

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атында Қазақ ұлттық техникалық университеті
Т.Басенов атындағы архитектура және құрылыс институты
Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау кафедрасы



М.Т. Жараспаев, Е.Е. Садуақасов

РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІК НЕГІЗДЕРІ

Пәннің оқу-әдістемелік кешені
(5В073100– тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау)

Алматы 2011

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: Жараспаев Мырзағали Токпақұлы, Садвақасов Ерлан Ермекұлы. Алматы: ҚазҰТУ, 2011 – 91 бет

Андатпа: «Радиациялық қауіпсіздік негіздері» пәніне арналған оқу-әдістемелік кешенде радиациялық сәулеленудің физикалық негіздері, радиоактивті сәулеленудің заттармен өзара әсері, сәулеленудің биологиялық әсері, бақылау әдістері, нормалау және иондалу сәулелерінен қорғау принциптері көрсетілген. Иондалу сәулелерінің көздерінің радиоактивті ыдырау заңы қарастырылады. γ -сәулелердің әр түрлі заттармен және тірі ағзалар ткандерімен өзара әсері көрсетіледі. γ -сәулелерден қорғау экранының жұтылу қабатының қалыңдығы анықталады. β – сәулелердің түрлері және олардың әр түрлі заттармен өзара әсері, β – сәулелерден қорғану экранының қалыңдығы анықталады. Нейтрондардың заттармен өзара әсері қарастырылып нейтронды сәулелену көздерінен қорғау экранын есептеу формуласы ұсынылады. Курста сәулелену көздерінің классификациясы қарастырылады. Нүктелі изотропты радионуклидтің γ -сәулелену алаңын есептеу формулалары беріледі. Иондалу сәулелерінің дозиметриясы және тіркелуінің физикалық негіздері. Дозиметрияның сцинтилляциялық, люминисцентті, фотографиялық әдістері. Радиациялық бақылаудың құралдары мен жұмыс істеу принципі. Иондалу сәулелері көздерімен жұмысты ұйымдастыру. Сәулеленудің жабық көздерімен жұмыс істеу. Ашық күйдегі радиоактивті заттармен жұмыс. Радиоактивті көздерді тасымалдаудың қауіпсіздік негіздері. Радиациялық қауіпсіздік қызметінің міндеттері.

Қорытынды жол (15 кесте, 46 сурет)

Рецензент, техника ғылымдарының докторы Қабетенов Т.

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі 2009 жылы бекіткен Типтік оқу бағдарламасына сай жарыққа шықты.

©Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ, 2011 ж.

1 Syllabus - пәнді оқыту бағдарламасы

1.1. Оқытушылар туралы мәліметтер:

Жараспаев Мырзағали Токпақ ұлы, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ физикалық факультетін бітірген, мамандығы физика – теориялық физика, 1991 жылы 05.26.01 – «Еңбек қорғау» мамандығы бойынша кандидаттық диссертация қорғаған, 2001 жылы «Еңбек қорғау және геоэкология» мамандығы бойынша докторлық диссертацияны 200 ғылыми-әдістемелік басылымдары бар, оның ішінде 2 монография, 15 КСРО авторлық куәлігі және ҚР 17 патенті және алдын-ала патенті. Дәрісті екі тілде өткізеді. (қазақша, орысша).

Садвақасов Ерлан Ермекұлы Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінде, Тіршілік қауіпсіздік және Еңбек қорғау кафедрасында аға мұғалім. Жалпы жұмысы – 8 жыл, оқыту тәжірибесі – 5 жыл, оқу-әдістемелік әдебиеттерінің саны – 11.

Жұмыс телефоны 257-70-76, (7387)

1.2. Пән туралы мәліметтер:

Аталуы: «Радиациялық қауіпсіздік негіздері»

Кредиттер саны: 2

Өтілетін орны: Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-нің сабақ кестесі бойынша

Кесте 1

Курс	Семестр	Кредиттер	Аптадағы академиялық сағаттар						Бақылау түрі
			Дәрістер	Зерт. сабақтар	Тәжіриб. сабақтар (семинар сабақтар)	СӨЖ	СОӨЖ	Барлығы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	4	2	2	-	2	4	4	12	Е

1.3. **Пререквизиттер** - физика, математика, химия, статистикалық физика және ықтималдылықтар теориясы, тіршілік қауіпсіздігінің негіздері.

1.4 **Постреквизиттер** - еңбек қорғау, техникалық жүйелер беріктілігі және қауіпті басқару, жүйелік анализ теориясы және техникалық шешімдерді табу және т.б.

1.5. Пән туралы қысқаша мәліметтер:

«Радиациялық қауіпсіздік негіздері» пәніне арналған оқу-әдістемелік кешенде радиациялық сәулеленудің физикалық негіздері, радиоактивті сәулеленудің заттармен өзара әсері, сәулеленудің биологиялық әсері, бақылау әдістері, нормалау және иондалу сәулелерінен қорғау принциптері көрсетілген.

1.6 Тапсырмалардың түрлері мен тізімдері, орындалу кестесі

Сабақ түрлерінің кестесі мен оларды орындау мерзімдері 2-кестеде көрсетілген, мәлімет студенттерге оқу семестрінің басында беріледі.

Кесте 2

Сабақ түрлері мен орындалу мерзімі

Бақылау түрлері	Жұмыс түрлері	Жұмыс тақырыбы	Парақтары көрсетілген ұсынылатын әдебиетке сілтеме	Тапсыру мерзімі
Ағымды бақылау	Тәжірибиелік жұмыс	1. Радиоактивті ыдырау заңының негізгі физикалық мінездемелерін анықтау	1нег[26-28]	1 апта
		2. Әр түрлі материалдардан жасалған γ - сәулеленуден қорғану экрандарының қалыңдығын анықтау.	1нег[64-67]	2-3 апта
Аралық бақылау		3. Радиоактивті заттардың бір реттік лақтырыстарының қуатын анықтау	7нег[21-25]	4-5 апта
		4. Бір реттік лақтырыстарда қатты радиоактивті заттардың бөліну интенсивтілігін анықтау.	7нег[25-30]	6-7 апта
		5. Радиациялық жағдайды болжау әдісімен анықтау және оны бағалау.	7нег[30-36]	8-9 апта
		6. Мүмкін болатын ластану зоналарында қорғау отрядтарының радиациялық шығынды анықтау	1нег[89-91]	10-11 апта
		7. Радиоактивті заттармен мүмкін болатын ластану зонасында құтқару отрядтарының шекті болу ұзақтығын анықтау.	1нег[118-120]	12-13 апта
		8. Іс – жүзіндегі радиациялық жағдайды бағалау. β -сәулелену зоналарында құтқару отрядтарының шекті болу ұзақтығын анықтау.	1нег[149-172]	14 апта
Қортынды бақылау	емтихан			15 апта

1.7. Әдебиеттер тізімі

Негізгі әдебиеттер

1. Машковец В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1990– с. 176.
2. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. "Наука", 1967.
4. Егоров П.Т., Шляхов И.А., Алабин Н.И. Гражданская оборона. Высшая школа. - М.: 1970.
5. Саудабеков К.И., Алманиязов Э.А., Лухкова Л.Ю. Безопасность жизнедеятельности и формирования здорового образа жизни. - Алматы, 1999.
6. Атаманюк В.Н., Бурцев К.С. Гражданская оборона. - М.: Медицина, 1989.
7. Евтушенко Н.Г., Кузьмин А.П. и др. Безопасность жизнедеятельности в условиях ЧС. - Курган, 1994.
8. Справочник по поражающему действию ядерного оружия. - М.: 1978.
9. Закон Республики Казахстан от 23 апреля 1998 г. № 219-1 "О радиационной безопасности населения".
10. Рыкунов Б.М., Максимов М.Т., Титов С.Н. Радиационная и химическая защита. - Москва, военное издательство.1985.
11. НРБ-99.СП.2.6.1.758-99 Агентство по делам Здравоохранения, 1999 – с. 79.

Қосымша әдебиеттер

1. Закон РК "О чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера" 05.07.1996.
2. Гуськова Руководство по организации медицинской помощи при радиационных авариях.
3. Николаев Л.Н. Основы защиты населения от оружия массового поражения. - Минск. 1983.
4. Методические рекомендации. Министерство Здравоохранения РСФСР. Ленинградский научно-исследовательский институт радиационной гигиены Минздрава РСФСР. Обследование и оценки радиационной обстановки на предприятиях по разведке и добыче нерадиационных полезных ископаемых подземным способом. - Ленинград, 1988.
5. Им Ю.М. Расчет режимов радиационной защиты при авариях на АЭС. - Л.: ВНИПЭнерго, 1987.
6. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. - М.: Атомиздат. 1980.
7. Жараспаев М.Т., Есекин Б.К., Касенов К. Средства и способы снижения пылевыведения в узлах перегрузки дробленых материалов. – Алматы: Казмехонобр, 1997 – с. 104.

1.8 Білімді бағалауды бақылау

Білімді бағалауды бақылаудың барлық түрлері көрсетілген шкала түрінде, баллдық-рейтингтік жүйемен жүргізіледі. «Радиациялық қауіпсіздік негіздері» пәннің рейтингі қорытынды бақылаудан тәуелсіз, 100-баллдық шкала бойынша бағаланады.

Бақылаулардың түрлері бойынша рейтингтік баллдардың бөлінуі 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3

Бақылаулардың түрлері бойынша рейтингтік баллдардың бөлінуі

№ варианттар	Қорытынды бақылау түрі	Бақылау түрі	Пайыз
1	Емтихан, курстық жұмыс	Қорытынды бақылау	100
		Аралық бақылау	100
		Ағымдық бақылау	100
		Курстық жұмыс	100

Ағымдық бақылаудың түрлері: бақылау жұмыстары, рефераттар, практикалық жұмыстардың орындалуы т.б., жалпы бақылауға емтихан жатады.

Ағымдағы бақылауды тапсыру мерзімі «Радиациялық қауіпсіздік негіздері» пәні бойынша оқу жүйесінің күнтізбелік кестесімен анықталады. Ағымдағы бақылаудың мөлшері пәннің оқу әдістемелік кешенінде көрсетілген құрамы мен мөлшері арқылы анықталады.

Кесте 4

«Радиациялық қауіпсіздік негіздері» пәні бойынша оқу үрдісінің күнтізбелік кестесі

Апта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Бақылау түрлері	ӨЖ	ТЖ	ӨЖ	ТЖ	ӨЖ	ТЖ	АБ	ӨЖ	ӨЖ	ТЖ	ӨЖ	ӨЖ	ТЖ	АБ	КЖ
Бақылаудың апталық саны	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Бақылау түрлері: ТЖ – тәжірибелік жұмыс, АБ – аралық бақылау, ӨЖ – өзіндік жұмыс, КЖ – курстық жұмыс

Пәннің қорытынды бағасы 5 кестедегі шкаламен анықталады
Кесте 5

Студент білімін бағалау

Баға	Әріп бойынша эквивалент	Рейтингтік балл (%)	Балл
өте жақсы	A	95-100	4
	A-	90-94	3,67
жақсы	B+	85-89	3,33
	B	80-84	3,0
	B-	75-79	2,67
Қанағаттанарлық	C+	70-74	2,33
	C	65-69	2,0
	C-	60-64	1,67
	D+	55-59	1,33
	D	50-54	1,0
Қанағаттанарлықсыз	F	0-49	0

Аралық аттестация және модуль бойынша бақылау сұрақтар тізімі

1-модуль бойынша бақылау өткізу сұрақтары

1. Ядро құрамы және мінездемесі
2. Массалар дефекті және ядроның байланыс энергиясы
3. Сәулелену түрлері, альфа (α) ыдырау, бета (β) – ыдырау, гамма (γ)-сәулелену
4. Альфа (α) ыдырау ерекшеліктері
5. Бета (β) – ыдырау ерекшеліктері
6. Қарапайым бөлшектерді бақылау ерекшеліктері
7. Гамма сәулеленудің заттармен өзара әсері
8. Нейтрондардың заттармен өзара әсері
9. Ядролық реакциялар
10. Термоядролық реакция
11. Гейгер-Мюллер есептегішінің жұмыс істеу принциптері
12. Суретке түсіру детекторларының жұмыс істеу принципі
13. Газдық эффективті (эквивалентті) дозаны анықтау
14. Жұтылу дозасын анықтау.
15. Эквивалентті дозаның жұтылуы
16. СИ жүйесінде сәулелену активтілігінің өлшем бірлігі
17. Сәулелену көзінің активтілігін анықтау
18. Радиоактивті ыдырау заңы
19. Заттардың изотоптарының жартылай ыдырауын анықтау
20. Радиоактивті ізді зоналау
21. Радиоактивті лақтырыстармен ластану радиусын анықтау
22. Әр түрлі беттердің радиоактивті ластануына баға беру.

2 модуль бақылау жүргізуге арналған сұрақтар

1. Қоршаған орта объектітерінен сынама алу ережелері
2. Тамақ өнімдерінің радиоактивтілігін анықтау
3. Радиоактивті өнімнің жасын анықтау әдістері
4. Тірі ағзаға әсер етуде иондалу сәулелерінің әсерінің ерекшеліктері
5. Радиоактивті заттардың жартылай биологиялық бөліну кезеңін анықтау
6. Иондалу сәулелерінің әсерінің бірінші ретті механизмдері.
7. АЭС жұмыс істеу принциптері
8. АЭС аймағындағы радиациялық жағдайды бағалау.
9. Әр түрлі объектілерді панахана түріне келтіру
10. Халық шаруашылығының әр түрлі объектітерінің жұмысының ядролық жарылыстың зақымдау факторына тұрақтылығына баға беру.

Аралық аттестацияға дайындыққа арналған сұрақтар

1. Ядро құрамы және мінездемесі
2. Массалар дефекті және ядроның байланыс энергиясы
3. Сәулелену түрлері, альфа (α) ыдырау, бета (β) – ыдырау, гамма (γ)-сәулелену
4. Альфа (α) ыдырау ерекшеліктері
5. Бета (β) – ыдырау ерекшеліктері
6. Қарапайым бөлшектерді бақылау ерекшеліктері
7. Гамма сәулеленудің заттармен өзара әсері
8. Нейтрондардың заттармен өзара әсері
9. Ядролық реакциялар
10. Термоядролық реакция
11. Гейгер-Мюллер есептегішінің жұмыс істеу принциптері
12. Суретке түсіру детекторларының жұмыс істеу принципі
13. Газдық эквивалентті (эквивалентті) дозаны анықтау
14. Жұтылу дозасын анықтау.
15. Эквивалентті дозаның жұтылуы
16. СИ жүйесінде сәулелену активтілігінің өлшем бірлігі
17. Сәулелену көзінің активтілігін анықтау
18. Радиоактивті ыдырау заңы
19. Заттардың изотоптарының жартылай ыдырауын анықтау
20. Радиоактивті ізді зоналау
21. Радиоактивті лақтырыстармен ластану радиусын анықтау
22. Әр түрлі беттердің радиоактивті ластануына баға беру.
23. Қоршаған орта объектітерінен сынама алу ережелері
24. Тамақ өнімдерінің радиоактивтілігін анықтау
25. Радиоактивті өнімнің жасын анықтау әдістері
26. Тірі ағзаға әсер етуде иондалу сәулелерінің әсерінің ерекшеліктері
27. Радиоактивті заттардың жартылай биологиялық бөліну кезеңін анықтау
28. Иондалу сәулелерінің әсерінің бірінші ретті механизмдері.
29. АЭС жұмыс істеу принциптері

30. АЭС аймағындағы радиациялық жағдайды бағалау.
 31. Әр түрлі объектілерді панахана түріне келтіру
 32. Халық шаруашылығының әр түрлі объектітерінің жұмысының ядролық жарылыстың зақымдау факторына тұрақтылығына баға беру.

1.9 Процедура мен саясат: сабаққа кешікпеу, ұялы телефонды сөндіру, өзіндік тапсырмаларды, жұмыстарды, рефераттарды уақытында және мұқият орындау, жіберіп алған сабақтарды оқытушымен бірге белгілі бір уақытта толықтыру, тапсырманы орындамаған жағдайда – қорытынды баға төмендетіледі.

2 Активті тарату материалдарының мазмұны

Курстың тақырыптық жоспары кесте түрінде жасалған, онда тақырыптардың аты мен әр тақырыпқа қарастырылған академиялық сағаттар саны көрсетілген.

Курстың тақырыптық жоспары

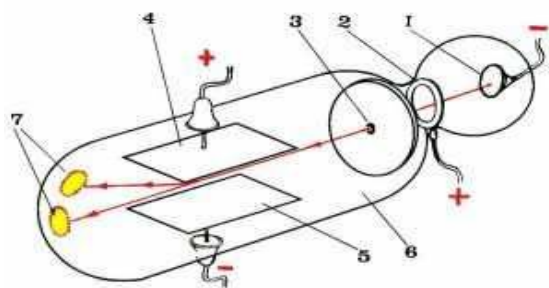
№ Р/ н	Тақырыптың атауы	Академиялық сағаттардың саны			
		Дәрістер	Тәжірибиелік /семинарлық/	СОӨЖ	СӨЖ
1	2	3	4	5	6
1	Радиациялық сәулеленің физикалық негіздері және ядролық күштердің табиғаты. Атомдық ядроның мінездемесі және құрамы.	2	2	4	4
2	Ядролық күштің табиғаты.	2	2	4	4
3	Радиоактивтілік, сәуле түрлері.	2	2	4	4
4	Ветта (β) – сәулесінің затпен әсерлесуі.	2	2	4	4
5	Гамма (γ) – сәулесінің затпен әсерлесуі.	2	2	4	4
6	ядролық реакциялар. Нейтронның заттармен әсерлесуі.	2	2	4	4
7	Иондаушы сәулелердің биологиялық сәулелері. Қабылданған тәуекелділіктің концепциясы.	2	2	4	4
8	Радиациялық сәулеленудің нормалау принципі. Радиациялық қауіпсіздік нормасы.	2	2	4	4
9	Радиациялық жағдайдың бақылауының әдістері. Дозиметрияның сцинтилляциялық әдісі. Дозиметрияның люминесценттік әдісі.	2	2	4	4
10	Ядролардың бөлінуі. АЭС жұмыс принципі.	2		4	4
11	Ғарыштық сәулелер. Радиациялық бақылау құралдары. Иондаушы сәулелерден қорғану. Қорғау	2	2	4	4

	классификациясы. ,				
12	Дозиметрияның фотографиялық ионизациялайтын сәуледен қорғану, Фотон сәулелерінен қорғау.	2	2	4	4
13	Нейтрондардан қорғау.	2	2	4	4
14	Иондаушы сәуле көздерімен жұмысты ұйымдастыру. Жалпы жағдайлар..	2	2	4	4
15	Радиоактивтік заттардың Тасымалдауының негіздері.	2	2	4	4
	Барлығы (сағат)	30	30	60	60

2.2. Дәрістік сабақтардың конспектісі

Дәріс 1. Атом моделдері. Радиациялық сәуленің физикалық негізі және ядролық күштердің табиғаты. Ядроның құрамы мен сипаттамасы.

Атомның модельдері. Ағылшын ғалымы 1897 жылы Дж.Дж. Томсон катод сәулелерінің электр электр өрісінде ауытқуын зерттеуге мүмкіншілік тудыратын түтікшенің конструкциясын жасады. (1-сур.) Катод сәулелері 4 және 5 пластиналар арасынан өткен кезде, оларға беріліп тұрған кернеуді өзгертіп тұруға болады.

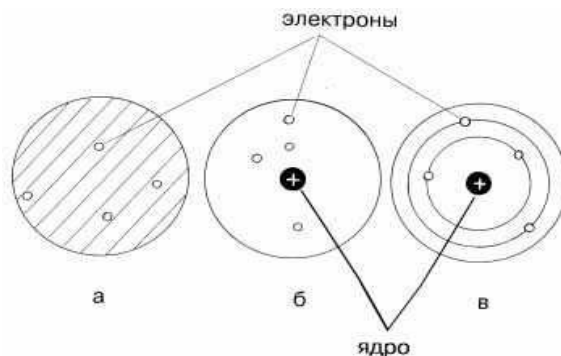


1-сурет. Электр өрісі әсерінен катод сәулелерінің ауытқуын өлшеуге 1-сур. Электр өрісі әсерімен катод сәулелерінің ауытқуын өлшеуге арналған Томсон құрылғысы. 1 - теріс зарядталған электрод (катод); 2 - оң зарядталған электрод; 3 – отверстие (бұранда); 4 пен

5 – катод сәулелерінің ауытқуына арналған электрод пластиналары; 6 - іші катод сәулелерінің әсерінен жанатын затпен қапталған құбыршаның (трубканың) бөлшегі; 7 – жарқыраған нүктелер. Бұл тәжірибе кейін катод сәулелерінің массасымен немесе зарядын анықтауға қолданылған. Егер бөлшектің массасы аз, ал заряды үлкен болса, онда оның электр өрісінде түзу сызықты траекториясынан ауытқуыда үлкен болады. Шынында да ол үшін қосымша тәжірибелер жасалуы қажет. Бұл қойылған мақсат 1909 жылы орындалды. Құпия «катод» сәулелерінің электрлік заряды кулонмен есептегенде ең кішкентай шама болып шыққан. Сондықтан бұл бөлшектің заряды бірлік өлшем ретінде алынған, бірақ физиктер және химиктер қолайлы болу үшін басқада шкаланы қолданады. Ең аз теріс зарядқа ие болған бөлшекті Томсон сипаттаған және оған электрон деген атау берілген. Осы аспапқа ұқсас аспапта оң зарядталған бөлшектер ағымының ауытқуын бақылаған, ол бөлшектер протондар деп аталған. Электронның массасына протонның массасы мөлшермен 2000 – рет үлкен болған ал заряды электронның зарядына тең - оң заряд. Сонымен, алғаш рет физиктердің қолданылуына атом құрлысының бөлшектері пайда болды. Оларды пайдаланып атом модельделінің бірнеше түрі ұсынылған. Оң зарядталған

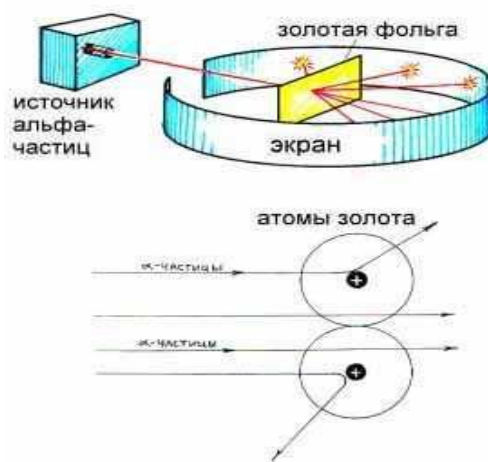
сфераның ішінде теріс зарядтар орналасқан, «жүзімі бар тоқаш» сияқты деп Дж.Дж. Томсон атомның алғаш моделін ұсынған.

Атом модельдері: а) Томсондікі – «жүзімі бар тоқаш»; б) Резерфордтікі – планетарлық; Бор – толықтырылған планетарлық модель ағылшын физигі Резерфорд 1910 жылы өзінің шәкірттері Гейгер және Марсгенмен тәжірибе жүргізді.



Сурет - 2. Атом модельдері.

Тәжірибенің салдарынан Томсон моделімен түсіндірілмейтін ғажайып нәтиже алынды. Қазіргі кезде барлық оқушылар білетін радиоактивтілік әйгілі болатын. Радиоактивтік заттар өте үлкен энергиялар бар бөлшектер шығарып қоймайды мұнымен қатар олар заттардан өтіп шығатыны әйгілі болды. Мұндай бөлшектер альфа бөлшектер деп аталады. Резерфорд тәжірибесі. Қалыңдығы мөлшермен 1000 атомдай алтын фольгадан альфа бөлшектерінің өтуі зерттеледі. Алтын фольгадан өткен бөлшектер экранға соғылып одан жарық шығарады. Альфа бөлшектердің түзу сызықты қозғалысынан ауытқуын экрандағы жарықтың шығуынан байқауға болады. Альфа бөлшектер шоғы Резерфорд тәжірибесінде алтын фольгаға түзу сызық бойымен бағытталған, ал онан кейін экранның жарқырауынан оның қозғалысы қисық сызықты екенін байқаймыз.



Сурет - 3.

Альфа бөлшектерінің шоғыры алтын фольгадан өтеді. Кейбіреулері түзу сызықты қозғалысынан ауытқуы өте үлкен болады, тіпті кейбір кері қайтқан альфа бөлшектерде бақыланады. Снарядтар болат қорғанынан кері

қайтқандай. Бұл тәжірибеден келесі қортынды жасауға болады. Алтын атомының тығыздығы барлық жерінде бірдей емес екеніне дәлел, оның ішінде бос жерлері және өте тығыз жерлеріде бар деп қорытындылауға болады. Сол атомның өте тығыз бөлігімен альфа бөлшегі әсерлескен кезде, ол кері қайтады. Сол тығыз бөлігінде атомның оң зарядталған барлық массасы шоғырланған және оны электрондар айналып қозғалады деп Резерфорд болжам жасаған. Сол кезде электронадарға центрден тепкіш күш әсер етеді және бұл күш электр өрісінің күшіменен теңестіріледі. Сондықтан альфа бөлшектері электронның маңынан жеңіл өтеді және ауытқуы аз болады. Егер альфа бөлшектері атомның массасы шоғырланған жерінен өтетін болса, оның ауытқуы өте үлкен болады, тіпті кері қайтуы мүмкін. Өйткені шоғырланған атом массаның заряды альфа бөлшегінің зарядындай оң зарядталған. Атом массасының шоғырланған бөлігін ядро деп атаған. Ауытқыған және ауытқымаған альфа бөлшектерін пайдаланып алтын фольганың ядросының өлшемі атомының өлшемінен 100000–рет кіші екені анықталған.

Резерфорд моделі альфа бөлшегінің Алтын фольгадан өтуін түсіндіргенмен қатар көптеген сұрақтар тудырды. Ядроны айналып жүрген электрондар неге энергия бөліп шығармайды, электрон неге құлап кетпейді және қыздырылған энергияны бөліп шығарады. Бұл сұрақтарға Резерфорд моделі жауап бере алмайды.

Бұл сұрақтарға дат ғалымы Нилс Бор өз моделін арқылы жауап береді. 1912 жылы Бор бірнеше ай Резерфордтың лабораториясында зерттеулер жүргізеді. Осы жерде ол Резерфордтың моделі негізінен дұрыс деген тоқтамға келеді. Бірақта, оған сонымен қатар атомның планетарлық моделі іс кездескен тосқауылдан шығу үшін сол кездерде қаз-қаз тұра бастаған кванттық теорияны енгізу қажет деген ой да келді, Планк пен Эйнштейннің еңбектерінде көрсетілгендей, қыздырылған қатты денелерде тербелістегі электр зарядтарының энергиялары бір дискреттік күйден екінші дискреттік күйге өткен кезде сәулелену квантын шығару арқылы дискреттік үлестермен өзгереді екен. Мүмкін, деп ойлады Бор, атомдарда да электрондар өздерінің энергияларын үздіксіз шығармай, энергия шығару кезінде кванттық өтулер жасайтын шығар. Осы бағыттағы ойларының нәтижесін Бор келесі жылы

электрондар ядроны дөңгелек орбиталардың бойымен айналады, олардың кейбіреулері ғана рұқсат етілген орбиталар болып табылады деген постулат айтты. Ол сонымен қатар электронның әрбір орбитада белгілі энергиясы болады және ол сол орбитамен қозғалған кезде *энергия шығармайды* деген постулатты да айтты (Бордың бұл постулаты классикалық электродинамикаға қайшы келеді). Осы себептен де Бор рұқсат етілген орбиталарды стационар күйлер деп атады. Ол, электрон бір стационар күйден екінші, энергиясы азырақ күйге өткен кезде ғана сәуле шығарады деп түйіндеді.

Оның ұсынғанын моделі Резерфорд моделіне ұқсас, бірақ келесі айырмашылығы бар, электрондар ядро төңірегінде белгілі бір тұрақты стационарлық орбиталарда орналасып соны айналып қозғалады. Бұл модель күн жүйесінің құрылысын еске салады. Электрондар ядроны айналып, күнді

басқа планеталар айналып жүргендей қозғалады. Қыздырылған заттар энергияны шығарады және электрондар ядродан қашық тұрған орбиталарға ауысады, ал содан кейін өзінің орбитасына белгілі үлес энергиясын жарық түрінде бөліп шығарып қайта оралады. Энергияның бұл үлесін кванты деп атайды. Электронның жоғары және төмен деңгейлерінің энергиясын дәл айырымы квант энергиясына тең болады.

Бордың бірінші постулаты бойынша: атомдық жүйе ерекше стационарлық немесе кванттық күйде болуға тиіс және әрбір күйге тиесілі бір энергия E_n -мөлшері сәйкес келеді. Атомдар стационар күйінде энергияны бөліп шығармайды.

Бұл пастулаты классикалық электродинамикаға қарама-қайшы, ол бойынша қозғалыстағы дененің энергиясы кез-келген мәнге ие болуға тиіс. Электро динамикада үдей қозғалған бөлшекті сәуле бөліп шығарады. Бордың бірінші постулаты бойынша атом энергетикалық деңгейлер жүйесімен сипаталады, әрбір деңгейге энергияның бір мөлшері сәйкес энергиясы E_i - тең күй атомның негізгі күйі деп аталады.

Бордың екінші постулаты келесі түрде тұжырымдалған, энергиясы E_n стационарлық күйден энергиясы E_m стационарлық күйге электрондар ауысқан кезде энергия квант түрінде шығады және жұтылады, бұл энергия тең

$$h \nu = E_n - E_m \quad (1.1)$$

Мұнда h -Планк тұрақтысы сәуленің шығу жиілігіне тең болады келесіге

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h} \quad (1.2)$$

Бордың екінші постулаты классикалық электродинамикасына қарама- қайшы, өйткені сәуленің жиілігі тек қана атомның энергиясын өзгеруімен анықталды және электрон қозғалысының түріне байланысы жоқ.

Атомдардың ядролары қарапайым бөлшектердің екі түрінен тұрады – протондар және нейтрондар. Бұл бөлшектерді нуклондар деп атайды.

Протон. Протон сутегі атомы ядросы болып табылады. Оның заряды $+e=1,6 \cdot 10^{-19}$ к және массасы

$$m_p=938,2\text{Мэв.} \quad (1.3)$$

Салыстыру үшін энергия бірлігінде көрсетілген электрон массасы

$$m_e=0,511\text{Мэв} \quad (1.4)$$

Формулалар (1.1) және (1.2) салыстыра келе $m_p= 1836 m_e$ екені түсінікті болады. Протонның спиы жартысына тең ($s = 1/2$) және өзіндік магнитті моменті бар

$$\mu_p = +2,79\mu_0, \quad (1.5)$$

$$\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,05 \cdot 10^{-24} \text{ эрг/гаусс}$$

Магнит моментінің бірлігі ядролық магнетон деп аталады. (1.3) салыстыруынан μ_0 1836 есе μ_B Бор магнетонынан кіші екенін көруге болады. Яғни, протонның өзіндік магниттік моменті электронның магниттік моментінен 660 есе кіші.

Нейтрон. Нейтрон (n) массасы протон массасына жақын, электр заряды жоқ бөлшек. Нейтрон мен протон массаларының айырмасы $m_n - m_p$ т 1,3 МэВ, яғни $2,5 t_e$. тең

$$m_n = 939,5 \text{ МэВ}, \quad (1.6)$$

Нейтрон спины, жартысына тең ($s = 1/2$), және ол өзіндік магнитке ие (электр зарядының жоқтығына қарамастан)

$$\mu_n = -1,91 \mu_0 \quad (1.7)$$

(минус белгісі өзіндік механикалық және магниттік моменттердің бағыттары қарама-қарсы екенін көрсетеді).

Бос күйде нейтрон тұрақты емес (радиоактивті) – ол өздігінен ыдырап, протонға айнала отырып, электрон (e^-) және антинейтрино ($\bar{\nu}$) деп аталатын тағы бір бөлшекті бөледі. Жартылай ыдырау периоды ~12 мин. Ыдырау схемасын келесі түрде жазуға болады:



Антинейтрино тыныштық күйдегі массасы нольге тең. Нейтрон массасы протон массасынан $2,5 t_e$ үлкен. Яғни нейтрон массасы теңдіктің оң жақ бөлігіндегі бөлшектердің массасынан $1,5 t_e$, артық яғни $0,77 \text{ МэВ}$. Бұл энергия нейтронның ыдырауы кезінде пайда болатын бөлшектердің кинетикалық энергиясы түрінде бөлінеді

Атом ядросының мінездемесі. Ядро құрамына кіретін протондар саны Z , оның $+Ze$ тең зарядын анықтайды. Z саны атомдық номер не ядроның зарядтық саны деп аталады (ол Менделеевтің периодтық кестесіндегі химиялық элементтің реттік номерін анықтайды).

Ядродағы нуклондар саны A (яғни протондар мен нейтрондардың қосынды саны) ядроның массалық саны деп аталады. Ядродағы нейтрондар саны $N = A - Z$

Ядроларды белгілеу үшін келесі символ пайдаланылады



бұл жерде X берілген элементтің химиялық символы. Оң жағынан жоғарғы бөлікте массалық сан қойылады, сол жағынан төменде - атомдық номер белгіленеді (соңғы белгі көбіне қойылмайды).

Көптеген химиялық элементтердің массалық саны A мәндері өзгеріп отыратын бірнеше изотоп түрлеріне ие. Мысалы, сутегінің үш изотопы бар:

${}_1\text{H}^1$ - әдеттегі сутегі, не протий ($Z = 1, N = 0$);

${}_1\text{H}^2$ – ауыр сутегі, не дейтерий ($Z = 1, N = 1$);

${}_1\text{H}^3$ - тритий ($Z = 1, N = 2$).

Оттегінің үш тұрақты изотопы бар: ${}_8\text{O}^{16}$, ${}_8\text{O}^{17}$, ${}_8\text{O}^{18}$, қалайыда - он, т.с.с

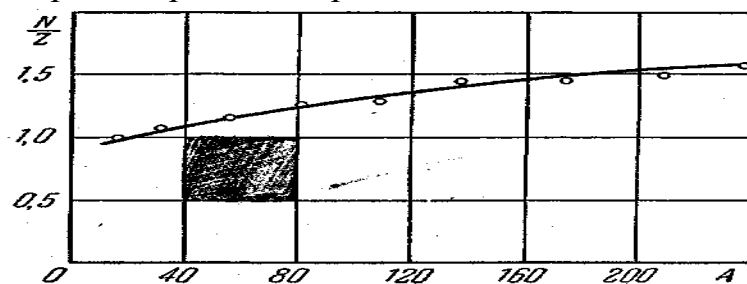
Изотоптар дегеніміз протондар Z саны бірдей ядролар. Массалық сандары A бірдей ядролар изобаралар деп аталады. Мысал ретінде ${}_{18}\text{Ar}^{40}$ и ${}_{20}\text{Ca}^{40}$ келтіруге болады. Нейтрондар саны бірдей ядролар $N = A - Z$ изотондар (${}_6\text{C}^{13}$, ${}_7\text{N}^{14}$) деп аталады. Сонымен қатар Z және A бірдей, жартылай ыдырау уақыты әр түрлі радиоактивті ядролар болады, оларды изомер деп атайды. Мысалы ${}_{35}\text{Br}^{80}$ ядросының екі изомері бар, біреуінің жартылай ыдырау периоды 18 мин, екіншісінікі - 4,4 сағат.

Ядро радиусы келесі формула бойынша дәл анықталады:

$$r = 1,2 \cdot 10^{-13} A^{1/3} \text{ см} = 1,2 A^{1/3} \text{ ферми} \quad (1.9)$$

(ферми — ядролық физикада қолданылатын ұзындық бірлігі, 10^{-13} см тең). Теңдіктен (1.9) ядро көлемі ядродағы нуклондар санына тең екенін көруге болады.

Қазіргі кезде Z не A бойынша өзгертін 1500 таяу ядро белгілі. Бұл ядролардың $1/4$ тұрақты, қалғандары радиоактивті. Көптеген ядролар жасанды жолмен ядролық реакциялар көмегімен алынды.



4 – сурет.

N , Z , A сандарынан ядролардың тұрақтылығының тәуелділігі

Табиғатта Z 1 – 92 арасындағы элементтер кездеседі, технеций (Tc , $Z = 43$) мен прометийден басқа Z 1 – 92 арасындағы (Pm , $Z = 61$). Плутоний (Pu , $Z = 94$) жасанды жолмен алынғаннан кейін өте аз көлемде табиғи минерал шайырлы қоспада өте аз мөлшерде анықталады. Басқа трансуранды (яғни ураннан кейінгі) элементтер ($Z = 93-104$) тек қана жасанды жолмен алынған.

Тұрақты ядролар үшін нейтрондар саны N протондар санына Z анық ара қатынасы бар. Жеңіл ядролар үшін бұл арақатынас бірге тең. Ядродағы нуклонның саны артқан сайын N/Z артып уран үшін мәні 1,6 жетеді (1-суретті қараңыз ол жерде абсцисса осында массалық сан A келтірілген, ал ордината осында $N -$ ның Z ара қатынасы берілген; суреттегі нүктелер жеке тұрақты ядроларға сәйкес келеді)

Ядро спиы. Нуклондардың спиндері ядроның нәтижиелі спинін құрайды. Нуклонның спиі $1/2$. Сондықтан қосынды квант заңдарына сәйкес I ядросы спиінің кванттық саны нуклондар саны A тақ болса жарты, A саны жұп болса бүтін болады. I ядроларының спиндері бірнеше бірліктен аспайды. Бұл ядродағы нуклондардың көпшілігінің спиы, антипараллельді орналасып, бірін-бірі компенсациялайтынын

көрсетеді. Көпшілік жұп-жұпты ядролардың спині нольге тең (яғни протондар саны және нейтрондар саны жұп).

M_I ядросының нәтижелілік моменті электрондық қабық M_J –дің атом қозғалысының мөлшерінің толық M_F моментінен құралады ол квант саны F анықталады.

Механикалық моменттермен магнитті моменттер байланысты. Электрондар мен ядроның магнитті моменттерінің арақатынасы M_I мен M_J –дің өзара бағдарласуына әкелетін (яғни F әртүрлі) атом күйіне әкеледі, және энергиясында кішкене өзгешелік болады. μ_L және μ_S моменттердің өзара арақатынасы спектрлердің жұқа құрылымына себепкер болады. Спектр сызықтарының ыдырауы, аса жұқа құрылымға сәйкес келеді, ол өте кіші, сондықтан аса дәл аспаптар көмегімен ғана көрінеді (ангстремнің бірнеше жүздіктері дейін).

Ядроның массасы және байланыс энергиясы. Ядро массасы $m_{\text{я}}$ әрқашан оның құрамына кіретін бөлшектердің массасының қосындысынан кіші болады. Бұл ядро нуклондарын біріктірген кезде энергия бөлінетіндігімен түсіндіріледі $E_{\text{св}}$ энергия байланысы нуклонды құрайтын ядролар бөлініп, бір-біріне әсер етпейтін қашықтыққа дейін алыстатуға қажетті жұмысқа тең. Осылайша ядро энергиясы бір-біріне әсер етпейтін нуклондар жүйесі энергиясынан $E_{\text{св}}$ шамасына артық. Энергия және массаның өзара байланыс заңына сәйкес, дене энергиясының азаюы ΔE дене массасының азаюымен сипатталуы керек $\Delta m = \Delta E/c^2$. Яғни, егер ядродағы нуклондар байланыс энергиясы келесі теңдік бойынша анықталады.

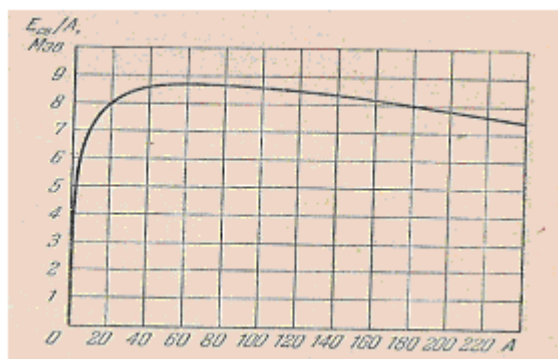
$$E_{\text{св}} = c^2 \{ [Zm_p + (A - Z)m_n] - m_{\text{я}} \} \quad (1.10)$$

Бұл арақатынас протон массасын m_p сутегі атомы массасына m_H , ал ядро массасын $m_{\text{я}}$ - атом массасына m_a ауыстырсақ өзгермейді. Іс-жүзінде электрондардың ядролармен байланысының энергия мөлшерін ескермейтін болсақ, бұл айырбас азайтылатын және алынатын теңдікке фигуралық жақшада тұрған теңдікке $Z m_e$ қосатынымызды көрсетеді. Сонымен (1.10) теңдігі келесі түрде өзгереді

$$E_{\text{св}} = c^2 \{ [Zm_H + (A - Z)m_n] - m_a \} \quad (1.11)$$

Соңғы теңдік 1.7 теңдікке қарағанда ыңғайлы, себебі кестелерде ядролар массасы емес атомдар массасы беріледі.

