекунанд. Хати рост тири η-ро ҳангоми $\eta = 0$ будан бурида мегузарад. Инро дар асоси мавҷудияти тафрикаи хусусии асбобҳои электронӣ ва қисман васеъгии охирини канали таҳиякунак дар ҳаҷми ғайриякҷинсагии синтиллатор фаҳмонидан мумкин аст.



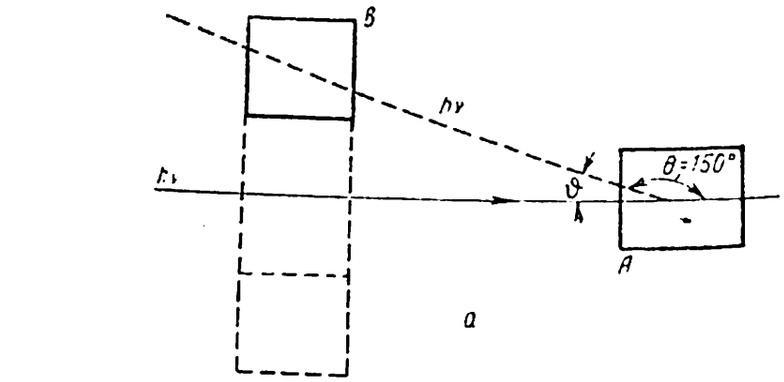
Расми 4.1.9. Вобастагии тафрикаи энергиявии гамма–спектрометри яккристаллӣ аз энергияи гамма–квантҳо.

Гамма–спектрометри синтиллатсионии яккристаллиро барои тадқиқотҳои гуногун васеъ истифода мебаранд.

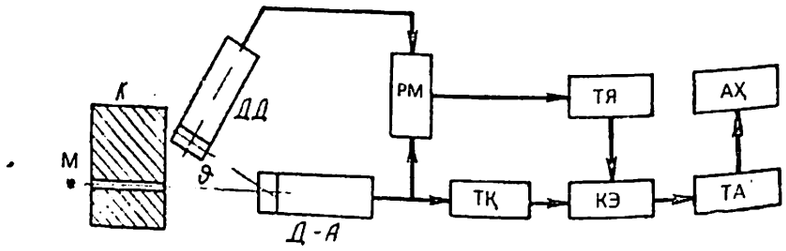
4.2. ГАММА–СПЕКТРОМЕТРИ СИНТИЛЛАТСИОНИИ КОМПТОНИИ ДУКРИСТАЛЛ

Пайдоиши ду ё се тақсимотро аз гамма–квантҳои энергияшон якхела дар спектрометри яккристаллӣ, ҳангоми ҳамроҳ кардани кристалли иловагӣ дар реҷаи спектрометр хориҷ кардан мумкин аст. Ин навъи спектрометрро барои чен кардани энергияи гамма–квантҳои манбаҳои радиофаъол истифода мебаранд, электрони қафорафтаи комптонӣ, ки дар кристалли қабулкунаки таҳлилкунак пайдо мешаванд, кристалли иловагӣ имконият медиҳад электронҳоеро интихоб намояд, ки дар зери кунҷӣ муайян пароканда мешаванд. Паҳнои интихоби электронҳо ва чен кардани энергия бо спектрометрӣ комптонӣ бо кристалли $NaI(Tl)$ ё ки $C_sI(Tl)$, тахминан баробарӣ аз 0,2 то 3 МэВ мебошад. Реҷаи принсипалии спектрометри комптонӣ дар расми (4.2.1.) оварда шудааст.

Дастаи борики паралелии гамма–квантҳо аз манбаи радифаъоли М ба кристалли А, нишондеҳи таҳлилкунаки ДА спектрометр меафтанд; дар натиҷаи пароканиши комптонӣ дар ин кристалл электронҳои қафорафта пайдо мешаванд, энергияи онҳо дар ин кристалл фурӯ меравад. Пароканиш дар кристалл-нишондеҳи таҳлилкунак дар зери кунҷи ϑ гамма–квантҳо парвоз мекунанд, аз ҷумла дар кристалли В нишондеҳи ДД ба кор сар мекунад. Импулс ба энергияи электронҳои комптонӣ мутаносиб бо тақвияти хаттии ТХ тақвият шуда, аз хатти нигоҳдорандаи ХН гузашта, ба калиди электрони КЭ ворид мешавад. Якбора ин импулс ба реҷаи мувофиқони Р.М. ворид мешавад. Импулс аз ФФС ба даромадгоҳи дигари реҷаи мувофиқӣ дохил шуда, нишондеҳро ба кор медарорад. Агар реҷаи мувофиқӣ кор кунад, тағйирдиҳаки якинтихобӣ ТЯ кор мекунад, калиди электронӣ КЭ кушода мешвад. Импулс мутаносиб ба энергияи электронҳои комптонӣ, ба таҳлилкунаки амплитудаи импулсии ТА мегузарад. Агар дар кристалл нишондеҳи таҳлилкунак энергияи гамма–кванти манбаи радиофаъол дар натиҷа фотоэффект пурра фурӯ равад, он гоҳ калиди электронии КЭ он сигналеро, ки дар нишондеҳ–таҳлилкунак пайдо мешавад, ба таҳлилкунаки амплитудии ТА намегузаронад.



а



б

Расми (4.2.1.) Ҷойгиршавӣ дар нишондеҳ (a) ва речаи гамма–спектрометри синтиллатсионии комптонӣ. А–кристалл–нишондеҳ (детектор)-и таҳлилкунак; В–кристалл, нишондеҳро ба кор медарорад: М–манбаи гамма–афканишот; К–колиматор; ДД–нишондеҳи ба кор даровaранда; ДА-нишондеҳи таҳлилкунак; РМ–речаи мувофикой; ТҚ–тақвиятдиҳанда; ТЯ–тағйирдиҳаки якинтихобӣ; КЭ–калиди электронӣ; ТА–таҳлилкунакӣ амплитудӣ; АҲ–асбоби ҳисобкунак.

Ба таҳлилкунаки амплитудӣ сигнал намегузарад, дар он ҳолате, ки агар дар кристалл нишондеҳи таҳлилкунак дар зери кунҷи аз кунҷи интихобӣ фаркунанда пароканиши комптонӣ гузарад. Агар дар спектре, ки тадқиқот мегузаронем, гамма–квантҳои энергияшон калон аз 1,02 МэВ мавҷуд бошад, мумкин спектрро ба вайронӣ биёрад, вобаста ба қайдгирии руйдоди фурӯбурди энергия дар натиҷаи пайдоиши ҷуфт, аммо ин гуна ҳодисаро бо осонӣ назорат карда мешавад. Ҳамин тавр, бо ёрдами тафсири речаи корӣ ра-

вандеро интихоб мекунанд, ки танҳо пароканиши комптонӣ аз зери кунҷи ϑ гузарад. Кунҷи пароканиш ϑ –ро ва энергияи электрони комптонӣ Е–ро дониста, энергияи гамма–квантро аз таносуби зерин меёбем:

$$E_\gamma = E_\gamma' + E_e, \qquad (4.2.1)$$

дар инҷо E_γ' энергияи пароканиши гамма–квант дар зери кунҷи ϑ, аз тарафи дигар:

$$E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1+a(1-cos\vartheta)}, \qquad (4.2.2)$$

Азбаски E_e дар таҷриба муайян карда мешавад, он гоҳ аз ифодаи (4.2.1) ҳатман E_γ' –ро хориҷ кардан зарур аст. Аз таносуби (4.2.1) ва(4.2.2) ҳосил мекунем, ки:

$$E_e = \frac{E_\gamma a((1-cos\vartheta)}{1+a(1-cos\vartheta)}, \qquad (4.2.3.)$$

ё ки:

$$E_e = \frac{E_\gamma}{1+\frac{E_\gamma}{a(1-cos\,\vartheta)}}, \qquad (4.2.3а.)$$

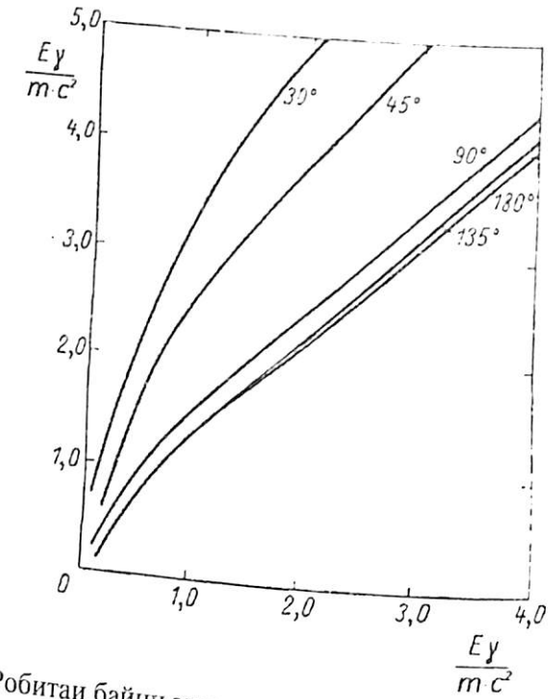
Аз инҷо ба осонӣ энергияи гамма–квант E_γ-ро муайян кардан мумкин аст (a–энергияи гамма–квант дар воҳиди mc^2). Нишон додан номумкин аст, ки дар кунҷи пароканиш наздик ба 180^0; дар энергияи калонтарини гамма–квантҳо ($a>1$) ифодаи(4.2.3а.) чунин намудро мегирад:

$$E_e \cong E_\gamma - \frac{mc^2}{2}, \qquad (4.2.3.б.)$$

Яъне, гамма–кванти дар зери кунҷи наздик ба 180^0 пароканишшуда, новобаста аз энергияи гамма–кванти тадқиқотӣ, нисфи энергияи оромии электронро (~250 кэВ) бо худ мебарад. Аз тарафи дигар, вобастагии байни энергияи гамма–квант ва энергияи электронҳои комптониро, ки ҳангоми пароканиш пайдо мешаванд, ҳангоми ϑ наздик ба 180^0 будан, хаттӣ ҳисобидан мумкин аст. Аз ин робита ба чунин хулоса омадан мумкин аст, ки дар зери кунҷҳои калони пароканиш, энергияи электронҳои комптонӣ аз кунҷи пароканиш вобаста нест (расми 4.2.2), албатта ченаки кристаллӣ

иловагӣ дар ϑ калон, яъне ноаниқӣ дар муайянкунии кунҷи пароканиш ба бузургии тафриқаи амплитудӣ спектрометр кам таъсир мерасонад.

Ҳақиқӣ будани ифодаи (4.2.3б) дар зери кунҷи пароканиши $\vartheta \geq 140^0$ амал мекунад ва бо назардошти он, ки сохтори ҷойгир кардани кристаллӣ иловагӣ дар зери кунҷи $\vartheta = 180^0$ нисбати дастаи гамма–квантҳое, ки тадқиқот гузаронида мешавад, мушкилтар аст, бинобар ин аксар вақт кунҷи пароканишро $\vartheta = 150^0$ интихоб мекунанд.



Расми 4.2.2. Робитаи байни энергияи гамма–кванти афтанда ба энергияи электронии кафорафта дар зери кунҷҳои гуногуни пароканиш ϑ.

Бузургии тафриқаи энергиявии спектрометри дукристаллии комптониро бо ҳамин бузургии энергия барои спектрометри яккристаллӣ муқоиса карда, қайд кардан мумкин аст, ки дар спектрометри дукристаллии комптонӣ тафриқаи энергиявӣ бояд ганда бошад. Бадшавии тафриқаи энергиявӣ ба ду сабаб вобаста аст; якум, кристалл-таҳлилкунаки гамма–спектрометри дукристаллӣ дурахши рӯшноиро ҳосил мекунад, ки нисбати

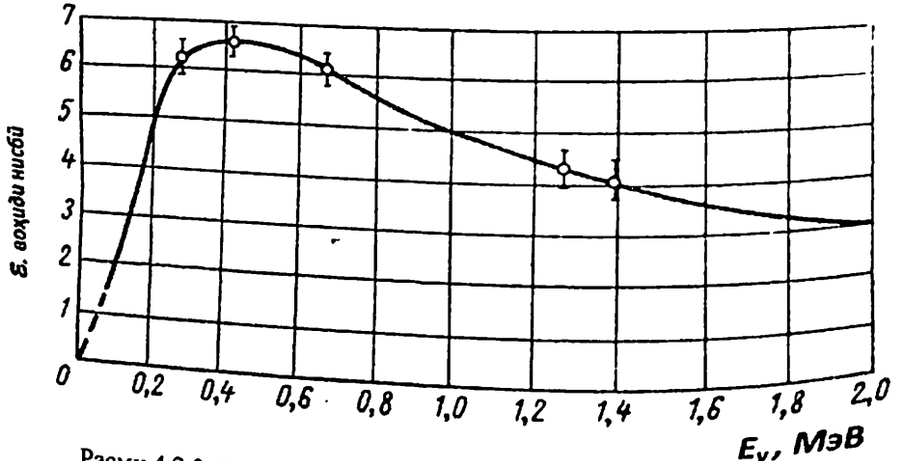
кристалли спектрометри яккристаллӣ кам аст, сабаб дар он ки гамма–кванти пароканишшуда як қисми энергияи гамма–кванти манбаи радиофаъол (~250 кэВ)-ро бо худ мебарад; дуюм, ҳамчун ташкилдиҳандаи пурраи тафриқаи энергиявӣ, тафриқаи геометрӣ ҳамроҳ мешавад, ки бо ноаниқ муайян кардани кунҷи пароканиш алоқаманд аст.

Тафриқаи пурраи энергияви гамма–спектрометри синтиллатсионии комптониро аз рӯи чор ташкилдиҳанда муайян мекунанд:

$$\eta = \sqrt{\eta_1{}^2 + \eta_2{}^2 + \eta_3{}^2 + \eta_4{}^2}$$

Яъне, тафриқаи ФФС (η_1), синтиллатор (η_2), асбобҳои электронӣ (η_3), тафриқаи геометрӣ (η_4). Робитаи тафриқа аз асбобҳои электронии спектрометр вобаста буда, айнан аз энергияи гамма–квант вобаста нест. η_1 ва η_2 бо афзоиши энергияи гамма–квант кам мешаванд, ғайр аз ин, ба нофурӯбурди пурраи энергияи гамма–кванти манбаи радиофаъол дар кристалл нишондеҳи таҳлилкунак кам таъсир мерасонад. Тафриқаи геометрии спектрометр η_4 бад мешавад, аммо бисёр нокифоя бо афзоиши энергияи гамма–квантҳо (нигаред ба расми 4.2.2). Кристалл ва ФФС спектрометри босифатро истифода бурда, метавон 5—6% барои E_γ = 2,76 МэВ (Na–24) то 15—18% барои энергияи E_γ = 2,80 кэВ (Hg–213) ҳосил кард. Оддитарин спектрометри комптонӣ, ки аз ду кристалли $NaI(Tl)$ сохта шуда, ченакаш наон қадар калон (диаметри 30 ва ғафсии 10–15 мм) мебошад, дорои самаранокии хурд аст. Барои Co–60 самаранокӣ 0,1%, ва барои Cs–137 0,125%, яъне, тақрибан ду тартиб кам нисбати спектрометрӣ яккристаллӣ аст. Дар (расми 4.2.3.) вобастагии самаранокии спектрометри комптонӣ аз энергияи гамма–квантҳо оварда шудааст, ки аз формулаи зерин ҳисоб шудааст:

$$\varepsilon = \frac{1-exp\left\{-\left[\mu - \frac{\mu}{\cos(180^0-\vartheta}\right] d\right\}}{\mu + \frac{\mu}{\cos(180^0-\vartheta}} \cdot N_0\, J(E_\gamma \pm \vartheta)\, e^{-\mu' d'}\, \frac{\Delta\vartheta}{12} \qquad (4.2.5.)$$



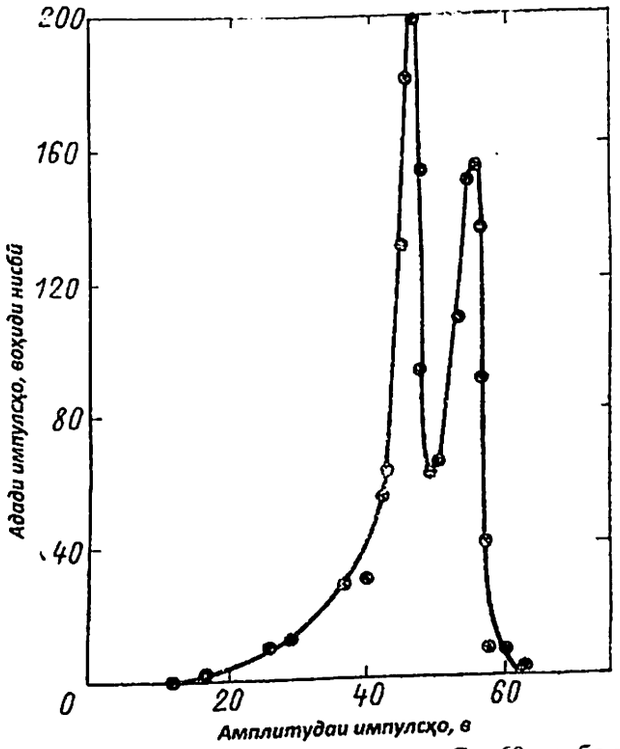
Расми 4.2.3. Вобастагии самаранокии гамма–спектрометри комптонӣ аз энергияи гамма–квантҳо (хати каҷи яклухт–ҳисоб аз формулаи 4.2.5.), нуктаҳо - натиҷаҳои таҷриба).

Дар ин расм бо нуқтаҳо натиҷаҳои таҷрибавии самаранокӣ ба манбаҳои дараҷадиҳии гамма–афканишоти Ce–141, Au–198, Cs–137 ва Co–60 ишора шудааст. Чи тавре, ки аз формулаи (4.2.5) дида мешавад, бузургии самаранокии ε аз бузургии Δϑ, яъне бузургии кунҷи ҷисмӣ, ки дар зери он кристалли иловагӣ дида мешавад, нисбати кристалли асосӣ (яъне аз кристалл нишондеҳ–таҳлилкунак) вобастагии рост аст. Аз ин расм дида мешавад, ки самаранокии спектрометри комптонӣ хислати ҳаётиро дорад, яъне дар баъзе энергияи хурди гамма–квантҳо ε = 0 аст. Ин ҳодиса ба ҳиссиёти реҷаи мувофиқӣ дар занҷири электронии спектрометр алоқаманд буда, чи қадар ҳиссиёти реҷаи мувофиқӣ баланд бошад, ҳамон қадар зинаи энергияи спектрометр паст мебошад. Ғайр аз ин, камшавии самаранокии спектрометр бо камшавии энергия хурд аз $E_{\gamma m}$, яъне энергияи ба максимум самараноки мувофиқомада ба афзоиши ҳиссаи гамма–квантҳо алоқаманд аст, пас энергияе, ки кристалл-нишондеҳи таҳлилкунак ба вуҷуд меорад, дар натиҷаи фотоэффект пурра фурӯ меравад.

Новобаста аз ниҳоят зиёд будани самаранокӣ, спектрометри комптонӣ истифодабарии васеъ дорад, барои он ки натиҷаҳои ченшуда танҳо ба намуди хаттӣ тасвир мешавад ба энергияи гамма–кванти ченшуда мувофиқ аст (расми 4.2.4). Бинобар ин

"фотоҳисса"-и гамма–спектрометри комптонӣ ба 100% наздик аст, ҳангоми коркарди натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектри яклухт дар баъзе ҳолатҳо ислоҳот ба "фотоҳисса"ворид намекунанд, танҳо воридкунии ислоҳот ба самаранокӣ маҳдуд мешавад. Албатта ин ба баъзе хатогиҳо меоварад, агар ин хатогиҳо калон бошад, он гоҳ ислоҳот ба "фотоҳисса" дохил карда мешавад, монанди дигар гамма–спектрометрҳо ва вобастагии "фотоҳисса"-ро аз энергияи гамма–квант монанди гамма–спектрометри яккристаллӣ муайян мекунанд.

Аз мулоҳизаҳо ва тавсифи гамма–спектрометри комптонии дукристаллӣ бармеояд, ки камбудии асосии он хурд будани самаранокӣ аст. Барои баланд бардоштани самаранокӣ роҳҳои гуногунро ҷустуҷӯ мекунанд.



Расми 4.2.4. Спектри гамма–афканишоти Co–60, ки бо гамма–спектрометри синтиллатсионӣ чен шудааст.

Баланд бардоштани самаранокии спектрометри комптонӣ вобаста ба калон кардани ченаки синтиляторе аст, ки нишондеҳро ба кор медарорад. Ба кор даровардани нишондеҳ бо истифодабарии кристалли $NaI(Tl)$ (диаметраш 80 ва ғафсиаш 30 мм, дар марказ сӯрохии диаметраш 18 мм), ки бо он дастаи борики паралели гамма–квантҳои манба ба кристалл– таҳлилкунак меафтад, дар ин маврид речаи кори спектрометр тағйир наёфт ва самаранокии энергиявии спектрометр бад нашуд.

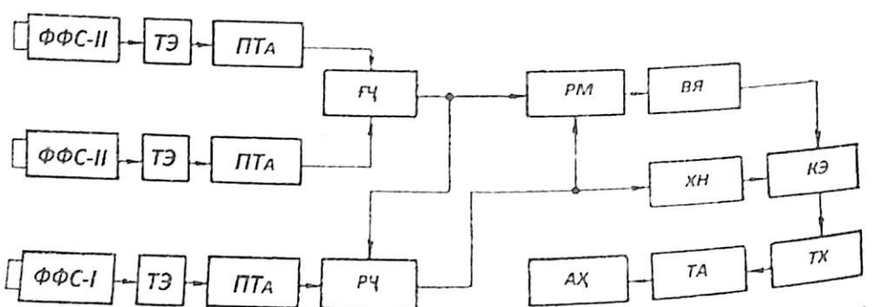
Усули беҳтарини баланд бардоштани самаранокӣ бе бадшавии тафриқаи энергиявии спектрометр, ин истифодабарии речаи спектрометри дукристаллии комптонӣ бе коллиматсияи дастаи гамма–квантҳо мебошад. Дар усули пешниҳодшуда речаи кории оддии спектрометри комптониро истифода мебаранд, аммо дар ҳар ду кристалл максимум ба ҳамдигар наздик ($\vartheta=180^0$) ҷойгиранд ва байни онҳо манбаи гамма–афканишот мегузоранд. дар мавриди лозимӣ бо хоначаи сурбии ғафсиаш 2–3 мм барои ҳимоя аз тарафи нишондеҳи иловагӣ мегузоранд. Барои хориҷ кардани таъсири гамма–квантҳои қаторӣ, вақте, ки яке аз онҳо ба нишондеҳи таҳлилкунак ва дигари он ба нишондеҳи ба кор даромада меафтад, дар канали идоракунии спектрометр, таҳлилкунаки якканала пайваст мекунанд. Азбаски энергияи пароканиши гамма–квантҳо дар зери кунҷи 180^0 аз энергияи гамма–квантҳои манба калонтар аз 500 кэВ амалан аз энергияи хориҷшудаи гамма–квантҳо вобаста нест, пас зинаи коркарди таҳлилкунаки якканала ва васеъгии канали онро пешакӣ дар ҳудуди 250 кэВ гузоштан мумкин аст, он гоҳ речаи иҷозатдиҳӣ кушода мешавад. Пароканиш дар зери кунҷи 180^0 ё ки ба он наздик амалӣ мешавад. Аммо, бо назардошти он ки барои тадқиқот манбаи гамма–афканишотеро гирифтан мумкин, ки дорои энергияи гамма–квантҳо ба ~250 кэВ наздик бошад, мумкин аст мувофиқони дуруғин пайдо шавад, ки ба вайроншавии спектри ҳақиқӣ меоварад. Барои бартараф кардани ин эффекти номатлуб спектри тадқиқотии манбаро ду маротиба чен мекунанд; 1) бе экрани сурбӣ, яъне дар боло навишта шудааст; 2) бо экрани сурбӣ ғафсиаш 2–3 мм, ки дар байни манбаи гамма–афканишот ва кристалли иловагӣ ҷойгир мекунанд. Натиҷаҳои бо экрани сурбӣ гирифташударо аз натиҷҳои якум тарҳ карда, қуллаи ҳақиқии комптониро ҷудо кардан мумкин аст.

Самаранокии ин гамма–спектрометр барои гамма–афканишот бо энергияи 1МэВ тахминан баробари 0,1% аст, яъне бо назардошти самаранокии геометрӣ он тахминан 400 маротиба нисбати спектрометри комптонӣ зиёд мешавад. Тафриқаи энергиявии қуллаи комптонӣ дар ин гуна спектрометрҳо нисбати спектрометри оддии комптонӣ 15–20% бад аст.

Ин гуна спектрометрҳо ҳангоми омӯхтани гамма–афканишоте, ки бо нейтронҳо омехта мебошанд, фоидаовар аст. Аз сабаби он ки ченаки кристалл назаррас ба тафриқаи спектрометр таъсир намерасонад, самаранокии спектрометрро барои қайдгирии гамма–квантҳо баланд бардоштан мумкин аст. Ҷойгиршавии нишондеҳи спектрометр ҳангоми ченкунӣ, ба кристалл афтидани дастаи нейтронҳои пароканишнашударо хориҷ мекунад ва барои ҳимоя аз импулсҳои ғалоғула кифоя аст.

Зиёдшавии самаранокии гамма–спектрометри комптониро ҳангоми истифобарии речаи ҷамъ кардани импулсҳо ба таври назаррас ҳосил кардан мумкин аст. Инчунин тафриқаи ин гуна спектрометр ба таври амалӣ бад намешавад, монанди манбаҳои нуқтавӣ ва фосилавӣ. Тарзи кори спектрометр бо ҷамъкунии импулсҳо чунин аст. Агар дар кристалли марказии нишондеҳ–таҳликунак (расми 4.2.5) гамма–квант бо энергияи E_γ пароканиш шавад, он гоҳ дар баромади ФФС импулс бо амплитудаи А гирифта мешавад, ғайр аз ин $A_1 = a_1(E_\gamma - E'_\gamma)$ аст, ки инҷо E'_γ энергияи гамма–кванти пароканишшуда, дар ин маврид, агар энергияи гамма–кванти пароканишшуда дар синтиллатор фурӯ равад, нишондеҳ пурра ба кор медарояд ва дар баромади он импулс бо амплитудаи $A_1 = a_2(E'_\gamma)$ пайдо мешавад. Зариби тақвияти ФФС-ро пеш аз тақвиядиҳакро тағйир додан (нигаред ба расми 4.2.5) мумкин аст баробарии зеринро ба даст орем; $a= a_1 + a_2$, он гоҳ дар речаи махсус импулсҳо бо амплитудаи A_1 ва A_2 ҷамъ мешаванд. Пас ҳосил мекунем: $A_3 = A_1 + A_2 = a\ E_\gamma$, яъне импулсе, ки амплитудаи он ба энергияи гамма–кванг пурра мутаносиб аст. Аз ифодаи гирифташуда дида мешавад, ки дар речаи спектрометр вобастагии амплитудаи импулс аз кунҷи пароканиш ва ноаниқии он ҳангоми муайянкунии кунҷи пароканиш хориҷ мешавад ва бадшавии тафриқаро дар спектрометри оддии комптонӣ ба вуҷуд меоварад. Азбаски самаранокии спектрометр ба

ΔV мутаносиб аст, он гоҳ спектрометр ба ҷамъкунии амплитуда дорои самаранокии хеле зиёд соҳиб мешавад, бо назардошти он ки бузургии ΔV метавон ниҳоят калон ҳоҳад кард. Дар ҳақиқат, ҳангоми дар нишондеҳ –таҳлилкунак истифодабарии кристаллӣ $NaJ(Tl)$ бо дарозиаи 30мм, барои гамма–кванти –Zn–65 (E_γ = 1.12 МэВ) қимати 1,9% ҳосил карда шуд.



Расми 4.2.5. Реҷаи бо гамма–спектрометри комптонӣ ҷамъкунии амплитудаи импулс; ФФС–I –нишондеҳи асосӣ; ФФС–II–нишондеҳи иловагӣ; ТЭ–ҷакроркунаки эмиттерӣ; ПТА –пеш аз ҳаҷвиятдиҳанда; ФҶ–ҷеҷониш; РҶ –реҷаи ҷамъкунанда; РМ–реҷаи мувофиқӣ; ВЯ–ваҷкунаки; ТХ—якинтихобӣ; ХН –хати нигоҳдоранда; КЭ—калиди электронӣ; АҲ—асбоби ҳаҷвиятдиҳаки хаттӣ; ТА—таҳлилкунаки амплитудӣ; ҳисобкунанда.

Аз ин гуфтаҳо фаҳмост, ки ҳангоми бо ин спектрометр чен кардани спектри гамма–афканишот натиҷаҳои ҷеншуда бояд бо қуллае ифода ёбад, ки ба хатҳои алоҳидаи гамма–афканишоти спектр мувофиқ бошад. Аммо бо сабаби дар синтилятори иловагӣ пурра фурӯ нарафтани энергияи пароканиши гамма–квантҳо бояд сабаби пайдоиши баъзе тақсимоти ғалоғула гардад, барои аз ин халосӣ ёфтан бояд кристалли асосиро кристаллҳои иловагӣ аз ҳама тараф иҳота кунад. Инро барои бақайдгирии гамма–квантҳои парокканишшудаи кристалли ҷенакаш калон истифода мебаранд.

Тафриқаи энергиявии спектрометри комптониро бо ҷамъкунии импулсҳо фикран чунин баҳо додан мумкин аст. Азбаски дар баромади ФФС тақсимшавии импулсҳо аз рӯи амплитуда нисбати дуруҳши рӯшноӣ аз рӯи хати каҷи Гаусс навишта мешавад, он гоҳ $\Delta A_1 = \sqrt{(\Delta A_1)^2 + (\Delta A_1)^2}$ ва тафриқаи ҷамъи қулла баробари

$$\eta = \frac{\Delta A_3}{A_3} = \sqrt{(\Delta A_1)^2 + (\Delta A_1)^2}, \qquad (4.2.6.)$$

мешавад. Барои ФФС бо як кристалл дар реҷаи спектрометри одии комптонӣ тафриқаро барои амплитудаи импулси А аз ифодаи зерин муайян мекунанд:

$$\eta = \left[\frac{C}{A_3} + \eta_4{}^2\right]^{1/2}, \qquad (4.2.6а.)$$

дар инҷо С—бузургии аз хусусияти кристалл ва ФФС вобаста буда, аммо η_4 -ро тафриқаи геометрӣ ҳисобидан мумкин аст, агар ҳарду кристалл ва ҳар ду ФФС барои ҷамъ кардани импулсҳо якхела иштирок кунанд, пас нишон додан мумкин аст, ки:

$$\eta = \left[\frac{C}{A_3} + \eta_1{}^2\,\frac{A_1{}^2+A_2{}^2}{(A_1+A_2)^2}\right]^{1/2}, \qquad (4.2.6б.)$$

Агар ифодаҳои (4.2.6*а*.)-ро бо (4.2.6б.) муқоиса кунем, дида мешавад, ки ҳангоми $A=A_3$ будан тафриқаи амплитудии спектрометр бо ҷамъшавии амплитудаи импулсҳо нисбати тафриқаи амплитудии спектрометрии одии комптонӣ бояд нағзтар бошад, барои он ки ҳама вақт $(A_1{}^2 + A_2{}^2)/(A_1 + A_2)^2 < 1$ мебошад. Аммо, ҳангоми иҷрои ҳисоб аз формулаи (4.2.6б.) ва муқоисаи он бо натиҷаҳои амалӣ, боварӣ ҳосил кардан мумкин аст, ки беҳтаршавии ҳақиқии тафриқа хурд аз интизорӣ аст, барои он ки ФФС ва кристалл айнан якхела мебошанд ва масъалаи дар боло баррасишуда таъсири реҷаи ҷамъкунӣ ба эътибор гирифта нашудааст.

Дар он мавриде, ки саҳми тафриқаи геометрӣ ва тафриқаи умумии амплитудии спектрометри комптонӣ бо ҷамъкунии амплитуда назарногир хурд аст, бинобар ин тафриқаи амплитудаи охирон ба тафриқаи спектрометри яккристаллӣ наздик мешавад. Дар ҷадвали 4.2.1 барои муқоиса натиҷаҳои бо спектрометри одии комптонӣ ва спектрометри комптонӣ бо ҷамъкунии амплитудаи импулсҳо гирифташуда оварда шудааст.

Ҷадвали 4.2.1.

Тафриқаи энергиявии гамма–спектрометрҳои синтиллатсионӣ, бо %

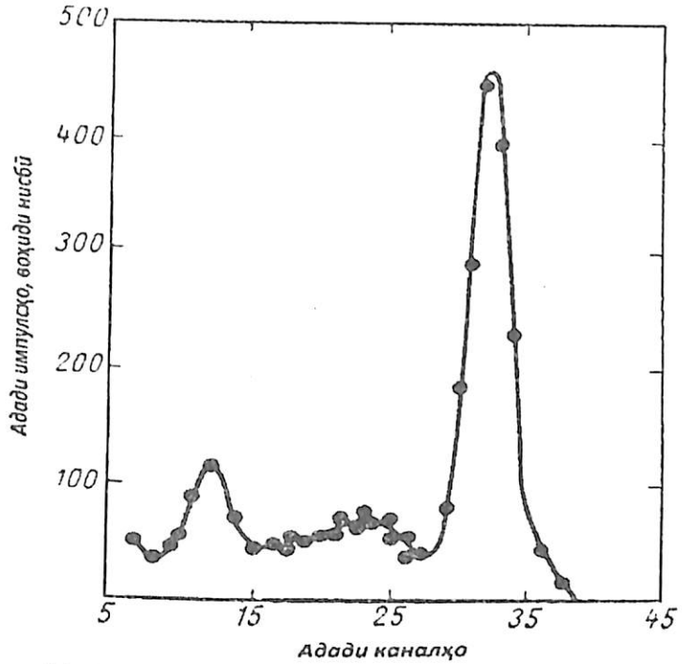
Навъи спектрометрҳо			Эзоҳ
яккристаллӣ	комптонӣ	ҷамъшавии амплитуда	
12,2	15,2	11,8	Кристаллҳои канорӣ $NaJ(Tl)$
12,8	19,3	13,1	
13,9	19,6	12,6	Кристаллҳои канорӣ $CsJ(Tl)$
15,3	18,6	13,8	
11,4	—	11,0	
11,4	—	11,6	

Аз натиҷаҳо равшан аст, ки тафриқа бо воситаи гамма–афканишоти манбаи Zn–65 чен шудааст. Дар расми 4.2.6 гамма–спектри Zn–65 нишон дода шудааст. Аз сабаби пурра фурӯ нарафтани энергияи пароканиши гамма–квантҳо дар синтилятори иловагӣ ва нопурра пардапӯшшавии кристалли марказӣ, дар спектри чеҳшуда баъзе тақсимшавии яклухти ин қадар калон мушоҳида мешавад, аммо қуллаи фурӯбурди пурра мусоидаткунанда мебошад.

Самараноки гамма–спектрометри комптониро бо ҷамъкунии амплитудаи импулсҳо аз таносуби зерин муайян кардан мумкин аст:

$$E = \varepsilon = \frac{\sigma(E_\gamma)}{\mu(E_\gamma)}\left(1 - e^{-\mu(E_\gamma)d}\int_0^{2\pi} 1 - e^{-\mu_1(E_\gamma,\vartheta)R(\vartheta)}\right] d\,\vartheta, \qquad (4.2.7)$$

дар инҷо $\sigma(E_\gamma)$ –эҳтимолияти ҳамтаъсироти комптонӣ ($см^{-1}$) гамма–квантҳои манба дар синтиллатор (ғафсиаш d)-и нишондеҳ—таҳлилкунак, $\mu_1(E_\gamma,\vartheta)$ –зариби фурӯбурди пароканиш дар зери кунҷи ϑ, ки дорои энергияи $E_\gamma(\vartheta)$– гамма–квантҳо дар синтилятори иловагӣ мебошад; $R(\vartheta)$– ғафсии синтилятори иловагӣ ба равиши кунҷи пароканиши ϑ. Агар синтилятори иловагӣ аз $NaJ(Tl)$ тайёр карда шавад, он гоҳ $\mu_1(E_\gamma,\vartheta)$ ва $R(\vartheta)$ – ро аз диаграмма муайян мекунанд.(Ю.А.Егоров синтиллатсионии метод спектрометрии гамма–излучения и быстрых нейтронов. М. 1963 стр.92).



Расми 4.2.6. Спектри гамма–афканишоти Zn–65, ки бо гамма–спектрометри комптонӣ бо ҷамъкунии амплитудаи импулсҳо чен шудааст.

Истифодабарии синтиляторҳои иловагии ченакашон ниҳоят калон имкон медиҳад, ки бузургии фотоҳиссаро баробари 100% ҳосил кунем. Ҳамин тавр, ҳангоми $\mu_1(E_\gamma,\vartheta)R(\vartheta)$= 3 то 4 будан, фотоҳисса тахминан аз 95 то 98% –ро ташкил мекунад ва дар баъзе ҳолатҳо, вақте, ки хатои ҷоиз то 15–20% аст, ҳангоми ченкунии спектри яклухти гамма–квант ба фотоҳисса ислоҳот даровардан шарт нест. Агар ин хатогӣ ноҷоиз бошад, он гоҳ коркарди натиҷаҳои чеҳшудаи гамма–спектрҳои яклухт монанд ба коркарди натиҷаҳои гирифташудаи дигар спектрометрҳо гузаронида мешавад ва дохил кардани ислоҳот ба фотҳисса шарт аст. Бузургии фотоҳиссаро вобаста аз энергияи гамма–квантҳо монанди пешина, яъне аз натиҷаҳои чеҳшудаи спектрҳои манбаҳои гамма-афканишоти якранг (нигаред ба ҷадвали 4.1.2), ҳамчун нисбати масоҳати зери қуллаи ба гамма–хат мувофиқаткунанда ба масоҳати ҳамаи тақсимоти амплитудӣ муайян мекунанд. Ҳангоми омӯхтани

гамма–спектрҳо бо спектрометрҳои синтилятсионӣ дар ғалоғулаи афканишоти нейтронҳо мушкилоти назаррас пайдо мешавад. Гамма–спектрометрҳои синтиллатсионии дилхоҳ дар ин ё он дараҷа ба нейтронҳо ҳиссиёт доранд, бинобар ин, вобаста ба ин якчанд усулҳоро барои кам кардани ғалоғулаи нейтронҳо истифода мебаранд.

Гамма-спектрометр имконият медиҳад, ки аз истифодабарии усулҳои махсуси пахши (фишурдани) ғалоғулаи нейтронҳо ҳангоми ченкунии спектри гамма–квантҳо халосӣ ёбем. Ин спектрометри комптонии оддӣ бо ду кристалл аст, аммо ба сифати кристалл дар нишондеҳи таҳлилкунак ба ҷои $NaI(Tl)$ ё ки $CsI(Tl)$ стилбенро истифода мебаранд. Истифодабарии кристалли стилбен гамма–спектрометри комптониро нисбати нейтронҳо камҳиссиёт мекунад ва имконият медиҳад онро барои омӯхтани гама–спектрҳои реакторҳои ядроӣ истифода барем. Стилбен–кристалли органикӣ аст, бинобар ин он нейтронҳои ҳароратии реакторро фаъол накарда, дар он реаксияи ядроиро ба амал намеоварад. Гама–ҷафканиши қаппиши радиатсионии нейтронҳои ҳароратӣ бо ҳидроген (E_γ = 2,2 МэВ) мумкин аст ба эффекти номатлуб биёрад, аммо эҳтимолияти он кам аст ва ғайр аз ин, раванди қайдгирии (n, γ)-ро бо осонӣ назорат мекунад. Нейтронҳои сареъ дар кристалли нишондеҳ–таҳлилкунак аз ядрои ҳидроген пароканда шуда, ба нишондеҳи бакордароранда намеафтанд, барои он, ки пароканиши онҳо берун аз ҳудуди нимкурра нисбат ба равиши даста мегузарад ва нишондеҳи спектрометр дар зери кунҷи $\vartheta>90^\circ$ гузошта шудааст. Дар нишондеҳи бакордароранда метавонанд нейтронҳое афтанд, ки асосан дар нишондеҳи ядроии ҳидроген пароканиш шудаанд, аммо ядрои ҳидроген амалан дар стилбен импулси рӯшноиро пайдо намекунад.

Тафриқаи энергиявии спектрометри комптонӣ бо стилбен нисбати тафриқаи энергиявӣ бо кристалли $NaI(Tl)$) ё ки $CsI(Tl)$ бад аст, барои он ки баромади рӯшноии стилбен дар паҳнои энергияи фурӯбурди гамма–афканишот нисбати баромади рӯшноии кристаллӣ $NaI(Tl)$ тахминан се маротиба хурд аст. Аммо ба ин нигоҳ накарда, гамма–спектрометри комптонӣ бо кристалли стилбен дар нишондеҳ–таҳлилкунак барои омӯхтани гамма–спектрҳо

дар фони дастаи нейтронҳо мумкин пешниҳод шавад, агар бузургии он калон набошад.

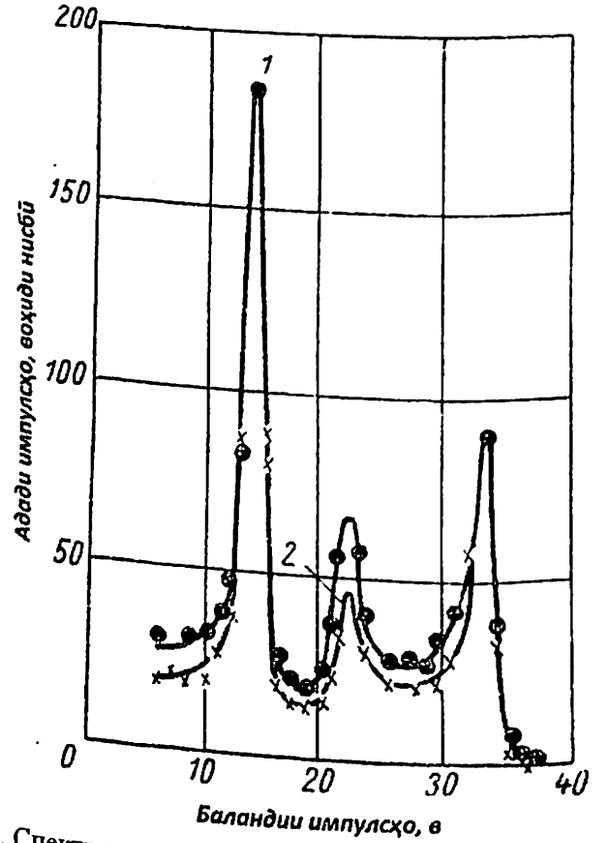
Чи тавре маълум аст, дар энергияи гамма–афканишот калон аз 2 МэВ дар кристаллҳои вазнини $NaI(Tl)$ ва $CsI(Tl)$ эффекти пайдоиши ҷуфт накши назаррас бозида, ба пайдоиши гамма–квантҳо мусоидат мекунад. Дар ин маврид, яке аз гамма–квантҳои маҳвишӣ метавонад дар кристалли иловагии спектрометри иловагӣ афтад ва мувофиқоии дурӯғиро пайдо кунад. Ин ҳодиса бо пайдоиши ҷуфти куллаҳои иловагӣ дар спектри комптонӣ сабаб гардида, ба мушкилии таҳлили мураккаби гамма–спектр меоварад. Пас, ҳангоми чен кардани гамма–спектри манбаи радифаъоли Na–24 (расми 4.2.7) бо ёрии спектрометри комптонӣ дар тақсимоти амплитудӣ хатти энергияи 1,76 МэВ равшан чудо мешавад. Вобаста ба фурӯбурди энергияи гамма–квант (2,76 МэВ) дар натиҷаи эффекти пайдоиши ҷуфт ба минбаъд аз кристалл нишондеҳ–таҳлилкунак хориҷ шудани ҳарду гамма–квантҳои маҳвишӣ мушоҳида мешавад. Барои назорат ва қисман пахш кардани ин эффекти номатлуб аз ду усул якеашро истифода кардан мумкин аст.

Маънои усули якум дар он аст ки ҳангоми пайваст кардани канали идоракунандаи гамма–спектрометр таҳлилкунаки зинагии иловагӣ (расми 4.2.8), якҷоя бо реҷаи мувофиқи корӣ калиди электрониро идора мекунад. Бузургии зинаи таҳлилкунак чунин барқарор карда мешавад, ки таҳлилкунак кор мекунад, танҳо аз импулсе, ки амплитудаи он ба фурӯбурд дар кристалли иловагӣ энергияи калон аз 0,45 МэВ мувофиқат кунад. Агар дар кристалли иловагӣ гамма–квантҳои маҳвишӣ афтад, ки онҳоро аз пароканиши комптонӣ ба қайд мегиранд, он гоҳ таҳлилкунак ин импулсро намегузаронад ва реҷаи мувофиқоӣ калиди электронро намекушояд, аммо ҳангоми фурӯбурди пурраи энергияи гамма–кванти маҳвишӣ спектрометр ба кор медарояд. Зиёд кардани зинаи таҳлилкунак калонтар аз 0,45 МэВ мувофиқи матлаб нест, барои он ки ба афзоиши пурраи зинаи спектрометр меоварад. Усули навишташуда, чи тавре дида мешавад, имкон медиҳад, ки куллаи ҷуфтро қисман пахш кунем.

Бо спектрометри комптонӣ ба се кристалл баъзе натиҷаҳои хубро гирифтан мумкин аст (нигаред ба расми (4.2.8б)): ду кристалл реҷаи одии спектрометрӣ комптониро ташкил мекунад; сиг-

нал аз кристалли сеюм ба муқобили мувофиқӣ бо сигнали дукристалли якумин пайваст мешавад. Ин усул имкон медиҳад, ки қуллаи ҷуфтро танҳо қисман пахш кунем (нигаред ба расми 4.2.7), аммо ин танҳо барои чен кардани гамма–спектри оддӣ кифоя аст.

Ҳангоми чен кардан бо спектрометри комптонӣ ҷамъшавии ампли-тудаи импулсҳои гамма–спектрҳо бо энергияи гамма–квантҳо E_γ = 1.02 МэВ, инчунин ба монанди спектрометри одии комптонӣ, пайдошавии энергияи мувофиқомада (E_γ – 0,51) МэВ, ки расми ҳақиқии гамма–спектро вайрон мекунад, дар тақсимшавии амплитудаи импулсҳо мушоҳида мешавад.



Расми 4.2.7. Спектри гамма–афканишоти манбаи радиофаъоли Na–24, ки бо спектрометри комптонӣ чен шудааст: 1) бе пахш кардани қуллаҳои ҷуфт; 2) қисман пахш кардани қуллаҳои ҷуфт.

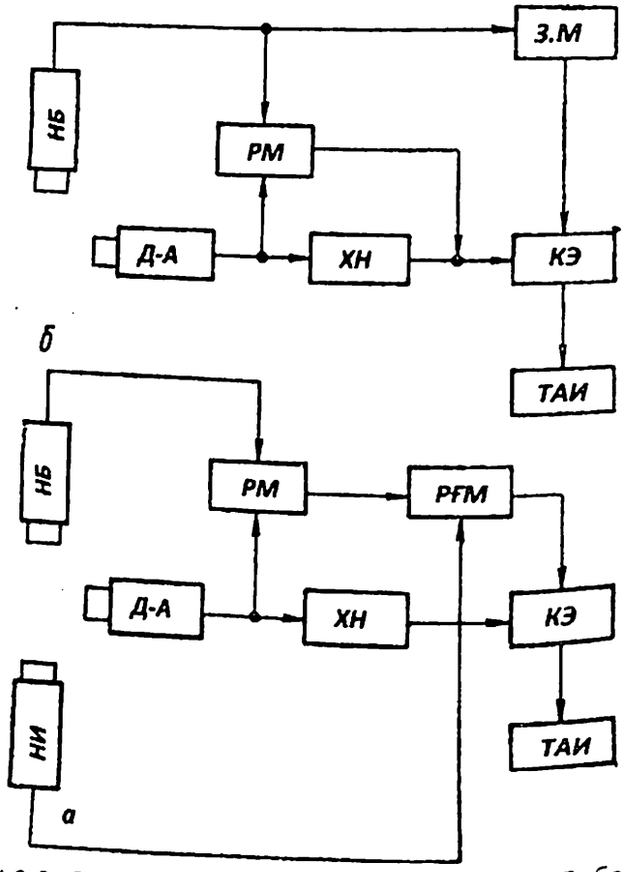
Ҳамин тавр, баъди ченкунӣ бо гамма–спектрометри ҷамъкунанда бояд натиҷаҳои ченшуда тафтиш шавад, барои ин ҳамон спектр бояд бо спектрометри ҷуфт чен карда шавад. Инро ба осонӣ ичро кардан мумкин аст, барои он ки реҷаи спектрометри комптонӣ бо ҷамъкунӣ бо осонӣ ба реҷаи спектрометри ҷуфт пайваст карда мешавад (нигаред ба расми 4.2.5).

Натичаҳои такроран ченшуда аз он гувоҳӣ медиҳанд, ки гамма–спектрҳо хеле оддӣ буда, онҳоро ба осонӣ фаҳмидан мумкин аст. Ҳангоми ченкунии гама–спектрҳои мураккаб усули асосии ҳимояро бояд истифода бурд. Мисол, истифода бурдани спектрометри комптонӣ бо реҷаи ҷамъкунии амплитуда, нишондеҳҳои канорӣ ҳамчун илова ба мувофиқӣ байни ҳам пайваст карда мешаванд. Импулс аз ин реҷаи мувофиқӣ ба ғайримувофиқӣ байни нишондеҳи асосӣ ва илагӣ бояд пайваст бошад.

Дар варианти оддӣ гамма–спектрометри комптонӣ бо кристалл–таҳлилкунаки $NaI(Tl)$ ё ки $C_sI(Tl)$-ро то қимати энергияи гамма–квантҳо на зиёдтар аз 3 МэВ истифода бурдан мумкин аст, барои кристалли стилбен дар нишондеҳ–таҳлилкунак паҳнони энергияи ҷамъшуда мумкин аст тахминан то 3,5–4 МэВ зиёд шавад.

Хулоса, қайд кардан мумкин аст, ки барои гамма–спектрометри комптонӣ, чи тавре ки дар мавриди спектрометрҳои яккристаллӣ қайд кардем, аз $NaI(Tl)$ ва $C_sI(Tl)$, инчунин фотофузунсозӣ навъи ФФС–11, ФФС–12 ва ғайра, ки ба гуруҳи ФФС-ҳои спектрометрӣ дохил мешаванд, истифода бурдан мумкин аст. Кристалл–таҳлилкунак албатта бояд спектрометр бошад. Дар нишондеҳи иловагӣ кристалли дилхоҳро истифода мебаранд, ба монанди спектрометр ва инчунин кристалли ҳисоби, агар дар спектрометр амплитудаи импулси нишондеҳи иловагӣ таҳлил карда нашавад.

Он реҷаи электрониеро, ки дар спектрометри яккристаллӣ истифода бурда мешавад, дар спектрометри комптонӣ низ истифода мебаранд, аммо бо пайдоиши гиреҳи нави электронӣ - реҷаи мувофиқӣ. Тафриқаи вақтӣ (τ)-и реҷаи мувофиқӣ, ки ба спектрометри комптонӣ пешниҳод шудааст, мумкин аз чунин мулоҳизаҳо муайян шавад.



Расми 4.2.8. Речаи гамма–спектрометри комптонӣ бо кисман пахшкунии куллаи чуфт: а–спектрометр бо зинаи махдудгар дар канали идошкунии куллаи чуфт; б–спектрометр бо кристалли (сеюми) иловагӣ; Д–А – ракунанда; НБ (ЗД)–нишондехи бакордароранда; НИ–нишондех–тахлилкунанда; РМ–речаи мувофикой; ЗМ–зинаи махдудгар; ХН–нишондехи иловагӣ; РҒМ–речаи ғайримувофикой; КЭ–калиди электронӣ; ТАИ–тахлилкунаки амплитудии импулсхо.

Дар натичахои амалӣ нишон дода шуда буд, ки дастаи гамма–квантхо барои кристалли $NaI(Tl)$ такрибан ба 10^6 гамма–квантхо дар як сонияро ташкил мекунад. Инчунин маълум аст, ки адади мувофикоии тасодуфӣ N_0 дар кисми баромади речаи мевофикой баробар ба $2\tau N_1 N_2$ аст, ки дар инчо N_1 ва N_2–адади импулс дар кисми даромади якумин ва дуюмини речаи мувофикой мебошанд.

Аз тарафи дигар, адади мувофикоии фондаовар $N_n = N_\varepsilon$ аст, ки дар инчо N–дастаи гамма–квантхо; Е–самаранокии спектрометр, аз тарафи дигар $\varepsilon = \varepsilon_1\varepsilon_2$, $P(\vartheta)$ аст, ки инчо ε_1 ва ε_2 –самаранокии нишондехи тахлилкунак ва нишондехи иловагӣ; $P(\nu)$ –эхтимолияти он ки гамма–квант аз кристалл нишондех–тахлилкунак пароканда шуда, ба кристалли иловагии нишондех меафтад.

Азбаски $N_1 = N\varepsilon_1$ $N_2 = N\varepsilon_2$ аст, бинобар ин:

$$\frac{N_n}{N_{p.м}} = \frac{1}{2\tau N \varepsilon_1}, \qquad (4.2.7)$$

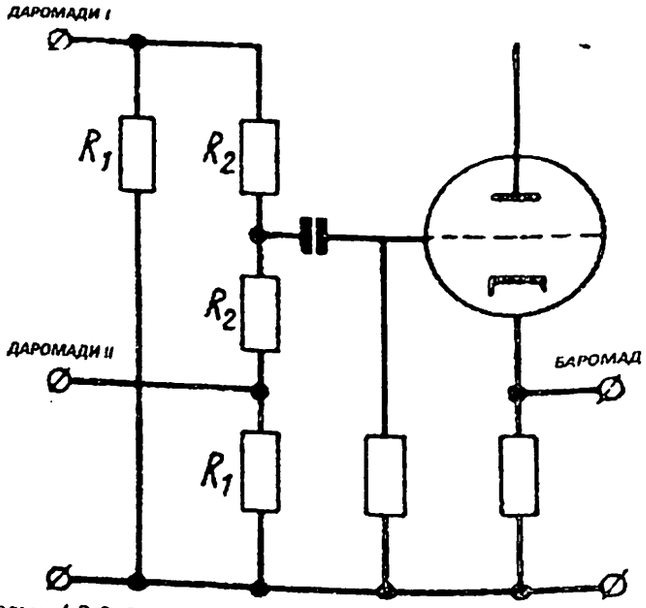
Фарз кунем, ки $\varepsilon \cong 100\%$ барои тачрибаи боваринок $N_n/N_{p.м} > 10$ аст, пас аз (4.2.7) хосил мекунем, ки $\tau \leq 5*10^{-8}$ сония мебошад. Аммо аз рӯи қоида, дар тадқиқотхои спектрометрӣ $N<10^6$ сон$^{-1}$ ва $\tau \cong 10^{-7}$сон мебошанд. Речаи мувофиқой бо тафриқаи вақти 10^{-7}сон-ро дар лампаи электронӣ чамъоварӣ кардан мумкин аст. Речаи мувофиқой талаботи пешниҳодшударо аз рӯи тафриқаи хаттӣ низ бояд қаноат кунонад.

Речаи мувофиқой бо тафриқаи хурди хаттӣ дар асоси фарқияти шакли импулс, ки речаи импулсиро ба кор медарорад, дорои самаранокии аъло аз 100% аст. Бояд қайд кард, ки дар ҳисобкуниҳои мутлақ самаранокиии комптонӣ ва дигар спектрометрхо бо речаи мувофиқой дар формулае, ки бузургии ε–ро муайян мекунд, дохил кардани бузургии q зарур аст, ки самаранокии речаи мувофиқой (q <1)–ро муайян мекунад.

Дар спектрометри комптонӣ бо чамъкунии импулсхо бояд речаи амалӣ гардонидани чамъ кардани амплитудаи импулсхоро ичро шавад. Дар речаи чамъшавӣ натичахои хуб ба дастоварда мешавад, агар муқовиматхо (нигаред ба расми 4.2.9) аз рӯи шарти пешниҳод шуда ҳисоб карда шавад.

Бо назардошти мавчуд набудани элементхои ғайрихатии речаи овардашуда ба таври хаттӣ импулсхоро бо амплитудахои гуногун чамъ карда, махдудият бо эммитерӣ такроркунак бартараф шавад, ки дар инчо ин корро "муқовимати трансформаторхо" ичро мекунад. Камбудии асосии ин речаи чамъкунӣ зариби хурди интиқоли К мебошад, ки онро аз таносуби зерин муайян мекунанд: $K = R_1+R_2/R_2*R_1$, инчо R_1–зариби интиқоли такроркунаки эмиттерӣ. Ин формула ҳақиқатан дуруст аст, агар муқовимати баромади речаи

пешина $R < R_1$ бошад. Аз таносуби овардашуда маълум аст, ки барои зиёд кардани зариби интиқоли реҷаи ҷамъкунӣ $R_1 > R_2$ бошад, аммо барои кори нормалии реҷаи ҷамъкунӣ бояд шарти зеринро риоя шавад: $R_2 \geq 5\ R_1$



Расми 4.2.9. Реҷаи ҷамъкунии амплитудаи импулсҳо.

4.3. ГАММА СПЕКТРОМЕТРИ СИНТИЛЛАТСИОНИИ ҶУФТ

Асоси реҷаи гамма–спектрометри синтиллатсионии ҷуфт дар расми 4.3.1 оварда шудааст. Дастаи колиматсионии борики паралели гамма–кванҳо бо энергияи E_γ аз манбаи радиофаъолӣ М ба кристалли марказӣ K_1 меафтад, дар натиҷаи эффекти ҷуфт электрон ва позитрон пайдо мешавад. Энергияи электрон аз рӯи қоида ба кристалли K_1 пурра фурӯ меравад, дар натиҷаи эффекти ҷуфт электрон дар ин кристалл маҳвиш меоварад, яъне энергияи он ҳам ба кристалли K_1 фурӯ меравад. Боздории гамма-афканишот, ки ҳангоми боздории электрон ва позитрон пайдо мешавад, инчунин ба кристалли K_1 фӯрӯ меравад. Дар маҳвиши позитрон ду гамма–квант бо энергияи 0,51МэВ ҳосил мешавад, ки ҳар яки он мукобили

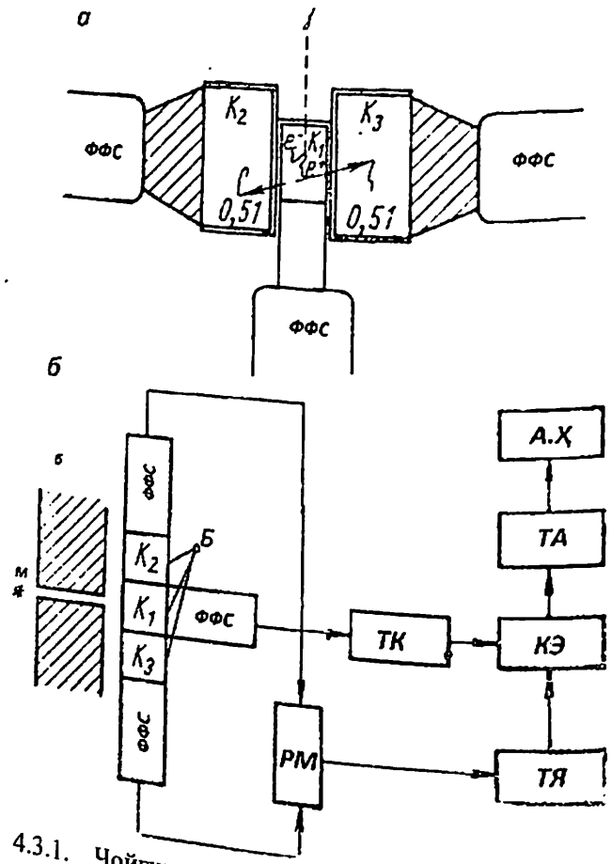
ҳамдигар парвоз мекунанд; дар гамма–спектрометри ҷуфт энергияи ин гамма–квантҳо на бояд ба кристалли K_1 фурӯ равад. Барои ҳосил кардани тарзи кори спектрометри ҷуфт энергияи ҳарду маҳвиши гамма–квантҳо бояд ба кристаллҳои канории K_2 ва K_3 фурӯ раванд.

Импулс аз ҳисоби энергияи $E = (E_\gamma - 1.02)$ МэВ, аз баромади ФФС, ки ба кристалли K_1 пайваст мебошад, яъне аз баромади нишондеҳ–таҳлилкунак, баъди бо тақвиятдиҳанда $T_к$ тақвият додан ба калиди нигоҳдоранда дода мешавад. Дар охир бо сигнали нишондеҳ спектрометри канориро идора мекунанд, яъне сигналҳои ФФС, ки аз кристаллҳои K_1 ва K_2 пайваст аст,ба реҷаи мувофиқӣ дода мешавад. Агар дар кристалли марказӣ гамма–квант бо энергияи E_γ дар натиҷаи эффекти ҷуфт фурӯ равад, он гоҳ дар шароите, ки ченаки кристаллҳои канорӣ ниҳоят калон аст, гамма–квантҳои маҳвиши дар ҳарду даромади реҷаи мувофиқӣ (РМ) импулсҳоро медиҳад ва РМ ба кор даромада, тағйирдиҳаки якинтихобиро ба кор медарорад, ки калиди электрониро КЭ мекушояд. Импулс аз нишондеҳи асосӣ ба таҳлилкунаки амплитудии импулс ТАИ мегузарад. Дар он маврид, ки агар дар кристалли марказӣ энергияи гамма–квант дар натиҷаи фооэффект фурӯ равад ё ки дар он пароканиши гамма–квантҳои комптонӣ гузарад, он гоҳ дар реҷаи мувофиқӣ ё ки умуман импулсҳоро намегузаронад (агар фотоэффект ичро шавад), ё ки танҳо як импулс мегузарад (дар мавриди комптон эффект), яъне реҷаи мувофиқӣ кор намекунад ва тағйирдиҳаки якинтихобӣ ба кор сар намекунад. Бинобар ин, импулс аз нишондеҳи марказӣ ба таҳлилкунаки амплитудӣ ТА намегузарад.

Кристалли марказӣ K_1 бояд чунин ченак дошта бошад: аз як тараф хурд, ки дар он миқдори камтарини гамма–квантҳои маҳвиши фурӯ раванд, аммо аз тарафи дигар, он бояд калонтарин бошад, ки самаранокии даркориро ҳангоми бақайдгирии гамма–афканишот бо энергияи E_γ қаноат кунонад ва энергияи электрон, позитрон, боздории гамма–афканишотро фурӯ барад.

Аксар вақт кристалли мараказиро дар шакли сутунча тайёр карда ва дастаи гамма–квантҳои тадқиқотиро ба равиши тири он равон мекунанд. Кристаллҳои канорӣ бояд ченакашон клонтар бошад, ки шумораи зиёдтарини гамма–квантҳои маҳвиширо фурӯ

баранд. Дар гамма–спектрометри синтиллатсионии ҷуфт се кристалли $NaI(Tl)$ истифода мешавад, илова бар ин кристалли марказӣ дорои чунин ченак аст: 1,3х1,9х2 см^3, ғайр аз ин, кристаллҳои канорӣ–3,5х3,5х2 см^3. Барои зиёд кардани адади фурӯбурди маҳвиши гамма–квантҳо, кристаллҳои канорӣ $CsI(Tl)$ – ро бо диаметри 60 ва ғафсии 30мм ва кристалли марказӣ $NaI(Tl)$-ро ва диаметри 40 мм ва ҳамон хел дарозӣ истифода мебаранд.



Расми 4.3.1. Ҷойгиршавии кристаллҳо (а) ва речаи гамма–спектрометри синтиллатсионии ҷуфт(б): М–манбаи радиофаъол; Б–кристаллҳо; РМ-речаи мувофикой; ТҚ–таквиятдиҳак; ТЯ–танзимкунаки якинтихобӣ; КЭ–калиди электронӣ; ТА–таҳлилкунаки амплитудӣ АҲ - асбоби ҳискунак.

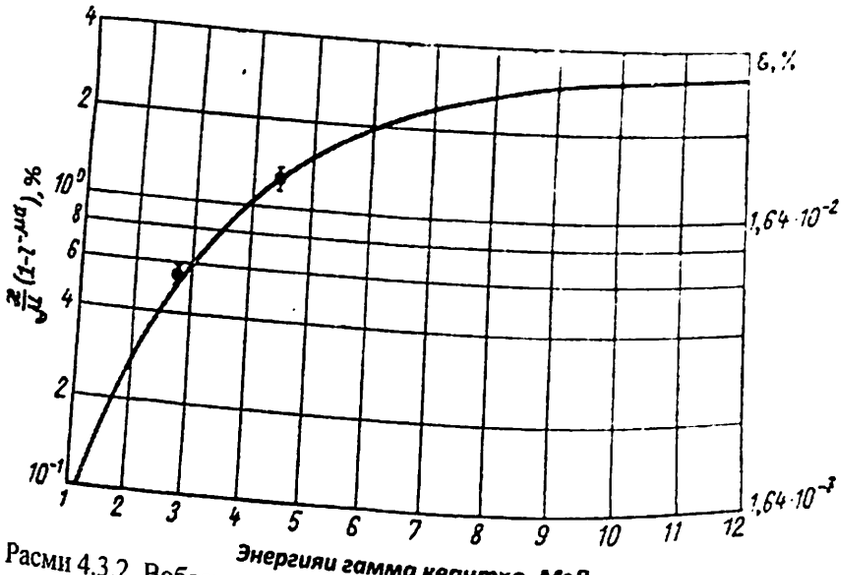
Самаранокии спектрометри синтиллатсионии ҷуфт аз формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\mathcal{E}(E_\gamma) = \frac{æ(E_\gamma)}{\mu(E_\gamma)}\left(1 - e^{\mu(E_\gamma)d}\right)\mathcal{E}_1{}^2, \qquad (4.3.1)$$

дар инҷо $\mu(E_\gamma)$ – зариби пурраи фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо дар кристалли марказӣ; æ (E_γ)—зариби хаттии фурӯбурд дар натиҷаи эффекти пайдоиши ҷуфти гамма–афканишот бо энергияи (E_γ) дар кристалли марказии дарозиаш d, $\mathcal{E}_1$– самаранокии бақайдгирии квантҳои маҳвишӣ дар кристаллҳои канорӣ; $\mathcal{E}_1$ –аз маводи кристаллҳои канорӣ вобаста мебошад, ғафсии онҳо аз энергия E_γ –тадқиқотии гамма--квантҳо вобаста намебошад.

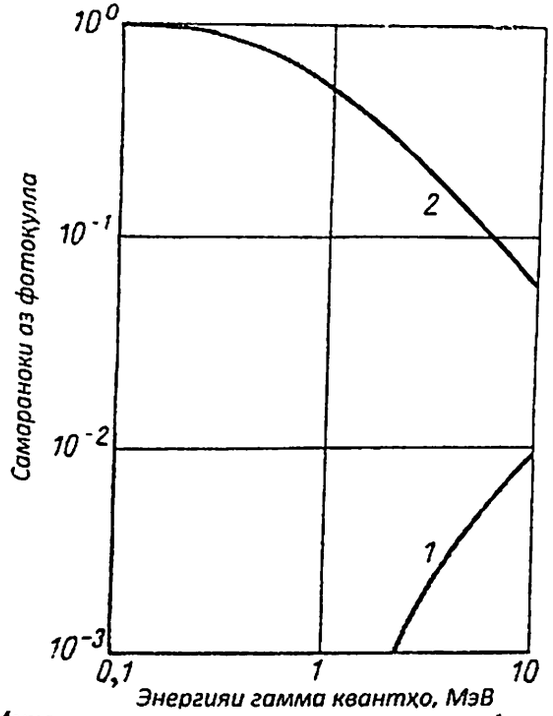
Самаранокии беҳтаринро ҳосил кардан мумкин аст, агар кристалли марказиро дар сӯрохии байни кристаллҳои канорӣ ҷойгир кунем, агар кристаллҳои канорӣ кристалли марказиро аз ҳама тараф паноҳ (иҳота) кунанд, илова бар ин охиронаш дар қисми мобайни сӯрохи ҷойгир шавад, дар ин маврид $\mathcal{E}_1 = 1 - e^{-\mu_1 \ell_{миён}}$ мешавад. Дар инҷо μ_1–зариби хаттии фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо 0,51 МэВ дар кристаллҳои канорӣ, $\ell_{миёна}$– роҳи миёнаи гамма–квант дар кристалли канорӣ. Қайд кардан лозим аст, ки зариби пурраи хаттии фурӯбурди гамма–квантҳо бо энергияи 0,51 МэВ дар кристалли $NaI(Tl)$ баробари 0,28 см$^{-1}$, барои кристалли $CsI(Tl)$ –0,344 см$^{-1}$ аст. Ҳангоми истифодабарии кристалли $NaI(Tl)$ ва $CsI(Tl)$ ченакҳои дар боло қайдшудаи самаранокӣ $\varepsilon \cong 0{,}1\%$ барои E_γ =3 МэВ ва $\mathcal{E}$= 0,3% барои E_γ=6МэВ гирифта шудааст (расми 4.3.2). Самаранокии гамма–спектрометри ҷуфт вобаста аз энергияи гамма–квантҳо аз формулаи 4.3.1 ҳисоб карда шудааст ва аз натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектрҳои Na–24 ва гамма–афканишот бо илова намудани таввалуди нейтронҳо аз манбаи P_0+Be муайян карда шуд. Чи тавре, аз расми 4.3.2 айён аст, мувофиқ омадани натиҷаҳои ҳисоб ва таҷриба (натиҷаҳои меъёрбандӣ ҳангоми E_γ = 4,46 МэВ) хеле хуб мувофиқат мекунад. Қиматҳои гирифтаи самаранокии гамма–спектрометри синтиллатсионии ҷуфт нисбати спектрометри магнитӣ, ки бо ин раванд кор мекунанд, хеле калонтар аст, зеро самаранокии гамма спектромет-

ри ҷуфт аз самаранокии спектрометри яккристаллӣ бо ҳимояи ғайримувофиқӣ зиёдтар аст.



Расми 4.3.2. Вобастагии самаранокии спектрометрӣ синтиллатсионии ҷуфт аз энергияи гамма–квантҳо: хати каҷи яклухт – натиҷаҳои ҳисоб: нуқтаҳо – таҷрибавӣ; натиҷаҳо барои энергияи E_γ = 4,46 МэВ меъёрбандӣ шудааст. Тарафи рост – самаранокии мутлақ; тарафи чап - самаранокӣ аз нишондеҳи кристалли марказӣ.

Дар расми 4.3.3 самаранокии спектрометр бо ҳимояи ғайимувофиқӣ бо спектрометри ҷуфт муқоиса мешавад, бо илова намудани қаппиши нейтронҳои ҳароратӣ, ки барои омӯхтани спектрҳои гамма–афканишот истифода мебаранд. Дар ин спектрометр кристалли марказӣ $NaJ(Tl)$ дорои диаметри 2,5 дарозии 7,5 см ва кристаллҳои канорӣ $NaJ(Tl)$ дорои диаметр ва ғафсии 7,5 см буда, зичтар бо кристалли марказӣ ҷойгир шудаанд. Аз расм дида мешавад, ки самаранокии спектрометри ҷуфт дар энергияи E_γ = 2,5 МэВ тахминан ба 200 маротиба камтар аз самаранокии спектрометр бо ҳимояи ғайримувофиқӣ мебошад. Ба наздикӣ спектрометри дукристаллии ҷуфт истеҳсол карда шудааст, ки самаранокиаш ниҳоят баланд аст.



Расми 4.3.3. Муқоисаи самаранокии спектрометрҳо: 1–спектрометри ҷуфт; 2–спектрометр бо ҳимояи ғайримувофиқӣ.

Спектрометри синтиллатсионӣ аз нуқтаи назари тафриқаи энергиявии ҷуфт аз спектрометри магнитӣ гузашт намекунад. Аз рӯи баҳодиҳии натиҷаҳои амалии таҷрибавӣ дар энергияи гамма–квантҳо E_γ=4,4МэВ тафриқаи спектрометри синтиллатсионии ҷуфт баробарӣ 7%, дар энергияи E_γ = 10 МэВ, 4%–ро ташкил мекунад. Тафтиши таҷрибаҳо донр ба тафриқаи энергиявии спектрометрӣ ҷуфт чунин натиҷаҳо дод; барои хати гамма Na–24 тафриқа 6,5 барои E_γ = 4,46 МэВ манбаи P_0+Be~8,2% гирифта шуд.

Ҳангоми кор бо спектрометри синтиллатсионии ҷуфт эҳтимолияти пайдоиши фони энергияи хурд мумкин аст асосан дар ҳолате мавҷуд бошад, ки дар спектри ченшудаи гамма–квантҳо бо энергияи наздик ба он энергияе, ки раванди пайдоиши ҷуфт сар мешавад, яъне гамма–квантҳо бо $E_\gamma \geq$1,02 МэВ монанди ченкунии гамма–спектри Na–24 бо ёрии спектрометри синтиллатсионии

ҷуфт, дар тақсимоти амплитудӣ бо энергияи 1,76 МэВ =(2.76–1.02) МэВ равшан ҷудо мешавад ва фони энергияи кам бо куллаи наонқадар калони иловагӣ дида мешавад. Мавҷудияти ин кулларо аз ҳисоби эффекти думаротибагии комптонии дар кристалли марказӣ ҳосилшуда, ва пароканиши гамма–квантҳо дар кристаллҳои канорӣ фаҳмонидан мумкин аст. Эҳтимолияти ин равванд бо афзоиши энергияи тадқиқотии гамма–квантҳо зиёд мешавад. Баъзе афзоиши спектр дар энергияи ниҳоят хурдтарин мумкин аст аз ҳисоби пуркувватшавии фотофурӯбурди гамма–квантҳои энергияшон хурд фаҳмонида шавад. Аммо ҳангоми коллиматсияи хуби манбаи гамма–афканишот ва ҳимояи хуби нишондеҳи спектрометр саҳми асосӣ ба пайдоиши фони энергияш хурдтарин ҳангоми ченкунӣ спектр бо гамма–спектрометри ҷуфт аз ҳисоби ду сабаб ба вуҷуд меояд; 1) ихроҷи энергияи бозорӣ гамма–афканишот аз кристалли марказӣ; 2) ихроҷи энергияи электронҳо, ки дар натиҷаи пайдоиши эффекти ҷуфт дар кристалли марказӣ.

Миқдори энергияеро. ки аз кристалли марказӣ кванти афканишоти бозорӣ ва ихроҷи электронҳо бо худ мебаранд, барои кристалли $NaI(Tl)$ бо чунин роҳ ҳисоб кардан мумкин аст. Бигзор электронҳое, ки дар натиҷаи эффекти ҷуфт ва афканишоти бозорӣ пайдо шуданд, бо равиши парвози гамма–квантҳои манба ба роҳи рост равон мешаванд. Сарфи энергияи электронҳоро ҳангоми ҳаракати онҳо дар кристалли $NaI(Tl)$ аз таносуби зерин муайян кардан мумкин аст:

$$-\frac{dE_e}{dx} = mc^2(7.0 + 0.7\,\frac{E_e - mc^2}{mc^2}), \qquad (4.3.2)$$

Арзи кундалангии пайдоиши гамма–квантҳои афканишоти бозорӣ бо энергияи E-ро ба намуди зерин тасвир кардан мумкин аст:

$$\frac{\varepsilon\Phi_к}{E_e\Phi} = 1s(2mc^2 - \frac{\varepsilon}{E_e - mc^2}, \qquad (4.3.3)$$

дар инҷо ε–энергияи гамма–квантҳои афканишоти бозорӣ; E_e –энергияи пурраи электрон; $\Phi_к$ –арзи кундалангии пайдоиши гамма–кванти афканишоти бозорӣ бо энергияи ε ва $\Phi = \frac{z^2 z_0{}^2}{137}$. Ин арзро барои ҳарду зарраи ҷуфт интегронида, қимати миёнаи

натиҷаи интегрониро аз энергияи электрон ва позитрон ва онро ба нимаш тақсим карда, адади миёнаи гамма–квантҳои афканишоти бозориро бо энергияи ε дар воҳиди фосилаи энергияи гамма–афканишоти аввала аз формулаи зерин муайян мекунем:

$$N_\gamma \frac{d\varepsilon}{E_\gamma - 2mc^2} - 0.69\,\frac{d\varepsilon}{E_\gamma - 2mc^2} * \left\{ \ln\frac{E_\gamma - 2mc^2}{\varepsilon}\left(0.146\,\frac{E_\gamma - 2mc^2}{\varepsilon} - \right.\right.$$

$$-0.129\,\frac{E_\gamma}{\varepsilon} - 0.4\Big) + \ln\frac{1+0.1\frac{E_\gamma - 2mc^2}{mc^2}}{1-0.4\frac{\varepsilon}{mc^2}}\left(1.31\frac{E_\gamma}{\varepsilon} + 0.129\frac{E_\gamma}{mc^2} + \right.$$

$$\left.\left. +10.5\frac{mc^2}{\varepsilon} + 1.08\right) - 1.6\left(\frac{E_\gamma - 2mc^2}{\varepsilon} - 1\right)\right\}, \qquad (4.3.4)$$

дар инҷо $E_\gamma - 2mc^2$ энергияи суммавии электрону позитрон. Тахмин кардан мумкин аст. ки афканишоти бозорӣ дар ҷои дилхоҳи кристаллии марказӣ мунтазам пайдо мешавад. Эҳтимолияти онро, ки гамма–кванти афканишоти бозорӣ аз кристалли марказӣ баромада ба равиши дастаи аввалини гамма–квант парвоз мекунад, аз таносуби зерин меёбем:

$$\int_v^d \frac{e^{-\mu(\varepsilon)x}}{d}\,dx = \frac{1}{d\,\mu(\varepsilon)}\left[1 - e^{-\mu(\varepsilon)x}\right], \qquad (4.3.5)$$

дар инҷо d –дарозии кристалли марказӣ, $\mu(\varepsilon)$ –зариби хаттии фурӯбурди энергияи бозорӣ гамма–афканишот дар кристалли $NaI(Tl)$. Инчунин адади электронҳоеро, ки бо энергияи $E_e{}'$(дар ҳудуди воҳиди энергия дар як ҷуфт) аз кристалли марказӣ мебароянд, чунин муайян кардан мумкин аст:

$$N_e{}'(E_\gamma)d\left(\frac{E_e{}' - mc^2}{E_\gamma - 2mc^2}\right) =$$

$$\frac{0.08}{\ell}\,d\left(\frac{E_e{}' - mc^2}{E_\gamma - 2mc^2}\right) * \left\{\left(\frac{E_e{}' - mc^2}{E_\gamma - 2mc^2}\right)\ln\frac{E_\gamma - 2mc^2}{E_e - mc^2} + 1.4\,\frac{E_e{}' - mc^2}{mc^2} - \right.$$

$$\left. -\frac{E_e{}' - mc^2}{mc^2} * \frac{E_\gamma - 2mc^2 - E_e{}'}{E_\gamma - mc^2}\ln\frac{E_\gamma - 2mc^2}{E_e - mc^2}\right\}, \qquad (4.3.6)$$

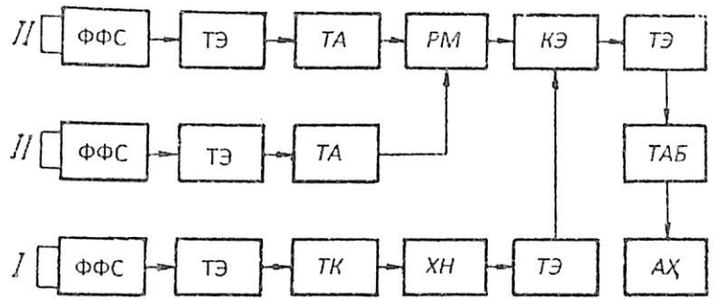
Чи тавре, ки нишон дода шудааст, баландии тақсимшавии энергияи хурди яклухт дар гамма–спектри Na–24~11,3% баландии куллаи ҷуфтро ташкил мекунад. Ҳисобе, ки аз формулаҳои (4.3.4), (4.3.5) ва (4.3.6) гузаронида шудааст, ба фурӯбурди электрон аз

қонуни $N(x) = N_0\left(1 - \frac{x}{R}\right)$ асос карда шудааст Нишон дода шуд, ки 8,3% тақсимшавии энергияи хурдтарин дар асоси ихроҷи боздории афканишот аз кристалл ва 3% дигар аз ихроҷи энергияи электронҳо мегузарад. Натиҷаҳои гирфташуда онро мефахмонанд, ки мавҷуд набудани импулсҳои ғалоғула (фон) аз коллиматсияи хуби манбаи тадқиқотии гамма–квантҳо вобаста аст. Яъне, ҳангоми ченкунии гамма–спектр мувофиқоии дурӯғин мушоҳида намешавад. Ҳангоми бо манбаҳои фосилавӣ чен кардан, асосан ченкунӣ дар реактори ядроӣ бо иштироки фони нейтронҳо мегузарад, барои аз пайдоиши мувофиқоии дурӯғин раҳо ёфтан, ки ҳамчун манбаи тақсимшавии энергияи хурд мебошад, ҳимояи спектрометрро таъмин кадан мушкил аст. Ҳангоми чен кардани гамма–спектри Na–24 ва спектри гамма–афканишот, ҳамроҳшавии пайдоиши нейтронҳо аз манбаи P_0+B_e дар иштироки манбаҳои бегонаи афканишоти тақсимшавии энергияи хурд аз рӯи баландӣ 20–30% нисбати қуллаи ҷуфтро ташкил мекунад. Зеро ченкуниҳо дар реактори ядроӣ бо иштироки интенсивияти дастаи нейтронҳои ҳаман энергия мебошад ва бақайдгирии гамма–спектри яклухти реактор аз сабаби он, ки спектрометр нисбати нейторнҳо ҳиссиёти калон дорад. хеле душвор мебошад. Барои бартараф кардани ин эффект, яъне барои кам кардани бузургии тақсимшавии энергияи хурд ва барои паст кардани ҳиссиёти гамма–спектрометри ҷуфт, дар канали идоракунандаи спектрометр таҳлилкунаки амплитудии якканаларо пайваст кардан мумкин аст (расми 4.3.4). Васеъгии тиреза ва зина ба фурӯбурди пурраи энергияи маҳвиши гамма–квантҳо дар кристаллҳои канорӣ, яъне ба энергияи 450–550 кэВ мувофиқат мекунад.

Дохил намудани таҳлилкунаки якканала ба канали идоракунандаи спектрометр возеҳан адади мувофиқоии дурӯғинро паст карда, бо пуррагӣ қайдгирии дучандаи пароканиши комптониро хориҷ мекунад, барои он ки энергияи ин равандро барои гамма–квант наздик ба 250 эВ ба охир мерасонад. Дар ҳақиқат, ҳангоми ченкунии спектрҳои гамма–квантҳои манбаҳои Na–24 ва P_0+B_e дидан мумкин аст, ки ҳангоми пайваст кардани таҳлилкунакҳо тақсимшавии энергияи хурд 10–12 маротиба кам мешавад (нигаред ба расми 4.3.5) ва аз баландии қуллаи ҷуфт 2–3% зиёд намешавад, яъне ченкунӣ дар ҳудуди аниқ мехобад.

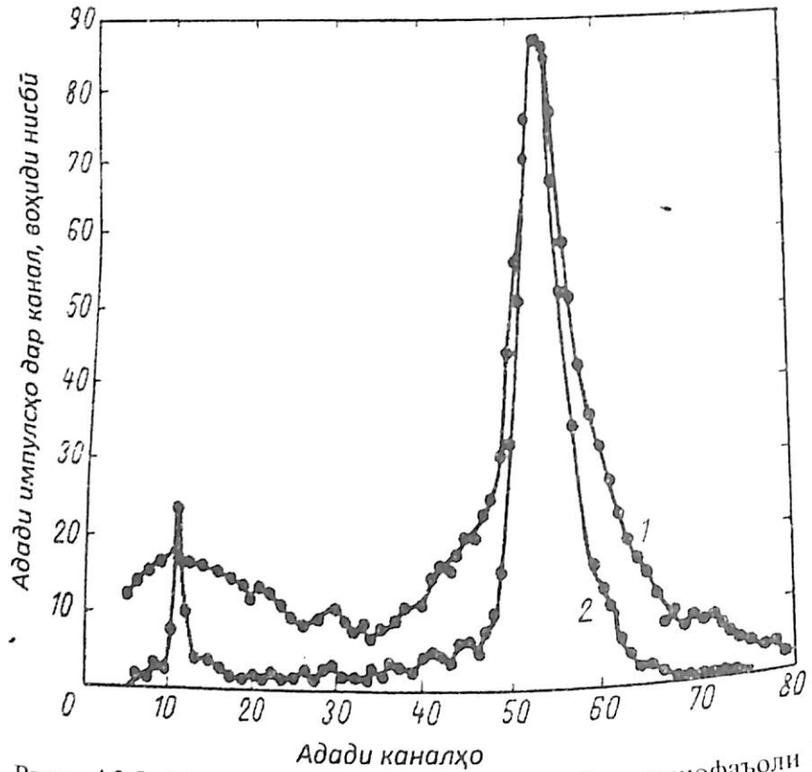
Муайян кардани ҳиссиёти гамма–спектрометри ҷуфти синтилатсионӣ нисбати нейтронҳо бо роҳи ченкунии гамма–спектри манбаи P_0+B_e иҷро мешавад. Дар спектри гамма–афканишот аз зинаи фаъол тадқиқоти реактор бо полоиши висмут ва бополоиш нишон доданд, ки спектрометр бо таҳлилкунак дар канали идоракунанда амалан ба нейтронҳо ҳиссиёт надорад. Вайроншавии гамма–спектри манба дар ҳудуди хатогии таҷриба (на аз як фоиз калон дар баландии қуллаи ҷуфт) мехобад ва дар соҳаи энергияи гамма–квантҳо хурд аз 2,5 МэВ аён аст.

Ҳангоми гузаронидани тадқиқот ва ченкуниҳо дар реактори об–обӣ дар намуди ҳавз, вайроншавии гамма–спектр як қадар зиёд аст (нигаред ба расми 4.3.5), аммо вайроншавӣ аз 8–10% зиёд намешавад ва инчунин дар соҳаи энергияи хурд аз 2,5 МэВ аён аст.



Расми 4.3.4. Реҷаи гамма–спектрометри синтиллатсионии ҷуфт бо таҳлилкунаки якканала ва канали идоракунии спектрометр: I–нишондеҳи–таҳлилкунак; II–нишондеҳи бакордароранда; ФФС–фотофузунсоз; ТЭ - такроркунаки эммитерӣ; ТЯ–таҳлилкунаки якканала; ТК - тақвиятдиҳанда; ХН - хати нигоҳдоранда; РМ–реҷаи мувофиқоӣ; ТАБ–таҳлилкунаки амплитудии бисёрканала; АҲ–асбоби ҳисобкунанда, КЭ – калиди электронӣ

Ҳамин тавр, ченкуниҳои гамма–спектрҳо бо иштироки дастаи нейтронҳо нишон дод, ки гамма–спектрометри ҷуфт бо таҳлилкунак дар канали идоракунанда ба дастаи нейтронҳо камҳиссиёт буда, дар аксарияти таҷрибаҳо, аз ҷумла дар таҷрибаи ҳимоя, ин эффектҳо назаррас нест.



Расми 4.3.5. Спектри гамма–афканишоти манбаи радиофаъоли Na–24, ки бо спектрометри чуфт чен шудааст: 1–бе таҳлилкунак дар канали идоракунанда; 2–бо таҳлилкунак.

Бо назардошти таъсири таҳлилкунак дар канали идоракунандаи спектрометр, инчунин ченаки онҳо, тафриқаи геометрии кристаллҳо ва самаранокии гамма–спектрометри чуфт аз формулаи зерин муайян мешавад:

$$\mathcal{E}(E_\gamma) = \frac{æ(E_\gamma)}{\mu(E_\gamma)} \left(1 - e^{\mu(E_\gamma)d}\right)(1 - e^{\mu' R_{\text{миёна}}})^2 \, a R \, æ \frac{E_\gamma - E_\gamma'}{E^x{}_\gamma} \quad (4.3.7)$$

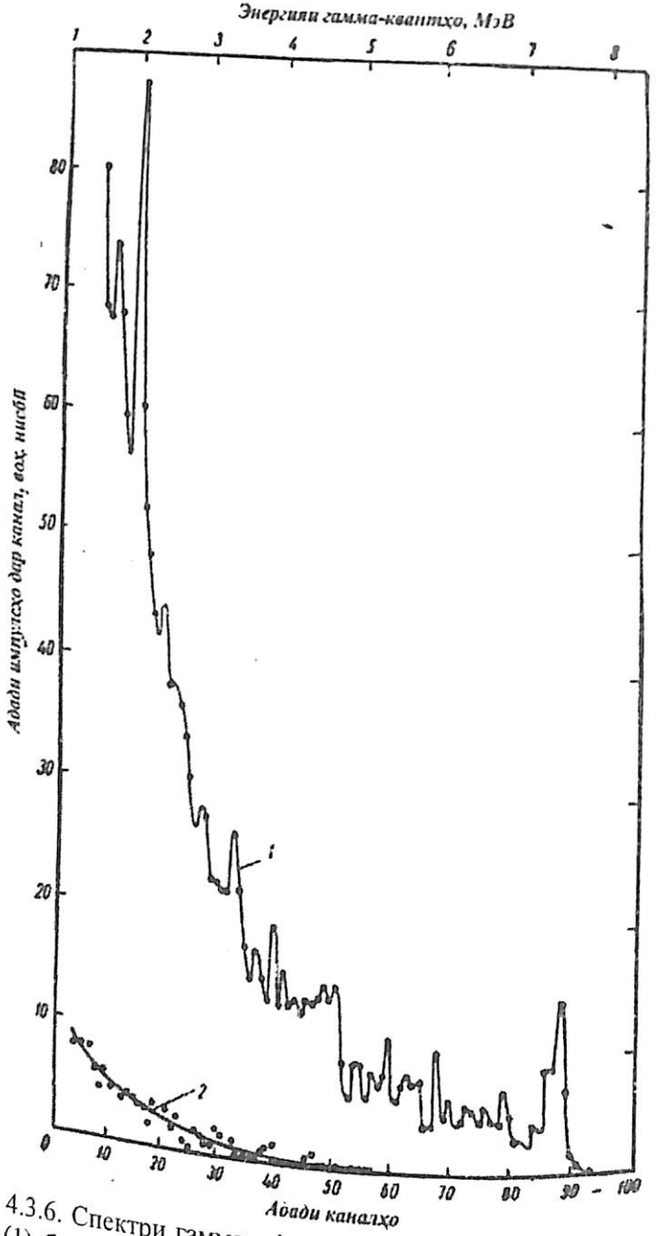
дар инҷо R зарибе, ки васеъгии канали таҳлилкунакро дар занҷири идоракунии спектрометр ба эътибор мегирад; æ–ислоҳот ба фурӯбурди гамма–квантҳои маҳвиши дар синтиллатор нишондеҳи марказӣ: a–кунҷи ҷисмӣ– синтилятори иловагӣ пуршуда; E_γ – $E_\gamma' / E^x{}_\gamma$ ислоҳот ба зинаи энергиявии спектрометр; $E^x{}_\gamma$- " зинаи" энергиявии спектрометр.

Бо афзоиши энергияи гамма–квантҳо ислоҳот дар зинаи энергиявии спектрометр тез кам мешавад, зеро барои спектрометрҳо энергияи гамма–квантҳоро бо бузургии $E^x{}_\gamma = 250$ кэВ ва $E_\gamma \geq$ 2МэВ чен мекунанд, $E_\gamma - E_\gamma' / E^x{}_\gamma = 1$ аст. Қайд карда шуд, ки $1 - e^{\mu' R_{\text{миёна}}}$ дар наздикшавии якум аз энергияи гамма–кванти манба вобаста нест ва ҳангоми коркарди натиҷаҳои ченшуда (дар воҳиди нисбӣ) онро ба назар намегиранд.

Натиҷаҳои ченшуда нишон медиҳанд, ки ҳангоми дуруст интихоб кардани кристаллҳои марказӣ ва канорӣ ба воситаи гамма–спектрометри синтиллатсионии чуфт ченкунии гамма–спектрҳоро бо боварии зиёд гузаронем, зеро бузургии фотоҳиссаи спектрометр нисбатан зиёд буда, мумкин аст пешакӣ бо формулаҳои овардашуда ҳисоб карда шавад.

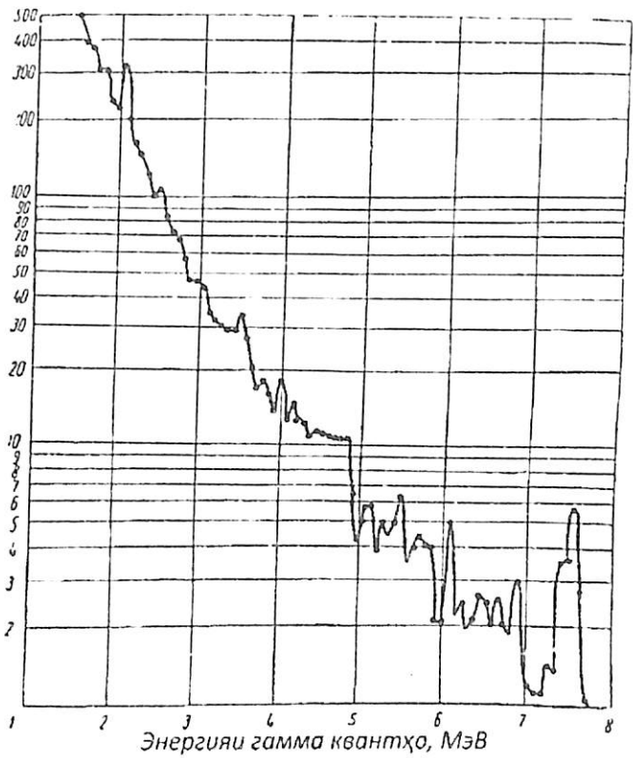
Муҳокимаҳои охирон гувоҳӣ медиҳанд, бо роҳи ҳисоб кардан маводеро тайёр кардан мумкин аст, ки аз чумла, барои коркарди натиҷаҳои гамма–спектрҳои яклухт зарур аст. Бо ин мақсад спектри якранги гамма–афканишоти асбоб намуди секунҷа ё ки росткунҷаро тасвир мекунад. Ба васеъгӣ (ба меъёри энергия) тафриқаи энергиявии спектрометр ба энергияи E_γ мувофиқат мекунад ва мунтазам тақсимшавии фони энергияи хурд аз $E_\gamma = 0$ то қимати энергияи калон барои ҳисоб гирифта шудааст.

Баландии қуллаи энергияи фурӯбурд $E_\gamma = 1{,}02$ МэВ аз бузургии самаранокии спектрометр, яъне аз формулаи (4.3.1) ё ки (4.3.6) ёфта мешавад. Ҳиссаи N_1 ҳамтаъсиркуниро дар натиҷаи эффекти чуфти гамма–квантҳо аз дастаи тадқиқотӣ ва аз қиматҳои гирифташудаи N_1 тарҳ карда, аз N_2 ва N_3, баъди интегронӣ бо формулаи (4.3.4) ва (4.3.5) муайян мекунанд. Онгоҳ баландии қуллаи чуфт $N_{қ.ч.} = N_1 - (N_2 + N_3)$ ва баландии фони энергияи хурд $(N_2 + N_3)$-ро муайян мекунанд. Коркарди натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектри яклухт бо роҳи пайдарҳам тарҳкунӣ ва тақсимшавии энергияи хурдро аз $E_{\gamma max}$ сар карда, яъне энергияи максималии гамма–квантҳои ченшудаи спектрро ҳосил мекунанд. Бо ин роҳ аз натиҷаҳои ҳисобшуда матриса тартиб дода, бо ёрии он коркарди натиҷаҳоро гузаронидан мумкин аст.



Расми 4.3.6. Спектри гамма–афканишоти асбоби тадқиқотии реактори об–обӣ (1) бо гамма–спектрометри ҷуфт ва таҳлилкунак дар канали идоракунанда чен шудааст (2–фони нейтронҳо). Ишораҳои дигар монанди формулаи (4.3.1).

Аммо дар боло қайд шуд, ки бузургии нисбӣ, ки ба он як қисми тақсимшавии яклухт ба куллан ҷуфт илова мешавад, мумкин наон қадар калон бошад. Дар ин маврид мавҷудияти спектри яклухт ҷоиз буда, онро ба назар намегиранд ва коркарди спектр танҳо ба назардошти самаранокӣ иҷро мешавад. Ба сифати мисол дар расми (4.3.7) гамма–спектри реактори обӣ (реакторе, ки дар он ба сифати ноқили гармо об истифода мешавад) (нигаред ба спектри асбоб расми 4.3.6), ки баъди хориҷ кардани фони нейтронҳо ислоҳ шудааст, танҳо вобастагӣ самаранокӣ аз энергияро мефаҳмонад. Гамма–спектри гирифташуда ба натиҷаҳои таҷрибавӣ мувофиқат мекунад. Гамма–спектр бо спектрометри синтиллатсионӣ чен шуда, ба натиҷаҳои спектрометрӣ магнитӣ мувофиқат мекунад.



Расми 4.3.7. Гамма–спектри реактори обии тадқиқотӣ (спектри асбоб нигаред ба расми 4.3.6).

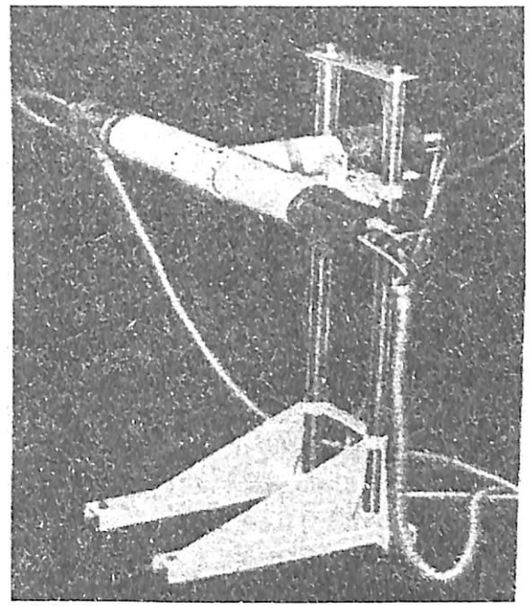
Дар охир бартарии гамма–спектрометри синтиласионии чуфтро нисбати спектрометри синтиллатсионии якккристаллӣ мукоиса карда, ба чунин хулоса омадан мумкин аст. Ҳангоми сохтани гамма–спектрометри синтиллатсионии чуфт, бояд хеч набошад як кристалли спектрометри ченакаш на он кадар калон ба сифати кристалли марказӣ $NaJ(Tl)$ ё ки $C_sJ(Tl)$ истифода шавад.

Ин кристалл бояд бо ФФС –и спектрометрӣ хуб пайваст шавад. Аз ин гурӯҳи фотофузунсозҳои спектрометрӣ (ФФС–42, ФФС–13 ва ғайра), якеашонро истифода бурдан мумкин аст. Барои нишондеҳҳои канорӣ фотофузунсозҳои (ФФС) дилхохро истифода бурдан мумкин аст, аммо вобаста аз шароит бояд фотокатоди онҳо калон бошад, масалан ФФС–24. Агар спектрометр аз рӯи речаи 4.3.4 омода бошад, он гох бояд нишондеҳҳои канорӣ спектрометр бошанд.

Азбаски самаранокии спектрометри чуфт на он кадар калон аст, он гох хангоми ченкуниҳо масъалаи устувории спектрометр дар навбати аввал меистад. Махсусан устувории ФФС нақши асосиро мебозад. Тадкикотҳои бисёркаратаи ФФС–хо нишон доданд, ки дар устувории ФФС маводҳои дар онҳо истифодашаванда таъсир мерасонанд. Устувории онҳо аз сохтани системаи динодҳо ва сохти камераи дохилӣ вобаста аст. Дар вактҳои ҳозира устувории хуб бо нақша гирфта шуда, системаи динодии чиҳарда (ФФС–11, ФФС–13, ФФС–49 ва ғайра), нисбати устувории ФФС бо системаи динодии куттишакл (ФФС–42, ФФС–43 ва ғайра) якчанд маротиба зиёд мекунад. Синтиллаторҳои канории бакордарории нишондеҳ метавонад дилхох бошанд, аммо аз хама беҳтар кристалли $NaJ(Tl)$ ё ки $C_sJ(Tl)$ аст, барои он ки истифодабарии синтиллаторҳои пластмассеӣ ё моеъӣ ба зиёд кардани ченакҳои нишондеҳи канорӣ ва инчунин ба зиёд кардани блоки ҳимоягии нишондеҳи спектрометр меоварад. Истифодабарии кристалл, нишондеҳи спектросан, кристалли $C_sJ(Tl)$, имкон медиҳад, ки блоки берунбарории мачмуъгарро созем, барои мисол дар расми 4.3.8 намуди берунаи блоки берунбарории спектрометри чуфт нишон дода шудааст. дар асбоби пушташ Т–монанди рӯшноинногузар ФФС ва кристалл чойгир аст.

Речаи кристалл дар чои буриши пӯсти лӯла чойгир аст; сарпӯши бардошташаванда дар қисми пеши пӯст ба ҳар се кристалл

озодона медарояд. Дар охири пӯсти лӯла патронҳо гузошта шудаанд, ки ба такроркунаки эмиттерӣ васл карда шуда, речаи худустувории майдони шиддати ФФС–ро таъмин мекунанд.



Расми 4.3.8. Речаи нишондеҳи гамма–спекрсанчи чуфти синтиллатсионӣ

Речаи электронӣ барои гамма–спектрсанчи чуфт мумкин аст монанди дигар спектрометрҳо интихоб карда шавад. Агар блоки нишондеҳ ва махсусан нишондеҳҳои канорӣ хеле хуб ҳимоя карда шаванд, он гоҳ ҳамтаъсироти гамма–афканишоти пароканиш аз адади зиёди мувофиқоии тасодуфӣ ягон асоси хавотир шуданро надорад. Речаи мувофиқӣ метавонад дорои тафриқаи вақтии 10^{-7} сон бошад. Чи тавре ки пеш қайд кардем, ин талаботҳо, ки аз рӯи принсипи Россӣ васл шудааст, речаро қаноат мекунонад. Агар адади мувофиқоии тасодуфӣ зиёд бошад, он гоҳ, чи тавре, ки аз таносуби (4.2.7), маълум аст, тафриқаи вақти речаи мувофиқӣ бояд кам карда шавад. Речаи мувофиқӣ бо тафриқаи вақти 10^{-8} сон, дар диноди кристаллӣ барои пешакӣ башаклдарории импулсҳо мувофиқат мекунад.

4.4. ГАММА–СПЕКТРОМЕТРИ ДУКРИСТАЛЛӢ БО ИДОРАКУНИИ АМПЛИТУДАИ СУММАВӢ

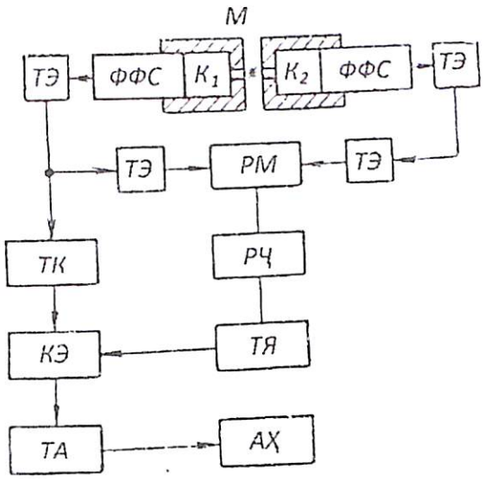
Ҳангоми истифода бурдани спектрометри дукристаллӣ, ба натичаҳои хеле хуби тафрикаи энергиявӣ соҳиб шудан мумкин аст. Қисми ларомади таҳлилкунакро импулси амплитудаи суммавӣ мекушояд. Дар расми 4.4.1 речаи ин намуди спектрометр нишон дода шудааст.

Манбаи нуктаги гамма–афканишоти М-ро байни ду кристалли *NaJ(Tl)* ҷойгир мекунанд, ки бо ҳоначаи курғошими ҳимоявӣ ихота шудааст. Гамма–афканишот аз манбаи нуктагӣ, ки дар байни кристаллҳо ҷойгир шудааст, ба кристалл афтида, аз сӯрохии ҳамсояги мегузарад.

Импулс аз баромади яке аз фотофузунсозҳо баъди таквияёбиҳандаи ТК ба калиди электронии КЭ пас ба таҳлилкунаки амплитудии импулс мегузарад. Якбора импулс аз ин фотофузунсоз ба речаи чамъкунии импулсҳо РҶ мегузарад. Импулс аз дигар фотофузунсоз (ФФС) ҳам ба речаи чамъкунӣ мегузарад. Импулси суммавӣ бо дигар таквиятдиҳаки Т таквият дода мешавад, пас аз таҳлилкунаки якканала ТЯ мегузарад, ки он импулсҳороро чудо мекунад, ки амплитудаашон ба амплитудаи суммавӣ баробар буда, ба фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо дар ҳар ду нишондеҳ мувофикат мекунад. Импулси суммавӣ аз таҳлилкунанда гузашта, танзимкунаки якинтихобиро ТЯ ба кор медарорад, ки импулси он калиди электрониро КЭ)–ро мекушояд.

Зинаи таҳлилкунаки якканала ва васеъгии тирезачаи он чунин интихоб мешаванд, ки вай танҳо он импулсҳоеро гузаронад, ки амплитудаи онҳо ба амплитудаи суммавии сигналҳои ҳарду ҳангоми фурӯбурди пурраи гамма–квант дар ин ё дигар нишондеҳ нишондеҳ баробар бошад. Ҳамин тавр, мисол ҳангоми чен кардани спектрҳои каскадии гамма–гузаришҳо, зина бояд ба энергияи савияи ядро, ки ҳангоми гузариш хориҷ мекунад, мувофикат кунад. Дар ин маврид, таҳлилкунаки якканала якчоя бо речаи ҷамъкунӣ дар ин спектрометр вазифаи речаи мувофикоиро ичро мекунад. Аммо барои боварии калон ба кори речаи мувофикоиро махсусан дар шароити афзоиши фон, дар байни нишондеҳҳо речаи мувофикой пайваст кардан мумкин аст, ки кори таҳлилкунаки якканаларо ё ки речаи

мувофикоиро идора кунад. Спектрометр имкон медиҳад, ки спектрро ба намуди ду фотоқулла бе ғалоғулаи комптонӣ ва бе ҷуфти қуллаҳо муайян кунем. Бартарии натиҷаҳои гирифта дар ин мавриди, намоён аст.



Расми 4.4.1. Речаи гамма–спектрометри дукристаллӣ бо идоракунии амплитудаи суммавӣ: М–манбаи гамма–радиофаъол; $К_1$ ва $К_2$ кристаллҳо; Фотофузунсоз (ФФС)-ҳо; ТЭ–такроркунаки эмитерӣ; РМ-речаи мувофиқой; ТК–таквиятдиҳак; ТЯ–тағйирдиҳаки якинтихоби; КЭ–калиди электронӣ; РҶ–речаи ҷамъкунӣ; ТА–таҳлилгари амплитудӣ; АҲ–асбоби баҳисобкунанда.

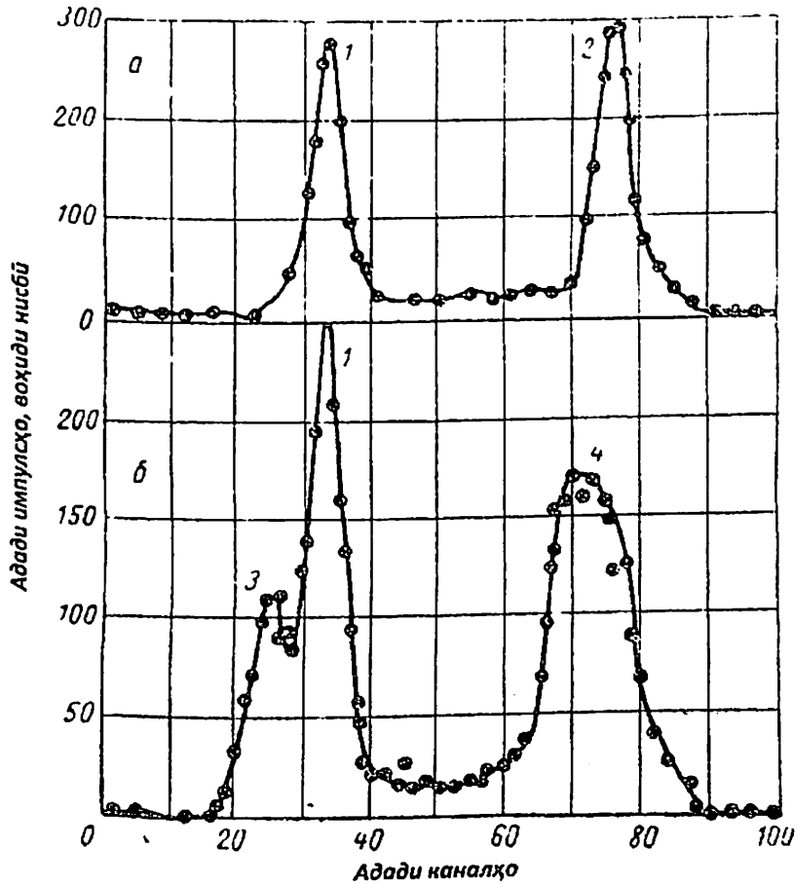
Тафрикаи энергиявии спектрометр бо идоракунии амплитудаи суммавӣ чи қадар хуб бошад, ва чи қадаре, ки канали он бад бошад, ҳамон қадар аниқтар зинаи таҳлилкунанда Т-ро барқарор мекунад. Ноаниқ барқарор кардани зина ва канали марказ $Е_м$ ба ҷуфти қулла дар спектр ва пайдоиши импулсҳои дуруғини гамма–хат меоварад, ки дар натиҷа спектр вайрон мешавад. Пайдошавии қуллаҳои дурӯғин дар спектр ҳангоми барқароркардани $Е_м < Е_0$ мегузарад, инҷо $Е_0$–энергияи савияҳои энергиявӣ, ки омухта мешаванд. Агар ки $Е_м > Е_0$ бошад, дар натиҷаи сарфи ҳиссаи импулсҳои мувофиқой спектр вайрон мешавад.

Барои мисол, таъсири аниқ баркарор кардани зинаи таҳлилкунак ва маркази он $E_м$ ҳангоми ченкунӣ гузариши каскадӣ Na -- 24, 2.76 → 1.38 → 0 аз савияи 4,12 МэВ дида мебароем. Агар канали маркази таҳлилкунак дар занҷири идоракунии спектрометр аниқ баркарор шавад, яъне $E_м$ = 4.12 МэВ бошад, он гоҳ дар мавриди якбора афтидану ба қайдгирии гамма–квант бо энергияи 1,38 МэВ мушоҳида мешавад. Мисол, дар нишондеҳи тарафи чап (нигаред ба расми 4.4.1), аммо гамма–квант бо энергияи 2,76 МэВ– тарафи рост таҳлилкунак Т-ро ба кор медарорад, агар амплитудаи суммавии импулсҳо аз ин ё дигар нишондеҳ ба $E_м$ мувофиқат кунад, зеро ин танҳо дар шароити фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо мумкин аст.

Дар ин маврид ба канали асосии таҳлилкунак импулс аз нишондеҳи тарафи чап мегузарад, ки ба фурӯбурди пурраи энергияи 1,38 МэВ вобаста аст. Агар дар нишондеҳи тараф чап гамма–квант бо энергияи 2,76 МэВ ба нишондеҳи рост бо энергияи 1,38 МэВ афтад, он гоҳ ҳангоми фурӯбурди пурраи энергия дар ҳарду нишондеҳ ба таҳлилкунаки амплитуди ТА импулс мегузарад, ки ба энергияи 2,76 МэВ мувофиқ аст. Дигар вобастакунӣ барои мисол интихоби гузариш шуда наметавонад ва дар спектр ду қуллаи фурӯбурди пурра бо энергияи $E_{γ1}$ = 2,76 МэВ ва $E_{γ2}$ = 1,38 МэВ (нигаред ба расми 4.4.2а) пайдо мешавад.

Ҳангоми нодуруст бақарор кардани $E_м$ = 3,9 МэВ (нигаред ба расми 4.4.2б), дар спектр қуллае пайдо мешавад, ки ба гамма–квантҳо мувофиқ аст, дар ҳақиқат гамма–квантҳо бо энергияи $E_{γ1}$ = 2,76 МэВ ва $E_{γ2}$ = 1,38 МэВ ва бо энергияи $E_{γ3}$ = 2,6 МэВ ва $E_{γ4}$ = 1,1 МэВ ба каскад иштирок доранд. Ғайр аз ин дида мешавад, ки $E_{γ1} + E_{γ4} = E_м$ ва $E_{γ2} + E_{γ3} = E_м$. Пайдоиши ин қуллаҳои дурӯғин аз ҳисоби фурӯбурди пурраи энергия $E_{γ2}$ ва қисман фурӯбурди энергияи $E_{γ1}$ ва баръакс, фурӯбурди пурраи энергияи $E_{γ2}$ ва қисман фурӯбурди $E_{γ1}$ пайдо мешаванд. Зеро ҳангоми фурӯбурди пурраи энергияи $E_{γ1}$ = 2,76 МэВ дар яке аз нишондеҳ ва параканиши гамма–кванти комптонӣ боэнергияи 1,38 МэВ дар нишондеҳи дигар қуллаҳои $E_{γ1}$ ва $E_{γ4}$ аз тарафи дигар $E_{γк} = E_м -$ 2,76 МэВ = 1,1 МэВ ($E_{γк}$ –энергияи электронии комптонӣ) пайдо

мешавад. Қулла бо энергияи 1,38 МэВ ва 2,06 МэВ дар асоси фурӯбурди пурраи энергияи $E_γ$ ва параканиши комптонӣ гамма–квант бо $E_{γ1}$ = 2,76 МэВ пайдо мешавад, бинобарон $E_{γк} = E_{γ4} -$ 1,38 МэВ = 2,6 МэВ. Дар дигар ҳолатҳо канали идоракунии таҳлилкунак Т монанди ин тақсимот қабул мекунад.



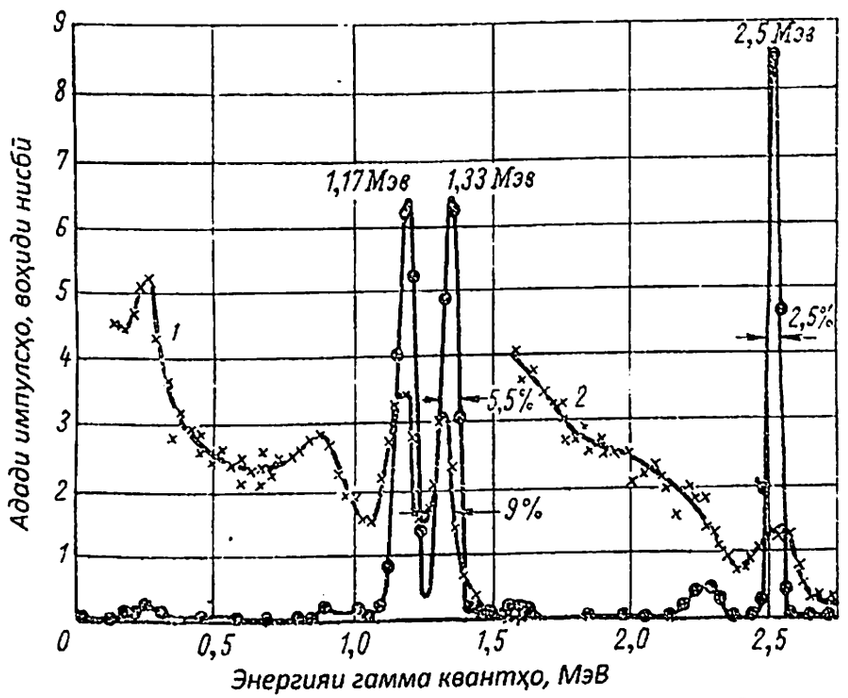
Расми 4.4.2. Спектри гамма–афканишоти манбаи радиофаъоли Na – 24, ки спектраш бо идоракунии амплитудаи суммавӣ чен шудааст; а) ҳангоми дуруст баркарор кардани $E_м(E_0$ = 4,42 МэВ;) б) ҳангоми хато баркарор кардани $E_м(E_0$ = 4,42 МэВ).

Агар пештар маълум бошад, ки каскади омӯхташаванда аз ду гамма–хат иборат бошад, он гоҳ ҳолати каналро чунин интихоб мекунанд, ки дар тақсимшавӣ танҳо ду қулла ҳосил кунем, он гоҳ ин қуллаҳо ба гамма–хатҳои ҳақиқӣ мувофиқат мекунад. Қуллаҳои дурӯғин ҳангоми ғеҷиши канал ба тири энергия тағйир меёбанд.

Мутаасифона, спекрометри идоракунии амплитудаи суммавӣ барои омӯзиши гамма–спектрҳои бефосила, гамма–спектрҳои манбаҳои дароз истифода намешавад; бартарии он чудо кардани қуллаи фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо мебошад ва дар ин гуна ченкуниҳо имконияти истифодабарӣ надоранд. Спектрометри идоракунии амплитудаи суммавӣ барои таҷрибаҳо ҷиҳати омӯзиши, мисол, ҳимояи биологӣ, коршоям нестанд. Аммо спектрометрро бомуваффақият барои омӯзиши гузариши каскадӣ аз савияҳои омӯзиши $S-33$; $C\ell-36$ ва ғайра ки ҳангоми қаппиши нейтронҳои ҳароратӣ ҳосил мешаванд, истифода мебаранд.

Барои омӯзиши баромади спектрҳо ва тақсимшавии кунҷи гамма–афканишоти қаппидашуда аз маводҳои конструксионӣ ва ҳимоявӣ, ки дар сохтани реакторҳо истифода мешаванд, коркарди махсуси блоки спектрометри берунбароваранда пешбинӣ шудааст, ки дар раванди таҷрибагузаронӣ дар ғалақаи реактор насб карда мешавад. Яке аз нишондеҳҳо дар ин блок маҳкам бехаракат буда, дигараш наметавонад аз рӯи хати камоншакл чунин ҷой иваз мекунад, ки кӯнҷи байни тирҳои колиматорҳо аз 180^0 то 60^0 тағйир ёбад. Дар ҷои буриши тирҳои колиматсионии бо сӯзан сӯрохкардашуда нишонаи маводи тадқиқотиро ҷойгир мекунанд. Ҳолати як нишондеҳро нисбати дигараш тағйир дода, метавонад на танҳо реҷаи гузариши каскадҳоро бо савияҳои ангезошида, инчунин коррелятсияи гамма–квантҳоро барқарор кунем. Ба сифати мисол дар расми 4.4.3 гамма–спектри $CO-60$ нишон дода шудааст, ки бо спектрометри идоракунии амплитудаи суммавӣ чен шудааст. Дар спектрометр кристалли $NaJ(Tl)$ бо диаметри 150 ва ғафсии 50 мм истифода шудааст. Дар ин расм бо хатчаҳо гамма–спектр нишон дода шудааст, ки бо ёрии спектрометри якқристаллӣ бо кристалли $NaJ(Tl)$ бо ин ченакҳо чен шудааст. Тафриқаи гамма–хат бо энергияи 1,33 МэВ дар низоми якқристаллӣ тақрибан ду маротиба бадтар аст, аммо тақсимшавии яклухт барои низоми якқристаллӣ характернок буда, дар низоми амплитудаи суммавӣ амалан вуҷуд на-

дорад; қуллаи хурдтарин дар энергияи 0,25;1;1,6 ва 2,3 МэВ ба пароканиши баръакси гамма–квантҳо асос шудааст. Барои энергияи 2,5 МэВ (гамма–хат, ки ба энергияи суммавӣ мувофиқ аст, ҳарду гамма–квантҳои $CO-60$) тафриқаи 2,5% ҳосил шудааст.



Расми 4.4.3. Спектри гамма–афканишоти Со – 60, ки бо гамма–спектрометр бо идоракунии амплитудаи суммавӣ чен шудааст;1–давомнокии ченкунӣ 20 сон; 2–давомнокӣ ченкунӣ 600 сон; ҳангоми идоракунии амплитудаи суммавӣ; Х–низоми якқристаллӣ.

Акнун масъалаи тафриқаи энергиявӣ ва самаранокии спектрометр бо идоракунии амплитудаи суммавиро дида мебароем. Ҳисоб мекунем, ки манба дар каскад ду гамма–квант бо энергияи E_1 ва E_2 – ро хориҷ мекунад. Эҳтимолияте, ки дар кристалл ҳамаи энергияи $E_1 = E_1{}'P_1{}'$ фурӯ меравад, баробари $E_2 = E_2{}'P_2{}'$; ҳамин тавр E_1 ва E_2 – ро дар инҷо аз ифодаи $1-e^{-\mu d}$ муайян мекунанд. Фарз кунем, ки тақсимшавии импулсҳо вобаста ба амплитуда дар

куллаи фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо $f_1(E_{\gamma 1})$ ба тақсимшавии Гаус бо флуктуатсияи миёнаи квадратӣ δ_1 ва δ_2, мувофиқ аст:

$$f_1(E_{\gamma 1}) = \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{2\pi\delta_1}} \exp\left(-\frac{{E_{\gamma 1}}' - E_{\gamma 1}}{2{\sigma_1}^2}\right), \qquad (4.4.1а)$$

$$f_1(E_{\gamma 2}) = \frac{\varepsilon_2}{\sqrt{2\pi\delta_2}} \exp\left(-\frac{{E_{\gamma 2}}' - E_{\gamma 2}}{2{\sigma_2}^2}\right), \qquad (4.4.1б)$$

Барои куллаи фурӯбурди пурран бо энергияи $E_{\gamma 1}$ мувофиқаткунанда, ҳангоми идоракунии амплитудаи суммавӣ тақсимшавии импулсҳоро чунин навиштан мумкин аст:

$$f_1(E_{\gamma 1}) = \frac{\varepsilon_4\varepsilon_2}{2\pi\sigma_1\sigma_2} exp\frac{{\Delta E_{\gamma 1}}^2}{2\sigma_1}\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{{\Delta E_{\gamma 1}}^2}{2\sigma_2}\right) exp\left[\frac{\left(\Delta E_\gamma - \Delta E_{\gamma 1}\right)^2}{2\sigma_1\sigma_2}\right] dE_\gamma, \qquad (4.4.2а)$$

дар инҷо $\Delta E_{\gamma 1} = {\Delta E_{\gamma 1}}' - \Delta E_\gamma$ $\Delta E_{\gamma 2} = {\Delta E_{\gamma 2}}' - \Delta E_\gamma$ ва $\sigma_1\sigma_2$ – флуктуатсияи миёнаи квадратии бузургии амплитудаи суммавӣ. Баъди интегронӣ ва дигаргунсозӣ, ифодаи(4.4.1) ба намуди зерин навишта мешавад:

$$f_1(E_{\gamma 1}) = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{\sqrt{2\pi({\delta_2}^{-2} + {\delta_{1,2}}^2)}} \exp\left\{-\Delta {E_{\gamma 1}}^2 \frac{{\sigma_{1,2}}^2 - {\sigma_1}^2}{2{\sigma_1}^2{\sigma_{1,2}}^2} + \frac{{\Delta E_{\gamma 1}}^2 {\sigma_{1,2}}^2 {\sigma_2}^2}{2{\sigma_{1,2}}^4({\sigma_{1,2}}^2 + {\sigma_2}^2)}\right\}, \qquad (4.4.2б)$$

Бо шабоҳат аз ифодаи (4.4.1а) ва таносуби (4.4.2б) барои куллаи пурра фурӯбурди энергияи$E_{\gamma 1}$, муодилаи амплитудаи суммавии бузургии флуктуатсияи миёнаи квадратиро барои $\delta_{1,2}$ чунин навиштан мумкин аст:

$$2{\sigma_{11,2}}^2 = \left\{\frac{{\sigma_{1,2}}^2 - {\sigma_1}^2}{2{\sigma_{1,2}}^2 + {\sigma_1}^2} + \frac{2{\sigma_{1,2}}^2 - {\sigma_1}^2}{2{\sigma_{1,2}}^2 + {\sigma_1}^2}\right\}, \qquad (4.4.3а.)$$

ё ин ки:

$${\sigma_{11,2}}^2 = \frac{\sigma_1\sqrt{{\sigma_{1,2}}^2 + {\sigma_2}^2}}{\sqrt{{\sigma_1}^2 + {\sigma_{1,2}}^2 + {\sigma_2}^2}}. \qquad (4.4.3б.)$$

Азбаски тафриқаҳои спектрометр σ_1 ва σ_2 ба σ мутаносибанд, он гоҳ ба ҷои таносуби (4.4.3б) мумкин таносуби (4.4.4а) –ро барои η нависем:

$$\eta_{1,2} = \frac{\eta_1\sqrt{{\eta_{1,2}}^2 + {\eta_2}^2}}{\sqrt{{\eta_1}^2 + {\eta_2}^2 + {\eta_{1,2}}^2}}, \qquad (4.4.4а)$$

Айнан ҳамин хел аниқ навиштан мумкин аст, ки:

$$\eta_{21,2} = \frac{\eta_2\sqrt{{\eta_{1,2}}^2 + {\eta_1}^2}}{\sqrt{{\eta_1}^2 + {\eta_2}^2 + {\eta_{1,2}}^2}}. \qquad (4.4.4б)$$

Аз таносуби (4.4.4а) ва (4.4.4б) дида мешавад, ки дар гамма–спектрометри синтиллатсионии идоракунӣ бо амплитудаи суммавӣ нисбати спектрометри яккристаллӣ тафриқаи энергивӣ хуб аст. Асосан аён аст, ки эффекти беҳтаршавии тафриқа хуб аст, агар $\eta_{1,2}$ хурд бошад. Ҳангоми $\eta_{1,2} \ll \eta_1$ ва $\eta_{1,2} \ll \eta_2$ будан, $\eta_1 \cong \eta_2$ аст, яъне тафриқаи гамма–куллаҳо бо энергияи $E_{\gamma 1}$ ва $E_{\gamma 2}$ маълум, ки якхелаанд.

Дар ин маврид, вақте, ки энергияи гамма–квантҳо дар каскад ба ҳамдигар наздиканд, беҳтаршавии тафриқа $\sqrt{2}$ маротиба зиёдшаванда мебошад. Ин гуфтаҳо дар расми 4.4.3 равшан тасвир шудааст, ки энергияи гамма–квантҳо наздик ва тафриқаи энергиявии амалан якхелаи баробар ба 5,5% доранд Ҳангоми ченкунӣ дар низоми спектрометри яккристаллӣ тафриқаи энергиявӣ баробари 9,5% мебошад.

Ифодаи (4.4.4б)–ро нисбати $E_{\gamma 1}$ интегронида, ҳосил мекунем.

$$\varepsilon_{1,1,2} = \frac{\varepsilon_1 * \varepsilon_2 * \eta_{1,2}}{\sqrt{{\eta_1}^2 + {\eta_2}^2 + {\eta_{1,2}}^2}}, \qquad (4.4.5а)$$

ва

$$\varepsilon_{2,1,2} = \frac{\varepsilon_1 * \varepsilon_2 * \eta_{1,2}}{\sqrt{{\eta_1}^2 + {\eta_2}^2 + {\eta_{1,2}}^2}}, \qquad (4.4.5б)$$

Яъне, паҳнои дурусти кори канали идоракунии спектрометр, самаранокӣ аз энергияи гамма–квантҳо вобаста набуда, нисбати

энергия ва баландии кулла на он қадар зиёд тағйир мейёбад. Ин гуфтаҳо дар расми 4.4.3 дуруст тасвир шудааст.

Натиҷаҳои баррасишуда дар бораи самаранокӣ ва тафриқаи гамма–спектрометр бо идоракунии амплитудаи суммавӣ боз як бори дигар сифатан истифодабарии савияи баланди онро мефаҳмонад. Дар ҳақиқат, ҳосил кардани ин қадар тафриқаи энергиявии баландро дар спектрометри синтиллатсионии дигар намудҳо ҳосил кардан душвор аст.

4.5. СПЕКТРОМЕТРҲОИ ГАММА–АФКАНИШОТ. ЧЕН КАРДАНИ ЭНЕРГИЯИ ПУРРАИ ГАММА–КВАНТҲО

Баъд аз якчанд соли пайдоиши кристаллҳои синтиллатсионӣ спектрометрҳои $NaI(Tl)$ ва $CsI(Tl)$-и ченакашон калон (диаметр ва ғаф-сии 60 мм ва калонтар аз ин) имконият доданд, ки коркард ва тадқиқоти спектрометри гамма–афканишот, энергияи гамма–квантҳо, ки пурра ё қис-ман фурӯ мераванд, омӯхта шавад. Фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо дар синтиллаторҳои ҳаҷмашон калон аз ҳисоби рӯйдоди яккаратаи ҳамтаъ-сироти гамма–квант бо синтиллатор, яъне дар натиҷаи фурӯбурди фотоэлек-трикӣ, инчунин да асоси пароканиши бисёркарарата дар он мегузарад.

Спектрометрҳо бо фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо бешубҳа нисбати он спектрометрҳое, ки дар боло дида баромадем, ба якчанд бартариҳоро соҳиб аст. Якум, тақсимшави яклухти электронҳои комптонӣ, ва илова намудани куллаи энергияи пурраи гамма–квант маълум шуд, ки каму назарногир аст. Яъне калон бударани бузургии фотосаҳм барои спектрометри фурӯбурди пурра шарҳ додани гамма–спектрҳои яклухт ва хаттиро осон мекунад. Дуюм, самаранокии спектрометри фурӯбурди пурра барои гамма–квантҳои энергияашон ба якчанд мегаэлектронволт баробар, тахмин 100%-ро ташкил медиҳад, яъне шароити омӯхтани гамма–спектрҳои манбаҳои радиофаъоли фаъолияташон хеле хурд мавҷуд аст. Сеюм, речаи электронии спектрометр хеле оддӣ мебошад, ки бо боварии калон кори спектрометрро таъмин мекунад.

Барои таъмини бартариҳои гуфташуда, спектрометри фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квант бояд чунин шартҳоро иҷро кунад: 1) қисми зиёдтарини пароканиши бисёркаратаи гамма–квантҳо бояд дар дохили синтиллатор гузарад; 2) ҳатман бояд ҷамъшавии рӯшноии синтиллатсия аз нуқтаҳои гуногуни синтиллатор якхела таъмин шавад; 3) адади фотонҳои рӯшноие, ки ҳар як гамма–квант фурӯ мебарад, бояд фотофузунсоз ба қайд гирад. Ин фотонҳо бояд хеле зиёд бошанд, то ки флуктуатсияи омориро ба минимум оваранд. Талаботи якумро истифодабарии синтиллаторҳои ченакашон калон таъмин мекунад. Якхела ҷамъшавии рӯшноии синтиллатсия аз нуқтаҳои гуногуни кристалл, истифодабарии синтиллаторҳои ченакашон на он қадар калонро талаб мекунад. Бояд синтиллаторҳо сифати баланд ва хосияти инъикоскунии худро дошта бошанд. Шарти сеюм иҷрошаванда аст ҳангоми истифодабарии синтиллаторҳое, ки ба хосияти калони интегралӣ баромади рӯшноӣ ва фурӯбурди хурди афканишоти рӯшноии хусусиро дошта бошанд, аз ҷумла ҳангоми истифода бурдани кристаллҳои $NaI(Tl)$ ва $CsI(Tl)$. Речаи гамма–спектрометри синтиллатсионӣ бо фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо аз речаи спектрометри яккристаллӣ фарқ намекунанд (нигаред ба расми 4.1.2).

Спектрометри синтилатсионӣ бо фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо барои тадқиқоти гамма–спектрҳои манбаҳои нуқтавӣ пешниҳод шударо айнан бо синтиллаторҳое тайёр мекунанд, ки дар дохили онҳо сӯрохӣ барои ҷойгир намудани манба бошад. Мумкин як, ду, се ё ки якчанд кристалл истифода шаванд, ки бо якчанд ФФС пайваст шуда, сигналро дар речаи махсус ҷамъ мекунанд.

Ҳангоми ченкунӣ бо гамма–спектрометри яккристаллӣ нибати спектрометри ду ё ки якчандкристаллӣ ба натиҷаҳои тафриқаи энергиявии хеле хуб соҳиб шудан мумкин аст, барои он ки мавҷудияти ду фотофузунсоз ба флуктуатсияи дубораи оморӣ меоварад ва махсусан ивазшавии параметрҳои он, аз ҷумла зариби тақвиятро, ки иҷрои он хеле мушкил аст, талаб мекунад. Истифодабарии якчанд ФФС (аз ду зиёд) дар речаи спектрометр бо як кристалл номатлуб буда, он қадар дуруст нест.

Ба сифати мисол, дар расми 4.5.1а гамма–спектри $Cz-51$ оварда шудааст, ки бо спектрометри фурӯбурди пурраи яккристаллӣ диаметраш 13,3 см ва бо спектрометри кристаллаш на он қадар калон ($2.54*3.81 см^2$) эквивалент аст, чен шудааст. Манбаи радио-

фаъоли $Cz-51$ дар ғилофаки алюминий бо ғафсии девораш 0,5 мм ҷойгир аст. Аз расми 4.5.1а. дида мешавад, ки фони комптонӣ ҳангоми ченкунӣ бо кристалли калон нисбати натиҷаҳое, ки бо кристалли ченакаш хурд гирифта шудааст, аз як дараҷа зиёдтар кам мешавад. Возеҳан афзоиш ёфтани спектр дар соҳаи энергияи хурди гамма–квантҳо ҳангоми ченкунии $Cz-51$ ба даст оварда шуд, мумкин аст аз ҳисоби пайдоиши афканишоти боздорӣ дар дохили кристалл ҳангоми гузариши баъдина ба ҳолати асосӣ V–51 фахмонида шавад.

Ҳангоми бо ин кристаллҳо чен кардани спектри $Na-24$ (нигаред ба расми 4.5.1б) натиҷаҳои аҷоиб гирифта шудаанд. Энергияи дурушти гамма–квантҳо ($E_{\gamma 1}=2.76$ МэВ) дар натиҷа пайдоиши ҷуфт осон фурӯ мераванд.

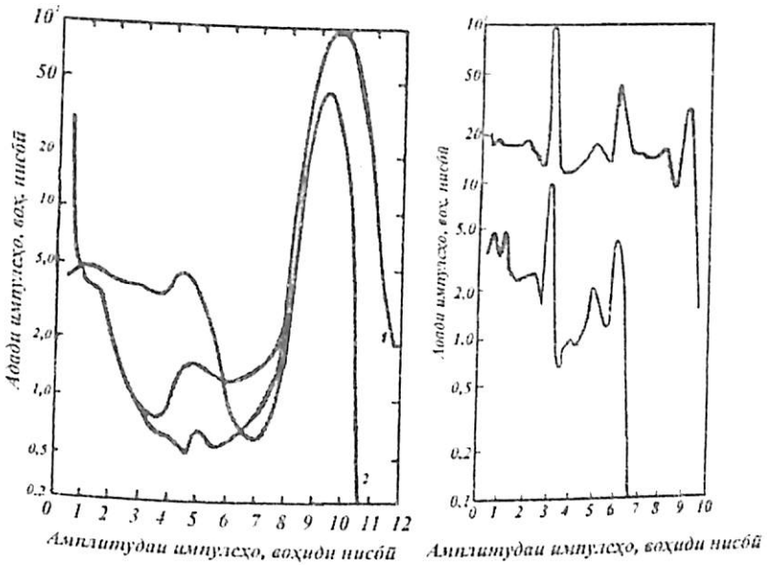
Ҳангоми ченкунӣ бо кристалли ченакаш хурд қуллаи ҷуфти калон бо энергияи 1,71 МэВ пайдо мешавад. Ченкунӣ бо кристалли калон вақте, ки манба берун аз он ҷойгир аст, қуллаи на он қадар калон бо энергияи 2,25 МэВ пайдо мешавад, ки аз кристалл рафтани танҳо як гамма–кванти маҳвишӣ вобаста аст. Зеро эҳтимолияти он, ки ҳарду гамма–кванти маҳвишӣ аз кристалли калон парвоз меқунанд, кам буда, барои кристаллҳои ченакашон нишон додашуда эҳтимолияташ 0,8%–ро ташкил мекунад.

Эҳтимоли он, ки аз кристалл як гамма–квант бо энергияи 0,51 МэВ парвоз мекунад, хеле калон аст. Бинобар он дар спектре, ки бо манбаи берун аз кристалл ҷойгиршуда чен шудааст, қулла бо энергияи 2,25 МэВ =(2,76–0,51) МэВ хеле равшан пайдо мешавад. Ҳангоми ченкунӣ бо манбае, ки дар дохили кристалл ҷойгир аст, қулла равшантаре пайдо мешавад, ки бо энергияи суммавии ду гамма–кванти каскади $Na-24$;($E_{\gamma 1}=2.76$ МэВ ва($E_{\gamma 2}=1,38$ МэВ) мувофиқ мебошад. Дидан мумкин аст, ки бақайдгирии энергии суммавӣ умуман монанди қайдгирии гамма–квантҳои алоҳида мегузарад.

Самаранокии спектрометрро бо фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо E_γ дар ғафсии кристалл d аз формулаи зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$\varepsilon(E_\gamma)=P(E_\gamma)\left(1-e^{-\mu(E_\gamma)d}\right), \qquad (4.5.1)$$

дар инҷо $\mu(E_\gamma)$ - зариби хаттии фурӯбурди пурраи энергияи гамма–афканишот дар модан кристалл, $P(E_\gamma)$-фотоҳисса барои гамма–кванти энергияаш E_γ.



Расми 4.5.1. Спектри гамма–афканишоти $Cz-51$ ва $Na-24$б. 1–ченкуниҳо бо кристалли $NaI(Tl)$ бо эквиваленти диаметраш 11,3 см; 2–бо кристалли $NaI(Tl)$ диаметраш 2,54 ва ғафсиаш 3,81 см чен шудааст.

Ҳисоби аниқтари самаранокии кристалл–спектрометр бояд бо назардошти баъзе ислоҳоти коллиматор гузаронида шавад. Шафофияти коллиматор мумкин ба назар гирифта шавад, ҳангоми дар формулаи 4.5.1 дохил намудани зарбшавандан $\Omega_{сам}/\Omega_0$, ки тавсифи асосии гамма–спектрометр мебошад. Агар ин спектрометрро танҳо барои омӯхтани спектри бефосилаи гамма–квантҳо истифода баранд. Чи тавре, ки қайд карда шуд, дар натиҷаи пароканиши бисёркарата дар синтиллаторҳои ченакашон калон адади возеҳи фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо нисбатан калон аст ва дар ин маврид, фотоҳисса ба 100% наздик мешавад.

Фотоҳиссаи спектрометр бо кристалли ченакаш калонро бо усули коркарди тасодуфӣ (усули Монте–Карло) ҳисоб кардан мумкин аст ё ки онро дар амалия бо роҳи ченкунии гамма–спектри

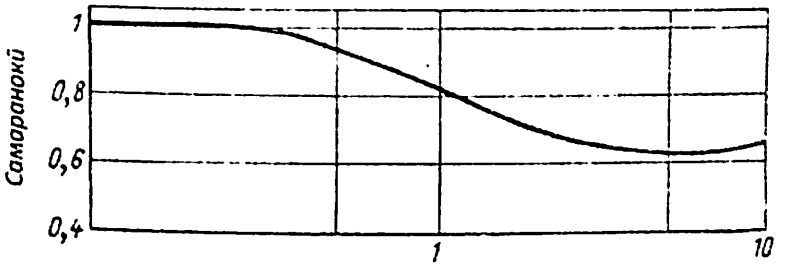
манбаи гамма–афканишоти якранг муайян мекунанд (чи тавре ки дар спектрометри яккристалли дар боби 4 пешниҳод шудааст). Дар ченкуниҳо бо гамма–манбаҳо зарур аст, ки ҳаммаънои пайдошавии максимумҳои дурӯғин дар тақсимшавии амплитудӣ аниқтар ба назар гирифта шавад (вобаста ба пароканиши афканишот дар манба, афканишоти тавсифии талий (агар кристалли истифодашуда бо талий фаъол карда бошад) ва дигар сабабҳо, ки пешакӣ огоҳ шуда буд). Ишора мекунем, ки бузургии фотоҳисса вобаста аз энергии гамма–квантҳо ба монанди спектрометри яккристаллӣ ченакаш начандон калон тағйир меёбад.

Ҳангоми муайянкунии бузургии фотоҳисса, дар амалия бо манбаи гамма–афканишоти якранг формулаи зеринро истифода мебаранд:

$$P(E_\gamma) = \frac{S_n}{S_n + S_k}, \qquad (4.5.2)$$

дар инҷо S_n - масоҳати зери қулла, ки ба фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квант мувофиқ аст; S_k – масоҳати зери тақсимшавии энергияи хурд, ки ба қуллаи фурӯбурди пурра илова мешавад. Бузургии фотоҳисса $P(E_\gamma)$, бузургии самаранокии спектрометрро бо осонӣ аз формулаи 4.5.1 ҳисоб кардан мумкин аст. Қайд кардан зарур аст, ки мухолифи пешина тафсири навъи гамма–спектрометри синтиллатсионӣ бо самаранокии зиёд бо тағйирёбии энергияи гамма–квантҳо тағйир меёбад, самаранокии спектрометри фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо бо энергияи бошад, камтар тағйир меёбад. Барои мисол дар расми 4.5.2 вобастагии ҳисоби самаранокии спектрометр бо кристалли $NaI(Tl)$-и диаметр ва ғафсиаш 80 мм аз энергияи гамма–квантҳо оварда шудааст. Ҳисоб бо формулаи 4.5.1 гузаронида шудааст бо назардошти он, ки дастаи борики гамма–квантҳо ба равиши тири кристалл равон карда мешаванд. Барои гамма–квантҳои энергияшон E<300 кэВ, самаранокӣ ε=100% аст.

Вобаста ба камшавии арзи фотоэффект ва пароканиши комптонӣ, ҳангоми афзоиши энергияи гамма–квантҳо самаранокӣ тахминан то 65% дар энергияи $E_\gamma = 3$ МэВ кам мешавад, ҳангоми зиёдшавии энергия то 10 МэВ, вобаста ба афзоиши арзӣ пайдоиши ҷуфт умуман бетағйир мемонад.



Расми 4.5.2. Вобастагии самаранокии спектрометри фурубурди пурраи энергияи гамма–квантҳо (кристалл $NaI(Tl)$ диаметр ва ғафсиаш 80мм) аз энергияи гамма–квантҳо.

Бузургии калони фотоҳисса дар якҷоягӣ бо самаранокии калон ва системаи оддии электронӣ, спектрометрро ба асбоби фурӯбурди пурраи гамма–квантҳо табдил медиҳад, ки онро дар як қатор таҷрибаҳо новобаста аз асбобҳо истифода мебаранд.

Спектрометрҳои синтиллатсионӣ бо кристалли ченакаш калонро барои чен кардани спектрҳои хаттии модаҳои радиофаъол бо мақсади ҳаммонандкунии онҳо, инчунин барои ченкунии спектрҳои бефосила ва гамма–спектрҳои дуюмин, масалан, қаппиш, афканишот истифода мебаранд. Дар навбати аввал айнан кристалли сӯроҳдорро истифода мебаранд, ки дар он изотопи тадқиқшавандаро ҷобаҷо мегузоранд. Барои ченкунии спектри афканишоти дуюмин ё ки спектрҳои бефосилаи гамма–квантҳо кристалли бесӯрохро истифода мебаранд. Дар ин ё дигар ҳолатҳо дар ченкуниҳо дар коркарди натиҷаҳои ченшуда ва мавҷудияти муайяни усул, дар иҷрои коркарди натиҷаҳои ченшуда мушкилиҳои маълум мавҷуд аст.

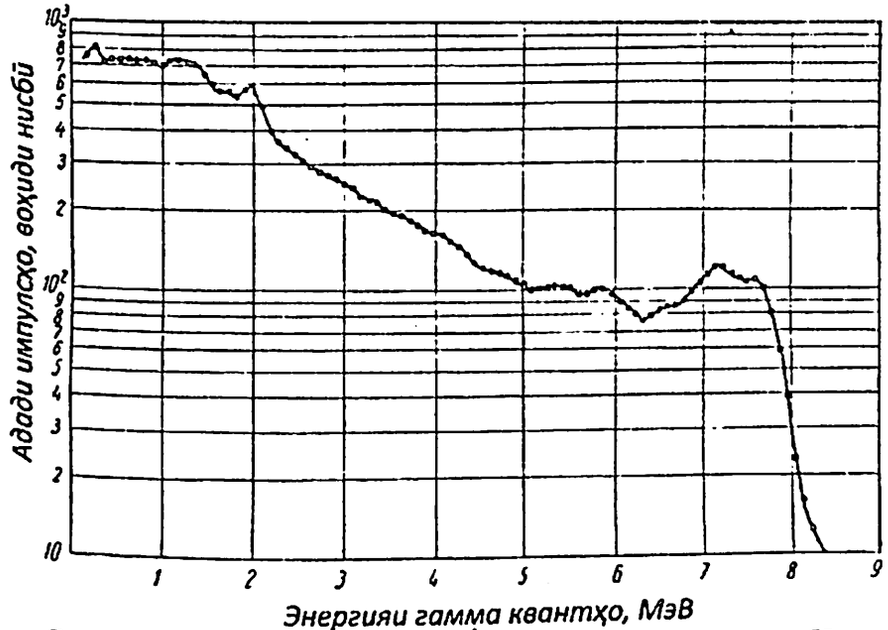
Дар баъзе мисолҳои истифодабарии спектрометрҳо бо фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо истода мегузарем, ки асосаш корҳои амалӣ барои омӯзиш ва беҳтар кардани сифати ҳимояи биологӣ ва маводҳои ҳимоявӣ мебошад. Спектрометрҳои синтиллатсионӣ бо кристалли $NaI(Tl)$-и диаметраш 90 ва ғафсиаш 100 мм-ро барои чен кардани спектрҳои гузариши гамма–афканишот аз қабати маводҳои ҳимоявии реактор истифода мебаранд. Зарурати ин гуна таҷрибаҳоро барои омӯзиши ҳимоя фаҳмонидан ҳоҷат надорад. Дар расми 4.5.3 спектри асбоб аз гам-

ма–афканишоти реакторӣ обии тадқиқотӣ, ки аз қабати обии ғафсиаш 1 м мегузарад, нишон дода шудааст. Дар спектр қуллаи энергияаш 2,21 МэВ равшан дида мешавад, ки натиҷаи қаппиши гамма–афканишот дар ҳидроген буда, қулла бо энергияи 7,6 МэВ - қаппиши гамма–афканишот дар алюминий ва оҳан мебошад (алюминий маводи асосии конструксионии реактор ва девори махзан барои об аз чугун сохта шудааст). Дар энергияи 7,1 МэВ қулла аён аст, ки ба ихроҷи яке аз гамма–квантҳои маҳвишӣ дар натиҷаи фурӯбурди 7,6 МэВ энергия аз ҳисоби пайдоиши ҷуфт вобаста аст. Дар спектри реактор қулла бо энергияи 4,5 МэВ, гамма–афканишот вобаста ба қаппиши нейтрон бо ядрои $U-238$ аён аст. Конструксияи нишондеҳи спектрометр дар боби 4 пурра баён шудааст. Ғалоғулаи нейтронҳо ҳангоми ченкуниҳо бо истифодабарии усули полоиш аз висмут хориҷ мешавад.

Бо ин спектрометрҳо тақсимшавии спектралӣ ва кунҷи гамма–афканишот баъди ҳимояи ғайриякҷинса бо ёрии спектрометри якристаллии синтиллатсионӣ гирифта шудааст. Натиҷаҳои аҷоиби спектри гамма–афканишот, ки дар об ва оҳан пароканиш шудаанд, бо ёрии спектрометри яккристаллӣ омӯхта шудааст.

Бо ёрии гамма–спектрометри яккристаллӣ гамма–спектри пароканиши бисёркаратаи манбаи фосилавӣ, аз ҷумла спектри манбаи силиндрикии ҳаҷмаш калонро омухтанд. Дастгоҳи таҷрибавӣ иборат аз коллиматори сурбӣ, ки дар дастгоҳи кинематикӣ барқарор кардаанд, имкон медиҳад коллиматорро нисбат ба манба дар зери кунҷи дилхоҳ ва дар масофаи дилхоҳ барқарор кунем. Гамма–спектрометри яккристаллии синтиллатсиониро барои омӯзиши гамма–спектрҳо бо иловагии қаппиши радиатсионии нейтронҳо ва чен кардани арзи қаппиши радиатсионӣ истифода мебаранд. Гамма–спектрометри яккристаллии синтиллатсионӣ ва инчунин спектрометр дар реҷаи ҳимоявии ғайримувофиқӣ ва спектрометри ҷуфтро барои омӯзиши спектри гамма–афканишот бо якҷоягии қаппиши нейтронҳои ҳароратӣ истифода мебаранд.

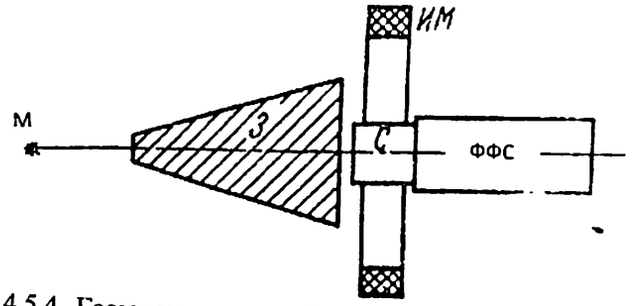
Бо ёрии спектрометри яккристаллӣ қаппиши гамма–афканишот аз намунаи ҳимояи ғайриякҷинсаи реактори ядроӣ ва усули пахшкунии онро омӯхтаанд.