Гелий ядросындағы нуклондардың байланыс энергиясын ${}^4_2\text{He}$, табайық: оның құрамына екі протон ($Z = 2$) және екі нейтрон кіреді ($A - Z = 2$). ${}^4_2\text{He}$ атомының массасы 4,00388 м.а. б., бұл мәнге 3728,0 МэВ сәйкес келеді. Сутегі атомы массасы ${}^1_1\text{H}$ 1,00815 м. а. б. тең [938,7 МэВ;]. Нейтронның массасы 1.8 мәніне тең. Бұл мәндерді 1.8 формуласына қойып, $E_{\text{св}} = [2 \cdot 938,7 + 2 \cdot 939,5] - 3728,0 = 28,4$ МэВ аламыз.



5-сурет

Өзіндік байланыс энергиясының массалық санға (A) тәуелділігі

Бір нуклонға есептегенде гелий ядросының байланыс энергиясы 7,1 МэВ /нуклон құрайды. Салыстыру үшін атомдардағы валентті электрондардың байланыс энергиясы 10^6 есе кіші екенін айта кетейік (шамамен 10 эВ). Басқа ядролар үшін жеке байланыс энергиясы, яғни бір нуклонға ($E_{св}/A$) сәйкес келетін байланыс энергиясы гелий шамасына сәйкес келеді. 2-суретте $E_{св}/A$ шамасының A массалық санына тәуелділігін көрсететін график көрсетілген. Ең берік байланысқан нуклондардың массалық саны 50-60 (яғни Cr –нан Zn-ке дейінгі элементтер). Бұл ядролар үшін байланыс энергиясы 8,7 МэВ/нуклон құрайды. А ұлғайған сайын байланыс энергиясы біртіндеп төмендейді; ең ауыр табиғи элемент уран үшін ол 7,5 МэВ/нуклон құрайды. Бұл жеке байланыс энергиясының массалық саннан тәуелділігі екі үрдістің энергетикалық мүмкін болуына себепкер болады: 1) ауыр ядролардың бірнеше жеңіл ядроларға бөлінуі және 2) жеңіл ядролардың бір ядроға бірігуі (синтез). Екі үрдіс те көп мөлшерде энергияның бөлінуімен өтуі тиіс. Мысалы, массалық саны $A = 240$ (жеке байланыс энергиясы 7,5 МэВ тең) массалық саны $A = 120$ жеке байланыс энергиясы 8,5 МэВ тең) екі ядроға бөлінуі 240 МэВ энергияның бөлінуіне әкеледі. Ауыр сутегі ${}^2_1\text{H}$ екі ядросының гелий ядросына бірігуі ${}^4_2\text{He}$ ~ 24 МэВ тең энергия бөлінуіне әкеледі. Салыстыру үшін бір көміртегі атомының оттегінің екі атомымен біріктірілуі ~ 5 эВ энергияның бөлінуіне (көмірдің CO_2 дейін жануы кезінде) әкелетінін айта кетейік.

$A \sim 50-60$ ядролар энергетикалық ең тиімді болғандықтан, неліктен басқа A мәндері бар ядролар неге тұрақты болады деген сұрақ туындайды. Оның себебі келесі ауыр ядро бірнеше бөлікке бөліну үшін бірнеше аралық күйлерден өтеді, олардың энергиясы ядроның негізгі күйінен бірнеше есе артық. Сондықтан, бөліну үрдісі үшін ядроға қосымша энергия қажет (активация энергиясы), бұл энергия байланыс энергиясының бөлінуі кезінде энергияның өзгерісі әсерінен ұлғайып қайта оралады. Қалыпты жағдайда ядроның активация энергиясын алу көзі жоқ, сондықтан ауыр ядролар бейберекет бөлінеді. Активация энергиясы ауыр ядроға қосымша нейтрон арқылы беріледі. Жинақталған нейтрондар ядросы әсерінен уран және плутоний

ядроларының бөліну үрдісі ядролық реактор қызметі мен қарапайым атом бомбасы негізінде жатыр.

Жеңіл ядролар бір ядроға бірігуі үшін олар бір-біріне өте жақын келуі тиіс ($\sim 10^{-13}$ см). Бұл бірігуге кулон күші қарсы тұрады. Кулон күшіне қарсы тұру үшін ядролар өте үлкен жылдамдықпен қозғалуы тиіс және температурасы бірнеше жүздеген миллион градусқа тең болуы тиіс. Осы себептен жеңіл ядролар синтезі термоядролық реакция деп аталады. Термоядролық реакциялар Күн қойнауы мен жұлдыздарда жүреді. Жер шарттарында басқаруға келмейтін термоядролық реакциялар сутегі бомбалары жарылысында жүзеге асырылды.

Негізгі әдебиет: 1[23 – 30].

Қосымша әдебиет: 5 [1 – 5].

Бақылау сұрақтары:

1. Атом моделдерін атаңыз?
2. Бор постулатын келтіріңіз?
3. Ядро қандай бөлшектерден тұрады.?
4. Байланыс энергиясының формуласын жаз.

Дәріс 2. Ядролық күштер табиғаты. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы нуклондар арасында өте интенсивті өзара байланыс бар екенін көрсетеді. Бұл өзара әсер тартылуға ұқсас. Ол протондар арасындағы үлкен электростатикалық тебіліске қарамастан нуклондарды бір-бірінен $\sim 10^{-13}$ см қашықтықта ұстап тұрады. Нуклондардың ядролық ара қатынасы күшті өзара әсерлесу деп аталады. Оны ядролық күштер өрісі көмегімен сипаттауға болады. Осы күштердің айырықша ерекшеліктерін қарастырайық:

1. Ядролық күштер қысқа әсер ететін болып табылады – нуклондар арасындағы ара қашықтық шамамен $2 \cdot 10^{-13}$ см артса, олардың әсері сезілмейді. Ара қашықтық $1 \cdot 10^{-13}$ см аз болса, нуклондар тартылысы тебіліспен алмасады.

2. Қатты өзара әсерлесу нуклондардың зарядына тәуелсіз. Протондар арасында, протон мен нейтрон арасында, екі нейтрон арасындағы байланысты көрсететін ядролық күштер шамасы бойынша бірдей болады. Бұл қасиет ядролық күштердің зарядтық тәуелсіздігі деп аталады.

3. Ядролық күштер спиндердің өзара әсер ететін нуклондарының бағдарласуына тәуелді. Мысалы нейтрон мен протон бірігіп спиндері параллель болса, дейтонды құрайды.

4. Ядролық күштер қанығу қасиетіне ие (әр нуклон ядрода нуклондардың шекті санымен өзара әсерлеседі). Бұл қасиет ${}^2\text{He}^4$ бастап, бір нуклонға тиісті байланыс энергиясы барлық ядроларға бір болғандықтан жүзеге асады. Ядролық күштердің қанығуы ядро көлемінің оны құрайтын нуклондар санына пропорционалдылығын көрсетеді. [(1.6) формуласын қараңыз].

Қазіргі көзқарастар бойынша нуклондар виртуалды мезондар деп аталатын бөлшектермен алмасады. Бұл үрдістің негізін түсіну үшін алдымен квантты электродинамика тұрғысынан кулондық өзара әсерлесу қалай көрсетілгенін қарастырайық.

Зарядталған бөлшектер арасындағы өзара әсерлесу магниттік өріс арқылы жүзеге асады. Өрісті кванттық электродинамика түсініктері бойынша кванттарының бірлестігі ретінде қарастыруға болады. Квантты электродинамикаға сәйкес екі зарядталған бөлшектер арасындағы өзара әсерлесу нәтижесінде, мысалы электрондармен, фотонмен алмасудан тұрады. Әр бөлшек өз айналасында үздіксіз фотондарды шашыратып және жұтып өріс құрайды. Өрістің басқа бөлшекке әсері бірінші бөлшекпен бөлінген фотондардың бірін жұтуы арқылы жүзеге асады. Өзара әсерлесудің бұл сипаттамасын тура түсінуге болмайды. Өзара әсерлесу арқылы жүзеге асатын фотондар шынайы фотондар емес виртуальді фотондар деп аталады. Квантты механикада виртуалды бөлшектер деп өмір сүру уақытынан басқа тыныштық күйде көрінбейтін бөлшектерді атайды. Сондықтан бұл бөлшектерді ойдан шығарылған бөлшектер деп атайды. «Виртуалды» терминін түсіну үшін тыныштықтағы электронды қарастырайық. Қоршаған кеңістікте оның алаң құру үрдісі келесі теңдікпен көрсетіледі:

$$e^- \rightarrow e^- + \hbar\omega. \quad (1.13)$$

Фотон мен электронның қосынды энергиясы тыныштықтағы электрон энергиясынан көп. Яғни, (1.9) теңдікпен көрсетілген өзгеріс энергияның сақталу энергиясымен сипатталады. Бірақ виртуалды фотон үшін бұл жетіспеушілік сезілетін болып табылады. Квантты механикаға сәйкес берілген Δt уақыттағы энергия күйі ΔE дәлдігімен анықталады, ол Гейзенбергтің анықталмағандық принципін қанағаттандырады:

$$\Delta E \Delta t \sim \hbar \quad (1.14)$$

Бұл арақатынастан жүйе энергиясы ΔE ауытқуы болады, олардың ұзақтығы Δt берілген (1.10) шарттарымен анықталатын мәннен артпауы керек. Осылайша, электроннан бөлінген виртуалды фотон бір электронмен $\Delta t = \hbar / \varepsilon$ уақыты өткеннен кейін жұтылады, энергияның сақталу заңы бұзылмайды.

Егер электронға қосымша энергияны берсе (ол басқа электронмен соқтығысуы кезінде жүзеге асуы мүмкін), виртуалды фотонның орнына шексіз көп уақыт өмір сүре алатын шынайы фотон бөлінеді.

Δt уақытында виртуалды фотон нүктелер арасындағы қашықтықпен бөлінген ара қатынасты бере алады

$$l = c\Delta t = c \frac{\hbar}{\varepsilon} \quad (1.15)$$

Фотон энергиясы $\varepsilon = \hbar\omega$ өте кіші (жиілік ω өзгерісі 0-ден ∞). Сондықтан электромагнитті күштердің әсер ету радиусы шектелмейді. Егер де өзара әсерлесетін алмасатын бөлшектер нольден айырмашылығы

бар тыныштық массасына m_0 ие болса, олардың әсер ету радиусы шамамен шектелетінін келесі формуладан көруге болады:

$$r = c\Delta t_{\max} = c \frac{\hbar}{\varepsilon_{\min}} = c \frac{\hbar}{m_0 c^2} = \frac{\hbar}{m_0 c} = \Lambda, \quad (1.16)$$

бұл жерде Λ - берілген бөлшектің комптон толқын ұзындығына тең (тасымалдағыш бөлшек c жылдамдықпен өзара қозғалады).

1934 ж. И.Е. Тамм нуклондар арасындағы ара қатынас қандай да бір виртуалды бөлшектер көмегімен таралады деп тұжырымдаған. Ол кезде нейтрондардан басқа фотон, электрон, позитрон және нейтрино белгілі болған. Бұл бөлшектердің ең ауыры – электрон ядролық күштердің радиусынан ($\sim 2 \cdot 10^{-13}$ см) 200 есе артық комптондық толқын ұзындығына ие $\Lambda = 3,86 \cdot 10^{-11}$ см. Есептеулер көрсеткендей виртуалды электрондармен сипатталатын күштердің шамасы аса кіші болып табылады. Осылайша, ядролық күштерді виртуалды бөлшектердің алмасуымен түсіндірудің бірінші сынағы сәтсіз болды.

1935 жылы жапон физигі Х. Юкава табиғатта әлі танылмаған массасы электроннан 200-300 есе үлкен бөлшектер бар және олар фотон электромагнитті әсерлесудің тасымалдығышы секілді, ядролық әсерлесуде тасымалдаушылар ролін атқарады деген батыл гипотезаны айтқан. Юкава бұл гипотетикалық бөлшектерді ауыр фотондар деп атаған. Масса шамасына сай бұл бөлшектер электрондар мен нуклондар арасындағы аралық орында болғандықтан, олар мезондар деп аталды.

1936 ж. Андерсон және Неддермейер космостық сәулелерде тыныштық массасы $207 m_e$ –тең бөлшектер тапты. Бастапқыда μ -мезон не мюондар атына ие бұл бөлшектер Юкава болжаған тасымалдағыштар деп есептелген. Бірақ кейіннен μ -мезон нуклондармен нашар әсерлесетіні байқалған, сондықтан ядролық реакцияларға жауапты бола алмайды. Тек қана 1947 ж. Оккиалини және Поуэлл космостық сәулеленуде мезондардың тағы бір типі - π -мезондар, немесе пиондарды ашқан, олар 12 жыл бұрын Юкава болжаған ядролық күштердің тасымалдағыштары болып табылады.

Пиондардың оң (π^+), (π^-) теріс және (π^0) бейтарап түрлері бар. π^+ - и π^- мезондардың заряды қарапайым заряд e –ге тең. Зарядталған пиондардың массасы бірдей $273 m_e$ (140 МэВ) тең, π^0 -мезонның массасы $264 m_e$ (135 МэВ) тең. Зарядталған және бейтарап π -мезонның спині нольге тең ($s = 0$). Барлық үш бөлшек тұрақты емес. π^+ - және π^- мезонның өмір сүру уақыты $2,55 \cdot 10^{-8}$ сек, π^0 -мезонна - $2,1 \cdot 10^{-16}$ сек құрайды. Зарядталған пиондардың басым бөлігі (орта есеппен 99,97%) схема бойынша ыдырайды



(μ^+ және μ^- - оң және теріс мюондар, ν - нейтрино, $\bar{\nu}$ - антинейтрино). Қалған ыдыраудың 0,03% басқа схемалар бойынша өтеді (мысалы, $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu$; $\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}$ т.с.с., егер π^+ жағдайында e^+ пайда болса, яғни позитрон, ал π^- жағдайында e^- пайда болады, яғни электрон).

Орта есеппен π^0 -мезондардың 98,7% екі γ -квантқа ыдырайды

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma. \quad (1.18)$$

Қалған ыдыраулардың 1,3% электрон - позитрон жұбының және γ -квант ($\pi^0 \rightarrow e^+ + e^- + \gamma$) не екі электронды-позитронды жұптың пайда болуымен жүзге асады. ($\pi^0 \rightarrow e^+ + e^- + e^+ + e^-$).

μ -мезондар мен мюондар деп аталатын бөлшектер қазіргі заман квалификациясына сәйкес мезон категориясына жатпайды; электрондар мен нейтриномен бірге олар лептондар тобын құрайды (сондықтан « μ -мезон» терминінің орнына «мюон» терминін пайдаланған дұрыс.). Мюондардың оң (μ^+) не теріс (μ^-) заряды болады, ол элементарлы заряд е-тең (бейтарап мюона болмайды). Мюона массасы $207 m_e$ (106 МэВ) тең, спин - ($s = 1/2$) жартысына тең. Мюондар, я-мезондар секілді, тұрақты емес, олар келесі схема бойынша ыдырайды:

$$\begin{aligned} \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu} \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Екі мюонның да өмір сүру уақыты бірдей $2,22 \cdot 10^{-6}$ сек тең.

Нуклондар арасындағы өзара айырбасты қарастырайық. Ұқсас аналогиялық виртуалды үрдістер нәтижесінде (89.1):

$$p \xrightarrow{\pi^+} n + \pi^+, \quad (1.20)$$

$$n \xrightarrow{\pi^-} p + \pi^-, \quad (1.21)$$

$$p \xrightarrow{\pi^0} n + \pi^0, n \xrightarrow{\pi^0} p + \pi^0, \quad (1.22)$$

нуклон виртуалды π -мезондар бұлтына қоршалады, олар ядролық күштер алаңын құрайды. Бұл мезондардың басқа нуклондармен жұтылуы нуклондар арасындағы қатты өзара әсерлесуге әкеледі, ол келесі схемалардың бірімен өтеді:

$$p + n \xrightarrow{\pi^+} n + p \quad (1.23)$$

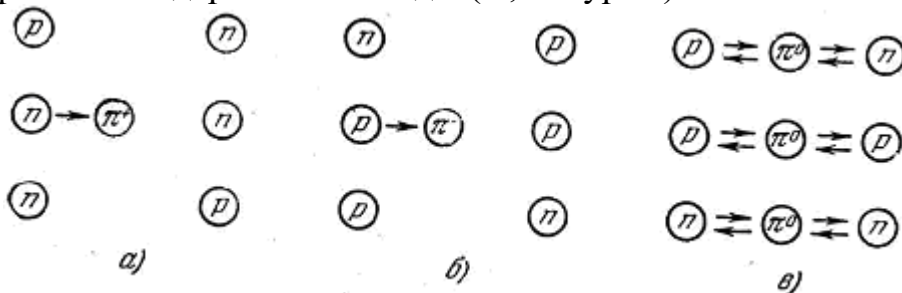
Протон виртуалды π^+ -мезон бөліп, нейтронға айналады. Мезон нейтронмен жұтылады, кейіннен ол протонға айналады. Одан соң бұл үрдіс кері бағытта жүреді (3, а - сурет). Өзара әсерлесетін нуклоннң әрқайсысы уақыттың жартысын зарядталған, ал жартысын бейтарап күйде өткізеді.

$$n + p \xrightarrow{\pi^-} p + n \quad (1.24)$$

Нейтрон және протон π^- -мезондармен алмасады (3, б-суреті).

$$\begin{aligned} p + n &\xrightarrow{\pi^0} p + n \\ p + p &\xrightarrow{\pi^0} p + p \\ n + n &\xrightarrow{\pi^0} n + n \end{aligned} \quad (1.25)$$

Нуклондар π^0 -мезондармен алмасады (3, в -суреті).



6-сурет

Нуклондардың өзара әсерлесу схемасы

Бұл үш үрдістің біріншісінің экспериментальды расталуы нейтрондарды протондарда таратуда жүргізіледі. Нейтрондар шоғының сутегі арқылы өтуі кезінде бұл шоқта протондар пайда болады, олардың көбінің энергиясымен қозғалу бағыты құлаған нейтрондармен сәйкес келеді. Іс-жүзінде тынышталған нейтрондардың сәйкес саны нысанада да анықталады. Көптеген нейтрондардың өз импульсін бастапқыда тыныштықтағы протондарға қатты ұрғылау нәтижесінде импульс беруі мүмкін емес. Сондықтан нейтрондардың, протондар жанынан өткенде виртуалды π^+ -мезондардың бірін алып кететіні белгілі. Нәтижесінде нейтрон протонға айналады, ал өз зарядын жоғалтқан протон нейтронға айналады (4-сурет)



7-сурет

Протондарда нейтрондардың ыдырау схемасы

Егер нуклонға π -мезон массасына сәйкес энергияны берсек, виртуалды π -мезон шынайы түрге айнала алады. Қажетті энергия жеткілікті үдетілген нуклондар (не ядролар) соқтығысуы әсерінен не нуклонның γ -квантты жұтуынан жүзеге асады. Бөлшектердің соққылануының өте үлкен энергиясында нуклоннан бірнеше π -мезон «бөлінуі» мүмкін. Космостық сәулелерде, $\sim 10^4$ Гэв энергиясы бар бөлшектер бар аймақта бір соққы әсерінен 20-ға дейін шынайы π -мезон пайда болатын жағдайдар бақыланады.

(2.7) үрдісіне сәйкес нейтрон уақыттың жартысын виртуалды жағдайда өткізеді ($p+\pi^-$). π^- -мезонның орбиталды қозғалысы бақыланатын нейтронда теріс магнитті моменттің пайда болуына әкеледі. Протонның аномальді магнитті моментін ($2,79 \mu_0$ бір ядролық магнетон орнына) протон виртуальді протон виртуалды күйдегі ($n+\pi^+$). π^+ -мезонның орбитальді қозғалысымен түсіндіруге болады.

Негізгі әдибиет: 1[30-35]

Қосымша әдебиет: 5[5-10]

Бақылау сұрақтары:

1. Нуклондардың өзара әсерлесуі әсерлесудің қандай түріне жатады?
2. Ядролық күштердің ерекшеліктерін атаңыздар?
3. Х. Юкава гипотезасын атаңыздар
4. Мезондардың ядродағы негізгі ролі
5. Нуклондардың π -мезондармен өзара әсерлесуі арқылы алмасуының схемасын жазыңыздар.

Дәріс 3. Радиоактивтілік, сәуле түрлері. Радиоактивтілік дегеніміз бір химиялық элементтің тұрақсыз изотоптарының қарапайым бөлшектер мен ядролардың шашырауымен жүзеге асатын басқа бір изотопқа айналуын айтамыз. Негізгі айналу түрлеріне 1) α -ыдырау, 2) β -ыдырау (оның ішінде K -жинақтау), 3) протонды радиоактивтілік 4) ауыр ядролардың спонтанды бөлінуі жатады.

Табиғи шарттарда кездесетін изотоптарда бақыланатын радиоактивтілік табиғи деп аталады. Ядролық реакциялар жолымен алынған радиоактивтілік жасанды деп аталады. Табиғи және жасанды радиоактивтілік арасында айырмашылық жоқ. Екі жағдайда да радиоактивтілік бірдей заңдарға бағынады.

Радиоактивті айналу заңы өте жеңіл. Әр радиоактивті ядроның уақыт бірлігінде өзгерісі болатынының X нақты ықтималдығы бар. Яғни егер радиоактивті заттың N атомы болса, dt уақытындағы өзгеретін dN атомдары саны

$$dN = -\lambda N dt \quad (2.1)$$

(минус таңбасы dN ыдырамаған N санының өсімі ретінде қарастыруға болады).

(3.1) теңдікті интеграциялау нәтижесінде :

$$\ln N = -\lambda t + \text{const},$$

бұл жерден радиоактивті айналу заңы пайда болады

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

бұл жерде N_0 – бастапқы моментте ыдырамаған атомдар саны, N - t уақыт моментінде ыдырамаған атомдар саны, λ – радиоактивті затқа сай константа, ыдырау тұрақтысы деп аталады. Ыдырау тұрақтысы радиоактивті зат атомы уақыт бірлігінде өзгеріске ие болу ықтималдығын береді.

Осылайша, радиоактивті атомдар саны уақыт бойынша экспоненциалды заңмен азаяды. t уақытында ыдыраған атомдар саны келесі теңдікпен анықталады:

$$N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}). \quad (2.3)$$

Бастапқы атомдар мөлшерінің жартысы ыдырайтын уақыт жартылай ыдырау периоды T деп аталады. T шамасы келесі шарттармен анықталады

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda T},$$

бұл жерден

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.4)$$

Қазіргі кезде белгілі радиоактивті заттардың жартылай ыдырау $3 \cdot 10^{-7}$ сек - $5 \cdot 10^{15}$ жыл аралығында өзгереді.

Радиоактивті айналу нәтижесінде пайда болған радиоактивті заттар өз кезегінде радиоактивті болуы мүмкін және ыдырау тұрақтысы λ сипатталады. Ыдыраудың жаңа өнімдері радиоактивті болуы мүмкін т.с.с Табиғатта үш радиоактивті қатар (жанұя) бар олардың басшысы U^{238} (уран қатары), Th^{232} (торий қатары) и U^{235} (актиноуран қатары). Үш

жағдайда да соңғы өнім қорғасын изотоптары болып табылады, бірінші жағдайда Pb^{206} , екінші жағдайда Pb^{208} және үшінші жағдайда Pb^{207} .

1896 ж табиғи радиоактивтілікті француз ғылымы А. Беккерель ашты. Радиоактивті заттардың зерттеуге үлкен үлес қосқан Пьер Кюри және Мария Склодовская-Кюри. Радиоактивті заттар сәулеленудің үш түрінің көзі болып табылады. Олардың бірі магниттік алаң әсерінен оң зарядталған бөлшектер ағыны ауытқитын жаққа ауытқиды; оның аты α -бөлшектер. Екіншісі β -бөлшектер, теріс зарядталған бөлшектер ағынына ұқсас магнитті алаңмен қарама-қарсы жаққа ауытқиды. Және соңғы сәулелену магнитті алаңның әсеріне тәуелсіз γ -сәуле деп аталады. Кейіннен сәулелер толқын ұзындығы кіші электромагнитті сәулелер екені анықталды. (от 10^{-3} до 1 \AA).

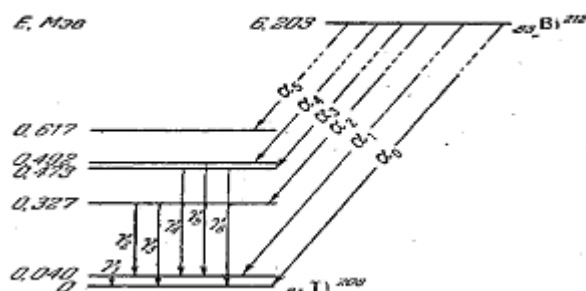
Сәулелену түрлері. Альфа-ыдырау. Альфа-сәулелер гелий ${}^4_2\text{He}$ ядроларының ағыны болып табылады. Ыдырау келесі схема бойынша жүреді:



X әріпімен ыдырайтын (бастапқы) ядроның химиялық символы белгіленген, Y - әріпімен пайда болатын ядроның химиялық символы белгіленген. Альфа-ыдырау әдетте γ -сәулелердің пайда болуымен жүзеге асады. Схемада көрініп тұрғандай, пайда болатын заттың атомдық номері 2 бірлікке, ал массалық саны 4 бірлікке кіші. Мысал ретінде уран изотопының ыдырауын U^{238} келтіруге болады, нәтижесінде торий пайда болады:



α -бөлшектердің ыдыраған ядрода бөлініп шығу жылдамдықтары (яғни ${}^4_2\text{He}$ ядролары) өте үлкен ($\sim 10^9$ см/сек) кинетикалық энергия бірнеше Мэв шамасында). Зат арқылы өтіп α -бөлшек бірте-бірте энергиясын жоғалтады, ол зат молекулаларының ионизациясына жұмсалады және соңында тоқтайды. Иондардың бір жұбының ауада пайда болуына орта есеппен 35 эв жұмсалады. Осылайша, α -бөлшек өз жолында шамамен 10^5 ионжұбын түзеді. Заттың тығыздығы артқан сайын, α -бөлшектің тоқтауға дейінгі қозғалысы аз болатыны түсінікті. Қалыпты қысымда ауада қозғалыс ұзақтығы бірнеше сантиметрді құраса, қатты тек бірнеше микронды құрайды (α -бөлшектер қарапайым қағаз бетінде толық тоқтайды).



8-сурет

α -спектрдің жұқа құрылымының пайда болу схемасы

α -бөлшектердің кинетикалық энергиясы бастапқы ядроның асқын энергиясының пайда болатын ядроның жиынтық энергиясынан артықтығы пайда болады. Бұл асқын энергия α -бөлшек пен пайда болатын бөлшек арасында массаларына кері пропорционал болып таралады. α -бөлшектердің берілген радиоактивті затпен бөлінетін энергиялары (жылдамдықтары) нақты анықталған. Көп жағдайда радиоактивті зат әр түрлі, бірақ бір-біріне жақын энергиясы бар α -бөлшектердің бірнеше тобын бөледі. Бұл пайда болатын бөлшектер қалыпты емес, қоздырылған күйде пайда болатынына байланысты. 1-суретте α -бөлшектерінің әр түрлі топтарының пайда болуын түсіндіретін схема көрсетілген (α -спектрдің жұқа құрылымының пайда болуы), ${}_{83}\text{Bi}^{212}$ ядро ыдырауында бөлінетін (торий С деп аталады). Сол бағанда пайда болатын ${}_{81}\text{Tl}^{208}$ (торий С "деп аталады ядросының энергетикалық деңгейлерінің схемасы көрсетілген. Бастапқы жағдайдың энергиясы ноль деп алынған. Бастапқы ядроның тыныштық энергиясының α -бөлшек энергиясынан артықшылығы қалыпты 6,203 МэВ құрайды. Егер пайда болатын ядро қоздырылмаған күйде пайда болса, барлық энергия кинетикалық энергия түрінде бөлінеді, α -бөлшек үлесіне келеді

$$E_k = 6,203 \frac{208}{212} = 6,086 \text{ МэВ} \quad (2.7)$$

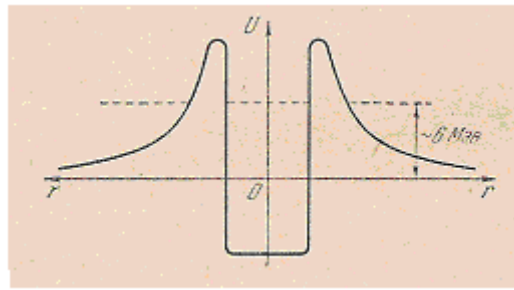
(бөлшектердің бұл топтары схемада α_0 көрсетілген). Егер пайда болатын ядро бесінші қоздырылған күйде пайда болса оның энергиясы 0,617 МэВ қалыпты жағдай энергиясынан артық болады, бұл жағдайда кинетикалық энергия $6,203 - 0,617 = 5,586$ МэВ құрайды және α -бөлшек үлесіне 5,481 МэВ (α_5 бөлшектері тобы). Бөлшектердің салыстырмалы саны α_0 , үшін $\sim 27\%$ α_1 үшін тек қана $\sim 70\%$, α_5 үшін $\sim 0,01\%$. α_2 , α_3 және α_4 салыстырмалы да өте аз (0,1-1% шамасында).

τ қоздырылған күйлердің өмір сүру уақыты көптеген ядролар үшін 10^{-8} до 10^{-15} сек аралығында жатыр. Орта есеппен τ тең өмір сүру уақытында, қосымша ядро қалыпты және төменгі қоздырылған жағдайға γ -фотон бөле өтеді. 1-суретте алты әр түрлі энергияның γ -фотондарының пайда болуы көрсетілген.

Пайда болған ядроның энергиясының қозуы басқа да әдістермен бөлініп алынуы мүмкін. Қоздырылған ядро қандай да бір бөлшек бөлуі мүмкін: протон, нейтрон, электрон не α -бөлшек. α – ыдырау нәтижесінде пайда болған қоздырылған бөлшек артық энергияны (алдын-ала γ -квантты таратпай) электрондардың біріне К-, L- не тіпті М- атом қабатына беруі мүмкін, нәтижесінде электрон атомнан бөлініп шығады. Бұл үрдіс ішкі конверсия деп аталады. Электрон ұшып шығуы нәтижесінде пайда болған бос орын жоғары жатқан энергетикалық деңгей электрондарымен толтырылады. Сондықтан ішкі конверсия әрқашан рентген сәулелерінің таралуымен сипатталады.

Фотон дайын күйде атом қойнауында болмайды, ол тек сәулелену

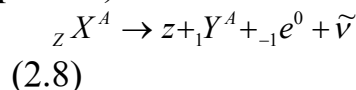
моментінде пайда болады, сол сияқты α -бөлшектің радиоактивті ыдырауы моментінде пайда болады. Ядродан шыққына соң, α -бөлшек потенциалды қарсылықтан өтуі керек, оның биіктігі α -бөлшектің толық энергиясынан орта есеппен 6 МэВ жоғары (2-сурет). Қарсылықтың сыртқы нольге асимптотикалық түсетін бөлігі α -бөлшектің және пайда болатын бөлшектің кулондық тебілуімен сипатталады. Қарсылықтың ішкі бөлігі ядролық күштермен сипатталады. α -бөлшектерді ауыр а-радиоактивті ядролармен тарату тәжірибиесі қарсылық биіктігі α -бөлшектер ыдырауды пайда болатын энергиядан біршама артық екенін көрсетті. Классикалық көзқарас бойынша бөлшектің потенциалды қарсылықтан көрсетілген шарттарда өтуі мүмкін емес. Бірақ квантты механикаға сәйкес бөлшек қарсылық арқылы оның ішіндегі туннель арқылы өтеді. Бұл туннельді әсер автоэлектронной эмиссияда және басқа да бірқатар жағдайларда кездеседі. α -ыдырау теориясы туннель әсерге негізделген жағдайда тәжірибие нәтижиелерімен жақсы келісетін нәтижиелерге әкеледі



9-сурет
Туннельді әсердің схемасы

Бета-ыдырау. β -ыдыраудың үш түрі бар. Бірінші жағдайда ядро өзгерген кезде электрон бөледі, екінші жағдайда - позитрон, үшінші жағдайда К-жинақтау (не электронды жинақтау), ядро атомның К-қабатының электрондарының бірін жұтады (L - және M -жинақтау сирек жүреді, яғни L - және M -қабаттан электронның жұтылуы).

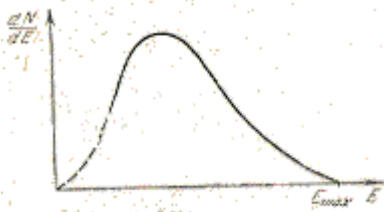
Ыдыраудың бірінші түрі (β -распад) келесі схема бойынша өтеді:



β -ыдырау нәтижиесінде зарядтың сақталуы мен нуклондар санының сақталуын көрсету үшін біз β -электронға заряд санын $Z = -1$ және масса саны $A = 0$ тағайындадық. (4) схемада көрініп тұрғандай, пайда болатын ядроның атомдық номері бастапқы ядродан бірлікке жоғары, екі ядроның массалық саны бірдей. Электрондармен қатар антинейтрино $\tilde{\nu}$ бөлінеді. Бұл үрдіс ядро нейтрондарының біреуі ${}_Z X^A$ протонға айналғанша, (1.5) схемасы бойынша өзгеріске түсіреді. (1.5) жалпы үрдісі (4) үрдісінің бір үлгісі болып табылады. Сондықтан, бос нейтрон β -радиоактивті.

Бета-ыдырау γ -сәулелерінің шашырауымен жүзеге асады. Олардың пайда болуы α -ыдырау жағдайымен бірдей, - пайда болатын ядро

қалыпты жағдайда ғана емес, қоздырылған жағдайда да түзіледі.



10-сурет

Электрон мен нейтрино арасындағы энергияның таралу графигі

Одан соң энергиясы төмен жағдайға өтіп ядро γ -фотон шашады.

β^- -ыдырау мысалы ретінде торийдің Th^{234} протактинийге Pa^{234} электрон және антинейтрино шашырату арқылы айналуын к болады. Әр топ шегінде нақты анықталған энергиясы бар α -бөлшектерге қарағанда β -электрондар әр түрлі энергияға ие болады 0 -ден E_{max} дейін. 3-суретте β -ыдырауда шашырайтын электрондардың энергетикалық спектрі көрсетілген. Қисықпен берілген аудан уақыт бірлігінде шашырайтын электрондардың жалпы санын көрсетеді $dN - dE$ интервалында энергиясы бар электрондар саны.

E_{max} энергиясы бастапқы ядро массасымен пайда болатын ядро арасындағы масса айырмасына тең . Сондықтан ыдырау кезінде E энергиясы E_{max} кіші ыдыраулар энергияның сақталу заңының бұзылуымен жүретін сияқты болады. $E_{\text{max}} - E$ энергиясының жоғалуын түсіндіру үшін, 1932 ж. В. Паули β -ыдырау кезінде электронмен бірге тағы бір бөлшек бөлініп $E_{\text{max}} - E$ энергиясын өзімен ала кетеді деп түсіндірген. Бұл бөлшектер көрінбейтін ол бейтарап және массасы өте кіші екенін түсінуге болады. (қазіргі кезде бұл бөлшектің тыныштық массасы нольге тең екені анықталған). Э. Ферми ұсынысы бойынша бұл гипотетикалық бөлшек нейтрино деп аталады (бұл «кіші нейтрон»деп аталады). Нейтрино жайлы айтуға тағы бір негіз бар. (не антинейтрино). Нейтрон, протон не электрон спині бір және $1/2$ тең. Егер (87.5) схемасын антинейтринасыз жазатын болсақ, пайда болатын бөлшектердің жиынтық спині ($s = 1/2$ екі бөлшек үшін не ноль не бір болады) бастапқы бөлшек спинінен басқа болады. Осылайша, β -ыдырауға тағы бір бөлшектің қатысуы қозғалыс моменті мөлшерінің сақталу заңымен сипатталады, және бұл бөлшекке $1/2$ (не $3/2$) тең спинді беру керек. Нейтрино (және антинейтрино) спині $1/2$ тең екені анықталған. Нейтриноның бар екені тек қана 1956 ж тәжірибиелік жолмен дәлелденді

Сонымен β^- -ыдырауды бөлінетін энергия электрон және антинейтрино арасында әр түрлі пропорцияда таралады.

β -ыдыраудың (β^+ -ыдырау) екінші түрі келесі схема бойынша өтеді:



Мысал ретінде азоттың N^{13} көміртегіге C^{13} айналуын келтіруге болады:



Схемада көрсетілгендей пайда болатын ядроның атомдық номері бастапқы ядродан бірлікке кіші. Үрдіс позитрон e^+ және нейтрино ν бөлінуімен сипатталады 2.5 формуласында ол ${}_{+1}e^0$ символымен көрсетілген], γ -сәулелер пайда болуы мүмкін. Позитрон электронның антибөлшегі болып табылады. Яғни, 2.6 ыдырау кезінде бөлінетін бөлшектер, (2.5) ыдырауында бөлінетін бөлшектерге қарсы бөлшектер болып табылады.

p^+ -ыдырау үрдісі бастапқы ядроның протондарының бірі нейтронға айналғандай болып жүреді, нәтижесінде позитрон мен нейтрино шашырайды:



Бос протон үшін бұл үрдіс энергетикалық жағынан мүмкін емес себебі протон массасы нейтрон массасынан кіші. Бірақ протон ядрода қажетті энергияны ядроның басқа нуклондарынан ала алады.

β -ыдыраудың үшінші түрі (К-жинақтау не е-жинақтау) ядро өз атомының К-электрондардың бірін жұтатынына негізделген (кейде, L- не M-электрон), нәтижесінде протондардың бірі нейтронға айналады да нейтрино шашыратады:



Пайда болған ядро қоздырылған күйде болуы мүмкін. Одан соң төменгі энергетикалық жағдайға өте отырып, ол γ -фотон шашыратады. Үрдіс схемасы келесі түрде болады:



Жинақтаған электрон босатқан электрон қабықшасындағы орын төменгі қабаттағы электрондармен толтырылып, нәтижесінде рентген сәулелері пайда болады. К – жинақтау рентген сәулесімен анықталады. Дәл осы жолмен Альварецпен 1937 жылы К-жинақтау ашылды.

(-жинақтау мысалы ретінде калий K^{40} аргонға Ar^{40} айналуын айтуға болады:



Протонды радиоактивтілік. Аты көрсетіп тұрғандай, протонды радиоактивтілік кезінде ядро бір не екі протон (бұл жағдайда екі протонды радиоактивтілік деп аталады) бөле өзгереді. Радиоактивтіліктің бұл түрі алғашқы рет 1963 ж. Г. Н. Флеров басқарған совет физиктері тобымен анықталған.

Ауыр ядролардың спонтанды бөлінуі. Уран ядроларының жобамен екі бірдей бөлікке бөлінуі 1940 жылы совет физиктері Г. Н. Флеров және К. А. Петржакпен анықталған. Одан соң бұл құбылыс басқа ауыр ядроларда да бақыланған. Өзінің ерекшеліктері бойынша спонтанды бөліну еріксіз бөлінуге жақын болады. Активтілік бірлігі Халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ) радиоактивті препараттар активтілігі секундтағы ыдырау санымен анықталады. Бұл жүйеде активтілік бірлігі ыдырау/сек. Жүйеден тыс бірліктер ыдырау/мин және кюриді пайдалануға болады. Активтілік бірлігі *кюри*, деп аталады, ол секундына $3,700 \cdot 10^{10}$ ыдырау болатын препараттың активтілігі болып табылады. Бөлшектік

бөлшектер (миллиюри, микроюри й т.с.с), а және басқа қысқарту бірліктері пайдаланылады (килоюри, мегаюри).

Негізгі әдибиет: 1[50-60]

Қосымша әдебиет: 5[10-15]

Бақылау сұрақтары:

1. Радиоактивтілік ыдыраудың заңын келтір?
2. Жартылай ыдырау периоды деп нені айтамыз?
3. Ыдыраған ядролардың санын қалай анықтайды. Формуласын келтір.
4. Протондық радиоактивтілікті кім ашты?

Дәріс 4. Бетта сәулесінің затпен әсерлесуі. 1. Зарядталған бөлшектің заттан өткен кезде энергиясының азаюының негізгі себебі сол затың атомдарымен соқтығысудың нәтежиесі. Ядроның масасы электронның массасынан әрқашанда көп үлкен болғандықтан «электрондардың соқтығысуын» айқын ажыратуға болады. Мұндай соқтығысу кезінде бір электронның энергиясы, екінші электронға берілуінің нәтежесінде атом қозған күйге келеді немесе атом ионизацияланады (серпімсіз соқтығысу). Егерде бөлшектің әсерлесу кезінде оның импульсымен энергиясының бір бөлігі бүтіндей атомның ілгермелі қозғалысына кетсе, ондай соқтығысу ядролық - деп аталады. Ядролық соқтығысу қайталанып β бөлшегінің көптеген сейілуіне әкеледі.