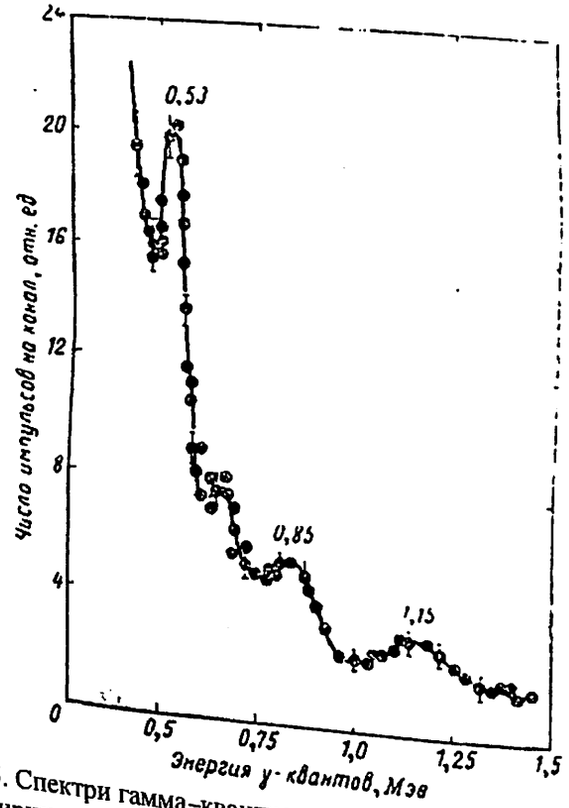
Расми 4.5.3. Спектри гамма–афканишоти асбоби реактори обӣ (пас аз қабати ғафсии об 1 м).

Аз ҷумла, нишон дода шуд, ки ба таври қатъӣ камшавии баромади қаппиши гамма–афканишотро ба даст овардан мумкин аст, агар ҳангоми ҳимоя пӯлоди таркибаш бордошта ва маводҳои таркибашон бордошта (масалан карбиди бор)-ро истифода барем. Ин маводҳо дар сарҳади байниметалӣ ва ҷузъҳои ҳидрогендори ҳимоявӣ ғузошта мешванд. Дар натиҷаи омӯзиши спектри гамма–квантҳо маълум шуд, ки нейтронҳо якҷоя бо гамма–квантҳо дар натиҷаи пароканиши ғайричандирӣ бо ядрои унсурҳо мушоҳида мешаванд.

Азбаски барои аксарияти унсурҳо арзи пароканиши ғайричандирӣ он қадар калон нест, он гоҳ адади гамма–квантҳои пайдошуда низ зиёд нестанд, бинобарон спектрометри яккристаллӣ дорои самаранокии калон буда, барои гузаронидани ченкуниҳо хеле мувофиқ мебошад. Айнан таҷрибаи омӯзиши гамма–афканишоте, ки дар раванди пароканиши ғайричандирӣ ҳосил мешавад, аз геометрияи таҷриба (расми 4.5.4.) мегузаронанд.



Расми 4.5.4. Геометрияи таҷриба барои омӯзиши гамма–афканишот ҳамроҳ бо пароканиши ғайричандирӣ нейтронҳо; М–манбаи нейторнҳо; З–ҳимояи конусӣ; ИМ–сарпӯши маводҳои тадқиқшаванда; С–кристалл; ФФС–фотофузунсоз.



Расми 4.5.5. Спектри гамма–квантҳои асбоб дар натиҷаи пароканиши ғайричандирии нейтронҳо бо энергияи 3 МэВ аз платина ҳосилшуда

Нишондеҳи спектрометр аз дастаи нейтронҳо бо экран ҳимоя карда мешавад. Дар атрофи кристалл ба монанди ҳалқа маводи тадқиқшавандаро ҷойгир мекунанд. Барои хориҷ кардани ғалоғулаи ченшуда ҳалқаи оддӣ аз маводи тадқиқшаванда бо ҳалқаи аз графит тайёршуда иваз карда мешавад ва эффекти ҷустуҷӯшаванда, яъне спектри гамма–квантҳое, ки дар пароканиши ғайричадирӣ пайдо мешаванд, фарқи ченкунӣ бо намуна ва бо ҳалқа аз графитро мегиранд. Барои мисол дар расми 4.5.5 гамма–спектри асбоб, ки дар натиҷаи пароканиши ғайричандирии нейтронҳо бо энергияи 3 МэВ бо ядрои платина ҳосил мешавад, нишон дода шудааст.

Ҳамин тавр мисолҳои истифодабарии спектрометри якккристаллӣ бо мақсади омӯзиши ҳимояи биологиро дида баромадем, ки пешомади калону фоиданок дорад.

4.6. РАМЗХОНИИ НАТИҶАҲОИ ЧЕНШУДАИ ГАММА–СПЕКТРҲОИ ХАТТӢ

Чи тавре, ки дар боло қайд кардем, барои чен кардани гамма–спектрҳои манбаҳои радиофаъоли афканишот спектрометреро, ки дар тири он сӯрох карда шуда аст, истифода мебаранд. Манбаи афканишоти ченакаш наонқадар калон дар қабати тунуки алюминий ё аз пластмасса (полиэтилен, поликсигласс ва ғайра), барои ченкунӣ дар ин сӯрохӣ ҷойгир мекунанд. Баъзе вақтҳо манба шакли лавҳаро дорад, ки ба сӯрохӣ ҷойгир кардан номумкин аст.

Дар баъзе мавридҳо, мисол ҳангоми ченкунии фаъолияти нишондеҳҳои радиофаъол ё фаъолияти ангезандаи маводҳои тадқиқотӣ роҳҳои гуногунро ҷустан лозим меояд. Азбаски бузургии фаъолият дар ин мавриди калон нест, он гоҳ манбаи лавҳагиро бевосита дар паҳлӯи кристалл мегузоранд.

Дар натиҷаи ченкунӣ бо манбаҳо, ки дар сӯрохии кристалл ҷойгиранд, ё ки ба манбае, ки дар паҳлӯи кристалл меистад, мумкин гамма–спектрҳои як ё якчад қулладорро ҳосил кунем. Агар спектр бо як қулла гирифта шавад, он гоҳ энергия ва фаъолияти онро бо осонӣ муайян мекунанд; энергия - аз рӯи хати каҷи дараҷабандии спектрометр; Ф–фаъолият бошад, аз формулаи зерин ёфта мешавад:

$$\Phi = a\frac{N}{E}RG, \qquad (4.6.1.)$$

дар инчо N –масоҳати зери қулла, ки адади импулсҳоро дар сония ифода мекунад: R –зарибе, ки фурӯбурди гамма–афканишро дар манба ба инобат мегирад; G –ислоҳот бо геометрияи таҷриба; a –зариби мутаносибӣ; E –зариби спектрометр аз рӯи фотоқулла. Агар дар тақсимшавӣ амплитуди якчанд қулла мушоҳида шавад, энергияро аз хати каҷи дараҷабандӣ меёбанд, ки онҳо ба ҳам мувофикат мекунанд. Пас аз ин тафтиш мекунанд, ки дар спектр қулла вобаста ба гузариши каскадӣ, яъне таносуби намуди $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} = E_{\gamma 1,2}$ ё ин ки $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} + E_{\gamma 3} = E_{\gamma 1,2,3}$ ва ғайра вуҷуд надошта бошад. Агар ин гуна таносубҳо дар спектр набошанд, он гоҳ натиҷаҳои ченшуда, монанди оне ки дар спектри якқулла ошкор шудааст, ба осонӣ рамзхонӣ карда мешаванд.

Дар манба агар гузариши дуюмини каскадӣ мумкин бошад, масалан $Co-60, S_c-45, S_m-155$, дар тақсимшавӣ ҳамавақт се қулла ҷой дошта метавонад, ду қулла ба энергияи якумин ё ки дигар гамма–квантҳо мувофиқ меояд, аммо қуллаи сеюм ба энергияи суммавӣ, яъне ҳолате мешавад, ки $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} = E_{\gamma 1,2}$ аст Ба қуллаҳо тақсимшавии яклухти энергияи хурд ҳамроҳ мешавад, ки пайдоиши он аз ҳисоби қисман фурӯбурди ҳамаи се энергияи қулла вобаста мебошад.

Агар ин гуна тақсимшавии амплитудӣ ҳангоми ченкунӣ бо спектрометри кристаллии сӯроҳдор ҳосил шавад, он гоҳ натиҷаҳо бо осонӣ рамзхонӣ мешаванд. Манбаи радиофаъоли фаъолияташ Ф-ро ки дар сӯроҳи кристалли калон ҷойгир аст, дида мебароем. Фарз кунем, ки ин манба дар каскад ду гамма–квант γ_1 ва γ_2-ро бо энергияи E_1 ва E_2 меафканад. Масоҳати зери қуллаҳои назди максимумро бо m_1 ва m_2 ишора мекунем. Бузургии m_1 ва m_2 масоҳати зери қуллаи суммавӣ. Бо C_1–масоҳати зери тақсимшавии амплитудиро ишора мекунем, ки дар натиҷаи фурӯбурди пурраи энергияи $E_{\gamma 1}$ ва импулси комптонӣ аз гамма–квантҳо γ_2 пайдо мешавад. Бо C_2–масоҳати зери тақсимшавии амплитудиро ишора мекунем, ки онҳоро гамма–квантҳои бо энергияи $E_{\gamma 2}$ пурра фурӯраванда ҳосил мекунанд. Агар дар кристалл импулси рӯшноии суммавӣ пайдо нашавад, он гоҳ чунин таносуб ҷой дорад; $m_1 = E_1\Phi$ ва

$m_2 = E_2\Phi$, дар инҷо E_1 ва E_2 самаранокии қайдгирии гамма–квантҳо ба γ_1 ва γ_2 мувофиқ аст. Аз нуқтаи назаре, ки ҷамъшавӣ дар кристалл иҷро мешавад, ҳосил мекунем:

$$\Phi\varepsilon_1 = m_1 + m_{1,2} + C_1, \qquad (4.6.2а.)$$

$$\Phi\varepsilon_2 = m_2 + m_{1,2} + C_2, \qquad (4.6.2б.)$$

$$\Phi\varepsilon_1\varepsilon_2 = m_{1,2}. \qquad (4.6.2в.)$$

Аз ин таносубҳо ҳосил мекунем, ки:

$$\varepsilon_1 = \frac{m_{1,2}}{m_1+m_{1,2}+C_2}, \qquad (4.6.3а.)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{m_{1,2}}{m_1+m_{1,2}+C_1}, \qquad (4.6.3б.)$$

$$\Phi = \frac{(m_1+m_{1,2}+C_1)(m_2+m_{1,2}+C_2)}{m_{1,2}}. \qquad (4.6.3в.)$$

Аз муайянкунии C_1 ва C_2 маълум аст, ки $C_2 = \Phi\varepsilon_1\varepsilon_2\frac{1-p_2}{p_1}$ аз инҷо таносуби (4.6.2а.)-ро ба эътибор гирифта, ҳосил мекунем:

$$C_1 = m_{1,2}\frac{1-P_2}{P_2}, \qquad (4.6.5а.)$$

Айнан ҳамин тавр:

$$C_2 = m_{1,2}\frac{1-P_1}{P_1}, \qquad (4.6.5б.)$$

Дар формулаи (4.6.5а.) ва (4.6.5б.) P_1 ва P_2 фотоҳиссаҳо барои гамма–квантҳои энергияшон $E_{\gamma 1}$ ва $E_{\gamma 2}$ мувофиқомада. Ифодаҳои (4.6.5а.) ва (4.6.5б.)-ро ба формулаҳои (4.6.3а.) ва (4.6.3б.) гузошта ҳосил мекунем:

$$\varepsilon_1 = \frac{P_1 m_{1,2}}{P_1 m_{1,2}+m_{1,2}}, \qquad (4.6.6.а.)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{P_2 m_{1,2}}{P_2 m_{1,2}+m_{1,2}}, \qquad (4.6.6.б.)$$

дар инҷо ε_1ва ε_2 – ҳамчун самаранокии пурран бақайдгирӣ муайян шудааст, яъне $\varepsilon_1 = 1 - e^{-\mu_1 d}$. Ин ифодаро ба назар гирифта, навиштан мумкин аст, ки:

$$P_1 = \frac{\varepsilon_1 m_{1,2}}{m_{1,2} - \varepsilon_1 m_{1,2}}, \qquad (4.6.7.а.)$$

$$P_2 = \frac{\varepsilon_2 m_{1,2}}{m_{1,2} - \varepsilon_2 m_{1,2}}, \qquad (4.6.7.б.)$$

Агар ε_1 ва ε_2 ҳисоб шуда бошад, онгоҳ P_1ва P_2-ро аз формулаҳои (4.6.7.а) ва (4.6.7.б) муайян карда мешавад; агар, ки фотоҳисса пешакӣ дар таҷриба муайян бошад ё бо ягон роҳ ҳисоб карда шуда бошад, он гоҳ самаранокии пурраи ε_1 ва ε_2 —ро ҳисоб кардан мумкин аст. Таносубҳои ҳосилшударо доир ба натиҷаҳои татқиқотшудаи гамма–спектр истифода бурда, фаъолияти манбаро чунин муайян мекунанд:

$$\Phi = \frac{(P_2 m_1 + m_{1,2})(P_1 m_2 + m_{1,2})}{P_1 P_2 m_{1,2}}, \qquad (4.6.8)$$

Инро давом дода, бо роҳи оддӣ реҷаи коҳиши изотопро дида баромада, на танҳо энергияи гамма–квант, балки адади гамма–квантҳоро дар як бетта–коҳиш муайян мекунанд.

Барои мисол гамма–спектри $Se-46$, бо мақсади сохтани реҷаи коҳиш, ки бо ёрии гамма–спектрометр бо кристалли калони сӯрохидор чен шудааст, усули таҳлили спектри асбобро дида мебароем.

Фарз кунем, ки реҷаи коҳиш ба мо маълум нест, аммо дар натиҷаи ченкуниҳо се кимати энергияи гамма–квантҳо гирифта шудааст: $E_{\gamma 1} = 0{,}89$ МэВ; $E_{\gamma 2} = 1{,}12$ МэВ; $E_{\gamma 3} = 2{,}01$ МэВ.

Фарз кардан мумкин аст, ки дар манбаи афканишоти бетта–коҳиши тадқиқшаванда, бетта–коҳиш чунин мегузарад, ки ду бетта-зарра пайдо мешавад. Бетта–заарраи энергияи калон ядроро ба савияи ангезиши γ_1 меоварад ва ядро метавонад ба ҳолати муқимӣ баргардад, танҳо бо хориҷкунии энергияи $E_{\gamma 1}$. Бетта–зарра бо энергияи хурд, ядроро ба ҳолати ангезиши энергияш $E_{\gamma 3}$ мебиёрад, гузариш ба ҳолати муқимӣ ба ду роҳ мегузарад: ё ки як гамма–квантро бо энергияи $E_{\gamma 3}$ хориҷ мекунад, ё ин ки пай дар пай ду гамма–квантро бо энергияи $E_{\gamma 3}$ хориҷ мекунад. Масоҳати зери қуллаҳои энергияшон $E_{\gamma 1}, E_{\gamma 2}$, ва $E_{\gamma 3}$ бо m_1, m_2, ва m_3 ва адади гамма–квантҳо бо ин энергия–бо N_1, N_2 ва N_3 мувофиқ буда, гузариш аз савияи $E_{\gamma 3}$ ба ҳолати муқимӣ, ки дида баромадем, нишон

медиҳад, ки $E_{\gamma 3} = E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}$. Пешакӣ медонем, ки спектрометр метавонад энергияи гамма–квантҳоро ҷамъ кунад. Ҳисоб мекунем, ки қуллаи сеюм дар натиҷаи ҷамъшавии энергияи $E_{\gamma 1}$ ва $E_{\gamma 2}$ ҳосил шуд. Инро ба назар гирифта ҳосил мекунем:

$$N_2 \varepsilon_2 = m_2 + N_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 + N_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 \frac{1 - P_1}{P_1}, \qquad (4.6.9а.)$$

ё ин ки:

$$N_2 = \frac{m_2}{\sigma_2} * \frac{P_1}{P_1 - \varepsilon_1}. \qquad (4.6.9б.)$$

N_2 —ро донеста, адади N_3 —ро ёфтан мумкин аст, яъне адади бардурӯғи гамма–квантҳои энергияшон $E_{\gamma 3}$ —ро муайян кардан мумкин аст:

$$N_3 = \frac{m_3 - N_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_3}, \qquad (4.6.10.)$$

Инчунин адади гамма–квантҳоро бо энергияи $E_{\gamma 1}$муайян мекунем:

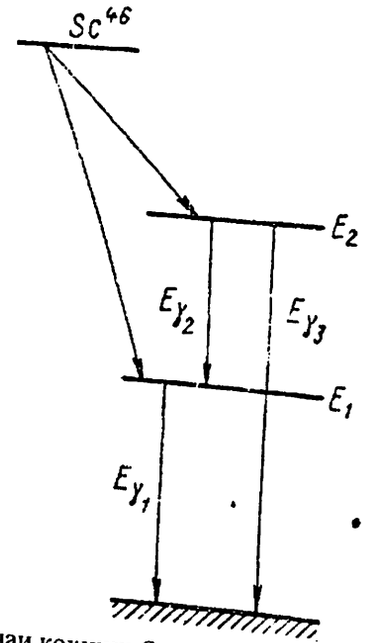
$$N_1 E_1 = m_1 + N_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \frac{1 + P_1}{P_2} N_2 \varepsilon_1 \varepsilon_2, \qquad (4.6.11.)$$

$$N_1 = \frac{m_1}{E_1} + \frac{N_2 E_2}{P_2}, \qquad (4.6.11а.)$$

Аз натиҷаҳои ёфташудаи N_1, N_2 ва N_3 реҷаи коҳишро сохтан мумкин аст (расми 4.6.1), ғайр аз ин, қимати N_3-ро барои назорати бузургии N_2 ва N_1 истифода мебаранд. Боз аниқтар метавон реҷаи коҳишро сохтан, агар каскади сегонаи гузариш ошкор шавад, яъне дар мавриди $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} + E_{\gamma 3} = E_{\gamma 1,2,3}$. Ҳангоми рамзхонӣ каскади сегонаи гузариш бояд ба назар гирифта шавад, ҳамаи роҳҳои имконияттдори бетта–коҳишро ҳангоми рамзхонӣ истифода бурдан душвортар аст. Ҳангоми тадқиқи реҷаи коҳиш аз натиҷаҳои ченкунӣ бо гамма–спектрометри кристалли калони бесурохӣ, эффекти ҷамъкунӣ ниҳоят кам мушоҳида мешавад, яъне танҳо дар он ҳолате, ки кунҷи корелятсияи гамма–квантҳо хурд аст. Реҷаи коҳишро сохта бояд тафтиш кард, ки шароити гамма–гузариш бо энергияи $(E_\gamma - 0{,}51)$ МэВ ё ки $(E_\gamma - 1{,}02)$ МэВ вуҷуд дорад ё не? Агар ин савияҳо бошанд, пас маълум мешавад, ки онҳоро хориҷ кардан хато аст, вобаста бо ихроҷи гамма–квантҳои маҳвиши реҷаи

коҳишро бояд ислоҳ кард. Ишора мекунем, ки тафсири усул дар тартиби баръакс барои муайян кардани фотоҳисса ва самаранокӣ спектрометрро бо ёрии манбаҳое, ки речаи коҳишашон на он қадар мураккаб аст, мисол бо ёрии $Na-24$, ки дар каскад гамма–квант хориҷ мекунад, истифода бурдан мумкин аст. Дар ин мавриди гамма–спектрҳо ҳатман бояд дар асоси масоҳати зери таҳсимшавии амплитудаи импулсҳо ё ки гамма–квантҳо вобаста аз энергия таҳлил шаванд.

Дар боби 4 § 1 формулаҳои (4.1.4.) ва (4.1.8.) имкон медиҳанд, ки масоҳати зери қуллаи фурӯбурди пурраи энергияро муайян кунем.



Расми 4.6.1. Речаи коҳиши $Sc-46$, ки аз натиҷаҳои чеиштудаи гамма–спектр бо спектрометри кристалли сӯроҳдор сохта шудааст.

Агар ҳангоми коркард якчанд спектрҳои чеиштуда байни ҳамдигар муқоиса карда шавад, он огоҳ пешакӣ дар масштабҳои якхела сохтани графики онҳо қулай аст.

Дар расми 4.6.2. ба ним тири $00'$ ду лағжонаки (қисми баъзе асбобҳо, ки лағжида ҳаракат мекунанд) А ва В ҷойгир аст, ки бо часпак дастакҳои дарозпашон С ва 2С-ро пайваст мекунанд. Ин узвҳо байни ҳам бо часпак ба нуқтаи С пайваст шудаанд, ки дар қисми ҳаракаткунандаи қолиб (нуқтаи F) зиёдтар ширеш шудааст. Аз монандии секунҷаҳо бамеояд, ки координатаи нуқтаи S' вобаста аз координаи нуқтаи F дар асоси туносуби зерин тағйир меёбад:

$$\frac{y_1}{y_2}=\frac{FB}{AS'}=\frac{c+a}{c-a}=X, \qquad (4.6.12)$$

ё ин ки:

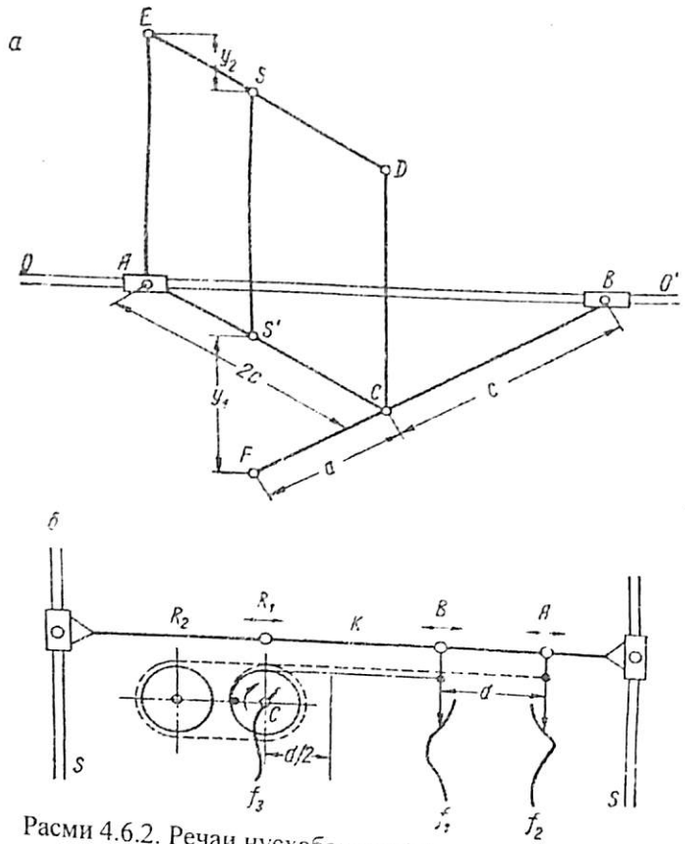
$$\frac{y_1-y_1'}{y_2-y_2'}=\frac{xy_1-y_1'}{y_2-y_2'}=X, \qquad (4.6.12a)$$

дар инҷо y_1' ва y_2' координатаҳои навъи нуқтаи S'. Аз ифодаи (4.6.2а) бармеояд, ки ҳар як ҳолати нуқтаи F ба нуқтаи S' гузаронида мешавад, ки онро дар миқёси x интихоб мекунанд.

Азбаски ҳаман дастгоҳ ба равиши $00'$ ҳаракат мекунад, он гоҳ қаламро ҷой иваз кунонида (нуқтаи F), баъзе хати качро дар миқёси дигар бо қалам ҳосил кардан мумкин аст, (қалам дар нуқтаи S' маҳкам шудааст). Барои қулай будани кор пантограф бояд аз рӯи паралелограм ҳаракат кунад ва хати кач вобаста ба ҳаракати нуқтаи S ҳосил шавад. Ченаки С=40см ва АЕ=СД=30см пантограф имкон медиҳад, ки спектрро дар миқёси 1:1,3 то 1:20 (аз тири абсиса–30 см ба тири ординат–25 см) ҳосил кунем.

Ҳангоми гузаронадани таҳлили фаъолгардонӣ дар ченкунии таҳсимшавии амплитуда метавонад гамма–хатҳои якчанд модаҳои радиофаъол иштирок кунад. Он гоҳ пеш аз коркарди ин гуна таҳсимшавии амплитуйи онро бояд пешакӣ ба ташкилкунандаҳои алоҳида паҳн кардан лозим меояд. Агар даври нимкоҳиши изотопҳо калон ё аз ҳамдигар кам фарқ кунад, он гоҳ ҷудо кардани спектр ба ташкилкунандаҳо бояд бо роҳи пай дар пай тарҳ кардани ченкуниҳои ояндаи таҳсимшавиҳое амалӣ карда шавад, ки бо изотопҳои алоҳида вобаста буда, пешакӣ маълум бошанд.

Барои иҷрои амалан тарҳкунии як таҳсимшавии амплитудӣ аз дигараш асбоби қулайи расмкашӣ пешниҳод мешавад, ки онро пантографи тарҳкунанда меноманд.



Расми 4.6.2. Речаи нусхабардор (а) ва тарҳкунанда (б)-и пантографҳо (асбобҳои нусхабарорӣ).

Пантограф чунин сохта шудааст: ба ду рӯвиши паралелӣ S (нигаред ба расми 4.6.2б) наварди ҳаракаткунандаи К пайваст шудааст, ба равиши он бо ролики ҳаракаткунандаи R_1 ду пайвандаки А ва В мегечанд. Ғайр аз ин, дар навард ғилдираки беҳаракати R_2-ро мегузоранд (радиуси роликҳо R_1 ва R_2 ба ҳам баробар аст). Дар пайвандаки А аз ғилдираки R_1 ба ғилдираки R_2 ришта гузаронида мешавад. Аз пайвандаки В ба ғилдираки R_1 ришта кашида мешавад. Ҳардуи ришта ба ғилдираки R_1 маҳкам шудааст. Бо сабаби он, ки дар ғилдирак пружин мавчуд аст, ришта ҳамавақт таранг аст (ришта ба ғилдираки R_1аз рӯи нишондоди ақрабак печонида мешавад. нигаред ба расми 4.6.2б). Дар тири ғилдираки R_1 калам маҳкам шу-

дааст ва агар пайвандакҳои А ва В якҷоя бошанд, он гоҳ ҳангоми ҳаракати наварди К ба равиши S, ки паралел аст, калам хати рост мекашад. Агар ҳарду пайвандакҳои А ва В аз рӯи навард ба равиш ва суръати якхела ҳаракат кунанд, дар ин вақт ҳам қалам хати рост мекашад, барои он, ки ҳарду ришта бо бузургиҳои якхелаи дарозӣ печонида ё кушода мешаванд. Ҳангоми ҳаракати пайвандакҳо бо бузаргии d нисбати якдигар қалам ба бузургии d/2 ҷой иваз мекунад, ҳамин тавр якбора ҳаракат кардани пайвандакҳо аз рӯи хати качи f_1 ва f_2 мегузарад, ки қалам хати качи f_3 –ро мекашад. Аз тарафи дигар, ҳар як хати качи ординат ба ними масофаи байни хати качи f_1 ва f_2 ординатаҳои мувофиқбуда баробар аст. Бо ёрии пантографи тарҳкунандае, ки дар боло навиштем, амалиётеро ичро мекунанд, ки тақсимшавии амплитудиро ба қисмҳо ҷудо кардан мумкин аст. Бинобар ин пешакӣ бояд ҳаман тақсимшавии амплитудиро дар миқёси якхела тасвир намуда, ба як саҳифаи қоғаз гузаронем. Ба сифати мисол, чӣ тавр тақсимшавии амплитудиро ҳангоми ченкунӣ бо якбора ангезонидани кристалли спектрометр бо гамма–афканишоти манбаҳои радиофаъоли $Na-24(E_{\gamma1}=2{,}76$ МэВ ва $E_{\gamma2}=1{,}38$ МэВ); Co–60 ($E_{\gamma1}=1{,}17$ МэВ ва $E_{\gamma2}=1{,}33$ МэВ) ҷудо мекунанд, дида мебароем. Дар тақсимшавии амплитудии ченшуда хати тавсифӣ хатти $Na-24$ мебошад, ки энергияи он 2,76 МэВ аст. Хати $E_{\gamma1}(1{,}33$ МэВ) хеле бад дида мешавад, барои он ки дар назди он гамма–хати Co–60 мехобад. Ба ҳамдигар мувофиқ кардани ҳолати максимумҳои ченшудан тақсимшавии амплитудӣ ва тақсимшавии амплитудии $Na-24$, ки пешакӣ бо ёрии тасвиркунаки понтограф чен шудааст, ба графики $Na-24+Co-60$ тақсимшавии амплитуди $Na-24$ гузошта мешавад. Ин графикро ба мизи хондани понтограф гузошта ва пайвандакҳои А ва Б–ро давр занонида, хати качи мувофиқомадаи $Na-24+Co-60$ ва $Na-24$ тақсимшавии амплитудии Co–60-ро ҳосил мекунем.

Усули таҳлили гамма–спектри баъдан ҷудошуда хусусияти хатгӣ дорад, аз ҷумла, ҳангоми ченкунии тақсимшавии нейтронҳо дар дастгоҳи ҳимояи биологӣ, реакторҳои ядроӣ бо ёрии нишондеҳи радиофаъол $[A\ell(n,p);Au(n,\gamma);J(n,\gamma)$; ва ғайра] татбиқи васеъ ёфт. Ин усул имконият медиҳад талаботро нисбатан паст кунем, аз ҷумла нисбати тозагии маводи нишондеҳи дастаи

нейтронҳои энергияашон якхела дар ғалоғулаи нейтронҳои интенсивияташон калон талаботро паст карда, энергияи дигарро чен кунем, инчунин ченкунии аниқро таъмин намоем. Ин усул нисбати усули ҳисоби интегралӣ хеле беҳтар аст.

4.7. КОРКАРДИ НАТИҶАҲОИ ЧЕНКУНИИ ГАММА–СПЕКТРИ ЯКЛУХТ

Спектри амплитудии импулсҳои асбоб ба воситаи спектрометри фурӯбурди пурра ҳангоми чен кардани гамма–спектри бефосила гирифта шудааст. Бо қимати дилхоҳи энергияи гамма–квантҳо, ғайр аз импулсҳои фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо E_γ, инчунин импулсҳо аз тақсимшавии комптонии гамма–квантҳои энергияшон калонтар ҳамроҳ мешаванд. Ғайр аз ин, дар тақсимшавии амплитудӣ импулсҳое ҷой доранд, ки баъди парокаиши бисёркарата дар синтиллатор дар асоси фурӯбурди нопурра пайдо мешаванд. Агар дар спектри ченшуда гамма–квантҳои энергияшон калон аз 1,02 МэВ мавҷуд бошанд, он гоҳ дар тақсимшавии амплитудӣ импулсҳое иштирок доранд, ки ба пайдоиши ҷуфт ва ихроҷи маҳвиши гамма–афканишот вобаста мебошанд.

Дар мавриди коркарди спектри амплитудии импулсҳои асбоб бояд аз ҳамаи ченкуниҳои тақсимшавӣ тақсимшавии импулсҳои фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳоро ҷудо кардан лозим аст. Он гоҳ тақсимшавии ҳосилшуда вобаста аз ҳисоби фурӯбурди пурра ба самаранокии спектрометр ва энергияи он ислоҳот дароварда мешавад. Фаҳмидан мумкин аст, ки гамма–спектрометр пеш аз истифода бурдан, бо роҳи ченкунии спектри гамма–афканишот манбаҳои якранги радиофаъол (нигаред ба ҷадвали 4.1.1) бояд дараҷабандӣ шавад.

Тафсири усули коркарди натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектрҳои яклухт барои ҳар як спектрометр истифодашаванда аст. Барои он ки ҳамаи спектрометрҳо, монанди спектрометрҳое, ки ҳама вақт бо қуллаи фурӯбурди пурраи гамма–квант мувофиқбуда тақсимоти энергияи хурдро пайдо мекунанд ва фарқият танҳо дар баландии нисбӣ ин тақсимот мебошад. Аммо қайд мекунем, ки дар натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектр бо спектрометри комптонӣ, ҳар энергияи ба тарафи сифр ба бузургии $mc^2/2$ (ҳангоми $\vartheta>150^0$)

ҷудошуда ҳангоми ченкунӣ бо спектрометри ҷуфт ба 1,02 МэВ наздик мешавад. Инро ҳангоми тартиб додани матриса барои коркарди натиҷаҳои ченшуда ҳаматарафа бояд ба назар дошт. Дар натиҷаҳои ченкуниҳо, ки аз манбаи гамма–афканишоти якранг гирифта шудаанд, пеш аз ҳама ба ҷудошии ҷадвали қиёсии энергиявӣ ислоҳот даровардан зарур аст, баъдан онро барои сохтани матриса истифода мебаранд. Тақсимшавии амплитудӣ, ки бо спектрометри яккристаллӣ ё ин ки бо спектрометри ҳимояи ғайримувофиқӣ гирифта шудааст, ислоҳот ба ҷудошии ҷадвали қиёсро талаб намекунад ва онро бевосита барои сохтани матриса истифода кардан мумкин аст. Коркарди натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектрҳои яклухтро, ки бо ёрии спектрометри ҷуфт ё комптонӣ ҳосил мекунанд, ба дохил намудани ислоҳот ба тақсимшавии амплитудӣ ва ҷудошии ҷадвали қиёсии энергиявӣ вобаста аст.

Фарз кунем, ки агар лозим шавад, ислоҳоти ҷудоширо ба ҷадвали энергиявӣ дохил карда, тақсимшавии амплитудӣ $N(a)$-ро ҳосил кунем, ки дар таркиби он импулсҳо аз фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳо ва инчунин импулсҳое, ки энергияшон қисман фурӯ мераванд, дохил мешаванд. Он гоҳ дар намуди умумӣ масъалаи муайянкунии тақсимшавии ҳақиқии энергиявии гамма–квантҳо ба ҳалли муодилаҳои интегралии намуди зерин мебинёрад:

$$N(a) = \int_0^{E_{max}} N(E_\gamma)\, S\,(E_\gamma; a) dE_\gamma\,. \qquad (4.7.1)$$

дар инҷо $N(a)$ - тақсимшавии амплитудии импулсҳои ченшуда; $N(E_\gamma)$ - тақсимшавии энергиявии ҳақиқии гамма–квантҳо ва $S\,(E_\gamma; a)$ - эҳтимолияти он, ки гамма–квант бо энергияи E_γ импулси амплитудааш а–ро пайдо мекунад. Муодилаи интегралии (4.7.1.) бо роҳи оддӣ ҳал карда намешавад, барои он ки $N(a)$ ва $N(E_\gamma)$ ба намуди функсияи математикӣ тасвир карда намешавад.

Вобаста ба ин, муодилаи (4.7.1)-ро бо интегронии ададӣ ҳал мекунанд, барои ин функсияи $S\,(E_\gamma; a)$ – ро ба намуди маводҳои ададӣ пешниҳод мекунанд, барои сохтани натиҷаҳои ченкунии манбаи якранги гамма–афканишот ва натиҷаҳо бо ҳисоби усули тасодуфии озмудашударо, ки басо фондаовар аст, истифода мебаранд.

Вобаста аз он, ки бо кадом роҳ матриса сохта мешавад, барои коркарди натиҷаҳои ченшуда формулаҳои гуногун истифода меба-

раиқ. Зеро, агар куллаи фурӯбурди пурраи энергияи гамма-квантҳоро ба намуди росткунҷаҳои асосашон ΔE_γ тасвир кунем, он гоҳ адади импулсҳои фурубурди пурраи энергияи гамма-квантҳоро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$R_{n,n}(E_{\gamma i}) = Ra(E_{\gamma i}) - \sum_{n=\ell}^{R} L(E_{\gamma n};\, E_{\gamma i})\, R_{n,n}(E_{\gamma n}), \quad (4.7.2)$$

дар инҷо $R_{n,n}(E_{\gamma i})$ –шумораи импулсҳои ченшуда дар энергияи гамма квантҳо $E_{\gamma i}$ дар микёси $\Delta E_{\gamma i}$; $R_{n,n}(E_{\gamma n})$ адади импулсҳои фурӯбурди пурра ҳангоми $E_\gamma = E_{\gamma n}$ дар микёси ΔE_γ; $L(E_{\gamma n};\, E_{\gamma i})$ миқдори импулсҳое, ки дар гаксимшавии комптонӣ ё ки дар гаксимшави ба фурӯбурди нопурра мувофиқат мекунад, дар энергияи гамма квантҳо $E_{\gamma i}$ дар микёси E_γ дар як импулс дар қуллаи фурӯбурди пурра бо энергияи $E_{\gamma n}$; R–адади фосилаҳо, ки натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектрро ба қисмҳо тақсим мекунанд, то ки барои коркарди гайёр шавад.

Гаксимшавии амплитудаи импулсҳои ҳақиқии фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳоро ҳангоми пай дар пай ҳал намудани ифодаи (4.7.2) меёбанд. Он аз i=R сар мешавад яъне аз энергияи максималии гамма–квантҳо дар спектр.

Баъд аз он ки гаксимшавии амплитудии ҳақиқӣ ёфта шуд, гаксимшавии энергияи гамма–кавнтҳоро муайян мекунанд, барои ин дар муайянкунии гаксимшавии амплитудӣ ба самаранокии спектрометр иловохоти зеринро дохил мекунанд:

$$Q_{n,n}(E_{\gamma i}) = \frac{R_{n,n}(E_{\gamma i})}{E(E_{\gamma i})}, \quad (4.7.3)$$

дар инҷо $Q_{n,n}(E_{\gamma i})$ - адади гамма–квантҳо бо энергияи $E_{\gamma i}$ дар фосилаи $\Delta E_{\gamma i}$; $\varepsilon(E_{\gamma i})$ –самаранокӣ барои гамма–квантҳои энергияшон $E_{\gamma i}$.

Барои ҳисобкунӣ бо формулаи (4.7.2) пешакӣ матрисаро мебанданд. Тартиботи сатрҳои матрисаро бо энергияи хурдаш дар спектри асбоб муайян мекунанд. Дар ин гуна матриса ва ададҳое, ки сатрҳои матрисаро мебанданд, дар қатори уфуқӣ (горизонтал)-и матриса энергияи хурд барои энергияи гамма–квантҳои

$(E_{\gamma i})$ –ро тасвир мекунанд, ки дар қатори болои матриса нишора карда мешавад. Айнан ҳамин гуна матриса барои кристалли $CsJ(Tl)$-и диаметраш 30 ва ғафсаш 7 мм бо фосилаи ΔE_γ = 1кэВ барои гамма–квантҳои энергияшон аз 40 то 1540 кэВ тартиб дода мешавад. Матриса аз натиҷаҳои ченшудаи як қатор гамма–спектрҳои якранги манбаи гамма–афканишот сохта шудааст. Ин гуна матрисаро барои энергияи хурди гамма–квантҳо дар микёси энергияи аз 10 то 390 кэВ истифода мебаранд.

Аммо тафсири усули коркарди натиҷаҳои ченкунии гамма–спектрҳои бефосила хеле мураккаб аст, аз ҷумла ҳисобу китоб аз формулаи (4.7.2) ки дар он самаронокии спектрометр алоҳида ба назар гирифта шуда, чанд амалиёт ичро карда шудааст.

Яке аз усулҳои оддии истифодабарии матриса чунин аст: чунин координатаҳоро қабул мекунем, ба ҷои E_γ истифода мебарем $E_\gamma{}^{1/2}$ қатори амудӣ ва уфуқии матрисаҳо дорои 28 қимати $E_\gamma{}^{1/2}$ аз 4,1 то 2,8 $(МэВ)^{1/2}$, яъне аз 0,1 то 7,84 МэВ тағйир меёбад.

Барои сохтани матриса натиҷаҳои ченшудаи манбаи гамма–афканишоти якранг ва натиҷаҳои усули тасодуфии озмоишро истифода бурданд. Ҳамаи натиҷаҳои ибтидоӣ чунин меъёрбандӣ шудаанд, ки масоҳати зери қуллаи фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо ба як баробар буда, ҳама хати каҷи спектри монохромати ба гурӯҳҳо ва фосилаҳо тақсим шуда, масоҳати зери хати каҷ дар ҳар як фосила чен карда мешавад. Пас вобастагии масоҳати ҳосилшударо аз энергияи мувофиқомадаи $E_\gamma{}^{1/2}$ месозанд.

Ин тақсимшавӣ ба шакли матриса трангулентӣ R_i навишта мешавад, дар инҷо индекси i ва j ба энергияи аввала E_γ дахл дорад ва сарҳади фосилаи интихобшудан E_γ ба сумман ҳар як қатори матриса ба ҳосилаи $[1 - P(E_\gamma)/\varepsilon(E_\gamma)$, инҷо $P(E_\gamma)$ -бузургии фотоҳисса, $\varepsilon(E_\gamma)$ – самаранокӣ барои энергияи E_γ, аз тарафи дигар самаранокиро бе назардошти бузургии фотоҳисса аз формулаи зерин муайян мекунанд, яъне:

$$[E(E_\gamma) = 1 - e^{-\mu(E_\gamma)d}], \quad (4.7.4)$$

дар инҷо $\mu(E_\gamma)$–зариби хаттии фурӯбурди пурраи энергияи гамма–афканишот дар синтиллатор, d–гафсии синтиллатор ба равиши дас-

ранд. Зеро, агар куллаи фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳоро ба намуди росткунҷаҳои асосашон ΔE_γ тасвир кунем, он гоҳ адади импулсҳои фурубурди пурраи энергияи гамма–квантҳоро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$R_{n,n}(E_{\gamma i}) = Ra(E_{\gamma i}) - \sum_{n=\ell}^{R} L(E_{\gamma n};\ E_{\gamma i})\, R_{n,n}(E_{\gamma n}), \quad (4.7.2)$$

дар инҷо $R_{n,n}(E_{\gamma i})$ –шумораи импулсҳои ченшуда дар энергияи гамма–квантҳо $E_{\gamma i}$; дар миқёси $\Delta E_{\gamma i}$; $R_{n,n}(E_{\gamma n})$ адади импулсҳои фурӯбурди пурра ҳангоми $E_\gamma = E_{\gamma n}$ дар миқёси ΔE_γ; $L(E_{\gamma n};\ E_{\gamma i})$ миқдори импулсҳое, ки дар тақсимшавии комптонӣ ё ки дар тақсимшавӣ ба фурӯбурди нопурра мувофиқат мекунад, дар энергияи гамма–квантҳо $E_{\gamma i}$ дар миқёси E_γ дар як импулс дар куллаи фурӯбурди пурра бо энергияи $E_{\gamma n}$; R–адади фосилаҳо, ки натиҷаҳои ченшудаи гамма–спектрро ба қисмҳо тақсим мекунанд, то ки барои коркард тайёр шавад.

Тақсимшавии амплитудаи импулсҳои ҳақиқии фурӯбурди пурраи энергияи гамма–квантҳоро ҳангоми пай дар пай ҳал намудани ифодаи (4.7.2) меёбанд. Он аз i=R сар мешавад яъне аз энергияи максималии гамма–квантҳо дар спектр.

Баъд аз он ки тақсимшавии амплитудии ҳақиқӣ ёфта шуд, тақсимшавии энергияи гамма–кавнтҳоро муайян мекунанд, барои ин дар муайянкунии тақсимшавии амплитудӣ ба самаранокии спектрометр ислоҳоти зеринро дохил мекунанд:

$$Q_{n,n}(E_{\gamma i}) = \frac{R_{n,n}(E_{\gamma i})}{E(E_{\gamma i})}, \quad (4.7.3)$$

дар инҷо $Q_{n,n}(E_{\gamma i})$ - адади гамма–квантҳо бо энергияи $E_{\gamma i}$ дар фосилаи ΔE_γ; $\varepsilon(E_{\gamma i})$ –самаранокӣ барои гамма–квантҳои энергияшон $E_{\gamma i}$.

Барои ҳисобкунӣ бо формулаи (4.7.2) пешакӣ матрисаро месозанд; тартибдиҳӣ аз аъзои $L(E_{\gamma n};\ E_{\gamma i})$, аз ададе, ки саҳми тақсимшавии энергияи хурдро дар спектри асбоб муайян мекунад, сар мешавад. Дар ин гуна матриса ва ададҳое, ки дар дохили секунҷа мавҷуданд, дар қатори уфукӣ (горизонталӣ)-и матриса тақсимшави энергияи хурд барои энергияи гамма–квантҳои

$(E_{\gamma i})$ –ро тасвир мекунанд, ки дар қатори болои матриса нишора карда мешавад. Айнан ҳамин гуна матриса барои кристалли $CsI(Tl)$-и диаметриаш 30 ва гафсиаш 7 мм бо фосилаи ΔE_γ = 1кэВ барои гамма–квантҳои энергияшон аз 40 то 1540 кэВ тартиб дода мешавад. Матриса аз натиҷаҳои ченшудаи як қатор гамма–спектрҳои якранги манбаи гамма–афканишот сохта шудааст. Ин гуна матрисаро барои энергияи хурди гамма–квантҳо дар миқёси энергияи аз 10 то 390 кэВ истифода мебаранд.

Аммо тафсири усули коркарди натиҷаҳои ченкунии гамма–спектрҳои бефосила хеле мураккаб аст, аз ҷумла ҳисобу китоб аз формулаи (4.7.2) ки дар он самаронокии спектрометр алоҳида ба назар гирифта шуда, чанд амалиёт иҷро карда шудааст.

Яке аз усулҳои оддии истифодабарии матриса чунин аст: чунин координатаҳоро қабул мекунем, ба ҷои E_γ истифода мебарем $E_\gamma^{1/2}$ қатори амудӣ ва уфукии матрисаҳо дорои 28 қимати $E_\gamma^{1/2}$ аз 4,1 то 2,8 $(МэВ)^{1/2}$, яъне аз 0,1 то 7,84 МэВ тағйир меёбад.

Барои сохтани матриса натиҷаҳои ченшудаи манбаи гамма–афканишоти якранг ва натиҷаҳои усули тасодуфии озмоишро истифода бурданд. Ҳамаи натиҷаҳои ибтидоӣ чунин меъёрбандӣ шуданд, ки масоҳати зери куллаи фурӯбурди энергияи гамма–квантҳо ба як баробар буда, ҳама хати қаҷи спектри монохромати ҳар як фосила чен карда мешавад. Пас вобастагии масоҳати ба гурӯҳҳо ва фосилаҳо тақсим шуда, масоҳати зери хати қаҷ дар ҳосилшударо аз энергияи мувофиқомадан $E_\gamma^{1/2}$ месозанд.

Ин тақсимшавӣ ба шакли матриса трангулентӣ R_t навишта мешавад, дар инҷо индекси i ва j ба энергияи аввала E_γ дахл дорад ва сарҳади фосилаи интихобшудан E_γ ба сумман ҳар як қатори матриса ба ҳосилаи $\left[1 - P\,(E_\gamma)/\varepsilon(E_\gamma)\right.$, инҷо $P(E_\gamma)$ -бузургии фотоҳисса, $\varepsilon(E_\gamma)$ – самаранокӣ барои энергияи E_γ, аз тарафи дигар самаранокиро бе назардошти бузургии фотоҳисса аз формулаи зерин муайян мекунанд, яъне:

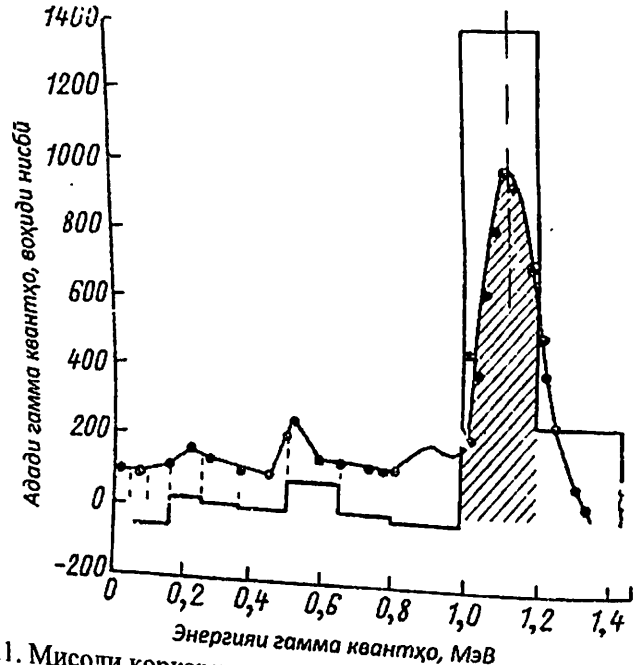
$$\left.E(E_\gamma) = 1 - e^{-\mu(E_\gamma)d}\right], \quad (4.7.4)$$

дар инҷо $\mu(E_\gamma)$–зариби хаттии фурӯбурди пурраи энергияи гамма–афканишот дар синтиллатор, d–гафсии синтиллатор ба равиши дас-

таи гамма–квантҳо. Ба аъзои асосии диагонали матриса ҳосилаи $P\,(E_\gamma)\,\varepsilon(E_\gamma)$ ҳамроҳ шудааст, бинобар ин сумман аъзоҳои ҳар як қатори матриса баробари $\varepsilon(E_\gamma)$ мебошад. Барои ҳосил кардани тақсимшавии ҳақиқӣ $N(E_\gamma)$ ҳангоми маълум будани тақсимшавии амплитудаи S бояд чунин таносуб истифода шавад:

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} N_i R_{i,j}\,, \qquad (4.7.5)$$

дар инҷо S_j ва N_i –тақсимоте, ки натиҷаҳои таҷрибавӣ ва ҳақиқӣ мувофиқат мекунад.



Расми 4.7.1. Мисоли коркарди спектри асбоб бо гамма–афканишоти Z–65 бо ёрии матрисае, ки тақсимшавии ҳақикии энергиявиро муайян мекунад.

Барои ҳисобу китоби қулай матрисаи баръакс сохта шудааст, зеро ҳисоби тақсимшавии ҳақиқӣ бо матрисаи баръакс аз рӯи ин формула гузаронида мешавад.

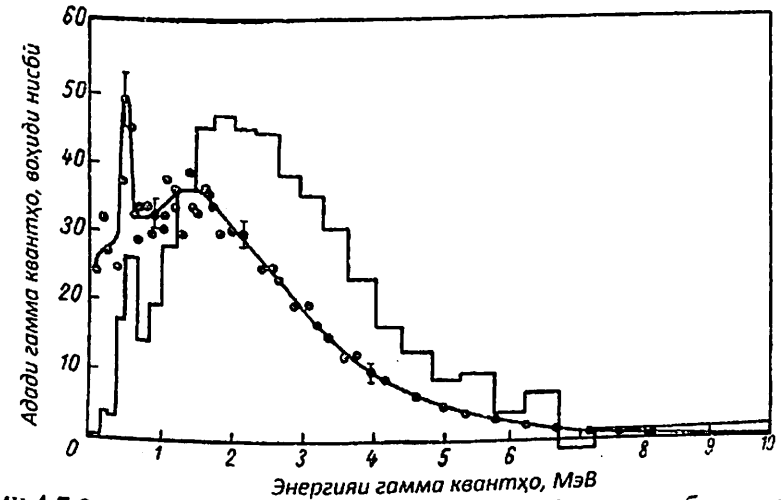
$$N_i = \sum_{i=1}^{n} S_i R_{i,j}^{-1}, \qquad (4.7.6)$$

Коркарди спектрҳо бо чунин роҳҳо мегузарад. Тақсимшавии таҷрибавӣ ба чунин гурӯҳҳо мегузарад, монанди матрисаи расми 4.7.1., барои муайян кардани масоҳат ҳар як фосилаи S_j ба $R_{i,j}^{-1}$ ба ҳар як матриса зарб мекунанд. Он гоҳ сумман натиҷаҳои гирифташуда ба адади гамма–квантҳои энергияи E_γ бакайдгирифташуда ба диагонали баръакси матрисаи гирифташуда мувофиқ меояд.

Натиҷаи охирон аз мутаносуби зерин ҳосил мешавад:

$$N(E_\gamma) = \frac{N_i}{E_{\gamma i} - E_{\gamma(i-1)}}. \qquad (4.7.7)$$

Барои мисол дар расми 4.7.2. коркарди навиштаҷот бо роҳи спектри гамма квантҳо бо энергияи 10 МэВ нишон дода шудааст, ки дар ҳимояи сурбин ғафсиаш 150 мм пароканиш шудааст. Бо равиши кунҷи 5^0 дастаи рост чен шудааст.



Расми 4.7.2. Спектри парокандашавии гамма–афканишот бо энергияи 10 МэВ дар сурб: хати каҷи ҳамвор - тақсимшавии амплитудӣ; хати каҷи зинагӣ - тақсимшавии энергиявӣ.

4.8. ЧЕНКУНИИ ГАММА–СПЕКТРҲОИ МАНБАҲОИ ФОСИЛАВИИ АФКАНИШОТ

Барои баъзе мақсадҳои амалӣ, масалан, барои омӯзиши ҳимояи биологии реакторҳои ядроӣ, истеҳсоли асбобҳои химияи ядроӣ ва

дигар манбаҳои афканишот, бояд гамма–спектри манбаҳои фосилавиро чен кард. Дар натиҷаи пароканиши бисёркарата гамма–квант дар дохили манба спектри гамма–афканишоти он ҳамавақт бефосила мебошад. Барои ченкунии гамма–спектри манбаҳои фосилавӣ намуди дилхоҳи спектрометри синтиллатсионӣро интихоб кардан мумкин аст, аммо ҳангоми интихоби навъи спектрометр бояд бузургии дастаи гамма–квантҳои аз манба хориҷшударо ба эътибор гирифтан ҳатмӣ аст. Агар дастаи гамма–квантҳо зиёд набошад, он гоҳ беҳтар аст барои ченкунӣ, спектрометри яккристалли ченакаш калонро ё ин ки спектрометри бо ҳимояи муқобил мувофиқоиро интихоб кард.

Ҳамаи ин спектрометрҳо айнан, ҳангоми ченкунӣ бо коллиматорҳо истифода мешаванд, яъне ченкунӣ бо ин спектрометрҳо аз рӯи қоида дар шароити геометрияи "хуб" гузаронида мешавад ҳол он ки гамма–спектри манбаи фосилавӣ бояд дар шароити геометрӣ "бад" чен карда шавад. Ченкунӣ дар шароити геометрияи "бад" ба наздикии он, ки ченкунӣ пай дар пай дар шароити геометрияи хуб мумкин иваз карда шавад. Бинобар ин, пай дар пай ченкунии спектрҳо нисбати манба дар зери кунҷҳои гуногун гузаронида мешавад ва натиҷаи гирифташударо бо назардошти масофа то манба ҷамъ мекунанд. Бо ёрии гамма–спектрометрҳои кристаллии ченакашон калон ченкуниро бе коллиматор гузаронидан мумкин аст (агар энергияи максималии гамма–квант дар спектри манба аз 1 то 1,5 МэВ зиёд набошад, он гоҳ барои ченкунӣ спектрометр бо кристалли ченакаш на он қадар калонро истифода мебаранд). Аммо дар ин маврид самаранокии спектрометрро бо назардошти афтиши гамма–квант ба кристалл дар зери кунҷҳои гуногун ҳисоб кардан зарур аст. Ҳангоми дида баромадани бузургии фотоҳиссаи спектрометри яккристаллии ғайриколлиматсионӣ, бояд вобастагии дарозии роҳи гамма–квант аз кунҷи афтиши он дар кристалл ба эътибор гирифта шавад. Агар шароит бошад он гоҳ самаранокӣ ва фоттоҳиссаро хуб мебуд, ки барои спектрометр дар таҷрибаи алоҳида муайян кунем.

Фарз кунем, ки барои ченкунии гамма–спектри манбаи фосилавӣ нишондеҳи коллиматсионӣро интихоб карданд. Бо сифати мисол, дида мебароем, ки чи тавр спектри гамма–афканишоти намуди қурси радиусаш R–ро чен кунем. Барои

ченкунӣ гамма–спектрометр бо коллиматорро дар масофаи L аз манба чунин барқарор мекунем, ки тири коллиматсионии сӯрохии он ба ҳамвории манба перпендикуляр бошад (нигаред ба расми 4.8.1.) ва спектри гамма–квантҳоро аз сатҳи қурси ΔS-и элемент чен мекунем. Дар ченкунии додашуда $\Delta S = \pi d^2/4$, дар инҷо d–диаметри сӯрохии коллиматори спектрометр аст.

Пас спектрометрро дар зери кунҷи ϑ_1 тоб медиҳем ва боз спектрро чен мекунем; пас ченкуниро дар зери кунҷи ϑ_2 инҷро мекунем ва ғайра. Дар натиҷаи ин гуна пай дар пай ченкуниҳо спектри ташкилкунандаро дар нуқтаи А аз элементи сатҳи қурс $\Delta S = \pi d^2/4cos\theta$ ҳосил мекунем. Агар элементи ΔS аз маркази қура дар масофаи r ҷойгир бошад, он гоҳ дар нуқтаи А ҳақиқатан гамма–квантҳо аз ҳалқаи радиусаш r ва $r + d'$ (инҷо $d' = d/cos\theta$) меафтанд. Вобаста ба ин, давомнокии гамма–спектр ба равиши кунҷи ϑ бояд зиёд шавад. Вобаста ба давомнокии ченкунӣ ҳангоми $\vartheta=\theta$ ҳамон қадар аст, чи қадаре, ки масоҳати қурси калон аз масоҳати сӯрохи коллиматсионӣ бошад. Агар коллиматор хеле калон бошад (яъне ℓ баробар ба L), он гоҳ ҳисобидан мумкин аст, ки дар синтиллатор танҳо дастаи паралели гамма–квантҳо меафтанд ва тағйирёбии масофа аз нуқтаи А то ҳамвории қурс ба назар нагирифта, ҳосил мекунанд:

$$\frac{t'}{t} = \frac{4}{cos^2\theta}\left(1 + \frac{2L}{d}sin\vartheta\right), \qquad (4.8.1)$$

дар инҷо t ва t'вақти ченкунӣ мувофиқан ҳангоми $\vartheta = 0$ ва $\vartheta > 0$ будан. Агар коллиматор кӯтоҳ бошад (яъне ℓ<L), он гоҳ:

$$\frac{t'}{t} = \frac{4}{cos^4\vartheta}\left(1 + \frac{2L}{d}sin\vartheta\right), \qquad (4.8.2)$$

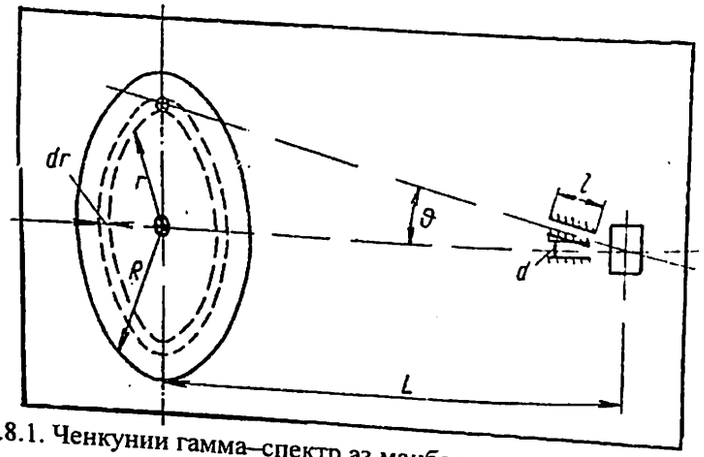
зеро ҳангоми L≫d будан, формулаҳои (4.8.1.) ва(4.8.2.)-ро ба дигар намуд навиштан мумкин аст:

$$\frac{t'}{t} = \frac{8L}{d}\frac{tg\vartheta}{tg\theta}, \qquad (4.8.1а)$$

$$\frac{t'}{t} = \frac{8L}{d}\frac{tg\vartheta}{cos^3\vartheta}, \qquad (4.8.1б)$$

Ҳамин тавр, ҳисобкуниро барои гамма–афканишоти шакли дигари дилхоҳ, мисол, силиндр ё кура гузаронидан мумкин аст. Дар

раванди ченкуниҳо кунҷи гардиши тири коллиматоро бояд мунтазам тағйир дод. Он гоҳ ҳангоми коркарди натиҷаҳои ченшуда ҳисобидан мумкин аст, ки дар зери кунҷи ϑ_1 ва инчунин дар зери кунҷи ϑ_2 гамма–квантҳое афканда мешаванд, ки спектррашон якхела мебошад.



Расми 4.8.1. Ченкунии гамма–спектр аз манбаи намуди курсӣ радиусаш R.

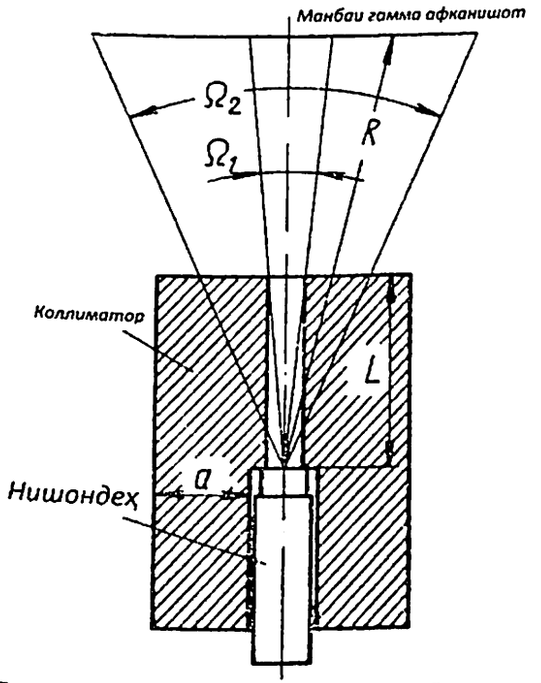
Ба фарқияти масоҳати ҳалқаи S_1 ва S_2 ислоҳот дароварда, дар ченкуниҳо спектрҳои ҳосилшударо ба намуди графикӣ ҷамъ кардан мумкин аст, он гоҳ қайд мекунем, ки:

$$S' = \frac{\pi d^2}{cos^2\vartheta_2}\left(1 + \frac{2L}{d}sin\vartheta_2,\right. \qquad (4.8.3а)$$

ва $S_1 = \pi L_2(tg\vartheta_2 - tg\vartheta_1,$ (4.8.3б)

Коркарди натиҷаҳои ченшудаи спектрҳои бефосилаи манбаҳои фосилавӣ иҷро мешавад, аз тафсире, ки мо пештар баён кардем. Агар ченкунии гамма–спектр бо спектрометри кристаллии ченакаш калон бо коллиматор гузаронида шавад, он гоҳ барои коркарди натиҷаҳо бояд матрисаеро истифода бурд, ки аз ду геометрияи муайян сохта шудааст. Ба сифати мисол, матриса барои коркарди натиҷаҳои ченшудаи спектри афканишоти манбаи нуқтагии дар об парокандашуда, матрисае, ки барои кристалли $NaJ(Tl)$ бо диаметр ва ғафсиаш 20 см тартиб дода шудааст. Дар ченкуниҳо манбаи гамма–афканишоти $C_s - 137$ истифода шудааст. Ҳангоми

бо ёрии спектрометр бо коллиматор чен кардани спектрҳои манбаҳои фосилавӣ бояд ба сифати коллиматор эътибору диққат дода шавад. Агар ғафсии коллиматор L на он қадар калон бошад, он гоҳ адади гамма–квантҳо, ки дар ҳудуди кунҷи ҷисмӣ Ω_1 аз сӯрохии коллиматор гузашта, ба кристалл меафтанд (расми 4.8.2.), аз адади квантҳое, ки ба кристалл аз деворҳои коллиматор меафтанд, мумкин кам ё ки баробар бошад.



Расми 4.8.2. Реҷаи байниҳам ҷойгиршавии манбаи гамма–афканишот ва нишондеҳи спектрометр бо коллиматор.

Яъне, дар ҳудуди кунҷи $\Omega_2 - \Omega_1$ меафтанд. Вобаста ба ин, аз ҳисоби пароканиши гамма–афканишот, ки аз девори коллиматор мегузарад, спектри ҳақиқӣ вайрон мешавад. Барои аз ин ҳодиса халосӣ ёфтан, ҳангоми ченкунӣ бояд чунин шартро иҷро кард:

$$\int_{\Omega 1}\frac{N_\gamma}{R^2}\,d\Omega > \int_{\Omega 2}\frac{N_\gamma}{R^2}R(\Omega)d\Omega, \qquad (4.8.4)$$

дар инҷо N_γ–дастаи гамма–квантҳо дар $1см^2$ манба ба $R(\Omega)$ - сустшавии дастаи гамма–квантҳо аз деворҳои коллиматор каратӣ аст. Айнан дар сохтори коллиматорҳои ғафсиашон L калон аз а (нигаред ба расми 4.8.2.) ва ҳангоми гардиши коллиматор дар зери кунҷи ϑ шафофияти девори коллиматор меафзояд. Он гоҳ барои нигоҳ доштани нобаробарии (4.8.4.) ҳимоян канории колиматорро ғафс сохтан зарур аст.

4.9. ЧЕНКУНИИ СПЕКТРҲОИ ГАММА–АФКАНИШОТ БО ИШТИРОКИ ДИГАР АФКАНИШОТҲО

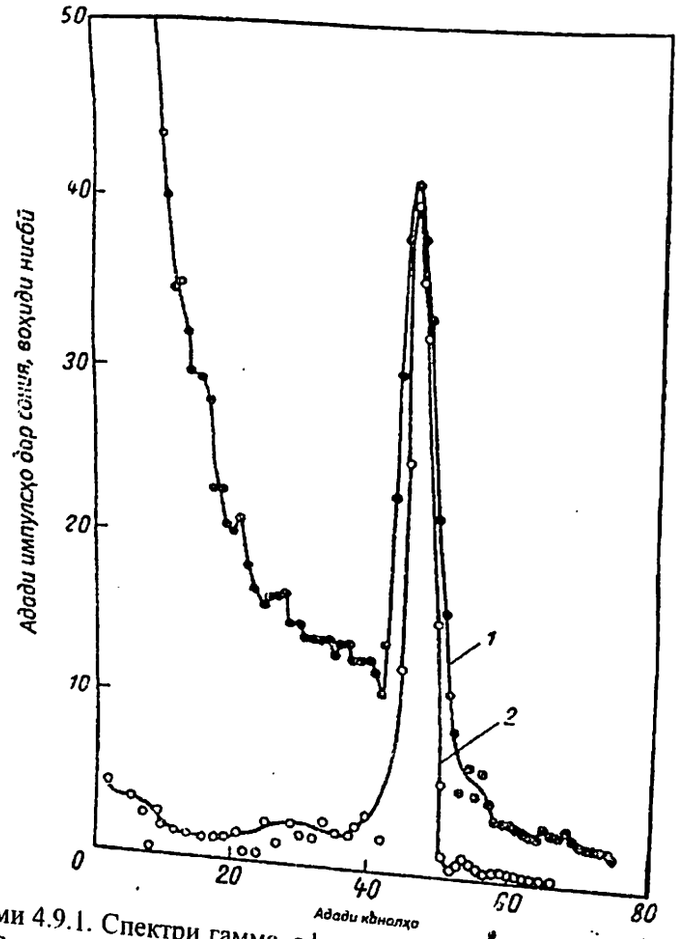
Аксар вақт масъалаҳое пайдо ва ба онҳо дучор мешавем, ки ба ченкунии спектри гамма–афканишот дар мавҷудияти ғалоғулаи нейтронҳои энергияшон гуногун алоқаманд аст. Асосан ин гуна ченкуниҳо дар реактори ядроӣ мегузарад.

Дар натиҷаи бархӯрди чандирӣ ва ғайричандирӣ пароканиши нейтронҳои сареъ бо ядрои модаи синтиллатор ва маводҳои конструксионӣ, инчунин реаксияи ядроҳо бо нейтронҳо ва ядроҳои ин маводҳо ба эҳтимолияти пайдоиши гамма–афканишот ё ин ки зарраҳои заряднок мебошад, ки мумкин аст синтиллатор ба қайд гирад, мисли он ки гамма–афканишоти манбаро ба қайд мегирад. Ҳамин тавр, ин афканишотҳои дуюмин ва зарраҳои заряднок спектри ҳақиқии гамма–афканишоти манбаро вайрон мекунанд. Вайроншавӣ асосан дар соҳаи энергияи хурди гамма–квантҳо назаррас буда, айнан дар намуди тақсимшавии яклухт ошкор мешавад. Дараҷаи вайроншавии гамма–спектри ҳақиқӣ аз таносуби дастаи гамма–квантҳо ва нейтронҳо вобаста буда, нисбат ба бузургии дастаи нейтронҳо ҳамон қадар зиёд аст. Зеро ҳангоми ченкунии гамма–спектри манбаи $P_0 + Be$ адади импулсҳо аз гамма–квантҳои энегияшон ~1,2 МэВ аз адади умумии импулсҳои дар тақсимшавии амплитудӣ (ченкунӣ бо спектрометри яккристалл) мавҷудбуда ҳамагӣ 5–7%–ро ташкил мекунад. Навъҳои гуногуни гамма–спектрометри синтиллатсионӣ дар як ченак ба нейтронҳо ҳиссиёти якхела доранд. Ҳиссиёти спектрометрҳо бо якчанд нишондеҳҳо (комптонӣ, ҷуфт ва ғайра) ба ғалоғулаи нейтронҳо камтар аст, барои он ки бақайдгирии нейтронҳо ва пайдоиши зарраҳо кванти дуюмини энергия нокифоя мебошад,

аммо зарур аст дар раванди муайяни фурӯбурди энергияи ин афканишоти дуюминро ба назар гирем. Спектрометри яккристаллӣ ба дараҷаи калонтарини ғалоғулаи нейтронҳо ҳиссиёт дорад, барои он ки пайдоиши дурахши рӯшноӣ дар кристалл дар натиҷаи ҳаргуна раванди ҳамтаъсирот ба қайдгирии импулсҳо меоварад. Аммо бояд қайд кард, ки дар гамма–спектрометрҳо бо якчанд нишондеҳҳои дастаи нейтронҳо ба пайдошавии мувофиқоии дурӯғин меоварад, ки дар натиҷа спектр вайрон мешавад, бо назардошти он, ки вайроншавии спектр аз ҳисоби мувофиқоии дурӯғин хеле қатъӣ мебошад.

Дар ҳақиқат, спектри гамма–афканишоти манбаи $P_0 + Be$ (расми 4.9.1) ин гуфтаҳоро тасвиран тасдиқ мекунад. Ҳангоми ба канали идоракунандаи гамма–спектрометри ҷуфт пайваст кардани таҳлилкунаки якканала амалан таъсири ғалоғулаи нейтронҳо пурра хориҷ мегардад.

Ҳангоми ченкунӣ бо иштироки ғалоғулаи нейтронҳо усулҳои гуногун барои қисман бартараф кардани вайроншавии спектри ҳақиқӣ вуҷуд дорад. Аз ҳаммаъноиҳо маълум мешавад, ки истифодабарии спектрометр, яъне спектрометри ҷуфт ё ин ки комптонӣ ба нейтронҳо ба дараҷаи хурд ҳиссиёт дорад. Барои кам кардани ҳиссиёти спектрометри комптонӣ нисбати нейтронҳо, чи тавре ки мо қайд кардем, ба нишондеҳи таҳлилкунак кристалли органикиро барқарор кардан мумкин аст. Агар аз ягон мулоҳиза (дар навбати аввал хурд будани самаранокӣ) ин спектрометрро истифоданашаванда ҳисобед, онгоҳ лозим меояд, ки бо спектрометри яккристаллӣ, ё ки ҳатто ҳангоми ченкунӣ бо спектрометри комптонӣ ё ҷуфт муроҷиат карда шавад ва азбаски таъсири ғалоғулаи нейтронҳо қатъӣ мебошад, он гоҳ барои онро хориҷ кардан ченкунии иловагӣ бо полоиш гузаронидан лозим меояд.



Расми 4.9.1. Спектри гамма–афанишоти пайдошавиии нейтронҳо дар манбаи $P_0 + Be$, спектр бо гамма–спектрометри ҷуфт чен шудааст. 1– бе таҳлилкунак дар канали идоракунанда, 2–бо таҳлилкунак дар канали идоракунанда.

Барои хориҷ кардани таъсири нейтронҳои сустҳаракат ва ҳароратӣ пеш аз сӯрохи коллиматори гамма–спектрометр полоиши аз унсури бор сохташударо мегузаранд. Дар полоиши ғафсиаш $1,5-2$ г/см^2 нейтронҳои сустҳаракат спектрро вайрон намекунанд. Аз тарафи дигар, ин гуна полоиш шаклу андозаи спектрро тағйир намедиҳад ва ҳангоми омӯхтани гамма–спектри

реактор ченкунии такрориро полоиш талаб намекунад. Вақте, ки бузургии нисбии дастаи нейтронҳои сареъ кам аст, он гоҳ аз қафои қабати хуби дарангсози нейтронҳо гузоштани полоиши бор кифоя аст.

Бисёр вақтҳо чунин шароити таҷриба вомехӯрад, ки барои нейтронҳои сареъ қатъитар мебошад. Он гоҳ хориҷ кардани ғалоғулаи нейтронҳо аз натиҷаҳои ченкунӣ бо дохилкунии ислоҳот, ҳангоми ҳосил кардани ченкунии такрорӣ дар он шароите, ки полоиши висмутро истифода баранд, мумкин аст мувофиқат кунад,. Чи тавре, ки маълум аст, висмут дар миқёси васеи энергияи нейтронҳо, дорои зичии калон (ρ=9.8 г/см^3) буда, ҳамчун унсури фурӯбурди хуби гамма–квантҳо ба ҳисоб меравад. Маълум аст, ки дастаро аз манба бо полоиши висмут пӯшонида, танҳо импулсҳои ба ғалоғулаи нейтронҳо вобастабударо ба қайд гирифтан мумкин аст. Фарқияти байни натиҷаҳои ченшуда бо полоиш ва бе полоишро гирифта, вайроншавии гамма–спектро фаҳмонидан мумкин аст.

Барои интихоби ғафсии даркории полоиши висмут барои гамма–спектри манбаи $P_0 + Be$ ва спектри реактор, полоиши висмут ғафсиаш аз 0,8 то 15 см–ро месозанд. Аз натиҷаҳои ҳосилшудаи тақсимшавии амплитудӣ вобастагии хаттии қаҷи сустшавии гурӯҳи алоҳидаи энергия аз ғафсии полоишро месозанд. Дар ин маврид маълум аст, ки полоиши ғафсиаш 10 см амалан дастаи гамма–квантҳоро пурра суст мекунад, пас маълум мешавад, ки спектрометр танҳо нейтронҳоро ба қайд мегирад. Дар ин ҳолат нейтронҳо дар полоиш хеле кам фурӯ мераванд ($\Sigma = 0{,}028 \text{см}^{-1}$). Ислоҳотро ба ҳиссиёт нисбати нейтронҳо аз натиҷаи ченкунии такрорӣ бо полоиши ғафсиаш 10 см бо формулаи зерин дохил мекунанд:

$$N_\gamma = N - 1.3N_z, \qquad (4.9.1)$$

инҷо N_γ - адади импулсҳо дар фосилаи энергиявӣ ΔE_γ, ки танҳо аз қайдгирии гамма–квантҳо вобаста аст; N - адади пурраи импулсҳо дар ин фосилаи энергиявӣ, яъне адади импулсҳо ҳангоми ченкунӣ беполоиш; N_z –адади импулсҳо дар ин фосилаи энергиявӣ, вобаста ба ғалоғулаи нейтронҳо, яъне адади импулсҳо ҳангоми ченкунӣ бо полоиш.

Хатогие, ки барои хориҷ кардани ғалоғулаи нейтронҳо ба таксимпавии амплитудӣ алоқаманд аст, аз таносуби дастаи гамма–квантҳо ва нейтронҳо вобастагӣ дорад, чи қадаре, ки он калон бошад ҳамон қадар дастаи нейтронҳо калон мебошад. Аммо дар ин ҳолати номатлуб, вақте, ки дастаи гамма--кванҳо ва нейтронҳо баробаранд, хатогӣ аз 20% зиёд намешавд. Ҳангоми чекунӣ дар реактор хатогӣ айнан аз 5–7% зиёд нест.

Спектри амплитудии гамма–квантҳои реактор баъди дохил кардани ислоҳот ба ҳиссиёти спектрометри яккристаллӣ нисбати нейтронҳо дар расми 4.3.5 нишон дода шудааст.

Масъалаи ченкунии гамма–спектр бо иштироки дигар зарраҳои вазнин хеле камтар вомехӯрад. Дар аксарияти ин гуна таҷрибаҳо полоиши тунуке кифоя аст, ки он бетта–заррaҳо ва протонҳоро пурра фурӯ мебарад. Агар бо ягон сабаб истифодабарии полоиш инкор шавад, он гоҳ речаи тақсимкунии импулсро ба нурафкании тулии кристаллҳо ҳангоми нурборон кардан ба заррaҳои гуногун истифода кардан мумкин аст.

4.10. ТАЪСИРИ "ШАФОФИЯТ"-И КОЛЛИМАТОР БА САМАРАНОКИИ СПЕКТРОМЕТР

Дар параграфҳои гузашта ҳамаи тавсифаҳои асосии спектрометрҳои синтиллатсионии намудҳои гуногунро дида баромадем. Аммо ҳангоми дида баромадани самаранокии спектрометрҳо тахмин карда шуд, ки коллиматор мутлақан "шаффоф" ё хеле дароз, яъне, шаффофияти он барои гамма–квантҳои манба кам аст. Ғайр аз ин, ингуна тахмин кардан одилона аст, барои он ки ҳангоми ченкуни гамма–квантҳои манбаҳои фосилавии афканишот шаффофияти коллиматор қисман маъноп пурра мегирад.

Дар ҳақиқат дар натиҷаи қисман шаффоф будани коллиматор миқдори баъзе гамма–квантҳои манба метавонанд аз синтиллатори спектрометр ба деворн коллиматор афтанд ва самаранокии ҳақиқиии спектрометр дар ин ҳолат якчанд маротиба зиёд аз самараноки ҳисоб аз формулаи (4.1.1), (4.1.11) ва ғайра шуда метавонад. Бо назардошти эффекти шаффофияти коллиматор мумкин аст, агар ислоҳот ба нисбати $\Omega_{сам}/\Omega_0$ дохил кунем, чи тавре, ки дар формулаи(4.1.12) дохил шудааст. Аммо дохил кардани ин ислоҳот танҳо барои коллиматорҳои ғафснашон калон ($M\ell \geq 10$) воқей аст. Барои коллиматорҳои ғафснашон дилхоҳ дохилкунии ислоҳот хеле дуруст аст, ки ба намуди зариби α ҳамчун таносуби муайян мекунанд:

$$\alpha = \frac{\pi N_0 d^2}{N}, \qquad (4.10.1)$$

дар инчо N_0– дастаи гамма–квантҳои манба, ки аз сурохии диаметри d коллиматор мегузаранд, N– дастаи пурраи гамма–квантҳо дар синтиллатори спектрметрҳо. Агар манбаи нуктагии гамма–афканишот ба тири коллиматор чойгир бошад, онгоҳ дар нуктаи B дар масоҳати синтиллаторҳо гамма–афканишоти пароканишнашуда афтида, аз маводи коллиматор мегузарад, ғайр аз он миқдори гамма–квантҳои пароканишнашуда, ки онро аз зариби $e^{-\mu x}$ муайян мекунанд (расми 4.10.1), дар инчо μ– зариби хаттии сустшавии дастаи гамма–квантҳои маводи коллиматор, х–дарозии роҳи гамма–квантҳо дар девори коллиматор.

Ҳангоми муайянкунии миқдори гамма–квантҳои парокандашуда тахмин карда мешавад, ки дар ҳар як пароканиш гамма–квант аз равиши аввалааш мебарояд ва он ба сатиллатор намеафтад.

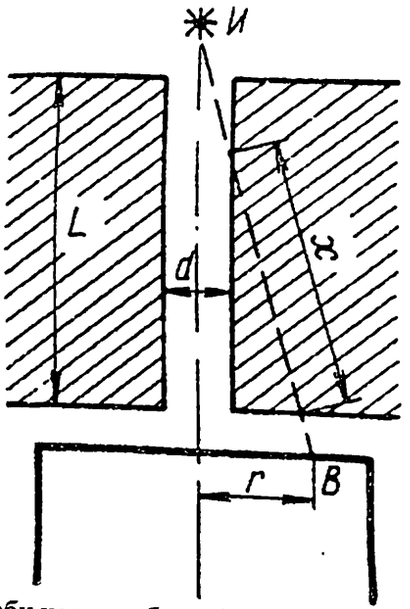
Миқдори афканишот, ки аз ҳалқаи васеъгаш dr мегузарад, аз ғафсии коллиматор вобаста аст. Аз манба ба равиши ҳалқаи dr агар ғафсии коллиматор $\ell \gg d$ бошад, он гоҳ масоҳати ин ҳалқа дар наздикшавии якум ба бузургии кунҷи ҷисмӣ мутаносиб аст, ки дар зери он аз манба ин ҳалқа дида мешавад. Бинобар ин:

$$dN = 2\pi N_0 r dr\, e^{-\mu x}$$ ё ин ки $dN = 2\pi N_0 r\, exp[-\frac{\mu}{r}(r - \frac{d}{2})$

$$(\ell + r^2)^{\frac{1}{2}})\Big\} dr$$

Миқдори пурраи гамма–квантҳо, ки ба сатҳи синтиллатор мерасанд, баробари ин аст:

$$N = N_0 \left\{\frac{\pi d^2}{4} + 2\pi \int_{d/2}^{\infty} r \exp\left[-\frac{\mu}{r}(r - \frac{d}{2})(\ell + r^2)^{\frac{1}{2}})\right\}, \quad (4.10.2.)$$



Расми 4.10.1. Ҳисоби ислоҳот ба шаффофияти қисмани коллиматор (М–манбаи гамма–афканишот).

Ҳамин тавр, бузургии ислоҳоти α аз формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$a = \frac{d^2}{a^2 + 8\int_{d/2}^{\infty} r\exp\left\{-\frac{\mu}{r}\left(r-\frac{d}{2}\right)\left(\ell+r^2\right)^{1/2}\right\}dr}, \qquad (4.10.3)$$

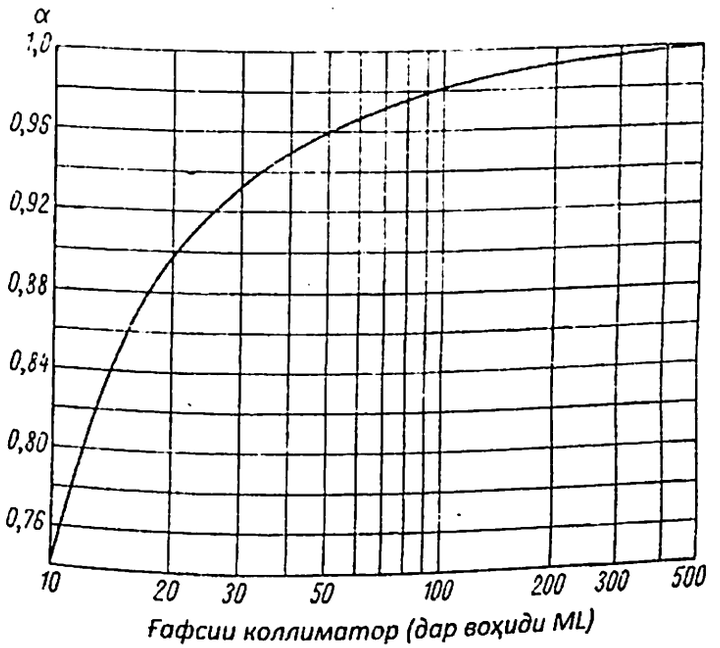
Аз формулаи овардашудаи (4.10.3) маълум мешавад, ки бузургии зерини зариби α аз энергияи гамма–кванти манба вобаста мебошад, яъне $\alpha = \alpha(E_\gamma)$ ва бояд дар формула дохил шавад ва барои ҳисоби самаранокӣ ба энергияи гамма–квант мувофиқат кунад. Самаранокии гамма–спектромет-ри синтиллатсионӣ бо яккристалл аз формулаи зерин муайян кард мешавад:

$$\varepsilon(E_\gamma) = P(E_\gamma)\left(1 - e^{-\mu(E_\gamma)d}\right) a\,(E_\gamma), \qquad (4.10.4.)$$

Айнан ҳамин тавр ислоҳотро ба шаффофияти коллиматор а ҳангоми ҳисоби самаранокии спектрометрҳои навъҳои дигар дохил мекунанд:

$$\varepsilon(E_\gamma) = a(E_\gamma)\,E'(E_\gamma), \qquad (4.10.4)$$

дар инҷо $\varepsilon'(E_\gamma)$ –самаранокии спектрометр бе назардошти шаффофияти коллиматор. Бузургии зариби a дар асоси формулаи (4.10.3) барои коллиматори и ғафсиаш ℓ гуногун бо диаметри сурохии коллиматор d=1.27 см ҳисоб карда шудааст (зариби a дода шудааст вобаста аз ғафсиаш коллиматор дар воҳиди μℓ). Натиҷаи гирифташуда дар расми (4.10.2) нишон дода шудааст.



Расми 4.10.2. Вобастагии ислоҳот ба шаффофияти коллиматор a аз дарозии коллиматор.

Омӯзиши таъсири ғафсии коллиматор ℓ ва эффекти пароканиш қисман нишон дод, ки дар спектри асбоб барои кам кардани саҳми гамма–афканишоти пароканишшуда ғафсии коллиматор нисбати диаметри сурохи коллиматсионии d бояд на кам аз 8–10 маротиба калон бошад. Аммо ҳангоми боз зиёдтар кардани ℓ нисбати d ба таври қатъӣ камшавии пароканиш афканишотро намедиҳад.

БОБИ V.
ҲАМТАЪСИРОТ. СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ

Бо усули синтиллатсионӣ ченкунии энергияи нейтронҳои сареъ умуман аз дигар усулҳои дар замони ҳозира маълум буда спектрометри нейтронҳо, масалан, усули фотосафҳача бо эмулсияи ҳидрогендор ё ин ки усули қайдгиракҳои мутаносибии бо ҳидроген пуршуда фарқ намекунад. Аммо самаранокии усули спектрометри синтиллатсионӣ нисбати самаранокии ҳар кадоми дигар усулҳо ба таври қатъӣ зиёд аст. Аз дигар тараф, усули синтиллатсионӣ нисбати тафриқаи энергиявӣ бартарӣ надорад. Осон будани коркарди натиҷаҳои таҷрибавии ҳосилшуда нисбати усули спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ дар бисёр ҳолатҳо ивазнашаванда мебошад.

Чи тавре маълум аст, байни энергияи нейтрон ва энергияи ядрои қафорафта, ки дар он нейтрон пароканиш мешавад, бо кунҷи пароканиш алоқаи якқимата мавҷуд аст, ки аз таносуби (5.1) муайян карда мешавад. Дар мавриде, ки нейтрон дар протон пароканда мешавад, алоқамандии байни энергияи нейтрон E_n ва энергияи протон E_p, кунҷи пароканиши ν (бо назардошти он ки ададан массаи нейтрон ва протон якхела аст) бо формулаи зерин ифода мешавад:

$$E_p = E_n sin^2 \nu, \qquad (5.1)$$

Ҳамин тавр, барои муайян кардани энергияи нейтрон E_n бояд энергияи протони қафорафтаро E_p ҳангоми пароканиши нейтрон ба кунче, ки (ν)чен мекунем, ёбем. Барои якбора ченкунии ду бузургӣ бояд ду нишондеҳ доштабошем: якеи онҳо энергияи протонҳои қафорафтаро ва дигараш кунҷи собитшудаи пароканишро муайян мекунад. Инро спектрометрӣ бо ду нишондеҳ меноманд.

Аммо чи тавре дар оянда нишон дода мешавад, спектрометри синтиллатсиони нейтронҳои сареъ бо як нишондеҳ ҳаммаънӣ доранд. Чен кардани энергияи нейтронҳо дар ин гуна спектрометрҳо аз ҳисоби фурӯбурди пурраи онҳо ичро мешавад. Дар спектрометри нейтронҳои сареъ бо як нишондеҳ синтиллаторҳое метавон истифода бурд, ки дар таркибашон ҳидроген доранд ё ин ки синтиллаторҳое, ки дар таркибашон ҳидроген ва бор мавҷуд аст.

Ҳаммаънои васеъ дар тараққиёти спектрометрҳо бо як нишондеҳи ҳидрогендор баъди кушода шудани вобастагии давомияти нурафшонӣ аз навъи афканишот пайдо шуд, дар набати авал вақти гуногуни рушноафканӣ кристаллҳои органикӣ ҳангоми нурбориши онҳо бо электронҳою протонҳо, ки таъсири ғалоғулаи гаммаро хориҷ кунем, ҳаммаънӣ доданд. Аммо дар як қатор ҳолатҳо, асосан ҳангоми пурборсозии калони спектрометр бо дастаи нейтронҳо ва гамма ғалоғула ё ин ки дар гамма-ғалоғулаи калони оддӣ, ин гуна спектрометрҳоро истифода намебаранд. Дар ин ҳолатҳо барои якбора чен кардани энергияи протонҳои қафорафта ва кунҷи пароканиш, инчунин барои ченкардани спектрҳои нейтронҳо дастгоҳи мураккаб ба монанди спектрометр бо ду нишондеҳро истифода мебаранд.

Дар усули омӯзиши реаксияҳои ядроӣ спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ татбиқи худро ёфт. Масалан, реаксияи $Li(n,a)T$-ро барои чен кардани спектрҳои кристалли $LiJ(Eu)$ истифода мебаранд.

Ченкунии энергияи нейтронҳо бо вақти парвоз дар масофаи додашуда бо спектрометри синтиллатсионӣ бо ду нишондеҳ хеле оддӣ ичро мешавад.

Усули ченкунии спектри нейтронҳо бо синтиллатсияи спектрометр, ки дар таркибаш ҳидроген ва бор дохил мешаванд, васеъ истифодашаванда ба ҳисоб меравад.

Синтиллаторҳои ҳидрогендорро ба ҷои дигар дастгоҳҳои ба қайдгиранда, масалан ионизатсионӣ низ истифода мебаранд.

Самаранокии калони қайдгиракҳои синтиллатсионӣ имконият медиҳад, ки усули ҳидрогендор ё ин ки полоиши бориро васеъ тараққӣ дихем. Ин тарзи ченкунии энергия асосан завқовар барои он аст, ки имконият медиҳад соҳаи фосилаи мобайни энергияро баҳо диҳем.

Табиист, ки бо усули синтиллатсионӣ ченкунии энергияи нейтронҳо аз камбудиҳо озод нест; аз байни ин камбудиҳо ба ғалоғулаи гамма-квантҳо зиёд будани ҳиссиёт, мушкил будани дараҷабандӣ кардани спектрометро ва ғайраро қайд кардан мумкин аст..

Бо вуҷуди ин, спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъро дар вақтҳои охир дар соҳаҳои гуногуни илм хеле васеъ истифода мебаранд ва хеле ояндадор аст. Ба назари мо истифодабарии спектрометри синтиллатсионии нейтронҳо, барои ченкунии спектрҳои бефосила, аз ҷумла ҳангоми омӯзиши гузариши нейтронҳо аз ҳимояи биологии реактор ва дигар дастгоҳҳои ядрой ба натиҷаҳои назаррас соҳиб шудан мумкин аст.

5.1. СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО ЯК СИНТИЛЛАТОРИ ҲИДРОГЕНДОР

Дида баромадани масъалаи ченкунии энергияи нейтронҳои сареъро бо ёрии спектрометри синтиллатсионӣ мувофиқи мақсад аст аз амалиёти соддатарини онҳо сар кунем. Қайдгиракҳои синтиллатсионӣ бо синтиллаторҳои ҳидрогендор, масалан кристалли стилбениро, ки дар реҷаи спектрометри якканала пайваст аст (нигаред ба расми 4.1.2), ҳамчун спектрометри оддӣ барои бақайдгирии нейтронҳои сареъ истифода мебаранд. Бо мисол баъзе хусусиятҳои усули синтиллатсионии спектрометри нейтронҳоро мефаҳмонем. Бигзор дар синтиллатори ғафсиаш d дар фосилаи вақт N_0 нейтронҳо бо энергияи E_{n0} дохил мешавад. Адади протонҳои қафорафта N_p, вобаста ба як рӯйдоди пароканиш баробар мешавад ба:

$$N_p = N_0(1 - e^{-\Sigma_p \cdot d}), \qquad (5.1.1)$$

дар инҷо $\Sigma_p = \Sigma_p(\mathrm{E}) = n6_p(E_n)$; n-ғаноиши ядрои ҳидроген дар синтиллатор ва $6_p(E_n)$ – самаранокии арзии пароканиши нейтронҳо бо энергияи E_{n0} дар ҳидроген. Таносуби (5.1.1) барои ҳолати $d \ll 1/E_p$ будан, ё ин ки агар ғафсии синтиллатор ниҳоят хурд аз дарозии озоди дави нейтронҳо дар синтилятор аст. Адади протонҳои қафорафта бо энергияи аз Ep то $Ep + dE_p$ мувофиқан баробар мешавад ба:

$$N_p(E_p) = \begin{matrix} N_p(E)\frac{dE_p}{E_p} \text{ ҳангоми } \mathrm{E}_p > \mathrm{E}_{n_0} \\ 0 \quad \text{ ҳангоми } \mathrm{E}_p \le \mathrm{E}_{n_0} \end{matrix}, \qquad (5.1.2)$$

Яъне, тақсимшавии протонҳои қафорафта аз энергия ҳангоми $\mathrm{E}_p = \mathrm{E}_{n_0}$ будан, функсияи возеҳан кандашуда мебошад. Ин гуна натиҷа мумкин аст, ба шарте, ки пароканиши нейтронҳо дар системаи маркази массаи кура мутаносиб бошад. Ҳангоми пароканиши нейтронҳо бо протонҳо то энергияи $E_n = 15$ МэВ, ин шарт иҷрошаванда аст. Азбаски ҳар як гурӯҳи энергиявии нейтронҳо протонҳои қафорафтаро пайдо мекунанд, тақсимоти энергиявашонро аз таносуби (5.1.2), муайян мекунанд, он гоҳ тақсимшавии амплитудии импулсҳо дар баромади спектрометри якқристаллӣ бо амплитудаи максималӣ бояд функсияи зинамонандро тасвир кунад (нигаред ба расми 4.1.3), ки бо энергияи максималии протонҳои қафорафта, яъне энергияи нейтронҳо мувофиқ бошад, Ин функсияи зинагиро дифференсиронида, энергияи нейтронҳоро муайян мекунем.

Дар ҳақиқат, дар асоси якчанд сабабҳо тақсимшавии протонҳои қафорафта аз энергияи возеҳан кандашаванда фарқ мекунад, ки он мушоҳида карда мешавад. Сабаби асосии новозеҳшавӣ возеҳии сарҳади спектри протонҳо дар $\mathrm{E}_p = \mathrm{E}_{n_0}$, флуктуатсияи омории дурахши рӯшноӣ дар синтиллатор мебошад ва флуктуатсияи оморӣ дар адади электронҳо, ки ба анодии ФФС мерасанд, яъне спектри импулсҳои ҳақиқӣ аз протонҳои энергияшон E_p хатро ташкил намекунад ва тақсимшавии Гауссро бо васеъгии $R(h_0)$-ро медиҳад. Васеъгии ин гуна тақсимшавӣ функсияи бузургии амплитудаи h_0 мебошад. Ҳамин тавр, адади импулсҳоро бо амплитудаи аз h то $h + dh$ бо таносуби зерин муайян мекунанд:

$$N(h)dN = dh \int_0^\infty \frac{exp\left\{\frac{(h-h_0)^2}{R(h_0)}\right.}{\sqrt{\pi}R(h_0)} N(h_0)dh_0, \qquad (5.1.3)$$

Агар энергияи протонҳои қафорафта, ки импулсҳои амплитудаашон h_0-медиҳанд, баробари E_{p_0} бошад, онгоҳ таносуби (5.1.3)-ро ба таври зерин навиштан мумкин:

$$N(h)dh = dh \int_0^\infty \frac{\exp\,(h-h_0/R(h_0)^2}{\sqrt{\pi}R(h_0)} dh_0 \int_{E_p}^\infty \frac{N(E_p 1-e^{-\Sigma_{p_0} d}}{E_{p_0}} dE_{p_0}, \qquad (5.1.4)$$

Ифодаи охирон эффекти новозеҳшави спектри нейтронҳоро аз флуктуатсия дар нишондеҳ менависад.

Агар вобастагии байни энергияи протон ва баромади рӯшноии синтиллатор хаттӣ бошад, он гоҳ протони қафорафта бо энергияи E_p бояд дар баромади ФФС импулси амплитудааш $h = h(E_p)$-ро ба вуҷуд орад ва адади импулсҳои амплитудаашон дар ҳудуди аз h то h+dh мехобад: $N(h)dh = N(E_p)dE_p$ ё ин ки $N(h) = N(E_p) \cdot \frac{dE_p}{dh}$. Ҳангоми хаттӣ вобаста будани баромади рӯшноии синтиллатор аз энергияи протонҳои қафорафта, $\frac{dE_p}{dh} = const$ дар фосилаи дилхоҳи ченкунии энергияи нейтронҳои муайяни протонҳои қафорафта, ба амплитудаи импулси муайян мувофиқ меояд. Аммо чи тавре, ки пешаки қайд кардем, вобастагии баромади рӯшноӣ аз энергияи протонҳо дар синтиллаторҳои органикии асосӣ (стилбен, антрасен) ғайрихаттӣ мушоҳида мешавад, яъне $\frac{dE_p}{dh} = const$. Ғайрихаттӣ будани вобастагии баромади рӯшноӣ аз энергияи протонҳо ба новозеҳшавии спектри нейтрон ҳангоми $E_p = E_{n_0}$ саҳм мегузорад. Ҳангоми дар спектрометр истифода бурдани кристалли антрасен нисбати ченкунӣ ба стилбен, эффекти сабабияти ғайрихаттии вобастагии баромади рӯшноӣ калон аст. Ҳангоми ченкуниҳо бо кристалли антрисен бояд эффекти ғайрихаттиро то энергияи протонҳо $E_p \cong 7$ МэВ ба назар дошт. Ҳангоми истифодабарии кристалли стилбен ин эффект кам ва дар вобастагӣ аз энергияи протонҳо $E_p \geq 5$ МэВ эффекти ғайрихаттиро ба назар нагирифтан мумкин аст. Натиҷаҳои таҷриба нишон медиҳад, ки сабабгори саҳм ба новозеҳшавӣ спектри нейтронҳо вобастагии ғайрихаттии баромади рӯшноӣ аз энергияи протонҳо буда, ба таври қатъи саҳмаш аз флуктуатсияи оморӣ хурд мебошад. Ғайр аз ин, бо афзоиши энергияи нейтронҳо саҳм дар эффекти ғайрихаттӣ мунтазам кам мешавад.

Агар энергияи тадқиқоти нейтронҳо нисбатан калон ва ченаки кристалл хурд бошад, онгоҳ қисми протонҳои қафорафта метавонанд аз ҳудуди кристалл баромада, бо худ қисми энергияро баранд, дар ҳақиқат, ин эффект инчунин саҳми худро ба новозеҳшавии спектри нейтронҳо мегузорад ва ҳангоми шарҳ додани натиҷаҳои ченшуда ба эътибор гирифта мешавад. Аммо дар энергияи нейтронҳо $E_n < 10$ МэВ ва ченаки стандарти кристалл ($\theta > 30$мм

ва $d \geq 15 - 20$мм) ихроҷи протонҳо он қадар зиёд нест ва дар $E_n < 5$ МэВ ихроҷи протонҳоро умуман ба назар нагирифтан мумкин аст.

Дар мавриде, ки кристалл дорои самаранокии $\varepsilon(E_n) \geq 10\%$ аст, қайдгирии нейтронҳо дар кристалл метавонад дар асоси параканиши бисёркаратаи нейтронҳо гузарад, ки инчунин ба вайроншавии спектри амплитудии импулсҳо меоварад. Натиҷаҳои таҷриба нишон медиҳанд, ки вайроншавии спектри амплитудии импулсҳо ба таври қатъӣ то параканиши дуюмин ҳатмӣ аст. Барои мисол, кристалли стилбенӣ бо ченаки 20х20х10 мм^3, ки бо нейтронҳои энергияшон 2.5 МэВ нурборис шудааст, нишон медиҳад, ки ба назар гирифтани параканиши дуюмини нейтронҳо бисёртар ба натиҷаҳои таҷрибавӣ мувофиқат мекунад. Ин гуна натиҷаҳоро аз чунин мулоҳизаҳо гирифтан мумкин аст: агар адади интегралии импулсҳои амплитудаашон калон аз h_1-ро муайян мекунем:

$$N_1(h_1) = \int_{h_1}^{\infty} N(h)\, dh, \tag{5.1.5}$$

Агар $h_1 < h_0 - R(h_1)$ бошад, он гоҳ тақсимшавии Гауссро интегронида, ҳосил кардан мумкин аст, ки:

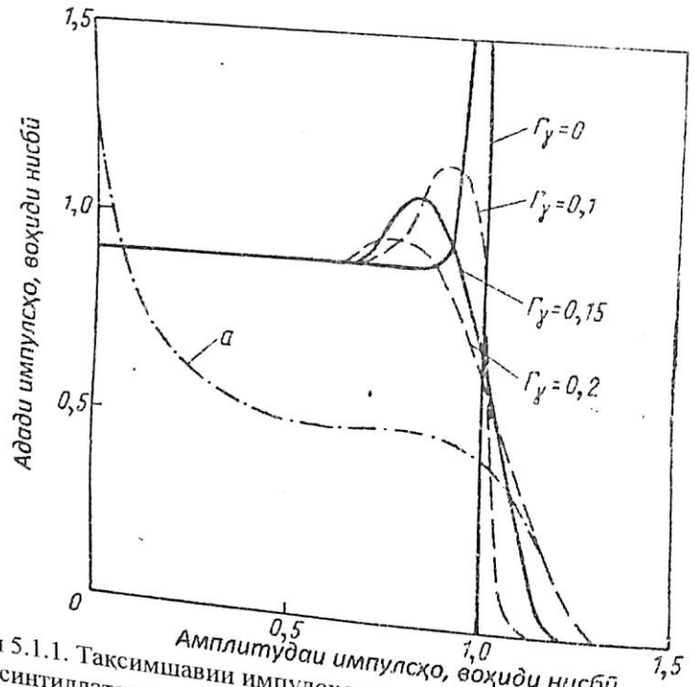
$$N_1(h_1) = N_0 \varepsilon(N_{n_0}) \frac{h_0 - h_1}{h_1}, \tag{5.1.5.а}$$

дар инҷо N_0 - адади пурраи нейтронҳо, ки ба кристалл дохил мешаванд. Агар зинаи h_1-ро хеле хурд гирем, он гоҳ, N_0 маълум аст, пас бо формулаи (5.1.5.а) ҳисоб гузаронида ва натиҷаҳои ҳосилшударо бо N_0 муқоиса карда дидан мумкин аст, ки қимати зерин ҳосил мешавад: $N_1(h_1) > N_1(h)$, агар $N_1(h_1)$ дар асоси параканиши яккарата гирифта бошад. Агар параканиши дуюминро ба назар гирем ва хати качи тақсимшавии Гауссро бо васегии $R(h_0) = 0; 0{,}1; 0{,}15; 0{,}2$ интихоб кунем, он гоҳ натиҷаҳои дар расми 5.1.1 овардаро ҳосил кардан мумкин мегардад. Муқоиса бо натиҷаҳои таҷриба нишон медиҳад, ки хати качи ба $R(h_1) = 0{,}2$ мувофиқомада хеле беҳтар буда, ба натиҷаҳои таҷриба ҷавобгӯй аст. Чи тавре, ки аз ин расм дида мешавад, вайроншавии спектри нейтронҳо ба параканиши бисёркарата (дуюминкарата) асос карда шудааст, кристаллҳои ченакашон стандартӣ дар $E_n > 2$ МэВ на он қадар калон ва онро ба назар нагирифтан мумкин аст. Нишондодҳои овардашуда аз

натичаҳо ҳангоми ченкуни спектри нейтронҳои сареъ бо ёрии спектрометри яккристалли нишон медиҳад, ки аз спектри интегралии протонҳои қафорафта спектри нейтронро баркарор кардан мумкин аст. Аммо ҳангоми коркарди натичаҳои ченшуда, ки ҳар як спектри нейтронҳо аз спектри монохроматӣ фарқ мекунад ва протонҳои қафорафта, ки дар синтиллатор пайдо мешаванд, нисбати энергия тақсим мешаванд ва онҳоро мувофики ифодаи зерин бояд ба назар дошт:

$$N_p(E_p)dE_p = dE_p \int_{E_p}^{\infty} \frac{N(E_p^1)\varepsilon(E_n)}{E_n} dN_n, \qquad (5.1.6)$$

Огоҳии гуфташуда ба чунин спектрҳои нейтронҳо дахл дорад, ки онҳоро спектрҳои монохроматӣ мегӯянд, мисол, нейтронҳое, ки аз реаксияҳои Д $(d,n)He^3, T(d,n)He^4$ ва ғайра ҳосил мешаванд.



Расми 5.1.1. Тақсимшавии импулсҳои спектрометри синтиллатсионӣ бо як синтиллатори ҳидрогендор бо қиматҳои гуногуни $R(h)$ (хатҳои қач натичаҳои тақсимшавии таҷриба).

Ҳангоми дида баромадани масъалаи ҳаммаънои ченкунии спектри нейтронҳо бо ёрии спектрометри якканала тахмин шуд, ки дастаи нейтронҳо бе иловагии гамма-квантҳо ба қайд гирифта мешавад. Хусусан маълум карда шуд, ки дар ҳар кадом реаксияи ядроӣ тавлиди нейтрон ва гамма-квант низ ба вуҷуд меояд. Сингиллаторҳои органикӣ энергияи гамма-квантро асосан дар раванди пароканиши комптонӣ фурӯ бурда, дар баромади ФФС тақсимшавии яклухти комптониро пайдо мекунанд, ки ба тақсимшавии яклухт чамъшуда, сабабгори фурӯбурди энергияи нейтронҳо мегардад. Дар ин алоқамандӣ бояд усулҳоеро истифода барем, ки барои хомӯш кардани тақсимшавии амплитудии гамма-квантҳо пайдокарда имконият диҳад. То вақтҳои охир ин гуна усулҳо маълум набуданд, ки спектри нейтронҳоро бо спектрометри яккристаллӣ чен кунем.

Нисбатан ба қарибӣ ошкор карда шуд, ки давомияти импулсҳои синтиллатсионӣ дар кристаллҳои органикӣ аз навъи зарраҳо, ки дурахши рӯшноӣ ба амал меоварад, вобаста аст. Агар кристалли стилбенӣ якбора бо дастаи гамм-квантҳо ва протонҳо нурборон шавад, дар он импулси давомияташ гуногун пайдо мешавад: кӯтоҳтаринаш ба фурӯбурди энергияи гамма-квантҳо, дарозтаринаш – аз протонҳо синтиллаторҳо вобаста аст. Агар нисбат ба вақти гуногуни рӯшноиафканӣ дида бароем, муяссар мешавад, ки ҳиссиёти спектрометри яккристаллии нейтронҳоро нисбати гамма-афканишот хеле паст фурорем ва онро барои ченкунии спектрҳои нейтронҳо дар иштироки ғалогулаи гамма-квантҳо истифода барем. Ин ба тез тараққӣ ёфтани спектрометри яккристаллӣ овард. Асосаш дар он, ки спектрометри яккристаллӣ дорои самаранокии калон буда, дар ҳолати ченкунӣ бо дастаи нейтронҳои коллиматсияшуда аз формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\varepsilon_1(E_n) = \frac{\Sigma_H(E_n)}{\Sigma_H(E_n)+\Sigma_c(E_n)} 1 - e^{-(\Sigma_H(E_n)+\Sigma_c(E_n)d}, \qquad (5.1.6а)$$

Ин ифода ҳақиқӣ аст ҳангоми синтиллаторро бо дастаи беохири ҳамвори равиши якхелаи манба нурборон кардан. Дар инчо $\Sigma_H(E_n)$ ва $\Sigma_c(E_n)$- арзҳои макроскопии пароканиши нейтронҳо бо ядроҳои ҳидроген ва карбон мувофиқ аст. Барои кристалли ченакаш нисбатан на он қадар калон (диаметр 30-40, ғафсиаш 5-10мм) во-

баста ба энергияи нейтронҳо самаранокӣ дар E_n=2 МэВ барои d=5 мм 3% ва 1,3% дар E_n=10 МэВ тағйир меёбад. Дар ҳақиқат, ягон дигар намуди спектрометри синтиллатсионӣ ба ингуна самаранокии баланд соҳиб нест.

Чи тавре, ки аз дидани рақаи спектрометри синтиллатсионӣ бо як нишондеҳ маълум мешавад, барои қатъ кардани импулсҳои гамма-афканишот маҳдудкунакро истифода мебаранд. Маҳдудкунак – ин рақае, ки дорои зинаи энергияи баъзе амплитудаҳо мебошад. Бинобар ин дар формулаи (5.1.6) барои муайянкунии самаранокии спектрометр ба зинаи энергияи протони қафорафта E_γ^*.бояд ислоҳот дарорем. Адади протонҳои қафорафта бо энергияи $E_p > E_p^*$, ки ба адади пурраи протонҳои қафорафта мансуб аст, аз таносуби зерин муайян мекунанд;

$$\int_{E_p^*}^{E_p} \frac{dE_p}{E_p} = 1 - \frac{E_p^*}{E_p}, \qquad (5.1.6.б)$$

Бинобар ин, бо назардошти ислоҳот ба зинаи энергия:

$$\varepsilon(E_n) = \varepsilon_1(E_n)\left[1 - \frac{E_p^*}{E_p}\right], \qquad (5.1.6.в)$$

Азбаски барои спектрометри яккристаллӣ $E_p = E_n$ аст,онгоҳ ислоҳот ба зинаи энергиявӣ аз энергияи нейтронҳо ифода карда мешавад:

$$\varepsilon(E_n) = \frac{\Sigma_H}{E_H + E_e}\left\{1 - e^{-(\Sigma_H + \Sigma_c)d}\right\}\left(1 - \frac{E_p^*}{E_p}\right), \qquad (5.1.7)$$

инҷо E_n^* – зинаи энергиявии спектрометр.

Аксар вақт зинаи ниҳоят хурд аз истифодабарии рақаи маҳдудкунак нисбати ғалоғулаи гамма-квантҳо вобаста аст. Агар қимати E_n нисбати E_n^* хеле калонтар бошад, он гоҳ ислоҳот ба зинаи энергия ба бузургии самаранокӣ умуман таъсир намерасонад. Қимати самараноки пешина ба қимати $E_n^* = 0{,}8$ МэВ гузаронида шудааст.

Самаранокии спектрометри яккристаллӣ аз формулаи (5.1.7) хеле аниқ ҳисоб карда мешавад, барои он ки вобастагии арзи пароканишти нейтронҳо аз энергия бо ядрои ҳидроген хуб омӯхта шудааст. Бузургии пурраи макроскопии арзи ҳидрогенро барои нейтронҳо аз формулаи нимэмперикӣ муайян кардан мумкин аст:

$$\sigma_H(E_n) = \frac{3\pi}{1{,}206E_n + (-1{,}86 + 0{,}09415E_n + 0{,}00013E_n^2)^2} + \frac{1}{1{,}206E_n(0{,}4223 + 0{,}13E_n^2)^2}, \qquad (5.1.8)$$

ё ҳатто дар фосилаи энергия аз 0.3 то 30 МэВ бо натиҷаҳои таҷрибавӣ то аниқии 3% мувофиқ бо формулаи одитарин мебошад:

$$\sigma_H(E_n) = \frac{4{\cdot}83}{\sqrt{E_n}} - 0{,}578. \qquad (5.1.8.а)$$

Дар формулаҳои (5.1.8) ва (5.1.8.а) E_n-энергияи нейтронҳо бо мегаэлектронволт ифода шудааст, $б_H$ бошад. - бо барнҳо. Арзи пурраи пароканишти нейтронҳо ба ядрои ҳидроген ва инчунин арзи пароканиш бо ядрои ҳидроген дар паҳнои энергияи аз 2 то 10 МэВ хуб омӯхта шудааст ва онро доимӣ ва баробари 1,7 барн ҳисобидан мумкин аст. Ба ғайр аз самаранокии баланд, бартарии дигари муҳими спектрометри яккристаллии нейтронҳои сареъ ҳаммаънои истифодабарии он ҳангоми ченкунӣ бе коллиматор мебошад. Дар ҳақиқат, кунҷи пароканишти нейтрон дар синтиллатор аз самтнокии кристалл нисбат ба дастаи нейтронҳо вобастагӣ надорад ва таносуби пешина овардашуда тағйир намеёбад. Вазъияти сабтшуда ҳангоми омӯзиши паҳншавии нейтронҳо дар қабатҳои ғафси мода асосан баҳои баланд дорад, барои он ки нишондеҳи спектрометр мумкин бевосита (рост) ба модаи тадқиқшаванда дохил шавад. Ҳангоми нурбориши ғайриколлиматсияшуда самаранокии спектрометрро аз формулаи (5.1.7) ҳисоб кардан мумкин нест, барои он, ки нейтронҳо метавонанд, дар роҳи худ ба ғафсиҳои гуногуни модаи синтиллатор (вобаста аз кунҷи афтиши нейтронҳо дар сатҳи синтиллатор) воҳӯранд. Бояд самаранокии спектрометр барои геометрияи таҷриба аниқ ҳисоб карда шавад. Ба сифати мисол, самаранокиро ҳангоми ченкунии спектри нейтронҳои сареъи манбаи нуқтагии ғайриколлиматсионӣ барои спектрометр бо кристалли антрасенӣ ҳисоб мекунем.

Агар манба дар фосилаи вақт N_1 нейтронҳо афканад, дар ҳудуде ки нейтронҳо ба кристалл меафтанд, $N_0 = N_1\Omega$ нейтронҳо меафтанд, инҷо Ω -кунҷи ҷисмӣ. Адади ҳамтаъсиротро дар кри-

сталл вобаста ба энергияи нейтронҳои калон аз E_n^*, аз таносуби зерин муайян мекунанд (барои манбаи нуқтагӣ):

$$n = c_1 \int_{E_n}^{\infty} n^\circ d\sigma_H(E_n)\, N(E_n) dE_n, \qquad (5.1.9.)$$

дар инҷо d-ғафсии кристалл; $\sigma_H(E_n)$ – арзи самаранокӣ барои ҳидроген бо барнҳо; $N(E_n)dE_n$ – тақсимшавии нейтронҳо аз энергия; n°-ғаноиши ядрои ҳидроген дар 1см^3 кристалли антрасенӣ ($n^\circ = 0{,}0421(\frac{1}{\text{см.борн}})$) ва E_n^*-энергияи минималии ба қайдгирифташуда; c_1-зариби мутаносибӣ.

Аз назари он, ки протон дурахши рушноиро пайдо мекунад, дорои энергияи кам аз E_n^* мебошад ва чи тавре маълум аст, аз кунҷи пароканиши нейтрон вобаста аст, он гоҳ ҳиссаи пароканиш, ки ба қайд гирифта шудааст, ҳангоми даровардани ислоҳот дар зинаи реҷаи қайдгиранда монанди пешина муайян карда мешавад:

$$1 - \frac{E_n^*}{E_n}, \qquad (5.1.9.а)$$

Адади импулсҳои дар фосилаи вақт бақайдгирифташуда баробар аст:

$$n_0 = \frac{c_1 N_0 (1 - \frac{E_n^*}{E_n}) \int_{E_n}^{\infty} n^\circ \sigma_H(E_n) dN(E_n) dE_n}{\int_0^{\infty} N(E_n) dE_n}, \qquad (5.1.9.б)$$

ва самаранокӣ $\varepsilon = n_0/N_0$. Адади бақайдгирӣ барои кристалли антрасенӣ ба намуди кубӣ дарозии теғааш 25 см ва барои манбаи $P_0 + B_e$ ба натиҷаҳои таҷрибавӣ хуб мувофиқ меояд (расми 5.1.2).

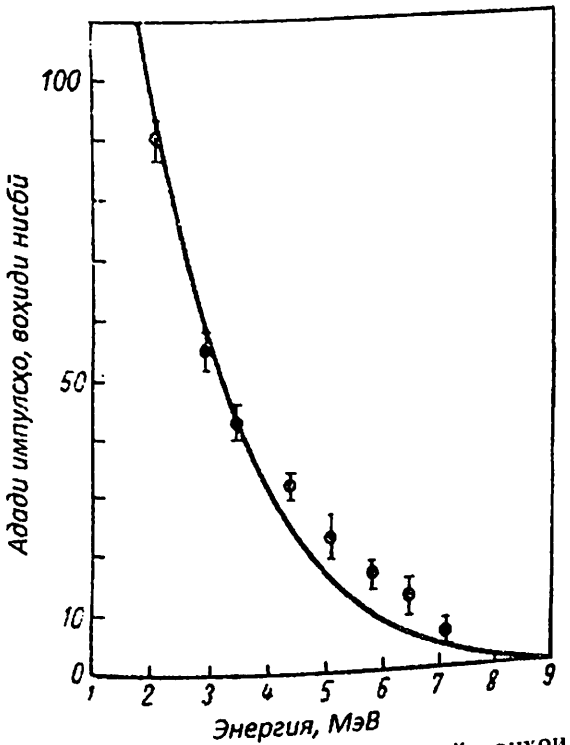
Ҳисоби самаранокии спектрометр ҳангоми онро ба дастаи нейтронҳо аз ҳама тараф нурборон кардан, монанди ҳисоби самаранокии гамма-спектрометри яккристаллӣ мегузарад Самаранокӣ дар ин маврид чунин ҳисоб карда мешавад:

$$\varepsilon(E_n) = \frac{\Sigma_H}{\Sigma_H + \Sigma_c} \cdot \left\{1 - \frac{2R(\Sigma_H + \Sigma_c) + 1}{2R^2(\Sigma_H + \Sigma_c)^2} \cdot e^{-2(\Sigma_H + \Sigma_c)R}\right\} (r\frac{E_n^*}{E_n}), \qquad (5.1.9.в)$$

Ҳангоми нурбориши нишондеҳи спектрометри яккристаллӣ бо дастаи нейтронҳои ғайриколиматсионӣ (колиматсиянашуда), муяссар шуд, ки самаранокии баланди бақайдгирии нейтронҳоро ҳосил кунем. Инак, ҳангоми бо ёрии спектрометри яккристаллӣ чен кардани спектри нейтронҳо аз қафои ҳимояи реактори ядроӣ дастаи

нейтронҳо 10-15$\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{сон}}$ –ро ташкил мекунад. Ин гуна бузургии дастаи нейтронҳо бо ҳудуди ҷонзи мувофиқ меояд.

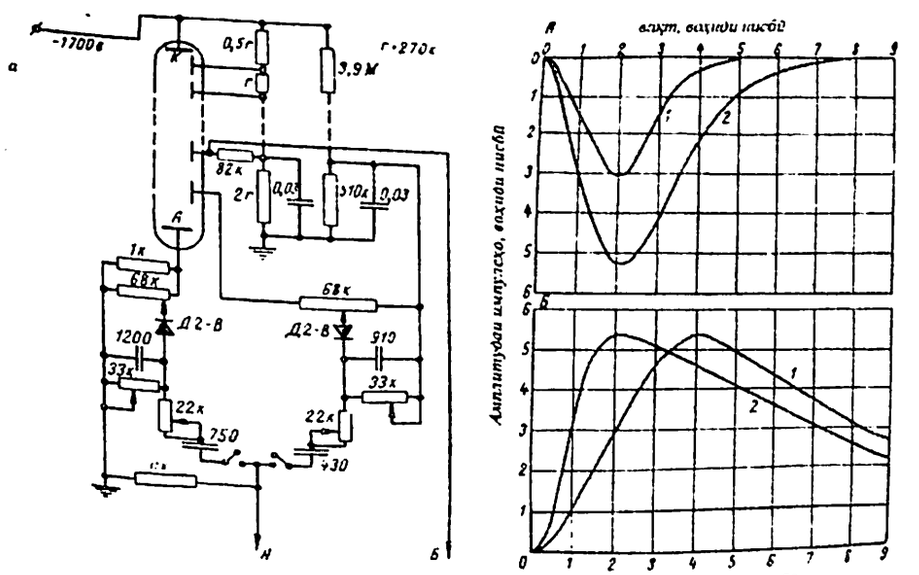
Аммо чен кардани спектр дар ин даста вобаста аз бузургии калони даста на он қадар имконпазир аст. Ингуна ченкуниҳо танҳо ҳангоми устувории баланди асбобҳои электронӣ ба даст оварда мешаванд.



Расми 5.1.2. Самаранокии спектрометри нейтронҳои сареъ бо кристалли антрасенӣ вобаста аз энергия. Хати яклухт – натиҷаҳои ҳисоб аз формулаи (5.1.7.а.); нуқтаҳо – натиҷаҳои таҷриба.

5.2. МАҲДУДКУНИИ ГАММА–ФОН ДАР СПЕКТРОМЕТРИ ЯККРИСТАЛЛӢ

Дар бандҳои гузашта қайд карда шуд, ки хусусиятҳои арзишманди спектрометрҳои синтиллатсионии нейтронҳои сареъ боиси пайдоиши ҳали махсуси техникӣ - маҳдудкунии гамма-фон боис



Расми 5.2.1. Речаи чудокунии импулсхои "протонхо" ва "электронхо" аз нишондехи синтиллатори органикй (а) ва шакли импулсхо дар анод (А) ва диноди охирон (б), ФФС (б): 1-нейтронхо; 2-гамма-квантхо.

Азбаски протон импулси шаклаш дигарро пайдо мекунад, он гох дар натичаи дар хамон нуктаи А чамъшавии онхо импулси на он кадар калони кутбияташ мусбат пайдо мешавад. Барои танзими речаи махдудкунй дастгохи махсусро истифода мебаранд (расми 5.2.2), ки имконият медихад расми махдудшавии импулсхоро вобаста ба гамма-афканишот ва нейтронхо, ки намоён аст, нобаста дар экрани осциллограф мушохида кунем. Агар речаи махдудкунанда дуруст танзим шавад, он гох дар экрани осциллограф ду хат мушохида мешавад (расми 5.2.3).

Хати ба тири ординат параллел ба импулсхое, ки гамма-афканишот пайдо мекунанд ва хамгии хат – ба импулсхо аз нейтронхо мувофик меояд, чи тавре, ки аз остиллограмма дида мешавад, импулсхо, вобаста аз нейтронхо нисбати он импулсхое, ки аз гамма афканишот вобаста аст, дорои амплитудаи хеле калон мебошад, бинобар ин охиронро махдуд кардан осон аст.

гардиданд. Дар адабиётхо тафсири як катор речаи махдудкунихо пайдо шуд, ки хамаи речахоро ба ду гурух таксим кардан мумкин аст. Дар речаи гурухи якум махдудкунии гамма-фон бо ёрии кабулкунаки радиотехникй ичро мешавад, дар гурухи дуюм ходисаи сершавии фосилаи охирони байни динодхои ФФС ва зарядхои фазогиро истифода мебаранд.

Дар речаи махдудкунии гамма-фони гурухи якум мукоисаи баландии импулсхо бо импулсхои заряди пурра истифода шуд. Барои ичрои ин мукоисакунй импулсхо якбора аз аноди ФФС ва диноди охирин гирифта мешаванд (расми 5.2.1), аммо зиёдшавй дар занчири анод ва динод ба 50-75 маротиба фарк мекунад, яъне $Rg = 50 \div 75Ra$. Фарз мекунем, ки паралел ба ин зиёдшавй гунчоиши якхела зарядноки С пайваст аст ва зарядро дар аноди ФФС чунин ёфтан мумкин аст.

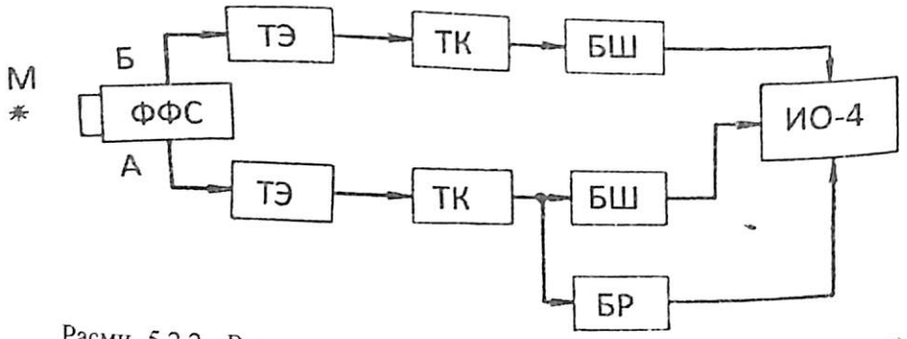
$$\frac{dQa}{dt} = -\frac{Qa}{RaC} + \frac{Qa_0}{t_0}, \qquad (5.2.1)$$

Ба сифати вакти t баъди омадани электронхои якумин ба анод онхо ба чунин кимат соxиб мешаванд:

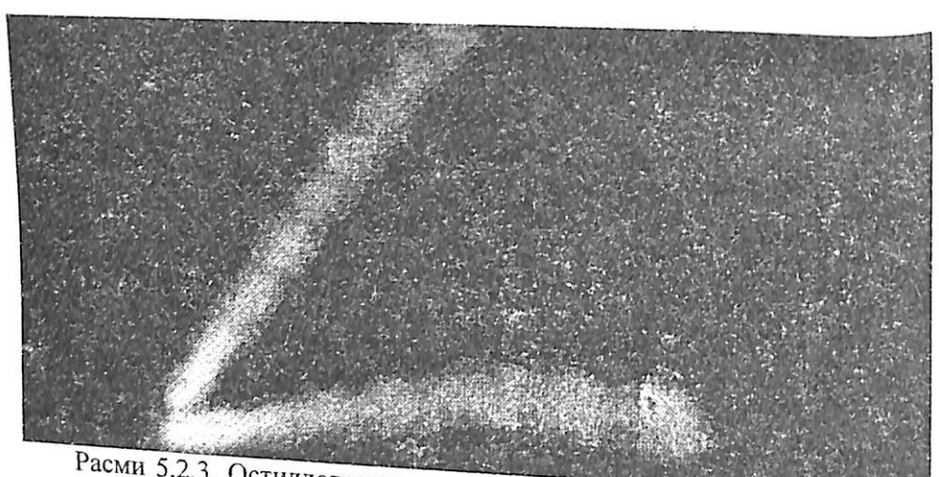
$$Q_0(t) = \frac{RaCQa_0}{t_0 - RaC}\left[e^{-t/t_0} - e^{t/RaC}\right]. \qquad (5.2.1.a)$$

дар инчо Qa_0-заряди пурра дар аноди ФФС бо сабаби як дурахши рушной дар синтиллатор; t_0-вакти рушноиафкании синтиллатор. Аз руи ин конун нисбат ба вакт, заряд дар диноди охирони ФФС тагйир меёбад. Агар шакли импулси чараён дар диноди охирон ва ФФС хеле хам аник бошад ва шакли импулси рушноиро дар синтиллатор такрор кунад, он гох вобаста ба фаркияти сарборй дар аноди ФФС ва диноди охирин, импулсхои шаклашон гуногун пайдо мешаванд, аммо дар диноди охирин импулс ба заряди пурра ва дарозй мутаносиб мешавад. Дар анод бошад – ба куллаи чараён ва он мутаносиб аст (нигаред ба расми 5.2.1).

Бо ёрии динод дар занчири анодии ФФС импулсхо ба куллаи чараён мутаносиб кашида мешавад. Импулсхо вобаста ба фурубурди энергияи гамма-афканишот дар занчири динод ва анод бо ёрдами ду муковимати тагйирёбанда бо амплитудаи бузургиашон якхела оварда мерасонад, пас дар нуктаи А импулсхо чамъ мешаванд, онхо мутакобил хамдигарро нест мекунанд.



Расми 5.2.2. Речае, ки имкон медиҳад чудошавӣ (тақсимшавӣ)-и импулсҳои "электронҳо" ва "протонҳоро"-ро дар спектрометри нейтронҳои сареъ бо як нишондеҳ мушоҳида кунем: М-манбаи нейтронҳои сареъ ва гамма-афканишот; ФФС-нишондеҳи спектрометр; ТЭ-такроркунаки эммитерӣ: $Т_к$-тақвиятдиҳак; БШ-блоки башаклдарорӣ; БР-блоки рӯшноидиҳаки осциллограф; ИО-4-осцилограф (нуктаҳои А ва Б ба нуктаҳои якхела мувофик ба расми 5.2.1.а).

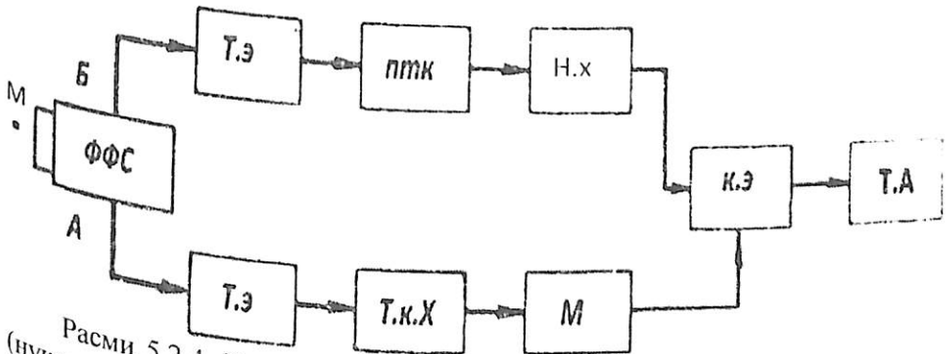


Расми 5.2.3. Остиллограмаи импулсҳои "электронҳо" ва "протонҳо" дар экрани осциллограф 40-4 ҳангоми бо нейтронҳои сареъ (P_0+Be) ва гамма-изотопи (C_0-60) нурборон кардани кристалли стилбенӣ. Речаи маҳдудкунаки истифодашуда дар расми 5.2.1.а.

Дар ин маврид импулси қутбияташ мусбат дар анод пайдо мешавад ки онро барои идоракунии речаи гузаронӣ дар занҷири спектрометр истифода мебаранд.

Монанд ба ҳамин дар қайдгираки нейтронҳои сареъ импулсҳо тақсим мешаванд, аммо барои хориҷ кардани импулсҳои гамма-афканишот осциллографро истифода мебаранд.

Дар экрани осциллограф никобе мегузоранд, ки нуқтаи дурахшандаро аз импулсҳои гамма-фон пӯшонад. Пайдошавии нуқтаи дурахшанда аз импулсҳои протонҳоро ФФС ба қайд мегирад, ки дар пеши лулаи осциллограф насб аст. Импулсҳои ин ФФС калиди электрониро мекушояд, ки он дар канали асосии спектрометр қарор дорад. Дар натиҷаи ҷамъшавӣ ҳангоми синтиллаторро бо протон нурборон кардан импулсҳои мусбат ва ҳангоми нурборин бо гамма-афканишот импулсҳои кутбияташон манфӣ пайдо мешаванд. Тафсири речаи маҳдудкунии гамма-фонро истифода бурда, спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъро сохтан мумкин аст. Бо ёрдами речаи электронии баъдина импулсҳое, ки протонҳои қафорафта пайдо мекунанд, бо осони чудо мешаванд. Речаи ин гуна спектрометр дар расми 5.2.4 оварда шудааст. Импулс ба амплитудаи энергияи протонҳои қафорафта мутаносиб буда, аз динодии пешазохирони ФФС чудо карда гирифта, бо такроркунаки эмиттерӣ дода мешавад, пас ба тақвиятдиҳанда ва нигоҳдорандаи хатӣ мегузарад, ва аз он импулс ба калиди электронӣ ворид мешавад.



Расми 5.2.4. Речаи спектрометри нейтронҳои сареъ бо як нишондеҳ (нуқтаи А ва Б ба як номгӯи нуқтаҳои расми 1.5.1.а. мувофик аст): М-манбаи нейтронҳои сареъ; Тэ-такроркунаки эммитерӣ; ФФС-нишондеҳи спектрометр бо речаи таксимкунӣ; Тх- тақвиятдиҳаки хаттӣ; Тк-тақвиятдиҳак; М-маҳдудкунак; ХН- нигоҳдорандаи хаттӣ; КЭ- калиди электронӣ; ТА- таҳлилкунаки амплитудии импулсҳо; АҲ-асбоби ҳисобкунак.

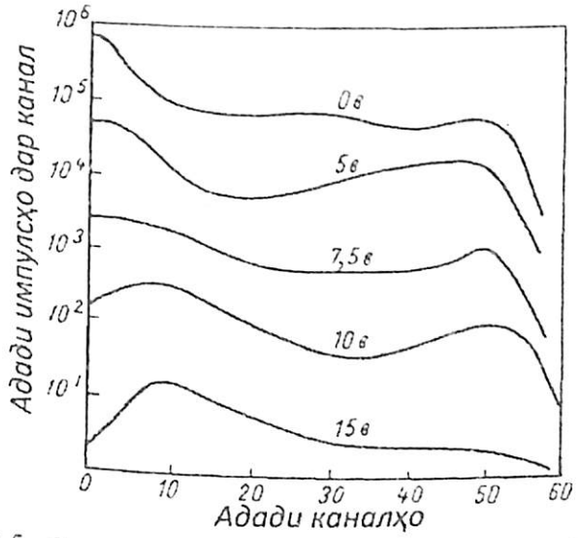
Импулси идоракунанда аз нуқтаи А (нигаред ба расми 5.2.1.а) батакроркунаки эммитерӣ ва тақвиятдиҳанда баъд ба маҳдудкунанда мегузарад. Бо ёрдами маҳдудкунак импулсҳо аз электронҳои комптонӣ вобастабударо мебурад, ки ғайри ҳақиқӣ буда, дар нуқтаи А нест мешаванд. Импулсҳое, ки аз протонҳо пайдо мешаванд, аз зинаи маҳдудкунак аз ҳад зиёд буда, аз он гузашта калиди электрониро мекушоянд.

Дар расми 5.2.5 спектри электронҳои комптонӣ, ки аз гамма-квантҳои $Thc^1(E_{\gamma max} = 2{,}62$ МэВ) пайдо шуданд, нишон дода шудааст, бо ёрии спектрометр "фарқияти" импулси ченшуда ва импулси идоракунанда (нуқтаи А дар расми 5.2.1а)-ро дар ҳолати маҳдудкуниҳои гуногуни гамма-фон мефаҳманд. Хатҳои каҷи нишондодашуда вобаста ба ҷуброн, ҳангоми сустшавии суръати ҳисоби электронҳои комптонӣ аз энергия кам вобаста аст. Дида мешавад, ки бо афзоиши шиддати монеъашавандаи импулс, ки аз ҳисоби электронҳои энергияшон калон пайдо мешаванд, тез бурида мешавад. Импулсҳо вобаста аз электронҳои энергияшон аз 0,5-1 МэВ, бо осонӣ пахш карда мешаванд. Махсусан ин импулсҳо сарҳади поёнии энергияи нейтронҳоро, ки ҳангоми ҳаммаъногии тақсимкунии нейтронҳо ва гамма-импулсҳо муайян мекунанд.

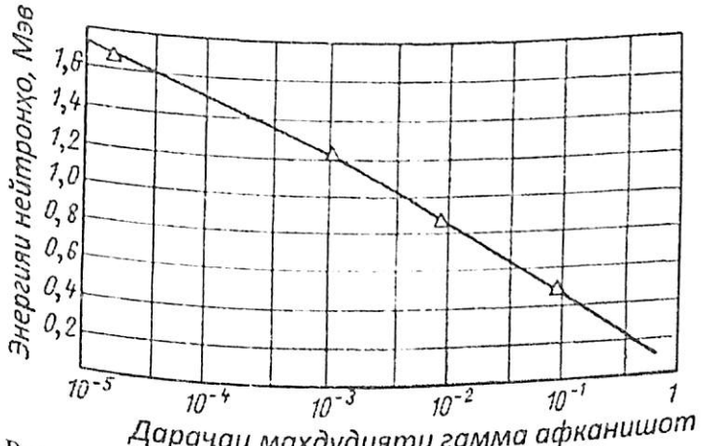
Дар ин вақт афзоиши шиддати монеъшавандаи маҳдудкунак ба бӯридани спектри аператури протонҳои қафорафта ба тарафи энергияи хурд меоварад. Хусусан ин ҳодиса маҷбур мекунад, ки ба энергияи зинагӣ дар формулаи (5.1.7) барои ҳисоби самаранокии спектрометр ислоҳот дохил кунем.

Дар расми 5.2.6 вобастагии самаранокии зинаи спектрометри синтиллатсионӣ E_n^* аз дараҷаи маҳдудкуни гамма-фон р нишон дода шуда аст. Самаранокии зина, ҳамчунин қимати минималии энергияи нейтронҳо ҳангоме, ки шидати монеъкунандаи маҳдудкунак ба шакли спектри асбоб таъсир намерасонад, муайян карда мешавад. (Дар банди гузашта дохил кардани фаҳмиши энергияи зинагӣ E_n^* ба энергияи минималии нейтрон мувофиқат мекунад ва қобилияти ба кор даровардани речаи маҳдудкунакро дорад). Аз расми 5.2.6 дида мешавад, ки дар вақти камшавии самаранокии қайдгирии гамма-квантҳо тахминан ба энергияи 0,3МэВ, зинаи спектрометр 10 маротиба меафзояд. Муайян шудааст, ки тавоноии дозаи максималии гамма-афканишот аз дастаи нейтронҳои сареъ

вобаста аст, ҳангоме, ки спектрометр қобилияти ба қайд нагирифтани гамма-афканишотро дорад. Бинобарон нишондеҳи спектрометрро дар дастаи нейтронҳои сареъ доимӣ ҷойгир мекунанд, ки дар ин мавриди тавонои дозаи гамма-афканишот тағйир меёбад.



Расми 5.2.5. Спектри электронҳои комптонӣ аз манбаи ThC^{11} дар зинаҳои гуногуни маҳдудкунии канали идоракунии спектрометр (шиддати монеъшаванда дар хатҳои каҷ бо рақамҳо нишон дода шудааст).



Расми 5.2.6. Вобастагии самаранокии зинаи энергиявӣ спектрометр аз дараҷаи маҳдудкунии гамма-фон.

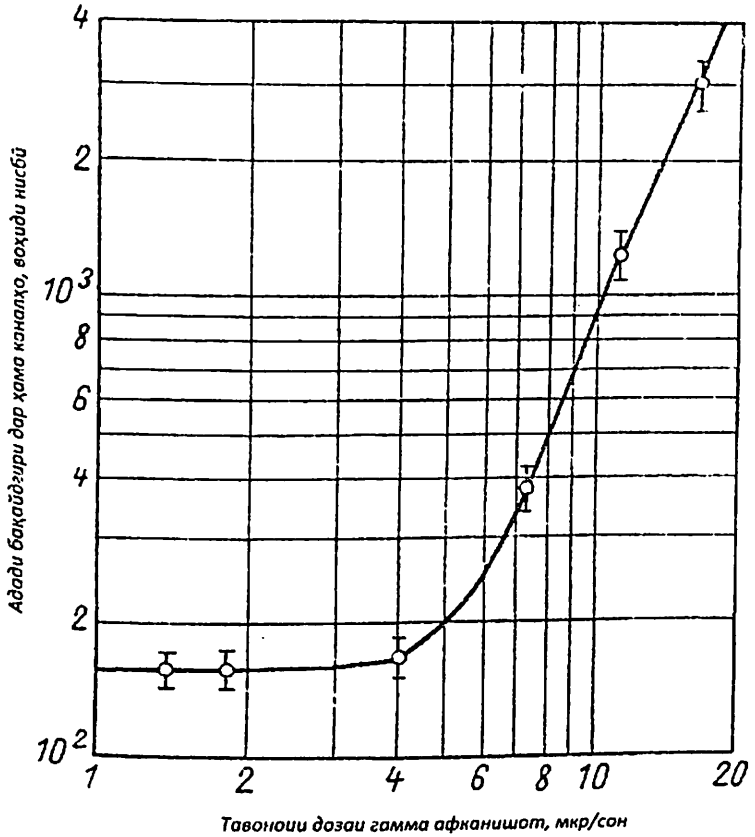
Тавсифаи ҳисобии гирифташуда барои спектрометр бо кристалли диаметраш 30 ғафсиаш 20мм, ки ба ФФС-13 васл шудааст, дар расми 5.2.7. барои манбаҳои нейтронҳои сареъ P_o+Be; манбаи гамма-афканишот C_o-60 нишон дода шудааст. Чи тавре, ки аз расм дида мешавад, ҳангоми суръати ҳисоб вобаста ба қайдгири нейтронҳо, ~200 имп/сон будан, реча имкон медиҳад пурборсозии гамма-фон тахминан то 4мкр/сон, яъне то ~500 гамма-квант дар яксония расад. Ҳангоми дар оянда афзоиш ёфтани тавоноии дозаи гамма-афканишот, суръати ҳисоб возеҳан меафзояд ва реча импулсҳои протонҳоро аз гамма-квантҳо фарқ намекунад.

Равшан аст, ки ин ҳодиса ба эффекти бастани импулсҳое, ки гамма афканишот пайдо мекунанд, алоқаманд буда, дар ин натича амплитудаи суммавии онҳо аз зинаи маҳдудкунак зиёдшаванда мешавад.

Қобилияти реча, ки гамма-фонро маҳдуд мекунад, нисбатан калон нест ва он бечунучаро доираи масъалаҳоро маҳдуд мекунад, ки онро метавонад спектрометри яккристаллӣ бо речаи маҳдудкунак ҳал кунад. Натиҷаҳои таҷрибавии дар расми 5.2.7 нишондодашуда ба зинаи энергиявии хеле паст дохил мешаванд. Соҳаи беҳиссиёти спектрометрро нисбат ба гамма-афканишот бо роҳи афзоишдиҳии зинаи коркарди маҳдудкунак афзоиш додан мумкин аст. Аммо афзоиш додани коркарди маҳдудкунак, чи тавре ки алакай қайд кардем, ба зиёдшавии зинаи энергиявӣ спектрометр меоварад.

Дар вақти нисбатан на он қадар калон будани фони гамма-афканишот, спектрометри нейтронҳои сареъ бо речаи маҳдудкунии дар расми 5.2.1.а нишондодашуда нағз кор мекунад. Агар зинаи энергиявии спектрометрро ба 1 МэВ барқарор кунем, бо ёрдами ин гуна спектрометр спектри манбаҳои нейтрон $P_o + Be, P_o + B$ ва спектрҳои тақсимшави U-235-ро чен кардан мумкин аст. Спектрометр инчунин барои чен кардани спектри нейтронҳои манбаи $P_o + Be$, ки аз қабатҳои обии ғафсиашон якхела мегузаранд, истифода бурда мешавад.

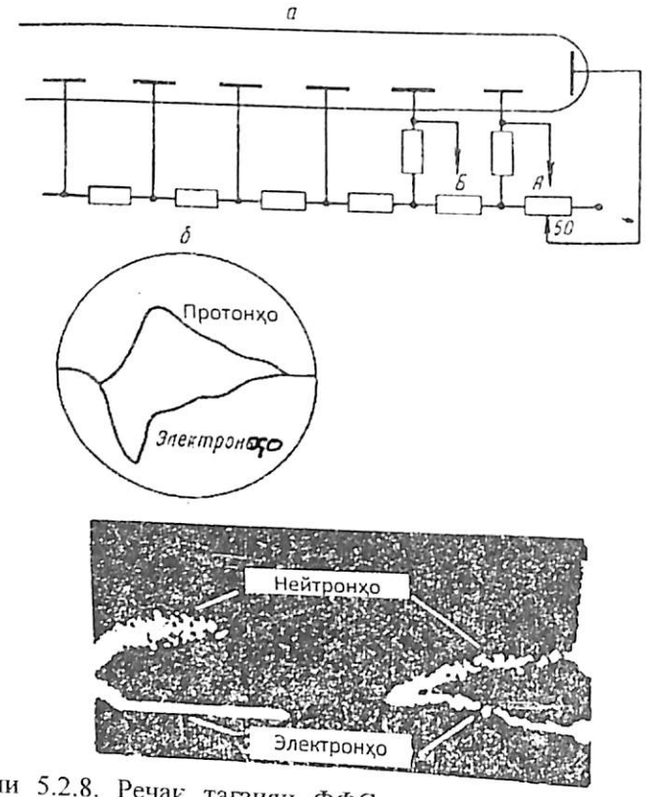
Усули оддӣ, аммо усули хеле самаранок ҷудокунии (тақсимкунӣ) импулсҳо аз гамма-афканишот ва нейтронҳо бо таъсири заряди фазогӣ дар соҳаи динодии охирон ва аноди ФФС вобаста аст.



Расми 5.2.7. Тавсифаи ҳисобии спектрометри яккристаллии нейтронҳои сареъ бо речаи маҳдудкунии гамма-фон (нигаред ба расми 5.2.1.а)

Барои маҳдудкунии гамма-фон бо ёрдами заряди фазогӣ, ФФС-ро дар низоми ғайрихаттӣ пайваст мекунанд, барои ин таъзияи ФФС аз тақсимкунаки махсуси интихобӣ ба даст оварда мешавад (расми 5.2.8). Дар натиҷаи таъсири заряди фазогӣ дар динодии охирони ФФС импулсҳои ки аз протонҳо вобастабуда дорои қутби мусбат ва импулсҳое, ки аз электронҳо вобастагӣ доранд, дорои қутбнокии манфӣ мебошанд.

Аммо ба хотир овардан мумкин, ки импулсҳои манфӣ - "электронҳо" на он қадар партофти мусбатро пайдо мекунанд, бузургии он тахмин ба энергияи электронҳо мутаносиб аст.



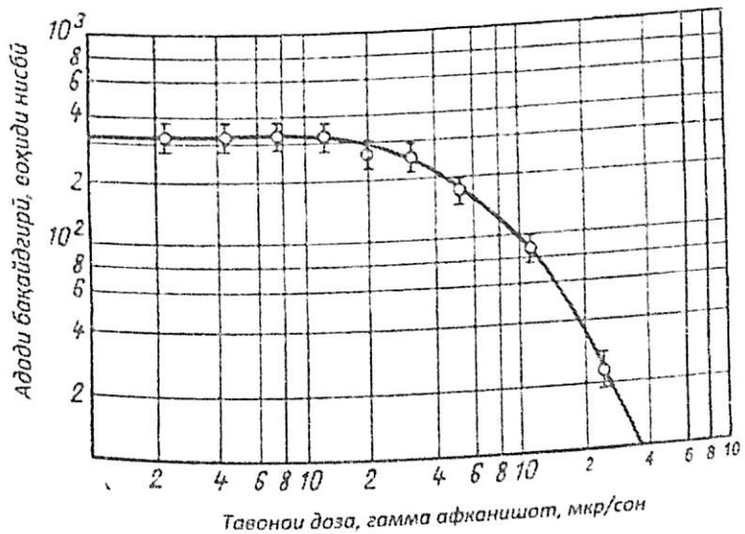
Расми 5.2.8. Реҷаи таҷзияи ФФС имкон медиҳад, ки импулсҳои "протонҳоро" аз электронҳо ҷудо кунем бо ёрдами заряди фазогии байни анод ва динодии охирони ФФС: (а) шакли импулс дар динодии охирони ФФС (б) ва осциллограммаи импулсҳои нейтронҳо ва "электронҳо" дар ду зариби тақвияти гуногун (в), дар экрани осциллограф мушоҳида мешавад (А импулсҳои идоракунанда; Б-импулс, ки амплитудааш ба энергияи протонҳо мутаносуб аст).

Вобаста ба ин, реҷаи спектрометри яккристаллиро дар канали идоракунӣ ҳамин гуна маҳдудкунак бояд низ нигоҳ дорад. Реҷаи спектрометри нейтронҳо бо маҳдудкунонии гамма-фон бо ёрдами заряди фазогӣ аз пешина баррасикардаамон ягон фарқият надорад (нигаред ба расми 5.2.4).

Дар расми 5.2.9 вобастагии ҳиссиёти спектрометрӣ яккристаллии нейтронҳои сареъ бо реҷаи маҳдудкунии гамма-фони заряди

фазогӣ ва гамма-афканишот аз тавонои дозаи гамма-афканиш нишон дода шуда аст. Монанди пешина таҷриба гузаронида шуд, ки нишондеҳи спектрометр бо кристалли стилбении диаметраш 30 ва ғафсиаш 20 мм дар дастаи бузургиаш доимии нейтронҳои сареъи манбаи $P_o + Be(\sim 300г/см^2 . сон)$ ҷойгир аст, майдони таъйирёбандаи гамма-афканишотро манбаи $C_o - 60$ медиҳад. Агар савияи маҳдудкунак ба зинаи энергиявии ~0,6 МэВ-и спектрометр мувофиқат кунад, онгоҳ ба гамма-афканишоти энергияи максималӣ 1.33 МэВ то тавонои дозаи ~10 мкр/сон спектрометр ҳиссиёт надорад.

Дар оянда бо афзудани тавонои дозаи гамма-афканиш ва дар натиҷаи афзудани заряди фазогӣ суръати ҳисоб кам шуда, илова бар ин дар импулсҳои бақайдгирифташуда импулсҳое иштирок доранд, ки аз ҳисоби ангезонидани электронҳои кристалл пайдо мешаванд.



Расми 5.2.9. Тавсифи ҳисоби спектрометри яккристаллии нейтронҳои сареъ бо реҷаи маҳдудкунаки гамма-фон (расми 5.2.8 нишон дода шудааст)

Аз муқоисаи расмҳои 5.2.7 ва 5.2.9 дида мешавад, ки спектрометр бо реҷаи маҳдудкунаки гамма-фон бо ёрдами заряди фазогӣ

дар тавонои дозаи калонтарини гамма-майдон нисбати спектрометр бо речаи махдудкунак, ки пештар дида баромадем, қобилияти корӣ дорад.

Ҳангоми ченкуниҳо бо речаи махдудкунаки гамма-фон бо ёрдами заряди фазогии байни анод ва диноди охирони ФФС ошкор карданд, ки эффекти аз ҳама бехтарини тақсимкунӣ импулсҳое мебошанд, ки аз ҳисоби "протонҳо" ва "электронҳо" ба вуҷуд меоянд, дар он ҳолат, ки агар доимии интегронидани RC^1 дар занҷири диноди охирон ба вақти афтиши сусти ҷузъӣ импулс, ки ба протонҳои қафорафта вобаста аст, баробар бошад (нигаред ба расми 5.2.10). Интихоб кардани муқовимати R (фарз мекунем, ки C^1 баробари 10 пф аст) аз ФФС $RCA-6810A$, муяссар мешавад, ки бо кристалли стилбенӣ амплитудаи импулсҳо аз протонҳои қафорафта нисбати амплитудаи импулсҳо аз гамма-квантҳо 7,5 маротиба калон аст.

Ҳангоми $RC^1 = 220 \cdot 10^{-9}$сония будан, кристалли стилбенӣ бо дастаи нейтронҳои энергияи 4 МэВ дар реаксияи $Д(d,n)He^3$ пайдо шуд, дастаи гамма-квантҳо Na-22 ($E_\gamma = 1.28$ МэВ) нурборон карда шуд. Бо ёрдами муқовимати R_1 байни диноди охирон ва анод фарқи потенсиали ~10в барқарор карда шуд. Дар вақти ивази кристалли стилбенӣ ба дигар синтиллаторҳо аз ҳама бехтарин тақсимшавии импулсҳо, ҳангоми интихоби дигари вақти доимии интегронӣ RC^1 ҳосил карда шуд. Масалан, барои антрасен $RC^1 = 80 \cdot 10^{-9}$сон. аст. Нисбати шумораи нейтронҳое, ки бо ёрдами речаи баррасикардаамон ба қайд гирифта шуд, бар шумораи гамма-квантҳои ба қайдгирифтаи энергия нишон дода шуда 300:1-ро ташкил мекунад.