2. Жеңіл бөлшектердің энергиясының жоғалтуының негізгі бір себептері болып радиациондық тежелу болып табылады. Бұл процесстің мағынасы келесіде, ядроның немесе электронның кулондық өрісінде зарядталған бөлшек үдеу алады, электродинамикалық заңына сәйкес үдеу алған бөлшектер сәуле бөлып шығарады. Гамма (γ) бөлшегінің тежеулік сәулесінің үздіксіз спектрі пайда болады.

3. Протон, α -бөлшегі және тағы басқа ауыр бөлшектер жағдайында, ядроның кулондық өрісінің тосқауылынан өте алатындай олардың энергиясы өте үлкен болған жағдайда, ядрода потенциалдық сейілу немесе әртүрлі бөлшектермен катар γ сәулесін бөліп шығатын ядроның реакция, ядроның бөлінуі және т.б процестер басталуы мүмкін.

4. Зарядталған бөлшек затта қозғалған кезде жылдамдығы жарықтың фазалық жылдамдығынан $v > c/n$ үлкен болса, онда ерекше сәуле пайда болады, Вавилова—Черенкова сәулесі деп аталған. Мұнда n заттың сыну көрсеткіші. Бетта β бөлшектер α - бөлшегімен салыстырғанда, кез келген радиоактивті заттардан бөлініп шығу энергиясының спектрі үздіксіз және энергиясының нольден бастап барлық мәндеріне ие болады.

Атомдық ядроның өздігінен өзгеруі бетта ыдырауын үш түрге бөлінеді.

1. Ядродан электрон және антинеитрино $\bar{\nu}_e$ бөлініп шығады.



Бетта ыдыраған кезде нейтрондар саны бірге кемиді, протондар саны бірге артады, т.а. $\Delta Z = +1$

2. Ядродан позитрон (e^+) және нейтрино $\bar{\nu}_e$ бөлініп шығады:

$${}^A_Z \rightarrow {}^A_{(Z-1)} + e^+ + \nu_e \quad (3.2)$$

Егер алғашқы атомның массасы пайда болған атомның массасынан $2m_0c^2 = 1022\text{кэВ}$ энергияға көп болса ғана бетта ыдырауы жүзеге асады. Бұл жағдайда $\Delta Z = -1$

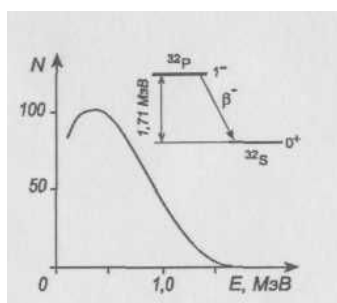
3. Электрондық қармау деп -атомның бір электронның ядро тартып алған жағдайда K -қабатын қармауының бетта ыдырау басталады. Бұл жағдайда нейтрино бөлініп шығады.

$${}^A_Z + e^-_K \rightarrow {}^A_{(Z-1)} + \nu_e \quad (3.3)$$

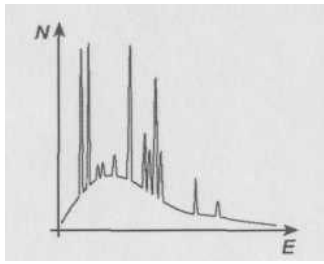
Егер K -электрондардың (ядроға ең жақын қабат) байланыс энергиясы ыдырау энергиясынан көп болса, онда K - қармау жүзеге асады. Электронды қармау жағдайында $\Delta Z = -1$ өзгереді.

Әйгілі фундаменталды төрт әсерлесу ішіндегі әлсіз әсерлесуге бетта ыдырау жатады. Бірақ элементарлық бөлшектердің ыдырауы «әлсіз» ыдыраудан, бетта ыдыраудың айырмашылығы оның ықтималдығы ядроның структурасына тәуелді. Бетта ыдырау процесін зерттеу өте үлкен жаңалықтарды ашуға әкеледі. Ол жаңа нейтрино бөлшегі және әлсіз әсерлеу кезінде жүптік заңның орындалмайтыны ашылады. Бетта β^- -ыдырауды тәжірибе жүзінде зерттеу ядроның структурасы туралы көптеген жаңа мәліметтерді ашты. Ядродан бетта β^+ және β^- ыдырау кезінде екі бөлшек бөлініп шығады. Алмасу энергиясы әрбір ыдырау актісінде бетта бөлшекпен нейтриноға беріледі.(ядроның энергия беруін есепке алмауға болады.) Сондықтан электрон E_{ep} және позитрон E_{ep} кинетикалық энергиясы нольден мүмкіншілігінше ең үлкен шамаға ие болады. Электронды қармап процессінде энергия бөлінеді нейтриномен беру ядросына, E_{ep} барлық энергияға нейтрино ие болады. Стастикалық орташалауды нәтижесінде көпшілік бірдей ядролар үшін электрондар, позитрондар энергиясына таралуы белгілі бір заңдылыққа ие болады. Бұл таралу бетта спектр деп аталады. Әр түрлі радиоактивтік заттарды бетта ыдырауда E мәні әртүрлі болады. Мысалы радиоактивті ${}^3\text{H}$ (тритий) шығару энергиясының мәні

$E_{ep} = 18,60\text{КэВ}$, ал бетта спектрінің шегі энергиясы $16,6\text{ МэВ}$. Энергияның көптеген мәні $10\text{-}5000\text{ кэВ}$ арасында. Бетта ыдыраудың максималды энергиясын анықтайды және маңызды физикалық мән болып есептеледі.



Сурет-11. Бетта спектр және ыдырау схемасы.



Сурет -12. Ішкі конверсия сызықтарымен электрондарының бета – спектрі

Кәдімгі бета - спектрі 11-суретте көрсетілген. Бета – ыдырау ^{32}P негізгі ^{32}S ыдырайды және гамма сәулесі бөлініп шықпайды. Көпшілік жағдайда алғашқы ядроның қозу деңгейінде бетта ыдырау жүзеге асады. Бұл жағдайда бетта-ыдырау сәулесін γ - шығарумен жүзеге асады. Бұл жағдайда қозған ядро энергиясын электрондық қабаттағы электрондарға береді, осының нәтижесінде энергиясы, $E_e = h\nu - E_{\text{сә}}$ моноэнергетикалық электрондар тобы пайда болады, мұнда $h\nu - \gamma$ - гамма сәулесінің энергиясы, $E_{\text{сә}}$ - белгілі бір атомдардың қабаттың байланыс энергиясы. Бұл құбылыс γ - гамма сәулесінің ішкі конверсия эффектісі деп аталады.

Негізгі күйде S бетта ыдырау жүзеге асады және γ -сәулесінің шығуы бақылмайды. Бетта ыдырау көпшілік жағдайда ядролық қозу деңгейінде болады. Бұл жағдайда β бетта ыдырау кезінде γ -сәулесінде бөлініп шығады. Сол кезде қозған ядро энергиясын атом орбитасындағы электрондарға береді, осының нәтижесінде моноэнергетикалық энергиясы $E_e = h\nu - E_{\text{сә}}$ тап электрондар пайда болады, E-атомның кез келген қабатының байланыс энергиясы. Бұл құбылыс γ -сәулесінің ішкі конверсия эффектісі деп аталады.

Сурет – 12- те ыдырау кезіндегі ішкі конверсиясының электрондардың сызықтарының бір бөлігі көрсетілген. Затта қозғалыстағы электрондар сол заттың атомдарымен әсерлеседі де энергияларын азайтады және алғашқы бағытынан ауытқиды, яғни шашылады. Егер әсерлесуі электрондардың кинетикалық энергиясының қосындысы сақталатын болса, онда мұндай сейіліді серпімді деп атайды. Басқа сейілу түрлері серпімсіз деп деп аталады. Электрондардың атом ядросымен әсерлесуін айыра білу керек, бірақ бұл екі процесс бірге жүзеге асады.

Бетта β -сәулесінің атом электрондарымен әсерлесуі оларға энергиясының бір бөлігін беруге әкеледі, осының нәтижесінде атом ионизацияланады немесе қозған күйге ауысады. Энергия берудің екі түріде бірдей ықтималдықпен жүзеге асады және бір атаумен аталады. “Ионизациялық энергия жоғалту” деп алғаш атаған Бор және ол ионизациялық энергияның жоғалуының негізін қалаушы, мұнымен қатар Бета және Блох бірлесіп жолға кететін толық бірлік жолда ионизациядан жоғалтатын энергиясын есептейтін формула алған:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{eii}} = \frac{4\pi e^4}{m_0 \vartheta^2} nZ \left[\ln \frac{m_0 \vartheta^2 E}{2I^2(1-\beta^2)} - (2\sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) \ln 2 + (1-\beta^2) + \frac{1}{8}(1-\sqrt{1-\beta^2})^2 - \Delta \right], \quad (3.4)$$

мұнда ϑ және E - затқа түскен электронның жылдамдығымен және кинетикалық энергиясы; m_0 және e электронның тыныштық күйдегі массасы және заряды; Z – ядроның заряды; n - ортаның 1 см^3 атомдар саны; $(n-1)/A$, - мұнда A - заттың атомдық нөмері; $\beta = \vartheta/c$; \bar{I} - қозған атомның орташа энергиясы; Δ - ортаның поляризациясын есепке алатын (мән) мүше.

Монохроматикалық электрондардың заттың атомдық нөмері A зарядтың саны Z қабатынан өткен кездегі энергиясының ΔE жоғалуы Л. Д. Ландау бойынша келесіні құрастырады:

$$\Delta E(\text{МэВ}) = 0,6\rho(Z/A)\Delta x/\beta^2 \quad (3.5)$$

мұнда ρ - заттың тығыздығы, г/см^3 , Δx заттың қабатының қалыңдығы, см. Әр түрлі заттардың Z/A қатынасы шамамен алғанда тұрақты болғандықтан, (dE/dx) мәні (5.5) формула бойынша іс жүзінде тек қана заттың тығыздығына ρ тәуелді қозу энергиясының орта мәні болған кезде Z мәніне әлсіз тәуелділігі бақыланады, логарифм таңбасының астында тұрғандықтан. Сонымен , электронның затпен әсерлесу қалыңдығының өлшемі ретінде алады сызықтың тығыздығының көбейтіндісін алады және қозғалысының өлшемі ретінде қарастырады г/см^2 немесе мг/см^2 .

Бетта бөлшегі β^- ядромен әсерлескенде ядроның кулондық өрісінде, серпімді және серпімсіз сейілу жүзеге асады және электрон магниттік сәуле шығарумен жалғасады. Кулон өрісінде серпімді сейілуін шартты түрде төртке бөлуге болады: бір реттік сейілу, бірнеше рет сейілу, көп рет сейілу және диффузия. Егер қабаттың қалыңдығы аз.

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{dai}} = \frac{Z^2}{137} \left(\frac{e^2}{m_0 c^2}\right)^2 n(E+m_0 c^2) \left[4 \ln \frac{2(E+m_0 c^2)}{m_0 c^2} - \frac{4}{3} \right], \quad (3.6)$$

($d \leq 1/\sigma N$, мұнда σ — процесстің эффективтік қимасы, онда бір реттік сейілу тек қана бір ядроға болады. Бірнеше реттік сейілуі бақыланады қабаттың қалыңдығы үлкен болса $d \approx 1/\sigma N$, басқаша айтқанда сейілу бұрышы бірнеше бір-бірінен кейінгі бір реттік сейілудің нәтижесі. Сейілу актісінің орташа мәні 20° кіші болса көп сейілу кезінде, сейілген электрондардың бұрыштық таралуы мөлшерімен Гаусс таралуына сәйкес болады, ал 20° көп болса бұл таралу бұзылады. Онда да үлкен қалыңдықтар үшін $d \geq 1/\sigma N$ сейілген электрондардың бұрыштың келесі түрге айналады $W(\Theta) \approx \cos^2 \Theta$. сейілу бұрышының мәні $\Theta = 33^\circ$ және қалыңдығы өскен сайын бұл мән тұрақты болып қалды.

Бұл толық диффузия жағдайы электрондар қалыңдыққа түскен электрондар тоғы. Электрондар қалыңдыққа түскен жағынанда шығады($\Theta > 90^\circ$) бұл электрондардың кері сейілу деп аталады.

Электронның ядромен әсерлесуі нәтижесінде серпімсіз сейілу бақыланады. Бұл процесс

электромагниттік сәуле бөліп шығару мен байланысты, бұл электронның ядроның кулондық өрісінде удей қозғалуына байланысты.

Мұнда жағдайда пайда болған γ -сәулесі тежеулік сәуле деп атайды. Электронның тежеулік сәулелеге энергиясын жоғалту радиациондық деп аталады. Бірлік ұзындықта Гейтлер бойынша радиациялық шығынға тең.

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{әәә}} = \frac{Z^2}{137} \left(\frac{e^2}{m_0 c^2}\right)^2 n(E + m_0 c^2) \left[4 \ln \frac{2(E + m_0 c^2)}{m_0 c^2} - \frac{4}{3}\right], \quad (3.7)$$

Тежеу сәулелерінің пайда болу ықтималдығы ядро зарядының квадратын пропорционалды, сондықтан ауыр элементтерде радиациондық энергияның азаюы өте маңызды роль атақарады. Электрондардың энергиясын азаюның маңызды механизмі ретінде сәуле шығару болып табылады, ауыр бөлшектер үшін (мезондар, протондар т.б.) бұл механизм мардымсыз яғни өте төмен.

Сәулелену кезінде және ионизация энергияның азаюын есептейтін формулаларды салыстырғанда энергияны азаю сипаты бірдей.

Сәуле шығаруға кеткен энергияның азаюы E -ге пропорционалды және энергияның өсуіне тура сызықты байланыс, ал ионизацияға кеткен энергия Z -ке пропорционалды және энергияның өзгеруіне логаритмділік тәуелділікпен сипатталынады. Сондықтан, затпен әсерлесетін электрондардың энергиясы тым үлкен болса энергияның азаюы сәулеленуге кетеді. Электронның энергиясының азаюмен ионизация ролі артады. Энергия мәні $E_{кр} = 600/Z$ (МэВ) болғанда энергияны азаюның екі түрлі шамамен ықтималдығы бірдей болады. Көрсетуге болады $A1 (Z=13) E_{кр} = 46$ МэВ. Радиоактивті ыдырау кезінде шыққан электрондар үшін радиациондық энергияны азаюы энергияның жалпы баланысында атқаратын ролі өте төмен. Өйткені бетта ыдыраудың энергиясы 5 МэВ-тен аспайды.

Жоғарыдағы келтірілгеннің бәрі позитрондарда қолдануға болады. Бірақ позитронның заттан өту қабілеті сондай энергиясы бар электронның заттан өту қабілетінен басқаша, себебі электронның және позитронның ядро өрісінде сейілуі екі түрлі. Бұл айырмашылық осы бөлшектердің өрістегі қозғалысына әсер етпейді.

Негізгі әдибиет: 1[60-65]

Қосымша әдебиет: 5[15-20]

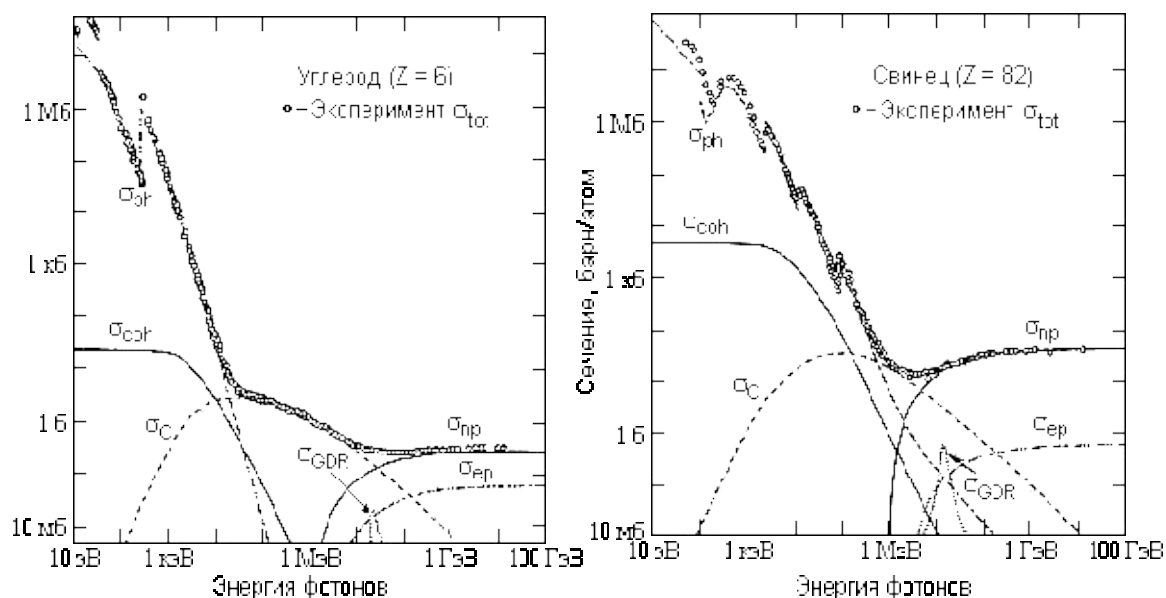
Бақылау сұрақтары:

1. Бетта ыдырау деп нені айтады ?
2. Бетта ыдыраудың үш түрін атаңыз?
3. Бетта бөлшектерінің атомдық электрондармен әсерлесуі.
4. Бетта бөлшектің ядромен әсерлесуі.

Дәріс 5. Гамма - γ сәулеленудің затпен әсерлесуі. Гамма сәулеленудің заттан өтуі кезінде гамма сәулесінің γ - кванттардың шоғының

интенсивтілігінің әлсіреуі жүзеге асады, яғни олардың заттың атомдарымен әсерлесумен нәтижесі.

Фотонның энергиялары 10 эВ – тан 100 ГэВ-қа дейінгі гамма сәулесінің көміртегі ($Z = 6$) және қорғасын ($Z = 82$) екі жұтылатын материалдан өткен кездегі толық эффективтік қимасы 8-суретте көрсетілген. Толық жұтылу қимаға әсер ететін физикалық процесстерді бөліп алған.



Сурет - 13

Фотон энергиясы 10 эВ до 100 ГэВ болғандағы көміртек ($Z = 6$) пен қорғасын ($Z = 82$) фотондардың көміртекпен әрекеттесуінің қимасы. σ_{ph} - фотоэффект қимасы, σ_{coh} – релеевті ыдырау қимасы, σ_C - комптонты ыдырау қимасы, σ_{np} - ядро алаңындағы жұптық қимасы, σ_{ep} - электронның атомдық алаңындағы жұптық пайда болу қимасы, σ_{GDR} - ядролық фотожұтылудың қимасы.

Бұл суреттен көруге болады фотонның энергиясымен төмен болғанда көміртегінде және 1 МэВ қорғасында фотоэффектің заттың атомдағы эффективтік қимасы басын болады. Толық қимаға екінші үлес қосатын осы энергиялар шегінде фотондардың заттың атомдарында когерентті сейілуі болып табылады (релеев сейілуі). Гамма квант серпімді сейіледі атомның ионизациясы, қозу релеев сейілу кезінде гамма квант пайда болмайды.

Гамма квантың энергиясы 0,1 МэВ көп болып, Z аз заттарда және 1 МэВ энергиядан көп болып ал Z - өте үлкен болса, сәулені әсерлесуінің азаюының негізгі механизімі болып алғашқы кванттың азаюы фотондардың заттың электрондарда когеренсіз сейілуі болып табылады. (Комптон эффектісі).

Егер гамма квант энергиясы электронның тыныштық күйіндегі энергиясынан $2m_e c^2 = 1.02$ МэВ екі есе көп болса, онда электронмен және позитроннан тұратын пайда болады. Ядро өрісінде жұптың пайда болу қимасы фотонның энергиясы жоғарғы пайда болған жағдайда бақыланады. Сонымен қатар 8-суретте атом өрісінде жұптың пайда болу қимасы

көрсетілген. Жоғарыда көрсетілген гамма кванттың затпен әсерлесу механизмі атом ядросының ішкі структурасының әсерін қарастырмаған.

Гамма кванттардың энергиясы өте жоғары болса ($E > 10$ МэВ), фотонның зат ядросымен әсерлесу ықтималдығы артады, ядролық күйді қоздырады. Егер кванттың энергиясы нуклондардың байланыс энергиясынан көп болса онда үлкен энергиясы бар гамма кванттың жұтылуы ядродан нуклон ұшып шығуымен жалғасады. Гамма кванттың энергиясы жеңіл ($A < 40$) мөлшермен 20-25 МэВ және ауыр ядролар үшін 13-15 МэВ болса, онда ядролық фотожұтылудың эффективтік қимасында максимум бақыланады, ол геганттық дипольдық резонанс деп аталады.

Қозған ядролар негізгі күйге және төменгі қозған күйлерге ауысқанда тағы айтқанда E_γ - мәні 10 кэВ –тан мөлшермен 10 МэВ-қа дейін гамма кванттың энергиясының аймағында фотонның затпен әсерлесуінің маңызды 3-процесстен тұрады: комптондық (когерентсіз) сейілу, фотоэффект және электрон – позитрон жұбы пайда болуы. Сол энергияның аймағында алғашқы ағынның азаюның қортынды эффективтік қимасы. Әрбір жеке алған процесстердің эффективтік қимасының қосындысы болып табылады:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{ph}} + \sigma_{\text{C}} + \sigma_{\text{p}}, \quad (3.8)$$

Жұтқыштың бір атомына шаққанда әрбір процесстің эффективтік қимасы гамма сәулесінің энергиясының және жұтқыш заттың атомдық нөмірінің Z функциясы. Моно энергетикалық бағытталған гамма квант шоғырының қалыңдығы өте үлкен емес бір текті заттан өткенде қарқындылығының өзгеруі экспоненциалды болады:

$$I(x) = I(0)e^{-n\sigma x} = I(0)e^{-\tau x}, \quad (3.9)$$

Мұнда n – жұтқыш атомының концентрациясы, гамма шамасын жұтылудың τ - сызықтық коэффициенті деп аталады. Фотонның энергиясы сызықтық жұтылу коэффициенттерінің алюминиде және қорғасында өзгеруі 9 және 10 - суреттерде көрсетілген.

Фотоэффект. Егер затқа түскен γ -квантының энергиясы атомды ионизациялауға кеткен энергияға көп болса, онда фотоэффект құбылысын бақылаймыз. Бұл құбылыстың мағынасын келесіде, атом фотомды толықтай жұтатын болса онда атомның электронды қабатынан электрон бөлініп шығады. Электронның кинетикалық энергиясы E_e энергияның сақталу заңына сәйкес келесімен анықталады:

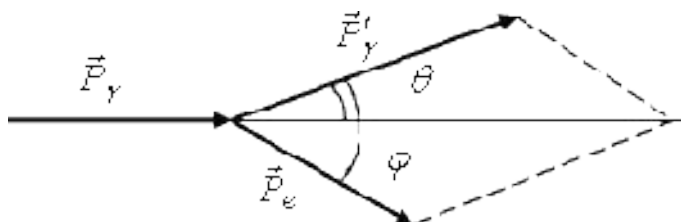
$$E_e = E_\gamma - I_i - E_n, \quad (3.10)$$

мұнда I_i - электрон шыққан атом қабатының ионизациялық потенциалы; E_n - ядроның беру энергиясы; E_γ - гамма кванттың энергиясы. Әлбетте ядроның беру энергиясы өте аз болады, сондықтан оны есепке алмауға болады. Онда фотоэлектронның энергиясы келесі формуламен анықталады. $E_e = E_\gamma - I_i$, мұндағы, $i = K, L, M, \dots$ – электрондық қабаттардың индекісі. Фотон энергиясының мәнінің электронның ионизациялық потенциалынан көп болуы көлденен қимасы сызығының ауытқуларынан байқауға болады, 8-суретте көрсетілген. Фотоэффектің эффективтік қимасы

әрбір электрондық қабаттардың эффективтік қимасының қосындысы болып табылады. Фотоэффектің ерекшелігі бос электрондармен жүзеге аспайды. - Өйткені энергияның және импульстың сақталу заңы бос электрондар үшін орындалмайды. Фотоэффектің жүзеге асу ықтималдығы (мөлшермен 80%) ядро атомының өте мықты байланған электрондармен жүзеге асады, т.б. айтқанда К- қабатпен. Фотоэффект қимасы заттың атомдық нөміріне Z - өте тәуелді: $\sigma_{ph} \sim Z^5$. Гамма кванттың энергиясы аз болғанда негізгі процесс фотоэффект болып саналады. Энергия $E_\gamma < 0.5$ МэВ болғанда фотоэффективтік қимасы гамма кванттық энергиясынның өсуіне байланысты артады:

$$\sigma_{ph} = 1/E_\gamma^{7/2} \quad (3.11)$$

Комптон эффект дегеніміз гамма кванттың бос электрондармен әсерлесіп сейілуін айтамыз. Электронды бос деп есептеуге болады егер гамма кванттың энергиясы оның атомдығы байланыс энергиясынан өте үлкен болса. Комптон - эффектің нәтижесіннен басқа жиіліктегі гамма квант пайда болады және оның энергиясы бастапқы энергиядан аз болады. $E_\gamma^1 < E_\gamma$, ал электронға кинетикалық энергия беріледі. Оның мәні келесіге тең $A_a = A_\gamma - A_\gamma^1$. Гамма кванттың бос электронмен әсерлесу схемасы 11-суретте көрсетілген.



14-сурет

Гамма кванттың бос электронмен әсерлесуінің схемасы: \vec{P}_γ және \vec{P}_γ^e - гамма кванттың бастапқы және сейілгеннен кейінгі импульстері, \vec{P}_e - электронның импульсі.

Импульстің және энергияның заңдарының сақталуының пайдаланып келесіні жазуға болады:

$$\begin{aligned} \vec{P}_\gamma &= \vec{P}_\gamma^e + \vec{P}_e, \\ m_e c^2 + E_\gamma &= E_\gamma^e + E_e, \end{aligned} \quad (3.12)$$

мұнда $m_e c^2 = 0.511$ МэВ – электронның тыныштық күйдегі энергиясы; E_e – электронның толық энергиясы. E_γ және E_γ^e - түскен және сейілген гамма кванттың энергиялары. Гамма кванттың комптон сейілуі кезіндегі толқынның ұзындығының өзгеруін келесі формуламен көрсетуге болады.

$$\lambda' - \lambda = \lambda_0(1 - \cos\theta),$$

(3.13)

мұнда λ' және λ - алғашқы және сейілген гамма кванттың толқынның ұзындығы; $\lambda_0 = h/m_e c$ – электронның комптондық толқынның ұзындығы.

Е- түскен және сейілген γ -кванты импульстарының \vec{P}_γ және \vec{P}_γ^e бағыттарының арасындағы бұрыш.

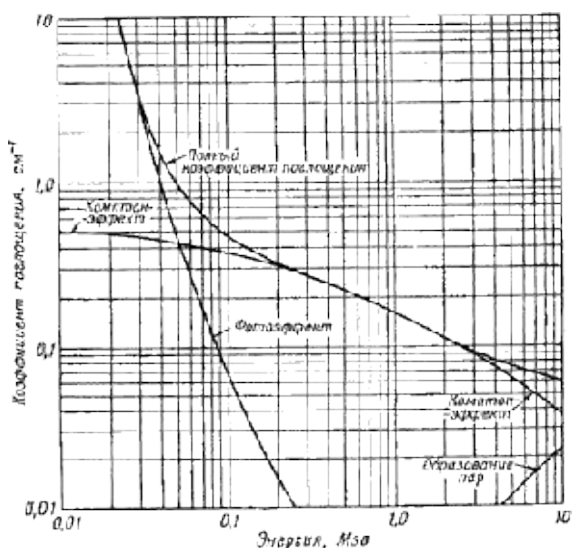
Комптондық сейілу кезінде толқын ұзындығының өзгеруі алғашқы толқынның ұзындығына тәуелсіз және гамма кванттың сейілу бұрышына ғана тәуелді. Электронның кинетикалық энергиясын келесі қатынас анықтайды:

$$E_e = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_e c^2}{2E_\gamma \sin^2(\theta/2)}} \quad (3.14)$$

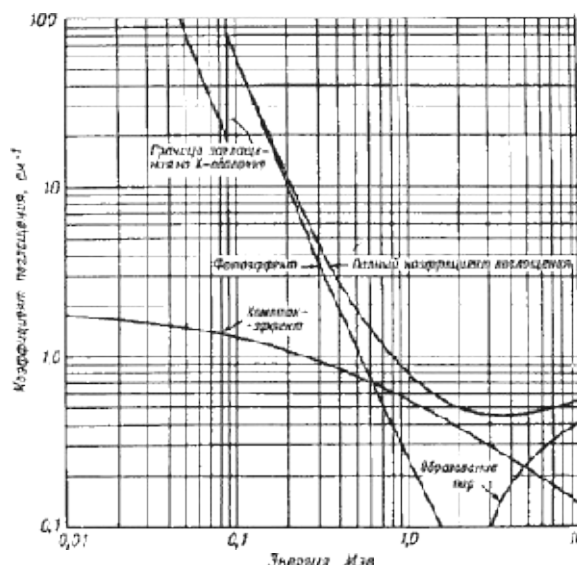
Гамма кванттың бос электронда эффективтік сейілуінің қимасы жұтқыш заттың сипаттарына тәуелсіз. Бір атомға есептелген бұл процесстің эффективтік қимасы атомдық нөмірге Z - тура пропорционал (немесе электрондардың санына). Комптондық сейілуі қимасы гамма кванттың энергиясының өсуіне кері пропорционал:

$$\sigma_{\bar{n}} \sim 1/E_\gamma \quad (3.15)$$

Атомдық ядролардың қозған күйінен негізгі және төменгі қозған күйде комптон сейілуі кезіндегі ауысқандағы гамма кванттың энергиясы әрқашанда электронның атомдағы байланыс энергиясынан және сондай-ақ электронның кинетикалық энергиясынан көп үлкен. Сондықтан 11-13 формулаларын қортып шығарған кезде электрон тыныштық күйде деп алынған. Бұл жағдайда гамма кванттың энергиясының бір бөлігі электронға беріледі және гамма квант аз энергиясымен пайда болуна әкеледі бұл гамма кванттың когерентсіз сейілу болып табылады. Моноэнергетикалық жоғары энергиялық гамма кванттың шоғын алу үшін бұл когерентсіз сейілу құбылысы қазіргі физикада қолданылады. Үдеткіштен шыққан жоғарғы энергияға шейін үдетілген электрондар шоғын пайдаланып лазерден шыққан гамма квант бөлшектерін өте үлкен бұрышқа ауытқыту үшін когерентсіз сейілуді пайдаланылған. Жоғарғы энергиялы және тығыздықты гамма квант энергия көзін Laser – Electron- Gamma- Source (LEGS) деп атайды. Қазіргі кезде жұмыс істеп тұрған LEGS лазер сәулесінің үдетілген электронда сейілтудің нәтижесінде гамма кванттың энергиясын 3 ГэВ-тен 400 МэВ-қа дейін жеткізген.



Сурет - 15. Мыс энергиясы фотонның сызықтық жұтылу коэффициент тәуелділігі.



Сурет -16. Қорғасын энергиясы фотонның сызықтық жұтылу коэффициент тәуелділігі.

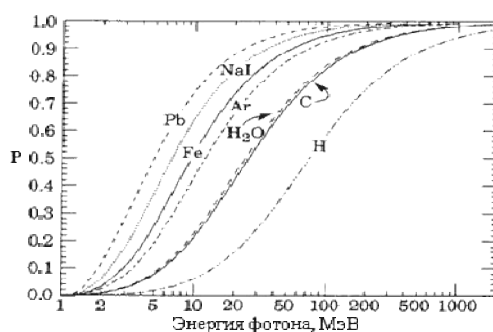
Электрон – позитрон жұбының пайда болуы.

Вакумде кез-келген энергиясы бар жеке квант электрон –позитрон жұбына айнала алмайды. өйткені бірізгіде импульстің және энергияның сақталу заңы орындалмайды. Энергияның және импульстің бір бөлігін алған бөлшек кулондық өрісте орналасқан болса, онда электро-позитрон жұбы пайда болады. Ядро өрісінде жұптың пайда болады, егер кванттың энергиясы келесі қатынасты қанағаттандырса

$$E_{\gamma} \geq 2m_0c^2 + E_{\gamma} \quad (3.16)$$

Мұнда бірінші мүше электронмен позитронның тыныштық күйдегі энергиясы, ал екіншісі-ядроның энергия алуы. Ядроның энергия алуы аз болғандықтан оны есепке алмауға болады. Сондықтан бірінші мүшесін ($2m_0c^2 = 1,022 \text{ МэВ}$) электрон-позитрон жұбының пайда болу шегі деп атаймыз. Негізінде электрон – позитрон жұбінің пайда болуы атом ядросының кулондық өрісінде жүзеге асады және бұл процесстің эффективтік қимасы ядро зарядының квадратына Z^2 пропорционал (сурет.8. $\sigma_{\text{яд}}$).

Электрон өрісінде жұптың пайда болу шегі $4m_0 c^2$ тең. Электроннан алған серпімді энергиясы міндетті түрде есепке алуымыз керек., өткені электронның массасы ядроның массасымен салыстырғанда өте аз. Электрон өрісінде жұптың пайда болуы өте аз. Электрон өрісінде жұптың пайда болуы өте кішкентай қимасымен сипатталады ($\sigma_{\text{сп}}$. сурет.8.)



17-сурет

Фотонның электрон-позитрон жубінің пайда болу ықтималдығы.

Фотонның затпен әсерлесіп электрон-позитрон жубын жүзу ықтималдығы 12-ші суретте көрсетілген. Ядроның заряды және фотон энергиясы артқан сайын электрон-позитрон жубінің пайда болу ықтималдығы артады. (8-10 суреттерінен көруге болады).

Әр түрлі заттардың 8,9,10 суреттерге ұқсас графиктерін пайдаланып, мөлшермен гамма кванттың энергиясын және Z мәнін, затпен әсерлесуінің негізгі механизмінің анықтауға болады.

Гамма кванттың қарқындылығын азаюының маңызды ролі атқарады. Комптон –эффектісі алюминиде егер $60 \text{ кэВ} < E_\gamma < 15 \text{ МэВ}$, қорғасында егер, $0,7 \text{ МэВ} < E_\gamma < 5 \text{ МэВ}$ болса.

Фотоэлектрлік жуптар маңызды алюминиде егер $E_\gamma < 0,5 \text{ МэВ}$ болса. Бұл екі процесстен жуптың пайда болуы артады гамма – кванттын энергиясы үлкен болса: алюминиде $E_\gamma < 15 \text{ МэВ}$ және қорғасында $E_\gamma < 6 \text{ МэВ}$.

Негізгі әдибиет: 1[65-75]

Қосымша әдебиет: 5[20-25]

Бақылау сұрақтары:

1. Сызықтық жұтылу коэффициенті деп нені айтамыз?
2. Фотоэффект деп нені айтамыз?
3. Комптон эффект деп нені айтамыз?
4. Электрон - позитрон жубі пайда болу деп нені айтамыз?

Дәріс 6. Ядролық реакциялар. Нейтронның заттармен әсерлесуі. Ядролық реакция деп атом ядросының қарапайым бөлшекпен не басқа ядромен интенсивті әсерлесуі нәтижесінде ядроның өзгеруін айтамыз. Өзара әсерлесетін бөлшектердің байланысы олардың ядролық күштер нәтижесінде шамамен 10^{-13} см жақындауында жүзеге асады.

Ядролық реакцияның кең тараған түрі α жеңіл бөлшегінің ядро X өзара әсері, нәтижесінде жеңіл бөлшек b және ядро Y пайда болады:



Бұл түрдегі реакциялар әдетте қысқарған түрде жазылады:



Жақша ішінде реакцияға қатысатын жеңіл бөлшектер жазылады, алдымен бастапқы одан соң соңғы.

α және b бөлшектері ретінде нейтрон (n), протон (p), ауыр сутегі ядросы ${}^2_1\text{H}$ - дейтон (d), α – бөлшек (α) және γ -фотон (Γ) пайдаланылады.

Ядролық реакциялар энергияны бөлу арқылы да, жұту арқылы да жүзеге асады. Бөлінетін энергия мөлшері реакцияның жылулық эффекті деп аталады. Ол бастапқы және соңғы ядролардың тыныштық массалары айырмашылығымен (энергетикалық бірліктермен көрсетілген) анықталады. Егер пайда болатын ядролардың массаларының қосындысы бастапқы ядролардың массасынан артық болса реакция жылу энергиясын жұтумен жүреді және оның жылу эффекті теріс болады.

1936 ж Н. Бор анықтағандай, онша жылдам емес бөлшектермен жүргізілетін реакциялар екі кезеңде өтеді. Бірінші кезеңде X ядросына жақындаған (ара қашықтық ядролық күштер әсер ете алатындай болу керек) аралық ядроны Π құрама ядромен не компаунд-ядромен жинақтайды. α бөлшек әкелген энергия (ол бөлшектің кинетикалық энергиясымен оның ядромен байланыс энергиясынан тұрады), қысқа уақыт ішінде құрама ядро нуклондары арасында таралып, нәтижесінде ядро қоздырылған күйге ауысады.

Екінші кезеңде құрама ядро b (n, p, α, γ) бөлшектерін шашыратады. Символдық түрде бұл реакцияның екі сатылы өтуін (4.1) келесі түрде көруге болады:



Кейде шашыраған бөлшек жинақталған бөлшекпен бір болады ($b=\alpha$). Онда үрдіс (2.9) шашырау деп аталады, егер α бөлшек энергиясы b бөлшек энергиясына тең болса ($E_b=E_\alpha$), шашырау серпімді болады, ал кері жағдайда (яғни $E_b \neq E_\alpha$) – серпімді емес. Ядролық реакция b бөлшегі α бөлшегімен бір болмағанда жүзеге асады.

Энергиясы 1 МэВ (нуклон жылдамдығына сәйкес келетін $\sim 10^9$ см/сек) нуклонның ядро диаметріне ($\sim 10^{-12}$ см) сәйкес келетін қашықтықты жүріп өтуіне қажетті уақыт аралығы табиғи ядролық бірлік деп алынады. Бұл бірліктің шамасы:

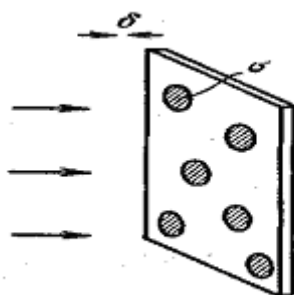
$$\tau_{\text{я}} = \frac{10^{-12} \text{ см}}{10^9 \text{ см/сек}} = 10^{-21} \text{ сек} \quad (3.20)$$

Құрама ядроның орташа өмір сүру уақыты (10^{-14} - 10^{-12} сек тең) ядролық уақыт $\tau_{\text{я}}$ бірнеше есе артық. Яғни, құрама ядроның ыдырауы a (яғни b бөлшекті шашыратуы) реакцияның бірінші кезеңіне тәуелсіз үрдіс болып табылады, α бөлшегін жинақтаудан тұрады (құрама ядро өзінің пайда болу әдісін «ұмытады»). Бір құрама ядросы әр түрлі жолдармен ыдырауы мүмкін. және ыдырау жолдары, олардың салыстырмалы ықтималдығы пайда болу әдісіне тәуелсіз.

Нейтронның затпен өзара әсері. Жылдам нуклондар мен дейтондар әсерінен пайда болатын реакциялар аралық ядроның түзілуінсіз жүзеге асады. Бұл реакциялар тік ядролық өзара әсерлесу деп аталады. Тік өзара әсерлесудің типтік реакциясы үзу реакциясы болып табылады, оны

ядроның дейтонмен орталықты емес соққысында көруге болады. Соққының бұл түрінде дейтонның нуклондарының бірі ядролық күштердің әсер ету зонасына түсуі мүмкін және ядромен жинақталады, ал екінші нуклон ядролық күштердің зонасынан тыс қалып ядро маңынан ұшып өтеді.

Ядролық физикада өзара әсер ету ықтималдығын тиімді кесінді σ көмегімен көрсетуге болады. Ол шаманың мәні мынандай. Бөлшектер ағыны, мысалы нейтрондар өте жұқа бірін бірі жауып тұрған нысынаға тиетін болсын. (1-сурет). Егер ядро көлденең кесіндісі бар қатты шариктер, ал түсетін бөлшектер кесіндісі жоғалатын кіші бөлшектер болса, бөлшектің нысананың бір ядросына тию ықтималдығы $P = \sigma n \delta$ тең болады, бұл жерде n – нысананың көлеміндегі ядролар саны, не ядролар концентрациясы, δ – нысана қалыңдығы ($\sigma n \delta$ ядро-шариктармен жабылған нысана ауданының салыстырмалы үлесі).