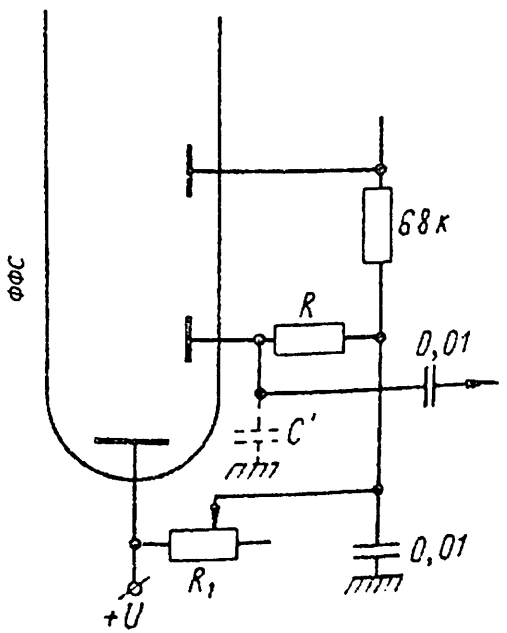
Бо ёрии спектрометр бо фотофузунсози ФФС-33 (тақсимкунаки шиддат стандартӣ, доимии интегронидан $RC^1 = 360 \cdot 10^{-9}$сон) бо кристалли стилбенӣ муяссар шуд, ки нейтронҳои манбаи P_0+Be –ро бо тавонои доза 13 мкр/сон ба қайд гирем.

Фарқияти вақт дар импулсҳо, ки протонҳо ва электронҳо ҳосил мекунанд, ба амплитуда табдил меёбад ва илова бар ин бузургии импулс аз диноди охирони ФФС аз энергияи протонҳои қафорафта ва электронҳои комптонӣ, ки дар кристалли стилбенӣ пайдо мешаванд, вобаста нест.

Амплитудаи импулсҳое, ки протонҳои қафорафта ба вуҷуд меоранд, нисбати амплитудае, ки электронҳоро ба вуҷуд меоранд, тахминан ду маротиба калон ва баробари ~100 В аст

Аз сабаби калон будани амплитудаи импулсҳо тақвиятдиҳандаро истифода намебаранд, ва бо осонӣ аз тақсимшавии амплитудӣ импулсҳо ва гамма-фонеро, ки пайдо мешаванд, хориҷ кардан мумкин аст.

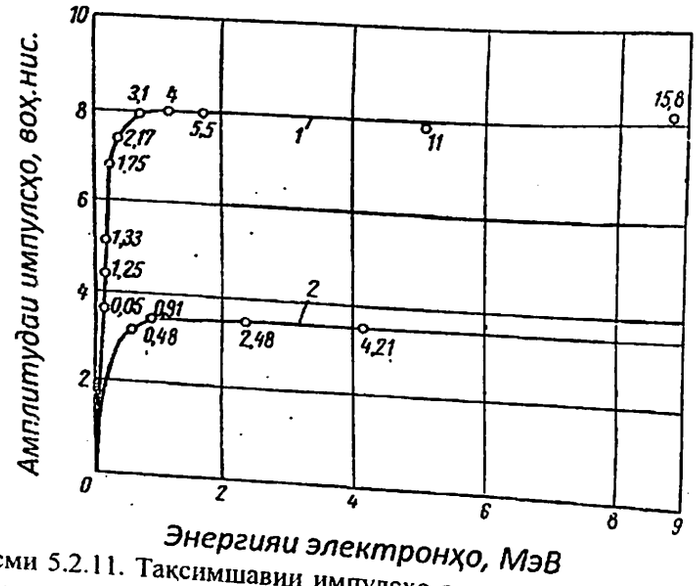
Дар расми 5.2.11 тақсимшавии амплитудии импулсҳое, ки "протонҳо" ва "электронҳо" ба вуҷуд меоранд, нишон дода шудааст. Ин тақсимшавӣ аз манбаҳои нейтронҳо ва гамма-квантҳои энергияшон гуногун гирифта шудааст.



Расми 5.2.10. Речаи махдудкунии гамма-фони заряди фазогӣ бо занҷири RC^1–интегронӣ.

Дар вақти $E_e > 0.5$ МэВ ва $E_p > 2$ МэВ будан, импулсҳо дар даромади ФФС аз энергияи зарра вобастаги надоранд. Тавассути речаи нишондодашуда муяссар шуд, ки зинаи энергиявӣ барои нейтронҳои энергияшон наздик ба 1,2 МэВ-ро ҳосил кунем; дар ин маврид бо кристалли стилбении диаметр ва ғафсиаш 30 мм, сама-

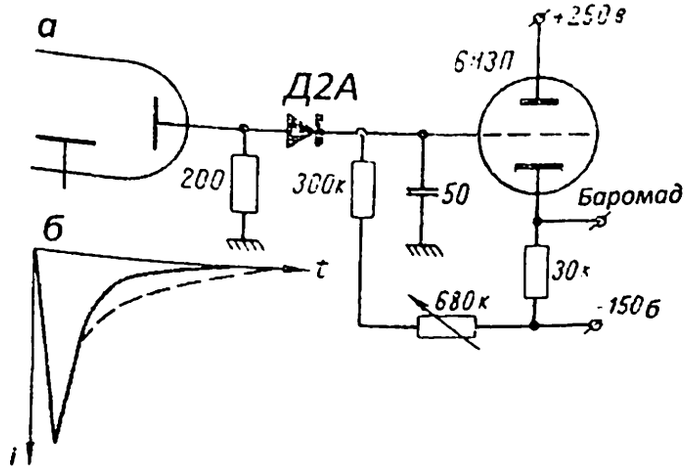
ранокии ба қайдгирии нейтронҳои манбаи P_o+Be баробари 7% буд ва самаранокии бақайдгирии гамма-афканишот аз 0,01% зиёд нашуд. Реҷа гамма-фонро маҳдуд намекунад, агар сарбории суммавӣ дар баромад аз 10^4 имп/сон барзиёд бошад.



Расми 5.2.11. Тақсимшавии импулсҳо аз протонҳо (1) ва электронҳо (2)-и импулсҳои амплитудӣ, ки бо реҷаи маҳдудшавии гамма-фони заряди фазогӣ дар фотофузунсозӣ ФФС-33 гирифта шуда аст, рақамҳо дар нуқтаҳои хати қаҷ энергияи максималии протонҳои қафорафта ва электронҳои комптонӣ.

Ғайр аз тафсири реҷаи маҳдудкунак, ки бо раванди муқоисакунии импулсҳо ва бо раванди тақсимкунӣ бо ёрдами заряди фазогӣ ва дигар реҷаҳо кор мекунад, ҳаммаъноӣ дорад. Ҳамин тавр, масалан, реҷае, ки дар расми 5.2.12 мавҷуд аст, сигнали ба ҷузъи суст алоқамандро ҷудо мекунад ва онро бо импулсҳои заряди пурра муқоиса мекунад. Низоми кори ФФС дар ин маврид хаттӣ мебошад. Агар импулси ҷараён дар ФФС монанди сигнали рӯшной дар синтиллатор тағйир ёбад, онгоҳ дар аноди ФФС бо вақти афзоиши кам импулс пайдо мешавад ва ҷабҳаи қафо аз ду қитъа иборат аст: бо афтиши тез ва афтиши суст (расми 5.2.12). Қитъаи дуюмини ҷабҳаи қафо вобаста ба ҷузъи суст, аммо масоҳати ҷузъи суст аз ҷузъи тез барои протонҳо 5 маротиба ва барои электронҳо 10 маротиба хурд мебошад. Реҷа чунин васл карда мешавад, ки дар ғунҷоиши С аз нав ба вуҷуд овардани танҳо ҷузъи суст мушоҳида мешавад, яъне сигналҳо аз гамма-фон ва протонҳои қафорафта фарқ мекунанд, агар амплитудаи сигнал на кам аз 20-30 маротиба иваз шавад ва серборсозии пурра аз $5 \cdot 10^3$ имп/сон. зиёд нашавад.

Натиҷаҳои хуб бо реҷаи расми 5.2.12 ва ФФС –и муваққатии ФФС-33 бо низоми навъи таъмини электрикӣ гирифта шуд.

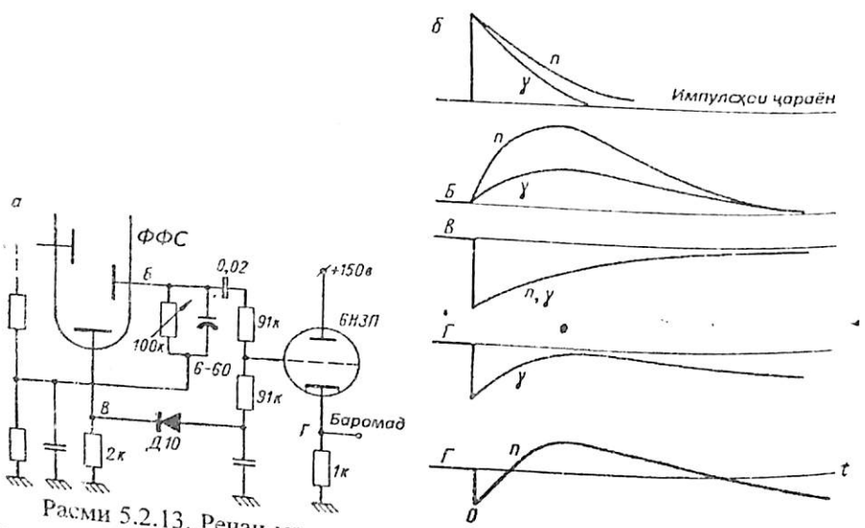


Расми 5.2.12. Реҷаи маҳдудкунии гамма-фон (а) ва шакли импулсҳо дар аноди ФФС (б).

Дар занҷири анодӣ ва динодии охирон бо вақти доимии гуногун $RC(5 \cdot 10^{-8}$ ва $6 \cdot 10^{-6}$сон.) мувофиқ омада, импулс ба шакл дароварда мешавад ва амплитуда бо ҷузъҳои тез ва суст муайян карда мешавад. Реҷаро танҳо дар он вақте чунин омода мекунанд, ки синтиллатор бо нейтронҳо нурбориш шавад (нигаред ба расми 5.2.12) ва дар базаи транзистор импулси мусбат пайдо шавад. Агар дар реҷа динодии *Д*-10 аз унсури силитсийи нукрагиро истифода барем, он гоҳ мумкин аст, ки дар фони гамма-афканишот нейтронҳои энергияшон 80 кэВ-ро ҷудо кунем. Нишон дода шуд, ки ҳангоми пурборсозии суммавӣ то $\sim 10^4$ имп/сон, реҷа фарқ кардани

импулсҳоро вобаста ба гамма-афканишот ва протонҳои қафорафта бас мекунад.

Дар речаи маҳдудкунаки гамма-фон ва речаи спектрометри нейтронҳои сареъ ки дида баромадем, ба сифати синтиллатор кристалли стилбенӣ истифода шуда буд. Ғайр аз ин, имконияти истифодабарии спектрометри яккристаллӣ бо дигар синтиллаторҳо омӯхта шудааст ба монанди: нафталин, толан ва синтиллаторҳои пластмассавии навъҳои 1 ва 11 [ҳарду синтиллаторҳои пластмассавӣ таркибашон якхела (полистрол+ n перфенил+*POPOP*) аст, аммо аз рӯйи технологияи тайёр кардан фарқ мекунанд]. Муқоисакунии ин синтиллаторҳо бо речаи маҳдудкунии гамма-фон (нигаред ба расми 5.2.10) ҳангоми нурбориши синтиллаторҳо бо нейтронҳои сареъи манбаи P_o+Be ва гамма-афканишоти Co-60 ичро шудааст. Синтиллаторҳо бо навбат ба ФФС-33 гузошта шуда, барои ҳар як синтиллатор занҷири интегронӣ интихоб карда шуд.



Расми 5.2.13. Речаи маҳдудкунаки гамма-фон (а) ва шакли импулсҳо дар нуқтаҳои гуногуни реча (б). Шаклҳои импулсҳои Б, В, Г дар якномии нуқтаҳои реча мушоҳида мешавад. Ҳангоми доимӣ будани фони гамма-афканишот (13 мкр/сон) натиҷаҳои гирифташуда дар ҷадвали 5.2.1 оварда шудааст.

Барои кристалли толанӣ вобаста ба гамма-афканишот ва нейтронҳо тақсимшавии импулсҳо амалӣ карда нашуд. Нисбати хеле калонтари амплитудаи импулс Ар "протонҳо" ба амплитудаи импулсҳои "электронҳо" Ае дар кристалли стилбенӣ гирифта шуд.

Ҷадвали 5.2.1

Тақсимшавии импулсҳои "протонҳо" ва "электронҳо" ҳангоми дар спектрометр истифода бурдани синтиллаторҳои органикии гуногун

Синтиллаторҳо	Ченаки кристалл		$RC^1 \cdot 10^{-9}$сон	Самаранокӣ барои нейтронҳо ε_0%	$\frac{A_p}{A_e}$
	Диаметр	Ғафсӣ			
Стилбен	30	23	360	7,5	2
Нафталин	30	18	180	4	1,7
Толан	30	14	–	–	1,0
Пластмасс	28	25	100	4	1,7
Пластмасса	28	50	100	3,7	1,8

Якбора нишон дода шуд, ки речаи интегронӣ дар занҷири RC фарқ кардани импулсҳои "протонҳо" ва "электронҳоро" бас мекунад, агар гамма-фон аз 13 мкр/сон зиёд шавад. Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон медиҳанд, ки синтиллаторе, ки ба спектрометрӣ нейтронҳои сареъ хеле нағзтар мувофиқати корӣ дорад, кристалли стилбенӣ мебошад.

5.3. КОРКАРДИ НАТИҶАҲОИ ЧЕНШУДАИ СПЕКТРИ НЕЙТРОНҲО БО СПЕКТРОМЕТРИ СИНТИЛЛАТСИОНӢ

Маълум карда шуд, ки дар натиҷаи чен кардани спектри нейтронҳои сареъ бо ёрдами спектрометри кристалли синтиллатсионӣ ва кристалли ҳидрогендор спектри протонҳои қафорафта ба намуди яклухти импулсҳо вобаста ба амплитудаи тақсимшавӣ аз сифр то якчанд қимати максималӣ ба энергияи максималӣ ва тадқиқотии спектри нейтронҳо мувофиқ мебошад. Шакли тақсимшавии амплитудӣ аз тадқиқоти тақсимшавӣ аз энергия нейтронҳо вобаста мебошад. Дар ҳолати оддӣ, яъне дар мавриди

ди чен кардани спектри монохроматии нейтронҳо, тақсимшавии амплитудӣ намуди хати каҷи зинамонандро дорад; ҳангоми чен кардани спектрҳои хеле мураккаби нейтронҳо тақсимшавии амплитудӣ бо камбудӣ ба намуди ба поён овезоншуда ҳосил мешавад, ки бо афзоиши хати каҷи амплитудаи импулсҳо дар баъзе вақтҳо аз ҳад зиёд қат шудан мушоҳида мешавад. Тақсимшавии импулсҳо дар соҳаи амплитудаи хурд асосан аз бузургии зинаи реҷаи спектрометр (расми 5.3.1) вобаста мебошад.

Дар намуди умумӣ байни спектри протонҳои қафорафта ва спектри нейтронҳо чунин таносуб ҷой дорад:

$$\frac{dN(E_p)}{dE_p} = \int_{E_p}^{\infty} \varepsilon(E_n) \frac{dN(E_n)}{dE_n} \cdot \frac{dE_n}{E_n}, \qquad (5.3.1)$$

дар инҷо $\frac{dN(E_p)}{dE_p}$ - спектри протонҳои қафорафта, $\frac{d(E_p)}{dE_p}$ – спектри нейтронҳо; $\varepsilon(E_n)$ - самаранокӣ спектрометр вобаста аз энергияи нейтронҳо, ки аз формулаҳои (3.1.9) ва (3.1.9.а) муайян мешавад.

Интегронидани ифодаи (5.3.1) барои ҳамаи энергияи протонҳои қафорафта иҷро мешавад, аз сабаби он ки ҳангоми пароканиши нейтрон дар синтиллатор дар зери кунҷи дилхоҳ мегузарад ва имконияти ба қайд гирифтани протонҳои қафорафта, яъне пайдоиши импулс дар тақсимшавии амплитудӣ мавҷуд аст.

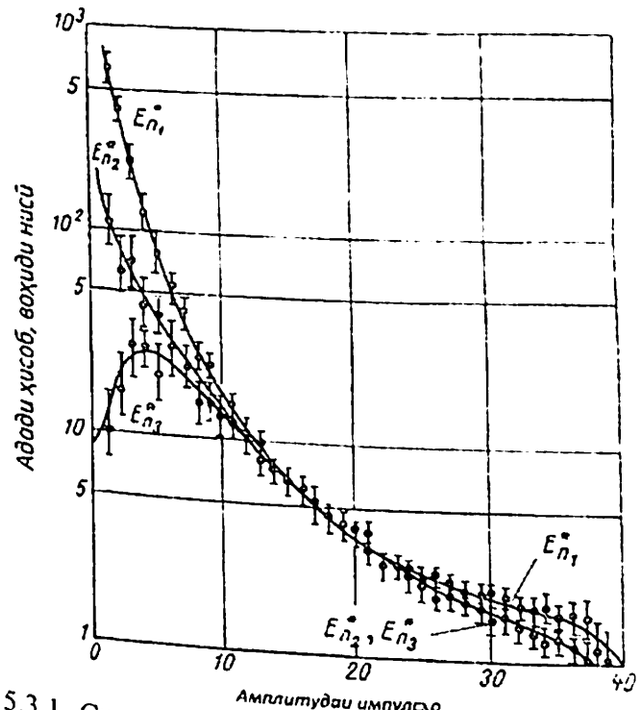
Спектри нейтронҳоро ҳангоми дифференсиронидани ифодаи (5.3.1) ҳосил кардан мумкин аст:

$$\frac{dN(E_n)}{dE_n} = -\frac{E_n}{\varepsilon(E_n)} \left\{ \frac{dN(E_p)}{dE_p} \right\} E_n = E_p, \qquad (5.3.1.а)$$

Азбаски вобастагии байни баромади рӯшноии синтиллаторҳои органикӣ ва энергияи протонҳои қафорафта ғайрихаттӣ мебошад, он гоҳ дар алоқаи байни тақсимшави амплитудӣ ва спектри нейтронҳо бояд ин вобастагӣ ба назар гирифта шавад. Бинобар, ин барои аз натиҷаҳои ченкунии тақсимшавӣ амплитудӣ муайянкунии спектри нейтронҳо бояд муодилаи намуди зеринро ҳал кард:

$$\frac{dN(E_n)}{dE_n} = -\frac{E_n}{\varepsilon(E_n)} \left[\frac{dL}{dE_p} \cdot \frac{d}{dL} \left(\frac{dL}{dE_p} \cdot \frac{dN_p}{dL} \right) \right] E_n = E_p, \qquad (5.3.2)$$

дар инҷо $\frac{dL}{dE_p}$ - вобастагӣ баромади рӯшноӣ аз синтиллатор ва энергияи протонҳо; $\frac{dN_p}{dL}$ -тақсимшавии амплитудии ченшуда.



Расми 5.3.1. Спектри асбобии протонҳои қафорафта, ки дар реактор ҳангоми ченкунӣ дар зинаҳои гуногуни энергия E_p° гирифта шудаанд (ченкуниҳо бо реҷаи маҳдудкунаки заряди фазогӣ гузаронида шудааст).

Ифодаи (5.3.2) эффекти пароканиши бисёркаратаи нейтронҳоро дар синтиллатор ва ихроҷи протонҳои қафорафта аз ҳаҷми синтиллатор, яъне эффекти фурӯбурди нопурраи энергияи протонҳои қафорафта дар модаи синтиллатор ва пароканиши нейтрон дар ядрои карбонро ба назар намегиранд. Инчунин эффектҳои оморӣ, ки ба пурборсозии спектрометр алоқаманд аст, ҳамчунин тафриқаи худи синтиллатор ва ФФС ба назар гирифта намешавад. Чи тавре, ки дар боби 2, §5 гуфта шуд буд, таъсири пароканиши нейтронҳо дар ядрои карбон ба синтиллатор масъалаест, ки бо пур-

борсозии спектрометр алокаманд аст, ва тафриқаи энергиявӣ онро, ки пештар дида баромада будем, мумкин ба назар нагирем. Таъсири ихроҷи протонҳо дар ҳаҷми синтиллатор ва таъсири бисёркаратаи пароканиши нейтронҳо дар синтиллатор ҳангоми дохил кардани ислоҳот мувофиқ буда, онро дар спектри нейтронҳо, ки аз (5.3.2) муайян шуда буд, ба назар гирифтан мумкин аст.

Муодилаи (5.3.2)-ро ба таври таҳлилӣ ҳал кардан мумкин нест, барои он ки ҳатто дар ҳолати ченкунии спектри оддии нейтронҳо тақсимшавии амплитудиро ба намуди функсияи оддӣ навиштан имконнопазир аст. Бинобар ин, коркарди натиҷаҳои ченшуда ба намуди графикӣ ичро карда мешавад. Амалиёти пай дар пай ҳангоми коркарди натиҷаҳои ченшуда чунинанд: Дар тақсимшавии амплитудии ченшуда бо ёрдами графики дараҷабандӣ ба ҷадвали “амплитудаи импулс” ҷадвали энергияи протонҳоро иваз мекунанд. Баъди тақсимшавӣ ба бузургии ғайрихаттии баромади рӯшноии кристалл, ки ба энергияи протонҳои қафорафта мувофиқат мекунад, ислоҳ карда шуда, бузургии dL/dE_p –ро зарб мезананд. Барои ичрошавии ин амал хати каҷи вобастагии баромади рӯшноӣ аз энергияи протонҳоро истифода бурдан мумкин аст, ки дар боби 1 оварда шуда аст, ё ин ки бо саҳеҳии аниқ муайян карда шудааст: $\frac{dL}{dE_p} \sim E_p^{1/2}$. Тақсимшавии ҳосилшударо вобаста ба (формулаи 5.3.2) дифференсиал мегиранд. Дар натиҷаи дифференсиронӣ спектри нейтронҳои сареъи “асбоб” ҳосил мешавад, ки танҳо ба самаранокӣ вобаста аз энергияи нейтронҳо $\varepsilon(E_n)$ –и спектрометр ислоҳ карда мешавад.Баъди дохил кардани ислоҳот ба самаранокӣ ислоҳоти охиронро бо назардошти ихроҷи протонҳои қафорафта аз ҳаҷми синтиллатор ва ба пароканиши дуюмини нейтронҳои дар худуди манба мавҷудбуда дохил мекунанд, ки онро бо a_1 ва a_2 ифода мекунанд. Ҳамин тавр спектри коркардшудаи нейтронҳои сареъ, ки аз реаксияи $Д(d, n)He^3$ ҳосил мешаванд, дар расми 5.3.2 нишон дода шудааст. Коркарди натиҷаҳои ченшуда нишон медиҳад, ки тақсимшавии амплитудиро ба осонӣ коркард кардан мумкин аст. Ченкуниҳои бисёркаратаи спектри нейтронҳои сареъи манбаҳои гуногун бо спектрометри якнишондеҳ нишон медиҳад, ки натиҷаҳои дастрасшуда аз натиҷаҳои гирифтаи ченкуниҳои дигар

намуди спектрометрҳо кам фарқ мекунад. Барои коркарди натиҷаҳои ченшуда зарур аст ду ислоҳотро муайян кунем.

Ислоҳот дар пароканиши бисёркаратаи нейтронҳо дар синтиллатор ва ба ихроҷи протонҳо аз ҳаҷми синтиллатор бояд дар якҷоягӣ дида шавад, барои он ки онҳо гуногун буда, мукобили ҳамдигар таъсир мекунанд. Дар ҳақиқат, агар бо афзоиши ченаки синтиллатор саҳми пароканиши бисёркарата афзояд, он гоҳ эффекти ихроҷи протонҳо кам мешавад ва ҳангоми камшавӣ ченаки кристалл ихроҷи протонҳо меафзояд, аммо эҳтимолияти пароканиши бисёркарата кам мешавад.

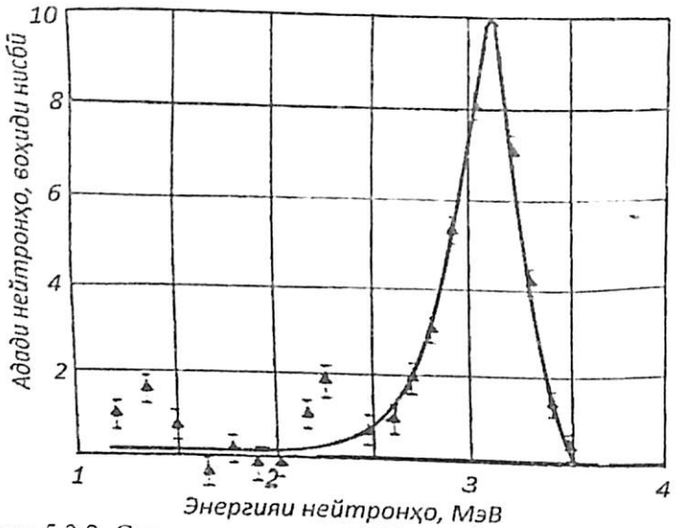
Аз натиҷаҳои гачриба ва ченкуниҳо муайян карда шуд, ки бо роҳи муқоиса кардани ҳисобу китоби тақсимшавии амплитудӣ, формулаи эмпирикӣ барои ислоҳоти a, бо назардошти пароканиши дуюмини нейтронҳо ва ихроҷи протонҳо аз ҳаҷми синтиллатори силиндирӣ чунин ҳисоб карда мешаванд:

$$a = 1 - 0.78\frac{R_{max}(E_p)}{d} + 0{,}09\frac{n_H d}{V}\sigma(E_n) + \frac{n_H R}{V}\sigma(0.068E_n), \quad (5.3.3)$$

дар инҷо d ва R – диаметр ва радиуси синтиллатор: $R_{max}(E_n)$– радиус дар ҳудуде, ки нейтрон энергияи ҳудро пурра ба протони қафорафта медиҳад; V – ҳаҷми синтиллатор; $n_H\sigma(E_n)$ – арзи макроскопии ҳидроген дар синтиллатор барои нейтронҳои энергияшон E_n ё ин ки $0{,}068E_n$.

Ҳисобҳои бисёркарата нишон доданд, ки ба назар гирифтани пароканиши сеюмин ва охирини нейтрон дар синтиллатори ченакаш мисли пешина (диаметр 30-40; ғафснаш 10-20мм) нисбати ислоҳоте, ки танҳо пароканиши дуюминро ба назар мегирад, ягон эффекти назаррасро намедиҳад. Дар ҳар ҳолат аз баҳодиҳии натиҷаҳои ченшуда ва ҳисоб аз формулаи (5.3.3) аниқиро то тартиби 10% таъмин мекунад. Барои дохил кардани ислоҳоти a, ки дар натиҷаи ҳисобкуниҳо гирифта шуданд, бояд ба a тақсим шавад, дар ин маврид бояд ба назар дошт, ки ислоҳот танҳо аз энергияи нейтронҳо вобаста аст.

Дар формулаи (5.3.3) ду аъзои охирон - ислоҳот дар пароканиши дуюмин ва ихроҷи протонҳо мебошанд. Синтиллатор тақрибан силиндрикӣ аст ва дастаи нейтронҳо аз манба хориҷ ва коллиматсия шуда, ба тир равон шуда мебошад.



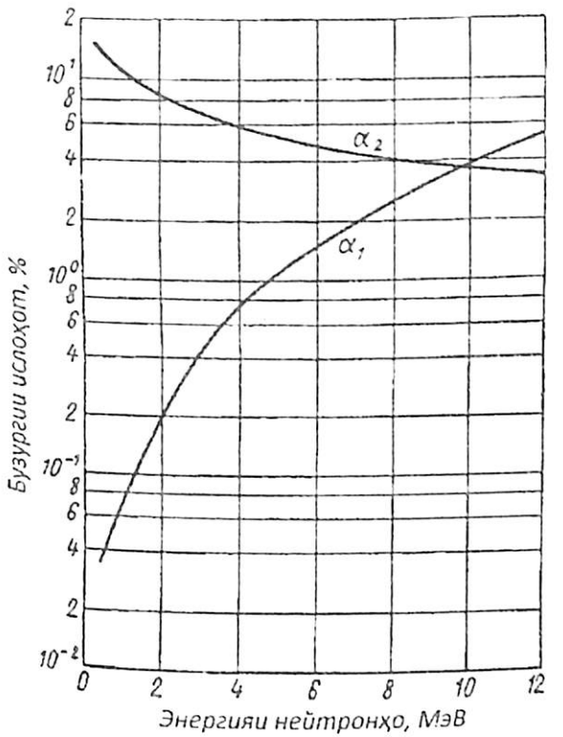
Расми 5.3.2. Спектр аз реаксияи Д(d, n)He^3, ки бо спектрометри яккристаллӣ бо речаи маҳдудкунии гамма-фони заряди фазогӣ чен шудааст.

Дар расми 5.3.3 ба сифати мисол ислоҳоте нишон дода шудааст, ки дар он a_1 – таъсири дуюмини пароканишро, a_2 –ихроҷи протонҳои қафорафтаро аз ҳаҷми синтиллатор вобаста аз энергияи нейтронҳо E_n аз формулаи (5.3.3) барои кристалли стилбении диаметраш d=30мм ва ғафсиаш 30мм ҳисоб шуда аст, ба назар мегирад. Дар ҷадвали 5.3.1 барои кристаллҳои ғафсиашон ба диаметрашон баробар $(d = 2R)$,ғайр аз ин d=0.5 см, ин ислоҳотҳо оварда шудааст.

Аз ҷадвали 5.3.1 ва расми 5.3.3 дар ҳақиқат дидан мумкин аст, ки ислоҳоти a_1 ва a_2 ба равишҳои муқобил "таъсиррасон" аст.

Бинобар ин, барои ҳар як энергияи додашудаи нейтронҳо E_n бояд баъзе муносибтарин ченаки кристалл мавҷуд бошад, ки ислоҳоти суммавӣ a_1+a_2 максималӣ шавад. Дар ҳолати d=2R будан, ченаки муносибтарини кристаллро вобаста аз энергия аз формулаи зерин муайян мекунем:

$$d = \left[\frac{0.78R_{max}V}{0.9n_H\sigma(E_n)+0.77n_H\sigma(0.068E_n)}\right]^{1/2}, \qquad (5.3.4)$$



Расми 5.3.3. Ислоҳоти a_1 ва a_2 вобаста аз энергияи нейтронҳо.

Дар ҷадвали 5.3.2 ғафсии муносибтарини кристалли стилбенӣ барои баъзе қиматҳои энергияи нейтрон ва ислоҳоти a_1 оварда шудааст. Дар ченаки муносибтарини кристалл ислоҳот аз ҷиҳати бузургӣ баробар, аммо аломатҳояшон муқобили якдигар мебошад. Аз ҷадвали 5.3.2 дида мешавад, ки ғафсии муносибтарини кристалл вобаста аз энергияи нейтронҳо метавонад хеле зиёд тағйир ёбад ва агар спектрометр барои чен кардани спектри нейтронҳо дар паҳнои васеи энергия пешниҳод шавад, мисол, барои гузаронидани ченкуниҳо дар реакторҳои ядроӣ, ғафсии кристалл тахминан 1 см муносибтарин ҳисобида мешавад. Ғайр аз ин, дар таҷриба ошкор шуд, ки ҳангоми ченкунии спектри нейтронҳо дар иштироки интенсивияти гамма-фон барои кам кардани ҳиссиёти спектрометр нисбати гамма-квантҳо ғафсии кристаллро аз 5-10 мм зиёд кардан лозим нест.

Ҷадвали 5.3.1

Ислоҳоти a_1 ва a_2 барои кристалли стилбении ғафсиаш 5мм.

E_n, МэВ	a, %	a_2, %
1	3.9	0.3
2	3.0	0.9
5	1.9	4.6
10	1.3	16

Ҷадвали 5.3.2

Ченаки муносибтарини кристалл (d) ва ислоҳоти a_1 барои як қатор қиматҳои E_n.

E_n, МэВ	d, см	a_1,%
1	0.14	0.9
2	0.28	1.7
5	0.78	3.0
10	1.8	4.0

5:4. ДАРАҶАБАНДИИ СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО ЯК КРИСТАЛЛ

Дар мавриди дида баромадани масъалаи коркарди натиҷаҳои ченкунии спектри нейтронҳои сареъ бо спектрометри синтиллатсионӣ бо як кристалл (нишондеҳ) тахмин карда шуд, ки спектрометр дараҷабандӣ шудааст. Бо вуҷуди он масъалаи дараҷабании спектрометр диққати махсусро талаб мекунад.

Спектрометр бо як нишондеҳ хеле оддӣ буда, онро ҳангоми ченкунии спектри нейтронҳои сареъ, ки аз реаксияҳои Д (d, n) He-3 ё ин ки T(d, n) He-4 пайдо мешаванд, дараҷабандӣ кардан мумкин аст. Ҳардуи ин реаксия дар энергияи нисбатан хурди дейтронҳо (якчанд даҳҳо килоэлектронволт) мегузарад, баромади калон дорад, ки барои дараҷабандӣ кифоя аст.

Дар ҳузури ин гуна нишонаҳо ба равишҳои дилхоҳ нисбати дастаи дейтронҳо нейтронҳои монохроматӣ (як хел энергия) ҳосил мешавад, ки энергияи онҳо вобаста ба энергияи дейтронҳо метавонад аз 1,65 то 20 МэВ тағйир ёбад. Дар расми 5.4.1.а таксимшавии энергиявии нейтронҳо аз реаксияи Д(d, n)He-3 ҳамчун функсия аз

кунҷи парвози нейтронҳо дар қиматҳои гуногуни энергияи дейтрон нишон дода шудааст. Ҳамин хел вобастагӣ барои реаксияи T(d, n)He-4 дар расми 5.4.1.б нишон дода шуд. Барои ҳосилкунии нейтронҳо дар реаксияҳои номбаршуда (Д(d, n)He-3 ва T(d, n)He-4) генераторҳои нейтронҳоро хеле васеъ истифода мебаранд, ки дейтронҳо одатан то энергияи аз 50 то 250 кэВ тақвият дода мешавад.

Бо мақсади дараҷабандӣ кардани спектрометр бо як нишондеҳ инчунин метавон манбаи фотонейтронҳоро истифода бурд. Тафсифи манбаҳои фотонейтронҳо дар ҷадвали 5.4.1 оварда шудааст. Бо вуҷуди ин, энергияи нейтронҳо, ки аз реаксияи (γ, n) пайдо мешавад, барои аксарияти манбаҳо кам мебошад ва онро барои дараҷабандии спектрометр бо як нишондеҳ ба осонӣ дар лабораторияҳои дилхоҳ тайёр кардан мумкин аст: блоки аз берилий тайёршударо бо парма сурох карда, дар он манбаи радиофаъолро ҷойгир мекунанд. Чи қадаре, ки ғафсии берилий калон бошад, ҳамон қадар баромади нейтронҳо калон аст. Бо вуҷуди он, ки берилий дарангсози беҳтарин аст, дар қабати ғафсии берилий ғайр аз нейтронҳои энергияи хос, боз барои истифодабарӣ гамма-афканишот ва нейтронҳои сустшуда низ иштирок мекунад.

Барои дараҷабандии спектрометр ғайр аз ченкунӣ бо манбаи монохроматии нейтронҳо боз чунин манбаҳоро истифода бурдан мумкин аст: Po+Be;P_u+B_e; Ra+Be ва Po+B. Ду манбаи аввал нейтронҳои спектрашон бефосиларо медиҳанд, ки дорои ду максимуми возеҳ дар энергияҳои 4 ва 6 МэВ ва манбаи Po+Be дорои ду максимум дар энергияҳои 3 ва 5 МэВ мебошад

Ҷадвали 5.4.1

Тавсифи манбаҳои фотонейтронҳо

№	Манбаҳои гамма-афканишот	Даври нимкоҳиш	Энергияи гамма-афканишот	Маводи нишонагӣ	Энергияи миёнаи нейтронҳо, МэВ	Баромади нейтронҳо *10^4*
1	Na-22	14,8 соат	2,76	Be, $Д_2O$	0,83 0,22	13 27
2	Mn-58	2,59 соат	1,86; 2; 13	Be	0,15; 0,30	2,9

3			2,7	$Д_2O$	0,22	0,31
4	Ga-72	14,1 соат	1,87; 2,2р	Be	0,78	5
5			2,51	$Д_2O$	0,13	6
6	Y-88	87 рӯз	1,9; 2,8	Be	0,158	10
7				$Д_2O$	0,31	0,3
8						
9	Sb-124	60 рӯз	1,7	Be	0,024	19
10	Li-140	40 соат	2,5	Be	0,62	0,3
11	Ms-Th	6,7 соат	1,8; 2,62	$Д_2O$	0,151	0,8
12				Be	0,827	3,5
13	Ra	1020 сол	2,42	$Д_2O$	0,194	9,5
14				$Д_2O$	0,12	0,1

*Баромади нейтронҳо дар 1гр нишона ва 1 кюрӣ манбаи гамма-афканишот дар масофаи 1см аз манба дар 1сон. чен шудааст.

Спектри нейтронҳои манбаи P_0+B дорои як максимум дар энергияи E_n = 3МэВ мебошад.

Барои дараҷабандии спектрометр бо нишондеҳ манбаҳои алфа-, беҭа-зарра ё ин ки гамма-афканишоти монохроматиро истифода мебаранд.

Ҳангоми дараҷабандӣ кардани спектрометр тавассути алфа-зарра, мисол манбаҳои радиофаъоле, ки алфа-зарраро хориҷ мекунад $P_o - 210$ (E_a = 5,3 МэВ, бояд дар қоби пеши кристалл сурохӣ кунанд, ки дастаи алфа-зарраҳои коллиматсияшуда ба кристалл гузаранд. Гузариш аз энергияи алфа-зарра ба энергияи протонҳо иҷро мешавад, ҳангоми истифода бурдани натиҷаҳои баромади рӯшной кристалл, ки дар боби 3 оварда шудааст. Ҳамин тавр, алфа-зарра бо энергияи 5,3 МэВ дар кристалли стилбенӣ чунин импулс пайдо мекунад, ки протонҳо бо энергияи 1.5-1.6 МэВ пайдо мекунанд, он гоҳ истифодабарии манбаи P_0-210 на ҳама вақт имконпазир аст. Хусусан бояд қайд кард, ки манбаи алфа-зарраи фаъолияташ на чандон калон аз ҳолати спектри алфа-зарра дар раванди ченкуниҳо устувории дараҷабандии спектрометр назорат карда шавад.

Дараҷабандӣ кардани спектрометр тавассути манбаҳои бета-зарраҳо, монанди алфа-зарраҳо иҷро мешавад. Ғайр аз ин, ҳама бета-спектрҳо бефосилаанд ва барои муайянкунии номгӯи канали

таҳлилкунаки амплитудаи спектрометр, вобаста ба энергияи максималӣ бета-зарра $E_{\beta_{max}}$ бояд хати качи Фермиро созем. Дар ин график дар тири абсиса бузургии амплитудаи импулсро ва ба тири ордината бузургии $\eta_0 = \sqrt{N(A)}/B$ –ро мегузаранд, ин ҷо:

$$B = \sqrt{F(z,A)A(a^2-1)^{1/2}}.$$

Дар ин гуна координатҳо бета-спектр дорои хати рост буда, буриши хати абсисса ҳангоми $A = E_{\beta_{max}}$ будан, қимати функсияи F(z, A) табулиронида мебошад.

Аз ҳама аниқтарин спектрометри нейтронҳои сареъ бо як нишондод, ҳангоми ченкуни гамма-спектри манбаи монохроматикӣ дараҷабанди мешаванд(нигаред ба ҷадвали 4.1.1). Ҳангоми ченкунии гамма-спектр спектри комптонӣ ҳосил мешавад, намуди берунаи онҳо ба спектри протонҳои қафорафта монанд буда, дар натиҷаи нурборон кардани кристалл бо дастаи нейтронҳои монохроматӣ пайдо мешаванд. Бо роҳи дифференсиронидани спектри ченшуда мавқеъи $E_{e_{max}}$ –ро дар канали таҳлилкунак меёбанд, лекин:

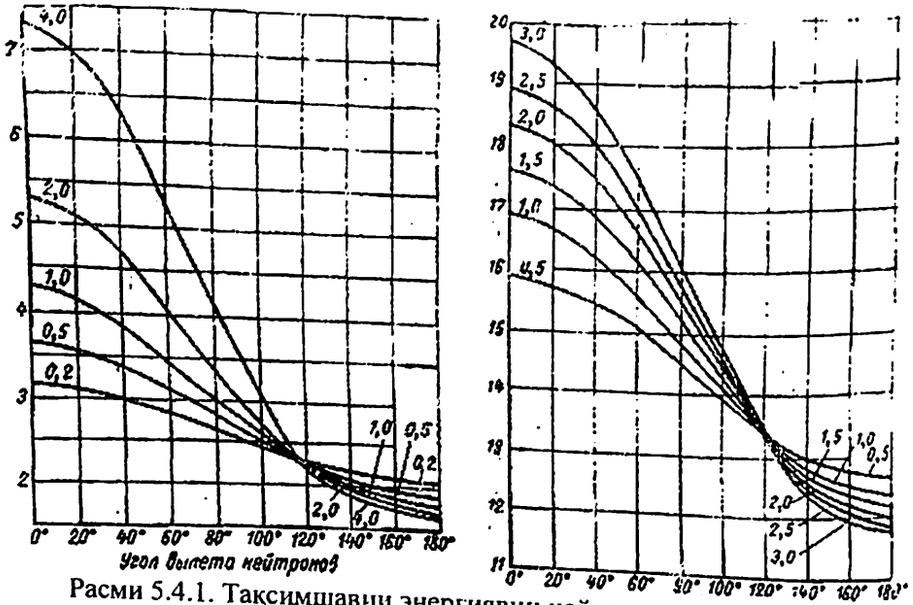
$$E_{e_{max}} = E_\gamma \left[1 - \frac{mc^2}{mc^2 - 2E_\gamma}\right], \qquad (5.4.1)$$

Дар ҷадвал $E_{e_{max}}$ барои манбаи гамма афканишоти монохроматикии ба энергияи протонҳо мувофиқомада нишон дода шудааст. Ин натиҷаҳо барои кристалли стилбенӣ дахл доранд.

Ҷадвали 5.4.2

Энергияи максималии электронҳои комптонӣ барои баъзе манбаҳои монохроматии гамма-афканишот вобаста ба энергияи протонҳо барои кристалли стилбенӣ

Изотоп	E_γ	$E_{e_{max}}$	E_p	Изотоп	E_γ	$E_{e_{max}}$	E_p
Hg-203	0.279	0.146	1.021	Co-60	1.17	0.975	3.564
Au-108	0.412	0.157	1.035	K-42	1.33	1.12	3.906
Cs-137	0.662	0.482	2.252	Na-24	1.53	1.328	4.362
Zn-95	0.76	0.57	2.253		1.38	1.17	3.917
Zn-85	0.114	0.932	3.456		2.76	2.52	6.633

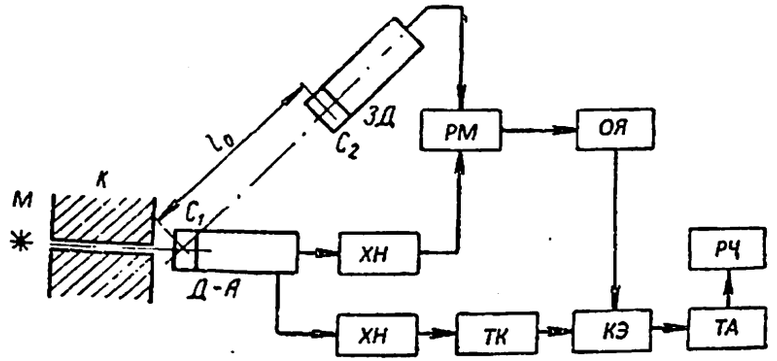


Расми 5.4.1. Тақсимшавии энергиявии нейтронҳо дар реаксияи $Д(d,n)He-3$ (а); $T(d,n)He-4$ (б) ҳамчун функсия аз кунҷи парвози нейтронҳо дар энергияҳои гуногуни дейтрон. Рақамҳо дар хатҳои кач – энергияи дейтронҳо бо МэВ.

5.5. РЕҶАИ АСОСИИ СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО ДУ НИШОНДЕҲ

Барои чен кардани спектри нейтронҳо дар иштироки гамма-фон спектрометрро бо ду нишондеҳ истифода бурдан мумкин аст. Реҷаи асосие, ки истифода мебаранд, дар расми 5.5.1 нишон дода шудааст. Манбаи нейтронҳо М, аз коллиматори К гузашта, ба синтиллатори хидрогендори $С_1$, меафтанд, нейтронҳои сареъ, ки дар ядрои хидроген пароканиш мешаванд, протонҳои қафорафтаро пайдо мекунанд, ки онҳоро нишондеҳи таҳлилкунаки Д-А ба қайд мегирад. Протонҳои қафорафта импулсро пайдо мекунанд, ки аз бо боздошти хаттӣ ХН, ба тақвиятдиҳаки ТК мегузарад, баъди тақвиятдиҳӣ ба калиди электрони КЭ ворид мешавад.

Дар зери кунҷи υ ба равиши дастаи нейтронҳо аз манба дар масофаи l_0, аз нишондеҳ-таҳлилкунак Д-А нишондеҳи ба кор дароваранда ЗД ҷойгир ҷойгир аст.



Расми 5.5.1. Реҷаи асоси спектрометри синтиллатсионӣ нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ.

Агар нейтрон дар нишондеҳ-таҳлилкунаки синтилллатор дар зери кунҷи υ пароканиш шавад, дар баромади он импулсро пайдо мекунад. Ин импулс ба қисми даромади реҷаи мувофиқои РМ дода мешавад. Ба даромади дигари реҷаи мувофиқои аз нишондеҳ-таҳлилкунак ДАва ХН импулс дода мешавад, ғайр аз ин, ин импулс аз реҷаи мувофиқаи ба боздошти якинтихоба ОЯ мегузарад. Вақти боздошти $\tau_б$-робаробар ба вақти парвози нейтронҳо дар масофаи l_0, яъне t_e интихоб мекунанд. Реҷаи мувофиқой ва ОЯ калиди электронӣ КЭ-ро мекушояд ва импулсҳое, ки аз протонҳои қафорафта ҳосил мешаванд, ба калиди электронӣ ворид шуда, ба таҳлилкунаки амплитудӣ ТА-и импулсҳо мегузаранд, пас рақамчопкунаки РҶ адади импулсҳоро чоп мекунад. Дар натиҷа энергияи протонҳои қафорафтаро ҳангоми дар зери кунҷи муайян пароканда шудани нейтронҳо муайян мекунанд. Аз ин натиҷаҳо, ифодаи (5.1)-ро истифода бурда, энергияи нейтронро E_n муайян мекунанд. Агар дар синтиллатор нишондеҳ-таҳлилкунак парока-ниши нейтрон дар зери кунҷе гузарад, ки аз кунҷи υ фарқ кунад, онгоҳ нейтрони пароканишшуда ба нишондеҳи бакордароваранда намеафтад, реҷаи мувофиқой ба кор намедарояд ва калиди электронӣ кор намекунад. Дар натиҷа импулси протон аз нишондеҳи таҳлилкунак ба таҳлилкунаки амплитудӣ ТА намегуза-рад.

Ҳамин тавр, истифодабарии спектрометри ду нишондеҳ имко-ният медиҳад, ки танҳо импулсҳои протонҳоро, ки дар нишондеҳи-

таҳлилкунак аз пароканиши нейтронҳо дар зери кунҷи υ вобаста аст, чудо кунем, импулсҳое, ки ҳангоми пароканиши нейтронҳо дар дигар кунҷҳои дилхоҳ ҳосил мешаванд, хориҷ мешаванд.

Барои хориҷ кардани таъсири гамма-фон истифодабарии ду нишондеҳ нокифоя мебошад, барои он ки дар натиҷаи пароканиши комптонӣ дар синтиллатор нишондеҳ-таҳлилкунаки гамма-кванти пароканишшуда метавонад нишондеҳро ба кор дарорад, монанди он ки ҳангоми пароканиши нейтрон дар зери кунҷи υ реҷа ба кор медарояд. Барои аз гамма-гамма мувофиқӣ халос шудан, масофаи байни нишондеҳҳо l_0-ро чунин интихоб мекунанд, ки вақти парвози пароканиши нейтронҳои ин масофа l_e аз вақти иҷозатдиҳии реҷаи мувофиқӣ $\tau_{р.м}$ зиёд бошад ва дар роҳи импулс аз нишондеҳи таҳлилкунак то реҷаи мувофиқӣ хати бозгашт пайваст шавад, то бо вақти бозгашти $\tau_б$ парвози пароканиши нейтрон ба масофаи l_0 баробар бошад. Бинобар ин барои хориҷ кардани гамма-фон бояд, ки шарти $t > t_M$ ва $\tau_з = t_e$ иҷро шавад. Ҳангоми иҷрошавии ин шарт гамма-квант дар нишондеҳ-таҳлилкунак дар зери кунҷи υ пароканиш шуда, дар нишондеҳи бакордарокаранда импулсро пайдо мекунад. Агар пешакӣ импулс аз нишондеҳ-таҳлилкунак ба реҷаи мувофиқӣ дохил нашавад, он ба кор сар намекунад. Ин аллакай бартарӣ барои он импулсҳое мебошад, ки гамма-кванти пароканишшуда пайдо мекунад. Аммо дар ин вақт ҳангоми пароканиши нейтрон дар зери кунҷи υ реҷаи мувофиқӣ ба кор медарояд. Ҳамин тавр, импулсҳои қафомонда аз нишондеҳи бакордароранда зарурати ин масофаи l_0 –ро парвоз кардани нейтронро ба амал меоварад, импулси бозгашт аз нишондеҳ-таҳлилкунак дар хати бозгашти ХБ ҷуброн мешавад. Ба гуфти дигар, барои хориҷ кардани таъсири гамма-фон дар спектрометри нейтронҳои сареъ фарқияти суръати нейтронҳо ва гамма-квантҳоро, ки имконият медиҳад усули бозгашти мувофиқоиро татбиқ кунем, истифода мебаранд.

Вақти парвози пароканиши нейтронҳо дар масофаи l_0 аз энергияи нейтронҳо вобаста буда, бузургии бозгашт барои энергияҳои гуногуни нейтрон бояд гуногун бошад. Дохил кардани хати бозгашт дар канали идоракунии спектрометр аз интихоби вақти нейтронҳо вобаста ба энергия иҷро мешавад. Бо вуҷуди он дар

спектрометри нейтронҳои сареъ, ки мо онро спектрометр бо ду нишондеҳ номгузорӣ кардем, бузурги t_e қадре зиёдтар аз вақти тафриқаи реҷаи мувофиқӣ ва дар асоси интихоби ченаки охирони синтиллаторҳо дар ин ё дигар нишондеҳ дар вақти парвоз Δt_e нисбатан парешонии калон мавҷуд аст. Дар натиҷаи парешонӣ дар вақти парвоз, интихоби вакт дағал мешавад, яъне тавассути хати бозгаштӣ гурӯҳи нисбатан васеи энергияи нейтронҳо ҷудо мешавад, ки дар зери кунҷи υ пароканиш шуда, реҷаи мувофиқоиро ба кор медароранд. Барои хеле аниқтар муайян кардани энергияи нейтронҳо дар реҷаи спектрометр таҳлилкунаки амплитудиро пайваст мекунанд.

Сохтори параметрҳои спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ, махсусан кунҷи пароканиш υ, масофаи парвози байни нишондеҳҳо l_0-ро аз шароити таъминоти зарурии самаранокӣ ε ва хубтарин тафриқаи энергиявӣ η интихоб мекунанд.

5.6. САМАРАНОКИИ СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО ДУ НИШОНДЕҲ

Барои ҳисоби самаранокии спектрометри нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ ба реҷаи ҷойгиршавии синтиллаторҳои нишондеҳ-таҳлилкунак ва нишондеҳи бакордарорӣ дар спектрометр диққат медиҳем (расми 5.6.1). Дар намуди умумӣ бояд ҳамтаъсироти нейтронҳоро на танҳо бо ядрои ҳидроген ва бо ядрои карбон ба назар гирем. Дар сохтори реалӣ спектрометр бо ду нишондеҳ ё ки ҳарду синтиллатор "ғафс" аст ё ин ки синтиллаторе, ки нишондеҳро ба кор омода мекунад, "ғафс" аст.

Фарз кунем, ки ба синтиллатори ҳидрогендор ғафсиаш d, аз коллиматор дастаи нейтронҳо N_0 бо энергияи E_{n_0} ворид мешаванд.

Адади нейтронҳои дар синтиллатор бо ядрои ҳидроген $N_1(E_{n_0})$ пароканишшударо аз таносуби зерин меёбанд:

$$N_1(E_{n_0}) = N_0(E_{n_0})\frac{\sum H_1(E_{n_0})}{\sum_1(E_{n_0})}\left[1 - e^{-\Sigma_1(E_{n_0})d_1}\right], \qquad (5.6.1)$$

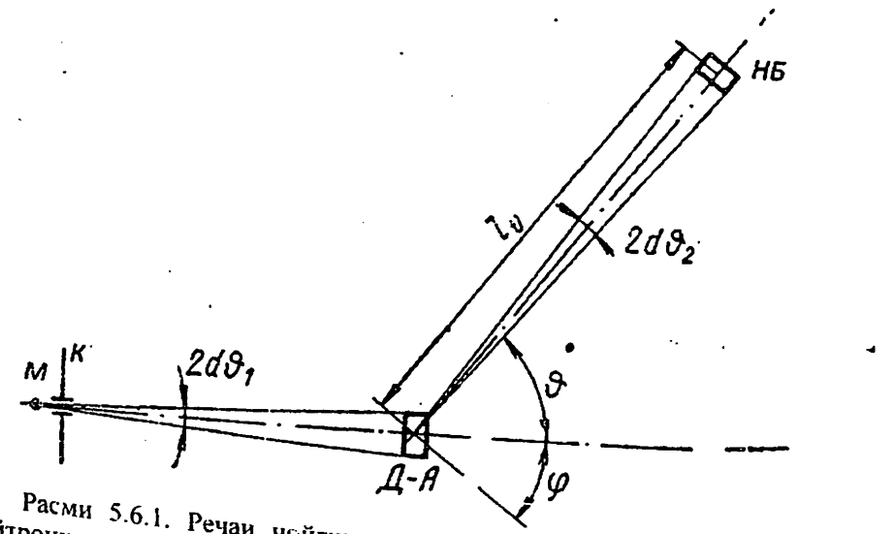
дар инҷо $\sum_1(E_{n_0}) = \sum H_1(E_{n_0}) + \sum c_1(E_{n_0}) \cdot \sum H_1(E_{n_0})$ - арзи макроскопии пароканиши нейтронҳо дар ядрои ҳидроген ва $\sum c_1(E_{n_0})$-дар

ядрои карбон. Қисми нейтронҳои пароканишшуда N_2 ба тарафи кунҷи υ равон мешаванд, яъне ба равиши нишондеҳи бакордароваранда. Дар ченаки охирони синтиллатори ҳар ду нишондеҳ баъзе ноаниқиҳо мавҷуд аст, ки ба муайян кардани кунҷи пароканиш $d\upsilon$ вобаста мебошанд. Нейтронҳо, ки дар синтиллатори нишондеҳи таҳлилкунак дар зери кунҷи υ пароканиш мешаванд, дар ҳудуди аз υ, то $\upsilon + d\upsilon$ мехобанд, ки ба синтиллатори нишондеҳи бакордарояндa меафтанд. Эҳтимолияти он, ки нейтрон дар ҳудуди кунҷи pdp пароканиш мешаванд, аз формула муайян карда мешавад:

$$pdp = \frac{\pi}{A}\left[\sin 2\upsilon d\upsilon + \frac{\sin\upsilon(A^2+\cos 2\upsilon)}{\sqrt{A^2-\sin^2\upsilon}}\right]d\upsilon, \qquad (5.6.2)$$

дар инҷо А-нисбати массаи протон ба массаи нейтрон; агар ҳисоб кунем, ки А=1, ифодаи (5.6.2) ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$pdp = \sin 2\upsilon d\upsilon. \qquad (5.6.2.а)$$



Расми 5.6.1. Реҷаи ҷойгиршави синтиллаторҳо дар спектрометри нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ. М-манбаи нейтронҳои сареъ; К-Коллиматор; Д-А-нишондеҳи кристалли таҳлилкунак; НБ-нишондеҳи бакордароваранда.

Ҳамин тавр, адади нейтронҳо N_2, ки ба тарафи синтиллатор ҳаракат мекунанд, нишондеҳҳо ба кор медароранд, ба $N_2 = N_1 \sin 2\upsilon d\upsilon$ баробар аст. Аз сабаби он, ки синтиллатор нишондеҳро ба кор медарорад, метавонад на ҳаман кунҷи азимуталӣ 2π-ро, балки танҳо як қисми он k-ро ишғол мекунад, он гоҳ адади нейтронҳои пароканишшуда ба нишондеҳи бакоромадашуда меафтанд, ба $N_3 = 2\pi k N_1 \sin 2\upsilon d\upsilon$ баробар мешавад. Агар ғафсии синтиллатори нишондеҳи омодакунанда d_2 бошад, он гоҳ адади нейтронҳоеро, ки дар он пароканиш шуданд,N_4, аз таносуби зерин муайян мекунанд:

$$N_4(E_n) = N_2(E_n)\frac{\sum H_2(E_n)}{\sum_2(E_n)}\left[1 - e^{-\Sigma_2(E_{n_0})d_2}\right]. \qquad (5.6.3)$$

Ишораҳои ин формула монанди ишораҳо дар ифодаи (5.6.1) шуда, аммо қимати арзи пароканиши нейтронҳо барои синтиллаторе, ки нишондеҳро ба кор медарорад ва барои энергияи нейтронҳои пароканишшуда, яъне барои $E_n = E_{n_0}\cos^2\upsilon$ гирифта мешавад.

Аз раванди кори спектрометр фаҳмост, ки нейтрони аз манба хориҷшуда дар он ҳолат ба қайдгирифта мешавад, ки агар нейтронни пароканишшударо нишондеҳи ба коромодашуда ба қайд гирад.

Ҳамин тавр, самаранокии спектрометрро ҳамчун таносуби $\varepsilon_1 = N_1/N_0$, муайян кард мумкин аст, яъне:

$$\varepsilon_1(E_{n_0}) = 2\pi K sin2\upsilon d\upsilon \frac{\sum H_1(E_{n_0})}{\sum_1(E_{n_0})}\cdot\frac{\sum H_1(E_n)}{\sum_2(E_n)}\cdot\left[1 - e^{-\Sigma_1(E_{n_0})d_1}\right]$$
$$\left[1 - e^{-\Sigma_2(E_{n_0})d_2}\right], \qquad (5.6.4)$$

Агар синтиллаторҳои ҳарду нишондеҳи спектрометр "нафис" бошанд, он гоҳ сустшавии дастаи нейтронҳоро дар синтиллатор ба назар нагирифта, баъди аъзоҳоро ба ҷузъ-ҷузъи экспонентӣ ба қатор паҳн кардан, ифодаи (5.6.4), ки формулаи самаранокии спектрометри ду нишондеҳро муайян мекунад, ба намуди содда навиштан мумкин аст:

$$\varepsilon_1(E_{n_0}) = 2\pi K sin2\upsilon d\upsilon \sum H_1(E_{n_0})d_1 \sum H_2(E_n)d_2 \qquad (5.6.4.а)$$

Аз сабаби он, ки дар синтиллатор нишондеҳи-таҳлилкунаки нейтрон метавонад ба пароканиши дуюмин дучор шавад ва дар натиҷаи ин пароканиш равиши аввалаи худро тағйир диҳад, бинобар ин дар синтиллаторе, ки нишондеҳро ба кор медарорад, наме-

афтад, он гоҳ дар формулаи (5.6.4) бояд ислоҳоти мувофиқро дохил намоем. Эҳтимолияти пароканиши дуюми нейтрон дар синтиллатори нишондеҳ-таҳлилкунак аз ҷои пароканиши якуми нейтрон дар синтилатор вобаста аст: бо вуҷуди ин, аз он нуқтаи назар, ки $e^{-\Sigma_{H_1}(E_n)\cdot x}$ аст (инҷо x-роҳи миёнаи пароканиши нейтрон дар синтиллатор нишондеҳи таҳлилкунак), пас навишта метавонем:

$$\varepsilon_2(E_{n_0}) = \varepsilon_1(E_{n_0})e^{-\Sigma_{H_1}(E_n)\cdot x}. \qquad (5.6.4.б)$$

Бузургии x-*ро* дар наздикшавии якум аз таносуби $x - \frac{d_1}{2}secv$ муайян мекунанд ё ин ки бевосита аз ченкунии геометрӣ дар ҷойгиршавӣ нишондеҳ (нигаред ба расми 5.6.1). Дар ҳақиқат, пароканиши сеюмин ё ин ки баъдинаи дилхоҳи нейтрон дар синтиллатори нишондеҳи таҳлилкунак метавонад нейтронро дар синтиллатори нишондеҳи бакордарованда равон кунад. Бо вуҷуди ин, ҳангоми ба самаранокӣ дар пароканиши бисёркаратаи нейтрон дохил намудани ислоҳот маъно надорад. Ҳатто дар пароканиши дуюм ҳангоми ченакҳои пешинаи синтиллатор ($d_1 \cong 10 - 15$мм, диаметр ~30мм) дар нишондеҳ-таҳлилкунак, махсусан ҳиссаи фоиз нисбати бузургии самаранокӣ бе ин ислоҳот кам буда, назаррас намебошад.

Нишондеҳи бакордароварандаи спектрометр метавонад реҷаи муқоисакуниро танҳо дар шароите фуровард кунад, ки амплитудаи импулс калон аз баъзе амплитудаи муайяни зинагӣ калон бошад, ки баъзе энергияи муайяни нейтрони пароканишшуда E_n^* аз сар карда мувофиқат кунад. Бо ин сабаб дар формулаи (5.6.4.б) ба энергияи зинагӣ бояд ислоҳот дарорем, монанди он ки дар формула барои муайян кардани самараноки спектрометри якқристалл ислоҳот дароварда шуда буд. Барои спектрометри ду нишондеҳ ислоҳот ба зинаи энергиявиро аз тарафи энергияи протонҳои қафорафта E_p^* дохил мекунем, ки пайдошавӣ нейтрон бо энергияи E_n^* дар синтиллатор нишондеҳро ба кор медарорад. Бо назардошти ислоҳот дар энергияи зинагӣ, ки нишондеҳро ба кор медарорад, вобаста ба E_p^* самаранокии спектрометр аз формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\varepsilon(E_{n_0}) = \varepsilon_2\left(1 - \frac{E_p^*}{E_p}\right), \qquad (5.6.5)$$

Бузургии энергияи зинагӣ E_p^*-ро барои ба кор даровардани нишондеҳ аз шарти таъмини бовариноки коркарди реҷаи электронӣ, аз ҷумла, реҷаи мувофиқӣ интихоб мекунанд. Ҳангоми ба кор даровардани нишондеҳ, ФФС истифода бурда мешавад, ки зариби тақвиятдиҳии он тахмин 10^7 ташкил медиҳад ва кристалли бовариноки кристалли стилбениро ҳисобидан мумкин аст. Зинаи энергияи протонҳои қафорафта тахминан баробари 150 кэВ мебошад, яъне энергияи зинагии пароканиши нейтронро баробари ~300 кэВ ҳисобидан мумкин аст.

Дар расми 5.6.2 барои E_p^* =250 кэВ ва ҳангоми ϑ=45° будан, вобастагии самаранокии спектрометр аз энергияи тадқиқоти нейтронҳо оварда шудааст, ки бо формулаи (5.6.5) ҳисоб карда шудааст.

Аз хулосаи формулаҳо барои ҳисоби самаранокии спектрометр бо осонӣ ба хотир гирифтан мумкин, ки зиёдшавии ғафсии синтиллаторҳо дар ин ва дигар нишондеҳҳо ба афзоиши самаранокии спектрометр мебинёрад. Бо вуҷуди ин, ногаҳон зиёд кардани ғафсии синтиллатори нишондеҳ-таҳлилкунак ба афзоиши эҳтимолияти пароканиши бисёркарата боис мегардад, ки дар навбати худ ба афзоиши аъзои $e^{-\Sigma_{H_1}(E_n)x}$ меоварад, самаранокиро кам мекунад ва аз ҳама асосаш, ба бадшавии тафриқаи энергиявии спектрометр оварда мерасонад. Қатъи назар аз ин, зиёдшавии самаранокиро ба даст овардан мумкин аст, агар зариби К-ро зиёд кунем, яъне бо роҳи дар нишондеҳи ба кордарорӣ ба ҷои як синтиллатор истифода бурдани якчанд ситиллатор, ё ки бо роҳи истифодабарии синтиллатор ба намуди ҳалқа. Дар ин маврид самаранокиро 50 маротиба зиёдтар кардан мумкин аст.

Акнун баъзе амалиётҳои иловагиро дида мебароем, ки дар нигоҳи аввал метавонад ба тағйирёбии самаранокӣ оваранд, ки ин ҳолатро дар формулаи (5.6.5) дида баромадем:

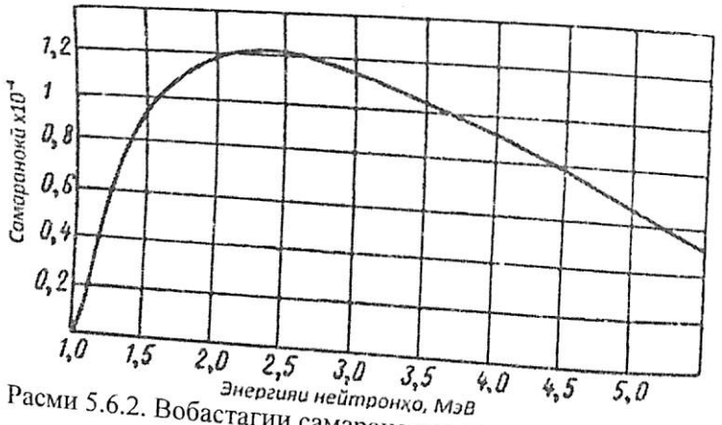
Агар ғафсии синтиллатор ба дарозии миёнаи дави озоди нейтрон тахминан баробар бошад, онгоҳ ҳангоми кор кардани самаранокии спектрометр бояд сустшавии дастаи нейтронҳоро дар синтиллатор ба назар гирифт.

Ин огоҳӣ ба ҳар навъ синтиллатори нишондеҳ-таҳлилкунак даҳл надорад, барои он ки таъминоти хуби тафриқаи энергиявии

синтиллатор набояд "ғафс" шавад, ин танҳо ба синтиллаторе дахл дорад, ки нишондеҳро ба кор медарорад, ғафсиаш мумкин калон бошад.

Пароканиши нейтрон дар ядрои ҳидроген, нейтронро аз даста мебарорад ва протони қафорафтаро ба вуҷуд меоварад. Пароканиши дигари дилхоҳи нейтрон бо ядрои ҳидроген, инчунин протонҳои қафорафтаро ба вуҷуд меорад, азбаски вақти аз як пароканиш то дигар пароканиш хурд аст, бинобар ин ҳаман ин протонҳо импулси ягонаро ба вуҷуд меоранд, яъне самаранокӣ дар натиҷаи пароканиши бисёркарата ба ядрои ҳидрогени синтиллатор, ки нишондеҳро ба кор медарорад, афзоянда нест.

Афзоиши самаранокиро аз хисоби пароканиши чандирии нейтронҳо дар ядрои карбони синтиллатори ҳардуи нишондеҳ ба эътибор нагирифтан мумкин аст, барои он, ки нейтрон ба ядрои карбон ҳиссаи ками энергияи худро медиҳад. Пароканиши ғайричандирии нейтронҳо бо карбон дар энергияи хеле калони нейтронҳо мегузарад, ки барои ба кор даровардани нишондеҳ эҳтимолияти кам дорад.



Расми 5.6.2. Вобастагии самаранокии спектрометр бо ду нишондеҳ аз энергияи нейтронҳо.

Вобаста ба ин гуфтаҳо дохил кардани зариби намуди $\sum_H/\sum$ дар формулаи (5.6.4) амалиёти сустшавии дастаи нейтронҳоро дар синтиллаторҳо ба дараҷаи кифоя ба назар мегиранд, ки дохил кардани ягон ислоҳотро талаб намекунад.

Пароканиши чандирӣ ва ғайричандирии нейтронҳо дар ядрои карбони синтиллатори нишондеҳ-таҳлилкунак дар зери кунҷи ϑ ба афзоиши самаранокӣ оварда наметавонад, барои он ки дар пароканиши чандирӣ ядрои карбон энергияи хеле хурдро мегирад ва самаранокии табдилдиҳии энергияи ядрои қафорафтаи карбон ба рӯшной мегузарад, дар вақти пароканиши ғайричандирӣ пайдоиши гамма-квант илова мешавад, ки кайдгирии он ғайриимкон мегардад.

Дар вақти энергияи нейтрон $E_{n_0} > 5$ МэВ будан, дар синтиллатор эҳтимолияти раванде, ки дар натиҷаи ҳамтаъсироти нейтронҳо дар ядрои карбон ба пайдоиши алфа-зарра меоварад, ин аст:

$$C^{12}(n,n,a)\,Be \rightarrow 3a + n;\; C^{12}(n,a)Be^9, \qquad (5.6.5.a)$$

Аз ин реаксияҳо дуюмаш мумкин аст дар энергияи нейтронҳо калон аз 5,75 МэВ гузарад, якумаш – дар энергияи $E_n > 7{,}35$ МэВ.

Бо вуҷуди ин, арзи ин реаксияҳо хурд аст (арзи реаксияи $C^{12}(n,a)\,Be^9$ ҳатто дар E_n=14 МэВ сад маротиба камтар нисбати арзи пароканиши нейтрон дар протон дар ин энергия мебошад). Бинобар ин равандҳои гуфташуда бояд куллан таъсир додани самаранокӣ намегарданд.

Ҳамин тавр, дигар амалҳо, ғайр аз (n, p)-пароканиш ба тағйирёбии самаранокии спектрометр бо ду нишондеҳ намеоварад, ва формулаҳои овардашуда имконият медиҳад, ки самаранокии спектрометр бо ду нишондеҳро аниқтар муайян кунанд.

То ин дам, ҳангоми дида баромадани масъала дар бораи самаранокии спектрометри нейтронҳо бо ду нишондеҳ тахмин карда шуда буд, ки дар ҳарду нишондеҳҳо синтиллаторҳои таркибашон ҳидрогендорро истифода мебаранд ва кунҷи пароканишро аз 90° хурд интихоб мекунанд. Он гоҳ спектрометр метавонад танҳо нейтронҳое ба қайд гирад, ки амалан ба пароканиши рӯбарӯ дар синтиллатори нишондеҳи таҳлилкунак дучор мешаванд. Дар ин маврид нейтронҳои пароканишшуда дорои энергияи нокифоя мебошанд, барои онҳоро ба қайд гирифтан нишондеҳи бакордаровранда протонҳои қафорафтаро бояд ба қайд гирад. Ҳамин тавр, барои инҳоро ба қайд гирифтан ва ба кор даровардани нишондеҳ бояд синтиллатори таркибаш бор ё литий дошта ё ин ки синтиллатори

$NaI(Tl)$ бо табдилдеҳак аз кадмий, нукра, ё ки дигар унсурҳо, ки дорои арзи калони реаксияи (n,γ) бошанд, истифода шаванд.

Дар синтиллаторҳое, ки таркибашон бор дорад ё ин ки синтиллатор бо литий, ки дар онҳо фаҳмиши зина истифода намешавад, ҳамин тавр дар натиҷаи реаксия нейтронҳои пароканишшуда аз B^{10} ё li^{6}алфа-зарра бо энергияи доимӣ ҳосил мешавад, ки импулсҳои амплитудаашон хурд ё калони стандартиро пайдо мекунанд. Речаи электронӣ, аз ҷумла, речаи мувофиқоии пешакӣ чунин ҳисоб карда мешавад, ки ин импулсҳо метавонанд, онҳоро ба кор дароранд. Бо вуҷуди ин, фаҳмиши зинаро дар ин маврид ба нишондеҳ – таҳлилкунак гузаронидан зарур аст, барои он ки дар баъзе энергияи нейтронҳои манба дар нишондеҳи таҳлилкунак импулсҳоеро пайдо мешаванд, ки онҳо барои ба кор даровардани речаи мувофиқоӣ ки аз ҷиҳати амплитуда нокифоя мебошад. Дар дигар шароитҳои якхела дидан мумкин аст, ки зинаи энергиявии нейтронҳои манба барои спектрометр дар кунҷи пароканиш наздик ба 90°, дар ҳар ҳолат аз энергияи зинаи нейтронҳои манба барои спектрометр бо $\nu \cong 90°$ ду маротиба поён меистад. Агар барои спектрометр ν<90° бошад, ки мо пештар онро зинаи энергияи бузургии 300 кэВ ҳисобида будем, он гоҳ барои спектрометр бо $\nu \cong 90°$ ҳисобидан мумкин аст, ки зинаи энергияи манбаи нейтронҳо ан 150 кэВ-ро ташкил мекунад.

Дар асоси гуфтаҳо самаранокии спектрометри нейтронҳои сареъ бо кунҷи пароканиши наздик ба 90° аз формулаи зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$\varepsilon(E_{n_0}) = 2\pi k \sin 2\nu d\nu \frac{\Sigma H_1(E_{n_0})}{\Sigma_1(E_{n_0})}\left[1 - e^{-\Sigma_1(E_{n_0})d_1}\right] \cdot \varepsilon^1\left(1 - \frac{E^*_{p_1}}{E_p}\right)e^{-\Sigma H_1(E_n)x}, \qquad (5.6.6)$$

дар инҷо ҳама ишораҳо мисли ишораҳои пешин ва ε^1-самаранокие, ки нишондеҳро ба кор медарорад, нисбати нейтронҳое, ки дар синтиллатори нишондеҳ-таҳлилкунак пароканиш мешаванд; E^*_p-энергияи зинагии про-тонҳои қафорафта барои нишондеҳи таҳлилкунак. Ба хотир меорем, ки ҳангоми $\nu = 90°$ $E_p \cong E_n$аст, бинобар ин, аъзое, ки ислоҳоти зинаи энергия-ро муайян мекунад,

дар формулаи (5.6.6) ҳамчун $1 - \frac{E^*_{n_0}}{E_{n_0}}$ навиштан мумкин аст, ҳаъне онро бевосита аз энергияи нейтронҳои манба муайян мекунанд.

Эҳтимолияти он, ки нейтрон дар зери кунҷи наздик ба 90° пароканиш мешавад, ниҳоят кам аст, бинобар ин самаранокии спектрометр дар зери кунҷи пароканиши наздик ба 90° низ кам аст. Ин маҳдудияти доираи масъалаҳоро нишон медиҳад, ки ҳангоми ченкуниҳо ин гуна спектрометрро истифода мебаранд, аммо бартарии дигари спектрометр ҳангоми $\nu = 90°$ будан, ҳангоми асбобҳои қулайтаринро барои ченкунӣ дар дастан калони нейтронҳо истифода кардан зоҳир мегардад.

Ҳамаи бузургиҳое, ки дар формулаҳои (5.6.5) ва (5.6.6) дохил мешаванд, ғайр аз бузургии энергияи зинагӣ E^*_p, аз сохтори ченаки спектрометр ҳисоб карда, аз ҷадвали мувофиқат муайян мекунанд. Бузурги зинаи энергия бояд дар таҷриба муайян карда шавад. Барои муайян кардани E^*_p бояд як катор ченкуниҳо бо манбаҳои фаъолияташон маълуми нейтронҳои монохроматикӣ иҷро карда шавад, вобаста ба энергияи протонҳои қафорафта дар мавриде, ки самаранокии спектрометр баробари сифр аст ва ҳамин тавр энергияи нейтронҳои манбаро меёбанд. Бо ин мақсад, аз ҷумла, манбаи фотонейтронҳоро, ки тавсифи асосии онҳо дар ҷадвали 5.4.1 нишон дода шудааст, истифода бурдан мумкин аст, аммо бо саҳеҳии аниқтарини таҷрибавӣ онро дар суръатфазои электростатистикӣ иҷро кардан мумкин аст. Бо вуҷуди он, ки агар таҷрибагузорон имконияти истифодабарии суръатфизо ё ин ки маҷмӯи муайяни манбаҳои фотонейтронро надоранд, он гоҳ бузургии энергияи зинагӣ мумкин аст, ки аз ченкуниҳо бо манбаҳои монохроматикӣ гамма-афканишот (нигаред ба ҷадвали 4.1.1) бо роҳи ғайримустақил муайян карда шавад. Дар ҳақиқат, тақсимшавии электронҳои комптонӣ аз энергия, ки бо спектрометри синтиллатсионӣ ҳосил мекунем, аз намуди беруна аз тақсимшавӣ протонҳои қафорафтаи манбаи монохроматикӣ нейтронҳо вобаста аз энергия кам фарқ мекунад.

Бинобарон, пайваст кардани спектрометр бо ду нишондеҳ ва ҳам спектрометри комптониро барои муайян кардани энергияи зинагии гамма-квантҳо дар нишондеҳ-таҳлилкунак (ҳангоми $\nu < 90°$)

истифода кардан мумкин аст. Истифода бурдани хати кағи вобастагии баромади рӯшноӣ синтиллаторҳо аз энергия барои бета-заррахо ва протонҳо, аз ҳисоб кардани бузургии ҳосилшудаи энергияи зинагӣ барои гамма-афканишот, бояд ба бузургии протонҳо мувофиқат кунад. Бо ин роҳ речаи мувофиқонро барои спектрометри нейтронҳоро омода карда, дар лавҳа энергияи зинагиро интихоб мекунем. Қайд кардан лозим, ки ҳангоми аз сари нав ҳисоб кардан бояд зариби интиқоли амплитудаҳои импулсии хати боздоштро ба назар гирифт, барои он ки вай ҳамеша аз як хурд мебошад.

5.7. ТАФРИҚАИ ЭНЕРГИЯВИИ СПЕКТРОМЕТРИ СИНТИЛЛАТСИОНИИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО ДУ НИШОНДЕҲ

Тафриқаи энергиявии спектрометри нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ асосан ба ду бузургӣ - флуктуатсияи оморӣ ва фотофузунсози нишондеҳи-таҳлилкунак (тафриқаи оморӣ), алоқаманд мебошад ва аз бузургиҳои алоқаманди ноаниқ дар муайян кардани кунҷи пароканиши ν аз ченаки охири синтиллатор ва дигар нишондеҳҳо, инчунин аз ченаки охирони сурохӣ колиматсионӣ (тафриқаи геометрӣ) вобаста мебошад. Новобаста ба ин, бадшавии тафриқа аз ғайрихаттӣ будани вобастагии баромади рӯшноӣ аз энергияи протон дар синтиллатори нишондеҳи таҳлилкунак вобастагӣ дорад. Баъзе бадшавиҳои тафриқа мумкин аст аз ноустуворӣ ҳангоми кори асбобҳои электронӣ ва васеъгии охирони канали таҳлилкунак бошад. Бо вуҷуди ин, таъсири ноустувории асбобҳои электронӣ нисбати тафриқаи геометрӣ ва оморӣ аз таъсири ғайрихаттӣ, вобастагии баромади рӯшноӣ аз энергияи хурди протонҳо мебошад.

Тафриқаи омориро монанди тафриқаи спектрометри якқристаллӣ нейтронҳо, ки дар аввали ин боб навишта шудааст, аниқ муайян мекунанд.

Тафриқаи геометрии спектрометр η_r -ро ҳангоми дифференсиони формулаи (5.7.1) муайян кардан мумкин аст, ки ба ифодаи зерин меоварад:

$$\eta_r = 2Ctg\ \nu d\nu\ , \qquad (5.7.1)$$

Ноаниқии пурра дар спектрометр дар муайян кардани кунҷи пароканиши нейтронҳо $d\nu$, ки аз геометрияи спектрометр муайян мекунанд, аз ҷамъи ду бузургӣ иборат: $d\nu = d\nu_1 + d\nu_2$ дар инҷо $d\nu_1$-ноаниқӣ бо ченаки охирони синтиллатори он ва $d\nu_2$ ба нишондеҳи спектрометр алоқаманд аст. Бузургии $d\nu_1$-ро аз таносуби $d\nu_1 = 2arctg\frac{2r}{l_o}$ муайян мекунанд, ки инҷо r-радиуси синтиллатор ва l_o-масофаи парвоз.

Ҳамин тавр, аксар вақт $r<<\ell_0$ аст, он гоҳ, новобаста аз он, ки синтиллаторҳо дар нишондеҳи спектрометр дорои радиуси гуногун буда метавонад, формулаи овардашуда бо кифоягии калон қаноат мекунад (ба сифати радиуси r ними ченаки синтиллаторҳоро дар ҳамвории кунҷи пароканиш қабул мекунанд.). Дар охир, $d\nu_2$-ноаниқии муайян кардани кунҷ, ки бо диаметри сӯрохи коллиматсионӣ Д алоқаманд аст. Агар дарозии коллиматор К нисбати масофаҳои L_1 ва L_2 калон бошад (дар инҷо L_1-масофа аз манбаи нейтронҳо то коллиматор ва L_2 - масофаи байни коллиматор ва синтиллатори нишондеҳ-таҳлилкунак) он гоҳ, $d\nu_2 = 2arctg$ Д/К. Агар масофаи $l_1 \gg l_2$ ва $l_1 \gg$ К бошад, яъне агар нейтронҳо аз спектрометр дур ҷойгир бошад, аз сабаби one, ки дастаи нейтронҳои афтандаро паралел ҳисобидан мумкин аст, он гоҳ $d\nu_2 = 0$ мешавад. Дар намуди умумӣ тафриқаи геометрии спектрометрро аз ифодаи зерин муайян мекунанд:

$$\eta_r = 4ctg\nu\left\{arctg\frac{2r}{l_0} + arctg\frac{Д}{К}\right\}, \qquad (5.7.2)$$

Ё ин ки:

$$\eta_r = 4ctg\nu\left[\frac{2r}{l_0} + \frac{Д}{К}\right], \qquad (5.7.2.а)$$

азбаски $d\nu_1$ ва $d\nu_2$ кунҷҳои хурд мебошанд.

Агар саҳми ташкилдиҳандаҳои алоҳидаи тафриқаи энергиявиро чунин ишора кунем, ки: η_c-ташкилдиҳандаи оморӣ; η_r-геометрӣ; $\eta_э$-алоқаманд ба табдили ғайрихаттии энергияи протонҳо ба рӯшноӣ ва η_aтафриқаи аппаратура (тачҳизот), он гоҳ тафриқаи энергиявии пурраи спектрометрро аз формулаи зерин муайян мекунанд:

$$\eta = \sqrt{\eta_c^2 + \eta_r^2 + \eta_э^2 + \eta_a^2}. \qquad (5.7.3)$$

Дар таҷриба ҳар як ташкилдиҳандаи пурраи тафриқаи энергиявии спектрометри ду кристаллӣ муайян карда шуд:

Ноаниқии муайян кардани кунҷ 0,031 радианро ташкил мекунад; $\eta_c = 0.15h_0$; $\eta_э = 0{,}03h_0$, дар инҷо h_0-амплитудаи миёна; η_a- амплитудаи хеле хурд. Ҳангоми нишон додани бузургиҳо нимвасеъгии хати монохроматии нейтронҳо бо энергияи E_{n_0} =4 МэВ дар реаксияи $Д(d,n)\,He^3$ ҳосил шуд, ки баробари 7% ва тафриқаи энергиявии хусусии спектрометр баробари 10% мебошанд. Агар кунҷи пароканиш дар спектрометр наздик ба 90° бошад, он гоҳ чи тавре, ки аз формулаи (5.7.1) маълум мешавад, тафриқаи геометрии спектрометр ба сифр наздик мебошад ва саҳми асосиро дар тафриқаи энергиявии спектрометр дар бузургии дурахши рӯшной синтиллатор ва флуктуатсияи зариби зарбкуни фотофузунсоз - флуктуатсияи оморӣ мегузорад.

Саҳми калонтарин дар бузургӣ η_a, яъне дар бузургии тафриқаро вобаста ба апертура, васеъгии канали анализатор мегузорад. Чи тавре, ки натиҷаҳои таҷриба нишон медиҳанд, тафриқаи энергиявии спектрометрро бо назардошти канали анализатор аз таносуби зерин муайян мекунанд:

$$\eta = \eta^1\left[1 + 0.28\left(\frac{a}{\Delta u}\right)^2\right], \qquad (5.7.3.а)$$

дар инҷо η^1-тафриқаи энергиявии спектрометр вобаста ба флуктуатсияи оморӣ ва геометрӣ, Δu -васеъгии қуллаи спектра нейтронҳои монохроматӣ дар нимаи баландӣ.

Аниқтар он аст, ки дар гамма-спектрометри синтиллатсионӣ, барои спектрометри нейтронҳо тафриқаи энергиявӣ ба $1/\sqrt{E_{n_0}}$ мутаносиб аст ва барои баҳодиҳии натиҷаҳои интизории тафриқа таносуберо истифода кардан мумкин аст, ки монанд ба таносуби дар гамма-спектрометрҳо истифодашуда мебошад.

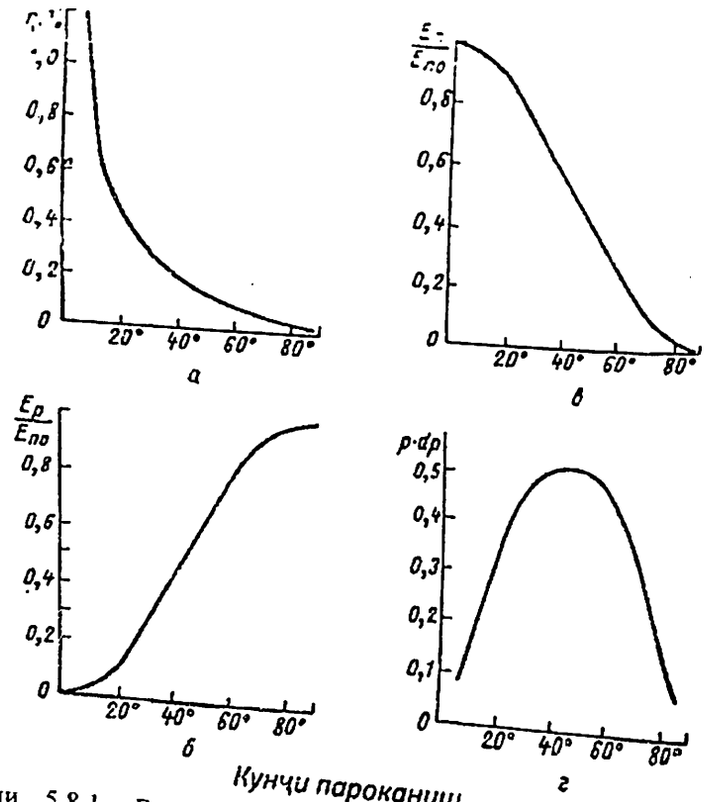
Аз тавсифаҳои асосии спектрометри синтиллатсиони нейтронҳои сареъ бо нишондеҳ асосан самаранокӣ ва тафриқаи онро дида баромада, пас интихоби сохтори параметрҳои спектрометрро муҳокима мекунем.

5.8. ИНТИХОБИ КУНҶИ МУНОСИБТАРИНИ ПАРОКАНИШ АЗ МАСОФАИ ПАРВОЗ

Кунҷи муносибтарини пароканиш дар спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳро аз шароити таъминоти хеле беҳтар истифодабарии параметрҳои спектрометр интихоб мекунанд, яъне таъмин кардани аз ҳама хурдтарини тафриқа ҳангоми самаранокии хеле баланд ҳангоми муайян кардани кунҷ бо мақсади ҳосил кардани тафриқаи хурди энергиявӣ бо назардошти тафриқаи геометрӣ ва тафриқаи оморӣ; ғайр аз ин, барои ба назар гирифтани зарурати ҳосил кардани сарҳади поёни додашудаи паҳнои ченкунии энергияи нейтронҳои сареъ, яъне зарурати пайдо кардани энергияи зинагӣ барои ба кор даровардани нишондеҳ. Агар ба формулаи (5.7.2.а) эътибор диҳем, дида мешавад, ки чи қадаре, ки тафриқаи геометри хуб бошад, ҳамон қадар кунҷи пароканиш калон аст. Дар расми 5.8.1вобастагии тафриқаи геометрии спектрометр аз кунҷи пароканиш, ҳангоми сабт шудани қимати ноаниқи муайян кардани кунҷ dv оварда шудааст. Аз расми 5.8.1 дида мешавад, ки барои таъминоти тафриқаи геометрии хеле хурд бояд $\nu \geq 60°$ интихоб кунем, зеро ҳангоми кунҷи пароканиш калон аз 60° будан, вобастагии нишондодашуда кам тағйир меёбад. Дар айни ҳол қайд мекунем, ки ҳангоми $\nu \cong 90°$ будан, тафриқаи геометрии спектрометр ба сифр наздик мешавад.

Энергияи протонҳои қафорафтаро дар нишондеҳ-таҳлилкунак муайян мекунанд. Дар дигар шароитҳои баробар тафриқаи оморӣи спектрометр чи қадаре кам бошад, ҳамон қадар ин энергия калон аст. Вобаста аз кунҷи пароканиш энергияи протонҳои қафорафта ҳамчун $\sin^2\nu$ тағйир меёбад, (нигаред ба расми 5.8.1.б) ва дар $\nu = 45°$ аз протонҳо ба қадри $1/2E_{no}$ қафо мемонад ва ҳангоми $\nu = 60°$ аз чор се ҳиссаи энергияи нейтронҳои манба, яъне бо афзоиши кунҷи пароканиш νE_p меафзояд. Аз нуқтаи назари таъминоти тафриқаи оморӣ, хурдтарин кунҷи пароканишро ҳатман бояд наздик ба 90° интихоб кард. Бо вуҷуди ин, бо назардошти зарурати ҳосил кардани энергияи на он қадар калони зинагӣ, барои ба кор даровардани нишондеҳ ва бо назардоште, ки энергияи нейтрони

пароканишшуда бо кунҷи пароканиш ҳамчун $\cos^2\nu$ (нигаред ба расми 5.8.1.в) тағйир меёбад.



Расми 5.8.1. Ба интихоби кунҷи муносибтарини пароканишӣ нейтронҳои сареъ дар спектрометр бо ду нишондеҳ: а-вобастагии тафриқаи геометри аз кунҷи пароканиш; б-вобастагии энергияи протонҳои қафорафта дар нишондеҳ-таҳлилкунак аз кунҷи пароканиш; г-вобастаги эҳтимолияти дар кунҷи пушт пароканиш шудани нейтрон аз бузургии ин кунҷ; в-вобастаги энергияи нейтрони пароканишшуда аз кунҷи пароканиш.

Кунҷи пароканиш барои спектрометр бо ду нишондеҳ, ки таркибаш аз ҳидроген иборат аст, калон аз 70° интихоб карда, ҳангоми $\nu \geq 70°$ $E_n \leq 0{,}1E_{n_0}$ будан сарҳади поёни энергияи нейтронҳоро чен мекунем, ки ба тарафи энергияи калон тела дода

чой иваз мекунад (ғеҷонида мешавад). Агар, монанди пешина, ҳисобида шавад, ки барои ба қайдгирии боваринок бояд $E_p^* = 150$ кэВ дошта бошем, он гоҳ, ҳангоми $\nu = 70°$ будан сарҳади поёни паҳнои энергияе, ки чен мекунем, баробари 0,6 МэВ мешавад. Ҳамин тавр, аз шароити таъминоти кифоягӣ энергияи хурди сарҳадии спектрометр ва ба таври кифоя хурд будани тафриқаи энергиявӣ кунҷи пароканиши нейтронҳо дар спектрометр бояд дар паҳнои $45° \leq \nu \leq 60°$ хобад. Он гоҳ фақат дида баромадани вобастагии самараноки спектрометр бо ду нишондеҳ аз кунҷи пароканиш лозим меояд. Чи тавре, ки аз таносуби (5.6.5) маълум аст, самаранокии спектрометрро бисёртар зарбшавандаи pdp муайян мекунад, ки дорои қимати максималӣ дар зери кунҷи пароканиши 45° мебошад (нигаред ба расми 5.8.1.г). Бо вуҷуди ин, арзи самаранокии пароканиши нейтронҳо возеҳан меафзояд, бо камшавии энергияи онҳо, аммо азбаски бо афзоиши кунҷи пароканиш дар асоси қонуни $\cos^2\nu$, энергияи нейтрони паронишшуда кам мешавад, он гоҳ самаранокии қайдгирии нейтронҳои пароканишшуда, ки нишондеҳро ба кор медарорад, бо зиёдшавии кунҷи пароканиш тез меафзояд. Қимати максималии самаранокии спектрометр вобаста аз энергияи нейтронҳо аз ченаки маводи синтиллаторҳо дар зерин кунҷи пароканиши $50 - 60°$ ҳосил мешавад.

Аз тавсифи спектрометр, ки дида баромадем, муайян кардани интихоби кунҷи пароканиши нейтронҳо дар спектрометр, ба чунин хулоса омадан мумкин, ки барои таъминоти беҳтарини истифодабарии параметрҳои он кунҷи пароканиш бояд дар ҳудуди $45 - 60°$ интихоб карда шавад.

Барои он, ки спектрометр бо ду нишондеҳро нисбати гамма-афканишот беҳиссиёт кунем, бояд, чи тавре ки пеш қайд кардем, вақти иҷозатдиҳии речаи мувофиқой τ аз вақти парвози пароканиши нейтронҳо ва масофаи t_e байни нишондеҳро кам кардан лозим, яъне бояд нобаробарии зерин иҷро шавад:

$$\tau < t_e$$

Вақти парвози нейтронҳои пароканишшуда, масофаи байни нишондеҳҳо l_0 аз формулаи зерин муайян мекунанд;

$$t_e = \frac{l_0}{\cos\nu}\sqrt{\frac{m_n}{E_{n_0}}}, \qquad (5.8.1)$$

дар инҷо t_e –бо сонияҳо мегиранд, агар E_{n_0} бо эрг ва массаи нейтронҳо m_n бо граммҳо бошанд. Формулаи (5.8.1)-ро ба намуди дигар навиштан мумкин аст:

$$t_e = \frac{72{,}3\cdot10^{-2}\cdot l_0}{\cos\nu\sqrt{E_{n_0}}}, \qquad (5.8.1.а)$$

дар инҷо t_e дар 10^{-9}сон. мегирем, агар E_{n_0} бо МэВ ва l_0 бо см бошад. Масофаи парвози l_0-ро бо ҳамин тарз аз формулаи зерин муайян мекунанд:

$$l_0 > \frac{\tau\cos\nu\sqrt{E_{n_0}}}{72{,}3\cdot10^{-2}}, \qquad (5.8.2)$$

Дар моделҳои воқеии спектрометрҳо бо нишондеҳ масофаи парвоз l_0-ро дар ҳудуди 30-70см интихоб мекунанд.

Масофаи парвозро муайян карда, бузурги вақти бозdoшт, ҳудуди энергияи нейтронҳои сареъро муайян кардан мумкин аст, ки бозdoшт пуштро ҷудо мекунад. Ин ҳудуд ба худ энергияи нейтронҳоро пайваст мекунад, ки дар вақти τ масофаи l_0-ро парвоз мекунанд. Ба ҷузъҳо тақсим кардани ҳамаи паҳнои фосилаи энергияи ченшуда, аз максимуми ченкунии энергия сар карда, бо осонӣ график сохтан мумкин аст. Фарз кунем, ки (барои спектрометр бо кунҷи пароканиш $\nu = 45°$) энергияи максималии нейтронҳои ченшуда баробари 12 МэВ, вақти иҷозатдиҳи реҷаи мувофиқан $\sim10^{-8}$ сон; масофаи парвоз 50,0 см. Бозdoшти асосӣ баробари $1{,}5\cdot10^{-8}$ сон. паҳнои ченкунии энергия аз ~12 то 3,6 МэВ. Ба бозdoшти асосӣ баъди ченкунӣ паҳнои энергияи қайдшуда илова мешавад, бозdoшти $t = \tau = 10^{-8}$ сон; яъне бозdoшти суммавӣ $t_1 = t_0 + \tau = 2.5\cdot10^{-8}$ сон. Паҳнои энергияи ченшуда акнун аз 3,6 то 1,9 МэВ-ро ташкил мекунад. Боз ҳам бозdoштро илова менамоем, ки ба вақти иҷозатдиҳии реҷаи мувофиқӣ баробар шавад, яъне бозdoшти сумавиро ҳосил мекунем $t_2 = t_1 + \tau = 3.5\cdot10^{-9}$ сон, он гоҳ қитъаи дигари спектрро чен мекунем аз 1,9 то 1,25 МэВ. Сохтани ин гуна номограмма коркарди натиҷаҳои ченшударо осон мекунад. Дар ин гуна номограмма барои дигар масофаҳои l_0 парвоз мумкин аст хати кач гузошта шавад. Қиматҳои алоҳидаи паҳнои спектрометр як хел

нест. Ҳамин тавр, дар зери кунҷи пароканиши 60° ва масофаи парвоз дар вақти тағйир надодани зариби тақвияи канали асосии спектрометр дар паҳнои аз 0,6 то 12 МэВ спектрро ба қитъаҳо ҷудо мекунанд, ки қиматҳои он дар ҷадвали 5.8.1 нишон дода шудааст.

Ҳангоми кам кардани масофаи парвоз l_0 адади қитъаҳо, ки спектрро тақсим мекунанд, аз сабаби дохил кардани интихоби вақт, кам мешавад ва бузурги ҳар як қитъаи алоҳидаи спектри нейтронҳо меафзояд.

Ҳамин тавр, ҳангоми $l_0 = 30$см ва $\nu = 45°$, ҳангоми вақти иҷозатдиҳии реҷаи мувофиқӣ 10^{-8} сон будан, дар як қимати вақти бозdoшт энергияи нейтронро дар паҳнои аз 1 то 15 МэВ чен кардан мумкин аст.

Ҷадвали 5.8.1

Қитъаҳои спектри нейтронҳои сареъ ҳангоми ченкунӣ бо спектрометри ду нишондеҳ.

E_{n_0}, *болоӣ*	E_{n_0}, *поёнӣ*	ΔE_{n_0}, *МэВ*	E_{n_0}, *болоӣ*	E_{n_0}, *поёнӣ*	ΔE_{n_0}, *МэВ*
0,7	0,6	0,1	2,75	1,75	1
0,8	0,7	0,1	5,5	2,75	2,75
1,1	0,8	0,3	12	5,5	6,5
1,75	1,1	0,65			

Бузургии вақти бозdoшт дар канали идоракунии спектрометр дар ин маврид баробарӣ $2\cdot10^{-8}$ сон мешавад Чи тавре дида мешавад, интихоби ҳурди масофаи парвоз ба таври қатъи кор кардан кори спектрометрро осон мекунад, аммо дар як вақт тафриқаи геометриро бад мекунад. Дар ҳақиқат, пеш нишон дода шуд, ки тафриқаи геометри спектрометр бо ду нишондеҳ дар наздикшавии якум ба бузурги масофаи l_0 парвоз мутаносиби чаппа буда, тахминан ними суммаи тафриқаи спектрометрро ташкил мекунад. Ҳангоми $l_0 = 30$ см тафриқаи геометрии спектрометр мумкин баробари 20% ва аз ин калон бошад. Бинобар ин, ҳангоми камшавии масофаи парвоз, бояд ченаки мувофиқомадаро барои синтиллаторҳо бо ду нишондеҳ интихоб кунем. Маълум аст, ки интихоби ченаки синтиллатор самаранокии спектрометрро на он

қадар кам мекунад ва ҳатто ҳангоми $l_0 = 30$см будан, тафриқаи геометрии спектрометрро то тартиби якчанд фоиз таъмин мекунад.

Маълумотҳо нишон медиҳанд, ки спектрометри нейтронҳои сареъ бо ду нишондеҳ бо $\nu < 90°$ дар масофаи нисбатан калони парвоз асосан ба як камбудӣ сохиbанд - нокифоя истифода бурдани таҳлилкунаки бисёрканалаи амплитудаи импулсҳо барои чен кардани спектри нейтронҳо. Дар речаи воқеъӣ ҳангоми интихоби зариби тақвият дар канали асосии спектрометр васеъгии канали таҳлилкунак баробари 50-60 кэВ мебошад Пас, таҳлилкунаки 10-20 канала барои спектрометри ду нишондеҳ мумкин аст мувофиқтар бошад. Дар вақти нисбатан на он қадар калон будани масофаи парвоз, мисол ҳангоми $l_0 = 30$см, таъсири интихоби вақт хориҷ карда мешавад ва барои чен кардани спектрҳо таҳлилкунаки бисёрканаларо истифода мебаранд.

Чи тавре пештар қайд карда шуд, ҳангоми $\nu = 90°$ будан, маълум аст, ки тафриқаи геометрии спектрометр камтарин аст ва аз сабаби он ки дар пароканиш ба 90° нейтрон амалан ҳамаи энергияи худро ба протони қафорафта медиҳад, тафриқаи оморӣ инчунин камтарин мешавад. Агар дар ин гуна спектрометр нишондеҳи бакордароварандаи бовариноктро интихоб кунанд, он гоҳ сарҳади поёни паҳнои энергияи ченшудаи спектрометр, нисбати спектрометр бо ду нишондеҳи ҳидрогендор қатъиян кам аст. Фарз кунем, ки монанди пештара, энергияи зинагии протонҳои қафорафтаро баробари 150 МэВ қабул мекунем, ки чен кардани қимати хурдтарини энергияи нейтронҳои манба баробари 150 кэВ аст. Бо ингуна спектрометрҳо таҳлилкунаки бисёрканалаи амплитудаи импулсро истифода бурдан мумкин аст, бо сабаби он, ки нейтрони пароканишшудаи дорои паҳнои хурди энергия, ҳатто дар паҳнои калони энергияи манбаи нейтронҳо ва хати бозгашт ҳамаи спектрро ба қитъаҳои алоҳида тақсим намекунад.

5.9. СПЕКТРОМЕТРИ СИНТИЛЛАТСИОНИИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО СИНТИЛЛАТОРИ БОРУҲИДРОГЕНДОР

Спектрометри аҷибтарини нейтронҳои сареъ, ки барои омӯзиши спектри нейтронҳои сареъ васеъ истифода бурда

мешавад, спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ бо синтиллатори боруҳидрогендор мебошад. Дар ин спектрометр вазифаи нишондеҳ-таҳлилкунак ва вазифаи ба кор даровардани нишондеҳро як нишондеҳ иҷро мекунад, ки дар таркиби синтиллатор бор ва ҳидроген дохил мекунанд. Чи тавре фаҳмост, нишондеҳ ба ду ҳодиса таъсир мекунад: пароканиши нейтрон дар ҳидроген ва фурӯбурди нейтрони пароканишшуда ба ядрои бор ва минбаъда ҳосилшавии алфа-зарра. Дар ҳақиқат, агар ҳаҷми синтиллатор хеле калон бошад, он гоҳ нейтрони ба синтиллатор афтанда дар натиҷаи як ё якчанд пароканиши пай дар пай метавонад ҳама ё пурра ҳаман энергияи худро ба протони қафорафта диҳад, яъне суст мешавад, ва он вақт онро бо эҳтимолияти калон ядрои бор қапида мегирад. Дар натиҷаи якчанд пароканиши якум дар ҳидроген, ки боз нисбатан бо энергияи калони нейтрон мегузарад, импулси "протонӣ"-ро пайдо мекунад, яъне импулс ба энергияи нейтрон мутаносиб мебошад. Дар натиҷаи қапиши нейтронҳое, ки дар ядрои бор суръаташон суст мешавад, импулс аз алфа-зарра дар реаксияи $B^{10} + n + li^7 + a$ пайдо мешавад. Фосилаи байни тамомшавӣ ва башаклдаории импулсҳои "протонӣ" ва фосилаи пайдоиши алфа-зарра якчанд вақт мегузарад, дар муддате, ки нейтрон пароканиш мешавад, амалан ягон дурахши рӯшноиро дар синтиллатор пайдо намекунад.

Речаи спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъ бо як нишондеҳ, ки дар таркибаш бору ҳидроген дорад, умуман аз речаи спектрометр бо ду нишондеҳ фарқ намекунад. Ба таври дигар гуфтан мумкин аст, ки импулс ба энергияи нейтрон мутаносибан тақвият ёфта, ба калиди электронӣ дода мешавад, ки ҳангоми мувофиқӣ онро мекушояд. Дар ин маврид, импулси "протонҳо", бо импулси алфа-заррақо ба речаи мувофиқӣ дода мешавад, ки он кори таъзимкунии якинтихобиро идора мекунад. Дар роҳи импулси "протонҳо" аз нишондеҳ то речаи мувофиқӣ хати бозгаштӣ пайваст аст, ки импулси "протонҳоро" дар фосилаи вақт боз медорад, ки ба фосилаи вақти байни тамомшавӣ ва башаклдарории импулсҳои протон дар мавриди пайдошавии алфа-заррақо баробар мебошад. Вақти бозгашти импулси "протонҳо" дар наздикшавии якум ба вақти зисти нейтрон нисбати қапиш дар модаи синтиллатор баробар аст, яъне $t_0 = 1/\Sigma_a \cdot \vartheta$, дар инҷо Σ_a-арзи

макроскопии қапиши ядрои бор, ϑ-сурьати нейтрон. Дар вақти ингуна муайян кардани вақти зисти нейтрон тахмин карда мешавад, ки нейтрони манба дар натиҷаи якбархурӣ бо ҳидроген дар зери кунҷӣ наздик ба 90°, бояд пароканиш шавад, баъди ин онро ядрои бор қапида мегирад. Дар ҳақиқат нейтрон метавонад дар натиҷаи якчанд пароканиши пай дар пай суст шавад, пас унсури бор фурӯ мебарад. Вобаста ба ин огоҳӣ ва бо назардошти он, ки вақти миёнаи ҳаёт бузурги бардурӯғ аст, дар ҳақиқат вақти боздошти импулси "протонҳо" дар спектрометрро аз усули ба кор даровардани тасодуфӣ, яъне аз рӯи усули Монте-Карло ҳисоб муайян кардан мумкин аст.

Тавсифи дигари спектрометрҳо самаранокӣ ва тафриқаи энергиявӣ вобаста аз энергияи нейтронҳо мебошад, ки онҳор аз хисобу китоби усули истифодабарии тасодуфӣ муайян мекунанд.

Барои спектрометри нейтронҳои сареъ маҳлулҳоеро истифода мебаранд, ки таркибашон аз инҳо иборатанд: қисми якум фенилсиклогексан ва қисми дуюм метилборат бо иловагӣ 3-5 гр терфенил, 10-15 мг дефенилгексатриен дар 1 г синтиллатор. Маҳлул ба кюветаи слиндрикии диаметр ва баландиаш 5 см ҷойгир шуда аст. Бо усули Монте-Карло тавсифи спектрометр барои нейтронҳои манба бо E=1 МэВ баҳо дода шуд. Самаранокӣ баробари 0,15% ва тафриқаи энергияй-10% барои E_{n_0} =14 МэВ. Фосилаи миёнаи вақти байни тамомшавӣ ва башаклдарорӣ импулси "протон" ва фосилаи вақти қапиши ядрои бор баробари 2 мсон аст - ҳангоми истифодабарии метилборат бо бори табии (B^{10}, 18,8%) ва 0.25 мсон - ҳангоми ғанӣ гардонидани изотопи B^{10} то 94%.

Ин гуна спектрометрҳоро пайдо кардан хеле мушкил аст, барои он ки тавсифи вақтии речаи электронии он бояд байни худ мувофиқат кунад. Аммо бешубҳа бартарии ингуна спектрометр - имконияти кор кардан бе коллиматор аст ва ин спектрометрро ба сифати яке аз асбобҳои ояндадор истифода мебаранд. Вобаста ба ин, ин гуна спектрометрҳо барои омӯзиши спектри нейтронҳои сареъ истифодаи васеъ доранд.

5.10. ТАВСИФИ СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО СИНТИЛЛАТОРИ БОРУҲИДРОГЕНДОР

Ҳангоми ҳисоби тавсифи спектрометр бо синтиллатори боруҳидрогендор чунин масъалаҳоро ҳал намудан мумкин аст.

Синтиллатор намуди доира бо диаметри Д ё ин ки силиндр бо диаметр ва ғафсиаш Д-ро дорад. Дар таркиби синтиллатор танҳо ядрои ҳидроген, карбон ва бор дохил мешавад. Ба диаметри доира ё ин ки дар тири силиндр ба синтиллатор дастаи нейтронҳо бо энергияи E_{n_0} ворид мешаванд. Бигзор, арзи фурӯбурди нейтронҳо ба ядрои бор дар фосилаи энергияи аз 0,025 то 10^7 эВ аз қонуни $1/\sqrt{E_n}$ тағйир ёбад; инчунин фарз кунем, ки дар системаи координатаҳои лабораторӣ пароканиши нейтрон дар ядрои ҳидроген ва карбон доиравӣ ва симметрӣ мегузарад.

Масъала барои ду ченаки синтиллатор ($Д_1$=4см $Д_2$=8см), ҳал шуда буд ва се таркиб ва як қатор қиматҳои энергияи аввалаи нейтронҳо дар ҳудуди аз 0 то 10 МэВ дар ҷадвали 5.10.1 оварда шудааст.

Ҷадвали 5.10.1

Таркиби синтиллаторҳо, ки ҳангоми омӯхтани тавсифи спектрометр баррасӣ шудааст

Рақами таркиб	Маводе, ки дар таркиби синтиллатор дохил мешавад	Таркиби содатарини синтиллатор		
		H	B	C
1	Ксилол ва триметилборат C_8H_{10} + $[B(OHC_3]^*_3$	$5,7\cdot10^{22}$	$3\cdot10^{21}$	$3,3\cdot10^{22}$
2	Ксилол ва триметилборат ҳангоми ғанигардонидани изотопи бор B^{10} то 80%	$5,7\cdot10^{22}$	$1,2\cdot10^{22}$**	$3,3\cdot10^{22}$
3	Фенилсиклогексан ва тризобутилборат $C_{20}H_{12}$ + $[B(OC_4H_9)_3]$	$6,8\cdot10^{22}$	$1,26\cdot10^{21}$	$2,4\cdot10^{22}$

*миқдори омехтаҳои гуногун дар ҳаҷм.

**Барои соддагардонии таркиб бо ғанигардонидани бор тахмин, ки ғаноиши бор зиёд карда шуд.

Чунин бузургиҳо муайян карда шуданд ва имконият медиҳанд, барои истифодабари сифати спектрометр ақидаҳоро баён кунем:

– эҳтимолияти фурӯбурди нейтрон дар ядрои бор баъди пароканиш дар ядрои ҳидроген ва карбон;

– вақт аз фосилаи якуми пароканиши нейтрон ба ядрои ҳидроген то фосилаи фурӯбурди он ядрои бор;

– энергияи нейтрон дар фосилаи фурӯбурди он дар ядрои бор (танҳо барои он нейтронҳое, ки аввал аз ядрои ҳидроген ё карбон пароканиш шудаанд);

– ҳиссаи энергияи нейтронҳо, ки дар натиҷаи пароканиш ба ядрои ҳидроген сарф шудааст (танҳо барои нейтронҳое, ки баъд аз ба ядрои бор фурӯ рафтан).

Раванди баррасашудаи ҳаракати нейтронҳо дар синтиллатор раванди бенатиҷа аст: бинобар ин хатсайри ҳаракати нейтронҳои "сохтор" ҳамчун занҷири ҳамтаъсирот дар фазои шашченакаи фазогӣ (x, y, z, ω, E_n), ҳолати нейтронро муайян мекунанд, дар инҷо x, y, z-координатаҳо ва ω-равиши ҳаракати он байни ду ҳамтаъсироти баъдина. Дар бобҳои гузшшта нишон дода шуд, ки эҳтимолияти раванди "пароканиш- қапиш" калон нест, бинобар он барои ба ҳисоб гирифтани ахбори зиёдтарин бо реҷаи "шартан парвоз" моделсозии ҳаракати қалбакии зарраҳо барои баъзе масса зарӯр аст. Шуморидан мумкин аст, ки ингуна ҳаракати қалбакии зарраҳо ҳама вақт дар дохили ҳаҷми синтиллатор мегузарад, ки "зарра" бо модаи синтиллатор аз қонуни оддии ҳамтаъсироти нейтронҳо ҳамтаъсирот гузаронида, дар ҳар як рӯйдоди ҳамтаъсирот қисми "массаи" худро сарф мекунад.

Ин гуна зарраи қалбакӣ умуман гуфтан мумкин аст, ки "наминаранда" аст, аммо "массаи зарра" аз баъзе бузургии додашудаи x хурд мешавад, он гоҳ интихоби шартии таъминоти аниқии лозимӣ дидани ҳаракати онҳо дар синтиллатор ба охир мерасад.

Ҳолати дигари ҳаракати пайдарпайи "зарра" дар синтиллатор-ро дида мебароем:

а) пароканиши "зарра" (дар ҳолати n=0);

б) ҳаракати "зарра" аз бархӯрд то бархӯрд (аз ҳолати n ба (n+1)-ҳолат мегузарад; байни бурхӯрдҳо зарра мунтазам ҳаракат мекунад, равиши ҳаракати зарра ω ба охир мерасад; эҳтимолияти

дидабаромадани он, ки "зарра" аз синтиллатор мебарояд Ω ва дарозии миёнаи давро S_n муайян мекунанд;

в) бархӯрди "зарраҳо"- аз координатаҳои (n+1)-ум ва массаи қалбакӣ M_{n+1} баъди бархӯрд.

г) равиши нави ҳаракати зарра ба охир мерасад;

д) Тамомшави хати сайрро муайян мекунанд.

Дави озод аз таносуби муайян ёфта мешавад: $F(S) = e^{-\Sigma(E_n)S}$, дар инҷо $\Sigma(E_n)$–арзи макроскопии модаи синтиллатор барои энергияи E_n. Эҳтимолияти он, ки "зарра" ҳангоми ҳаракат ба равиши ω; аз ҳудуди синтиллатор мебарояд: $\Omega_n = e^{-\Sigma(E_n)L_n}$ аст (L_n- масофа аз сарҳади синтиллатор то нуқтаи пароканиши n-ум). Агар "зарра" аз ҳудуди синтиллатор набаромада бошад, он гоҳ бузургии дави озоди "зарраҳо" тақсим мешаванд аз қонуни шартӣ, яъне, $P(S) = e^{-\Sigma(E_n)S}/1 - e^{-\Sigma(E_n)L_n}$ риоя мешавад. Ҳангоми бархӯрди қалбакӣ мувофиқи ифодаи $m_{n+1} = m_n Y_{n+1}(1 - \Omega_n)$, тағйир меёбад: инҷо Y_{n+1} -эҳтимолияти ҳамтаъсирот дар фосилаи бархӯрии n-ум. Ҳангоми дида баромадани хати сайри пурраи "зарраҳо" онро аз функсияи $\varphi = \sum_n^\infty (1 - Y_{n-1}) m_n (1 - \Omega_n)$ муайян мекунанд. Суммиронидан дар ҳамаи бархӯрӣ гузаронида мешавад, илова бар ин $m_0 = 1$. Ба воситаи φ омори асосиро муайян мекунанд.

Самаранокии спектрометр Ɛ-ро, масалан ҳамчун интизории математикии функсияи φ аз хати сайри $\varepsilon(T)$ нейтрон, яъне $U = \frac{M_\varphi(\varepsilon)}{T}$ ҳисоб мекунанд. Таҳсимшавии нейтронҳоеро, ки баъди пароканиш ядрои ҳидроген ё карбон ё ки ядрои бор мекапад, аз рӯи гурӯҳи энергиявии $R_n(E_n)$, ҳамчун $R_n(E_n) = \left\{r_n^{(i)}\right\} i = 1, 2, \ldots i_{\text{комп}_n}$ муайян мекунанд, инҷо i-адади тартибии фосилаи энергиявӣ ва $r_n^{(i)} = M\varphi^{(i)}[\varepsilon T]$. Монанди ҳамин, дигар бузургиҳо ҳам ҳисоб карда шуданд.

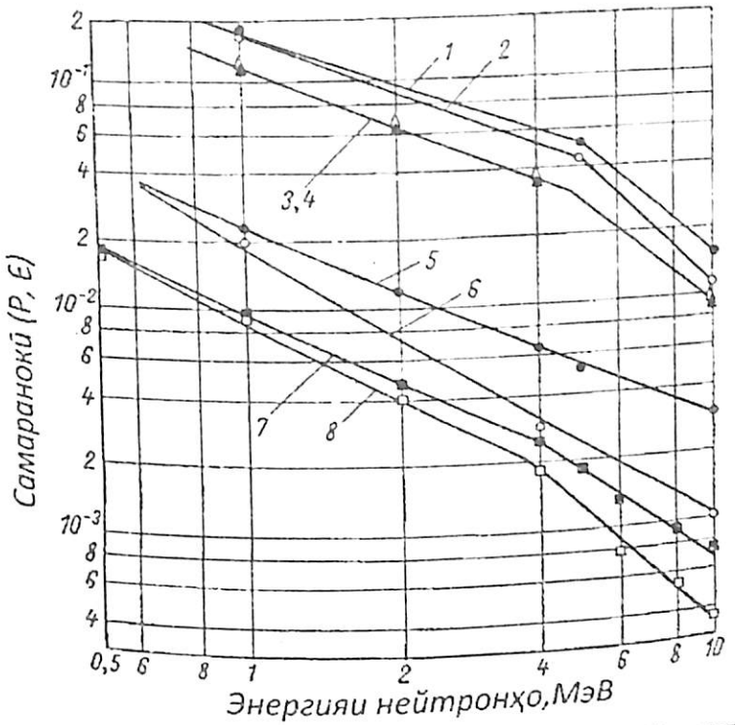
Ҳамагӣ 12 бузургӣ муайян карда шуд, ки онҳо имконият медиҳанд бо пуррагӣ равандҳои физикие, ки дар синтиллатор пайдо мешаванд, муҳокима кунем. Ҳисоби ҳаман бузургиҳо то аниқии 15% гузаронида шуданд.

Дар вақти дида баромадани натиҷаҳои ҳисобкуниҳо мукаррар карда шуд, ки адади пурраи нейтронҳое, ки дар модаи синтиллатор фурӯ мераванд, дар натиҷаи ҳамтаъсироти якум ва инчунин баъди

пароканиш, вобаста ба энергияи нейтрон E_n дар асоси қонуни зерин тағйир меёбад: $P(E_n) = C\frac{V}{E_n^R}$, дар инҷо C ва R – доимӣ, ки аз таркиби синтиллатор вобаста мебошад ва V-ҳаҷми синтиллатор. Самаранокии пурраи ҳақиқии спектрометр Ɛ, ҳамчун нисбати адади нейтронҳо, ки бор мекаппад (гарчанде, ки баъди як пароканиш дар ядрои ҳидроген), ба дастаи нейтронҳо, ки ба синтиллатор меафтанд, муайян мекунанд ва баробарӣ $(E_n) = P - [1 - e^{-\Sigma_B(E_n)Д}]$, дар инҷо $\Sigma_B(E_n)$-арзи макроскопии фурӯбурди нейтрон дар ядрои бор дар синтиллатор. Қонунияти ҳосилшуда дар расми 5.10.1 нишон дода шудааст.

Аз расм дидан мумкин аст, ки қимати P вобаста аз энергияи нейтронҳо дар синтиллаторҳо нисбати ғаноиши камтарини ядрои бор тағйир меёбад, масалан монанди арзи микроскопии пароканиши нейтронҳо дар ядрои ҳидроген. Самараноки пурраи ҳақиқӣ Ɛ барои ин синтиллаторҳо аз P кам фарқ мекунад, аммо барои энергияи нейтронҳо, калон аз 4-5 МэВ, таъсири қаппиш (бе пароканиш) дар ядрои бор ба чашм айён мешавад. Барои синтиллаторҳое, ки ғанбиши бор зиёд аст (барои таркиби 2), адади фурӯбурд P новобаста аз $\sigma_n(E_n)$ ва майлкунӣ вобаста аз қаппиши нейтрон дар ядрои бор мегузарад. Самаранокии спектрометр бо синтиллаторҳои ченакашон калон аз пароканиши бисёркаратаи нейтронҳо дар ҳаҷми синтиллатор муайян мекунанд, ки ин вобастагӣ Ɛ(E_n) тахминан монанди $\sigma_n(E_n)$ мебошад.

Ҳангоми баррасии таносуби муваққатии байни равандҳое, ки дар синтиллатор мегузаранд, тахмин карда шуд, ки пароканиши якуми нейтрон дар ҳидроген ҳангоми t=0 мегузарад. Маълум, ки дар ҳаҷми додашуда ва таркиби синтиллатор тақсимшавии муваққатии равандҳои "пароканиш-қаппиш" ҳамчун t^{-a} тағйир меёбад ва аз энергияи нейтронҳо вобаста нест (расми 5.10.2). Ғайр аз ин, бо афзоиши ченаки синтиллатор зариби a кам мешавад. Бо афзоиши ғаноиши ядрои бор дар синтиллатор "пароканиш-қаппиш" дар фосилаи хурди вақт баъди пароканиши якум адади равандҳо меафзоянд.



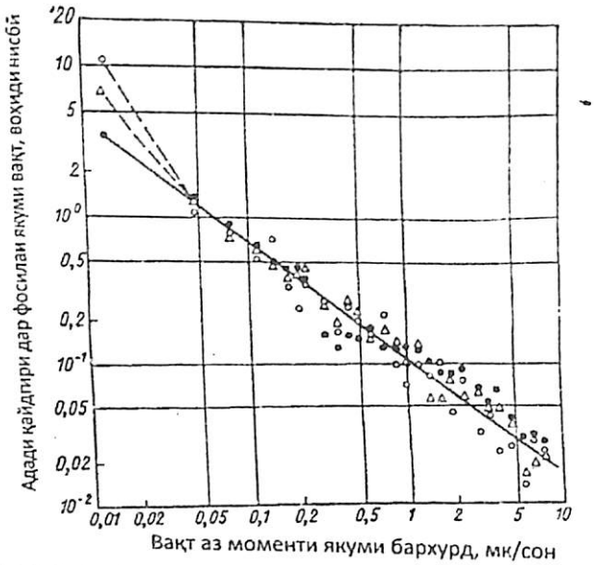
Расми 5.10.1. Вобастагии самаранокии спектрометр бо синтиллатори боруҳидроген (дар кюветаи доирашакл) аз энергияи нейтронҳо: 1-диаметр 80 мм, таркиби 2-юм; 2-80мм, таркиби 2-юм; 3-80 мм, таркиби 3-юм; 4-80 мм, таркиби 3-юм; 5-40 мм, таркиби 2-юм; 6-40 мм, 2-юм таркиб; таркиби якум; 8-40 мм, таркиби якум (1; 3; 5; 7-P; 2; 4; 6; 8-Ɛ).

Ба наздикӣ маълум шуд, ки тақсимшавии муваққатии равандҳои "пароканиш-қаппиш" ва вақти бозdошт t_0^* дар канали идоракунии спектрометр гузаронида шуд, самаранокии ҳақиқии спектрометр ε-ро аз таносуби зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$Ɛ(E_n) \int_{t_0^*-\tau}^{t_0^*+\tau}(E_u)\, t^{-a} dt/t - t_0^*, \qquad (5.10.1)$$

Дар расми 5.10.3 тақсимшави энергиявии нейтронҳо дар воҳиди фосилаи энергия нишон дода шудааст, ки дар раванди "пароканиш-қаппиш" иштирок карданд. Аз расми 5.10.3 дидан мумкин аст, ки аксарияти адади нейтронҳоро ядрои бор мекаппад, баъд аз ин онҳо тамоми энергияи худро ба ядрои ҳидроген ё карбон

медиҳанд. Яъне ташкилдиҳандаи тавсифи энергиявӣ спектрометр, вобаста аз раванди таъсири онҳо хурд аст.



Расми 5.10.2. Тафриқаи муваққатии равандҳои "пароканиш-қаппиш" вобаста аз вақт. 0-1 МэВ; Δ – 4 МэВ; 0-10 МэВ (диаметри доира 40 мм, таркиби якум).

Аз тарафи дигар, қонуниятҳо вақти муносибтарини бозdoшт дар канали идоракунии спектрометр, вақти тафриқаи речаи мувофиқӣ ва хатои ҷоизи пурборсозии спектрометрро муайян карданд.

Барои ҳосил кардани натиҷаҳои боварinок дар пурборсозии спектрометр бояд вақти бозdoшт ва вақти тафриқаи речаи мувофиқоиро чунин интихоб кунем, ки нисбати бақайдгирии фоиданок ба қалбакӣ максималӣ бошад. Аз расми 5.10.2 дида мешавад, ки барои ҳарду бузургӣ бояд имконияти хурдтаринро интихоб кунем. Бо вуҷуди ин, ки дар ҳолати ченкунӣ дастаи хурди нейтронҳо $\sim 10^{31}$ нейтрон/ см^2.сон.) аст, тафриқаи вақти речаи мувофиқоии муносибтаринро бояд интихоб кард. Вақти бозdoштро вобаста аз шароити таъминоти зиёдтарини адади ба ҳисоб

гирифтаи N_2 дар нисбати доимии онҳо ба адади мувофиқоии сохтаи N_1, аз шарти зерин меёбанд:

$$N_1 = aN_2 \ (a \ll 1) \qquad (5.10.2)$$

Аз тарафи дигар маълум, ки:

$$N_1 = \beta\tau N \qquad (5.10.3)$$

дар инҷо β-эҳтимолияти бақайдгири ҳамтаъсироти дилхоҳ. Аз тарафи дигар

$$N_2 = QN, \text{инҷо } Q = \sum_3^i U_i, i = 4,5,6,\ldots \qquad (5.10.4)$$

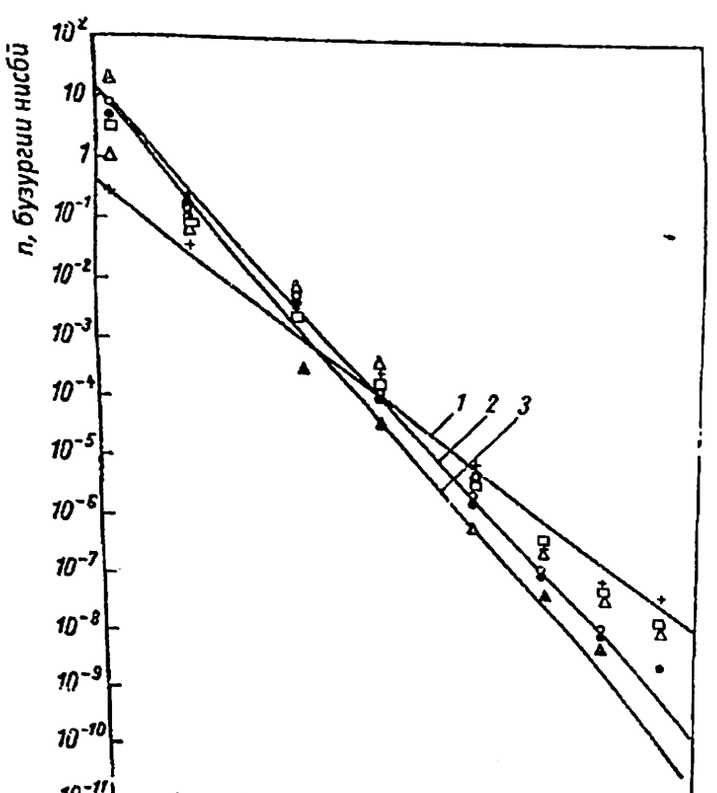
ва U_i–адади бақайдгирии ҳодисаи "пароканиш-қаппиш" дар фосилаи вақт i.

Аз таносубҳои (5.10.2), (5.10.3) ва (5.10.4) бо осонӣ ҳосил мекунем, ки

$$N_2 = \frac{a}{\beta} \cdot \frac{a}{\tau} \qquad (5.10.5)$$

$t_0^* = 0.1$мксон. Интихоб ва бо формулаи (5.10.5) ҳисоб гузаронида, вобастагии дар расми 5.10.4 нишондодашударо ҳосил карда метавонем. Аз он дида мешавад, ки самаранокии спектрометр вобаста аз тафриқаи вақти речаи мувофиқоӣ зиёдтарин буда, илова бар ин, ҳолати зиёдтаринро аз ҳачм ва таркиби синтиллатор муайян мекунад. Агар қимати Q-ро вобаста ба зиёдтарин қабул кунем, онгоҳ дастаи имконпазири нейтронҳоро ҳисоб карда, миқдори мувофиқоии фоиданокро барои $\alpha/\beta = 1$ (ҷадвали 5.10.2) ҳосил кунем.

Дидан мумкин, ки спектрометр бо синтиллатори боруҳидрогенӣ, танҳо дар дастаи нисбатан на он қадар калон метавонад кор кунад, бинобар ин ченаки синтиллатор бо ҳаммаъноӣ бояд калон бошад (Ø80 мм, мисол), аммо барои дар таркиби синтиллатор зиёд будани ғаноиши ядрои бор синтиллатори таркиби дуюмро истифода мебаранд (нигаред ба ҷадвали 5.10.1). Тафриқаи вақти речаи мувофиқоӣ дар спектрометр бояд $\sim 1{,}5 \cdot 10^{-4}$сон. бошад.



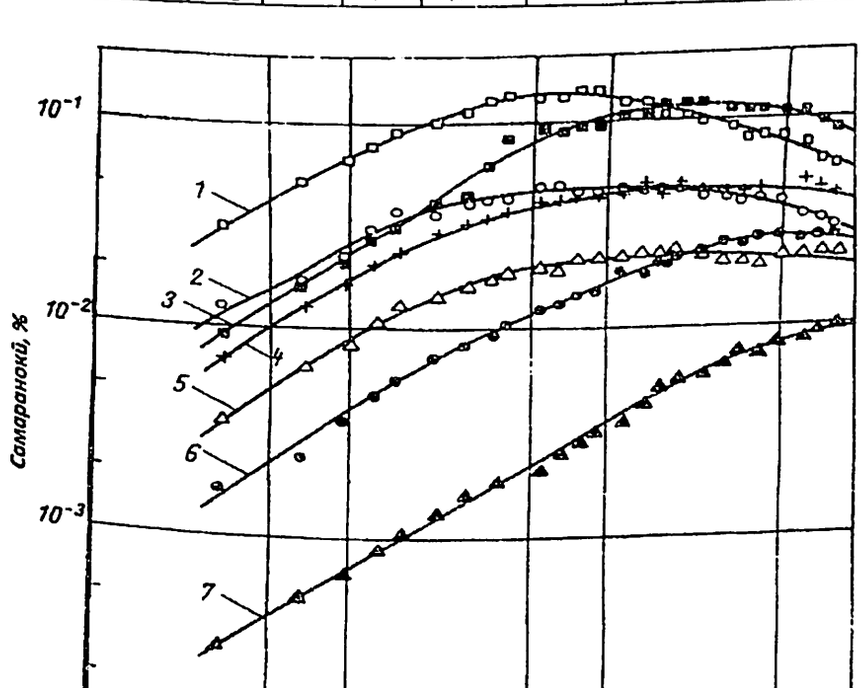
Расми 5.10.3. Таксимоти энергиявии нейтронҳо, ки баъди пароканиш дар ядрои ҳидроген онҳоро ядрои бор қапида мегирад; меъёрбандӣ дар фосилаи энергияи 1эВ (E_{no} =4МэВ). 1-таркиби 2-юм; 2-таркиби якум; 3-таркиби сеюм.

Ҷадвали 5.10.2

Шароити кори спектрометр бо синтиллатори боруҳидрогенӣ

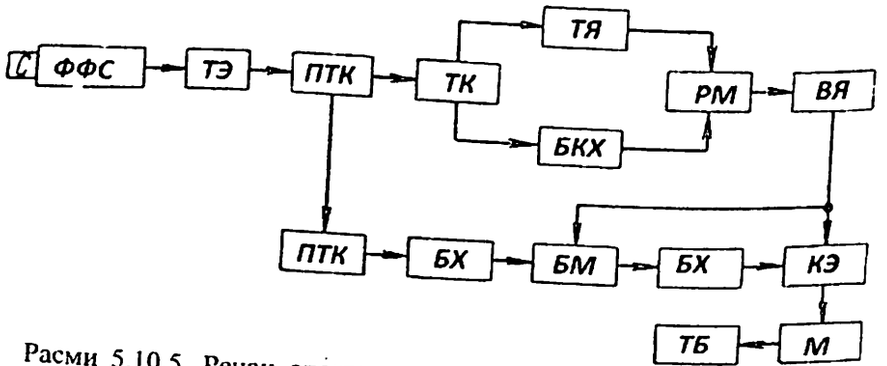
	Таркиб		N_1			N_2		N_3	
	диаметри кювета		80		10	80	40	80	40
	τ,мксон		5	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5
Энергияи нейтрон-	1	N_1	5.10^3	1.10^4	1.5.103	3.10^4	$1.5.10^4$	$6.7.10^3$	$9.4.10^3$
		N_2	180	166	3,2	$1,2.10^3$	120	67	1,3

хо МэВ								
	4	N_1	2.10^3	3.10^3	3.10^3				
		N_2	20	14	0.11				
	10	N_1	5.10^3	8.10^2	$6,5.10^1$	3.10^3	$7,6.10^2$	$5.7.10^2$	$6,8.10^1$
		N_2	1.3	0.96	$0,6.10^2$	14	2.9	0.5	$0,3.10^2$



Расми 5.10.4. Самаранокии спектрометр бо синтиллатори боруҳидроген вобаста аз тафрикаи вақтии речаи мувофикой: 1-доира диаметри 40мм, таркиби 2-юм; 2-40мм, таркиби якум; 3-80 мм, таркиби дуюм; 4-доира диаметр 40 мм, Н=40 мм; таркиби якум; 5-доира диаметр 40 мм, таркиби сеюм; 6-80 мм, таркиби якум 7-60 мм, таркиби сеюм.

Речаи корӣ спектрометр бо синтиллатори борҳидрогенӣ дар расми 5.10.5. нишон дода шудааст.



Расми 5.10.5. Речаи спектрометри синтиллатсионии боруҳидрогенӣ барои нейтронҳои сареъ: с-синтиллатор; ФФС-фотофузунсоз: ТЭ-такроркунаки эммитерӣ; ПТК-пештақвияткунак; ТК-таквиятдиҳанда; БКХ-таквиятдиҳаки хаттӣ; БХ-боздошти хаттӣ; РМ-речаи мувофиқӣ; БМ-блоки масдудӣ; КЭ-калиди электронӣ; ТА-таҳлилкунаки якканалаи амплитудаи импулсҳо; ВЯ-васлкунаки якинтихобӣ; М-маҳдудкунак; ТБ-таҳлилкунаки бисёрканалаи амплитудии импулсҳо.

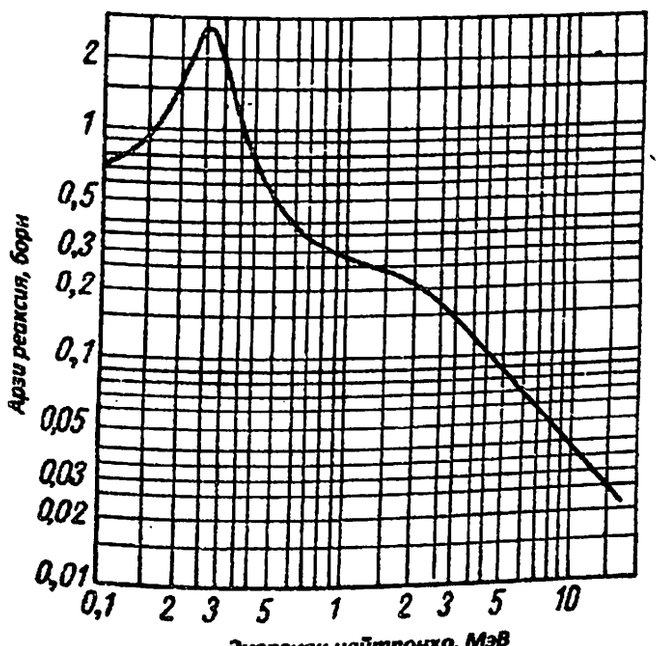
5.11. СПЕКТРОМЕТРИ СИНТИЛЛАТСИОНИИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО КРИСТАЛЛИ LI (EU)

Спектрометри синтиллатсионии нейтронҳои сареъро бо кристалли *LiI (Eu)* монанди гамма-спектрометри якқристаллӣ, барои муайян кардани энергияи нейтрони реаксияи Li^6 *(n, a)T* истифода мебаранд, ки дар натиҷа ду зарраи заряднок - а-зарра ва тритон ҳосил мешавад. Энергияи суммавии ин зарраҳо бо энергияи нейтрон мутаносиб аст. Реаксияи Li^6 *(n, a)T* яке аз ду реаксияи имконпазир мебошад, ки бояд талаботи зеринро қаноат кунад, ки тавассути он энергияи нейтронҳоро чен кардам мумкин аст: якум, ядрои тритий савияи ангезиши поёнхобидаро надорад, дуюм, ядро Li^6 хеле вазнинтар аст, бинобар ин пароканиши чандирии нейтрон бо ядрои он ҳиссаи хеле хурдтарини энергияро медиҳад. Ҳангоми ичро нашудани ин шартҳо гузаронидани ченкуниҳо ва шарҳ додани натиҷаҳои гирифташуда мушкилтар мебошад. Дар ҳақиқат, ҳангоми ичро нашудани шарти якум байни энергияи маҳсули реаксия ва энергияи нейтрон алоқаи якқимата намешавад ва

ҳангоми ичро нашудани шарти дуюм энергияи маҳсули реаксия кам мебошад ва энергияи зинагии спектрометр барзиёд мешавад.

Арзи реаксияи Li^6 *(n, a)T* хеле калон буда, бо афзоиши энергияи нейтронҳо (расми 5.11.1) мунтазам тағйир меёбад, эҳтимолияти дигар реаксияҳо бо ядрои Li^6 кам аст.

Дар ҳақиқат, дар энергияи нейтронҳои манбаи зиёдтар аз 7 МэВ, умуман гуфтан мумкин аст, ки имконияти дигари реаксия Li^6 *(n, a)*He^3 ва Li^6 *(n, a)*He^6, паҳнои ченкунии энергияи нейтронҳоро бо спектрометри кристаллӣ *LiI(Eu)* кам мекунад. Дар энергияҳои калони нейтронҳо инчунин имконияти афзоиши адади ядрои қафорафтаи литий ҳосил мешавад, ки аз натиҷаи пароканиши чандирии нейтронҳо вобаста аст.



Расми 5.11.1. Арзи реаксияи Li^6 *(n, a)T* вобаста аз энергияи нейтронҳо.

Бо вуҷуди ин, қайд кардан лозим аст, ки рақобати байни реаксияҳои Li^6 *(n, a)*He^3 ва Li^6 *(n, a)*He^6 ва пароканиши чандирии нейтронҳо бо ядрои литий нисбат ба реаксияи Li^6 *(n, a)T* дар

энергияи нейтронҳои калонтар аз 10-12 МэВ сар мешавад, яъне паҳнои энергияи нейтронҳоро барои омӯхтани ҳифзи биологии реакторҳо истифода карда, спектри нейтронҳоро бе душворӣ чен кардан мумкин аст.

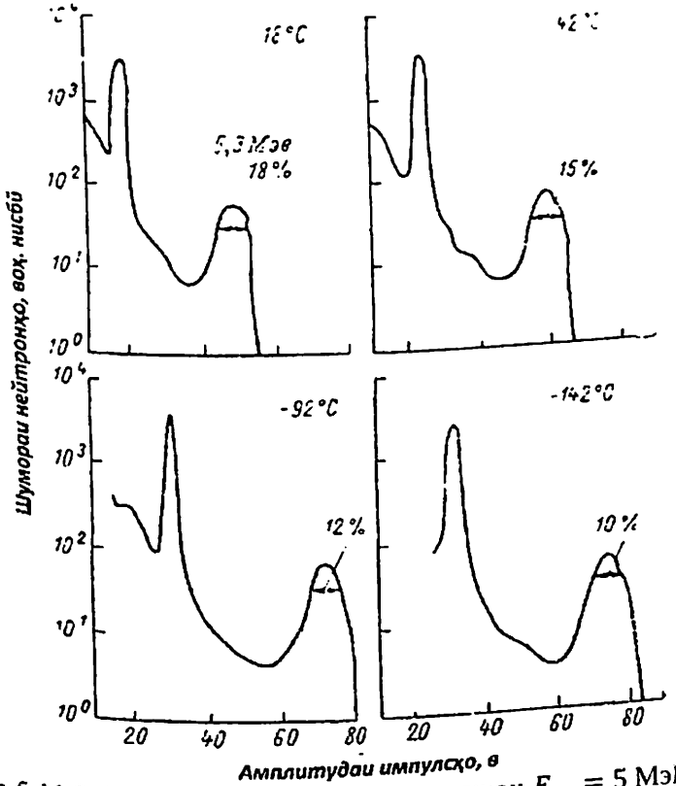
Бо ин сабаб спектрометри нейтронҳои сареъ бо кристаллӣ *LiI(Eu)* шавқи зиёдро пайдо кард, барои он ки пешакӣ коллиматсияи дастаи нейтронҳоро талаб намекунад, зеро энергияи суммавии маҳсули реаксия аз равиши афтиши нейтрон, ки реаксияро ба амал меоварад, вобаста нест.

Бинобар ин, роҳи ба даст овардани ингуна спектрометр ба мушкилии ҷиддӣ вобаста аст, ки ба алфа-зарра ва тритонҳо алоқаманд буда, дар натиҷаи реаксияи Li^6 $(n, a)T$ метавонанд ҳиссаи гуногуни энергияи нейтронро қабул кунад, инчунин баромади рӯшноии синтиллатор, ки зарраҳои заряднок ба вуҷуд меоваранд, бо афзоиши ионизатсия хос хеле кам мешавад,. Он гоҳ ин ба парешонии зиёди амплитудаи импулс меоварад, ки он бояд ба энергияи муайяни нейтрон мувофиқат кунад. Барои чен кардани спектри нейтронҳои сареъ кристалли *LiI(Eu)* (кристалл бо 100% ғанигардонидани Li^6) истифода бурданд, ки он то ҳарорати -140°C хунук карда шудааст. Нишон дода шуд, ки дар ин ҳарорат параканиши амплитудаи импулсҳо, ки алфа-зарраҳо ва тритонҳо ҳосил мекунанд, ба қадри имкон кам мешавад ва ҳангоми ченкунии энергияи нейтронҳо бо спектрометри кристаллии *LiI(Eu)* тафриқаи энергиявии хеле хубро гирифтан мумкин аст. Сохти блоки спектрометр имконият медиҳад, ки ҳарорати кории гуногунро барои кристалли йоди литий бо роҳи танзими сарфи азот ба даст орем.

Тадқиқоти вобастагии тафриқаи энергиявии спектрометр аз ҳарорати кристалл ҳангоми онро бо дастаи якранги нейтронҳо бо энергияи 5,5 МэВ (расми 5.11.2) нурборон кардан, нишон дод, ки бо паст рафтани ҳарорат, тафриқаи энергиявии спектрометр дар ҳарорати -140°C бехтар мешавад ва инчунин дар ҳарорати хонагӣ тафриқаи энергиявӣ ду маротиба бехтар мешавад. Дар айни ҳол қайд карда шуд, ки бо паст шудани ҳарорат амплитудаи импулс меафзояд, ин ҳам бо як дараҷаи маълум имконияти бехтаршавии тафриқаро медиҳад.

Реаксияи $Li^6(n, a)T$ бо ҷудо кардани энергияи Q=4,78МэВ мегузарад. Бинобар ин дар спектрометр бо кристалли *LiI(Eu)*

бехтарин маҳдудкунии импулсҳоро дар кристалл гирифтан мумкин аст, монанди он, ки гамма-квантҳо ингуна импулсҳоро дар кристалл пайдо мекунанд. Пас импулсҳое, ки гамма-квантҳо бо энергияи 4 МэВ пайдо мекунад, ҳамин хел амплитударо доранд, монанди импулсҳое, ки нейтронҳои ҳароратӣ ба амал меоваранд.



Расми 5.11.2 Спектри нейтронҳои энергияшон $E_{n_o} = 5$ МэВ бо спектрометри кристаллии *LiI(Eu)*, ки дар ҳароратҳои гуногун чен шудааст. Ҳароратҳои кристаллҳо дар расм нишон дода шудааст.

Бо сабаби ин, ки фони гамма-афканишот ба ченкуниҳо халал мерасонад (мисол, иштироки гамма-квантҳои энергияи калон), метавонем ғафсии кристалли йоди литийро мумкин кам кунем, барои он ки дави электронҳо, ки дар натиҷаи фурӯбурди энергияи гамма-квантҳо ҳосил мешаванд, дар он ҷой намегирад ва сифати

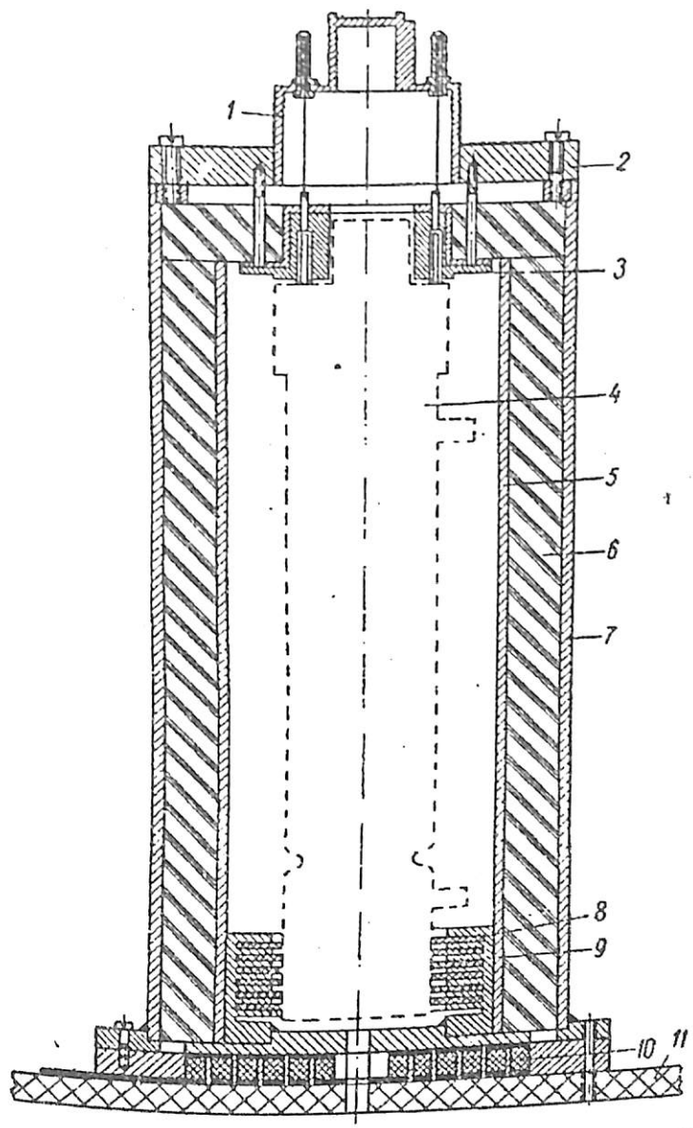
бехтарини қайдшудаи спектрометр бо кристалли *LiI(Eu)* бешубҳа арзанда мебошад.

Самароникии зиёди спектрометр бо кристалли *LiI(Eu)* барои нейтронҳои сустҳаракат, ки аз манбаи тадқиқотӣ бармеояд, хеле кам буда, ҳифзаш осон аст. Мисол, истифодабарии полоиши борӣ вобаста ба вайрон кардани спектр аз нейтронҳои суръаташон сустшуда мумкин аст, ки аз сохтори маводи нишондеҳи спектрометр пайдо шаванд. Дар сохтори спектрометрҳо барои кори фотокатод аз тираки азот, ки кристаллро хунук мекунад, ҳамчун рӯшноибари аз шишаи органикӣ тайёркардашуда истифода шудааст, бинобар он сустшавии адади нейтронҳои суръаташон сусг дар рӯшноибар хеле зиёд аст ва ҳатто дар вақти ченкунии спектри нейтронхои якранг бо энергияи 14,3 ва 5,3 МэВ (нигаред ба расми 3.11.2) қуллаи нейтронҳои ҳароратӣ возеҳан ҷудо мешавад.

Истифодабарии рӯшноибар ба камшавӣ бузургии сигнали рӯшноӣ меоварад, ки тафриқаи энергиявии спектрометрро бад мекунад ва сарҳади поёнии энергияи ченшавандаро зиёд мекунад. Аз ин сабаб ин сарҳади поёнии энергияи ченшаванда бо спектрометри *LiI(Eu)* баробар ба 1 МэВ баҳо дода шуд.

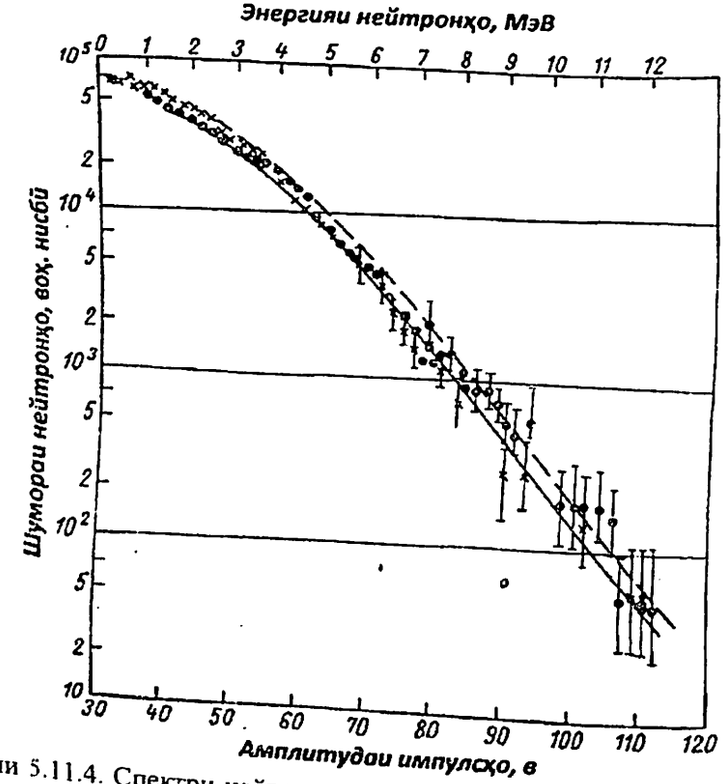
Қайд мекунем, ки ин гуна фотофузунсозҳо, ба монанди ФФС-11, ФФс-12, ФФС-14 ва ғайра, метавонанд дар ҳарорати пасти фотокатод муътадил кор кунанд. Дар ин маврид рӯшноибар дар сохтори спектрометр бо кристалли *LiI(Eu)* хориҷ шавад. Кристаллро новобаста ба фотокатод ҷойгир карда, ба таври қатъӣ тавсифи спектрометрро беҳтар кардан мумкин аст, яъне тафриқаи энергиявӣ беҳтар мешавад ва асосан сарҳадченкунии энергияро паст мекунад. Барои хунук кардани кристалл дастгоҳи гармихунуккунакро (расми 5.11.3), истифода мебаранд, гарчанде бо ин дасттоҳ расидан ба ҳарорати азоти моеъ номумкин аст.