18-сурет.

Нейтрон ағындарының зат ядросымен әсерлесу схемасы: σ - тиімді кесінді; δ -фольга қалыңдығы.

Түсетін бөлшектер тығыздығы N деп есептейік. Ядромен соқтығысқан бөлшектер саны ΔN келесі теңдікпен анықталады

$$\Delta N = NP = N\sigma n \delta \quad (3.21)$$

Яғни, соқтығысқан бөлшектердің салыстырмалы санын анықтап алып, $\frac{\Delta N}{N}$ ядроның көлденең кесіндісін $\sigma = \pi r^2$ формула бойынша есептеуге болады

$$\sigma = \frac{\Delta N}{N n \delta} \quad (3.22)$$

Іс-жүзінде нысана ядросы да, оған түсетін бөлшектер де қатты шариктер болып табылады. Бірақ соқтығысатын шариктер моделіне ұқсас өзара әсер ету ықтималдығын сипаттау үшін а шамасын алады, ол (4.5) формуласы бойынша анықталады, ол жерде ΔN соқтығысқан бөлшектер саны емес, нысана ядросымен әсерлескен бөлшектер саны. Бұл шама берілген реакцияның (үрдістің) тиімді кесіндісі деп аталады.

Жуан нысана жағдайында бөлшектер ағыны ол арқылы өткен сайын әлсіздене береді. Нысананы жұқа қабаттарға бөліп, беткі қабаттан

x тереңдікте орналасқан dx қалыңдығы бар қабатқа арналған (4.4) теңдігін аламыз:

$$dN = -N(x)\sigma n dx, \quad (3.23)$$

бұл жерде $N(x)$ - x тереңдігіндегі бөлшектер ағыны. Оң жағынан минус таңбасы dx жолында dN өсім (әлсіздену емес) түрінде қарастырылуы үшін қойылды. Бұл теңдікті интеграциялау келесі теңдікке әкеледі:

$$N(\delta) = N_0 e^{-\sigma n \delta} \quad (3.24)$$

бұл жерде N_0 – бірінші ретті ағын, ал $N(\delta)$ - δ тереңдігіндегі ағын. Осылайша, δ қалыңдығы бар нысана арқылы бөлшек ағынының өтуінде әлсізденуін өлшей отырып әсер ету кесіндісін келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$\sigma = \frac{1}{n\delta} \ln \frac{N_0}{N(\delta)} \quad (3.25)$$

Ядролық үрдістердің тиімді кесіндісі бірлігі ретінде барн алынады:

$$1 \text{ барн} = 10^{-24} \text{ см}^2 \quad (3.26)$$

Бірінші ядролық реакцияны 1919 жылы Резерфорд жасады. Ол радиоактивті көз арқылы азотты α -бөлшектермен сәулелендірген кезде, кейбір ядролар азоттан оттегіге айналып, протон бөлген. Бұл реакцияның теңдігі келесі:



Резерфорд атом ядросын ыдырату үшін табиғи құрал - α -бөлшектерді пайдаланды. Жасанды жылдамдатылған бөлшектермен жүргізілген ядролық реакция алғашқы рет Кокрофт пен Уолтонмен 1932 жылы жасалды. Кернеу көбейткіші көмегімен олар протондардың энергиясы 0,8 Мэв жылдамдатып, реакцияны бақылаған:

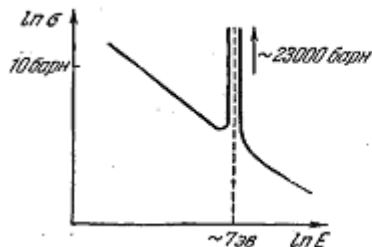


Кейіннен зарядталған бөлшектердің үдеуі техникасының дамуына сәйкес жасанды жолмен жүзеге асатын ядролық өзгеру саны көбейе түсті.

Нейтрондармен жүзеге асатын реакциялардың маңызы зор. Зарядталған бөлшектерге қарағанда (p, d, α) нейтрондарда кулондық тебіліс болмайды, энергиясы аз болғандықтан олар ядроға ене алады. Реакцияның тиімді кесінділері нейтрондар энергиясы азайғанда артады. Бұл нейтронның жылдамдығы азайған сайын, ядролық күштер әсер ету сферасындағы уақыты көп сондықтан жинақталу ықтималдығы артады. Сондықтан көптеген тиімді кесінділер $\frac{1}{v} \sim E^{-1/2}$ өзгереді. Кей жағдайда

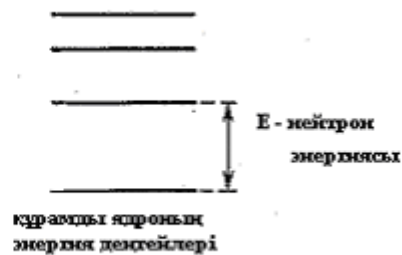
нейтрондардың жинақталу кесіндісі белгілі энергия E_T нейтрондарының анық білінген максимумына ие. Мысал ретінде 2-суретте E нейтрон энергиясынан нейтронның U^{238} ядросымен жинақталу қисығы берілген. Екі ось бойынша масштаб - логарифмдік. Бұл жағдайда тәуелділік $\sigma \sim E^{-1/2}$ тік сызықпен көрсетіледі, ол $\ln \sigma = \text{const} - 1/2 \ln E$ теңдікпен сипатталады. Суретте көрсетілгендей 7 эв маңында $\ln \sigma$ с $\ln E$ тік сызықтыға жақын. Егер $E = E_T = 7$ эв жинақтау кесіндісі 23 000 барнға дейін күрт өседі. Қисықтың түрі құбылыс резонансты екенін көрсетеді. Бұл резонансты жұтылу

құрама ядроға нейтронмен келетін энергия, құрама ядроны қоздырылған энергетикалық деңгейге ауыстыруға қажетті энергияға тең болғанда жүзеге асады. (3-сурет). Дәл осы жолмен энергиясы атомның бірінші қоздырылған және негізгі деңгейлерінің айырмасына тең фотондар үшін анықталады, жұтылу ықтималдығы аса үлкен. (жарықтың резонансты жұтылуы).



19-сурет

Нейтрондардың жинақталу кесіндісінің энергетикалық деңгейлері.



20-сурет

Құрамды ядроның өзгеруі графигі.

${}^7\text{N}^{14} (n, p) {}^6\text{C}^{14}$ реакциясы қызық, ол атмосферада космостық сәулелер әсерінен пайда болып, нейтрон әсерінен тұрақты түрде жүріп отырады. Пайда болатын көміртегі ${}^6\text{C}^{14}$ радиокөміртегі деп аталады, ол β^- радиоактивті болғандықтан, оның жартылай ыдырау кезеңі 5600 жыл. Радиокөміртегі фотосинтезде өсімдіктермен жұтылады, табиғаттағы заттардың айналымына қатысады. Атмосферада уақыт бірлігінде пайда болатын радиокөміртегі ядроларының саны ΔN_+ орта есеппен тұрақты болып қала береді. Ыдырайтын ядролардың саны ΔN_- бар ядролардың санына пропорционал N :

$$\Delta N_- = kN \quad (3.22)$$

Егер қарапайым көміртегіде C^{14} тұрақты концентрация бекітілсе, жартылай ыдырау кезеңі өте үлкен және келесі шарттарға сәйкес келеді:

$$\Delta N_+ = \Delta N \text{ или } \Delta N_+ = kN \quad (3.23)$$

Арнаулы зерттеулер жел мен мұхит ағындары әсерінен C^{14} теңдік концентрациясы жер шарының әр жерлерінде бірдей екенін көрсетті және әр көміртегінің грамына 14 ыдырау/минутқа сәйкес келеді. Органикалық зат тірі кезінде ондағы C^{14} радиоактивтілік әсерінен табиғаттағы заттар айналымы әсерінен толығады. Адам өлімі кезінде жұтылу үрдісі бірден тоқтап қарапайым көміртегідегі C^{14} концентрациясы бірте-бірте азаяды. Яғни ағзалар қалдықтарындағы C^{14} өлшеп алып (ағашта, сүйекте т.с.с), өлім уақытын немесе басқаша айтқанда жасын анықтауға болады. Бұл әдісті жасы тарихи әдістермен анықталған ертедегі үлгілерді тексеру қанағаттандырарлық нәтижие берді.

Негізгі әдибиет: 1[75-85]

Қосымша әдебиет: 5[20-25]

Бақылау сұрақтары:

1. Ядролық реакцияның формуласын жаз?
2. Ядролардың бөлінуінің ықтималдығы неге байланысты?
3. Нейтронның затқа өткен кездегі өзгеруінің формуласы.
4. Азоттың ауадағы ыдырауын қалай қолдануға болады?
5. Нейтронның әсерлесуінің эффективтік қимасы деп нені айтамыз?

Дәріс 7. Иондашы сәулелердің биологиялық сәулелері. Қабылданған тәуекелділіктің концепциясы. Соңғы ашылулардан кейін, әрбір тірі объекті шектеулі дозалы сәуледен өледі деп қарастырылған. Бірақ, әртүрлі объектінің өліміне әкеліп соқтыратын сәуле дозасы, өте кең көлемде ерекшеленеді.

Иондаушы радиацияның, әрбір биологиялық түрлерге өзіндік сезімталдығы болады. Радиосезгіштік дәрежесі шамамен бір түске (жеке радиосезгіштік), ал нақты индивидуум жасқа байланысты болып вариацияланады, радиосезгіштік бойынша бір организмнің өзінде клеткалар мен тканьдар бір-бірінен өте ерекшеленеді.

7-кесте - Популяция сәулесі кезіндегі, әртүрлі организмнің 50% өліміне алып келетін фотонды сәуле дозасы D_{50} .

D_{50} , Гр	Биологиялық түрі	D_{50} , Гр
2,5-6	Жәндіктер	10-100
7-9	Өсімдіктер	10-1500
9-10	Ашытқылар	300-500
8-20	Қарапайымдылар	1000-3000

Иондаушы сәуле энергиясы биологиялық ткань арқылы өткен кезде, атом мен молекулаларға беріледі. Бұл иондардың пайда болуына және молекулалардың қозуына алып келеді. Алайда бұл клеткада бірінші ойнайтын физикалық «драма актісі». Келесі акт клетканың жеңілуінің химиялық кезеңі деп аталады.

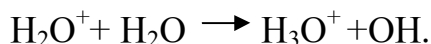
Бірінші радиациялы-химиялық өзгеру негізінде молекулалар екі механизмді болып жатуы мүмкін: 1) тік әсері, егер де тікелей сәуленің әсерінен берілген молекула өзгерістерді тудырса (ионизация, қозыну); 2) жанама әсері, егер де молекула иондаушы сәуленің энергиясын жұтпай, басқа молекула жолы арқылы алып отырса.

Биологиялық жамылғының массасы бойынша 60-70% судан тұратыны белгілі. Сондықтан да тік және жанама әсердің бір-бірінен айырмашылығын су сәулесінің мысалымен қарастырамыз.

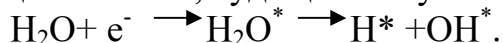
Мысалы, су молекуласы улы бөлшектермен ионданады, осының нәтижесінде ол энергиясын жоғалтады.



Ионданған су молекуласы судың басқа нейтральды молекласымен әрекеттеседі, соның нәтижесінде жоғары коррективті радикалгидроксил OH^* түзіледі:

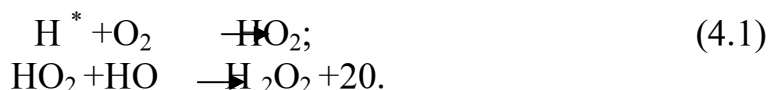


Жұлынған электрондар суды қоршаған молекулаларға энергияны өте тез арада өткізеді, соның нәтижесінде екі радикалдың H^* және OH^* тууынан диссоциаланатын, судың молекуласының қатты қозуы пайда болады H_2O^* :



Бос радикалдар жұптаспаған электрондардан тұрады және өте жоғары реакциялы тәсілдермен ерекшеленеді. Суда тіршілік ету уақыты 10^{-5} с. аспайды. Осы уақыттың ішінде олар бір-бірімен рекомбинацияға түседі, немесе ерітілген субстратпен реакцияға түседі.

Суда еріген қышқылдың бірігуінен басқа да радиализ өнімдері түзіледі: гидрототық бос радикалы және сутегі тотығы H_2O_2 мен атомдық оттегі:



Су сәулесіне қарағанда, организм клеткасында жағдай өте күрделі, әсіресе егер жұтқыш заттар ірі және көпкомпонентті биологиялық молекула болса. Мұндай жағдайда органикалық радикал D^* түзіледі, бұлар да өте жоғары реакциялық қабілеттіліктерімен ерекшеленеді. Үлкен энергия санымен орналастырылса, олар химиялық байланыстың үзілуіне тез ұшырайды. Дәл осы процесс көбіне ионды пар мен химиялық өнімнің соңғы жағын формалауды түзу аралығында көп ұшырасады.

Сонымен қатар, биологиялық әсер оттекті эффекттің арқасында күшейеді. Бос радикал мен оттектің байланысының нәтижесінде түзіледі, сонымен бірге жоғары кореакционды өнім ($\text{D} + \text{O}_2 \rightarrow \text{DO}_2$) сәулеленетін жүйеде жаңа молекулалар тудыруына алып келеді.

Су радиализі процесінде, жоғары химиялық активтілікке, белок молекуласымен радиацияға түсуіне, организмде биохимиялық процестің өзгеруіне алып келетін, биологиялық тканның ферментті және басқа структуралы элементтеріне ие болатын бос радикал және қышқылдағыш пайда болады. Осының нәтижесінде организмге тән емес улағыштардың, ауысу процесінің, ферментті жүйенің активтілігінің басымдылығының, тканның өсуінің баяулауы және тоқталуы, жаңа химиялық байланыс және улағыш заттардың өзгеруі пайда болады. Бұл әсерлер жеке жүйелердің немесе тұтас организмнің тіршілік етуінің бұзылуына алып келеді.

Сәулеге тимеген, индуцирленген бос радикалды химиялық реакциялар осы процесс кезінде жүздеген және мыңдаған молекулаларды өзіне тартады. Биологиялық объектіге ионизациялық сәуленің специфика әсері осыдан тұрады. Осы энергия түрі ғана (жылы, электрлік және т.б.), биологиялық объектіні жұту кезінде, иондаушы сәуленің жұтуы сияқты өзгеріс алып келмейді. Мысалы, жұтылған энергия сияқты 10 Дж/кг, сүтқоректілер үшін ионизация сәулесінің өлім дозасы 10 Гр тең болады. Егер де бұл энергияны жылу түріне ауыстырсақ, онда адам организмінде тек 0,001 °C ғана жылыған болар еді, яғни стакандағы ішілген ыстық шәйдан да аз.

Адам организміне әсер ететін сәуле әсерінің күтпеген радиациялық эффектісі екіге бөлінеді соматикалық («сома» - грек тілінен аударғанда

«дене») және генетикалық (тұқым қуалаушылық). Соматикалық эффект сәулеленудің өзінен тікелей көрінеді, ал генетикалық өзінің тұқымына байланысты болады.

Генетикалық эффект мутация арқылы шығады - табиғи (спонтанды) немесе жасанды, мысалы сәулелену жолмен шығатын организмнің тұқым қуалау қасиетінің өзгеруі. Мутациялау (латын тілінен «mutation» - өзгеру, ауысу) организмнің (хромосомалар мен гендерде) генетикалық материалдарында ауыстыру мен бұзылулардың нәтижесінде пайда болады. Хромосомалар (грек тілінен «хромо» - түс, бояу, «сома» - дене)-организмнің тұқым қуалау информациясынан тұратын, ДНК-дағы ядраклеткалардың структуралық элементі. Хромосомада сызықтық тізбек бойынша гендер орналасқан (грек тілінен «genos» - туылу, шығу тегі) – ол қандай да бір элемент белгісін формалауға жауап беретін, тұқым қуалаушылық материал. Организмнің ішіндегі хромосомадағы дара жиынтықта болатын геннің жинақтығын - геном деп атайды.

Соматикалық эффектке шартты түрде тікелей сәуле эффектісінің ерте түсуі жатады (қатты ауыру мен созылмалы сәуле ауруы және локалды сәуле зақымдары), бұл аурулар төрт апта ішінде біліне бастайды, және бұлардың зардаптары (өмір ұзақтығын қысқартады, ісіктер пайда болады және т.б.) көп айдан кейін немесе сәулеленген адамның бір жылдан кейін сәулеленуінен кейін біліне бастайды. Ал генетикалыққа құрсақта жатқан клеткаларға геномалық сәуленің берілу салдары жатады (кемтар болып туылған балалар және сәулеленген адамдардың ұрпақтарына тұқым қуалау арқылы берілу).

Организмге сәуленің әсері стохастикалық және стохастикалық емес эффект болып бөлінеді.

Егер қандай да бір белгілі бастапқы дозаның белгісінен бастап, зиянды эффект сәулесі пайда болса, онда оны стохастикалық емес немесе бастапқы (шекті) деп атайды. Бұл эффектілер үшін пайда болу мүмкіндігі (жиілік) және ауырлық дәрежесі дозаның кеңеюімен өседі. Эффект ауырлығы (оның көрсетілген дәрежесі) радио-сезімділігі көп адамдарда көп болуы мүмкін. Стохастикалық емес эффектке жататындар хрусталды көздің бұлдырауы (сәуле катарактасы), қайта өндіру функцияның бұзылуы, терінің косметикалық зақымдануы, әр түрлі ткандардың дистрофикалық бұзылуы және т.б.

Адам сәулеге түсіру зардаптары, сәулеге түсу аз мөлшерлерде болғанда пайда болатын жағдайды (шегі болмайды) және мөлшермен өсуі, стохастикалық немесе шексіз деп атайды. Негізгі стохастикалық эффектер - канцерогендік (лейкемия және қатердің жаңадан пайда болған басқа түрлері) және генетикалық эффектер. Тазалықты көру үшін стохастикалық сәуленің эффекттіктісін пайдаланады, әдетте тәжірибеде доза эффектінің ұзындық тәуелділігін пайдаланады. Ондаған және мыңдаған адам тұратын үлкен топты тұрғындарды ұзақ уақыт бақылау барысында ғана сәулеге түсіруден кейін ұзақ уақыттан кейін стохастикалық эффект әсерлері білінеді.

Радиациялық қорғаныс мақсаты – бұл зиянды стохастикалық емес эффектін болдырмау, және қабылдауға болады деп есептелінген стохастикалық эффекттің пайда болу ықтималдық деңгейлеріне дейінгі шек қоюы.

Организмге иондағыш сәулелерден әр түрлі жарақаттардың пайда болуын, адамдардың сәулелену жарақаты деп атайды. Мұндай пайда болудың көбі ең алдымен сәулелену түріне байланысты болады (жалпы немесе жергілікті, сыртқы немесе инкорпорирленген радиоактивті заттардан), уақытша факторан (бір реттілік, қайталану, көп уақытқа созылған сәулелену), алаң біркелкілігінен (біркелкі немесе еркелкі сәулеге түсу) және т. б.

8-кесте - Тканьды жұту дозасына D байланысты, қысқа уақыттағы біркелкі тотальды сәуле фотонына байланысты адам организміне әсер ететін сәулемен зақымдану классификациясы

Сәуле зақымдары	Тканды жұтылған доза D ,Гр							
	<0,25	0,25-0,5		0,5-1	1-2	2-4	4-6	>6
	Болмайды	Организмнің басқа жүйесі жағынан реакциясы		Қатты ауыратын (жеңіл) I-дәрежелі сәуле ауруы	Қатты ауыратын (орташа) II-дәрежелі сәуле ауруы	Қатты ауыратын (ауыр) III-дәрежелі сәуле ауруы	Қатты ауыратын (шектен тыс ауыру) IV-дәрежелі сәуле ауруы	
	Болмайды	Қан құрамының уақытша өзгеруі	Шаршау әсері, кейде құсады, қан құрамының шамадан тыс өзгеруі	Лейкопенияның* аздығы, бірінші тәулікте кейде құсады	Бірінші тәулікте жүрек айну, құсу, лейкопения, тері ішіндегі қан кету	Жүрек айну, лейкопения, тері ішіндегі қан кету	Сәулеленгеннен кейін 1-2 сағ. кейін құсады, қанда лейкоцит мүлдем жоғалады, тері ішіндегі қан кету, қан аралас іш кету	
		Таза қан құрамдары тез қалыпқа келеді	Денсаулықтың жақсы жағдайы қалыпқа келеді	өлім қаупі болмайды	Сәулеленгеннен кейін 2-6 аптада өлім қаупінің мүмкіндігі 20%	Сәулеленгеннен кейін 1 ай шамасында өлім қаупінің мүмкіндігі 50%	Инфекциялық аурулардан немесе қан кету жағдайынан өлім қаупі 100%	

Ескерту: * - Қан құрамындағы лейкоцит санының азаюы.

1945 жыдың 6 тамызына дейін АҚШ-та бірінші рет Жапонияға қарсы атом қаруын қолданды, адамға әсер ететін клиникалық сәуле ауруының

ешқандай мәліметтер болмаған. Кейіннен лейкоз терапиясы бойынша сәулеленуді медициналық мақсатта пайдалану және әртүрлі апаттардың нәтижелері келе бастады.

Қатты ауыратын сәулелі ауруы тотальды ішкі салыстырмалы бірқалыпты сәуленің нәтижесінде пайда болады, ол 1-10 Гр немесе одан да жоғары дозада басталады. Ал аз доза болған кезде жеке организм жүйесі жағынан әр түрлі деңгейде көрінет реакция болуы мүмкін. Сәуле зақымының классификациясы адам организмнің тотальды сәулеленуі кезінде, фотонды сәуле үшін тканьды дозаның жұтылуына байланысты болатыны 2-кестеде көрсетілген. 2-кестедегі емделмегендерге, берілген сәуле әсерінің салдары келтірілген. Қазіргі кезде 10 Гр доза болған кезде өлімнен құтқарып қалу, сәулеленуге қарсы құралдар мен сәуле ауруларын комплексті емдейтін тәжірибелері бар.

Егер де сәулелі ауруды келтірмейтін, бірақ дозаның шамадан тыс көп болса және сәулелі доза жүйелі түрде қайталана берсе, онда ол созылмалы сәуле ауруына ұласуы мүмкін. Оның көп тараған белгілерінің бірі қан құрамының (лейкоциттың азаюы, қан аздық) және жүйке жүйесінің симптомдарының өзгеруі.

Қабылданған қауіп концепциясы. Әртүрлі әрекеттерге байланысты адамдар неше түрлі қауіптің түрлерімен байланыста болады, оның нәтижелері жарақаттар, аурулар сондай-ақ өлімге алып келетін жағдайлар да болады. Жаңа технологияның ерекшеліктерін толық және объективті бағалау үшін, міндетті түрде жалпы адамдарға туатын қосымша қауіп көздерінің пайда болуын ескеру керек.

Көбіне қабылданған қауіп концепциясына, радиологиялық қорғаныс бойынша халықаралық комиссиясы (РҚХК) шығарған сәуленің профессионалды әсері жатады. Осыдан кейін, қауіп стохастикалық мөлшерге жатады.

Қабылданған қауіп дәрежесін табу үшін, қазіргі өндірісі дамыған елдердегі адамдардың әр түрлі сферадағы қауіпінің тек өлім қауіпімен шектелген масштабын қарастырамыз. 3-кестеде адамдар адамдар ұшыраған қауіп көздерінің классификациясы, дәлелдері, қауіптің орташа дәрежелері және әртүрлі көздер үшін қауіптерге мысалдар келтірілген. Жеке қауіптің сандық шегіне есептегенде орташа 1 жылда 1 өлім қауіпі болады.

Өлім қауіпі қарастырылғандай адамның жас шамасының тобына байланысты болады. Мысалы, 45-50 жастағы ер адамдардың аурудан өлу қауіпі, 25-30 жастағыларға қарағанда 10 есе көп болады.

Әртүрлі жас шамасындағы топтардың аурудан болатын өлімдері, табиғи тіршілік ортасына қарағанда 3 есеге артық болады. 20-25 жас аралығындағы ер адамдардың сәтсіз жағдайдағы өлімдері, ауырып өлуге қарағанда 2,7 есеге артық болып келеді. Бұл жағдайды түсіндіріп кететін болсақ, осындай жас шамасындағы топтың адамдары жоғары дәрежелі қауіп-қатерге жақын болып тұратынында. Жас ұлғая келе, өмір тәжірибесін көре келе мұндай қателер кеми түседі.

Өлім қаупіне байланысты кәсіби әрекеттерге байланысты 4 категориялы қауіптер көрсетілген R,1 (адам/жыл), 4- өте қауіпті ($R < 10^{-4}$), 2- салыстырмалы қауіпсіздік ($R = 10^{-4} - 10^{-3}$), 3-қауіпті ($R = 10^{-3} - 10^{-2}$), 4-өте қауіпті ($R > 10^{-2}$) (3-кесте). Осыған байланысты өлім қаупі, жеңіл жұмыс істейтін мамандарға қарағанда, өте қауіпті жерде істейтін жұмысшы мамандардың өлімінің қаупі 100 есе көп болады. Әр түрлі жастағы ер адамдар үшін аурудан туатын өлім қаупінің орташа дәрежесі өте қауіпті кәсіби жағдайдағы қауіппен ғана салыстырамыз.

Айта кететін жай, адамдарға әр түрлі қауіп көздерінің тууы тек қана алғашқы пайда болуында ғана тәуелсіз әрекетін қабылдауға болады. Әр түрлі пайда болу көздеріне байланысты қауіпті анықтау үшін міндетті түрде корреляция қауіпін ескеру керек.

3-кестедегі кәсіби емес әрекеттер қаупінің мысалдары жалпы уақыт және дене шынықтыру үшін жылына 150-200 сағат бөлінгенін көреміз.

Әр түрлі қызмет сферасындағы қазіргі адамдардың қабылданған қауіптерін анықтау проблемалары әлеуметтік, экономикалық, психологиялық және басқа аспектілерге бөлінген.

Жоғарыда келтіріліп кеткен анализдер, өндірісі дамыған елдердегі қазіргі адамдар үшін кәсіби өлім қауіптің қабылданған дәрежесі $(1-5) \cdot 10^{-4}$ 1 жылда 1 адамға келіп тұр.

Бұл мән, кәсіби әрекеттердегі қауіпсіздік жағдайындағы қауіпке немесе 25-30 жастағы адамдардың аурудан туатын өлім қаупіне және 30-35 жас аралығындағы ер адамдарға қарағанда 20-25 жас аралығындағы жұмысшылардың, өлім қаупіне тең.

9-кесте - Өнеркәсібі дамыған елдердегі адамдардың қауіп дәрежелері мен олардың пайда болу көздерінің классификациясы

1 жылда 1 адамға санағандағы R орташа өлім қаупінің шамасы			
Шығу көздері	Себептері	Орташа мәні	Қауіп мәндерінің мысалдары
Организмнің ішкі ортасы	Қартаюдың генетикалық және соматикалық аурулары	$R \cdot 10^{-2}$ $R \leq 10^{-4}$ (космонавтар үшін)	1. суретті қараңыз
Табиғи тіршілік ету ортасы	Жер сілкінісі, дауыл және басқа да стихиялық зардаптардан болатын сәтсіз жағдайлар	$R \cdot 10^{-5}$	Су тасқыны $4 \cdot 10^{-6}$ Жер сілкінісі $3 \cdot 10^{-6}$ Найзағайлар $6 \cdot 10^{-7}$ Борандар $3 \cdot 10^{-8}$
Жасанды тіршілік ету ортасы	Ішкі ортаның ластануына байланысты, көліктерде және күнделікті өмірде кездесетін сәтсіз жағдайлар	$R \cdot 10^{-3}$ (ер адамдар үшін)	Қарапайым тәсілмен $\approx 2 \cdot 10^{-5}$ және ядролық тәсілмен $\leq 10^{-7}$ энергияны өшіру. Автомобильдегі газбен улану (ер адамдар үшін) $\sim (1 \div 5) \cdot 10^{-6}$. Шылым шегу $\sim 5 \cdot 10^{-4}$. 4.1. кестедегі графиктегі суретті

			қараңыз (2-қисық сызық)
Кәсіби тіршілік әрекеті	Кәсіби аурулар, кәсіби жұмыста болатын сәтсіз жағдайлар және с.с.	Кәсіби әрекеті: қауіпсіз $<10^{-4}$, шамамен қауіпті $10^{-4}-10^{-3}$, қауіпті $10^{-3}-10^{-2}$, аса қауіпті $>10^{-2}$	Тігін, текстиль, полиграфиялық, тамақ өндіріс салаларында $\leq 10^{-4}$, металлургиялық, судоқұрылыстық, құрылыстық, барлық өндірістерді орташа алғанда $10^{-4}-10^{-3}$, кокстау, вулканизация $10^{-3}-10^{-2}$. ұшқыш-сынақшы, реактивті самалет экипажы $>10^{-2}$
Кәсіби емес тіршілік әрекеті	Спортпен шұғылданған кезде және басқа да кәсіби емес жұмыстармен айналысқандағы аурулар мен сәтсіз жағдайлар	Спорт түрлері: Қауіпсіз $<10^{-4}$, шамамен қауіпті және қауіпті $10^{-4}-10^{-2}$, аса қауіпті $>10^{-2}$	Бокс, шаңғы, аңға шығу $\leq 10^{-4}$, ат шабу, ат шабу кезіндегі кедергілер $\geq 10^{-2}$
Әлеуметтік орта	Қылмыс мақсатындағы өз-өзіне қол жұмсау, жарақаттау, өлім себептері, әскери әрекеттерге байланысты өлімдер, жаралану және т.б.	$R = (0,5 \div 1,5) \cdot 10^{-4}$ (АҚШ)	Өз-өзіне қол жұмсау $\sim 1 \cdot 10^{-4}$. Ер адамдардың барлық жастағы топтарының әскери әрекеті (АҚШ) $7 \cdot 10^{-5}$ (орташа).



Сурет-21

21-сурет. Өлім қаупінің әр түрлі факторларға байланыстылығы графигі. 1-аурудан өлу қаупі; 2-бақытсыз жағдайдан өлу қаупі.

Жоғарыда көрсетілген мәліметтер сараптамасы дамыған елдерде кәсіби өлім мүмкіндігі 1 жылда 1 адам $(1-5) \cdot 10^{-4}$ интервалында болатынын көрсетеді. Бұл мән қауіпсіз жұмыс шарттарында 25-30 жас тобындағы өлім қаупіне немесе 20-25 жас тобындағы адамдардың 35-50 жас тобындағылармен салыстырғанда 20-25 жас тобындағылардың бақытсыз жағдайдан өлу қаупінің артықшылығына тең болады.

Негізгі әдибиет: 1[85-95]

Қосымша әдебиет: 2[15-45]

Бақылау сұрақтары:

1. Адам ағзасының мөлшермен қанша пайызын су құрастырады ?
2. Судың электронның әсерінен ыдырау формуласын келтір?
3. Генетикалық эффект деп нені айтамыз?
4. Соматикалық эффект деп нені айтамыз?
5. Радиациялық қорғаудың мақсаты?
6. Судың асқын тотығына айналуының схемасын келтіріңіз?

Дәріс 8. Радиациялық сәулеленудің нормалау принципі. Радиациялық қауіпсіздік нормасы. Қазіргі заманғы концепция негізінде радиациялық сәулеленуге, адамға дозаны шектеу принципі жатады. Осыған байланысты радиацияның қауіпсіздік шаралары, иондағыш сәулелер көздерімен жұмыс істейтін қызметкерлерге және сонымен бірге халықты қорғауға міндетті түрде қажет. Басқа сөзбен айтқанда, адамды сәулеленуден тұрақты қорғау, биоценозалар мен биосфераны да қорғауға кепілдік береді. Мұндай радиациялық әсерді нормалау принципі радиациялы-гигиеналы деп атайды

Қазіргі кезде ядролық энергетиканың қарқынды дамуы және иондағыш сәулелердің әртүрлі көздерін әр аймақтарда кең қолдануы, ірі масштабтағы радиациялық фонның артуы мен әртүрлі агенттердің комбинирленген әсерінен синергетикалық әсердің байқалуы жағдайы, адам ағзасы және табиғи орта объектілері (жануарлар, өсімдіктер, микроағзалар) үшін маңызды болып келеді. Демек, радиациялы-гигиеналық нормалау принципіне, экологиялық принципті қосу керек.

Биоценоз дегеніміз - су немесе құрғақ жерлердегі аумақта тіршілік ететін жануарлар мен микроорганизмдер және өсімдіктер жиынтығы.

Егер радиациялық және химиялық екі агенттің аралас эффектісінің әсері, олардың әрқайсысын жеке алғандағы қосындысынан көп болады.

Осындай нормалаудың негізгі шарты - планетаның биологиялық ресурстарын қорғау, жер биосферасындағы тірі ағзалардың генофондын сақтау, адамның тіршілік ету ортасын қамтамасыз ету, олардың тіршілік қалпының қажеттілігі. Сондықтан экологиялық нормалау үшін, жеткілікті мәлімет алу үшін, радиоэкологиялық аймағында нақты эксперименталды материалдарды жинау қажет. Қазіргі кездің өзінде де осы проблемалар бойынша қызықты ақпараттар бар. Мысалы, қоршаған ортаны радионуклидтермен ластау кезінде, көптеген биообъектілерде сәулелену дозасы, дозадан асып кетеді, ал адамға, ағаш тектес қылқан жапырақтылар, радио сезімталдығы бойынша адамдарға және жануарларға жақын болады, сонымен дозалық әрекеттер бойынша қор коэффициенті адамдар үшін қылқан жапырақты өсімдіктер 2-4-тен аспайды.

Демек, радиациялы - гигиеналық нормалау принципін, радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету кезінде негізгі деп қабылдап, оларды толықтыру, келешектегі экологиялық критерияларымен кез - келген иондағыш сәулелердің көздерінің түрлерін қолдану кезінде, радиациялық әсерден табиғи ортаны қорғау үшін, мақсатқа сай деп білу керек.

Ресейде нормалау, келесі радиациялық қауіпсіздіктің негізгі принциптері нәтижесімен жүзеге асырылған: 1) негізгі дозалық шегін бекітілген нормадан асырмау; 2) кез-келген негізделмеген сәулеленуді жою; 3) сәулелену дозасын мүмкіндігінше төменгі деңгейге дейін төмендету.

Радиациялық қорғаныс бойынша халықаралық комиссия (РҚХК), біздің еліміздегі қабылданған үш өзара байланысты дозалық күш регламентациясына ұқсас принциптерді бекітті:

1) жеке адамдар үшін сәулеленудің эквивалентті дозасы, комиссия ұсынған шарт бойынша шектен аспауы керек;

2) иондағыш сәулеленулердің түрлері, нақты таза пайда әкелмеген жағдайда, ешқандай тәжірибеде қолданылмауы керек;

3) барлық сәулелену дозалары, өте төменгі (экономикалық және әлеуметтік факторлар есебіне жете отырып) дәрежеде ұсталанып тұруы керек.

РҚХК бекіткен үш принципті келесі қысқартылған сөздердің көмегімен құруға болады: 1) жеке эквивалентті дозаның шегін бекіту; 2) тәжірибелік әрекеттердің дұрыс боуы; 3) радиациялық қорғаныстың қолайлылығы.

Шет елдерде үшінші принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable - сөздерінің алғашқы әріптерімен белгіленген) принципі ретінде белгілі. Ол қызметкерлер мен халықтың сәулелену дозасын регламенттеу үшін қажет. Мүл жерде, аз доза кезіндегі сәулеленуден ақталған қауіпін, қабылдануы туралы сөз болып отыр.

Екінші және үшінші РҚХК принциптерінің сандық реализациясы үшін, пайда-шығын концепциясын пайдалануды ұсынады. Осы концепцияға сәйкес радиация қауіпсіздігінің қабылданған шараларын оптимальды деуге болады, егер олар берілген өндірісте таза пайданың максималды мәніне келтірілсе.

Иондағыш сәулелелермен байланысты, қандай-да бір өндірісті жүргізуден B таза пайда, берілген өндірістегі Y жалпы пайда арасындағы айырмашылығы мен өндірістің негізгі құнының P (радиациялық қауіпсіздікке кететін шығынды жоя отырып) – үш компонентінің қосындысымен, радиациялық қауіпсіздігінің таңдалған деңгейіне жетуге кететін шығын X мен таңдалған деңгейдегі берілген өндіріспен байланысты пайда болатын зиянның (зиянды салдары) құнымен Y теңестіріледі, мысалы, қызметкер мен халықтың қорғанысының жеткіліксіздігінен қоршаған орта мен денсаулық шығыны.

Онда былай жазуға болады:

$$B = V - (P + X + Y). \quad (4.2)$$

Егер $B < 0$ болса, онда берілген өндіріс негізделген деуге болмайды. Егер $B > 0$ болғандағы шартты тапса, онда берілген өндіріс ақталған болып саналады.

Радиациялық қауіпсіздіктің оптималды деңгейі, берілген өндірістің тәжірибе жүргізуінен таза пайданың B , максимизациясынан алынады. Егер, коллективті тиімді эквивалент дозасын S_E тәуелсіз ауыспалы шама ретінде

қолдансақ, (басқа да ауыспалыларды қолдануға болады, мысалы қатер) онда таза шамадан-тыс таза пайдаға жетуге болады, егер

$$dB/dS_E = -(dP/dS_E + dX/dS_E + dY/dS_E) = 0 \quad (4.3)$$

Мұндағы V мен P , S_E мен dV/dS_E -ға қатысы жоқ - тұрақты шама, dP/dS_E -нөлге тең, радиациялық қауіпсіздікке X пайда болған зиянның Y құнының азаюымен дәл теңестірілген коллективті тиімді эквивалент дозасының бірлігінде, шығынның артуымен, тиімділік шарты орындалады.

$$dX/dS_E/S_{E0} = -dY/dS_E/S_{E0} \quad (4.4)$$

Радиациялық қауіпсіздікке кететін шығын ақшалай түрде анықталады, шығын да сол бірлікте бағаналады. S_{g0} мәні, сәлелену дозасы кез-келген индивидум үшін, доза шегіне сәйкес төмен болуы керек, мұнда РҚХК дозалық күштің алғашқы регламентация принциптерімен анықталады.

Радиациялық қауіпсіздіктің нормасы. СССР-де иондағыш сәулелердің әсерінің деңгейінің негізі құжаты «радиация қауіпсіздік нормасымен РҚН-76/87» регламенттеледі.

Радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі талаптарын мына құжаттар арқылы «Радиоактивті заттар мен иондаушы сәулелердің НСЕ 72/87 басқа көздерімен жұмыс істейтін негізгі санитарлық ережелері» регламенттеледі.

РҚН -76/87 сәулеленген адамдарды келесі категорияларға бөледі.

А категориясына - иондағыш сәуле көздерімен уақытша және тұрақты жұмыс істейтін қызметкерлер (маман жұмысшылар) жатады.

Б категориясына - иондағыш сәуле көздерінің жұмыстарына қатысы жоқ, бірақ тұратын жеріне байланысты немесе жұмыс орнын ауыстыруына байланысты, радиоактивті заттардың әсеріне және басқа да сәуле көздеріне ұшырауы мүмкін тұрғындар жатады.

Негізгі нормативті құжаттар жиі тексеруден өтіп тұрады, ол үшін арнайы әсер ететін құжаттарды пайдалану керек.

10-кесте - Критикалық топтардың әр түрлі топтары үшін негізгі дозаның шегі, мЗв\жыл

Критикалық мүшелердің топтары	Категориялар үшін шекті рұқсат етілген доза А (ШРД)	Б категориясы үшін доза шектері (ДШ)
I	50	5
II	150	15
III	300	30

В категориясына - тұрғын аймақтар, өлкелер, республикалар, елдер жатады.

Жоғарыда айтылып кеткендей, адамның дене ткані мен әртүрлі ағзалардың радиацияға сезімталдығы әртүрлі. Критикалық мүше дегеніміз, мүше, ткань және дененің бір бөлігі, мұнда сәулелену берілген жағдайда ағзаға бірдей таралмайды, ол адамдар мен ұрпақтарының денсаулығына үлкен зиян келтіруі мүмкін.

Радиация сезімталдығын азайту тәртібі үшін критикалық мүшелердің 3 тобы берілген:

I топ - барлық дене, гонадтар және қызыл сүйек миы;

II топ - бұлшық еттер, бездер, майлы ткандар, бүйрек, бауыр, көк бауыр, асқазан-ішік трактісі, өкпе, көз жанары және басқа да мүшелер, I және H_i топтарына жататындардан басқасы;

III топ - тері қабаты, сүйек ткані, саусақтар, өкше мен табан.

Сәулеленген адамдардың әрбір категориялары үшін екі нормативті кластар бекітілген: негізгі доза шегінен аспайтын шарттан анықталған, негізгі дозалық шектер және рұқсат етілген деңгейлер.

А категориясындағы адамдар үшін негізгі дозалық шектер ретінде, 1 жыл ішінде шекті рұқсат етілген доза бекітіледі, ал Б категориясындағы адамдар үшін - доза шегі жылына бекітіледі. Негізгі доза шектері, критикалық мүшеде жеке максимальды эквивалент дозасы үшін бекітіледі. (1-кесте).

Шекті рұқсат етілген доза (ШРД) дегеніміз – 1 жылдағы жеке эквивалентті дозаның көп мәні, мұнда 50 жыл аралығында түзу сәулелер болмайды; қазіргі әдістерімен анықталған, А категориясына жататын қызметкердің денсаулық жағдайының қолайсыз өзгерістері.

Дозаның шегі (ДШ) – критикалық топтағы адамдар үшін 1 жылдағы жеке эквивалентті дозаның көп мәні, тегіс сәуле үшін 70 жыл аралығында болмайды, ал адам денсаулығының қолайсыз жағдайға өзгеруі қазіргі тәсілдерден пайда болады. Доза шегі, территория мен ғимараттағы ішкі сәуленің эквивалент дозасының шегімен және ішкі ортаның радиоактивті ластанған объектісі мен радиоактивті қалдықтардың деңгейі бойынша бақыланады. Бұл анықтамада, критикалық дозаға Б категориясындағы топқа жататын адамдардың тобының тізімі жатады, адамдардың өміріне, жас шамасына, жынысына және басқа да факторларға байланысты радиациялық жағдайға түсуі.

Келтірілген доза шектері, табиғи қордағы негізделген сәулеленумен алынған дозасын және дәрігерлік тексеруден өту кезіндегі емделушінің алған дозасын қоспайды.

сәулелену дозасын тарату 1 жыл аралығында регламенттелмейді, А категориясына жататын репродуктивті жастағы (40жасқа дейінгі) әйелдерді қоспағанда, мұнда қосымша шектеулер енгізіледі, кез-келген 2 айда, доза жамбас аймағынан 10мЗв - дан аспауы керек.

Демек, кәсіби жұмыстардан бастап, T жылдағы i -лік критикалық органда жиынтығы, максималды эквивалентті доза мәнінен аспауы керек

$$H_i < \text{ШРД}_i - \Gamma,$$

ШРД_i -і-лік критикалық орган үшін, жылдың шекті рұқсат етілген доза, H_i -дің өлшем бірліктері де осылай өлшенеді.

Егер жылдық жұмыс уақытының ұзақтылығын, қызметкер үшін 1700 сағат деп қабылдасақ (СССР-де қызметкердің көп бөлігіне аптасына 36-сағат жұмыс және 4-6 апталық демалыс бекіткен), онда шекті рұқсат етілген дозаның қуаттылығы (РДҚ_A), жыл бойынша дозаны теңдей таратуды әр жылға бөлгенде $\text{РДҚ}_A = 50 \text{ мЗв/жыл} = 1 \text{ мЗв/апта} = 29 \text{ мкЗв/сағат} = 8,2 \text{ нЗв/с}$ болады.

Сыртқы иондағыш сәулеленулерден қорғанысты жобалау, ғимарат берілуінен бастап сәулеленетін адамдардың категориясына және сәулелену ұзақтығына байланысты орындалуы керек.

Ашық көздермен жұмыс істеуге арналған мекемелерді жобалау кезінде, ең алдымен, сыртқы сәулеленуден қорғану шараларынан басқа, ішкі сәулеленуден және радиоактивті ластанудан қоршаған ортаны қорғау бойынша шараларды қарастыру керек, осыған байланысты сәулелену көздерінің ішкі және сыртқы қосынды дозасы, бекітілген РҚН-76/87 (радиация қауіпсіздігінің нормасы) рұқсат етілген дозасынан аспауы керек.

В категориясының сәулеленуінен бақылау мен регламенттеу, денсаулық сақтау министрлігінің компенсациясына жатады.

Ағынының рұқсат етілген тығыздығы (АРТ) мен А мен В категориясына байланысты ауадағы (РК_А-рұқсат етілген концентрат) және (РК_Б) судағы радионуклидтің рұқсат етілген концентрациясы үшін, екі рұқсат етілген деңгейді анықтау жолын қарастырамыз. Төменгі А немесе В индекстері сәулеленген адамның рұқсат етілген деңгейі, қандай категорияға жататынын көрсетеді.

Рұқсат етілген концентрацияны (РК) есептеу кезінде, радионуклидтердің ағзаға ауа, азық-түлік және су арқылы кіруін ескеру керек. Ағзаға түскен радионуклид біртіндеп немесе толығымен критикалық мүшеге түседі. Мысалы, йод үшін критикалық мүше-қалқанша безі, ал радий, стронций және фосфор үшін - сүйек ткані, тритий үшін - барлық ағзалар жатады.

Биологиялық шығарулар λ_{σ} мен радиоактивтің ыдырауы λ_{ρ} , тұрақты биологиялық шығарулар арқасында радионуклид шығарылады. Онда ағзадан нуклидтің үнемі тиімді шығуы мынаған тең болады $\lambda = \lambda_{\sigma} + \lambda_{\rho}$.

Рұқсат етілген концентратты (РК) есептеудің математикалық үлгілерінің көп түрлері болады.

Мысалы, критикалық мүшенің салмағын, оның тиімді радиусын (әдетте, критикалық мүше шар пішінді деп болжайды) және берілген радионуклидтің λ энергияны тиімді жұтатынын білсек, РК_с критикалық мүшедегі А категориясына жататын, берілген радионуклидтің рұқсат етілген құрамы мен ШРД_А-ны байланыстыруға болады. Радионуклид санының ағзаға, биологиялық константаға және критикалық мүшеге түскенін біле отырып және демалу мүшелері немесе асқазан-ішек трактілеріндегі барлық нуклидтерге байланысты критикалық мүшедегі радионуклидтің үнемі болуы, мына қатынас түрінде жазылады: $ШРК_A = ДС_A \cdot \lambda$.

Бұл жерден ДС_А-ға қатысты J-ды есептеу оңай. Рұқсат етілген концентрацияны анықтау оңай, егер адам ағзасына түсетін ауаның көлемін А категориясы үшін $2,5 \cdot 10^6$ л/жылға тең болса. Ал В категориясы үшін, бұл шама $7,3 \cdot 10^6$ л/жыл, ал тұтынатын су көлемі 800 л/жылына болады.

Радиоактивті инертті газдар үшін, радиациялық қауіптілік сыртқы сәулеленумен анықталады. Бұл жағдайда РК «радиоактивті бұлттарды тиеу» үлгісі бойынша жүргізіледі.

Радионуклидтер қоспасы үшін, радионуклидтердің ДДК_Е ауадағы және судағы қоспасының рұқсат етілген концентрациясының белгілі құрамымен (көлемдік белсенділігі) формула бойынша есптелінеді:

$$PK_E = J / \sum_{j=1}^m \frac{P_j}{PK_j} \quad (4.5)$$

мұндағы ДК_ж – j-лі радионуклидтің рұқсат етілген концентрациясы; P_ж – j-лі радионуклидке өткен радиоактивті қоспа $\sum_{j=1}^m P_j = 1$, J- қоспадағы әртүрлі радионуклидтердің саны.

Шекті рұқсат етілген жылдық түсуінің сандық мәнін, жылдық түсудің шегін, немоноэнергетикалық көздердің ағынының рұқсат етілген тығыздығын түгелдей есептейді.

Ағзаға түсетін әртүрлі радионуклид сәулелері мен аралас иондағыш сәулелердің қызметкерге

сыртқы сәуле түсуі кезінде, келесі шарттар орындалуы керек: берілген критикалық орган үшін, барлық сыртқы және ішкі сәулелелердің түрлері, шекті рұқсат етілген сәулелену дозасының барлық түрлерінің бірлігінен аспауы керек, ол келесі қатынас бойынша орындалуы керек:

$$\sum_i \frac{H_i}{ДРК_A} + \sum_j \frac{A_{v,j}}{PK_{A,j}} \leq 1 \quad (4.6)$$

мұндағы H_і – і түрдегі сәулеленудің сыртқы сәулеленуінен, берілген критикалық мүшедегі максималды эквивалентті дозасының орташа жылуының нақты қуаты; A_{v,j}, PK_{A,j} – ауадағы және жұмыс аймағындағы j радионуклидінің нақты және сәйкес рұқсат етілген орташа, жылдық концентарциясы.

Осы бөлімді қорытындылай келе, радиологиялық қорғаныс бойынша халықаралық комиссия жасаған (РҚХК) қабылданған қауіп концепсиясына қарай отырып, иондағыш сәуле көздерімен жұмыс істеу кезінде қызметкерлер, қауіп-қатерге ұшырамайды, ал халықтың белгілі бір бөлігі, сыртқы ортаға шығарылатын қалдықтар мен басқа да сәуле көздерінен қауіпке ұшырауы мүмкін.

Радиологиялық қорғаныс бойынша халықаралық комиссия (РҚХК) қызметкерлердің сәулеленуінің шекті деңгейі мен қауіпсіз қызметтік әрекеттерді және қатерді арттырмау негізінде бекітуді ұсынылады. Өндірістердегі кәсіби себептерден болған өлімнің орташа жылдық мәні 10⁻⁴ 1 (адам-жылына) адамнан аспайды. Бұл мәндерді, қызметкерлердің шекті рұқсат етілген деңгейін бекіту негізінде РҚХК да қолданады.

Өндірістегі радиациялық қауіпті сәулелерден халық пен қызметкерлерді бақылаудың жинақталған тәжірибесі, қызметкерлер мен халықтың шектелген бөлігінің орташа жылдық эквивалентті сәулелену дозасы 0,1 ШРД-дан аспайтындығын көрсетеді. Осыған орай, көп жылдар аралығында, жеке максималды сәулелену дозасына ұшырау жағдайлары болып тұрады.

$\sum_T R_T$ мына мәліметтер мен мәндерге сүйене отырып, бекітілген НРБ-76/87 ШРД, қызметкерлер мен халықтың шектеулі бөлігі үшін, жоғары рұқсат етілген қауіп деңгейінің жоғары болып кетпеуін қамтамасыз етеді.

Негізгі әдебиет: 1[95-105]

Қосымша әдебиет: 2[45-55]

Бақылау сұрақтары:

1. ҚР және Россияда радиациялық қауіпсіздікті нормалау қандай негізгі принциптерден тұрады?
2. РҚХК радиациялық қауіпсіздіктің неше принципін бекітеді?
3. Таза пайда дегеніміз не?
4. Радиациялық қауіпсіздікті нормалауда қандай негізгі құжатты пайдаланады?
5. Мүмкін болатын қауіп концепциясы дегеніміз не?
6. Сәулелену қауіпін бағалау әдістерінің бірін атаңыз.

Дәріс 9. Радиациялық жағдайдың бақылауының әдістері. Дозиметрияның сцинтилляциялық әдісі. Дозиметрияның люминисценттік әдісі.

Кез-келген сәулелену түрін тіркеудің негізгісі оның детектор заттарымен өзара қатынасы. Детектор, кіруінде иондаушы заттар түсетін, ал шығысында дабылдар пайда болатын қондырғы ретінде қаралады. Детектордың түрлеріне байланысты, шамның жарқылы (дабылдық детектор), тоқ импулсі (иондаушы детектор), бу тамшылары (тамшылы камера), сұйық тамшылары (Вильсон камерасы) пайда болуы мүмкін. Әрбір детектордың ажырамас бөлігі - оның сезімталдық көлемінде, егер де қандайда бір затпен иондаушы сәулелердің энергиясының қатынасы кезінде, дабылдың белгілі бір түрі пайда болады. Зат, сезімтал көлемді болып келеді, ол газ, сұйық және қатты дене болуы мүмкін, сол үшін де детекторға: газдық, сұйықтық, қатты денелі- деп атау берілген.

Детектордың негізгі сипаттамаларының бірі- сәулелену реакциясының тиімділігі. Оны жеке алып қарағанда, мына қатынас арқылы анықталуы мүмкін:

$$e_w = W_n / W. \quad (4.7)$$

мұндағы W_n -детектордың сезімтал көлеміндегі жұтылған энергия; W -осы көлемге сінетін энергия.

Тіркеу жүйесінің екінші бөлігі - бұл өлшегіш кешені, оның міндеті, тіркегіш қондырғының жұмысындағы детекторға түскен дабылды, тіркеу құралдарының жұмысы арқылы бір түрге келтіру (стрлкалық аспап, сандық дисплей, өздігінен жазғыш, механикалық есептеуіш). Жүйенің берілген міндетіне байланысты, оның құрамына, блоктар, күшейткіштер, дискриминаторлар, дабыл түрлендіргіштер, блоктау көзі және кернеуді тұрақтандырғыштар кіруі мүмкін.

Тіркегіш шоғырдың дозиметриялық сипаттамасын анықтау үшін, детектор мен сәулелену дозасынан (доза қуаты) құралған дабылдар арасында байланыс орнату қажет. Фотонды сәулеленудің мысалдарындағы, анықтамалар мен физикалық сипаттамалардың өте маңызды түсініктемелері бұндай байланысты орнату үшін өте қажет.

Электрондық тепе-теңдік. Фотонды сәулеленудің сәулеленген ағынының, ортаның шектелген көлемі болады. Осы көлемдегі фотонды сәулеленуден босаған электрондардың бөлігі, толығымен сонда жұтылады, ал кейбіреулері өзінің барлық энергиясын шығармай одан кетіп қалады. Сол уақытта таңдалған көлемге, көрші учаскенің электроны келіп түсуі мүмкін. Барлық фотонның энергиясының қосындысын E_γ және E_γ' деп белгілейміз;

E_e және E_e' - барлық кіретін және шығатын электрондардың қосынды кинетикалық энергиясы; E_k - қарастырылатын көлемде пайда болатын, электрондардың қосынды кинетикалық энергиясы; Онда, көлемдегі жұтылған энергияны былай жазамыз:

$$\Delta E = (E_\gamma + E_e) - (E_\gamma' + E_e') \quad (4.10)$$

Көлеге кіретін фотондар, өзінің энергиясын электрондардың кинетикалық энергиясына E_k және фотонның энергиясына E_γ' айналдырады. Көлемнен шыққанды келесідей есептейміз:

$$E_\gamma = E_\gamma' + E_k \quad (4.9)$$

(8.2) мен (8.3) пайдалана отырып

$$\Delta E = E_k + E_e - E_e' \quad \text{аламыз}$$

(8.4)-те $E_e = E_e'$, $\Delta E = E_k$ тең екендігін көреміз.

Электрондық тепе-теңдік дегеніміз - фотонның ортамен бірлесіп әрекет ету жағдайы, берілген көлеміндегі сәуленің жұтылған энергиясы электрондардың кинетикалық қосынды энергиясына тең болады.

Заттың тиімді атомдық нөмірі. Дозиметрде, күрделі заттың тиімді атомдық нөмірі деп сәуле энергиясының беру коэффициентіне арналған атомдық нөмірді айтуға болады.

Электронды тепе-теңдікті қамтамасыз ету кезіндегі, бірдей атомды нөмірлі екі зат бірдей болады.

Тиімді атомдық нөмір, әрбір тиімді өзара әрекет үшін анықталады. Фотоэффект бойынша, күрделі заттың тиімді атомдық нөмірі формула бойынша есептеледі;

$$Z_{эф} = \sqrt{\frac{a_1 Z_1^4 + a_2 Z_2^4 + a_3 Z_3^4 + \dots}{a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + a_3 Z_3}} \quad (4.11)$$

Бұл түзілуі үшін:
$$Z_{эф} = \frac{\sum_i a_i Z_i^2}{\sum_i a_i Z_i} \quad (4.12)$$

мұндағы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots - Z_1, Z_2, Z_3 \dots$ - күрделі заттағы, элементтерге сәйкес атомдардың салыстырмалы саны.

Комптон-эффект үшін- өте ауыр заттардан тұратын күрделі заттар сияқты $Z_{эф}$ анықтамасының мағынасы жоқ, электрон сандары шамалы өзгереді және $\sigma_{e,n,m} \sim Z/A = \text{const.}$

Ион түзілудің орташа энергиясы. Фотоннан босаған электрондар, өзінің кинетикалық энергиясын қозуға, иондалуға және сәулені тежеуге жұмсайды.

$E_{\text{ион}}$ - иондауға тікелей шығындалған энергия, E_s - сипаттық және тежегіш сәулелену энергиясында түзілген энергия; онда алғашқы электронды кинетикалық энергия

$$E_e = E_{\text{ион}} + E_s \quad (4.13)$$

U_i – атамдағы иондағыштың орташа потенциалы, $N_{\text{ион}}$ - жұп иондардың толық саны, деп келесі формуланы аламыз

$$E_{\text{ион}} = N_{\text{ион}} eU_i, \quad (4.14)$$

Мұндағы e - бір иондағы заряд; eU_i - иондау энергиясы, атомнан электронды жұлып алу үшін, жұмсалуы керек энергия. (8.9) бен (8.10) қосындысынан, бір жұп ионнан түзілген энергияның орташа таралуын аламыз:

$$\omega_0 = \frac{E_e}{N_{\text{ион}}} = eU_i \left(1 + \frac{E_s}{E_{\text{ион}}}\right) \quad (4.15)$$

Ион түзілгіштің орташа энергиясы, өзіне иондау энергиясын және қозу энергиясын қосып алады. Қазіргі уақытта ω_0 -ің орташа мәні ауа үшін 33,85эВ-ға тең деп қабылданған.

Брэг-Грей қатынасы. Қатынастың теориялық қарастырылуы келесі болжам бойынша тексерілген:

- 1) алғашқы сәулелену қарқындылығы, оны қоршаған заттағы қоршаған ортадағы газ қуыстары тұрақты;
- 2) фоннан ажыратылған электрон жүгірісіне карағанда, газдық қуыстардың сызықтық өлшемі неғұрлым аз;
- 3) электрондық тепе-теңдікті қамтамасыз ету үшін газдық қуыс, қатты зат қабатымен қапталуы керек.

Көрсетілген болжамдар мен аралық қортындылардан шыға отырып, келесі қатынасты аламыз:

$$\Delta E_z = \rho q \omega \quad (4.16)$$

мұндағы ΔE_z - қуысқа жақын қатты заттар көлеміндегі бірлікте уақыт бірлігінде жұтылған энергия; $\rho = S_z (E_e) / S_r (E_e)$ - қатты заттар мен газдардың тежеу қабілетінің қатынасының орташа мәні; тежеу қабілеті, иондардың жұп санының $E_e : q$ энергиясымен, электрон жолындағы бірлігіндегі энергияның орташа жоғалтуы N_i сияқты анықталады; q -қуыстың көлемі бірлігінде, уақыт бірлігінде түзілген.

(4.10) формула Брэг-Грей формуласы деп аталады. ΔE_n қуыстың көлемінің бірлігінде жұтылған, формуладағы $q\omega$ туындысы энергияға тең. Жалпы жағдайда, қуысты әр-түрлі жолмен толтыру үшін және оны қоршаған материалдардың әр түрлі құрамы үшін (4.11) формула келесі түрде болады:

$$\Delta E_z = \rho \Delta E_n \quad (4.17)$$

Брэг-Грей қатынасы, қуыстағы жұтылған энергия мен оны қоршаған қабырғаларының арасында, байланыс орнатады.

Дозиметрлік детекторлардың сезімталдығының энергетикалық тәуелділігі. Аспап көрсеткіші, жұтылған энергияны өлшеуге арналған. Егер детектор үшін Брэг-Грея шарты сақталған болса, онда қабырғалардағы жұтылған энергия ΔE_Z , ең сезімтал көлемдегі ΔE_n жұтылған энергияға байланысты болады.

$$\Delta E_Z = S_Z \Delta E_n / S_r \quad (4.18)$$

Қарапайым тепе-теңдікте $\Delta E_0 = \mu_{e,n,o} \Delta E_Z / \mu_{e,n,z}$

мұндағы $\mu_{e,n,o}$ мен $\mu_{e,n,z}$ – үлгілік заттар мен детектор қабырғасындағы жұтылған фотондық сәулеленудің жұтылған энергиясының коэффициенті.

Аспап көрсеткендей ΔE_n , қарама-қарсы, ал өлшенетін шама ΔE_0 , онда қарама-қарсы қатынастағы $\Delta E_n / \Delta E_0$ детектордың сезімталдығы.

(8.11 пен 8.12) –тен сезімталдық үшін теңдеу аламыз:

$$\frac{\Delta E_n}{\Delta E_0} = \frac{\mu_{e,n,z} S_r}{\mu_{e,n,o} S_z} \quad (4.19)$$

Ауамен толтырылған камераның қабырғалық иондалуының, сезімталдықтың энергетикалық тәуелділігін қарастырамыз $\frac{\Delta E_n}{\Delta E_0} = f(E)$.

Фотонды сәуле алаңындағы жұтылған энергияны міндетті түрде өзгерту үшін, үлгілік заттағы ауаны аламыз. Онда (8.18) орнына келесіні жазуға болады:

$$\frac{\Delta E_n}{\Delta E_0} = \frac{\mu_{e,n,\text{э,я}} S_{\text{э,В}}}{\mu_{e,n,\text{э,В}} S_{\text{эя}}} \quad (4.20)$$

мұндағы $\mu_{e,n,\text{э,В}}$ және $S_{\text{э,В}}$ – бір электрон ортасын есептеудегі, ауа үшін тежеу қабілеті мен жұту коэффициентіне сәйкес;

$\mu_{e,n,\text{э,З}}$ және $S_{\text{э,З}}$ – бұл шаманы, камера қабырғасының материалы үшін де қолданады.

$S_{\text{э,В}} / S_{\text{э,З}}$ қатынастары фотон энергиясына μ , мүлдем тәуелді болмайды. Бұл жағдайда, детектор сезімталдығының энергетикалық тәуелсіздігі, $\mu_{e,n,\text{э,З}} / \mu_{e,n,\text{э,В}}$ қатынасымен анықталады.

Тәжірибеде жие қолданылатын иондағыш сәулелердің, тіркеу және дозиметр әдістерін қарастырамыз.

Тіркеу мен дозиметрдің иондық тәсілі. Газдағы әртүрлі иондағыш сәулелердің өтуі кезінде, ионизацияда электрондар және оң иондар мен әр түрлі потенциалдары бар екі электродтар арасында, ионизациялар түзіледі, олай болса электрондар мен иондар сәйкес электродтарға жылжиды, осының нәтижесінде тізбекте тоқ пайда болады. Газды-ионды детекторлар, қандай да бір газбен толтырылған конденсаторлар болып есептеледі, және оларды иондық камералар деп атайды.

Иондағыш камераның маңызды сипаттамасына, вольт-ампер сипаттамасы жатады.

Иондағыш камерадағы электродтарда төменгі кернеу болған кезде, иондағыш сәулелерден түзілген электрондар мен иондар бөлшектері, ретсіз диффузиялық қозғалыста болады. Кейбір электрондар электро теріс иондар түзеді, («жабысу» эффектін байқайды) сондай-ақ оң және теріс иондардың

соғылуы кезінде рекомбинация процесі болады. Диффузия, рекомбинация және электро теріс иондардың түзілуінің барлық процестері - электрондарда иондардың жиналуына кедергі жасайды және иондық камера арқылы өтетін ток күшін төмендетеді. Электрод камерасында, кернеу шамасына қарай ұлғаяды, ал ток сол арқылы өседі және ақырында, потенциалдардың айырмашылығы оның электродтарына жетеді.

Вольт-амперлік сипаттамада плато бақыланады, ал иондағыш камера арқылы өткен тоқты, мұндай жағдайда, қанығу тоғы деп қабылдайды. Вольт-амперметрлік сипаттамадағы платоның тұратын орны камераны толтыратын газға, қысымға, температураға, иондау тығыздығына байланысты болады. Камераның барлық көлемі бойынша иондаудың тепе-теңдігін болжай отырып, қаныққан токпен, ион жұбының санымен N және, камерадағы жұмыстың көлемімен V , бір қатарлы байланыстар құруға болады.

$$i_0 = NV \cdot e$$

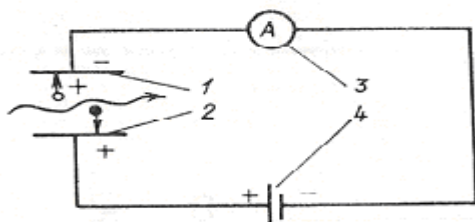
Мұндағы e - электрон заряды.

Газды арттыру принципінде қолданылатын иондағыш детекторларды, газоразрядтық есептегіштер деп аталады.

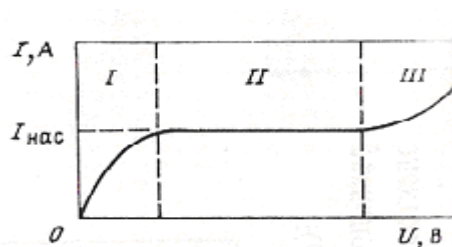
Бұл жағдайда негізгі көрсеткіштері, газды күшейткіш коэффициенттері болып табылады, олардың жұмыстары, жинағыш электродтарға келетін түсетін ион. Иондағыш камералардағы қаныққан ток режимінде, түзілген иондардың саны, ұсынылған потенциалдардың айырмашылықтарына байланысты емес, демек $K=1$. Газоразрядты есептегіштерде (K) келтірілген кернеуге байланысты барлық бірліктері мен есептегіш конструкциялары 10^8 - 10^7 жетуі мүмкін. Демек, газдық күшеюдің тиімді болуы, газоразрядты есептегіштің сезімталдығын тез арттырады және де иондағыш камерамен салыстырғанда жеке бөліктерді тіркеуге мүмкіндік береді. Конструктивті орындалуы бойынша, газоразрядты есептегіштер цилиндрлік және бөлшекті болып бөлінеді. 1-суретте цилиндрлік газоразрядтық есептегіштің қондырғысы мен құрылымдық көрінісі көрсетілген. Көбіне, бұндай есептегіштер таттанбайтын болат цилиндрден жасалады (катод), оның ішінде қалыңдығы 0,05-0,1 мм болатын жіп керілген (анод).

Газоразрядты нүктедегі разрядтың даму механизмін қарастырамыз. Есептегіштің жұмыс режимі оған қолданылған кернеумен анықтайды. Пропорционалды разрядты есептегіш пен Гейгер-Мюллер есептегіштері, осыған сәйкес ерекшелінеді. 2-суретте қолданылған кернеудегі импульстен амплитуданың тәуелділігі көрсетілген. Иондағыштың тығыздығынан өте ерекшеленетін α және β -бөлшектері үшін, анализдің дұрыстығына арналған тәуелділіктер көрсетілген. Қолданылған кернеудің аздаған мәндеріне байланысты, есептегіш иондағыш камераның тәртібі бойынша жұмыс істейді. Осыған байланысты импульс амплитудасы қаныққан учаскеге тәуелді емес және тек жұп иондар санымен ғана анықталады. α -бөліктері үшін иондағыштың тығыздығындағы амплитуда импульстері 1 см ауада 10^4 жұп ион, ал β - бөліктері үшін иондағыштың тығыздығының амплитудасы 1 см ауада 30 жұп ион артық болады.

Кернеудің өсуі газдық күшею механизмімен жүзеге асады, амплитудасының импульстері α - және β -бөлшектері үшін де өседі. Осыған байланысты импульстердің санымен және алғашқы иондағыштың арасындағы пропорционалдық сақталады. Бұл аймақты пропорционалдық аймақ деп, ал пропорционалды режимде жұмыс істейтін есептегіштерді, пропорционалды есептегіштер деп атайды.



1-сурет



2-сурет

22-сурет. Өлшенетін тізбекке, тегіс тоқтық иондағыш камераны қосу схемасы: 1,2- электродтар; 3- өлшегіш аспап; 4- қоректендіру көзі.

23- сурет. Тоқтық иондағыш камераның вольт-амперлік сипаттамасы.

Дозиметрияның сцинтилляциялық әдісі. Сцинтилляциялық әдістің физикалық негіздері – заттардың молекулалары мен атомдарының олар арқылы зарядталған бөлшектер өткен кездегі қозуы мен ионизациясы. Қысқа уақыттан соң олар негізгі күйге жарықтық сәулер шашырату арқылы өтеді, оның спектрі заттардың молекулалары мен атомдарының энергетикалық деңгейінің құрылымына тәуелді. Жарық шашырауы сцинтиллятор арқылы екінші ретті бөлшектер әсерінен фотондар мен нейтрондардың жанама сәулеленуі арқылы пайда болуы мүмкін. Бірінші жағдайда беру электрондары мен фотозэлектрондар әсерінен, екінші жағдайда – беру ядролары мен зарядталған бөлшектер әсерінен пайда болады, олар (n, α) - (n, p) – реакциялары нәтижесінде пайда болады.

Сцинтилляторлардың ең маңызды мінездемелерін қарастырайық. Конверсиялық тиімділік η_k –жарық фотондары энергиясының E_ϕ сцинтилляторда зарядталған бөлшек энергиясына E_π қатынасы:

$$\eta_k = E_\phi / E_\pi \quad (4.21)$$

η_k мәні сцинтиллятор типіне тәуелді және 0,01 - 0,3 аралығында өзгереді.

(6.28) ара қатынасынан сцинтиллятормен өзгерілген n_ϕ фотондар санын анықтайды. Фотонның орташа энергиясын \bar{E} тең деп қабылдап,

$$n_\phi = \eta_k E_\pi / \bar{E} \quad (4.22)$$

Жарық шығыны K дегеніміз – жарық шашырауының фотондар санының сцинтилляторда зарядталған бөлшектердің энергиясына қатынасы:

$$K = n_\phi / E_\pi = \eta_k / E_k \quad (4.23)$$

Жарқырау уақыты t дегеніміз – атомның қоздырылған күйі сипатталатын орташа уақыт. Бұл уақыт барлық сцинтиллятор үшін бір ,

10^{-9} - 10^{-5} с аралығында өзгеріп отырады. Фотондардың уақыттық таралуы экспоненциалды заңға тәуелді

$$n = [n_0 \exp(-t/\tau)]\tau, \quad (4.24)$$

бұл жерде n – уақыт бірлігіндегі шашырайтын фотондар саны. Шашырау уақыты тұрақтысы τ шашыратылатын фотондар санының е рет азайтуға қажетті уақытты көрсетеді.

Сцинтилляторы өзіндік жарыққа жеткілікті мөлдірлікке ие болу керек.

Сцинтилляторды бірқатар белгілер бойынша классификациялайды.

Сцинтиллятор органикалық және бейорганикалық сцинтиллятор болады. Органикалық сцинтилляторлар кейбір органикалық қосылыстардың - антрацен, стильбен, нафталин, толан. монокристалдары болып табылады. Антрацен барлық органикалық кристалдардың арасында ең үлкен конверсиялық тиімділікке ие ($\eta_k=0,04$), бірақ оның температураның күрт өзгеруіне сезімталдығы сцинтиллятор қасиеттерін жоғалтуына әкеледі. Стильбен тұрақты монокристалл болып табылады. Оның жылдам компонентаны жарықтандыру уақыты өте қысқа ($\tau=6 \cdot 10^{-9}$ с) және конверсиялық тиімділігі біршама жоғары ($\eta_k = 0,02$). Стильбен әр түрлі типті бөлшектерді тіркеуде пайдалануға ыңғайлы. Сцинтилляторлардың органикалық пластикалық және сұйық түрлері бар.

Бейорганикалық сцинтиллятор дегеніміз кейбір органикалық қосылыстар NaI, CsI, KI, Lil, ZnS кристалдары. Кристалдарды өсіруде олардың көбіне арнайы қоспалар енгізіледі (активаторлар), олар люминисценция аудандарының тығыздығын арттырады.

Ең жақсы сцинтилляторлардың бірі NaI (Tl). ZnS басқа (Ag ең жоғары жарық шығына ие, (8 %); жарық шашырау уақыты ($\tau = 2,5 \cdot 10^{-7}$ с).

Сцинтилляциялық детектордың принципіалды схемасы 7-суретте көрсетілген. Ионизациялау сәулесі сцинтиллятор 1 затымен әрекеттесе отырып, онда жарық шашырауына себепкер болады. Жарық фотонының кейбір бөлігі жарық өткізгіш 2 арқылы фотокатод 3 ФЭУ түсіп одан фотоэлектрондарды жұлып алады. Фотоэлектрондар фокустаушы диафрагма 4 арқылы өтіп, көбейетін электродтар (динодтар) арасындағы электрлік алаңмен жылдамдығын арттырады. Әр жылдамдатылған электрон динодта тежеліп, одан бірнеше екінші электрондарды бөліп алады, ал олар динодтың арнайы геометриясына сәйкес келесі динодқа бағытталады.

Электродтардың көбеюінің сандық мінездемесі - екінші ретті электрондық эмиссия коэффициенті σ болып табылады, ол динодтан бөліп шығарылған электрондардың оның бетіне түсетін электрондар санына қатынасына тең. Ол динодтың материалы мен бетінің күйіне, электрондардың түсу бұрышы мен энергиясына тәуелді 5 – 10 аралығындағы мәндерге ие. Электрондар ағыны анод деп аталатын соңғы динодта жинақталады. ФЭУ қоректенуі бөлгіші бар жоғарғы тұрақтанған кернеу көзі 8 арқылы жүзеге асады. Анод тізбегіне б жүктеме кедергісі қосылып, онда кернеу импульсі бөлінеді. Егер ФЭУ құрамында n динод болса,

олардың әрқайсысы үшін екінші ретті электронды эмиссия коэффициенті σ_i болса, көбейту коэффициенті ФЭУ келесі арақатынаспен анықталады

$$M = \prod_{i=1}^n \alpha_i \sigma_i \quad (4.25)$$

бұл жерде α_i – бір динодатан екіншісіне өтетін электрондар үлесін көрсететін коэффициент. Өндірісте дайындалған ФЭУ көбейту коэффициенті M 10^5 - 10^6 аралығында өзгереді.

Яғни сцинтилляторда жұтылған әр электрон, ФЭУ анодтық тізбегінде ток импульсын құрайды.

Өлшенетін шамаға сәйкес (анодты токтың орташа мәні және ток импульсының есептелу жылдамдығы) сцинтилляторлық детектордың токтық және есептік режимдері болады.

Жылдамдықтың өзгеруі үшін ауыр бейорганикалық сцинтиллятордың жұқа қабатымен жабылған органикалық кристаллмен жұмыс істейтін біріктірілген сцинтилляторды пайдалануға болады. Органикалық және бейорганикалық сцинтилляторлардың параметрлерін сәтті таңдау арқылы энергияға сезімталдықты бірнеше ондаған килоэлектрон-вольтқа дейін жоюға болады.

Дозиметрияның люминесцентті әдістері. Люминесцентті әдістер тек қана радиофотолюминесценция және радиотермолюминесценцияға негізделеді.

Әдіс люминофорда иондалу сәулесінің әсерінен пайда болған заряд тасымалдаушылары (электрондар мен тесіктер) жинақтау орталықтарында бірігіп нәтижесінде жұтылған энергияның жинақталуына негізделген, ол қосымша қоздыру кезінде босатылуы мүмкін. Қосымша қоздыру люминофорды белгілі толқын ұзындығы бар ультракүлгін сәулемен жарықтандыру арқылы, не қыздыру арқылы жүзеге асу мүмкін. Бұл кезде бақыланатын оптикалық әсерлер энергияны жұту өлшемі қызметін атқара алады.

Ионизациялық сәулелердің дозиметриясы әдістерінің дамуы негізінде танылған радиофотолюминесценция және радиотермолюминесценция механизмдерін қарастырайық.

Радиофотолюминесценция (РФЛ). Дозиметрияда қызуғышлық тудыратын люминофорлар ретінде сілтілік-галогенидті қосылыстарды қарастырайық (NaCl, LiF және т.б.), олар кристаллдық құрылымға ие. Шынайы кристаллдарда әрқашан құрылымдық ақаулар болады, мысалы идеалды кристаллдарда болатын жерлерде оң және теріс иондардың болмауы. Теріс галогенидті иондар бос орындары жергілікті оң заряд аймағын құрайды. Иондалу сәулесінің әсерінен кристалда бос электрондар пайда болады, олардың кейбірі вакансия жанында болса, бос электрон оны “басып алуы мүмкін. Басып алған электроны бар вакансияны рұқсат етілген дискретті энергетикалық деңгейлері бар жүйе ретінде қарастыруға болады, олардың арасында энергияны жұтуға не шашыратуға сәйкес келетін өту аймақтары болуы мүмкін. Бұл жүйелерді біз орталықтар деп атаймыз.

Орталықтар кристалдардың оптикалық қасиеттеріне әсер етеді. Мысалы галогенидті вакансия басып алған электроннан тұратын орталық, көрінетін жарықтың спектрінің бір бөлігін жұтуға қабілетті, нәтижесінде кристалл түсі өзгереді. Бұл F-орталықтар, боялу орталықтары деп аталады. Орталықтың қоздырылған күйден негізгі күйге ауысуы сәулеленусіз жүзеге аспайды, жарық шашырауымен өтеді (люминесценция) не осы үрдістің біріктірілуімен өтеді. Егер тұрақты F-орталықтар – иондалу сәулелері әсерінен туындаған болса, олар белгілі жиіліктегі жарықпен қоздырылған орталықтары ретінде көрінуі мүмкін. Бұл құбылыс радиофотолюминесценция (РФЛ) деп аталады.

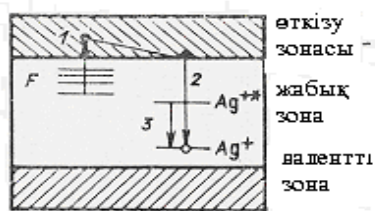
Көрсетілген РФЛ механизмі таза сілтілі – галогенидті кристалда радиофотолюминесцентті дозиметрлердің (РФЛД) жұмыс істеу принципін түсіндіреді: иондалу сәулелерінің жұтылуы F-орталықтарының пайда болуымен жүзеге асады, олардың концентрациясы дозаға пропорционал және ол жарық жұтылуын өлшеу жолымен не люминесценцияны өлшеу жолымен анықталуы мүмкін.

Бірақ бірқатар себептерге сай таза сілтілік – галогенидті қосылыстар негізінде дозиметриялық жүйелерді құру мүмкін емес. Бұл мәселе сілтілікгалогенді қосылыстарға қажетті химиялық қоспаларды қосу арқылы шешіледі. Мысалы, күміс иондары Ag^+ кристаллдардың люминесцентті қасиеттерін біршама жоғарылатады.

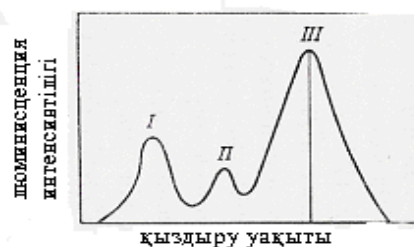
Дозиметрия үшін ең қолайлысы күміспен активтелген фосфатты шынылар болып табылады.

Өлшенетін дозалар диапазоны $5 \cdot 10^{-4}$ -10 Гр құрайды. РФЛ шынысын пайдалану үшін $400^\circ C$ температурада 30 минут қыздырады. Компенсациялық сүзгілерді пайдалануда 0,04-3 МэВ фотондар энергиясы диапазонында, қаттылық жүрісі 20% құрайды

Радиотермолюминесценция (РТЛ) дегеніміз иондалу сәулесінің кристалында жинақталған энергиясы жылулық қоздыру әсерінен флюоресценция энергиясына айналатын үрдіс.



24-сурет



25-сурет

Күміспен активтелген кристаллдың термолюминесценция механизмі; Терможарықтандыру қисығы

Қысқаша РТЛ механизмі келесі. Иондалу сәулесі күміспен активтелген кристалға әсер етіп, электронды босатады, F-ортлықтың пайда болуына әкеліп, аулағышпен қабылданады. Пайда болған тесік күміс Ag^+ иондарымен байланысты болады.

Кристаллды әрі қарай қыздыру электронды аулағыштан босатып, өту аймағына ауыстырады (1-ауысым). Әре қарай электрон тесікпен рекомбацияланады (2-ауысым), бұл активатор Ag^+ қозуына әкеледі. Қоздырылған Ag^+ ионы сәйкес люминисценцияны шашыратып негізгі күйге өтеді (3-ауысым).

РФЛ-ны РТЛүрдісімен салыстыра отырып, бұл үрдістің келесі айырықша ерекшеліктерін айта кетуге болады:

1. Термолюминесценция спектрі активатор иондарына сай болып табылады. Мысалы, Ag^+ жарқырауы ультракүлгін-көкшіл аймақта орналасқан.

2. Иондалу сәулелері құрған боялу орталықтары, өлшеу үрдісінде бұзылады. Яғни, термолюминесцентті дозиметр өлшеу үрдісінен соң сәулелену дозасы жайлы ақпаратты жоғалтады.