Бо вуҷуди ин, барои чен кардани спектри яклухти нейтронҳо зарурати доштани спектрометр бо тафриқаи хурдтарин лозим нест, аз тарафи дигар, мачмъаи дастгоҳ бо гармихунуккунак дар баъзе ҳолатҳо кори спектрометрро хеле қулай мекунад, мисол, нишондеҳи спектрометрро бо механизми гармихунуккунанда дар дохили маводи тадқиқотӣ ҷойгир кардан мумкин аст.



Расми 5.11.3. Буриши гармихунуккунак барои фотофузунсозҳо. 1-қуттии симҳои электрикӣ; 2-қуттии бардошташаванда; 3-панели фотофузунсоз; 4-фотофузунсоз; 5-қабати нишондеҳ; 6-қабати гармӣ аз пенопластик; 7-қабати берунаи нишондеҳ; 8-тамоси пружинӣ; 9-гузаронандагӣ; 10-манбаи термоэлектрикӣ.

Барои коркарди натичаи чеиишудаи спектри яклухти нейтронхои сареъ, ки бо спектрометри кристалли *LiI(Eu)* чен шудааст, пешакй бояд спектри якчанд манбахои якрани нейтронхо чен карда, онгох барои хосил кардани спектри хакикии яклухт монанди коркарди спектри нейтронхои яклухти гамма-афканишот гузаронидан мумкин мешавад. Спектри нейтронхои асбобии чеиишударо ба якчанд фосилахо таксим мекунанд ва аз сархади болоии спектр сар карда, аз онхо кадам ба кадам фонро тарх мекунанд ва хар як гурухи нейтронхои фосилаи пешинаи энергия пайдо мекунанд.



Расми 5.11.4. Спектри нейтронхои таксимшудаи U^{235}, ки бо спектрометри кристалли *LiI(Eu)* бо усули фотоэмулсияи гафскабат чен шудааст; тарккиби Li^6 (хатхо)-и дар спектр чен шуда хатогиро нишон медихад, ки он бо ноаникии арзи реаксияи Li^6 *(n, a)* вобаста мебошад.

Барои мисол, дар расми 5.11.4 спектри нейтронхои таксимшудаи U^{235}, ки ба воситаи спектрометри кристалли *LiI(Eu)* чен шудааст (коркарди он низ дар ничо низ нишон дода шудааст) ва спектри нейтронхои таксимшудаи U^{235}, ки бо ёрии фотоэмулсияи гафскабат бо Li^6 вобаста ба номуайяниии арзи реаксияи Li^6*(n, a)*T чен шудааст, оварда шудааст. Хангоми коркарди спектр фон тарх карда шуд, ки 17%-ро хангоми E_{n_0} = 3 МэВ ва 60%-ро хангоми E_{n_0} = 1.5 МэВ ташкил мекард. Барои энергияи нейтронхои манбаи калонтар аз 5,5 МэВ ки фон хеле кам аст. Натичаи тачрибаи спектрометр бо кристалли *LiI(Eu)* нишон медихад, ки асосан бо назардошти речаи электронй ин гуна спектрометрхо хеле оддй мебошанд. Хамин тавр, барои пайдо кардани чунин спектрометр таквиятдихак бо зарибаи таквиятдихии 100 ва тахлилкунаки амплитудаи импулсии навъи AV-100 –ро доштан шарт аст.

БОБИ VI.
ОМӮХТАНИ СПЕКТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ БО УСУЛИ ЯДРОИ ҚАФОРАФТА

6.1. МАЪНОИ ФИЗИКИИ УСУЛ

Чи тавре, ки маълум аст, дар бархурди чандирии нейтронҳои сареъ ядрои қафорафта ҳосил мешавад, ки дорои энергияи E_A буда, бо энергияи аввалаи нейтрон E –и якрақама, кунҷи байни хати сайри ҳаракати нейтронҳо то пароканиш ва ядрои қафорафта φ ва адади массавии ядрои қафорафта A алоқаманд аст:

$$E_A = aEcos^2\varphi, \qquad (6.1.1)$$

ки дар инҷо: $a \approx 4A(1+A)^2$. (6.1.2)

Бинобар ин ченкунии энергияи ядрои қафорафта бо усули дилхоҳ, ки онро дар спектрометри зарраҳои заряднок истифода мебаранд, имконият медиҳад энергияи нейтронро муайян кунем.

Аҳамияти калонро интихоби модае соҳиб аст, ки дар ядрои он нейтрон пароканиш мешавад. Равшан аст, ки бо мақсади бисёртар истифодабарии унсурҳои сабук, тавре аз таносубҳои (6.1.1) ва (6.1.2) дида мешавад, чи қадаре, ки A ба як наздик шавад, ҳамон қадар ядрои қафорафта дорои энергияи калон аст; ғайр аз ин, дар унсурҳои сабук арзи пароканиш аз энергияи нейтронҳо дорои вобастагии оддӣ мебошад, ки шарҳ додани натиҷаҳоро осон мекунад.

Аксар вақт ба сифати маводи корӣ ҳидрогенро истифода мебаранд, баъзан аз модаҳои дигар (дейтерий, гелий) низ истифода мебаранд.

Дар мавриди истифодабарии ҳидроген $a \approx 1$ аст, бинобар ин таносуби дар боло овардашуда намуди оддиро мегирад. Аз ҷумла, энергияи калонтарини протонҳои қафорафта ба энергияи калонтарини нейтронҳо баробар мешавад.

Ғайр аз ин, вобастагии асосии арзи пароканиш аз энергия ва тақсимоти кунҷи пароканиши нейтронҳо дар системаи маркази инерсионӣ барои истифодаи асбобҳои спектрометрӣ ҳидрогенро ба модаи хеле қулай меовард. Ба сифати маводи кори мумкин аст бевосита камераи Вилсон, қайдгиракҳои мутаносибӣ ва камерахои

ионизатсияро аз ҳидроген пур кунем. Ҳичунин модаҳои вазнинро низ истифода мебаранд, ки дар таркибашон ҳидроген мавҷуд аст ба монанди: лавҳаи нафис аз полиэтилен барои радиаторҳо, синтиллаторҳои органикӣ ва ғайраҳо.

Ҳамаи усулҳои ченкунӣ дар асоси ба қайдгирии ядрои қафорафта гузаронида мешавад.

Усулҳои ченкунӣ, ки асоси онҳо қайдгирии ядрои қафорафта мебошад, ба ду гурӯҳ тақсим мешаванд: дифференсиалӣ ва интегралӣ.

6.2. УСУЛИ ЧЕНКУНИИ ДИФФЕРЕНСИАЛӢ

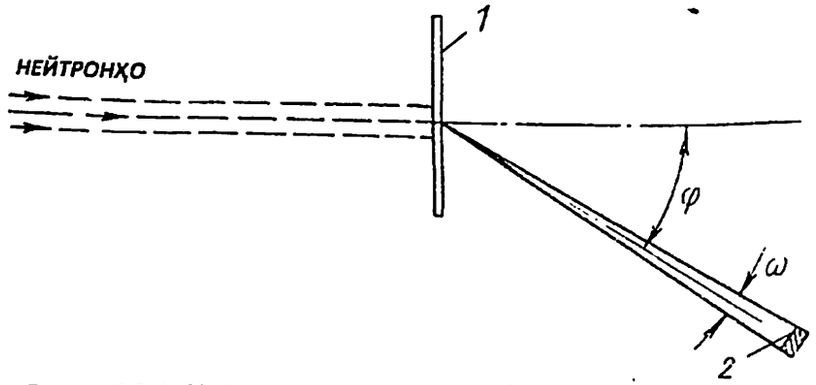
Агар равиши ҳаракати нейтронҳо маълум бошад, дар ин маврид, асбоберо истифода мебаранд, ки на танҳо ба муайян кардани энергия ҳичунин равиши парвози ядрои қафорафта имконият диҳад (мисол фотолавҳа ё ин ки камераи Вилсон дар дастаи нейтронҳо), он гоҳ ягона бузургии номаълум дар мутаносибӣ (6.1.1) энергияи нейтронҳо E мемонад, ки онро бо осонӣ ёфтан мумкин аст. Бояд қайд кард, ки дар шароити нишондодаи таҷриба энергияи нейтронро барои ҳар як рӯйдоди мушоҳидашудаи пайдоиши ядрои қафорафта алоҳида муайян мекунанд.

Ин усули ченкунӣ дар қабати нафиси радиатор дорои геометрияи "хуб" мебошад, илова бар ин, дар қайдгирак ядрои қафорафта дар зери кунҷи ҷисмии хеле хурди ω меафтад (расми 6.2.1).

Дар ҷенаки хурди радиатор ва қайдгирак нисбати масофаи байни кунҷи φ-ро сабтшуда ҳисобидан мумкин аст. Агар дар ин маврид ба радиатор дастаи нейтронҳои якранг афтанд, он гоҳ ба қайдгирак ядроҳои қафорафтаи як энергия меафтанд, ки имконият медиҳад E-ро бо таносуби (6.1.1) муайян кунем. Агар дастаи нейтронҳо ғайриякранг бошанд, он гоҳ тақсимшавии энергиявии ядрои қафорафтаи $W(E_A)$-и ба қайдгирак афтандаро чен карда, спектри нейтронҳои ба радиатор афтандаро ёфтан мумкин аст:

$$\Phi(E) = KW(aEcos^2\varphi)\sigma_\varphi(E). \qquad (6.2.1.)$$

дар инчо K-зариби меъёрбандӣ аст. Ҳамин тавр, гузариш аз спектри ядрои қафорафтаи мушоҳидашуда ба спектри нейтронҳо дар мавриди додашуда аз меъёрбандии ҷадвали энергия (E_A –ро ба $aEcos^2\ \varphi$ иваз мекунем) огоз мекунем ва вобастагии арзи параканиш дар зери кунҷи φ аз энергияи нейтронҳо E-ро ичро мекунем.

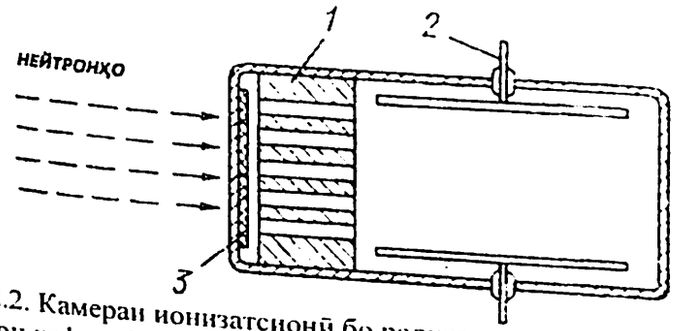


Расми 6.2.1. Қайдгирии ядрои қафорафта дар ҳудуди кунҷӣ хурди ҷисмӣ: 1-радиатор; 2-кайдгирак.

Истифодаи асбобҳое, ки дар расми 6.2.1 тасвир шудаанд, хеле қулай аст. Аз ин гуна асбобҳо ахборот новобаста дар раванди таҷриба ба намуди импулсҳои электрикӣ ворид мешавад, ки онҳоро метавонем бо ёрии реҷаҳои электронӣ мувофиқ коркард кунем. Барои ҷудо кардани протонҳо аз дигар зарраҳои заряднок (масалан, ядрои қафорафтаи карбон) аксар вақт ба ҷои қайдгирак системаеро, ки аз ду ҳисобгираки пайдарпай ҷойгиршуда – телескоп иборат аст, истифода мебаранд.

Намуди дигари ин усули ченкунӣ камераи ионизатсия бо радиатори сахт ва коллиматори протонҳои қафорафта мебошад (расми 6.2.2). Агар тири коллиматор ба равиши дастаи нейтронҳо мувофиқат кунад, он гоҳ дар ҳаҷми кории камера танҳо протонҳо меафтанд, ки дар натиҷаи бархӯрди рӯ ба рӯ ҳосил мешаванд, бинобар ин шарҳ додани натиҷаҳои таҷрибавӣ хеле осон мешавад.

Камбудии умумии ингуна дастгоҳҳо дар он аст, ки аз сабаби ғафсии хурди радиаторҳо ва хурдтарин кунҷи ҷисмонӣ самаранокии асбоб ба коркарди усули нави электронии коллиматор оварда мерасонад.

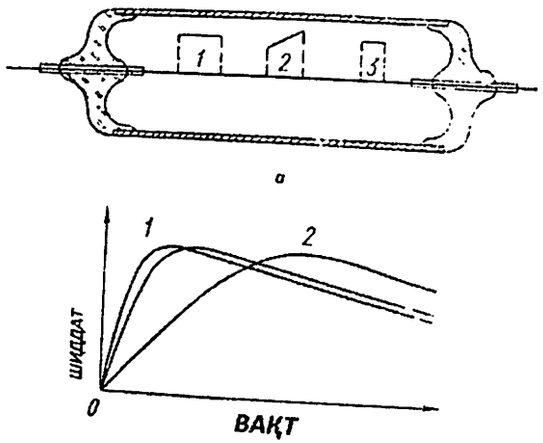


Расми 6.2.2. Камераи ионизатсионӣ бо радиатори сахт ва коллиматори ядрои қафорафта: 1-коллиматор; 2-электродҳо; 3-радиатор.

Чи тавре маълум аст, қисми асосии импулсҳои электронӣ дар ҳисобкунакҳои газии силиндрикӣ ҳангоми гузариши электронҳои якумин аз байн бевосита наздик шудан ба электроди марказӣ ҳосил мешавад. Бинобар ин, агар аз ин электрод дуртар аз гази ҳисобгирак зарраҳои заряддори энергияшон якхела пайдо шаванд, аммо самтгирии давашон гуногун бошад, он гоҳ импулсҳои электрикии онҳо дорои амплитудаи якхела мебошанд. (расми 6.2.3). Бо вуҷуди ин, агар дав ба тири ҳисобкунак 1 параллел бошад, ҳамаи электронҳо роҳи якхеларо тай мекунанд ва ба электроди ҷамъкунанда якбора меафтанд, он гоҳ дар ҳама ҳолатҳои дигар 2 электронҳо якбора намеоянд, дар натиҷа маълум мешавад, ки ҷабҳаи пеши импулси электрикӣ кашида шудааст. Бинобар ин, агар дар реҷаи электронӣ элементе дохил кунем, ки танҳо импулсҳои ҷабҳаи кӯтоҳи пешро гузаронад, он гоҳ ин гуна реҷа танҳо чунин ҳолатеро интихоб мекунад, ки дави протонҳо ба тири ҳисобкунак параллел бошад.

Дар ҳақиқат кор хеле мушкилтар мебошад. Агар дав ба тири ҳисобкунак кунҷи калонтаринро ташкил кунад, аммо дар ҳамворие ҷойгир бошад, ки ба диаметри ҳамвории ҳисобкунаки 3 перпендикуляр аст, он гоҳ дарозии роҳи электронҳо ба дараҷаи хурдарин фарқ мекунад ва инчунин ҷабҳаи пеши импулс аз ин дав хеле кӯтоҳ мешавад. Ғайр аз ин, давомияти ҷабҳаи пеш на танҳо аз

самтгирии дав, балки аз дарозии он низ, яъне аз энергияи ядрои кафорафта ва инчунин аз энергияи нейтроне, ки дар ядро пароканиш мешавад, вобаста мебошад. Аз сабаби тафриқаи энергиявии асбоб на он қадар калон будан, ин усул татбиқи васеъ пайдо накард. Дар охир боз як усули дигар дифференсиалии ченкуниро бояд қайд кард. Агар дар дастаи нейтронҳо ҳисобгираки синтиллатсионӣ бо синтилатори органикӣ ва берун аз даста дигар ҳамин хел ҳисобкунакро ҷойгир кунем, он гоҳ дар ҳарду ҳисобгирак нисбат ба вақт мувофиқоии импулсҳо ба вуҷуд меояд. Ин маънои онро дорад, ки нейтрон дар ҳисобгираки якум дар зери кунҷи ϑ пароканиш мешавад ва кунҷи байни тири дастаи нейтронҳо ба хатҳое баробар мегардад, ки маркази ин ду ҳисобгиракҳоро ба ҳам пайваст мекунад. Азбаски ҳангоми пароканиши нейтронҳо ба протонҳо дар зери кунҷи θ ва φ бо таносуби маълум алоқаманд мебошанд, пас $\theta + \varphi$ ченкунии тақсимшавии амплитудаи импулсҳо дар ҳисобгиракӣ якум ба импулси ҳисобгираки дуюм мувофиқат мекунад ва ин имконият медиҳад, тавассути таносуби дар боло овардашуда спектри нейтронҳоро ҳосил кунем.



Расми 6.2.3.Тафсири раванди колиматсияи электронҳо: *а*–самтгирии гуногуни дави ядрои кафорафта дар ҳисобгирак (дави 3 дар зери кунҷи ҳамвории расм ҷойгир аст); б–ҷабҳаи импулси шиддат дар электроди ҷамъкунандаи ҳисобгирак барои давҳои 1, 2 ва 3.

Новобаста аз он, ки дар ин усул барои ҳосил кардани тафриқаи хуб, роҳҳои гуногун истифода мешавад, дар зери кунҷи ҷисмӣ ҳисобгираки дуюм нисбати якум хеле кам " дида" мешавад. Самаранокии умумии асбоб аз ҳисоби нисбат ба лавҳаи нафиси он массаи калон доштани кристалл, хеле калонтар мебошад.

6.3.УСУЛИ ЧЕНКУНИИ ИНТЕГРАЛӢ

Агар равиши ҳаракати зарра маълум бошад (фотолавҳа дар инъикоси реактор ҳангоми нейтронҳон сареъ) ё ин ки асбобе истифода шавад, ки на равиши ҳаракати ядрои кафорафтаро (камераи ионизатсионии оддӣ ё ҳисобкунаки синтиллатсионӣ), танҳо имконияти муайян кардани энергияро диҳад, он гоҳ барои ҳар як рӯйдоди алоҳидаи пайдоиши ядрои кафорафта энергияи нейтрони онро муайян кардан имконпазир аст. Бо вуҷуди ин, дар ин ҳолат дар бораи спектри энергиявии нейтронҳо аз тақсимшавии энергиявии ядрои кафорафта, ки мо чен мекунем, маълумоти пурра гирифтан мумкин аст.

Равшан аст, ки кунҷи ψ дар таносуби (6.1.1) дар ҳудуди 0 (заниши рӯбарӯ) то 90^0 мумкин тағйир ёбад; дар ин маврид кунҷ на бояд калон бошад, барои он, ки ядрои кафорафта имкони ба ҳолати кафо ҷаҳиданро надорад. Дар ин маврид энергияи ядрои кафорафта дар ҳудуди қимати калонтарини ҳудудаш $E_A \geq aE$ то сифр тағйир меёбад. Аз инҷо фаҳмост, ки муайян кардани энергияи калонтарини ядрои кафорафта имкон медиҳад энергияи калонтарини нейтронро дар дастаи тадқиқотӣ муайян кунем. Аз тарафи дигар, аз вобастагии якқиматии E_A ва кунҷи пароканиш эҳтимолияти ядрои кафорафта бо гирифтани энергияи E_A ба эҳтимолияти нисбии пароканиши нейтрон дар зери кунҷи ψ ба системаи маркази инерсия алоқаманд аст, ки он аз таносуби зерин равшан аст:

$$W(E_A)dE_A = \sigma(\psi)2\pi sin\psi d\psi/\sigma \qquad (6.3.1)$$

дар инҷо $\sigma(\psi)$ –арзи дифференсиалии пароканиши нейтрон дар зери кунҷи ψ дар системаи марказии инерсия; σ-арзи пурраи пароканиш. Таносубро истифода бурда, ҳосил мекунем:

$$\frac{Sin\psi}{2} = cos\psi. \qquad (6.3.2)$$

Аз формулаҳои (6.1.1.) ва (6.3.1.) ҳосил мекунем:

$$W(E_A)dE_A = 4\pi[\sigma(\varphi)/\sigma]dE_A/(\alpha E). \qquad (6.3.3)$$

Агар пароканиши нейтрон адр системаи маркази инерсия изотропӣ бошад, он гоҳ $\sigma(\varphi)/\sigma$=1/4π ва

$$W(E_A) = \frac{1}{(\alpha E)}. \qquad (6.3.4)$$

ва бузургӣ аз E_A вобастагӣ надорад. Ҳамин тавр, ҳангоми пароканиши нейтрон бо энергия E, ядрои қафорафта метавонад бо эҳтимолияти баробар энергияи дилхоҳро дар ҳудуди аз 0 то (αE) қабул кунад, бинобар ин ҳангоми қайдгиракро бо нейтронҳои якрангаи энергияшон E нурборон кардан, спектри энергиявии ядрои қафорафта намуди зинаи росткунҷаро мегирад.

Агар қайдгирак бо нейтронҳои ғайриякранг нурбориш шаванд, спектри энергиявиашон бо функсияи Ф (E) навишта мешавад, он гоҳ пайдоиши ядрои қафорафтаро бо энергияи E_A мумкин аст бо пароканиши нейтрони энергияи дилхоҳ аз $E_A/\ \alpha$ сар карда, ба болотар алоқаманд кунем. Ҳамин тавр, эҳтимолияти пайдоиши ядрои қафорафта бо энергияи E_A-ро дар ҳолати додашуда аз интеграл муайян мекунанд:

$$W(E_A) = const \int_{E_A}^{\infty} \sigma(E)\ \Phi\,(E)dE/E \qquad (6.3.5)$$

(Дар системаи марказии инерсионӣ пароканиш изотропӣ ҳисобида мешавад). Дифференсиал гирифта, дар таҷриба тақсимшавии энергиявӣ W (E_A)-ро ҳосил мекунем, ки имконият медиҳад, спектри энергиявӣ нейтронҳоро баркарор кунем:

$$\Phi(E) = const\frac{E}{\sigma(E)}\frac{dW}{dE_A}|E_A = aE \qquad (6.3.6)$$

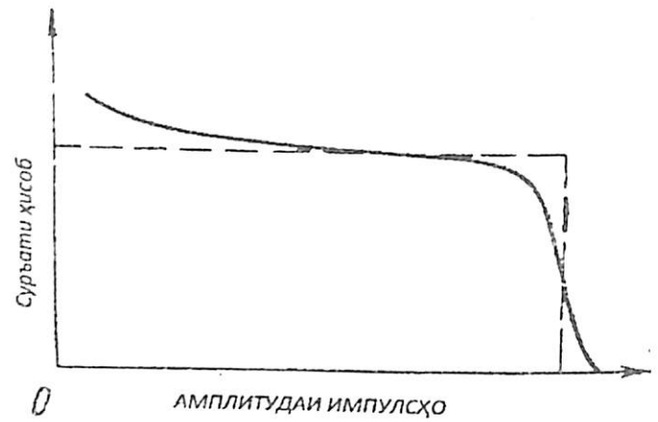
Тақсимшавии энергиявии протонҳои қафорафтаро айнан бо воситаи камераҳои ионизатсионӣ, ки ҳидроген пур карда шудааст ва ҳисобкунакҳои синтиллатсионӣ бо кристалли органикӣ чен мекунанд. Аз байни инҳо якумаш ҳангоми кор бо нейтронҳое, ки энергияшон на он қадар калон (1-2 МэВ), буда, дави протонҳои

қафорафта дар газ на он қадар дароз аст, зиёдтар истифода мешавад. Ба таври дигар, спектри ченшуда аз ҳисоби таъсири девори хеле пурқувват вайрон мешавад. Барои кам кардани таъсири девори камераҳои ионизатсионӣ ва қайдгиракҳо, ҳидрогенро бо ягон омехтаи боздоштии пурқуввати газ (мисол, ксеон ё ин ки газол) пур мекунанд. Пайвастагии химиявии ҳидроген бо элементҳои вазнинтар (яке аз ин газҳо метан CH_4) мушкилтар аст. Бо ин мақсад ҳаракат мекунанд, ки қайдгиракро дар зери фишори баланд бо газпур кунанд, ин якбора имкон медиҳад самараноки асбобро баланд бардорем. Бо вуҷуди ин, дар натиҷаи якҷоя ба амал омадани таъсири деворӣ бо баъзе дигар таъсирҳо, ки дида баромадем, тақсимшавии амплитудаи импулсҳо ҳангоми нурборнши қайдгирак бо нейтронҳои якранг маълум шуд, ки имконияти пайдоиши зинаи росткунҷа хеле кам аст, бинобар он истифодабарии ин усулро маҳдуд мекунанд (расми 6.3.1).

Ҳудуди поёни ченкунии энергияи нейтронҳо бо ёрии камераи ионизатсионӣ бо ғалоғулаи реҷаи радиотехникӣ ва фони импулсҳои гамма-афканишот тахминан бо энергияи 0.1-0.2 МэВ маҳдуд мешавад. Бо вуҷуди ин, ба наздикӣ қайдгираки нави гидрогени мутаносибии сохтори махсус (қайдгираки Беннет) коркард шуд, ки имкон медиҳад ин ҳудудро хеле паст кунем. Бартарии асосии ин қайдгирак дар он аст, ки дар он лӯлаи қароулии нафис истифода мешавад. Чи қадаре, ки лӯла нафис бошад, ҳамон қадар вайроншавии майдони электрикӣ дар назди охирҳои он кам аст.

Ба сифати лӯлаи дохилшаванда дар яке аз қайдгиракҳои якумини ин намуд, сӯзанро бо диаметри 0.3 мм истифода бурданд, он гоҳ ҳамчун риштаи қайдгирак риштаи пӯлоди диаметраш 0.025 мм, ки қатъиян аз тири лӯла мегузарад, хизмат мекунад.

Ин гуна сохтори қайдгирак имкон медиҳад, ки ҳангоми то 10^5 будани зариби тақвияти газӣ кор кунем, ин қайдгирии импулсҳои протонҳоро то энергияи наздик ба 1 кэВ ҳангоми тафриқаи энергиявӣ тахмин 60% будан (дар соҳаи энергияи хеле калонтар, тафриқаи Беннет хеле ҳам хубтар - наздик ба 10%)-ро таъмин мекунад. Барои пахши импулсҳои гамма- квантҳо маҳдудкунакро вобаста аз шакли импулсҳо истифода мебаранд.



Расми 6.3.1. Тақсимшавии адади импулсҳо вобаста ба амплитуда, ки бо камераи ионизатсионии бо ҳидроген пуркардашуда, ҳангоми нурбориш бо нейтронҳои сареъи якранг (хатча-хатча тақсимшавии ҳақиқӣ) чен шудааст.

Қайдгиракҳои синтиллатсионӣ бо кристалли органикӣ аз қайдгиракҳои тахлияи газӣ бо самаранокии калонашон фарқ мекунанд ва вобаста ба ин қобилияти калони боздошти мода, яъне таъсири девори пурра амалан вуҷуд надорад. Ин махсусан хусусияти қайдгиракҳои синтиллетсионниро барои ченкуни спектри нейтронҳои энергияшон хеле калон пешакӣ муайян мекунад: аз якчанд садҳо кило электрон волт то 10-20 МэВ онро васеъ истифода мебаранд. Бо вуҷуди ин, дар қайдгиракҳои синтиллатсионӣ таъсироти дигаре низ мавҷуд аст, ки тақсимшавии амплитудаи импулсҳои протонҳои қафорафтаро вайрон мекунанд. Дар натиҷа падидаи хати қаҷи ин гуна тақсимшавӣ, новобаста ба дохил кардани якчанд ислоҳот, аз зинаи росткунҷа хеле ҳам дуртар буда (расми 6.3.2), барои нейтронҳои монохроматӣ кашидашуда мебошад. Дифференсалгирии ин хати каҷ бо якҷоягии δ-функсия қуллаи васеъи охиринро медиҳад, ки он тафриқаи энергиявии усулро муайян мекунад.

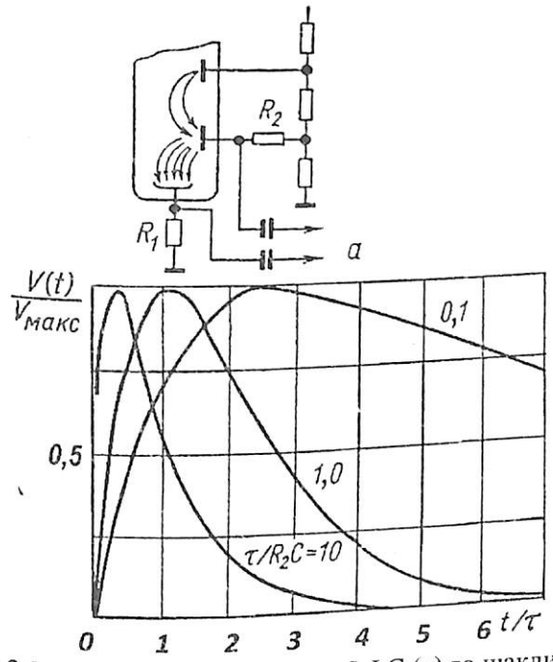
Барои кристалли стилбении ченакаш наздик ба 2см ва нейтронҳои энергияшон аз 1 то 15 МэВ, тафриқаи энергиявии ҳақиқӣ бо ёрии формулаи зерин баҳо дода мешавад.

$$\eta = 12/\sqrt{E},\%$$

дар инҷо Е энергияи нейтронҳо бо МэВ. Бояд қайд кард, ки бо афзоиши ченаки кристаллҳо, тафриқаи энергиявии спектрометри синтиллатсионӣ бад мешавад.

Ченкунии спектри нейтронҳо аксар вақт бо иштироки фони гамма-афканишот мегузарад, ҳиссиёти калони қайдгиракҳои синтиллатсионӣ нисбат ба гамма-квантҳо дар ин мавридҳо пеши роҳи гамма-фони баландро гирифта, самаранокии баланди нейтронҳоро аз шаклашон маҳдуд мекунанд. Бо вуҷуди ин, маҳдудкунии нисбии адади импулсҳо дар қисми даромади реҷа аз интихоби зинаи маҳдудкунак вобастагии калон дорад. Барои намоиш додан рақамҳои мувофиқомадаи яке аз реҷаҳоро меоварем:

Зинаи энергетикии МэВ:	0.3	0.5	1.5
Дарҷаи маҳдудкунӣ:	2×10^{-2}	10^{-2}	2×10^{-6}



Расми 6.3.2. Реҷаи пайваст кардани ФФС (а) ва шакли импулси қайдгираки синтиллатсионӣ ҳангоми нисбатҳои гуногуни $\frac{\tau}{R_2C}$ (б)

Дар ин ҳолат сарфи импулси нейтронҳо бо афзоиши зина меафзояд, аммо ҳангоми $E_{зин} = 1{,}5$ МэВ онҳо ҳамагӣ ба 20% мувофиқат мекунанд. Агар спектри нейтронҳои сареъ чен карда шавад, бе ягон сарфакорӣ мумкин аст зинаи хеле баланд барқарор шавад ва дараҷаи маҳдудияте, ки ҳосил мекунем 2×10^{-2} имконият медиҳад вақте, ки гамма-квантҳо 10^5 маротиба калонтар аз нейтронҳо бошад, бо ин гуна дастгоҳҳо ченкуниро гузаронем. Адади импулсҳои бақайдгирифташуда наздик ба 26%-и импулсҳо аз гамма-квантҳо ва ин таъсиротро ҳама вақт ба назар гирифтан мумкин. Бо вуҷуди ин, пурборсозии калон дар даромади речаи электронии импулсҳо аз гамма-квантҳо ин маҳдудиятро дар суръати ҳисобӣ умумӣ нигаҳ медорад. Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки дар аксарияти речаҳои паҳншуда канали идоракунанда ҳангоми ба он дохил шудани зиёда аз $(1-4) \times 10^4$ имп./сон кор карданро бас мекунад. Ҳамин тавр, агар ченкунӣ дар майдоне гузаронида шавад, ки дар як нейтрон 10^4 гамма-квант мувофиқат кунад, он гоҳ суръати максималии нейтронҳо аз $1 \div 4$ имп./сон. зиёд шуда наметавонад, яъне ҳангоми ченкунӣ бо таҳлилкунандаи 100-каналаи амплитудаи импулсҳо, суръати миёнаи ҳисоб дар як канал ба $0.01 \div 0.04$ имп./сон баробар аст. Бо вуҷуде, ки дар ин шароит маҷмӯи миқдори импулсҳо барои ҳосил кардани натиҷаи аниқ хеле кофӣ бошад. Ченкунии спектрро бояд дар муддати соатҳои бисёр ва мумкин аст шабу рӯзонае, ки ба устувории қайдгирак ва асбобҳо талаботи хеле зиёдро талаб мекунад, гузаронида шавад. Дар баъзе ҳолатҳо истифодабарии полоиш аз сурб ё ки висмут хеле фоидаовар аст. Ин гуна полоишҳо умуман спектри нейтронҳоро (дар энергияи хурд аз зина ҳангоми заниши ғайриэластикӣ нейтронҳо) вайрон намекунад ва интенсивияти дастаи нейтронҳоро ниҳоят кам мекунад, аммо интенсивияти гамма-афканишотро хеле зиёд мекунад.

На он қадар баланд будани тафриқаи энергиявии протонҳои қафорафта ба он оварда мерасонад, ки ин усулро асосан барои чен кардани спектри бефосила ва ҳамвори нейтронҳо, мисол спектри нейтронҳо аз минтақаи фаъоли инъикоскунанда ва ҳифзи рактарҳои сареъ истифода мебаранд, хусусан дар ҳолатҳои алоҳида, ки спектри мураккаби нейтронҳоро чен кунем, мисол

спектри манбаҳои гуногуни нейтронҳо ба монанди Ra+ B; P_0 + Be ва ғайра.

Зарурати дифференсиронидани спектрҳои протонҳои қафорафта маҷбур мекунад, ки тақрибаро бо хатогии омории хурд гузаронем. Агар аз спектри нейтронҳо пешакӣ ягон чиз маълум набошад ва тафриқаи энергиявии қайдгираки ядрои қафорафта аз васеъгии канали таҳлилкунаки амплитудӣ кам бошад, ҳангоми бонавбат тарҳ кардани миқдори импулсҳои ҳар як канали таҳлилкунак, ки ҳар ду канали ҳамсоя ба қайд гирифтааст, бо роҳи дифференсиронӣ бояд иҷро кунем:

$$(dw/dE_A)_i = (N_{i+1} - N_i)/\Delta w, \qquad (6.3.7)$$

дар инҷо Δw- васеъгии як канали таҳлилкунак; агар адади N_{i+1}ва N_i бо қимати миёна 4% фарқ кунад ва талаб карда шавад, ки бузургӣ dw/dE_A-ро бо хатогии 10% чен кунем, он гоҳ хатогии ченкунии ҳар як адад N_R бояд (0.04/2)×0.1=0.002(0.2%) дар маҷмӯъ кариби 250 000 импулсҳо дар ҳар як канал талаб мекунад. Агар пешакӣ маълум бошад, ки спектри нейтронҳои омӯхташаванда хусусияти возеҳӣ ё фурӯрафтаи қулларо дошта бошад, аммо васеъгии хати спектри қайдгирак якчанд канали таҳлилкунакро иҳота мекунад. Он гоҳ асос ба интизорӣ нест, ки ба тарзи қатъӣ тағйирёбии ҳисоб на танҳо аз канал ба канал, балки дар ҳудуди якчанд каналҳои ҳамсоя мегузарад. Дар ин маврид ҳангоми дифференсиронидани спектри протонҳои қафорафта, интизор шудан мумкин аст, ки нишондоди каналҳои ҳамсояи таҳлилкунак ба таври қатъӣ талаботро нисбати хатогии омории тақриба паст мекунад. Якчанд усулҳои ислоҳ кардан маълум аст. Масалан, ҳосилаи ҳар яки i-уми канали таҳлилкунакро ҳамчун ҳосилаи парабола ёфтан мумкин аст, ки бо усули квадрати хурдтарин аз байни панҷ нуқтаҳои ҳамсоя гузаронида мешавад.

$$N_{i-2}, N_{i-1}, N_i, N_{i+2}, N_{i+1} \left(\frac{dw}{dE_A}\right)_i = \\ = (2N_{i-2} - N_{i-1} + N_{i+2} + N_{i+1} + \cdots \pm)/10\Delta w, \qquad (6.3.8)$$

Агар ҳисоб кунем, ки хатогӣ дар адади импулсҳое, ки ҳар як канали таҳлилкунак ба қайд гирифта аст, пурра ба оморӣ мегузарад:

$$\Delta N_i = \sqrt{N_i},$$

ки хатогии миёнаи квадратиро аз таносуби зерин меёбем:

$$\Delta\left(\frac{\Delta W}{dE_A}\right)_i = \frac{1}{10\,W}\sqrt{+N_{i-2} + N_{i-1} + N_{i-1} + N_{i-2}}. \quad (6.3.9)$$

Барои баҳо додани хатогӣ аз шарти дар боло овардашуда, масалан дар наздикшавии якум мумкин ҳисобида шавад, ки ҳамаи

$$N_H = N_i, \text{ он гоҳ } 1/0.04\sqrt{\frac{10}{N_i}} = 0.1,$$

$$\Delta\left(\frac{dW}{dE_A}\right) = \sqrt{E_i}/\Delta W, \text{ азбаски}$$

$$\frac{dW}{dE_A} \approx 0{,}04\,\frac{N_i}{\Delta W}, \text{ ва мо мехоҳем, ки } \Delta\left(\frac{\Delta W}{dE_A}\right) = 0{,}1,$$

чи тавр меёбем, ва мо мехоҳем, ки $(dw/dE_A)/\left(\frac{dw}{dE_A}\right) = 0.1,$

Аз инҷо талаби адади ҳисоб дар ҳар як канали таҳлилкунак ҳамагӣ ба 6250 баробар аст, ки ин 40 маротиба камтар нисбати таълоботи ҳамвор кардан мебошад.

6.4. ИСТИФОДАБАРИИ РЕАКСИЯИ ЯДРОЙ БАРОИ СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲО

6.4.1. Речаи умумии усул

Реаксияи экзотермӣ бо парвози заррахои заряднок барои муайян кардани энергияи нейтронҳо аз энергияи заррахои дуюмин истифода бурда мешавад.

Агар реаксияи A(n,b)B дар зери таъсири нейтронҳои сустҳаракат гузарад, энергияи умумии маҳсули реаксия (заррахои b ва ядрои B) ба энергия реаксия Q баробар аст. Азбаски дар камераи гази ионизатсионӣ ва қайдгиракҳои мутаносибӣ миқдори ҷуфти ионҳои ҳосилшударо аз энергияи суммавӣ ҷудошуда муайян мекунанд, онгоҳ амплитудаи сигнал ба Q мутаносиб мебошад. Агар реаксияи A(n,b)B дар зери таъсири нейтронҳои сареъ гузарад, он гоҳ энергияи охирони E ба Q илова мешавад, дар натича ионизатсияи суммавӣ ва амплитудаи сигнал ба Q+E мутаносиб аст.

Ҳамин тавр, фарқи амплитудаи сигналҳо аз реаксия, ки нейтронҳои сареъ ва сустҳаракатро ба вуҷуд меоранд, имкон медиҳад гузаронидани ченкунии спектрометриро, ки ба энергияи охирон мутаносиб аст омӯзем.. Дар ин маврид бояд қайд кард, ки фарқият аз усули ядрои қафорафта дар усули додашудаи амплитудаи сигналҳо аз нейтронҳо бо қиматҳои якхелаи энергия дар натича натичаҳои дар рафти таҷриба ҳосилшуда бо осонӣ шарҳ дода мешавад.

6.4.2. Интихоби модаҳои корӣ

Барои спектрометрҳои навъи баёншуда модаи кориро дар асоси чунин шартҳо интихоб мекунанд:

1) дар ядрои модаи интихобшуда бояд танҳо як реаксияи экзотермӣ бо парвози заррахои заряднок гузарад, барои он ки дар баръакси ҳол амплитудаи спектри импулсҳо хеле мушкил мешавад;

2) арзи реаксия бояд дар фосилаи васеъи энергияи нейтронҳо аз нейтронҳои хеле суст сар карда, то охирин нейтронҳое, ки энергияшон тартиби якчанд МэВ мебошанд, хеле калон бошад. Равшан аст, ки шарти аз ҳама беҳтар дар соҳаи ядроҳои сабук иҷро мешавад, барои он ки дар ядроҳои вазнин чоҳи энергияи кулонӣ калон аст, бинобарон парвози заррахои заяднок мушкил аст, пас маълум мешавад, ки эҳтимолияти реаксияи навъи баррасикардаамон нисбатан иҷронашаванда мебошад;

3) вобастагии арзи реаксия аз энергияи нейтронҳо бояд ниҳоят оддӣ бошад, бе ягон қулла ё пастӣ, дар ҳолати баръакс, натичаҳои гирифтаро фаҳмонидан мушкил аст;

4) энергияи реаксия Q на бояд хеле калон бошад, барои он ки дар энергияи хурд тафрикаи энергиявӣ хеле калонро ба осонӣ гирифтан мумкин аст. Дар ҳақиқат, нисбати амплитудаи сигналҳо аз нейтронҳои энергияшан E_1 ва E_2 баробари $(Q+E_1)/(Q+E_2)$ аст. Ҳангоми $Q\to\infty$ будан, ин ифода ба як наздик мешавад, яъне сигнал аз нейтронҳои энергияшон гуногун аз ҳамдигар фарқнакунанда мешаванд, он гоҳ ҳангоми $Q\to 0$ шудан, ифодаи сигналҳо ба қимати зиёдтаринашон ба E_1/E_2 наздик мешавад. Инчунин, реаксияи эндотермикиро истифода бурдан мумкин аст, дар ин маврид, табиатан маълум аст, ки чен кардани спектри нейтронҳо танҳо дар

соҳаи энергияи $E \geq E_{зина}$ имконпазир мебошад. Бинобар ин, агар хоҳем, ки спектри нейтронҳоро чен кунем, пас аз энергияи хурд сар карда, бояд реаксияи экзотермиро бо на қимати он қадар калони Q истифода барем. Дар ҳақиқат, дар қимати хеле хурди Q сигналҳо аз нейтронҳои сустҳаракат чунон хурданд, ки онҳоро ба қайд гирифтан хеле мушкил аст. Аз ҳама беҳтар ин аст, ки энергия Q бояд дар тартиби 0.1-1 МэВ бошад. Ҳангоми Q=5 МэВ будан, ин фарқият ҳамагӣ баробари 2% мешавад.

хусусияти кимёвӣ ва технологии модаи корӣ имкон медиҳад қайдгиракеро тайёр кунем, ки энергияи ҳарду зарра - маҳсули реаксияҳоро бо тафриқаи энергиявӣ ва самаранокии калон чен кунад ва онро ба гази камераи ионизатсионӣ ё ки ба қайдгирак ё ба таркиби кристалли синтилатсионӣ дохил кардан беҳтар аст.

Истифодабарии қабати мода дар деворҳои камера инчунин, қайдгирак, хатои ҷоиз он қадар дуруст нест, барои он ки сарфи энергияи ионизатсионӣ дар қабат ҳама вақт ба бадшавии тафриқаи энергиявии ин усул меоварад.

Чи гавре равшан аст, ҳамаи ин талаботҳоро бисёр адади модаҳои органикӣ қаноат мекунанд. Хусусияти баъзеи онҳо дар ҷадвали 6.4.2.1. оварда шудааст. Бо мақсади истифодабарӣ дар спектрометри нейтронҳо ҳар яки модаҳоро ба таври алоҳида дида мебароем.

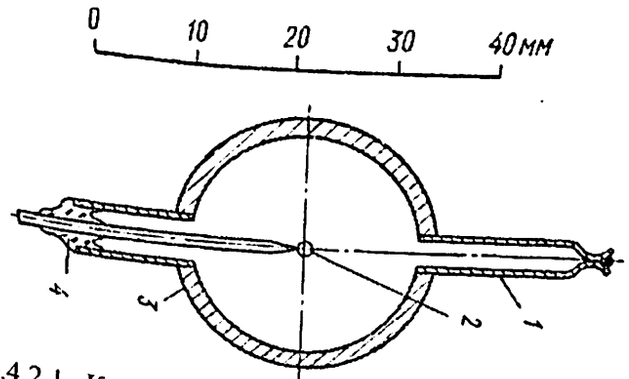
Ҷадвали 6.4.2.1

Реаксияи (n,p) (n,a), ки барои қайдгирии нейтронҳои сусҳаракат истифода мебаранд.

Реаксия	Таркиби изотопи истифодашаванда дар омехтаҳои табиӣ, %	Энергияи реаксия	Арзи реаксия барои нейтронҳои ҳароратӣ, барн.
$He^3(n,p)H^3$	0.000137	0.764	5327
$Li^6(n,a)H^3$	7.52	4.786	945
$B^{10}(n,a)Li^7$	10.61	2.790	3837
$N^{14}(n,p)C^{14}$	99.63	0.626	1.81
$Ne^{21}(a,a)O^{14}$	0.257	0.700	<90

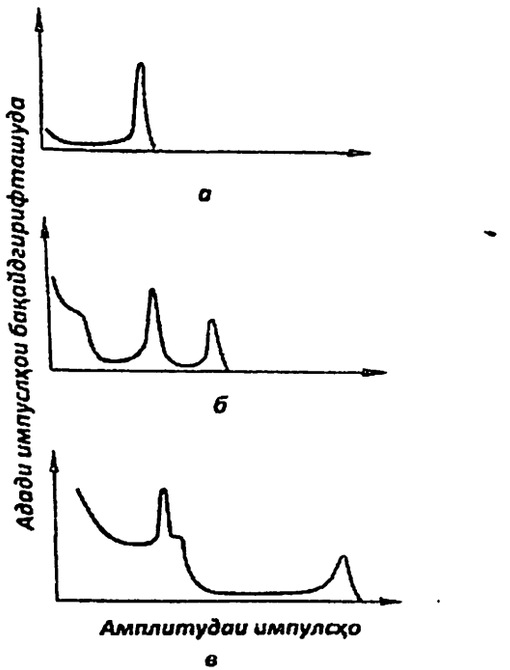
Гелий-3. Айнан He^3-ро дар камераҳои ионизатсионӣ ва қайдгиракҳо истифода мебаранд. Инчунин, дар қайдгиракҳои газии синтиллатсионӣ дар зери фишори баланд имконияти истифодабарӣ мавҷуд аст. Хосияти кимёвии He^3 монанди газҳои асил имкон медиҳад онро аз дигар омехтаҳои нодаркорӣ тоза кунем, ки сифати баланди қайдгиракҳои ионизатсиониро таъмин кунад ва дар васли электронӣ кор мекунад.

Аввалин бор He^3-ро дар қайдгиракҳои спектрометри силиндрикӣ ва мутаносибӣ истифода бурданд. Каме дертар камераҳои ионизатсионии доиравии хурдандоза коркард шуданд, ки сохтори онҳо дар расми 6.4.2.1 тасвир шудааст. Фарқияти қайдгиракҳои мутаносибӣ аз ин гуна камераҳо дар ҳиссиёти изотропӣ буда, онҳоро вобаста ба ченаки хурдашон дар таҷрибаҳои геометрияи доиравӣ ва ҳангоми ченкунии спектри нейтронҳо дар канали реакторҳои ядроӣ истифода кардан мумкин аст.



Расми 6.4.2.1. Камераи ионизатсионии хурдандозаи доиравӣ барои ченкунии спектри нейтронҳо тавассути реаксияи $He^3(n,p)$ Т.: 1-лӯла барои камераро пур кардан; 2-электроди ҷамъкунанда; 3-тана; 4-онкорд.

Спектри импулсҳое, ки дар камераи ионизатсионӣ ё ин ки қайдгиракҳои He^3 бо таъсири нейтронҳои суст (ҳароратӣ) пайдо мешаванд, дар расми 6.4.2.2.а нишон дода шудааст. Қисми асосии импулсҳо қуллаи амплитудаашон қариб якхеларо ҳосил мекунанд, ки ба тарафи чап "думи" импулс кашол меёбад, амплитудааш хурд ва пайдоиши он ба таъсири деворӣ алоқаманд аст.



Расми 6.4.2.2. Тақсимшавии импулсҳо аз амплитуда ҳангоми камераро бо нейтронҳои энергияшон гуногун нурборон кардан: а) нейтронҳои ҳароратӣ; б)$E_n = 100$кэВ; в) $E_n = 1 \div 2$МэВ

Васеъгии қуллаи асосиро таъсири илқой (индуксионӣ)-ро таъсири рекомбинатсияи ионҳо ва галоғулаи реҷаи радиотехникӣ, қуллаи охиронро инчунин ба возеҳан баландшавии хати кач дар назди тири ординат муайян мекунанд.

Ҳангоми камераро бо нейтронҳои энергияшон баланд нурборон кардан аз тарафи рости қулла аз ҳисоби нейтронҳои ҳароратӣ қуллаи дуюм пайдо мешавад (нигаред ба расми 6.4.2.2.б). Масофаи байни қуллаҳо, чи тавре ки дар боло қайд кардем, ба энергияи нейтронҳо E мутаносиб аст, он гоҳ қуллаи ҳароратӣ ба Q=0.744 МэВ мутаносиб аст. Ин имконият медиҳад, ки аз спектри импулсҳои мушоҳидашуда якбора энергияи нейтронҳоро муайян кунем. Ҳамин хел, агар қуллаи якум (бо назардошти зина) дар соҳаи 76-ум канали таҳлилкунаки амплитудӣ хобад, пас қуллаи дуюм - дар соҳаи 126-умини канал мехобад, он гоҳ тасдиқ кардан

мумкин аст, ки камера бо нейтронҳои энергияшон наздик ба 0.5 МэВ нурборон мешавад.

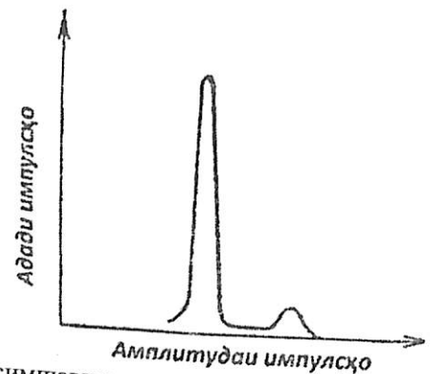
Дар тарафи чапи хати кач (дар расми 6.4.2.2.б) зинагоян васеъ дида мешавад, ки пайдошавии вай ба пароканиши чандирии нейтрон бо ядрои He^3 алоқаманд мебошад. Энергияи максималии ядрои қафорафтаро, ки ба бархӯрди рӯ ба рӯи нейтрон бо ядро мувофиқат мекунад, аз (6.1.1) ҳангоми cosφ=1 будан, муайян кардан мумкин аст. Аз чумла, барои ядрои He^3 $E_Д = 0.75E$. Ҳангоми E=1 МэВ будан, $E_Д < 0.75$ МэВ аст ва зина аз ядрои қафорафта ба тарафи чапи қуллаи импулсҳои реаксияи He^3 (n,p) H^3 мувофиқ меояд, ки онро ҳатто худи нейтронҳои суст ба вуҷуд меоранд. Агар E>1МэВ бошад, он гоҳ импулсҳо аз ядрои қафорафта ба тарафи рости нейтронҳои суст пайдо мешавад (нигаред ба расми 6.4.2.2.в), яъне дар он соҳаи амплитуда, ки имконияти пайдошавии импулсҳо аз реаксияи He^3 (n,p) H^3 дар нейтронҳои сареъ мавҷуд мебошад. Ба якдигар печидан ва тақсимшавии амплитудаи импулсҳо аз ядрои қафорафта аз реаксияи He^3 (n,p) H^3 барои шарҳ додани натиҷаҳои гирифташуда ба таври қатъи мушкилӣ меорад, бинобар ин спектрометрро бо He^3 истифода мебаранд, танҳо дар он ҳолатҳое, ки қисми асосии спектри нейтронҳои ченшуда дар соҳаи энергияи хурд аз 1МэВ мехобад.

Тафриқаи энергиявӣ ин усули ченкунии қуллаи васеъи спектрро муайян мекунад: ду гурӯҳи импулсҳоро бовринок ҷудо мекунанд, агар фарқи эҳтимолияти зиёди амплитудаи импулсҳо дар он,яъне $V_1 - V_2$, аз васеъи қуллаи спектр ба нисфи баланди зиёд шавад. Ҳангоми бақайдгирии нейтронҳои сустҳаракат дар камераи доиравӣ, азбаски V≈Q аст, нисбати ΔV/V қариб 8%-ро ташкил мекунад, он гоҳ парешонии амплитудаи импулсҳоро вобаста ба номуайянии ченкунии энергияи нейтронҳо 0.08≈60 кэВ гузоштан мумкин аст.

Литий-6. Ин изотопро барои қайдгирии нейтронҳо дар қайдгиракҳои синтиллатсионӣ бо кристалли $Li^6J(EU)$ васеъ истифода мебаранд, бо вуҷуди он барои ченкунии спектрометрӣ истифодабарии ин гуна қайдгиракҳо ба мақсад мувофиқ нест.

Дар ҳақиқат, қимати калони Q ва нисбатан тафрикаи хурди қайдгиракҳои синтиллатсионӣ имконият намедиҳад, ки бо боварӣ дар соҳаи энергияи хурд ченкунии хубӣ аниқтарро, нисбат ба хатогии ΔE≈0.5 МэВ бомуваффақият соҳиб шавем. Ба аниқии зиёд ҳисобидан мумкин аст, ки истифодабарии литий дар қайдгиракҳои нимноқилӣ бо диаметри на он қадар калони қайдгиракҳо ва ғаноиши литий дар Ge-Li-қайдгирикҳо ҳатман ба самаранокӣ хеле хурд меорад. Барои баланд бардоштани самаранокӣ пакетҳои ("сэндвичи") дар қайдгираки маҳини нимноқилӣ гузошташударо ба гузоштани қабати Li^6 истифода мебаранд. Аз сабаби хеле калонтар будани тафрикаи қайдгиракҳои нимноқилӣ, нисбати қайдгиракҳои синтиллатсионӣ, ченкунии спектри нейтронҳоро метавон дар энергияҳои хеле хурдтарин тартиби 5 кэВ гузаронид. Дар камераҳои ионизатсионӣ, ки газ пур карданд, қайдгиракҳои литийиро танҳо бо пӯшонидани сахт, ки он дар спектрометрҳо на чандон даркор аст, истифода кардан мумкин аст.

Бор-10. Дар камераҳои ионизатсионӣ ва қайдгиракҳо, ки онҳоро барои бақайдгирии нейтронҳо интихоб мекунанд, бор ҳамчун пӯшониши сахт ва инчунин, ба намуди пайвастагиҳои газмонанди BF_3 истифода шуда метавонад. Бо мақсади спектрометрӣ аз ҳама беҳтар варианти охирон аст, барои он ки дар он парешонии энергияи зарра аз ҳисоби боздошт дар қабати мода мавҷуд нест.



Расми 6.4.2.3. Тақсимшавии амплитудаи импулсҳо аз ҳисобгираки мутаносибии BF_3 ҳангоми нурбориши нейтронҳои сустҳаракат.

Нишон додан мумкин аст, ки истифодабарии BF_3, новобаста ба қимати калони Q, дар назди He^3 бартарӣ дорад, азбаски аз қимати калони A ва Q ҳалал аз ядрон кафорафта дар пароканиши чандирӣ бояд хеле кам ҷамъ шавад. Бо вуҷуди ин, гарчанде BF_3 барои қайдгирии оддии нейтронҳо васеъ истифода мешавад, дар ченкуниҳои спектрметрӣ онро истифода бурдан хеле мушкил аст. Дар реаксияи $B_7^{10}(n,a)Li^7$ ядрон охирон Li^7 метавонад дар ҳолати q пайдо шавад ва ба ҳолати ангезиши якум m гузарад. Дар ҳолати охирон қисми энергия (наздикӣ 0.48 МэВ) ба намуди афканиши энергияи электромагнитӣ озод мешавад, бинобар ин энергияи суммавии зарраҳон заряднок хурдтар аз 2.3 МэВ (ба ҷои 2.78МэВ) ҳосил мешавад. Спектри импулсҳо аз қайдгираки мутаносибии борӣ, ки бо нейтронҳои сust нурборон шуданд, дар расми 6.4.2.3 оварда шудааст. Дар он ду қуллаи аз ҳамдигар хуб ҷудошуда аз реаксияи $B^{10}(n,a),Li^{7g}$ ва $B^{10}(n,a)Li^{7m}$ дида мешавад, илова бар ин ин қуллаҳо дар ҳолати асосии Li^7 ҳамагӣ танҳо тахмин дар 6% ҳолатҳо пайдо мешаванд. Ҳангоми зиёд кардани энергияе, ки ба қайдгираки нейтронҳо меафтанд, ҳарду қулла дар соҳаи амплитудаи калон мегечанд. Аз ин гуна ғечиш энергияи нейтронро муайян кардан мумкин аст (монанди он мавриде ки ҳангоми корро қайдгираки гелийӣ иҷро мекунанд), бо вуҷуди ин, мавҷудияти ду қуллаи спектралӣ ба ҷои як қулла, расми гирифташударо хеле мушкил мекунад. Ғайр аз ин, эҳтимолияти ҳосил шудани ядрон Li^7 дар ҳолати асосӣ ҳангоми тағйирёбии энергияи нейтронҳо доимӣ намемонад; вай аввалан то 0.7 дар энергияи нейтронҳо 1.8 МэВ меафзояд, баъд боз кам мешавад то 0.5 ҳангоми E=2.5 МэВ. Ҳаман ин коркарди натиҷаҳои ченкуниро бо қайдгираки борӣ ба мушкилӣ меоварад, дар натиҷа ин гуна ченкуниҳоро дар амалия намегузаронанд, гарчанде дар гузашта то васеъ татбиққунии He^3 кӯшишҳои алоҳида буданд,

Азот (нитроген)-14. Истифодабарии N^{14} бо мақсади спектрометрии қимати хурди арз ва вобастагии энергиявии он характери мураккаб дорад, бинобар он истифодабариаш хеле мушкил мебошад.

Неон-21. Ҳосияти ин нуклид умуман омӯхта нашудааст. Маълум аст, ки нейтрон бояд бо ядрон он реаксияи экзотермии

$^{21}Ne(n,a)O^{18}$-ро ба вуҷуд оварад; ин реаксия дар нейтронҳои ҳароратӣ ҳосил шуда, ҳудуди болоии арзи он баҳо дода шудааст. Агар дар нейтронҳои сареъ қимати арзи ин реаксия ниҳоят зиёд бошад, он гоҳ реаксияи $Ne^{21}(n,a)O^{18}$ барои қайдгирии нейтронҳо то ҳудуди энергияи наздики 4 МэВ метавонад хеле қулай бошад. Тадқиқоти ин реаксия то ин вақт мушкилӣ дорад, ҳатто Ne^{21} дар таркиби неони табиӣ бо миқдори назаррас (0.257%) мавҷуд аст, аммо вай дар таҳти фишори ҳаматарафаи нуклидҳои бисёр паҳншуда ба монанди Ne^{20}(90,9%) ва Ne^{22}(8,8%) ҷойгир аст, ки ҷудо карда гирифтани он хеле душвор аст.

Аз ҳамаи гуфтаҳо чунин хулоса баровардан мумкин аст, ки дар замони ҳозира аз ҳама реаксияҳои имконпазир бо парвози заррачаҳои заряднок, ки васеътар истифода мебаранд, реаксияи $He^3(n,p)H^3$ мебошад, ки камера ва қайдгиракҳо бо He^3 метавонанд дар ҳама ҳолатҳо оид ба спектри нейтронҳо вобаста аз маҳдудияти ҷоизи фосилаи энергия бештар равшанӣ андозанд.

6.5. УСУЛИ ВАҚТИ ПАРВОЗ

6.5.1. Моҳияти асосии усул

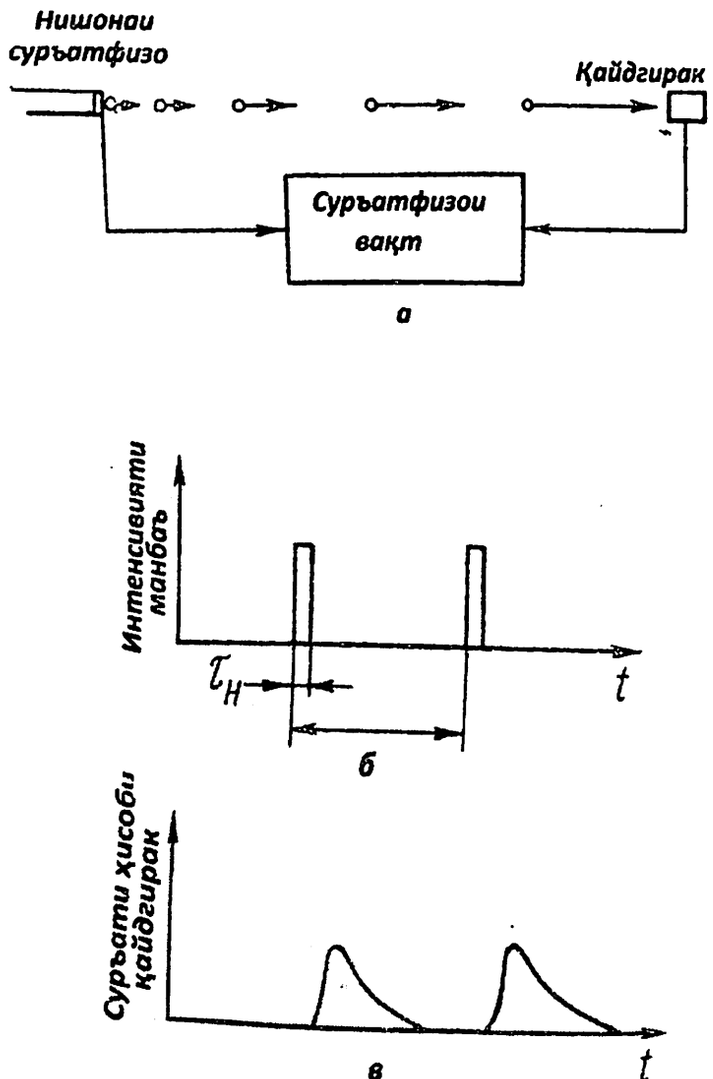
Энергияи нейтронҳоро бо осонӣ муайян мекунанд, агар суръати он муайян бошад, ғайр аз ин, дар соҳаи энергияи то якчанд даҳҳо мегаэлектронволт аниқи ҳисобро таносуби ғайрирелативии $E=\frac{m\gamma^2}{2}$ таъмин мекунад. Аз тарафи дигар, суръати нейтронро ҳангоми чен кардани вақти парвози онҳо дар баъзе масофаи собитшуда муайян кардан мумкин аст. Ба ин усул собит шудани ченкунии энергияи нейтронҳо номи усули вақти парвозро гирифт. Дар замони ҳозира ин усулро барои чен кардаи энергияи на танҳо нейтронҳо, инчунин барои баъзе заррачаҳои дигарро низ татбиқ мекунанд.

Барои чен кардани порчаи додашудаи вақти парвози нейтронҳо, агар суръати он маълум бошад, ҳатман аниқ сабт кардани фосилаи гузариши онҳо роҳи аввала ва охираро аксар вақт заминаи парвоз меноманд. Охиронашро ҳангоми пайдошавии импулс дар қайдгирак, ки дар охири заминаи парвоз ҷойгир аст, ба

осонӣ муайян кардан мумкин аст. Фосилаи саршавии ҳаракат ҳангоми пайдошавии импулс дар қайдгираки манбаи нейтронҳо, ки дар назди он ҷойгир аст ва иловашавии пайдоиши нейтрон бо заррачаҳои заряддор, ё ин ки аз импулсҳои протони қафорафта дар қайдгираки ҳидрогенӣ, ё ки аз вақти "дурахш" дар манбаи импулси нейтронҳо сабт карда мешавад. Ҳар яки ин усулҳо бартарӣ ва камбудии худро доранд. Ҳамин тавр, усули истифодабарии қайдгираки ҳидрогенӣ хеле оддӣ аст, бо вуҷуди ин тағйирёбии тавсифи ҳаракати нейтрон ҳангоми пароканиш ва самаранокии хурди парокандашавии ҳидрогенӣ ин усулро хеле ҳам ноқулай мегардонад. Агар нейтронҳо аз реаксияи $D(d,n)^3He$, ки дар нишонаи суръатфизо мегузарад, ҳосил шаванд, он гоҳ ҳангоми ба қайд гирифтани ядрои қафорафтаи He^3 фосилаи парвози нейтронро сабт кардан мумкин аст. Дар баъзе ҳолатҳо якбора бо нейтронҳо гамма-квантҳо низ пайдо мешаванд, ки онро қайдгираки назди нишона гузошташуда бо осонӣ ба қайд мегирад. Пурра маълум аст, ки интенсивияти баромади нейтронҳо дар ҳаман ин ҳолатҳо на бояд калон бошад, барои он, ки нейтрон бояд то қайдгирак парвоз карда тавонад ва дар он бақайд гирифта шавад то он вақте ки қайдгираки якум нейтрони оянда дар пайдошударо сабт кунад. Умуман ин усул ба истифодабарии манбаи импулси нейтронҳо асос ёфтааст. Дар ин гуна манба нейтронҳое пайдо мешаванд, ки танҳо дар давоми фосилаи кӯтоҳи вақти τ_n дар давоми даври хеле дарози "ҳомӯшшавӣ" Т ҷудо шудаанд (расми 6.5.1.1). Басомади ҳаракати дурахши нейтронҳоро аз ҳамон ҳисоб интихоб мекунанд, ки нейтронҳои аз ҳама суст тавонанд то ҳисобкунак пештар парвоз кунанд, нисбати афтиши нейтронҳои сареъ ба қайдгирак, ки аз дурахши оянда ҳосил шаванд. Дар мавриди баръакс нейтронҳои сустеро, ки одатан нейтронҳои ресикликӣ меноманд, ба пайдоиши фони ноатлуб сабаб мегардад, ки ба таҳлили натиҷаҳои гирифташуда мушкилӣ меорад (ин шартро қаноат кунонидан мумкин нест, агар спектри нейтронҳо аз сифр сар шавад, ё ки нейтронҳо бо суръати сифрӣ бояд порчаи дилхоҳи дарозии охиринро дар вақти калони беохир тай кунанд).

Бо вуҷуди ин, дар ҳолати реалӣ интихоби хеле калони фосилаи байни дурахшҳо ва истифодабарии полоишҳои гуногуни ин гуна шароитро ҳосил кардан мумкин аст, вақте ки интенсивияти

нейтронҳои рексикликӣ назарногир бошад ва он якҷоя бо фони дигар манбаҳо ба назар гирифта шавад.



Расми 6.5.1.1. Ченкунӣ бо усули вақти парвоз бо истифодабарии манбаи импулсҳо: а-реҷаи таҷриба; б-тақсимшавӣ бо вақти дурахши манба; в- тақсимшавӣ бо вақти амплитудаҳо дар қайдгирак.

Якбора бо пайдошавии дурахши нейтронҳо таҳлилкунаки вақтӣ ба кор медарояд, пас импулсҳо ба қайдгираки нейтронҳо дохил шуданро сар мекунанд. Вобаста аз вақте, ки нейтрон парвози масофаро аз манба то қайдгирак сарф мекунад ва импулсро ба вуҷуд меоварад, ки он дар ягон канали таҳлилкунак ба қайд гирифта мешавад. Дар натиҷаи такроршавии бисёркаратаи сиклҳо дар ҳар канали таҳлилкунак якчанд адади сарҳисоб зам мешавад, ки ба миқдори нейтронҳои дар ин каналу энергия мувофиқоянда мутаносиб мебошанд. Бинобар ин, дар охири таҷриба миқдори импулсҳоеро муайян мекунанд, ки ҳар як канал ба қайд гирифтааст ва хати қачи тақсимшавии нейтронҳоро аз вақти парвоз сохтан мумкин аст, ки пас дар тақсимшавӣ аз энергия аз нав ҳисоб кардан мушкилӣ надорад, ҳамин тавр спектри энергиявии манбаи нейтронҳоро меёбанд. Вобаста ба ин энергияи E, суръати ϑ ва вақти t заминаи парвози нейтрон L бо таносуби оддӣ ифода мешавад:

$$E = m_n\vartheta^2/2;\ \vartheta=\frac{l}{t};\ E=M\frac{l^2}{2t^2},$$

Агар энергияро бо эВ, суръатро дар м/сон, дарозии парвозро - бо м ва вақти парвозро – бо мк сон ифода кунем, он гоҳ инҳо ва баръакси онҳо мутаносиб намуди зеринро мегирад, ки барои гузаронидан ҳисобҳои гуногун хеле қулай аст:

$$E = 5.226\times10^{-9}\vartheta^2 = 5226\,l^2/t^2, \qquad (6.5.1.1)$$

$$\vartheta = 10^6 l/t = 1.383\times10^4\sqrt{E}, \qquad (6.5.1.2)$$

$$t = 10^6 l/\vartheta = 72.3\,l/\sqrt{E}, \qquad (6.5.1.3)$$

Барои аён будани вобастагии байни бузургиҳои E ва t барои қиматҳои гуногуни L дар расми 6.5.1.2. ин вобастагӣ пешниҳод шудааст. Хиҫлати ғайрихаттии ин вобастагӣ ба он меоварад, ки функсияи $\varphi(t)$, ки вобастагии тақсимшавӣ ба қайдгирифтаи импулсҳоро бо вақт менависад, аз функсияи тақсимшавии импулсҳо дар ҷадвали қиёсии энергия F(E) хеле фарқ мекунад. Алоқамандии функсияҳои F(E) ва $\varphi(t)$-ро аз таносуби зерин муайян мекунанд:

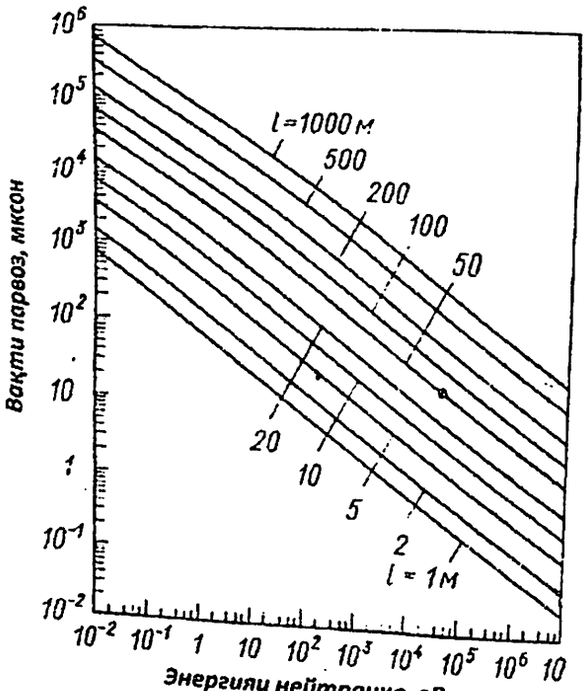
$$\varphi(t)dt = F(E)dE, \qquad (6.5.1.4)$$

Ифодаи (6.5.1.3)-ро истифода бурда, ин алоқамандиро дар намуди хеле қулай ҳосил мекунем:

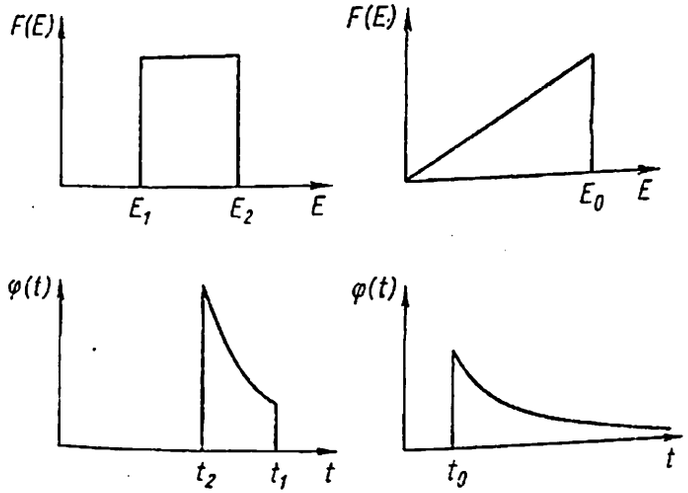
$$F(E) = 0.955 \times 10^{-4} t^3 \varphi(t), \qquad (6.5.1.5)$$

Дар ин маврид бояд ёдовар шуд, ки қимати калони энергияи нейтронҳо E ба қимати хурди вақти парвози t мувофиқ меояд. Алоқамандии вақти тақсимшавии энергияи импулсҳоро аз таносуби охирон муайян мекунанд, ки бо якчанд мисолҳо дар расми 6.5.1.3 намоиш дода шудааст. Баъд аз он ки ченкуниҳои таҷрибавии тақсимшавии $\varphi(t)$ аз нав дар ҷадвали қиёсии энергия ҳисоб шудааст, барои муайян кардани спектри нейтронҳо Ф(E) танҳо вобастагии самаранокии қайдгираки нейтронҳоро аз энергия ба назар гирифтан мебояд:

$$F(E) = \varepsilon(E)\Phi(E), \qquad (6.5.1.6)$$



Расми 6.5.1.2. Вобастагии вақти парвози t аз энергияи нейтронҳо E барои дарозиҳои гуногуни заминаи парвоз L.



Расми 6.5.1.3. Муқоисакунии ду тақсимшавии энергиявии импулсҳо аз нейтронҳо (графики боло) ба тақсимшавии вақти импулсҳо дар қайдгираки мувофиқомада (графики поён).

6.5.2. Тафриқаи энергиявии дастгоҳ

Хатогии чен кардани энергияи нейтронҳоро дида мебароем. Усули муайянкунии хатогиро ҳангоми ченкунии вақти парвоз t, ва заминаи парвоз L-ро дар аксарият ҳолатҳо амалан ниҳоят аниқтар муайян кардан мумкин аст. Аз тарафи дигар номуайянии ченкунии t бо чунин бузургиҳо тавсиф дода мешавад:

давомияти охирони дурахши нейтронҳо τ;

васеъгии канали таҳлилкунаки вақтӣ $\tau_а$;

пошхӯрии интегралии вақтӣ байни афтиши нейтронҳо дар қайдгирак ва пайдоиши импулси электрикӣ $\tau_д$;

тафриқаи вақти қайдгирии дастгоҳи электронӣ $t_э$;

хатогӣ дар кор карда баровардани ҷасти импулс, ки таҳлилкунаки вақтиро ба кор медарорад $\tau_с$.

Ҳамаи ин хатогиҳо, ки дастгоҳҳои гуногун соҳибанд, мутлақан гуногун буда, ба бузургиҳои нисбӣ аз рӯи ин ё он қонун дар номуайянии умумӣ ченкунии вақти парвоз τ, ки тафриқаи усулро муайян мекунад, ҷамъ мешавад. Агар ҳамаи τ_i новобаста бошанд, он гоҳ:

$$\tau = \sqrt{\tau_н^2 + \tau_а^2} \text{ ..... }, \qquad (6.5.2.1)$$

Агар ҳисобида шавад, ки бузургии омилҳои бокимонда назарнорас мебошанд, ва васеъгии каналро тавре интихоб кунем, ки баробари давомияти дурахши $\tau_н = \tau_а$ бошад, он гоҳ:

$$\tau \approx \sqrt{2\tau_к}, \qquad (6.5.2.2)$$

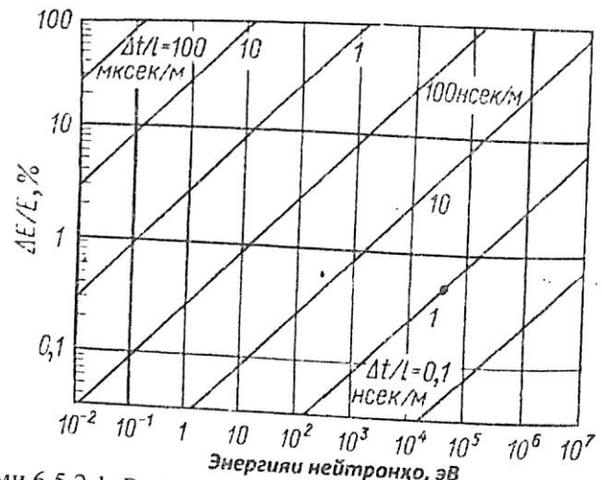
Аммо ҳангоми $\tau_а \ll \tau_н$ будан, $\tau \approx \tau_н$ мебошад;

Дар баъзе ҳолатҳо барои баҳо додан ифодаи хеле оддиро истифода мебаранд:

$$\tau \approx (\tau_н + \tau_а)\frac{}{2} = \tau_н, \qquad (6.5.2.3)$$

Таносуби интегралии (6.5.1.1.) имкон медиҳад, ки алоқаи хатогии нисбии ченкунии энергияро дар номуайяниҳо бо чен кардани вақти парвоз барқарор кунем:

$$\Delta E/E = 2.78\sqrt{E_\tau}\ /L, \%, \qquad (6.5.2.4.)$$



Расми 6.5.2.1. Вобастагии тафрикаи энергиявии ΔE/E аз энергияи нейтронхо E_n ва Δt/L.

Аз ин таносуб бармеояд, ки тафрикаи энергиявиро аз нисбати τ/L муайян мекунанд, ки барои баъзе дастгоҳҳои қимати аниқи

муайянро дорад. Ҳамчунин аз ин таносуб дидан мумкин аст, ки хатогии нисбии ченкунии энергия доимӣ намемонад, он бо афзоиши энергия бад мешавад, масалан, монанди $\sqrt{E}$. Бинобар ин, тафриқаи энергиявии дастгоҳро, ки бо усули вақти парвоз кор мекунад, айнан на бо нисбати ΔE/E, балки бо қимати τ/L тавсиф дода мешавад ва онро дар микросония ба 1 м (ё ин ки ноносон/м) чен мекунанд. Барои дастгоҳи додашуда қимати τ/L-ро донista, бо осонӣ тафриқаи таъминкунандаро барои энергияи назаррас бо таносуби (6.5.2.4) ё аз рӯйи графике, ки дар расми 6.5.2.1 оварда шудааст, муайян кардан мумкин аст.

6.5.3. Интенсивияти ҳисоби нейтронҳо

Ҳангоми тайёрӣ барои гузаронидани ченкунӣ таҷрибаомӯз ҳама вақт орзу дорад, ки чанд импулсро дар фосилаи вақт дар сония ба қимати миёнаи ҳар як канали таҳлилкунак ба қайд мегирад.

Ин бузургиҳо ба муҳокимаи якчанд бузургиҳо алоқаманд мебошанд: шумораи нейтронҳои ҳосилшуда, басомади такроршавии дурахши нейтронҳо, дарозии заминаи парвоз, самаранокии қайдгирак ва ғайраҳо; ғайр аз ин вай дар ҳудуди як спектр аз канал ба канал метавонад хеле тағйир ёбад. Бинобар ин баҳо додани суръати ҳисоби қайдгирак яке аз асосиҳо буда, ғайр аз ин марҳилаи мушкилтарини ҳисоби нақшаи таҷриба мебошад. Ҳолатеро дида мебароем, ки манбаи импулси нуқтагӣ дар як сония n дурахш медиҳад, илова бар ин, дар ҳар як дурахш g_n-нейтронҳо бо спектри энергиявӣ пайдо мешаванд, ки бо функсияи φ(E) навишта мешавад. Ба функсияи φ(E) чунин шарти меъёрбандӣ гузошта мешавад:

$$\int_0^\infty \varphi(E)dE = 1, \qquad (6.5.3.1)$$

Дар ин мавриd, адади нейтронҳо бо энергияи аз E то E+dE, ки манба бо гузашти як дурахш хориҷ мекунад, чунин ифода карда мешавад:

$$dq = q_n\varphi(E)dE, \qquad (6.5.3.2)$$

Дастаи нейтронҳо бо энергияи E дар қайдгирак:

$$\Phi(E) = q_n \varphi(E) n / (4\pi l^2), \qquad (6.5.3.3)$$

в.: адади импулсҳое, ки дар як сония қайдгирак ба қайд мегирад, дар фосилаи мувофиқомада:

$$\Delta N = SF(E)\Delta E = S\varepsilon(E)\Phi(E)\Delta E = S\varepsilon(E)q_n + \\ + f(E)n\Delta E/(4\pi l^2), \qquad (6.5.3.4)$$

дар инҷо S —масоҳати қайдгирак; $\varepsilon(E)$ —самаранокии он. Формулаи (6.3.1.1)- ро истифода бурда, аз фосилаи энергия ΔE ба фосилаи вақт гузаштан мумкин аст бо гузашти чанде, ки ҳар як канали таҳлилкунак импулсҳоро ба қайд мегирад τ_a.

$$\Delta E = 2.78 \times 10^{-2} E^{3/2} \tau_a / l, \qquad (6.5.3.5)$$

Аз инҷо адади импулсҳое, ки як канали таҳлилкунак дар воҳиди вақт ба қайд мегирад, ин тавр ёфта мешавад:

$$\Delta N = 2.21 \times 10^{-3} q_n\, \varepsilon(E)\, \varphi(E) E^{3/2}\, nS\, \tau_a / l^3, \qquad (6.5.3.6)$$

Аз ин таносуб бармеояд, ки ҳангоми доимӣ будани васеъгии канал τ_a суръати ҳисоб дар канал ба l^{-3} мутаносиб аст, барои он ки ғайр аз омили геометрӣ l^{-2} афзоиши l мутаносибан ба ёзонидани спектри импулсҳои вақтӣ дар адади зиёди каналҳо меоварад, ки ба камшавӣ ҳисоб дар ҳар як канал мутаносиб буда, боиси афзоиши l мегардад.

Ҳангоми калон будани басомади ҳаракати импулсҳо ва барои хориҷ кардани пайдошавии нейтронҳои ресиклистӣ афзоиши дарозии заминаи ларвоз мумкин мутаносибан камшавии n —ро талаб кунад. Дар ин ҳолат, ΔN тамоман ба l^{-4} мутаносиб мешавад.

Бояд қайд кард, ки дар баъзе ҳолатҳо, вақте ки масоҳати қайдгирак аз масоҳати дастаи коллиматсияшуда калон бошад, онгоҳ суръати умумии ҳисоб аз масофа вобастагӣ надорад, аммо суръати ҳисоб дар канал ба l^{-1}(на l^{-3}) мутаносиб аст, ки танҳо аз ҳисоби вақти ёзиши спектр маълум мешавад.

6.5.4. Меъёр барои муқоисаи сифати дастгоҳе, ки бо усули вақти парвоз кор мекунад

Қайдгиракро аз манбаи импулс дар масофаи хеле дуртар ҷойгир карда, тафриқаи энергиявии дилхоҳро ҳосил кардан мумкин аст. Бо вуҷуди он, чи тавре ки аз таносуби дар боло ҳосилшуда маълум аст, дар ин маврид суръати ҳисоб ниҳоят тез кам мешавад. Бинобар ин, на дарозии заминаи парвоз ва на вобаста ба ин бузургии $\tau\, l$-ро ба сифати меъёр барои муқоисаи дастгоҳҳои гуногун гирифтан мумкин нест. Дар муддати як сония $\gamma = q_н \times n$ мешавад.

Ба мақсад мувофиқ аст, ки ба сифати меъёр ин бузургиро интихоб карда, суръати ҳисобро дар канал ҳангоми якхела будани тафриқаи энергиявӣ муқоиса кунем (ё ин ки ҳангоми якхела будани суръати ҳисоб тафриқа ба даст оварда мешавад).

Ду дастгоҳро дида мебароем, ки манба нейтронҳои спектри энергиявиашон якхеларо медиҳад. Суръати ҳисоб дар каналҳо дар асоси формулаи (6.5.3.6), ки таносуби зеринро қаноат мекунад ба як ё ингуна энергияи нейтронҳо мувофиқ меояд:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{q_1 n_1}{q_2 n_2} \frac{\tau_1}{\tau_2} \frac{l_2^3}{l_1^3} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \frac{\tau_2^2}{l_1^3} \frac{\tau_1^3}{l_1^3} \frac{l_2^3}{\tau_2^3}, \qquad (6.5.4.1)$$

(қайдгиракҳо низ якхела ҳисобида мешаванд). Агар дарозии заминаи парвозро аз рӯи чунин ҳисоб интихоб кунем, ки дастгоҳ тафриқаи якхеларо (дар мк сон.) $\tau_1 / l_1 = \tau_2 / l_2$ диҳад, он гоҳ таносуби (6.5.4.1)-ро ба чунин намуд овардан мумкин аст:

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \left(\frac{\gamma_1}{\tau_2^2}\right) / \left(\frac{\gamma_2}{\tau_2^2}\right), \qquad (6.5.4.2)$$

Баръакс, агар дарозии заминаи парвозро чунин интихоб кунем, ки суръати ҳисоби муносибтарро гирем, он гоҳ ин гуна таносуби (6.5.4.1) ҳосил мешавад:

$$\frac{\tau_1}{l_1} / \frac{\tau_2}{l_2} = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\tau_1^2} / \frac{\gamma_1}{\tau_2^2}}, \qquad (6.5.4.3)$$

Аз ин ифода маълум мешавад, ки ба сифати меъёри даркорӣ барои муқоисаи дастгоҳҳо, ки бо усули вақти парвоз кор мекунанд,

интихоби бузургии γ/τ^2 хеле қулай мебошад. Аз инчо бармеояд, ки ба мақсади мувофиқан кам кардани давомияти дурахши нейтронхо $\tau_н$ (ёдовар мешавем, ки $\tau \approx \tau_н$) ҳатто то дараҷае паст шудани адади нейтроихо дар дурахши q_B меоварад. Дар айни хол, бигзор манба дар давоми дурахш баромади доимии нейтронҳоро таъмин кунад. Дар ин маврид $q_B = Y\tau_н$. Кам кардани $\tau_н$, масалан, ба ду маротиба, хамин кадар q_B кам мешавад; боз ду маротиба суръати ҳисобро кам кунем, ҳамон қадар ба камшавии $\tau_а$ мувофиқат мекунад. Аммо дар ин маврид, барои ҳосил кардани тафриқаи пешина мумкин 2 маротиба l ва T —ро ихтисор кунем, онгоҳ суръати ҳисобро ба 2^3=8 маротиба бурд мекунем. Дар натиҷа ҳисоб дар каналхо на танҳо кам мешавад, баръакс, ду маротиба меафзояд, ки кори дастгоҳро хеле хуб мекунад.

Ҳамин тариқ, дар давоми ҳамаи даври тараққиёти усули вақти парвоз мушоҳида шуд, ки бо ихтисори давомияти дурахши нейтронҳо ва мукаммалсозии дастгоҳи қайдгиранда байни ҳам мувофиқ бошанд, агар дар дастгоҳи якум давомияти спектри импулсхо танҳо дар соҳаи энергияи хеле хурди нейтронҳо (нейтронҳои сареъ дар як канал афтанд) мувофиқ бошад. Дар замони ҳозира дастгоҳҳое мавҷуданд ки бо давомияти импулсҳо бо тартиби якнаносония, имконият медиҳанд ченкуниро то энергияи якчанд мегаэлектрон-волт гузаронем.

6.6. СПЕКТРОМЕТРҲОИ БУЛЎРӢ

6.6.1. Инъикоси дифраксияи нейтронҳо аз булўр

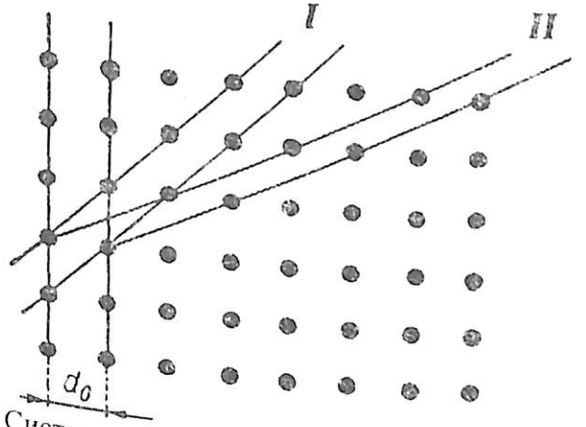
Дарозии мавҷи де- Бройл барои нейтронҳо λ=h/mυ ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\lambda = 0.268/\sqrt{E}, \qquad (6.6.1.2)$$

дар инҷо λ бо A^0 ифода мешавад, E бо эВ. Агар ба ягон булўр нейтронҳои дарозии мавҷашон λ афтанд, ки λ ба масофаи байниҳамворӣ d наздик бошад, он гоҳ онҳо аз булўр дар ин ҳолат инъикос мешаванд, агар кунҷи ғеҷишашон θ (кунҷи байни равиши даста ва хамвории панҷараи булўр) таносуби Брэг-ро қаноат кунонад:

$$2d\sin\theta = n\lambda. \qquad (6.6.1.2)$$

дар инҷо n кадом як адади бутун аст. Агар таносуби (6.6.1.2) иҷро нашавад, он гоҳ нейтронҳо бо ин дарозии мавҷ инъикос намешавад, онҳо танҳо метавонанд ба таври диффузионӣ пароканда шаванд, ё ин ки дар булўр фурў раванд. Бояд дар назар дошт, ки дар булури дилхоҳ адади беохири системаи ҳамвориҳо мавҷуд аст. Дар расми 6.6.1.1 се системаи ҳамвориҳо (0.1 ва 11) барои панҷараи булўрии дученака қайд шудааст. Монанд ба ин расмро барои панҷараи сеченакаи навъи ихтиёрӣ пешниҳод кардан мумкин аст. Аксар вақт системаи ҳамвориҳои булўр бо аломатҳое, ки онҳоро индексҳои Миллер h,R,L меноманд, нишон мешавад, ки он ҳамчун адади бутуни хурдтарин ба бузургии баръакси порчаи каратӣ муайян карда мешавад.



Расми 6.6.1.1. Системаҳои ҳамвориҳо дар панҷараи квадратии дученака.

Агар дар тасвири панҷараи кубии сеченака, ки дар расми 6.6.1.1 тасвир шудааст, ҳисобида шавад, ки ҳамворӣ дар системаҳои 0.1 ва 11 перпендикуляр ба ҳамвории расм ҷойгир мебошанд, он гоҳ индекси онҳо (1.0.0), (1.1.0.) ва (1.2.0.) мешавад. Нишон додан мумкин аст, ки дар панҷараҳои кубӣ масофаи байни ҳамвориҳо дар системаҳои дилхоҳ ба индексҳои Миллер ифода мешаванд:

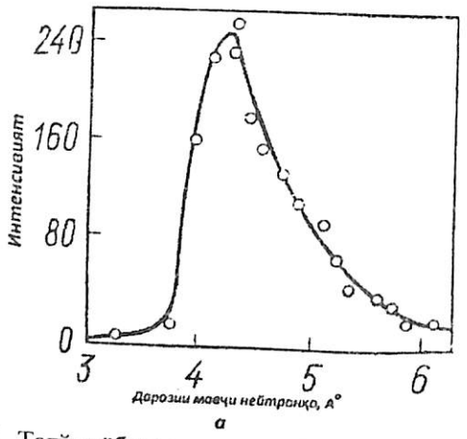
$$d = d_0/(h^2 + R^2 + l^2)^{1/2}. \qquad (6.6.1.3)$$

дар инчо d_0- масофаи калонтарини байни ҳамвориҳо дар системаи (1.0.0.). Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки шарти (6.6.1.2) барои як системаи ҳамворӣ ичро намешавад, аммо барои дигар системаҳо ичрошаванда мебошад. Равшан аст, ки инъикоси нейтронҳо ҳангми $\lambda > 2d_0$ будан, дар ягон шароит имконпазир аст. Барои нейтронҳое, ки $\lambda<2d_0$ аст, як ё якчанд қиматҳои кунҷи θ -ро ёфтан мумкин аст, дар ҳолате, ки аз системаҳои ҳамвориҳои (1.1.0) ва ғайраҳо инъикос ҳосил шавад. Вобастагии аниқи байни кунҷи θ ва дарозии мавҷи нейтрон λ, ки барои он инъикос имконпазир аст, имконият медиҳад, булӯрро бо мақсади спектрометрӣ истифода барем.

6.6.2. Полоишҳои поликристаллӣ

Махсусан гузариши нейтронҳо дар модаҳои поликристаллӣ вобаста ба хосияти мавҷии онҳо имконият медиҳад, ки аз даста нейтронҳои энергияшон гуногуни тақрибан сустнашударо полонда, нейтронҳои энергияи якхеларо ҳосил кунем. Азбаски барои нейтронҳои дарозии мавҷашон аз қимати сарҳади зиёдтарбуда;

$$\lambda_{\text{сар}} = 2d_a \qquad (6.6.2.1)$$



Расми 6.6.2.1. Тағйирёбии спектри нейтронҳои сустҳаракат ҳангоми гузариш аз поликристаллии берилий; а-спектри нейтронҳо баъди полоиш нуктаҳо; б-спектри нейтронҳо то полоиш хати яклухт.

Инъикос аз кристал номумкин аст, барои он, ки қабати мода бо таркиби поликриталлӣ амалан метавонад нейтронҳоро бо $\lambda < \lambda_{\text{сар}}$ пурра пароканиш кунанд ва дастан нейтронҳоро бо $\lambda > \lambda_{\text{сар}}$ қариб бе тағйирёбӣ монанд (дар таркиби поликриталлӣ дар роҳи ҳар як нейтрон барвакт ё ин ки дертар булӯрча меафтад, ё интиқолаш чунин аст, ки нейтрон метавонад аз он инъикос шавад ва аз даста ба дигар тараф равад). Барои он ки чунин полоиш дастан нейтронҳои сустро, ки аз он мегузаранд, боз сустгар накунанд, эҳтимолияти фурӯбурди нейтронҳо дар он бояд хеле кам бошад. Одатан ба сифати полоиши полибилӯрӣ графит ($\lambda_{\text{сар}} = 6.7A^0$), берилий ($\lambda_{\text{сар}} = 4.0A^0$) ё ин ки оксиди берилийро ($\lambda_{\text{сар}} = 4.5A^0$) истифода мебаранд. Дар расми 6.6.2.1 а спектри нейтронҳо нишон дода шудааст, ки аз азоти моеъи полибилӯрии берилийни хунуккунанда гузаштаанд.

Ҳангоми $\lambda=4A^0$ будан спектр возеҳан канда мешавад, он гоҳ ҳамчун афзоиши спектри нейтронҳои макевелӣ дар назди $1.2A^0$ мувофиқат мекунад (нигаред ба расми 6.6.2.1 б).

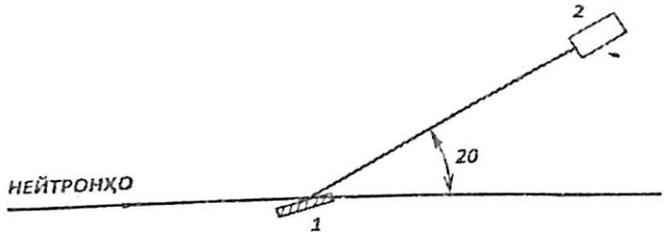
6.6.3. Монохроматори кристаллӣ

Барои ҷудо кардани гурӯҳи нейтронҳое, ки дарозии мавҷашон тақрибан якхела мебошанд, монокристаллҳои ҳаҷмашон калонро истифода мебаранд, ки дар дастан нейтронҳои спектрашон бефосила ҷойгир мебошанд. Агар булӯр чунин гузошта бошад, ки кунҷи ғеҷиши баробари $\theta -$ и даста нисбат ба системаи ҳамвориҳои муайян ба он таъсир мекунад ва дар зери кунҷи 2θ меравад, пас тири даста танҳо он нейтронҳое ҷудо мекунад, ки барояшон шарти (6.6.1.2) ичро мешавад. Нейтронҳои боқимонда ё ин ки аз булӯр бе инъикос мегузаранд, ё ин ки ба дигар системаи ҳамвориҳо ба равиши дигар бармегарданд ва ба қайдгираки дуюм намеафтанд (расми 6.6.3.1). Аз таносуби (6.6.1.2) бармеояд, ки ҳангоми маълум будани d ва θ дарозии мавҷи пай дар пай беохир вуҷуд дорад, барои баъзе нейтронҳо мумкин аст инъикос ичро шавад:

$$\lambda_n = \frac{(2\,d\sin\theta)}{n};\ n = 1,2,3\ldots. \qquad (6.6.3.1)$$

Ин дарозии мавҷҳо ба энергияи нейтронҳо мувофиқ аст:

$$E_n = \frac{0.0205n^2}{d^2 sin^2\theta} \qquad (6.6.3.2)$$

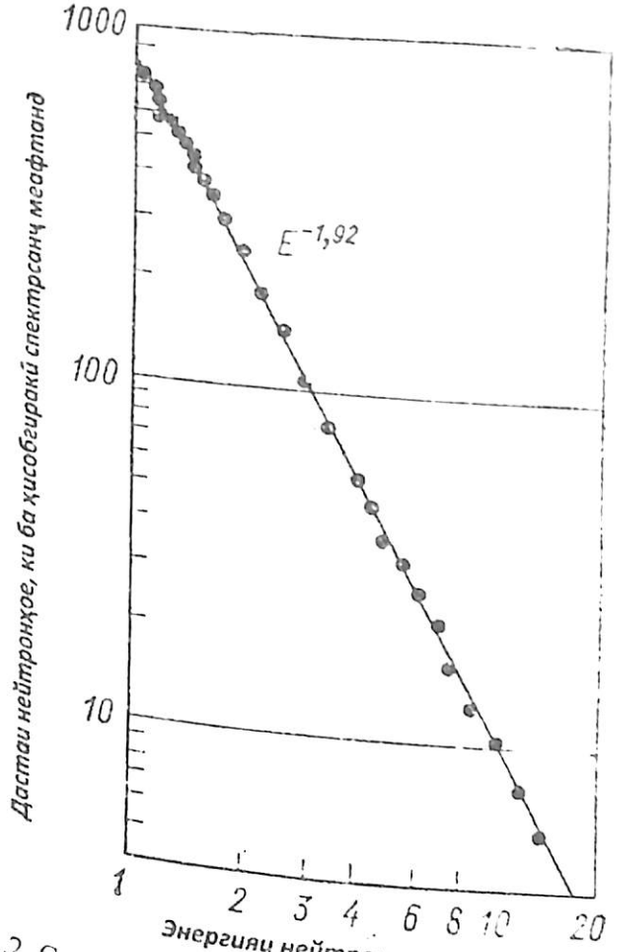


Расми 6.6.3.1. Реҷаи якрангсози булӯрӣ; 1-булӯр; 2-қайдгирак.

Бо вуҷуди ин афзоиши тартиби инъикоси интенсивияти даста возеҳан кам мешавад. Нишон додан мумкин аст, ки интенсивият ба n^{-2} мутаносиб аст. Бинобар ин, миқдори асосии нейтронҳо ба инъикоси тартиби якум (n=1) мувофиқат мекунанд, ки дастаи монохроматикии ҷудошударо қаноат мекунанд. Аз инъикоси тартибҳои калон озод шудан мумкин аст, агар ба монокристал дастаи нейтронҳоро аз полоиши поликриталл ва модаи мувофиқ гузаронем, он гоҳ энергияи нейтронҳои бо кунҷи θ инъикосшудаи якҳимата тавассути таносуби зерин алоқаманд мебошанд:

$$E = \frac{0.205}{(d^2 sin^2\theta)} sin\,\theta = 0.14/(d\sqrt{E}), \qquad (6.6.3.3)$$

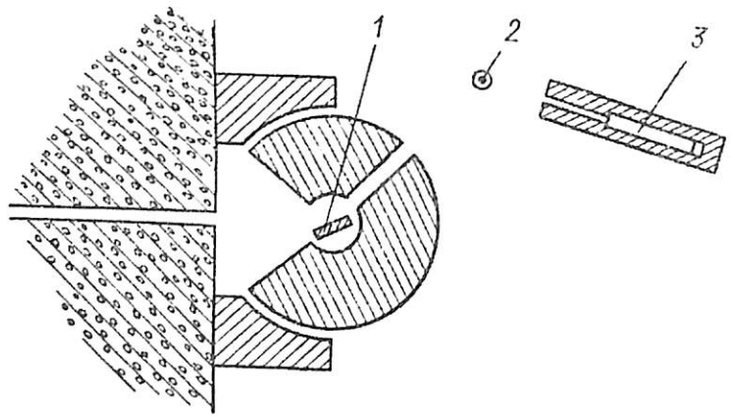
Ин имконият медиҳад, ки тағйирёбии самтгирии булӯрро мувофиқ карда, ба ҷой ивазкунии қайдгирак миқдори нейтронҳои энергияшон гуногунро муайян кунем, яъне тақсимшавии энергиявии нейтронҳоро дар даста чен кунем. Яке аз аввалин тачрибаҳо тафтиши қонуни 1/E барои спектри нейтронҳо буд, ки аз зонаи (минтақаи) фаъоли реактор хориҷ мешудаанд. Гарчанде, ки қобилияти иникос кардани кристалл ба қонуни 1/E рост ояд, дар ин ҳолат нисбат ба энергия E^2 мутаносибии баръакс ва интенсивияти дастаи инъикосшуда бояд кам шавад, ки инро натиҷаҳои гирифтаи (расми 6.6.3.2) хуб тасдиқ мекунанд.



Расми 6.6.3.2. Спектри энергиявии нейтронҳо, ки аз термореактор мебароянд, бо спектрометри булӯрӣ чен шудааст.

Аз таносуби (6.6.3.3) дида мешавад, ки бо афзоиши энергияи нейтронҳо кунҷи ғеҷиши θ, ки дар он имконияти инъикос ҳаст, тез кам мешавад. Ҳамин тавр, ҳангоми истифодабарии LiF, ки барои он системаи ҳамвориҳо (1.1.1) d=2.32 A^0 мебошад, дар энергияи нейтронҳо 1эВ кунҷи ғеҷиш $\theta = 3.5^0$ дар энергияи E=100 эВ, $\theta = 3.5^0$-ро ташкил мекунад. Кор кардан бо ин гуна кунҷи хурд хеле мушкил аст. Дар системаи ҳамвориҳои индексҳои калони Миллер, ки аз (6.6.1.3) бармеояд, масофаи байни ҳамвориҳо хурд буда, кунҷи ғеҷиш калон аст. Бо вуҷуди он, якбора бо камшавии d

дар ҳамвории кристал зичии ядро кам мешавад (инро дар расми 6.6.1.1 дидан мумкин аст) ва ин ҳодиса ба кам шудани интенсивияти дастаи инъикосшуда меоварад. Дар натиҷа сарҳади болои микёси энергия, ки дар соҳаи энергияи наздик ба 10-20 эВ мехобад, дар он имконияти истифодабарии спектрометри булӯрӣ хеле зиёд аст. Бо яккристал ҷудо кардани дастаи нейтронҳои монохроматикиро барои ченкуниҳои гуногун истифода бурдан мумкин аст, масалан барои муайян кардани арзи самаранокӣ ё ин ки барои омӯхтани таркиби модаҳои гуногун. Дар расми 6.6.3.3 реҷаи спектрометри нейтронҳои лабораторияи миллии Аргон дар ИМА нишон дода шудааст, ки дар натиҷаи аз булӯр инъикос шудан дастаи нейтронҳои монохроматикӣ ба нишона меафтанд. Бо модаи полибулӯрӣ тадқиқот гузаронида шуд ва нейтронҳое, ки аз нишона пароканиш мешаванд, қайдгирак ба қайд мегирад. Қайдгиракро дар атрофи нишона чарх занонида, тақсимшавии кунҷи нейтронҳои пароканишшударо кашидан (сабт кардан) мумкин аст. (расми 6.6.3.4)



Расми 6.6.3.3. Реҷаи спектрометри нейтронҳо, ки дар дастаи нейтронҳои аз реактори атомӣ бароянда гузошта шудааст: 1-кристал; 2-модаи поликриталлӣ; 3-қайдгирак.

Кунҷи пароканиш θ ва дарозии мавҷи нейтронҳои ба нишона афтандаро дониста, барои ҳар як қулла муайян кардани масофаи d байни ҳамвориҳо душворӣ надорад, пас ҳаман қуллаҳои индексҳои

Миллерро аз нав аломатбандӣ карда, бо системаҳои муайяни ҳамвориҳо муқоиса мекунанд.

Ҷойгиршавии қуллаҳо ва масоҳати нисбии онҳо ва васеъгӣ метавонад оид ба таркиби модаи тадқиқоти хеле зиёд равшанӣ андозад.

Тафриқаи энергиявиро ҳангоми пароканиши нейтронҳо дар монокристал бо ду омили асосӣ муайян мекунанд: паршии кунҷҳо ва номукаммалии таркиби булӯр; қимати омили якумро бо осонӣ баҳо додан мумкин аст, агар аз таносуби (6.6.1.2) дифференсиал гирем:

$$\Delta\lambda/\lambda = ctg\theta\times\Delta\theta, \qquad (6.6.3.4)$$

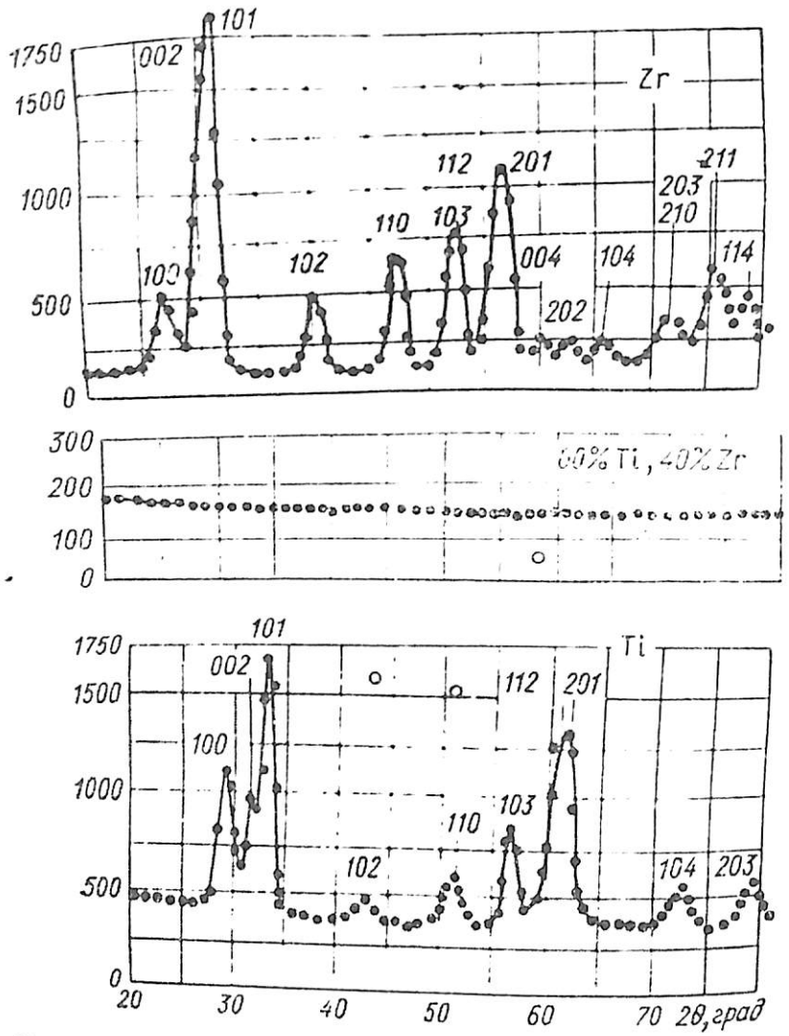
Равшан аст, ки аз баробарии dE/E=2d λ/λ ва таносуби пешина баробарии охиронро дигаргун сохтан мушкил нест:

$$\Delta E/E = 2\Delta\theta\sqrt{E/E_{cap} - 1}, \qquad (6.6.3.5)$$

дар инҷо E_{cap}- энергияи нейтронҳои мувофиқ бо дарозии мавҷи сарҳадӣ (6.6.2.1):

$$E_{cap} = 0.268^2/\lambda^2_{cap.} = 0.0205/d^2. \qquad (6.6.3.6)$$

Аз (6.6.3.5) бармеояд, ки ин усул тафриқаи хеле зиёдро ҳангоми $E\approx E_{cap}$ будан таъмин мекунад ва бо афзоиши энергияи нейтронҳо тафриқа тез бад мешавад. Ҳамин тавр, дар боло ёдовар шудем, ки булӯри LiF ҳангоми $\theta = 0.5^0$ва энергияи миёнаи нейтронҳои ҳароратӣ 0.03 эВ будан, аз таносубҳои (6.6.3.5) ва (6.6.3.6) маълум мешавад, ки $\Delta E/E\approx 5\%$ аст, он гоҳ дар энергияи як эВ, $\Delta E/E\approx 30\%$-ро ташкил мекунанд. Барои қимати хурди d тафриқа хеле аст, лекин интенсивияти даста чи тавре ки қайд кардем кам мешавад. Нуқсҳои панҷараи кристал, инчунин тафриқаро ба таври назаррас бад мекунад. Ҳамин тавр, ин гуна кристаллҳоро кристалҳои кошинкорӣ меноманд, ки ба пайдоиши кунҷи иловагии пароканиши нейтронҳо меоварад, ки бо истифодабарии кристалҳои гуногун 3′(Ge) то $1.3^0(Fe_3O_4)$ тағйир меёбад. Равшан аст, ки кошинкории булӯр ба дараҷаи калон дар соҳаи кунҷи хурди майлкунӣ дар хатогии ченкуниҳо таъсир мерасонад, ки ба нейтронҳои нисбатан энергияшон калон мувофиқ мебошад, он гоҳ ҳангоми кор бо нейтронҳои энергияи хурд, кошинкорӣ мумкин пайдо нашавад.



Расми 6.6.3.4. Бо спектрометри кристаллӣ чен кардани таксимшавии кунҷи нейтронҳо, ки дар нишонии сирконий пароканиш шудаанд, куллаи сирконӣ бо титанҳо ва титан: ададҳои назди куллаҳо ба аломатҳои Миллер дар системаи ҳамвориҳои атомӣ мувофиқат мекунанд.

Ҳамаи омилҳои дар боло номбаршуда ба он оварда мерасонад, ки паҳнои энергия, ки спектрометри кристаллии истифодашаванда

аз поён $E_{сар}(0.003эВ)$ ва аз боло дар ҳолати бехтарин қиматҳои $E\approx10/20$ эВ-ро маҳдуд мекунанд. Барои баланд бардоштани қобилияти тасвирофарии баъзе дастгоҳҳо кристалҳои каҷкардашударо истифода мебаранд, ки онҳо дастаи нейтронҳоро дар як нуқта конундиҳӣ мекунанд. Ин имконият медиҳад намунаҳои ченакашон хеле хурдро, ки барои гузаронидани тадқиқотҳо ҳангоми ҷудо кардани изотопҳо хеле заруранд, истифода барем.

6.7. УСУЛИ ИСТИФОДАБАРИИ СПЕКТРОМЕТРИ НЕЙТРОНҲО БО ВАҚТИ СУСТШАВИ ДАР СУРБ

6.7.1. Асоси физикии усул

Дар раванди сустшавии нейтронҳо дар модаҳои вазнин ($A\gg1$) камшавии энергияи онҳо нисбати вақт бо таносуби зерин навишта мешавад:

$$d\left(\frac{\ln E)=\varepsilon ndt}{\lambda_s}\right), \qquad (6.7.1.1)$$

дар инҷо $\varepsilon\approx2/A$- сарфи энергияи миёнаи логарифмӣ, ҳангоми як бархӯрди чандирӣ бо ядро, λ_s - роҳи миёнаи байни ду рӯяи пароканиш; A-ададди массавӣ. Аз сабаби он ки арзи пароканиш аз энергияи нейтронҳо вобастагии кам дорад, таносуби (6.7.1.1)- ро интегронида ва $\lambda\approx$const қабул карда, таносуби зеринро ба даст меорем:

$$t = A\lambda_s(1/\vartheta - 1/\vartheta_0), \qquad (6.7.1.2)$$

дар инҷо ϑ_0 –суръати аввалаи нейтрон. Аз ин ифода маълум мешавад, ки дар фосидаи вақти дилхоҳи t муҳити вазнин баъди пайдоиши ҳамаи нейтронҳои дорои суръати аввалаи ϑ_0, ба суръати якхелаи ϑ соҳиб мешаванд. Дар ин маврид, агар ϑ_0 –бисёр калон бошад, он гоҳ:

$$t \approx A\lambda_s/\vartheta, \qquad (6.7.1.3)$$

яъне, вақти сустшавии нейтронҳо то суръати ϑ ба вақти парвози онҳо бо суръати додашуда дар баъзе масофаи парвоз ба $t_{сам} = A\lambda_s$ баробар аст. Дар натиҷа, чи тавре ки дар боло дида баромадем, мо-

нанди усули вақти парвоз ин усул ба натичаҳои хеле хуб оварда мерасонад. Ба сифати дарангсози (сусткунанда)-и нейтронҳо аз ҳама беҳтар сурбро истифода мебаранд, ки дорои вазни массавии калон буда, дар арзи фурӯбурди нейтронҳо хурд мебошад. Ҳангоми мукоиса кардан бо модаҳои вазнини дигар, сурб ба зинаи калони пароканиши ғайричандирӣ соҳиб мебошад. Барои сурб A=207, λ_s=2.9 см ва $t_{сам}$=6 м.

Аз гуфтаҳо маълум мешавад, ки агар дар блоки сурб манбаи импулсии нейтронҳоро ҷойгир карда, ба назди он қайдгиракро гузорем, он гоҳ аз вақти t байни дурахши нейтронҳо ва фосилаи пайдоиши импулс дар қайдгирак фаҳмидан мумкин аст, ки нейтрон бо кадом энергия ба қайд гирифта шуд:

$$E(t) = m_n A^2 \lambda_s^2 / 2(t + A\lambda_s/\vartheta_n)^2 \approx m_n A^2 \lambda_s^2 / 2t^2., \qquad (6.7.1.4)$$

дар инҷо m_n- массаи нейтрон. Агар энергияро бо электронволт (эВ) ва вақтро бо микросония чен кунем,, он гоҳ таносуби охиронро ба намуди зерин пешнишод менамоем:

$$E = 1.8 * 10^5/t^2. \qquad (6.7.1.5)$$

ё ин ки:

$$t = 4.25 * 10^2\sqrt{E}. \qquad (6.7.1.6)$$

Алоқаи якқиматаи энергия ва вақти дарангсозӣ кушода мешавад, онгоҳ имконияти ченкунии арзи самараноки ҳамтаъсироти нейтронҳо бо ядроҳо дар паҳнои васеъи энергия мегузарад.

6.7.2. Усули тафриқаи энергиявӣ

Нишон додан мумкин аст, ки аз баъзе хусусиятҳои оморӣ раванди дарангсозии нейтронҳо дар фосилаи вақти дилхоҳ ба баъзе паренонии суръатҳо соҳиб аст, илова бар ин

$$\Delta\vartheta^2/\vartheta^2 = 2/3A, \qquad (6.7.2.1)$$

ё ин ки:

$$\Delta\vartheta/\vartheta = \sqrt{2/3A}, \qquad (6.7.2.2)$$

Аз пареши нисбии энергия маълум мешавад, ки он ду маротиба калон аст:

$$\Delta E/E = \sqrt{8/3A}. \qquad (6.7.2.3)$$

Аз инҷо барои сурб $\Delta E/E = 0.11$. Маълум мешавад, ки тафриқаи энергиявии ин усул аз 11% беҳтар шуда наметавонад. Дар ҳақиқат, маълум мешавад, ки ҳатто вай бадтар шуда метавонад, ба сабаби дар соҳаи нейтронҳои сареъ ошкор шудани пареши энергияи иловагӣ, ки бо пароканиши ғайричандирӣ нейтронҳо бо ядрон сурб алоқаманд аст. Аммо дар энергияҳои хурди нейтронҳои ҳароратӣ атомҳои сурб таъсири худро сар мекунанд, ки он ба новозеҳшавии хатҳои спектралӣ меоварад. Амалан тафриқаи усули бадастоварда дар энергияҳои гуногун бо рақамҳо дар ҷадвали 6.7.2.1 оварда шудааст

Ҷадвали 6.7.2.1

Тафриқаи энергиявӣ ҳангоми ченкунии арз дар кубӣ сурб

Энергияи нейтронҳо, кэВ	Тафрика, %
20	61
10	36
1	16
10^{-3}	26

Аён аст, ки тафриқаи ин усул нисбати тафриқаи усули вақти парвоз хеле беҳтар мебошад, бо вуҷуди он аз ҷиҳати интенсивият бартарии хеле баландро дорад, ки истифодабарии онро барои як қатор ченкуниҳо ошкор мекунад. Вобаста ба ин аз ҷадвали 6.7.2.1 маълум мешавад, ки яке аз усулҳои бо муваффақият истифодашаванда дар паҳнои энергияи аз 1 эВ то 20-30 кэВ мебошад.

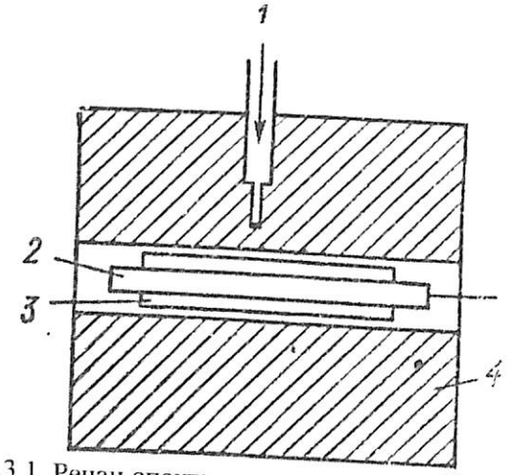
Барои баланд бардоштани сарҳади болои паҳнои энергияи додашуда манбаеро истифода бурдан мумкин, ки нейтронҳои энергияшон аз савияи якуми сурб поён бударо диҳад, то ки таъсири пароканиши ғайричандириро кам кунем. Аз тарафи дигар афсӯс, ки интенсивияти ин гуна манбаҳо нисбати манбаҳои нейтронҳои сареътар, ки ба истифобарии реаксияи (d,n) асос шудааст, хеле кам-

тар мебошад. Бинобар ин истифодабарии онҳо ба сарфи асосии бартарии усул оврда расониданаш мумкин аст.

6.7.3. Спектрометр бо вакти дарангсозии нейтронҳо дар сурб

Ин навъи спектрометрро дар Институти физикаи ба номи П.И. Лебедев (Федератсияи Россия) ба таври васеъ истифода мебаранд.

Якумин дастгоҳ дар асоси усули навинташудаи спектрометри нейтронҳо аз тарафи гурӯҳи физикҳо бо роҳбарии Ф.Л. Шапиро сохта, ба кор дароварда шуд. Ин дастгоҳ аз паралеллопипеди сурбӣ (бо ченкунии тарафҳо 2×2.3 м, вазни умумии сурб наздик ба 110 тонна) бо ду канал иборат аст. Дар яке аз ин каналҳо нишонаи генератори нейтронҳо ҷойгир аст (расми 6.7.3.1), ки аз реаксияи $H^3(d,n)He^4$ кор мекунад, дар канали дуюм қайдгирак ҷой карда шудааст, ки гамма- афканишотро ба қайд мегирад.



Расми 6.7.3.1. Реҷаи спектрометр нисбат бо вакти сустшавии нейтронҳо дар сурб: 1-суръатфизо; 2-қайдгирак; 3-намуна; 4-сурб.

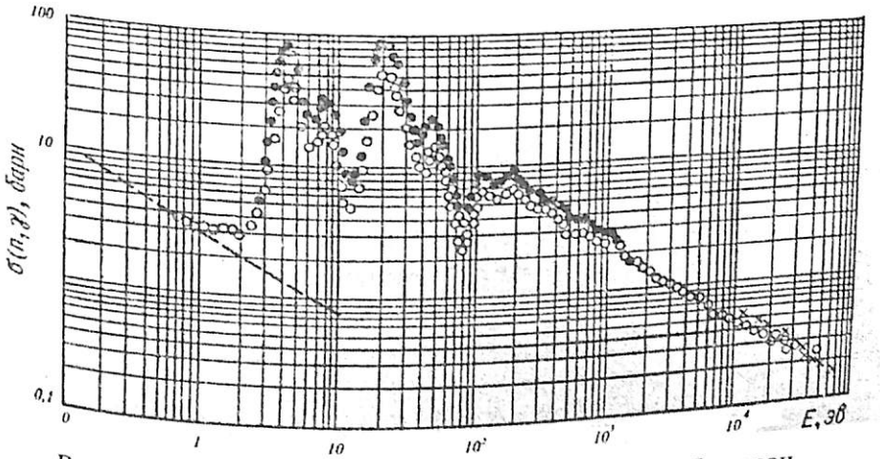
Генератори нейтронҳо дейтронҳоро дар ҷараёни импулсҳо наздик ба 3 мА то энергияи 300 кэВ мешитобад. Ин параметрҳо интенсивияти пайдоиши нейтронҳоро тахминан $3 \cdot 10^{11}$ нейтрон/сония таъмин мекунанд, ки дар давомияти импулсҳо 2 мксон пайдошавии наздик ба $6 \cdot 10^5$ нейтронҳо дар як дурахшро медиҳад. Басомади

такроршавии дурахш дар ҳудуди васеъ метавонад тағйир ёбад, аммо набояд аз 1650 Гс зиёд шавад, барои он ки дар ин гуна басомад паҳнои байни дурахшҳо ба вақти сустшавии нейтронҳо то энергияи 0.5 эВ баробар аст, бинобар ин дар басомадҳои калон пайдошавии нейтронҳои ресиклкӣ, нейтронҳои зерикадмӣ аст.

Натиҷаҳои ченшуда бо ёрии дастгоҳи додашуда, арзи қаппиши нейтрон бо ядрои волфрам дар расми 6.7.3.2. оварда шудааст.

Доираҳои сиёҳ ва сафед бо намунаҳои ғафсиашон гуногун натиҷаҳои ду савияи ченкуниҳо нишон медиҳанд. Барои муқоисаи булӯрҳо натиҷаҳои корҳои дигар низ оварда шудааст ва бо хатчахатча чен кардани арз аз қонуни 1/ϑ, иҷро шудааст

Аммо спектрометрҳое, ки бо усули вақти парвоз кор мекунанд, дорои тафриқаи энергиявии калон ва самаранокии баланд мебошанд. Аз тарафи дигар, истифодабарии кубӣ сурб ба сохтори асбоби хеле оддӣ ва қулай меоварад, ки инро ченкуниҳои бисёркаратаи муваффақиятнок тасдиқ мекунанд.



Расми 6.7.3.2. Вобастагии арзи қапиши нейтронҳо бо ядрои волфрам аз энергия, ки тавассути спектрометр бо вақти сустшавӣ дар сурб чен шудааст.

БОБИ VII.
ВАЗИФАҲОИ АСОСИИ ДОЗАСАНҶӢ

7.1. ДОИМИҲОИ АСОСИИ ФИЗИКӢ

Заряди электрон	$e=4,805\ 10^{-10}$ воҳиди электростатикӣ
	$e=1,602\ 10^{-19}$ воҳиди электромагнитӣ
	$e=1,9\ 10^{-19}$ кулон.
Массаи электрон	$m_e=9,106\ 10^{-31}$ кг.
Массаи протон	$m_p=1,6724\ 10^{-27}$ кг.
Массаи нейтрон	$m_n=1,6749\ 10^{-27}$ кг.
Массаи атоми ҳидроген	$m_x=1,6734\ 10^{-27}$ кг.
Массаи алфа зарра	$m_\alpha=6,6444\ 10^{-27}$ кг.
Адади Авогадро	$N_A=6,02338\ 10^{23}$ мол$^{-1}$
Доимии Планк	$h=6,6238\ 10^{-34}$ Ҷ.с.
Суръати рушноӣ дар холиӣ	$c=2,9979\ 10^{8}$ м/с.
1 электронволт	1 эВ=1,60256 10^{-19} Ҷ.
1 мегаэлектронволт	1МэВ=1,60256 10^{-13} Ҷ.

Изотопҳо – атомҳое мебошанд, ки рақами тартибиашон якхела, вале адади массавишон гуногун аст: Z=const, A≠const. Мисол $_{26}Fe^{56}$, $_{26}Fe^{57}$ ва ғайраҳо;

Изобарҳо – атомҳое мебошанд, ки адади масаашон якхела, вале рақами тартибиашон гуногун аст: Z≠const, A=const, мисол: $_{56}Ba^{140}$, $_{57}Ba^{140}$ ва ғайраҳо;

Изомерҳо – атомҳое мебошанд, ки рақами тартиби Z ва адади массавии A якхела (Z=const, A=const), аммо хосияти гуногуни радиофаъол, навъ ва энергияи афканиш ва даври нимкоҳиши гуногун доранд; мисол: барои $_{27}Co^{60m}$,T=5,3 сол; барои $_{27}Co^{60}$, T=10,7 дақиқа:

Изотонҳо – атомҳое мебошанд, ки адади нейтронҳояш якхела N= A-Z, аммо адади массавиашон гуногун аст: $_{15}P^{30}$ ва $_{16}S^{31}$.

Дозасанҷӣ соҳаи физикаи амалӣ буда, бузургиҳои физикӣ, тавсифи таъсири афканишоти иониро дар объектҳои зинда ва табиати ғайризиндаро меомӯзад, аз ҷумла дозаи афканишот ва усулҳои ченкунии асбобҳои қайдгирандаи ин бузургиҳо.

Қисме аз дозасанҷӣ ин зарурати ҳимояи инсон аз ионизатсия аст. Соли 1895 баъди ихтирои нурҳои ретгенӣ, нургирии инсон ва дигар падидаҳои биологии зарурати миқдоран баҳододани дараҷаи бехатарии радиатсионӣ ба миён омад. Ба сифати меъёри баҳодиҳии сифатӣ дозаи экспозитсионӣ қабул шуд, ки он бо ретген чен карда мешавад.

Ихтирои бета- ва гамма-радиофаъоият падидаи биологиеро ба вуҷуд овард, ки онҳо ба падидаҳои бавуҷудоварандаи таъсири рентгенӣ монанд буданд. Ҳангоми ҳосил намудан, коркард ва истифодабарии манбаҳои радиофаъол хатарҳое ба миён омаданд, монанди афтиши модаи радиофаъол ба дохили организм.

Коркард ва сохтани реакторҳои ядрӣ, суръатфизоҳои заррачаҳои заряднок, тараққиёти энергетикаи ядрӣ, истеҳсоли хеле зиёди изотопҳои радиофаъоли навъҳои гуногуни афканишоти ионӣ ба аз нав коркард кардани асбобҳои гуногуни дозасанҷӣ заминаи гузошт.

Тадқиқоти таъсири биологии афканишоти ионӣ ба ҳуҷайра ва савияҳои гуногуни молекулавӣ ба пешрафти микродозасанҷҳо, омӯзиш ва инкишофи он ва додани энергияи афканишоти ба модаҳои микротаркиб оварда расонид.

Ҷойи асосиро дозасанҷии биологӣ ишғол мекунад, ки ба сифати андозаи бузургии дозасанҷӣ миқдори эффекти радиобиологӣ қабул шудааст, мисол, аберратсияи хромосома (хромосома-қисми ядрои ҳуҷайраи организмҳои ҳайвонот ва наботот, ки шомили маълумоти ирсӣ мебошад), тағйирёбии морфологияи таркиби хун ва дигар нишондодҳо, айнан бо дозасанҷии ионӣ алоқаманд мебошад.

Усулҳои дозасанҷии афканишоти иониро аз рӯи аломатҳои гуногунашон ба синфҳо ҷудо намудан мумкин аст, ки вобаста аз навъи падидаи бақайдгирифташуда фарқ мекунад: ионизатсияи расмгирӣ, химиявӣ, люминессентӣ, калориметри, синтилатсионӣ ва ғайра.

7.2. РАДИОФАЪОЛИЯТ ВА НАВЪҲОИ АФКАНИШОТ

Ҳодисаи радиофаъолият (радиоактивият), ё худ ба худ ионшавии ядро, соли 1986 аз тарафи физики франсуз Беккерел ошкор

карда шуд. Вай ошкор кард, ки уран ва пайвастагиҳояш аз худ нур ё зарра хориҷ мекунад, ки онҳо аз мағзи чисмҳои ношаффоф мегузаранд ва қобилияти фотолавҳачаро равшан намудан доранд. Баккерел нишон дод, ки интенсивияти афканишот танҳо ба ғаноиши уран мутаносиб буда, аз шароити беруна (ҳарорат, фишор ва аз он, ки уран дар ягон пайвастагиҳои химиявӣ мавчуд аст ё нест) вобаста нест.

Физикони англис Э.Резерфорд ва Ф Содди исбот намуданд, ки дар ҳамаи равандҳои радиофаъолият ба ҳам табдилёбии атому ядроҳои дар элементҳои химиявӣ мегузарад. Омӯхтани хосияти афканишоти ин равандҳо дар майдони магнитӣ ва электрикӣ гузаронида мешавад ва нишон дод, ки ба алфа-зарра (ядрои ҳелий, бета-зарра (электронҳо) ва гамма-нурҳо (афканишоти электромагнитии дарозии мавҷи хурдтарин дошта) тақсим мешавад. Раванди аз атому ядро хориҷ гардидани алфа, бетта, гамма-нурҳо ё дигар заррахо, радиофаъолияти ядро номида мешавад. Дар табиат 272 атому ядрои устувор мавҷуд ҳаст.

Радиофаъолият ҳолати атому ядроро муайян мекунад. Барои ҳолати ядрои эҳтимолияти коҳиш дар воҳиди вақт бузургии доимӣ мебошад.

Алфа-коҳиш. Энергияи бандиши ядро устувории онро ба коҳиши қисмҳои алоҳида тавсиф медиҳад. Агар энергияи бандиши аз энергияи бандиши маҳсули коҳиши он хурд бошад, пас ядро метавонад худ ба худ коҳиш ёбад. Дар алфа-коҳиш алфа-зарра тамоми энергияро бо худ мебарад ва танҳо 2% он ба ядрой дуюмин дода мешавад. Дар алфа-коҳиш адади массавӣ ба 4 бузургӣ ва рақами атомӣ ба ду воҳид тағйир меёбад.

Энергияи алфа-заррахо аз 4 то10 МэВ-ро ташкил медиҳад. Азбаски алфа-зарра дорои масса ва заряди калон мебошад, бинобар он дарозии дави озоди он дар ҳаво хурд аст. Мисол, дарозии дави озоди алфа-зарра, ки ядрои уран хориҷ мекунад, дар ҳаво ба 2,7 см, аз радий ба 3,3 см баробар аст.

Бета-коҳиш. Ин раванди табдилёбии як ядро ба ядрои дигар бо тағйирёбии адади тартибӣ ва тағйир наёфтани адади массавӣ, мебошад. Се намуди бета-коҳишро фарқ мекунанд: электронҳо, позиронҳо ва рабоиши электрони мадорӣ. Навъи коҳиши охирон ҳамчун К - рабоиш қабул карда шуда аст, барои он, ки дар он маврид эҳтимолияти фурӯбарии электрон аз К-кабат ба ядро калон аст, зеро К- кабат ба ядро наздиктарин аст. Инчунин, фурӯбурди электронҳо аз L ва М- кабат низ мумкин аст, аммо эҳтимолияти дар ядро фурӯравии онҳо хеле хурд аст. Даври нимкоҳиши ядрое, ки бетта зарра меафканад, дар миқёси хеле васеъ тағйир меёбад.

Шумораи ядроҳои бета-фаъол, ки дар замони ҳозира маълум аст, наздик ба якуним ҳазор, аммо танҳо 20-тои он изотонҳои бета-фаъоли табиӣ мебошанд, боқимонда ядро бо роҳи сунъӣ ҳосил карда мешавад. Ҳангоми коҳиш бефосила-тақсимшавӣ аз рӯи энергияи кинетикӣ, ки электронҳо хориҷ мекунанд, маънии онро дорад, ки якҷоя бо электрон, антинейтрино низ хориҷ мешавад. Агар антинейтрино намебуд, он гоҳ электрон қатъиян импулси муайяне медошт, ки ба импулси ядрои қафорафта баробар аст. Возеҳан кандашавии спектр дар қимати энергияи кинетикие мушоҳида мешавад, ки ба энергияи бета-коҳиш баробар аст. Дар ин мавриди энергияи кинетикии ядро ва антинейтрино баробари сифр мешуд ва электрон ҳамаи энергияи дар реаксия чудошударо бо худ мебурд. Ҳангоми коҳиши электронӣ рақами тартибии ядрои боқимонда аз ядрои ибтидоӣ як воҳид зиёд мегардад, вале ин раванд бо нигоҳ доштани адади массавӣ сурат мегирад; ин маънои онро дорад, ки дар ядрои боқимонда адади протонҳо ба як воҳид меафзояд ва адади нейтронҳо баръакс, якто кам мешавад: N=A - (Z+1).

Бета-коҳиши позитронҳо. Дар коҳиши позитронҳо адади пурраи нулонҳо нигоҳ дошта мешавад, аммо аз ядрои ибтидоӣ ядрои охирон як нейтрон зиёд дорад. Ҳамин тавр, коҳиши позитронҳо мумкин аст ҳамчун реаксия табдилёбии як протони дохили ядро ба нейтрон ва хориҷшавии позитрон ва нейтрино гузарад.

Рабоиши электронҳо. Рабоиши электронҳо ин раванди фурӯбарии электронҳои мадорӣ аз тарафи ядро аст. Азбаски эҳтимолияти калонтарини рабоиши электрон аз мадоре, ки ба ядро наздик ҷойгир аст, яъне эҳтимолияти калонтарин фурӯбурди электрони К-қабат, бинобар ин равандро К-рабоиш меноманд.

Эҳтимолияти хурдтарини рабоиши электронҳо хоси L, М-қабат аст. Баъди рабоиши электрон аз К-қабат якчанд гузариши электронҳо аз мадор ба мадор ичро шуда, бо хориҷшавии кванти рентгенӣ меорад, ки ҳолати атомии нав пайдо мешавад.

Гамма-кохиш. Ядрои устувор дар ҳолати энергияи пасттарин қойгир аст. Ин ҳолатро асосӣ меноманд. Аммо бо роҳи нурбориши атому ядро бо заррахои гуногун ё протонҳои баландэнергия ба онҳо энергияи муайян додан, инчунин онҳоро ба ҳолати энергияи баланд гузаронидан мумкин аст. Дар муддати як чанд вакт аз ҳолати ангезиш ба ҳолати асосӣ гузашта, атому ядро метавонад зарра ё агар энергияи ангезиш зиёд бошад, афканишоти электромагнитии энергияи баланди гамма-нур хориҷ кунад.

Азбаски ядрои дар ангезишбуда дар ҳолати энергии дискретӣ карор дорад, онгоҳ гамма-афканишот спектри хаттиро медиҳад.

Афканишоти радиофаъол дар се намуд дучор мешавад: алфа-бета-гамма - афканишот.

Алфа – афканишот (алфа- зарра) дар майдони электрикӣ ва магнитӣ майл мекунад. Қобилияти ионкунандагии калон ва аз мода гузариши хурдро дорад. Дар лавҳаи алюминии ғафсиаш 0,05 мм фурӯ меравад.

Алфа- афканишот дастаи ядрои гелион мебошад.

Бета- афканишоти дар майдони электирикӣ ва магнитӣ майл мекунад. Қобилияти ионкунандагии онҳо нисбати алфа- заррахо хеле хурд (тахминан ба ду дарача) мебошад. Қобилияти фурӯравӣ дар қоғази алюминии ғафсиаш 2мм хеле калон мебошад.

Бета - афканиш дастаи электронҳо ва позитронҳо мебошад. Зариби фурӯбарии бета- афканишот на танҳо аз хосияти мода, балки аз андоза ва намуди он вобаста аст.

Гамма- афканишот дар майдони электрикӣ ва магнитӣ майл намекунад. Қобилияти ионкунандагии кам дорад гузариш аз мода хеле калон аст. Мисол, аз ғафсии 5 см сурб мегузарад. Ҳангоми гузариш аз модаи кристаллӣ ходисаи дифраксияи гамма -афканишот мушоҳида мешавад. Гамма-афканиш ин мавҷи кӯтоҳи электромагнитӣ буда, дарозии мавҷаш хеле хурд мебошад. Дар аксарияти модаҳои радиофаъол раванди афканишоти гамма-нурҳо руй медиҳад.

Давраҳои аввали тадқиқоти афканишоти модаҳои радиофаъолро бо гузариши афканишоти рентгенӣ дучор шуда будем, ки дар ҳаво паҳн мешавад. Бинобар он барои сифатан ва миқдоран баҳодиҳии ионизатсияи ҳаво ва афканишот бисёр солҳо ченкуниро бо қайдгиракҳои махсус ба монанди лӯлаи рентгенӣ истифода мебурданд. Баъдтар ба сифати дозаи экспозитсионӣ - рантген қабул

шуда буд, ки 1р=2 109 ҷуфти ионҳо/см^3 аст, яъне ин бузургӣ дар 1см^3 бузургии ҳаво ва фишори атмосферӣ муайян карда шудааст.

Омӯхтани оқибатҳои нургирии организми зинда ба чунин хулоса овард, ки эффекти радиобиологӣ на танҳо аз дозаи фурӯбурд, балки аз дигар омилҳо низ вобастааст. Дар дозаи фурӯбурди якхела чи қадаре, ки ионизатсияи афканишот пуркувват бошад, хамон қадар эффекти радиобиологӣ баланд мешавад. Барои ба ин гуна таъсирро миқдоран баҳо додан мафҳуми дозаи эквивалентиро дохил намуданд, ки зеверт (зв) аст. Дар баъзе ҳолатҳо воҳиди дигари дозаи эквивалентиро истифода мебаранд, ки он эквиваленти биологии рантген- ЭБР (1Зв=100 эбр) ном дорад.

7.3. ВАЗИФАИ АСОСИИ ДОЗАМЕТРӢ

Вазифаи асосии дозасанҷӣ ин муайян намудани дозаи афканишот дар маводи гуногун, муҳит ва асосан дар бофтаҳои организмҳои зинда бо мақсади ошкор намудан, баҳодиҳӣ ва огоҳ намудан аз пайдоиши хатари радиатсионӣ барои инсон мебошад. Ба ибораи дигар гӯем, вазифаи асосии дозасанҷӣ, таъмини бехатарии радиатсионӣ ҳангоми гузаронидани кор дар шароити афканиши ионӣ баҳисоб меравад.

Дасгоҳи энергетикаи ядрои бехатар ҳисобида мешавад, агар таъсири радиатсионии он ба коргарони касбӣ, аҳолӣ ва муҳити атроф дар ҷараёни дуруст кор фармудан вобаста ба лонҳаи садама ва зиёдшавии дозаи нургирии коргарони касбӣ, аҳолӣ ва меъёр барои партовҳо ва партофти модаҳои радиофаъол дар муҳити атроф безарар бошад; нчунин агар маҳдудияти ин таъсирот ҳангоми садамаи ғайрилоиҳавӣ зарар набиёрад. Ин талабот ҳангоми гузаронидани кор бо манбаҳои афканиши ионӣ ичро мешавад, агар истифодабарии меъёр ва қоидаи махсус дар бораи бехатарӣ хуб ба роҳ монда шавад.

7.4. ДОЗАИ РАДИАТСИОНИ БАРОИ МАССАИ БУҲРОНӢ

Зарари радиатсия ба инсон аз миқдори энергияи фурӯрафта, ки организми инсон қабул мекунад, вобаста мебошад. Ин энергия бо қайдгиракҳои махсус чен карда мешавад.

Зарар ба аҳолӣ аз ҷамъи дозаи шахсии нургирии ченшуда баҳо дода мешавад. Воҳиди дозаи нурбориш, ки аҳолӣ қабул мекунад, грей аст. Он миқдори ионизатсияро дар муҳити таъсирот ба вуҷуд меорад, ки дар натиҷаи таъсири радиатсия чен карда мешавад ва бузургии ченшавандаи физикӣ мебошад. Омилҳои дигар, масалан навъҳои радиатсия (алфа, бета ва ғайра), қисми организми зарардида ро ҳамчун эффекти биологии нургирӣ муайян мекунанд. Бо назардошти ин омилҳо бузургии дигари дозаро низ чен карда истифода мебаранд, ки он зиверт аст. Ҳангоми баҳо додани зарари гурӯҳи аҳолӣ нишондоди инсон- зивертро истифода мебаранд. Дозае, ки аҳолӣ қабул мекунад, бо инсон- грей ва инсон-зиверт чен карда мешавад.

Дар вақти истифодабарии конҳои уран воҳиди дигари дозаро истифода мебаранд, монанди савияи корӣ; ин миқдори маҳсули коҳиши радон (инчунин элементи духтарӣ)-и дар як литр ҳаво мавҷудбуда аст, ки бо афканиши алфа-зарра 130 млрд. электронволт энергия ба вуҷуд меоварад. Агар элементи духтарии радон дар ҳамаи ҳолатҳо баробарвазн бо радони дар ҳаво мавҷудбуда бошад (яъне, агар радон дар ҳаво дар вақти муайян истад), он гоҳ тахминан 100 пикокюрӣ (3,7 беккерел) радон ба як литр ҳаво дар як рӯзи кориро ташкил мекунад. Коргаре, ки дар кони уран кор мекунад, ҳангоми як маротиба нафас гирифтан ва дар давоми як моҳи корӣ (170 соат) ба ин савияи дозаи қабулкарда баробар мешавад.

Манбаҳои дозаи радиатсионӣ метавонад модаҳое бошанд, ки берун аз организми инсон мавҷуданд. Модаҳои радиатсионӣ бо роҳи хӯрок хурдан, об нӯшидан, нафас гирифтан ё бо роҳи дигар низ, масалан ҳангоми ягон қисми баданро буридан, харошидан ё ҷарроҳӣ намудан ба организми инсон дохил мешаванд.

Баҳо додани дозаи радиатсионӣи беруна бо мавҷуд будани асбобҳои ченкунанда ба қайдгирифтани гамма- афканишот ё бета-зарраҳо нисбат ба чен намудани дозаи радиатисионии аз манбае, ки дар дохили организми инсон аст хеле осонтар мебошад. Ченаки дозаи аз шакли химиявӣ мода, роҳи дохилшавӣ ва ҷойи ишғол намудани он дар организм, инчунин аз суръати ҷудошавии он аз организм ё дигар омилҳо вобаста аст. Омӯхтани ҳодисаи баромади радионуклидҳо аз организм душвор аст; онро танҳо тахминан бо консепсияи «нимкоҳиши биологӣ» шарҳ додан мумкин аст, ки ин

раванд бефосила буда, вақтеро тавсиф мекунад, ки дар ин вақт нисфи маводи радиатсионӣ аз организм ҷудо мешавад.

Ҳангоми баҳо додани дозаи аз модаҳои радиофаъоли табиӣ, ки бора чен намудани миқдори радионуклидҳо дар организм бо таври амалӣ мумкин нест. Барои ин зарур аст, ки модели комплексии компютерро татбиқ намоем. Дар шароити мавҷуда аксар вақт миқдори зиёди бузургиҳои ба ҳам алоқаманд, ки вобастагии ин бузургиҳо номуайянанд, дучор меоянд. Бинобар ин модели компютериро истифода бурдан муфид аст. Ин асосан барои баҳо додани доза, ки аҳолӣ қабул мекунанд, хатарнок аст. Дар атрофи объекте, ки манбаҳои радиатсионӣ мавҷуданд, якбора чен намудани доза ё ҷамъшавии онҳо дар маводи радиофаъоли организм номумкин аст. Аммо миқдори радионуклидҳое, ки дар хӯрока, об, ҳаво мавҷуданд, чен намудан мумкин аст. Агар ин ченкуниҳо бодиққат гузаронида шаванд, барои баҳо додани дозаи гирифташуда кӯмаки калон мерасонад. Агар ҷамъшавии радионуклидҳо дар дохили организм бисёр калон бошад, аз усули ҳисоби доза аз ҳаман организм ва ташхиси пешоб истифода бурдан мумкин аст.

7.5. ДОЗАСАНҶИИ ДАРМОНГОҲӢ

Дозасанҷии дармонгоҳи (клиникӣ) - қисми дозасанҷии афканишоти ионӣ буда, ба қайд гирифтан, чен намудан ва ҳисоби бузургиҳои дозасанҷиро меомӯзад, ба монанди: эффектҳои физикӣ ва биологӣ, инчунин нургирии касалҳоро тавсиф мекунад, ки номи терапияи нурӣ (муолиҷаи касалиҳои дарунӣ бо усулҳои ҷарроҳӣ)-ро гирифтааст. Вазифаи асосии дозасанҷии клиникӣ миқдоран дар фазо ва вақт навиштани тақсимшавии энергияи фурӯбурди афканишот дар ҷисми касалие, ки нурбориш шудааст ва инчунин дар ҷустуҷӯ ва асоснок намудан, интихоби шароити бехтарини нурбориши шахсӣ мебошад.

Майдони доза- ин тақсимшавии фазогии дозаи фурӯбурд ё тавсифи он дар қисми нургирифтаи ҷисми касал мебошад. Ахбор дар бораи майдони доза ба намуди ҷадвал, матриса ва инчунин ба намуди қаҷхаттае, ки нуқтаҳои ҳаман онро ба ҳам мепайвандад (мутлақ ё нисбӣ), дозаи фурӯбурдро мефаҳмонад. Ин гуна хатҳои қаҷро изодоза меноманд ва онҳо ба таври харитаи изодоза

ифода карда мешавад. Ба сифати воҳиди шартӣ (ё ки 100%) дозаи фурӯбурдро дар нуктаи дилхоҳи майдони доза қабул намудан мумкин аст, аз ҷумла, дозаи фурӯбурди максималӣ, ки бояд ба нургирии нишона мувофиқ бошад.

Ба шакл овардани майдони доза вобаста аз намуд ва манбаи афканишот аз ҷои нургирӣ (берунӣ, дохилӣ, амортӣ, ҳаракаткунанда ва ғайра) ҷисман ба шакл даровардани касалӣ, инчунин аз намуди асбоби терапевтии радиатсионӣ вобаста аст. Бинобар он дар таркиби ҳуҷайраҳои асбоби техникӣ атласи майдони доза ба таври амали пешниҳоду истифодабарии онҳо дохил мешавад. Дар мавридҳои лозима (барои роҳҳои нав ва нақшаи мураккаби нургирӣ) дар муассисаҳои муолиҷавӣ ченкунии фантоми майдони доза ба таври ҷиддӣ иҷро карда мешавад. Барои ин дозасанҷҳои клиникии ҳаҷман хурди камераи ионизатсионӣ ё дигар қайдгиракҳо ба монандӣ: нимноқилӣ, гармолюминессентӣ, таҳлилкунакҳои майдони доза ё изодозаграфиро истифода мебаранд. Қайдгиракҳои гармолюминессентиро барои назорати дозаи фурӯбурди касалиҳо истифода мебаранд.

Физикаи ядроии амалӣ, технология ядрои манбаҳои афканишоти иониро дар истеҳсолот ба таври васеъ дар соҳаҳои гуногуни илм ва техника истифода мебарад. Дозасанҷии афканишоти ионӣ қисми мустақими физикаи амалии ядрои мебошад. Усулҳои дозасанҷӣ ва ҳимоя аз афканишоти ионӣ дар ҳама соҳаҳо, махсусан дар ҷойҳое, ки аз манбаҳои радиофаъол истифода бурда мешавад, татбиқшаванда мебошанд. Аз ҷумла, онҳо дар энергетикаи атомӣ ҳангоми лоиҳакашӣ, истифодабарӣ ва аз кор қатъ намудани дастгоҳҳои энергиявии ядрои васеъ кор фармуда мешаванд. Дозасанҷӣ бо чунин бузургиҳои физикавӣ алоқаманд аст: эффекти радиатсиони чашмдошт, барқарор намудан алоқаи байни бузургии физикавии ченшаванда ва чашмдошти эффекти радиатсионӣ, ки хусусияти асосии бузургии дозасанҷӣ аст.

7.6. МАНБАҲОИ АФКАНИШОТИ РАДИОФАЪОЛИ ТАБИЙ

Аҳолии рӯи замин қисми асосии нурборишро аз модаҳои афканишоти радиофаъоли табиӣ мегирад. Аз ин навъи нурборишҳои

халосие нест. Дар таърихи мавҷудияти Замин навъҳои гуногуни афканишот дар сатҳи он аз кайҳон ва модаҳои радиофаъол дар замин мавҷуда ба организми ҷисми инсон таъсир мекунанд.

Инсон бо ду роҳ ба нурбориш дучор мешавад:

1) Модаҳои радиофаъоли берун аз организм мавҷуда онро аз берун нурбориш мекунанд, ки онро нурбориши беруна меноманд.

2) Афканишот метавонад ба ҳаво омехта шавад ва ҳангоми нафаскашӣ ё истеъмоли хӯрок, нӯшиданӣ об метавонад ба организм дохил шавад. Ин намуди нурбориш дохилӣ аст. Нурбориш аз манбаҳои радиатсияи табиӣ ба ҳаман истиқоматкунандагони курраи Замин таъсир мерасонад, як одам дозаи калон, одами дигар дозаи хурдтар мегирад, ки ин аз мавқеи истиқоматкунии онҳо вобаста аст. Савияи радиатсия дар баъзе ҷойҳои куран Замин вобаста ба навъҳои радиофаъолият аз қимати миёна ниҳоят баланд ва дар баъзан ҳолатҳо хеле кам аст.

Дозаи нургирӣ аз шароити зисти одамон вобаста аст. Истифодабарии баъзе лавозимоти сохтмонӣ, гази табиӣ барои тайёр намудани хӯрок, кушодани конҳои ангишт, мустаҳкам намудани хонаҳо барои ҳаво дохил нашудан, инчунин ҳангоми дар ҳавопаймо парвоз намудан-ҳамаи ин равандҳо аз ҳисоби манбаҳои радиатсионӣ ба савияи нургирӣ таъсир мерасонад.

Манбаҳои радиатсионии замин нурбориши калонро пайдо мекунанд, ки одам ин радиасияро аз ҳисоби радиатсияи табиӣ қабул мекунад; ба ҳисоби миёна аз 5 то 6 дозаи эквиваленти солонаро, ки аҳолӣ аз ҳисоби ин нурбориш мегирад, ташкил медиҳад. Қисми боқимондаи онро аҳолӣ аз ҳисоби нурбориши дохилӣ мегирад. Боқимонда аз ҳисоби нурҳои кайҳонӣ, асосан нурбориши беруна аст. Аввалан баъзе натиҷаҳои нурбориши берунаро аз ҳисоби манбаҳои кайҳонӣ дида мебароем.