Дозаны термолюминесцентті дозиметрмен (ТЛД) өлшеу сәулеленген дозиметрдің қыздырылуына және қыздыру үрдісінде термолюминесценция жарқырауының интенсивтілігі өлшенуіне негізделген. .

ТЛД маңызды мінездемесі терможарқырау қисығы болып табылады, ол люминисценция интенсивтілігінің люминофор қызу уақытына тәуелділігін көрсетеді. Қисықтың бір не бірнеше жоғарғы нүктелері болуы мүмкін, олар өткізу аймағына байланысты әр түрлі тереңдіктегі аулағыш тарға сәйкес келеді. Жұтылу дозасының өлшем бірлігі ретінде қыздыру үрдісінде бөлініп шыққан толық жарық қосындысы суммасы, ол терможарқырау қисығы ауданына тура пропорционал (интегралды әдіс), не ең жоғарғы термонүкте амплитудасы (жоғарғы нүкте әдісі) қабылданған.

Практикалық дозиметрияда термолюминофорлар кең пайдаланылады: фторлы кальций CaF_2 , фторлы литий LiF магний не литий бораты не термолюминесцентті шынылар. Корундтарды пайдаланудың болашағы зор.

ТЛД-да CaF_2 негізінде фторлы кальцийдің табиғи қосылыстарымен, синтетикалық монокристалдар пайдаланылады, соңғысы CaF_2 -Mn марганцевті активатормен жүзеге асырылады. ТЛД өлшенетін дозаларының диапазоны CaF_2 -Mn и LiF $0,01-10^2$ Гр тең.

Соңғы уақытта КСРО жасалған алюмофосфатты шынылар негізіндегі термолюминесцентті дозиметрлер кең қолданылады (ИКС әдісі). Өлшенетін доза шектері $2 \cdot 10^{-4} - 10^7$ Гр. Компенсациялық сүзгілерді пайдалануда 35 кэВ аспайтын фотондар энергиясы диапазонында, қаттылық жүрісі 20% құрайды. ИКС үшін фединг бір ай көлемінде айқындалмайды.

Негізгі әдибиет: 1[105 -115]

Қосымша әдебиет: 2[55-60]

Бақылау сұрақтары:

1. Сәулеленудің кез келген түрін тіркеу неге негізделген?
2. Сәулелену реакциясының тиімділігі қандай ара қатынаспен анықталады?

3. Ионизацияны зерттеуге арналған схеманы түсіндіріңіз
4. Гейгер-Мюллер есептегішінің вольт-амперлік мінездемесінің графигін сызыңыз.
5. Сцинтилляциялық әдістің физикалық негізі не?
6. Сцинтилляторлардың қандай түрлері бар?
7. Екінші ретті электронды эмиссия коэффициенті қалай анықталады?
8. РТА механизмі неден тұрады?
9. Радиациялық жағдайды бақылауды жүргізу және құрылымдық өзгешеліктері бойынша аспаптар қанша топқа бөлінеді?

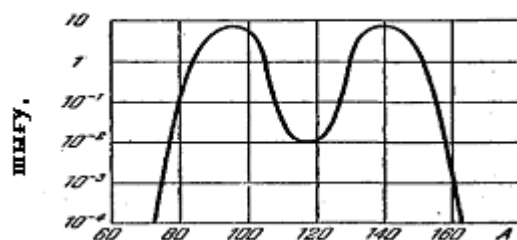
Дәріс 10. Ядролардың бөлінуі. АЭС жұмыс принципі.

1938 ж. неміс ғалымдары О. Хан және Ф. Штрассман уранды нейтронмен сәулелендіргенде периодты жүйенің ортасынан - барий және лантан элементтері пайда болатынын анықтаған. Бұл құбылыстың түсініктемесі неміс ғалымдары О. Фришмен мен Лиза Мейтнермен берілді. Олар нейтронды жинақтайтын уран ядросы екі бөлу сынықтары деп аталатын шамамен бірдей бөлікке бөлінетінін анықтаған.

Әрі қарай зерттеу бөліну әртүрлі жолдармен жүретіні анықталды. Барлығы 80 жуық әр түрлі сынық пайда болады, оның ішінде ең ықтималдысы массасы 2:3 сынықтар. 258 суреттегі қисықтар массасы әр түрлі сынықтардың салыстырмалы шығындысын қамтамасыз етеді (пайыз есебінде), олар U^{235} баяу (жылулық) нейтрондармен бөлінуінде пайда болады (ордината осі бойынша масштаб - логарифмдік). Бұл есептулерден массасы бірдей екі сынық пайда болатын бөліну акттерінің салыстырмалы саны ($A \approx 117$) 10^{-2} % құрайтыны қисықтан көрініп тұр, ал массалық сандары 95 және 140 ($95:140 \approx 2:3$) сынықтарының пайда болуы, тек 7% ғана көрінеді.

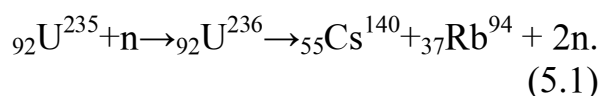
Бір нуклонға келетін байланыс энергиясы, орта массалы ядролар үшін ауыр ядролардан біршама төмен (1-дәрістегі 2-суретті қараңыз). Бұл жерден ядро бөлінуі энергияның үлкен көлемінің бөлінуімен жүзеге асатыны көрініп тұр. Бірақ әр ядро бөлінісінде бірнеше нейтрон бөлінетіні аса маңызды болып табылады. Ауыр ядролардағы нейтрондардың салыстырмалы саны, орта ядролардан біршама көп (1-дәрістегі 1-суретті қараңыз). Сондықтан пайда болған сынықтар нейтрондармен қатты жүктелген болып табылады, нәтижесінде олар бірнеше нейтрон бөледі. Нейтрондардың көпшілігі бірден шашырайды ($\sim 10^{-14}$ сек аз уақыт ішінде). Нейтрондардың жартысы (0,75% таяу), бірден шашырайды, олар кешіккен нейтрон деп аталады, кешігу уақыты 0,05 сек - 1 мин. Орта есеппен әр бөліну акті 2,5 бөлінген нейтронға сәйкес келеді.

Бірден бөлінетін және кешіккен нейтрондардың бөлінуі нейтрондармен жүктелеуін толық жоймайды. Сондықтан сынықтардың көпшілігі радиоактивті болады, және β^- айналу тізбегінен өтеді, және γ -сәулелер таратады.

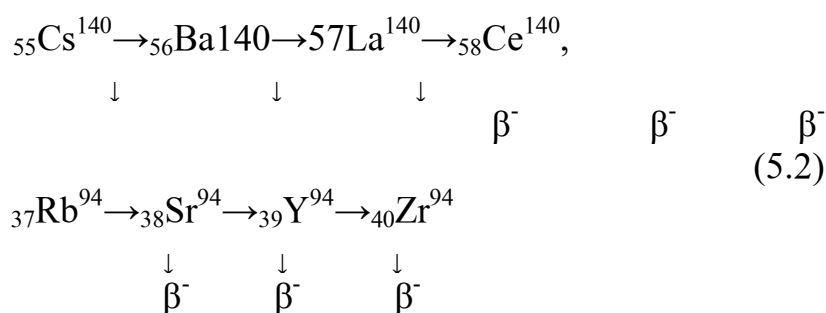


25-сурет
Ядролардың бөліну графигі

Жоғарыда айтылғанды мысалмен түсіндірейік. Бөліну жүретін жолдардың бірі келесі түрде өтеді :



Бөліну сынықтары – цезий және рубидий – келесі заттарға айналады:



Соңғы өнімдер - церий Ce^{140} және цирконий Zr^{94} – тұрақты болып табылады.

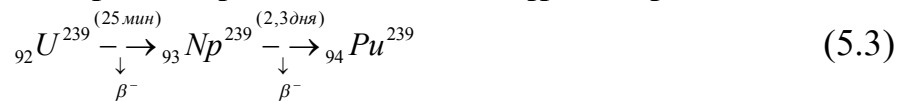
Ураннан басқа нейтрондармен сәулеленуде торий (${}_{90}\text{Th}$), протактиний (${}_{91}\text{Pa}$) және трансуранды элемент плутоний (${}_{94}\text{Pu}$) бөлінеді. Аса жоғарғы энергия нейтрондары (шамамен бірнеше жүз Мэв) жеңіл ядролардың бөлінуіне себепкер болады.

U^{235} және Pu^{239} ядролары кез келген энергиялы нейтрондармен бөлінеді, баяу нейтрондармен өте жақсы бөлінеді. Жылу нейтрондар үшін тиімді бөлу кесіндісі U^{235} 580 барнды құрайды, ал Pu^{239} - 750 барн. Жылулық нейтрондармен U^{233} және Th^{230} бөлінеді, бірақ бұл изотоптар табиғатта кездеспейді, жасанды жолмен алынады.

U^{238} ядролары мен табиғатта кездесетін Th және Pa изотоптары тек қана жылдам нейтрондармен бөлінеді (энергиясы, ~ 1 Мэв кем емес). Энергиясы аз болса нейтрондар U^{238} ядросымен бөлінусіз жұтылады. Нәтижесінде U^{239} ядросы пайда болады, оның қоздыру энергиясы γ -фотон түрінде бөлінеді. Сондықтан бұл үрдіс радиоактивті жинақталу деп аталады [реакция (n, γ)]. Бұл үрдістің тиімді кесіндісі нейтрондар энергиясы ~ 7 эв болғанда күрт өсіп, 23 000 барн болады. (256-суретті қараңыз). U^{238} ядросымен жылулық нейтрондарды қағып алу кесіндісі 3 барннан кіші.

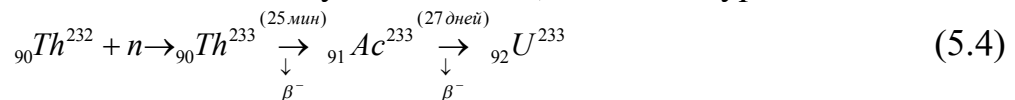
Нейтронды жинақтау нәтижесінде пайда болған U^{239} тұрақты емес (жартылай ыдырау кезеңі T 25 минутқа тең). Электронды антинейтрино

және γ -фотонды бөле отырып, ол трансуранды элемент нептуний Np^{239} ядросына айналады. Нептуний β^- ыдырайды да ($T = 2,3$ күн), плутонийге Pu^{239} айналады. Айналымдардың бұл тізбегі келесі түрде көрсетіледі:



Плутоний α -радиоактивті, бірақ оның жартылай ыдырау кезеңі үлкен (24 400 жыл), сондықтан оны тұрақты деп те атауға болады.

Нейтрондарды торий Th^{232} ядросымен радиоактивті жинақтау бөлінетін урана U^{233} изотопының пайда болуына әкеледі, ол табиғи уранда жоқ:



Уран-233 α -радиоактивті ($T = 162\,000$ жыл).

Ядролардың бөлінуінде U^{235} , Pu^{239} және U^{233} бірнеше нейтрондарының пайда болуы тізбекті реакцияның жүруіне мүмкіндік береді. Егер бір ядро бөлінуінде шашырайтын z нейтрон z ядроның бөлінуіне себепкер болса, z^2 жаңа нейтрондар шашырайды, олар z^2 ядроның шашырауына әкеледі т.с.с. Осылайша, әр ұрпақта туатын нейтрондар саны геометриялық прогрессияда артады. Ядро U^{235} бөлінуінде шашырайтын нейтрондар энергиясы орта есеппен ~ 2 Мэв, бұл $\sim 2 \cdot 10^9$ см/сек жылдамдыққа сәйкес келеді. Сондықтан нейтронның пайда болуымен оның жаңа бөлінетін ядромен жинақталуында өтетін уақыт өте кіші, сондықтан нейтрондардың көбею үрдісі өте тез дамиды.

Біз көрсеткен үрдіс идеалды болып табылады. Нейтрондардың көбею үрдісі көрсетілген түрде өтуі үшін барлық нейтрондар бөлінетін ядролармен жұтылуы тиіс. Іс-жүзінде бұл дәл осылай жүрмейді. Бөлінетін дененің соңғы өлшемдеріне сәйкес және нейтрондардың өту қасиетіне байланысты оладың көбі реакция зонасынан басқа ядромен жинақталудан бұрын шығып кетеді. Одан басқа нейтрондардың жартысы бөлінбейтін қоспалардың ядросымен жұтылып, бөлінбейді, яғни жаңа нейтрондар пайда болмайды.

АЭС жұмыс істеу принципі. Дененің беті квадрат тәрізді, ал көлемі - сызықты өлшемді куб тәрізді өседі. Сондықтан сыртқа ұшып шығатын нейтрондардың салыстырмалы үлесі бөлінетін зат массасы ұлғайған сайын азаяды.

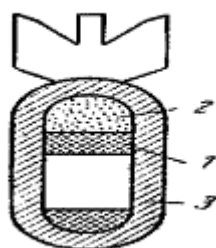
Табиғи уран құрамында 99,27% U^{238} изотопы, 0,72% U^{235} және 0,01% U^{234} изотопы бар. Яғни, баяу нейтрондар әсерінен бөлінетін әр U^{235} ядросына жылдам емес бөлінуісінз нейтрондарды жинақтайтын 140 U^{238} ядросы келеді. Сондықтан табиғи уранда тізбекті бөліну реакциясы жүзеге аспайды.

Урандағы тізбекті реакция екі әдіспен жүзеге аса алады. Бірінші әдіс табиғи уранды бөлінетін U^{235} изотопынан бөліп алуға негізделген. Изотоптардың химиялық айқындалмауынан олардың бөлінуі өте қиын мәселе болып табылады. Бірақ ол бірнеше әдіспен шешілді. Өндірістік

маңызы бар әдіс - диффузды (эффузионды) бөлу әдісі уранның ұшқыр қосылысы UF_6 бірнеше рет ұясы өте кіші қалқан арқылы өтеді.

Таза U^{235} кесегінде (не Pu^{239}) ядромен жинақталған әр нейтрон $\sim 2,5$ жаңа нейтрон шашырату арқылы бөлінеді.

Бірақ, егер бұл кесек массасы нақты критикалық мәннен кіші болса (неміс физигі В. Гейзенберг есептеулері бойынша U^{235} шамамен 9 кг құрайды), шашыраған нейтрондардың көпшілігі сыртқа ешқандай бөлінушіз шығады да тізбекті реакция пайда болмайды. Егер масса критикалық мәннен көп болса нейтрондар тез көбейіп реакция жарылысқа әкелуі мүмкін. Атом бомбасы әсері осы жағдайға негізделген. Бұл бомбаның ядролық заряды екі не одан көп таза U^{235} не Pu^{239} кесектерден тұрады (8 –суретте, 1 санымен берілген). Әр кесектің массасы критикалық массадан кіші, сондықтан тізбекті реакция пайда болмайды. Жер атмосферасында космостық сәулелерден туындаған, әрдайым нейтрондардың біршама мөлшері болады. Сондықтан ядролық жарылыс жасау үшін ядролық зарядтың бөліктерін массасы критикалық массадан жоғары кесекке біріктіру керек. Бұл өте жылдам жүргізілуі керек және кесектердің біріктірілуі тығыз болуы керек. Олай болмаса, бөлінетін заттың біршама бөлігі реакцияға түскенге дейін ядролық заряд кесектерге бөлініп кетеді. Біріктіру үшін әдеттегі жарылғыш зат (запал) пайдаланылады, оның көмегімен ядролық зарядтың бір бөлігімен екінші бөлігіне атады. Барлық құрылғы тығыздығы үлкен металлдан жасалған массивті қабықшаға салынады. Қабықша нейтрондарды қайта сәулелендіреді, ядролық зарядты бөлу кезінде ядролардың максималды мүмкін болатын саны энергиясын бөліп болғанша шашыраудан қорғайды. Атомдық бомбадағы тізбекті реакция жылдам нейтрондарда жүреді. Жарылыс кезінде ядролық зарядтың тек жартысы реакцияға түседі.



27 – сурет - Атомдық бомбаның жұмыс істеу принципі: 1- әр кесектің массасы; 2-запал; 3-массалық қабықша

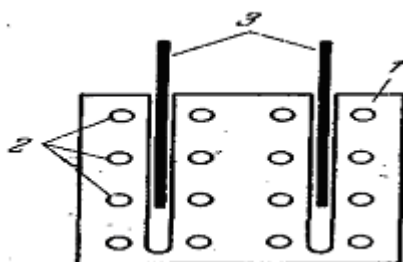
Ядролық реакторларда тізбекті реакцияның басқа әдісі пайдаланылады (оларды атомды қазандық деп атайды). Реакторда бөлінетін зат ретінде табиғи уран пайдаланылады (не U^{236} изотопымен байытылған) уран. Нейтрондардың U^{238} ядроларымен радиоактивті жинақталуын тоқтату үшін (~ 7 эв энергиясында аса интенсивті болады) бөлінетін заттың кіші блоктарын бір-бірінен қашықтықта орналастырады, ал аралықтарын баяулатқышпен, яғни нейтрондарды жылулық жылдамдыққа дейін

баяулататын заттармен толтырыады. Жылу нейтрондарының U^{238} ядросымен жинақтау кесіндісі 3 барнды құрайды, ал U^{235} жылулық нейтрондармен бөліну кесіндісі 200 есе артық (580 барн). Сондықтан нейтрондар U^{238} ядроларымен U^{235} қарағанда 140 есе көп соқтығысқанмен, радиациялық жинақтау бөлінуден сирек өтеді, барлық құрылғының үлкен критикалық өлшемдерінде, көбею коэффициенті бірден артық мәндерге ие болады.

Нейтрондардың бәсеңдеуі серпімді шашырау арқылы жүзеге асады. Бұл жағдайда бәсеңдейтін бөлшек жоғалтатын энергия соқтығысқан бөлшектер массасы ара қатынасына тәуелді. Энергияның максималды мөлшері екі бөлшектің массасы бірдей болса жоғалады. Соодықтан идеалды бәсеңдеткіштің құрамында қарапайым сутегі болу керек, мысалы су (протон мен нейтронның массалары шамамен бірдей). Бірақ бұл заттар бәсеңдеткіш ретінде қолайсыз болды, себебі қарапайым сутегі нейтрондарды жұтып, реакцияға түседі: ${}_1H^1(n, \gamma){}_1D^2$

Бәсеңдеткіш ядролары нейтрондардың жинақтау кесіндісі кіші болуы керек және серпімді ыдырау кесіндісі үлкен болуы тиіс. Бұл шарттарға дейтерий D, графит ядролары (C), бериллий (Be) жауап береді. Нейтрон энергиясын 2 Мэв-тен ауыр судағы жылулық энергияға дейін азайту үшін (D_2O) 25 қаттығыс жеткілікті, C және Be – шамамен 100 қаттығыс болады.

Бірінші уранды-графитті реактор 1942 жылдың желтоқсанында Чикаго университетінде көрнекті италия физигі Э. Ферми басқаруымен іске қосылды. 9-суретте реактор схемасы көрсетілген. 1 санымен бәсеңдеткіш - графит; 2 – ураннан жасалған блоктар; 3 - кадмий және бор стержендері көрсетілген. Бұл стержендер реактордағы үрдісті реттеу үшін пайдаланылады. Кадмий және бор нейтрондарды интенсивті жұтады. Сондықтан реакторға стержень енгізу нейтрондардың көбею коэффициентін азайтады, ал шығару көбейтеді. Арнайы автоматты құрылғы стерженді басқарады реактордағы қуатты берілген деңгейде ұстап тұрады. Реттеу нейтрондардың жартысы ядродан бірден емес, 1 минут кешігіп шығады.



28-сурет

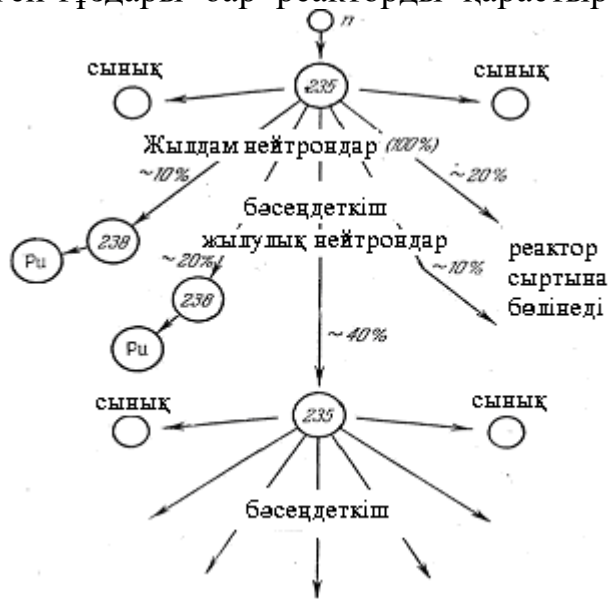
Уран-графитті реактор: 1-графитті бәсеңдеткіш; 2-ураннан жасалған блоктар; 3- бор (не кадмийден жасалған стержендер)

АҚШ-та салынған бірінші өндірістік реакторлар атомдық бомбалардың бөліну материалы - плутонийға арналған. Бұл реакторларды U^{235} ядролары бөлінуінде шашырайтын нейтрондардың жартысы тізбекті реакцияны

ұстап тұруға, ал жартысы U^{238} ядроларымен радиациялық жинақталады, нәтижесінде Pu^{239} пайда болады. Урандық блоктарда Pu жеткілікті мөлшері жинақталған соң, олар реактордан алынып, олардан Pu бөліп алу үшін химиялық өңдеуге бағытталады.

Табиғи уранда жұмыс істейтін реактордағы нейтрондар балансы 10-суретте көрсетілген. Дөңгелек ішіндегі массалық санға сәйкес уран изотопының массалық санын көрсетеді. Бейбітшілік мақсаттарда ядролық энергияны пайдалану алғашқы рет КСРО жүзеге асырылды. Ядролық энергияны бөліп алу және пайдалану жұмыстарын тамаша ғалым И. В. Курчатов басқарды. В 1954 ж. Кеңес Одағында қуаты 5000 кет бірінші атомдық электростанция іске қосылды. Атомдық электростанцияның схемасы 8-суретте көрсетілген. Реактордың активті зонасында 1 бөлінетін энергия контур 2 айналатын жылу тасымалдағышпен сіңіріледі. Циркуляция насоспен 3 жүзеге асады. Жылу тасымалдағыш ретінде су және балқу температурасы төмен сілтілік металдар пайдаланылады, мысалы натрий ($N_{\text{плавл}} = 98^\circ \text{C}$). Жылу алмастырғышта 4 жылу тасымалдағыш өз жылуын суға беріп оны буға айналдырады, ал бу турбинаны айналдырады.

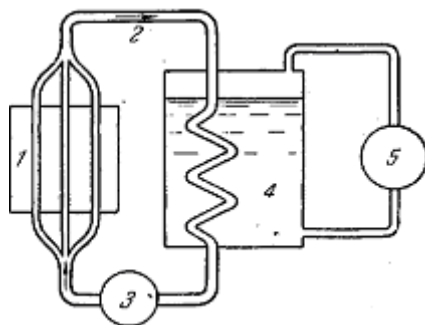
Ядролық отын және бәсеңдеткіш бір-бірінен бөлінген реактордан басқа (гетерогенді), отын бәсеңдеткіштің көлемінде біркелкі таралған гомогенді реакторлар болады. Мысал ретінде активті зонасы ішінде U^{235} не Pu^{239} ерітілген тұздары бар реакторды қарастыруға болады.



29-сурет - Реактордағы нейтрондар балансы схемасы

Бәсеңдеткіші бар реакторлар баяу (жылулық) нейтрондарда жұмыс істейді. Бөлінетін изотоппен (U^{236} не Pu^{239}) байытылған отынды пайдаланған соң, жылдам нейтронда жұмыс істейтін реакторды жасауға болады. Бұл реакторда нейтрондардың жартысы U^{238} -ды Pu^{239} -ға не Th^{232} -ді U^{233} -ға айналдыруға жұмсалуды мүмкін, пайда болатын жылулық нейтрондармен бөлінетін ядролардың саны, реактор жұмысына жұмсалған бөлінетін ядро санынан көп болуы мүмкін. Яғни, реакторда жанатын отыннан пайда

болатын отынның саны көп. Сондықтан бұл ядролық реакторлар көбейткіш реакторлар деп аталады.



30-сурет - АЭС жұмысының принципіалды схемасы

1 – реактордың активті зонасы; 2- контур; 3-насос; 4- жылуалмастырғыш; 5-турбина.

Қорытындысында ядролық реакторлардың жұмысының қосымша өнімдері көптеген химиялық элементтердің изотоптары болып табылатынын айта кетейік, олар биологияда, медицинада, техникада кең қолданыс табады.

Термоядролық реакциялар. Ядролық синтез яғни жеңіл ядролардың біреуіне бірігуі, ядролардың бөлінуі сияқты энергияның көп мөлшерінің бөлінуімен жүреді. Ядролар синтезіне жоғарғы температуралар қажет болғандықтан бұл үрдіс термоядролық реакция деп аталады.

Кулон заңына сәйкес, потенциалды қарсылықтан өту үшін, реттік номері Z_1 и Z_2 ядролар энергияға ие болуы керек :

$$E = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r_{\text{я}}}, \quad (5.5)$$

бұл жерде, $r_{\text{я}}$ – ядролық күштердің әсер ету радиусы, $\sim 2 \cdot 10^{-13}$ см. $Z_1 = Z_2 = 1$ ең жеңіл ядролар үшін бұл энергия келесі мәнді құрайды

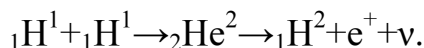
$$E = \frac{e^2}{r_{\text{я}}} = \frac{(4,8 \cdot 10^{-10})^2}{2 \cdot 10^{-13}} = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ эрг} \approx 0,7 \text{ Мэв} \quad (5.6)$$

Әр соқтығысатын ядро үлесіне көрсетілген шаманың жартысы келеді. Жылулық қозғалыстың орташа энергиясына 0,35 Мэв, $2 \cdot 10^9$ °К температурасы сәйкес келеді. Бірақ синтез төменгі температурада да өте береді. Бөлшектердің жылдамдықтарға кездейсоқ таралуына сәйкес, әрқашан энергиясы орта мәннен асатын ядролар болады. одан басқа ядролардың бірігуі туннельді әсер нәтижесінде болуы мүмкін. Сондықтан термоядролық реакциялар байқалатын интесивтілікпен 10^7 °К температурада жүре бастайды.

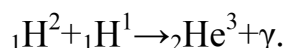
Синтез шарттарына аса қолайлы дейтерий мен тритий болып табылады, себебі олардың арасындағы реакция резонансты жүреді. Осы заттар сутегілі (термоядролы) бомбаның зарядын құрайды. Бұл бомбаның запалы кәдімгі атом бомбасы, оның жарылысы кезінде 10^7 °К температура пайда

болады. Дейтерий мен тритий синтез реакциясы ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^3 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + n$ 17,6 Мэв энергия бөлінуімен жүреді, бұл бір нуклонға $\sim 3,5$ Мэв құрайды. Салыстыру үшін ядро бөлінісі бір нуклонға $\sim 0,85$ Мэв бөлінуімен өтетінін айтайық.

Сутегі ядроларының гелий ядроларына синтезделуі күннің және жұлдыздардың энергия көзі, олардың қойнауындағы температура 10^7 - 10^8 °К жетеді. Бұл синтез екі жолмен жүзеге асады. Төменгі температурада протон-протонды цикл келесі түрде жүреді. Алдымен екі протон синтезделіп гелия ${}_2\text{He}^2$ ядросы пайда болады, ол бірден β^+ -радиоактивті ыдырайды:



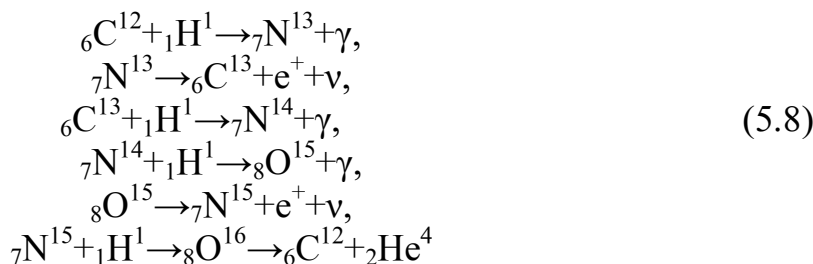
Пайда болған ауыр сутегі ядросы ${}_1\text{H}^2$, протонмен соқтығысып, ${}_2\text{He}^3$ ядросына бірігеді:



Соңында циклдің соңғы звеносы келесі реакцияны құрайды:



Жоғарғы температурада Г. Бете ұсынған көміртегілі (не көміртегілі-азотты) цикл болуы мүмкін, ол келесі звенолардан тұрады:



Соңғы жолда ${}_8\text{O}^{16}$ құрама ядро болып табылады. Көміртегілі циклдің соңында 4 протон жойылып бір α -бөлшек пайда болады. Көміртегі ядроларының саны өзгермейді бұл ядролар реакцияда катализатор ролін атқарады.

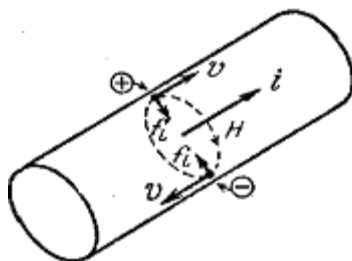
Жұлдыздардағы көміртегілі цикл жоғарғы температурада жүреді. Күннің энергиясының көп бөлігі протон-протонды цикла нәтижесінде бөлінеді.

Сутегілі бомбада термоядролық реакция бақылаусыз сипатта жүреді. Басқарылатын термоядролық реакцияларды жүргізу үшін белгілі көлемде 10^8 °К температурасын құрып, тұрақты ұстап тұру керек. Аса жоғары температурада, зат толық ионизацияланған плазма болып табылады. Басқарылатын термоядролық реакциялар өте қиын түрде жүзеге асады. Өте жоғарғы температура қажеттілігінен басқа, плазманы берілген көлемде ұстап тұру мәселесі тұрады. Плазманың ыдыс қабырғаларымен жанасуы оның сууына әкеледі. Бұл температурада кез келген заттан жасалған қабырға бірден буланып кетеді. Кеңес физиктері А.Д. Сахаров және И.Е. Тамм плазманы берілген көлемде магнитті алаң көмегімен ұстап тұруды ұсынды. Плазмада жоғары температураны ол арқылы өте күшті электр тогын өткізу арқылы сақтауға болады. Бұл токтың магнит алаңы разрядты

арнаны қатты қысып, плазмалық шнурды ыдыс қабырғаларынан бөледі. 1-суретте көрсетілгендей, Лоренц күші f_L , плазмалық шнур бойымен жүретін кез келген зарядқа әсер ететін болғандықтан шнур осіне бағытталады. Разрядты түтікшенің шеттері плазмаға тиюін болдырмау үшін, тік разрядты түтікшенің орнына тороид түріндегі түтікшені пайдаланады.

Плазмалық шнур аса тұрақсыз болғандықтан, әзірше плазманы разрядты түтікшенің шетіне тигізбей ұстап тұру тек қана өте қысқа мерзімге ғана мүмкін. Осы жолмен қол жеткізілген температуралар ($\sim 10^6$ °К) синтез реакциясы үшін жеткіліксіз.

Басқарылатын термоядролық синтезді жүзеге асыру адамға сарқылмайтын энергия көзін береді. Сондықтан басқарылатын термоядролық реакцияларды зерттеу жұмыстары көптеген елдерде жүргізіледі. Бұл жұмыста үлкен жетістікке жеткен елдер КСРО, Англия және АҚШ. КСРО-да үлкен табысқа Л.А. Арцимович басқарған ғалымдар қол жеткізді.



31-сурет - Плазмалық шнурға магнит алаңы күштерінің әсері

Негізгі әдибиет: 1[115-125]

Қосымша әдебиет: 2[60-65]

Бақылау сұрақтары:

1. Массаларының қатынастары қандай болғанда ядроның бөліну ықтималдығы жоғары болады?
2. Атом бомбаларының негізгі элементтерін атаңыз?
3. Уран графит реакторының негізгі элементтерін атаңыз?
4. АЭС-тің жұмыс істеу схемасын келтір?

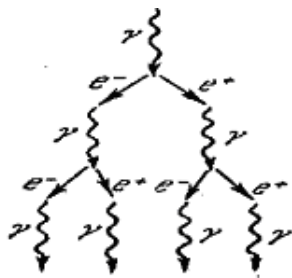
Дәріс 11. Космостық сәулелер. Радиациялық бақылау аспаптары. Радиациялық бақылауға арналған аппаратура классификациясы.

Әлемдік кеңістіктен Жер бетіне атомдық ядролардың (негізінен протондар) үздіксіз ағыны түседі. (орта есеппен ~ 10 Гэв, жеке бөлшектердің энергиясы 10^{10} Гэв жетеді). Бірінші ретті космостық сәулелер жер атмосферасында екінші ретті сәулелену туғызады, онда қазіргі кезде белгілі қарапайым бөлшектер кездеседі.

Атмосфера шекарасындағы бірінші ретті космостық сәулелердің интенсивтілігі 1 бөлшек/ $\text{см}^2 \cdot \text{сек}$. Мұхит үстіндегі зарядталған бөлшектер саны орта есеппен $\sim 2 \cdot 10^{-2}$ бөлшек/ $\text{см}^2 \cdot \text{сек}$. Жердің магниттік алаңының

интенсивтілігінің болуы, космостық сәулелердің интенсивтілігі ендік бойынша өзгереді. Бұл құбылыс ендік эффект деп аталады.

Бірінші ретті космостық сәулелердің бөлшектері атмосфераның жоғарғы қабаттарындағы атом ядроларымен серпімсіз емес соқтығысады, нәтижесінде екінші ретті сәулелену пайда болады. 20км төмен биіктіктерде космостық сәулелер толығымен екінші ретті болып табылады. Екінші ретті космостық сәулелер құрамында екі компонент бар. Оның біреуі қорғасынмен жұтылады, сондықтан жұмсақ деп аталады; екіншісі қорғасынның үлкен қабаты арқылы өтеді сондықтан қатты деп аталады.



32-сурет - Электронды-позитронды жұптардың пайда болу схемасы

Жұмсақ компонент электронды-позитронды жұптар каскады мен жауынынан тұрады. Ядролық айналу не электронның күрт тоқтауынан пайда болған γ -фотон, атом ядросы маңынан өтіп, электронды-позитронды жұп құрайды (13-сурет). Бұл бөлшектердің тоқтауы γ -фотонның пайда болуына әкеледі. Жұптардың пайда болу үрдісі және γ -кванттың пайда болуы бір-бірімен кезектесіп, γ -фотон энергиясы жаңа жұп пайда болуына жеткіліксіз болғанша жүреді. Бастапқы фотонның энергиясы үлкен болғандықтан, жауын дамуы тоқтағанша екінші бөлшектердің көп ұрпағы пайда болады.

Космостық сәулелердің қатты компоненттері негізінен мюондардан тұрады. Оның пайда болуы атмосфераның жоғарғы және орта қабаттарында зарядталған π -мезондар ыдырауынан пайда болады. (K -мезон).

Жасанды Жер серіктері мен космостық зымырандар ұшуы кезінде Жер маңында радиациялық белдеулер ашылды, олар Жерді күрт жоғары иондалған сәулелермен қоршайды. Олар зарядталған космос сәулелерінің магнитті алаңмен жинақталып, ұсталуынан пайда болады. В экватор жазықтығында жердің ішкі белдеуі 600 - 6000 км, сыртқы белдеу - 20 000 - 60 000 км. 60-70° ендіктерінде екі белдеу жерге бірнеше жүз километр қашықтыққа жақындайды. Соңғы уақытқа дейін космостық сәулелену мезондар мен гиперондар пайда болуына жеткілікті энергиясы бар бөлшектер көзі болатын. Позитрон, мюоны, π -мезоны және көптеген біртүрлі бөлшектер бастапқыда космос сәулелері құрамында табылды. В 1952г. Брукхавенда ең алғашқы синхрофазотрон іске қосылды, ол энергиясы жоғары протондар алуға мүмкіндік берді (3 Гэв дейін), осыған дейінгі үдеткіштер мүмкіндік берді. Энергия 3 Гэв бірінші ретті космостық сәулелену аймағына түседі. Сондықтан брукхавен синхрофазотроны

космотрон атын алды. Қазіргі кезде энергиясы 30 ГэВ дейін протон алуға болатын үдеткіштер бар. Үдеткіштердің пайда болуымен космостық сәулелер қарапайым бөлшектерді зерттеуде өзінің ерекше мәнін жоғалтты. Бірақ олар аса жоғарғы энергиялардың жалғыз көзі болып қала береді.

Радиациялық қауіпсіздікте пайдаланатын аппаратураны классификациялайтын белгілердің түрі көп. Солардың ең маңыздыларына тоқталайық.

11-кесте - Жеке дозиметриялық бақылау аспаптары

Аспап аты, типі	Аспаптың қажеттілігі	Өлшеу диапазоны Энергиялар диапазоны дозалар, бөлшектер, Гр, МэВ	Қателік, Қаттылық жүрісі - өлшеулер
Жеке дозиметрлер комплекті КИД-6 Д-2 Д-500	Фотонды сәулелену дозасын өлшеу	$5 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-2}$ 0,3-1,25 $2 \cdot 10^{-2}$ -5 0,3-1,25 (0,005-500 Р)	ү 10% бірінші үшін ү20% үшінші, ү20% Шкаланың қалған бөлігі үшін ү 20%
Дозиметрлер комплекті : ДК- 02 ДК-50	- -	10^{-4} - $2 \cdot 10^{-3}$ 0,2 - 2 (0,02-0,2 Р) 0,5 дейін (50 Р дейін) 0,2 - 2	ү15 ү 15 ү (10 + 0,03/D) %
Термолюми несцентті Дозиметрлер комплекті КДТ- 02 Дозиметрлік комплект TELDE	Созылмалы және авариялық сәулеленуде фотонды сәулеленудің дозасын анықтау Фотонды сәулеленудің жұтылу дозаларын анықтау	0,001-10 (0,1-0,06-1,25- 10^3 Р) 10^{-4} - $10 > 0,01$	ү 40 % ү 40 % (сүзгісіз) (10^{-4} - 10^{-3} Гр) ; ү20% (10^{-3} - 10^3 Гр)
Авариялық жеке шыны дозиметрлер комплекті ИКС-А Жеке фотобақылаудың әмбебап комплекті дозиметр - сигнализатор ДКС-0,4	Авариялық шарттарда фотондық сәулеленудің үлкен дозаларын өлшеу. Фотонды және β - сәулелердің эквивалентті дозаларын анықтау Жұтылған доза мен фотонды сәулеленудің ауадағы дозасын анықтау, жарық және дыбыс сигнализациясы көмегімен жылулық нейтрондардың ағынының тығыздығын анықтау, энергиясы 0,5 МэВ	$5 \cdot 10^{-3}$ - 80 0,05 - 1,25 (0,5 - $8 \cdot 10^3$ Р) $5 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-2}$ Зв Фотондар - 0,1-3; (3-чбөлшек - 0.02 - 3 О 3 400 нГп/с П OS ^ U,UJ	ү15 ү20 % ү 20% фотондар мен β -бөлшектер үшін

	артық фотонды және қатты β -сәулеленуді анықтау		
Иондалу сәулелерінің индикаторы ДРС-01	Ауадағы жұтылған дозаның қуатының деңгейін анықтау, және жарық, дыбыс сигнализациясы көмегімен фотонды және қатты β -сәулеленудің жылулық нейтрондардың ағынының тығыздығын анықтау	Сигнализация диапазоны 0,05 - 3 0,03-0,33 мГрЛ: (3-33 мР/ч)	ү 25 % ү 25 %
Иондалу сәулелерінің индикаторы тт~*-1 f\ л	Тура сол, және жұтылған дозаны өлшеу	$10^{-6} - 10^2$ 0,05 - 3 ($10^{-4} - 1$ Р)	- 25 % ү 25 %

Аспаптың қажеттілігі. Бұл көрсеткіш бойынша аспаптарды дозиметрлерге, радиометрлерге және спектрометрлерге бөледі.

Дозиметрлер жұтылған дозаны өлшеу үшін және иондушы сәулеленудің қуатын өлшеу мақсатында пайдаланылады.

Радиометрлер иондалу сәулелері ағынының тығыздығын, радионуклидтер активтілігін өлшеу үшін пайдаланылады.

Спектрометрлер бөлшектер не фотондар энергиясында иондалу сәулелерінің таралуын өлшеу үшін пайдаланылады.