Нурҳои кайҳонӣ. Радиатсияи бегонаи табииро нурҳои кайҳонӣ пайдо мекунанд, ки қисми нимаи хурди нурбориши беруниро ташкил намуда, онро аҳолӣ аз манбаҳои радиатсиони табиӣ қабул мекунад. Нурҳои кайҳонӣ асосан аз қаъри коинот меоянд, аммо баъзе онҳо аз дурахши офтоб низ пайдо мешаванд. Нурҳои кайҳонӣ ба сатҳи Замин мерасанд, ё ба атмосфера таъсир расонида, афканишоти дубораро ба вуҷуд меоваранд, ки сабаби пайдоиши

радионуклидҳои гуногун мегардад. Дар кураи Замин ҷойе нест, ки нурҳои кайҳонӣ ба чашм наафтанд. Дар баъзе қитъаҳои Замин нисбат ба дигар сатҳи он таъсир пуркувват аст. Дар шимол ва ҷануб радиатсия нисбат ба соҳаи экваторӣ калон аст ва ба сабаби мавҷудияти майдони магнитии Замин зарраҳои заряднокн нурҳои кайҳонӣ ба дигар тарафҳо майл мекунанд. Аммо муҳимтар он аст, ки савияи нурбориш бо афзудани баландӣ зиёд мешавад. Ҳаво, ки вазифаи лавҳаи ҳимоя аз нурборишро мебозад, дар инҷо хеле кам аст. Одамоне, ки дар соҳили баҳр истиқомат мекунанд, аз нурҳои кайҳонӣ ба ҳисоб миёна дозаи эквивалентии қариб 300мкЗв-солро қабул мекунанд; барои одамоне, ки аз сатҳи баҳр дар баландии 2000 м истиқомат мекунанд, бузургии ин доза якчанд маротиба меафзояд. Аз ҳама бештар нурбориши зиёди кӯтоҳмуддатро мусофирони ҳавопаймоҳо қабул мекуанад, ки дар баландии 4000 м парвоз мекунанд. Савияи нурбориш бо зиёд шудани баландӣ то 20000м аз ҳисоби нурҳои кайҳонӣ то 25 маротиба меафзояд.

7.7. МАНБАҲОИ АФКАНИШОТИ РАДИОФАЪОЛИ РӮИ ЗАМИН

Асосан изотопҳои радиофаъол дар ҷинсҳои кӯҳӣ вомехӯранд. Инҳо калий-40, рубидий-87 ва манбаҳо дар ду оилаи изотопҳои дарозумри радиофаъол аз уран-238 ва торий-232 дар таркиби Замин аз рӯзи пайдоиши он дохил мешаванд. Савияи радиатсия вобаста аз ғаноиши радиофаъолият дар қитъаҳои гуногуни қабатҳои Замин якхела набуда, дар ҷойҳои гуногуни курраи замин гуногун аст. Дар ҷойҳое, ки аҳолӣ зиёд зиндагонӣ мекунанд, онҳо тақрибан якхелаанд. Тавоноии дозаи эквивалентии фон аз модаҳои радиофаъоли табиии Замин ба ҳисоби миёна 1мЗв/сол ё наздик ба 0,12 мкЗв/соат-ро ташкил мекунад. Нургирии 5 мЗв дар як сол ё 0.5-0,6 мкЗв/соат барои аҳолӣ имконпазир аст (барои когарони касбии НБА- 10 маротиба зиёд), монанди дозаҳои гуногун, 0,1 то 0,2 Зв ҳангоми нурбориши садамавӣ. Ҳангоми гирифтани дозаи яккарата, аз 0,5 Зв сар карда, тағйирёбии кӯтоҳмуддати таркиби хун мушоҳида мешавад ва кори системаи рӯдаву маъда вайрон мешавад. Дар дозаи 1 Зв ва аз он бештар аломатҳои касалии нурии радиатсионӣ ба дараҷаҳои гуногуни вазнин мегузарад. Дозаи 4,8 Зв

нимдозаи марговар мебошад, яъне ҳангоми ин дозаро қабул намудан 50% одамони нурборишшуда ба ҳалокат мерасанд, дозаи 6 Зв дозаи марговар аст.

Дар асоси тадқиқоти гузаронидашуда дар Франсия, ФРГ, Италия, Япония ва США, тақрибан 95% аҳолии ин давлатҳо дар ҷойҳое истиқомат мекунанд, ки тавононии дозаи нурбориш аз 0,3 то 0,6 мЗв/сол-ро ташкил мекунад. Баъзе гурӯҳи аҳолӣ дозаи калони нурборишро мегиранд: тахминан 3% ба ҳисоби миёна 1мЗв/сол, тахминан 1,5% ва аз ин зиёд 1,4 мЗв/сол доза мегирад.

Манбаҳои нурбориши дохилӣ. Ба ҳисоби миёна тақрибан 2/3 дозаи самараноки эквивалентии нурбориш, ки инсон аз манбаҳои радиатсияи табиӣ мегирад, аз модаҳои радиофаъол дохил мешаванд. Ин радиатсия бо роҳи хӯрок, об ва ҳаво ба организм дохил мешавад. Қисми хурдтарини ин дозаро модаҳои радиофаъол карбон-14 ва тритий, ки бо таъсири нурҳои кайҳонӣ пайдо мешаванд, ташкил мекунанд. Ҳамаи боқимондаи манбаҳои радиофаъол аз қабатҳои Замин дохил мешаванд. Ба ҳисоби миёна одам наздик ба 180 мкЗв/сол аз ҳисоби Калий-40 доза қабул мекунад. Ин намуди изотопҳо барои фаъолияти ҳаёти организм даркор мебошанд. Дозаи калонтарини нурбориши дохилиро инсон аз радионуклидҳои U-238 ва қисми хурдтаринро аз Торий- 232 мегирад. Баъзеи инҳо, мисол, нуклидҳои сурб ва полоний, бо хӯрок ба организм дохил мешаванд. Онҳо асосан дар моҳӣ ва маҳсулоти ширӣ мавҷуданд, бинобар он одамоне, ки моҳӣ ва дигар маҳсулотҳои баҳрро истеъмол мекунанд. метавонанд, нисбатан дозаи зиёди нурбориш гиранд.

Даҳҳо ҳазор одамоне, ки дар минтақаи Шимоли кураи Замин зиндагонӣ мекунанд, асосан гушти гавазни шимолиро истеъмол мекунанд, ки дар таркиби он ғаноиши калони изотопи радиофаъоли сурб ва полоний мавҷуд аст. Асосан таркиби полоний-210 хеле кам аст.

Ин изотопҳо ба организми гавазнҳо дар фасли зимистон дохил мешаванд, ки хӯрокаи онҳо асосан гулсанг буда, дар таркибаш ҳарду изотоп мавҷуд аст. Дозаи дохилии нурбориши одам аз полоний-210 дар ин ҳолатҳо метавонад аз савияи миёна 35 маротиба зиёд шавад.

Одамоне, ки дар дигар минтақаҳои курраи Замин, аз ҷумла дар Австрияи ғарбӣ зиндагонӣ мекунанд, нурбориши зиёд аз ҳисоби уран дучор мегарданд; дар ин маврид онҳо дозаи нуборише мегиранд, ки 75 маротиба аз савияи миёна зиёд аст, барои он ки онҳо асосан гӯшти ишкамба ва рӯдаҳои ғафси кенгуриро истеъмол мекунанд.

БОБИ VIII.
ДОЗА, АЛОҚАМАНДИИ ФАЪОЛИЯТИ МАНБАИ РАДИАТСИОНӢ

8.1. ДОЗА, ТАВОНОИИ ДОЗА ВА ВОҲИДҲОИ ОН

Барои сифатан баҳо додани таъсири нурҳои ядрои ба мода, бояд бузургие мавҷуд бошад, ки дараҷаи нурборон намудани модаро тавсиф намояд. Ин гуна бузургӣ воҳиди доза мебошад. *Аз нуқтаи назари радиатсионӣ интихоби ингуна воҳид душвор аст,* зеро механизми таъсири мутақобили зарра бо мода аз энергия ва навъи он вобастагии калон дорад. Таъсири нурҳои ионӣ ба модаҳо гуногун аст. Барои баҳо додани энергияи фурӯбурдаи онҳо мафҳуми дозаи фурӯбурд қабул карда шудааст. Дозаи фурӯбурд (Д) энергияи нури ионӣ мебошад, ки ба воҳиди массаи модаи нурборонкарда фурӯ меравад:

$$DD = \frac{\Delta E}{\Delta m}, \qquad (3.1.1)$$

Дар инҷо ΔE энергияи афканишотест, ки дар модаи массааш Δm фурӯ меравад.

Воҳиди дозаи фурӯбурди нурҳои гуногун (алфа-гамма-бета ва ғайра нурҳо) рад мебошад.

1 рад = 0,01 ҷоул/кг = 100 эрг/г.

Яъне, дозаи фурӯбурди 100 эрг энергияе мебошад, ки ба як грамм модаи нурборонкардашуда сарф мешавад.

Дозаи нурборонкарда ($Д_{нк}$), ин ченаки афканишотест, ки ба қобилияти ионкунандагии ҳаво бо нури рентгенӣ ё гамма-нур асос ёфтааст:

$$Д_{нк} = \frac{\Delta Q}{\Delta m}, \qquad (3.1.2)$$

Дар инҷо ΔQ- миқдори зарядест, ки дар натиҷаи ионшавӣ ва вобаста ба афканишоти эмиссияи корпускулавӣ дар ҳавои массаш Δm пайдо мешавад.

Бузургии ин навъи дозаи нурборонкарда (ё ки дозаи экспозитсионӣ) миқдори афканишотеро, ки аз мода мегузарад,

ифода мекунад. Барои нури рентгенӣ ё гамма-нур воҳиди дозаи нурборонкарда - рентген мебошад. Як рентген (Р) ба он дозаи нури рентгенӣ ё гамма-нур мувофиқ меояд, ки дар 0.001293 грамм ҳаво (яъне дар 1см^3 ҳавои хушк, ҳарорати 0°С, фишори атмосфери 760 мм.сут.сим.) ионҳое пайдо мекунанд, ки заряди як воҳиди электростатикии ҳар як аломатро доранд.

Дар системаи воҳиди байналмилалӣ (СИ) воҳиди дозаи нурбориш як кулон дар кг (Кл/кг). Таносуби рентген ба системаи байналмилалӣ чунин аст: 1р=2.58 ·10^{-4} Кл/кг. Ба таври қатъӣ гуем, воҳиди рентген ва Кл/кг-ро танҳо барои квантҳое, ки энергияашон аз 3 МэВ хурд мебошанд, истифода бурдан мумкин аст. Воқеан онро дар соҳаи энергияи баланд ҳам истифода мебаранд.

Дар шароити мувозинатии электронӣ мувозинати ионишавӣ дар як ҳаҷми оддии ҳаво аз ҳисоби электронҳои сонавие дар назар дошта шудааст, ки ин ҳаҷмро бурида мегузаранд ва аз ҳисоби электронҳои сонавӣ, ки дар ҳаҷми оддии додашуда пайдо шудаанд. Баъди ба охир расидани рӯйдоди таъсири мутақобили гамма-нурҳо бо ҳаво ҳисобидан мумкин, ки:

$$1р = 2.082\cdot10^{9}\cdot34.1,61\cdot10^{-12}\frac{эрг}{см^3 хаво}=0,114\frac{эрг}{см^3 хаво},$$

(эВ, электрон-волт, ин энергияе мебошад, ки барои пайдо намудани як ҷуфти ионҳо дар фазо сарф мешавад: 1эВ=1,61.10^{-12} эрг)

$$1р = 1,61\cdot10^{12}\cdot34 \cdot 1,61 \cdot 10^{-12} = 87,7\frac{эрг}{хаво.Гарми},$$

Бузургиҳои 0,114 эрг/см^2·ҳаво ва 87,7 эрг/г·ҳаво муодил (эквивалент)-и энергетикии рентген ном гирифтаанд.

Ин миқдоран таносуби байни дозаи фурӯбарӣ ва дозаи нурбориш мебошад. Дозаи фурӯбарӣ новобаста бо усули каллориметрӣ чен карда мешавад. Дозаи хурдро бо ин усул чен намудан хеле мушкил аст. Аз ҳама осонтар дозаи нурбориш бо камераи ионкунанда, ки бо ҳаво пур карда шудааст ва бо рентген дарачабандӣ шудааст, чен карда мешавад. Бинобар он дар бисёр ҳолатҳо дар асоси чен намудани дозаи нурбориш дозаи фурӯбарӣ бо радҳо ҳисоб карда мешавад. Дар асоси чен намудан дозаи нурбориш, бояд

таносуби байни дозаи фурӯбурд ва дозаи нурбориширо донистан зарур аст.

Барои нурҳои рентгенӣ ва гамма-нурҳо дар шароити мувозинатии электронӣ дозаи фурӯбурд ба дозаи нурбориш байни ҳам мутаносибанд ва чунин ифода карда мешаванд:

$Д_{мода}$=f $Д_{хаво}$,

Дар инҷо $Д_{мода}$ - дозаи фурӯбурд дар модаи додашуда;

$Д_{хаво}$ - дозаи нурбориш дар ҳаво;

f- зариби мутаносибӣ.

Агар муҳити нурбориш ҳаво бошад ва барои пайдо намудани як ҷуфти ионҳо ба ҳисоби миёна 34 эВ энергия сарф шавад, онгоҳ, дозаи фурӯбурд ба дозаи нурборонкунӣ як рентген ба 1,61.10^{12} ·34·1,6110^{-12} эрг/г баробар мешавад. Он гоҳ

$$f=1,61.10^{12}\cdot34\cdot1,6110^{-12}/100=0,877рад/р;$$

Қимати f-ро ба формулаи зерин гузошта дозаро барои ҳаво ҳосил мекунем.

$$f=Д_{мода}/Д_{хаво}\ (рад/р);\ Д_{хаво}=0,877Д_{нк}\ Рад \qquad (3.1.3)$$

Ҳамин тавр, дозаи нурборонкуниро бо рентгенҳо дар шароити мувозинати электронҳо барои ҳаво ченкардашударо дониста, аз формулаи (3.1.3) дозаи фурӯбурдро барои ҳаво бо радҳо муайян намудан мумкин аст.

Барои бофтаҳои биологӣ ё дигар модаҳое, ки аз ҳаво фарқ мекунанд, таносуби байни дозаи фурӯбурд ва дозаи нурбориш намуди зеринро мегирад:

$$Д_{мода} = Д_{хаво} = \frac{(\mu e/\rho)_{мода}}{(\mu e/\rho)_{хаво}} = 0.877Д_{нк}\frac{(\mu e/\rho)_{мода}}{(\mu e/\rho)_{хаво}} = f\cdot Д_{нк} \qquad (3.1.4)$$

Дар инҷо $(\mu e/\rho)_{мода}$ ва $(\mu e/\rho)_{хаво}$ зариби ҳақиқии хаттии фурӯбарии рентгенӣ ё гамма-нурҳо дар мода ва ҳаво буда, он ҳиссаи энергияи гамма-нурро мефаҳмонад, ки ҳангоми таъсири мутақобили бо атомӣ ҳаво ё мода дар роҳи тайкардаи 1см фурӯ меравад ($\rho_{мода}$ ва $\rho_{хаво}$мувофиқан зичии мода ва ҳаво аст).

Дозаи фурнисбат ба вақт, тавоноии доза меноманд.

$$P = \frac{Д}{t}; \frac{доза}{вақт},$$

Вақт бо сония, дақиқа ва соат чен карда мешавад. Агар вақт бо рӯз, моҳ, ва солҳо чен карда шавад, он гоҳ, тавоноии дозаи рӯзона, моҳона ва солона ҳисоб карда мешавад. Ҳамин тавр, бояд ду бузургии тавоноии дозаро фарқ кард, ки онҳо ба воҳидҳои тавоноии дозаи фурӯбурд ва тавоноии дозаи нурборонкунӣ дохил мешаванд.

Тавоноии дозаи ионии муқаррарӣ - нисбат ба дозаи диференсиалӣ ба вақт аст:

$$P = \frac{dД}{\Delta t} ё\ P_{мукарарии} = \frac{dM_м}{dt},$$

Воҳиди тавонои дозаи ионӣ *рентген дар сония Р/с* мебошад.

$$1р/с=2,58\text{-}10^{-4}\ А\ /кг.$$

Вобастагии байни тавоноии дозаи ионӣ ва ҷараёни ионшавӣ чунин аст:

1 р/с дар 1,293 мг ҳаво ҷараёни $3,33\text{-}10^{-10}$ амперро ҳосил мекунад; 1р/дақ. дар 1,293 мг ҳаво ҷараёни $5,6\text{-}10^{12}$ А-ро ҳосил мекунад ё ки 1р/с дар 1г ҳаво ҷараёни $2,58\ 10^{7}$ А-ро ва дар 1р/дақ дар 1г ҳаво ҷараёни $4,3\text{-}10^{-9}$ А-ро ҳосил мекунанд.

Бузургии аз ҳама оддӣ ва аниқ дозаи нурборонкунӣ *сели интегралӣ* мебошад, ки он эҳтимолияти миқдори зарраҳои аз воҳиди масоҳати мода гузаштаро ифода мекунад. Барои сели интегралӣ аксаран воҳиди зарра/$см^2$- ро истифода мебаранд. Дар ин воҳид бояд навъи зарра ва энергияи он зикр ёбад. Дозаи 10^{15} нейтрон/$см^2$ бо энергиям 1МэВ ва таъсири он бо мода аз нисбати ба дозаи 10^{15}фотон/$см^2$ бо энергиям 1МэВ ва ё дозаи 10^{15} нейтрон/$см^2$ бо энергияи 1кэВ фарқ мекунад. Истифодаи воҳиди сели интегралӣ қулай нест, зеро натиҷаи таъсири нурбориши бо навъ ва энергия фарққунандаро муқоиса намудан мушкил аст.

Эквивалент (муодил)-и физикии рентген (ЭФР). Барои баҳо додани таъсири ионизатсияи нурҳои корпускулавӣ мафҳуми эквиваленти физикии рентген дохил карда шудааст. ЭФР дозаи ҳар як нури ионзо мебошад, ки дар он энергияи дар як грамм мода фурӯбурдашуда ба сарфи энергияи ионизатсия баробар буда, дар як грамм ҳаво дозаи 1р нури рентгенӣ ё гамма-нурро ҳосил мекунад.

Барои бофтаи биологии намнок дозаи нарми рентгенӣ ё гамма-квантҳои 1р ба ҳисоб гирифта шудааст: ЭФР=95эрг/грам. Пас:

$$1ЭФР=95эрг/г=5,3\cdot10^{7}МэВ/грамм$$

Аз вақте, ки воҳиди рад қабул карда шудааст, ЭФР-ро умуман истифода намебаранд. Як ЭФР ба дозаи нурбориши алфа-, бета-зарраҳо ё нейтронҳо мувофиқ омада, ионизатсияеро ҳосил мекунад, ки ба дозаи як рентгенӣ гамма-нур ба вуҷудоварда рост меояд. Дозаи як ЭФР ба пайдоиши $2,08\cdot10^{3}$ ҷуфти ионҳо дар $1см^3$ ҳаво дар шароити муқаррарӣ мувофиқ аст. Азбаски барои пайдоиши як ҷуфт ионҳо дар ҳаво ба ҳисоби миёна 34 эВ энергия сарф мешавад, он гоҳ аз нуқтаи назари энергетикӣ як ЭФР дар $1см^3$ ҳаво ба энергияи $6,86.10^{10}$эВ=0,11эрг мувофиқ аст. Пас маълум мешавад, ки дар 1г ҳаво барои дозаи 1 ЭФР ҳосил намудан 87,7 эрг энергия сарф мешавад. Фурӯбарии энергия дар бофтаҳои инсон ниҳоят баланд буда, ба 93 эрг/г рост меояд, ки ин ба 100 эрг наздик аст. Аз нуқтаи назари ҳисоби дозасанҷии таҷрибавӣ, бузургии 1 ЭФР ва 1 рад ба ҳам баробаранд. Яке аз масъалаҳои мушкил, ин ёфтани алоқаи байни воҳиди дозаи фурӯбурд ва сели интегралии зарраҳо мебошад. Ин алоқа аз навъи афканишот ва энергияи онҳо вобаста аст. Барои нурҳои рентгенӣ ва гамма-нурҳо, ки энергияашон аз 70 кэВ то 2 МэВ аст, бо саҳеҳии 15% аз таносуби оддӣ ёфта мешавад.

$$1р = 2 * 10^{9} \frac{фотон}{Е(МэВ)см^2},$$

Ээквивалент (муодил)-и биологии рентген (ЭБР). Муқаррар шудааст, ки навъҳои гуногуни афканишоти энергияашон якхела, дар як шароит дар бофтаҳои биологӣ нурборшуда ва дар бофтаҳои зинда фурӯрафта, таъсири гуногуни биологиро ба вуҷуд меоранд. Барои баҳо додани чунин таъсирот воҳиди эквиваленти биологии рентген (ЭБР) дохил карда шудааст ва мафҳуми босамарии биологии нисбӣ (ББН) бо зариби η ифода шудааст. ЭБР - миқдори энергияи ҳар гуна навъи афканишоти дар воҳиди массаи модаи бофтаи биологи фурӯрафта буда, таъсири биологиеро пайдо мекунад, ки он ба дозаи 1 рентгени таъсири рентгенӣ ё гамма-нур муодил мебошад.

Бисёр дозаи як рентгени нури рентгенӣ дар як грамм бофтаи биологӣ 95рг энергия фурӯ бурда шавад, он гоҳ:

$$1ЭБР=95/\eta;\ эрг/г.боф.биол.$$

Дар инҷо η -зариби нисбии босамарии биологӣ.

Босамарии биологӣ аз тақсимоти энергия, ки дар фазо дар қадами дави зарраи ионшаванда ҷудо мешавад, вобастааст, ки онро зичии хаттии ионизатсия (ионизатсияи хос) меноманд. Ин вобастагиро барои муайяннамудани зариби η истифода мебаранд. Ионизатсияи хоси миёна, ки онро нури рентгенӣ пайдо мекунад, ҳангоми ангезонидан бо шиддати 250 кВ дар қабати об ё бофтаи биологии гафсиаш 1мк 100 ҷуфти ионро ташкил медиҳад, яъне 34.100=3400 эВ/мк дар об ё бофтаи биологӣ (дар асоси натиҷаҳои солҳои охир барои мукоисаи таъсири биологӣ афканишот дар организми инсон ҳамчун намуна нури рентгенӣ ва гамма квант мебошад), ки бузургии хаттии сарфи энергияашон барои об ба 3000 эВ/мк баробар аст. Ин ба тавонои дозаи тақрибии 10 рад/дақ-ро ташкил мекунад. Дар ин ҳолат η барои нури рентгенӣ баробари як қабул шудааст. Бета-нурҳо чун гамма- квантҳо низ ҳамин хел зариби босамарии биологӣ дорад. Бинобар ин барои бета-нурҳо η =1 қабул шудааст.

Барои дигар навъи афканишот зариби босамарии биологӣ ба таври математикӣ аз афканишоти ионизатсияи хос пайдо шуда ҳисоб карда мешавад.

Дар ҷадвали 8.1.1. зариби босамарии биологӣ барои навъҳои гуногуни афканишот оварда шудааст.

Ҷадвали 8.1.1

Навъи афканишот	η
Бета-заррaҳо ва гамма-нурҳо	1
Алфа-заррaҳо ва протонҳо	10
Нейтронҳои ҳарорати	5
Нейтронҳои сареъ	10
Ядроҳои вазнини қафорафта	20

Вақтҳои охир ЭБР нисбати ба «рад» муайян карда мешавад:

$$1ЭБР=\frac{100}{\eta};\frac{эрг}{грамм.боф.биологи},$$

ҳамин тавр Д (ЭБР)=Д (рад) η.

Тавре, ки маълум аст, таъсири биологии нурҳои ядрои на танҳо аз дозаи нурборишӣ, балки аз навъи онҳо низ вобаста аст. Бинобар он барои дозаи нурборишӣ организм воҳиди навъи ЭБР истифода мебаранд. Бузургии дозаи биологӣ Д (б) (ЭБР) бо дозаи физикӣ (ЭФР) Д(ф) бо ифодаи зерин алоқаманд мебошад:

$$Д_б = Д_ф;\ ЭБР\ ё\ ки\ Д_б = Д_ф \cdot \eta$$

Бояд қайд кард, ки муайян намудани ЭБР ва бузургии ЭФР дар физика аниқ ҷой надорад. Бисёр вақт ҳангоми қабули дозаи аз ҳудуди ҷоиз зиёд, инсон ба дозаи миқдоргирӣ дучор мешавад.

Миқдоргирӣ - фарз мекунем, ки ҷисми коргарон ҳангоми иҷрои ягон муомилот бо нури ядрои дозаи 0,01р мегирад. Агар муомилот дар як рӯз 15 маротиба иҷро шавад, он гоҳ миқдоргирии рӯзона 0,15р мешавад ва дар ҳафтаи корӣ 0,15·6=0,9 рентген мешавад. Миқдоргирӣ аз ҷамъшавии доза дар организм вобаста аст.

Дар ҷадвали 8.1.2 вобастагии воҳидҳои гуногуни доза оварда шудааст.

Энергияи якхелаи фурӯбурд (дозаи фурӯбурд) вобаста аз навъи гуногуни афканишот сабабгори эффекти гуногуни биологӣ мешавад. Барои баҳодиҳии таъсири яке аз ҷузъи омехтаи афканишот мафҳуми муодил (эквивалент)-и биологии доза дохил карда шудааст, ки ҳамчун муодил (эквивалент)-и биологии рентген чен карда мешавад. Барои баъзе афканишот зариби ББН тақрибан баробари 10 аст, яъне дозаи эквиваленти биологӣ нисбат ба дозаи фурӯбурди мувофиқ 10 маротиба калон мебошад. Ҳардуи ин бузургиҳо бо радҳо чен мешаванд.

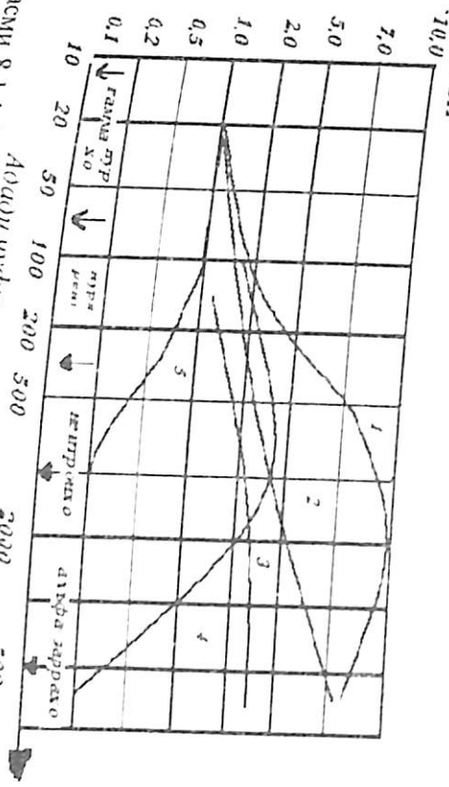
Дар расми 8.1.1. тағйирёбии зариби ББН барои баъзе реаксияҳои махсуси биологӣ оварда шудааст.

Аз расми 8.1.1. аён аст, ки зариби ББН аз як хурд шуда метавонад. Қимати зичии хаттии ионизатсия дар 100 ҷуфти ионҳо/мк ба зичии хаттии энергиявӣ (3·эВ) мувофиқ меояд; чунончӣ, барои об, тақрибан ба 3,5 кэВ/мк баробар аст.

Ҷадвали 8.1.2.

Таносуби байни воҳидҳои гуногуни дозаи афканишот

Ном	Мухтасар	Рад	Рентген	Эрг/г	Ҷ/г	Кал/г	эВ/г	Кл/г	Грей
Рад	Рад	1	1.14	100	10^{-5}	$2.39\ 10^{-6}$	$6.25\ 10^{13}$	$2.97\ 10^{-7}$	10^{-2}
Рентген	Р	0.877	1	87.7	8.7710^{-6}	$2.1.10^{-6}$	$5.5\ 10^{13}$	$2.58\ 10^{-7}$	$0.88\ 10^{-2}$
Эрг/ гр.	Эрг/г	10^{-2}	$1.14\cdot10^{-2}$	1	10^{-7}	$2.39\cdot10^{-8}$	$6.25\cdot10^{18}$	$2.94\cdot10^{-2}$	10^{-3}
Ҷоул/ гр.	Ҷ/г	10^{5}	$1.14\ 10^{5}$	10^{7}	1	0.239	$6.25\cdot10^{18}$	$2.94.10^{-2}$	10^{3}
Кал./гр.	Кал/г	$4{,}18\cdot10^{-5}$	$4.76\ 10^{-5}$	$4.1\cdot10^{7}$	4.18	1	$2.61\cdot10^{21}$	0.123	$1.18\cdot10^{3}$
Эвт/гр.	эВ/г	$1.61\cdot10^{-4}$	$1.82\cdot10^{-14}$	$1.6\cdot10^{-12}$	$1.6\cdot10^{-19}$	$3.82\cdot10^{20}$	1	$4.7\cdot10^{-21}$	$1.6\cdot10^{-16}$
Кулон/гр	Кл/г	$3.4\cdot10^{6}$	$3.88\cdot10^{6}$	$3.4\cdot10^{8}$	34	8.1	$2.1\cdot10^{20}$	1	$34\cdot10^{4}$
Грей	Гр	10^{2}	114	10^{4}	10^{-3}	$2.39\cdot10^{-4}$	$6.25\cdot10^{15}$	$2{,}94\cdot10^{-5}$	1



Расми 8.1.1 Вобастагии ББН барои баъзе реаксияҳои биологӣ аз зиёдшавии дозаи афканиши гуногун дар 1 мкм рентген: 1-нигоҳ доштани чуфти нохуни дар 1мк рохи тайкардашуда, аз нав сохтани изохроматизхо; 2- ба тарзи дигар тақсимшавии митозхо; 3- нигоҳ доштани касалиҳои сироятнокшаванда, 4- ғеҷшавии ҳуҷайраҳои саратонӣ (вируси микробҳои хурдтарини касалиҳои сироятнокшаванда), 4- ғеҷшавии гамоку.

Дар ҷадвали 8.1.3 кимати ББН вобаста аз кимати зичии миёнаи ионизатсия (аддади чуфти ионҳо дар 1 мк об) ва зичии хатти энергияй (сарфи энергия дар 1 мк об) оварда шудааст.

Ҷадвали 8.1.3

ББН	Зичии хатти энергияй	Зичии миёнаи ионизатсия (аддади чуфти ионҳо дар 1 мк об)
1	3,5 ё хурд	А3 100 хурд
1-2	3,7-7,0	100-200
2-5	7,0-23	200-650
5-10	23-53	850-1500
10-20	53-175	1500-5000

8.2. АЛОКАИ ФАЪОЛИЯТИ МАНБАИ НУКТАВӢ ВА ДОЗАИ НУРҲОИ ЯДРОЙ

Пеш аз он, ки алокаи байни фаъолияти манбаи нуктавии нурҳои ядроиро ёбем, таносуби байни дозаи афканишот ва

интенсивияти нури рентгенӣ ё гамма-нури ба мода афтандаро муайян мекунем. Барои ин ҳаҷми ҳаворо дар 1см^3 дида мебароем, ки дастаи гамма-нурҳо ба он мувозӣ меафтад. Фарз мекунем, ки дар роҳи 1см тайшуда сустшавии нури ядрои на он қадар калон аст. Он гоҳ дозаи фурӯбурд ба дозаи нурбориш баробар мешавад, яъне дозаи фурӯбурд ва дозаи нурбориш ба шароити мувозинатии электронҳо Д=Дн.к дар соҳаи энергияи гамма-кватҳо то 3 МэВ мувофиқ меояд.

$$Д = J_0 \mu_e t, \qquad (8.2.1)$$

дар инҷо Jo - интенсивияти нури рентгенӣ ё гамма-нури афтанда, μ_e - зариби ҳақиқии хатти фурӯбурди нури рентгенӣ ё гамма-нурҳо, t-вақти нурбориш. Аз таносуби миқдори энергияи афканишоти гузаранда дар воҳиди вақт аз ягон сатҳи мода, нисбат ба афтиши гамма-нурҳо нормал аст,

$$\text{Интенсивноки} = \frac{\text{энергияи ва адади гамма–квантхо}}{\text{см}^2 \text{сония}} = \frac{\text{Мэв}}{\text{см}^2\text{с}} = \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2\text{с}},$$

интенсивнокии гамма-нурҳо J муайян карда мешавад.

Воҳиди дозаи нурбориш: рентген Р, миллирентген мР, микрорентген мкР.

$$\left.\begin{array}{l} 1\text{р} = 10^3\text{мР} = 10^6\text{мкР} \\ 1\text{мкР} = 10^{-3}\text{мР} = 10^{-6}\text{р} \end{array}\right\} \qquad (8.2.2)$$

Доза Д, ки бо вақт ифода меёбад тавоноии доза номида мешавад.

$$\text{Р} = \frac{Д}{t};$$

Алоқаи байни воҳидҳои тавоноии доза:

$$\left.\begin{array}{l} 1\ \text{р/соат} = 10^3\text{мР/соат} = 10^4\text{мкР/соат}); \\ 1\ \text{р/соат} = 16{,}7\text{мР/дақ} = 16700\ (\text{мкР/дақ}); \\ 1\ \text{р/соат} = 0{,}28\text{мР/сония} = 280\ (\text{мкР/сония}); \\ 1\ \text{мкР/сония} = 60\text{мкР/дақ} = 3600(\text{мкР/соат}); \\ 1\ \text{мкР/сония} = 0{,}06\text{мР/дақ} = 3{,}6(\text{мР/соат}); \\ 1\ \text{мкР/сония} = 6\cdot10^{-5}\ \text{Р/дақ} = 3{,}6\text{-}10^{-3}\ (\text{Р/соат}). \end{array}\right\} \qquad (8.2.3)$$

Байни тавоноии доза (р/сония) ва интенсивнокӣ I (эрг/ см^2 *сон*) чунин алоқамандӣ мавҷуд аст.

$$\text{Р} = \frac{J\gamma}{0{,}114}\frac{P}{\text{сония}} = Nh\nu \cdot \frac{1{,}61\gamma}{0{,}114} = \frac{P}{\text{сония}}, \qquad (3.2.4)$$

Ҷадвали 8.2.1.

Таносуби байни воҳидҳои фаъолияти модаи радиофаъол

Воҳидҳо	Ифодаи мухтасар	Пк. кюри	нк. кюри	мк. кюри	м. кюри	кюри	к. кюри	м. кюри	Кохиш/дақика	Кохиш/сония
Пико кюри	пк. кюри	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	2,22	$3{,}7\cdot10^{-2}$
Нано кюри	нк. кюри	10^3	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	$2{,}22\cdot10^3$	$3{,}7\cdot10^1$
Микро кюри	мк. кюри	10^6	10^3	1	10^{-3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-12}	$2{,}22\cdot10^6$	$3{,}7\cdot10^4$
Милли кюри	м. кюри	10^9	10^6	10^3	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	$2{,}22\cdot10^9$	$3{,}7\cdot10^7$
Кюри	кюри	10^{12}	10^9	10^6	10^3	1	10^{-3}	10^{-6}	$2{,}22\cdot10^{12}$	$3{,}7\cdot10^{10}$
Килло кюри	к. кюри	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	1	10^{-3}	$2{,}22\cdot10^{15}$	$3{,}7\cdot10^{13}$
Мега кюри	м. кюри	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10	1	$2{,}22\cdot10^{18}$	$3{,}7\cdot10^{16}$
Кохиш/дақика	Кох./дақ	$4{,}5\ 10^{-1}$	$4{,}5\ 10^{-4}$	$4{,}5\ 10^{-7}$	$4{,}5\ 10^{-10}$	$4{,}5\ 10^{-13}$	$4{,}5\ 10^{-16}$	$4{,}5\ 10^{-19}$	1	$1{,}7\cdot10^{-2}$
Кохиш/сония	Кох./сон	$2{,}7\ 10^{-1}$	$2{,}7\ 10^{-2}$	$2{,}7\ 10^{-5}$	$2{,}7\ 10^{-8}$	$2{,}7\ 10^{-11}$	$2{,}7\ 10^{-11}$	$2{,}7\ 10^{-14}$	60	1

Дар инҷо N-адади гамма-нурҳо, ки масоҳати 1см^2 дар 1с бурида мегузаранд, hv-энергияи гамма-нурҳо бо МэВ, 1,6-10^{-6} - адади эргҳо дар 1 МэВ, 0,114 эквиваленти энергетикии рентген дар ҳаво. Дар ҷадвали 3.2.1. таносуби байни воҳидҳои фаъолияти модаи радиофаъол оварда шудааст.

Агар дар формула интенсивият I_0-ро бо эрг/см^2 ифода кунем, онгоҳ Д дозаи афканишот бо рентген ёфта мешавад:

$$Д = \frac{J_0 \mu_e t}{0{,}114}, \text{р}, \qquad (8.2.5)$$

Барои гамма-манбаи нуқтамонанд, ки гамма нур хориҷ мекунад, интенсивияти афканишот аз формулаи зерин ёфта мешавад:

$$Y=\frac{3,7\cdot10^{10}a\sum_{i=1}^{m}E\gamma_i n_i}{4\pi R^2}=\frac{МэВ}{см^2.с}, \quad (8.2.6)$$

1МэВ=1,61·10^{-6}эрг. Алоқаи байни фаъолият ва дозаи афканишот:

$$Д = 3,7\cdot10^{10}\cdot\alpha\cdot\sum_{i=0}^{m}E\gamma_i n_i\mu_{ci} t\cdot 1,61\cdot10^{-6}/4\pi R^2\cdot 0,114, \quad (8.2.7)$$

Агар ба формулаи (3.2.6) қимати фаъолият а=1мкюри, R=1см, t=1соат=3600 сония гузорем, дозаи афканишот, ки ба як соат мувофиқ аст пайдо мешавад ва тавоноии доза Р:

$$р=\frac{3,7\cdot10^{10}a\sum_{i=1}^{m}E\gamma_i n_i\mu_e t\cdot1,61\cdot10^{-10}}{4\pi R^2\ 0,114}\frac{Р}{соат}, \quad (8.2.8)$$

Аз формулаи (3.2.7) ва (3.2.8) дида мешавад, ки барои изотопи додашуда таркиби энергиявии гамма-нурҳояш маълум дозаи нурбориш Д дар нуқтаи мушоҳида, ки дар масофаи R аз манбаи нуқтамонанди фаъолияташ α ҷойгир аст, ба бузургии фаъолияти нурбориш мутаносиби рост буда, ба квадрати масофа аз нуқтаи мушоҳида то манба мутаносиби чап мебошад.

$$Д=\frac{K_\gamma\cdot a\,t}{R^2}, \text{ Рентген}, \quad (8.2.9)$$

тавоноии доза;

$$P=k_\gamma\frac{a}{R^2}, (Р/соат), \quad (8.2.10)$$

Дар инҷо t бо соатҳо, α бо мкюри ва Р бо см ифода шудааст.

Зариби мутаносиби К^{У} тавоноии дозаро бо фаъолияти манбаи нуқтамонанд алоқаманд мекунад, ки он гамма доимии изотоп номида мешавад. Гамма-доимӣ ададан ба тавоноии доза (Р/соат) баробар аст, ки манбаи нуқтавӣ бо фаъолияти 1 мкюри дар масофаи 1см аз он бе полоиши аввала пайдо мекунад. Боз гамма-доимии дифференсиалӣ ҳаст, ки барои хатти якранги гамма-спектри изотоп ҳисоб карда мешавад. Гамма-доимии пурра - ин суммаи гамма доимиҳои дифференсиалӣ мебошад:

$$К_\gamma=\sum_{i=1}^{m}K_{\gamma i}, \quad (8.2.11)$$

Дар ин маврид, агар тавсифи намунаи нуқтавӣ бо мг.экв радий дода шуда бошад, доза ё тавоноии дозаи гамма-нурҳо чунин ёфта мешаванд:

$$Д=8,4\frac{\alpha\,t}{R^2}, Р \quad (8.2.12)$$

$$Р=8,4\frac{\alpha}{R^2}, \frac{Р}{соат}, \quad (8.2.13)$$

Дар инҷо α гамма - эквиваленти изотоп бо мг-экв радий, 8,4 Р · см^2 соат мкюри - гамма - доимии радий, ки бо полоиш дар платина (тиллои сафед), ки ғафсиаш 0,5 мм аст. Доимии гамма барои баъзе изотопҳо дар ҷадвали 8.2.2. оварда шудааст.

Ҷадвали 8.2.2

изотопҳо	As70	Co-60	J-132	Cs-134	Ra-226	Fe-59	Cu-64	K-40	U-238	Sb-116
к=Р см^2/ мккюри соат	22,41	13,2	4,28	8,9	9,53	6,25	1,19	0,86	0,091	18,51

Алоқаи байни массаи изотопҳои радиофаъол М-ро бо граммҳо, фаъолияташон α-ро бо кюри аз таносуби зерин ҳисоб мекунем:

$$\left.\begin{array}{l} M=8.9\cdot10^{-14}A.T.C\ (T, сония)\\ M=5,31\cdot10^{-12}A.T.C(T,дақ)\\ M=3,2\cdot10^{-10}вA.T.C(T, соат)\\ M=7,7\cdot10^{-9}A.T.C\ (T, шабона рӯз)\\ M=2,8\cdot10^{-8}A.T.C\ (T, сол) \end{array}\right\}, \quad (8.2.14)$$

Дар инҷо А - массаи атом, Т- даври нимкоҳиш. α - фаъолият (кюри). Як грамм модаи дилхоҳи радиофаъолро ёфтан мумкин аст:

$$\left.\begin{array}{l} \alpha=1,13\cdot10^{-13}/AT(T, сония)\\ \alpha=1,88\cdot10^{-11}/AT\ (T, дақ)\\ \alpha=3,10\cdot10^{-9}/AT(T, соат)\\ \alpha=1,30\cdot10^{8}/TC\ (T, шабонарӯз)\\ \alpha=3,57\cdot10^{5}AT\ (T, сол) \end{array}\right\}, \quad (8.2.15)$$

8.3. ДОЗАИ ФУРӮБУРДИ ОРГАНИЗМҲОИ ЗИНДА

Барои тавсиф додани ионизатсия мафҳуми дозаи нурбориш дохил карда шудааст. Се намуди дозаи нурбориш мавҷуд аст: дозаи фурӯбурд, эквивалентӣ ва экспозитсионӣ.

Аз сабаби васеъ будани доираи навъҳои афканишоти ионизатсионӣ ва истифодабарии онҳо маълум мешавад, ки миқёси таъсири афканишоти ионизатсионӣ аз сабаби мураккаб ва равандҳои зиёди гузаранда бо осонӣ ҳалли худро намеёбад. Яъне, аз равандҳои тағйироти физикӣ ва химиявӣ ҳангоми нурбориши мода, ки ба эффекти муайяни радиатсионӣ меорад- фурӯбарии энергияи афканишоти ионизатсионӣ дар мода аст, ки мафҳуми дозаи фурӯбурд пайдо шуд. Дозаи фурӯбурд нишон медиҳад, ки кадом ҳиссаи энергияи афканишот дар воҳиди массаи модаи дилхоҳ, ки нурбориш мешавад, фурӯ меравад.

Ин доза- нисбат ба энергияи фурӯбурди афканишоти ионизатсионӣ ба массаи мода мебошад. Ба сифати бузургии дозаи фурӯбурд дар системаи СИ грей (Гр) қабул шудааст. 1гр- чунин дозаест, ки ба массаи 1кг мода, 1ҷоул энергияи афканишоти ионизатсионӣ дода мешавад. Бузургии ғайрисистемавӣ дозаи фурӯбурд Рад аст. 1гр=100рад; 1рад=10^{-2}гр; 1гр=1ҷоул/кг.

Дозаи эквивалентӣ (муодилӣ). Омӯхтани оқибатҳои алоҳидаи нургирии бофтаҳои зинда нишон дод, ки дар дозаҳои якхелаи фурӯбурд, ки навъҳои гуногуни радиатсия ба амал меоваранд, таъсири биологии онҳо дар организм якхела нест. Асоснок шудааст, ки заррачаҳои вазнинтар (мисол, протон) нисбати заррачаҳои сабук (мисол, электрон) дар роҳи тайкардааш дар бофтаҳо ионҳои зиёдеро дар асоси ионизатсия ҳосил мекунанд. Дар дозаҳои якхелаи фурӯбурд, эффекти вайроншавии радиобиологӣ зиёдтар аст нисбат ба зичии ионизатсионӣ, ки афканишот ба вуҷуд меоварад. Барои ба назар гирифтани ин эффект мафҳуми дозаи эквивалентиро дохил намудаанд. Барои баҳо додани дозаи эквивалентӣ, ки коргарони касбӣ (гурӯҳи одамон) хоҷагии қишлоқ, истиқоматкунандагони шаҳру ноҳияҳо қабул мекунанд, мафҳуми дозаи эквивалентии коллективӣ (Дэкв.к) истифода мебаранд. Ин дозаи миёнаи аҳолӣ ба адади истиқоматкунандагон зарб мешавад, бо одам- зиверт ифода мешавад.

Дозаи афканишот - бузургие, ки дар физика ва радиобиология таъсири афканишотти ионизатсионӣ ба модаҳои гуногун ва органҳои зинда истифода мебаранд.

Доза ба якчанд гурӯҳ тақсим мешавад: дозаи экспозитсионӣ, фурӯбурд, эквивалентӣ, самаранокӣ, гурӯҳ ва тавонои доза ва ғайра.

Ҳар яки онро алоҳида маълум мекунем:

Дозаи экспозитсионӣ - тавсифкунандаи асосии таъсири афканишоти ионизатсионӣ бо мода (муҳит)- эффекти ионизатсионӣ мебошад. Дар даври аввали тараққиёти дозасанҷии радиатсионӣ аксар вақт бо афканишоти рентгенӣ, ки дар ҳаво паҳн мешавад, сару кор доштанд. Бинобар ин ба сифати ченаки миқдории пешгирӣ аз майдони афканишот, дараҷаи ионизатсияшавии ҳавои хушкро бо лӯлаи рентгенӣ ё дигар маводҳо истифода мебаранд. Бузургии ионизасионии ҳаво хушк дар фишори нормалии атмосферӣ, ки ба осонӣ чен мешавад, дозаи экспозисионӣ мебошад. Дозаи экспозитсионӣ кобилияти ионизатсионии нури рентгенӣ ва гаммаро муайян мекунад. Ин дозаи энергияи афканишот буда, табдилёбӣ ба энергияи кинетикии зарраи заряднокро дар воҳиди массаи ҳавои атмосферӣ ифода мекунад. Дозаи экспозитсионӣ – нисбат ба заряди ҳаҷми элементарии ҳаво ба массаи ҳаво дар ин ҳаҷм мавҷуда аст. Дар системаи СИ воҳиди ченаки дозаи экспозитсионӣ кулон бо килограмм (Кл/кг), воҳиди ғайрисистемавӣ- рентген.(Р). Дэкп=Кл/кг мебошанд.

1Кл/кг=3880р; 1р=2,58 10^{-4} Кл; 1Кл/кг=3,88·10^{3}р. Мафҳуми дозаи экспозитсионӣ, барои тафсиф додани афканишоти рентгенӣ ё гамма-афканишот хизмат мекунад.

в) дозаи эквивалентӣ ҳангоми бо зариби нисбии самаранокии биологӣ ё зариби сифат(СНБ) зарб задан ҳисоб карда мешавад.

Дар системаи СИ бузургии дозаи эквивалентиро бо воҳиди зиверт (Зв) чен мекунанд. Бузургии 1Зв ба дозаи эквивалентии навъи дилхоҳи афканишот баробар буда, дар 1кг бофтаи биологӣ фурӯрафта чунин эффекти биологиро ба вуҷуд меоварад, монанди 1Гр дозаи фурӯбурди афканишоти фотон. Зариби нисбии самаранокии эффективӣ барои навъҳои гуногуни афканишот дар ҷадвали 8.3.1 оварда шудааст.

Ҷадвали 8.3.1.

Навъи афканишот	зариб. Зв/гр
Афканишоти рентгенӣ ё гамма	1
Электронҳо, позитронҳо, β-афканишот	1
Нейтронҳои энергияшон хурд аз 10мэв	3
Нейтронҳои энергияшон 0,1- 10мэв	10
Протонҳои энергияшон хурд аз 10мэв	10
Алфа афканишот бо энергияи хурд аз 10мэв	20
Ядрои вазнини қафорафта	20

Дозаи эквивалентиро бо воҳиди ғайрисистемавӣ, ки эбр (эквиваленти биологии рентген) ном дорад, чен мекунанд. 1Зв= 100эбр; 1ЭБР= 10^{-2} Зв. Дэкв=Дфур. Кзар. сифат. ё 1Зв=1Гр.Ксиф. 1Зв=100рад.Ксифат=100эбр

Қиматҳои зариби сифат К барои навъҳои алоҳидаи афканишоти ионизатсионӣ дар ҷадвали 8.3.2. оварда шудааст.

Ҷадвали 8.3.2

Навъи афканишот	Қимати К-зариби сифатӣ
Афканишоти рентгенӣ ё гамма	~1
Электрон ва позитрон бета-афканишот	~5
Протон	~10
Нейтрони ҳарорати	~3
Нейтронҳои сареъ	~10
Алфа-заррае ядрои вазнин қафорафта	~20

Дозаи интегралӣ. Дозаи интегралии афканишот - рад.г, Гр.кг. 1рад.грамм = 10^{-5}Грей.кг. мебошанд:

$$1Гр.кг=10^{5}рад.г$$

Дозаи самаранокӣ. Бузургии дозаи самаранокӣ ($Д_Е$) –ро ҳамчун ченаки хатари пайдошавии оқибатҳои алоҳидаи нургирии ҳамаи ҷисми одам ва узвҳои алоҳида бофтаҳо, бо назардошти ҳиссиёташон ба радионуклидҳо, истифода мебаранд. Дозаи самаранокӣ аз ҳосили ҷамъи дозаи эквивалентӣ дар узвҳо ва бофтаҳо бо зариби мувофиқ иборат аст. Як қисми узвҳо ва

бофтаҳои одам нисбат ба дигарашон ба таъсири радиатсия ҳиссиёти зиёд доранд. Масол: дар дозаҳои эквивалентӣ якхела пайдошавии касалии саратони шуш нисбат ба ғадуди сипаршакл эҳтимолияти зиёд дорад; нургирии ғадуди мардона хеле хавфнок аст нисбат ба хатари захмдоршавии генетикӣ. Бинобарон дозаи нургирии узвҳои гуногун ва бофтаҳои зариби гуногунро бояд ба эътибор гирифт, ки онро зариби хатари радиатсионӣ меноманд. Дозаи эквивалентии ҳамаи бофтаҳо ва узвҳоро мувофиқан ба зариби хатари радиатсионашон зарб менамоем, пас он ҳаман ин дозаҳоро ҷамъ намуда, дозаи самаранокиро ҳосил мекунем. Ин натиҷа эффекти ҷамъшавиро барои организм медиҳад. Қимати зариби хатари радиатсионӣ барои узвҳои алоҳида дар ҷадвали 8.3.3. нишон дода шудааст:

Ҷадвали 8.3.3

Органҳо, бофтаҳо	зариб.Wt
Гонадҳо	0.2
Устухони сурхи майна	0,12
Рӯдаи ғафс	0,12
Рӯда	0,12
Шуш	0,12
Мезакдон	0,12
Гурда	0,05
Сурхрӯда	0,05
Ғадуди сипаршакл	0,05
Пӯст	0,05
Ҳуҷайраи беруни устухон	0,01
Майнаи сар	0,025
Бофтаҳои боқимонда	0,05

Зариби санҷиширо ба таври таҷрибавӣ барқарор намуда, чунин ҳисоб мекунанд, ки ҷамъи он барои тамоми организм ба як баробар шавад. Воҳиди ченкунии дозаи самаранокӣ бо воҳиди ченкунии дозаи эквивалентӣ мувофиқат мекунад, ки бо зиверт ё бэр чен карда мешавад.

Ба эътибор гирифтани дозаи эквивалентӣ ва самаранокӣ- ин баҳодиҳии дозаи радиатсионӣ дар инсон, дар натиҷаи ингалятсия

(муосиҷаи роҳҳои нафас ба воситаи доруи ба газ ё буғ табдилдодашуда) ё истифодабарии як миқдор модаи радиофаъол бо бэр ё зиверт (Зв) ифода шуда, ҳиссиёти узвҳои гуногунро дар фосилаи вақт бо модаи радиофаъол ифода мекунанд, ки дар тамоми ҳаёт бо организм меистад.

Вобаста аз шароит на ҳамаи ҷисми одам, балки қисми алоҳидаи ҳар як одамро ҳисоб карда, дозаи гурӯҳиро ёфтан мумкин аст.

Дозаи гурӯҳӣ - ҷамъи дозаи шахсии гурӯҳи одамони додашуда дар фосилаи вақти муайян мебошад. Дозаи гурӯҳӣ барои аҳолии алоҳидаи қишлоқҳойҳо, шаҳру ҳудудҳои давлатҳои алоҳида ҳисоб карда мешавад. Ин дозаро ҳангоми бо дозаи самараноки миёна зарб задани шумораи умумии одамон, ки дар зери таъсири афканишот ядронд, ёфтан мумкин аст. Воҳиди ченкунии дозаи гурӯҳи одам-зиверт (одам-Зв), воҳиди ғайри системавӣ- одам бэр (одам-бэр) мебошад.

Ғайр аз ин боз воҳидҳои дозаҳо мавҷуданд ба монанди:

Дозаи комитментӣ - дозаи мунтазирӣ, дозаи нимасрӣ. Барои ҳимояи радиатсионӣ ва гигиенӣ ҳангоми ҳисоби дозаи фурӯбурди эквивалентӣ ва самаранокӣ аз нуклидҳои радиофаъоли ин кор пуриваии-(ҳамроҳ намудан), истифода мебаранд. Ченаки дозаи музофикро дорад.

Дозаи коллективӣ - бузургии ҳисоб барои тавсифи эффектҳо ё зарар барои саломатӣ ба гурӯҳи одамони нурборишшуда дохил карда мешавад, воҳиди он зиверт (Зв).

Дозаи коллективӣ ҳамчун ҳосили ҷамъи дозаи миёна ба шумораи одамон дар ин ҳудуди доза муайян карда мешавад, дар муддати дуру дароз ҷамъ мешавад, аз насл ба алодӣ дигар мегузарад.

Дозаи остонагӣ - дозае, ки поён аз он пайдоиши эффекти нурбориш пайдо намешавад. Ҳудуди дозаи имконпазир (ҲДИ)- қимати хурдтарини дозаи эквиваленти шахсӣ дар як соли календарӣ аст, ки он баробари нурборонкунӣ дар давоми 50 сол ба саломатии инсон ягон тағийроти хавфнокро ба вуҷуд оварда наметавонад.

Дозаи пешгирӣ - дозаи пешгӯикардашуда, ки дар асоси садамаи радиатсионӣ пайдо мешавад ва онро дар асоси ташкил намуданӣ ҳимоя аз байн бардоштан мумкин аст.

Дозаи дучанда - дозае, ки аз савияи худ аз худ рӯйдиҳи мутатсия 2 маротиба зиёд мешавад (ё 100%). Дозаи дучанда ба хатари

нисбии мутатсионӣ мутаносиби чап аст. Дар асоси натиҷаҳои ҳозиразамон бузургии дозаи дучанда ҳангоми зуднургирӣ қимати 3 Зв ва ҳангоми нургирии доимӣ 4 Зв-ро ташкил мекунад.

8.4. ДОЗАИ БИОЛОГИИ ГАММА-АФКАНИШОТ

Дозаи хурдтарини марговар - дозаи хурдтарини афканишот буда, ҳаман объектҳои нурбороншуда, аз ҷумла ҳуҷайраҳои зинда, бофтаҳои биологиро нобуд карда, муҳитро заҳрнок мекунад.

Тавоноии доза, интенсивнияти нурбориш- табдилёбии дозаи мувофиқ бо таъсири афканишоти додашуда дар воҳиди вақт мебошад; дар ин маврид ченаки дозаи (фурӯбарӣ, экспозитсионӣ ва ғайра) ба воҳиди вақт тақсим карда шудааст. Дозаи фурӯбурд, эквивалентӣ, экспозитсионӣ, ки дар воҳиди вақт ифода мешаванд, тавонии доза номида мешаванд. Мисол: тавоноии дозаи фурӯбурд $Р_ф$:Гр/с, рад/с; тавоноии дозаи эквивалентӣ $Р_{экв}$: Зв/с, эбр/с; $Р_{эксп}$: Кл/кг с; Р/с. Барои афканишоти ионӣ чунин бузургӣ ворид карда шудааст: 1Гр = 100ЭБР = 100р = 100рад =1Зв (бо дурустии 10-15%). Воҳидҳои гуногуни махсусро низ истифода мебаранд, мисол, Зв/соат бэр/дақиқа, сЗв/сол ва ғайра.

Меъёри бехатарии радиатсионӣ ЭБР- 76/87 ва қоидаҳои асосии санитарии корӣ бо модаҳои радиофаъол ва дигар манбаҳои афканишоти ионизатсионӣ ОСП-72-87 дозаи имконпазири коргарони касбӣ ва аҳолиро пешниҳод менамояд. Таъсири биологии тақсимшавии маводи ядрои, эффекти нурбориш аз бузургии дозаи фурӯбурд, тавоноии он, навъи афканишот, нурбориши ҳаҷмии бофтаҳо ва организм вобаста аст. Барои миқдоран баҳо додан воҳидҳои махсус дохил карда шудааст. Воҳиди системавӣ ва ғайрисистемавӣ. Ҳоло воҳиди системаи СИро истифода мебаранд.

8.5. АЛОҚАМАНДИИ ВОҲИДҲОИ ДОЗА ВА МАЪНОИ ФИЗИКИИ ОНҲО

Таъсири афканишоти ионизатсионӣ ба равандҳои мураккаб меорад. Эффекти нурбориш аз бузургии дозаи фурӯбурд, тавоноии он, навъи афканишот, ҳаҷми бофтае, ки нубориш мешавад ва

органҳо вобаста мебошад. Барои сифатан баҳо додани он, воҳиди махсус қабул шудааст, ки ғайрисистемавӣ мебошад. Аксар вақт воҳиди дозаро дар системаи СИ низ истифода мебаранд. Дар ҷадвали 1 воҳидҳои ченкунии бузургиҳои радиологӣ ва муқоисаи он ба системаи СИ ва ғайрисистемавӣ овардашудааст.

Бузургиҳои асосии радиологӣ ва воҳиди онҳо дар ҷадвали 8.5.1. оварда шудааст.

Ҷадвали 8.5.1

Ном ва нишора	Воҳиди ченкунӣ ва ифодаи онҳо ғайри системавӣ	Вобастагӣ ва алоқамандии онҳо бо системаи СИ
А-фаъолият	Кюри(Ки), 1Ки=3,7 10^{10}Бк	Беккерел(Бк), 1Бк=2,7 10^{-11}Ки;
Дозаи экспозитсионӣ Х	Рентген(Р), 1Р=2,58 10^{4}Кл/кг;	Кулон/кг (Кл/кг), 1Кл/кг=3,88 10^{3}Р.
Дозаи фурӯбурд $Д_ж$	Рад(рад), 1рад=10^{-2}Гр;	Грей(Гр), 1Гр=1дж/кг.
Дозаи эквивалентӣ Н	Эквиваленти биологи рентгенӣ (Эбр) 1Эбр=10^{-2}Зв	Зиверт(Зв), 1Зв=100эбр.
Дозаи афканишоти интегралӣ	Рад/грам(рад.г), 1рад.г=10^{-5}Гр.кг;	Грей.кг(Гр.кг), 1Гр.кг=10^{-5}рад.г.

Барои навиштани таъсири афканишоти ионӣ дар мода чунин мафҳум ва воҳиди ченкуниро истифода мебаранд:

Фаъолияти радионуклидҳои манба(А). Фаъолият ба нисбати ҳуд аз ҳуд табдилёбии ядроҳои дар ин манба мавҷуда ба фосилаи вақти ҳурд(dN) ба бузургии ин фосилаи вақт (dt) баробар аст.

$$A=dN/dt.$$

Воҳиди фаъолият дар системаи СИ- Беккерель(Бк), ғайрисистемавӣ- Кюри(Ки).

N(t)-адади ядроҳои радиофаъоли манбаи додашуда аз рӯи ҷунин қонун кам мешавад:

$$N(t)=N_0e^{-(th2/T_{1/2})}=N_0e^{(-0,693t/T_{1/2})},$$

Дар инҷо N_0-адади ядроҳои радиофаъол дар фосилаи вақти $t=T_{1/2}$-даври нимкоҳиш, яъне вақте, ки дар муддати он нисфи ядроҳои радиофаъол коҳиш меёбанд. m-массаи радионуклид. Фаъолият А аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$m=2,4\ 10^{-24}MT_{1/2}A,$$

Дар инҷо М-адади массавии радионуклидҳо, А-фаъолият бо воҳиди Беккерел, $T_{1/2}$ –даври нимкоҳиш бо сония, масса бо граммҳо ифода карда мешавад.

Дозаи экспозитсионӣ (Х). Ба сифати меъёри миқдори афканиши рентгенӣ ё гамма-афканишот истифодаи воҳиди ғайрисистемавии дозаи экспозисионӣ, ки заряди зарраи дуюминро (dQ) муайян мекунад, қабул шудааст. Пайдоиши массаи мода (dm) ҳангоми пурра сустшавии зарраҳои заряднок:

$$Д_{экпоз}=\frac{dQ}{dm},$$

Воҳиди дозаи экспозитсионӣ- Рентген (Р). Рентген- ин дозаи экспозисионии афканишоти рентгенӣ ё гамма- нурҳо аст, ки дар 1куб. ($см^3$) ҳаво дар температураи 0^0С ва фишори 760 мм.сут.симобӣ заряди ионҳои суммавии аломаташон якхела ва дар як воҳиди электростатикӣ миқдори электрикро пайдо мекунад. $Д_{экс}$ 1р=2,08 · 10^9 ҷуфти ионҳо (2,08 10^9=1/4,8 10^{-10}).

Агар энергияи миёна барои пайдоиши як ҷуфт ионҳо дар ҳаво баробари 33,85 эВ бошад, онгоҳ дар дозаи экспозисионӣ 1р ба як $см^3$ ҳаво чунин энергия дода мешавад;

$$E=(2,08\ 10^9)33,85(1,6\ 10^{-12})=0,113эрг,$$

Дар як грамм ҳаво:

$$E=0,113/ҳаво=0,113/0,001293=87,3\ эрг,$$

Энергияи фурӯбарии афканиши ионӣ раванди якумин, ки саршавии пайдарпайи табдилоти физикии химиявиро дар бофтаи нургирифта ба вуҷуд меорад. Бинобар он, табиист, ки қобилияти мушоҳида намудани эффект бо миқдори энергияи фурӯбурд ё дозаи фурӯбурд алоқаманд аст.

Дозаи фурӯбурд (Д) –Грей (Гр), ғайрисистемавӣ Рад дозаи фурӯбурди афканиши ионизатсияи дилхоҳро муайян мекунад, ба 100эрг таксими грамм модаи нурборишшуда баробар аст.

1рад=0,01ҷоул/ кг=100 эрг/г; Воҳиди навъи дозаи фурӯбурд дар системаи СИ; Грей; 1гр=1ҷоул/ кг =100 рад.

Дозаи эквивалентӣ (Н)-барои ба қадри имкон баҳодиҳии зарар ба саломатии одам дар шароити доимии (дуру дароз) нурбориш дар соҳаи бехатарии радиатсионӣ мафҳуми дозаи эквивалентӣ (Н)-ро дохил намуданд, ки ба ҳосилаи дозаи фурӯбурд $Д_ф$ баробар буда, нурборишро дар масофаи 2 ба вучуд меоварад ва нисбат ба таҳлили миёнаи организмҳо ё тамоми узвҳо ба зарбшавандаи массавии $W_ч$, ки зариби сифатан нурбориш ном гирифтааст, баробар аст. Воҳиди ченкунии дозаи эквивалентӣ ҷоул ба килограмм ҷоул/ кг ё ин номи махсус Зиверт (Зв)-ро дорад.

Ба зарбшавандаҳои массавии афканишот, навъи афканишот ва миқёси энергия ба ҷадвали 8.5.2. нигаред:

Таъсири нурбориш характери номунтазамро дорад. Барои баҳо додани зарари саломатии одамон аз ҳисоби характерҳои гуногуни таъсири нурбориш дар органҳои гуногун (дар шароити мунтазам нурбориши ҳамаи ҷисм) аст.

Ҷадвали 8.5.2

Навъи заррахо	Зарбшавандаи массавӣ
Фотонҳои энергияашон гуногун	1
Электронҳо ва мюонҳои ҳамаи энергия	1
Нейтронҳои энергияашон <10 КэВ	5
Нейтронҳои аз 10 то 100 КэВ	10
Нейтронҳои аз 100 КэВ то 2МэВ	20
Нейтронҳои аз 2 МэВ то 20 МэВ	10
Нейтронҳои >20 МэВ (ғайр аз протонҳои қафорафта)	5
Алфа-зарра, пораҳои тақсимшуда ва дигар ядроҳои вазнин	20
Протонҳои энергияшон >2 МэВ (ғайр аз пропанҳои қафорафта)	5
	5

Беккерел: воҳиди стандарти байналхалқии радиофаъолияти мода беккерел аст, ки ба як коҳиш сония баробар аст. Ин бузургии на он қадар калон буда, тақрибан ба 27 миликюрӣ баробар аст.

Кюрӣ: бузургии анъанавии чен намудани радиофаъолият, ба радиофаъолияти як грамм радийи тоза баробар аст. Ин ба 37 млрд коҳишҳо дар сония (37 млрд. беккерел) эквивалент соат баробар аст.

Рад: воҳиди ченкунии дозаи фурӯбурди радиатсионӣ, ҳамчун ҷамъшавӣ 100 эрг энергия дар як грамм бофта муайян карда мешавад.

Грей: воҳиди дозаи фурӯбурд, ба 100 рад баробар аст.

Рентген: бузургии кӯҳнаи ченкунии таъсири радиатсия аст. Воҳиди грамм - радиатсия қабул шудааст, ки савияи ионшавии ҳаворо чен мекунад. Як рентгени баъзе бофтаҳои биологии беустухон, ки таъсири радиатсияро мегиранд, тахминан ба як рад баробар аст.

Рем (эквиваленти радиатсионии инсон, аз забони англисӣ гирифта шудааст): воҳиди ченкунии дозаи эквиваленти радиатсионӣ, навъҳои гуногуни дозаи энергияи радиатсионӣ, ионизатсия ба бофтаҳо, организми инсонро (боз маълум аст самараноки нисбии биологӣ) ба эътибор мегирад. Дар ин вақт бо радҳо чен карда мешаванд, ремҳо ва зивертҳо зарари биологиро чен мекунанд. Дар ҳолати бета- ва гамма- радиатсия радҳо ва ремҳо ба ҳам баробаранд. Аммо, азбаски алфа- радиатсия зарари хеле ва хеле калон дар воҳиди энергия меорад, ҷамъшавии радиатсия дар бофтаи зинда бо радҳо чен шуда, бояд ба 20 зарб шавад. Ин зариб барои натиҷаро бо ремҳо ҳосил намудан истифода карда мешавад. Зариби нишондодашуда дар замони ҳозира 20 (омили сифат меноманд) қабул шудааст, аммо дар оянда зарари радиатсионӣ ин зариб мумкин тағйир ёбад. Дар замони ҳозира ICRP маҳдудияти дозаро дар ҳудуди 2 рем/сон барои коргарони касбӣ ва 500 миллирем/сон барои аҳолӣ пешниҳод шудааст.

Зиверт: воҳиди ченкунии дозаи фурӯбурди эквивалентӣ мебошад. 1зиверт=100рем.

Инсон- зиверт: Ин бузургӣ дозаи гирифтаи аҳолиро муайян мекунад, ҳамчун суммаи дозаи шахсӣ ба аҳолӣ.

Савияи корӣ: ин воҳиди дозаро барои истеҳсоли уран истифода мебаранд. Савияи корӣ аз воҳиди ғаноиш дар ҳаво аз энергияи потенсиалии алфа- зарра вобаст аст, ки радон ва маҳсулоти такисмшавии он меафканад. Агар дар ҳаво радон бошад, дар фосилаи вақти муайян як савияи корӣ тахминан ба 100 пикокюри радон дар як литр ҳаво мувофиқ меояд.

Савияи кории якмоҳа: Савияи кории якмоҳа ҳамчун таъсири як савияи кории миёна дар давоми моҳи корӣ, ки ба 170 соат баробар аст, муайян карда мешавад.

Мафҳуми самаранокии дозаи эквивалентӣ дохил карда шудааст. Барои баҳо додани имконияти эффекти тасодуфӣ навпайдошавии шаклҳои зиёди нурборишро истифода мебаранд.

Дозаи эффективӣ – ба суммаи дозаи эквивалентии санҷиши ҳамаи организмҳо ва бофтаҳо баробар аст.

Дозаи эквиваленти самаранокии коллективӣ – барои баҳо додан ба зарари саломатии коргарони касбӣ ва аҳолӣ аз эффектҳои тасодуфӣ, ки таъсири афканишоти ионӣ ба вуҷуд меорад, дозаи эквиваленти саммаранокии коллективӣ S –ро истифода мебаранд:

$$S=N(E)\,E,$$ воҳиди S одам- зиверт(одам-Зв)

Энергияи зинагӣ айнан ба энергияи электронҳо дахл дорад. Агар дар як рӯйдоди бархурӣ зарраи заряднокии аввала электронеро пайдо кунад, ки ба энергияи калон соҳиб бошад, он гох ин энергия ба қимати dE дохил намешавад ва электрон бо энергияи калон ҳамчун зарраи аввалини мустақил ба ҳисоб меравад. Интихоби энергияи зинагӣ аз шароитҳои мушаххас вобаста аст. Аз муайянкуниҳо маълум мешавад, ки ба намуди хаттӣ сарфи энергия ба сусткунии қобилияти мода монандӣ дорад. Он вобаста аст ба:

Сарфи хаттии энергия (СХЭ), ки ба фотон табдил меёбад, яъне сарфи радиатсионӣ.

Ба зинаи додашуда СХЭ, ки ба худ энергияи кинетикии зарраро ҳамроҳ мекунад, зиёдшаванда аст. Бузурги СХЭ ва қобилияти сустшавӣ мувофиқ меояд, агар сарфи энергияро дар сустшавӣ ба назар нагирем.

Қимати миёнаи бузургии хаттии таҳлили энергия L ва дав R барои электронҳо, протонҳо ва алфа-зарраҳо дар бофтаи нарм дар ҷадвали 8.5.3. оварда шудааст.

Ҷадвали 8.5.3

Зарра	E, МэВ	L, КэВ/мкм	R, мкм
Электрон 0,1 0,42 1,0 0,35	0,01 180 5000	2,3	1
Протон 2,0 16 5,0 8 100,0 4	0,1 80 350 1400	90	3
Алфа-зарра 5,0 95	0,1 35	260	1

Аз рӯи таҳлили бузургии хаттии энергия зарбшавандаро байни намудҳои афканишот муайян намудан мумкин аст.

Вобастагии зарбшавандан вазнини афканишоти Wr аз таҳлили хаттии энергияи афканишоти ионизатсия L барои об оварда шудааст (ба ҷадвали 8.5.4. нигаред).

Ҷадвали 8.5.4

L, КэВ/мкм	$<\frac{3}{5}$	7	23	53	>175
Wr	1	2	5	10	20

8.6. ТАЪСИРИ РАДИАТСИЯ БА ИНСОН ВА ОҚИБАТҲОИ ХАТАРНОКИИ ОН

Ҳиссиёти узвҳои алоҳида ба афканишоти радиофаъол гуногун аст. Бинобар он, барои гирифтани ахбори муайян дар бораи дарачаи хатарнокӣ лозим аст зариби ҳиссиёти бофтаҳоро ҳангоми ҳисоб намудани дозаи эквиваленти нурбориш ба назар гирифт (ба ҷадвали 8.6.1. нигаред).

Эҳтимолияти харобшавии бофтаҳо аз дозаи суммавӣ ва бузургии миқдоргирӣ вобаста аст, зеро самаранокии репаратсионӣ қобилияти аксарияти узвҳо (организмҳо) имконияти баркарорашаванда баъди гирифтани савияи дозаи хурд соҳиб мешавад.

Ҷадвали 8.6.1

Бофта	Бофтаи устухон	Ғадуди сипаршакл	Мағзи устухони сурх	шуш	Ғадудҳои шир	Тухм-донизан, моя	Дигар бофтаҳо	Органи умумӣ
Дозаи эквивалентии нур-бориш	0,03	0,03	0.12	0,1	0.15	0.25	0,30	1,00

Ғайр аз ин дозаҳое мавҷуданд, ки онҳо дар амалия марговар мебошанд. Мисол, дозаи 100 Гр баъди якчанд рӯз ба марг меоварад ё нурбориш аз 10-50 Гр дар муддати як ё ду ҳафта ба марг меорад. Дозаи аз 3-5 Гр хавфнок аст, ки оқибаташ бо марг анҷом меёбад, тахминан 50% нургирифтагон ба оқибатҳои вазнини хатарнок ва марговар дучор мешаванд. Интихоб намудани реаксияи муайяни организмро дониста, оқибатҳои таъсири дозаи калони нурборишро дар вақти садамаи дастгоҳҳои ядрои, сохт ё хатари нурбориш дар фосилаҳои вақти дуру дароз ба минтақаҳои баланди афканишоти радиатсионӣ, чи аз манбаҳои табиӣ ва чи аз ифлосии радиофаъолро баҳо додан зарур аст.

Ба таври муфасалтар паҳншавӣ ва харобии хатарнокро, ки нурбориш меоварад, махсусан касалии саратон ва вайроншавии генетикиро дида бароем.

Ҳангоми касалии саратон эҳтимолияти сабаби камшавиро хеле мураккаб баҳо додаанд, аз ҷумла дозаи аз ҳама хурд метавонад, ба раванди барнагарданда биёрад, аммо онро пешакӣ муқарар намудан душвор аст. Аммо муқарар карда шудааст, ки эҳтимолияти касалшави вобаста ба дозаи нурбориш мутаносуби рост меафзояд аст. Дар байни касалиҳои саратон, ки нурбориш пайдо мекунад, хеле паҳн шудадани лейкозҳо айён мегардад. Эҳтимолияти баҳодиҳӣ ин гуна касалиҳо ё дигар намуди касалиҳои саратон меафзояд инро чунин фаҳмидан мумкин, ки лейкозҳо якум худро шикор мекунад, баъди 10 сония нурбориш мағлубиятшавиро ба вуҷуд меоваранд. Лейкозҳо, ки омма (аҳолӣ) дохил мешавад, ба саратони ғадудҳои ширӣ, саратони ғадуди сипаршакл ва саратони шуширо меоваранд.

Қамҳиссиётар меъдаю рӯда, ҷигар ва дигар узву бофтаҳо мебошанд. Таъсири афканиши радиологӣ дигар омилҳои номувофиқи экологиро (ҳодисаи синергизм) возеҳан пурқувват мекунад. Инак мағлубшавии одамони сигоркаш аз таъсири радиатсия хеле зиёд аст. Агар гап дар бораи оқибати генетикии радиатсия равад, онҳо дар намуди аберрасияи хромосомӣ (аз ҷумла тағйирёбии адад ё таркиби хромосомаҳо) ва мутатсияи генӣ ошкор мешаванд ё дар шароите, ки агар дар падару модар гени мутантҳо якхел бошанд(эҳтимолияти ин гуна генҳо хеле кам аст).

Инак, дар даври якум муқарар шудааст, ки чӣ дар дозаи 1Гр, дар фони пасти радиатсия гирифта шуда махсусан ҷинси мардона (барои занҳо баҳодиҳи каму беш муайян аст), аз 1000 то 2000 мутатсияро пайдо мекунад, ки ба оқибатҳои хатарнок меоварад, ва аз 30 то 1000 абератсияи хромосомаҳо дар ҳар як миллион нав зинда-таваллудшудагон ба қайд гирифта шудааст.

Дар даври дуюм чунин натиҷа гирифта шудааст: нурбориши доимӣ бо тавонои дозаҳо дар 1Гр дар як насл ба пайдошавии қариб 200 касалиҳои генетикии ҷиддӣ меоварад. Ин баҳодиҳи нобоварінок ва нодаркор аст. Оқибатҳои генетикӣ нурбориш ба чунин миқдори параметрҳо дучор мешавад, монанди ихтисори давомнокии ҳаёт ва даври аз даст додани қобилияти корӣ. Инак нурбориши доимии аҳолӣ бо тавоноии дозаи 1Гр дар насл, даври қобилияти кориро ба 50000 сол ихтисор мекунад, ва давомнокии ҳаёт- инчунин ба 50000 сол ба ҳар миллион зинда навтаваллудшудагони байни хурдсолоне, ки ба насли якум нурбориш дохил мешаванд.

Ҳангоми нурбориши доимӣ насли зиёд чунин баҳо дода мешавад: мувофиқан 340000 сол ва 286000 сол. Акнун қиматҳои махсуси дозаи нурбориш ва оқибатҳои хатарнокиро дида, чунин хулоса мебарорем, ки аз афканишоти гамма ва нейтронҳо иборат аст. Ин ду афканишот ба хосияти физикии гуногун соҳиб мебошанд, ҷиҳати умумии онҳо дар он аст, ки дар ҳаво ҳаматарафа то масофаи 2,5 то 3 км метавонанд паҳн шаванд. Гамма-нурҳо ва нейтронҳо аз бофтаҳои биологӣ гузашта атом, молекулаҳоро, ки дар таркиби ҳуҷайраҳои зинда ядронд, ионизатсия мекунанд. Дар натиҷа намуди муътадили ивазшавии мода вайрон шуда, ба пайдоиши касалиҳои махсус, яъне касалии нурӣ, оварда мерасонад. Радиатси-

ян нейтронхо метавонанд, дар бофтахо бисёр тез гузарад, онхо дар натича чоришавии реаксияи таркиши ядрои ва «дер мондан», ки дар натича раванди кохиши кисмхои таксимшуда дар муддати 2-3 сонияи аввали баъди таркиш пайдо мешаванд.

Аз бисёр нишондодхои ходисаи Херосима ва Накасакй чамъ омадааст, ки дарачаи маглубшавии одамон баъди ба онхо таъсир намудани дозаи яккарата кайд карда шудааст.

– дозаи 1100-5000Р- кариб 100% маглубшавй, дар давоми як хафта зинда монда, саломатии он такрибан дар давоми 6 мох сихат шуд.

– 270-330Р кариб хамаи шикастхўрдагон ба касалии нурй дучор шудаанд, маглубшавй 20%;

– 180-220Р-50% осебдидагон ба касалии нурй гирифторанд;

– 130-170Р-25% осебдидагон касалии нурй мебошанд;

– 80-120Р-10% маглубшудагон худро нотоб ва мондашуда бе сарфи кобилияти корй мехисобанд;

– 0-50Р- аломатхои осебхўрй нест.

Агар даври нурбориш аз чор шабонарўз зиёд шавад, он гох дар организми нурборишшуда раванди баркароршавии хучайрахои маглубшуда сар мешавад.

Самаранокии таъсири афканишоти дозаи яккарата ба организми инсон дар давоми фосилаи вакти гуногун баъди нурбориш таъсири худро мерасонанд:

– як хафта -90%;

– се хафта -60%; -як мох- 50%; -се мох-12%. Мисол, агар одамон бо дозаи экспозисионй 30Р се хафта кафо нурбориш шуда бошанд, он гох дозаи бокимондаи радиатсия 30.0,6=18р-ро ташкил мекунад. Хамин тавр, эхтимолияти дозаи афканишот ва дарачаи маглубшавии одамонро донистан, эхтимолияти осебдидагон ва маглубшудагонро (сарфро) дар байни ахолй муайян намудан мумкин аст.

8.7. ҚИМАТҲОИ МАХСУСИ ДОЗАИ НУРБОРИШ, КИ ИНСОН ҚАБУЛ МЕКУНАД

1,0 мэбр, мэбр аз хазор як кисми эбр.

– 2,5 мэбр- дозаи нурбориши кайхонй, ки мусофирони хавопаймохои (самолётхои) мусофиркаш хангоми парвоз аз як шахр то шахри дигар мегиранд.

– 10 мэбр- як ташхиси тиббии сандуки дил бо истифодабарии дастгохи хозиразамони флуоресценсиянитор;

– 10-40 мэбр- дозаи миёнаи, истикоматкунандагони дар минтакаи таъсири По «Маяк» истикомат мекунанд, аз хамаи омилхои берунй ва дохилй нурбориши технологй дар соли 1995 кабул намудаанд.

Дар кисми хамвории атрофи Россия;-30 мэбр- дозаи нурбориши миёнаи солона, ба афканишоти кайхонй асос шудааст.

– 60-80 мэбр-дозаи нурбориши миёнаи солона, ба афканишоти кайхонй асос шудааст, барои одамоне, ки дар чойхои баландкўх истикомат мекунанд.

– 80 мэбр- дозаи миёнаи солона барои шахрвандони ИМА аз хисоби манбахои табиий афканишоти радионуклидхо;

– 160 мэбр- дозаи миёнаи солона, ки экипажи хавопаймохои шахрвандон аз афканишоти кайхонй мегиранд.

– 300 мэбр дозаи миёнаи солонаи ахолй аз хамаи манбахои табиии афканиши модахои радиофаъол мегиранд;

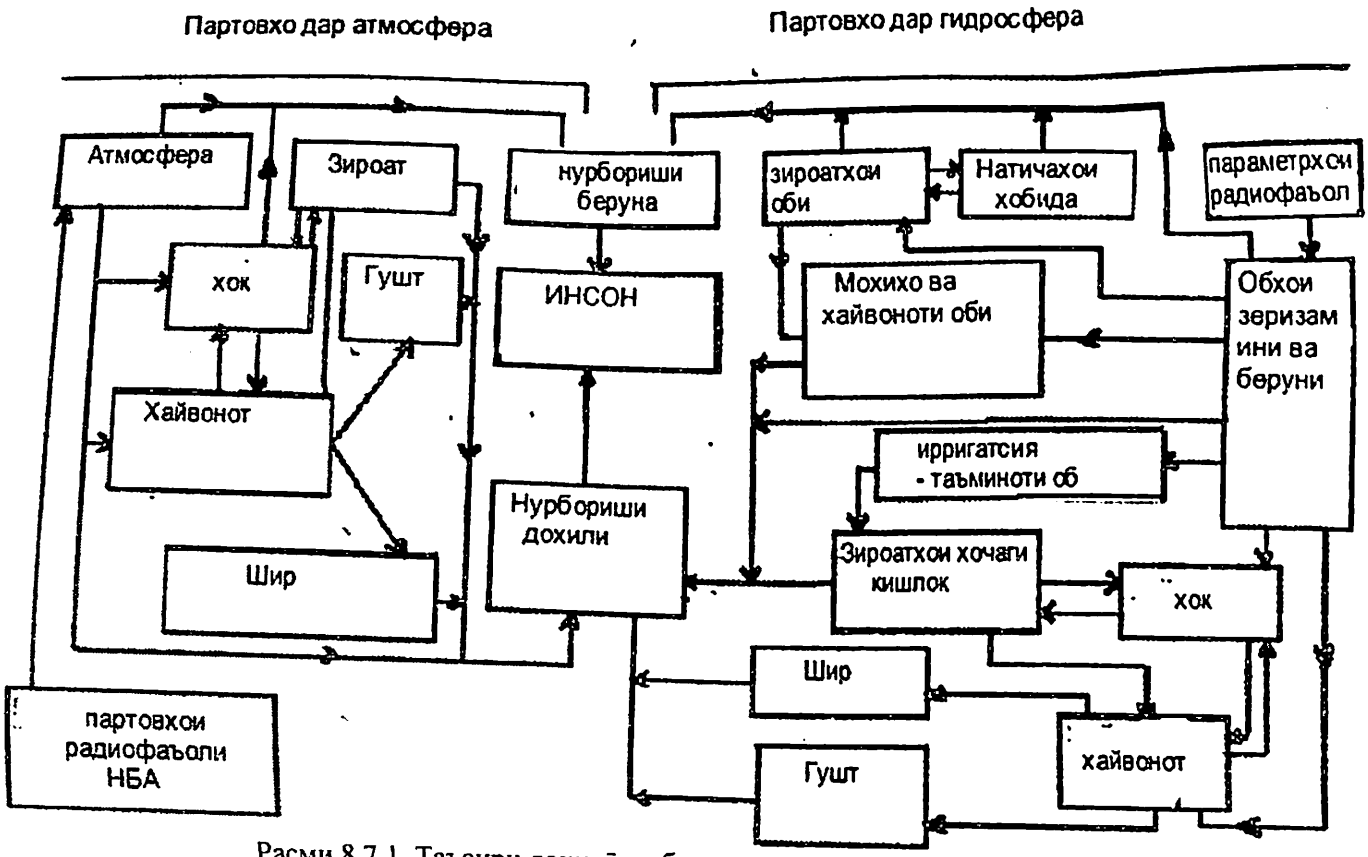
– 500 мэбр-худуди чоизии дозаи нурбориши солонаи барои як кисми ахолй махдуд шудааст;

– 500 мэбр- худуди чоизии дозаи нурбориши солона барои коргарони касбии саноати атомй.

Дар асоси натичахои овардашуда кайд намудан мумкин аст:

Агар дозаи нурбориши массаи чисми инсон ба 500-1000 рад ва аз он зиёд шавад, инсон зинда наемонад, новобаста аз нигохубини табибон ва гузаронидани терапия. Дар садамаи Чернобил 19 одам вафот кард ва як кас зинда монд.

Дар дозаи 200-500 рад, зинда мондан мумкин аст, агар муоличаи саривакти бо сифат расонида шавад. Аз ин доза дар садамаи Чернобил хафт одам вафот кард, 14 кас зинда монд.



Расми 8.7.1. Таъсири дохилӣ ва берунии радиатсия ба организми одам

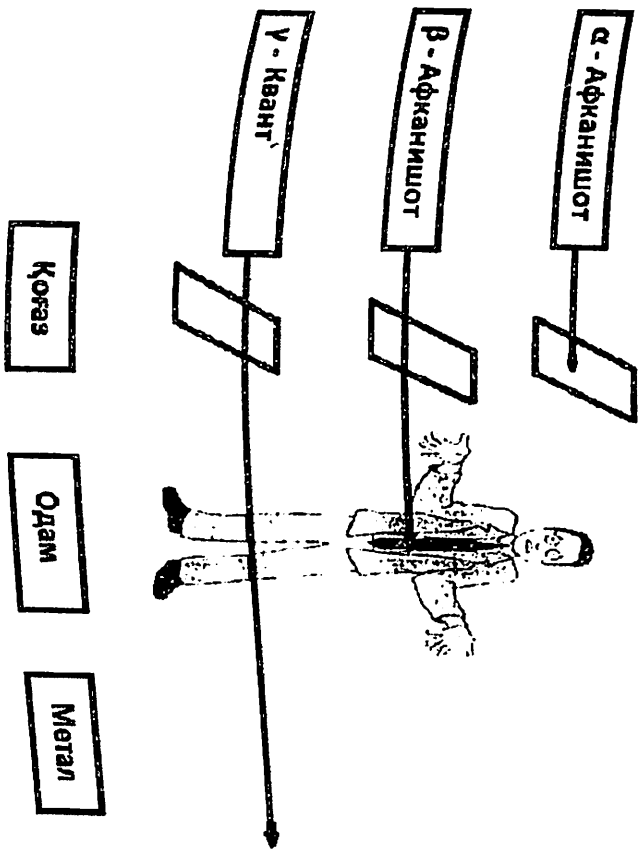
Дар дозаи 100-200 рад, эҳтимолияти зинда мондан хаст, бе халли проблемахои махсус, барои он ки шикастхўрии он кадар пуркувват мебошад, ки ба осеби устухони майнаи сар биёрад, дар Чернобил як одам нафот кардааст, 31 кас зинда монд.

Дар дозаи аз 100 рад хурд зинда мондан ягон шубха надорад, дозаи симптоматикаи клиникӣ хамрохшавии тиббиро талаб намекунад, бо ин доза дар садамаи Чернобил 40 одам зинда мондааст.

Дар расми 8.7.1. таъсири дохилӣ ва берунии радиатсия ба организми одам оварда шудааст, чӣ тавре, ки дида мешавад, бо роххои гуногун атмосфера ва гидросфера партовхои радиофаъол таъсири худро мерасонанд.

Таъсири асобу лавозимоте, ки реактори истохи баркии атомӣ боки мондаанд, ки хамчун партовхои радиофаъол мебошанд ва дозаи аз худуди чоизи калонро доранд, ки ба организми инсон ва мухити зист таъсири манфӣ мерасонанд, ба расми 8.7.1 нигаред.

Дар расми 8.7.2 таъсири алфа,- бетта ва гамма афканишот ба маводхо ва хучайрахои зиндаи инсон оварда шудааст.



БОБИ IX
САВИЯҲОИ ҲУДУДИИ ҶОИЗИ ДОЗА

9.1. САВИЯҲОИ ҲУДУДИИ ҶОИЗИ НУРҲОИ ИОНИШ

Барои одамоне. ки бо манбаҳои нури ионзо сарукор доранд, ҳудуди ҷоизи савияи афканишот муқаррар карда шудааст. Бузургии ҳудудии ҷоизии савияи доза аз савияи дозаи умумие, ки нурҳои кайҳонӣ, афканишоти атмосфера, сатҳи замин ва модаҳои радиатсионии дар организми инсон мавҷуда ба вуҷуд меоранд, зиёдтар аст.

Дар асоси қоидаи санитарӣ се гурӯҳи савияи нургирӣ муқаррар шудааст:

а) нургирии коргарони касбӣ, ки бевосита бо манбаи афканишот кор мекунанд.

б) нургирии одамоне, ки дар хонаҳои ҳамсоя (нисбат ба хонае, ки бо модаи радиофаъол кор мекунанд) дар ҳавои кушод, дар ҳудуди минтақаи ҳимояи санитарӣ (он қисми масоҳати атрофи объект, ки ченаки он муқаррар карда мешавад, дар асоси меъёрҳои лоиҳакашии корхонаҳои саноатӣ ё ба мутобиққунии мақомоти назорати санитарӣ) бо модаҳои радиофаъол кор мекунанд.

в) нургирии аҳолӣ, ки дар сарҳад бо минтақаи ҳимояи санитарӣ зиндагонӣ мекунанд.

Аз сабаби он ки назорати дозасанҷӣ бо асбобу лавозимот ба махсус иҷро карда мешавад, сели афканишотро чен карда, мафҳуми ҳудуди ҷоизи онро дохил мекунанд.

Ҳудуди ҷоизи сели нурҳои ядрои (ядрои)- чунин сели афканишотест, ки ҳангоми нурборон намудани организм дозаи баробар ба ҳудуди ҷоизиро ҳосил мекунад. Акнун таъсири нурҳои гуногуни ядрои α, β, γ. n- ро дида мебароем. Ионизатсия дар қад-қади роҳи тайкардаи β-зарра дар бофтаҳои биологӣ дозаеро ба вуҷуд меорад, ки он баробар аст ба:

$$Д = \frac{N\,E\,1{,}6\,10^{-6}3600\,t}{100\,d}\ \text{ЭБР} \qquad (9.1.1)$$

Дар инҷо N- сели β- зарраҳо (бета-зарра/см^2·с,) E_β-қимати максималии энергияи β- зарра бо МэВ, t-вақти корӣ бо соат, d-дарозии миёнаи дави β- зарра дар бофтаҳо бо г/см^2.

Ба формулаи (4.1.1) бузургии дозаро, ки ба ҳудуди ҷоизи (0,1 ЭБР/ҳафта) баробар аст, гузошта сели ҳудуди ҷоизи β- зарраҳоро дар як ҳафтаи соати корӣ муайян мекунем

$$N_{хч}=0{,}1\ \text{`d`}\ 100/E_\beta \cdot 1{,}6\cdot 10^{-6}\cdot 3600t = 1740\cdot d/E_\beta t, \qquad (9.1.2)$$

(бета-зарра/см^{2}с)

Формулаи (4.1.2)-ро истифода бурда, ҳудуди ҷоизии сели бета-зарраҳоро барои энергияҳои гуногун ёфтан мумкин аст.

Барои баҳо додани таркиби мураккаби спектри афканишот дар паҳной энергияи то 10 МэВ ҳудуди ҷоизии сели β-зарра барои як ҳафтаи рӯзи кори ба ҳисоби миёна бо нишондоди «қондан санитарӣ» қабул шудааст:

$$N_{х.ч} = \frac{700}{t}, \frac{\text{бета–зарра}}{\text{см}^2\,\text{с}}, \qquad (9.1.3)$$

Ҳангоми кор дар як ҳафта t=36 соат, $N_{хч}$=20 β- зарра/ см^2.с.

Барои ҳудуди ҷоизии гамма квантҳо бузургии доза ба ҳудуди ҷоизӣ (0,1 рентген/ҳафта) баробар аст, яъне

$$Д_{хч} = N_{хч}E_\gamma\ \text{ме}\ 1{,}6\ 10^{-6}\cdot 3600t/0{,}114 = 0{,}1\text{р/ҳафта}, \qquad (9.1.4)$$

Ҳудуди ҷоизии сели гамма-нурҳоро меёбем:

$$N_{х\,ч}=0{,}1\cdot 0{,}114/E_\gamma\mu et\cdot 1{,}6\cdot 10^{-6}\cdot 3600 = 114/57{,}6E_\gamma\mu et, \qquad (9.1.5)$$

ё тақрибан;

$$N_{х\,ч}=2/\ E_\gamma\mu et,\ \text{гамма квант/см}^2\,\text{с}, \qquad (9.1.6)$$

Дар инҷо E_γ - энергияи гамма-нурҳо бо МэВ,μ_e - зариби ҳақиқии хаттии фурӯбарии гамма-квантҳо барои ҳаво, см$^{-1}$, t- вақти нургирӣ бо соатҳо дар ҳафта.

Аз формулаи (9.1.4) ҳудуди ҷоизи сели гамма-нурҳоро барои энергияи гуногун (то 3 Мэв) муайян намудан мумкин аст. Барои гамма-нурҳои энергияашон аз 3 то 10000 МэВ «қоидаи санитарӣ» муқаррар карда шудааст, ки барои кори t соат дар ҳафта ҳудуди ҷоизӣ интенсивнокии онҳо чунин ёфта мешавад:

$$\Sigma_{i=0}^{m} N_i E_\mu = \frac{700}{t}, \frac{\text{МэВ}}{\text{см}^2.\text{с}}, \quad (9.1.7)$$

Ҳангоми кор намудан дар тӯли t=36 соати рӯзи корӣ дар ҳафта

$$\Sigma_{i=0}^{m} N_i E_\mu = 200 \cdot \frac{\text{МэВ}}{\text{см}^2.\text{с}}, \quad (9.1.8)$$

Ҳудуди ҷоизии сели нейтронҳои ҳароратиро, ки энергияашон ба $E_п$=0,025эВ баробар аст, чунин шарҳ додан мумкин аст. Нейтронҳои ҳароратӣ дар бофтаҳои биологӣ аз берун дар натиҷаи диффузия шудан ё сустшавии нейтронҳои сареъ дар бофтаҳо ҳосил мешаванд. Онҳоро ядрои элементҳо, ки дар таркиби бофтаи биологӣ мавҷуданд, метавонад рабоянд. Дар натиҷаи реаксияи ядрои навъи (n,p), (n,γ) мегузарад. Протонҳо ва гамма-нурҳои ҳосилшуда дар бофтаҳо фурӯ рафта, доза пайдо мекунанд. Саҳми асосии он аз реаксияҳои дар боло номбаршуда вобаста мебошад.

$$N^{14}(n,p)C^{14} \text{ ва } H^1(n,\gamma)H^2,$$

Пас, дозаи фурӯбурд ҳангоми нурборон намудани бофтаи биологӣ бо нейтронҳои ҳароратӣ баробар аст:

$$Д=Д(н)\gamma+Д(N)p, \quad (9.1.9)$$

Дар инҷо Д (н) γ ва Д (N) р дозаи фурӯбурд, ки гамма- нурҳо ва протонҳо аз реаксияи $H^1(n,\gamma)H^2$ ва $N^{14}(n,p)C^{14}$ пайдо мекунанд.

Дозаи фурӯбурд дар бофтаҳои биологӣ, ки гамма-нур ба вуҷуд меоранд, бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад.

$$Д=_{(н)\gamma}=K \cdot N_0 n_н \delta_п E_п \mu e_{(боф)} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6} 3600\eta \cdot t/100 = A_1 N_0. \quad (9.1.10)$$

$E\gamma$ - энергияе, ки дар бофта аз ҳисоби фурӯ рафти гамма-нурҳо пайдо мешавад, бо МэВ, $N_0 n_н \delta_н = N$ - миқдори гамма-нурҳои ҳосилшуда, К - зариби сустшавии сели нейтронҳой ҳароратӣ, N_o ва N_γ гамма-нурҳои дар бофта ҳосил шударо ба эътибор мегиранд. $n_н$ - ғаноиши ядрои гидроген дар $см^3$ бофта, $\delta_н$ - эҳтимолияти самаранок махвиши нейтронҳои ҳароратии ядрои гидроген, t- вақти нурборонкунӣ бо соатхо, $\mu e_{(боф)}$ зариби ҳақиқии ҳаттӣ фурӯбарии гамма-нурҳо дар бофта бо $см^2/г$, η-зариби ББН.

Дозаи фурӯбурд Д(N)р, ки дар бофтаи биологӣ протонҳоро пайдо мекунад, бо формулаи зерин ёфта мешавад:

$$Д(N)p = N_o n_N \delta_N E_п \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 3600\eta t/100 = A_2 N_0. \quad (9.1.11)$$

n_N – ғаноиши ядрои нитроген (азот) дар грамм бофта, δ- эҳтимолияти самаранок дошта гирифтани нейтрони ҳароратӣ,

$E_п$ - энергияе, ки дар бофта протонҳо пайдо мекунад (МэВ), η - зариби ББН, барои протонҳо η=10.

Қиматҳои Д(N)р ва Д(N)-ро ба формулаи (9.1.9) гузошта, дозаи умумии фурӯбурдро ба қимати ҳудуди ҷоизӣ баробар намуда, қимати ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои ҳароратро, ки ба сатҳи матоъ меафтанд меёбем:

$$N_{х ч} = \frac{0{,}1}{A+A} \frac{\text{Нейтронхои}}{\text{см}^2\ \text{с.}}, \quad (9.1.12)$$

"Қоидаи санитарӣ" ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои ҳароратиро дар ҳафтаи корӣ бо соатҳо муқаррар кардааст.

$N_{хч}$=27000/t, (нейтронҳои ҳароратӣ/ $см^2$с)4.

Барои 36 соати корӣ дар ҳафта Nхч=750 • нейтронҳой ҳароратӣ/ $см^2$с.

Ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳо барои энергияи аз 0,025эВ то 0,5 МэВ дар ҷадвали 9.1.1 оварда шудааст.

Ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳо бо энергияи аз 0,025эв то 0,5МэВ

Ҷадвали 9.1.1

Энергияи нейтронҳо	$N_{хч}=\frac{\text{нейтрон}}{\text{см}^2\ \text{с.}}$ **барои ҳафтаи корӣ**	$N_{хч}=\frac{\text{нейтрон}}{\text{см}^2\ \text{с.}}$ **барои 36 соати корӣ дар ҳафта**
0,1.эВ	20000/t	550
5кэВ	23000/t	640
20 КэВ	11000/t	310
0,1 МэВ	3200/t	90
0,5 МэВ	1200/t	33

Ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои сареъ, ки энергияашон $E_п$=0,5-10 МэВ аст, чунин баҳо дода мешавад:

Нейтронҳои сареъ, ба бофтаи биологӣ афтида, бо ядрои элементҳое, ки дар таркиби бофта мавҷуданд, бархӯрда, қисми энергияашонро медиҳанд (бархӯрди чандирӣ). Дар натиҷа ядрои кафорафта пайдо мешавад, ки энергияи қабулкардаашро ба ионизатсия ва ангезонидани атомҳои бофта сарф карда, дозаи фурӯбурдро ҳосил мекунад. Саҳми он аз бархӯрии чандирии нейтронҳо бо ядроҳои сабук, мисли гидроген, оксиген, нитрогену карбон вобаста аст. Дар организми инсон ҳар як элемент фоизи муайянро ташкил медиҳад, гидроген,оксиген, нитрогену карбон 96% вобаста ба вазни одам ва 99%- и он ба миқдори атомҳо мувофиқ меояд. Дозае, ки нейтроҳои сареъ дар бофтаҳо дар натиҷаи бархӯрд бо элементҳои номбаршуда пайдо мекунанд, чунин муайян карда мешавад:

$$D_к = \frac{N_0 n_к \delta_к E_к f_к}{100} \cdot \eta_k = A_k N_0, \qquad (4.1.13)$$

дар инҷо No- сели нейтронҳои сареъ, $n_к$ - ғаноиши ядро, дар грамм бофтаи элементҳои мувофикомада, $\delta_к$ – эҳтимолияти босамарии пароканиши нейтронҳой сареъ дар ядрои элементҳои мувофиқбуда, $f_к$- зарибе, ки нейтронҳо ҳиссаи энергияи худро ба ядрои элементи мувофиқбуда медиҳанд, $E_к$ -энергияи нейтронҳо, МэВ. $\eta_к$ -зариби ББН.

Дозаи фурӯбурд (Д), ки нейтронҳои сареъ дар бофта пайдо мекунанд:

$$Д = \sum_{К=1}^{m} Д_к = N_0 \sum_{К=1}^{m} A_к \qquad (4.1.14)$$

Барои t соати корӣ дар як ҳафта ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои сареъро муайян мекунем:

$$N_{Х.Ч} = \frac{0{,}1}{\sum_{К=1}^{m} A} = \frac{\text{нейтронҳои сареъ}}{\text{см}^2\ \text{с}} \qquad (4.1.15)$$

"Қоидаи санитарӣ" ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои сареъро дар ҳафтаи корӣ (t соат) барои энергияи аз 5 то 10 МэВ муқаррар кардааст.

$$N_{х.ч} = 720/t;\ [\text{нейтронҳои сареъ/ см}^2\text{с}]$$

Барои t=36 соати корӣ дар як ҳафта ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳо баробар аст. $N_{х.ч}$ =20; [нейтронҳои сареъ/ см^2 с.]

Акнун ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои беҳад сареъро дар соҳаи энергияи E_n>10 МэВ муайян мекунем. Ҳангоми таъсири нейтронҳои энергияашон калон аз 10МэВ бо ядрои элементҳо, ки дар таркиби бофта мавҷуданд, ғайр аз бархӯрди чандирӣ боз бархӯрдии ғайричандирӣ ҳам рух медиҳад. Дар натиҷаи бархӯрди ғайричандирӣ афканишоти (р, γ, α) ҳосил мешавад, ки дозаи умумиро дар бофта метавонад зиёд кунад. Агар энергияи нейтронҳо аз 50 МэВ зиёд шавад, дар натиҷаи бархӯрд ядро метавонад ба якчанд пораҳо тақсим шавад, ки ин ба афзоиши доза меоварад. Дар ҷадвали 9.1.2. дар асоси "қоидаи санитарӣ" ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои беҳад сареъ муқарраршуда, оварда шудааст. Ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои энергияашон аз 200 то 104 МэВ.

Ҷадвали 9.1.2

Энергияи нейтронҳо бо МэВ	$N_{хч}$= нейтрон / см^2 с	
	Соати корӣ дар ҳафта,t	36 соати корӣ дар ҳафта, t
200	360/t	10
500	220/t	6
2000	110/t	3
5000	36/t	1
10000	11/t	0.3

Барои спектри омехтаи афканишоти нейтронҳо ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳо бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$N_{х.ч} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \frac{P_i}{N} \frac{\text{нейтронҳои сареъ}}{\text{см}^2\ \text{сония}}}$$

Дар инҷо P_i – саҳми нисби нейтронҳо бо энергияи додашуда ($\sum_{i=0}^{m} P_i = 1$); $N_{хч}$ -сели ҳудуди ҷоизи бо энергияи мувофиқбуда мебошад.

Ҳудуди ҷоизи сели зарраҳои зарядноки вазнин, монанди алфа-зарраҳои радиофаъоли табиӣ, муқаррар нашудааст, зеро дарозии роҳи дави озоди онҳо дар бофта хеле кӯтоҳ мебошанд. Ҳангоми нурборонкунии берунӣ алфа-зарра ба қабати болоии пӯст, ки ғафсиаш 70 мк аст фурӯ меравад ва ба организм ягон зиёне

намерасонад. Барои протонҳо ва алфа-заррачое, ки давашон дар бофтаҳои биологӣ аз 70 мк зиёд (то энергияи 1000 МэВ) ҳудуди ҷоизи сели протонҳо 10 маротиба муқаррар шуда, ҳудуди ҷоизи сели алфа-заррачо 20 маротиба кам аз ҳудуди ҷоизи сели нейтронҳои ба ин энергия мувофиқ буда мебошад.Барои нохунии даст дар шароите, ки ҳамаи ҷисм дозаи ҳудуди ҷоизи на аз як зиёдро қабул мекунад, иҷозат дода мешавад, афзоиши $N_{хч}$ барои бета-зарра 10 маротиба ва барои дигар навъҳои афканишот 5 маротиба нисбат ба гуфтаҳои дар боло номбаршуда мебошад. Ғайр аз ҳудуди ҷоизи сели заррачои дар боло оварда шуда, дар асоси "қоидаи санитарӣ" ба назар гирифта шудааст, ки дозаи ҳудудии ҷоизӣ ё миқдори афканишот дар як ҳафта чун афканишоти импулсӣ ба эътибор гирифта шавад. Ҳудуди ҷоизаи доза дар ҳафта барои афканишоти импулсӣ вобаста аз навъ ва энергияи афканишот дар ҷадвали 9.1.3 оварда шудааст.

Ҷадвали 9.1.3

Навъи афканишот	Энергияи афканишот	Дозаи D ё миқдори афканишот N дар ҳафта
Гамма ва нурҳои рентгенӣ	То 3МэВ	100мР
Гамма ва нурҳои рентгенӣ	Аз 3 то 10^4 МэВ	250-10^6 МэВ/см^2
Бета-нурҳо ва электронно	То 10 МэВ	2.5 10^6 бета-зарра/см^2
Нейтронҳои ҳароратӣ	0.025 Эв	100·10^6 нейтрон/см^2
Нейтронҳои сустсурьат	0.1 эВ	72t·10^4 нейтрон/см^2
Нейторнҳои энергияшон мобаинӣ	5кэВ	82·10^6 нейтрон/ см^2
Монанди ҳамин	20 кэВ	40·10^6 пейтрон/см^2
\\-\\-\\-\\-\\-\\-\\-\\	0,1 МэВ	11·10^6 нейтрон/см^2
-\\-\\-\\-\\-\\-\\-\\-\\	0.5 М$_{эВ}$	4,3·10^2 нейтрон/см^2
Нейтронҳои сареъ	10МэВ	2,6·10^6 нейтрон/ см^2
Нейтронҳои басо сареъ	200 Мэ5	1,3·10^6 нейтрон/ см^2
Нейтронҳои аз ҳад сареъ	500МэВ	0,8·10^6 нейтрон/см^2
Монанди ҳамин	2000МэВ	0,4·10^6 нейтрон/ см^2
-\\-\\-\\-\\-\\-\\-\\	5000МэВ	0,13·10^6 нейтрон/см^2

9.2. ҲУДУДИ ҶОИЗИ ДОЗАИ НУРБОРИШ

Ҳудуди ҷоизи доза (ҲҶД) - дозаи калонтаринест, ки таъсири босамараи он дар организм ягон тағйироти бебозгашти ҷисмонӣ ва генетикиро пайдо намекунад. Вобаста аз категорияи объектҳои нурборон кардашуда ҳудуди ҷоизи дозаи ҳафтаӣ ва солона муайян карда мешавад. Дар ҷадвали 9.2.1. ин натиҷаҳо оварда шудааст.

Савияи ҳудуди ҷоизи барои гурӯҳои гуногуни нурборонкардашуда.

Ҷадвали 9.2.1

Категорияи нурбороншавӣ	Нурбороншавии берунии тамоми организм	
	Мэбр/ҳафта	Эбр/сол
А-нурбороншавии касбӣ	100	5
Б-нурбороншавии кормандоне, ки дар минтақаи ҳимояи санитарӣ воқеанд	10	0.5
В-нурбороншавии тамоми аҳолӣ	1	0.05

Дар категорияи А дозаи ҳудуди ҷоизии яккаратаи нурборонкунии беруна ба 3 ЭБР баробар аст, ки ин барои чоряки сол (квартал) муайян шудааст, ҳол он ки дозаи солона аз 5 ЭБР бояд зиёд нашавад.

Барои ин категория бо назардошти дозаи солона 5 ЭБР бошад, дозаи ҷоизи умумиро барои одамони ба синни N расида чунин муайян мекунанд;

$$Д \leq 5(N-18) \text{ ЭБР}, \qquad (9.2.1)$$

Дар инҷо 18 - саршавии синни касбӣ нурбороншавии солона.

Дозаи умумӣ дар синни 30 сол дар ҳама ҳолатҳои корӣ набояд аз 60 ЭБР зиёд бошад.

Ҳангоми иҷрои кор дар ҳолатҳои садама барои одамоне, ки синнашон аз 30 сол калон аст, дозаи солона аз 12 ЭБР бояд зиёд набошад. Агар дар ин ҳолат дозаи суммавӣ аз дозае, ки аз формулаи (4.2.1) ҳисоб карда шудааст, зиёд бошад, дозаи зиёдатӣ то даври нурбориши оянда муддати на кам аз 5 сол боядҷуброн шавад.

Бояд қайд кард, ки ҳангоми кор бо манбаи нури ионизо коргар кӯшиш кунад, ки дозаи калон аз ҳудуди ҷоизиро қабул накунад. Аз ин рӯ чунин шароити кори муҳайё намудан лозим аст, ки нурборонишавии организм дар фосилаи кӯтоҳтарин гузарад.

Савияи дар ҷадвали 4.2.1 нишон дода шуда, барои гурӯҳҳои гуногуни нурборонкунӣ ҳангоми ба лоиҳа гирифтани ҳимоя, баъзе тағйиротҳоро истифода мебаранд. Ин водор мекунад, ки баъзе омилҳоро (нурборонкунии сатҳҳои гуногун аз ҳисоби ифлосии радиофаъол, аниқ донистани таркиби тайфи нурҳои ядрои ва ғайраҳо) ба эътибор нагирифтан лозим аст.

Ҳангоми лоиҳакашӣ бояд лоиҳаи тавоноии савияи муқарраршударо истифода бурд, вобаста аз манзил, хусусияти иҷрошавии кор ва вақти истоди одамон дар он манзил, муайян карда мешавад.

Бузургии лоиҳаи тавоноиро дар вақти будани одамон дар минтақаи нурборонкунӣ дар t соати ҳафта дар ҷадвали 9.2.2 оварда шудааст.

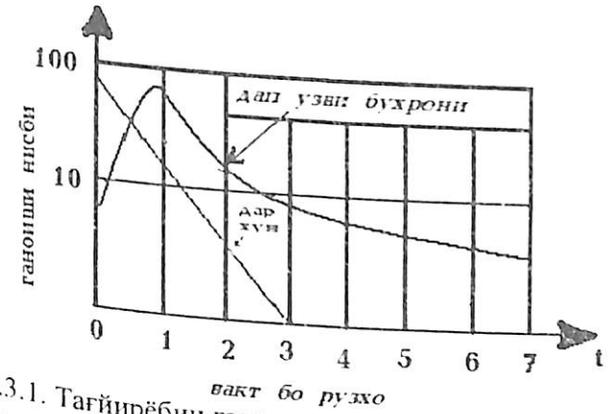
Ҷадвали 9.2.2

Гурӯҳи нурборонкунӣ ва навъи манзил	**Лоиҳаи тавоноӣ доза, мэбр/соат**
Гурӯҳи А 1. Манзилҳои асосӣ барои кор бо манбаҳои нури ионӣ	50/t
2. Манзили нимхизматрасонӣ, таъмири коридор бо вақти хизматрасонии такроршаванда	100/t
3. Манзиле, ки хизмат намерасонад, истодани одамон танҳо дар ҳолати таъмир ё садама имкон дорад	500/t
Гурӯҳи Б Манзили омехта, ки дар ҳудуди минтақаи ҳимояи санитарӣ воқеъ аст.	5/t
Гурӯҳи В Манзили истиқоматӣ ва ҷои зисти аҳолӣ	0,01/t

9.3. ҲУДУДИ ҶОИЗИ ТАРКИБӢ (ҲҶТ)

Ҳудуди ҷоизи таркиби модаи радиофаъол дар организм сабаби мавҷудияти ҷоизи ғаноиши радиофаъолро дар ҳаво, об, ҷоизи дараҷаи ифлосӣ, ҷойи кор, либос ва ғайраро муайян мекунад. Барои муқаррар намудани ҳудуди ҷоизи ғаноиш дар об ва ҳаво бояд ҳудуди ҷоизи таркиби онро дар организм муайян кунем.

Ҳудуди ҷоизи таркибӣ (ҲҶТ)-и модаи радиофаъол дар организм – ин чунин миқдори модаи радиофаъол, ки дар организми бухронӣ таҳшин мешавад ва бо нури худ дозаеро пайдо мекунад, ки ба ҳудуди ҷоизӣ баробар аст. Ҳангоми муайян намудани ҳудуди ҷоизӣ бояд хосияти физикӣ ва химиявии таркиби модаҳои радиофаъол ва роҳи дохилшавӣ ва ҷаҳсимшавии онро дар организм бояд ба назар гирем.



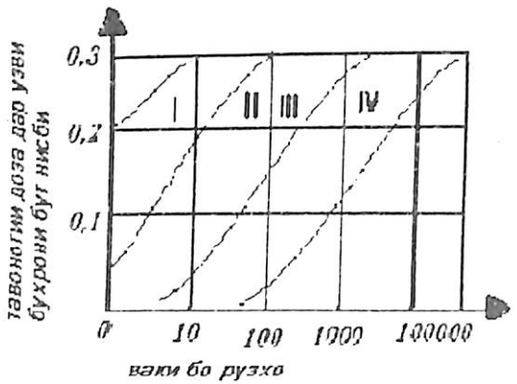
Расми 9.3.1. Тағйирёбии ғаноиши модаи радиофаъол ҳангоми як маротиба дохил шудан дар организми бухронӣ ва хун

Дар шароити хеле хуб бояд модаи радиофаъолро дар организм муайян кунем. Вобаста аз натиҷаҳои амалӣ, ки дар одамон мушоҳида мешавад, аммо ин натиҷаҳо хеле каманд, танҳо нисбат ба радий якчанд таҷрибаҳо ҷамъ шудаанду халос. Воридшавии модаҳои радиофаъол шояд якбора ё мунтазам бошанд. Ҳангоми якбора дохил шудани модаҳои радиофаъол, аввал онҳо аз ҳисоби ҷойивазкунӣ ба дигар узвҳо (мисол, хун), дар узвҳои дигар то қимати бӯҳронӣ ҷамъ мешаванд, ки дар он модаи радиофаъол кам

мешавад, ки сабабаш коҳиши табиӣ ва баровардан аз бофтаи биологӣ мебошад. Дар расми 9.3.1 хатти каҷи тағйирёбии ғаноиши модаи радиофаъол ҳангоми як маротиба дохил шудан ба хун ва организми бухрони оварда шудааст.

Ҳангоми мунтазам дохил шудани модаҳои радиофаъол ба организм ва организмҳои бухронӣ раванди мувозинатӣ ба амал меояд, яъне миқдори модаи радиофаъоли дохилшуда ва хориҷшавии он аз ҳисоби коҳиши табиӣ ва раванди биологӣ баробар мешавад.

Дар расми 9.3.2 тағйирёбии доза дар организми бухронӣ ҳангоми мунтазам дохилшавии модаҳои радиофаъол дар организм оварда шудааст.



Расми 9.3.2. Вобастагии доза аз вакт

I- Na^{24}, $T_{эф}$=0,61 рӯз
II- J^{13}, $T_{эф}$=7,7 рӯз
III-C_a^{45}, $T_{эф}$=151 рӯз
IV- $S^{90}_г$, $T_{эф}$=2,4.10^4 рӯз (9.3.1)

Қисми болоии хатти каҷ ҳолати мувозинатиро тавсиф медиҳад. Вақти мувозинатӣ аз даври ним ҷудокунӣ вобаста аст, ки вай аз шарти зерин муайян карда мешавад. $T_{эф}$ - вақте, ки дар он муддат миқдори модаи радиофаъол дар организми бухронӣ ду маротиба кам мешавад:

$$\lambda_{эф}=\lambda_в+\lambda_, \qquad (9.3.2)$$

$$\lambda_{эф}=\frac{0,693}{T_{эф}}-\frac{0,693}{T_е}+\frac{0,693}{T_ч}, \qquad (9.3.3)$$

ё ин ки,

$$T_{эф}=\frac{T_е-T_ч}{T_е+T_ч}. \qquad (9.3.4)$$

Дар инҷо $T_е$ - даври нимкоҳиш, $T_ч$ – даври нимҷудокунӣ.

Ҳудуди ҷоизии таркиби модаҳои радиофаъол дар организм тахмин муайян карда мешавад. Агар дохилшавии изотоп мунтазам бошад, яъне вақти дохилшавӣ якчанд маротиба аз $T_{эф}$ калон бошад, он гоҳ дозаи нурбориши организми бухронӣ ба ҳудуди ҷоизӣ баробар мешавад. Пас, фаъолияти ҳудуди ҷоизӣ дар таркиби организм ($a_{х.ч.т}$) аз формулам зерин муайян карда мешавад.

$$Д=\frac{3,7\cdot10^4 Q_{х.ч.т.}\,\omega\cdot E\cdot1,6\,10^{-6}}{100\,M}, ЭБР \qquad (9.3.5)$$

$$\alpha_{х.ч.т.}=\frac{100\,M\,Д_{х.ч.}}{3,7\cdot10^4\cdot Q_{х.ч.т.}\cdot E\cdot1,6\,10^{-6}\cdot7\cdot86400\cdot\eta}=\frac{2,8\cdot10^{-2}\,M\,Д_{х.ч.}}{E\omega\eta}, \qquad (9.3.6)$$

Дар инҷо $Д_{х.ч}$ - дозае, ки фаъолияти $a_{х.ч.т}$ мккюри дар организми бухронӣ пайдо мекунад, М - массаи организми бухронӣ бо граммҳо, Е - энергияи афканишот дар як рӯйдоди коҳиш бо МэВ, ω - ҳиссаи изотопе, ки аз организм ба организми бухронӣ мегузарад, η - зариби нисбии самаранокии биологӣ мебошад. Ҳангоми нурборонкунии дохилии организм дозаи ҳудуди ҷоизӣ вобаста аз гурӯҳо барқарор карда мешавад. «Қоидаи санитарӣ» чунин гуруҳои организмҳои бӯҳрониро муқаррар кардааст:

Гурӯҳи 1 - ҳамаи ҷисм, ғадуди ҷинсии нарина ё модина, гавҳараки чашм ва организмҳои хунофар.

Гурӯҳи 2 - мушакҳо, бофтаи чарбӣ, гурда, ҷигар, ғадуди зери меъда, ғадуди олоти таносули мард, қисмати рӯдаву меъда ва шуш.

Гурӯҳи 3 - пӯст, ғадуди сипаршакл ва устухон.

Дар ҷадвали 9.3.1 дозаи ҳудуди ҷоизӣ ҳангоми нурборонкунии организми дохилии организм оварда шудааст.

Дозаи ҳудуди ҷоизи барон гурӯҳи гуногуни организми бухронӣ вобаста аз гурӯҳи нурбориш.

Ҳудуди ҷоизи таркибии модаҳои алфа-фаъол дар устухонҳои инсон ҳисоб карда мешавад ва миқдори он дар организм аз нишондоди таркиби ҳудуди радий муқоиса гузарондан мумкин аст.

Модаҳои алфа-фаъол, аз ҷумла радий, дар устухонҳо нобаробар тақсим мешаванд. Барои ин нобаробариро ба эътибор гирифтан зариби ω дохил мекунанд. Дар мавриди нобаробар тақсимшавии радий ω =1 қабул мешавад, барои дигар изотопҳо ин зариб баробари панҷ (ω=5) аст.

Ҷадвали 9.3.1.

Гурӯҳи нурборонкунӣ	Дозаи ҳудуди ҷоиз					
	Гурӯҳи 1		Гурӯҳи 2		Гурӯҳи 3	
	Мбэр/ ҳафта	Эбр/ Сол	Мбэр/ ҳафта	Эбр/ Сол	Мбэр/ Ҳафта	Эбр/ Сол
Категориаи А	100	5	300	15	600	30
Категориаи Б	10	0,5	30	1,5	60	3
Категюриаи В	1	0,05	10	0,5	20	1

Аз натиҷаҳои корҳои амалӣ, ки ҳангоми кор бо радий гирифта шудааст, маълум мешавад, ки ҳудуди ҷоизи таркиби радий дар организм 0,1 мккюрӣ аст, 99%-и изотопи радий ба организм дохил шуда дар устухонҳо ҷамъ мешавад. Ҷамъи энергияи пурраи коҳиши радий ва ҷамъ 55% энергияи афканишоти маҳсулоти изотопҳои духтарӣ ба энергияи 162 МэВ соҳибанд.

Сипас ҳудуди ҷоизи таркибии модаи алфа-фаъол ($\alpha_{х.ч.т}$) дар организм аз таносуби зерин ёфта мешавад.

$$(\alpha\cdot\omega_1\cdot\omega\sum_{i=0}^{m}E\cdot\eta)_{Ra}=(\alpha\cdot\omega_1\cdot\omega\cdot\sum_{i=0}^{m}E\cdot\eta)_{х.ч.т}, \qquad (9.3.7)$$

$$\alpha_{х.ч.т.}=\frac{(\alpha\cdot\omega_1\cdot\omega\Sigma_{i=0}^{m}E\cdot\eta)_{Ra}}{(\omega_1\cdot\omega\cdot\Sigma_{i=0}^{m}E\cdot\eta)_{х.ч.т}} \qquad (9.3.8)$$

дар инҷо α - ҳудуди ҷоизи таркибии радий дар организм, фаъолияташ баробари 0,1 мккюрӣ; $\sum E\cdot\eta$ - энергияи босамарии алфа-фаъоли модаи радий. Барои радий $\sum E\ \eta$=162 МэВ. ω - зариби нобаробар тақсимшавии модаи алфа-фаъол ва радий дар организм, барои радий ω=0,99,ω_1 - нобаробар тақсимшавии модаи алфа-фаъол дар устухонҳо. Барои Ra, ω_1=1 ва барои дигар изотопҳо ω_1 =5. Қимати ададии онро ба формулаи (9.3.9) гузошта ҳосил мекунем.

$$\alpha_{х.ч.т}=\frac{0{,}1\cdot0{,}99\cdot162}{5\omega\cdot\sum E\cdot\eta}=\frac{3{,}2}{\omega\cdot\sum E\cdot\eta} \qquad (9.3.9)$$

9.4. ҲУДУДИ ҶОИЗИ ҒАНОИШИ ҲАВО ВА ОБ

Ин ҳудуди ҷоизии миқдори изотопи радиофаъол дар воҳиди масса ё ҳаҷм мебошад, ки дар организм ба таври табиӣ бо назардошти истифодаи ҳаво дохил мешаванд. Ба намуди умумии нурборонкунии организми буҳронӣ ва организм бояд дозаи аз ҳудуди ҷоизии зиёдро ба вуҷуд наоварад. Барои муайян намудани ҳудуди ҷоизии ғаноиш дар об ва ҳаво, ки модаи радиофаъол тавассути онҳо ба организм дохил мешавад, набояд аз миқдори муайяни модаи радиофаъол, ки дар организм мавҷуд аст, зиёд бошад. Як қисми модаи радиофаъол, ки дар организм мавҷуд аст, коҳиш хурда тамом мешавад. Бинобарон ҳудуди ҷоизии ғаноиш дар обу ҳаво чунин ёфта мешавад.

$$ХЧF=\frac{\alpha_{х.ч.т}}{1{,}5\ T_{эф}\cdot KN}\ ,\left(\frac{кюри}{литр}\right) \qquad (9.4.1)$$

Дар инҷо $\alpha_{х.ч.т}$ - ҳудуди ҷоизии таркиби модаи радиофаъол дар организм бо кюрӣ, N- миқдори об ё ҳаво, ки одам дар як шабонарӯз истифода мебарад, бо литр. қабул шудааст, ки одам дар як шабонарӯз 2,2 литр об ва 20000 литр ҳаво истифода мебарад.

Обҳои зеризаминӣ, ки аҳолиро таъмин мекунанд, дар таркибашон миқдори муайяни модаи радиофаъол иҷозат дода мешавад. Агар обҳои табиӣ ва обҳои обанборҳои кушод аз ҳудуди ҷоизи зиёд набошанд, барои истифодабари иҷозат дода мешавад. Мавҷудияти дигар модаҳои радиофаъол дар ин марҳила иҷозат дода намешавад.

Бояд қайд кард, ки вақтҳои охир, дар асоси санҷишҳои ядрои дар таркиби обу ҳаво як миқдор модаи радиофаъол мисли стронсий-90, сезий-137 ва ғайра ошкор карда шудааст. Мавҷудияти ин модаҳо дар обамборҳо, ҳаво бояд аз ҷоизи ғаноиши меъёрии қабулшуда барои маҳалли зисти одамон, зиёд нашавад.

Одатан ғаноиши модаи радиофаъол аз руӣ фаъолияти он тавсифонида мешавад. Фаъолияти ғаноиш бо бузургии воҳиди нисбат

ба масса, яъне фаъолияти хос ё ҳаҷми ғаноиши фаъол ифода меёбад. Одатан ғаноиши фаъол бо воҳиди кюри/л ва ҳосилаи он муайян карда мешавад. Аммо воҳиди махсуси ғаноиши фаъолро кам истифода мебаранд.

1эман= 1 10^{-10} кюри/л ҳаво ё = 220 коҳиш/дақиқа.л

1эман= 0,275 маҳа, 1 маҳа= 3,64эман= 3,64 10^{10} кюри/л= 780 коҳиш/дақиқа.

БОБИ X
ОЛУДАШАВӢ АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

10.1. ОЛУДАШАВИИ МУҲИТИ ЗИСТ АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

Радиатсия- аз калиман русӣ гирифта шуда, маънии «афканишот»-ро дорад. Дар адабиёти илмӣ мафҳуми «радиатсия»-ро бо маънои ниҳоят маҳдуд истифода мебаранд, вақте, ки сухан дар бораи танҳо афканишоти ионӣ меравад, ки қобилияти атомҳои модаро ионизатсия намудан доранд. Ба атомҳо ва молекулаҳои мода таъсир расонида, ин зарраҳоро ба зарраҳои заряднокӣ (ионҳо) дигар табдил медиҳанд.

Дигар намуди афканишот, аз қабили нури дидашаванда, афканишоти инфрасурх, радиомавҷҳо, ки ҳангоми ба мода таъсир намудан қобилияти пайдо намудани ионҳоро надоранд, афканишоти ғайри ионизатсионӣ меноманд.

Вақте, ки модаҳои захрнок дар натиҷаи фаъолияти инсон ба хок, ҳаво, об ё ба муҳити биотикӣ (флора, фауна) меафтанд, дар бораи ифлосӣ сухан гуфтан мумкин аст. Бо саршавии дахолати инсон ба табиат ин ҳама оғоз мешавад. Ин ифлосӣ хеле маҳдудшуда буд, аммо дар натиҷаи эволютсияи технологӣ ин раванд ченаки воҳиманокро гирифт.

Ифлосӣ хатарро ба ҳаёти бешумори инсонҳо ва олами набототу ҳайвонот таъмин менамояд. Хатари азим ба ҳаёти дар рӯи замин буда ва инчунин хатар ба ҳаёти инсонро пайдо мекунад.

Даҳҳо намуди ифлосӣ мавҷуд аст, ки аз байни онҳо аз ҳама асосӣ: ифлосшавии атмосфера, об, хок ва дигару дигар. Се манбаи асосии ифлосӣ мавҷуд аст: нерӯгоҳи атомӣ (НГА), воситаҳои нақлиёти ҷойивазкунанда ва саноатӣ кимиёвӣ. Модаҳои сӯзишвориро (ангишт, гази табиӣ, нафт) дар нерӯгоҳҳо барои ба дигар намуди энергия табдил додан, месӯзонанд. Дар натиҷаи сӯхтани ин сӯзишвориҳо, модаҳои ифлоскунандаи зиёде пайдо мешаванд, ки базе аз онҳо: гази ангидриди карбон, оксиди азот, окиси карбон. Афзоиши савияи гази ангидриди карбонҳои асосӣ аз ҳама хатарноктарин аст, ки он ба «эффекти гармхона» оварда мерасонад.

наид. Маводҳои бокимондан берунпартофтаи муҳаррики наклиёт, ки дар натиҷаи сӯхтани маводҳои сӯзишворӣ пайдо мешаванд, ҳаҷми онро боз ба 10% зиёд мекунад. Ба ғайр аз газҳо боз аз саноати химиявӣ модаҳои гуногуни ифлосменамуда, берун партофта мешаванд, ки захролудкунонии муҳитро таъмин менамоянд. Масол, дар таркиби онҳо асосан марги муш, дуоксидҳо ва фторидҳо ядронд. Ғайр аз ин се намуди асосӣ, ки дар боло гуфтем, манбаҳои дигари ифлоскунандан атмосфера низ мавҷуд аст: сӯхтани партовҳои хоҷагӣ, биосаноатӣ ва истифодабарии пестикизҳо (захрҳои зидди ҳашароти заррасон) дар хоҷагии деҳот.

Хатари калонтаринро ифлоскунии биосфера аз модаҳои радиофаъол дар натиҷаи фаъолияти инсон ташкил медиҳад. Дар замони ҳозира элементҳои радиофаъолро дар соҳаҳои гуногун васеътар истифода мебаранд. Муносибати хунукназарона ба нигоҳдошт ва номатлуб аз як ҷой ба ҷои дигар бурдани модаҳои радиофаъол ба ифлосшавии чиддии биосфера оварда мерсонанд. Ифлосшавии радиофаъоли биосфера ба якчанд омилҳо алоқаманд аст. Ба монанди истифодабарии яроқи атомӣ. Дар нимаи дуюми садсолаи гузашта миқдори зиёди нерӯгоҳҳои барқии атомӣ, киштиҳои яхшикан, киштиҳои зериобӣ бо дастгоҳи ядрои ба кор дароварда шуданд. Ҳангоми ба таври мукарарӣ истифода бурдани энергияи атомӣ дар саноат, ифлосшавии муҳити атроф аз нуклидҳои радиофаъол фоизи хеле кам, аз ҳазорҳо як қисми фони табииро ташкил менамуданд. Ҳолатҳои хеле вазнину даҳшатовар ҳангоми садамаи объектҳои ядрои ба вуҷуд меояд. Баъди садамаи Чернобил диққати тамоми аҳолии дунё ба масоили бехатарии реакторҳо ва «омилҳои инсон» равон шуда буд. Масъалаи дигари ҳалнашуда ин энергетикаи ядроист, ки дар соягӣ монд. Акнун раванди сикли сӯзишвории ядроиро (ССЯ) дида мебароем.

ССЯ аз кандани маъдани уран ва аз он ҷудо намудани урани тоза мебошад. марҳилаҳои маъмултарин ин коркарди маҳсулоти хоми уран ва ба сӯзишвории ядроии тайёр овардан (урани тоза); истифодабарии он ҳамчун сӯзишворӣ дар реакторҳои ядрои; кашондан ва регенератсияи химиявии сӯзишворин истеъмолшуда; тоза намудани он аз партовҳои радиофаъол (ТПР), доими гӯрондан; эҳтимолияти баргардондан (рецикл), регенератсиякунонии уран ва сӯзишвории истемолшудаи энергетикаи ядрои. Ҳамаи талаботҳои

ин сиклро ба ҷой овардан душвор ва мураккаб, бе андоза қимат, махсусан энергияталаб ва бениҳоят ғайриэкологӣ мебошанд. Дар ҳар як марҳилаи цикли сӯзишвории ядрои, аз саршавии кандани маҳсулоти хом, яъне дар конҳои уран, дар ҳар як гирех мушкилоти цикли сӯзишвории ядрои ба ҳолатҳои хатарноки экологӣ мебинӣрад. Аз ҳама ғамангезона дар он аст, ки дар шароити истихрочи маъдан, як тон маъдани камёфти асил ва фулузҳои радиофаъол (вобаста ба фоизи хеле хурд дар маъдан)-ро намудан аз 5 то 10 тон партов ҳосил мешавад. Партовҳон дар раванди кандани фулузҳо аз 10 то 100 ҳазор тон ин партовҳо дар раванди аз нав кор карда барорӣ ҷудо мешаванд.

Макони коркарди маъдани радиофаъол ба муҳити атроф таъсир мерасонад (монанди дигар соҳаҳои истеҳсоли истихрочи маъдан), гардиши заминҳои киштукори хоҷагии қишлоқро аз кор мебарорад, обёрии атрофро тағйир медиҳад, хок, об ва атмосфераро ифлос менамояд. Дар ин мавриди ифлосшавии хок, об, атмосфера аз радионуклидҳои табиӣ уран-234 ва 238, радон 226 ва 228, ки даври нимкоҳишашон дурудароз аст. Сабаби дурудароз ҷамъшавӣ ва мустаҳкам шудан, ки муҳити атрофро вайрон мекунанд, махсусан ифлосшави аз тарафи фони радиофаъоли табиӣ, то ин дам нофаҳмост. Дар ин мавриди хатари даҳшатангези асосиро партовҳо мебозанд, ки дар хонаҳои (ҷойҳон) махсус ҷамъ намуда бо фосилаи вақти дуру дароз нигоҳ медоранд. Таъсири радиатсионии муҳити атроф аз дурудароз ҷамъ намудан ва нигоҳдоштани модаҳои радиофаъол ба таъсирии НГА ва умуман ба се дарача (яъне 100 маротиба) зиёд аз таъсири корҳои куҳӣ баробар аст. Партовҳои радиофаъол, аз чангу ғубор ва заррачаҳои сабук иборат буда, шамол онҳоро бо тезӣ аз як ҷой ба ҷойи дигар мебарад, онҳо майдони кишти замин, манзилҳои истиқоматӣ ва обанборҳоро захролуд мекунанд. Бо ин ҳодисаҳо муросо намудан лозим нест, барои он ки партовҳои радиофаъол метавонанд дозаи хатарнокро пайдо карда, садҳо ҳазор аҳолиро нурборон кунанд. Ҳангоми кандани маъданҳои зеризамини ва сӯрох намудани конҳои маъдани уран, хокгардоншавии омехтаҳо ҳосил мешаванд. Ин кӯҳҳо алфа- афкашишоти камқувват хориҷ мекунанд, вақтҳои дуру дароз бе зарар ҳисобида мешуд (монанди дигар хоҷагиҳои ядрои). Чӣ тавр, ки «Безарар» меҳисобиданд: Кумеро дар Америка, штати Калорадо ба

корхои сохтмонй истифода мебурданд. Баъди маълум шудан, ки афканишоти радон қобилияти пайдо намудани саратони шушро дорад, якчанд хазор хонахои истиқоматй ва мактабҳо вайрон карда шуданд. Афканишоти гамма, алфа, бета заррахо ба хама табиати зинда зарар меоваранд, натанҳо ба одамон, балки ба хайвонотҳо, инчунин ба чаҳон зироату сабзавотҳо низ зарар меоваранд. Ин шохиди гузарондани гадқиқот дар чангалзорҳое аст, ки дар наздикии объектҳои энергетикаи ядрои чойгиранд. Механизми таъсири нобудшавии хучайра аз афканишоти ионизатсия бо андозаи зиёде нофахмо аст, аммо чунин шуморидан мумкин, ки яке аз сабабҳои мурдани чаҳони зироатҳо «синергизм» мебошад, яъне таъсири радиатсия, таъсир намудани дигар навъҳо ба биосфера, мисол, захри химиявй ва катализатори ин ё он равандҳои химиявй, ки дар атмосфера мегузаранд, ба пайдошавии модаҳои захролуд оварда мерсонанд. Чараёни «тараққиёти» ядрои тасдиқ мекунад, ки таъсири афканишоти ионизатсия хеле кам аст, аммо раванди чамъшавии модаҳои радиофаъол дар организмҳои зинда бисёр тез мегузарад. Фахмост, ки халли масъалаи тарққиёти энергетикаи ядрои устуворона талаб мекунад, ки дар оянда зиёд намудан канданиҳои маъдани радиофаъол ва хамаи сарчашмаҳои саршавии оқибатҳои зараровари онро бояд пешгирй кард. Партовҳои ниҳоят зиёд хангоми истеҳсол намудани урани тоза пайдо мешаванд. Бояд қайд кард, ки энергетикаи ядрои хозиразамон бо реакторҳо асосанок карда шудааст, ки ба сифати сӯзишвории ядрои на урани тозашудаи табииро, балки урани тоза кардашударо (обогащёный уран) истифода мебаранд. Яъне уране мавчуд аст, ки бо ғанокши изотопи уран-235, тақрибан массавии пешинаи он дар урани табиӣ тахминан наздики 0.7%-ро ташкил мекунад. Мураккабии раванди тозанамудани уран дар он аст, ки онро аз изотопҳо чудо намудан душвор аст, ки бо истифодабарии усулҳои химиявй мегузаронанд. Бо вучуди он технологияи мувофиқ кайҳо кор карда шуда аст, аммо онҳо аз ҳад зиёд энергияталаб ва қимат меистанд. Аз тарафи дигар, сӯзишвории ядрои, ки дар баъзе реакторҳо истифода мебаранд, то 3,6- 4% тоза шудааст ва хангоми хосил намудани урани-235 дар чапагардон намудан, мисол, ба 0,2%-и хар як тонаи урани хоми кандашуда баробар аст, ба завод фиристода мешавад. Барои ганигардондани уран, 6 - 7,5 тон маҳсули якчояшуда таҳшон мешавад, яъне наздик ба

90% аз ҳамаи массаи урани коркардашуда ба хоктӯда бармегардад. Ин албата масъалаи чиддии экологиро ба миён меорад. Гайр аз ин, раванд зиёд энергияталаб аст. Чунон энергияталаб, ки ҳамаи натичаҳо вобаста ба хисоби энергияталабй дар давлати собиқ Иттифоқи Шӯравй махфй буд.

Даври аввали сикли сӯзишвории ядрои тайёр намудани сӯзишворй- элементҳои гармочудокунанда (твел) ва чамъ намудани чузъҳои гармочудокунакро талаб мекунад. Ин раванд аз чихати иқтисодй хеле қимат меистад. Тайёр намудани (твелҳо) худи элементҳои гармочудокунанда аз модаҳои радиофаъол аз чихати экологй хуб нест. Дар раванди реаксияи ядрои қариб 90% -и сӯзишвориро ба партовҳо табдил медиҳанд. Маҳсули радиофаъолро тачзияи плутони, сезй ва ғайра ташкил медиҳад, ки нест намудани онҳо гайри имкон аст, аммо дар хонаҳои махсус донмо нигох дошта мешаванд. Ба таври дигар гӯем, маҳви модаҳои радиофаъол ғайри имкон аст, аммо танҳо дар чойҳои махсус нигоҳ доштан мумкин аст. Қайд намудан муҳим аст, ки кадом асбобе, ки бо қисмҳои ҳомили энергия (твелҳо, твс ва ғайра), инчунин ба маҳсули коҳиш расад, худи он низ захролуд шуда радиофаъол мешавад. Бинобар ин асбобу лавозимот ғунчоиш ва маводи нақлиёт, ки дар муддати якчанд вақт худашон манбаи радиатсия мешаванд, дар навбати худ талаби гӯрнамуданро доранд. Сӯзишвории дар реактор коркарда тамом шуда бояд ба чои дигар ҳавзхонаҳо, ки дар толори реакторҳо чойгир аст, аз якчанд сол то даҳҳо сол нигоҳ дошта шавад. Муддати дуру дароз нигоҳ доштан барои кам намудани радиофаъоли аввала ва гармочудокунии аввалан твс (стержни гармочудокунанда) аст, ки барои осон намудани кучонидани сӯзишвории коркардашуда аз атрофи НГА ба чое, ки доими гӯронида мешавад, пешбинй шудааст. Дар ин ҳолат бояд қайд кард, ки раванди реаксияи ядрои 0,5 то 1,5% сӯзишворин ядрои месӯзад, қисми боқимондаи он ба чукуричой «ахлотпарто» меравад. Бояд қайд кард, ки сӯзишвории коркардашуда ва вақти дуру дароз гӯронидашударо бо таври химиявй аз нав кор карда баровардан номумкин аст, вобаста ба шароити таъмини бехатарии радиатсионй ва ҳимояи муҳити атроф тамоман истифоданашаванда мебошад. Дар замони ҳозира бо усули радиохимиявй аз нав кор карда баровардани сӯзишвории тамомшуда дар НГА бо реакторҳои

нейтронҳои ҳароратӣ, сӯзишворӣ танҳо дар якчанд давлатҳои ғарб ба роҳ монда мешавад, ки он ҳам дар хатмӣ пурра нестанд. Бинобар он сӯзишвории корфармудашудаи НГА дар ҳавзхонаҳои ҷамъкарда медоранд, ё дар вақтҳои дуру дароз дар хонаҳои (склад) махсус нигоҳ медоранд. Ин партовҳо рӯз то рӯз сол то сол ба миқдори зиёдшавиашон ба фалокат мебиёранд. Сӯзишвории ядроии корфармудашуда бо гузаштани мӯҳлати нигоҳ доштан дар хавзхонаи хунуккунандаи НГА ба заводи химиявӣ барои аз нав корнамудан кашонида мешавад, барои регенератсия дар контейнерҳои махсуси роҳи оҳан, мошинҳо ё нақлиёти обӣ таъмин карда мешаванд. Барои кашонидан вагонҳои махсуси ба лоиҳа гирифташуда, автотрейлерҳо ва маводҳои шинокунанда истифода мебаранд. Ба контейнерҳои нақлиёти талаботи баланд пешниҳод мешавад, пеш аз ҳама барои таъмини ҳимояи боварнокӣ биологӣ аз афканишоти ионизатсия, роҳ надодан ба баромадани маҳсули радиофаъол ба муҳити атроф, гармобар, бехатарии ядроӣ, нигоҳ доштани ҳавоногузар дар ҳолатҳои садама (сӯхтор, афтиши контейнер аз вагон, афтиш ба об ва ғайраҳо)- ҳатман қаноатманд кунонида шаванд.

Дар назди ҷамъият санҷиши вазнин истодааст, мукобилият нишон додан ба қувваҳои ҳалокатовар, ки сабаби харобшавии устувор ва маҳви олами органикӣ мегарадад, худро ба нест намудан меорад. Мо метавонем ин катастрофро бартараф кунем, аз қобилияти илмиву амалии худамон вобастааст, ки аз рӯи ҳақиқат ба ҳамдигар нигоҳ кунем. Ҳалли масоили энергиявиро, на дар савияи «шуурнокӣ», ақалан ҳеҷ набошад, дар савияи ақли солим хуб ба роҳ монем. Ифлосии радиофаъоли биосфера нисбати савияи табиии таркиби модаҳои радиофаъоли муҳити табиӣ, ки инсонро иҳота намудааст, аз ҳад зиёд аст ва ин бевосита омили антропогенӣ аст.

10.2. ОМИЛҲОИ ОЛУДАШАВИИ БИОСФЕРА АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

Ҳамин тавр, дар солҳои 1940-1980 дар ҷаҳон 1349 озмоиши яроқи ядроӣ гузаронида шуд, ки дар натиҷа ба муҳити зисти атроф миқдори хеле зиёди радионуклидҳо (аз калимаи лотинӣ, маънии нур ё ядро) дохил шуд. Дар минтақаи қутби Шимолии кураи Замин

ғалаҷазираҳои (архипелаг) Замини Нав охири солҳои 50-ум дар атмосфера ва дар дохили об 90 таркиши ядроӣ гузаронида шуд, ки ин архипелагҳо зиёда аз 11 ҳазор контенейрҳо бо партовҳои радиофаъол ба об ғарқ карда шуд. Аз солҳои 60-ум дар назди баҳри Каспӣ қариб 50 таркиши зери заминӣ бо мақсади сулҳҷуёна (чуқурии зилзилагӣ парма намуданд нефтҳои сиякуни зиёд шуд, ва ғайра) гузаронида шуд. Ҳоло дар ҷаҳон аз рӯи маълумотҳои МАГАТЭ қариб 430 адад а НГА кор мекунанд. Садамаи НГА-и Чернобил дар соли 1986, аз рӯи оқибатҳои ҳаматарафаи хатарнокӣ, калонтарин катастрофаи экологӣ дар таърихи иносоният шинохта шуд. Партови умумии модаҳои радиофаъол дар атмосфера 77 кг (тибқи ҳисобҳои статикӣ дар таркиши бомбаи атомӣ дар Хиросима, 740 г радионуклид партофта шуда буд)-ро ташкил мекунад. Ғайр аз ин 70% партовҳои радиофаъол дар атрофи Белорусия афтидааст. Аз рӯи баҳододи Гриннис, дар натиҷаи ин садама дар масоҳати ифлосшуда, ки қариб 160 ҳазор метри квадратӣ аст, ҳатмӣ партофт 140 млн.кюриро ташкил медиҳад, ки дар натиҷаи радиатсия қариб 9 млн. нафар одам зарар дид. Дар натиҷаи садамаи Чернобил масоҳати мағлубшудаи ҷангалҳои санавбар 600 гектарро ташкил дод. Радионуклидҳо дарёҳои Дунай, Днепр, Волга ва обанборҳо ифлос намуданд. Дар ноҳияҳои зарардида касалиҳои камхунӣ, дилу раг, шуш возеҳан баланд шуданд ва нишондоди таваллудкунӣ хеле паст шуд.

10.3. ОЛУДАШАВИИ БАҲРҲО

Манбаҳои асосӣ: озмоиши яроқи ядроӣ, садама дар НГА, таҷҳизоти киштӣ, партофтани партовҳои радиофаъол ва ғайраҳо. Ҳамин тавр партовҳои корхонаҳои атомии Англия ва Франсия ҳамаи атрофи Атлантикаи Шимолӣ, асосан тарафи шимол, Норвегия, баҳри Баресев ва Греландияро ифлос намуданд. Дар ифлосӣ модаҳои радиофаъол дар экватор (қитъаи баҳр, дарё ва ғайра) укёнуси Яхбастаи Шимолӣ, Россия саҳми зиёдро дод (таркиши атомӣ дар Замини Нав, гӯронидани партовҳои радиофаъол дар баҳрҳо ва ғайра). Мисол, дар баҳри Сурх 11 ҳазор контенейрҳо бо партовҳои радиофаъол ва инчунин 15 реакторҳои садама шуда бо киштии атомӣ зери об ғӯтонида ғарқ карда шуд.

Бисёртар ифлосии оби бахрҳои ҷаҳон аз радионуклидҳои хатарнок, ки қобилияти баланди биоакумулирӣ доранд, дар натиҷаи нӯшидан ба организмҳои бахрӣ ғаноиш мешаванд, барои гидробионҳо, инчунин барои инсон хатар меоваранд. Партовҳои радиофаъол модаҳои зараровари дуюмдараҷаи биологӣ ва техникист, ки дар натиҷаи фаъолияти инсон радионуклидҳо пайдо мешаванд. Дар замони ҳозира дар 29 блоки энергиявӣ НГА-ҳои Россия 140 ҳазор метри мукааб гартовҳои моеӣ, 8 ҳазор метри мукааб партови сахт (таҷҳизот, хокрубаи сохтмонӣ) нигоҳ дошта мешавад. То ин дам масъалаи партовҳои радиофаъол ва мавҷуд набудани усулҳои бовариноки истифода бурдани партовҳо ҳалли худро наёфтааст. Яке аз роҳҳои бартараф намудани партовҳои радиофаъол –ин гӯронидани онҳо дар чуқуриҳои зиёди қаъри замин аст. Дар атрофи Россия 15 майдон барои гӯронидани партовҳои радиофаъол мавҷуд аст ва инчунин марказҳои калонтарин барои истифода бурдани партовҳои моеӣ радиофаъол (Челябинск-65, Красноярск-26) мавҷуд аст. Аммо ин ноҳияҳо минтақаи қашоқи эколегӣ гардиданд. Ҳамин тавр, дар ноҳияи майдончаи «Маяк» (назди Челбинск) радионуклидҳо зиёда аз 3 млн.га Заминро ифлос намуданд, қариб ҳамаи сатҳи ҷуйчаҳои обҷоришаванда ҳамчун натиҷаи он ки миқдори касалиҳои анкологӣ аҳолии маҳаллӣ возеҳан зиёд шуданд.