Аспаптардың конструкциялық ерекшеліктері және радиациялық жағдайды бақылауды өткізу. Бұл белгілер бойынша аспаптар төрт топқа бөлінеді:

- 1) жеке дозиметриялық бақылау аспаптары;
- 2) топтық дозиметриялық бақылау үшін тасымалданатын аспаптар;
- 3) топтық және радиациялық технологиялық бақылау үшін тасымалданатын аспаптар;
- 4) үздіксіз қашықтықта дозиметриялық және радиациялық бақылауға арналған стационарлы және көпарналы құрылғылар

Иондалу сәулелерінен қорғау. Қорғаныштар түрлері. Қорғаныш дегеніміз иондалу сәулелерінің ағынын төмендету үшін олардың бөліну

көзі мен адамдар мен құрал-жабдықтардың орналасу аймағының арасына қойылатын кез келген орта (материал)

Қорғаныштарды қажеттілігіне байланысты, түріне, жинақталуына, пішініне және геометриясына сәйкес бөледі.

Қорғаныштың қажеттілігі: персоналдың сәулеленуін шектелген рұқсат етілген деңгейге дейін төмендету (биологиялық қорғаныш), сәулеленетін әр түрлі объекттердің радиациялық зақымдалу дәрежесін шекті деңгейге дейін азайту (радиациялық қорғаныш), радиациялық энергобөлінуді шекті деңгейге дейін азайту (жылулық қорғаныш).

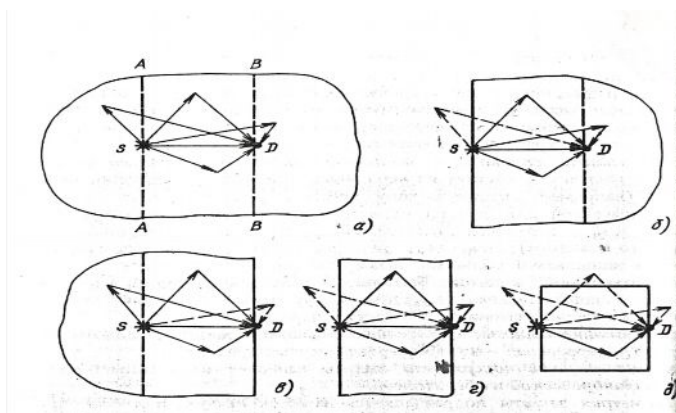
Қорғаныш түрлері келесі: жаппай қорғаныш – сәулелену көздерін толық қоршайды, жекелеген – сәулелену көзін қоршайтын бірінші ретті (мысалы, ядролық реактордың активтілік зонасы), бірінші ретті қорғаныш пен екінші ретті қорғаныштың арасында орналасқан екінші ретті (мысалы, ядролық реактордың жылутасымалдағыш жүйесі); көлеңкелік – сәулелену көзі мен қорғалатын аймақ арасында орналасады, өлшемдері "көлеңке", "өңделетін" қорғаныспен анықталады; бөлшектенген - сәулеленудің жоғары деңгейлерімен бағыттарда бәсеңдетілген қорғаныш (мысалы, персоналдың шекті кіру аймақтары үшін).

Қорғаныш компоновкасы: гомогенді – қорғаныш бір материалдан тұрады, гетерогенді - әр түрлі материалдар жиынтығынан тұрады.

Сыртқы қорғаныш бетінің пішіні көп жағдайда жазық, цилиндрлік және сфералық болады.

Қорғаныш геометриясы шексіз, жартылай шексіз, барьерлі және шекті болып бөлінеді.

Іс-жүзінде шексіз қорғаныш деп ішінде детектор мен көз бар шекті ортада кез келген материалды қосқан кезде детектор көрсеткішін өзгертпейтін қорғанышты айтады. Жартылай шексіз қорғаныш AA не ВВ жазықтығымен түзу сызыққа нормальді көз детекторды бөліп алсақ, детектор не көз жағындағы ортаның бөлігін айтамыз, Барьерлік геометрия көз не детектор жағынан ортаның бөлігін бөліп алғанда пайда болады.



33-сурет - Қорғаныш геометриясы және шашыраған не шашырамаған бөлшектердің типтік траекториясы

Шекті орта дегеніміз көлденең өлшемдерінің бірде бірі шексіз деп қабылдана алмайтын орта. (көз-детектор түзуіне перпендикуляр жазықтық бөлігі).

Геометрия қорғанышының өзгерістері бекітілген басқа параметрлерде тек қана шашыраған сәулеленуге әсер етеді, себебі шашырамаған бөлшектердің көрсеткіштеріне детектордың қосатыны тек көз-детектор түзуіндегі, зат мөлшеріне байланысты. Шашыраған бөлшектермен сипатталатын тіркелетін шаманың G ең үлкен мәнінің орны шексіз геометрияда G_{∞} , шамалы кіші шаманың мәні – жартылай шексіз ортада $G_{1/2,\infty}$, одан кіші шаманың мәні - барьерлік геометрияда $G_{бар}$ және минималды – шекті ортада $G_{шек}$ болып табылады :

$$G_{\infty} > G_{1/2,\infty} > G_{бар} > G_{шек}$$

Бір ретгі шашырауды жақындатуда жаппай сызықтармен шартты түрде көзбен S бөлінетін және детектормен D тіркелетін бөлшектер траекториясы көрсетілген. Штрихті сызықтармен қорғаныштың шектеулілігіне байланысты шашырауға ұшырамайтын сондықтан детектормен тіркеле алмайтын бөлшектер траекториясы көрсетілген. Затта таралған шашыраудың есебі, орта арқылы сәулелерді таратуда ең үлкен ауыртпалықтарға әкелетінін айта кетейік.

Сәулеленуден қорғауды есептеудің міндеттері детектерлеу нүктесінде, әдетте күрделі компоновка мен геометрияда детектор көрсеткіштерін есептеуді қажет етеді. Жалпы жағдайда бұл мәселені шешу үшін кеңістіктік-уақыттық, энергетикалық-бұрыштық бөлшектер ағынының тығыздығына тәуелділігін білу керек. Бұл мәселені шешу үшін r нүктесінің маңында, қарастырылатын кеңістікте ΔV көлемін бөліп алайық, онда уақыт моментінде t , энергиясы E бөлшектер бар $n(r, \Omega, E, t) \Delta V$, қозғалыс бағыты Ω . Δt уақыт ішінде бұл көлемдегі бөлшектердің саны өзгереді: бөлшектердің бір жартысы көлем сыртына шығып, жұтылып не шашырап координаталарын өзгетеді (Ω, E). Бірақ осы уақытта көлем ішінде осыған дейін шекарадан тыс орналасқан бөлшектер кіреді, көзден бөлінген жаңа бөлшектер пайда болады егер ол ΔV көлемінде болса) және ΔV көлемінде Δt уақытында Ω қозғалыс бағытында E энергиясымен шашыраған.

Энергиясы E , қозғалыс бағыты Ω , ΔV көлемінде орналасқан бөлшектер үшін, блокты түрде жазылған бөлшектер балансы теңдігі дұрыс:

12-кесте - Энергиясы E , қозғалыс бағыты Ω , ΔV көлемінде орналасқан бөлшектер үшін, блокты түрде жазылған бөлшектер балансы теңдігі

ΔV көлеміндегі $t+\Delta t$ моментіндегі бөлшектер саны	ΔV көлеміндегі t моментіндегі бөлшектер саны	ΔV көлемінен Δt уақытында шыққан бөлшектер саны	ΔV көлемінен Δt уақыт ішінде әсерлесу үрдістері әсерінен шығатын бөлшектер саны
ΔV көлеміне Δt уақытында кірген бөлшектер саны	ΔV көлемінде Δt уақытында E энергиясын Ω бағытта шашыраған бөлшектер саны		ΔV көлемінде Δt уақытында пайда болған бөлшектер саны

Егер әр блокты математикалық түрде жазып, бірқатар өзгертулер енгізсек, біз бөлшектер балансының интегродифференциалды түріне келеміз, ол газдардың кинетикалық теориясына сәйкес, бөлшектердің тасымалдануының кинетикалық теңдігі деп аталады (Больцман теңдігі)

Бөлшектер ағыны тығыздығы уақытқа тәуелді емес стационарлы есептер үшін, теңдіктің сол бөлігі оң бөліктің бірінші блогына теңестіріліп, ал ΔV элементіндегі бөлшектер саны тұрақты болып қала береді.

Бұл теңдіктің аналитикалық шешілуі тек қарапайым жағдайлар үшін ғана белгілі. Кинетикалық теңдеуді шешудің сандық әдістері кең қолданыс тапты, олардың арасында полиномиалды ыдырату әдістері жайлы айта кетейік, олар кинетикалық теңдеудегі бұрыштық айнымалалардың барлық функцияларын қандай да бір ортогональді полиномдар жүйесімен ыдыратуға негізделген. Нәтижесінде тасымалдаудың кинетикалық теңдігі әр түрлі бұрыштық моменттерге арналған қарапайым дифференциалдық теңдіктер түріне ауысады.

Ең көп пайдаланылатын сандық әдістерге дискретті ординаталар әдісі жатады. Әдістің негізгі идеясы сәулеленудің бұрыштық ағыны бұрыштық айнымалының дискретті түйіндерінде анықталған функцияда аппроксимациялануына негізделген.

Иондалу сәулелерінің тасымалдауын есептеу практикасында Монте-Карло әдісі кең қолданыс тапты (статикалық сынақ әдісі). Әдіс негізі затта бөлшектердің өтуі күрделі стохастикалық әдісінің қарапайым кездейсоқ оқиғалардың соңғы мәні тізбектілігі түрінде қарастырылуына негізделген, мысалы, бөлшектің өзара әсерсіз бір жолда, оның жұтылуы нәтижесінде жоғалуы. Әр үрдістің ықтималдығын біле отырып, нақты бөлшектің орта өмір тарихын келтіруге болады. Егер бөлшектердің саны көп болса, олардың бұрыш бойынша таралуын, энергияны анықтауға болады. Монте-Карло әдісінің басқа сандық әдістерден негізгі артықшылығы оның күрделі геометриялы бейімділігіне байланысты. Бұл әдістің тасымалдау міндеттерінің есептерін шешуге пайдалану мүмкіндігі, бөлшектерді тасымалдау үрдісі стохастикалық түрде болатындығына байланысты, сондықтан сандық модельдеуге мүмкіндік береді. Есептеулердің ішінде уақыт шығыны тұрғысынан тек қана Монте-Карло әдісімен ғана шешілетін есептеулер бар.

Сандық әдістер бөлшектерді тасымалдау теориясы мен иондалушы сәулелерден қорғауға арналған арнайы әдістерде толық қарастырылған.

Практикалық қорғау есептері әдетте макроскопиялық константалар көмегімен орындалады (макроскопиялық константалар әдісі). Бұл әдіс қорғау есептерінде фотонды сәулеленуді жинақтау факторы, релаксация ұзындығы және нейтрондарды шығару кесіндісі шамаларын пайдалануға негізделген. Бұл константалар есептік жолмен тасымалдаудың кинетикалық теңдігін шешу жолымен анықталған, мысалы, жинақтау факторлары, не тәжірибиелік жолмен анықталады, мысалы, шығару кесіндісі.

Макроскопиялық константаларды пайдалану келесі параграфтарда қарастырылған есептеудің өнімдік әдістерінде қарастырылған, ол жылдам және практикалық дәлдікпен қажетті қорғанысты есептеуге мүмкіндік береді.

Есептеудің ыңғайлы әдістері кестелік, графикалық және басқа инженерлік әдістер болып табылады. Фотонды сәулелену үшін, әмбебап кестелер құрастырылған, олар қорғаныш қалыңдығын есептеуде кең қолданылады, құрылған номограммалар жеке нүктелі радионуклидтердің және созылған көздердің фотондық сәулеленуден қорғалуын анықтау үшін қолданылады, және номограммалар зертханалық нейтрондардың (α , n) – көздеріне арналған.

Кестелер мен номограммаларды пайдаланудың ыңғайлығы қорғанышты табу үшін ауыр есептеулердің қажеттілігінің жоқтығында болып табылады.

Негізгі әдибиет: 1[125-135]

Қосымша әдебиет: 2[65-70]

Бақылау сұрақтары:

1. Космостық сәуле қандай негізгі түрлерге бөлінеді?
2. Тіркеу шамасына тәуелді қандай жинақталу факторына бөледі ?
3. Геометрияға тәуелділікті көрсетіңіз
4. Дозалық факторға тәуелділікті көрсетіңіз?
5. Сәулелену көзінің бұрыштық таралуының жинақталу факторымен байланысын көрсетіңіз

Дәріс 12. Дозиметрияның фотографиялық әдісі және ионизациялайтын сәуледен қорғану, фотон сәулелерінен қорғау.

Иондалу сәулесінің фотоэмульсияға әсері, көрінетін сәуленің әсеріне сәйкес әсерге әкеледі. Фотоэмульсия желатиннің целлулоидқа, әйнекке не басқа материалға жабылған жұқа қабаты болып табылады, онда ұсақ (0,1 - 1 мкм) галоид кристалдары (әдетте AgBr және AgCl) біркелкі таралған. Иондалу сәулелерінің әсерінен металлдық күмістің атомдарының топтарынан тұратын кристалдардың шығу орталықтары пайда болады. Бұл орталықтардың бірлестігі бүркемеленген бейнені құрайды. Оларды шығару кезінде бүркемеленген бейне орталықтары пайда болған кристаллдарда олар қалпына келеді, нәтижесінде фотоэмульсия қараяды. Әрі қарай бекітуде (фиксациялау) тотықсызданбаған күмістің эмульсияларын сыртқа шығарады және оның сәулеленуге сезімталдығы төмендейді.

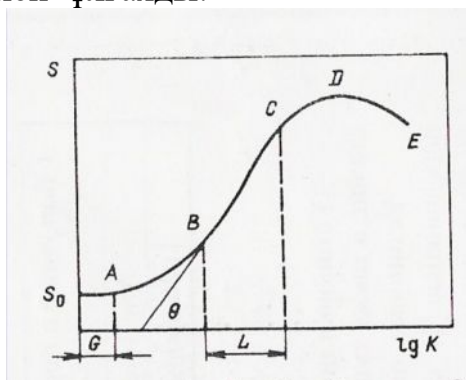
Фотоэмульсияның қараю дәрежесі оптикалық тығыздықпен сипатталады, ол келесі шамамен сипатталады $S = \lg(I_0/I)/J_0$ – таспаға түсетін көрінетін сәуленің интенситілігі; I – таспа арқылы өткен сәуленің интенсивтілігі.

Фотоэмульсияға фотонды сәулелену әсер еткен кезде, оның қараюына әкелетән үрдістер фотоэмульсиядан және оны қоршаған заттан босаған фотоэмульсиямен анықталады (мысалы, кассета қабырғаларында)

Практикада кездесетін қараю тығыздығы үш бірліктен аспайды. Ол, әдетте 0-3 аралығында градуирленген денситометр көмегімен анықталады.

Фотонды сәулелену дозиметриясы үшін пайдаланатын рентген таспаларының қараю тығыздығы кейбір шектерде судағы кермадағы тығыздыққа пропорционал

Таспа қасиеттерін сенситометриялық мінездемелері бойынша анықтайды, ол әдетте қараю тығыздығының ауа кермасының логарифмына тәуелділігі қисығы түрінде бейнеленеді (1-сурет). Көрсетілген тәуелділікте келесі учаскелерді бөліп көрсетуге болады: тік сызықты жұмыс учаскесі BC, DE – кейбір фотоматериалдарда бақыланатын соляризация аймағы; S_0 – экспондалмаған таспаның бастапқы қараю тығыздығы, таспа жабындысы; AB – кем ұстау аймағы; CD – артық ұстау аймағы; G - инерция; L – эмульсия ені – жұмыс учаскесіне сәйкес келетін дозалар диапазоны. θ бұрышы таспаның контрастность анықтайды, ол θ бұрышының артуымен ұлғаяды.



34 –сурет - Фотографиялық таспаның сенситометриялық мінездемесі

Құрамына AgBr кіретін фотоэмульсия және оны қоршайтын заттар ауада эквивалентті болмағандықтан, таспаның қараю тығыздығы керманың бірдей мәндерінде, энергия фотонына тәуелді болмайды. Қаттылық жүрісін азайту үшін жазу сүзгілерін пайдаланады, олар қорғасыннан (қалыңдығы 0,75 мм), алюминиден (0,5 мм) және пластмассадан тұрады (3 мм). Бұл сүзгілерді пайдалану 0,03-3 МэВ фотондар энергиясы диапазонында, қаттылық жүрісін 20% дейін төмендетеді. Фотографиялық әдіс жеке дозиметриялық фотобақылауда (ЖДФ) фотонды, β -сәулелену, жылу және жылдам нейтрондар алаңында кең қолданыс тапты.

Жоғарыда көрсетілгендей, фотонды эмульсияны фотоэмульсияға тіркеуде, оған фотондар босатқан фотоэмульсиялар әсер етеді. Фотоэмульсиялардың сезімталдығын бейорганикалық сцинтилляторлар $\text{CaWO}_4 + \text{ZnS} (\text{Hg})$ не органикалық сцинтилляторлар n-терфенилдан жасалған люминесцентті экрандарды қолдана отырып арттырады. Органикалық сцинтилляторларларды қаттылық жүрісін төмендетін экран ретінде де пайдаланады. Органикалық сцинтилляторды бірден фотоэмульсияға енгізіп дәл осындай әсер алуға болады.

Әр түрлі партиялардағы таспалардың өзгешеліктеріне байланысты пайда болатын қателіктердің алдын алу үшін градуирлік қисық құрайды $S = S(K)$, бұл мақсатта аттестацияланған көздерді ^{60}Co және ^{137}Cs пайдаланады. Бұл таспалар - персоналға беріліп, градуирланған және экспондалмаған бүркемені анықтау үшін – бір партиядан алынып бір уақытта, бірдей шарттарда өңделеді.

Фотографиялық әдісті жылулық нейтрондар дозиметриясы үшін де пайдаланады. (ИФКУ әдісі). Бұл мақсатта таспаны жылулық нейтрондарды жинақтау кесіндісі үлкен (n, γ) реакциясында пайда болатын кадмий сүзгіге орналастырады, жинақтау γ -сәулелену фотоэмульсияға әсер етеді, олардың қараю тығыздығына сәйкес жылулық нейтрондардың жіберілген дозасын анықтайды.

Жылдам нейтрондардың дозиметриясы үшін ядролық фотоэмульсиялар пайдаланылады. (К не Я-2). Нейтрондар әсерінен пайда болатын берілу протондары фотоэмульсияда із қалдырады, (тректер), олардың саны эквивалентті дозаны анықтау үшін бастапқы ақпарат болып табылады. Берілу фотондарының саны нейтрондар энергиясына тәуелді, сондықтан аудан бірлігіне келетін тректер санын қарапайым қосындылау биологиялық жабындының кермасын анықтауға мүмкіндік бермейді. Бұл мүмкін болу үшін, фотоэмульсияны сутегілі заттар мен алюминийдің ауысып отыратын қабаттарына тұратын гетерогенді сүзгімен қоршайды. Бұл фотодозиметрдің аудан бірлігіндегі тректер саны 55-14 МэВ диапазонындағы тканді кермаға пропорционал. (15 % шамасында) . Эквивалентті дозаны келесі теңдікпен анықтаймыз

$$H = AN, \quad (6.1)$$

$A = (1,1 \text{ ү} 0,08) \cdot 10^{-6} \text{ Зв}/(\text{трек} \cdot \text{см}^{-2})$; $N - 1 \text{ см}^2$ эмульсияға келетін ұзындығы 5 мкм тректер саны ($E_n > 0,5 \text{ МэВ}$)

Иондалу сәулелерін тіркеудің фотографиялық әдісінің басқа әдістерге қарағанда бірқатар артықшылықтары бар: арзан, құжаттау мүмкіндігі бар (өңделген таспаларды сақтауға болады), жаппай пайдалану мүмкіндігі бар, соққыға, температураға тәуелді)

Әдістің кемшіліктері: сезімталдығы төмен, эквивалентті дозаны сәулелену үрдісінде өлшеу мүмкін емес, көрсеткіштердің таспаның өңделу шарттарына тәуелсіздігі.

Фотонды сәулеленуден қорғауда әдетте жинақтау факторларын пайдалану ыңғайлы, себебі ол тасымалдаудың кинетикалық тендеуін шешудің күрделі және ауыр үрдісінсіз шашыраған сәулеленудің әсерін есептеуге мүмкіндік береді.

Тіркелетін шамаға тәуелді жинақталу факторлары сандық, энергетикалық, дозалық, энергетикалық, кермалық, жұтылу энергиясының факторлары болып бөлінеді. Жалпы жағдайда бұл жинақталу факторлары үшін теңдікті келесі түрде жазуға болады

Егер ауада және ауа кермасында жұтылған экспозициялық доза бойынша есептелген жинақталу факторлары сәйкес келсе, электрондық

тепе-теңдік шарттары орындалған жағдайда тежелу сәулеленуін есепке алмауға болады.

Жинақталу факторы барлық параметрлері мен міндеттер шарттарына тәуелді: бөліну көзі сипаттамасы (геометрия, бұрыштық таралу және энергетикалық құрамы), қорғаныш мінездемелері (геометрия және қорғаныш қалыңдығы, орта материалының атомдық номері; қорғаныш компоновкасы), бөліну көзінің өзара орналасуы, қорғаныш және детектор т.с.с

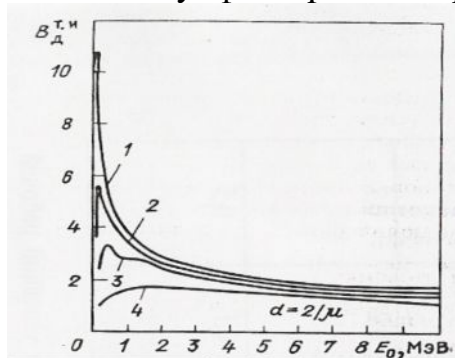
Жинақталу факторының практикада жиі кездесетін факторларға тәуелділігін қарастырайық. Әдетте бұл жинақталу факторлары фотондар энергиясының жинақталуына тәуелді. Бұл тәуелділіктің басты ерекшелігі $E_0 < E_{\text{мин}}$ атомдық номерінің мәндері орташа және кіші орталарда, фотондардың төменгі энергия аймағында айқын көрінген максимумдар болады.

Бұл жағдайда фотон энергиясының азаюымен шашыраған фотондардың энергиясының орташа энергиясының түсетін фотон энергиясына қатынасы артады, бірақ фотожұтылудың кесіндісі күрт ұлғаяды. Бұл үрдістердің бәсекелестігі энергетикалық тәуелділікте максимумдардың пайда болуына әкеледі.

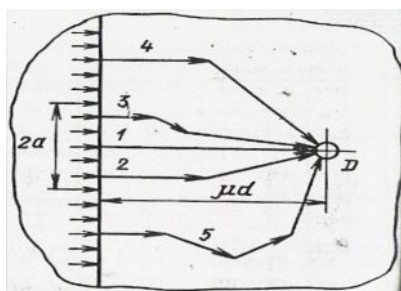
Атомдық номерлердің үлкен мәндері бар орталарда айқын көрінбеген максимумдар үлкен энергияларда E_0 бақыланады. Бұл фотожұтылудың артық болуымен түсіндіріледі, бірақ энергия артуымен ол эффект төмендейді, бұл жинақталу факторының бірашама артуына әкеледі. Қорғаныштың үлкен қалыңдығы мен фотонның жоғарғы энергияларында жинақталу факторлары Z үлкен орталарда үлкен болып табылады.

Жинақталу факторының бөліну геометриясына тәуелділігі. Бұл тәуелділікті әр түрлі геометриялық өлшемдері бар жазық көздер үшін қарастырайық, бірақ сәулелердің бұрыштық және энергетикалық таралуы бірдей деп есептейік.

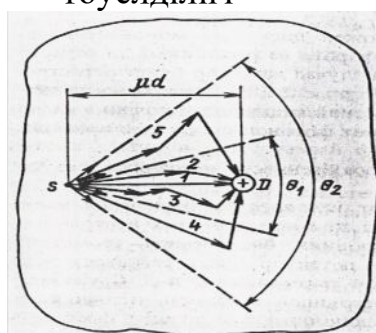
Шексіз ортада дискті монобағытталған диаметрі $2a$ монобағытталған көз бар деп есептейік, оның осінде μd қашықтықта детектор D орналасқан. Бұл жағдайда детектор шашырамаған фотондар 1 және шашыраған фотондар 2 және 3 тіркейді. Диск диаметрінің ұлғаюымен бөліну көзінің өзгермейтін қуатында шашыраған фотондардың саны артады (4 және 5 фотондары әсерінен), бұл жинақталу факторының артуына әкеледі.



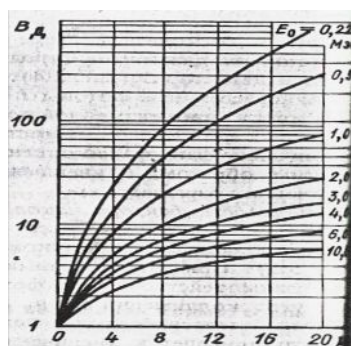
35-сурет - Нүктелі изотропты көздің суда (1), алюминиде (2), темірде (3) және қорғасында (4) дозалық жинақталу факторының бөліну көзі мен детектордың ара қашықтығы $d=2/\mu$ энергиясына тәуелділігі



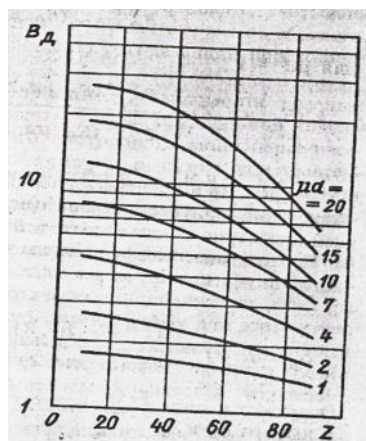
36-сурет - Жинақталу факторының бөліну көзінің геометриясына тәуелділігі



37 – сурет - Жинақталу факторының сәулеленудің бұрыштық таралуына тәуелділігі



38-сурет - Жинақталудың шексіз сулы ортада дозалық факторының детектор мен энергиясы E_0 нүктелі изотропты көздің арасындағы қашықтыққа тәуелділігі



39 –сурет - Материалдық ортаның атомдық номерінің дозалық жинақталу факторының нүктелі изотропты орта мен электр $E_0=2\text{МэВ}$ арасындағы әр түрлі қашықтықтарға тәуелділігі.

Осылайша, бөліну көзінің ұзындығы артуымен жинақталу факторы ұлғаяды.

Жинақталу факторының сәулеленудің бұрыштық таралуына тәуелділігі. Бұл тәуелділікті шексіз геометрия шарттарында нүктелі изотропты коллимацияланған көздер мысалында қарастырайық. Коллимация бұрышы θ_1 болса, детектор әсерлеспеген фотондар 1 және шашыраған фотондар 2 және 3 тіркейді. Коллимация бұрышының θ_2 дейін артуында, тұрақты қуатта детектордың біріншілік ішкі қуатына қосымша 4 5 фотондары түседі, бұл жинақталу факторының артуына әкеледі. Яғни, бөліну көзінің сәулеленуінің бұрыштық таралуы изотропиясының артуы, жинақталу факторының артуына әкеледі.

Жинақталу факторының қорғаныш геометриясына тәуелділігі. Әр түрлі қорғаныш геометриясы бар шашырамаған және шашыраған фотондардың типтік траекториясын қарастыру жинақталу факторларының келесі ара қатынасын жазуға мүмкіндік береді:

$V_\infty > V_{1/2\infty} > V_{\text{бар}} > V_{\text{шек}}$, где V_∞ , $V_{1/2\infty}$, $V_{\text{бар}}$, $V_{\text{шек}}$ – сәйкесінше шексіз, жартылай шексіз, барьерлі және шекті қорғаныш геометриясы үшін детектор мен бөліну көзі арасындағы ортаның тұрақты қалыңдығындағы жинақталу факторлары.

Барлық жағдайда жинақталу факторының қорғаныш қалыңдығына тәуелділігі әсерінен детектор мен бөліну көзі арасындағы ортаның ұлғаюы артады. Бұл шашыраған және шашырамаған фотондар арасындағы тепе-теңдіктің болмауының нәтижесі болып табылады. Оның себебі, кіші бұрыштарға, энергияның азғана өзгерісімен фотондар санының жинақталуы болып табылады.

Жинақталу факторының қорғаныштың материалының атомдық номеріне тәуелділігі. Жинақталу факторының қорғаныштың материалының атомдық номеріне тәуелділігінің ерекшелігі оның кең диапазонда фотондардың бастапқы энергиясының детектор-көз қашықтығына тәуелділігі болып табылады.

Бұл тәуелділікті жою, қорғаныштың үлкен қалыңдығында келесі $V=V(Z)$ сәулеленудің жоғарғы энергияларына тәуелділігін құрайды ($E_0 \geq 3$

МэВ). Бұл жағдайда жинақталу факторының Z затына тәуелділігі артады, максимум арқылы өтіп, баяу түседі.

Жинақталу факторының көрсетілуі формаларын қарастырайық. Қазіргі кезде анықтамалық әдебиетте екі ең қарапайым фотон нүктелі изотропты және жазық монобағытталған жинақталу факторлары жайлы көп ақпарат жинақталған. Жинақталу факторлары шексіз геометрия үшін фотондардың энергиясының кең диапазонында 0,015-15 МэВ, қорғау қалыңдықтары 0,5-40 д.с.п. және қорғау орталары ауа, су, бетон, темір, қорғасын т.б үшін алынған.

Алынған мәліметтердің көптігі, жинақталу факторларын практикалық есептерді ЕЭМ шешу үшін интерполяциялау және көлемін азайту үшін әр түрлі формада көрсету қажеттігін туындатты. Солардың екі түріне тоқталайық:

$$B(\mu d) = A_1 \exp(-a_1 \mu d) + (1 - A_1) \exp(-a_2 \mu d) \quad (6.2)$$

$$B(\mu d) = 1 + a \mu d \exp(b \mu d) \quad (6.3)$$

(12.1) және (12.2) формулаларындағы A_1 , a_1 , a_2 , a , b коэффициенттері тек қана материалдың E_0 және Z көрсеткіштеріне тәуелді, ал қорғаныш қалыңдығына тәуелді емес. Олар шексіз геометрия шарттарында нүктелі изотропты көздерде әр түрлі материалдардан қорғануға арналған және анықтамалық әдебиеттерде келтірілген.

Нүктелі изотропты көздер үшін жинақталу факторлары созылған изотропты көздер факторларын есептеу үшін пайдалануы мүмкін, мысалы жазық изотропты көздерге арналған.

Іс-жүзінде шынайы қорғаныш барьерлі геометрия классына арналған. Жинақталу факторлары жайлы көптеген ақпараттар барьерлікке өзгертулер белгілі болса, шексіз геометрияның жинақталу факторларына пайдалануы мүмкін.

Жинақталу факторларының инженерлік есептеулері үшін тәжірибиелік зерттеулер негізінде формулалар қатары алынды. Ыңғайлы формулалардың біріне тоқталайық

$$B_{\text{нем}} \left(\sum_{i=1}^N \mu_i d_i \right) = B_N \left(\sum_{i=1}^N \mu_i d_i c_{in} \right) + \sum_{n=1}^{N-1} \left\{ B_n \left(\sum_{i=1}^n \mu_i d_i c_{in} \right) - B_{n+1} \left(\sum_{i=1}^n \mu_i d_i c_{in+1} \right) \right\} \cdot \exp \left(- \sum_{v=n+1}^N a_{v-1,v} \mu_v d_v \right) \quad (6.4)$$

бұл жерде $B_{\text{нем}} \left(\sum_{i=1}^N \mu_i d_i \right)$ - жинақталу факторы N – қорғаныш қабаты; B_n –

қорғаныш қалыңдығының n -ші қабатында гомогенді ортаның жинақталу факторы; c_{in} - асимптотикалық аймақта жинақталу факторларының тәртібін есепке алатын коэффициент; $c_{in} = 1$ егер $i=n$; $a_{v-1,v}$ болса – қабаттардың бөліну шекарасы маңында аралық әсерлерді есепке алатын коэффициент.

(6.3) формуласында іс-жүзінде қорғаныш қалыңдығы қабаттардың қалыңдығы түрінде емес, тиімді қалыңдық ретінде қарастырылады. Сонда, су мен қорғасыннан жасалған екі қабатты қорғаныш үшін қисық, қорғасында асимптотикалық жинақталу факторы еркін жүгіріс бірлігінде, абцисса осі бойынша таза қорғасынға арналған қисықта солға жылжиды. Қабаттардың кері орналасуында жинақталу факторының асимптотикалық тәртібінің қисығы оңға жылжиды.

Жоғарыда көрсетілген факторларды білу көптеген практикалық есептерде қорғанышты оңай есептеуге мүмкіндік береді.

Мысалы, энергиясы E_0 нүктелі изотропты моноэнергетикалық бөліну көзі үшін эквивалентті дозаның шекті қуатын ДШҚ қамтамасыз ететін гомогенді қабаттан жасалған қорғаныш қалыңдығын келесі формуламен есептеуге болады :

$$DMD(d) = \dot{H}_0 e^{-\mu d} B_d(E_0, \mu d, Z) \quad (6.5)$$

Бұл жерде \dot{H}_0 - эквивалентті дозаның қорғанышсыз детектрлеу нүктесіндегі қуаты; $B(E_0, \mu d, Z)$ – нүктелі изотропты көз үшін жинақталудың дозалық факторы.

Қорғанышсыз эквивалентті дозаның қуатын (3.21) формула бойынша есептеуге болады.

Бірақ карапайым жағдайда бұл мәселені шешу қиын (нүктелі изотропты моноэнергетикалық көз), себебі олардың теңдіктері трансцедентті: оларды аналитикалық түрде ДШҚ берілген мәнінде d арқылы шешу мүмкін емес, d жинақталу факторы d тәуелді емес. $H = H(d)$ графиктерін құру және d табу ДШҚ-ның бекітілген мәнінде ДШҚ-ның тізбекті жылжыту әдісінде – өте ауыр үрдіс.

Сондықтан әдетте кестелер мен номограммаларды пайдаланады, олар қажетті қорғаныш қалыңдығын дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Бұл мақсатта әмбебап кестелер кең қолданады.

Бұл кестелер үшін кіру параметрі ретінде көздің фотондар энергиясы E_3 және бәсеңдету реті $k(E_0, d)$ алынады, қалыңдықтың қорғау экранында эквивалентті дозаның эквивалентті дозаның қуатына қатынасын айтамыз. Сонда (12.4) сәйкес

$$H = K \cdot 1,09D = K \cdot 1,09 \cdot K = K \cdot 1,09 \text{ АГ}\delta / \text{г}^2 \quad (6.6)$$

Кестелер шексіз ортаның нүктелік изотроптық көздерінің дозалық факторларын пайдаланумен жасалған. Бұл кестелерді пайдалану аймағын анықтайды. Әр кесте жеке материалдан алынған (су, бетон, темір, қорғасын, вольфрам, уран).

1-кестеде мысал ретінде қысқартылған бетон мен қорғасынға арналған кестелер келтірілген.

Әмбебап кестелер бойынша қорғаныш қалыңдығын анықтау үшін барьерлік геометрия шарттарында барьер қалыңдығын есептеуде барьерлікке түзетуді ескеру керек. Ол үшін барьерлік геометрияға қажетті бәсеңдету ретін $fcg_{ар}$ түзетуге көбейту керек $\delta_{я}(E_0, Z)$ [(5.9) формуланы қараңыз]

Бетоннан ($\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$ және қорғасыннан ($\rho = 11,34 \text{ г/см}^3$) жасалған қорғаныштың қалыңдығы, см

13-кесте

Бәсеңдету-реті k	Фотондар энергиясы, МэВ							
	0,145	0,279	0,412	0,662	1,25	1,75	2,75	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бетон								
2	5,9	9,4	11,4	12,4	13,3	13,8	15	16,4

10	10,9	18,6	23,9	27,3	31,9	35,9	42	47,5
20	11,2	20,1	26,3	32,9	39,9	44,8	52,3	58,7
100	15,9	27,3	35,8	44,4	54,5	62,2	74,7	84,5
200	17,1	30,5	39,8	49,5	60,8	69,7	84,6	95,7
10 ³	20,8	36,9	48,9	61,1	76,1	87,6	106,6	120,9
10 ⁴	25,7	45,7	61,4	77,4	97,2	111,5	137,4	156,7
10 ⁵	38,9	61,6	76,0	91,5	116,9	135,7	166,6	191,4
10 ⁶	56,5	77,0	60,7	107,0	140,2	160,6	193,0	225,4
δ_d				0,815	0,876	0,895	0,925	0,946
Қорғасын								
2	0,2	0,3	0,4	0,8	1,5	1,85	2,1	2
10	0,4	0,8	1,3	2,4	4,5	5,6	6,4	6,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,4	1	1,6	3	5,8	7,2	8,2	8,2
100	0,7	1,5	2,4	4,4	8,45	10,6	12	12,1
200	0,8	1,8	2,7	4,9	9,65	12,2	13,5	13,8
10 ³	1	2,2	3,4	6,5	12,3	15,5	17,7	17,8
10 ⁴	1,5	3	4,7	8,5	16,1	20,1	23,1	23,4
10 ⁵	1,7	3,5	5,6	10,4	20,1	24,7	18,3	28,9
10 ⁶	2,1	4,3	6,8	12,2	23,5	29,2	33,6	34,4
δ_d				0,984	0,986	0,988	0,99	0,993

Қорғаныш қалыңдығын кең түйін геометриясында есептеуге болады. Бәсеңдету қабаты $\Delta_{1/k}$ деп қорғаныш қалыңдығын айтады, ол алаңның берілген мәндерін k рет азайтады. Практикада әдетте жартылай бәсеңдету қабатын пайдаланады $\Delta_{1/2}$, кейде ондық бәсеңдету қалыңдығын пайдаланады $\Delta_{1/10}$. Бәсеңдету реті $k(d)$ мен жартылай бәсеңдету қабаты санымен n байланысын $k(d) = 2^n = 2^{d/\Delta_{1/2}}$ түрде көрсетуге болады.

Бұл жерде $n = d/\Delta_{1/2}$ - жартылай бәсеңдету қабаттарының саны, ол бәсеңдету ретін k көрсетеді. Бұл жағдайда қорғаныш қалыңдығы $d = n\Delta_{1/2}$.

Жартылай бәсеңдету қабаттары бойынша қорғаныштың қалыңдығының есептемесі жақындатылған болып есептеледі, себебі $\Delta_{1/2}$ қабатының шамасы кең түйін геометриясында қорғаныш қалыңдығымен өзгереді. (бәсеңдету реті). Қорғанышты жақсы дәлдікпен қорғаныш қалыңдығында бәсеңдету қабатын ескерген жағдайда есепке алуға болады.

Моноэнергетикалық емес көздер үшін, фотондардың n энергетикалық топтарының i -энергиясында $E_{0,i}$ тобында және i -ші топ фотондары қоспасында дозаға енгізу үшін $p_i(\sum_{i=1}^m p_i = 1)$, есептеулерді келесі ретте

жүргізеді: 1) бәсеңдетудің қажетті реті есептеледі k , формула бойынша есептеледі; 2) бәсеңдетудің парциалды реті анықталады $k_i = kp_i$; 3) әр энергия үшін $E_{0,i}$ және k_i , үшін әмбебап кестелер бойынша қорғаныштың қажетті қалыңдығын есептейді d_i . Қорғаудың ең үлкен қалыңдығын қажет ететін фотондар энергиясын d_f , спектрдің басты сызығы деп атайды. d_q қорғаныш қалыңдығын қажет ететін фотон энергиясын бәсеке сызығы деп атайды; 4) соңғы сызық қалыңдығын келесі ара қатынастардан табады

$$\begin{aligned}
 d &= d_{\Gamma} + \Delta_{1/2} && \text{егер } d_{\Gamma} - d_{\text{К}} = 0; \\
 d &= d_{\text{К}} + \Delta_{1/2} && \text{егер } 0 < (d_{\Gamma} - d_{\text{К}}) < \Delta_{1/2} \\
 d &= d_{\Gamma} && \text{егер } (d_{\Gamma} - d_{\text{К}}) > \Delta_{1/2}.
 \end{aligned}
 \tag{6.7.}$$

бұл жерде $\Delta_{1/2}$ басты және бәсекелесуші сызыққа жартылай бәсеңдету қабаттары үшін ең үлкен мән, ол d_{Γ} және $d_{\text{К}}$ қорғаныш қалыңдықтары үшін әмбебап кестелерден алынады.

Қорғаныш қалыңдығы артқан сайын бас және бәсекелесуші сызықтар орындарын ауыстырады және екінші дәрежелі болып табылатын үшіншісіне орын береді. Бұл қасиет әдіске бәсекелесуші сызықтар әдісі деген атауды берді. Әр түрлі бөлшектер үшін созылған көздерден қорғанышты есептеу әдісі бұл бөлімнің соңғы параграфында қарастырылған.