10.4. ОЛУДАШАВИИ ҚАБАТИ АТМОСФЕРА АЗ НУКЛИДҲОИ РАДИОФАЪОЛ

Ба ҳисоби миёна дар атрофи Россия бета-фаъолият дар қабати атмосфераи замин дар соли 1995 тахминан 10% зиёд аз қимати миёнаи соли 1994 тағйир ёфтааст. Ғаноиши максималии радионуклидҳои бета - фаъол ҳар рӯз пайҳам мушоҳида намуданд. Дар ноҳияҳое, ки ба назди конҳои истеҳсоли уран ҷойгиранд ва дар ҷойҳое, ки маводҳои сохтмонии бо модаҳои радиофаъол якҷояшударо истифода мебаранд, ғаноши радионуклидҳои бета – фаъол аз ҳудуди ҷоиз зиёд буд. Конҳои масолеҳи сохтмонӣ таъминкунанда ва истеҳсоли дигар партовҳои маъдани кухӣ, пешгирӣ карда шуд. Онҳо Читинск, Иркутск, Омск ва дигар вилоятҳо мебошанд. Адади ҳолатҳои кӯтоҳмуддати баландшавии ғаноиши радионуклидҳо дар ҳаво 184 маротиба дар давоми ду сол

охир, ки дар атрофи вилояти Нижегород, мушоҳида шуда аст. Ба сифати намуна маҳсули духтарии коҳиши радионуклидҳои табиро муайян намуданд. Дар шаҳри Курск ва Брянск ва атрофҳои наздикии онҳо ки дар натиҷаи садамаи НБАЧ ифлос шудааст, ғаноиши як моҳам сезий-137 ба ҳисоби миёна дар атмосфераи назди замин ба таври таҷрибавӣ ба савияи соли 1994 истодааст. Таркиби радионуклидҳо, ки аз атмосфера ба сатҳи замин меафтанд дар ҳудудҳои қисми Европии Россия дар соли 1995 нисбати соли 1994 1,2 маротиба паст шудааст, аммо дар ин дам ба ҳисоби миёна дар тамоми ҳудуди мамлакат зиёд шуд. Афтиши сезий - 137 ба ҳисоби миёна 8,66 м^2 дар як сол аст, ки тахминан аз қимати фон 8 маротиба баланд аст. Мисол, дар шаҳраки Красная Горкаи вилояти Брянск афтиши сезий - 137 (90 м^2 дар як сол), яъне ду дараҷаи аз қимати фон баланд аст. Дар соли 1995 тағйирёби ба чашм намоён дар савияи ифлоси радиофаъол қабати атмосфераи назди замин дар атрофи НБА ва дигар объектҳои радиатсионӣ хавфнок пайдо нашуд. ҳол он ки дар институти физика ва энергияи вазорати атомии Россия (ш. Обнинск) 24.08.95 вокеаи ногувори радиатсионӣ бо партови натрий - 24 ва дигар радионуклидҳо дар ҳаво ба қайд гирифта шуд. Саҳми солонаи партовҳо дар атмосфера зиёд нашуд. Аммо ғаноиши сезий-137 дар канорҳои шаҳр 24-25-уми август 400 маротиба аз қимати миёна зиёд шуд (дар канорҳои Россия), вале ба ҳар ҳол ба панҷ тартиб паст ДК(Б) барои ин радионуклидҳо мебошанд. Дар июни соли 1995 дар ҳавои атмосфера мавҷудияти чунин радионуклидҳои техногенӣ натрий - 24, оҳан - 59, кобалт- 58 ва 60 ва ниоб - 95 ба қайд гирифта шуданд. Савияи ғаноиши онҳо ба 6 - 7 тартиб паст аз ғаноиши имконпазири ДК(Б). Дар солҳои охир ҷамъшавии баланси манфӣ мушоҳида мешавад, яъне дохилшавии калий дар хок (бо нуриандози ҳамроҳшудани он, ки ҳосилнокиро мебардорад), илова бар ин калий мухолифини сезий мебошад ва дохилшавии он ба қисми ҳосилнокии хок фоидаовар аст, мушоҳида шуд. Монанди солҳои гузашта, дар соли 1995 ифлосшавии растанӣ, сабзавот ва маҳсулоти чорводорӣ ҳангоми истеҳсол ва аз нав коркарда барорӣ диққати ҷиддӣ дода мешуд. Дар ҳама вилоятҳо, ғайр аз Брянск ва Калуга, алфа массаи алафи сабз, зироатҳои равғанӣ, гандум, меваҳои решадор аз савияи назорати нишондодашуда баланд нашудаанд. Дар вилояти Брянск, вобаста ба пастнамудан ва гузаро-

нидани ташкилотҳои махсуси химиявӣ дар вақтҳои хушки баҳору тобистон, зиёдшавии ҳаҷми ифлосшавии ҳама намуди хӯроквориҳо нисбат ба соли 1994 мушоҳида шуда, тасдиқи худро ёфтанд. Дар вилояти Калуга ҳангоми гузаронидани ташхиси интихобии манбаи ему хошок, таҳлили намунаи хошок дар вақти тайёрнамудани онҳо ва инчунин паёки хошоки чорво, гузаронида шуд: асосан дар секторҳои хусусӣ 6% намунаи ифлоси хошок; 5,6% алаф, ошкор шуд.

Дар ҳама вилоятҳо, ғайр аз Брянск, хариди гушт ва шир ба қайд гирифта нашуд, ифлоси аз норма зиёд ба қайд гирифта шудааст. Шири ифлосшударо ба равған аз нав кор карда, равған ва дигар маҳсулотҳо гардониданд, ки вақтинча ба савияи имконпазири ҷавоб медиҳад, гӯшти ифлосшударо (утилизовано) истифода бурданд. Дар вилояти Брянск ва Калуга корҳои назорати ҳангоми зинда будани чорвои ифлосшуда гузаронида шуд. Миқёси калони ифлоси ҷангал дар ҳудуде, ки ба таъсири ифлосии радиатсионӣ гирифтор аст, сабаби садамаи НГА Чернобил, тағйирёбии зиёдрои оварди, маҳдудияти дар қисми хоҷагии маҳали гузаронида шуд. Ҳолати радиатсионӣ дар ҷойҳои ифлосшуда мураккаб мемонад. Баъд аз 10 сол гузаштани садамаи Чернобил, ифлосии маҳаллӣ хеле суст тағйир меёбад, барои он ки худтозакунии ҷангалҳо танҳо аз ҳисоби раванди коҳиши радиофаъол мегузарад. Бояд қайд кард, ки камшави тавоноии дозаи экпозитсионӣ муқарар шудааст, ба ҳисоби миёна аз 13 то 15% дар натиҷаи коҳиши радионуклидҳои асосӣ, ки дозаро пайдо мекунанд, қайд карда мешавад, ки радионуклидҳои чуқур ҷойгир набуда дар чуқуриҳои то 15-20 см ҷойгиранд. Дар ин ҳолат қариб 60% радионуклидҳо дар ҷангалҳо пинҳонӣ нигоҳ дошта мешаванд, тахминан 30% дар қисми то 10 см - и болоии хок ҷойгиранд.

Дар ҳудуди Осиёии Россия якчанд минтақаҳо ядронд, ки дар натиҷаи садамаҳои пешинаи радионуклидҳо ифлосшуда мебошанд, дар корхонаҳои саноати сӯзишвории ядрои –ин ноҳияҳо ба номи «маяк» наздик ба «ҷанубӣ Урал» ҷойгир мебошанд. Израдиофаъолҳо стронсий соли 1967 баъди садама, ошкор шудааст, ки дар асоси бо шамол паҳн намудани чанги модаҳои радиофаъол аз соҳили О. Карачай ноҳияи комбинати химиявии Сибир минтақаи ифлоси радиофаъол гардид.

Дар ҳудуди канори Алтай бо Қазоқистон дар минтақае, ки полигони ядрои ҷойгир аст, баландшавии савияи ифлосии радиофаъол мушоҳида мешавад. Инак дар асоси гузаронидани назорати дозасанҷӣ дар маҳалҳои истиқоматӣ, дар қисми ғарбии Канори Алтай савияи ифлосии хок аз сезий - 137 ва стронсий - 90 аз қимати фони имконпазир се маротиба зиёд аст, ошкор шуд. Тавонони дозаи экспозитсионӣ гамма афканишот дар ин ноҳияҳо ба савияи фон баробар аст.

10.5. ОЛУДАШАВИИ СИСТЕМАҲОИ ОБӢ

Дар оби дарёҳои Россия ғаноиши радионуклидҳо дар даврахои се соли охир дар як савия истодааст. Дар мамлакат ғаноиши миёнаи стронсий - 90 барои оби нушокӣ дар соли 1995 нисбати дозаи ғаноиши бехатарӣ 2000 мартиба ва нисбати савияи дозаи имконпазир 500 маротиба паст фаромад. Ғаноиши сезий - 137 дар ин дарёҳо, ба монанди Ока, дар соли 1995 ба савияи соли 1994 буда нигоҳ дошта шудааст. Ғаноиши калонтарини сезий - 137 дар дарёи Миздра ошкор карда шуд. Дар ҳудудии ҷанубии Урал, дар дарёи Теча савияи миёнаи ғаноиши стронсий - 90 аз савияи фон 750 - 1700 маротиба зиёд аст. Ҳангоми муқоиса бо соли 1994 таркиби техногении радионуклидҳо дар бофтаҳои мушакии моҳиҳои дарёи Енисей ошкор шуд. Аз ҷои хориҷшавӣ ба ҳисоби миёна ғаноиши сезий - 137; 1,3 маротиба паст аст ва барои синк - 65; 4 маротиба зиёд аст. Аз мушоҳидаҳои берунии ноҳияҳое, ки партовҳои радиофаъол гӯронида шудаанд маълум гардид, ки ғаноиши сезий - 137 дар об аз қисми шимол- ғарбии уқёнуси Ором ва соҳили шарқии дур, камтар фарқ мекунад. Ҳамин тавр, дар назди яке аз реакторҳое, ки дар оби халиҷи Абросимова ғӯтидааст, савияи тарқиби радионуклиди нишондодашуда ба 8.4 кБк/кг расидааст. Натиҷаҳои гирифташуда шоҳиди он ядронд, ки дар шароити додашуда, мавҷудияти баъзе объекти ихроҷкунандаи модаи радиофаъол хатари паҳншаии модаҳои радиофаъол дар оби баҳр ба ҳисоб меравад. Ифлосии радиатсия дар натиҷаи фаъолияти муассисаҳои энергетикаи атомӣ ва саноатӣ соли 1995 дар 26 муассисаи Вазорати атомии Россия мавҷуд будани обпартовҳои оби ифлоси аз модаҳои радиофаъол ифлосшуда, ки дар таркибашон модаҳои радиофаъол

мавҷуданд, дар сатҳи об-35%, дар обанборҳои –хунуккунак-65% ошкор шудаанд. Ҳаҷми умумии оби бадзахролудшуда714 млн. м^3, ки ба обанборҳо ҷорӣ мешаванд, завлонаи кушоди географиро ташкил мекунанд, ки 25% кам аст, асосан аз ҳисоби заводи «Маяк» махсус гузаронида мешавад, ки аз тарафи органҳои махсуси давлатӣ дар соҳаи муҳофизати муҳити атроф экология мебошад. Меъёри дохилшавии модаҳои радиофаъол дар қисми болоии обанборҳо барқарор шудааст, аз соли 1956 инҷониб дар ягон муассиса зиёд нашуд. Бо ин соҳаҳо дохилшавии радионуклидҳоро ба обҳои зеризамини ба воситаи шикофиҳо мушоҳида карда назорат мебурданд. Танҳо дар чор муассисаи ин соҳаҳо, дар ҳафт сӯрохи дар территорияи майдончаҳои саноатӣ соли 1995 афзоиши ғаноиши имконпазир бо як-ду радионуклидҳо тахминан 10 маротиба ба қайд гирифта шуда аст. Дар заводи «Маяк» якчанд сӯрохиҳо афзоиши стронси-90 дар назди обанборҳои -9, 11, 17 бо зиёдшавии калон ба қайд гирифта шуд. Партофтани модаҳои радиофаъол дар атмосфера аз тарафи 28 муассисаи ин соҳа назорат карда мешавад. Дар соли 1995 бо сабаби ихтисор намудани барномаи саноатӣ, гузаронидани корҳои ба нақшагирифтаи пешгирикунанда, микдори партофтани фосфор-32%, исези-51%, иодан-58% ҷуброн карда шуд. Таъсири радиофаъоли НА ба муҳити атроф дар соли 1995 ба тағийрёбии фони радиофаъоли табиӣ оварда, махсусан дар ноҳияҳое, ки ин дастгоҳҳо ҷойгиранд. Ягон ноҳияи назди НА офияти чорабинӣ ва андоза барои бехтар намудани ҳолати муҳити атрофро талаб намекунад. Махсусан ташвишомезона даъват намудан ба ҷамъ намудани партовҳои моеи фаъолияташон миёна ва паст фаровардани фаъолияти манбъаҳои радиофаъол дар асбобҳо ва хонаҳои махсуси кушод, ки партовҳои радиофаъол нигоҳ дошта мешаванд, инчунин дар муассисаҳои дар боло номбаршуда, диққати махсус дода мешавад.

10.6. ОЛУДАШАВӢ АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ ВА ЧЕНКУНИИ ОН

Олудашавӣ (чиркиншавӣ)-и ҷои кор, даст, либос ва ғайра аз модаҳои радиофаъол аз нуқтаи назари нурбориши беруна хавфнок нест. Агар қисми камтари чиркинии радиофаъол ба организм

тавассути пӯст, роҳи нафас ва ғайра дохил шавад, зарари зиёд меорад. Савияи ҷоизии чиркинии сатҳи корӣ либос, даст ва ғайра ҳисоб карда намешавад. Ин ҳодиса барқарор карда мешавад, вобаста аз таҷрибаи корӣ бо модаҳои радиофаъол ва ғайра.

«Қоидаи санитарӣ» ҳудуди ҷоизии савияи чиркинии сатҳи кориро муайян кардааст.

Ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъол дар лаборатория ва корхонаҳо либоси махсус аз ҷумла либоси тагпӯшӣ набояд чиркин шавад. Меъёри тартибдодашудаи савияи чиркинии сатҳ, набояд аз меъёр зиёд шудани сатҳро то тоза намудан ба назар мегирад. Савияи ҳудуди ҷоизии лавозимоти чиркиншуда дар корхонаву муассисаҳое, ки бо модаи радиофаъол кор мекунанд, дар ҷадвали 10.6.1 оварда шудааст.

Ҷадвали 10.6.1

Объекти олудашуда	Олудашавӣ аз алфа-зарра сатҳи 150 см^2 дар як дақиқа		Олудашавӣ аз бета-зарра сатҳи 150 см^2 дар як дақиқа	
Даст	То тоза намудан	Баъди тоза намудан	То тоза намудан	Баъди тоза намудан
Либоси махсуси таг, сачок	75	Имп. бегона	5000	Имп. бегона
Либоси махсуси таг, пахтагӣ ё Коғазӣ	75	Имп. бегона	25000	Имп. бегона
Либоси плёнкавӣ	500	100	25000	5000
Берунӣ дастпӯшак	500	200	25000	10000
Беруни пойафзоли махсус	500	100	25000	5000
Сатҳи корӣ ва асбобу лавозимот	500	200	25000	5000

Манбаҳои олудашавии модаи радиофаъол ба 2 гурӯҳ тақсим мешаванд. Гурӯҳи якум - манбаҳои маҳдудшуда ва назорат шаванда, муассисаҳои саноатӣ, реакторҳои атомӣ ва ғайраҳо. Гурӯҳи дуюм - манбаҳои назоратнашаванда ва бартарафнашаванда, маҳсули таркиши ядрои. Манбаи асосии чиркинӣ партовҳои радиофаъол низ ҳаст. Чиркинии асбобу лавозимот ҳангоми иваз намудани ҷузъҳои таркиби реакторҳо, ки дар минтақаи нурбориш бо нейтронҳо кор мекунанд, дастпӯшаки резинӣ, зарфи шишагӣ, такшони сахтӣ дар қаъри зарф пайдошуда, ки ҳангоми буғ дода тоза намудани партовҳои моеъгӣ ҳосил мешаванд.

Чиркинӣ аз боқимондаҳои модаҳои радиофаъол дар вақти кор намудани маъдани радий ва уран ҳосил мешавад. Ҳангоми хунук намудани реактор бо обу ҳаво ё моеъҳои дигар, изотопи уран ҷудо шуда аз он тахтасангҳо тайёр мекунанд, ки барои кори реакторҳо ва ҷудо намудани энергияи сӯзишвории атомӣ истифода мебаранд. Яке аз сабабҳои пайдоиши чиркинии радиофаъолӣ дар ҳаво нигоҳ доштани блокҳои реактор, ки нурборон карда шудаанд, ҷорӣ шудани об аз либосшуйхонаҳо, ки либосҳои махсус шуста мешаванд, дар ҷое, ки асбобу лавозимот тоза карда мешаванд, аз чиркинии модаҳои радиофаъол озод нестанд.

Аксар вақт чиркинии радиофаъолӣ ҳангоми хунуккунии реакторҳо бо ҳаво, ки дар таркибашон элемента химиявии аргон - 41 мавҷуд аст, пайдо мешаванд. Бо усули химиявӣ аз маҳсули уран ва плутоний газҳои инертӣ ба монанди криптон (Кг), ксенон (Ks), аргон (Аг) ва маҳсули сабуки тақсими уран, йод, рутений ва аэрозол (газе, ки дар муҳити он заррaҳои сахт ва моеъ муаллақ меистанд) моеи зарароваранда пайдо мешаванд.

Сабаби дигари пайдоиши чиркинии радиофаъолӣ аз боқимондаҳои аэрозолии газмонанд дар натиҷаи сӯзондани либосҳои ифлосшуда мебошад. Ин гуна партовҳои модаҳои радиофаъол набояд дар замин ва обу ҳаво паҳн шаванд, зеро онҳо дигар ҷузъҳоро чиркин мекунанд. Чизҳои чиркиншуда аз ҷумла об ва ҳаво бояд ҳатман тоза карда шаванд. Барои чен намудани чиркинӣ аз модаҳои радиофаъол аз бета-нурҳо -қайдгиракҳои тахлияигазӣ бо масоҳати самаранокияшон 150 см^2 истифода мебаранд. Ин гуна қайдгиракҳо на танҳо миқдори бета-заррaҳои аз сатҳи чиркинӣ парвоз кунанда, балки суръати ҳисоби J_β-ро муайян мекунанд. Ба-

рои он ки аз J_β (с.х) ба N_0 гузарем бояд баъзе ислоҳотро ба назар гирем. Барои гузаронидани ченкуниҳо аввал дараҷабандии қайдгиракро аниқ муайян намудан лозим аст. Аз хатти рости дараҷабандӣ суръати ҳисоби J (им/дақ), ки манбаи намунавии ҳамвор хориҷ мекунад, бо радиометр ба қайд гирифта мешаванд, бо миқдори бета- зарра, ки манбаи намунавии бета-афканишот дар таҳти кунҷи 2π дар дақиқа хориҷ мекунанд, муқоиса карда мешаванд. Самаранокии ҳисоби радиометр ε-ро аз формулаи зерин меёбем

$$\varepsilon = \frac{J_\beta \cdot с.х}{N_\beta} \qquad (10.6.1)$$

Қимати ε ва суръати ҳисобро аз сатҳи чиркинӣ дониста, миқдори бета-заррaҳои (N_β) аз сатҳи чиркинии 150 см^2 дар дақиқа парвоз мекунанд, ёфтан мумкин аст. Агар фаъоляти манбаи ҳамвори намунавӣ (а) маълум бошад, онгоҳ самаранокии ҳисоб баробар мешавад.

$$\varepsilon = \frac{2J_\beta(с.х)}{a} \quad \text{ва} \quad N_\beta = \frac{a}{2}$$

Агар дараҷабандӣ бо бета-манбаи намунавӣ аз модаи нафиси радиофаъол ҳамчун сатҳи чиркиншуда гузароиида шавад, пас бо радиометр бо саҳеҳии максималӣ ченкунии чиркинӣ муайян мешавад.

Дараҷабандии радиометр барои чен намудани алфа - ифлосӣ айнан ҳамин хел гузаронида мешавад. Дар ин маврид ба сифати алфа - манбаи намунавӣ лавҳаи ҳамвори алюминий бо қабати нафиси модаи алфа - фаъоли (намаки уран, P_u-ва ғайра) масоҳаташ 150 см^2 истифода мебаранд. Барои гузаронидани дараҷабандии радиометр бо қайдгираки синтилатсионӣ бояд манбае тайёр кунем, ки масоҳати он ба тирезачаи қайдгирак баробар бошад. Чен намудани савияи чиркинии даст, либос, пойафзол, асбобу анҷом, фаршу саққфи хона ва сатҳҳои лавозимот бо мақсади аз ҳад зиёд роҳ надодани модаҳои радиофаъол гузаронида мешавад.

Барои муайян намудани чиркинии сатҳи баъзе асбобҳо онро бо қайдгираки радиометр ё дигар қайдгиракро дар сатҳи чиркин мегузоранд. Пас суръати ҳисобро J_x чен мекунанд, асбоби чиркиншуда-

ро аз радиометр дур карда импулсҳои бегона ва адади заррањое, ки сатҳи 150 см^2 хориҷ мекунад чен мекунанд.

$$N_\beta = \frac{I - N_{импдак}}{\varepsilon}, \qquad (10.6.2)$$

дар инҷо ε- самаранокии ҳисоби радиометр, ки онро дар вақти дарҷабандӣ муайян мекунанд. Агар сатҳи асбоби тафтишшуда аз модаи радиофаъол чиркин бошад ва бета ё гамма нур хориҷ кунад, барои аз суръати ҳисоби умумии бета ё гамма-нурҳо хориҷ намудани адади импулсҳои гамма усули зеринро истифода мебаранд. Адади умумии импулсҳоро аз бета ва гамма - манба чен мекунанд, пас дар байни сатҳи чиркиншуда ва қайдгираки радиометр барои фурӯ бурдани бета-заррањо варақаи алюминий мегузоранд, суръати ҳисоб $N_\gamma+N_\beta$ чен мекунанд.

Он гоҳ суръати ҳисоб аз сатҳи чиркинии бета-заррањо чунин ёфта мешавад:

$$N_\beta = N_\Sigma-(N_\gamma+N_б), \qquad (10.6.3)$$

Қайдгираке, ки барои ба ҳисоб гирифтани бета-заррањо истифода мебараид самаранокиаш аз 100% зиёд аст, вобаста ба нисбати самаранокии қайдгираки гамма-нурҳо, суръати ҳисоб дар сатҳи он чунин аст: N_γ, N_β - ин барои қабати маҳини модаи фаъол мувофиқ аст. Бинобар ин суръати ҳисоби N_γ-ро ба эътибор нагирифтан мумкин аст. Барои қабати гафси модаи фаъол бошад дар сатҳи он N_γ-ро ба назар гирифтан шарт аст.

Агар сатҳи чиркинӣ аз алфа-зарра бо иштироки бета- ва гамма - заррањо чен шавад, онгоҳ N_γ ва N_β-ро ба назар намегиранд. Ба сифати алфа-қайдгирак, ки одатан радиометр истифода мешавад, амплитудаи алфа-зарра нисбат ба дигар нурҳо хеле калон аст, бинобар ин γ ва β-нурҳо, ки дорой амплитудаи хурданд ба ҳисоб гирифта намешавад. Ҳамин тариқ, суръати ҳисоб аз сатҳи ифлосии алфа-зарра $N_а$ чунин аст:

$$N_\alpha=N_\Sigma-N_б. \qquad (10.6.4)$$

дар инҷо N_Σ - суръати ҳисоб бо назардошти импулсҳои бегона, $N_б$ - суръати ҳисоби импулсҳои бегона.

Агар масоҳати қайдгираки радиометр аз 150 см^2 хурд бошад, барои баҳо додани чиркинӣ натиҷаҳои гирифташуда бояд ба таносуби 150/F зарб зада шавад; F-масоҳати қайдгирак (см^2).

Барои баҳо додани сатҳи чиркинӣ аз алфа ва бета модаҳои фаъол муттасифона радиометри навъи "тисс" истифода мебаранд. Радиометрҳои навъи "Ирис", "Фиалка", ки бо худ қайдгираки тахлияи газӣ доранд ва сатҳи самаранокиашон ба 150 см^2 баробар аст, кам истифода мешаванд. Радиометри "тисс" гайр аз ин қайдгирак, қайдгираки синтилатсионии кристаллӣ, ки масоҳати 7 см^2 (бе рушнонбар) ва 23 см^2 (бо рушнонбар)-ро дорад, истифода мебаранд.

Дар вақтҳои охир барои муайян намудани сатҳи чиркинӣ аз модаҳои радиофаъол усули олудакуниро истифода мебаранд. Ин усулро дар он ҳолат истифода мебаранд, ки агар дар манзил импулсҳои бегона аз гамма - нурҳо зиёд бошанд. Барои чен намудани сатҳи ифлосӣ бо асбоби "тисс", алфа- ва бета- модаҳои фаъол халал мерасонанд. Усули олудакунӣ барои бартараф намудани чиркинӣ ва ҳангоми чен намудани он бо иштироки гамма-импулсҳои бегонаи басо кам буда, хеле қулай мебошад. Бинобар он ҳангоми чен намудани сатҳи чиркинӣ, агар қайдгиракӣ навъи "тисс" ҳамвор бошад хеле қуллай аст, бо навъи дигари қайдгиракҳо ин корро иҷро намудан басо мушкил ва ғайриимкон мебошад. Усули олудакунӣ барои часпида гирифтани чиркинии радиофаъол бо дока, коғази полоишӣ ё латтаи пахтагӣ барои нигоҳ доштани чиркинӣ истифода бурда мешаванд. Умуман, бо ин усул, яъне гирифтани олудакунак бо лавозимот и хушк ё намнок гузаронида мешавад.

Ба воситаи коғази полоишӣ қариб 20% бо латай намноки пахтагӣ 80% чиркинии сатҳи чиркиншударо гирифтан мумкин аст. Олудакунаки хушк ва намнокро бо радиометрҳо чен мекунанд. Барои чен намудани алфа-фаъол асбоби намуди "тисс" ва иловагии қайдгираки синтилатсионӣ истифода мебаранд. Бета-фаъоли олудакунак бо воситаи асбоби "тисс" ё "фиалка" чен карда мешавад. Меъёрбандӣ намудан ва тафтиши самаранокии ҳисоби дастгоҳ бо ёрии манбаҳои радиофаъолии намунавӣ, ки тайфашон ба тайфи чиркинии - ченшаванда наздик аст, гузаронида мешавад.

Фаъолияти олудакунӣ a_0 бо формулаи зерин ифода карда мешавад

$$a_0 = \frac{2(N-N_0)}{\varepsilon}, \qquad (10.6.5)$$

дар инҷо a_0 фаъолияти олудакунӣ бо адади (зарра/дақиқа), N - адади импулсҳо, ки дастгоҳ дар як дақиқа ҳисоб мекунад, N_0 -импулсҳои бегонаи дастгоҳ (имп./дақ.), ε - самаранокии ҳисоби дастгоҳ мебошад.

Фаъолияти олудакуниро донista фаъолияти сатҳи ифлосии а бо адади зарра дақиқа дар сатҳи 150 см^2 муайян мекунем.

$$a = \frac{a_0 \cdot 150 \cdot 100}{F_\varepsilon \cdot \varepsilon}, \qquad (10.6.6)$$

дар инҷо F - масоҳате, ки олудакунак ишғол мекунад. ε - заribe, ки барои навъи додашудаи олудакунак бо% (фоизҳо) гирифта мешавад.

БОБИ XI
ОМИЛҲОИ БЕХАТАРӢ ВА ХАТАРНОКӢ АЗ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

11.1. БЕХАТАРӢ ВА ҲИМОЯИ РАДИАТСИОНӢ

Бехатарии радиатсионӣ - риоя намудани ҳудуди имконпазири таъсири радиатсия ба коргарони касбӣ, аҳолӣ ва муҳити табиати атроф, барқарор намудани меъёри қондан стандартӣ дар бораи бехатарӣ ва пешгирии он.

Ҳимояи радиатсионӣ - ин маҷмӯаи гигенӣ ва радиатсионӣ лоиҳаи конструктории, техникӣ, ташкил намудани чорабиниҳо, ки ба таъмини бехатарии радиатсионӣ равон карда шудааст.

Ҳимояи радиатсионӣ ҳангоми гузаронидани кор бо манбаҳои афканишоти ионизатсия ба чунин принсипҳои асосӣ асоснок карда шуда аст:

– тамоми фаъолияти бо афканиши ионизатсия алоқаманд буда манъ карда мешавад, агар фондан охирон аз ин фаъолият аз зарари овардашуда зиёд набошад.

– бузургии дозаи шахсӣ, шумораи инсонҳои нурбориш шуда ва эҳтимолиятӣ нурбориш аз навъҳои дилхоҳи гуногуни афканиши ионизатсия бояд аз ҳама паст бошанд, бо назардошти омилҳои иқтисодӣ ва маишӣ, ки амалишавиаш мумкин бошад.

– нурбориши инсонҳои алоҳида аз ҳамаи манбаҳои ионизатсия ва навъи кор, ки набояд аз ҳудуди дозаи барқароршуда зиёд бошад.

Мазмун ва масъала асосии дозасанҷӣ ба норма даровардани дозаи афканишот мебошад.

Аввалин бор мазмуни дозаи имконпазир соли 1902 пешниҳод карда шуд, ки 10 рад дар як шабонарӯз буд. Дар солҳои гузариш ин бузургӣ доимо ба тарафи камшави тағийр ёфт, дар асоси 60-умин чопи МКРЗ (соли 1993) пешниҳод шуд, ки дозаи ҳудудии асосӣ коргарони касбӣ 20 мЗв дар як сол, барои хурдсолони сини 16 - 18 сола, ки дар саноати атомӣ кор мекунанд 6 мЗв, барои ҳамаи аҳолӣ 1 мЗв мебошад.

Ҳимояи радиатсионӣ – қоидаи ҳимояи радиатсионӣ бо се пешниҳоди асосӣ асоснок карда шудааст, ки якуминбор ICRP дар соли 1977 коркард ва пешниҳод намудааст:

Мувофиқи мақсад будан: ҳамаи фаъолиятҳо манъ аст, ба ғайр аз ҳолате, ки бо мақсади фоидаовар барои инсон пешниҳод шудааст, мисол, барои муолиҷа, бартараф намудани баъзе нуқсонҳо ва ғайра, ки барои ҷамъият фоидаовар буда, барои ҷуброн намудани зарари радиатсионӣ истифода мешавад.

Муносиб намудан: нубориш бояд ниҳоят паст бошад, чи қадар ба таври амалӣ соҳиб шуда тавонем.

Маҳдудиятӣ хатар ва дозаи касбӣ: ба инсон гирифтани дозаи радиатсионӣ, ки аз ҳудуди максималии имконпазир зиёд бошад, мумкин нест.

Аз ин принсипҳо аз ҳама мураккабтар на ҳама вақт комилан мувофиқи мақсад истифодашаванда будан аст. Эҳтимолияти баҳодиҳии фоидаи тоза, ки ба қобилияти овардани ин ё он фаъолият асос карда мешавад, ба хулоса ва мувофиқи мақсад будани миқдори ченкуниҳо, ки хеле мушкил ё имконпазир аст, меорад. Инро ICRP қабул мекунад: «комиссия пешниҳод мекунад, дар ҳолате, ки ҳангоми қабул фаъолият талаб мекунад, ки хатари нурборишӣ радиатсиониро дорад, зарари овардани он бояд якбора ба протсеси интихоби ба дастоварда ҳамроҳ карда шавад. Зарари расонидашуда набояд маҳдудшуда бошад, агар он бо радиатсия алоқаманд бошад, он бояд дигар намудҳои зарарро аз ҷумла арзиши худи фаъолиятро, ба эътибор гирад. Баъзе вақтҳо зарари радиатсионии расонидашуда аз зарари умумӣ. хеле кам аст Ҳамин тавр мувофиқи мақсад ба даст овардани ин ё он фаъолоият нисбати ҳимояи радиатсионӣ бо сабабҳои васеътар муайян карда мешавад.

Ҷусту ҷӯи вариантҳои беҳтарин, ин айнан дар ҳудуди идораҳои махсусе, ки ҳимояи радиатсиониро таъмин мекунанд, ҷавобгар мебошанд. Ин мавқеъ тарақиёти ояндаи худро дар аризан комитет доир ба ҳимояи радиатсионӣ ва саломатии ҷамъиятӣ, агенти барои энергияи атомӣ ОЭСР гирифт. Маҳдудияти асосии доза, дар пешниҳоди ченшудаи ICRP=26 (соли 1977) 50 миллион зиверт (5 рем) дар як сол барои коргарони касбии объектҳои хатарноктарини радиатсионӣ ва 5 милли зивертҳо (500 милли рем) дар як сол барои аҳолӣ мебошад. Пешниҳоди иловагӣ вобаста аз шароит доза

барои аҳолӣ дар ҳудуди як миллизиверт дар як сол тарафдорӣ ва тасдиқ карда шавад. Ин дар оянда оҳиста-оҳиста меъёри кӯтоҳмӯҳлат барои аҳоли ба ҳисоб меравад; Таъсири кӯтоҳмуддати ҳарсола монанди пешина дар ҳудуди 5 милли зиверт иҷозат дода мешавад.

Афсус, ки проблемае, ки ҳозир дар пеши назар истодааст, барқарор намудани қимати дозаи ҳудудӣ асосан дар зери таъсири сиёсатмадорон ва мансабдорони алоҳида мондааст. Бояд ба хотир дошт, ки қимати дозаи солона 1мЗв- ин бузургӣ, ба қимати миёнаи радионуклидҳои табиат фон (ғалоғулаи) дар замин буда баробар аст. Аммо, дар курраи замин районҳои истиқоматие, ядронд, мисол дар Ҳиндустон, Эрон ва Америкаи Ҷанубӣ, ки ғалоғулаи радиатсионии табиат аз 10 то 100 маротиба баланд, аз ҳисоби ба рӯи замин баромадани баъзе ҷинсҳои куҳӣ. Ҳол он, ки аҳолие, ки дар он ҷойҳо истиқомат мекунанд, ягон паталогияи гирифтани дозаи баланд. ҳангоми нурборишӣ алоқаманди ошкор нашудааст.

Украина то вақтҳои охир аз рӯи норман бехатари радиатсионии таъиншудаи НРБ-76/87 кор мекард ҳудуди дозаи асосии таъиншуда барои коргарони касбӣ 50 мЗв дар як сол. Аз аввали соли 1998 «норман бехатари радиатсионии Украина (НРБУ-97)» коркарда шуд, бо пешниҳоди охиринӣ МКРЗ асоснок шудааст. Дар ҷаҳон, ки практикаи технологиро васеъ истифода мебаранд, ягонтои он дар рӯзҳои охир аз ҷиҳати пуррагӣ ва сифатан ба пешниҳоду талаботи омори баробар шуда наметавонад. Ҳангоми қатъи назар иҷро намудани касбӣ ва аз ҷиҳати экологӣ тоза будани муҳити зиндагӣ аҳолӣ пешбинӣ шудааст. Бехатарии дозасанҷӣ ва радиатсионӣ бошад талаботи чукурфаҳмидан ва муносибати ҳалшуда, ҳангоми истифодабарии натиҷаҳои гирифташуда ба сифати меъёри муайян, ҳангоми қабули ин ё он ҳалли масъала вобаста аст. Надонистани асосҳои дозасанҷӣ ва бехатарии радиатсионӣ нобовари, бетоқати ва тарсро ба вуҷуд меоварад.

Тарси беасос дар назди афканишоти ионизатсия характери хатарноки ҳақиқиро изҳор менамояд, ки мумкин баробар намудан танҳо оқибатҳои аз реша шикастани таркиби давлати ҷамъияти гардад ва якҷоягӣ, ҳангоми ин ҳодисаҳо бо ҳам мувофиқ омадан, ҳамдигарро тақвият диҳад. Як чанд миллион инсонҳо истиқоматкунандагон, ки дар атрофе, ки модаҳои радифаъол дар натиҷаи сада-

ма дар НБАҶ пайдо шудан, атрофро ифлос ва захролуд мекунад, тарс ва асаб вайроншавии шадидиятро дар байни аҳолӣ ба вуҷуд меовард. Давлат дар зери фишори ҷамъият ва сиёсатмадорони алоҳидаи обруманд, маҷбуранд нақшаи ҳимояи радиатсионии методологии ҳозиразамонро, ки намедонистанд, наметавонистанд фоида ва зарари татбиқи ин нақшаро фаҳмонанд, ки аҳолӣ аз радиатсия чи хел зарар дидан аст. Консепсияи ҳимояи аҳолӣ, дар бораи муҳофизати аҳолӣ дар атрофи НБАҶ, ки ба ифлоси радиофаъол дучор шудааст, бо шароити гирифтани дозаи 7 эбр дар тамоми ҳаёт шикасти хеле калонро овард ҳам аз нуқтаи назари иқтисодӣ, ва инчунин барои аҳолӣ. Фоидаи максималӣ муҳофизир намудан аз ҳисоби тарс ва тадбирҳои пешгири аз бемориҳои зарари авлодӣ ба ҳисоби миёна ба як инсон 35 шабонарӯзи ҳангоми мукоиса намудан бо 25000 шабонарӯзи ҳамаи ҳайёти инсон мебошад. Ин ниҳоят хуб аст, агар ҳангоми ҳисобро баробар намудан, ҳангоми муқарар намудани даромади миллӣ 20 инсон/сол дар асоси пастравии интеграли саломати бе назардошти сарфи мустақимани отравматизи дар прссеси муҳофизир намудан рост меояд. Ҳамин тавр, ҳангоми ба манзили аввала баргардонидани одамон метавонем ба таври дурандеши як одамро наҷот диҳем нархаш 3000 ҳайётро ташкил мекунад.

11.2. МЕЪЁРҲОИ АМНИЯТ ВА ҲИМОЯИ РАДИАТСИОНӢ

Меъёри ҳимояи радиатсионӣ коргарони касбӣ ва аҳолӣ ба тартиб даровардани нормаи бехатарии радиатсионӣ (НРБ-76/87) ва қоидаи асосии санитарӣ (ОСП-72-87) вобаста аст.

Меъёри ҳимоя равон шудааст ба:

– пешгирии пайдоиши эффектҳои муқараршуда бо роҳи нурбориши маҳдудшуда дозаи паст аз зинаи пайдоиши ин эффектҳо (ба норма даровардани дозаи солона);

– меъёри асоснокшуда кабул карда шудааст дар бораи паст фуровардани эҳтимолияти илқои дурдасти оқибати тасодуфӣ (саратон ва генетикӣ) бо назардошти иқтисодӣ омилҳои иҷтимоӣ.

Мақсаду меъёри ҳимоя таъмини нишондодҳои баланд дар бораи саломатии аҳолӣ мебошад, ба ин дохил мешавад: давомнокии ҳаёти аҳолӣ, интегрони бо вақти тавсифи физикӣ ва

фикрӣ қобилияти корӣ, аҳвол ва функсиян аз нав истеҳсол намудан (такрор истеҳсол) мебошад.

Ба меъёри ҳимоя дохил мешавад:

– паст намудани нурбориши аҳолӣ аз ҳаман манбаҳои асосии афканишот;

– маҳдуд намудани таъсири зарарноки аҳолӣ, омилҳои ғайри радиатсионӣ табиати физикӣ ва химиявӣ;

– баланд бардоштани резистентноки (резистентности) ва ғайри кансерогенӣ (антиканцерогенной) таъмини ҳимояи истиқоматкунандагон;

– ҳимояи табиӣ аҳолӣ;

– баланд бардоштани, савияи дониши аҳоли дар бораи гигиенаи радиатсионӣ ёрии психологӣ (руҳӣ) аҳолӣ;

– ёри барои бартараф намудани барзиёди қабули хатари радиатсия;

– ба шакли муайян даровардани ҳаёти саломатии аҳолӣ;

– баланд бардоштани шароити иҷтимоӣ, иқтисодӣ ва ҳуқуқии ҳимояи аҳолӣ;

Дар мавридҳои вазъияти садама меъёри иловагии таъмини ҳимоя гирифта мешавад, ки дозаи нурбориши аҳолӣ, ифлосии атроф паст фуроварда шавад. Ба ин меъёрҳо дохил мешаванд;

– ба дигар ҷой кучонидани истиқоматкунандагон (вахтинча ё доимӣ).

– аз ҷойҳои ифлосии радиофаъол ба дигар ҷойҳои бехатарӣ кучонидани аҳолӣ ё маҳдуди зиндаги намудан ва кор ё ҳаракат намудани аҳолӣ;

– ғайри фаъолониши атроф дар ин тарафҳо сохтакорӣ ва дигар объектҳо;

– системаи меъёрҳо дар сикли истеҳсолоти хоҷагии қишлоқ дар бораи паст намудани таркиби радионуклидҳо дар сабзавоти маҳаллӣ ва маводи хӯрокаи ҳайвонотҳо;

– ба нормадаровардани назорати радиатсионӣ ва интихоби вайроншудаи маводҳои табиӣ хӯрока ва хоҷагии қишлоқ дар оянда коркарди онҳо дар хӯрокаи тоза аз радиатсия, инчунин таъминоти аҳолӣ бо хӯрокаи тозаи радиатсионӣ;

амали чори намудани кондаҳои махсуси ҳимояи санитари гузаронидани истиқоматкунандагон ба онҳо чудо намудани қитъаи замини хочагӣ, ки аз чойҳои ифлоси дур чойгир аст.

Ба меъёри иловагӣ инчунин дохил мешавад: муносиб намудани хизматрасонии тиббӣ аҳолӣ ва паст намудани дозаи нурбориш аз дигар манбаҳо, аз чумла аз ҳисоби маҳдуд намудани дохилшавии радон дар хонаҳои истиқоматӣ ва хонаҳои истеҳсолот.

11.3. ОМИЛҲОЕ, КИ БА ДАРАҶАИ ЭҲТИМОЛИЯТИ ХАВФНОКИИ КОР БО МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ ВОБАСТААНД

Омилҳои асосие, ки дараҷаи хавфнокиро ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъол ба амал меоранд, аз таъсири биологӣ, кимиёвӣ ва физикии онҳо вобастаанд. Ҳар касе, ки дар соҳаи физиикаи ядро кор мекунад, масъалаи хавфнокии дидана-шавандаи нурҳои ядроиро, ки реакторҳо ва масолеҳи онҳо хорич мекунад, бояд донад.

Олимон, созандагон ва коргароне, ки дар корхонаҳо бо модаҳои кимиёвию радиофаъол сару кор доранд ва бо нейтронхо ва реаксияҳои ядрои кори тадқиқотӣ мебаранд, бо сабабҳои гуногун бо масъалаи хавфнокии радиатсия дучор мешаванд. Аз ин рӯ, лоиҳаи таъмини ҳифз аз ин ҳодисаҳо пешакӣ ҳисоб карда, бехатарии онҳо бояд таъмин бошад.

Нурҳои радиофаъол ба организм бо ду роҳ таъсир мерасонанд:

нурборонкунии беруна - ҳангоми бо гамма-нурҳо ё заррахо бомбаборон намудан;

нурборонкунии дарунӣ - яъне модаҳои радиофаъол бо роҳи нафас, хӯрока ё захми яраи пӯст метавонад ба организм дохил шавад.

Ҳар ду ҳолати таъсир ба организм ба ҳаробӣ ва нобудшавии ҳуҷайраҳои биологӣ меоранд. Ин ҳодиса ва пайдоиши он аз таъсири мутақобили гузариши нурҳои ядрои бо атомӣ мода, ки дар таркиби бофтаҳо мавҷуд аст, вобаста мебошад.

Кормандони хизмати дозасанҷӣ дараҷаи хавфнокиро муайян мекунанд ва нурборонро таҳлил карда, барои одамон ва кормандоне, ки бо нурҳои ядрои кор мекунанд ё дар назди онҳо меистанд, чораҳои эҳтиётӣ пешбинӣ ва мукаррар мекунанд.

Кормандоне, ки дар назди реакторҳо меистанд ё бо модаҳои радиофаъол кор мекунанд афканишотро бо ду роҳ назорат карда метавонанд. Якум, бо истифодаи қайдгиракҳое, ки бо рентген дараҷабандӣ карда шудааст ва майдони нурҳои ядроиро чен мекунанд. Дуюм, ҳисоби таносуби байни мавҷудияти сели афканишот ва тавонои доза, агар фаъолият ва навъи афканишот маълум бошад. Ҳангоми ҳисоби пешакӣ ва муайян намудани чораҳои эҳтиётӣ, ки бехатарии чои корро таъмин мекунанд, ин гуна таҳлил зарур аст. Қабати берунии пӯсти одам тамоми организмро аз таъсири бомбаборонкунии алфа- ва бета- нурҳо ҳимоя мекунад. Ин заррахо қобилияти гузаришашон дар мода хеле хурд мебошад. Аммо агар ингуна заррахои заряднок ба дохили организм гузаранд, онҳо ба ҳуҷайраҳои зиндаи организм таъсир расонида организмро ба касалии вазнин дучор мекунад Аз ин сабаб хавфнокии модаи радиофаъол дар организм бо чунин омилҳо баҳо дода мешавад.

1. Миқдори модае. ки ба организм дохил мешавад

Табиатан бояд донист, ки чӣ қадаре, ки изотопҳои дар организм дохил шуда дорои фаъолияти калон бошад, ҳамон қадар хавфнокии онҳо зиёдтаранд. Ғайр аз ин, вақти корӣ омили асосӣ мебошад. Агар модаи радиофаъол мунтазам бо ғаноиши хурд ба организм дохил шавад, вай бо қобилияти худ ҳуҷайраҳои харобшударо, ки амалан онҳо дар ҳолати муътадил меистанд бо тезӣ иваз мекунад.

2. Табиати химиявии мода

Донистани ин раванд муҳим ва зарур аст зеро вай суръати чудошавии модаро аз организм муайян мекунад. Аз ин рӯ, модаҳоро ба чунин синфбандӣ чудо мекунем:

а) модаҳои бефаъоли кимиёвӣ мисли газҳои инертӣ Аргон (Ар), Ксеон (Ks), Криптон (Кг). Ин газҳо бо роҳи нафас ба шуш дохил шуда, дар муддати кӯтоҳ дар инҷо меистанд ва ҳатто ба хун омехта мешаванд. Аммо онҳо ҳеҷ вақт дар таркиби ҷисми инсон ягон пайвасти кимиёвиро пайдо намекунанд. Агар ҳамаи омилҳо ба пайвастагии вақти коҳиш баробар бошанд, он гоҳ дохилшавии ин

газҳо ба организм хавфноктаранд. Ба ин категория модаҳое дохил мешаванд, ки онҳоро организми инсон хазм намекунад.

б) модаҳое, ки организм ба таври муқаррарӣ талаб мекунад, мисли натрий (Na), об, хлор, ки якчоя бо намаки хӯрока ҳосил мешаванд ва онҳо ба аъзои ҷисми инсон дохил шаванд, тез ҳазм шуда вақти дуру дароз намеистанд.

в) модаҳое, ки ба организми инсон заруранд, ба мисли йод, ки ба ғадуди сипаршакл ғаноиш мешавад. Баъзе модаҳои радиофаъол ба монанди стронсий, калсий ва плутоний дар бофтаи устухон таҳшин шуда магзи устухонро, ки истеҳсол кунандаи ҳуҷайраи хун мебошад, вайрону хароб мекунанд. Элементи оҳан бошад қисми асосии зарурии хуни сурхи ҳайвонотро ташкил мекунад. Мавриди зикр аст, ки суръати ҷудошавии модаи радиофаъолро аз организм ҳамчун вақти нимҷудошавӣ ва вақти нимкоҳиши элементҳои радиофаъолӣ баробар қабул намудан лозим меояд.

3. Андозаи зарра

Тадқиқотҳо нишон доданд, ки зарраҳои калони андозаашон аз 10 мк зиёд мавҷуданд, ки гоҳ-гоҳ ба холигии димоғ чукур медароянд ва органҳои ҳиссиётро басо эҳтиёт мекунад. Аз он ҷумла шушро, ки бо хуни ҷудокардааш баъзе организмҳоро, ки чун хӯрока истеъмол мекунанд, таъмин мекунад. Ҷисмҳои бегона, ки аз масолеҳи сустҳалшаванда иборатанд, бояд аз организм бароварда шаванд, то ки онро захмдор накунанд.

4. Вақти нимкоҳиши радиофаъол, энергия ва навъи афканишот

Изотопҳое, ки вақти зисташон такрибан якчанд дақиқа ё соат аст, яъне тез коҳиш мехӯранд, аввало пуркувват меафкананд ва дар оянда пеш аз он ки дар вақташон таҳшин шаванд дар организмҳои мувофиқбудаи инсон фурӯ рафта нест мешаванд. Изотопҳои дарозумр устувор буда аз сабаби паст будани фаъолияташон камзиёнанд. Баъзе модаҳои радиофаъоли дорои "вақти мобайнии нимкоҳишашон" такрибан якчанд сол мебошад. Аз ин гуна изотопҳо бояд эҳтиёт шуд, зеро ҳуҷайраҳои ҷисми инсон амалан ба интенсивнокии доимӣ дар муддати вақти зисти организм нурборӣ мешаванд.

Ҷадвали 11.3.1.

Изотопҳо	Даври нимкоҳиш	Навъи афканишот ва энергия, МэВ	Миқдори ҷонзӣ, мккюрӣ	Ҷонзи максималӣ, ғаноиш дар ҳаво, мкк/л	Ҷонзи максималӣ ғаноиш дар об мкк/л	Эзоҳ
Ra^{226}	1620 сол	α (4,8)	0,1	$8 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-5}$	Дар организм пурра нигоҳ дошта мешавад, камхунниро меоварад, устухонро нобуд мекунад.
Pu^{230}	$2.4\,10^{4}$ сол	α (5,2)	0,04	$2 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	Ба организм пурра нигоҳ дошта мешавад.
Sr^{89}	53 рӯз	β(1,5)	2,0	----	-----	Вақти мобайни нимкоҳиш
Sr^{90}	25 сол	β(0,54)	1,0	$2 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-4}$	
P^{210}	138 рӯз	β(5,3)	0,005			
H^{3}	12,5 сол	β(0,019)	10	0,05	0,4	Бо об аз организм тез хориҷ мешавад.
$C^{4}(CO_2)$	5720 сол	β(0,155)	—	—	8	Аз организм бо ҳамроҳии намак тез хориҷ мешавад
Na^{24}	14,9 сол	β(2,8;1,4)	15	—	—	
P^{32}	14,3 рӯз	β(1,7)	10	—	0,2	Дар ғадуди сипаршакл ғаноиш мешавад.

Co^{60}	5,2 сол	γ (1,2;1,3)	1,0	$7 \cdot 10^{-6}$	0,01	
J"	8 рӯз	β(0,60) γ (0,36)	0,3	$3 \cdot 10^{-6}$	0,03	
Ar^{41}	1.8 соат	β(1,25)Y (1,3)	—	$1 \cdot 10^{-3}$	—	
Xe^{138}	5,3 рӯз	β(0,032) γ(0,085)	—	0,01	—	
Xe^{135}	9,2 ' соат	β(0,91) γ(0.25)	—	$3\ 10^{-3}$	—	
U^{238}	4,5 10 сол	α (4,2)	—	$1,7\ 10^{-8}$ урани табий	—	Урани табиӣ аз чихати киминёви хафнок, урани тоза гамма-фаъол аст. Ғанонши F^{234} хафнок, дар табиат зиёд. 0,0058%-ро ташкил мекунад.
U^{234}	$8{,}8\ 10^{8}$ сол	α(4,4) γ(0,16)	—	—	—	
U^{235}	$2{,}7 \cdot 10^{5}$ сол	α (4,8)	—	—	—	

5. Эҳсоси бофтаҳо ба афканишоти радиофаъол

Яке аз омилҳои мавҷуда - ин ҳаробие, ки ба организми ҷисми инсон таъсири афканишоти радиофаъол ба амал меорад. Дар ҷадвали 13 номгуи изотопҳои зарурӣ оварда шудааст. Аён аст, ки чи гуна ҷоизи максималии миқдори ин изотопҳо дар дохили организм нигоҳ дошта мешавад.

Агар сухан дар бораи аҳолии истиқоматӣ равад, ҷоизаи максималии одамони хизматрасон бояд 10 маротиба паст бошад. Модаҳои радиофаъол метавонанд ба организм дохил шаванд ва бо роҳҳои гуногун дар он истанд. Ҳамин тариқ, бояд ду роҳи гузариши модаҳои радиофаъолро дар организм ба ҳисоб гирем:

– нафасгирӣ аз ҳавои чиркини радиофаъолӣ дар лабораторияҳое, ки бо модаҳои радиофаъол кор мекунанд,

– истифода ва нушидани оби чиркини, ки дар таркибаш ин модаҳоро дорад.

Таъсири физики - эквиваленти физикии ренген (ЭФР), эквиваленти биологии ренген (ЭБР), эквиваленти биологии нисбӣ (ЭБН) дар саҳифаи пешина оварда шудааст.

Ҷоизии максималии миқдори изотопҳоирадиофаъол, ки дар дохили организм мавҷуданд (ниг. Ҷадвали 6.3.1.).

11.4. КАСАЛИИ НУРӢ. ДОЗАИ МАРГОВАР

Гузариши радиатсия ва таъсири нурборонкунӣ ба вайрон намудани организм оварда мерасонад. Ин гуна таъсирот ба ҳуҷайраҳои зиндаи организм зарари биологӣ меоварад. Маънои гузариш ва таъсири зарароварии радиатсия ба организми зинда дар он аст, ки гамма-нурҳо ва нейтронҳо молекулаҳои ҳуҷайраҳои зинда даро ионизатсия мекунонад. Ионизатсия фаъолияти ҳаётӣ муътадили ҳуҷайраҳоро вайрон карда, дар дозаи калон онҳоро нобуд мекунад. Ҳуҷайраҳо қобилияти коршоямии худро гум мекунанд ва инсон ба касалии нурӣ дучор мешавад. Агар дозаи нурбориш аз 100 р калон шавад, касалии нурӣ пайдо мешавад.

Вобаста аз дозаи нурбориш касалии нуриро ба се дараҷа таҳсим мекунанд: якум-сабук, дуюм-миёна, сеюм-вазнин.

Касалии нурии дараҷаи якум - аз дозаи умумии нурбориш 100- 200р сар мешавад. Даври пинҳонияш ду-се ҳафта давом меку-

над. Пас пайдошавии бетобӣ, беҳолӣ, сустӣ, бемадорӣ, беҳузурӣ, сарчархзанӣ, баланду паст шудани ҳароратӣ бадан пайдо мешавад. Дар таркиби хун миқдори сақочаҳои хуни сафед кам мешавад. Ин касалӣ муолиҷашаванда аст.

Касалии нурии дараҷаи дуюм - аз дозаи калони нурбориши 200-300р сар мешавад. Даври пинҳонияш то якчанд ҳафта давом дорад. Пас аломатҳои монанди касалии якум, танҳо равшантар ифода меёбанд. Ҳангоми муолиҷаи фаъол баъди 1.5-2 ҳафта сиҳатшавӣ сар мешавад.

Касалии нурии дараҷаи сеюм - дар дозаи умумии нурбориши зиёда аз 300-500р пайдо мешавад. Даври пинҳонияш то якчанд соат буда, беморӣ хеле бошиддат мегузарад. Ҳангоми муолиҷаи фаъол баъди якчанд ҳафта сиҳатшавӣ сар мешавад. Агар дозаи нурбориш аз 500р зиёд шавад, одам ба марг дучор мешавад. барои инсон ин дозаи ҳалокатовар аст. Маҷмуаи ташкилиҳое, ки барои ҳимояи инсон аз нурҳои ионизатсия истифода мешавад - ин назорати тандурустӣ аст.

Аз нуқтаи назари назорати тандурустӣ гузаронидани интихоби мутаҳассисон, ки бо нурҳои ионизатсия кор мекунанд ва ошкор намудани касалии нуриро, агар мавҷуд бошад, муайян намудан зарур аст. Шахси касалии нурӣ шуда аз нишонаҳои касалии одӣ фарқ надорад, бинобар ин ошкор ва ташхиси касалии нурӣ хеле душвор аст. Махсусан ошкор намудани аломатҳои аввали он дар аввали пайдоишаш хеле мураккаб мебошад.

Ташхиси рентгенӣ нишон медиҳад, ки дозаи нурбориш як рентгенро ташкил медиҳад, ҳангоми маҳдуд намудани нурбориш дозае, ки ба варами рӯда ё меъда таъсир мерасонад ба 25р мерасад. Агар дозаи қабулкардаи инсон аз 450р зиёд шавад, инсон ба ҳалокат мерасад, онро дозаи летали меноманд. Аз ин ру инро 50%-и дозаи Летали меноманд, ки ба 50%-и дозаи ҳалокатовар мувофиқ аст.

Аз ин нуқтаи назар дозаи летали чунин дозае мебошад, ки 100% марговар аст.

Дозае, ки ба инсон харобӣ меорад ё не аниқ муайян намудан душвор аст, зеро ҳодисаи нурбориш хеле кам ва айнан барои тасдиқи ин ҳодисаҳо натиҷаҳои лозимии оморӣ миқдоран нестанд.

Ғайр аз ин оқибати нурбориш нишонаҳои худро баъди якчанд сол ошкор мекунад.

Ҳангоми маҳдудкунии нурбориши инсон аз ҳисоби реаксияҳои ҷубронии организми одам метавонад бе касалӣ дозаи калонро гузаронад. Асосан, ҳангоми гузаронидани рентгенбинии одӣ шуши одам дозаеро қабул мекунад, ки 100 маротиба нисбат ба дозаи ҷоизи тамоми организм зиёд аст.

Ҳамин тавр, барои бехатарӣ ва пешгирӣ намудани касали нурӣ, ки дар зери таъсири нурҳои ионизатсия ба вуҷуд меоянд, бояд қоидаи санитариро риоя кард.

11.5 ТАЪСИРИ БИОЛОГИИ АФКАНИШОТИ ЯДРОИ

Афканишоти ядрои ба энергияи калон соҳиб буда, таъсири он ба бофтаҳои зинда боиси вайроншавии бофтаҳо мешавад. Агар дозаи беҳад калонро ба ҳисоб нагирем, таъсири биологӣ вобаста аз доза ва навъи нурҳои ядрои дертар, яъне пас аз якчанд рӯз то якчанд моҳ ба қафомонӣ ошкор мешавад. Дар ин вақт ҳангоми аз ҳад зиёд будани экспозитсия (давомоти нурбориш, ки бо адади ҷуфти ионҳои дар $1см^3$ ҳаво пайдо мешаванд, ифода меёбанд), ки воҳиди он рентген аст, давомоти он аз миқдори бофтаҳои ба нурборон гирифторшуда вобаста нест. Байни доза ва экспозитсия чунин вобастагӣ мавҷуд аст:

Доза = (экспозитсия) (ҳаҷме, ки ба экспозитсия гирифтор аст), дар он тағйироти биологии ба вуҷудомада ба назар гирифта мешавад. Дар зери таъсири он бофта ҳамин хел зарари ҷиддӣ мебинад, ки барои муолиҷаи он то ин дам дорӯи аниқ ёфт нашудааст.

Пайдоиши аломатҳои пуркувваттарини эксиозитсияи басо зиёдро дида мебароем:

1. Камшавии адади доначаҳои сафеди хун;
2. Бенаслӣ;
3. Тағйироти бенаслӣ дар насл, яъне таъсири омил, ки дигаргунии ягон қисми баданро ба вуҷуд меорад ва он мумкин, ки ба иргсият гузарад;
4. Рехтани муи бадан, аз он ҷумла муи сар;
5. Саратон;

6. Нобудшавии устухонҳо, харобшавӣ ва хушк шудани устухонҳо.

Камшавии адади заррачаҳои сафеди хун яке аз аломатҳои аввалиндарачаи экспозитсия мебошад. Аз ин ру барои ҳамаи шахсоне, ки гирифтори экспозитсия мебошанд, ҳатман ва мунтазам бояд хунашонро ба таҳлил диҳанд ва аз назорати тиббӣ гузаранд. Аммо дар ҳолати муътадил нигоҳ доштани камшавӣ шумораи доначаҳои сафеди хун кафолати набудани экспозитсияи басо зиёдро таъмин карда намешавад. Барои ба даст овардани эффекти биологӣ дозаи зиёд сарф мешавад ва он аз дозаи муқаррарӣ калон аст. Ин дигаргунӣ баъди гузаштани вақти муайян пас аз экспозитсия пайдо мешавад. Баръакс таркиби пасттарини камшавии адади доначаҳои сафеди хун беандоза баланд будани экспозитсияро ба намуди хаттӣ нишон намедиҳад, зеро камшавии миқдори доначаҳои сафеди хун аз бисёр омилҳо вобаста мебошад. Ҳангоми набудани дигар омилҳо бояд чунин ҳолатҳои махсусро ба эътибор гирем, ки дар қисми таҳлили хун норасогии доначаҳои сафеди он дар организм зоҳир шавад. Вай дар навбати худ аз таъсири афканишоти нурҳои ядрои вобаста мебошад. Доначаҳои сурхи хун ба афканишот нисбатан устувор буда, андаке хароб шудани он таъсироти зиёди дозаи афканишоти нурҳои ядроиро талаб менамояд.

Тӯли солҳо маълум буд, ки таъсири нурҳои ядрои боиси рехтани муи бадан мешавад. Аз ин ру онҳоро барои резонидани муи зиёдатӣ истифода мебаранд, ҳол он ки ин раванд дар организм бе зиён намегузарад, чунки вай дозаи калони афканишотро талаб мекунад. Дар баъзе ҳолатҳо муй метавонад баъди якчанд моҳ аз нав пайдо шавад, аммо дар дозаи басо калонтарини афканишоти ядрои муй дигар пайдо намешавад. Яке аз оқибатҳои вазнин ва ҳайратангези нурҳои ядрои, яъне рехтани муи бадани одам дар зери таъсири ин нурҳо пас аз таркиши бомбаҳои атомӣ дар Хиросима ва Нагасаки ошкор гардид.

Маълум аст, ки таъсири нурҳои гуногун инсонро ба бенаслии доимӣ ё муваққатӣ гирифтор мекунад. Агар дозаи афканишот миёна бошад, инсон ба бенаслии муваққатӣ дучор мешавад ва организм кори муътадили худ муддати якчанд моҳ ё баъди якчанд сол барқарор менамояд. Дозаи басо зиёди афканишот бошад метавонад одамро ба бенаслии доимӣ дучор кунад.

Гузариши афканишот хеле самаранок аст, мутатсия (тағйироти табиӣ ва ё сунъии хусусиятҳои ирсии организм, ки дар натиҷаи дигаргуншавӣ ё вайроншавии хромосомаҳо ва генҳо ба вуҷуд меояд, асоси тағйироти хусусиятҳои ирсии организм аст) бомуваффақият барои парвариши навъҳои нави зироатҳо истифода мешавад, аммо истифодаи он аз сабаби хеле кам будани миқдори дилхоҳи мутозҳо барои инсон ғайри имкон мебошад. Мутантҳо дар насли дуюмин ё сеюмин бо гузаштани вақти басо зиёд метавонанд пайдо шаванд. Аломатҳои он ошкор гашта, ба мутатсияи муайян ноил шуда таъсири он ба ҳодисаи омори ягон маҳдудият надорад. Аз ин ру ҳар гуна доза самаранок аст, бо зиёд шудани доза аз ҳудуди ҷоиз эҳтимолияти мутатсия меафзояд. Ҳар як фотон қобилияти таҳҷубовари мутатсияро дорад, аммо эҳтимолияти ин ҳодиса хеле кам аст.

Нурҳои ядрои барои муолиҷаи касалии саратон васеъ истифода бурда мешаванд. Вале маълум аст, ки саратон дар натиҷаи басо зиёд будани дозаи экспозитсионӣ пайдо мешавад. Дар адабиётҳои тибӣ бисёр сабабҳои пайдоиши касалии саратон оварда шудааст; аз ҷумла дар байни рентгенологҳо аз сабаби маълум набудани хавфнокии таъсири х - нурҳо ва нурҳои радий ин касалӣ дар байни рентгенологҳо паҳн шудааст.

Дар бисёр мавридҳо дозаи аз ҳад зиёдро ошкор намудан душвор аст. Он бешубҳа калон буда таъсираш муддати якчанд сол давом мекунад. Қаноатмандона зиёд шудани экспозитсияи муътадил ба камшавии шумораи доначаҳои сафеди хун меорад, аммо дозаи ниҳоят калон боиси сафедхунӣ ё вайроншавии таркиби хун мегардад. Афзудани касалии хун - натиҷаи хеле баланд шудани миқдори лейкоситҳо мебошад. Саратони хун оқибати нурбориш аст ва метавонад дар муддати 10÷15 сол пас аз нурбориш инкишоф наёбад, аммо ҳама вақт сабабгори алоқамандии байни ду ҳодиса - нурбориш ва пайдоиши касалии саратон мебошад.

Алхусус, ҳангоми ба организм дохил шудани радонифаъол ноб уд шудани устухон дар бисёр ҳолатҳо мушоҳида мешавад.

Элементҳои радиофаъол, ба мисли радий ва плутоний, дар устухон ҷой мегиранд ва дар чунин ҷойҳо ҷаъмшуда ганоиш мешаванд, ки барои нобудшавии устухон самараноканд. Устухон яке аз бофтаҳои устувор нисбат ба афканиши ядро мебошад, аммо усту-

хон ҳам дар муддати дуру дароз ҳангоми ба алфа-заррахо бомбаборон намудан тоб оварда наметавонад. Вақте, ки модаҳои радиофаъол ба организми устухон дохил мешаванд онҳоро аз он ҷо якбора хориҷ намудан ниҳоят душвор аст. Кўшишҳои барои танг карда баровардани алфа-зарра аз устухон ҳангоми пархезй истифода бурдани калсии хеле баланд ба муваффакият наовард. Модаҳои дар натичаи коҳиш алфа-зарра хориҷ шаванда, яке аз воситахои фаъолтарин барои нобуд намудани устухон мебошанд. Ғайр аз он, якчанд ҳолати нобуд шудани устухон баъди қабули дозаи калони гамма-нурҳо ошкор шудааст.

Қисми зиёди натичаҳои эффекти биологй пас аз қабули дозаи нисбатан калони ядрои пайдо мешавад, вале чунин натичаҳо то ҳол мутаассифона хеле кам мебошанд. То он даме, ки зарари расонидашуда хеле калон наафзояд, фарди зарардида ягон эҳсос намемояд ва намедонад чй гуна таъсирот боиси пайдоиши тағйироти меъросй дар насл мешавад. Сабаб ва шароити пайдоиши касалии саратони хун характери оморй дорад. Бинобар ин ҳамаи кувваро бояд ба он равон кард, ки экспозитсияи зиёдатиро истифода набурда қоидаи бехатарии муқарраршударо қатъи назар риоя ва истифода шавад. Ҳангоми мунтазам гузаронидани тафтишот бо асбобҳои қайдгирак, ки дараҷаи хавфнокй бо нишондоди онҳо муайян мегардад, бояд асбобҳои қайдгирак боваринок бошанд ва онҳоро лавозимот и нави коркард иваз намоянд.

Характер ва интенсивияти зарарovар аз дозаи афканишот ва навъи заррахо вобаста аст. Ҳангиоми организм ва қисмҳои организмро бо заррахо нурборон намудан таъсири гуногуни он мушоҳида мешаванд, баъзе организмҳои заиф ҳалок мешаванд. Дозаи миёнаи ҳалокатовар аз 50 рентген сар мешавад. Барои тухми ҳуҷайраҳо, ки аз аквариуми (зарфи шишагии пуроб, ки дар он моҳй ва растаниҳои обиро мепарваранд) хонагй гирифта шудааст, аксолот, барои баъзе бактерияҳо маълум аст, дозаи то 300000 р ҳалокатовар мебошанд. Дозае, ки аз дозаи ҳалокатовар пасттар аст касалиҳои гуногунро пайдо мекунад ва бо истилоҳи «касалии нурй» шарҳ меёбад.

Дар Ҷадвали 11.5.1 дараҷаи таъсири дозаи гуногуни гамма-нурҳо дар организми бадани инсон оварда шудааст.

Ҷадвали 11.5.1

Доза, рентген	Таъсирот ба организми инсон
0-25	Зарар ошкоро нест.
20-50	Имконияти тағйири таркиби хун.
50-100	Тағйирёбй ва вайроншавии таркиби хун.
100-200	Зарар расониданн, қобилияти кориро аз даст додан.
200-400	Қобилияти кориро аз даст додан. Бекувватй
400	Ҳалокат 50%, 50%-и организми одам аз кор мебарояд. Қисми зиёди организми инсон барои иҷрои ин ё он кор қувват надорад. Имконяти ҳалок шуданро дорад.
600	Дозаи ҳалокатовар.

Таркиби организми зиндаро ба се қисм тақсим намудан мумкин аст, онҳо дар зери таъсири дозаи нурбориш ба тағйиротҳои гуногун дучор мешавад.

Молекулаҳои алоҳида;

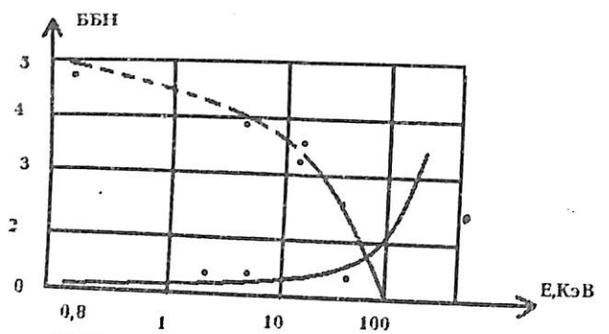
Ҳуҷайраҳо;

Қисми макроскопии системаи организм, (бофтаи мушакҳо ё системаи нафасгирй). Дар зери таъсири радиатсияи зарарrасон вайроншавии организм дар се қисми мушоҳидашуда ошкор шудааст.

Дар маҳсули радиолизи об, ки дар он ҳуҷайраҳои зинда одатан 25-30 A^0 ($1A^\circ = 10^8$ см)-ро ташкил мекунанд, таъсири радикалҳо (гурӯҳи атомҳои молекула, ки аз як таркиби кимиёвй ба дигараш бетағйир мегузарад) самараноктар аст. Радикалҳо метавонанд вобаста дар макромолекулаҳо ё ҳуҷайраҳои зинда ҳосил шаванд ва дар зери таъсири онҳо ҳамаи молекула ё ҳуҷайраҳо зарар мебинанд.

Таъсири биологии афканишоти гамма-нурҳо ва электронҳо, ки қобилияти ионизатсионии суст доранд, ҳангоми мавҷудияти оксиген пуркувват мешавад. Дар муҳите, ки ғаноиши оксиген баланд аст (аз 0 то 30-40%), афзоиши дуюмини таъсири зарарrасон ҳисоб мешавад. Таъсири нурҳои ионизатсияашон пуркувват алфа-зарра аз ғаноиши оксиген вобаста нест.

Ба таври таҷрибавӣ муқаррар намудаанд, ки агар ба организм пеш аз нурбориш баъзе модаҳои органикӣ (аксар вақт модахое, ки дар таркибашон гугирд (s) доранд) дохил карда шаванд, пас вайроншавии биологиро дар зери таъсири афканишот то дарачае паст фаровардан мумкин аст. Молекулаҳои ин модаҳо дар мавриди қучидани энергияе, ки қисми зиёди энергияи радиатсиониро фурӯ мебарад ва возеҳан зарба задани макромолекулаҳоро дар организм паст мефарорад дар организм фаъол омехта мешаванд. Ин гуна масолеҳи хифзӣ ба нурҳои ионизатсиякунанда пурқувват самаранок нестанд. Бояд қайд кард, ки баъзе вайроншавии пинхониро ҳангоми дохил намудани модахои ҳифзӣ дар организм, ҳатто пас аз нурбориш, бартараф намудан мумкин аст. Дар зери таъсири як рӯйдоди ионизатсионӣ баъзе ҳуҷайраҳо ва ҳатто организмҳои якҳуҷайра нобуд мешаванд. Мисоли одӣ як бархурии объект ба вуҷуд омадани касалик рӯда мебошад. Аммо бисёрии ҳуҷайраҳо ба ду бархурӣ ва ҳатто ба бисёрбархурӣ дучор мешаванд. Барои объекти аз ҳуҷайраи хурд - ферментҳо (кагализаторҳои биологии таркиби ҳуҷайраи зинда) иборат буда ҳодисаи якбархурии бештар характернок аст.



Расми 11.5.1. Вобастагии ББН аз сарфи гуногуни энергия барои бисёрбархӯри (хатти яклухт) ва яктобархӯри (хатти нуқтамонанд) дар организм; сарфи энергия Е дар мкм бофта, кэВ.

Объектҳои якбархурӣ ва дубархурӣ ба энергияи афканишот эҳсоси калон доранд ва аз вай фарқ мекунанд. Объекти'якум ба афканишоти ионқои камқувват ва дуюм ба ионизатсияи камқувват

эътинод дорад. Ин фактҳоро дар расми 11.5.1 хамчун вобастагии бо самаранокии нисби биологӣ ББН аз бузургии сарфи энергияи ионизатсионӣ (-dE/dx) барои якбархӯри касалии рӯда ва барои дубархӯри диплоиди ҳуҷайраҳои хамиртуруш оварда шудааст.

Фарқияти байни якбархӯрӣ ва дубархӯрии объекҳо равшан аст: объекти дубархӯри ҳуҷайраҳоро нобуд месозад, ҳангоми мавҷудияти дубархӯри ионизатсия дар фазо ба ҳам наздик мегузарад вай вайроншавӣ аз зиччии баланди ионизатсия вобаста аст. Дар объектҳои якбархурӣ баръакс, зиччии баланди ионизатсия ва таъсири он харобшавиро паст мекунад, аз сабаби эҳтимолияти баланди сарфи энергияи ионизатсия ба молекула ё ҳуҷайраи ҳалок гашта дар объектҳои якбархурӣ баръакс, зиччии баланди ионизатсия ва таъсири он харобшавиро паст мекунад. Як бархӯрии касалии рӯда ва барои дубархӯри диплоиди ҳуҷайраҳои хамиртуруш оварда шудааст.

Ҷои аз ҳама эҳсоснокии одам ба нурбориш ҷузъҳои хуновар, яъне мағзи устухон, испурч, пӯсти ғадуди таносул ва пардаи луобии рӯда мебошанд. Ҳангоми доза ба дозаи ҳалокатовар наздик шудан, дар натиҷаи харобшавии ҳуҷайраҳои мағзи устухон, ки хун истеҳсол мекунанд марг сар мешавад. Агар доза аз дозаи ҳалокатовар зиёд бошад, аз ҳисоби зарба хурдани рӯдаҳо марг тезтар фаро мерасад. Доза аз дозаи марговар хурд бошад, аввало даври тез пайдо шудани касалии камхунии сӯхтагӣ ва захм, рехтани муй, зарбаи чашм, милки дандон, гулу ва ғайра сар мешавад. Беморӣ пас аз якчанд соат пайдо мешавад, ҳангоми нурбориши пурқувват вай ба бекувватшавӣ ва марг оварда мерасонад. Ҳангоми тез гузаштани касалии нурӣ муқобилият ба касалии сироят- кунанда басо паст мешавад ва эҳтимолияти пайдоиши каратант ва варами саратонӣ меафзояд.

Дар замони ҳозира усули самараноки муолиҷаи касалии нурӣ кор карда шудааст, ки бо ёрии он ҳаёти одамонро аз дозаи марговари нурбориш начот додан мумкин аст. Дар дозаи калон усули асосии муолиҷа гузаронидани хунӣ аз як одам ба одами дигар ва дар организми солим магзи устухонро иваз намудан мебошад. Сабаби гуногун будани зариби эквиваленти нисбии биологӣ, яъне босамарии биологии нисбӣ ББН-ро барои намудҳои гуногуни афканишот, ки дар ҷадвали 11.5.2 оварда шудааст, дида мебароем.

Ҷадвали 11.5.2

Намуди афканишот	ББН
Гамма-нурҳо	1
Бета-нурҳо	1
Нейтронҳои ҳароратӣ	5
Нейтронҳои сареъ	10
Протонҳо	10
Алфа-зарраҳо	10

Гамма-нурҳо ба бофтаҳои зинда асосан аз ҳисоби электронҳои комтонӣ таъсир мерасонанд. Бинобар он таъсири мутақобил*: гамма-нурҳо ба электронҳо тахминан якхела аст. Зарраҳои зарядноки вазнин, яъне протонҳо ва алфа-зарраҳо зиччии баланди ионизатсияро пайдо мекунанд. Эҳтимолияти зарба задани объекта дубархурӣ аксаран дар организмхои баланд таъсирёфта мушоҳида мешавад. Аз ин нуқтаи назар, заррахои вазнин як дараҷа нисбат ба электронҳо хавфноктар мебошанд. Ин раванд барои нейтронҳои сареъ низ ҷой дорад. Нейтронҳои сустҳаракат ба бофтаҳои зинда таъсир доранд ва бо якҷоягии гамма-нурҳои дорои энергияи 2,23 МэВ ва протонҳои энергияашон 0,6 МэВ аз реаксияи зерин пайдо мешавад

$$n+p \longrightarrow d+\gamma;\ n+7N^{14} \longrightarrow бC^{14}+p,$$

Аз инҷо маълум мешавад, ки ББН, барои нейтронҳо бо бузургии мувофиқ аст, ки қимати он дар байни гамма-нурҳо ва заррахои зарядноки вазнин ҷойгир аст.

11.6. ТАЪСИРИ НЕЙТРОНҲО БА БОФТАҲО

Сарфи энергиям нейтронҳои сареъ дар бархурии якумӣ чандирӣ бо атомҳои бофта ҷой дорад. Сарфи энергия дар бархурии дигар барои бофтае, ки ғафсиаш аз дави миёнаи нейтрон кам аст ба эътибор гирифта намешавад. Дозаи фурӯбурд дар бофта ки 1 нейтрони сареъ бо энергияи En ба сатҳи 1см^2 меафтад, бо формулаи зерин ҳисоб мешавад.

$$Д_{бофта}=E_n\sum_i^n N_i f_i \sigma_{is}(E_n), \qquad (11.6.1)$$

Дар инҷо Ni - адади атомҳо дар 1г бофта, $б_{is}$ эҳтимоли чандири пароканиш ва /i - энергияе, ки нейтрон ҳангоми бархурӣ медиҳад.

Дар системаи марказии масса пароканишхурӣ чунин баҳо дода мешавад.

$$f_i=\frac{2m\cdot M}{(m+M)}, \qquad (11.6.2)$$

Дар инҷо m» - массаи нейтрон, М - массаи ядрои кафорафта. Дозаи бофтаҳо ҳамин тавр ҳисоб карда мешавад.

Расми 11.6.1. Хатти қаҷи дозан бархурии якум барои полиэтилен мебошад, ки вай ба бофтаҳо барои нейтронҳои сареъ дар соҳаи энергияи 1÷20 МэВ масолеҳи эквиваленти бо зариби мутаносиби 1,45 мебошад.



Расми 11.6.1. Дозаи фурӯбурди нейтронҳо дар бофтан (1) ва полиэтилен (2)

Дозаи нейтроҳоо дар ҷисми калони биологӣ, ки дар он бурхурдӣ якчанкарата мегузарад, ҳисоби назариявиаш мушкил аст, барои он ки аз геометрияи нурбориш сахт вобаста мебошад.

Қабати бофтае, ки ғафсиаш 30 см ба сели нейтронҳои моноэнерги нурборон шуда дозааш ба таври назариявӣ аз тарафи Спайдер ва Нейфелд ҳисобкарда шудааст. Ин натичаҳо дар расми 11.6.1 оварда шудааст, ки чукурии дозаро бо назардошти самаранокии биологӣ мефахманд.

11.7. ДОЗА. ТАВОНОИИ ДОЗА.СПЕКТРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪ

Ҳисоби ҳифз аз нейтронҳо нисбат ба ҳисоби ҳифз аз алфа-бета- ё гамма-нурҳо бо сабаби мураккаб будани таъсир ба бофтаи биологии бадани инсон ва мода мушкилтар аст. Аксар вақт ҳалли масъала ойди зарурати муҳофизат аз афканишоти нейтронҳо танҳо баъди гузаронидани таҷрибаи махсус қабул карда мешавад. Нейтронҳо ҳангоми ҳаракат дар мода танҳо бо ядроҳо таъсири мутақобил мекунанд. Эҳтимолияти фурӯбурди нейтронҳо бо камшавии суръат зиёд мешавад. Барои муҳофизат аз нейтронҳои сареъ модаҳои махсуси сусткунандаи суръати онҳо истифода мешавад, ба монанди об, бетон, графит ва парафин мебошанд.

Баъди фурӯ бурдани нейтронҳои сустшуда унсурҳои мисли кадмий, бор истифода мешаванд, ки эҳтимоли калони фурӯбарӣ доранд.

Ифодаи тақрибии қонуни камшавии сели борики нейтрон ҳангоми гузаштан аз қабати модаи ғафсиаш х-см, яъне эҳтимоли пурраи самарабахши таъсири мутақобилаи нейтронҳо бо ядроҳо чунин мешавад;

$$J_x = J_0 e^{-\eta \delta_ч}, \qquad (11.7.1)$$

ки дар инҷо J_0- интенсивияти нейтронҳо ҳангоми набудани модаи фурӯбаранда, $J_ч$- интенсивияти нейтронҳо ҳангоми мавҷуд будани модаи фурӯбаранда х (см), $\sigma_ч$ - буриши самарбахши таъсири мутақобили нейтронҳо, п - адади ядроҳо дар $1 см^2$ мода мебошанд.

Ғафсии қабати модаи фурӯбаранда х-ро, ки барои камшавии сели нейтронҳо аз J_0 то $J_x=J_{чоиз}$ зарур аст, муайян намудан мумкин аст. Барои манбаи дар лаборатория истифодашавандаи плутоний, берилий ҳисоби зарурии муҳофизатро аз рӯи формулаи нимэмпирикӣ ёфтан мумкин аст:

$$Ф=\frac{5Ne^{-6x}}{4\pi r^2}, \qquad (11.7.2)$$

дар инҷо N - адади нейтронҳое, ки манбаи радиофаъол дар як сония меафканад, Ф - сели нейтронҳои сареъ дар масофаи r то манба, Х - ғафсии қабати муҳофизат (<20см), Б - буриши макроскопи барои

манбаи радиофаъол ва муҳофизат. Барои плутоний+берилий эҳтимоли муҳофизат дар об 0,139 $см^2$ ва парафин 0,151$см^2$ аст.

Мисли манбаҳои гамма-нурҳо муҳофизат аз нейтронҳо низ бо зиёд намудани масофа аз манба ва кам намудани вақти корӣ аз нурафканиш амалӣ карда мешавад. Сели нейтронҳо ҳангоми набудани муҳофизат вобаста ба масофа чунин мешавад

$$Ф=\frac{5N}{4\pi r^2}, \qquad (11.7.3)$$

дар шароити воқеӣ сели нейтронҳои сареъи тоза вонамехӯранд, онҳо бо сели нейтронҳои суст ва ҳарорати гамма-нурҳо якҷоя ҳаракат мекунанд.

Барои муайян намудани шароити ҷоизии корӣ, ба назар гирифтани афканишоти ба вуҷуд овардани сели нейтронҳо бояд аз рӯи қоидаи санитарӣ, дозаи ҷоизии афканишот дар худ натиҷаи таъсири мутақобилаи ҳамаи намудҳои нурҳои ионизатсияро дар бар мегирад.

Барои чен намудани доза ва тавонои дозаи нейтронҳои сареъ радиосанҷи навъи УДБН-0,2 ρ ва спектрометри яккристаллии синтилатсионӣ стилбен истифода мебаранд.

Масофаи бехатарӣ аз манбаи радиофаъол то ҷои кор ва вақти корӣ чунин ёфта мешавад.

$$R_{бехатари}=\sqrt{\frac{N}{4\pi Ф}}, \qquad (11.7.4)$$

дозаи нурбориши манбаҳои плутоний+берилий ва полоний+берилий бо тавоноии Р-и дозаи нейтронҳо дар масофаи R(см) дар вақт (соат) аз рӯи формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$Д = 1{,}14 \cdot 10^{-5} \frac{N}{R} t_x, (ЭБР), \qquad (11.7.5)$$

ҳудуди ҷоизии вақти корӣ барои қабули дозаи ҷоизи чунин ёфта мешавад

$$t=1{,}5 \cdot 10^3 \frac{R^2}{N}, соат, \qquad (11.7.6)$$

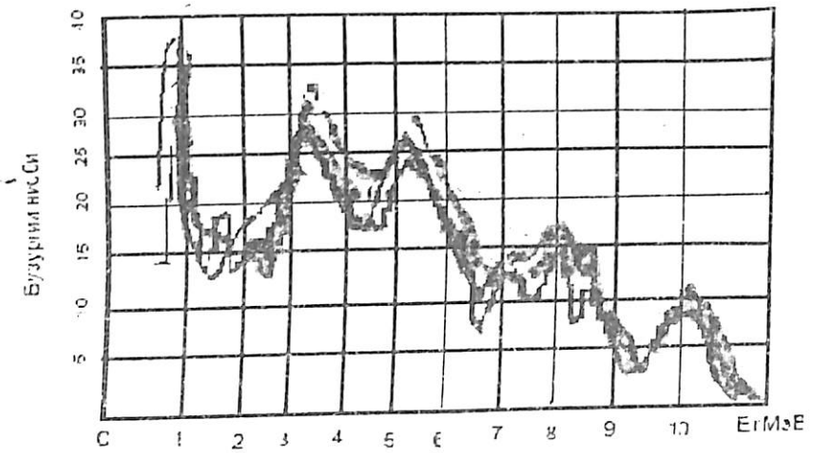
ҳудуди ҷоизии сели нейтронҳои сареъ Ф=20 нейтрон/см^2 тавонои доза:

$$P = \frac{N_{миёна}}{S},$$

ҳисоб карда мешаад. дар инҷо: Р-тавонои доза, ЭБР, S - хасосият ЭБР с$^{-1}$, N_n - кимати миёнаи импулсҳо, $N_{миёна}$=N(1:10)/10 t; (1:10) - адади ченкуниҳо, вақти ченкунӣ, с$^{-1}$ мебошанд.

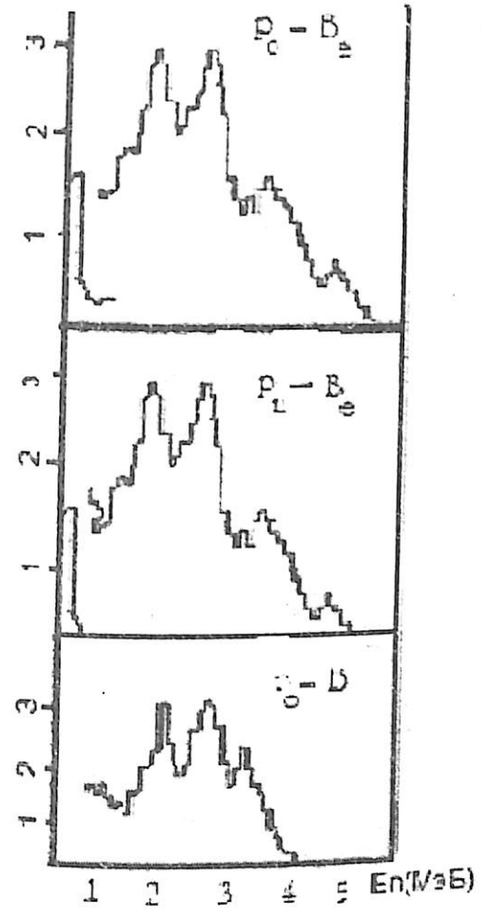
Дар бисёр мавридҳо доза ва тавонои дозаи нейтронҳои сареъ аз тайфи энергияи онҳо муайян карда мешавад.

Дар расми 11.7.1. спектри нейтронҳо аз манбаи Ро+Ве, Ри+Ве ва Ро+В гирифта шуда аз энергияи 2 МэВ баланд бо натиҷаҳои [3] хеле хуб мувофиқат дорад оварда шудааст.



Расми 11.7.1. Муқоисаи натиҷаҳои спектри ченшудаи нейтронҳои манбаи Ри+Ве, ки муаллифони гуногун бо спектрометри синтилатсионии яккристаллӣ гузаронидаанд

Гистограмма-натиҷаҳои ҳозира (камина).
Хатти яклухт- натиҷаҳои [3].
Хатти хатчагӣ- натиҷаи [4].
Нуқтаҳо- натиҷаи [5].



Расми 11.7.2. Спектри ченшудаи манбаҳои нейтронҳо Ро+ Ве, Ри+Ве. Ро+В.

11.8. ДОЗАЕ, КИ БЕМОР ҲАНГОМИ РЕНТГЕНБИНӢ ҚАБУЛ МЕКУНАД

Дар ҷадвали 11.8.1. натиҷаҳои дозаи сатҳи бадани инсон оварда шудааст. Ин доза вобаста аз шиддати лӯлаи рентгенӣ дар шароити муътадил ва фотолавозимоти баландэҳсос қабул мешавад.

Қимати миёнаи доза дар сатҳи бадани инсон бо таъсири рентгеннигорӣ.

Дар ҷадвал бузургиҳои тақрибан ченшуда оварда шудааст.

Масалан, ҳангоми пайдо намудани расми косахонаи сар дозаи нурбориш аз 1 то 4 р, меъда 1÷8 р, дандон 1÷15 р, меъда тақрибан 24 р ва зиёд мебошад

Ҳангоми расмгирии кино ҷилди полоиши алюминии ғафсиаш 2 мм дар масофаи 40 см аз манбаи қонунӣ намудани доза тақрибан 65 р молик мешавад.

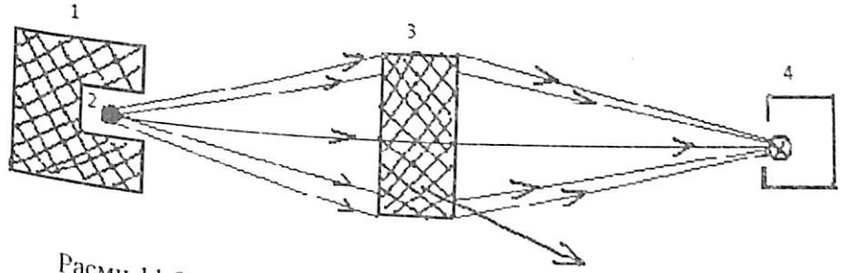
Ҳамаи ин натиҷаҳо аз нуқтаи назари дозае, ки ғадуди ҷинси нарина ва модина қабул мекунад, истифода мешаванд. Ҳоло қимати миёнаи доза, ки ғадуди ҷинси инсон ҳангоми нурбориш қабул мекунад, бо мақсади гузаронидани ташхиси беморон татбиқ мешавад.

Ҷадвали 11.8.1.

Организм	Шиддат дар найча, кВ	Доза, Д (рентген)
Ангушт, нохун	40-50	0.06
Китф	55-65	0.7-1,0
Косахонаи сар аз паҳлу	60-65	0.8-1.2
Косахонаи сар аз пеш	65-75	1.2-1.6
Сутунмуҳра аз паҳлу	70-75	1.8-3.5
Сутунмуҳра аз пеш	65-75	1.6-2.5
Паҳлу (ён)	70-75	2-2.5
Шуш (дар масофаи калон)	60-75	0.04-0.2
Меъда	75-90	1.5-3
Захрдон	75-90	1.5-1.9
Гурда	65-85	1.4-2.5
Дандон (наздик бе варақа)	50-60	3-5
Пешонӣ	65-70	то 7.5
Шуш ғафснигорӣ	75-80	0.5
Дил (кимографӣ)	85-90	2-4
Шуш расмгирии пай дар пай	75-80	0.2-0.5
Муайянкунии ҳамл	—	3-8

11.9. ДАСТАИ ВАСЕИ ГАММА-НУРҲО. НАЗАРДОШТИ ОМИЛИ ҒУНШАВӢ

Дастаи васеи гамма-нурҳо дастаест, ки дар он ғайри гамма-нурҳои аввала боз гамма-нурҳои парокандашуда ҳам иштирок доранд. Дар расми 11.9.1 гузариши васеи гамма-нурҳо аз мода нишон дода шудааст.



Расми 11.9.1. Гузариши гама-афканишот дар дастаи васеъ:
1- хоначаи сурбӣ; 2- манбаи гамма-афканишот; 3- модаи фурӯбаранда; 4-қайдгирак.

Ба қайдгирак ғайр аз гамма-нурҳои аввала боз нурҳои парокандашуда ҳам меафтанд.

Ҳангоми гузариши гамма-нурҳо аз модаи фурӯбаранда дар шароити дастаи васеъ дар паҳнои энергия, ки саҳми комптон - эффект зиёд аст, ба сели гамма-нурҳои аввала сели гамма-нурҳои парокандашуда ҳамроҳ мешаванд. Таркиби спектр нисбати тақсимшавии гамма-нурҳо дар модаи фурӯбаранда доимӣ нест.

Интенсивияти гамма-афканишот дар шароити дастаи васеъ чунин тасвир карда мешавад.

$$J_x=J_0e^{-\mu x}+J_{\text{парокандиш}}, \qquad (11.9.1)$$

Дар инҷо I_0 интенсивияти афканишот дар нуқтаи додашуда ҳангоми набудани модаи фурӯбаранда, μ-зариби хатти сустшавии дастаи бориқи гамма-афканишот, $I_{пар}$-интенсивияти афканишоти парокандашуда дар нуқтаи додашуда.

Барои ҳисоби сустшавии интенсивияти гамма-афканишот дар шароити дастаи васеъ бояд сустшавии интенсивияти гамма-нурҳо дар шароити дастаи борик ва $I_{пар.}$ - ро ба назар гирифт. Бузургии

$I_{пар.}$ аз бисёр омилҳо вобаста аст; таркиби спектри афканишот, таксимшавии кунҷи он, ғафсӣ ва хосиятҳои модаи фурӯбаранда. Ин омилҳоро ҳангоми ҳисоби $I_{пар.}$ба эътибор гирифтан мушкил аст.

Дар амалия саҳми гамма-афканишоти пароканишро дар дастаи васеъ бо назардошти омили ғуншавӣ B ба назар мегиранд. Сустшавии интенсивият дар дастаи васеи гамма- афканишот чунин ифода мешавад:

$$J=J_0e^{-\mu x}\cdot B\,, \qquad (11.9.2)$$

дар инҷо B - назардошти омили ғуншавии интенсивияти гамма-афканишот.

Воқеъан сустшавии дозаи гамма-афканишот дар дастаи васеъ чунин муайян карда мешавад:

$$D=D_0e^{-\mu x}B, \qquad (11.9.3)$$

дар инҷо B - омили ғуншавии доза, ки ҳамчун нисбати дозаи умумӣ гамма-нурҳо ба дозае, ки гамма-нурҳои пароканданашуда дар нуқтаи додашуда қабул мекунад, муайян мешавад.

Омили ғуншавӣ аз энергияи аввалаи гамма-нурҳо, рақами атомӣ Z ва ғафсии модаи фурӯбаранда, ки ба воҳиди дарозии дав барои масолеҳи додашуда ифода ёфтааст, вобаста мебошад.

Тарзи гуногуни ҳисоби омили ғуншавӣ (монте-карло, моментҳо ва ғайра) мавҷуданд. Тарзи оддитарини ҳисоб таврест, ки омили ғуншавӣ аз рӯи функсияи ҳамвор ёфта мешавад:

$$B(E_0, M_x, Z) = A_1e^{-a_1\mu x} + A_2e^{-a_2\mu x} \qquad (11.9.4)$$

дар инҷо A_1, A_2, a_1, a_2 - бузургиҳоеанд, ки аз энергияи аввалаи гамма-нурҳо E_0 ва рақами атомӣ модаи фурӯбаранда Z вобаста мебошанд; $A_1+A_2=1$, μ - зариби хатти сустшавии гамма- афканишот дар дастаи борик, x - ғафсии модаи фурӯбаранда.

Натиҷаҳое, ки барои ҳисоби энергиявӣ ва дозаи омили ғуншавӣ аз формулаи (6.9.1) истифода мебаранд, дар ҷадвали 6.9.1ва 6.9.2 оварда шудаанд ва қиматҳои A_1, A_2, a_1, a_2 истифода мешаванд.

Барои омили ғуншавии энергиявӣ, B_1

Ҷадвали 6.9.1

	E_0 МэВ	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.11	6.0	8.0	10
Сурб	A_1	0,20	2,65	2.68	2,18	1,68	1.19	0,87	0,45	0,30
	a_1	0,01	0,038	0,0567	0,08	0,105	0,136	0,167	0^06	0.221
	a_2	0,140	0,141	0,138	0,133	0,125	0,113	0,099	0,0159	0
Оҳан	E_0 МэВ	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8.0	10,0	-	-
	A_1	11,0	9,0	6,0	3,5	2,6	2,0	1,6	-	-
	a_1-	0,0884	0,082	0,073	0,073	0,078	0,085	0,013	-	-
	a_2-	0,018	0.025	0,04	0,065	0,0718	0,0588	0,03	-	-

Дозаи омили ғуншавӣ B

Ҷадвали 11.9.2

	Eo МэВ	0,5	1,0	2,0	4.0	6,0	8,0	10,0
Сурб	A	1,05	2,45	2.6	1,65	0,96	0,67	0,5
	a_1	0,032	0,045	0,075	0,123	0,175	0.204	0,214
	a_2	0,216	0,178	0.103	0,064	0,059	0,067	0,08
Оҳан	Eo МэВ	0,5	1,0	2,0	4.0	6,0	8,0	10,0
	A_1	10	8	5,5	5,75	2,9	2,35	2,0
	a_1	0,0948	0,0845	0,0788	0,0750	0,0825	0,0833	0,095
	a_2	0,012	0,04	0,07	0,082	0,075	0,0546	0,0116

Ҳангоми ҳисоби омили ғуншавӣ тахмин карда мешавад, ки модаи фурӯбаранда дарозии беохирро дорад. Омили ғуншавӣ барои модаи фурӯбарандаи андозаи охирдор хурд аст ва гамма-нури пароканданашудаи аз ҳудуди боло бароянда ба доза саҳм намегузорад.

Ислоҳе, ки ба омили ғуншавӣ барои монеаи геометрӣ аз тарафи Бергер ва Догеггон ҳисоб карда шудааст, дар ҷадвали 11.9.3 оварда шудааст.

Ислоҳ барои ҳисоб намудани монеаи геометрӣ B(x1,x)-1

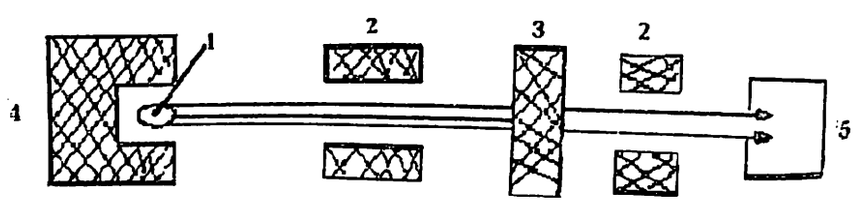
Дар ин ҷадвал таносуби B(x,oo) – 1 омили ғуншавӣ барои монеаи геометрӣ ҳангоми ғафсии ҳимоя x(см) дар муҳити нимбеохирӣ оварда шудааст.

Ҷадвали 11.9.3

Энергия, МэВ	Муҳит	B(x,x-1):B(x,∞ -.1) барои μ,x				
		1	2	4	8	16
1.0	Оҳан	0,821	0,851	0,882	0,895	0,845
4.0	—	0,910	0,923	0,936	0,932	0,949
10,0	Оҳан	0,959	0,972	0,974	0,978	0,977
1.0	Сурб	0,951	0,969	0,975	0,979	0,982
4.0		0,977	0,982	0,990	0,992	0,994
10,0	Сурб	0,990	0,995	0,992	0,994	0,995
1.0	Об	0,663	0,713	0,783	0,785	0,784
4,0	.....	0,720	0,754	0,821	0,828	0,830
10,0	.....	0,885	0,912	0,920	0,926	0,933

11.10. ДАСТАИ БОРИКИ ГАММА-НУРҲО

Дастаи борики гамма-нурҳо аз геометрияи муайяни таҷриба вобаста мебошад. Дар расми 11.10.1 гузариши дастаи мувозии борики гамма-нурҳо аз модаҳои нафиси фурӯбаранда оварда шудааст.



Расми 11.10.1. Геометрияи дастаи борики гама-нурҳо:
1-манбаи гама-нурҳо; 2-сӯрохӣ; 3- модаи нафиси фурӯбаранда;
5-асбоби қайдгирак; 4-хоначаи сурбӣ.

Ба асбоби ҳисобгираки 5 танҳо гамма-нурҳои аввала меафтанд, ки аз модаи фурӯбаранда бе таъсири мутақобили атомӣ мегузаранд. Гамма-нурҳои пароканда аз даста зада бароварда мешаванд ва ба қайдгирак намеафтанд. Сустшавии интенсивияти якранги гамма-нурҳо дар шароити дастаи борик ба қонуни зерин итоат мекунад:

$$J_x=J_oe^{-\mu x}, \qquad (11.10.1)$$

дар инҷо I_o интенсивияти гамма-нурҳо ҳангоми набудани модаи фурӯбаранда;

I_x- интенсивияти гамма-нурҳо ҳангоми будани модаи фурӯбарандаи ғафсиаш x, ки онро асбоби Д ба қайд мегирад.

μ-зариби хатти сустшавии гамма-нурҳо, ки тағйирёбии нисбии интенсивиятро дар воҳиди ғафсии модаи фурӯбаранда тавсиф медиҳад. Онро ҳамчун ҷамъи ҷузъҳо ифода мекунем:

$$\mu=\tau_ф+\delta+\tau_ч+\tau_{хасга(яд)}, \qquad (11.10.2)$$

Дар инҷо: $\tau_ф$, $\tau_{яд}$, δ, $\tau_ч$ - зариби сустшавии хаттии гамма-нурҳо аз ҳисоби фотоэффект, комптон-эффект, пайдоиши ҷуфти электрону позитрон ва эффекти ядро. Аз сабаби хеле хурд будан зариби ядро онро ба назар намегиранд. Зариби μ ва қисмҳои он $\tau_ф$, $\tau_ч$, σ аз энергияи гамма-нурҳо ва модаи фурӯбаранда вобаста аст. Тағйири зариби сустшавии хаттии гамма-нурҳо барои сурб вобаста аз энергия нишон медиҳад, ки бо афзудани энергияи гамма-нурҳо зариби μ аввалан то қимати минималӣ кам шуда, баъдан камшавии μ ба камшавии эҳтимолияти фотофурӯбурд ва пароканиши комптонӣ бо афзудани энергияи гамма-нурҳо дар сурб вобаста мебошад. Зиёдшавии зариби μ дар сурб барои энергияи калони гамма-квантҳо бо афзоиши эҳтимолияти эффекти пайдоиши ҷуфт вобаста аст. Барои масолеҳи аз сурб фарқкунанда ҳудуди эффекти сустшавии гамма-нурасҳо дар ҷадвали 11.10.1 оварда шудааст.

Барои ҳудуди энергияи гамма-нурҳо, ки раванди пароканиши комптонӣ аз таъсири афканишот бо мода зиёдтар аст, зариби μ=σ мешавад.

Ҳудуди энергияи гамма-нурҳо барои модаҳои гуногун

Ҷадвали 11.10.1

Мода	Фотоэффект	Комптон-эфф.	Эфф.пайд. ҷуфт
Ҳаво	То20кэВ	Аз20кэВ то23МэВ	>23МэВ
Алюминий	**50кэВ	Аз50кэВто15МэВ	>15МэВ
Оҳан	**120кэВ	Аз120кэВто10МэВ	>10МэВ

Барои бузургии энергияи гамма-нурҳо, ки зариби μ ба қимати минималӣ соҳиб аст, аз рақами атомии модаи фурӯбаранда вобаста аст. Барои модаҳои гуногун қимати энергия дар ҷадвали 11.10.2 оварда шудааст.

Энергияи гамма-нурҳо, ки зариби μ қимати минималӣ мегирад.

Ҷадвали 11.10.2

Элемент	Be	B	C	N	O	Al	Fe	Zn	Cd	W	Pb	U
Е. бо МэВ ки Ба μ_{min} мувофиқ аст.	94	70	56	46	39	21	9	7,6	4,4	3,5	3,4	3,3

Ғайри зариби μ боз зариби сустшавии массавии гамма-нурҳо μ/ρ ҳамроҳ карда мешавад (ρ-зичии мода). Ҳангоми ҳисоби ҳимоя аз афканишот ва интихоби масолеҳи ҳимоя истифода мебаранд. Нигаред ба ҷадвали (11.10.3).

Бузургии зариби хатти сустшавии гамма-нурҳои энергияашон гуногун барои сурб, чӯян, бетон ва об

Ҷадвали 11.10.3

Энергияи гамма-нурҳо	Сурб, ρ=11,34г/см^2»	Чӯян ρ=7,2 г/см^3	Арзиз ρ=2,7г/см^3		Об, ρ=1.0г/см^3
0,1	60	2,57	0,444	0,378	0,171
0,125	35	1,78	0,388	0,330	0,159
0,15	24,4	1,44	0,362	0,308	0,351
0,175	15,4	1,16	0,336	0,286	0,143
0,2	11,8	1,03	0,323	0,275	0,37
0,25	6.58	0,86	0,296	0,252	0,127
0,3	4,76	0,76	0,278	0,236	0,119
0.35	3,31	0,71	0,265	0,226	0,112
0,4	2.51	0,67	0,251	0,214	0,160
0.5	1,72	0,60	0,228	0,194	0,0967
0,6	1,37	0,55	0,210	0,179	0.0894
0,7	1,12	0,51	0,196	0,167	0,0835
0.8	0,99	0,47	0,184	0,156	0,0786
0,9	0,86	0,46	0,176	0,150	0,0743

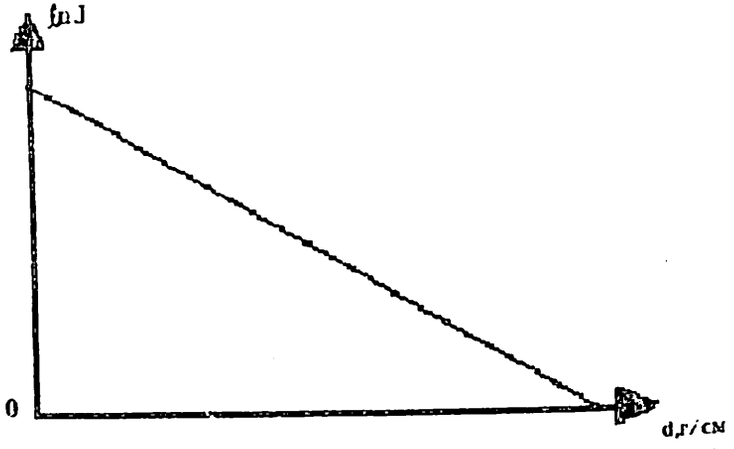
1,0	0,79	0,43	0,166	0,141	0,0706
1,1	0,72	0,41	0,158	0,134	0,0673
1,2	0,68	0,39	0,152	0,129	0,0644
1,3	0,64	0,37	0,146	0,124	0,0620
1.4	0,60	0,36	0,141	0,120	0,0597
1.5	0,58	0,35	0,137	0,116	0,0576
1,6	0,55	0,34	0,131	0,111	0,0555
i,7	0,54	0.33	0,128	0,109	0,0538
1,8	0,53	0,32	0,124	0,106	0,0521
1,9	0,52	0,31	0,120	0,102	0,0507
2.0	0,51	0,30	0,117	0,100	0,0493
2,5	0,48	0,28	0,106	0,090	0,0438
3,0	0,46	0,26	0,094	0,080	0,0396
4,0	0,47	0,24	0,84	0,071	0.0339
5,0	0,49	0,23	0,75	0,064	0,0302
6,0	0,51	0,22	0,072	0,061	0,0277
7,0	0,53	0,24	0,070	0,060	0.0256
8.0	0.55	0,23	0,068	0,058	0,0242
9,0	0,58	0,23	0,063	0,0Я	0,0231
10,0	0,60	0,23	0,062	0,053	0.0221

Барои масолеҳи сабук зариби μ ба зиччии мода мутаносиб аст ва аз рақами тартибии мода Z вобаста нест, пас зариби массавӣ ба зариби сустшавии афканишот баробар аст: $\mu_m=\mu$. Барои аз нав ҳисоб намудани зарибҳои сустшавӣ таносуби зеринро истифода мебаранд.

$$\mu_x = \mu_1 \, {}^{\rho_x}/_{\rho_1}, \qquad (11.10.3)$$

дар инҷо μ_1-зариби сустшавии хаттӣ барои модаи зичиаш ρ_1; μ_x-зариби хатти сустшавӣ барои модаи муайяншаванда.

Қонуни сустшавии гамма-нурҳоро дар дастаи борик истифода бурда, дар таҷриба зариби сустшавии хаттии гамма- нурҳоро барои модаҳои гуногуни фурӯбаранда муайян мекунем. Барои ин графики вобастагии интенсивияти гамма- нурҳоро аз ғафсии модаи фурӯбаранда месозем, расми 11.10.2



Расми 11.10.2. Вобастагии логарифмаи суръати ҳисоб аз ғафсии модаи фурӯбаранда

Аз график ғафсии қабати модаи фурӯбарандаро, ки сустшавиро ду маротиба кам мекунад, муайян намудан мумкин аст, яъне қабати $d_{1/2}$ нимфурӯбурдро медиҳад. Қабати нимсустшавӣ бо зариби μ чунин вобаста аст.

$$\mu = \frac{\ln 2}{d_1 - d_2} = \frac{\ln 2}{d_{1/2}} \text{ ё, ки } d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0{,}693}{\mu} \qquad (11.10.4)$$

Ғайр аз ин мафҳуми қабати даҳмаротиба сустшавиро дохил мекунанд, он гоҳ алоқаи байни $d_{1/2}$ ва $d_{1/10}$ бо μ чунин мешавад:

$$d_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu} = \frac{2{,}303}{\mu} \qquad (11.10.5)$$

Қимати қабати $d_{1/2}$ ва $d_{1/10}$ монанди зариби μ аз энергияи гамма-нурҳо ва масолеҳи ҳимоягӣ вобаста аст.

Дар ҷадвали 11.10.3 қимати ададии зариби сустшавии хаттӣ барои энергия ва масолеҳи гуногун оварда шудааст. Сустшавии доза ва тавоноии дозаи гамма-нурҳо дар дастаи борик ба қонуни экспоненттӣ итоат мекунад, ки ба сустшавии интенсивият монанд аст, яъне

$$D_x = D_0 e^{-\mu x} \qquad (11.10.6)$$

ва

$$P_x = P_0 e^{-\mu x}, \qquad (11.10.7)$$

Дар инҷо $Д_x$ ва P_x доза ва тавоноии доза баъди модаи фурӯбарандаи ғафсиаш x, $Д_0$ ва P_0 - доза ва тавоноии доза ҳангоми набудани модаи фурӯбаранда.

11.11. МИҚДОРИ УНСУР (ЭЛЕМЕНТ)-ҲОИ УСТУВОРИ ТАРКИБИ ОРГАНИЗМИ ИНСОН

Ҳангоми гузаронидани тадқиқоти спектрометрӣ ва радиохимиявӣ барои муайян намудани дараҷаи олудагӣ аз модаҳои радиофаъол асбобҳои махсусро истифода мебаранд. Модаҳои радиофаъолро бояд ҳамчун объекти муҳити беруна аз натиҷаи тадқиқоти таркибу хосиятҳои кимиёвӣ, физикӣ аз макро ва микроэлементҳо ба монанди об хокистар ва ғайра донистан зарур аст.

Тадқиқи кимиёвӣ таркиби нишона ва усули ҷудокунии онро муайян мекунад. Баъзан шароити ҷамъ намудани нишонаҳоро дар обанборҳо аз миқдори макроомехтаҳои мавҷуда, ки бо роҳи буғкунии об хориҷ мешавад, муайян мекунанд. Ин усулро асосан барои ҷудо намудани намакҳои гуногуни ҳалшавандаи баъзе элементҳо истифода мебаранд. Тадқиқи нишонаи хокистар дар интихоби тадқиқоти усули радиосанҷӣ таъсир мерасонад.

Натиҷаҳои омузиши тадқиқотчиён, олимон Бранш ва дигарон бо маҳсулоти гуногуни хӯроки дар организми одамони калонсол дохилшавии модаҳои радиофаъоли устувор ба монанди стронсий ва калий, ки дар як шабонарӯз ба ҳисоби миёна бо маҳсулоти хӯрока истифода мебаранд, дар ҷадвали 11.11.1оварда шудааст.

Ҷадвали 11.11.1

Маҳсулоте, ки инсон истифода мебарад	**Миқдори Sr ва Са устувор, (мкг/г)**	**Дохилшавӣ ба организми инсон дар шабонарӯзи миёна**	
		Са.мг	**Sr.МКг**
Шир ва маҳсулоти он	290	667	193
Нон, орд	2150	332	714
Картошка	3240	19	62
Сабзӣ	4310	6	20

Карам кабудӣ	2190	14	31
Нахӯд, лӯбиё	3050	5	15
Салати, растанӣ	2720	2	5
Меваю сабзавотҳои дигар	3000	58	174
Дигар растаниҳои ғалладона	3000	11	33
Гӯшт	6000	27	16
Гухм	1000	24	24
Моҳӣ	5000	19	95
Дигар маҳсулотхо	3000	15	45
Ҳамагӣ	—	1199	1433

Дар ҷадвали 11.11.2 миқдори калий, калсий ва стронсийи устувор дар организм ва бофтаҳои бадани инсон, мкг/г бофтаи хом оварда шудааст.

Ҷадвали 11.11.2

Организм, бофта	Миқдори нишонаи тадқиқшуда	Са	Ка	Sr*
Ғадудҳои болои гурда	6	44	1100	0.02
аорта	75	970	1370	0.43
Хун	-	50	11	-
Устухон	99	148000	880	15
Мағзи сар	94	110	3300	0.04
Ғадудҳои сандуқи сина	7	64	310	0.06
сурхрӯда	39	120	1510	0.10
Меъда	88	115	1520	0.12
Рӯдаи 12-ангушта	51	86	1520	0.12
Меъдаи хароб	66	76	1600	0.15
Қурӯда	31	155	1060	0.31
Рӯдаи ғафс	72	115	1320	0,25
Рӯдаи рост	33	140	1580	0.19
Дил	96	53	2500	0.05
Гӯрда	102	115	2030	0,08

Ҳалқ	31	1920	1530	1,00
Ҷигар	102	70	3100	0,03
Шуш	102	130	2120	0,12
Диафрагма	42	74	2600	0,06
Ҳуҷайраи сандуқи сина	21	37	2830	0,02
Мушакҳои миён	86	49	3330	0,03
Чарбу	35	40	400	0,04
Тухмдон	9	220	1350	0,25
Ғадуди зери меъда	95	120	2800	0,07
Ғадуди олоти таносули мард	27	320	2200	0,27
Испург Селезёнка	97	84	3500	0,05
Хоя	53	100	2100	0,06
Ғадуди ғуррӣ	2	63	540	0,05
Ғадуди зери меъда	11	260	1100	0,13
Забон	3,0	175	2800	0,07
Роҳи нафас	35	950	2200	0,48
Мезакдон	70	130	1730	0,15
Бачадон	7	200	1500	0,17
Маҳбал	17	185	1730	0,15

*Мавҷудияти миқдори устуворри Sr (Sr/Ca 100% дар устухони инсон) дар хокистари устухони инсон аз 100:350 қисм ба миллионҳо тағйир меёбад. Ғаноиши хоси устувории стронсий дар навоҳии гуногуни курраи замин аз 0,11-1,98 тағйир меёбад.

Таносуби байни бузургиҳои асосии дарозӣ

Чадвали 11.11.3

Воҳидҳо	ифо-да	Х-воҳид	A^0	ммк	мк	Мм	см	Дюм	фут	м	ярд	км	Мили хушкӣ	Мили баҳрӣ
Х-Воҳид	Х.	1	10^3	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-11}	$3,94\ 10^{-12}$	$3,28\ 10^{-3}$	10^{-3}	$1,09\ 10^{-13}$	10^{-6}	$6,28\ 10^{-17}$	
Анги-стрем	A^0	10^3	1	10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-8}	$3,94\ 10^{-9}$	$3.28\ 10^{-10}$	10^{-10}	$1,09\ 10^{-10}$	10^{-13}	6.21^{-14}	
Милли микрон	ммк	10^4	10	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	$3,94\ 10^{-8}$	$3,28\ 10^{-9}$	10^{-9}	$1,09\ 10^{-9}$	10^{-12}	$6.2\ 10^{-13}$	
Микрон	мк	10^7	10^4	10^3	1	10^{-3}	10^{-4}	$3,94\ 10^{-5}$	$3,28\ 10^{-6}$	10^{-6}	$1,09\ 10^{-6}$	10^{-9}	$6,2\ 10^{-10}$	
Милли метр	мм	10^{10}	10^7	10^6	10^3	1	10^{-1}	$3.94\ 10^{-2}$	$3.28\ 10^{-3}$	10^{-3}	$1,09\ 10^{-3}$	10^{-6}	$6,21\ 10^{-7}$	
Сантиметр	см	10^{11}	10^8	10^7	10^4	10	1	0,394	$3.28\ 10^{-2}$	10^{-2}	$1.09\ 10^{-2}$	10^{-5}	$6.21\ 10^{-6}$	
Дюм	дюм	$2,54\ 10^{11}$	$2.54\ 10^8$	$2,54\ 10^7$	$2,54\ 10^4$	2,54	25,4	1	$8.33\ 10^{-2}$	$2,54\ 10^{-2}$	$2,78\ 10^{-2}$	$2,54\ 10^{-5}$	$1,58\ 10^{-5}$	
Фут	фут	$3.05\ 10^{12}$	$3.05\ 10^9$	$3.05\ 10^8$	$3.05\ 10^5$	$3,05\ 10^2$	30,5	12	1	0,305	8,332	$3.05\ 10^{-4}$	$1,89\ 10^{-4}$	
Метр	м	10^{13}	10^{10}	10^9	10^6	10^3	10^2	39,4	3,28	1	1,09	10-3	$6,2\ 10^{-4}$	

Ярд	*ярд*	*9,14 10^{12}*	*9,14 10^9*	*9,14 10^8*	*9.14 10^5*	*9,14 10^2*	*91,4*	*36*	*3*	*0.914*	*1*	*9,14 10^{-4}*	*5.68 10^{-4}*	
Километр	км	10^{16}	10^{13}	10^{12}	10^9	10^6	10^5	$3,94\ 10^4$	$3,28\ 10^3$	10^3	$1,09\ 10^3$	1	0.62	0,540
Милли хушкӣ	...	—	—	—	—	—	—	6,3	5.28	$1.61\ 10^3$	$1.76\ 10^3$	1,61	1	0.868
Милли баҳрӣ	-	—	—	—	—	—	—	$7.30\ 10^{-4}$	$6,08\ 10^{-3}$	$1,85\ 10^3$	$2.03\ 10^3$	1.85	1.152	1

Бисёр вақтҳо ҳангоми ҳисоби ҳимоя аз таъсири модаҳои радиофаъол ҳамин масолеҳро истифода мебаранд. Аз ин рӯ, таносуби байни воҳидҳои ҳаҷмро мебинем.

Таносуби байни воҳидҳои ҳаҷм

Чадвали 11.11.4.

Воҳидҳо	Ифод. Мухта-сар	$Мк^3$	$Мм^3$	$См^3$	$Дюм^3$	$Л^3$	$Фут^3$	$Ярд^3$	$М^3$
$Микрон^3$	$мк^3$	1	10^{-9}	10^{-12}	$6,11\ 10^{-14}$	10^{-15}	$3,53\ 10^{-17}$	$1,308\ 10^{-18}$	10^{-18}
$мм^3$	$мм^3$	10^9	1	10^{-3}	$6,11\ 10^{-5}$	10^{-6}	$3,53\ 10^{-8}$	$1,308\ 10^{-9}$	10^{-9}
$См^3$	$см^3$	10^{-12}	10^3	1	$6,11\ 10^{-2}$	10^{-3}	$3,53\ 10^{-5}$	$1,308\ 10^{-6}$	10^{-6}
$Дюм^3$	$дюм^3$	$1,64\ 10^{13}$	$1,64\ 10^4$	16,4	1	$1,64\ 10^{-2}$	$5,79\ 10^{-4}$	$2,14\ 10^{-5}$	$1,64\ 10^{-5}$
$Л^3$	$л^3$	10^{15}	10^6	10^3	61,1	1	$3.53\ 10^{-2}$	$1,308\ 10^{-3}$	10^{-3}

Фут^3	фут^3	2,83 10^{16}	2,83 10^{7}	2,83 10^{4}	1,728 10^{3}	28,3	1	3,70 10^{-2}	2,83 10^{-2}
Ярд^3	ярд^3	7,65 10^{17}	7,65 10^{8}	7,65 10^{5}	4,67 10^{4}	7,65 10^{2}	27	1	0,76
М^3	м^3	10^{18}	10^{9}	10^{6}	6.11 10^{4}	10^{3}	35,3	1,308	1

Барои баҳододи дозаи фурӯбурд ва пешгирӣ аз афканишоти ядрои бояд энергияи фурӯбурдро дар 1г мода донем.

Таносуби байни воҳидҳои энергия

Ҷадвали 11.11.5.

Воҳид	Иф. мухтасар	Эрг	Вт/сон	Квт/соат	Кал	кГм	эВ	МэВ	Вох. атом. Масса
Эрг	Эрг	1	10^{-7}	0,2778 10^{-13}	2,3839 10^{-8}	1,01972 10^{-8}	0,624 10^{12}	0,624 10^{6}	6,70 10^{-2}
Вт/сон ҷоул	Вт/сон ҷ.	1,10^{7}	1	0.2778 10^{-6}	0,2389	0,10197	0,624 10^{19}	0,624 10^{33}	6,70 10^{9}
Квт/соат	Квт/соат	3,690 10^{13}	3,60 10^{6}	1	0,86011 10^{6}	3,67 10^{5}	2,246 10^{25}	2,246 10^{10}	2,412 10^{16}
Калория	Кал	4,1853 10^{7}	4,1853	1,1632 10^{6}	1	0,4268	0,261 10^{20}	0,2612 10^{14}	2,804 10^{10}
Килограммметр	кГм	0,980 10^{8}	9.807	2,72 10^{6}	2,3430	1	0,612 10^{20}	0,612 10^{14}	6,57 10^{10}
Электрон волт	эВ	1,602 10^{-12}	1,602 10^{-19}	0.44510^{-25}	0,383 10^{-19}	1,634 10^{20}	1	10^{-6}	1,0739 10^{-9}

Мегаэлектронволт	*МэВ*	*1,602 10^{-6}*	*1,602 10^{-13}*	*0,445 10^{-19}*	*0,3827 10^{-13}*	*1,634 10^{-14}*	*10^{6}*	*1*	*1.07390 10^{-3}*
Грамм	*Г**	*8,967 10^{20*}*	*8,987 10^{33}*	*2,4962 10^{7}*	*2,1474 10^{13}*	*9,1651 10^{12}*	*5,609 10^{32}*	*5,609 10^{26}*	*6,02 10^{23}*
Вох.атом. масса	*В.а.м.*	*1,492 10^{-3}*	*1,492 10^{-10}*	*4,14 10^{-17}*	*3,565 10^{-11}*	*1.521 10^{-11}*	*9,3172 10^{8}*	*9,3172 10^{2}*	*1*

**- дар асоси назарияи Эйнштейн оид ба эквивалентии масса бо энергия.*

Дозаи фурӯбарӣ аз вақти корӣ ва фаъолияти модаи радиофаъол вобаста аст. Барои бехатарӣ ва ҳимоя аз модаҳои радиофаъол бояд вақти кориро интихоб кард. Дар ҷадвали 11.11.6 таносуби воҳиди вақт оварда шудааст.

Таносуби воҳидии вақт

Ҷадвали 11.11.6.

Воҳид	Сония	Дақиқа	Соат	Шабонарӯз	Сол
Сония	1	1,667·10^{-2}	2,778·10^{-4}	1,57·10^{-5}	3,169·10^{-8}
Дақиқа	60	1	1,67·10^{-2}	6,944· 10^{-4}	1,901·10^{-6}
Соат	3600	60	1	0,04167	1,141·10^{-4}
Шабонарӯз	864000	1440	24	1	2,738·10^{-3}
Сол	3,156·10^{7}	5,26·10^{5}	8766	365,26	1

Дар ҷадвалҳои (11.11.3.), (11.11.4.), (11.11.5.) (11.11.6.) таносуби байни бузургиҳои физикӣ оварда шудааст, ки барои ҳисоби доза ва тавонои доза, интихоби масолеҳи ҳимоягӣ истифода бурдан мумкин аст.

БОБИ XII
АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ АЗ МАНБАЪҲОИ РАДИОФАЪОЛ

12.1. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ ВА ҲИФЗ АЗ ЗАРРАҲОИ ЗАРЯДНОКИ ВАЗНИН

Ба сифати зарраҳои зарядноки вазнин алфа-зарраҳо ва протонҳоро дида мебароем. Алфа-зарраҳо гелионҳо буда, аз ду протон ва ду нейтрони ядрои атоми гелий иборат мебошанд. Массаи алфа-зарра 4.0026 в.а.м. ($6,644 \times 10^{-24}$г), заряди электрикиаш баробар ба ду заряди бунёдии мусбат аст.

Алфа-зарра аз коҳиши баъзе атомҳои радиофаъоли вазнин, ба монанди U^{238}, Ra^{226}, Po^{212} ва ғайра ва дар натиҷаи реаксияи ядроҳои вазнин ($N^{14}+H^{1} \rightarrow C^{11}+He^{4}$; $P^{19}+n^{1} \rightarrow N^{16}+He^{4}$ ва ғайра) пайдо мешаванд. Алфа-зарраҳое, ки аз коҳиши ядроҳои гуногуни радиофаъол ҳосил мешаванд, дорой энергияи кинетикии 2÷9 МэВ мебошанд. Энергияи алфа-зарраҳо, ки дар натиҷаи реаксияҳои ядрои ба вуҷуд меоянд, низ тақрибан ҳамин қадар аст.

Аммо баъзе ядроҳо ба монанди Po^{214}, Po^{212} ҳангоми аз ҳолати ангезиш бевосита ба ҳолати асосӣ гузаштан алфа- зарраҳое меафкананд, ки энергияи онҳо зиёда аз 10,5 МэВ буда, ин зарраҳоро *алфа-зарраҳои дароздав* меноманд. Алфа- зарраҳои баландэнергия (то садҳо МэВ) дар суръатфизоҳои зарраҳои заряднок ҳосил карда мешаванд. Алфа-зарра қобилияти ионкунандагии зиёд дорад. Масалан як алфа-зарраи энергияаш 5 МэВ дар ҳаво тақрибан $1,5 \cdot 10^{5}$ ҷуфти ион ҳосил мекунад.

Роҳи зарраҳои вазнини алфа ва протонҳо то истиқрорашон ростхатта мебошад. Адади зарраҳои энергияашон якхела, ки ба модда мувозӣ меафтанд, дар тамоми роҳи тайкардашуда доимӣ мемонад ва возеҳан дар охири роҳи худ кам мешавад. Аз сабаби хурд будани паҳншавии амудии миёна, дав дар ҳаво аз як мм хурд фарқ мекунад. Вобастагии дави миёнаи алфа-зарра ва протонҳо дар ҳаво аз сарфшавии энергия гувоҳӣ медиҳад ва вобаста аз энергияи зарра ва ғафсии қабати ҳаво сарфи энергияро муайян намудан мумкин аст.

Қимати миёнаи қабати гуногуни мода, ки ба дави протонҳо ва алфа-зарраҳо дар як см ҳаво мувофиқ меояд, дар ҷадвали 12.1.1 оварда шудааст.

Ғафсии қабатҳои гуногуни мода бо мг/см^2 ба дави алфа- зарра ва протонҳо дар як см ҳаво ба 15°С ва фишори нормалӣ эквивалент аст.

Ҷадвали 12.1.1

Мавод	Алфа-зарраҳо	Протонҳо
Бофтаҳо	1,0	1,0
Алюмин	1,55	1,48
Мис	2,2	2,0
Нукра	2,8	—
Тиллои сафед - платина	4,0	3,3

Бо камшавии энергияи алфа-зарраҳо ва протонҳо сарфи энергия ва қобилияти ионкунандагии онҳо монанди электронҳо меафзояд. Дар охири дав ҳар ду бузургӣ ба максимум расида, тез то нул меафтад. Ионизатсияи максималӣ ба энергияи алфа- зарра 0,6 МэВ, протонҳо 0,15 МэВ мувофиқ меояд.

Ҳангоми якхела тақсимшавии афканишот ба энергияи Е (МэВ) ғаноиши алфа-изотоп дар як мккюри/грамм бофта дозаи $1,33 \cdot 10^{11}$ Е-ро дар як соат ҳосил мекунад. Азбаски 1рад=$62,5 \cdot 10^{6}$ МэВ/г, он гоҳ тавоноии дозаи фурӯбурд барои 1мккюрӣ намуна алфа- радиофаъол баробар аст.

$$d_a = 1,33 \cdot 10^{11} \text{ E } 6,25 10^{7} = 2,11 \cdot 10^{3} \text{ E; [рад/соат].}$$

Ин таносуб дар ҳолати даври нимкоҳиш аз даври муайянашаванда калон будан ҷой дорад. Ионизатсияи алфа-зарраҳо барои ҳуҷайраи кутраш 8 мк дар ҳаҷми $2,6610^{10}$ см^3 ва зиччии ионизатсияи хаттӣ барои алфа-зарра ба $1,74 \cdot 10^{7}$ ҷуфти ионҳо/см баробар аст.

Агар дар ҳуҷайра $1,4 \cdot 10^{4}$ ҷуфти ионҳо ҳосил шавад, он ба ионизатсияи $5,2 \cdot 10^{13}$ ҷуфти ионҳо/г бофта, ё $2 \cdot 10^{9}$ МэВ/г мувофиқат мекунад.

Ҳимоя аз алфа-зарраҳо ба энергияи онҳо вобаста мебошад.

Ҳангоми гузаштан аз мода алфа-зарра энергияи худро дар натиҷаи бархурдҳои чандирӣ ва ғайричандирӣ ба электронҳои атоми мода медиҳад. Дар натиҷаи бархурдҳои алфа-зарра ду электронро ба

худ пайваст намуда, ба атоми нейтрали гелий табдил меёбад. Дарозии дави алфа-зарра дар модаи дилхоҳ аз энергияи он вобаста аст. Энергияи алфа-зарраҳо бошад, аз табиати изотопҳои радиофаъол вобаста мебошад. Дави алфа- заррахое, ки аз изотопҳои радиофаъоли муҳит хориҷ мешаванд, дар ҳаво 2,6÷8.6 см-ро ташкил медиҳад. Дарозии дави алфа- заррахое, ки дорои энергияи аз 3 то 8 МэВ ядронд, дар ҳаво бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$d_0 = K\sqrt{E_\alpha^2}, \text{ (см)} \qquad (12.1.1)$$

дар ин чо E_a - энергияи алфа-зарра бо МэВ,К=0,33 – зариби мутаносибӣ.

Дарозии дави алфа-зарра дар модаҳои дигар аз қонуни Брегг-Климен муайян карда мешавад. Дар модаи дилхоҳ d_x ва дар ҳаво d_0 чунин вобастагӣ дорад:

$$d_x = d_0 \frac{\rho_{хаво}}{\rho_x}\sqrt{\frac{A_x}{A_{хаво}}}; \qquad (12.1.2)$$

дар инҷо $\rho_{хаво}$ ва ρ_x - зиччии ҳаво ва модаи дилхоҳ бо г/см^3, $A_{хаво}$ ва A_x - массаи атомии ҳаво ва модаи дилхоҳ. Агар ба формулаи (7.1.2) қимати $\rho_{хаво}$=0,001293 г/см^3, $A_{хаво}$=15, $d_0 = 0{,}33\sqrt{E_\alpha}$ гузорем, он гоҳ ҳосил мекунем:

$$d_x = 1{,}1 * 10^{-4}\sqrt{\frac{A_x E_\alpha}{\rho_x}}, \text{ см} \qquad (12.1.3)$$

Чи тавре ки маълум аст, ғафсии қабати пӯсти одам ва ҳайвон тақрибан ба 70 мк баробар аст. Ин барои фурӯбарии алфа-зарра кифоя аст ва бинобар он заррахои элементҳои табии радиофаъол ба инсон зиён надоранд. Ҳисоб намудани ҳифз аз таъсири нейтронҳое, ки аз нишона зада бароварда мешаванд, мисли ҳисоби фурӯбарии алфа-зарра ва протонҳо истифодашуда пурра кифоя аст. Аз ин сабаб ҳифз аз таъсири берунаи алфа-афканишот мушкилӣ надорад.

12.2. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ ВА ҲИФЗ АЗ БЕТА-ЗАРРАҲО

Бета-зарра аз мода гузашта, дар натиҷаи таъсири мутақобил бо атомҳои он, энергияашро аз ҳисоби ионизатсия, ангезиш ва боздории афканишот сарф мекунад. Боздории афканишот ба

намуди нури рентгенӣ ё гамма-нур ҳангоми тағйирёби суръати бета-зарра дар мода ҳосил мешавад.

Барои бета-заррахои энергияашон калон (якчанд МэВ) таносуби сарфи энергияи боздории афканишот ($\Delta E_{боз}$) ва ионизатсия ($\Delta E_{ион}$)-ро чунин ҳисоб намудан мумкин аст.

$$\frac{\Delta E_{боз}}{\Delta E_{ион}} = \frac{E_\beta Z}{800} \qquad (12.2.1)$$

дар инҷо E_β - энергияи максималӣ барои спектри бефосилаи бета-зарра ё энергияи аввалаи моноэнергетикии электронҳо, Z - рақами атомии мода, ки дар он боздории бета-заррахо мегузарад. Барои бета-заррахои энергияашон зиёд ва модаи рақами атомиаш Z калонтар сарфи энергияи боздори афканишот басо зиёд мебошад.

Мисол, барои энергияи Ер=10 МэВ маводи фурӯбарандаи қурғошимӣ (Z=82) таносуби сарфи энергияи боздории афканишот ба ионизатсия баробар аст.

$$\frac{\Delta E_{боз}}{\Delta E_{ион}} = \frac{10 \cdot 82}{800} \approx 1, \text{ яъне } \Delta E_{боз} = \Delta E_{ион}. \qquad (12.2.2)$$

Яъне 50% энергияи кинетикии бета-зарра ба энергияи боздории афканишот сарф мешавад. Ҳангоми аз мода гузаштани бета-зарраи энергияаш калон миқдоран энергияи боздории афканишотро бояд муайян кунем, вале мутаассифона назарияи боздории афканишот то ҳол пурра кор карда нашудааст.

Барои бета-заррахои энергияашон то 3 МэВ тақрибан энергияи боздории афканишот дар як рӯйдоди коҳиш ба квадрата энергияи бета-зарра ва адади атомии мода мутаносиб аст.

Ҳангоми боздошти бета-зарра, ки ба спектри бефосила соҳиб аст, энергияи боздории афканишот дар як рӯйдоди коҳиш аз формулаи зерин ёфта мешавад.

$$E_{боз} = 1{,}23 \cdot 10^{-4}(Z+3)E_в^2, [\text{МэВ/коҳиш}] \qquad (12.2.3)$$

дар инҷо $1{,}2310^4$ - зариби мутаносибӣ; E_β-энергияи максималии бета-зарра бо **МэВ;** Z - рақами атомии эффективии мода, ки бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$Z = \sum_{i=1}^{m} a_i z_i^2 / \sum_{i=n}^{m} a_i z_j \qquad (12.2.4)$$

дар инчо a_i - қисми массаи мода бо рақами атомӣ Zi дар пайвастаҳои кимиёвӣ.

Ҳангоми бозгории электронҳои моноэнергетикӣ энергияи бозгории афканишот бо МэВ дар электрон муайян карда мешавад:

$$E'_{бот} = 5{,}77\ 10^{-4} Z \cdot E^{r}_{\beta}, \text{ [МэВ/ электрон]}, \qquad (12.2.5)$$

дар инчо $5{,}7710^{-4}$ - зариби мутаносибӣ аст.

E_β - энергияи бета-зарра бо МэВ, Z - рақами босамарии атомӣ.

Тақсимоти спектри бозгории афканишот аз энергияи пурраи он бо фоизҳо дар ҷадвали 12.2.1 оварда шудааст.

Аз ҷадвал айён аст, ки саҳми асосиро дар энергияи пурраи бозгорӣ бештар бозгории афканишоти нозук меоварад.

Агар фаъолияти аксари бета-манбаҳо ба монанди P^{32}, Sr^{90}, Y^{90} ва ғайра аз се калон бошад, баромади бозгории бета- зарраҳои ба назар намоёнро медиҳад, ки дар худи изотоп ва модаҳои онро нигоҳдоранда ба вуҷуд меояд.

Мисол: $Sr^{90}+Y^{90}$ баромади бозгории бета-нурҳоро медиҳад, ки дар худи изотоп пайдо шудаанд ва ба 3,232 МэВ/коҳиш баробар аст.

Ҷадвали 12.2.1

Фосилаи спектри энергияи бозгории афканишот, МэВ	**Энергияи пурраи бозгории афканишот бо фоизҳо**	
	Барои спектри бефосилаи бета-зарра	**Барои спектри моноэнергии электронҳо**
(0-0.1)E	43,5	26,9
(0.1-0,2)E	25.8	20,5
(0,2-0,3)E	15,2	15,8
(0.3-0,4)E	8,3	12,1
(0,4-0,5)E	4,3	9,0
(0,5-0,6)E	2,0	6,5
(0,6-0,7)E	0,7	4,5
(0,7-0,8)E	0,2	2,8 -
(0,8-0,9)E	0.03	1,5
(0,9-1,0)E	0.000	0,4

Баромади зиёдтарини афканишотро баъзе изотопҳое, ки бета ва гамма-нурҳо хориҷ мекунанд, ҳосил карда метавонанд. Масалан изотопи Tu-170 таносуби бозгории афканишоташ нисбат ба гамма-нурҳо ба 12% баробар аст.

Ҳангоми ҳисоби ҳимоя аз бета-зарраҳо бояд баромади калонро аз бозгории бета-зарраҳо ба эътибор гирифт.

Аз гуфтаҳои дар боло оварда шуда маълум мешавад, ки ҳангоми ҳисоби ҳимоя аз бета-зарраҳо саҳми зиёдро баромади калони бозгории бета-зарраҳо мебозад.

Қонуни сустшавии сели бета-зарра дар мода хусусияти экспоненсалӣ дорад:

$$N_x = N_0 e^{\mu x}. \qquad (12.2.6)$$

Дар инҷо No ва N сели бета-зарра дар нуқтаи додашуда бе модаи фурӯбурд ва ҳангоми истифодабарии он, х - ғафсии модаи фурӯбурд бо см; μ - зариби сустшавии хаттии сели бета- зарра дар модаи додашуда ва он нишон медиҳад, ки кадом қисми бета-зарраҳо дар 1 см роҳи тайкарда фурӯ мераванд.

Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон медиҳанд, ки зариби сустшавии хаттии бета-зарра ба зиччии мода мутаносиб аст. Айнан таносуби μ/ρ (зариби массавии сустшавии бета-афканишот) барои модаҳои гуногуни фурӯбаранда доимӣ аст. Бо назардошти ин ҳал формулаи (12.2.6) намуди зеринро мегирад:

$$N_x = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} x\rho}. \qquad (12.2.7)$$

дар инҷо хρ - ғафсии қабати фурӯбаранда бо г/см^2 ва μ/ρ см^2/г.

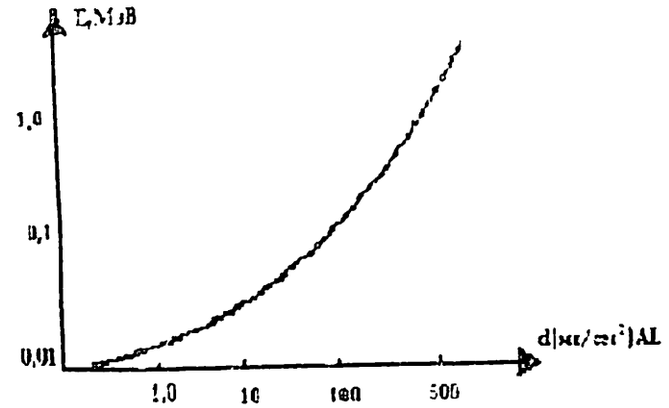
Бузургии х-ро фурӯбарии бета-зарра вобаста аз дарозии дав дар масолеҳи додашуда меноманд. Барои спектри бефосилаи бета-зарра дарозиҷ максималии давро ба назар мегиранд, дар ин маврид d_{max} барои алюминий аз хатти кач муайян карда мешавад.

Дарозии дави максималиро дар алюминий (расми 12.2.1) ва аз формулаи таҷрибавӣ (эмперикӣ) ҳам ёфтан мумкин аст:

$$E_\beta < 0{,}8\text{МэВ};\ d_{max} = 0{,}4E^{1.4} / (\text{г/см}^2)\ \text{Al}, \qquad (12.2.8)$$

ва барои

$$E_\beta > 0{,}8\ \text{МэВ};\ d_{max} = 0{,}54\ E_\beta - 0{,}133\ (\text{г/см}^2)\ \text{Al}, \qquad (12.2.9)$$



Расми 12.2.1. Дарозии дави бета- зарра дар Al вобаста аз энергияи зарра

Дарозии дави максимали d_{max}, (г/см^2)-ро донистан, ғафсии пурра фурӯравии бета-зарраро дар см муайян мекунанд:

$$X = d_{max} / \rho , \qquad (12.2.10)$$

Дар баъзе мавридҳо барои ҳисоби ҳимоя дар элемента фурӯбаранда қабати нимсустшавии электронҳоро истифода мебаранд ($d_{1/2}$). Алокаи байни зариби суст шавӣ μ ва қабати нимфурӯбариро меёбем:

$$d_{1/2} = (0,693/ \mu) \text{ см}, \qquad (12.2.11)$$

ё ки

$$d_{1/2} \cdot \rho = (0,693/ \mu) \rho \text{ (г/см}^2) \qquad (12.2.12)$$

Қимати адади $d_{1/2}$ ва μ дар алюминий барои бета- зарраҳои энергияи гуногун дар ҷадвали 12.2.2 оварда шудааст.

Ҷадвали 12.2.2

E_{β}кэВ	150	300	500	800	1000	1200	1600	1800	2000	2100
$d_{1/2}$ (мг)см^2)	2,7	7	17,5	37	53	70	107	121	140	210
μ_{Al}.см$^{-1}$	692	284	105	50,2	35,1	26,7	17,5	15,4	13,2	8,9

Қонуни сустшавии бета-зарраро дар мода истифода бурда, ғафсии ҳимояи энергияро бо назардошти бозидории бета- зарраҳо

ҳисоб мекунанд, ки айнан монанди гамма-нурҳо мебошад. Ҳангоми интихоби масолеҳи ҳимоя аз бета-зарра бояд ба эътибор гирифт, ки гузариш аз модаи фурӯбурд, бозидории бета-зарраро пайдо мекунад. Аз формулаҳои (12.2.1) ва (12.2.2) дида мешавад, ки бо зиёд шудани рақами тартибии модаи фурӯбурд Z, энергияи бозидории афканишот меафзояд. Аз ин рӯ, барои ҳимоя аз бета-зарраҳо масолеҳи сабук (шишаи органикӣ, полистирол ва ғайра)-ро истифода мебаранд.

Ҳифз аз бета-зарраҳои баландэнергия ба сифати экран элементи сурбро истифода мебаранд. Рӯкаши дохилии экран бояд аз маводи сабуки Z-аш хурд бошад, то ки энергияи аввалаи электронҳо ва энергияи бозидории онҳоро кам кунад. Агар сӯзан ё капсули радиойро, ки бо платинаи ғафсиаш 0,5 см олоиш диҳем, пас онҳо ҳамаи бета-зарраҳоро фурӯ мебаранд. Азбаски дар терапияи пӯст обполоиши хеле нафисро истифода мебаранд, бинобар он кор бо бета-афканишот диққати махсусро талаб мекунад. Ғафсии маводи гуногун барои бозидошти пурраи бета-зарраҳои энергияашон то 4 МэВ дар ҷадвали 12.2.3 оварда шудааст.

Ҷадвали 12.2.3

Изотопҳо	Об	Шишаи органикӣ	Шишаи "пирекс"	Алюминий	Мис
Ca^{45}	0,8	0,7	,0,4	0,3	0,1
C^{14}	0,25	0,2	0,15	0,09	0,03
J^{131}	3	2,5	1.5	1	0,35
P32	8	7	4	3	1
Ra^{226}	16	14	8	6	2
Ar^{111}	4	3,5	2	1,5	0,5
Sr^{89}	7	6	3,5	3	0,9
S^{35}	0,3	0,25	0,15	0,1	0,04

Ҳимояро аз бета-зарраҳо самаранок намудан мумкин аст, агар модаи фурӯбурд дуқабата бошад: 1-ум - рақами тартибиаш хурд барои фурӯбурди электронҳо, 2-юм - рақами тартибиаш калон барои фурӯбурди бозидори афканишот.

2.3. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ ВА ҲИФЗ АЗ ГАММА- НУРҲО

Яке аз чорабинихое, ки бехатарии корро аз манбаи нурҳои ионӣ таъмин мекунад, ин тақияи тартиби ҳифз ба намуди девори хона, экран ва ғайра мебошад. Ҳисоби ғафсии экран ва девор барои ҳифз дар асоси қонуни сустшавии гамма- нурҳо дар мода гузаронида мешавад. Барои ин навъ ва энергияи манбаи гамма-нурҳоро ба назар мегиранд.

Мақсади ҳифз аз нурҳои ионӣ паст намудани дозаи нурборонкунӣ то ҳудуди таъминоти бехатарии инсон мебошад. Вай ба вақти корӣ, масофа то манбаи афканишот ва қобилияти фурӯбарии экрани барои ҳифз истифодашаванда вобаста аст.

Ҳифз вобаста ба вақт ва масофа барои таъмини шарти зиёд намудани дозаи нурборонкунӣ аз бузургии бехатарӣ лозим аст.

Тавоноии дозаи гамма-нурҳо P дар масофаи R то манбаи нуқтамонанд бо яке аз ин формулаҳо ҳисоб карда мешавад:

$$\left.\begin{array}{ll} P=0,84,\ \frac{M'}{R^2}\ [мР/соат] & \\ P=0,84\ ,[мР/соат] & \frac{\alpha m}{R^2} \\ P=0,1\ ,[мР/соат] & \frac{\alpha K_\gamma}{R} \end{array}\right\}, \qquad (12.3.1)$$

Дар инҷо: a-фаъолияти изотоп, M^1 - гамма-эквиваленти изотоп, K_γ - доимии изотоп, ки ададан ба тавоноии доза (р/соат) дар масофаи 1см аз манбаи нуқтамонанди фаъолияташ 1 мккюрӣ баробар аст, m - гамма-эквиваленти изотопи фаъолияташ ба 1 мккюрӣ баробар мебошад.

Айнан дозаи нурборишро дар t вақти корӣ бо ин формула ҳисоб мекунанд:

$$\left.\begin{array}{ll} Д=0,84\ ,мР: & \frac{M't}{R^2} \\ Д=0,84\ ,мР & \frac{\alpha mt}{R^2} \\ Д=0,1\ ,мР; & \frac{\alpha K_\gamma t}{R} \end{array}\right\}, \qquad (12.3.2)$$

$\frac{M'}{K_\gamma}$ Қимати m барои як гурӯҳ, изотопҳо дар ҷадвали 11.3.1 оварда шудааст. Таносуби байни фаъолияти изотоп *a* ва гамма- эквивалент M^1 бо формулаи зерин муайян мешавад, агар сустшавии гамма-нурҳоро дар рупушш намуна ба назар нагирем:

$$\alpha=0,84\ , \qquad (12.3.3)$$

$\frac{100}{t}$Агар дар як ҳафта вақти нурбориш t соат бошад, ҳудуди ҷоизи тавоноии дозаи афканишот вобаста аз категорияи нурбориш бо формулаи зерин муайян мешавад. Барои категорияи А нурбориши касбӣ:

$$P_{max}=\ ,[мР/соат], \qquad (12.3.4)$$

Барои категорияҳои Б нурбориш дар хонаҳои ҳамсоя ва минтақаи санитарӣ:

$$P_{max}=\frac{10}{t},[мР/соат]\ , \qquad (12.3.5)$$

Барои категорияи В нурбориши тамоми аҳолӣ:

$$P_{max}=\frac{1}{t},[мР/соат]\ , \qquad (12.3.6)$$

Агар тавоноии доза P маълум бошад, ҳудуди ҷоизи вақти нурбориш дар давоми ҳафта баробар аст:

$$\left.\begin{array}{l} \frac{100}{p}\ \frac{10}{p} \\ Категорияи\ А,\ t_{max}=\ ,соат; \\ Категорияи\ Б,\ t_{max}=,\ соат; \\ Категорияи\ В,\ t_{max}=\frac{10}{t},\ соат; \end{array}\right\}, \qquad (12.3.7)$$

Гамма-эквиваленти изотопҳо ба 1мкюрӣ бе полоиши аввала (чадвали 12.3.1).

Чадвали 12.3.1

Изотопҳо	m_1мг- эквRa/ мкюрӣ	Изотопҳо	m_1-мг-эквRa/ мкюрӣ
Натрий Na^{22}	1,45	Сурма Sb^{125}	0,33
Натрий Na^{24}	2,26	Сурма Sb^{127}	0,34
Магний Mg^{28}	0,92	Теллур Te^{129}	0,25
Алюмин Al^{28}	1,02	Йод I^{131}	0,27
Хлор Cl^{38}	0,85	Йод I^{133}	1,31
Хлор Cl^{39}	0,86	ЙодI^{133}	0,38
Аргон Ar^{14}	0,79	Сезий Cs^{137}	0,42
Калтсий Ca^{49}	2,26	Барий Ba^{140}	0,16
Хром Cr^{51}	0,02	Лантан La^{140}	1,43
Марганетс Mn^{52}	2,25	Серий Sc^{144}	0,02
Марганетс Mn^{54}	0,58	Празеодим Pr^{144}	0,04
Марганетс Mn^{56}	1,00	Неодим Ne^{147}	0,11
Оҳан Fe^{59}	0,74	Европий Eu^{156}	0,67
Кобалт Co^{60}	1,57	Иридий Ir^{192}	0,65
Мис Cu^{64}	0,14	Тилло Au^{198}	0,29
Синк Zn^{65}	0,34	Тилло Au^{199}	0,10
Ҳром Br^{82}	1,84	Симоб Hg^{203}	0,17
Криптон Kr^{87}	0,60	Полоний Po^{210}	$6,7\ 10^{-6}$
Сирконий Zr^{95}	0,50	Радий Ra (В+С+С')	1*
Необий Nb^{95}	0,53	Уран U^{233}	$3,1\ 10^{-5}$
Молибден Mo^{99}	0,21	Уран U^{234}	$1,2\ 10^{-4}$
Рутений Ru^{103}	0,31	Уран U^{235}	0,11
Родий Rh^{106}	0,13	Уран U^{238}	0,01
Кадмий Cd^{115}	0,40		

*Баъди полоиш аз лавҳаи ғафсиаш 0,5 мм.

Экран ба сифате истифода бурда мешавад, ки афканишотро суст мекунад. Тавоноии доза баъди экрани ғафсиаш d(Pd) нисбат ба тавоноии доза дар ҳамон ҷойи ба экран гирифта мешавад. Экрани

ҳимоя сустшавии каратиро тавсиф дода, аз масолеҳи экран ва энергияи афканишот вобаста аст. Сустшавии каратӣ чун нисбат ба тавоноии дозаи бо экран ба тавоноии дозаи дар ҳамон ҷойи бо экран буда чунин ифода меёбад.

$$K = \frac{P_0}{P_\alpha} \qquad (12.3.8)$$

Аз инҷо метавонем тавоноии дозаро вобаста ба ғафсии ҳифз муайян кунем. Аз ин рӯ, пас аз интихоби маҳсулоти ҳифз ва ҳисоби он бояд қонуни сустшавии гамма-нурҳоро донист. Ҳангоми аз мода гузаштани гамма-нурҳо пароканиш ва фурӯбурди онҳо бо чунин равандҳо муайян карда мешавад: фотоэффект, эффекти пайдоиши ҷуфтӣ, табдилёбии ядрои ва эффекти Комптон.

Раванди фурӯбарии фотоэлектрикии гамма-нур (фотоэффект) канда баровардани электрон аз атом мебошад. Дар ин ҳолат энергияи гамма-нур ба энергияи кинетикии электрони аз атом кандашуда, кори баромади электронҳои атом ва энергияи бандиш дар қабати атом, ки аз он электрон канда шуд, баробар аст:

$$E_{h\gamma}=E_{(e)к}+E_{(ион)банд}+E_A, \qquad (12.3.9)$$

Дар инҷо: $E_{h\gamma}$- энергияи гамма-нури ба мода афтанда, $E_{(e)к}$- энергияи кинетикии электрони аз атом кандашуда. E_A - энергияи барои иҷрои кор сарфшуда.

$E_{(ион)бан}$ - энергияи бандиши электронҳои атом.

Эҳтимолияти фотоэффект барои энергияи додашудаи гамма-нур дар элементҳои вазнин ба рақами атомии Z^n мутаносиб буда, бо афзоиши адади атомӣ модаи фурӯбаранда ин раванд зиёд мешавад; Z^n дар ҳудуди 3÷5 мехобад.

Раванди пайдоиши ҷуфт дар он аст ки дар назди ядро гамма-нур нест шуда, дар ҷояш ҷуфти электрон ва позитрон ҳосил мешавад. Ин раванд танҳо дар ҳолате, ки энергияи гамма-нур аз 1,02 МэВ калон бошад, имконпазир аст ва он ба энергияи массаи оромии позитрон ва электрон мувофиқ бошад; дар ин раванд гамма-нур тамоман аз сели афканишот берун мешавад. Эҳтимолияти равандҳои пайдоиши ҷуфт дар энергияи додашудаи гамма-нур бо зиёдшудани рақами атомии модаи фурӯбаранда меафзояд ва мутаносиб ба Z аст.

Фотоэффекти ядрои дар зери таъсири гамма-нури баландэнергия гузашта, реаксияи ядроии намуди (γ,n) ва (γ,p)-ро ба амал меорад. Буриши барии ин реаксия назар ба дигар реаксияҳо хеле кам аст. Эффекти Комптон ё пароканиши комптонӣ аз таъсири гамма-нур бо электронҳои атом иборат аст, ки бо тағйири энергия ва самти суръати ҳаракати гамма- квант мегузарад. Энергияе, ки гамма-нур сарф мекунад ба электрони қафорафта ва пароканиш табдил меёбад. Бузургии ин энергия аз кунҷи майлкунии гамма-нур нисбат ба равиши аввалаи он вобаста аст. Дар пароканиши комптонӣ гамма- квантҳо ба ҳар самт пароканиш мехӯранд, аммо электрони қафорафта аксар ба пеш меравад. Агар андозаи геометрияи муҳити фурӯбаранда ба дараҷаи кофӣ калон бошад, пароканиши бисёркаратаи гамма-нурҳо руй медиҳад, ки он ба тағйири энергия ва самт вобаста аст. Агар энергияи гамма- кванти парокандашуда то бузургие кам шавад, ки эҳтимолияти раванди фурӯбарии фотоэффект зиёд бошад, он гоҳ гамма-нур дар асоси фотоэффект фурӯ бурда мешавад.

Эҳтимолияти раванди комптон-эффект дар энергияи додашудаи гамма-нур ба Z модаи фурӯбаранда мутаносиб аст.

Дида мешавад, ки се раванди аввала бо фурӯбарии гамма-квант ва раванди охирин бо пароканиши он алоқаманд аст. Гамма-нури парокандашуда самти худро тағйир медиҳад, майл мехӯрад ва энергияи он аз энергияи гамма-нури аввала хурд аст.

Раванди тағйирёбии адади квантҳо ва энергияи онҳо ҳангоми гузариш аз мода, сустшавии гамма-нурҳоро мефаҳмонад. Сустшавии гамма-нурҳо дар шароити дастаи борик ва васеъ аз ҳам фарқ мекунад.

12.4. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ ВА ҲИФЗ АЗ АФКАНИШОТИ НЕЙТРОНҲО

Ҳудуди ҷоизи зиччии сели нейтронҳо, ки дар 40 соати ҳафтаи корӣ, инсон дозаи 1000-3000 мбэр-ро қабул мекунад, дар ҷадвали 12.4.1. оварда шудааст.

Ҳудуди ҷоизи зичии сели нейтронҳо

Ҷадвали 12.4.1

Энергияи нейтронҳо, МэВ	ЭБН	Зичии нейтронҳо (нейтрон/см^2 сон.) ба дозаи (мбэр/ҳафта) мувофиқ аст	
		100	300
Ҳароратӣ	3	670	2000
0,0001	2	500	1500
0,005	2.5	570	1700
0,02	5	280	850
0,1	8	80	250
0,5	10	30	90
1,0	10.5	18	55
2,5	8	20	60
5,0	7	18	55
7,5	7	17	50
10	6,5	17	50
10 то 30	-	10-адади сарҳадӣ	30-адади сарҳадӣ

Нейтрони аз мода гузаштаро ядро метавонад қапад, ё ки он дар ядро (ядро)-и ин мода пароканиш хӯрад. Эҳтимолияти раванд гуногун буда, аз энергияи нейтронҳо ва модаи нейтронгузар вобаста аст. Нейтронҳои сустҳаракат ва ҳароратиро асосан ядрои мода нигоҳ дорад. Нейтронҳои то 0,5 МэВ энергияашонро дар натиҷаи бархӯрии чандирӣ бо ядроҳо сарф мекунанд. Сарфи максималии энергия ҳангоми телахурии нейтронҳо бо ядрои атоми гидроген мегузарад, зеро массаи нейтрон ва ядрои гидроген тақрибан баробаранд.

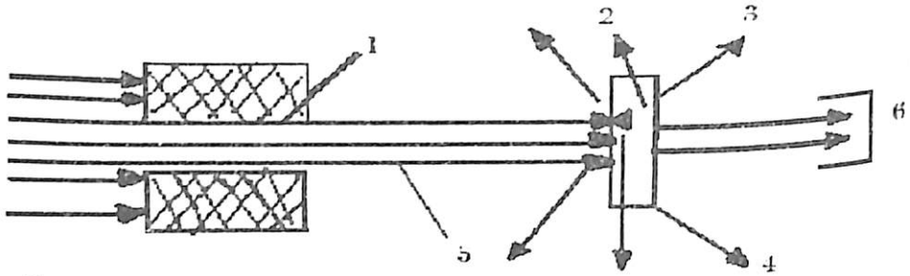
Агар энергияи нейтронҳо аз 0,5 МэВ калон бошад, ғайр аз бархурии чандирӣ вай ба бархӯрии ғайричандирӣ дучор мешавад. Ядрои ангезонидашуда энергияи ангезишашро ба намуди гамма-нур ё дигар афканишот ихроҷ мекунад.

Дар муҳите, ки ядрои сабук мавҷуд аст, нақши бархӯрии чандирӣ хеле калон мебошад.

Дар равандаҳои бархӯрии чандирӣ ва ғайричандирӣ энергияи нейтронҳо ҷанде кам шуда, онҳо ба нейтронҳои ҳароратӣ табдил меёбанд.

Нейтронҳои ҳароратӣ дар модаи фурӯбаранда диффузия мешаванд, то аз ҳудуди он набароянд ва ядрои модаи фурӯбаранда дошта нагирад. Рабоиши нейтронҳо дар маводи ҳимоя аксар ба хориҷшавии гамма-нурҳо мегузарад. Дар зери таъсири нейтронҳо бисёр мавод радиофаъол мешаванд.

Дар натиҷаи ҳодисаи рабоиш ва пароканиши нейтрон дар модда, сустшавии интенсивияти афканишоти нейтрон монанди сустшавии гамма-нур мегузарад. Аксар, ҳангоми ҳисоби ҳимоя аз нейтронҳо қонуни экспоненсиалии сустшавиро истифода мебаранд.



Расми 12.4.1. Гузариши сели нейтронҳои мувозӣ аз модаи тунуки фурӯбаранда: 1-сӯрох, 2-модаи ғафси фурӯбаранда, 3-афканишоти парокандашуда, 4-афканишоти ростҳаракат, 5-афканишоти мувозӣ, 6-қайдгирак.

Бигузор ба сатҳи модаи фурӯбаранда дастаи мувозии моноэнергии нейтронҳо афтад. Сустшавии дастаи нейтронҳо ба қонуни экспонентӣ итоат мекунад:

$$N_x=N_0e^{-\Sigma x} \qquad (12.4.1)$$

Дар инҷо N_0 ва Nx сели нейтронҳо дар нуқтаи бе модаи фурӯбаранда ва ҳангоми мавҷудяти он; x - ғафсии модаи фурӯбаранда бо см; $\sum$ - бӯриши пурраи макроскопии модаи фурӯбаранда $см^{-1}$, буриши макроскопи эҳтимоли ядроро, ки дар 1см модаи фурӯбаранда мавҷуд аст, муайян мекунад, яъне $\sum=\sigma n_i$,

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_a \qquad (12.4.2)$$

дар инҷо n_i - миқдори атомҳо дар 1 $см^2$ модаи фурӯбаранда, σ - буриши пурраи микроскопии пароканиш (σ_a) ва буриши

микроскопии фурӯбариш (σ_s) миқдори атомҳо дар 1$см^2$ чунин муайян мешавад:

$$n=\frac{6{,}023\cdot10^{23}}{A}\rho \text{ [атомҳо/см}^3\text{]}, \rho\text{-зичии мода (г/см}^3\text{)}. \qquad (12.4.3)$$

А - массаи атомии модаи фурӯбаранда; 6,023 $\cdot 10^{-3}$- адади Авогадро.

Буриши пурраи макроскопиро чунин муайян намудан мумкин аст:

$$\sum=\frac{6{,}023\cdot10^{23}}{A}\rho(\sigma_s+\sigma_a), \qquad (12.4.4)$$

Монанди гамма-нурҳо мафхуми қабати ним ё даҳ- карат сустшавии афканишоти нейтронҳоро дохил мекунем.

$$d_{1/2}=\frac{0{,}693}{\Sigma} \text{ ё } d_{1/10}=\frac{2{,}303}{\Sigma} \qquad (12.4.5)$$

ва каратии сустшавӣ

$$K=\frac{N_0}{N_{х.ч}} \qquad (12.4.6)$$

дар инҷо $N_{х.ч}$- ва N_0 мувофиқан сели ҳудуди ҷоизӣ ва ибтидоӣ мебошад.

12.5. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ ВА ҲИФЗ АЗ АФКАНИШОТИ СУРЪАТФИЗОИИ ЗАРРАҲОИ ЗАРЯДНОК

Суръатфизо асбобе мебошад, ки барои шитобдиҳӣ ба зарраҳои зарядноки сареъ дар майдони электромагнитӣ хизмат менамояд.

Вобаста аз усули шитобдиҳӣ суръатфизоҳо ба навъҳои гуногун ҷудо мешаванд: бетарон, синхротрон, циклотрон, синхросиклотрон, фазотрон, синхрофазотрон. Ин асбобҳо барои ҳосил намудани зарраҳои зарядноки энергия баланд хизмат мекунанд. Бетарон - суръатфизои хатти энергияи зарраҳои зарядноки то якчанд даҳҳомиллион электронволт зиёд мекунад.

Синхротрон, синхросиклотрон, фазотрон энергияи зарраҳоро то миллиард (миллион) электронволт мерасонад.

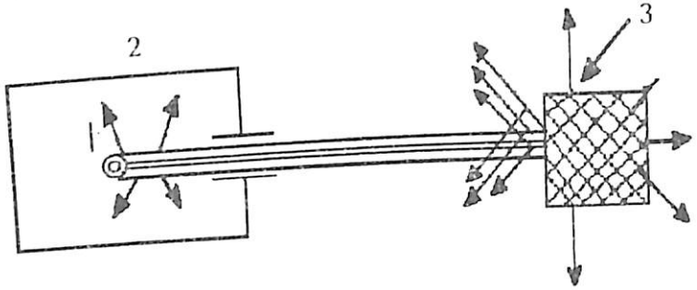
Суръатфизо аз камера, манбаи электронҳо ва ионҳо иборат буда, сели пуркуввати зарраҳои зарядноки медиҳад. Ҳангоми афти-

дани ин заррахо ба нишона дастаи гамма-нурхо N_γ, нейтронхо N_n хосил мешаванд.

Дар расми 7.5.1 сохт ва тарзи кори яке аз ин асбобхо оварда шудааст.

Чи тавре, ки аз расм дида мешавад, ҳар як қисми асбоб вазифаи муҳимро иҷро мекунад.

Ҳангоми нишонаро бо заррахои мусбати зарядноқ нурборон намудан реаксияи ядрои мегузарад, ки дар натиҷа нишона ҳамчун манбаи афканишот хизмат мекунад. Масалан, нишона аз берилий тайёр карда шуда бошад ва ба он дастаи алфа-зарра, протон ё дейтронро равон кунем, аз он нейтронхо берун меоянд, яъне реаксияи (α, n), (p, n), (d, n) мегузарад.



Расми 12.5.1. Номгӯи афканишоти суръатфизои заррахои заряднок:
1-манбаи заррахои заряднок, 2- камераи суръатфизо, 3-нишон

Электронхо ба нишона афтида, ба ядрои нишона расида, суръати худро суст мекунанд. Дар ин ҳолат як қисми энергияи электронхо ба намуди нури рентгенӣ ё гамма-нур хориҷ мешавад. Ядрои нишона метавонад гамма-нури бездоршударо капида гирад ва аз худ фотонейтрон хориҷ намояд. Агар афканишоти бездорӣ аз энергияи остони реаксияи ядрой барои масолеҳи додашуда зиёд бошад, пас ҷузъҳои суръатфизо ва лавозимоти ченкунандае, ки онро иҳота кардааст, нурборон мешавад: аз зери таъсири нурҳои аввала ва парокандашуда онҳо метавонанд ба манбаи афканишот табдил ёбанд, яъне радиофаъол шаванд. Ҳамин тариқ, суръатфизои заррахои заряднок манбаи навъи гуногуни афканишот мебошад. Савияи афканишот, новобаста ба масофаи наздиктарини суръатфизо, ба бузургии калон мерасад. Яъне тавоноии дозаи афканишоти

бездорӣ дар суръатфизои электронҳои энергияшон 30 МэВ (дар нишонаи тилло) дар масофаи 1м аз нишона дар самти аввала ба $7\cdot10^5$р/дақ. баробар аст, ки ҷараёни 1мА дар дастаи заррахоро ташкил мекунанд. Дар суръатфизои хаттӣ ҷараёни миёна дар дастаи электронхо ба даҳҳо ва садҳо мкА мерасад. Агар бузургии ҷараёни миёна дар дастаи электронҳо 100 мкА бошад, тавоноии доза дар масофаи 1м ба $7\cdot10^5\cdot10010^{-3}=710^4$ Р/дақ баробар мешавад.

Дар суръатфизои электронхо нишонаи ядроии сели фотоэлектронҳоро хориҷкунанда, дорои энергияи 30 МэВ ба $4{,}6\cdot10^{14}$эл/сония ва тавоноии МВТ аст.

Агар ҷараёни даста ба 100 мкА баробар бошад, тавоноии даста $100\cdot10^{6}30=3\cdot10^{-3}$ МВТ, сели фотонейтронҳо дар масофаи 1 м аз нишона

$$N=\frac{4{,}6\cdot10^{14}\cdot3\cdot10^{-3}}{100^2}=1{,}1\cdot10^{7}[\text{нейтрон/см}^2\text{сон}]$$

баробар мешавад.

Савияи баланди афканишот дар суръатфизои як ва бисёртахлия ҷой дорад. Масалан, агар зарраи шитобхӯранда дейтрон бошад, он гоҳ сели калони нейтронҳо гамма-нурҳои нарм, бета-заррахо ва протонҳо ҳосил мешаванд.

Аз ин нуқтаи назар, сохтори ҳимоя ва ҷойгиршавии каналҳои даромад чунин аст:

Деворҳои ҳимоя аз бетон сохта мешаванд, шифтро мувофиқи қоида аз қисмҳои алоҳидаи бетонӣ ҷамъ мекунанд. Вай мисли деворҳои канорӣ бояд дозаи афканишотро то ҳудуди ҷонз кам кунад. Барои аз нишонаи суръатфизо баровардани сели заррахо ё гамма-нурҳо дар девори ҳифз каналҳои махсус пешбинӣ карда мешаванд. Шумораи онҳо бо ҳаҷм ва хислати кори суръатфизо муайян карда мешавад.

Ҳаман каналҳо ҳангоми кори суръатфизо бояд ба муҳофизати ҳимоягӣ маҳкам бошад. Барои маҳдудкунии сели баромади афканишот дар суръатфизо коллиматорҳои махсус гузошта мешаванд (колиматор-олотест барои ташаккули дастаи борику параллели нурҳо, заррахо-атомҳо, молекулаҳо, заррахои бунёдӣ). Суръатфизо асосан дар таҳҳона ё ошёнаи якум ҷойгир карда мешавад. Ин фоидаовар аст, зеро аз самти поён ҳимоя талаб намекунад. Махсусан, агар дастаи афканишот ба поён равон карда бошад барои кашида

баровардани ҳавои захрнок бояд лӯлаи кашанда бо нурполоиши махсус ҷойгир бошад.

Истифодабарии маводи босамартар ба мисли бетон, об ва ғайра барои ҳимояи суръатфизо шароити басо паст фаровардани савияи нури иониро аз қафои девори ҳимоягӣ таъмин менамояд.

Ҳамин тавр, ҳангоми шитобонидани дейтронҳо то энергияи 20 МэВ, савияи афканишот дар ҷои кор пас аз қабати ҳимоя, ки ғафсиаш 1м аст ба 1:2 мкР/сония ва сели нейтронҳо 1:2 нейтрон/см^2 сония мерасад.

Дар мавриди шитобонидани ионҳои бисёрзаряда савияи афканишот хеле кам аст. Ҳангоми пайваст намудани суръатфизо омили асосии таъсиркунанда афканишоти дубора мебошад, ки дар натиҷаи коҳиши ядрои фаъол ҳосил мешавад. Дозаи ин афканишот қисми хурди дозаи ҷоизи умумии солонаро ташкил мекунад.

Ҳангоми гузаронидани кори таъмирӣ дар хонаи суръатфизо ҷойгирбуда бояд васоити ҳимояи шахсӣ истифода шаванд. Барои бехатарӣ аз таъсири нурҳои ионизатсия якчанд навъи қонда ҳимояро бояд риоя кард:

1. Экспозитсияи тамоми ҷисми инсон набояд аз 0,1 Р дар як рӯз зиёд шавад.

2. Ягон қисми ҷисми инсон бояд дар як рӯз дозаи ҷоизро 0,5 Р зиёд қабул накунад.

3. Дар пӯсти бадан набояд маводи радиофаъол афтад;

4. Қатрачаконакҳо бояд ба таври механикӣ пур карда шаванд;

5. Ҳама вақт бояд дастпӯшаки резинӣ истифода бурда шавад;

6. Маводи чиркиншуда сабаби пайдоиши тавонии дозаи калон аз 0,01 Р дар як рӯз бо ғаноиши 10^{-8} мк дар литр мегардад.

7. Ҳангоми дар ҳавои хона алфа-зарра ғаноиши калони 13 мкюри пайдо гаштан, зарур аст, ки ниқоби зиддигазии мувофик истифода шавад.

8. Дар хонае, ки маводи фаъол истифода мебаранд, хӯрокворӣ нигоҳ доштан мумкин нест.

9. Пеш аз хӯрок, кашидани тамоку ё аз кор рафтан, дастро тоза шустан лозим аст. Ҳангоми пайдо шудани шубҳа аз олудагии радиофаъолӣ он ҷойро тоза намудан лозим аст.

12.6. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ ВА ҲИФЗ АЗ АФКАНИШОТИ РЕАКТОРҲОИ ЯДРОӢ

Амнияти радиатсионӣ аз афканишот бояд дар 2 ҳолат ба эътибор гирифта шавад:

а) Дар истеҳсолот ё гузаронидани корҳои тадқиқотӣ бо гамма-афканишот, ҳангоми кор бо дастгоҳи навсозии реакторҳо, ки плутоний истеҳсол мекунад;

б) Ҳангоми кор ҳимоя аз нейтронҳои сареъ, сустҳаракат ва гамма-нурҳо.

Реактори ядрои ин дастгоҳест, ки дар он дар раванди реаксияи занҷирӣ порашавии модаи ядрои ба даст оварда мешавад. Порашавии ядро дар реактор аз ҳисоби таъсири нейтронҳои ҳароратӣ, мобайнӣ ва сареъ ба амал меояд.

Вобаста аз ин, реакторҳо ба навъҳои гуногун ҷудо мешавад; бо нейтронҳои сустҳаракат, мобайнӣ ва сареъ. Яке аз реакторҳои омӯхташуда реактори нейтронҳои сустҳаракат мебошад. Қисми асосии ин реактор минтақаи фаъоли аз милаи уранӣ ва элементҳои сусткунанда ба мисли графит, об ва ғайра, ки дар ҷоми пӯлодӣ ҷойгиранд, ташкил медиҳад. Қисми нейтронҳо аз элементи инъикоскунанда инъикос шуда, аз минтақаи фаъол берун парвоз мекунанд. Системам хунуккунанда барои ҷудо карда гирифтани гармие, ки дар минтақаи фаъоли реактор ихроҷ мешавад, хизмат мекунанд. Системаи ба тартибандозӣ суръати реаксияи занҷириро идора карда, ҳимояи онро таъмин менамояд. Манбаи афканишот дар реактор минтақаи фаъол мебошад. Системан хунуккунанда ва дигар организмҳои дастгоҳи реактор дар қисми берунаи минтақаи фаъол ҷойгир аст. Дар реакторҳои нурҳоричкунанда минтақаи фаъол манбаи пурқуввати нейтронҳо ва гамма-нурҳо мебошад. Ҳангоми порашавии ядрои Уран-235 афканишоти нейтронҳои минтақаи фаъол пайдо мешавад. Аксарияти нейтронҳо тахминан дар 10^{-12} сония хориҷ мешаванд. Пас аз порашавӣ нейтронҳои кӯтоҳумр ҳосил мешаванд. Ҳангоми порашавӣ қариб як фоизи нейтронҳо дар якчанд дақиқа хориҷ мешаванд ва онҳо нейтронҳои дермонда мебошанд. Ғаноиши нейтронҳои ҳароратӣ дар минтақаи фаъол доимӣ нестанд.

Баромади нейтронҳо аз тавоногии реактор вобаста мебошад. Порашавии як ядрои уран-235 бо ҷудошавии энергияи 200 МэВ

=200 6 10^{-13} Вт.сония=3,2$\cdot 10^{-11}$ Вт.сония мегузарад. Барои чудошавии энергияи як Вт.сония бояд дар 1сония 3.1 10^{10} пораша-вии ядрои уран гузарад.

Порашавии ядрои уран-235 ҳангоми боздошта нейтрон мегуза-рад. Барои он ки 3,1 $\cdot 10^{10}$ порашавӣ гузарад, бояд 3,1 10^{10} рӯйдоди ҳодисаи боздошт иҷро шавад. Зеро нейтронро на танҳо уран-235 балки дигар изотопҳои дар минтақаи фаъол мавҷуд дошта меги-ранд. Аён аст, ки дар миқдори 3,1 $\cdot 10^{10}$ порашавӣ на 3,1 10^{10} нейтронҳо, балки шумораи зиёдтари онҳо боздошт мешавад. Бо назардошти ин ҳол миқдори умумии нейтронҳо дар 1с ба 6$\cdot 10^{10}$ ба-робар мешаванд, ки вай тақрибан аз рӯйдоди порашавӣ 2 баробар зиёд аст.

Тавоноии реактор 1Вт с ба 6$\cdot 10^{10}$ рӯйдоди лаппиш дар як сония баробар мешавад. Барои реакторҳо ҳаҷми V см^3 дар ҳар як сония V - нейтронҳо қапида мешавад. Дар инҷо ρ - зиччии миёнаи нейтронҳо, ϑ - суръати нейтронҳо, λ - дарозии мнёнан роҳи тайкар-даи нейтрон то лаппиш.

Агар тавоноии реактор ба W баробар бошад, он гоҳ:

$$(\rho \cdot \vartheta/\lambda)V = 6\cdot 10^{10}\cdot W, \qquad (12.5.1)$$

Ба ҳисоби миёна сели нейтронҳо дар реактор аз ифодаи зерин ёфта мешавад:

$$\frac{\lambda}{V}\rho\cdot\vartheta = W\ \ 6\cdot 10^{10}[\text{нейтрон/см}^2\text{сон}] \qquad (12.5.2)$$

Бузургии сели нейтронҳо дар реакторҳои ҳозиразамон аз ҷумла нейтронҳои сустсуръат, ба 10^{13}-10^{15} нейтрон/см^2 сония мерасанд.

Гамма-афканишоти минтақаи фаъол асосан аз гамма- нурҳои кӯтоҳмуддате, ки дар раванди порашавии ядрои уран ҳосил мешаванд, иборатанд. Гамма-нурҳое, ки маҳсулҳои порашуда чудо мекунанд (пораи тақсимшуда ва маҳсули коҳиши радиофаъол) бо раванди боздошти нейтронҳои сустҳаракат дар гармибар, сӯзишвории ядрои мегузарад.

Мавҷудияти берилий ё оби вазнин дар минтақаи фаъол сабаби пайдоиши фотонейтронҳо мегардад. Ҳангоми кори реактор саҳми

зиёдро дар афканишоти минтақаи фаъол нейтронҳо ва гамма-нурҳои кӯтоҳмуддат мебозанд, ки ин ҳимояи иловагиро талаб мекунад.

Баъди кори реактор афканишоти асосии минтақаи фаъолро гамма-нурҳои маҳсули порашуда ташкил медиҳанд. Ғайр аз он, гамма-нурҳои масолеҳи фаъолонидашудаи минтақаи фаъол ва гармибарро бояд дар назар дошт, зеро танҳо ҳангоми ҳисоби ҳимояи гармибар ба ҳисоб гирифта мешавад. Манбаҳои радиофаъоли беруна минтақаи фаъоли гамма-нурҳо мебошанд, ки ҳангоми аз тарафи ядрои масолеҳ қапидани нейтронҳои ҳароратӣ ҳосил мешавад. Девори махзан (бак) ҳамчун ҳимоя аз минтақаи фаъоли инъикоскунандаи нейтронҳо ва гармибар хизмат мекунад.

Аз ҳисоби пароканиши ғайричандирии нейтронҳои сареъ ва фаъолонидани масолеххо гамма-нурҳои дуюмин ҳосил мешаванд. Сабаби пайдоиши фотонейтронҳо мавҷудияти масолеҳ дар реактор аст, ки ин афканишотро пайдо мекунанд. Дар ҷадвали 12.5.1. сершавии гамма-фаъолият вобаста аз энергияи гамма- квантҳои элементи фаъоли дар таркиби пӯлоди зангногир мавҷуда, оварда шудааст.

Интенсивияти гамма-нурҳои гармобар аз омилҳои зерини масолеҳи фаъолшуда вобаста аст; агар реактор бо об хунук карда шавад, дар зери таъсири нейтронҳои сареъ изотопҳои кӯтоҳумр пайдо мешаванд, ба монанди N^{16} ва N^{17} реаксяи $O^{16}(n,p)N^{16}$ва $0^{17}(n,p)N^{17}$. Фаъоляти об дар баромади реактор нисбат ба N^{16} хеле зиёд аст.

Оби гармобар фаъоляти 100 мккюри/мл дорад (нисбати афка-нишоти нейтронҳо N^{17}, 800 нейтрон/см^3 сон). Баъди аз кор истода-ни реактор бета, гамма ва сели нейтронҳо ботезӣ нест мешаванд. Дар об дар натиҷаи мавҷудияти омехтаи намаки минералӣ изотопи дарозумри гамма-фаъол ба монанди $N\alpha^{24}$ даври нимкоҳишаш 14,9 соата ҳосил мешавад, ки нақшии гармобарро иҷро мекунанд.

Ҳангоми бо ҳаво хунук намудани реактор дар натиҷаи ней-тронро қапидани аргон - 40 радиофаъоли аргон - 41 бо даври нимкоҳиши 1,5 соат ҳосил мешавад, ки гамма-нурро бо энергияи 1,3 МэВ хориҷ мекунад.

Фаъолияти пўлоди зангногири навъи 347 барои амнияти радиатсионӣ минтақаи фаъол ҳангоми нурборонии сели нейтроҳои алоҳида

Ҷадвали 12.5.1

Реаксия	Эҳтимол ва қапиш	Даври нимкоҳиш	Гамма-фаъолият квант/см^2 сон.	Энергияи квантҳо, МэВ
Мп (n,γ)Mn	13	2,6 соат	$2,3\cdot10^{-2}$; $3,4\cdot10^{-3}$	0,845;1,81;2,13
Cr(n,γ)Cr	11	26,5 рӯз	$1,4\cdot10^{-4}$	0,32
Fe (n,γ)Fe	0,86	46 рӯз	$2,4\cdot10^{-5}$;$2,4\cdot10^{-5}$	1,1;1,3
Та (n.γ)Та	21	117 рӯз	$1,5\cdot10^{-4}$;$2,3\cdot10^{-4}$	1,3; 1,22
Со (n,γ) Со	20	5,2 сол	$5,6\cdot10^{-4}$;$5,6\cdot10^{-4}$	1,33;1,17

Дар ҷадвали 11.5.2. фаъолияти баъзе модаҳо, ки онҳоро дар реактор чун гармобар истифода мебаранд, оварда шудааст.

Ҷадвали 12.5.2

Фаъолияти баъзе модаҳои дар реактор чун гармобар истифода баранда

Изотоп	Миқдори изотопҳо дар элем. табиӣ	Эҳтимоли қапиши нейтронҳои ҳароратӣ	Маҳсули радио-фаъол	Даври нимкоҳиш	Энергияи афканишот	Адади гамма-нурҳо дар коҳиш
Nα-23	100	0,48	Na-24	14,9 соат	176(γ) 1,36(γ)	1 1
К-41	6,8	1	К-42	12,4 соат	1,51(γ)	0,25
Li-7	92.6	0,033	Li-8	0,88 сон.	I3,4(γ)	
0-16 аз H_2O	99,8	(n,p) аз	N-16	7,4 сон.	6.13 ва 7,10(γ)	0.82
0-17 H_2O	0,039	нейт. Среъ	N-17	4,1 сон.	I(n)	1,0 (n)

Тавре дида мешавад, баъзе изотопҳои радиофаъол, ки дар элементҳои сохторӣ пайдо мешаванд, баъзе модаҳои радиофаъоли ба вақти нимкоҳиши калон соҳиббуда гамма-нурҳои энергияашон калонро хориҷ мекунанд. Дар қисми берунии реактор қубури гармобар ва гармивазкунӣ чун манбаи пурқуввати нури ионӣ мудатти вақти дароз меистад.

Аз ҳисоби фаъолкунии изотопҳо, зангзанӣ ва шустани кубурҳо, дастгоҳҳо, интенсивияти афканишот меафзояд. Азбаски реактор бо об хунук гардонида мешавад, системаи хунуккунӣ аз пўлоди зангногир иборат буда, ҳангоми кори реактор элементҳои радиофаъоли оҳан, хром, никел, магний ва ғайра ҳосил мешавад, ки гамма-нур хориҷ мекунанд.

Бузургии фаъолияти об аз ҳисоби маҳсули фаъоли зангзанӣ дар баъзе ҳолатҳо ба 10^3кюрӣ /литр мерасад. Барои дар системаи хунуккунӣ бисёр ҷамъ нашудани маҳсули зангзанӣ гармобарро тоза ё нав мекунанд. Маҳсули пораҳои ба гармобар афтанда, ки ба намуди газҳои Кг-85, I-131, Хе-135 ва ғайра ҳалшаванда ва ҳалнашаванда ҷудо мешаванд, афканишоти иловагиро ба вуҷуд меоранд. Реактор - манбаи пурқуввати нури ионзо ва олудагии радиофаъолӣ аст.

Аз рӯи ҳисоби тахминӣ тавоноии дозаи гамма-нурҳои кӯтоҳмуддат ва гамма-нурҳои маҳсули порашуда, ки дар реактор дар масофаи 5м аз минтақаи фаъол тавоноии доза ба 1,3 10^5 рад/с ё дар 8 соати рӯзи корӣ ба 10^6 рентген баробар аст ва ин аз дозаи ҷоизи зиёд мебошад, 1Мвт буда, сарфи шабонарӯзии 1г урани-235 мебошад. Ба реактор бояд ҳимоя аз чиркиншавии ҳаво, об, хок ҳимоя бо усулҳои гуногун пешбинӣ карда мешавад:

Яклухт - бояд реактор ҳаматарафа бо ҳимоя таъмин бошад.

Алоҳида – минтақаи фаъол ва системаи гармобар аз ҳимоя таъмин бошад. Ҳимояи кубургузаронӣ, системаи гармобар бояд дар хонаи алоҳида бошад, то ки ҳангоми аз кор истодани реактор тозагӣ ва бехатариро таъмин намояд.

Амнияти радиатсионӣ аввала бояд сели нейтронҳоро, ки аз минтақаи фаъол мебароянд, то дарачае кам кунад, ки:

1) Дар дастгоҳ фаъолият то савияе ҷамъ мешавад, ки барои кор бурдан бо реактор иҷозатнома талаб накунад.

2) Фаъолияти калони гармобарӣ дубора роҳ дода нашавад;

3) Гамма-афканишот, ки дар натиҷаи ларзиши нейтронҳои гармобар ҳосил мешавад, то ҳадди ниҳоӣ кам шавад. Дар ин ҳолат барои гармобарӣ амнияти радиатсионӣи дубора шарт нест.

Амнияти радиатсионӣ бояд афканишоти боқимондаи минтақаи фаъолро то дараҷае кам кунад,ки ҳангоми аз кор истодани реактор дар муддати вақти муайян ба назди дастгоху асбобҳо, ки дар байни амнияти радиатсионӣи аввала ва ду бора ҳангоми нурборонкунӣ мавҷуд аст, омода шавад. Амнияти радиатсионӣи дубора бояд сели гамма-нурҳо ва нейтронҳо, ки ба сатҳи амнияти радиатсионӣ меафтанд, то ҳадди имкон суръаташон суст шуда, баъди амнияти радиатсионӣи аввала (мисол буғгузаронӣ) интенсивияташон то сатҳи ҳудуди ҷоизӣ кам шавад. Ғайр аз ин амнияти радиатсионӣи дубора ба баъзе ҳолатҳо аз ҳавои ҷиркини радиофаъол, ки дар назди реактор ҳосил мешавад, фоида мерасонад. Талаботи номбаршударо риоя намуда, лоиҳаи бехатарии амнияти радиатсионӣро пешбинӣ кардан мумкин аст. Лоиҳаи амнияти радиатсионӣ аз реактор бояд аз меъёри муқаррарии савияи ҷоизи афканишот дар ҷойҳои гуногуни баъди амнияти радиатсионӣ дар вақти кор ва истодани реактор зиёд нашавад. Бояд ҷойгиршавии энергияи интенсивияти манбаи афканишотро донист, ки дар асоси он амнияти радиатсионӣ ҳисоб ва сохта мешавад. Майдони афканишоти топографиро донистан зарур аст. Роли асосиро ҳангоми лоиҳакашии амнияти радиатсионӣ, интихоби дурусти масолеҳи амнияти радиатсионӣгӣ мебозад. Ба назаргирии афканишоти реактор масолеҳи дар таркибаш гидрогендоштаро истифода мебаранд. Дар амалия интихоби масолеҳи зайл бо навъҳои бетон, омехтаҳои фулузу гидрогендор об ё дигар модаҳои дар таркибашон гидрогендошта бо пайвастагиҳои сурб ё оҳан барои нағзтар фурӯ бурдан гамма-нурҳо пластмасса, полиэтилен ва ғайра бо якҷоягии модаҳое, ки дар таркибашон бор доранд, маҳдуд карда мешаванд.

Масолеҳе, ки барои амнияти радиатсионӣи реактор истифода мебаранд бояд мустаҳкам, оташтобовар ва ба радиатсия аз нуқтаи назари кимиёвӣ инертӣ бошад.

Ҳангоми лоиҳакашии амнияти радиатсионӣ, гармӣ ҷудо намудани деворҳои амнияти радиатсиониро бояд ба назар гирифт. Кор дар он аст, ки дар реакторҳои тавоноиашон калон энергияи пароканиши нейтронҳо ва гамма-нурҳо зиёд мешаванд, ки фурӯбарии онҳо дар масолеҳи гармогузарониашон бад ба пайдоиши норавоии градиенти баланди ҳароратӣ ва шиддати ҳарорат дар ин масолеҳҳо оварда мерасонад. Дар ин маврид бояд деворҳои амнияти радиатсионӣгиро хунук кард.

Таҷрибаи корӣ дар реакторҳои атомӣ нишон медиҳад, ки дар асоси ҷамъ шудани натиҷаҳои назариявӣ ва амалӣ, амнияти радиатсионӣи бехатариро сохтан мумкин аст. Ҳамин тавр, чен намудани дозаи гамма-нурҳо ва нейтронҳо дар реактори уранӣ ва графитӣ, ки дар лабораторияи миллии ОК Ридж бо тавоноиаш 4000 КВТ бо инъикоскунандаи графити ғафсиаш 61см ва амнияти радиатсионӣи бетони 213.5 см мавҷуд аст, нишон дод, ки дозаи максималии гамма-нурҳо дар сатҳи амнияти радиатсионӣ ба 2 мР/соат баробар аст. Сели нейтронҳо бошад, аз ҳиссиёти қайдгираки одии нейтронҳо паст мебошад.

Бо мавҷудияти шароити бехатарӣ дар реакторҳо амнияти радиатсионӣи онро таъмин намуда, дар истгоҳи атомӣ ва киштии яхшикани атомии ба номи Ленин низ муқаррар карда шудааст. Айнан савияи афканишот дар хонаҳои хизматросонии доимӣ, ки дастгоҳи ядроии киштии яхшикани атомӣ кор мекунанд, аз 0,2:0,5 мк ЭБР/сония (0,3:0,9 аз нормаи муқарраршудаи ҳудуди ҷоизӣ барои рӯзи кори 8 соата) зиёд нашавад. Дар хонаҳои истиқоматии лоиҳаи доколи атомӣ савияи афканишот ба импулсҳои бегонаи табиӣ мувофиқ аст.

Кормандоне, ки дар киштии атомӣ кор мекунанд, бояд донанд, ки савияи афканишот дар вақтҳои гуногуни кори реактор гуногун аст. Аммо гамма-нурҳо ҳангоми кушодани қисмҳои алоҳидаи амнияти радиатсионӣи реактор кори ташхиси лавозимоти сӯзишвории ядроӣ, ки манбаи гамма-нурҳо мебошанд, ниҳоят зиёд мешаванд.

Афканишоти нейтронҳо асосан дар вақти кории реактор пайдо мешавад. Баъди исти реактор онҳо ба тезӣ нест мешаванд. Корманони касбии реактори атомӣ бояд фаромӯш накунанд, ки бо мақсади огоҳ намудан аз афтиши модаи радиофаъол дар либос, ҷисм дар хонаҳои истеҳсолӣ даромадан бо либоси махсус ва пойафзоли махсус иҷозат дода мешавад.

Барои он ки дасти коргарон аз модаҳои радиофаъол чиркин нашавад, бояд дастпӯшаки резинӣ ё поливинилхлоридӣ истифода баранд.

Ҳангоми кори реакторҳо навъҳои гуногуни зарраҳо - алфа-, бета-, гамма- ва нейтронҳо ҳосил мешаванд, ки навъҳои амнияти радиатсионӣро аз таъсири онҳо таъмин намудан зарур аст.

12.7. АМНИЯТИ РАДИАТСИОНИИ ШАХСӢ

Ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъол дастгоҳ ва воситаҳои амнияти радиатсионӣгии махсусро истифода мебаранд, ки онҳо аз нурбаронандаи организмро нигоҳ медоранд. Ба ин воситаҳо дохил мешаванд: либоси махсус, дастпӯшак, айнаки амнияти радиатсионигӣ, распираторҳо ва ғайра. Ин лавозимот барои амнияти радиатсионӣ аз афтиши модаҳои радиофаъоли дар пӯст ва дохили организм аст.

Масалан, дастпӯшак барои амнияти радиатсионӣ аз нурбориши алфа-, бета зарраҳои маҳин зарур мебошад. Акнун тарзи кори ҳар яки инҳоро дида мебароем:

Либоси махсус — хилъат ва корнома, нимҷома, ки аз матои пахтагии беранг ҷим, молексин тайёр кардашуда сатҳи ҳамвор дорад. Инчунин сарпӯшак, ки ин либос на ҳама вақт сатҳи ҷисмро бо эътимод амнияти радиатсионӣ мекунад. Ҳангоми хавфнок будани олудагии зиёд, сатҳи либоси пахтагиро бо либоси плёнкагӣ ба монанди дастпӯшак то оринҷ, шим, фартук, хилъат, костюм, ки тамоми сатҳи ҷисм ё сатҳи зиёд олудашударо пӯшонад, истифода мебаранд.

Ба сифати мавод барои либоси плёнкагӣ пластикҳои полихлорвинил, полиэтилен, шишаи органикӣ ва дигар лавозимот, ки аз олудагии радиофаъол тез тоза карда мешаванд, ба кор мебаранд. Либос бояд одӣ дӯхта шуда, дарзи зиёдатӣ, кисса, камарча надошта бошад. Бояд ҳаво ва намнагузаронии либосро ба назар гирифт.

Ҳангоми кор бо модаи радиофаъоли кушод, ки фаъолияти 10 мккюрӣ доранд барои амнияти радиатсионӣ хилъат, сарпӯшаки пахтагӣ ва дастпӯшаки резинӣ истифода мебаранд. Барои амнияти радиатсионии даст дастпӯшаки резинӣ бо омехтаи сурб, либоси таг ва чуробро истифода мебаранд. Барои ичрои корҳое, ки бо олудагии калони радиофаъол алоқаманд аст, костюми пневматикии ПГ-1, ки аз масолеҳи пластикӣ тайёр карда мешавад, истифода бурда, таги онро бо ҳаво таъмин мекунанд. Ин костюм иборат аз сарпӯшскафандри шаффоф, комбинезони плёнкагӣ, ҳавогузар аст. Бартарии скафандр аз распиратор дар он аст, ки амнияти радиатсионӣи доираи васеи дидашавандаро таъмин мекунад.

Акнун тарзи кори ниқоби зиддигазӣ на распираторҳоро дида мебароем. Дар баъзе мавридҳо истифодаи ниқоби зиддигазӣ ва распираторҳо фоидаовар мебошанд. Распиратор ин никоби нурполо иборат аст. Қисми нурполои он дар ҳама сатҳи рӯй ё танҳо ба даҳону бинӣ ва қисми манаҳ гузошта мешавад. Ниқоб аз резин, нахи борики абрешим ва дигар масолеҳи полоишӣ сохта мешавад. Намудҳои распиратор: Ф-45,Ф-46, РН-19, ШБ- 1, ШБ-2 ва ғайра. Распиратори ШБ-1 10 грамм вазн дошта даҳону бинӣ ва манахро мепӯшонад, аз масолеҳи полоншии МП тайёр карда шудааст, ки 99,9% зарра ва гарду чангро нигоҳ медорад. Бади истифода онро дар оташдонҳои махсус месӯзонанд.

Распираторҳои навъи ШБ-2 бошад, шлеми вазнаш 60 г буда, натанҳо ҳаворо тоза мекунад, балки чашм, рӯи ва биниро низ аз олудагиҳо муҳофизат мекунад.

Амнияти радиатсионӣи боваринокро аз олудагии радиофаъол ниқоби зиддигазӣ таъмин мекунад. Ҳавои тоза бо роҳи ба худ кашидан ё маҷбурӣ дода мешавад. Он чое, ки ба рӯда додани ҳаво лозим аст, скафандр- костюми дамшаванда истифода мешавад. Бартарии ниқоби зиддигазии рӯдагӣ нисбат ба распиратор дар он аст, ки ҳангоми дар таркиби ҳаво мавҷудияти гази фаъол, мисоли радон ва торий, онҳоро нигоҳ медоранд. Скафандр, шлеми дамшаванда сарро намефишоронад ва руйро озурда намекунанд, чашм пурра аз таъсири алфа-, бета- нурҳо амнияти радиатсионӣ карда мешавад.

Айнак - амнияти радиатсионӣи чашмро таъмин мекунад. Барои амнияти радиатсионӣ аз гамма-нурҳо шишае истифода мебаранд, ки таркибаш фосфат, волфрам ё сурб дошта бошад. Барои амнияти радиатсионӣ аз бета- нурҳои нарм бошад, аз плексигласи ғафсиаш 2:2,5 мм истифода мебаранд. Барои амнияти радиатсионӣ аз нейтронҳо шишае, ки дар таркибаш боросиликати кадмий ё пайвастагиҳои фтор мавҷуданд, истифода мешавад. Барои амнияти

радиатсионӣи чашм аз чанг ё буғи радиофаъол айнак бояд ҳама тарафи чашмро пӯшонад, ба атрофи чашм часпида истад.

Пойафзол – азбаски пойафзоли одӣ модаи радиофаъолро ба худ ҷаббида мегирад, онро аз чиркинии радиофаъол тоза намудан мушкил аст, бинобар он туфлии иловагӣ, ботинкаи махсус, ки чун ниммӯза тайёр карда, лавҳагӣ мешавад, истифода мебаранд. Баъзан шиппаки картонӣ ё қоғази ғафс тайёр мекунанд, ки баъди як маротиба истифодабарӣ сӯзонда мешаванд.

Ҳангоми истифодаи воситаҳои амнияти радиатсионӣ ба пайдарпай пӯшида кашидани он эътибор бояд дод. Барои бо осонӣ пӯшидани дастпӯшак ба даст пешакӣ талк (мисли орд буда, дастро хушк намедорад) пошида аз тарафи даруни нимостин мегиранд. Баъди пӯшидани дастпӯшак нӯгостинро таҳ карда панҷаҳоро ба тартиб меоранд. Пеш аз кашидани дастпӯшак онро шӯставу хушк карда, аз берун талк мепошанд ва нӯгостинро аз банди даст қат мекунанд, панҷаҳоро то қат шудан дарун мекунанд, дастпӯшакро кашида ба тарафи рӯяш мегардонанд. Дастпӯшакро бо ҳавои тазъикӣ ҳамвор кардаву талк пошида ва ба матоъ печонда, дар ҷевон нигоҳ медоранд.

Истифодабарии дастгоҳҳо ё лавозимоти амнияти радиатсионӣгӣ аз савияи фаъолияти навъи афканишот, хосият ва ҳаҷми кор бо модаи радиофаъол вобаста мебошад.

Дар асоси қоидаҳои санитарӣ ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъол бо фаъолияташон аз 10 мкюрӣ то 10 мкюрӣ барои амнияти радиатсионӣ комбинзон, костюм, либоси махсуси тагпӯшак, пойафзол, сачоки қоғазӣ истифода мебаранд. Вобаста аз хусусият ва эҳтимоли олудагии ҳаво аз радиофаъолият воситаи амнияти радиатсионӣи организми нафасгириро интихоб мекунанд. Ҳангоми кор бо модаи радиофаъоли фаъолияташ 0.0001 мкюрӣ то 10 мкюрӣ барои амнияти радиатсионӣ ҳилъатҳо, дастпӯшак, шиппакҳо ва ҳангоми рӯбучини хонаю лабораторияҳо ва кор бо маҳлули кушоди радиофаъол ва хокаи онҳо аз либосу пойафзолҳои махсус, пешдомани пластикӣ ва нимостину нимхилъат, мӯзаи резинӣ истифода мебаранд.

Агар савияи фаъолият то 1 мккюри бошад. дастгоҳи лабораторияи оддии кимиёвиро ба кор мебаранд.

12.8. ДАСТГОҲИ МАХСУСИ АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ АЗ НУРҲОИ ЯДРОЙ

Ба дастгоҳи махсуси амнияти радиатсионӣ анбур, манипуляторҳо, экранҳо, девор, ҷевони захркаш, хоначаҳои махсус ва ғайра дохил мешаванд.

Ҳангоми кор бо нурҳои ионӣ роли асосиро барои амнияти радиатсионӣ масофаи байни коргарон ва манбаи афканишот мебозад. Риояи масофа бо экрани амнияти радиатсионӣгӣ таъмин карда мешавад, ки коргаронро аз бехатарӣ муҳофизат мекунад.

Барои зиёд намудани масофаи кории коргарон ва манбаи радиофаъол манипуляторҳо ё анбурҳои дарозро истифода мебаранд. Анбурҳо гуногун мешаванд: қачкардашуда, ки корҳои гуногунро бо модаҳои радиофаъол аз қафои экран иҷро кунанд. Манипуляторҳо метавонанд маҳкам ва кушода шаванд. Ин гувоҳи медиҳад, ки дастгоҳ қисми қапидаро бе зуроварӣ нигоҳ дорад. Инчунин манипуляторҳо таъсири қувва ва ҳаракати дастро якчанд маротиби зиёд мекунанд.

Агар кор бо модаҳои радиофаъоли ферромагнитӣ гузаронида шавад, он гоҳ барои таъмини амнияти радиатсионӣ манипуляторҳои электромагнитиро истифода мебаранд. Манипулятори электромагнитӣ аз лӯлаи фулузӣ сохта шуда, дар як канори дастааш калидак ба канори дигари он электромагнит гузошта шудааст. Ғалтаки электромагнитӣ бо ҷараёни доимӣ таъмин карда мешавад.

Симе, ки ба он пайваст аст, дарозии дилхоҳро дорад ва барои қапида гирифтани препаратҳо аз масофаҳои гуногун хизмат мекунад. Қисми қаноти он аз матоъи магнитӣ тайёр карда мешавад. Ҳангоми пайвасти ғалтак ба манбаи ҷараён, ғалтаки қапанда препаратро бо худ мекашад. Баъди хомӯш намудани ҷараён препаратро торро сар медиҳанд. Вобаста аз фаъолияти препарат дарозии меҳварро иваз намудан мумкин аст. Барои иҷрои кори мураккаб асбоби қапанда, ки ҷойивазкунанда ҷои истро нисбати кунҷ муайян мекунанд, экрани амнияти радиатсионӣгӣ талаб мекунад монипуляторҳои ҳамакора истифода мебаранд. Ин дастгоҳи механикӣ буда ҳаракатҳои мураккабро иҷро мекунад. Ҳамаи

ҳаракати дастиро оператор идора мекунад, ки экрани амнияти радиатсионӣ берун аз муҳити корӣ ҷойгир мебошад.

Тавсифи асосии монипулятор ҳиссиёт мебошад, ки он ба оператор кувваро нишон медиҳад.

Экрани амнияти радиатсионӣгӣ - ҳангоми кор бо нурҳои ионӣ дар ҳолати зарурӣ амнияти радиатсионӣи муваққатӣ ё доимӣ аз экран ё девор сохта мешавад, ки онро аз қисмҳои аёҳидаи бетону сурб тайёр мекунанд ва ба осонӣ ба қисмҳо ҷудо намудан мумкин аст. Экранҳо аз 2 лавҳа (плитка)-и пӯлодӣ сохта мешавад, ки дар мобайни онҳо кулӯлаҳои фулузӣ ченакашон хурд ё хишти сурбӣ гузошта мешавад. Экранҳои ғафсро истифода мебаранд, ки аз тахтаи фулузӣ ё шишагӣ иборат буда, ба такягоҳи мустаҳкам маҳкам карда мешаванд. Баъзе экранҳо дар аробаҳо мустаҳкам карда мешаванд, ки ҳангоми аз як ҷо ба дигар ҷо кучондан хеле қулай аст.

Экранҳои амнияти радиатсионӣгӣ бояд ғафсии якхела дошта бошанд ва дар мобайнашон холигӣ ё сӯрохӣ набошад ва баръакси он ба гузаштани радиатсия оварда мерасонад. Барои пешгирӣ аз радиатсия девори амнияти радиатсионӣгӣ аз намуди масолеҳи резанда вобаста аз навъи афканишот (гамма-нур, нейтронҳо ва ғайра), ки чун девори амнияти радиатсионӣгӣ пешниҳод шудааст, вобаста аст. Барои амнияти радиатсионӣ аз нейтронҳо ба сифати масолеҳи резанда модаҳои дар таркибашон гидроген ё бордошта истифода мешаванд. Ба гамма-нурҳо бошад, маъданҳое, ки дар таркибашон миқдори оҳан ё сурб мавҷуданд, истифода мебаранд. Асбобҳоеро, ки барои интихоби радиофаъоли моеъгӣ истифода мебаранд, барои интихоб ва ба доза тақсим намудан чакрарезаҳои гуногун истифода мебаранд. Чакрарезаҳо бо сӯзандору ё резини нокмонанд таъмин карда мешавад. Дар кори масофагӣ чакрарезҳо дароз карда мешаванд.

Ҷевони **заҳркаш** - барои дохил нашудани олудагии радиофаъол ба хонаи лаборатория истифода мешавад. Аз қуттии мустаҳками ҳавоногузар ба 2 сӯрохии доиравӣ ё якчанд сӯрохича иборат буда, барои гузаронидани кор бо модаҳои радиофаъол дар дохили он истифода мешавад. Масолеҳе, ки аз он ҷевон тайёр мекунанд, бояд занг назанад ва тоза карда шавад. Ҷевон бояд бо об, буғ, газ ва барқ таъмин бошад. Ҷевон бо дастгоҳе таъмин карда

мешавад, ки барои шӯстани сатҳи дохилӣ бо оби махсуси шориданӣ иҷро мешавад. Бо равшанӣ таъмин карда мешавад. Агар ғафсии девори ҷевон амнияти радиатсионӣро қаноат накунонад, дар дохили ҷевон хоначаи махсус аз хишти сурбӣ месозанд, токи амнияти радиатсионӣгии лозимиро таъмин намояд.

Бо гузашти вақти муайян нурполоиши ифлос иваз карда мешавад. Ҳангоми иҷрои кор дар қисми дигари ҷевонҳо ва барои ба чиркинӣ роҳ надодан, ҳар як ҷевон бо ҳавотозакунак ва системам вакуумӣ таъмин карда мешавад. Барои иҷрои кор бо модаҳои радиофаъоли фаъолияташон миёна (кариб мкюрӣ) ҷевонҳо дар як қатор аз рӯи хатти рост сохта мешаванд.

Камераи хушк - барои иҷрои кор бо модаҳои радиофаъоли фаъолияташон хурд истифода мешаванд. Онҳоро барои кор бо модаҳои алфа-фаъолияти сахти хушк кор мефармоянд. Камераи хушк-қуттии чубӣ ё фулузиест, ки аз 2 тарафаш маҳкам буда, дорои сӯрохӣ аст; коргар бо дастпӯшак дасташро дарун мекунад ва кори заруриро иҷро мекунад. Сохтан ва тоза намудани онҳо нисбат ба ҷавонӣ заҳркаш осонтар аст.

Камераи намнок - аз рӯи сохт ба камераи хушк монанд буда, дорои ҷевони ҳавокаш мебошад ва бо он фарқ дорад, ки ҳавотозакунак дорад. Дар ин камера асосан корро бо модаҳои радиофаъоли моеъ гузаронидан қулай мебошад.

Хонаи алоҳидаи амнияти радиатсионӣгӣ - аз камераҳои гуногунченак иборат аст, ки барои кор бо модаҳои радиофаъоли фаъолияташон баланд таъин шудаанд.

Хонаи алоҳидаи амнияти радиатсионӣгӣ пурра ҳавоногузар буда, бо монипуляторҳо таъмин аст, ки дар раванди технологӣ пешбинӣ шудаанд. Ин хонаҳо бо нурполои газӣ ва аэрозолҳо таъмин буда, бо вакуум барои рехтан ва партофтани партов пешбинӣ шудааст. Аз хоначаҳои алоҳидаи амнияти радиатсионӣ иборат аст.

БОБИ XIII
ДАСТГОҲ БАРОИ НИГОҲ ДОШТАНИ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

13.1. ГУРӮҲИ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛИ КУШОДИ РАДИОЗАҲРНОК

Модахои радиофаъол ба намуди кушод ҳамчун манбаи нурбориши дарунӣ ба панҷ гурӯҳи радиозаҳрнокӣ ва категорияҳо тақсим мешаванд ҷадвали 13.1.1.

Лавозимоти гурӯҳи радиозахрнокиро вобаста аз ҳудуди ҷоизи фаъолияти манбаи радиофаъол дар ҷои кор муайян мекунанд, ки он қайдгирӣ ё иҷозатномаи хадамоти санитарӣ- эпидемологиро талаб намекунад. Дар асоси меъёру бехатарии радиатсионӣ гурӯҳҳои зеринро дида мебароем:

Гурӯҳи А - элементҳои радиозахрнокиашон ниҳоят дараҷа баланд. Ба ин гурӯҳ элементҳои зерин дохил мешаванд, ки фаъолияташон 0,1 мкюрӣ буда, ҳудуди ҷоизи ғаноишашон дар ҳавои ҷойи корӣ ба $1,10^{-13}$ кюри/л ва аз ин кам мебошад (Sr-90, Po-210, Ra-226, Pu-239 ва ғайраҳо).

Тавоноии доза Р, дар бораи лоиҳакашии амнияти радиатсионӣ аз сели нурҳои ионии беруна мбэр/соат.

Ҷадвали 13.1.1

Категория одамони нурборон шуда	Номи ҷой	Лоиҳаи тавонии доза Р,мбэр/соат	
		Барои t=36 соат /ҳафта	Барои t=41 соат /ҳафта
Категорияи А	Ҷои доимии исти* гурӯҳи коргарон, ҷое, ки гурӯҳи коргарон дар як ҳафта 18 соат кор мекунанд, ҷои ғайрихизматӣ**, ҷои муассисаҳои дигар.	1.4	1,2
		2,8	2,4
		28*	24
		0,1	0,1

Категорияи Б	Ҷои гуногуни атрофиён, ки дар ҳудуди минтақаҳои назоратӣ мебошанд'.		0,03

*Ба сифати ҷои ғайрихизматӣ хонаҳои омехта ва боксҳо дар назар дошта мешаванд, ки дар онҳо манбаи нурҳои ионӣ нигоҳ дошта мешаванд.

Ҳайати коргарон танҳо дар вакти таъмир дар он ҷойҳо ташриф оварда метавонанд.

**Ғафсии девори байни камераҳои ба ҳам наздикро чунин интихоб мекунанд, ки ҳангоми гурӯҳи коргарон ба он ҷо ташриф овардан, манбаи нурҳои ионизо дур бошад, хусусияти кор ва шароити бехатарӣ дар вақти таъмир таъмин бошад.

Гурӯҳи Б - элементҳои радиозахрнокиашон баланд: Ба ин гурӯҳ изотопҳое дохил мешаванд, ки барои онҳо фаъолияти сутуни охирони ҷадвали 8.1.1 ба 1 мккюри баробар бошад: Na-22, Ca-45, Co-60, Sr-89, Y-91, Cs-134, Cs-137, Ra-224, Eu-154; барои ин элементҳо ҳудуди ҷоизи ғаноиш ба 1.10^{-11} кюри/л баробар аст.

Гурӯҳи В - элементҳои радиозахрнокиашон миёна: Барои ин гурӯҳ элементҳои сутуни охирони ҷадвали 8.1.1. дохил мешаванд, ки дорои фаъолияти 10 мккюри мебошанд, яъне: 0-15, Na-24, K-42, P-32; барои ин элементҳо ҳудуди ҷоизи ғаноиш аз $1\text{-}10^{-11}$ то $1\text{'}10^{-9}$ кюри/л зиёд аст.

Гурӯҳи Г - ба ин гурӯҳ элементҳое дохил мешаванд, ки радиозахрнокиашон миёна буда, фаъолияташон чи тавре, ки дар ҷадвали 8.1.1. оварда шудааст, 100 мккюри аст: H-3, C-11, C- 14, Ar-41, РЬ-203 ва ғайра, ки барои онҳо ҳудуди ҷоизи ғаноиш баробари $2\ 10^{-9}$ кюри/л ва зиёд мебошад.

Гурӯҳи Д – элементҳое мебошанд, ки фаъолияташон ба 1000 мккюри баробар аст.

Бояд қайд кард, ки модаҳои радиофаъол, ки дар ин ё он гурӯҳи радиозаҳрнокӣ дохил мешаванд, вобаста аз ҳудуди ҷоизи ғаноиши модаи радиофаъол дар фазои ҷои кор муайян карда мешаванд.

13.2. СИНФБАНДИИ КОР БО МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛИ КУШОД

Ба доираи тадбирҳое, ки бехатарии корро бо модаҳои радиофаъол таъмин ва муайян мекунад, инҳо дохил мешаванд: муқаррар намудани синфбандии кор (дараҷаи бехатарӣ), ба қайд гирифтан ва истифодаи изотопҳои радиофаъол,- бақайдгирӣ ҳангоми ба кор дохил шудан, гузаштани дастурамали санитарӣ-истеҳсолӣ, кашондани изотопҳо ва партовҳо.

Ҳамаи корҳое, ки бо изотопҳои радиофаъоли кушод мегузаранд, ба се синф ҷудо мешаванд. Синфбандии кор талаботеро муайян мекунад, ки барои ҷобаҷо намудани лавозимот дар хонаи корӣ бо модаҳои радиофаъоли кушод зарур аст. Синфбандии кор вобаста аз гурӯҳи радиозахрнокии изотопи радиофаъол ва миқдори аслӣ (фаъолиятӣ) он дар ҷои кор муқаррар карда мешавад. Ин натиҷаҳо ба ҷадвали 13.2.1 оварда шудаанд.

Синфбандии кор бо модаҳои радиофаъоли кушод

Ҷадвали 13.2.1

Гурӯҳи радио-захр-нокӣ	Ҳудуди ҷоизи фаъолият дар ҷои кор, ки иҷозати санитарӣ- эпидемологӣ талаб намекунад, мккюри	Фаъолият дар ҷои кор, мккюри		
		Синфи корӣ		
		I	II	III
А	0,1	Калон 10^4	Аз 10 то 10^4	Аз 0,1 то10
Б	1,0	Калон аз 10^5	Аз 100 то 10^5	Аз 1 то 100
В	10,0	Калон аз 10^6	Аз 10^3то 10^6	Аз 10 то 10^3
Г	100,0	Калон аз 10^7	Аз 10^4 то 10^7	Аз 10^2 тоЮ^4
Д	1000,0	Калон аз 10^8	Аз 10^5 то 10^8	Аз 10^3то 10^5

Дар лабораторияхое, ки кори синфи III гузаронида мешавад, талаботи махсусро талаб намекунад. Кори ин синфҳо дар хонаҳои алоҳида гузаронида мешавад.

Тавсия додан ба сохтани обхонаҳо, ҷудо намудани хонаи алоҳида барои нигоҳ доштан ва пешакӣ баркашидани маҳлулҳо. Кори синфи III вобаста ба эҳтимолияти чиркинии хаво аз модаҳои радиофаъол, муомила бо маҳлулҳо, буғдиҳии маҳлулҳо дар ҷевони захркаш (ҷевони махсуси лабораторияҳои кимиявӣ, ки газ ва буғҳон захрдорро мекашад) иҷро мешавад. Тахтаи болои мизи фулузӣ ва дигар таркиби ҷевон ва болои мизи кориро аз лавозимот и модаи радиофаъоли сустҷамъшаванда пӯшидан мебояд. Хонае, ки дар он кори синфи III гузаронида мешавад бояд дар ҷои алоҳидаи бино ҷойгир шавад, ки аз дигар хонаҳо ҷудо бошад. Ба ин қисми хонаҳо бояд иҷозатномаи санитарӣ гирифта шуда, обхона бо назорати радиатсионӣ дар баромад таъмин бошад.

Манзили кории синфи 1 дар бинои алоҳида ҷойгир мешавад, ки даромади он ба иҷозатномаи санитарӣ таъмин мебошад. Ин синф ба се минтақа ҷудо аст:

Минтақаи 1 - камераҳо, хонаҳои алоҳида, ҷойҳои ҳавогузар, хонаҳои ғайрихизматӣ, ки асбобу лавозимоти технологӣ, алоқа, ки манбаи асосии олудагии радиофаъолро нигоҳ медоранд.

Минтақаи 2 - хонаҳое, ки пайдарпай хизмат мерасонанд. Таъмири хонаи мошинҳо барои гузаронидани таъмири асбобу лавозимот ва дигар корҳо, ки ба кушодани асбобҳои техникӣ алоқаманд аст, гирехи борӣ ва боркамкунӣ, асбобҳои технологӣ, муваққатӣ нигоҳ доштан ва бартараф намудани партовҳо.

Минтақаи- 3 - манзиле, ки барои доимӣ истодани гурӯҳи кормагарон пешниҳод шудааст, ҷои оператори махсус, ки коркунони баландихтисос механизми мураккабро идора мекунанд. Барои он ки олудагӣ аз минтақаи 2 ба минтақаи 3 нагузарад, дар байни минтақаҳо дари санитарӣ аз сурб насб карда мешавад. Дар ҳолатҳое, ки кор дар муассисаҳо дар се давр гузаронида мешавад, хонаҳо бояд ба синфҳо ҷудо карда шаванд. Хонаи синфи 2 бояд бо ҷевони захркаш ва хонахои алоҳида таъмин бошад; барои кори синфи 1 хонаҳо, камераҳо аз ҳамдигар алоҳида ё дигар лавозимот и герметикии муҳофизатӣ таҷҳизонида шуда бошад. Дар ҷойҳои кори синфи 1 ва 2 бояд идоракунии системаи умумӣ ҷой дошта бошад.

Гармигузаронӣ, таъмини газ, тозакунии ҳаво, об, гурӯҳи лавҳаи баркӣ бояд берун аз ҷои асосии корӣ бошанд. Муомилаи кории истеҳсолӣ дар ҷои кор ва камераҳои махсус бояд бо лавозимоти масофавӣ ё дастпӯшакҳо таъмин бошад.

Дар ҷойҳои кории синфҳои 1 ва 2 фарши хона ва деворҳо дар минтақаи тақҳизот ва минтақаи ҷобаҷо намудани асбобу лавозимот ва шифт бояд ба модаҳои махсуси радиофаъолро сусткунанда тобовар бошанд. Охири фарш бояд нишеб дошта, то нисфи девор маҳкам бошад. Ҳангоми мавҷуд будани обгузарҳои махсус канорҳои фарши хона бояд нишеб дошта бошанд. Ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъоли кушод бояд амнияти радиатсионӣи корга-ронро аз нурборонкунии беруна таъмин карда шаванд. Асбобҳо ва мизу курсӣ бояд сатҳи ҳамвор дошта бошанд. Истифодаи лавози-моти мулоим маъқул аст. Доду гирифт, аз як хона ба хонаи дигар гу-заронидани модаи радиофаъол танҳо баъди назорати дозасанҷӣ иҷозат дода мешаванд.

Кор бо синфҳои дилхоҳ вобаста аз мураккабии иҷрои муомила ва навъи изотоп дар ҷои кор аз бузургии муайяни фаъолият вобаста аст. Ҳангоми иҷрои муомилаи мураккаб бо модаҳои радиофаъоли моеи фаъолияташон 10 маротиба ва кор бо модаҳои чангмонанд - 100 маротиба нисбат ба натиҷаи чадвали 8.2.1 овардашуда кам бо-шад.

Синфи кориро вобаста аз мураккабии кор интихоб мекунанд. Сохт ва воситаи амнияти радиатсионӣ бояд ба дараҷаи баланд гу-заронидани корҳо бо модаҳои радиофаъоли кушодро таъмин намо-янд.

Агар фаъолияти манбаи гамма-нурҳо аз 0,1 мг экв, фаъолияти манбаи бета-нурҳо аз 0,1 мккюри калон бошад, сохти амнияти радиатсионӣ аз нурборонкунии беруна вобаста мешавад. Кор бо манбаҳои пӯшида синфбандӣ намешаванд. Талаботи асосӣ ҳангоми кор бо ингуна манбаҳо риояи «қоидаи санитарӣ» - мудофиа аз нур-бориши беруна мебошад.

13.3. МИЗИ ЛАБОРАТОРӢ ВА ДАСТГОҲ БАРОИ НИГОҲ ДОШТАНИ МОДАҲОИ РАДИОФАЪОЛ

Барои иҷрои кор бо модаҳои радиофаъол мизҳои махсус монанди мизи кимиёвӣ мавҷуданд. Чор тарафи ин миз деворча дошта, бо масолеҳи ба модаҳои кимиёвӣ тобовараида пӯшонида шудааст. Бо осонӣ шуста тоза карда мешавад. Яке аз ин масолеҳ пӯлодӣ зангногир аст. Ба ин гуна мизҳо шароити ҷобаҷо гузоштани радиофаъолҳо, таъмини газ, об, ҳаво, рӯшноӣ бояд мавҷуд бошад. Намудҳои гуногуни миз вобаста аз сохторашон барои иҷрои кор аз фаъолияти модаҳои радиофаъол гуногунанд.

Барои нигоҳ доштани модаҳои радиофаъол дастгоҳҳои махсус мавҷуданд. Дар шишачаи сарбаста, ки ҳавоногузар аст, маҳкам мебошад ва онро ба хоначаҳои сурбӣ мегузоранд. Хонача монанди зарфи силиндрӣ дорои дастак буда, амнияти радиатсионӣи одамро пурра таъмин менамояд. Ғафсии девори онро вобаста ба фаъолият ва навъи модаи радиофаъол интихоб мекунанд. Алфа-, бета-, нурҳои нармро дар зарфи алюминий ё шишагӣ нигоҳ медоранд. Барои аз як ҷой ба ҷои дигар кӯчонидан хоначаҳои махсуси сурби-ро, ки дорои дастаканд, истифода мебаранд.

Барои паст намудани интенсивияти нури бездорӣ, ки аз девори хоначаи сурбӣ пайдо мешаванд, деворҳои хонача аз дохил бо қоғази алюминӣ пӯшонида мешавад. Манбаҳои нейтрон, ки гамма-нур ҳам хориҷ мекунанд, барои нигоҳ доштан талаботи махсусро талаб мекунанд. Мисол, манбаи сурма+берилийро, ки манбаи нейтронҳо мебошад, дар хоначаҳои махсус, ки деворашон аз омехтаҳои сурб, парафин ва бор иборат аст, нигоҳ медоранд. Барои фурӯ бурдани нейтронҳои ҳароратӣ хоначаҳоро аз парафину кад-мий тайёр карда, девори берунашро бо бор мепӯшонанд. Ин хоначаҳо хелҳ калон буда, вазни якчанд тоннаро доранд. Аксар вахт рӯйкаши ин контейнерҳо аз пӯлоди зангногир иборат буда, бо дари сурбӣ таъмин аст; барои аз як хона ба хонаи дигар ба осонӣ гузарондан, онро дар ароба мустаҳкам мекунанд. Ҳангоми фурӯбарии нейтрон дар ядро, ки гармо ҷудо мешавад, барои бо ҳарорати муқимӣ нигоҳ доштан онро бо об ё ҳаво хунук мекунанд. Модаҳои радиофаъоли фаъолияташон калонро дар блокҳои бето-нии махсус нигоҳ медоранд. Блокҳо дорои сӯрохии амудӣ мебо-

шанд, то ки гузоштани манбаҳои радиофаъол осон гардад. Пас ин сӯрохиро бо сарпӯши бетонӣ ё сурбӣ маҳкам мекунанд. Блокҳое, ки барои нигоҳ доштани манбаҳои радиофаъоли газмонанд ё моеъ истифода мебаранд, бояд ҳаматарафа маҳкам бошанд, ҷои ҳаводаро ё ҳавобаро надошта бошанд.

13.4. ДАСТГОҲ БАРОИ НИГОҲ ДОШТАНИ ПАРТОВҲОИ РАДИОФАЪОЛ. ТОЗА НАМУДАНИ ОЛУДАГИИ РАДИОФАЪОЛ

Ҳангоми кор бо модаҳои радиофаъол, реакторҳо ва суръатфизоҳо баъзе лавозимот, боқимондаи асбобҳои нолозим ҷамъ шуда, ҳамчун партов боқӣ мемонанд. Инҳо фаъол буда, нури радиатсионӣ хориҷ мекунанд. Партовҳо ба намуди сахт, моеъ ва газ дучор мешаванд. Партовҳои сахт дар контейнери пӯлодии зангназананда нигоҳ дошта мешавад.

Партови моеъгӣ ва газиро дар хоначаҳои махсуси ҳавонагузар нигоҳ дошта, бо сарпӯши пӯлодӣ ё сурбӣ маҳкам мекунанд. Бояд дар деворҳои он шоф, сӯрохӣ набошад. Тарафи даруни деворҳоро аз олудагии радиофаъол эҳтиёт мекунанд, партовҳоро ба халтаи пластикӣ, нимэтилен ҷойгир карда, ба дохили контейнер мегузоранд.

Барои нигоҳ доштани партовҳои моеъгӣ ё газӣ махзан (бак)-ҳои махсуси тунукагӣ, ҳавонагузарро истифода мебаранд. Барои бартараф намудан партовҳо сӯхташаванда мешаванд. Барои бартараф намудани онҳо вобаста ба ҳаҷм ва ҳусусияташон чораҳои махсус пешбинӣ карда мешавад.

Бак ё контейнерҳоро бо ранги сафед ранг карда, аз ҷои корӣ дар масофаи 1м мегузоранд, то ки доза аз ҳудуди ҷоизӣ калон набошад.

Масъалаи асосӣ тоза намудани асбобҳои корӣ, об, ҳаво аз олудагии радиофаъол аст. Барои олудагиро бартараф намудан усулҳои гуногун истифода мешаванд.

Усули химиявӣ - коагулатсия, ивази ионӣ ва ғайра;

Усули физикӣ - буғ дода тоза намудан, бо об шустан, бо кислота ва каустикҳо низ тоза кардан;.

Усули механикӣ - бо тозакунаки фулузӣ, рег, масолеҳ шахшол тоза мекунанд, асбоби вакуум ҳаворо кашида мебароранд.

Усули биологӣ- истифодаи микроорганизмҳо, растании обӣ ва ғайраҳо, вобаста ба олудагии радиофаъол, ҳаҷм, сатҳи масолеҳ ва усули тозанамуданро интихоб мекунанд.

Тоза намудани асбобҳо. Усули тозакунии асбобҳо, ки аз масолеҳи гуногун сохта шудаанд, гуногун аст. Масалан, асбобҳои фулузӣ бо кислотаи омехтаи азот, лимон, хром, дуфтори амон шуста мешаванд. Асбоби пӯлоди зангногирро як соат дар омехтаи 10 фоизаи алюминий монда, пас бо об мешӯянд. Дар муддати 2 соат бо омехтаи 8% -и кислотаи азот шуста, бо об мечаконанд.

Асбобҳои пластмассавӣ ва линеолиумӣ бо омехтаи кислота, омехтаҳои органикии атсетон, керосин, бензин, дихлорэтан, ксилол ва нитрати амоний шӯста мешаванд. Сатҳи сӯрох ё ковокии дарахт ва бетон бо омехтаи кислотаи намак ё лимон якчанд маротиба шӯста мешавад. Сатҳи рангкардаро бо кислотаи минералӣ, маҳлули кислотаи хром, амонийи дуфтора мешӯянд. Тоза намудан бояд пайдарпай гузарад. Асбобро як соат дар маҳлули 3%-и намак ва 10%-и кислотаи лимон мегузоранд, баъд бо об обгардон карда, бо маҳлули турши хром 15 дақиқа мегузоранд, пас бо об мешӯянд. Аксар вақт ҳангоми тоза намудан оби равон ва буғро истифода мебаранд. Сатҳи ҷисмҳои сахтро аз олудагии радиофаъол бо роҳи механикӣ, тарошидан ё буридан тоза мекунанд. Асбобҳои бо модаи радиофаъол олуда, ки дар хона медоранд,, бояд бо маҷмӯи модаҳои шусташаванда- 10% маҳлули турши амонӣ (2л), 3% маҳлули кислотаи намак (1л), 8% маҳлули туршии азот (1л), маргансофкаи турши калий (40г), туршии сулфат (5г) дар 1л об, алоқаи Петров 300 мл дар як литр об ва дигар воситаҳои шуянда тоза карда мешаванд.

Тоза намудани либос: либос ва дигар анҷомҳои олудагардидаро аз модаи радиофаъол вобаста аз дараҷаи олудагӣ бо гурӯҳҳо ҷудо мекунанд:

Гурӯҳи якум – олудагӣ аз меъёри ҳудуди ҷоизӣ зиёд набошад.

Гурӯҳи дуюм - олудагӣ аз меъёри ҷоизӣ зиёд аст. Ҳамаи дигар лавозимоти масолеҳ вобаста аз навъ ва хусусияти олудагӣ аз алфа-, бета-, гамма-нурҳо ба қисмҳо тақсим мекунанд. Масалан: сачоқ, хилъат, дастпӯшак, пойпӯшак ва ғайра.

Рақаи коркарди либосҳо аз дараҷаи олудагӣ вобаста аст.

Одатан либосро дар об бо маҳлули 6% -и туршии лимон тоза намула, 5-6 маротиба 5 дақиқагӣ обгардон, пас фаъолиятро чен мекунанд. Агар тозагии либос ба савияи ҳудуди ҷоиз баробар нашавад, ҳамчун партов бартараф карда мешавад. Агар изотопҳо камзист бошанд дар чеҳони махсус нигоҳ дошта мешаванд, то ки баъди шустан фаъолият аз ҳудуди ҷоиз паст шавад. Либоси лавҳагӣ аввалан бо маҳлули собун, баъдан дар маҳлули кислота шуста мешавад. Либосҳои махсус аз якдигар чудо шуста мешаванд - дар 10 рӯз як маротиба дар ҷои махсус бо асбобҳои махсус. Ин ҷойҳо бо обгузарҳо (канализатсия) таъмин мебошанд, то ки оби чиркини радиофаъол ба он ҷой ҷорӣ шавад. Ҷанги радиофаъоли дар либос бокимондаро бо асбоби ҳавокаш, ки дорои полоиши махсус аст, мегиранд.

Тоза намудани пӯсти бадани одам аз олудагии модаҳои радиофаъол: пӯсти бадани одам, аз он ҷумла пӯсти даст, ба олудагии радиофаъол ошкоро гирифтор мешавад. Ҳангоми бодиққат тоза шустани даст (3-5 дақиқа бо оби гарм ва собуни навъи ОП-10) тозакунаки фулузии муинии нармро истифода мебаранд. Намуди берунии он ба вазелин монанд буда, мисли собун аст ва дастро аз олудагии радиофаъол нигоҳ медорад. Ҳангоми шустан бо фосфор ё калтсий ва собун намаки ҳалнашавандаро истифода намебаранд, то ки тозагии дастро пурра таъмин кунад. Агар олудагӣ бокӣ монад, маҷмӯи ҷабанда ё маҳлули ҳалкунандаро истифода мебаранд, ки барои то минимум овардани олудагии даст пешниҳод карда мешавад. Аксар вақт бо сифати модаҳои тозакунанда орди коалин (сафедгул), арзи «новости», 20% лимони туруши натригӣ истифода мебаранд. Тозагии даст бояд ба ҳудуди ҷоизӣ баробар шавад. Баъзе модаҳоро, ки таркибашон дуокиси титан ва кислотаи намак дорад, низ истифода мебаранд. Бисёр вақтҳо моеъи тозакунанда модаи радиофаъолро ҳал мекунад.

Бояд ба эътироб гирифт, ки модаҳои органикиро истифода бурдан манъ аст. Онҳо фурӯбарии модаи радиофаъолро дар пӯст метезонанд.

Барои тоза намудани ҳаво - гази радиофаъол, буғ, лахча, ки дар ҳаво мавҷуд аст, усулҳои тозакунии гуногунро истифода мебаранд. Самаранокии бартараф намудани аэрозолҳои андозаашон аз 1 мК хурд ба 99% баробар аст. Дар баъзе ҳолатхо ба 99,99% ва зиёд ҳам

мешавад. Аксари дастгоҳҳои тозакунандаро дар саноат кор мебаранд, ки барои тоза намудани аэрозолҳои андозаашон 5 мК тавсифи $11 \div 99\%$-ро доранд. Ин асбобҳоро махсусан дар суръатфизо, реактор, электрополоиши барқӣ истифода мебаранд.

Ҳаворо аз буғи радиофаъол бо чунин усулҳо тоза мекунанд:

1) Ҳавои пешакӣ полоишшударо бо лӯлаи баландиаш 20:200м кашида, ба муҳити атмосфера мепартоянд. Ҳавои чиркинро дар атмосфера омехта мекунанд. Вобаста аз шароити метеорологӣ дар шамоли сахт ва паст шудани ҳарорати атмосфера, ҳавои чиркин бо сахт табдил меёбад. Тарокум ё ҷабидани ҳаво дар ҳарорати паст бо истифодабарии азоти моеъ ё хунуккунакҳо гузаронида мешавад. Барои тоза намудани ҳаҷми калони ҳавои чиркин ангишти чубиро низ ба кор мебаранд, ки хеле қимат меафтад. Бинобар ин, ин усулро барои тоза намудани ҳаҷми ками ҳаво истифода мебаранд, масалан, тоза намудани ҳаво аз Аргон-41, ки дар вақти кори реактор ҷудо мешавад.

3) Ангишти фаъол, содаи каустикӣ ва нукра низ газро ҷабида мегиранд. Хемосербентҳо на танҳо барои аз ҳаво ҷабида гирифтани модаҳои радиофаъол, балки атоми пайвастагиҳои парвозкунандаро ба ҳам мепайванданд. Масалан, йоди радиофаъол бо нукраи туршии нитроген пайваст мешавад. Сорбент бо омехтаи пахтаи шишагӣ ҳаворо аз радиофаъоли йод - 131 то 99,99% тоза мекунад. Агар адсорбентҳо бо моеъ омехта шаванд, онҳо гази радиофаъолро фурӯ мебаранд ва ҳавои тоза бокӣ мемонад.

Яке аз масъалаҳои асосии аз аэрозолҳои радиофаъол тоза намудани ҳаво истифодабарии усули электрополоишии

электростатикӣ мебошад, ки самаранокии он 99,99% аст. Ин асбоб бо ҳавои чиркин, намӣ ва ҳарорат тобовар аст, вале истифодабарии он душвор ва нокулай мебошад. Зеро вай тез чангу ғубор мегирад, таҳлил ва тоза намудан вақти зиёдро мегирад, дар байни лавҳаҳо камони электронӣ, ки пайдо мешавад ва қисман канда мешаванд. Илова ба ин асбоб дорои полоиши ғайриэлектрикӣ бояд бошад, то ки ҳангоми набудани барқ корбасти он осон шавад.

Солҳои охир полоиши абрешимии бисёркабата, мисли дастпӯшак ё хилъатро барои тоза намудани ҳаво ва газ аз аэрозолҳои радиофаъол истифода мебаранд. Бештар маводи пашм, нахи шишагӣ, қогази селлюлоза, нахи керамикии таркибаш 50% Al_2O_3 ва 50% SiO_2 бударо, истифода мебаранд. Ҳангоми тоза намудани гази сӯзон масолеҳи газполоиш бояд ба ҳарорати баланд тобовар бошад. Самаранокии полоиши нахдор аз андоза ва сохтори аэрозол, сурьати боддиҳии ҳаво хосияти кимиявӣ ва дигар омилҳо вобаста аст ва он 60-99%-ро ташкил медиҳад. Дар ИМА барои тоза намудани ҳавои аз реактор ё чевони ҳавокаш хориҷшуда, ки дорои аэрозоли 0,3 мк аст, полоиши асбестӣ- селюлозаи самаранокиаш 99,99% -ро кор мефармоянд. Вақти истифодабарӣ гуногун аст; масалан полоише, ки аз нахи пахтаи шишагӣ тайёр мекунанд, то 3 сол истифода мешавад. Барои вақти кории полоиши нахдорро зиёд намудан, ҳавои чиркинро аввал бо полоиши ҳамакораи дағал тоза мекунанд. Вақти кории полоиши нахдор то як сол аст. Тоза намудани ҳаво, газ аз аэрозолҳо дар манораҳои махсус - скурберҳо, сентрифуга гузаронида мешавад, ки самаранокии 99,99% -ро доранд.

Усулҳои номбаршуда ҳаворо 100% аз чиркинии радиофаъол тоза намекунанд, бинобар ин онҳоро бо лӯлаҳои махсуси ҳавокаш ба атмосфера мепартоянд, то ки ба ҳавои сатҳи замин омехта шаванд.

Тоза намудани об: Обро бо усули бугдиҳӣ ё полоиш тоза мекунанд. Бугдиҳӣ мисли ширин намудани оби талхи намнок аст. Ин усул хеле мушкил ва қимат мебошад ва обро аз модаи парвозкунандаи радиофаъол тоза намекунад. Полоиши об асосан бо истифодабарии қабати ғафси рег ё шағал мегузарад. Масалан, дар лабораторияи миллии Шимхенвен оби камфаъолро бо истифодабарии полоиши регу шағали ғафсиаш 1,8м аз олудагии фосфор-32, стронсий, уран бо самаранокии 92 то 99% тоза мекунанд. Ба сифати баланд тоза намудани об аз модаҳои радиофаъоли ҳалшаванда ва ҳалнашаванда, полоиши ивази иониро низ истифода мебаранд. Ин лавозимоти полоишӣ дар таркиби қуму шағал омехтаи катронӣ (смола) сахт ё ангишт доранд, ки онҳо андозаи гандумро дошта, бо туршии сулфат корбаст карда мешавад.

Вобаста ба хусусияти таъсирашон онҳо ба катионҳо ва ионҳо ҷудо мешаванд. Дар бисёр мавридҳо барои тоза намудани оби ифлоси радиофаъоли ҷоришаванда усули биологиро кор мебаранд, яъне микроорганизм ва обсабзҳои омехташуда модаи радиофаъолро ба худ ғаноиш мекунанд. Масалан, дар Лос- Аламос лоиқаи радиофаъолро тоза карда, 98% модаи алфа- радиофаъоли дарозумро, ки ғаноиши 1,4 мкг-ро ташкил мекунад, ҳосил намуданд. Умуман барои тоза намудани оби ҷоришаванда ва обанборҳо усулҳои гуногуни химиявӣ, биологи ва физикиро кор мебаранд ва барои ин лабораторияҳои махсус ташкил карда шудаанд.

13.5. БАРТАРАФ НАМУДАНИ ПАРТОВҲОИ РАДИОФАЪОЛ

Бартараф ва коркарди бозгашти партовҳои радиофаъол масъалаи муҳиму мушкили беҳдошти радиатсионӣ аст. Зарурати ин масъала бо меъёри васеъшавии кор ва истифодабарии модаҳои радиофаъол дар саноат, тиб, тадқиқотии илмӣ меафзояд. Нигоҳ доштан ва бартараф намудани модаҳои радиофаъол миқдоран ноқулай ва хафнок мебошад. Партовҳои моеъ ҳаҷми калонро ишғол мекунанд. Ҳаҷми хурди партовҳои моеъ бо дастгоҳи махсуси буғдиҳанда тоза ва бартараф карда мешавад. Ҳосилнокии ин асбоб дар як шабонарӯз то 40м^3 буда, моеъро то 99% буғ медиҳад.

Моеъ, ки дар натиҷаи тарокуми газ ҳосил мешавад, пас аз тоза намудан боқӣ мемонад. То коҳиш ёфтани модаи радиофаъол онро дар зарфи махсус нигоҳ медоранд, баъди паст шудани фаъолият ба қубурҳои обгузар мепартоянд. Дар раванди буғдиҳӣ, хушк намудан, такшони хушк ҳосил мешавад ва онро ҳамчун партови сахт бартараф мекунанд. Буғдиҳии партовҳои моеъ хеле қимат меистад, бинобар ин бештар усули биологиро корбаст менамоянд. Баъд аз коркарди лоиқаи радиофаъол такшин ва маҳлули навсози ҳаҷмаш

калон ҳосил мешаванд, ки ҳамчун партови сахт онро бартараф мекунанд. Оби тозаи аз ин партовҳо ҳосилшаванда 1%-ро ташкил медиҳад.

Дар ИМА барои коркарди партовҳои моеъ, ки аз сӯзишвории ядро ҳосил мешаванд, усули тафсонишро ба кор мебаранд. Дар хумдонҳои хушккунанда, партови моеъро хушк мекунанд ва модаи радиофаъол дар таги хумдон такшин мешавад. Обҳои ҷоришавандаи чиркинии радиофаъоли *кӯтоҳумри* аз ҳудуди ҷоизӣ камро,ки ғаноиши хурд доранд, бе коркарди пешакӣ ба қубурҳои умумӣ мерезанд. Акси он кафолати камшавии фаъолият то савияи ҳудуди ҷоизӣ ва коркарди муайянро таъмин мекунад. Роҳи дигари омехта намудани модаҳои радиофаъоли моеъ бо дигар моеъҳои бефаъол мебошад. Дар ИМА барои таълими бехатарӣ партовҳои моеъи камфаъолро ба замин гӯр мекунанд ё ки барои тайёр намудани сементблок истифода мебаранд.

Партовҳои сахти ҳаҷмашон калонро месӯзонанд, қисме, ки намесӯзад, фишурда ҳаҷмашро кам мекунанд. Ин усул ҳаҷми партовро садҳо маротиба кам мекунад. Партовҳои сахт ва хокистарро, ки пас аз сӯзонидан ҳосил мешаванд, бо роҳҳои гуногун бартараф мекунанд, масалан, онҳоро зери хок мегӯронанд. Ин усул одӣ ва арзон аст, барои гӯронидан заминро аз ҷои истиқоматӣ дур ҷудо мекунанд ва дар назди он бояд оби нушокии ҷоришаванда ё обанбор набошад. Асосан усули гӯронидан дар қабристони радиофаъол хоси модаҳои радиофаъоли дароззист мебошад, масоҳати қабристон аз адади партовҳо вобаста аст. Масалан, дар ИМА дар лабораторияи миллии Окриҷ ин қабристон масоҳати 5000м^2-ро ташкил медиҳад. Ба гӯри махсуси бетонӣ бо чуқурии якчанд метр партовҳоро мегӯронанд. Ин масоҳат девор гирифта мешавад ва бо тафсири «қабристони модаҳои радиофаъол» ишора карда мешавад.

Усули дигари бартараф намудани партовҳои радиофаъол истифодабарии контейнерҳои оҳанин аст. Контейнерҳои чор тарафашон маҳкамро дар анборҳои бетонии аз роҳи калон дур, дар дашту биёбонҳо, шахтаҳо, чоҳи нафт нигоҳ медоранд ё ба уқёнусҳо мепартоянд. Ин партовҳо хавфи обро чиркин намудан дорад. Ҳангоми ҷой иваз намудани (гардиши) сатҳи болоии об ба таги баҳр обе, ки ба сатҳи болоии баҳр мебарояд, чиркинии радиофаъол буда, растанӣ, моҳӣ, ҳайвоноти ширхӯрро нобуд мекунад. Дар вақтҳои охир партови радиофаъолро дар болои шишапора омехта мекунанд ва ҳамчун партови сахт бартараф менамоянд.

Дар ҷадвали 13.5.1 партовҳои радиофаъол, ки дар натиҷаи таркиши истгоҳи атомӣ пайдо мешаванд, аз изотопҳои вақти зисташон аз сония то сол оварда шудааст.

Ҷадвали 13.5.1

Унсур*	Даври нимкохиш	Фаъолияти партовхо бо МКи		Сахми фаъоляти партовшуда аз реактор дар 06.05.1986
		26, 28, 1986	05, 06, 1986	
^{133}Xe	5,2шб/р	5	45	Мумкин<100%
^{88}mKr	44соат 10.15	0,15	-	-
^{88}Kr	10,76сол	-	0,9	-
^{131}I	8,05шб/р	4,5	7,3	20
^{132}Te	78,2соат	4	1,3	15
^{134}Cs	2,05сол	0,15	0,5	10
^{137}Cs	30сол	0,3	1,0	13
^{99}Mo	66,7 соат	0,45	3,0	2,3
^{95}Zr	65,5шб/р	0,45	3,8	3,2
^{103}Ru	39,5шб/р	0,6	3,2	2,9
^{106}Ru	368шб/р	0,2	1,6	2,9
^{140}Ba	12,8шб/р	0,5	4,3	5,6
^{141}Ce	32,5шб/р	0,4	2,8	2,3
^{144}Ce	284шб/р	0,45	2,4	2,8
^{89}Sr	52,7шб/р	0,25	2,2	4,0
^{90}Sr	27,7шб/р	0,015	0,22	4,0
^{238}Pu	86,4сол	0,4	$8*10^{-4}$	3,0
^{239}Pu	24390сол	10^{-4}	$7*10^{-4}$	3,0
^{240}Pu	6580сол	$2*10^{-4}$	10^{-3}	3,0
^{241}Pu	13,2сол	0,02	014	3,0
^{242}Pu	$3,79*10^5$сол	$3*10^{-7}$	$2*10^{-6}$	3,0
^{242}Cm	162,5шб/р	$3*10^{-3}$	$2,1*10^{-2}$	3,2
^{239}Nr	2,35шб/р	2,7	1,2	

*фаъолияти модахои радиоактивовардашуда бо тахлили радиометри.
**Партови умуми дар 06,05,1986с.
*кимматхои хисобшуда дар 06,05,1986 бо назардошти кохиши радиоактиви.

Дар вақти партов дар 26.04.1986 фаъолят 20-22 МКи-ро ташкил мекунад. Бахододани таркиби радионуклидхо дар партовхои блоки ИБА Чернобел хангоми садама

13.6. НАЗОРАТИ ДОЗАСАНҶӢ. АСБОБҲОИ ДОЗАСАНҶӢ

Назорати дозасанҷӣ инсонро аз нурбориши калон ва дохилшавии модаи радиофаъол бо дохили организм огоҳ мекунад. Ин назорат мавҷудияти манбаи афканишоти фаъол ва олудагиро ошкор менамояд. Дозасанҷҳо шахсӣ ва умумӣ мешаванд:

Ба дозасанҷҳои шахсӣ - камераи ғунҷоиш, дозасанҷи нишондиҳанда, фотосанҷиш, люминисентсионӣ дохиланд, ки тавассути онҳо пас аз дарачабандӣ пайи ҳам дозаи дар ҳафта, рӯз ва моҳ қабул кардаро муайян мекунанд. Аз нишондоди асбобҳо таъсири нурҳои радиатсиониро, ки ҳар як коргари касбӣ дар зери таъсири афканишот зарар мебинад, баҳо медиҳанд. Яке аз ин асбобҳо дозасанҷи кисагӣ мебошад, ки мисли қалам аст ва ҳангоми кор коргар бо худ мегирад ва дозаи фурӯбурдаро назорат мекунад.

Тазри кори асбобҳоро дида мебароем. Дозасанҷи назорати шахсӣ шакли каламро дошта, онро аз масолеҳи фулузӣ ва пластмасавӣ тайёр мекунанд. Монанди камераи ионизатсионӣ дозаи фурӯбурди нурҳои гамма ва рентгениро чен мекунанд. Камера ду намуд мешавад: ғунҷоишӣ ва нишондиҳанда. Камераи ғунҷоишӣ - дозаи гамма-нурро дар ҳаво чен мекунад. Пеш аз истифода бурдан камераро то потенсиали U_1 заряднок мекунанд:

$$U_2 = \frac{q_1}{C}, \qquad (13.6.1)$$

дар ин ҷо,q_1-заряде, ки ба камера дода мешавад, с -ғунҷоиши камера.

Камера дар киссаи пеши хилъат ё костюм меистад, ба гамма-афканишот нурборон мешавад. Аз ҳисоби ионизатсияи ҳавои дохили камера то потенсиали U_2 безаряд мешавад, яъне

$$U_2 = \frac{q_2}{C}, \qquad (13.6.2)$$

дар ин ҷо, q_2-заряди боқимонда аст.

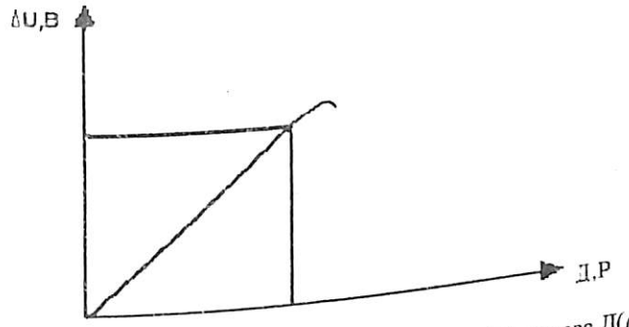
Пас аз анҷоми кор бо асбоби махсус потенсиали U_2-ро чен карда, фарки ΔU-ро муайян мекунанд.

$$\Delta U = U_1 - U_2, \qquad (13.6.3)$$

Адади заррачаҳои мусбату манфии дар байни анод ва катоди камера ҳосилшуда, аз ҳисоби ионизатсияи гамма-нур мебошад. Миқдори заряди аз камера гузаранда $\Delta q = q_1 - q_2$ ба доза (Д) мутаносиб аст. Айнан доза низ ба афтиши потенсиали камера мутаносиб мебошад:

$$Д \sim q_1 - q_2 \sim C \quad (U_1 - U_2) \sim C\Delta U, \qquad (13.6.4)$$

ΔU-ро донеста, аз графики дарачабандӣ вобастагии афтиши потенсиал ва доза (расми 13.6.1) дозаи коргар қабулкардаро муайян мекунанд.



Расми *13*.6.1. Вобастагии фарқи потенсиал ΔU аз доза Д(ρ)

Агар U_1бо рентген ё микрорентген дарачабандӣ шуда бошад, доза ба ҳамин бузургӣ ифода меёбад. Ҳаҷм ва заряди камера аз формулаи зерин ёфта мешавад:

$$Д = \frac{q}{V} = \frac{(U_1 - U_2)\cdot C}{300\cdot V}, \qquad (13.6.5)$$

дар ин ҷо, Д - доза, С - ғунҷоиши камера; V - ҳаҷми камера, ($см^3$); U_1- потенсиали заряди; U_2- потенсиали минималӣ, ки дар камера чараёни сершавӣ ҳангоми чен намудани гамма- афканишот бо

интенсивияти максималӣ таъмин карда мешавад; 300 - зарбшаванда дар системаи CGSE, 1/300 CGSE=1В.

Аз (8.6.5) ҳангоми доимӣ будани U_1 ва V ҳудуди болоии доза аз ҳисоби зиёд намудани ғунҷоиш С таъмин мешавад. Барои С- ро зиёд намудан, дар байни электроди дохилӣ ва берунии камера ғунҷоиши иловагиро ба тарзи мувозӣ пайваст мекунанд. Вобаста аз андозаи камера дозаро аз қимати минималӣ то 50р чен мекунанд. Ин гуна камераҳо дар майдони афканишот доимӣ кор мекунанд. Дар ҳангоми кори таъмирӣ нурборишӣ дар вақти кӯтоҳ гузарад, он

[illegible] ҳаҷми ҳаво калон (то якчанд даҳҳо рентген) ченкунандаро

[illegible] ҳаҷми ҳаво хурд

[illegible] ҳаҷми ҳаво миёна

[illegible] ҳаҷми ҳаво калон

[illegible] ҳаҷми ҳаво хеле калон

[illegible] ҳаҷми ҳаво миёна ишлатилганда - камера дар дохили электросанҷи [illegible] ҳаҷми ҳаво хурд ва ғайра истифода шавад. сими электросанҷ аз ҳолати сифрӣ [illegible] ҳаҷми ҳаво миёна ва ғайра ба электроди до- [illegible] ҳаҷми ҳаво калон ва ғайра ҳангоми кор мекунад. Майлкунии сим бо системаи [illegible] ҳаҷми ҳаво хеле калон ва ғайра ба таъсири афканишот бузургии заряд кам мешавад [illegible] ҳаҷми ҳаво миёна ва ғайра ба ҳисоб гирифта мешавад. Майлкунии сим бо системаи [illegible] ҳаҷми ҳаво хеле калон ва ғайра ба ҳисоб гирифта мешавад. Майлкунии сим бо системаи

интенсивияти максималӣ таъмин карда мешавад: 300 - зарбшаванда дар системаи CGSE, 1/300 CGSE=1В.

Аз (8.6.5) ҳангоми доимӣ будани U_1 ва V ҳудуди болоии доза аз ҳисоби зиёд намудани ғунҷоиш С таъмин мешавад. Барои С- ро зиёд намудан, дар байни электроди дохилӣ ва берунии камера ғунҷоиши иловагиро ба тарзи мувозӣ пайваст мекунанд. Вобаста аз андозаи камера дозаро аз қимати минималӣ то 50р чен мекунанд. Ин гуна камераҳо дар майдони афканишот доимӣ кор мекунанд. Агар ҳангоми кори таъмирӣ нурбориш дар вақти кӯтоҳ гузарад, он гоҳ камераи дозаи калон (то якчанд даҳҳо рентген) ченкунандаро истифода мебаранд.

Дозасанҷи нишондиҳанда - камера дар дохили электросанҷи ченкунандаи заряди боқимонда ҷойгир аст. Агар ба электроди дохили камера заряд дода шавад, сими электросанҷ аз ҳолати сифрӣ майл мекунад. Бо таъсири афканишот бузургии заряд кам мешавад ва сим ба ҳолати сифрӣ бармегардад. Майлкунии сим бо системаи оптикии калонкуниаш 50-100 маротиба назорат мешавад. Майлкунии сими электросанҷ ба ҷамъшавии заряд, яъне доза мутаносиб аст. Электросанҷро бо миллирентген дараҷабандӣ карда, дозаро муайян мекунанд. Дар раванди кор коргар дозасанҷро бо худ гирифта, дозаи қабулкардаашро чен мекунад. Камбудии ин камера - худ аз худ безаряд шудан аст. Электродҳои дохилӣ ва берунӣ аз ҳамдигар бо масолеҳи диэлектрикӣ ҷудо аст. Дар беҳтарин камераҳо ихроҷи заряд вобаста аз намнокӣ меафзояд ва раванди безарядшавӣ 5-7% аст. Ин гуна камераро барои чен -намудани дозаи афканишот истифоди намебаранд. Барои чен намудани дозаи гамма- ва бета- афканишот, камера бояд аз ҷилди фулузӣ сохта шавад, то ки он нурҳоро пурра фурӯ барад. Ин гуна асбобҳоро дар саноат истифода мебаранд, дозаи шахсони бо афканишот коркунандаро то саҳеҳии ±(10:15)% дар 10 сония назорат мекунанд.

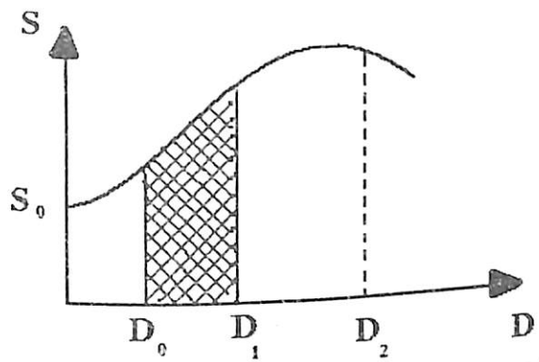
Навъҳои дигари дозасанҷҳо ва ҳудуди ченкуниашон то саҳеҳии ±15% "КИД" (0,2:2р), "Сосна" (0:50р), ДК (0,2:50р) мебошанд. Усули назорати фотосанҷӣ аз қобилияти ионкунандагии нури ионӣ вобаста аст. Таъсири нури дидашаванда ба фотоэмулсия тасвири пинҳонӣ пайдо мекунад. Баъди ошкор ва қайд намудан сиёҳ мешавад. Меъёри сиёҳшавӣ (S) аз формулаи зерин ёфта мешавад.

$$S = \ln(J_0/J), \qquad (13.6.6)$$

Дар инҷо: J_0 ва J интенсивияти нури дидашаванда, ки ба фотонавор меафтад ва аз он мегузарад. Агар J_0/J қимати 0,1; 0,01; 0,001 гирад, сиёҳшавӣ ба 1, 2; 3 мувофиқат мекунад. Сиёҳшавӣ бо асбоби махсуси денсиосанҷ ё фотосанҷ чен карда мешавад.

Сиёҳшавии фотонавор аз доза S=f(Д) чунин намудро дорад (расми 13.6.2., S_0 - сиёҳшавии парда бо таъсири нур).

Сиёҳшавӣ то қимати $Д_1$ аз S=0,4 бо афзоиши Д мутаносибан меафзояд.



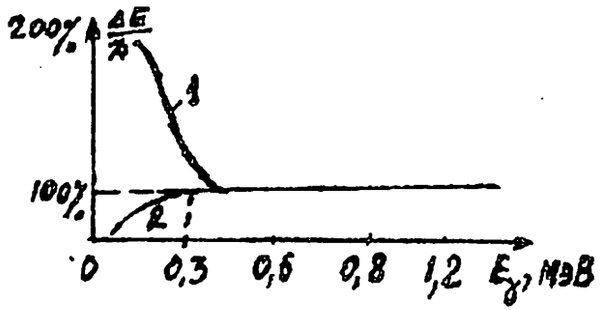
Расми 13.6.2. Вобастагии сиёҳшавии (S) аз доза (D).

Зиёдшавии калон (S≈1,2:1,5) мутаносибан рост вайрон мешавад, аммо сиёҳшавӣ бо зиёдшавии доза меафзояд $Д_2$ (S:2,5:3,5), минбаъд S кам мешавад. Усули ченкунии дозаи гамма ва нури рентгенӣ чунин аст:

Фотонавори андозааш 30х50мм ба қолиби рушноинагузаранда гузошта мешавад. Онро ба коргарон, ки дар майдони афканишоти ядро кор мекунанд, тақсим карда, ба киссаи пеши костюм ё хилъат мегузоранд то ки нурбориш шавад. Пас аз якчанд рӯзи корӣ фотонаворро аз қолиб гирифта, дозаи нурборишро ошкор мекунанд. Ҷои сиёҳшударо бо сиёҳшавии парда, ки бо дозаи 0,1; 0,2; 0,3р ва ғайра нурбориш шудааст, муқоиса мекунанд ва дозаро аз расми 8.6.2 муайян мекунанд. Пардаи назорати шахсӣ бояд ба ҳиссиёти баланд соҳиб бошад. Пардаи фотоэмулсӣ ҳиссиёти

қабули энергияи E_γ=50:100кэВ-ро дорад. Ҳудуди ченкунии пардаи «рентгении Х» аз 0,05:3р аст. Пардаи «рентгении Х» 0,5:15р буда дараҷаи калони саҳеҳҳии ченкуниро таъмин намекунад. Барои ошкор намудани дозаи нурҳои ионӣ, ки энергияи афканишотро хуб фурӯ мебаранд, аз назорати люминисентӣ низ истифода мебаранд. Вобастагии хатти дурахши равшанӣ аз дозаи афканишот ҳудуди 0,005р то якчанд ҳазор рентгенро дар бар мегирад. Модаҳои шуоъбарандаи моеъ, газ, ҷисми сахт масолеҳи эквиваленти ҳаво нестанд. Тавассути камера, ки дорои фотонавор аст, энергияи фурӯбурдро ба як рентген ($\frac{\Delta E}{Д}$) дараҷабандӣ намуда, дозаро муайян мекунанд.

Дар расми 13.6.3. раванди дуруштии фосфорҳо S,S (Eu, Sm) вобаста аз ҳиссиёти энергияи гамма-нурҳо аз доза оварда шудааст.



Расми 13.6.3. Дуруштии фосфорҳо, E_γ аз ҳиссиёти $\frac{\Delta E}{Д}$.

Аз расм маълум,аст, ки аз энергияи 0,3 МэВ ҳиссиёт возеҳан меафзояд, дар энергияи 150 кэВ ҳиссиёт нисбат ба энергияи 0,3 МэВ 40 маротиба зиёд аст. Истифодабарии полоиш, ки аз масолеҳи рақами атомиаш калон тайёр мешаванд, масалан, фосфор эҳсосиётро дар паҳнои энергияи аз 150 МэВ ва калон доимӣ нигоҳ медорад. Полоиши сурбии ғафсиаш 1,3 мм бошад, хатти қачи 2-ро медиҳад.

Дар мавриди набудани импулсҳои бегонаи гамма-нурҳо дозасанҷии люминисентӣ барои чен намудани дозаи бета-зарра истифода мешавад. Азбаски энергия бо доза мутаносиб аст, бинобар он ғафсии синтилаторро чунин интихоб мекунанд, ки

энергияи афтандаро пурра фурӯ барад. Ҳисобгираки люминисентӣ барои ченкунии дозаи афканиши нейтронҳои ҳароратӣ низ истифода мешавад. Ду вараки кадмийро, ки дар байнашон модаи гамма-нурҳои ҳангоми аз бордошти нейтронҳои ҳароратӣ дар кадмий пайдо мешаванд, нурбориш мешаванд. Паҳнои ченкунии доза: 0:0,2р; 0:2р; 0:20р; 0:200р; 0:2000р аст. Асбоби дигар "КИД-5" дозаи нейтронҳои сареъ ва ҳароратиро чен мекунанд, вай аз 50 қолиби люминофосфорӣ ва лавҳаи ченкунанда, ффс-29 дозаи интегралиро дар паҳнои 1:3000р нейтронҳои сареъ дозаи рӯзона, 0,03-100р нейтронҳои ҳароратӣ, 0,03: 100р гамма-нурҳо муайян мекунад, як дозаи рӯзона = 0,005 эфр =7,6 10^5нейтрони сареъ/ $см^2$ = 0,01 эфр = 3,210^7 нейтрони ҳароратӣ / $см^2$.

Маҷмӯи дозасанҷҳоро дар вақти кор бо гамма-манбаҳои намунавӣ нурборон карда графики дозасанҷиро месозанд ва аз он дозаи фурӯбурдро муайян мекунанд. Агар дозаи ченшуда ба дозаи ҳисобкарда мувофиқ наояд, ба графики дараҷабандии асбобҳо зариби ислоҳот дохил мекунанд.

Яке аз масъалаҳои асосии назорати умумии дозасанҷӣ ва тафтиши пай дар пай эмин гардонидани амнияти радиатсионӣ аст. Қисмҳои асосӣ, ки аз таъсири модаҳои радиофаъол бояд назорат кард, инҳо мебошанд: пӯсти бадан, либос, пойафзол, асбобу лавозимот, фаршу сақфи хона, индикаторҳои афканишот. Назорат бо асбобҳои дозасанҷии статсионарӣ, кучонидашавандаи навъи ренттенӣ, радиосанҷӣ, индикаторҳо ба даст оварда мешавад. Тарзи корашон чунин аст. Асбоби рентгенсанҷ тавоноии дозаро бо бузургии рентген,

$\frac{рент}{сон}, \frac{рент}{дакика}, \frac{рент}{соат}$ чен мекунад.

Азбаски

$$I=e\cdot n\cdot v, \qquad (13.6.7)$$

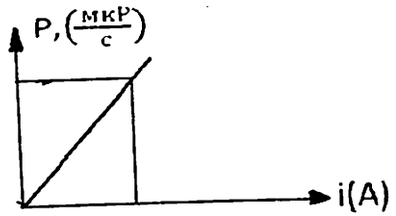
(дар инҷо: en-заряди ионҳо дар $см^3$; v-ҳаҷми камераи ионизатсия дар $см^3$; тавоноии доза $P,\frac{рент}{сония}$ бошад, en=pCGSE, айнан i=1•CGSEPV=$3\cdot 310^{-10}\cdot$PV;

1 CGSE=3,33-10^{-10}кулон.P=$3\cdot 10^9 \frac{i}{v}$ ё ки P=Ki (р/сония).

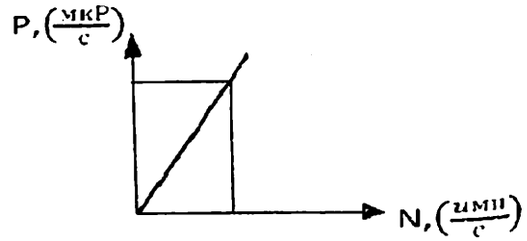
Доимии асбоб «К» ва қувваи ҷараёнро донista, тавонои доза Р-ро ёфтан мумкин аст. Агар «К» маълум набошад, Р-ро аз графики дараҷабандии Р=f(i) (расми 8.6.4) муайян мекунанд. Ҷадвали микроамперметрро ба микрорентген дараҷабандӣ карда, тавоноии дозаро бе ҳисоб ёфтан мумкин аст. Рентгенсанҷҳои қайдгираки механикӣ тавоноии дозаро аз миқдори импулсҳо (N) ё таҳлияи ғунҷоиши «С» муайян мекунанд. Тавоноии доза аз вақти гузариши таҳлияи ғунҷоиш вобаста буда, ба афзоиши адади импулсҳо мутаносиб аст:

$$P=K\cdot N, \qquad (13.6.8)$$

дар инҷо «К»- доимии асбоб, рентген бо вақт. Агар «К» маълум бошад, N-ро чен карда Р-ро меёбем. Р=f(N). Графики дараҷабандии Р=f(N) дар расми 13.6.4 ва 13.6.5 нишон дода шудааст.



Расми 13.6.4. Графики вобастагии тавоноии доза (Р) аз ҷараёни ионӣ (i).



Расми 13.6.5. Графики вобастагии тавоноии доза аз адади импулсҳо (N)

Агар импулсҳо бефосила пайдо нашаванд, вақти байни пайдоиши ду импулсро чен карда, муайян мекунанд, ки афканишот дар воҳиди вақт чанд импулс медиҳад ва онро бо «К» зарб зада, тавоноии дозаро меёбанд. Баъзе дозасанҷҳо монанди асбобҳои овоздиҳак буда, бо таъсири гамма ва нури рентгенӣ кор мекунанд ва нишондиҳаки доза ва тавоноии он мебошанд.

Ин асбобҳоро, ки тирезаи махсус доранд, барои чен намудани дозаи бета-заррaҳо истифода мебаранд. Ҳангоми кушодани тирезаи камера дозаи умумии гамма- ва бета- заррaҳо ва агар тиреза маҳкам бошад, дозаи гаммаро чен мекунанд, фарқи ин ченкуниҳо тавоноии дозаи бетаро медиҳад. Агар вақти нурбориш ва тавоноии доза маълум бошад, пас дозаро бо формулаи зерин ёфтан мумкин аст:

$$Д=P\cdot t,$$ агар P - доимӣ бошад.

Навъи дигари асбобҳо радиосанҷҳо ва индикаторҳои афканишот мебошанд, ки барои чен намудани нурҳои ионӣ истифода мебаранд. Ҳиссиёти радиосанҷҳо нисбат ба рентгенсанҷҳо баландтар аст. Бинобар он талаботи радиосанҷҳо, қайдгираки таҳлияи газӣ, синсилатсионӣ хеле баланд аст.

Тарзи кори радиосанҷ: ҳангоми нурбориш сатҳи берунаи он аз афканишоти радиофаъол олуда мешавад. Ин олудагӣ ба импулси электрикӣ табдил меёбад. Импулс аз қайдгираки таҳлияи газӣ тақвият ёфта, пас ба асбоби намудоваранда мегузарад; импулси шиддат ба волтченкунаки лампавӣ дода мешавад, ки нишондоди он ба адади импулсҳо мутаносиб аст. Азбаски дар баромади волтченкунаки лампавӣ микроамперметр пайваст аст, майлкунии акрабаки он n адади импулсро дар воҳиди вақт медиҳад, сели заррaҳо ё гамма- квантҳо n~N аст. Графики дараҷабандӣ n=f(N)-ро истифода бурда, бо донистани n қимати N-ро муайян мекунад. Ин ғуфтаҳо дар он вақт ичро мешавад, агар навъ ва таркиби спектри афканишоти ченшуда ба афканишоти дараҷабандӣ мувофиқат кунад.

Вобаста аз навъи қайдгирак радиосанҷ барои ба қайд гирифтани сели алфа-, бета-, гамма нурҳо ва нейтронҳо истифода мешаванд. Қайдгиракҳои мутаносибӣ барои қайдгирии алфа-афканиш мебошанд. Девори ҳисобгирак бо варақа пӯшонда мешавад, то ки дар девори он алфа-заррa фурӯ наравад. Қайдгираки мутаносибиро бо газӣ BF_3, пур карда, барои чен намудани нейтронҳои ҳароратӣ ва сареъ истифода мебаранд.

Чунин мақсадро индикаторҳо низ ичро мекунанд, танҳо тарзи корашон дигар аст. Ба занҷири баромади қайдгираки худхомӯшшаванда муқовимати Қ дорои якчанд ҳазор ом ва ғунҷоиши С телефон пайваст мекунанд.

Импулси дар зери таъсири афканишот ҳосилшуда ғун ҷоиши С-ро заряднок мекунад, аз таҳлияи он дар телефон, ки ба гӯш монда мешавад, ғалоғула шунида мешавад. Басомади ғалоғула ба сели афканишот вобаста аст.

Азбаски радиосанҷҳо бо қайдгираки таҳлияи газӣ таъмин ронд, бинобар он вобастагии дозаи гамма-афканишотро бо

рентгенҳо чен накарда, шумораи гамма- квантҳои ба ҳаҷми он афтандаро чен мекунанд. Камераи ионизатсия ҷараёни иониро чен мекунад, ки аз афканишоти дар ҳаҷми он афтанда вобаста аст. Ҳамаи ин пешбиниҳо барои таъмини бехатарии саломатии инсон аз таъсири афканишоти радиатсионӣ аст. Сатҳи олудагиро чунин ошкор мекунанд: сатҳи олудагии асбобро бақайдгираки радиометр гузошта, адади импулсҳоро N_{Σ} чен мекунанд; асбоби олудагаштаро аз ҳисобгирак дур карда, адади импулсҳои бегона N_{δ}-ро ҳисоб мекунанд. Пас, адади бета-зарраҳои сатҳи 150 см^2 олудакунандаро муайян мекунанд:

$$N_{\beta} = \frac{N-x}{\varepsilon} \qquad (13.6.9)$$

дар инҷо ε – самаранокии радиометр, ки онро аз графики дараҷабандии радиометр меёбанд.

Агар сатҳи асбоби татқикшаванда олудагии радиофаъол бошад ва бета-, гамма-нур хориҷ кунад, барои яке аз нурҳо (гамма-нурҳо)-ро хориҷ намудан суммаи суръати ҳисоби N_{Σ}ин афканишро чен карда, пас дар байни сатҳи олуда ва радиометр варақаи алюминий мегузоранд, то ки дар он бета- зарраҳо пурра фурӯ раванд, танҳо гамма-нурҳо чен шаванд, яъне $N_{\gamma} + N_{\delta}$. Аз ин ҷо

$$N_{\beta} = N_{\Sigma} - (N\gamma + N_{\delta}), \qquad (13.6.10)$$

Самаранокии қайдгираки бета-зарра аз самаранокии гамма - қайдгиракҳо 100 маротиба зиёдтар аст. Азбаски дар сатҳи қабати нафиси модаи фаъол $N_{\gamma} << N_{\beta}$ *мебошад*, бинобар $N\gamma$-ро ба эътибор намегиранд ва баръакс. Ҳангоми олӯдагии N_{β}-ро чен намудан бояд N_{γ} ва N_{β}-ро хориҷ кард. Амплитудаи алфа- зарраҳо нисбат ба бета- ва гамма-нурҳо хеле калонтар аст. Суръати ҳисоби алфа-зарраҳо аз сатҳи олудагии радиофаъол

$$N_{\alpha} = N_{\Sigma} - N_{\delta}, \qquad (13.6.11)$$

дар инҷо: N_{Σ} - суръати ҳисоб ба назардошти импулсҳои бегонаи гамма ва бета - зарра, N_{δ}- суръати ҳисоби худи импулсҳои бегона.

Агар масоҳати ҳисобгираки радиосанҷ аз 150 см^2 хурд бошад, барои баҳо додани олудагӣ натиҷаҳои гирифтаро ба $\frac{150}{F}$ зарб мезананд, дар инҷо F- масоҳати ҳисобгирак бо см^2 аст. Ченкунии

сатҳи олуда аз модаҳои радиофаъол бо дозасанҷҳои навъи «Ирис» ва «Фиалкаро», ки дорои қайдгираки синтилатсионӣ ва тахлияи газӣ мебошанд, мегузаронанд. Радиометри синтилатсионӣ ба кристалли масоҳати 7 см^2 бе рӯшноибар ва 23 см^2 бо рӯшноибар таъмин аст.

Усули дигари муайян намудани сатҳи олудагии радиофаъол истифодабарии полоиш аст. Дар лаборатория гамма-нурҳои бегона баланд бошад, истифодабарии асбоби «ТИС» нокулай аст. Полоишии олудагии радиофаъолро аз сатҳ бо дока, пахта қоғази полоишӣ бартараф мекунанд. Инро дар сатҳи хушк ё намдор мегузоранд. Лавозимоти полоиширо дар об ё туршии нитроген тар мекунанд. Бо коғази полоиши 20%, латаю докан намнок 80% олудагиро бартараф намудан мумкин аст. Самаранокии асбобҳоро бо манбаҳои намунавӣ дараҷабандӣ мекунанд. Фаъолияти полоишӣ ($\alpha_{м}$) бо формулаи зерин ёфта мешавад:

$$\alpha_{м} = \frac{2(N-N_{\delta})}{\varepsilon}, \qquad (13.6.12)$$

Дар инҷо: $\alpha_{м}$- фаъолияти полоиш, $\frac{\text{зарра}}{\text{дакика}}$; N - адади импулсҳо дар як дақиқа, N_{δ}- импулсҳои бегона, $\frac{\text{зарра}}{\text{дакика}}$ ε - самаранокии қайдгирак;

Фаъолияти полоишро дониста, фаъолияти олудагии сатҳӣ *(α)* бо бузургии адади $\frac{\text{зарра}}{\text{дакика}}$ дар сатҳи 150 см^2 ҳисоб карда мешавад:

$$\alpha = \frac{\alpha_{м} \cdot 150 \cdot 100}{F \cdot K}, \qquad (13.6.13)$$

Дар инҷо: F- масоҳате, ки лавозимоти полоишӣ ишғол мекунад, к - зариби бардоштани олудагӣ бо фоизҳо мебошад.

ҲАЛЛИ МАСЪАЛАҲО

Хосияти мавчии заррахо

1. Радиуси r_n се мадори аввали Бор барои электрони атоми гидроген ва суръати электрон ϑ_n дар он ёфта шавад.

Ҳал: Ба электроне, ки дар атоми гидроген аз рӯйи мадори n-и Бор ҳаракат мекунад, кувваи Кулонӣ таъсир мекунад:

$$F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2}, \qquad (1)$$

дар инҷо e – заряди электрон. Формулаи (1) кувваи марказшитоб буда, электронро мешитобонад, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ Ф/м$

$$a_n = \frac{\vartheta_n^2}{r_n}, \qquad (2)$$

дар инҷо ϑ_n - суръати электрон дар мадори n- ум. Дар асоси қонуни дуюми Нютон:

$$F = ma_n, \qquad (3)$$

Формулаи (1) ва (2)-ро ба (3) гузошта ҳосил мекунем:

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2} = m\frac{\vartheta_n^2}{r_n}, \qquad (4)$$

Дар асоси потулати якуми Бор, электрон дар гирди ядротанҳо дар мадорҳои муайян ҳаракат мекунад. Радиуси ин мадорро таносуби зеринро қаноат мекунад:

$$m\vartheta_n r_n = nh = n\frac{h}{2\pi}, \qquad (5)$$

Муодилаи (4) ва (5)-ро якҷоя ҳал намуда, ҳосил мекунем:

$$\vartheta_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 nh} \quad \text{ва} \quad r_n = \frac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi m e^2},$$

Натиҷаҳои ҳисоб карда шуда ба ҷадвали 1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1.

n	1	2	3
$\vartheta_n, \times 10^6\ м/с$	2,18	1,08	0,73
$r_n, \times 10^{12}\ м$	52,9	211,6	476,1

2. Энергияи кинетикӣ, потенсиалӣ ва пурраи электрон дар мадори якуми Бор ёфта шавад.

Ҳал: Дар асоси масъалаи 1, суръати ҳаракати электрон дар мадори n-уми Бор ин тавр ёфта мешавад:

$$\vartheta_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 nh}, \qquad (1)$$

Энергияи кинетикии электрон дар мадори n:

$$W_{к(n)} = \frac{m\vartheta_n^2}{2}, \qquad (2)$$

Формулаи (1)-ро ба (2) гузошта ҳосил меунем:

$$W_{к(n)} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}, \qquad (3)$$

Дар асоси шарти масъала n=1, қиматҳои бузургиҳоро ба формулаи (3) гузошта меёбем:

$$W_{к(1)} = 21{,}78 \cdot 10^{-19}\ Ҷоул = 13{,}6\ эВ,$$

Энергияи потенсиалии электрон баробар аст:

$$W_{п(1)} = -2W_{к(1)} = -27{,}2\ эВ,$$

Энергияи пурраи электрон:

$$W_{пурр} = W_{к(1)} + W_{п(1)} = -13{,}2\ эВ,$$

Зеро $W_{потр} = W_{к(1)} + W_{п(1)} = W_{к(1)} - 2W_{к(1)} = -W_{к(1)}$.

3. Энергияи кинетикии W_n электрондар мадори n-уми атоми гидроген ёфта шавад, барои n=1,2,3 ва ∞.

Ҳал: Энергияи кинетикии электрон дар мадори n $W_{к(n)} = \frac{m\vartheta_n^2}{2}$ мебошад. Дар асоси масъалаи 2, агар n=1 бошад, $W_{к(1)} = 13,6\,эВ$, агар n=2 бошад, $W_{к(2)} = 3,4\,эВ$, n=3 бошад, $W_{к(3)} = 1,51\,эВ$, n=∞ бошад, он гоҳ $W_{к(\infty)} = 0$.

4. Даври чархзании электрон Т дар мадори якуми Бор, атоми гидроген ва суръати кунҷии он ωёфта шавад.

Ҳал: Радиуси якуми Бор барои электрони атоми гидроген ва суръати ҳаракати он дар мадори n баробар аст:

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi m e^2}, \qquad (1)$$

$$\vartheta_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 nh}, \qquad (2)$$

Даври чархзании электрон:

$$T_n = \frac{2\pi r_n}{\vartheta_n}, \qquad (3)$$

Формулаи (1) ва (2)-ро ба (3) гузошта меёбем:

$$T_n = \frac{4\varepsilon_0^2 n^2 h^2}{me^4}, \qquad (4)$$

5. Калонтарин дарозии мавҷ дар соҳаи ултрабунафши спектри атоми гидроген ёфта шавад. Электрон бояд ба кадом суръати ҳурдтарин ϑ_{min} соҳиб бошад, ки ҳангоми ангезонидони атоми гидроген, ки электрон ба он бармехурад, ин хатгиспектр ҳосил шавад.

Ҳал: Дарозии мавҷи хатҳои спектри атоми гидроген барои ҳамаи серияҳо бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right), \qquad (1)$$

m=1, n= 2, 3, 4… серияи Лайман (соҳаи ултрабунафш).

Қимати калонтарини дарозии мавҷ, ҳангоми m=1, n=2 будан, мувофиқ меояд ба:

$$\frac{1}{\lambda_{max}} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = R\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{4}\right) = R\left(\frac{4-1}{4}\right) = \frac{3R}{4}, \qquad (2)$$

Пас

$$\lambda_{max} = \frac{4}{3R},$$

R-доимии Ридберг буда, қимати он $1,1x10^{-7}м^{-1}$ аст. Инро ба формула гузошта ҳисоб кунем:

$$\lambda_{max} = \frac{4}{3\cdot 1,1\cdot 10^{-7}\,м^{-1}} = 121\,нм, \quad \lambda_{max} = 121\,нм,$$

Аз тарафи дигар, аз формулаи де-Бройл барои зарраҳои релятивӣ

$$\lambda_{max} = \frac{h}{m\vartheta_{max}}\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}, \qquad (3)$$

Тарафи рости формули (2) ва (3)-ро баробар карда ҳисоб мекунем.

$$\frac{4}{3R} = \frac{h}{m\vartheta_{min}}\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2_{min}}{c^2}},$$

$$\vartheta_{min} = \frac{3Rhc}{\sqrt{16m^2c^2 + 9R^2h^2}} = \frac{3\cdot 1,1\cdot 10^7\cdot 6,63\cdot 10^{-27}\cdot 3\cdot 10^{10}}{\sqrt{16\,(9,1\cdot 10^{-31})^2\cdot(3\cdot 10^{10})^2 + 9\cdot 1,1\cdot 10^7\cdot 6,62\cdot 10^{-27}}} = 1,88\cdot 10^6\,\frac{м}{с},$$

6. Дарозии мавҷи хурдтарин λ_{min} ва калонтарини λ_{max} хатти спектри атоми гидроген дар соҳаи дидашавандаи спектр ёфта шавад.

Ҳал: Дарозии мавҷи хатҳои спектри атоми гидроген барои ҳамаи серияҳо аз формулаи умумикардашудаи Балмер муайян карда мешавад.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right), \qquad (1)$$

Барои қиматҳои m=1, 2, 3, 4, 5 ҷадвали 2-ро тартиб медиҳем.

Ҷадвали 2.

m	n	Серия	Соҳа
1	2, 3, 4…	Лайман	Ултрабунафш
2	3, 4, 5…	Балмер	Дидашаванда
3	4, 5, 6…	Пашен	Инфрасурх
4	5, 6, 7…	Брэкет	Инфрасурх
5	6, 7, 8…	Пфунд	Инфрасурх

Ҳамин тавр, соҳаи дидашавандаи спектр ба қиматҳои зерин m=2; n=3, 4, 5 мувофиқ меояд.

Аз инҷо маълум мешавад, ки дарозии мавҷи хурдтарини хатти спектри ин серия n=∞ мешавад.

Он гоҳ аз формулаи (1) ҳосил мешавад. ё ки $\frac{1}{\lambda_{min}} = \frac{R}{4}$ (то

саҳеҳии се қимат адади). Дарозии мавҷи калонтарин ба n=3,

$$\lambda_{min} = \frac{4}{R} = 365\ нм .$$

$$\lambda_{max} = 656\ нм ,$$

7. Потенсиали ионизатсионии атоми гидроген ёфта шавад?

Ҳал: потенсиали ионизатсионии атоми гидроген аз таносуби зерин ёфта мешавад?

$$A = eU , \qquad (1)$$

дар инҷо А- корест, ки барои электронро аз ҳолати муқимӣ (нормалӣ) ба беохири дур кардан иҷро мешавад. Барои атоми гидроген.

$$A = h\nu = hRC\left(\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2}\right), \qquad (2)$$

Ҳангоми m=1, n=∞ ҳосил мекунем: $A = hRC$, потенсиали ионизатсионӣ:

$$U = \frac{A}{e} = \frac{hRC}{e} = 13{,}6\ B ,$$

8. Потенсиали якуми ангезиши атоми гидроген ёфта шавад?

Ҳал: Потенсиали якуми ангезиши атоми гидроген аз қонуни бақои энергия ёфта мешавад?

$$W_{пурра} = W_{к(1)} - W_{к(3)}, \qquad (1)$$

$$W_{п(1)} = eU_1 , \qquad (2)$$

(2)-энергияи потенсиалии электрон, ки барои ангезиш сарф мешавад.

$$W_{к(n)} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}, \qquad (3)$$

Формулаи (2) ва (3)-ро ба (1) гузошта ҳосил мекунем.

$$eU_1 = \frac{me^4}{8\varepsilon^2 h^2}\left(\frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2}\right), \qquad (4)$$

Аз инҷо бо назардошти: $m_1 = 1$ ва $m_2 = 2$ муайян мекунем, ки:

$$U_1 = \frac{3me^3}{32\varepsilon_0^2 h^2} = 10{,}2\ B ,$$

9. Электрон ба кадом энергияи хурдтари W_{min} (бо электрон волт) бояд соҳиб шавад, ки ҳангоми бархурдан бо атомҳои

ангезонидашудаи гидроген ҳамаи хатҳои спектри серияҳои спектри атоми гидроген пайдо шавад? Ин электронҳо ба кадом суръати минимумӣ бояд соҳиб бошанд?

Ҳал: Ҳамаи хатҳои спектрии серияи спектрии атоми гидроген ҳангоми ионизатсияи атоми гидроген пайдо мешаванд. Бинобар он, энергияи хурдтарин:

$$W_{min} = eU = \frac{m\vartheta_{min}^2}{2}. \quad (1)$$

Азбаски $W_{min}=13,6эВ$ *аст* (ба масъалаи 7 нигаред) онгоҳ аз формулаи (1) меёбем:

$$\vartheta_{min} = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 2.2 \cdot 10^6 \frac{м}{с},$$

10. Энергияи электронҳои бомбаборонкунанда дар кадом ҳудуд бояд хобанд, ки ҳангоми ин электронҳо бо атомҳои ангезонидаи гидроген бархурдан спектри гироген танҳо як хати спектри дошта бошад?

Ҳал: энергияе, ки барои атомро ба ҳолати якуми ангезиш гузаронидан сарф мешавад, 10,2эВ аст (ба масъалаи 9 нигаред). Энергияе, ки атомро ба ҳолати дуюми ангезиш гузаронидан сарф мешавад (m=1, n=3), W_2=12.1 эВ мебошад. Ҳамин тавр, спектри гидроген танҲо ба як хатти спектр соҳиб мешавад, агар энергияи электронҳои бомбаборонкунанда дар ҳудуди 10.2эВ≤W≤12.1эВ хобад.

11. Электрон ба кадом энергияи хурдтарин W_{min} (бо электронволт) бояд соҳиб бошад, ки ҳангоми ин электронҳо бо атомҳои ангезонидаи гидроген бархурдан спектри гидроген аз сехати спектр иборат бошад?

Ҳал: дарозии мавҷи хатҳои спектри гидроген барои ҳамаи серияҳо аз формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right). \quad (1)$$

Барои серияи Лайман ду хатти аввал ба ин гуна дарозии мавҷ соҳиб мешаванд:

1) *агар m=1 ва n=2, он гоҳ* λ_1=121нм

2) *агар m=1 ва n=3, он гоҳ* λ_1=102,6нм

Ғайр аз ин, хатти якум дар серияи Балмер ҳангоми m=1, n=3 будан ба дарозии мавҷи λ_3=656,3 нм соҳиб мешавад. Энергияи хурдтарини электронҳои бомбаборонкунанда (нурбориш), ки барои пайдо кардани хатҳои спектрӣ лозим аст, W_{min} дар асоси қонуни бақои энергия ба энергияе баробар аст, ки барои атомро аз ҳолати асосӣ ба ҳолати ангезиш гузаронидан сарф мешавад, яъне $W_{min}= W_{n(1)}- W_{n(2)}$=12,03эВ.

12. Дар кадом ҳудуд бояд дарозии мавҷи λ нури якранг хобад, агар ҳангоми бо кванти ин рӯшноӣ ангезонидани атоми гидроген се хатти спектр мушоҳида шавад?

Ҳал: барои мушоҳидаи се хати спектр бояд, ки гузариши электрон дар атоми гидроген аз савияи электронии якум ба сеюм иҷро шавад. Дар ин мавриди ду хати серияи Лайман ва як хати серияи Балмер мушоҳида мешавад. Формулае, ки дарозии мавҷи ба хатти спектри гидроген мувофиқ аст, чунин мебошад:

$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, дар инҷо m ва n ададҳои мадор, R доимии Ридберг.

Он гоҳ:

$$\lambda = \frac{m^2 n^2}{R(n^2 - m^2)},$$

Барои дарозии мавҷи минималӣ m=1 ва n=3.

Пас $\lambda_{min} = \frac{9}{8R} = 102,6нм$,

Барои дарозии мавҷи максималӣ m=1, n=2, он гоҳ

$$\lambda_{max} = \frac{4}{3R} = 121,5нм,$$

Ҳамин тавр 102,6нм ≤ λ ≤ 121,5нм.

13. Энергияи кинетикии электрон дар атоми гидроген чанд қарад тағйир меёбад, ҳангоми атом фотони дарози мавҷаш λ=486 нм-ро афканад?

Ҳал: дар асоси постулати дуюми Бор, басомади афканиш, ки ба гузариши электрон аз як мадор ба мадори дигар мувофик бошад, аз формули зерин муайян карда мешавад:

Аз тарафи дигар $\Delta W = h\nu$ ва $\nu = \frac{\Delta W}{h}$. (1)

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (2)$$

дар инҷо c=3 10^8м/с –суръати рӯшноӣ, λ-дарозии мавҷи фотон, ки атом меафканад. Тарафи рости формулаи (1) ва (2)-ро баробар карда ҳосил мекунем: $\frac{\Delta W}{h} = \frac{c}{\lambda}$

Онгоҳ тағйирёбии энергияи кинетикии электрон ба бузургии

$$\Delta W = \frac{ch}{\lambda} = 2.55 \text{ эВ},$$

баробар аст.

14. Дарозии мавҷи нури якранг дар кадом ҳудуд мехобад, агар ҳангоми бо кванти рушноӣ ангезонидани атомҳои гидроген радиуси мадори электрон 9 маротиба зиёд шавад?

Ҳал: радиуси мадор, ки электрон дар атоми гидроген ҳаракат мекунад, дар асоси постулати якуми Бор таносуби зеринро қаноат мекунад:

$$m\vartheta_n r_n = n\hbar = n\frac{h}{2\pi}. \quad (1)$$

дар инҷо m-массаи электрон, ϑ_n-суръати он дар мадори n, r_n- радиуси ин мадор h=6.62x10^{-34}Ҷс- доимии Планк. Ба электрон қувваи Кулон таъсир мекунад:

$$F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2}, \quad (2)$$

Ин қувваи марказшитоб мебошад, ки ба электрон шитоби нормалиро таъмин мекунад:

$$a = \frac{\vartheta_n^2}{r_n}, \quad (3)$$

Дар асоси қонуни дуюми Ньютон:

$$F_m = ma_n. \quad (4)$$

Формулаи (2) ва (3)-ро ба (4) гузошта ҳосил мекунем:

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n^2} = m\frac{\vartheta_n^2}{r_n}, \quad (5)$$

Дар инҷо $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ *Кл – заряди электрон* , $E_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ *ф / м*

Муодилаи (1) ва (5)-ро якҷоя намуда, ҳосил мекунем:

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 k^2 h^2}{\pi m e^2}, \quad (6)$$

Мувофиқи $\frac{r_n}{r_\lambda} = 9$ шарт, он гоҳ аз формулаи (6) $\frac{n}{m} = 3$ мебарояд, ки.

Барои он ки, *n=3m* аст, он гоҳ гузариши электрон байни сатҳи энергии якум ва сеюм иҷро мешавад, пас (нигаред масъалаи 12) дарозии мавҷ:

$$102,6\text{нм} \le \lambda \le 121,5\text{нм}.$$

15. Ба панҷараи дифраксионӣ дастаи нур аз лулаи тахлиявӣ ба таври амудӣ(нормал) мефатад. Лула аз атоми гидроген пур карда шудааст. Доимии панҷара d=5мкм. Хатти спектр ба кадом гузариши электрон мувофиқ меояд? Мушоҳида ба воситаи ин панҷара дар спектри тартиби 5-ум зери кунҷи 41^0 гузаронида мешавад.

Ҳал: мувофиқи шарт масимуми асосӣ барои панҷараи дифраксионӣ:

$$d \sin \varphi = k\lambda, \qquad (1)$$

Дар ҳолати мо к=5, онгоҳ аз формулаи (1) ҳосил мекунем:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}, \qquad (2)$$

Тағйирёбии энергияи кинетикии электрон ҳангоми гузариш аз як мадор ба мадори дигар (нигаред ба масъалаи 13) аз таносуби зерин муайян карда мешавад:

$$\Delta W = \frac{ch}{\lambda}. \qquad (3)$$

Формулаи (2)-ро ба (3) гузошта меёбем:

$$\Delta W = \frac{chk}{d \sin \varphi} = 1.89 \text{ эВ},$$

Акнун муайян мекунем, ки кадом гузариш имконпазир аст: ҳангоми n=3 ба m=2 дар сарияи Балмер.

16. Дарозии мавҷи де-Бройлро барои электроне, ки дар мадори якуми Бор атоми гидроген ҳаракат мекунад, ёбед?

Ҳал: Дарозии мавҷи де-Бройл барои электрон (нигаред ба масъалаи 7) аз таносуби зерин ёфта мешавад:

$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta}\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}. \qquad (1)$$

дар ин ҷо

$$\vartheta_n = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 nh}. \qquad (2)$$

Формулаи (2)-ро ба (1) гузошта ҳосил мекунем:

$$\lambda = \frac{2\varepsilon_0 nh}{me^2}\sqrt{1-\frac{e^2}{4\varepsilon_0 n^2 h^2 c^2}} = 0.33 \text{ нм}.$$

17. Радиуси r якуми мадори электронии Бор барои атоми гелийи як маротиба ионизатсияшуда ва суръати ҳаракати электрон дар ин мадор ёфта шавад?

Ҳал: дар атоми гелийи як маротиба ионизатсияшуда ба электроне, ки дар мадори якуми Бор ҳаракат мекунад, қувваи Кулон таъсир мекунад:

$$F_k = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}, \qquad (1)$$

дар инҷо Z-рақами тартиби элементи ҷадвали Менделеев, $e=1{,}6\times10^{-19}$Кл заряди электрон, r_1-радиуси мадори якуми Бор. Ин қувва марказшитоб буда, ба электрон шитоби нормалиро медиҳад:

$$a_n = \frac{\vartheta_1^2}{r_1}, \qquad (2)$$

дар инҷо ϑ_1^2 – суръати электрон дар мадори якуми Бор. Дар асоси қонуни дуюми Нютон:

$$F_k = ma_n, \qquad (3)$$

Формулаи (1) ва (2)-ро ба (3) гузошта меёбем:

$$\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} = \frac{m\vartheta_1^2}{r_1}, \qquad (4)$$

Дар асоси постулати якуми Бор ҳаракати электрон дар атрофии ядро танҳо дар мадорҳои муайяне, ки радиуси он таносуби зеринро қаноат кунад, имконпазир аст:

$$m\vartheta_n r_n = n\frac{h}{2\pi},$$

дар инҷо n-ададди мадорҳо. Дар ҳолати мо n=1 аст, пас

$$m\vartheta_1 r_1 = n\frac{h}{2\pi}, \qquad (5)$$

Радиуси якуми Бор ва суръати харакати электронро дар ин мадор меёбем:

$$r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2} = 26{,}47\ нм \quad ва \quad \vartheta = \frac{Ze^2}{2\varepsilon_0 h} = 4{,}37 \cdot 10^6\ \frac{м}{с}.$$

18. Потенсиали якуми ангезиш U_1 ёфта шавад?

а) барои атоми гелийи як маротиба ионизатсияшуда;

б) барои атоми ду маротиба ионизатсияшудаи литий.

Ҳал: Дар асосои постулати дуюми Бор басомади афканишот ба гузариши электрон аз як мадор ба мадори дигар мувофиқ буда бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$h\nu = W_n - W_m, \tag{1}$$

дар инчо m ва n рақами мадорҲо (n>m). Дар ҳолати мо m=1 ва n=2. Дар ионҳои гидрогенмонанд, басомад аз таносуби зерин ёфта мешавад:

$$\nu = RcZ^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

дар инчо $R=1{,}097\times10^7 м^{-1}$ – доимии Ридберг. Қиматҳои m ва n-ро гузошта, ҳосил мекунем:

$$\nu = \frac{3RcZ^2h}{4}. \tag{2}$$

Формулаи (2)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$\nu = \frac{3RcZ^2h}{4} = W_n - W_m. \tag{3}$$

Барои ангезонидани ионҳои гидрогенмонанд. электронҳо бояд ба чунин энергия $W = eU_1$ соҳиб бошад онгоҳ дар асоси қонуни бақои энергия

$$W_n - W_m = eU_1, \tag{4}.$$

Тарафи чапи муодилаи (3) ва (4)-ро баробар намуда меёбем:

$$eU_1 = \frac{3RcZ^2h}{4},$$

Аз инчо потенсиали якуми ангезиши ионии гидроген монанд:

$$U_1 = \frac{3RcZ^2h}{4e},$$

Пас: а) барои атоми як маротиба ионизатсишудаи гелий Z=2, бинобарон U_1=40,8 В. б) барои атоми ду маротиба ионизатсияшудаи литий Z=3, бинобарон U_2=91.8 В.

19. Потенсиали ионизатсия ёфта шавад? а) атоми гелийи якмаротиба ионизатсияшуда, б) атоми ду маротиба ионизатсияшудаи литий.

Ҳал: потенсиали ионизатисияи ионии гидрогенмонандро аз муодилаи зерин меёбем: (1)

$$eU_1 = A_1,$$

дар инчо A_1-кори аз мадори нормалӣ ба беохир баровардани электрон.

Барои ионҳои гидрогенмонанд: (2)

$$A_1 = h\nu,$$

инчо: (3)

$$\nu = RcZ^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

Формулаи (3)-ро ба (2) гузошта ҳосил мекунем: (4)

$$A_1 = hRcZ^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

Ҳангоми m=1 ва n=∞ формулаи (4) намуди зеринро мегирад: (5)

$$A_1 = hRcZ^2,$$

Формулаи (5)-ро ба (1) мегузорем онгоҳ:

$$eU_1 = hRcZ^2,$$

Аз инчо потенсиали ионизатсия:

$$U_i = \frac{hRcZ^2}{e},$$

а) барои атоми як маротиба ионизатсишудаи гелий Z=2, бинобарон U_i=54,5 В. б) барои атоми ду маротиба ионизатсишудаи литий Z=3, бинобарон U_i=122,8 В.

20. Дарозии мавҷи фотонеро ёбед, ки ба гузариши электрон аз мадори дуюми Бор ба мадори якуми атоми як маротиба ионизатсияшудаи гели мувофиқ бошад?

Ҳал: басомади афканишоти фотони иони гидрогенмонанд (нигаред ба масъалаи 18) ҳангоми гузариши электрон аз мадори дуюми Бор ба якум баробар аст.

$$\nu = \frac{3RcZ^2}{4}, \qquad (1)$$

Аз тарафи дигар

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \qquad (2)$$

дар инчо λ дарозии мавҷи фотон. Тарафи рости муодилаи (1) ва (2)-ро баробар карда ҳосил мекунем:

ё $\frac{c}{\lambda} = \frac{3RcZ^2}{4}$ ин ки $\frac{1}{\lambda} = \frac{3RZ^2}{4}$, аз инчо дарозии мавҷ

$$\lambda = \frac{4}{3RZ^2}.$$

Барои атоми як маротиба ионизатсишудаи $\lambda = 30,4\,нм$ гелий Z=2.

21. Масъалаи 21-ро барои атоми литийи ду маротиба ионизатсишуда ҳал кунед?

Ҳал: дарозии мавҷи фотон ба гузариши электрон аз мадори дуюми Бор ба якум (нигаред ба масъалаи 19) баробар аст ба:

$$\lambda = \frac{4}{3RZ^2}.$$

Барои атоми литийи ду маротиба ионизатсияшуда Z=3 бинобарон λ=13,5нм.

22. Д-хате, ки литий дар натиҷаи гузариш аз як мадори атом ба дигар мадор афканад, энергияи атом ба бузургии $\Delta W = 3,37 \cdot 10^{-19}\,Ч$ кам мешавад. Дарозии мавҷи λ Д-хати натрий ёфта шавад?

Ҳал: Тағйирёбии энергияи кинетикии электрон ҳангоми гузариш аз як мадори атом ба дигар (нигаред ба масъалаи 14) баробар аст:

$$\Delta W = \frac{ch}{\lambda},$$ аз инҷо дарозии мавҷи Д-хати натрий

$$\lambda = \frac{ch}{\Delta W} = 589\ нм$$

23. Асбоб барои муайян кардани потенсиали резонансиии натрий дода шуда аст. Лӯла аз буғи натрий пур карда шудааст. Электродҳои катод (К) ва анод (А) потенсиалашон якхела аст. Дар кадом фарқи потенсиали тақвиятдиҳандаи байни К ва А хати спектри дарозии мавҷаш 589 нм мушоҳида мешавад?

Ҳал: аз қонуни бақои энергия, энергияи потенсиалии майдони электрикии байни катод ва анод;

$$W_n = eU, \qquad (1)$$

Барои тағйирёбии энергияи кинетикии электронҳо, ки ҳангоми гузариш аз як мадор ба дигар (нигаред ба масъалаи 14) сарф мешавад:

$$\Delta W = \frac{ch}{\lambda}, \qquad (2)$$

яъне:

$$\Delta W_n = \Delta W, \qquad (3)$$

Формулаи (1) ва (2)-ро ба (3) гузошта $eU = \frac{ch}{\lambda}$ меёбем:

Аз инҷо фарқи потенсиали шитобдиҳанда:

$$U = \frac{ch}{e\lambda} = 2{,}1\ В.$$

24. Электрон аз фарқи потенсиали 4,9 В мегузарад, бо атомҳои симоб бархурда, онҳоро ба ҳолати ангезиши якум мегузаронад. Фотон ба кадом дарозии мавҷ соҳиб мешавад агар атоми симоб ба ҳолати нормалӣ баргардад?

Ҳал: фарқи потенсиали шитобдиҳанда (нигаред ба масъалаи 23) баробар $U = \frac{ch}{e\lambda}$ аст:, аз инҷо дарозии мавҷи фотон, ки ба баргаштаи атоми симоб ба ҳолати нормали мувофиқ аст:

$$\lambda = \frac{ch}{eU} = 533\ нм.$$

25. Дастгоҳ барои мушоҳидаи дифраксияи нури рентгенӣ дода шудааст. Ҳангоми давр занонидани булӯр танҳо нуре аз лавҳаи суратгирӣ инъикос мешавад, ки дарозии мавҷи муодилаи Вульф-Брегг-ро қаноат кунонад. Дар кадом кунҷи хурдтарини φ байни булӯр ва дастаи нурҳои рентгенӣ ин нур бо дарозии мавҷи 20 пм иникос мешавад? Доимии панҷара d=303 пм мебошад.

Ҳал: кунҷи хурдтарин ба спектри тартиби якум мувофиқ меояд яъне:

$\lambda = 2d \sin \varphi$, аз инҷо $\sin \varphi = \frac{\lambda}{2d} = 0{,}033$, $\varphi = 2^{\circ}$;

26. Доимии панҷараи d намаки санг ёфта шавад? Массаи молии он M=0,058кг/мол ва зичиаш $2{,}2\times10^{3}$кг м$^{-3}$. Кристалли намаки санг ба таркиби кубии оддӣ соҳиб аст.

Ҳал: Ҳаҷми молярии намаки санг $V = \frac{\mu}{\rho}$. Миқдори ионҳо дар ҳаҷми молярӣ $V_1 = \frac{\mu}{2\rho N}$ ба $2N_A$ баробар аст. Ҳаҷме, ки ба як ион рост меояд: аз инҷо масофаи байни ионҳо ва доимии панҷара:

$$d = \sqrt[3]{V_1} = \sqrt[3]{\frac{\mu}{2\rho N_A}} = 281 \cdot 10^{-11}\ м.$$

27. Ҳангоми дар таҷриба муайян кардани доимии Планк h бо истифодабарии нури рентгенӣ булӯр дар таҳти кунҷи ϑ гузошта мешавад. Фарқи потенсиале, ки ба электродҳои милаи рентгенӣ дода мешавад, то он бузургие зиёд карда мешавад, ки хати ба кунҷи ϑ мувофиқ буда пайдо шавад. Доимии Планк h аз натиҷаҳои кристалли намаки санг дар таҳти кунҷи $\vartheta=14^{0}$ ва фарқи потенсиалҳо муайян карда мешавад, ки якумин бор хати ба ин кунҷ мувофиқ буда пайдо шуд U=91 кВ. Доимии панҷараи булӯр d=281 нм мебошад.

Ҳал: Ҳангоми зиёд кардани фарқи потенсиалҳо, ки дар электродҳои лулаи рентгени пайваст аст, хати спектр дар спектри тартиби якум пайдо мешавад, ки дарозии мавҷи он муодилаи зеринро қаноат мекунад:

$$eU = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \qquad (1)$$

Аммо дар асоси формулаи Вулф-Брегг:

$$\lambda = 2d \sin \varphi. \qquad (2)$$

Аз (1) ва (2) ҳосил мекунем:

$$h = \frac{eU\lambda}{c} = \frac{eU\ 2d \sin \varphi}{c} = 6{,}6 \cdot 10^{-34}\ Чс,$$

28. Ба электродҳои лулаи рентгенӣ фарқи потенсиалҳои U=60 кВ дода мешавад. Хурдтарин дарозии мавҷи нури рентгенӣ, ки аз ин лула ҳосил мекунем λ=20,6нм. Аз ин натиҷаҳо доимии Планк ёфта шавад?

Ҳал: басомади ба сарҳади кӯтоҳи спектри яклухти рентгенӣ мувофиқ оянда:

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda_{min}}, \qquad (1)$$

Дар инҷо λ_{min} дарозии мавҷи хурдтарини нури рентгениро, ки аз ин лула гирифта мешавад, аз таносуби зерин ёфтан мумкин аст:

$$h\nu_0 = eU \ , \qquad (2)$$

Формулаи (1) ба (2) гузошта $\frac{hc}{\lambda_{max}} = eU$ меёбем:. Аз инҷо доимии Планк-ро ҳисоб мекунем:

$$h = \frac{eU_{max}}{c} = 6{,}62 \cdot 10^{-34} \ Дж \ ,$$

29. Дарозии мавҷе, ки сарҳади кутоҳ мавҷи спектри рентгенро дар ҳолати ба милаи рентгенӣ фарқи потенсиали 30; 40; 50; пайваст кардан муайян мекунад, ёфта шавад?

Ҳал: басомаде, ки ба сарҳади кӯтоҳмавҷи спектри яклухти рентгенӣ (нигаред ба масъалаи 28) мувофиқ аст, аз таносуби зерин ёфтан мумкин аст:

$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda}, \qquad (1)$$

$$h\nu_1 = eU \ , \qquad (2)$$

Формулаи (1)-ро ба (2) мегузорем онгоҳ: $\frac{hc}{\lambda} = eU$, аз инҷо дарозии мавҷ, ки сарҳади кӯтоҳи спектри бефосилаи рентгениро муайян мекунад: $\lambda = \frac{hc}{eU}$. Агар U_1=30 кВ бошад, он гоҳ дарозии мавҷ λ_1=43,1 пм, агар U_2=40 кВ бошад, он гоҳ дарозии мавҷ λ_2=31 пм, гар U_3=50 кВ бошад, он гоҳ дарозии мавҷ λ_3=24,8 пм мешавад.

30. Дарозии мавҷи сарҳади кӯтоҳмавҷи спектри бефосилаи рентгениро ёбед,агар дар мавриди оҳиста, шиддати лулаи рентгениро то ΔU =23 кВ кам кардан дарозии мавҷи ҷустаташаванда 2 маротиба зиёд шавад.

Ҳал: дарозии мавҷе, ки сарҳади кӯтоҳмавҷи спектри бефосилаи рентгениро (нигаред ба масъалаи 29) муайян мекунад, баробар аст:

$$\lambda = \frac{hc}{eU}, \qquad (1)$$

Аз шарти $2\lambda = \frac{hc}{e(U - \Delta U)}$, (2)

Формулаи (2)-ро ба (1) тақсим карда ҳосил мекунем:

$$\frac{hc}{e(U - \Delta U)} = 2,$$

Аз инҷо

$$U - 2\Delta U \ , \qquad (3)$$

Баробарии (3)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$\lambda = \frac{hc}{2e\Delta U} = 27 \ нм \ ,$$

31. Дарозии мавҷи гамма-афканишоти радий λ=1,6 пм мебошад. Кадом фарқи потенсиали U ба лулаи рентгенӣ гузоштан лозим аст, ки нури рентгениро бо ин дарозии мавҷ ҳосил кунем?

Ҳал: дарозии мавҷи гамма-афканишоти радий (ниг. ба масъалаи 29) баробар аст ба $\lambda = \frac{hc}{eU}$, аз инҷо фарқи потенсиал, ки ба лулаи рентгенӣ бояд дода шавад, баробар аст:

$$U = \frac{hc}{\lambda} = 775 \ кВ \ ,$$

32. Кадом фарқи потенсиали хурдтаринро бояд ба лулаи рентгенӣ гузорем, ки ҳамаи хатҳои К-серияро пайдо кунем, агар ба сифати маводи анод истифода барем: а) мис, б) нуқра, в) волфрам, г) платина?

Ҳал: Ҳамаи хатҳои К-серия (инчунин хатҳои сарияи боқимонда) якбора пайдо мешавад, вақте ки электрон аз К-мадори атом дур карда шавад (бароварда шавад). Бинобарон фарқи U потенсиале гузоштан лозим аст, ки таносуби

$eU = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ -ро қаноат кунад. Дар инчо λ дарозии мавч, ки ба гузариши беохири дуршавии электрон аз К-мадор мувофиқ аст, дар холати додашуда дарозии мавч λ баробар аст: а) 138 пм, б) 48,4 пм, в) 17,8 пм, г) 15,8 пм. Фарки потенсиали зарурӣ аз формулаи $U = \frac{hc}{e\lambda}$ ёфта мешавад. Фарки потенсиалро меёбем: а) 9кВ; б) 25,3кВ; в) 69 кВ; г)79кВ.

33. Ҳисобида шавад, ки формулаи Мозел бо саҳеҳии хеле аниқ алоқаманди байни дарозии мавҷи нури рентгении характеристикиро аз рақами тартиби элемент, ки анод сохта шудааст, медиҳад. Дарозии мавҷи хурдтарини хати К-серияи нури рентгенӣ, ки лула бо анод медиҳад, ёфта шавад. Брои: а)оҳан, б) мис, в) молибден, г) нукра, д) тантал, е) волфрам, ж) платина, барои К-серияи доимии экрани (постоянная экранирования) В=1.

Ҳал: баробарии зеринро истифода мебарем:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z-b)\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right). \qquad (1)$$

Дарозии мавҷи калонтарини К-серия ба хати K_a мувофиқ меояд. Онгоҳ дар формулаи (1) бояд чунин қиматҳоро истифода барем: b=1, m=1; n=2: λ муодилаи (1)-ро нисбати λ ҳал карда, дарозии λ мавҷро меёбем: а) 194пм; б) 155пм; в) 72 пм; г) 57,4 пм; д) 23,4 пм; е) 22,8 пм; ж) 20,5 пм; қимати дарозии мавҷ ба таври эксперементалӣ (тачрибавӣ) ёфта шудааст; хатҳои К-серия чунинаст: а) 194пм; б) 154пм; в) 71,2 пм; г) 56,3 пм; д) 22 пм; е) 21,4 пм; ж) 19 пм;

34. Доимии экранӣ (Амнияти радиатсионӣ) барои К-серияи нури рентгенӣ ёфта шавад, агар маълум бошад, ки ҳангоми гузариши электрон дар атоми волфрам аз М ба L-қабат (қишр) нури рентгенӣ бо дарозии мавҷи λ=143 пм хориҷ мешавад.

Ҳал: Гузариши электрон аз М ба L-қишр ба тағйирёбии m=2 ва n=3 мувофиқ аст. Рақами тартибии волфрам дар ҷадвали Менделеев Z=74. Аз формулаи Мозел маълум аст ки:

$b = M \to L = \frac{1}{\sqrt{\lambda R(m^2 - n^2)}}$; қиматҳоро гузошта меёбем: b=55.

35. Ҳангоми гузариши электрон дар атом аз L ба К-қишр нури рентгении дарозии мавҷаш 785 пм хориҷ мешавад. Ин кадом атом аст? Барои К-қишр доимии экрани ба 1 баробар аст.

Ҳал: дарозии мавҷи нури рентгении характеристикӣ аз формулаи Мозел ёфта мешавад.

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z-b)^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right), \qquad (1)$$

Дар инчо Z- адади тартибии элементҳо, b- доимии экранӣ. Дар ин маврид барои К-қишр m=1 ва n=2. Аз формулаи (1) меёбем:

$$Z = \frac{mn}{\sqrt{R\lambda(n^2 - m^2)}} + b = 40.$$

Аз ҷадвали Менделеев меёбем, ки элемент бо адади тартибиаш 40 сирконий аст.

36. Ҳаво дар ҳаҷми V бо нури рентгенӣ нурбориш мешавад. Дозаи экспозитсионии афканишот 4,5 рад аст. Кадом ҳиссаи атомҳо, ки дар ҳаҷми додашуда мавҷуд аст, бо ин афканишот ионизатсия мешаванд?

Ҳал: дозаи экспозитсионии афканишот аз формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$Д_э = \frac{\Delta Q}{\Delta m}, \qquad (1)$$

дар ин ҷо

$$\Delta Q = Ne, \qquad (2)$$

ҷамъи заряди электрикӣ ҳамаи ионҳои аломаташон якхела, ки электронҳо пайдо мекунанд, ҳангоми нурбориши ҳаво озод шуданд, аз шарти пурра истифодабарии қобилияти ионизатсионии электронҳо истифода мебарем:

$$\Delta m = \frac{N}{N_A}\mu, \qquad (3)$$

дар инчо m-массаи ҳаво.

Таносуби (2) ва (3)-ро ба (1) мегузорем он гоҳ ҳосил мекунем:

$$Д_э = \frac{N_0 N_A e}{N \mu},$$

аз инчо ҳиссаи атомҳои афканишоти ионизатсионӣ баробар аст:

$$\frac{N_0}{N} = \frac{\mu Д_э}{N_A e}.$$

Ҳаво дар наздикшавии якум нитроген бо массаи молии 0,028 кг/мол ҳисобида мешавад. Қимати адади ин бузургиҳоро гузошта меёбем:

$$\frac{N_0}{N} = 3{,}42 \cdot 10^{-10}.$$

37. Лулаи рентгенӣ дар ягон масофа тавонои дозаи экспозитсиониро пайдо мекунад. $P_э$=2.58·10^{-5}А/кг. Кадом адади N ҷуфти ионҳоро ин лула дар воҳиди вақт ва воҳиди массаи ҳаво дар масофаи додашуда пайдо мекунад?

Ҳал: Тавоноии дозаи экспозитсионӣ:

$$P_э = \frac{Д_э}{\Delta t}, \qquad (1)$$

дар инҷо

$$Д_э = \frac{\Delta Q}{\Delta m}, \qquad (2)$$

дозаи экспозитсионии афканишот. фосилаи вақте, ки ин дозаро мегирад (қабул мекунад), -массаи модаи ионизатсишуда;

$$\Delta Q = Ne, \qquad (3)$$

ҷамъи заряди электри ҳамаи ионҳои аломаташон якхела. Таносуби (2) ва (3)-ро ба (1) гузошта ҳосил мекунем:

$P_э = \frac{Ne}{\Delta t \Delta m}$, аз инҷо адади ҷуфти ионҲо $N = \frac{P_э \Delta t \Delta m}{e}$.

Аз шарти $\Delta t = 1c$ ва Δm=1 кг, он гоҳ қиматҳоро гузошта меёбем:

$$N = 1{,}61 \cdot 10^{14} c^{-1} кг^{-1}.$$

38. Ҳавое.ки дар шароити нормалӣ дар камераи ионизатсионии ҳаҷмаш 6 см^3 ҷой дорад, бо нури рентгенӣ нурбориш мешавад. Тавоноии дозаи экспазитсионии нури рентгенӣ 0,48 мР/соат аст. Ҷараёни ионизатсионии сершударо ёбед?

Ҳал: Формулае, ки тавонои дозаи экспозитсиониро муайян мекунад:

$$P_э = \frac{Д_э}{\Delta t}, \qquad (1)$$

$$Д_э = \frac{\Delta Q}{\Delta m}. \qquad (2)$$

(2)-дозаи экспозитсионии афканишот,-Δt фосилаи вақт, ки ин доза қабул карда мешавад. Таносуби (2)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$P_э = \frac{\Delta Q}{\Delta m \Delta t}, \qquad (3)$$

Ҷараёни сершудаи ионизатсионӣ $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, аз инҷо ҷамъи заряди электрикӣ ҳамаи ионҳои аломаташон якхела

$$\Delta Q = I_c \Delta t, \qquad (4)$$

Формулаи (4)-ро ба (3) мегузорем онгоҳ: $P_э = \frac{I_c}{\Delta m}$, аз инҷо ҷараёни сершудаи ионизатсионӣ баробар мешавад:

$$I_c = P_э \Delta m, \qquad (5)$$

Аз муодилаи Менделеев-Клапейрон $PV = \frac{\Delta m}{\mu} RT$, бо назардоште, ки массаи молии ҳаво 0,029 кг/мол аст, ҳосил мекунем:

$$\Delta m = \frac{PV\mu}{RT}, \qquad (6)$$

Формулаи (6)-ро ба (5) мегузорем. Охирон ҳосил мешавад:

$I_s = \frac{P_s PV\mu}{RT}$ ё инки: $I_s = 10^{-12}$ А

39. Барои алюминий (Al) ғафсии қабати $X_{1/2}$ нимфурӯбарии нури рентгении дароз мавҷ ёфта шавад?

Барои ин дарозии мавҷ зариби фурубурди массавӣ барои алюминий қимати зерин дорад:

$\mu_м$=5,3м^3/кг

Ҳал: Интенсивияти дастаи нури рентгенӣ, ки аз мобайни лавҳаи ғафсиаш X мегузарад, аз формулаи зерин ёфта мешавад:

$$J = J_0 e^{-\mu X}. \quad (1)$$

Инҷо J_0- интенсивияти дастаи ба лавҳа афтанда, μ- зариби хатти фурӯбурд, зариби массавӣ фурӯбурд $\mu_м$ бо зариби хатти фурӯбурд μ алоқаманд аст:

$$\mu_м = \frac{\mu}{\rho} \text{ аз инҷо } \mu = \mu_м \rho. \quad (2)$$

Таносуби (2)-ро ба (1) мегузорем:

$$J = J_0 e^{-\mu_м \rho X}. \quad (3)$$

аз қабати ғафсии фурӯбурд мегузарад, ки ба ғафсии қабати нимсустшавии $X_{1/2}$ баробар аст. Онгоҳ нури ренгтгенӣ дорои интенсивияти

$$J = \frac{J_0}{2}, \quad (4)$$

мебошад. Формулаи (4)-ро ба (3) мегузорем онгоҳ ҳосил мекунем:

$$\frac{1}{2} = exp(-\mu_м \rho X_{1/2}). \quad (5)$$

Ифодаи (5)-ро логарифмонида, қимати ғафсии қабати нимфурӯравии сустшавиро меёбем:

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu_м \rho} = 0,5 мм.$$

40. Интенсивнокии нури рентгении дарозии мавҷаш λ=20пм ҳангоми гузариш аз қабати оҳани ғайсиаш 0,15мм чанд маротиба кам мешавад? Зариби массави фурубурди оҳан барои ин дарозии мавҷ $\mu_м$=1,1м^3/кг аст.

Ҳал: интенсивнокии дастаи нури рентгенӣ, ки аз мобайни лавҳаи ғафиаш d (ниг. ба мас. 39)мегузарад баробар аст:

$$J = J_0 \exp(-\mu_м \rho d).$$

Аз инҷо $\frac{J}{J_0} = \exp(\mu_м \rho d) = 3,68$ *маротиба кам мешавад*.

41. Ғафсии қабати нимсустшавӣ $X_{1/2}$ барои оҳан ёфта шавад?

Ҳал: Ғафсии қабати нимсустшавӣ:

$$X_{1/2} = \frac{\ell n 2}{M m P} = 79,96 н.м.,$$

42. Дар ҷадвали 1 барои баъзе элементҳо (маводҳо) қимати қабати ғафси нимсустшавӣ нури рентгени энергияи он 1 МэВ оварда шудааст. Зариби хаттӣ ва массаи фурӯбурди маводҳо барои энергияи додашудаи нури рентгенӣ ёфта шавад.

Ин натиҷаҳо барои кадом дарозии мавҷи нури рентгенӣ гирифта шудааст?

Ҷадвали 1.

Мода	**Об**	**алюминий**	**оҳан**	**сурб**
$X_{1/2}$, см	10,2	4.5	1,56	0,87

Ҳал: ғафсии ним сустшавии (нигаред ба масъалаи 39) баробараст:

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu_м \rho},$$

аз инҷо зариби массавии фурӯбурд

$$\mu_м = \frac{\ln 2}{X_{1/2} \rho}, \quad (1)$$

Аз тарафи дигар:

$$\mu_м = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2)$$

Тарафҳои рости муодилаи (1) ва (2)-ро баробар карда меёбем:

$$\mu = \frac{\ln 2}{X_{\frac{1}{2}}}. \qquad (3)$$

Қиматҳои бузургиҳоро ба формулаи (1) ва (3) гузошта, ҳисоб мекунем ва ҷадвали 2-ро тартиб медиҳем:

Ҷадвали 2

Мода	Об	алюминий	оҳан	сурб
$X_{1/2}$, см	10,2	4,5	1.56	0,87
$\rho, кг/м^3$	1000	2600	7900	11300
$\mu, м^{-1}$	6,7	16	44	77
$\mu_м \cdot 10^{-3}, м^2/кг$	6,7	6,2	5,6	6,8

Энергияи нури рентгенӣ баробар $W = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ аст аз инҷо дарозии мавҷ.

$$\lambda = \frac{hc}{W} = 1{,}24\ нм.$$

Радиофаъолият.

1. Чанд атомҳои полоний аз N=106 атомҳо дар фосилаи вақти 1 шабонарӯз коҳиш мехӯрад?

Δt.

Ҳал: дар фосилаи вақти адади атомҳое, ки коҳиш мехуранд:

$$|\Delta N| = \lambda N \Delta t, \qquad (1)$$

Ин формула истифода мешавад, ҳангоми $\Delta t \le T_{\frac{1}{2}}$, инҷо $T_{\frac{1}{2}}$ - даври нимкоҳиш. Даври нимкоҳиши полоний $T_{1/2}$=138 шабонарӯз, пас, барои шабонарӯз адади атомҳои коҳиш мешударо аз формулаи (1) муайян кардан мумкин аст, ки: $\Delta t = 1$. Қиматҳоро гузошта меёбем:

$$|\Delta N| = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} N \Delta t = 5025 \ шабонарӯз^{-1}.$$

2. Аз $N=10^6$ адади умумии радон чандтои он дар фосилаи вақти $\Delta t = 1$ шабонарӯз коҳиш мехӯранд?

Ҳал: даври нимкоҳиши радон 3,82 шабонарӯз. Мо формулаи $N = N_0 e^{-\lambda t}$-ро истифода мебарем, онгоҳ миқдори атомҳои кофташаванда (ҷусташаванда).

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}),$$

Қиматҳои ин бузургиҳоро гузошта ҳосил мекунем:

$$\Delta N = 1.67 \cdot 10^5 \ шабонарӯз^{-1},$$

3. Фаъолияти А массаи m=1 г радиро ёбед?

Ҳал: фаъолияти модаи радиофаъол адади коҳиш, ки дар фосилаи вақт мегузарад.

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda N, \qquad (1)$$

дар инҷо λ - доимии коҳиш, N-адади атомҳои модаи радиофаъол. Даври нимкоҳиш ва доимии коҳиш бо таносуби зерин ба ҳам алоқаманданд.

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad аз\ ин\ чо \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}, \qquad (2)$$

Адади атомҳои коҳишшудаи радий баробар аст:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A, \qquad (3)$$

дар инҷо μ=226г/мол-массаи молии ради, доимии $N_A=6{,}02\cdot10^{23}$ мол$^{-1}$доимии Авогадро. Формулаи (2) ва (3)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$A = \frac{mN_A \ln 2}{\mu T_{\frac{1}{2}}} = 3,68 \cdot 10^{10} Бк.$$

4. Массаи m радонро ёбед? Фаъолияти он A=3,7·10^{10}Бк мебошад.

Ҳал: фаъолияти модаи радиофаъол (нигаред ба масъалаи 3) баробараст:

$$A = \frac{mN_A \ln 2}{\mu T_{\frac{1}{2}}},$$

аз инҷо массаи модаи радиофаъол баробар аст ба:

$$m = \frac{A\mu T_{\frac{1}{2}}}{N_A \ln 2} = 6,49 \cdot 10^{-9} кг.$$

5. Массаи полоний $_{84}Po$ -ро ёбед? Фаъолияти он 3,7·10^{10}Бк мебошад.

Ҳал: массаи модаи радиофаъол (нигаред ба масъалаи 4) баробараст:

$$m = \frac{A\mu T_{\frac{1}{2}}}{N_A \ln 2} = 0,22 мг.$$

6. Доимии коҳиши радонро ёбед? Агар маълум бошад, ки адади атомҳои радон дар фосилаи вақти 1 шабонарӯз ба 18,2% кам мешавад.

Ҳал: адади атомҳои модаи радиофаъол dN, ки дар фосилаи вақти dt коҳиш мехӯранд, ба адади атомҳои мавҷуд буда мутаносиб мебошандва аз таносуби зерин ёфта мешавад:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

Аз инҷо тағйирёбандаҳоро тақсим карда меёбем:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt.$$

Ин муодиларо интегронида ҳосил мекунем:

$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$ аз инҷо доимии коҳиш баробар мешавад:

$$\lambda = -\frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}{t}. \quad (1)$$

Дар асоси шарти масъала:

$$N = (1-x)N_0, \quad (2)$$

дар инҷо N_0- адади атомҳо бо гузашти вақти t, x=0,182- ҳиссаи атомҳо, ки дар фосилаи вақти t коҳиш мехӯранд.

Формулаи (2)-ро бо (1) гузошта ҳосил мекунем:

$$\lambda = -\frac{\ln(1-x)}{t} = 2,33 \cdot 10^{-6} c^{-1},$$

7. Фаъолияти хос a_m ёфта шавад? Барои: а) уран $^{238}_{92}U$; б) радон $^{222}_{86}Rn$.

Ҳал: фаъолияти хоси модаи радиофаъол гуфта фаъолият дар воҳиди массаро меноманд:

$$a_m = \frac{a}{m}, \quad (1)$$

Азбаски фаъолияти модаи радиофаъол (ниг ба мас 3) баробар аст:

$$a = \frac{mN_A \ln 2}{\mu T_{\frac{1}{2}}}, \quad (2)$$

Онгоҳ, таносуби (2)-ро ба (1)- гузошта меёбем:

$$a_m = \frac{N_A \ln 2}{\mu T_{\frac{1}{2}}},$$

а) барои уран $_{92}U^{235}$ μ=235г/мол, бинобарон,

$T_{\frac{1}{2}} = 7{,}1 \cdot 10^{8}$ сол, $a_m = 7{,}93 \cdot 10^{7}$ Бк / кг

б) барои радон ${}_{92}R_n^{235}$ μ=222г/мол, $T_{\frac{1}{2}} = 3{,}82$ шабонарӯз бинобарон,

$$a_m = 5{,}69 \cdot 10^{18} \text{ Бк / кг}.$$

8. Қайдгираки ионизатсионии Гейгер-Мюлер ҳангоми набудани модаи радиофаъол импулсҳои бегонаро (фон) ба қайд мегирад. Импулсҳои бегона аз ҳисоби нурҳои кайҳонӣ ё олудашавӣ аз модаҳои радиофаъол мавҷуданд. Кадом массаи радон ба импулсҳои бегона мувофиқат мекунад, ки дар фосилаи вақти t=5с як парто (отброс) диҳад?

Ҳал: адади атомҳои модаи радиофаъол, ки дар фосилаи вақти Δt коҳиш мешавад, аз формулаи зерин ёфта мешавад:

$$|\Delta N| = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} N \Delta t.$$

(ба масъалаи 1 нигаред)

Адади атомҳои ибтидоӣ:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A,$$

Тибқи шарти $\Delta N = 1, \Delta t = 5c$ шарти масъала аст, пас

$$1 = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \frac{m}{\mu} N_A t,$$

онгоҳ, $m = \frac{\mu T_{\frac{1}{2}}}{N_A t \ln 2}$ қиматҳои ин бузургиҳоро гузошта ҳосил мекунем:

$$m = 3{,}5 \cdot 10^{-20} \text{ кг}.$$

9. Ба воситаи қайдгираки ионизатсионӣ тадқиқи фаъолияти баъзе изотопҳои радиофаъол гузаронида шуд. Дар фосилаи авали вақти қайдгирак 75 парто(отброс) дар фосилаи вақти t=10 с нишон дод. Кадом адади партоҳоро қайдгирак дар фосилаи

вақти 10с қайдгирак бо гузаштани вақт $t = T_{\frac{1}{2}}$ нишон дод? Ҳисобида шавад, ки $T_{\frac{1}{2}} >> 10\,c$.

Ҳал: дар аввали саршавии фосилаи вақт фаъолияти изотопии радиофаъол баробар аст:

$$a_1 = \frac{N_0}{t}, \tag{1}$$

бо гузашти вақт:

$$t = T_{\frac{1}{2}}, \tag{2}$$

Пас:

$$a_2 = \frac{N}{t}, \tag{3}$$

Дар инҷо N_0 ва N адади атомҳои изотопи радиофаъоли мувофиқбуда дар фосилаи вақти аввал ва бо гузашти вақти t_1, ки бо ҳам бо ифодаи $N=N_0\exp(-\lambda t)$ алоқаманд мебошанд. Аз ин ҷо

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-\lambda t_1),$$

ё ин ки, бо назардошти (2),

$$\frac{N}{N_0} = \exp\left(-\frac{\lambda T_{\frac{1}{2}}}{2}\right), \tag{4}$$

Даври нимкоҳиш ва доимии коҳиш бо таносуби зерин ба ҳам алоқаманданд:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}, \tag{5}$$

Аз инҷо

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda},$$

Таносуби (5)-ро ба (4) гузошта ҳосил мекунем:

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-\frac{\ln 2}{2}), \qquad (6)$$

Формулаи (3)-ро ба (1) тақсим карда меёбем:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{N}{N_0}. \qquad (7)$$

Формулаҳои (6) ва (7)-ро муқоиса карда меёбем:

$$\frac{a_2}{a_1} = \exp(-\frac{\ln 2}{2}),$$

аз инҷо:

$$a_2 = a_1 \exp(\frac{\ln 2}{2}) = 530 \quad партохо \quad .$$

10. Баъзе изотопҳои радиофаъол дорои коҳиши доимии $4 \cdot 10 \cdot 10^{7} с^{-1}$ мебошанд. Баъди кадом вақт, 75% массаи атомҳои аввала коҳиш меёбад?

Ҳал: адади атомҳои изотопии радиофаъол дар фосилаи вақти аввал адади он ба гузаштани вақт t бо таносуби зерин алоқаманд аст.

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \qquad (1)$$

дар инҷо:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A, \qquad (2)$$

ва

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_A, \qquad (3)$$

Таносуби (2) ва (3)-ро ба(1) гузошта, пайдо мекунем:

$$m = m_0 \exp(-\lambda t), \qquad (4)$$

Бо шарти:

$$m = (1 - 0.75)m_0 = 0.25\, m_0, \qquad (5)$$

формулаи (5)-ро ба (4) гузошта меёбем:

$$\exp(-\lambda t) = 0.25 = \frac{1}{4}, \text{ ё ин ки } \exp(\lambda t) = 4 \qquad (6)$$

Муодилаи (6)-ро логарифмронида, ҳисоб мекунем: $\lambda t = \ln 4$

аз инҷо $t = \frac{\ln 4}{\lambda} = 3.47 \cdot 10^{\circ} c = 40.11$ шабонарӯз

11. Урани табий аз омехтаи се изотопҳо иборат аст:

$$^{234}_{92}U, \; ^{235}_{92}U, \; ^{238}_{92}U,$$

Таркиби $^{235}_{92}U$ хеле кам (0,006%) мебошад, ҳиссаи $^{235}_{92}U$ 0,71% боқимондаи масса $^{238}_{92}U$ (99,28%) ташкил мекунад. Даври нимкоҳиши ин изотопҳоТ$_{1/2}$ мувофиқан баробар аст: $2{,}5 \cdot 10^{5}$сол, $7{,}1 \cdot 10^{8}$сол ва $4{,}5 \cdot 10^{9}$сол. Ҳиссаи фоизи радиофаъоле, ки ҳар як изотоп ташкил мекунад ба радиофаъоли умумии урани табии ҳиссагузорандаро ёбед?

Ҳал: Ҳиссаи фоизи радиофаъол, ки ҳар як изотоп ба радиофаъоли умумии урани табий саҳм мегузорад, аз нисбати адади коҳиш дар воҳиди вақти ҳар як изотоп ба адади умумии коҳишҳо дар воҳиди вақт урани табииро муайян карда мешавад. Массаи урани табииро бо m ишора мекунем. Онгоҳ массаи изотопҳо мувофиқан баробар мешаванд: $m_1 = 6 \cdot 10^{-5}$m, $m_2 = 7{,}1 \cdot 10^{-3}$m, $m_3 = 99{,}8 \cdot 10^{-2}$m. Адади коҳишҳо дар воҳиди вақт ки изотопҳо медиҳанд баробар мешавад:

$$\Delta N_1 = \frac{\ln 2}{T_1} N_1 \Delta t = \frac{\ln 2 N_A m_1 \Delta t}{T_1 A_1};$$

$$\Delta N_2 = \frac{\ln 2 N_A m_2 \Delta t}{T_2 A_2}; \quad \Delta N_3 = \frac{\ln 2 N_A m_3 \Delta t}{T_3 A_3};$$

Дар инҷо: N_A–доимии Авогадро, T_1–даври нимкоҳиши изотоп, A_1–массаи молии он. Аз инҷо нисбати ҷўсташаванда барои ҳар як изотоп баробар аст:

$$N = \frac{\Delta N_1}{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3} = \frac{m(A_1T_1)}{\frac{m_1}{A_1T_1} + \frac{m_2}{A_2T_2} + \frac{m_3}{A_3T_3}}.$$

Қимати ин бузургиҳоро гузошта, бо осонӣ бовари кардан мумкин аст, ки Ҳаман урани табии радиофаъол асосан аз изотопи ^{238}U иборат буда, изотопи радиофаъоли ^{234}U ва ^{231}U хеле фоизи хурдро ташкил мекунанд.

12. Энергияи кинетики алфа-зарра, ки аз ядрой атоми радий хориҷ мешавад, ҳангоми коҳиши радиофаъол W_1=4,78МэВ мебошад. Суръати алфа-зарра ва энергияи пуррае, ки ҳангоми парвоз алфа-зарра ҷудо мешавад ёбед?

Ҳал: энергияи кинетики алфа-зарра $W_1 = \frac{m\vartheta^2}{2}$; Аз инҷо:

$\vartheta = \sqrt{\frac{2W_1}{m}} = 1.52 \cdot 10^7 м/с$ Энергияи пурра, ки ҳангоми парвози алфа-зарра ҷудо мешавад, аз ҷамъи энергияи кинетики ядрои бокимонда иборат аст. Яъне:

$$W = W_1 + W_2. \qquad (1)$$

Ғайр аз ин дар асоси қонуни бақои импулс;

$$m_1\vartheta_1 = m_2\vartheta_2, \qquad (2)$$

Аз формулаи (2) меёбем:

$$(m_1\vartheta_1)^2 = \frac{m_1\vartheta_1^2 2m_1}{2} = W_1 2m_1,$$

$$(m_2\vartheta_2)^2 = (m_1\vartheta_1)^2 = \frac{m_2\vartheta_2^2 2m_2}{2} = 2W_2m_2,$$

Аз формулаи (1) ҳосил мекунем:

$$W = W_1 + \frac{2m_1W_1}{2m_2} = W_1\left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) = W_1\frac{m_1 + m_2}{m_2},$$

Қимати ин бузургиҳоро гузошта ҳисоб мекунем, онгоҳ:

$$W = 4.78 \cdot 10^6 эВ.$$

13. Ҳангоми коҳиши радон, ки дорои фаъолияти a=3,7·10^{10}Бк аст, кадом миқдори гармӣ ҷудо мешавад: а) дар фосилаи вақти 1 соат, б) дар фосилаи вақти миёнаи зист τ? Энергияи кинетикии алфа-зарра, ки аз радон парвоз мекунад, $W = 5.5 МэВ$

Ҳал: дар асоси қонуни бақои энергия миқдори гармӣ, ки ҳангоми коҳиши радон ҷудо мешавад, баробар аст:

$$Q = NW, \qquad (1)$$

Дар инҷо N-адади коҳишҳо дар вақти t, W-энергияи кинетики алфа-зарра. Азбаски:

$$N = at, \qquad (2)$$

дар инҷо a-фаъолияти радон, онгоҳ формулаи (2)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$Q = atW, \qquad (3)$$

а) агар t=1 соат бошад, онгоҳ аз формулаи (3) Q=117.22Ҷоул

б) аз муайянкунии вақти миёнаи зисти радон;

$$\tau = \frac{1}{\lambda}, \qquad (4)$$

Азбаски доимии коҳиш (ниг. ба мас. 9) баробар аст:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \qquad (5)$$

Онгоҳ, формулаи (5)-ро ба (4) гузошта ҳосил мекунем:

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}, \qquad (6)$$

Бо назардошти $t = \tau$ формулаи (6)-ро ба (3) гузошта меёбем;

$$Q = \frac{aWT_{1/2}}{\ln 2} = 15.5 кҶоул.$$

14. Массаи 1 г уран $^{238}_{92}U$ дар баробарвазнӣ бо маҳсули кӯҳиши он тавонои $P=1.07\cdot10^{-7}$Вт ҷудо мекунад. Гармии молӣ $Q_{мол}$, ки уран дар вақти миёнаи кӯҳиши атомҳои уран $^{238}_{92}U$ ҷудо мекунад, ёфта шавад?

Ҳал: тавоноие, ки ҳангоми кӯҳиши уран ҷудо мешавад, баробар аст:

$$P = \frac{Q}{t}, \tag{1}$$

дар инҷо Q-миқдори гармие, ки ҳангоми кӯҳиш ёфтани уран дар фосилаи вақти t ҷудо мешавад.

Аз шарти:

$$t = \tau = \frac{1}{\lambda}, \tag{2}$$

дар инҷо τ- вақти миёнаи зисти атоми уран, λ-доимии кӯҳиш, ки бо даври нимкӯҳиши уран $^{238}_{92}U$ бо таносуб алоқаманд мебошад:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad \text{аз инҷо} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \tag{3}$$

Формулаи (3)-ро ба (2) гузошта, ҳосил мекунем:

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}, \tag{4}$$

Онгоҳ, (4)-ро ба (1) мегузорем:

$$Q = \frac{PT_{1/2}}{\ln 2} \quad \text{аз инҷо} \quad P = \frac{Q \ln 2}{T_{1/2}}, \tag{5}$$

Адади молии $^{238}_{92}U$ интихобшуда, ки дар кӯҳиш иштирок мекунад:

$$\nu = \frac{m}{\mu}, \tag{6}$$

Дар инҷо: $\mu = 238\ г/мол$ массаи молии урани 238 мебошад. Гармии молӣ, ки уран дар вақти миёнаи зисти атомҳои он ҷудо мекунад, баробар аст:

$$Q_\mu = \frac{Q}{\nu}, \tag{7}$$

Ф

ормулаи (5) ва (6)-ро ба (7) гузошта меёбем:

$$Q = \frac{PT_{1/2}\mu}{\ln 2 \cdot m} = 5,21 \cdot 10^{12}\ Ч/мол.$$

15. Фаъолияти радон, ки аз массаи m=1 г радий дар фосилаи вақти t=1 соат пайдо мешавад, ёфта шавад?

Ҳал: Азбаски аз шарти масъала аз изотопи радиофаъоли $^{226}_{88}Ra$ изотопи нави радиофаъоли $^{222}_{86}Rn$ пайдо мешавад, онгоҳ бо гузашти вақт адади ядрой изотопии $^{222}_{88}Rn$ аз формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$N_2 = N_{01}\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)]. \tag{1}$$

(2)

Дар инҷо: $N_{01} = \frac{m_1}{\mu_1}N_A$,

N_{01} адади ядрой аввалаи изотопии $^{226}_{88}Ra$, λ_1 ва λ_2-мувофиқан доимии кӯҳиши $^{226}_{88}Ra$ ва $^{222}_{86}Rn$ мебошад.

Доимии кӯҳиш (нигаред ба масъалаи 14) баробар аст:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \tag{3}$$

Таносуби (2) ва (3)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$N_2 = \frac{m}{\mu_1}N_A[\exp(-\frac{t\ln 2}{T_{1/2(1)}}) - \exp(-\frac{t\ln 2}{T_{1/2(2)}})], \tag{4}$$

Фаъолияти пайдоиши радон баробар аст:

$$a_2 = -\lambda_2 N_2. \qquad (5)$$

Формулаи (3) ва (4)-ро ба (5) гузошта, ҳосил мекунем:

$$N_2 = \frac{mN_A \ln 2}{\mu_1 (T_{1/2(1)} - T_{1/2(2)})} [\exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2(1)}}) - \exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2(2)}})]$$

$$N_2 = 2.85 \cdot 10^{4} Бк.$$

16. Дар натиҷаи коҳиши массаи m=1 г радий дар фосилаи вақти t=1 соат баъзе массаи гелий пайдо шуд, ки дар шароити нормалӣ ҳаҷми V=43мм^3-ро ишғол мекунад. Аз ин натиҷаҳо адади Авогадро ёфта шавад?

Ҳал: дар асоси муодилаи асосии назарияи молекулавӣ-кинетикӣ $P = nkT$, ки, аз инҷо:

$$n = \frac{P}{kT}. \qquad (1)$$

Дар инҷо n-адади атомҳои гелий дар воҳиди ҳаҷм пайдо шудаа. P=101 кПа ва T=273K-мувофиқан фишор ва температураи мутлақ дар шароити нормалӣ. к=1,38·10^{-23}Ҷ/К – доимии Болсман. Аз тарафи дигар:

$$n = \frac{N_0 - N}{N}. \qquad (2)$$

Дар инҷо:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \qquad (3)$$

Доимии коҳиш (ниг. ба мас. 14) баробар мешавад:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \qquad (4)$$

Формулаи (4)-ро ба (3) гузошта меёбем:

$$N = N_0 \exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}), \qquad (5)$$

Онгоҳ: формулаи (5)-ро ба (2) мегузорем. пас:

$$n = \frac{N_0[1 - \exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}})]}{V}, \qquad (6)$$

Тарафи рости таносуби (1) ва (6)-ро баробар карда меёбем:

$$\frac{P}{kT} = \frac{N_0[1 - \exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}})]}{V}, \qquad (7)$$

Адади аввалаи атомҳои ради баробар аст:

$$N_0 = \frac{m_0}{\mu} N_A, \qquad (8)$$

Формулаи (8)-ро ба (7) мегузорем, онгоҳ:

$$\frac{P}{kT} = \frac{m_0 N_A[1 - \exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}})]}{\mu V},$$

аз инҷо охирон ба доимии Авогадро баробар аст:

$$N_A = \frac{P\mu V}{kTm_0[1 - \exp(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}})]} = 6 \cdot 10^{23} мол^{-1},$$

17. Дар шишаи сарбаста (ампул) препарат ҷойкарда шудааст, дорои массаи m=1,5г радий мебошад. Кадом массаи радон дар ин ампул ҷамъ мешавад, бо $t = \frac{T_{1/2}}{2}$ гузашти вақти?

дар инҷо $T_{1/2}$ даври нимкоҳиши радон.

Ҳал: азбаски даври нимкоҳиши изотопи $^{222}_{86}Rn$ камтар аст нисбат ба даври нимкоҳиши изотопи $^{222}_{88}Ra$, онгоҳ адади атомҳои радон, ки дар ампул ҷамъ мешавад, бо гузашти вақти t, баробар мешавад:

$$N_2 = N_{01}\frac{\lambda_1}{\lambda_2}[1 - \exp(-\lambda t)]. \quad (1)$$

Азбаски доимии коҳиш (ниг ба мас 14) баробар аст:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \quad (2)$$

Дар асоси шарт:

$$t = \frac{T_{1/2}}{2}, \quad (3)$$

Онгоҳ (2) ва (3)-ро ба (1) гузошта ҳосил мекунем:

$$N_2 = N_{01}\frac{T_{1/2(2)}}{T_{1/2(1)}}[1 - \exp(-\frac{\ln 2}{2})], \quad (4)$$

Азбаски:

$$N_{01} = \frac{m_0}{\mu_1}N_A, \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{m}{\mu_2}N_A, \quad (6)$$

онгоҳ таносуби (5) ва (6)-ро ба (4) гузошта охирон меёбем:

$$m = \frac{m_0\mu_2 T_{1/2(2)}}{\mu_1 T_{1/2(1)}}[1 - \exp(-\frac{\ln 2}{2})] = 3\cdot 10^{-9}\ кг.$$

18. Якчанд атомҳои радий дар зарфи сарбаста ҷойгир аст. Баъди кадом вақти t адади атомҳои радон N дар ин зарф буда аз адади атомҳои радий N^1 10% фарқ мекунад.

Модаҳои радиофаъоли ради ва радон дар ҳолати мувозинатӣ қарор доранд. Хати качи вобастагии N/N^1 дар зарф аз вақти t дар ҳудуди $\leq 0 \leq 6T_{1/2}$ сохта шавад. Вақти даври нимкоҳиши радон $T_{1/2}$ баробари як қабул карда шавад.

Ҳал: Адади атомҳои радон, ки дар зарфи сарбаста ҷамъ мешаванд (нигаред ба масъалаи 17):

$$N = N_{01}\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\cdot(1 - \exp(-\lambda_2 t)), \quad (1)$$

Ҳангоми мувозинатии модаҳои радиофаъол:

$$\frac{N_{01}}{N^1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1},\ аз\ инҷо\ \ N^1 = N_{01}\frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (2)$$

Формулаи (1)-ро ба (2) тақсим мекунем, он гоҳ:

$$\frac{N}{N^1} = (1 - \exp(-\lambda_2 t)), \quad (3)$$

Аз шарти зерин истифода мебарем;

$$\frac{N - N^1}{N} = 0{,}1\ \ ё\ \ инки\ \ \frac{N}{N^1} = 0{,}9, \quad (4)$$

Тарафҳои рости формулаи (3) ва (4)-ро баробар карда меёбем:

$$1 - \exp(-\lambda_2 t) = 0{,}9\ \ ё\ \ инки\ \ \exp(-\lambda_2) = 0{,}1, \quad (5)$$

Таносуби (5)-ро логарифмонида меёбем:

$$-\lambda_2 t = \ell n 0{,}1\ ё\ инки\ t = \frac{\ell n 0{,}1}{\lambda_2}, \quad (6)$$

Доимии коҳиш

$$\lambda = \frac{\ell n 2}{T_{1/2}}, \quad (7)$$

Формулаи (7)-роба (6) гузошта меёбем;

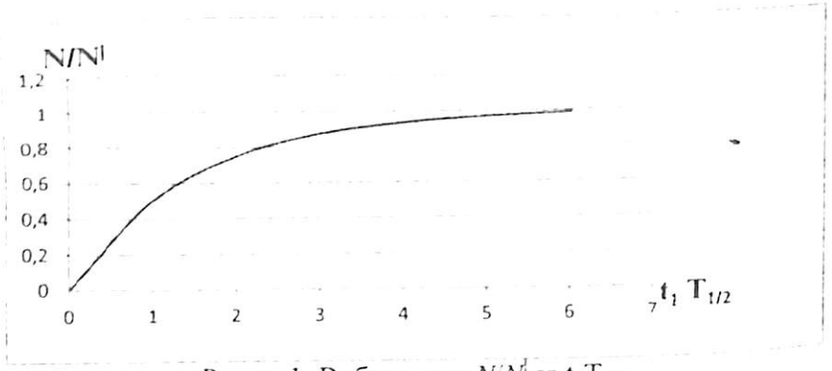
$$t = -\frac{T_{1/2}(2)\ell n 0{,}1}{\ell n 2} = 12{,}69\ \ шабонарӯз$$

Таносуби (7)-ро ба (3) гузошта ҳосил мекунем:

$$\frac{N}{N^1} = [1 - \exp(-\frac{t\ell n 2}{T_{1/2/2}})],$$

Ин бузургиҳоро ҳисоб карда ҷадвал тартиб медиҳем:

t	0	$T_{1/2}$	$2T_{1/2}$	$3T_{1/2}$	$4T_{1/2}$	$5T_{1/2}$	$6T_{1/2}$
N/N^1	0	0.5	0,75	0,875	0,9375	0,96875	0,9844



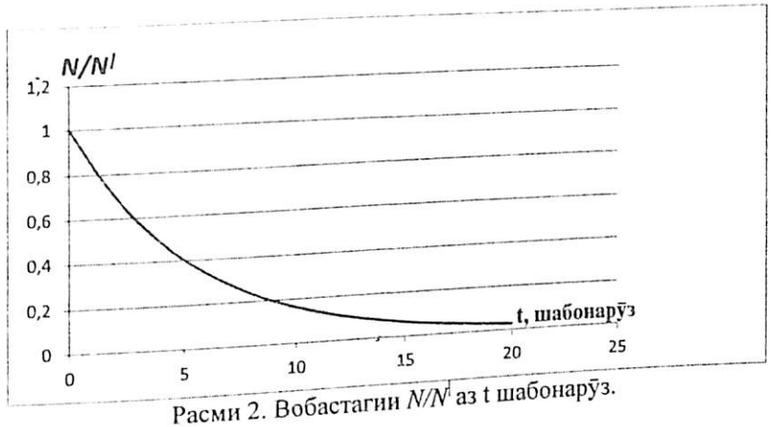
Расми 1. Вобастагии N/N^1 аз $t_1T_{1/2}$.

19. Якчанд адади атомҳои радон N^1 дар зарфи сарбаста ҷой карда шудааст. Вобастагии хатти каҷи тағйирёбии адади атомҳои радон $\frac{N}{N'}$ дар зарф аз вақт дар ҳудуди $0 \le t \le 20$ шабонарӯз паси ҳар 2 шабонарӯз сохта шудааст. Доимии коҳиши радон 0,181 шабонарӯз$^{-1}$. Аз хатти каҷи $\frac{N}{N'} = f(t)$ даври нимкоҳиши радонро ёбед?

Ҳал: маълум, ки $N = N'e^{-\lambda t}$ аз инҷо $\frac{N}{N'} = e^{-\lambda t} = \exp(-0.181\ t)$

Дар фосилаи додашудаи қимати t ҷадвалро тартиб дода ва графики онро месозем. Даври нимкоҳишро ҳамчун абсиссаи нуқтаи хатти каҷ муайян мекунем, ордината баробари 0,5. Аз график меёбем, ки даври нимкоҳиш 3,8 шабонарӯз мебошад.

t, шабонарӯз	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
N	1	0,696	0,485	0,338	0,235	0,164	0,114	0,079	0,055	0,038	0,027



Расми 2. Вобастагии N/N^1 аз t шабонарӯз.

20. Дар ҷадвал натиҷаҳои ченшудаи вобастагии фаъолияти баъзе элементҳои родиофаъол аз вақт оварда шудааст. Даври нимкоҳиши элемент ёфта шавад?

t, соат	0	3	6	9	12	15
$a = 3,7 \cdot 10^7$ Бк	21,6	12,6	7,6	4,2	2,4	1,8

Ҳал: аз ҷадвал дида мешавад, ки ченкардани фаъолияти изотопи радиофаъол дар фосилаи вақти якхела 3 соат гузаронида шуда аст. Муайян кардани фаъолият:

$$a = \left| -\lambda N \right|, \tag{1}$$

Дар инҷо N-адади ядроҳои коҳишёфта дар фосилаи вақти t. Аз қонуни коҳиши радиофаъол:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \tag{2}$$

дар инҷо N_0-адади ядроҳои аввала. Фаъолияти аввала аз формулаи (1) баробар аст:

$$a_0 = \lambda N_0, \tag{3}$$

дар фосилаи вақти t баробар мешавад:

$$a(t) = \lambda N(t), \tag{4}$$

Формулаи (2)-ро ба (4) гузошта меёбем:

$$a(t) = \lambda N_0 \exp(-\lambda t). \qquad (5)$$

Таносуби (3) ва (5)-ро муқоиса карда ҳосил мекунем. ки қонуни тағйирёбии фаъолият чунин намуд дорад:

$$a(t) = a_0 \exp(-\lambda t). \qquad (6)$$

Ба формулаи (6) қимати ихтиёрии фаъолиятро аз ҷадвал мегузарем, мисол барои t=4τ, онгоҳ, $a_4 = a_0 \exp(-4\tau\lambda)$
аз инҷо:

$$\exp(4\tau\lambda) = \frac{a_0}{a_4}. \qquad (7)$$

Формулаи (7)-ро логарифмонида ҳосил мекунем: $4\tau\lambda = \ln \frac{a_0}{a_4}$

Аз инҷо доимии коҳиш:

$$\lambda = \frac{\ln(a_0/a_4)}{4\tau}. \qquad (8)$$

Даври нимкоҳиш

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \qquad (9)$$

Баробарии (7)-ро ба (8) гузошта дар охир меёбем:

$$T_{1/2} = \frac{4\tau \ln 2}{\ln(a_0/a_4)} = 3.79 \ \text{соат}.$$

21. Дар ампул радон ҷой карда шудааст,ки фаъолияти он $14{,}8\cdot10^9$ Бк мебошад. Баъди чанд вақт пас аз пур шудани ампул фаъолияти радон бояд баробари $2{,}22\cdot10^9$ Бк шавад?

Ҳал: дар фосилаи вақти аввал фаъолияти радон дар ампул баробари:

$$a_0 = -N_0\lambda. \qquad (1)$$

мешавад. Баъди гузаштани вақти t он баробар мешавад ба:

$$a = -N\lambda. \qquad (2)$$

Формулаи (2)-ро ба (1) тақсим карда, меёбем:

$$\frac{a}{a_0} = \frac{N}{N_0}, \qquad (3)$$

Азбаски, аз инҷо: $N = N_0 \exp(-\lambda t)$

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-\lambda t), \qquad (4)$$

Формулаи (3) ва (4)-ро муқоиса карда $\frac{a}{a_0} = \exp(-\lambda t)$ меёбем,

ки инро логарифмиронида ҳосил мекунем:

$$\ln\left(\frac{a}{a_0}\right) = -\lambda t, \qquad (5)$$

Азбаски доимии коҳиши (нигаред ба масъалаи 14) баробари

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \qquad (6)$$

Мебошад, он гоҳ формулаи (6)-ро ба (5) мегузорем, пас:

$$\ln\left(\frac{a}{a_0}\right) = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t,$$

Аз инҷо меёбем:

$$t = -\frac{T_{1/2}\ln(a/a_0)}{\ln 2} = 10.45 \ \text{шабонаруз}$$

22. Сурб, ки дар таркиби маъдани уран мавҷуд аст, маҳсули охирини коҳиши қатори уран мебошад, бинобарон аз таносуби массаи ураң дар маъдан ба массаи сурб дар он, сину соли маъданро муайян кардан мумкин аст. Синну соли маъдани уранро $^{238}_{92}U$ ёбед, агар маълум бошад, ки дар массаи m=1 кг урани дар ин маъдан массаи сурб m=320г $^{206}_{82}Pb$ мувофиқ меояд.

Ҳал: маълум аст, ки; $N_{сурб} = N_{ур}\left[1 - \exp\left(-\frac{0.693\ t}{T_{1/2}}\right)\right];$

$$\frac{m_{сурб}}{A_{сурб}} = \frac{m_{уран}}{A_{уран}}\left[1 - \exp\left(-\frac{0.693\ t}{T_{1/2}}\right)\right],$$

дар инҷо $A_{сурб}$ ва $A_{уран}$-массаи молярии сурб ва уран аз инҷо $t=3\cdot10^{9}$сол.

23. Даври нимкоҳиши сурб ва уранро донеста, адади атомҳои уран ёфта шавад? Ба як атоми ради дар рудаи урани табиӣ мувофиқ меояд. Нишондод: $^{238}_{92}U$ Ба эътибор гирифта шавад, ки радиофаъоли урани табиӣ асосан изотопӣ мебошад.

Ҳал: Дар маъдани урани табиӣ атомҳои уран ва радий дар ҳолати мувозинатии радиофаъол мебошанд, бинобарон:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \qquad (1)$$

Азбаски доимии коҳиш (нигаред ба масъалаи 14) баробар аст:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \qquad (2)$$

онгоҳ формулаи (2)-ро бо (1) гузошта меёбем:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_{1/2(1)}}{T_{1/2(2)}}, \text{ аз инҷо } N_2 = \frac{N_1 T_{1/2(2)}}{T_{1/2(1)}},$$

Дар инҷо $T_{1/2_{(1)}}$ ва $T_{1/2_{(2)}}$-даври нимкоҳиши радий ва уран мебошад. Бо назардошти он, ки урани табиии радиофаъол асосан аз изотопи $^{238}_{92}U$ иборат аст, он гоҳ қабул мекунем:

$T_{1/2(2)} = 4{,}5\cdot10^{9}$ сол , азбаски $N_1=1$, онгоҳ

$$N_2 = \frac{T_{1/2(2)}}{T_{1/2(1)}} = 2{,}83\cdot10^{9}\ сол$$

24. Аз кадом массаи хурдтарини m маъдан, ки 42% урани тозаро дорад, массаи 1 г радий ҳосил кардан мумкин бошад?

Ҳал: дар маъдани урани табиӣ (нигаред ба масъалаи 23) таносуби атомҳои ради ва уран чунинаст:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_{1/2(1)}}{T_{1/2(2)}}, \qquad (1)$$

Миқдори атомҳои радий ва уран мувофиқан баробар аст:

$$N_1 = \frac{m_0}{\mu_1} N_A, \qquad (2)$$

ва

$$N_2 = \frac{m_0}{\mu_2} N_A, \qquad (3)$$

Азбаски аз шарт дар маъдан 42% урани тоза мавҷуд аст,пас формулаи (2)-ро ба (3) тақсим карда меёбем:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{m_0 \mu_2}{0.42\ m\ \mu_1}, \qquad (4)$$

Тарафи рости таносуби (4) ва (1)-ро баробар карда меёбем:

$$\frac{m_0 \mu_2}{0.42\ m\ \mu_1} = \frac{T_{1/2(2)}}{T_{1/2(1)}} = 7.09\cdot10^{3}\ кг,$$

25. Алфа-зарра аз изотопи радий бо суръати $U=1{,}5\cdot10^{7}$ м/с парвоз мекунад ва ба экрани флуоресинсикунанда бармехӯрад. Ҳисобида шавад, ки экран дар воҳиди қувваи рӯшной тавоноии 0,25 Вт/Кд истифода мебарад. Қувваи рӯшноии экран ёфта шавад, агар дар он ҳамаи алфа заррахое, ки радийи массааш m=1г хориҷ мекунад афтад?

Ҳал: аз назарияи нисбӣ маълум аст, ки энергияи кинетикии алфа-зарра аз суръати ҳаракати он чунин вобаста мебошад:

$$W_K = m_0 c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right), \qquad (1)$$

$$\beta = \frac{\vartheta}{c}, \qquad (2)$$

(2) сурьати нисбии алфа-зарра. Формулаи (2)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta}{c}\right)^2}} - 1 \right). \qquad (3)$$

Энергияи пурраи хаммаи алфа-заррахо, ки радий хориҷ мекунад, баробар аст:

$$W = aW_k, \qquad (4)$$

дар инҷо:

$$a = |-\lambda N|. \qquad (5)$$

(5) фаъолияти радий.

$$N = \frac{m}{\mu} N_A, \qquad (6)$$

Ин адади атомхои радий мебошад. Доимии коҳиши радий баробар аст:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \qquad (7)$$

Онгоҳ ҳосил мекунем:

$$a = \frac{mN_A \ln 2}{\mu T_{1/2}}, \qquad (8)$$

Формулаи (3) ва (8)-ро ба (4) гузошта меёбем:

$$W = \frac{m_0 c^2 mN_A \ln 2}{\mu T_{1/2}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right), \qquad (9)$$

экран ки дар воҳиди тавонои қувваи рӯшной истифода мебарад, баробар аст:

$P_1 = \frac{P}{J}$ аз инҷо қувваи рӯшной

$$J = \frac{P}{P_1}, \qquad (10)$$

Тавоноиро чунин меёбанд:

$$P = \frac{W}{t}, \qquad (11)$$

Ғайр аз ин, дар ҳолати мо t=1 сон аст. Формулаи (11)-ро ба (10) гузошта ҳосил мекунем:

$$J = \frac{W}{P_1 t}, \qquad (12)$$

Формулаи (9)-ро ба (12) мегузорем, онгоҳ меёбем:

$$J = \frac{m_0 c^2 mN_A \ln 2}{\mu T_{1/2} P_1 t} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

Қиматҳои бузургиҳоро гузошта меёбем:

$$J = 1.1 \cdot 10^{-1} Кэ,$$

26. Кадом ҳиссаи массаи аввалаи изотопи радиофаъол дар вақти зисти ин изотоп коҳиш мехӯрад?

Ҳал: адади атомҳои изотопи радиофаъол, ки дар вақти t коҳиш мехурад, баробари: $N = N_0(1 - \exp(-\lambda t))$, аст. Дар инҷо N_0 адади атомҳои аввала, λ доимии коҳиш. Аз инҷо барои массаи аввалаи изотопи радиофаъол, ки дар вақти t коҳиш мехӯрад:

$$\frac{N}{N_0} = 1 - \exp(-\lambda t), \qquad (1)$$

Вақти миёнаи зисти атоми радиофаъол:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}, \qquad (2)$$

аз шарти $\tau = t,$ (3)

Формулаи (2)-ро бо назардошти (3) ба (1) мегузорем, он гоҳ:

$\frac{N}{N_0} = 1 - e^{-1} = 0{,}632$ ё ин ки $\frac{N}{N_0} = 63{,}2\%$.

27. Фаъолияти a массаи m=1мкг полоний $^{210}_{84}Po$ ёфта шавад?

Ҳал. Фаъолияти изотопи радиофаъол баробар аст:

$$a = \left| -N\lambda \right|, \qquad (1)$$

Доимии коҳиш (нигаред ба масъалаи 14) баробари

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \qquad (2)$$

Адади атомҳои полоний $^{210}_{84}Po$ баробари:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A, \qquad (3)$$

Формулаи (2) ва (3)-ро ба (1) мегузорем онгоҳ:

$$a = \frac{mN_A \ln 2}{\mu T_{1/2}} = 1{,}67 \cdot 10^{8}\ Бк,$$

28. Фаъолияти хоси изотопи радиофаъоли стронсий $^{90}_{38}Sr$ ба таври сунъи ҳосил кардаро ёбед?

Ҳал: Фаъолияти хоси изотопи радиофаъол:

$$a_m = \frac{a}{m}, \qquad (1)$$

Дар инҷо a- фаъолияти изотопи радиофаъол, ки (нигарде ба масъалаи 27) баробар аст:

$$a = \frac{mN_A \ln 2}{\mu T_{1/2}}, \qquad (2)$$

Формулаи (2)-ро ба (1) мегузорем:

$$a_m = \frac{mN_A \ln 2}{m\mu T_{1/2}} \frac{Бк}{кг},$$

29. Ба массаи 10 мг изотопи радиофаъоли $^{40}_{20}Ca$ массаи 30мг изотопи ғайри радиофаъоли $^{45}_{20}Ca$ ҳамроҳ карда шудааст. Фаъолияти хоси манбаи радиофаоли чи қадар кам мешавад?

Ҳал: фаъолияти хоси аввалаи изотопии $^{40}_{20}Ca$ баробараст:

$$a_{m_1} = \frac{\Delta N}{m_1 \Delta t} = \frac{\lambda N}{m_1} = \frac{\ln 2 N_A m_1}{T_{1/2} A_1 m_1} = \frac{\ln 2 N_A}{T_{1/2} A_1}, \qquad (1)$$

Баъди ҳамроҳ кардани изотопии $^{40}_{20}Ca$ фаъолияти хос баробар шуд:

$$a_{m_2} = \frac{\Delta N}{(m_1 + m_2)\Delta t} = \frac{\ln 2 N_A m_1}{T_{1/2} A_1 (m_1 + m_2)}, \qquad (2)$$

дар инҷо А-массаи молярии изотоп. Формулаи (2) ро аз (1) тарҳ карда меёбем:

$$\Delta a_m = \frac{\ln 2 N_A}{T_{1/2} A_1} \left(1 - \frac{m_1}{(m_1 + m_2)} \right) = \frac{\ln 2 N_A m_2}{T_{1/2} A_1 (m_1 + m_2)},$$

Қимати ин бузургиҳоро гузошта ҳисоб мекунем, пас:

$$\Delta a_m = 4.9 \cdot 10^{17}\ Бк / кг,$$

30. Кадом массаи m_2 изотопи радиофаъоли $^{210}_{83}Bi$ ба массаи m_1=5 мг изотопии ғайри радиофаъоли $^{210}_{83}Bi$ бояд ҳамроҳ кунем, ки бо гузашти вақти 10 шабонарӯз баъди аз ин таносуби адади атомҳои коҳишёфта ба адади ғайри коҳишёфта ба 50% баробар бошад? Доимии коҳиши изотопи $^{210}_{83}Bi$ баробари 0,14 шабонарӯз$^{-1}$ аст:

Ҳал: аз баски танҳо изотопии радиофаъоли $^{210}_{83}Bi$ коҳиш мехурад, онгоҳ адади атомҳои коҳишёфта баробар мешавад:

$$N_1 = \frac{m_2}{\mu_2} N_A (1 - \exp(-\lambda t)). \quad (1)$$

Ва адади кохиш наёфта аз атомхои изотопии гайри фаъол ҷамъ мешавад ва атомхои изотопии гайрикохиш баробар мешавад:

$$N_1 = \frac{m_1}{\mu_1} N_A + \frac{m_2}{\mu_2} N_A \exp(-\lambda t). \quad (2)$$

Формулаи (1) ро ба (2) тақсим мекунем:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{m_1 \mu_2 (1 - \exp(-\lambda t))}{m_1 \mu_2 + m_2 \mu_1 \exp(-\lambda t)},$$

аз инҷо массаи изотопии радиофаъоли $^{210}_{83}Bi$ баробар мешавад ба:

$$m_2 = \frac{m_1 \mu_2 N_2}{N_1 \mu_1 (1 - \exp(-\lambda t)(1 + \frac{N_1}{N_2}))},$$

қиматҳои бузургиҳоро гузошта меёбем: m_2=4мг

31. Баъди чор алфа-кохиш ва ду бета-кохиш кадом изотоп аз $^{232}_{90}Th$ пайдо мешавад?

Ҳал: дар алфа-кохиш адади массавии изотопии радиофаъол ба 4 ва заряд ба ду воҳид кам мешавад. Дар намуди умумӣ муодилаи алфа-кохишро чунин навиштан мумкин аст:

$$^{A}_{Z}K_1 \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}K_2 + ^{4}_{2}\alpha, \quad (1)$$

Дар бета-кохиш электрон хориҷ мешавад, бинобарон заряди ядро ба як воҳид зиёд мешавад ва адади массавӣ тағйир намеёбад. Ҳамин тавр, муодилаи бета-кохиш чунин намуд дорад:

$$^{A}_{Z}K_1 \rightarrow ^{A}_{Z+1}K_2 + ^{0}_{-1}\beta, \quad (2)$$

Барои N-кохишҳо муодилаи (1) ва (2) чунин навишта мешавад:

$$^{A}_{Z}K_1 \rightarrow ^{A-4N}_{Z-2N}K_2 + N\,^{4}_{2}\alpha, \quad (3)$$

$$^{A}_{Z}K_1 \rightarrow ^{A}_{Z+N}K_2 + N\,^{0}_{-1}\beta, \quad (4)$$

Барои N_a=4 аз муодилаи (3) барои изотопи радиофаъол $^{232}_{90}Th$ ҳосил мекунем:

$$^{232}_{90}Th \rightarrow ^{216}_{82}K_2 + 4\,^{4}_{2}\alpha,$$

Барои N_β=2 аз муодилаи (4) барои изотопи радиофаъол $^{216}_{82}K_1$ меёбем:

$$^{216}_{82}K_1 \rightarrow ^{216}_{84}K_1 + 2\,^{0}_{-1}e,$$

Аз ҷадвали Менделеев меёбем, ки ин изотопи $^{216}_{84}Po$

32. Баъди се алфа-кохиш ва ду бета-кохиш кадом изотоп аз $^{238}_{92}U$ пайдо мешавад?

Ҳал: барои N алфа-кохиш ва бета-кохиш (нигаред ба масъалаи 31) муодила намуди зеринро дорад:

$$^{A}_{Z}K_1 \rightarrow ^{A-4N}_{Z-2N}K_2 + N\,^{4}_{2}\alpha, \quad (1)$$

$$^{A}_{Z}K_1 \rightarrow ^{A}_{Z+N}K_2 + N\,^{0}_{-1}\beta, \quad (2)$$

Барои N_a=3 аз муодилаи (1) барои изотопи радиофаъоли $^{238}_{92}U$ ҳосил мекунем:

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{226}_{86}K_2 + 3\,^{4}_{2}\alpha,$$

Барои Nβ=2 аз муодилаи (2) барои изотопи радиофаъоли $^{226}_{86}K_1$ меёбем:

$$^{226}_{86}K_1 \rightarrow ^{226}_{88}K_1 + 2\,^{0}_{-1}e,$$

Аз ҷадвали Менделеев меёбем, ки ин изотопи $^{226}_{88}Ra$

33. Баъди ду бета-кохиш ва як алфа-кохиш кадом изотопи $^{219}_{92}U$ ҳосил мешавад?

Ҳал: Барои N-бета ва як алфа-кохиш (нигаред ба масъалаи 31) муодилаи намуди зеринро дорад:

$$ {}^{A}_{Z}K_1 \rightarrow {}^{A}_{Z+N}K_2 + N\,{}^{0}_{-1}e. \qquad (1) $$

ва

$$ {}^{A}_{Z}K_1 \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}K_2 + N\,{}^{4}_{2}\alpha. \qquad (2) $$

Аз муодилаи (2) барои изотопи радиофаъоли ${}^{239}_{94}K_1$ ҳосил мекунем.

Аз ҷадвали Менделеев меёбем, ки ин изотопи ${}^{235}_{92}U$ аст.

$$ {}^{239}_{94}K_1 \rightarrow {}^{235}_{92}K_2 + {}^{4}_{2}\alpha. $$

34. Кадом изотоп аз ${}^{8}_{3}Li$ ҳосил мешавад. баъди як бета коҳиш ва 1 алфа-коҳиш?

Ҳал: барои як алфа коҳиш ва як бета-коҳиш (ниг. ба мас. 31) муодила мувофикан чунин мешавад.

$$ {}^{A}_{Z}K_1 \rightarrow {}^{A-4N}_{Z-2N}K_2 + N\,{}^{4}_{2}\alpha, \qquad (1) $$

$$ {}^{A}_{Z}K_1 \rightarrow {}^{A}_{Z+N}K_2 + N\,{}^{0}_{-1}e, \qquad (2) $$

Аз муодилаи (2) барои изотопи радиофаъоли ${}^{8}_{3}Li$ пайдо мекунем

$$ {}^{8}_{3}Li \rightarrow {}^{8}_{4}K_2 + {}^{0}_{-1}e. $$

аз муодилаи (2) барои изотопи радиофаъоли ${}^{8}_{4}K_1$ меёбем:

$$ {}^{8}_{4}K_1 \rightarrow {}^{4}_{2}K_2 + {}^{4}_{2}\alpha. $$

Аз ҷадвали Менделеев истифода бурда муайян мекунем, ки ин элементи ${}^{235}_{92}U$ мебошад.

35. Энергияи кинетикии алфа-зарра, ки аз ядрой атоми ${}^{214}_{84}Po$ полоний ҳангоми алфа коҳиш парвоз мекунад, 7,68 МэВ аст.

Ёфта шавад: а) суръати алфа-зарра ϑ; б) энергияи пурра ҳангоми парвози алфа-зарра ҷудо мешавад W; в) адади ҷуфти ионҳо N, ки алфа-зарра пайдо мекунад. 1)бо назардошти пайдоиши як ҷуфти ион дар ҳаво энергияи W_0=34эВ сарф мешавад 2) ҷараёни сершуда J_c дар камераи ионизатсионӣ, аз алфа-заррахо,

ки изотопии полони хориҷ мекунад. Фаъолияти полони $3{,}7\cdot10^4$Бк мебошад.

Ҳал: аз назарияи нисбӣ маълум аст, ки энергияи кинетикии алфа-зарра аз суръати ҳаракати он вобаста аст:

$$ W_K = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}-1\right). \qquad (1) $$

дар инҷо

$$ \beta = \frac{\vartheta}{c}, \qquad (2) $$

β - суръати нисбии бета-зарра.

а) аз формулаи (1) суръати нисбии бета-зарра:

$$ \beta = \frac{\sqrt{W_K(W_K+2m_0c^2)}}{W_K+m_0c^2}. \qquad (3) $$

Тарафи рости таносуби (2) ва (3)-ро баробар карда меёбем, ки суръати бета-зарра:

$$ \vartheta = \frac{c\sqrt{W_K(W_K+2m_0c^2)}}{W_K+m_0c^2}, м/с. $$

б) Энергияи пурра, ки ҳангоми парвози алфа-зарра ҷудо мешавад, ба суммаи энергияи кинетикии W_{K1} алфа-зарра ва энергияи кинетикии W_{K2} ядрой боқимонда баробар аст:

$$ W = W_{K1} + W_{K2}, \qquad (4) $$

Ғайр аз ин, дар асоси қонуни бақои импулс, аз баски то коҳиш импулси система баробари сифр аст онгоҳ баъди коҳиш:

$$ m_1\vartheta_1 = m_2\vartheta_2, \qquad (5) $$

Бо осонӣ муайян мекунем:

$$ (m_1\vartheta_1)^2 = \frac{m_1\vartheta_1^2 2m_1}{2} = W_{K1}2m_1 = (m_2\vartheta_2)^2 = \frac{m_2\vartheta_2^2 2m_2}{2} = W_{K2}2m_2, $$

он гоҳ аз формулаи (4) меёбем:

$$W = W_{K1} + \frac{2m_1 W_{K1}}{2m_2} = W_{K1}\left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) = W_{K1}\frac{m_1 + m_2}{m_2},$$

Қиматҳои ин бузургиҳоро гузошта ҳисоб мекунем: $W = 7.38$ МэВ

в) адади ҷуфти ионҳо, ки алфа-зарра пайдо мекунад, баробар аст:

$$N = \frac{W_{K1}}{W_0} = 2.26 \cdot 10^{5},$$

г) ҷараёни сершуда дар камераи ионизатсионӣ аз ҳамаи алфа-зарраҳо, ки изотопи полоний хориҷ мекунад, баробар аст $J_c = aN(e)$. Дар инҷо N-адади ҷуфтии онҳо, ки изотопи полоний ҳосил мекунад. a-фаъолияти полоний, e-заряди бунёдӣ. Қиматҳои бузургиҳоро гузошта, ҳосил мекунем:

$$J_c = 1.34 \cdot 10^{-9} A,$$

СУРЪАТФИЗОИ ЗАРРАҲОИ ЗАРЯДНОК, ЗАРРАҲОИ БУНЁДӢ

1. Дар физикаи ядро қабул шудааст, ки адади зарраҳои заряднок, заряди умумии онҳоро, ки бо микроампер-соат (мкА·с) ифода шудааст тавсиф медиҳад. Ба кадом адади зарраҳои заряднок заряди умумӣ 1 мкАс мувофиқ меояд? Масъала ҳал карда шавад, барои: а) электрон; б) алфа-зарра.

Ҳал: а) заряди электрон баробари $1{,}6 \cdot 10^{-19}$Кл, яъне $N = \frac{q}{e} = 2.25 \cdot 10^{16}$ электронҳо; б) заряди алфа-зарра баробар аст: $2e = 3.2 \cdot 10^{-19}$ Кл Он гоҳ:

$$N = \frac{q}{2e} = 1.125 \cdot 10^{16} \text{ алфа - зарра},$$

2. Ҳангоми барҳӯрии чандири маркази нейтрон бо ядрои беҳаракати модаи сусткунанда, энергияи кинетикии нейтрон ба 1,4 маротиба кам мешавад. Массаи ядрои модаи сусткунанда ёфта шавад?

Ҳал: дар асоси қонуни бақои энергия:

$$W_K = W_{K1} + W_{K2}, \quad (1)$$

Дар инҷо W_K - энергияи аввалаи кинетикии нейтрон, W_{K1} - энергияи кинетикии он баъди таъсири мутақобил бо ядро, W_{K2} - энергияи кинетики ядрои модаи сусткунанда.

Аз шарти $\frac{W_{K0}}{W_{K1}} = k = 1.4;$ (2)

аз инҷо: $W_{K0} = KW_{K1},$

Баъди гузориши (2) ба (1) меёбем: (3)

$$(k-1)W_{K1} = W_{K2},$$

Дар асоси қонуни бақои импулс: (4)

$$P_0 = P_2 - P_1,$$

дар инчо: P_0 импулси аввалан нейтрон, P_1 импулси он баъди таъсири мутақобил бо ядро, P_2 импулси ядрой модаи сусткунанда. Энергияи кинетики ва импулс байни ҳамдигар чунин алоқаманданд:

$$W_1 = \frac{P_1^2}{2m}, \qquad (5)$$

Формулаи (5)-ро ба (2) гузошта ҳосил мекунем:

$$P_2^2 = kP_1^2,$$

ё инки

$$P_2 = \sqrt{k}P_1. \qquad (6)$$

Ифодаи (6)-ро ба (4) гузошта меёбем:

$$\frac{(k-1)P_1^2}{m_n} = \frac{P_2^2}{m}, \qquad (7)$$

Дар инчо $m_n=1{,}67\cdot10^{-27}$кг массаи нейтрон. Муодилаи (6) ва (7)-ро якчоя ҳал намуда, массаи ядрой модаи сусткунандаро меёбем.

$$m = \frac{(\sqrt{k}+1)^2 m_n}{k-1} = 19{,}96\cdot10^{-27}\,кг = 12{,}02\,в.а.м.$$

Аз чадвали Менделеев меёбем, ки ин карбон $^{12}_{6}C$ мебошад. Ҳамин тавр элементи сусткунанда графит аст.

3. Кадом қисми суръати аввала суръати нейтронро баъди бархурии маркази чандирӣ бо ядрои беҳаракати изотопи $^{23}_{11}Na$ ташкил мекунад?

Ҳал: массаи ядрой модаи сусткунанда (ниг. ба мас. 2) баробар аст:

$$m = \frac{(\sqrt{k}+1)^2 m_n}{k-1}, \qquad (1)$$

Дар инчо

$$k = \frac{W_{k0}}{W_{k1}}, \qquad (2)$$

W_{k0} ва W_{k1}- мувофиқан энергияи аввала ва кинетикии нейтрон, ки натрийро бомбаборон мекунад, m_n–массаи нейтрон. $m_n=1{,}675\cdot10^{-27}$ кг

Азбаски энергияи кинетикӣ баробари:

$$W_k = \frac{m\vartheta^2}{2}, \qquad (3)$$

аст, онгоҳ формулаи (3)-ро ба (2) гузошта меёбем:

$$k = \left(\frac{\vartheta_0}{\vartheta}\right)^2, \quad ё \quad \sqrt{k} = \frac{\vartheta_0}{\vartheta}, \qquad (4)$$

Аз формулаи (1) меёбем:

$$\sqrt{k} = \frac{m+m_n}{m-m_n}. \qquad (5)$$

Таносуби (5)-ро ба (4) мегузорем, онгоҳ:

$$\frac{\vartheta_0}{\vartheta} = \frac{m+m_n}{m-m_n} = 0{,}916\cdot100\,\% = 91{,}6\%$$

4. Барои ҳосил кардани нейтронҳои сустҳаракат онҳоро аз модае, ки дар таркибаш оксиген (мисол парафин) дорад, мегузаронанд. Нейтрон кадом ҳиссаи калонтарини энергияи кинетикии худро метавонад диҳад: а) ба протон массаш m_0; б) ба ядрои атоми сурб (массааш 207 m_0)? Қисми калонтарини энергияи кинетикӣ ба бархӯрии марказии чандирӣ мувофиқ аст.

Ҳал: дар асоси қонуни бақои энергия:

$$W_{K0} = W_{K1} + W_{K2}, \qquad (1)$$

дар инчо W_{K0} ва W_{K1} - энергияи кинетикии нейтрон ва энергияи он баъди таъсири мутақобили бо ядрои модаи сусткунанда; W_{K2} - энергияи кинетикии ядрои модаи сусткунанда. Азбаски (ниг. ба мас. 3):

$$k = \frac{W_{k0}}{W_{k1}}, \qquad (2)$$

$$\sqrt{k} = \frac{m + m_0}{m - m_0}$$ он гоҳ $$k = \left(\frac{m + m_0}{m - m_0}\right)^2$$. (3)

Формулаи (3)-ро ба (2) мегузорем онгоҳ:

$$\frac{W_к}{W_0} = 1 - \left(\frac{m - m_0}{m + m_0}\right)^2$$.

а) барои $m = m_0$ протон аст, бинобарон $\frac{W_к}{W_0} \cdot 100\% = 100\%$

б) барои ядрои атоми сурб m=207 m_0, бинобарон:

$$\frac{W_к}{W_0} = 0{,}0191 \cdot 100\% = 19{,}1\%$$.

5. Аз масъалаи 4 тақсимоти энергия байни нейтрон $\varphi = 45°$ ва протон ёфта шавад, агар бархӯрд чандирӣ гузарад? Нейтрон дар ҳар бархӯрӣ ба ҳисоби миёна дар зери кунҷи майл мекунад.

Ҳал: Равиши суръати электрон $\vec{\vartheta}$ ва суръати зарра $\vec{\vartheta}_1$ гуногун ва якхела мебошад:бинобар он

$$\left(\vartheta' = \frac{\vartheta\sqrt{2}}{2}\right).$$

тақсимоти энергия низ баробар мешавад.

6. Нейтроне, ки ба энергияи 4,6 МэВ соҳиб аст, дар натиҷаи бархӯрдан бо протон суръаташ суст мешавад. Нейтрон чанд бархӯрӣ бояд гузаронад, ки энергияи он то бузургии 0,23 эВ кам шавад? Нейтрон дар ҳар бархӯрӣ ба ҳисоби миёна дар зери кунҷи $\varphi = 45°$ майл мекунад.

Ҳал: баъди ҳар як бархӯрӣ энергияи кинетикии нейтрон ду маротиба кам мешавад (ниг. ба мас. 5). Он гоҳ баъди n бархӯрӣ энергияи нейтрон баробар мешавад ба $W = \left(\frac{1}{2}\right)^n W_0$:

аз инҷо $n \lg\left(\frac{W_0}{W}\right) = \lg(2 \cdot 10^7)$:

$$n = \frac{\lg(2 \cdot 10^7)}{\lg 2} = 24$$ *бархӯрд* .

7. Дастаи зарраҳои заряднок дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш B=3Тл парвоз мекунанд. Суръати зарраҳо $1{,}52 \cdot 10^7$м/с ва равиши ҳаракаташон ба равиши майдон перпендикуляр аст. Заряди ҳар як зарра ёфта шавад, агар маълум бошад, ки ба онҳо қувваи $1{,}46 \cdot 10^{-11}$Н таъсир мекунад.

Ҳал: дар майдони магнитии якҷинса ба зарраҳои заряднок қувваи Лоренс таъсир мекунад, ки баробар аст:

$$F = q\vartheta B \sin\alpha;$$

Аз шарти масъала равиши ҳаракати зарра ба равиши майдон перпендикуляр мебошад, пас, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ бинобар он, $\sin\alpha = 1$ он гоҳ, $F_л = q\vartheta B$. Аз инҷо заряди ҳар як зарра баробар аст ба:

$$q = \frac{F_л}{\vartheta B} = 3{,}2 \cdot 10^{-19}\ Кл,$$

8. Зарраи заряднок дар майдони магнитии якҷинсаи индуксияаш B=0,5Тл аз рӯи доираи радиусаш R=10см ҳаракат мекунад. Суръати зарра ба $2{,}4 \cdot 10^6$м/с баробар аст. Барои ин зарра нисбати заряд ба масса ёфта шаванд?

Ҳал: Дар майдони магнитии якҷинса ба зарраи заряднок қувваи Лоренс таъсир мекунад, ки баробар аст:

$$F_л = q\vartheta B,$$ (1)

Ин қувваи марказшитоб мебошад, ки ба зарра шитоби нормалӣ медиҳад:

$$a_n = \frac{\vartheta^2}{R},$$ (2)

Аз қонуни дуюми Нютон:

$$F_л = ma_n,$$ (3)

Формулаи (1) ва (2)-ро ба (3) гузошта меёбем: $q\vartheta B = m\frac{\vartheta^2}{R}$.

Аз инҷо нисбати заряди зарра ба масса баробар мешавад:

$$\frac{q}{m} = \frac{\vartheta}{RB} = 4.8 \cdot 10^{7} \frac{Кл}{кг}.$$

9. Электрон бо фарқи потенсиали 180кВ шитобонида мешавад. Ислоҳоти назарияи нисбиро ба эътибор гирифта, барои ин электрон масса, суръат, энергияи кинетикӣ ва нисбати заряди он ба масса ёфта шавад?

Ҳал: Электрон, ки бо фарқи потенсиалҳо шитобонида мешавад, дорои энергияи потенсиалӣ мешавад:

$$W = eU, \tag{1}$$

Дар асоси қонуни бақои энергия:

$$W_п = W_к, \tag{2}$$

Тарафи рости таносуби (1) ва (2)-ро баробар карда, ҳисоб мекунем:

$$eU = W_к, \tag{3}$$

ё ин ки

$$W_к = eU = 2.88 \cdot 10^{-14} Ҷоул = 1,8 \cdot 10^{5} эВ.$$

Вобастагии энергияи кинетикии электрон аз суръати ҳаракати он муодилаи зеринро медиҳад:

$$W_к = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right), \tag{4}$$

дар инҷо $m_0=9.11 \cdot 10^{-31}$кг массаи оромии электрон аст. Суръати нисбии электрон

$$\beta = \frac{\vartheta}{c}, \tag{5}$$

с-суръати рӯшной. Аз формули (4) меёбем:

$$\sqrt{1-\beta^2} = \frac{m_0 c^2}{W_к + m_0 c^2}, \tag{6}$$

Вобастагии массаи электрон аз суръати ҳаракати он муодилаи зеринро медиҳад:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \tag{7}$$

Формулаи (6)-ро ба (7) мегузорем, он гоҳ:

$$m = \frac{eU + m_0 c^2}{c^2} = 1.23 \cdot 10^{-30} кг,$$

Энергияи кинетикии электрон $W_к = \frac{m\vartheta^2}{2}$,

суръати релятивистикии электрон $\vartheta' = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 2.52 \cdot 10^{8} м/с$;

Нисбати заряди электрон ба массаи он:

$$\frac{e}{m} = 1,3 \cdot 10^{11} \frac{Кл}{кг}.$$

Қимати ҳақиқии он баробар аст ба:

$$\frac{e}{m} = 1,759 \cdot 10^{11} \frac{Кл}{кг}.$$

Хатогии бузургиҳоро, ки дар ин масъала гирифта шудааст, имконпазир ҳисобидан мумкин аст.

10. Мезони нури кайҳон дорои энергияи 3 ГэВ аст. Энергияи оромии мезон 100 МэВ мебошад. Мезон кадом масофаро дар атмосфера дар фосилаи вақти зисташ метавонад тай кунад? Вақти зисти мезон дар соати лабораторӣ. Вақти зисти хусусии мезон 2мкс.

Ҳал: маълум аст, ки, $\frac{W}{W_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 30$ аз инҷо меёбем

$v = 2{,}998 \cdot 10^8$ м/с

Вақти зисти мезон дар соати лабораторӣ $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 30\,\tau_0$ аст.

Масофае, ки мезон дар ин вақт тай мекунад,

$$l = v\tau = v\,30\,\tau_0 \approx 18 \cdot 10^3 \text{ м}.$$

11. Мезони нури кайҳонӣ дорои энергияи кинетикии $W = 7m_0c^2$ аст. Дар инҷо m_0-массаи оромии мезон. Чанд маротиба вақти хусусии зисти мезон аз вақти зисти он дар соати лабораторӣ хурд аст?

Ҳал: вобастагии энергияи кинетикии мезон аз суръати ҳаракати он бо муодилаи зерин муайян мешавад:

$$W_k = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right). \qquad (1)$$

Аз шарти энергияи кинетикии мезон баробар аст ба:

$$W = 7m_0c^2. \qquad (2)$$

Тарафи чапи муодилаи (1) ва (2)-ро баробар карда меёбем:

$$7m_0c^2 = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right).$$

Аз инҷо

$$\sqrt{1-\beta^2} = \frac{1}{8} \qquad (3)$$

вақти зисти мезон аз рӯи соати лабораторӣ бо вақти хусусии зисти он бо таносуби зерин алоқаманд аст:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \text{ аз инҷо } \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}, \qquad (4)$$

Формулаи (3)-ро ба (4) мегузорем онгоҳ: $\frac{\tau}{\tau_0} = 8$.

12. Позитрон ва электрон якҷоя шуда, ду фотонро пайдо мекунанд. Энергияи $h\nu$ Ҳар як фотон ёфта шавад? Бо назардоште, ки энергияи аввалаи зарра хеле хурд аст. Дарозии мавҷи ин фотонҳо чӣ қадар аст?

Ҳал: агар электрон ва позитрон ду фотонро пайдо кунанд, онгоҳ дар асоси қонуни бақори энергия:

$$2m_0c^2 = W_1 + W_2 = 2h\nu,$$

дар инҷо $2m_0c^2$-ҷамъи энергияи оромии электрон ва позитрон, $2h\nu$-ҷамъи энергияи фотонҳои пайдошуда. Аз шарти масъала энергияи авали зарра W_1 ва W_2 хеле хурд аст, онгоҳ энергияи ҳаряки фотон баробараст:

$$h\nu = m_0c^2 = 0{,}51 \text{ МэВ},$$

Аз инҷо басомади афканишоти фотон:

$$\nu = \frac{m_0c^2}{h}, \qquad (1)$$

Аз тарафи дигар,

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \qquad (2)$$

Тарафҳои рости муодилаи (1) ва (2)-ро баробар карда ҳосил мекунем: $\frac{m_0c}{h} = \frac{1}{\lambda}$, аз инҷо дарозии мавҷи фотон

$$\lambda = \frac{h}{m_0c} = 2{,}42 \cdot 10^{-12} \text{ м}.$$

13. Электрон ва позитрон фотони энергияаш 2,62МэВ ҳосил мекунад. Дар фосилаи пайдошавии фотон энергияи пурраи кинетикии электрон ва позитрон $W_1 + W_2$ чӣ қадар буд?

Ҳал: аз қонуни бақои энергия $h\nu = 2m_0c^2 + W_1 + W_2$. Энергияи оромии Ҳар яки зарраҳо: $m_0c^2 = 0{,}51 \cdot 10^6$ эВ, онгоҳ:

$$W_1 + W_2 = h\nu - 2m_0c^2 = 1{,}6 \cdot 10^6 \text{ эВ}.$$

14. Электрон ва позитрон фотони энергияаш hν=5,7 МэВ-ро пайдо мекунанд. Камераи Вилсон, ки дар майдони магнитӣ ҷойгир аст хатти сайри радиуси қачиаш R=3см-ро медиҳад. Индуксияи майдони магнитии B ёфта шавад?

Ҳал: ба электрону позитрон аз тарафи майдони магнитӣ қувваи Лоренс таъсир карда, ба он шитоби нормалиро таъмин мекунад, яъне:

$qvB = m\frac{v^2}{R}$, аз инҷо

$$B = \frac{mv}{Rq}, \qquad (1)$$

Дар асоси назарияи нисбӣ импулси зарра ин тавр ёфта мешавад:

$$P = mv = \frac{1}{c}\sqrt{W(W + 2m_0c^2)}. \qquad (2)$$

Муодилаи (2)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$B = \frac{1}{cqR}\sqrt{W(W + 2m_0c^2)}, \qquad (3)$$

Энергияи кинетикии ҳар яки зарраҳо

$$W = \frac{h\nu - 2m_0c^2}{2} = 2{,}34 \text{ МэВ}$$

Қиматҳои бузургиҳоро ба формулаи (3) гузошта ҳисоб мекунем: B=6,31Тл.

15. π^- – мезони нейтрали беҳаракат ба ду фотон тақсим мешавад. Дар асоси қонуни бақои энергия

$$m_0(\pi)c^2 = 2h\nu, \qquad (1)$$

Аз шарти массаи оромии мезон:

$$m_0(\pi)c^2 = 264{,}2m_0, \qquad (2)$$

Дар инҷо $m_0 = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг – массаи оромии электрон.

Формулаи (2)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$h\nu = 132{,}1m_0c^2 = 67{,}7 \text{ МэВ}.$$

16. Нейтрон ва антинейтрон якҷоя шуда ду фотон пайдо мешавад. Энергияи ҳар яки фотонро ёбед, бо назардоште, ки энергияи аввалаи зарра хеле хурд аст.

Ҳал: энергияи ҳаряки фотон (ниг. ба мас. 12) баробар аст:

$$h\nu = m_0c^2 = 942 \text{ МэВ},$$

17. K^0-мезони беҳаракат коҳиш хӯрда, π^--мезони ду заряднок пайдо мекунад. Массаи оромии K^0-мезон $m_0(K^0)$=965 m_0, дар инҷо m_0-массаи оромии электрон; массаи ҳаракати π-мезон $m(\pi)$=1,77$m_0(\pi)$, дар инҷо $m_0(\pi)$-массаи оромии онҳо. Суръати ҳаракати онҳо дар фосилаи пайдоишашон ёфта шавад?

Ҳал: агар K^0-мезони оромии коҳиш хӯрда ду заряднокро пайдо кунад, онгоҳ мувофиқи қонуни бақои энергия:

$$m_{0K^0}c^2 - 2m_0\pi c^2 = 2(m_\pi - m_{0\pi})c^2, \qquad (1)$$

Аз шарти масъала массаи оромии K^0-мезон

$$m_{0K^0}c^2 = 965\ m_0, \qquad (2)$$

дар инҷо m_0=9,11·10^{-31}кг-массаи оромии электрон, аммо массаи ҳар як мезоҳ

$$m_\pi = 1{,}77\ m_{0\pi}, \qquad (3)$$

дар инҷо $m_{0\pi}$-массаи оромии он.

Формулаи (2) ва (3)-ро ба (1) гузошта меёбем:

$$965\ m_0c^2 - 2m_{0\pi}c^2 = 2 \cdot 1{,}77\ m_{0\pi}c^2,$$

аз инҷо массаи оромиши π – мезонҳо баробар аст:

$$m_{0\pi} = \frac{965\ m_e}{2 \cdot 1.77} = 272.59\ m_e = 2.48 \cdot 10^{-28}\ кг.$$

Аз назарияи нисбӣ маълум аст, ки энергияи кинетикии ҷисм аз суръати ҳаракати он чунин вобастааст:

$$W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right). \qquad (4)$$

дар инҷо $\beta = \frac{\vartheta}{c}$ – суръати нисбӣ

$$W_k = m_e c^2. \qquad (5)$$

аз тарафи дигар,, ё инки бо назардошти (3),

$$W_k = 1.77\ m_{0\pi} c^2, \qquad (6)$$

Тарафи рости муодилаҳои (4) ва (6)-ро баробар карда меёбем:

$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 = 1.77$, аз инҷо суръати нисбии π-мезонҳо баробар $\beta = 0{,}932$ аст. Онгоҳ, бо назардошти (5), суръати π-мезонҳо дар фосилаи пайдоишашон баробар аст:

$$\vartheta = 0{,}932 \cdot c = 2{,}79 \cdot 10^8\ м/с.$$

18. Фоомулаеро, ки индуксияи майдони магнитӣ B, суръатфизоро бо басомади фарқи потенсиалҳои дуантҳо алоқаманд мекунад, ҳосил кунед. Басомади фарқи потенсиали ба дуантҳо гузошташударо ёбед, барои дейтронҳо, протонҳо ва алфа-зарраҳо. Индуксияи майдони магнитӣ B=1,26Тл аст.

Ҳал: ба зарраи заряднок, ки дар суръатфизо шитобонида мешавад, қувваи Лоренс таъсир мекунад: $F_л = q\vartheta B \sin\alpha$ ё ин ки $F_л = q\vartheta B$ -қувваи марказшитоб, ки ба зарра шитоби ба марказ наздикшавиро медиҳад: $a_{ш.ш} = \frac{\vartheta^2}{R}$, аз қонуни дуюми Нютон

$$F_л = ma_{ш.ш} = m\frac{\vartheta^2}{R},$$

Аз инҷо $R = \frac{m\vartheta}{qB}$ -радиуси доираи суръатфизо.

Даври гардиши (бозгашти) суръатфизо:

$T_c = \frac{L}{\vartheta}$, дар инҷо $L = 2\pi R = \frac{2\pi m v}{qb}$ – даврзии доираии суръатфизо ,

онгоҳ $v_c = \frac{1}{T_c} = \frac{qB}{2\pi m}$.

$$T_C = \frac{2\pi m}{qB},$$

Барои он ки зарра бефосила шитобонида шавад, бояд, ки вай ба фосилаи мобайни дуанти шитобдиҳанда дар он фосила афтад, ки майдони электрикӣ қутби (аломати) худро тағйир диҳад, яъне тағйирёбии аломати басомади майдони электрикии шитобдиҳанда бояд бо басомади суръатфизо мувофиқ шавад:

$$v = v_c = \frac{qB}{2\pi m}.$$

– шарти ҳамзамонсозӣ (синхронизатсия). Қимати бузургиҳоро гузошта меёбем:

$$v_д = 9.7\ МГц\ ;\ v_P = 19.4\ МГц\ ;\ v_\alpha = 9.7\ МГц\ .$$

19. Формулаи, алоқамандии энергия зарра, ки аз суръатфизо парвоз мекунад ва радиуси қачии максималии Rхатти сайри зарраро бароред. Энергияи заррaҳо дейтрон, протон, алфа-зарра, ки аз суръатфизо парвоз карда мебароянд, ёфта шавад, агар радиуси қачи максималии R=48,3см; басомади фарқи потенсиалҳо, ки ба дуант васл карда мешавадv=12МГс бошад.

Ҳал: радиуси доираи суръатфизо ва тағйирёбии басомади қутби майдони электрикии шитобдиҳанда (ниг. ба мас. 18) баробар аст: $R = \frac{m\vartheta}{qB}$ ва $v = \frac{qB}{2\pi m}$, аз инҷо $qB = v2\pi m$;

$$R = \frac{m\vartheta}{2\pi\nu m} = \frac{\vartheta}{2\pi\nu},$$

Аз инчо суръати заррахо, ки аз суръатфизо парвоз карда мебароянд: $\vartheta = 2\pi R$; ва энергияи кинетикии онхо:

$$W = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{4m\pi^2\vartheta^2R^2}{2} = \frac{2\pi\nu^2m^2R}{2} = 2\pi^2m\vartheta^2R^2.$$

Қимати ин бузургихоро гузошта меёбем:

$$W_д = 13{,}8\,МэВ\ ;\ W_p = 6{,}9\,МэВ\ ,\ W_a = 27{,}6\,МэВ\ .$$

20. Радиуси максималии качии хатти сайри зарра дар суръатфизо 35см; басомади фарқи потенсиали ба дуант гузошта мешавад, 13,8МГс аст. Индуксияи майдони магнитии В ёфта шавад, ки кори суръатфизо ва энергияи максималии W протонхои парвозкунандаро ҳамзамонсози мекунад.

Ҳал: басомади фарқи патенсиалҳои ба дуанти суръатфизо васл кардаро (ниг. ба мас. 18) аз таносуби зерин ёфта мешавад:

$$\nu = \frac{qB}{2\pi m}.$$

Аз инҷо индуксияи майдони магнитӣ, барои ҳамзамонсозӣ:

$$B = \frac{2\pi m\nu}{q},$$

Барои протон $m=1{,}673\cdot10^{-27}$кг ва $q=e=1{,}6\cdot10^{-19}$Кл, бинобарон B=0,9Тл. Энергияи максималии заррахои заряднок, ки аз суръатфизо парвоз карда мебароянд, баробари: $W = 2\pi^2m\nu^2R^2$ қимати ин бузургихоро барои протон гузошта меёбем:

$$W = 4{,}8\,МэВ\ .$$

21. Масъалаи 20-ро барои: а) дейтрон, б) алфа-зарра муайян кунед?

Ҳал: индуксияи майдони магнитӣ,ки барои ҳамзамонсозии кори суръатфизо лозим аст, баробари $B = \frac{2\pi m\nu}{q}$

Энергияи максималии заррахои заряднок, ки аз суръатфизо парвоз карда мебароянд, баробар аст: $W = 2\pi^2m\nu^2R^2$

а) барои дейтронхо $q=e=1{,}6\cdot10^{-19}$Кл, ва $m=3{,}346\cdot10^{-27}$кг; ҳамин тавр B=1,8Тл; $W = 19{,}25\,МэВ$.

22. Ҷараёни ионҳо дар суръатфизо ҳангоми кор бо алфа-заррахо 15мкА аст. Ин суръатфизо чанд маротиба маҲсулноктар нисбати 1г радий мебошад?.

Ҳал: ҷараёни ионӣ дар суръатфизо аз формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$I = \frac{q}{T} = q\nu, \qquad (1)$$

дар инҷо $q=3.2\cdot10^{-19}$Кл-заряди алфа-заррахо, Т-даври гардиш и алфа-зарра дар суръатфизо ν-басомади алфа-афканишот дар суръатфизо. Фаъолияти алфа-афканишоти радий баробар аст:

$$a = \lambda N, \qquad (2)$$

дар инҷо:

$$N = \frac{m}{\mu}N_A, \qquad (3)$$

– адади тақсимшудаи ядрои ради, 226 г/мол-массаи молии радий, $N_A=6.02\cdot10^{23}$мол$^{-1}$-адади Авогадро. Даври нимкоҳиши радий баробар аст: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

Аз инҷо доимии коҳиш:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \qquad (4)$$

Формулаи (3) ва (4)-ро ба (2) гузошта меёбем:

$$a = \frac{mN_A\ln 2}{\mu T_{1/2}}, \qquad (5)$$

Аз формулаи (1):

$$\nu = \frac{I}{q}, \qquad (6)$$

Формулаи (6)-ро ба (5) тақсим карда меёбем:

$$\frac{v}{a} = \frac{\tau_{1/2}}{m\lambda_{\ln 2}} = 1270$$

23. Радиуси қачии максималии хати сайри зарра дар суръатфизо R=50см аст. Индуксияи майдони магнитӣ B=1Тл. Кадом фарқи потенсиалӣ доимӣ U-ро протон бояд гузарад ва чунин шитоберо гирад, ки баробаршитоб дар суръатфизо бошад?

Ҳал: басомади фарқи потенсиалхо, ки ба дуанти суръатфизо дода мешавад,

$$v = \frac{Be}{2\pi m}, \qquad (1)$$

аммо энергияи протони аз суръатфизо парвозкунанда баробари:

$$W = 2\pi^2 m v^2 R^2, \qquad (2)$$

Баробарии (1)-ро ба (2) гузошта меёбем:

$$W = \frac{B^2 e^2 R^2}{2m}. \qquad (3)$$

Энергияи потенсиалии протон, ки аз фарқи потенсиалҳои шитобдиханда мегузарад:

$$W = Ue. \qquad (4)$$

Барои онки протон инхел шитоб гирад, монанди суръатфизо, дар асоси қонуни бақои энергия, бояд, ки

$$W_n = W, \qquad (5)$$

Формулаи (3) ва (4) ба (5) гузошта меёбем:

$$U = \frac{B^2 e^2 R^2}{2m} = 11{,}98\ мВ.$$

24. Суръатфизо дейтронҳоеро медиҳад, ки онҳо дорои энергияи 7 МэВ мебошанд. Индуксияи майдони магнитии суръатфизо B=1,5Тл аст. Радиуси минималии қачии хати сайри дейтрон ёфта шавад?

Ҳал: энергияи дейтрон, аз суръатфизо парвоз мекунад, баробари, $= \frac{B^2 e^2 R^2}{2m}$ аст. Аз инҷо радиуси қачии максималии хати сайри дейтрон баробар аст ба: $R = \frac{\sqrt{2mW}}{Bq} = 36\ см$.

25. Байни дуантҳои суръатфизои радиусашон 50см фарқи потенсиали тағйирёбандаи 75кВ, басомади 10МГс гузошта шудааст. Индуксияи майдони магнитии суръатфизоВ ёфта шавад. Зарраи заряднок то аз суръатфизо парвоз карда баромадан чанд маротиба давр мезанад? Масъаларо барои дейтрон, протон ва алфа-зарра ҳал кунед?

Ҳал: басомади фарқи потенсиали ба дуантҳои суръатфизо гузошта шуда аст, баробари $v = \frac{qB}{2\pi m}$ мебошад. Аз инҷо индуксияи майдони магнитии суръатфизо баробар аст:

$$B = \frac{2\pi m v}{q}, \qquad (1)$$

Энергияи зарра, ки аз суръатфизо парвоз мекунад баробари:

$$W = 2\pi^2 m v^2 R^2, \qquad (2)$$

Аз назарияи нисбӣ маълум аст, ки энергияи кинетикии зарра аз суръати Ҳаракати он чунин вобаста мебошад:

$$W_к = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right), \qquad (3)$$

Тарафи рости муодилаи (2) ва (3)-ро баробар карда меёбем:

$$2\pi^2 v^2 R^2 = c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right), \text{ аз ин ҷо } \beta = \frac{2\pi v R\sqrt{\pi^2 v^2 R^2 + c^2}}{2\pi^2 v^2 R^2 + c^2} \qquad (4)$$

Аз тарафи дигар суръати нисбӣ $\beta = \frac{\vartheta}{c}$ (5)

Тарафи рости муодилаи (4) ва (5)-ро баробар карда меёбем:

$$\vartheta = \frac{2\pi\nu R\, c\sqrt{\pi^2\nu^2R^2 + c^2}}{2\pi^2\nu^2R^2 + c^2}. \qquad (6)$$

Дар ҳар як даври пурра зарраи заряднок ду маротиба аз масофаи байни дуантҳо мегузарад ва инчунин, ду маротиба импулси иловагӣ мегирад. Бинобарон дар n гардиш зарраи заряднок энергияро қабул мекунад, ба потенсиали шитобдиҳанда ҳаммаъно мебошад. U=2nU, U-фарқи потенсиалҳои ба дуант дода шуда мебошад.

Аз инҷо:

$$n = \frac{U'}{2U}. \qquad (7)$$

Қимати бузургиҳои формулаҳои (1), (2), (6) ва (7)-ро гузошта меёбем:

а) барои дейтрон: $B_1 = 1{,}3\,Тл$; $W_1 = 10{,}2\,МэВ$; $\vartheta_1 = 3{,}13\cdot10^7\,м/с$; n=68

б) барои протонҳо: $B_1 = 0{,}65\,Тл$; $W_1 = 5{,}12\,МэВ$; $\vartheta_1 = 3{,}13\cdot10^7\,м/с$; n=34

в) барои алфа-зарра: $B_1 = 1{,}3\,Тл$; $W_1 = 5{,}12\,МэВ$; $\vartheta_1 = 3{,}13\cdot10^7\,м/с$; n=68

26. То кадом энергия алфа-зарраро дар $\beta = 0{,}932$ суръатфизо шитобонидан мумкин, агар зиёдшавии нисбӣ массаи-зарра $K = \frac{m - m_0}{m_0}$ на бояд аз 5% зиёд шавад?

Ҳал: аз назарияи нисбӣ маълум аст, ки тағйирёбии массаи зарра ба тағйирёбии энергияи он ба бузургии:

$$\Delta W = c^2 m, \qquad (1)$$

мувофиқ аст. Аз шарти масъала зиёдшавии нисбии массаи зарра:

$$K = \frac{m - m_0}{m_0} = \frac{\Delta m}{m_0} \le 0{,}05, \qquad (2)$$

$$\Delta W_{max} = \Delta W, \qquad (3)$$

Энергияи аввалаи алфа-зарра баробари сифр ҳисобида мешавад, агар фарз карда мешавад, ки

$$\Delta W_{max} = \Delta W$$

Дар ин ҳолат аз формулаи (2) тағйирёбии массаи алфа-зарра баробар аст:

$$\Delta m = 0.05\, m_0 \qquad (4)$$

Формулаҳои (3) ва (4)-ро ба (1) гузошта ҳосил мекунем:

$$\Delta W_{max} = 0.05\, m_0 c^2 = 187\ МэВ.$$

27. Энергияи дейтрони ,дар синхротрон шитобидашуда W=200МэВ аст. Барои ин дейтронҳо таносуби $\frac{m}{m_0}$ (дар инҷо m-массаи дейтрони ҳаракаткунанда ва m_0-массаи оромии он) ва суръати он ёфта шавад?

Ҳал: Агар ҳисобида шавад, ки энергияи аввалаи дейтрон баробари сифр аст (ниг. ба мас. 26), тахмин кардан мумкин, ки

$$W = \Delta m c^2, \qquad (1)$$

дар инҷо:

$$\Delta m = m - m_0, \qquad (2)$$

– тағйирёбии массаи дейтрон. $m_0 = 2{,}0141\ в.а.м.$ массаи оромии он. Формулаи (2)-ро ба (1) мегузорем онгоҳ: $W = c^2(m - m_0)$, аз инҷо $\frac{m}{m_0} = \frac{W}{m_0 c^2} = 1.1$.

Аз назарияи нисби маълум аст, ки массаи дейтрон аз суръати ҳаракати он чунин вобаста мебошад:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \text{ аз инҷо } \frac{m}{m_0} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \qquad (3)$$

Дар инҷо

$$\beta = \frac{\vartheta}{c}, \qquad (4)$$

– суръати нисбии дейтрон. Муодилаи (3) ва (4)-ро якҷоя ҳал карда меёбем:

$$\vartheta = \frac{c\sqrt{\left(\frac{m}{m_0}\right)^2 - 1}}{\frac{m}{m_0}} = 1{,}3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

28. Дар фазатрон зиёдшавии массаи зарра ҳангоми афзоиши $v_0=25$ *МГс то* m_0 $v=18{,}9$ *МГс* суръати он, афзоиши даври майдони шитобдиҳандаро чуброн мекунад. Басомади фарқи потенсиалҳо, ки ба дуантҳои фазатрон дода мешавад, дар ҳар як сикли шитобдиҳӣ аз иваз $v_0=25$ *МГс то* m_0 $v=18{,}9$ *МГс* мешавад. Индуксияи майдони магнитӣ B фазатрон ва энергияи кинетикии протоне, ки парвоз мекунад, ёфта шавад?

Ҳал: бо назардошти $B = \frac{2\pi m_0 v_0}{q} = \frac{2\pi m v}{q} = 1{,}62$ *Тл*

азбаски $\frac{v_0}{v} = \frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$, онгоҳ

$$W = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right) = \frac{m_0 c^2 (v_0 - v)}{v} = 300 \text{ МэВ}.$$

29. Протон дар фазатрон то энергияи W=660МэВ, алфа-зарра то энергияи W=840МэВ шитобонида мешавад. Барои он ки афзоиши масса чуброн шавад, даври майдони штоби фазатрон чӣ қадар тағйир дода шавад (барои ҳар як сикли шитобдиҳӣ) ҳангоми кор кардани фазатрон: а) барои протонҳо; б) бо алфа-зарраҳо?

Ҳал: дар фазатрон ҳангоми шитобдиҳӣ зарраи релятивӣ, вақте ки суръати он ба суръати рӯшноӣ наздик мешавад, массаи он назаррас меафзояд. Пас, даври гардиши (бозгашти) зарра низ зиёд мешавад. Барои нигоҳ доштани ҳамзамонсозӣ, даври майдони шитобдиҳӣ фазатронро зиёд мекунанд. Даври аввал ва охирро ёфтан мумкин аст, монанди мавриди суръатфизо (ниг. ба мас. 18):

$$T_0 = \frac{2\pi m_0}{qB}; \quad T = \frac{2\pi m}{qB},$$

дар инҷо m_0-массаи оромӣ, m-массаи охирон

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2\pi m}{qB} \cdot \frac{qB}{2\pi m_0} = \frac{m}{m_0},$$

Энергияи релятивии зарраҳо: $\varepsilon=mc^2$, дар инҷо с-суръати рӯшноӣ, энергияи оромӣ $\varepsilon_0=m_0c^2$. Аз қонуни бақои энергия фарқи энергияи аввал ва охир энергияи кинетикиро ташкил мекунад, ки зарра онро Ҳангоми дар фазатрон шитобонидан қабул мекунад.

$$W = \varepsilon - \varepsilon_0 = mc^2 - m_0c^2 = (m - m_0)c^2,$$

Аз инҷо

$$m = \frac{W}{c^2} + m_0.$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{\frac{W}{c^2} + m_0}{m_0} = \frac{W}{m_0 c^2} + 1;$$

а) барои протон $W = W_p = 660 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 1{,}06 \cdot 10^{-10}$ *Ҷоул*,

$\frac{T}{T_0} = 1{,}7;$

б) барои алфа-зарра: $W = W_\alpha = 840 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-9} = 1{,}34 \cdot 10^{-10}$ *Ҷоул*,

$\frac{T}{T_0} = 1{,}2;$

Дозасанҷӣ ва ҳифз аз афканишоти ядрой

1. Фаъолияти суммавии тритий, ки дар натиҷаи озмоиши яроқи ядрой то соли 1970 пайдо шудааст ҳисоб карда шавад, агар муодили (эквиваленти) умумии таркиши ядрои N=220Мт-ро ташкил кунад?

Ҳал: Пайдошавии тритий Ҳангоми озмоиши яроқи ядрой $\chi = 2{,}6 \cdot 10^{13}$ *Бк / Мт* мебошад. То соли 1970 эквиваленти умумии таркиш 220Мт-ро ташкил мекунад.

Пайдоиши тритий:

$$A = N\chi = 220 \text{ Мт} \cdot 2{,}6 \cdot 10^{13} \text{ Бк / Мт} = 5{,}7 \cdot 10^{15} \text{ Бк}.$$

2. Аз қоидаи санитарӣ миқдори мукараршудаи (норма) зичии имконпазири дастаи нейтронҳои сареъ чунин аст:

$$J_{.} = 20 \frac{нейтрон}{см^{2} \cdot с}.$$

Муайян карда шавад, ки дар кадом масофаи минималӣ аз манбаи радиофаъол, ки интенсивнокиаш $J = 3 \cdot 10^{6} \frac{н}{с}$-ро ташкил мекунад, бе истифодабарии маводи Амнияти радиатсионӣвии иловагӣ кор кардан $J_R(r)$ мумкин аст?

Ҳал: зичии дастаи нейтронҳо дар масофаи г аз манбаи радиофаъол бо таносуби зерин муайян карда мешавад:

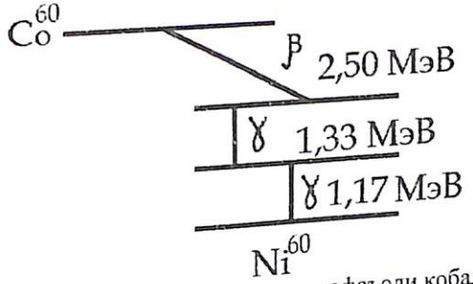
$$J_R(r) = \frac{J}{4\pi r^2}, \qquad (1)$$

Масофаи минималӣ (хурдтарини) бехатари аз таносуби (1) ҳисоб карда мешавад $J = 3 \cdot 10^{6} \frac{н}{с}$

$$R_{мин} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{J}{\pi . J_0}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot 10^{6}}{20\ \pi}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot 10^{6}}{20 \cdot 3 \cdot 14}} = 109 \quad см$$

3. Дозаи шахсии нурбориш, ки дар муддати 10 сония аз таъсири манбаи гамма радиофаъоли кобалт-60 қабул кардааст, 100гр-ро ташкил мекунад. Дар ин ҳолат чи қадар фотони гамма афканишот ба организми одам меафтад, агар ҳар фотон дар матои ҷисми одам 40% энергияи худро сарф кунад?

Ҳал: Ҳангоми коҳиши манбаи радиофаъоли кобалт-60 ду гамма квант бо энергияи 1,33 ва 1,17МэВ пайдо мешавад. Ҳаряки ингуна ҷуфти фотон дар бофтаи одам (1,33+1,17)0,4= =1МэВ =$1{,}3 \cdot 10^{-13}$ Ҷоул энергия ҷудо мекунад. Дар расми 1 речаи коҳиши кобалт-60 оварда шудааст.



Расми 1. Речаи коҳиши манбаи радиофаъоли кобалт-60.

Барои одами вазнаш 75кг дозаи фурубурд, аз як ҷуфти фотон:

$$Д = \frac{E}{m} = 2{,}13 \cdot 10^{-15}\ Гр,$$

Ҳангоми қабулкардани дозаи 100Гр, адади фотонҳои ба организми одам афтида:

$$N = \frac{Д}{Д_{фур}} = 2 \cdot \frac{100}{2{,}13 \cdot 10^{-15}\ Гр} = 9{,}4 \cdot 10^{16}\ фотонхоро,$$

ташкил мекунад.

4. Донишҷӯ барои Амнияти радиатсионӣ аз манбаи радиофаъоли стронсий-90 дорои фаъолияти А=270МБк, ки дар найчашиша (шишаи санҷишӣ) нигоҳ дошта мешавад,танҳо аз дастпушаки ғафс истифода бурд. Оё ин хафнок аст ё не?

Ҳал: энергияи гамма кванти манбаи стронси-90 Е=1,74МэВ, массаи одам М=70кг,ε=0,1.

Дар як рудоди коҳиши стронсий-90 як фотон бо энергияи 1,74МэВ мувофиқ меояд. Аз инҷо барои одам тавоноии дозаи фурубурдро $Д_ф$. Ҳосил мекунем:

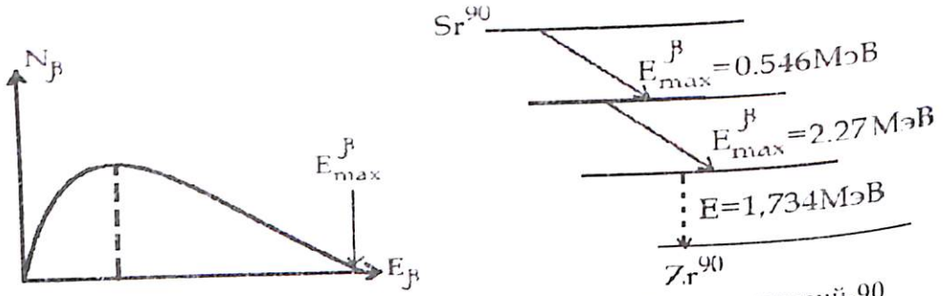
$$Д_ф = \frac{270 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}74 \cdot 6 \cdot 10^{-13} \cdot 10^{-1}}{70} = 10^{-5}\ \frac{рад}{с},$$

Дозаи худуди ҷоизӣ: (ДҲҶ)-0,1 рад/ҳафта=$0{,}17 \cdot 10^{-6}$рад/с. Дар ин доза коркардан хатарнок аст!!!

5. Миқдори модаи радиофаоли стронсий-90, ки ҳар рӯз бо маводи хурока ба организми одам ворид мешавад, 0,94Бк-ро ташкил мекунад. Дар як сол кадом кимати доза дар устухони бофтаи одам ҷамъ мешавад?

Ҳал: 1) Қимати миёнаи энергияи бета-коҳиш тақрибан 0,3-0,4 аз кимати максималии энергияи β-ро E^{β}_{max} ташкил мекунад. Барои ҳисоб 0,4 мегирем.

Дар расми 2 речаи коҳиши манбаи радиофаъоли стронсий-90 ва спектри бета-коҳиш оварда шудааст.



Расми 2. Спектри бета-зарраҳо, ки ҳангоми коҳиши стронсий-90 ва Y^{90} ҳосил мешаванд. Инчунин речаи коҳиши манбаи радиофаъоли стронси-90 оварда шудааст.

2) Ҳисоб мекунем, ки дар организми одам 10% фотонҳо фурӯ мераванд. Миқдори энергияи умумии, аз як коҳиш пайдошуда, ки ба организм фурӯ меравад:

$$Q=(0,546+2,27)0,4+1,734\cdot0,1=1,3\text{МэВ}=1,3\cdot1,6\cdot10^{-13}\text{Ҷоул}=$$
$$=2,08\cdot10^{-13}\text{Ҷоул}\cdot1\text{МэВ}=1,6\cdot10^{-13}\text{Ҷоул}.$$

Ҷадвали 1

Элемент	Узв ё матои устухон дар организм, ки ҳиссаи калонтар дорад	Массаи мода ё узв, кг	Ҳиссаи дозаи нурра, ки организм кабул кардааст.
Sr	Устухон	7	0,7

Дар асоси натиҷаҳои ҷадвали 1, як ҳиссаи радионуклиди стронсий-90, дар бофтаи устухон фурӯ меравад, 0,94Бк·0,7= =0,66Бк ё инки $5,86\cdot10^4$ коҳиш дар шабонарӯз, (дар як шабонарӯз 86400с).

Ҳамин тавр, дар як шабонарӯз матои устухон фурӯ мебарад.

$$Q=2,08\cdot10^{-13}\text{Ҷоул}\cdot5,68\cdot10^4=11,8\text{Ҷоул}.$$

Дозаи фурӯбурд дар як сол:

$$Д_ф=365\cdot1,88\cdot10^{-9}\text{Ҷоул}=4,3\cdot10^{-6}\text{Ҷоул}.$$

Дозаи фурӯбурд дар давоми як сол дар 1 кг бофтаи устухон:

$$Д_ф=\frac{4,3\cdot10^{-6}}{7}=0,6\cdot10^{-6}\frac{\text{ҷоул}}{\text{кг}}=0,6\cdot10^{-6}\,Гр.$$

6. Ба организми одам 10мг модаи радиофаъоли ферум-55 ворид шуд. Қимати дозаи фурӯбурд дар даври 10сол ёфта шавад? Даври нимкоҳиши ферум-55 2,9 сол. Е=0,22МэВ.

Ҳал: Кадом миқдори изотопи ферум-55 дар давоми 10 сол коҳиш шуд?

$$J=J_0e^{\frac{0,69t}{T_{1/2}}}=J_0e^{-0.239}=J_0e^{-239}=0.926,$$

Аз 10мг дар давоми 10сол 10-0,926=9,074мг коҳиш ёфт. Адади ядроҳои коҳишёфта:

$$N=\frac{9.074\cdot10^{-3}}{55}\cdot6.023\cdot10^{23}=0.99\cdot10^{20}\ \text{ядро коҳиш ёфт}.$$

Миқдори энергияе, ки дар раванди коҳиш ҷудо мешавад:

$$E=0,22\cdot0,99\cdot10^{20}=2,19\cdot10^{19}\text{МэВ}=3,5\cdot10^6\text{Ҷоул}.$$

Барои он, ки энергияи дар воҳиди масса сарф шударо ёбем, фарз мекунем, ки тахминан 1/3 қисми ҷисми одами вазнаш 75кг нурбориш шудааст. Вазни 75кг, яъне 25кг, онгоҳ:

$$Д=\frac{3,5\cdot10^6}{25}=0,14\cdot10^6\frac{\text{ҷоул}}{\text{кг}}=0,14\cdot10^6\,Гр=0,14\cdot10^8\,рад.$$

Ин дозаи хеле калон ва хатарнок аст!!!

7. Кадом миқдори максималии радионулиди стронсий-90 ҳангоми ба организм афтидан аз дозан Д=1мГр/сол зиёд намешавад?

Ҳал: Миқдори зиёдтарини радионуклиди стронсий-90 устухон фурӯ меравад. Массаи модаи устухон 7кг-ро ташкил мекунад; ҳиссаи дозаи пурраи қабулшуда $\varepsilon = 0,7$ ҷадвали I мебошад.

$$E = \frac{ДМ}{\varepsilon} = \frac{7 \cdot 10^{-7}}{0,7} = 10^{-2}\ Ҷоул$$

Ҳиссаи ядрой радионуклиди стронсий-90 дар давоми як сол коҳиш мешавад:

$$K = \frac{N}{N_0} = (1 - e^{-0,693 \cdot t_{1/2}}) = (1 - e^{-0,693/28}) = 2,5 \cdot 10^{-2},$$

Ҳисоби коҳиши изотопи радиофаъоли стронсий-90-ро истифода бурда, миқдори энергияе, ки дар як рудода коҳиш дар устухон ҷудо мешавад, ҳосил мекунем:

$$E = 0,1E_\gamma + 0,4E_\beta^{max} = 0,1 \cdot 1,734 + 0,4(0,54 + 2,27) = 1,29\ МэВ = 2,06 \cdot 10^{-13}\ Ҷоул$$

Адади пурраи ядрой изотопро муайян мекунем:

$$N_0 = \frac{10^{-2}}{2,06 \cdot 10^{-13} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} = 2 \cdot 10^{2}\ ядро.$$

8. Дар давоми 10 сол дозан фурӯбурди организми одамро муайян кунед, агар бо органи нафасгирӣ ба организм 100мг изотопи плутонии-239 дохил шавад? Даври нимкоҳиши плутоний-239 ба $2,4 \cdot 10^4$сол баробар аст.

Ҳал: Адади ядрой радиофаъол дар 100мг изотопи плутоний - 239 баробараст:

$$N_0 = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{239} = 2,5 \cdot 10^{17}\ ядро.$$

Адади ядрои плутоний-239, ки дар давоми 10 сол коҳиш ёфтааст:

$$N = N_0(1 - e^{-0,693\,t/T_{1/2}}) = 2,5 \cdot 10^{17}[1 - e^{-0,693 \cdot 10/2,4 \cdot 10^4}] = 0,75 \cdot 10^{14}\ ядро.$$

Коҳиши плутоний-239-ро пайдоиши се хати-алфа бо энергияи E_α ҳамроҳӣ мекунад.Эҳтимолияти коҳиш дар ҷадвали 2 оварда шудааст:

Ҷадвали 2.

E_α, МэВ	5,107	5,147	5,157
P_α,%	11,5	15,1	78,3

$$E_\alpha = 5,1 МэВ,$$

Барои ҷисми 70кг, дозаи фурӯбурд ин қадараст:

$$Д_ф = \frac{E_\gamma}{M} = \frac{5,1 \cdot 0,75 \cdot 10^{14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}}{70} = 0,87\ Гр.$$

9. Дар кадом консентратсияи плутоний дар ҳаво n дозаи солона аз афтиши он ба шӯш Д=$1,7 \cdot 10^{-6}$Гр-ро ташкил мекунад.

Барои ҳисоб истифода бурдан мумкин аст:

1) Ба ҳисоби миёна одам 0,01литр ҳаво дар як дақиқа нафас мегирад;

2) Дар $\varepsilon = 0,01$ шуш ҳангоми нафасгирӣ плутоний-239, ки ба организм ворид мешавад, дар онҷо мемонад;

3) Дар муддати аввал плутоний дар шуш мавҷуд набуд.

Ҳал: Даври нимкоҳиши плутони $T_{1/2}$=$2,4 \cdot 10^4$сол аст. Энергияи миёнаи алфа-зарраи коҳишёфта E_α=*5МэВ*. Массаи шӯш 0,5кг. Адади руйдоди коҲиши плутони дар вақти dt-ро муайян мекунем:

$$dN_p(t) = \lambda N \varepsilon(t) dt, \quad (1)$$

дар инҷо N(t) адади ядрой плутоний-239 дар моменти вақти t. Тағйирёбии адади ядрой плутоний бо назардошти ҷамъшавӣ ва коҳиш:

$$dN(t) = V_0 n \varepsilon dt - \lambda N(t) dt, \quad (2)$$

Дар назардоштан лозим, ки дар асоси даври калони нимкоҳиш аъзои дуюми таносуби (2) ба эътибор гирифта намешавад. Баъди (2)-ро интегронидан ҳосил мекунем:

$$N(t) = V_0 n \varepsilon t, \qquad (3)$$

Аз формулаи (3) ва (1) адади ядрои дар фосилаи вақти t кохишёфтаро хосил мекунем: $dN_{-}(t) = \lambda V_0 n \varepsilon dt$

$$dN_{-}(t) = \frac{\lambda V_0 n \varepsilon dt^2}{2}. \qquad (4)$$

Энергияи E, дар давоми як сол дар бофтаи шуш фурӯ меравад:

$$E = \Delta M_{ш} = 1{,}7 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}5 = 8{,}5 \cdot 10^{-7}\ чоул.$$

Адади кохиши ядро, ки барои чудо кардани энергияи E зарур аст:

$$N = \frac{E}{E_a \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}} = \frac{8{,}5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}} = 1{,}06 \cdot 10^{6}\ ядро.$$

Аз формулаи (4) консентратсияи плутоний-239-ро дар ҳаво ҳосил мекунем:

$$n = \frac{2N}{\lambda V_0 \varepsilon dt^2} = \frac{2{,}12 \cdot 10^{6}}{5{,}5 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{-2} (5{,}3 \cdot 10^{5})^2} = 2{,}3 \cdot 10^{6}\ \frac{ядро}{литр}.$$

Фурӯбурди гамма-нурҳо дар мода

1. Адади N кабатҳои ним сустшавиро муайян кунед, агар интенсивияти J дастаи борики гамма-афконишоти аз ин қабатҳо гузаранда к = 100 маротиба кам шавад?

Дода шудааст:

$$\frac{к = 100}{N - ?},$$

Хал: Агар аз кабати нимсустшави $\frac{1}{2}$ интенсивияти аввала гузарад, онгоҳ аз N кабат $\left(\frac{1}{2}\right)^N$ интенсивияти аввала мегузарад. Аз шарти 100 маротиба сустшавӣ, яъне $\left(\frac{1}{2}\right)^N = \frac{1}{100}$; $2^N = 100$, $N = \frac{\log 100}{\log N} = 6{,}6$; чавоб N=6,6 кабат.

2. Барои бетон кабати нимсустшавии $x_{1/2}$ дастаи борики гамма афконишот ёфта шавад? Агар энергияи фотонҳо □ = 0,6$МэВ$ бошад.

Дода шудааст:

$$\frac{\varepsilon = 0{,}6МэВ}{x_{1/2} - ?}, \qquad (1)$$

Хал: $x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$

Аз графики 1 барои бетон $\varepsilon = 0{,}6МэВ$меёбем: μ=0,18см$^{-1}$. Ба формулаи (1) гузашта ҳосил мекунем.

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0{,}693}{0{,}18} = 3{,}85\ см.$$

Ҷавоб: $x_{1/2} = 3{,}85\ см$.

3. Дар кадом чукурии об, манбаи борики дастаи гамма афканишот (энергияи ε гамма фононхо ба 1,6 $МэВ$ баробар аст) бояд гутонида шавад, ки интенсивияти J дастаи аз об баромада ба k=100 маротиба кам шавад?

Дода шудааст:

$$\frac{\varepsilon = 1{,}6МэВ}{к = 100}, \quad x - ?$$

Ҳал: $j = j_0 e^{-\mu x}$

Аз шарти $\frac{j_0}{j} = к$; (1)

$$j = \frac{j_0}{к} \cdot \frac{j_0}{к} = j_0 e^{-\mu x}, \ln к = -\mu x : x = \frac{\ln к}{\mu}$$

Аз расми 1 барои об ҳангоми $\varepsilon = 1{,}6МэВ$ будан, ҳосил мекунем: μ=0,06 см$^{-1}$. Ба формулаи (1) гузошта меёбем:

$$x = \frac{\ln 100}{0{,}06} = 115см,$$

Ҷавоб: x=115см.

4. Интенсивияти J дастаи борики гамма- афканишот баъди гузариш аз қабати сурби ғафсиаш x=4см, 8 маротиба кам мешавад. Энергияи гамма- фотонҳо ε ва ғафсии $x_{1/2}$ қабати нимсустшавӣ ёфта шавад?

Дода шудааст:

$$\frac{x = 4см}{\frac{K = 8}{\varepsilon - ?}},$$

$$x_{1/2}$$

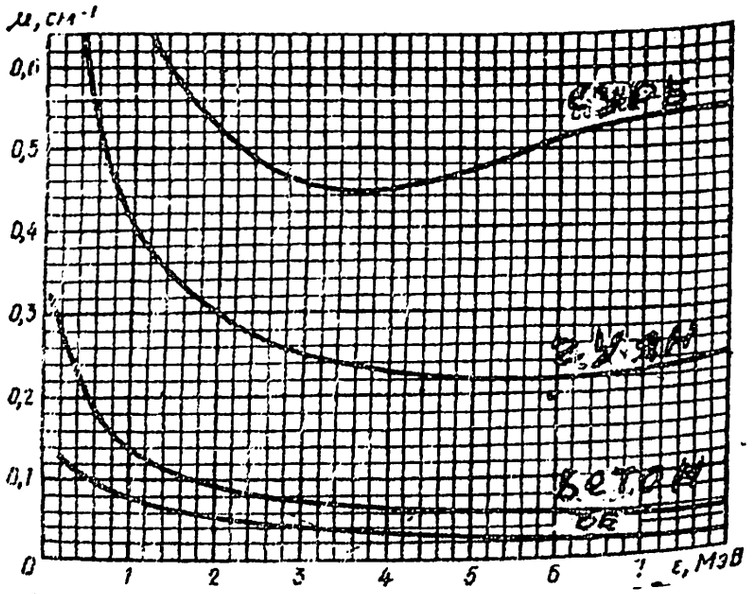
Ҳал:

$J = J_0 e^{-\mu x}$, $\frac{J}{J_0} = e^{-\mu x}$, аз шарти $\frac{J_0}{J} = K$, пас: $\frac{1}{K} = e^{-\mu x}$

$-\ln K = -\mu x$, $\mu = \frac{\ln K}{x} = \frac{\ln 8}{4} = 0{,}52см^{-1}$.

Аз расми 1 меёбем, ки барои сурб $\mu = 0{,}52см^{-1}$ аст ва ба энергияи $\varepsilon_1 = 2МэВ$ ё инки $\varepsilon_2 = 6.2МэВ$ мувофиқ меояд.

Онгох: $x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0{,}693}{0{,}52} = 1{,}3см$, ҷавоб $\varepsilon_1 = 2$ ё инки $\varepsilon_2 = 6{,}2МэВ$; $x_{1/2} = 1{,}3см$.



Расми 1. Вобастагии μ аз энергия E

5. Аз сурб дастаи борики гамма-афканишот мегузарад. Дар кадом қимати энергияи ε гамма-фотонҳо ғафсии $x_{1/2}$ қабати нимсустшавӣ максималӣ мешавад?

Ғафсии $x_{мак}$ максималӣ қабати нимсустшавӣ барои сурб ёфта шавад?

Дода шудааст: $x_{1/2}$=мак:

ε–?

$x_{мак}$–?

Ҳал: $x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$, пас $x_{1/2}$ ба қимати максималӣ соҳиб мешавад, агар μ минималӣ бошад. Аз расми 1 дида мешавад, ки ҳангоми ε=3,6 МэВ будан $\mu = 0{,}44см^{-1}$ мешавад.

яъне: $x_{мак} = \frac{\ln 2}{0{,}44} = 1{,}57см$;

Ҷавоб: ε=3,6 МэВ, $x_{мак}$=1,57см.

6. Дастаи борики гамма - афконишот (энергияи ε гамма-фотонхо ба $2{,}4МэВ$ баробар аст) аз хишти бетони ғафсиаш $x_1 = 1м$ мегузарад. Кадом ғафсии x_2 хишти чугун ингуна сустшавии дастаи гамма – афконишотро медиҳад?

Дода шудааст:

$$\frac{\varepsilon = 2{,}4МэВ}{\frac{x_1 = 1м}{\frac{K = 100}{x_2 - ?}}},$$

Ҳал: $\hat{J} = \hat{J}_0 \ell^{-\mu x}$, $\frac{\hat{J}}{\hat{J}_0} = \ell^{-\mu x}$

Аз шарти $K = \frac{\hat{J}_0}{\hat{J}} = const$; $\frac{\hat{J}}{\hat{J}_0} = const$;

$$\ell^{-\mu_1 x_1} = \ell^{-\mu_2 x_2}; \mu_1 x_1 = \mu_2 x_2; x_2 = \frac{\mu_1 x_1}{\mu_2}$$

Аз расми 1 ҳангоми $\varepsilon = 2{,}4МэВ$ будан меёбем, ки барои бетон $\mu_1 = 0{,}08см^{-1}$, барои чугун $\mu_2 = 0{,}28$

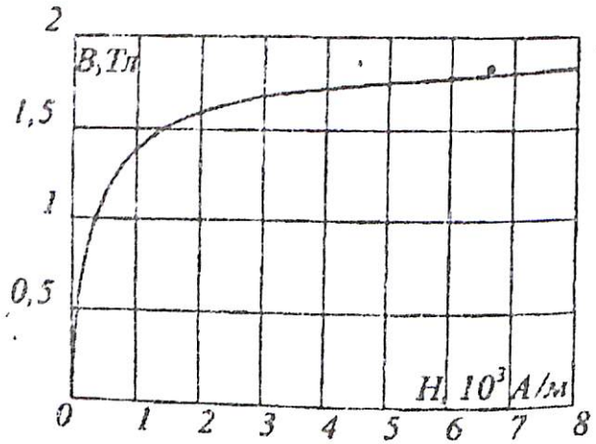
$x_2 = \frac{\mu_1 \cdot K}{\mu_2} = \frac{0{,}08 \cdot 100}{0{,}28} = 28{,}6см$;

Ҷавоб: $x_2 = 28{,}6\ см$.

Иловаҳо

1. Зарбшавандаҳо барои ҳосил кардани бузургиҳои каратӣ ва ҳисса аз вохидҳои физикӣ (вохиди ҳиссагӣ).

Ном	Зарбшаванда	Ифодаи русӣ	Ифодаи байналмиллалӣ
Экса	10^{18}	Э	E
Гета	10^{15}	П	P
Тера	10^{12}	Т	T
Гига	10^{9}	Г	G
Мега	10^{6}	М	M
Кило	10^{3}	к	K
Гекто	10^{2}	г	H
Дека	10	да	Da
Детси	10^{-1}	д	D
Санти	10^{-2}	с	C
Мили	10^{-3}	м	M
Микро	10^{-6}	мк	μ
Нано	10^{-9}	н	N
Пико	10^{-12}	п	P
Фемто	10^{-15}	ф	F
Атто	10^{-18}	а	A



Графики вобастагии индуксия B аз шиддатнокии майдони магнитии H барои баъзе намуди охан

3. Доимиҳои асосии физикӣ

Темпратураи 0 мутлак	$t = -273{,}15^0C$
Вохиди атомии масса	1а.е.м. = $1{,}6605655*10^{-27}$кг
Доимии гравитасионӣ	$G = 6{,}672^2 *10^{-11}Н^2*м^2/кг^2$
Заряди алфа-зарра	$Q = 2e = 3{,}204*10^{-19}$Кл
Дарозии мавчи Комптонии электрон	$\lambda_c = 2{,}43*10^{-12}$м
Доимии магнитӣ	$\mu_0 = 12{,}5663706144*10^{-7}$Гн/м
Моменти магнитии протон	$\mu_p = 1{,}4106171*10^{-26}$ч/тл
Моменти магнитии электрон	$\mu_e = 9{,}28483*10^{-24}$ч/тл
Массаи алфа-зарра	$m_a = 6.644*10^{-27}$кг
Массаи оромии нейтрон	$m_n = 1.6749543*10^{-27}$кг
Массаи оромии протон	$m_p = 1.6726485*10^{-27}$кг
Массаи оромии электрон	$m_e = 9.109534*10^{-31}$кг
Доимии молии газ	R = 8.31441ч/(мол.К)
Ҳачми молии гази идеали дар шароити муътадил	$V_0 = 22.41383*10^{-3}м^3$/мол
Шитоби озодафтии нормалӣ	$g = 9.81м/с^2$
Шароитҳои нормалӣ:	
Фишори атмосферӣ	$P_0 = 101325$ Н/м²
Темпратура	$T = 273^0$ К
Доимии Авогадро	$N_A = 6.022045*10^{23}$моль$^{-1}$
Доимии Болсман	$K = 1.380662*10^{-23}$ч/К
Доимии Вина	$b = 2{,}90*10^{-3}$мК
Доимии Планг	$h = 6.626176*10^{-34}$ ч.с
Доимии Стефан-Болсман	$\sigma = 5.67*10^{-8}$ Вт/(м²К⁴)
Доимии Фарадей	$F = 96.48456*10^3$ Кл/мол
Суръати рушноӣ дар Вакуум	$C = 2.99792458*10^8$ м/с
Доимии универсалии газ	R = 8.314 ч/(К.мол)
Заряди бунёдӣ	$e = 1.6021892*10^{-19}$Кл

4. Диаметри атомҳо ва молекулаҳо,нм

Ҳелий	0,20	Оксиген	0,30
Ҳидроген	0,23	Азот	0,30

5 Қимати критики (бухроник) $T_к$ ва $P_к$

Модда	$T_к$,К	$P_к$,МПа	модда	$T_к$,К	$P_к$,МПа
Буғи об	647	22,0	Азот	126	3,4
Гази ангидриди карбон	304	7,38	Гидроген	33	1,3
оксиген	154	5,07	Ҳелий	5,2	0,23
Аргон	151	4,87			

6. **Фишори буғи сершуда дар фазо ҳангоми температураҳои гуногун**

t, ^oC	$p_н$, Па	t, ^oC	$p_н$, Па	t, ^oC	$p_н$, Па
-5	400	8	1070	40	7335
0	609	9	1145	50	12302
1	656	10	1225	60	19807
2	704	12	1396	70	31122
3	757	14	1596	80	47215
4	811	16	1809	90	69958
5	870	20	2328	100	101080
6	932	25	3165	150	486240
7	1025	30	4229	200	1549890

Гармии хоси буғшавии об дар температураҳои гуногун

t, ^oC	R, 10^5Ч/кг	t, ^oC	R, 10^5Ч/кг
0	25,0	180	20,1
10	24,7	200	19,4
20	24,5	220	18,6
30	24,0	250	17,0
50	23,8	300	14.0
70	23,2	350	8,92
90	22,8	370	4,4
100	22,6	374	1,1
120	22,0	374,15	0

8. **Хосияти баъзе чисмҳои сахт**

Модда	Зичй, 10^3 кг/м^3	Температураи гудо зиш, ^oC	Гармии гунчоиши хос ч/(кг, К)	Гармии хоси гудозиш, кч/кг	Зариби хатти васеъшавии температура, 10^{-5} К$^{-1}$
Алюмин	2,6	659	896	322	2,3
Охан	7,9	1530	500	272	1,2
Латун	8,4	900	386	-	1,9
Ях	0,9	0	2100	335	-
Мисс	8,6	1100	395	176	1,6
Қурғошим	7,2	232	230	58,6	2,7
Платина	21,4	1770	117	113	0,89
Пук	0,2	-	2050	-	-
Сурб	11,3	327	126	22,6	2,9
Нукра	10,5	960	234	88	1,9
Пӯлод	7,7	1300	460	-	1,06
Синк	7,0	420	391	117	2,9

9. **Кӯчандагии ионҳо дар электролитҳо 10^{-8}м^2/(в*с)**

NO_3^-	6.4	Ce^-	6.8
H^+	32.6	AG^+	5.6
K^+	6.7		

10. **Кори баромади электронҳо аз метал, эВ**

W	4.5	Ag	4.74
W+Cs	1.6	Li	2.4
W+Th	2.36	Na	2.3
Pt+Cs	1.40	K	2.0
Pt	5.3	Cs	1.9

11. **Дарозии мавҷ барои маводҳои гуногуни анод, пм, ки сарҳади k – сериян нурҳои рентгениро муайян мекунад.**

Волфрам	17,8	Платика	15,8
Тилло	15,3	Нукра	48,4
Мисс	13,8		

12. **Хатти тайфи камонаки симоб, нм**

253,7	404,7	546,1	612,8
365,0	435,8	577,0	690,8
365,5	523,5	579,1	708,2

13 **Массаи баъзе изотопҳо, в.а.м.**

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
$^{1}_{1}H$	1,00783	$^{9}_{4}Be$	9,01218	$^{30}_{14}Si$	29,97377
$^{2}_{1}H$	2,01410	$^{10}_{5}Be$	10,01294	$^{40}_{20}Ca$	39,96257
$^{3}_{2}H$	3,01605	$^{12}_{6}C$	12,0	$^{56}_{27}Co$	55,93984
$^{4}_{2}H$	3,01603	$^{13}_{7}N$	13,00574	$^{63}_{29}Cu$	62,92960
$^{6}_{3}Li$	4,00260	$^{14}_{7}N$	14,00307	$^{112}_{48}Cd$	111,90276
$^{7}_{3}Li$	6,01512	$^{23}_{12}Mg$	16,99913	$^{200}_{80}Hg$	199,96832
$^{8}_{3}Li$	7,01600	$^{24}_{12}Mg$	22,99413	$^{235}_{92}U$	235,04393
$^{7}_{4}Be$	7,01693	$^{25}_{12}Mg$	23,98504	$^{238}_{92}U$	238,05353
$^{8}_{4}Be$	8.00531	$^{27}_{13}Al$	26,98154		

14. **Даври нимкоҳиши баъзе элементҳои радиофаъол**

$^{45}_{20}Ca$	**164 шабонарӯз**	$^{226}_{88}Ra$	**1590 сол**
$^{90}_{38}Sr$	**28 сол**	$^{235}_{92}U$	**$7{,}1*10^{8}$ сол**
$^{210}_{84}Po$	**138 сол**	$^{238}_{92}U$	**$4{,}5*10^{9}$ сол**
$^{222}_{86}Rn$	**3,82 сол**		

Системаи даврии элементҳои Д.И.Менделеев

Гурӯҳи элементҳо

давра	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1	H 1 1.0079 Гидроген								He 2 4.00260 Гелий
2	Li 3 6.941 Литий	Be 4 9.01218 Бериллий	B 5 10.81 Бор	C 6 12.011 Карбон	N 7 14.0067 Нитроген	O 8 15.9994 Оксиген	F 9 18.99840 Фтор		Ne 10 20.179 Неон
3	Na 11 22.98977 Натрий	Mg 12 24.305 Магний	Al 13 26.98154 Алюминий	Si 14 28.086 Кремний	P 15 30.97376 Фосфор	S 16 32.06 Сулфур	Cl 17 35.453 Хлор		Ar 18 39.948 Аргон
4	K 19 39.098 Калий	Ca 20 40.08 Калсий	Sc 21 44.9559 Скандий	Ti 22 47.90 Титан	V 23 50.942 Ванадий	Cr 24 51.996 Хром	Mn 25 54.938 Манган	Fe 26 55.847 Охан	Co 27 58.933 Кобалт	Ni 28 58.71 Никел
5	Rb 37 85.47 Рубидий	Sr 38 87.62 Стронций	Y 39 88.905 Итрий	Zr 40 91.22 Сирконий	Nb 41 92.9066 Ниобий	Mo 42 95.94 Молибден	Tc 43 (99) Технетий	Ru 44 101.07 Рутутсий	Rh 45 102.905 Родий	Pd 46 106.4 Паллади
6	Cs 55 132.905 Сезий	Ba 56 137.34 Барий	La 57* 138.91 Лантаноҳо	Hf 72 178.49 Гафний	Ta 73 180.95 Тантал	W 74 183.85 Волфрам	Re 75 186.2 Рений	Os 76 190.2 Осмий	Ir 77 192.2 Иридий	Pt 78 195.09 Платина
7	Fr 87 (223) Франсий	Ra 88 (226) Радий	Ac 89** (227) Актиноҳо	Rf 104 (261) Резерфордий	Db 105 (262) Дубний	Sg 106 (263) Сиборгий	Bh 107 (264) Борий	Hs 108 (265) Хассий	Mt 109 ( ) Мейтнерий

давра	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1									
2									
3									
4								Ni 28 58.71 Никел	Kr 36 83.80 Криптон
5								Rh 45 102.905 Родий	Pd 46 106.4 Паллади
6								Ir 77 192.2 Иридий	Pt 78 195.09 Платина
7								Mt 109 ( ) Мейтнерий	

* Лантаноидҳо

Ce 58 140.12 Серий	Pr 59 140.91 Празеодим	Nd 60 144.24 Неодим	Pm 61 (145) Прометий	Sm 62 150.35 Самарий	Eu 63 151.96 Европий	Gd 64 157.25 Гадолиний	Tb 65 158.92 Тербий	Dy 66 162.50 Диспрозий	Ho 67 164.93 Гольмий	Er 68 167.26 Эрбий	Tm 69 168.93 Тулий	Yb 70 173.04 Иттербий	Lu 71 174.97 Лютеций

** Актиноидҳо

Th 90 232.038 Торий	Pa 91 (231) Протактиний	U 92 238.03 Уран	Np 93 (237) Нептуний	Pu 94 (242) Плутоний	Am 95 (243) Америсий	Cm 96 (247) Кюрий	Bk 97 (247) Берклий	Cf 98 (249) Калифорний	Es 99 (254) Эйнштейний	Fm 100 (253) Фермий	Md 101 (256) Менделевий	(No) 102 (256) Нобелий	Lr 103 (257) Лоуренсий

АДАБИЁТ

1. Miragliotta J. Confocal Raman Microscopy - Surface enhanced Raman Spectroscopy (SERS) on Ag-Nanoparticles coated with Dipicolinic Acid. WiTec, Baltimore, USA, 2009
2. Бушуев А.В., Петрова Е.В., Кожин А.Ф. Практическая гамма-спектрометрия. Учебное пособие. М.:Тровант, 2006.
3. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 286 с.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Росспотребнадзора, 2009. – 100 с.
5. Harvey, J. Alternate Method for Production of 225Ac – Update. / J. Harvey. // 9-th Symposium on Targeted Alpha Therapy. – Warsaw. – 2015. – P.51.
6. Targeted atomic nano-generators (Actinium-225-labeled humanized anti-CD33 monoclonal antibody HuM195) in patients with advanced myeloid malignancies: electronic source // URL: http://clinicaltrials.gov/show /NCT00672165. June 9 2011. (Date of appl.: 21.02.2016).
7. Bayer Int.: electronic source // URL: http://www.bayer.no/. (Date of appl.: 21.02.2016).
8. Техническая информация Triskem Int.: электронный ресурс // URL: http://www.triskeminternational.com/ru/full_informations%20techniques%20resines.asp (Дата обращения: 21.02.2016).
9. Мельников, М.Я. Экспериментальные методы химии высоких энергий. / М.Я. Мельников, Е.Г. Багрянская, Ю.А. Вайнштейн, А.Х. Воробьев, Б.Г. Ершов, В.Л. Иванов, А.В. Пономарев, И.Е. Макаров, В.И. Пергушов, В.Ф. Плюснин, В.А. Смирнов, Б.М. Ужинов, В.И. Фельдман. Под ред. М.Я. Мельникова. М.: Изд-во МГУ. – 2009.
10. К. В. Бычков, Ю. К. Земцов. Атомная физика. М.: Изд. ГАИШ МГУ, 2010.
11. Дубов Л.Ю., Мирошниченко В.П., Ньян Вин. Пробоподготовка жидкости для аэроионной альфа-радиометрии. Инженерная Физика № 1/2007.

12. Алфа-, бета-, гамма-спектроскопия, под редакция К. Зигмана, том 1. Москва 1968г.
13. А.И. Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С. Матусевич, Основы экспериментальных методов ядерной физики, Москва, Атом издат. 1977г.
14. Ю.А.Егоров Сцинтилятсионный метод спектрометрии гамма излучения и быстрых нейтрон. Москва 1963г
15. А. Нарзиев. Экологияи радиатсионӣ ва дозасанҷӣ. - Душанбе, «ЭР-граф», 2015. -588 с.
16. А.И. Дробышев. Основы атомного спектранного анализа.СПбГГУ, 2000г
17. А.Н. Матвеев. Атомная физика.-М.: Оникс, «Мир и образование», 2007.- 540 с.
18. Т.И. Трофимова. Основы физики. Атом, атомное ядро и элементарные частицы.-М.: Кновус, 2011.- 371 с.
19. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц.-М.: Физматгиз, 2010.- 400 с.
20. П.Г. Фадеев. Лекция по атомной физике.-М.:Физмат книга,2008.- 423 с.
21. Э.В. Шпольский. Атомная физика. Том 1 и 2.- М.: Наука, 1974.- 570 с.
22. М. Борн. Атомная физика.- М.:Наука, 1965.-365 с.
23. Л.Н. Добрецов. Атомная физика.-М.: физ.мат.лит.,1960.-350 с.
24. Е. Пустовалов. Атомная и ядерная физика.-М.: Атомиздат,1962.- 362 с.
25. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матисевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики.-М.: Атомиздат, 1970.- 456 с.
26. Ионизирующие излучение. Радиационная безопасность. Нормы радиацонной безопасности (НРБ - 99/2009). Минздрав Росии, 1999.-4 с.
27. В.И.Иванов, Н.А.Лютова. Клиническая дозиметрия. Теоретические основы и практическое применение. -М.: Весть, 2006.-473 с.
28. А. Назриев. Практикум аз физикаи атому ядро, дозасанҷӣ ва тайфсанҷӣ аз алфа - бета - гама нурҳо ва нейтронҳо: Нашриёти Эр-граф: Душанбе,-2013; 170с.
29. А.Нарзиев, Б.Максудов. Асосхои физикаи атому ядро ва дозасанчи: Нашриёти ЭР-граф: Душанбе, -2014, 463 с.

Абдуҳамид Нарзиев

СПЕКТРОМЕТРИЯ ВА АМНИЯТИ РАДИАТСИОНӢ

Ҳуруфчинон
Амираю Ясмина ва
Султону Амирҷони Абдуҳамид.

Ба чопаш 02.01.2022 имзо шуд. Андозаи 60x84$^{1}/_{16}$. Когази офсет.
Чопи офсет. Гарнитураи Times New Roman.
Ҷузъи чопии шартӣ 41,5. Теъдоди нашр 500 нусха.

Матбааи ҶДММ «Авесто ЛТД».
Сурога: ш. Душанбе, кӯчаи Н. Қарабоев, 65.