Негізгі әдибиет: 1[135-145]

Қосымша әдебиет: 2[70-75]

Бақылау сұрақтары:

1. Фотоэмульсияның қараю дәрежесі қалай анықталады?
2. Фототаспаның сенсиметриялық мінездемесінің өзгеру графигін көрсетіңіз?
3. Радиациялық бақылауға арналған аппаратураның классификациясының ең маңызды белгілерін атаңыздар?
4. Тіркелетін шамаға сәйкес жинақталу факторлары қалай бөлінеді?
5. Геометрияға тәуелділікті көрсетіңіз
6. Дозалық фактор тәуелділігін көрсетіңіз?
7. Жинақталу факторының сәулеленудің көзінің бұрыштық таралуына тәуелділігін көрсетіңіз.

Дәріс 13. Нейтрондық сәулелерден қорғану.

Нейтрондардан қорғану. Дәрісте практикалық мақсаттарға арналған дәлдікпен жылдам қажетті қорғаныш қалыңдығын есептеуге мүмкіндік беретін, релаксация ұзындықтары әдісі мен шығару кесіндісі концепциясы кең түйін нейтрондары геометриясында макроскопиялық константаларды пайдалануға негізделген әдістер қарастырылады. Нейтрондар үшін кең қолданысқа ие болған әдіс релаксация ұзындығы әдісі мен шығару кесіндісі концепциясы. Релаксация ұзындықтары әдісі. Тәжірибиелік және есептік ақпарат негізінде, жылдам нейтрондар үшін, ағынның тығыздығының кеңістіктік таралуы (доза қуаты) геометриялық бәсеңдетуден соң жақсы дәлдікпен кең түйін геометриясынджа келесі түрде көрсетуге болады:

$$\varphi(d) = \varphi_0 \exp(-d/L), \tag{6.8}$$

бұл жерде L - жалпы жағдайда көздің нейтрондары энергиясына тәуелді, детектірленетін нейтрондардың қалыңдығы, компоновкасы және қорғаныш геометриясы, энергиясы және тағы басқа шарттарға тәуелді релаксация ұзындығы. Басқаша айтқанда, L тек қана d нақты өзгеріс диапазонында тұрақты, ол үшін (13.1) экспоненциалды тәуелділігі дұрыс. Сондықтан релаксация ұзындығы L_i жеке қорғаныш учаскелері үшін

нейтрондар бәсеңдеуі L тұрақты мәнімен экспоненциалды тәуелділікте жазыла алатын шектерде анықталады. Бұл жағдайда нейтрондар ағынның тығыздығы (доза қуаты) келесі формула бойынша анықталады

$$\varphi(d) = \varphi_0 \exp\left(-\sum_{i=1}^m \Delta d_i / L_i\right), \quad (6.9)$$

бұл жерде m - қорғаныш қалыңдығы бойынша бөлінген учаскелер саны.

Жалпы жағдайда нейтрондарды бәсеңдету оның қалыңдығы L (2-3) бастапқы учаскесінде экспоненциалды тәуелділіктен айырмашылығы болады. Бұл тәуелділікті (6.7) және (6.8) теңдіктеріне f түзету тәуелділігін енгізу арқылы есепке алуға болады. Осыны есепке ала отырып нейтрондар ағынының тығыздығын, мысалы қуаты S_0 нүктелі моноэнергетикалық көз үшін қалыңдығы d қорғанышы бар беттің бір нормалінде детектерлеу нүктесінде келесі теңдіктен табуға болады

$$\varphi(d) = [S_0 f / (4\pi d^2)] \exp\left(-\sum_{i=1}^m \Delta d_i / L_i\right). \quad (6.10)$$

Түр спектрі $p(E_0)$ моноэнергетикалық емес көз үшін:

$$\varphi(d) = [S_0 / (4\pi d^2)] \sum_j f_j \exp(-\Sigma \Delta d_i / L_i), \quad (6.11)$$

бұл жерде $p(E_{0j})$ - E_{0j} ден $E_{0j} + \Delta E_{0j}$ дейінгі энергетикалық интервалдағы нейтрондар үлесі; f_j - $(E_{0j} + \Delta E_{0j})/2$ энергиясы үшін түзету коэффициенті; L_{ji} - энергиясы $(E_{0j} + \Delta E_{0j})/2$ нейтрондар үшін i -ші учаскесіндегі қорғаныш қалыңдығында релаксация ұзындығы

Ауыр және жеңіл ядролар қоспасынан тұратын қорғаныштар үшін әдетте келесі теңдіктен анықталады:

$$1/L = C_d/L_d + C_t/L_t, \quad (6.12)$$

бұл жерде L_j и L_a – сәйкесінше жеңіл және ауыр компоненттің релаксация компоненті; C_j және C_a – сәйкесінше ауыр және жеңіл компоненттің салыстырмалы көлемдік концентрациясы.

Шығару кесіндісі концепциясы. Жылдам нейтрондардан қорғаны әдетте гетерогенді композиция болып табылады, ол көздің маңындағы ауыр және сутегісі бар компоненттерден тұрады. Тәжірибиелік жолмен кейбір шарттарды орындағаннан соң жедел нейтрондарды сутегілі ортада басқа материалмен бәсеңдету қарапайым экспоненциалды тәуелділікпен жазылатыны анықталды $\exp(-\Sigma_{\text{выб}} d)$, бұл жерде $\Sigma_{\text{выб}} d$ – шығару кесіндісі; d – кіргізілетін заттың қабатының қалыңдығы. Бұл тәуелділікте нейтронның ауыр компонентінің серпімді шашырауында нейтрондар өз энергиясын қатты бөліп сутегісі бар ортаға түседі, бұл жерде сутегіде серпімді шашыраудан соң, жылулық энергия аймағына өтіп, (n, γ) реакциясы бойынша сутегі ядроларымен жұтылады (сутегіде серпімді шашырау кесіндісі үлкен және нейтрон энергиясының азаюымен ұлғаятынын есте сақтайық). Серпімді шашыраулары орташа және үлкен бұрыштарда өткен нейтрондар үшін, детекторге дейінгі жол біршама ұлғаяды да олар үлкен ықтималдықпен жұтылады. Осылайша, бірінші және екінші жағдайда ауыр компоненттен кейін жүретін сутегілі орта нейтрондарды тиімді

жұтатын “сүзгі” болып табылады. Шығару кесіндісін бағалау келесі теңдіктен алынады

$$\Sigma_{\text{выб}}(E_0) = \Sigma(E_0) - 2\pi \int_{-1}^1 \Sigma_s(E_0, \mu) \mu d\mu, \quad (6.13)$$

бұл жерде $\Sigma(E_0)$ – толық кесінді; $\Sigma_s(E_0, \mu)$ – энергиясы E_0 нейтрондардың $\arccos \mu$ бұрышқа серпімді шашырауының дифференциалды кесіндісі; μ – шашырау бұрышының косинусы.

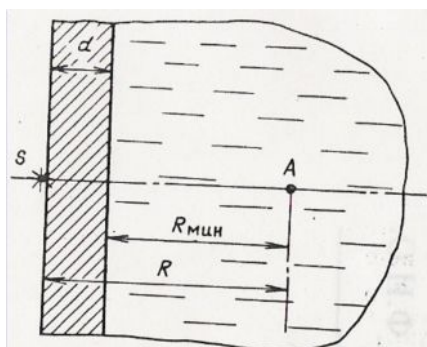
Алғашқы рет шығару кесіндісі әдістемесі бөліну нейтрондары көздері үшін шығарылды, одан соң еркін энергетикалық спектр көздеріне арналған есептерді шешуде табысты пайдаланылды.

Сутегілі ортаға материалды енгізу әдісіне қарай гетерогенді және гомогенді орталар үшін шығару кесінділері болады.

Гомогенді орталарды шығару кесінділерін қарастырайық. Сутегілі ортаны (мысалы, су) нүктелі изотропты көздің маңына орналастырып, оған қалыңдығы d ауыр металдан жасалған пластинаны орналастырайық. Жоғарыда айтылғаннан көрініп тұрғандай, шығару кесіндісі f пластина мен детектор арасында $R_{\text{мин}}$ қабатының қалыңдығымен анықталатын A нүктесінде сутегілі заттың минималды мөлшері болса дұрыс болады. Онда, жылдам нейтрондардың эквивалентті дозасының қуатының бәсеңдеуі келесі түрде көрсетіле алады

$$\dot{H}(R, d) = \dot{H}_H(R-d) \exp(-\Sigma_{\text{выб}} d), \quad (6.14)$$

бұл жерде $\dot{H}(R, d)$ – бөліну көзінен R қашықтықтағы эквивалентті дозаның қуаты, $\dot{H}_H(R-d)$ – пластина болмаған жағдайда қалыңдығы $(R-d)$ таза сутегілі ортада A нүктесіндегі эквивалентті дозаның қуаты; d – пластина қалыңдығы, $R_{\text{мин}}$ пластина спектрі өзгерісін ескермеуге болатын сутегілі ортаның минималды мөлшері; $R_{\text{мин}}$ – бөліну көзінің нейтрондарының энергиясына, пластина материалына және детектрлеудің тиімді шегіне тәуелді, мысалы, бөліну нейтрондары көзі үшін $R_{\text{мин}}$ 40-60 см су не 35-50 см полиэтиленге тең. Тәжірибиелік түріде шығару кесіндісін пластина қалыңдығына тәуелсіз де есептеуге болатыны дәлелденген.

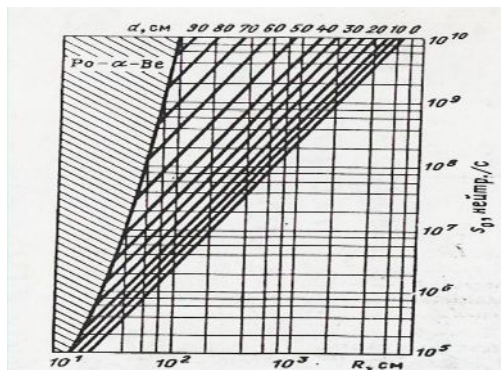


40-сурет - Нейтрондарды қорғауға арналған гетерогенді композициялар

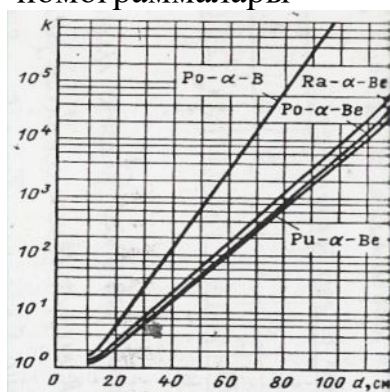
Бірінші тип номограммалары берілген көз қуаты S_0 , көзден детектрлеу нүктесіне дейінгі қашықтық R және су қорғанысының қалыңдығын d байланыстырады. Номограммалар аптасына 36 сағат сәулелену ұзақтығына және персонлаға арналған шектелген рұқсат етілген доза 1 мЗв/апта

арнап салынған Екінші тип номограммалары әр түрлі нейтрондар көздері үшін су қорғанысының қалыңдығының бәсеңдету ретіне тәуелділігін көрсетеді.

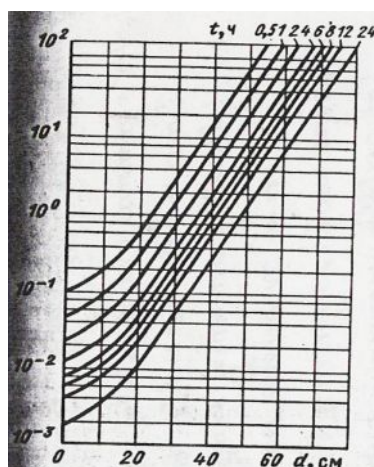
Үшінші тип номограммалары эквивалентті дозаның өлшенген және есептелген дозаларын, сәулелену уақыты мен қорғаныш қалыңдығын өзара байланыстырады және персоналдың шекті рұқсат етілген шарттары үшін жасалынған.



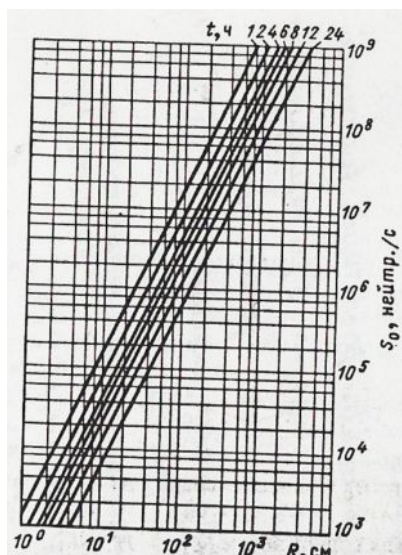
41-сурет - Po-α-Be- көздің қорғанышын есептеу үшін бірінші тип номограммалары



42-сурет - Сумен бәсеңдету ретіне байланысты әр түрлі көздер үшін екінші тип номограммасы



43-сурет - Po-α-Be-көздің нейтрондарынан қорғауды есептеу үшін N және сәулелену ұзақтығын есептеуге арналған үшінші тип номограммасы



44-сурет - Экрансыз қорғанысты есептеу үшін төртінші тип номограммасы

Төртінші тип номограммалары көзің қуаты s_0 , бөліну көзі мен детектор арасындағы қашықтық R және сәулелену ұзақтығы t мәндерін өзара байланыстырады, олардың кез келген орналасуында қорғанышсыз кәсіби сәулеленуде жұмыстың шекті рұқсат етілген шарттары орындалады.

Бірінші, үшінші, төртінші тип номограммалары кәсіби сәулеленулер үшін есептелген.

Егер қорғаныш материалы ретінде парафин пайдаланылса, релаксация ұзындығы судағы релаксациядан P_0 -а-В –көзі үшін в 1,2 есе, ал P_0 -а-В-көзі үшін 1,16 есе кіші екенін есепке алу керек.

α -бөлшектердің сыртқы ағындарынан қорғану аса күрделі емес, себебі бөлшектер ионизацияның үлкен тығыздығына ие болған соң өз энергиясын жоғалтып, заттың салыстырмалы жұқа қабаттарында жұтылады.

Қабаттың қалыңдығын анықтау үшін α -бөлшектің берілген бөлшектен өту мүмкіндігін есепке алуымыз керек.

α -бөлшектің орташа өту мүмкіндігін үздіксіз баяулату жақындағанда келесі формула бойынша есептеуге болады

$$R_a = \int_0^{E_0} \frac{dE}{-dE/dx|_{\text{ион}}}, \quad (3.15)$$

бұл жерде $-dE/dx|_{\text{ион}}$ - α -бөлшек үшін жнергияның ионизациялық шығындары. α -бөлшектің сыртқы ағындарынан қорғанысты максималды өту мүмкіндігімен есептейді $R_a \approx \bar{R}_a$. α -бөлшектердің максималды өтуін, жуықталған эмпирикалық ара қатынастарды пайдаланып анықтайды.

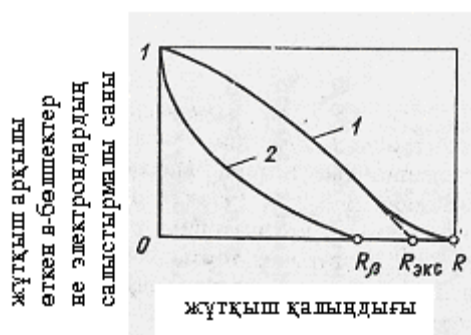
α -бөлшектердің ортадан өту ұзындығы үлкен емес. Ауада α -бөлшектердің ^{222}Rn ($E_0 = 5,5$ МэВ) шашырауында орта есеппен 4 см тең. Энергиясы $E_0 > 7,5$ МэВ α -бөлшек биологиялық ұлпа арқылы өткенде ол тері эпидермисы арқылы өтіп (70 мкм) базального қабатының сезімтал жасушаларына жетуі мүмкін.

Осылайша, α -бөлшектің сыртқы ағынынан қорғану үшін жұқа қорғау экрандары жеткілікті (жұқа фольга, қағаз парағы, хирургиялық перчатка т.с.с).

Бұл жерде қиыны ашық α -сәулелендіргіштермен жұмыс істеу. Бұл мәселелерде сыртқы ортаны радиоактивті заттардан қорғау қажет және олардың ағза ішіне түсуін болдырмау керек.

Электрондар, позитрондар және β -бөлшектерден қорғану радионуклидті көздер энергиясы диапазонында болмайды себебі олардың ортада шашырау қашықтығы үлкен емес. Бұл жердегі негізгі міндет екінші ретті тежелу сәулелерінен қорғану, ол β -бөлшектердің энергиясы мен ортаның атомдық номеріне тәуелді.

Электрондар мен β -бөлшектердің заттан өтудегі маңызды мінездемесі - шашырау қашықтығы, ол өту қасиетін анықтайды. Электрондардың өту қашықтықтары орташа R_a , максималды R_p и экстраполяцияланған (не практикалық) $R_{экс}$ болып бөлінеді.



45- сурет - Моноэнергетикалық электрондар мен β -бөлшектердің зат қалыңдығына тәуелділігі: 1 – моноэнергетикалық электрондар; 2 – β -бөлшектер.

Моноэнергетикалық электрондардың өту қашықтығы – ортаға қалыпты түсетін электрондардың бір де бірі одан бөлінбейтін зат қабатының минималды қалыңдығы. Практикада R_β біржақты анықтаудың қиындығынан экстраполяцияланған өту қашықтығын табады, ол экстраполяцияланған сызықты учаскенің абциссаның осі қисығымен қиылысу нүктесінде алынады. Орташа өту қашықтығын (өту қашықтығын) (5.29) формуласынан анықтайды.

β -бөлшектер өту қашықтығын есептеу үшін практикада эмпирикалық тәуелділіктерді жиі пайдаланады. Мысалы, β - бөлшектердің R_β , г/см² алюминиидегі 0,5-3 МэВ энергиясы диапазонындағы өту қашықтығы ү 5 % дәлдікпен келесі формула бойынша анықталады:

$$R_\beta = 0,52E_\beta - 0,09, \quad (6.16)$$

бұл жерде R_β - β - бөлшектің максималды өтуі

E_β - β -бөлшектердің шекті энергиясы, МэВ.

β -бөлшектердің алюминииде және ауада максималды өту қашықтығы R_β , см, келесі теңдіктерден алынады

$$R_{\beta} \approx 0,25 E_{\beta} \text{ алюминий үшін;} \quad (6.17)$$

$$R_{\beta} = 450 E_{\beta} \text{ ауа үшін,} \quad (6.18)$$

Бұл жерде E_{β} МэВ көрсетіледі.

β -бөлшектер ағынының тығыздығын жұтқышта бәсеңдету экспоненциалды заңға бағынады

$$\varphi(d) = \varphi_0 \exp(-\mu_m d) \quad (6.19)$$

бұл жерде d – жұтқыштың массалық қалыңдығы, г/см²; μ_m – электрондарды жұтудың массалық коэффициенті, см²/г.

Массалық жұтылу коэффициентінің мәндері μ_m , см²/г, жуықталып шекті β -бөлшектердің шекті энергиясының келесі тәуелділігінен алынады E_{β} , МэВ:

$$\mu_m = 15,5 E_{\beta}^{-1,41} \approx 17 E_{\beta}^{-1,43} \approx 22 E_{\beta}^{-1,33} \quad (6.20)$$

Негізгі әдибиет: 1[145-155]

Қосымша әдебиет: 2[75-80]

Бақылау сұрақтары:

1. Тіркелетін шамаға сәйкес жинақталу факторлары қалай бөлінеді?
2. Жылдам нейтрондардың ағыны тығыздығының таралуының релаксация ұзындығына таралу тәуелділігін жазыңыз?
3. Шығару кесіндісін бағалау қандай формула бойынша жүргізіледі?
4. Әр түрлі ортадағы α - бөлшектің өтуінің орташа ұзындығы қандай?

Дәріс 14. Иондайтын сәуле көздерімен жұмысты ұйымдастыру. Жалпы жағдайлары.

Иондағыш сәулелердің көздерімен жұмыс істеген кезде дұрыс еңбек ұжымы маңызды қызмет атқарады, олар жұмыс істейтін қызметкерлер мен жалпы адамдарға радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Мына оқиғада сәулеге түсіруге лайықты категорияларға жататын адамдарға арналған сыртқы және ішкі сәулеге түсіру көздері критикалық органдардың топтарынан регламенттелген мәнді шамадан асырмайды.

Иондағыш сәулелену көздерімен жұмыс істеу ұйымы үшін радиациялық қауіпсіздікті басқаратын құжаты «Радиоактивті заттармен және басқа да иондағыш сәулелену көздерімен жұмыс істейтін негізгі санитарлық ережелері ОСП-72/87» болып табылады. Негізгі ережелерді орындалу және мына құжат талаптарының орындалуы үшін міндетті түрде, жұмысқа арналған иондайтын сәулеленулердің көздерінің қолдануымен құрылыста, құралдардың реконструкциялары, учаскелердің, цехтардың және мекемелердің жобалауы кезінде ғана орындалады. Осы ережелерінің негізде министірлік және ведомстволардың санитарлы-эпидемиологиялық орган қызметкерлерінің келісумен иондағыш сәулеленулердің көздеріне байланысты жұмыстар өткізу сұрақтары туралы ережелер және инструкциялар жасауы керек.

Иондағыш сәуле көздерінің жұмыстары үшін «Негізгі санитарлық ережелерге» сәйкес, қондырғылар, контейнерлер, орамдар, транспорттық құралдар, аппараттар, жылжымалы құрылғылар және ғимараттарға

арналған, радиациялық қауіпті аймаққа назар аудару үшін, бұл объектіде ескерту белгілері болу керек.

Ашық көздермен жұмыс істеу кезінде, сыртқы сәулеленуден қорғау туралы шараларымен қоса радиоактивті ластанудан қоршаған ортаны және тұрғындар мен қызметкерлердің ішкі сәулеленуінен қорғау туралы шаралар қарастырылуы керек.

Иондағыш сәулелердің көздерімен жұмыс істеуге арналған мекемелер, ғимараттар және жұмысқа қажетті құралдарды пайдаланудың алдында тексеру комиссияларынан өту керек. Қабылдау комиссиясының актісі негізінде жергілікті мемлекеттік санитарлық бақылау органдары, иондағыш сәулелердің көздерімен жұмыс жүргізу және оларды сақтау құқықтарына байланысты, мемлекеттік санитарлық төлқұжатын 3 жыл мерзімге ғана дайындайды. Мекеме администрациясы сәуле көздерімен жұмыс істейтін, ішкі тәртіп ережелерін дамытатын, радиациялық қауіпсіздік нұсқауын және апатты жою мен ескерту туралы (өртті) нұсқауды білетін адамдар тізімін анықтайды, қызметкерлерді оқытады және оларға нұсқау береді, жұмыс істейтін қондырғылар мен басқару жұмыстарының білімдерінің тексеруін өткізеді, қауіпсіздікті және радиацияны бақылайтын жауапты адамды белгілейді, жұмысқа кіргенде міндетті түрде дәрігерлік бақылау ұйымдастырады және жиі дәрігерлік тексерулер жүргізеді. Радиациялық қауіпсіздік нұсқауы бойынша есеп жұмыстарын өткізу, сәуле көздерін сақтау және оларды беру, радиоактивті қалдықтарды жинау және жою, жеке сақтандыру профилактикасы, радиациялық бақылау өткізу ұйымдарының реті баяндалады және иондағыш сәулелердің көздерімен жұмыс істеу шаралары өткізіледі. 18 жасқа толмаған балалар иондағыш сәулелену жұмыстарына жіберілмейді.

Иондағыш сәуле көздерінің жұмыстары үшін, учаскелер мен құралдарға арналған, мекемелердің талаптары жасалған. Мұндай мекемелер мен қондырғыларды балалар мекемелері мен адамдар тұратын ғимараттарда орналастыруға тиым салынады.

Мұндай зиянды мекеме құрылысын салу үшін, адамдар тұратын ғимараттардан, қоғамдық және санитарлық шипалы мекемелерден және демалу зоналарынан өтетін, жел бағыты бойынша таңдау қажет. Сәуле көздерімен жұмыс істеуге арналған ғимараттардың айналасында, санитарлық-қорғау аймағы (СҚА) мен бақылау аймағы (БА) орналасқан.

Санитарлық-қорғау аймағына ғимараттың айналасы немесе радиоактивті қалдықтар тасталған жерлер жатады. Бұл аймақта шектелген тертіп орнатылады және радиациялық бақылау өткізіледі. Бұл жерде адамдар мен балалар тұратын ғимараттар мен шипалы мекемелерді салуға болмайды, сонымен қатар иондағыш сәулелердің көздерімен жұмыс істеп жатқан мекемеге қатысы жоқ өнеркәсіп немесе ғимарат салуға тиым салынады. Бақылау аймағы - мекемеден радиоактивті қалдықтарды тастау аумағы және тұрғындарға сәулелену анықталған шекті мөлшерлерге дейін жетуі мүмкін. Бақылау аймағының территориясында радиациялық бақылау өткізіледі.

Аймақ мөлшерлері сыртқы сәулеленудің мөлшерінің есебі негізінде анықталады немесе атмосфераға радиоактивті қалдықтардың жайылуы, өндірістің қуаттылығының күштілігіне, сонымен қатар метеорология, гидрологиялық және экологиялық факторларға байланысты радиоактивтілік лас қалдықтардың барлық тазалау жүйесінен кейінгі атмосфераға тасталынған қалдықтардың суаттарға тасталулары. Мемлекеттік санитарлық бақылау органдарының келісумен РК құрылыстарының әрбір нақты оқиғасында СҚА және БА мөлшерлері табылады. Бақылау аймағының алаңы әдетте санитарлық қорғау аймағының алаңына қарағанда біршама артығырақ болады. Мысалы, АЭС өндірісі алаңының айналасында СҚА 3-5 км радиусты болады, ал БА мен АЭС-ың ара қашықтығы 20-30км жазықтықты алады.

Жабық сәуле көздерімен жұмыс істеу. Конструкцияға байланысты радиоактивтік заттардың қоршаған ортаға таралмауын жабық иондағыш сәулеле көздері деп атайды. Демек, мұндай жағдайда қызметкер сыртқы сәуле түсуіне ұшырауы мүмкін. Мысалы, осындай жағдайлар (бөліну көздері), технологиялық процестердің бақылау құралдарында, радиациялық технология құралдарында, диагностикада және радиациялық аумақта пайдаланады. Бөліну көздерінің орнына бұл құралдарда радионуклидті жабық көздер, сонымен қатар рентген аппараттары мен үдеткіштер қолданылады.

Радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуінің негізгі талаптарына, жұмыс орнындағы сыртқы пототты төмендету және сәулеленуден қорғау ғимараттары жатады.

Мұндай құралдар арқылы, сыртқы сәулеленуден қорғану үшін, қаралған тәсілді пайдалана отырып есептеледі.

Ашық шектелмеген бағыттағы сәуле тұратын құралдар мен стационарлық аппараттардың жұмыс істейтін бөлігі жеке ғимаратта орналасуы керек.

Бөліну көзінің кез-келген жайларына және бағыттарына қарай бұл ғимараттың едені мен төбелерінің материалы және қабырғаларының жуандығы сәуле көздерінің шоғырының бағыттарын әлсіретуін қамтамасыз етуге тиісті.

Аппаратты немесе қондырғыны басқару пультын көрші ғимаратта орналастырады. Аппарат орналасқан, ғимаратқа кірер есікті, қызметкерге кездейсоқ сәуле түсу мүмкіндігін болдырмау үшін, өліну көзі тұрған механизммен немесе жоғарғы (тездетілген) қуатты қосқышпен қоршау керек. Бұл ғимараттар, сәуленің орналасуы немесе энергия көзінің қосылуы мен дозаның берілген қуатынан артуы кезінде, сигнал беру жүйесімен жабдықталуы керек.

Жұмыс істемей тұрған жағдайда, барлық иондағыш сәулелердің көздері тоқсызданған радионуклидті көздерде емес, қорғағыш құрылғыларда болуы тиіс.

Бөліну көзінің жұмыс жайына келтіру немесе энергия көзін қосу үшін дистанционды басқару жүйесі арқылы орындалады.

Құрылғылардың жұмыстарын басқару, пульт арқылы орындалады. Жұмыс камерасына кіру лабиринт арқылы жүзеге асады.

Ғимарат сыртында немесе жалпы өндіріс ішінде, аппараттар және құралдарды пайдалану арқылы сәулеленулердің жабық көздерімен жұмыс істеу кезінде сәулелерді жерге қарай немесе адам жоқ жерге қарай бағыттау керек. Адамдардың бөліну көзінің маңына жақындауына шек қойылу керек, ол үшін 3 м аралығында анық көрінетін қауіп туралы ескертетін плакаттары мен жылжымалы қоршаулар мен қорғау экрандарын қою керек.

Құрылғыны қайта зарядтау үшін, контейнерден радионуклид көздерін шығару үшін, дистанциялық аспапты немесе манипуляторларды пайдалану керек.

Сәулеленің радиоактивтік көздерін қолмен ұстауға тиым салынады.

Эквивалентті сәулелену дозасының қуаты, дефектоскопикалық, терапевтикалық және басқа да аппараттарға қарағанда 30мкЗв/сағ. , ал радионуклидті құрылғы үшін, қорғаныс аппаратынан блок бетіне дейінгі ара-қашықтығы 1 м аралықта 3мкЗв/сағ. аспауы керек.

Ғимараттарға және аппарат пен құралдарды орналастыруға арнайы талаптар қойылмайды, егер де оларды қолдану кезінде сәуле мөлшерінің қуаты жұмыс жағдайында тұрғанда және бөліну көзінің сақтау кезінде құрылғының бетінен қол жететін бөлшектерге дейінгі аралық 1 м болғанда 30мкЗв/сағ. аспайды.

400нГр-м/с-ден аса керма-эквивалентті жабық көздермен жұмыс істеу кезінде арнайы дистансионды басқару құрылғыларын пайдалану керек.

Сәуленің жабық көздерімен жұмыс істеу кезінде қайтадан зарядтау және жөндеуден өткен құрылғыларды уақытша сақтайтын ғимараттардан басқа, ғимараттарға өңдеу жұмыстары үшін арнайы талаптар қойылмаған.

Ашық түрдегі радиоактивті заттармен жұмыс істеу. Қорғау кешенінің шаралары бойынша ашық көздермен жұмыс істеген кезде, сыртқы сәуледен ғана емес, ішкі сәулеленуден де адамдардың қорғанысы қамтамасыз етілуі керек, сонымен қатар радиоактивті лас заттармен ауаны және жұмыс аймағын, адамдардың терілері мен қызметкерлердің киімдерінің ластануын болдырмау, сонымен қатар ауаның-сыртқы орта объектілерінің, сулардың, өсімдіктер өсетін топырақты да қорғау керек.

Көрсетілген шаралар кешендерін міндетті түрде, мына ұйымдар үшін қарастырылу керек, мысалы, ядролық реакторлардағы жұмыс ұйымындары, әсіресе жөндеу жұмыстарын өткізуі кезіндегі потенциалды қауіпі бар радиохимия өндірісі, радиоактивті заттардың жұмыс орнына және сыртқы ортаға енуі.

Жабық көздердің жұмыстарының негізгі профилактикалық шараларының қатарына мына жұмыстар жатады: ғимаратты орналастырулардың жоспарлауды дұрыс таңдау, жабдықтар, ғимараттарды өдеу, технологиялық тәртіптер, жұмыс орындарды тиімді ұйымдастыру және жұмысшылардың жеке гигиенасын сақтауы, желдеткіштердің орынды тәртіптері, сыртқы және ішкі сәуле түсуден қорғаныс ұйымдары, радиоактивті қалдықтарды жинау және жою.

Көрсетілген шаралардың орындалуының талаптары жұмыстардың түрлеріне байланысты болады, қолданылған радионуклидтің құрамы және белсенділігі, радиоактивті заттар ішкі сәуленің потенциалды көздері сияқты радиациялық қауіп дәрежесі бойынша төрт топқа бөлінеді.

Топтардың шекаралары ең аз мәнді белсенділікпен орналастырады (МЗА), осымен жұмыс орнындағы ашық көздердің ең азы белсенділігі түсіндіріледі, бұл көзді пайдалану үшін Мемлекеттік санитарлық бақылау органдарынан рұқсат алуға талап қойылады. 3,7-3700 кБк диопозонда әртүрлі радионуклидер үшін МЗА өзгереді. 10 кэВ (теледидар) дейінгі энергия көздерін қолдану үшін, арнайы талап қойылмайды. Радионуклидтің радиациялық қауіп-қатер төрт топқа бөлінеді: А тобы - МЗА 3,7 кБк радионуклидтер; Б тобы - МЗА 37 кБк радионуклидтер; В тобы - МЗА 370 кБк радионуклидтер; Г тобы - МЗА 3700 кБк радионуклидтер.

Ашық көздердің жұмыстарының барлығы үш класқа бөлінеді (I,II,III). Жұмыс кластары радионуклидтің радиациялық қауіп тобына байланысты орналастырады.

Сұйықтықпен (булаусыз, айыру, ботажа және т.б.) қарапайым операция жұмысы кезінде, жұмыс орнында радионуклид белсенділігі сақтау кезінде 10 немесе 100 рет артады. Ашық көздермен жұмыс жүргізу кластарына орналастыру және ғимарат жабдықтарының талаптары жатады. Ашық көздермен жұмыс жүргізу бөлмелерінің есіктерінде жұмыс класын көрсетіп және радиациялық қауіпті деген ескерту белгісі іліну керек.

14-кесте - Әр түрлі кластар үшін ашық қайнар көздермен (Бк) жұмыс істеу орнында орындалатын радионуклидтің нақты белсенділігі

Радиациялық қауіп тобы	Жұмыстардың класы		
	I	II	III
А	$> 3,7 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^5 - 3,7 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^3 - 3,7 \cdot 10^5$
Б	$> 3,7 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^6 - 3,7 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^4 - 3,7 \cdot 10^6$
В	$> 3,7 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^7 - 3,7 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^5 - 3,7 \cdot 10^7$
Г	$> 3,7 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^8 - 3,7 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^6 - 3,7 \cdot 10^8$

Ерітінділерді буып-түю және сақтауға арналған III -классты жұмыстар, бөлек ғимараттарда орындалады (талаптарға сәйкес, химиялық зертканалары бар бөлмелер (орындар) бөлінеді). Жуынатын жер салынуды ұсынады. Радиоактивтік лас заттардың ауаға таралуы мүмкіндігі бар жұмыстары (ұнтақтармен жұмыс істеу операциясы, эмальдау және ұшқыш заттармен жұмыс істеу) сорғыш шкафтарда жүргізілуі керек. Шкафтардың метал құрылымдарын және жұмыс столдарын әлсіз сорылатын материалдармен жабылуы керек.

II-класс жұмыстарына арналған бөлмелер, ғимараттардан бөлек жерде орналасады. Бұл ғимараттың құрамында санитарлық өткізу, шлюз немесе жуынатын жер және шығар кезде радиацияны бақылайтын пункттер болуы керек. Ғимараттар сорғыш шкафтар мен немесе бокстармен жабдықталуы керек.

I-класс жұмыстарына арналған ғимараттар, басқа ғимараттардан бөлек жерде немесе есіктері бөлек орналасқан, санитарлық пропуск арқылы ғана кіреді, ол жер бокспен, камерамен, коньонмен немесе басқа да герметикалық жабдықтармен жабдығталады және үш зонаға бөлінеді (үш зоналы жоспаралау):

1-ші аймақ - радиоактивтілік лас заттар мен сәуленің негізгі көздері болатын технологиялық жабдықтар және коммуникациялар орналасқан қызмет көрсетілмейтін ғимарат;

2-ші аймақ – периодты қызмет көрсететін ғимарат, технологиялық жабдықтарды ашуға байланысты, жабдықтарды жөндеу және басқа да жұмыстарға арналған ғимарат;

3-ші аймақ - қызметкерлердің барлық ауысым кезіндегі тұрақты жұмыс істеу орны.

Ғимарат аймағынан 3-ші аймаққа лас заттарды шығару кезінде мүмкін болатын қатерлерді болдырмас үшін, аймақтардың аралығында санитарлық шлюз орналастырылған.

Радиоактивті заттармен камерада және бокста жұмыс істеу кезіндегі өндіріс операциясын дистанциялық құралдармен және қолғаптардың көмегімен орындау керек.

Технологиялық және қорғау жабдықтарын даярлау үшін міндетті түрде, қолданылатын заттарға, реактивтерге байланысты тұрақтылықты қамтамасыз ететін әлсіз сорылатын материалдарды немесе жабуларды қолдану қажет.

Жұмыс істеу үшін II-ші класты және I-ші класты 3-ші аймағындағы, сонымен қатар I-ші кластың 1-ші мен 2-ші аймағындағы ғимараттардың едендері, қабырғалары және төбелері жуғыш құралдарға төзімді азсорбирленетін арнайы материалдармен жабылуы керек. Ғимарат, әр түрлі дәрежедегі радиоактивті ластағыш заттары бар аймаққа жатады, әр түрлі түстерге бояуға болады.

Едендердің шеттері жамылғысы көтеріліп тұруы керек.

Бір жұмысшы үшін ауданды есептегенде 10м^2 -тан кем болмауы керек.

Радиоактивті лас заттардың түсуін азайту үшін жабдықтар мен жұмысшы жиһаздарының беті тегіс және қарапайым контрукциялы болуы керек.

Жұмыс орнындағы радиоактивті заттардың саны жұмысқа қажетті мөлшерде ған болу керек және де ең аз активтілігі бар ерітінділерді қолдануға ұсынады.

Радиоактивті заттардың (ұнтақты себу, айдау) жоғалуға мүмкіндігі бар операциялардың саны минимальды болуы керек.

Ашық радиоактивті заттармен жұмыс жасау кезінде жабдықтар мен ғимараттардың беттерінің ластануын болдырмау үшін пластикалық пленка, сүзгіш қағаз және басқа да бір рет қолдануға арналған материалдарды пайдаланады.

Радиоактивті заттармен жұмыс жасау кезінде, жұмыс орнындағы желдеткіштер мен ауа тазартқыш құрылғылары НРБ-76/87 талабына сәйкес,

ауадағы лас заттардан қорғауды қамтамасыз ету керек, сонымен қатар аз ластанған бөлмеден көп ластанған бөлмеге қарай бағыт жасау керек.

Радиоактивті заттармен жұмыс істеу ғимаратынан шыққан ластанған ауаны, міндетті түрде жоғары эффектілі сүзгіз арқылы тазартады, ал І-ші және ІІ-ші класты жұмыстар үшін құбырлар пайдаланады. Құбырдың биіктігі, НРБ талаптарына сәйкес, атмосфераға таралатын радиоактивті заттардың концентрациясын мүмкін деңгейге дейін азайтуды қамтамасыз етеуі керек.

Егер де радиоактивті заттардың қалдықтарының концентрациясы $ДК_A$ шамасынан аспаса, вентиляция ауасын тазартудан өткізбей-ақ жоюға болады. В категориясындағы ішкі және сыртқы сәулелену шамасы, анықталған мөлшердің шегінің шамасынан аспауы керек.

Жабық ойық кезінде, герметикалық камералар мен бокстерде 200 Па-дан (20мм су бағ.) кем емес ыдырату қамтамасыз етілуі керек.

Бокстағы және камерадағы кезегімен ашылатын ойықтың ауа қозғалысының жылдамдығы 1 м/с кем болмауы керек, $ДК_A$ шегіндегі жұмыс істеу орындарында ауа ортасының тазалығын сақтау шарты бойынша, ауа жылдамдығының азаюы 0,5 м/с-қа уақытша рұқсат етіледі.

Ашық түрдегі радиоактивті заттармен жұмыс өткізу мекемелерінде, су құбыры және канализациялар болуға тиісті. Арнайы канализация жүйесі, ағынды сулардың дезактивациясын және технологиялық мақсаттарда қайта қолдануға пайдалануы үшін қарастырылуы керек. Тазалау ғимараттары, мекеме аумағындағы арнайы ғимараттарда орналасады. Радиоактивті қалдықтарды төгуге арналған қабылдағыштар, арнайы канализация жүйесінде, тоттануға-берік материалдардан немесе ішкі және сыртқы беттері жеңіл дезактивирленген тоттануға-берік жамылғыдан дайындалуы керек.

Атом энергетикасының және иондағыш сәулелердің көздерінің дамуы халық шаруашылығында, техникада, ғылымда, медицинада кең қолданудың арқасында, радиоактивті қалдықтардың санының өсуіне алып келеді, бұл қалдықтарды қайта өңдеп және көміп тастау керек. Мысалы, айта кетсек, АЭС 1ГВт өндірісінде 1 жылда электр энергиядан пайда болатын, шамамен 11 ЭБк радиоактивті қалдықтар шығарады. Қайта өңделген және көміліп тасталған қалдықтардың проблемалары мен жалпы радиациялық қауіпсіздік проблемалары жағдайдың қиындауына алып келеді.

Егер құрамындағы радиоактивті заттар суға арналған $ДК_B$ шамадан асса, мекемедегі сұйық қалдықтар радиоактивті деп есептеледі. Егер салыстырмалы активтілігі $7,4 \cdot 10^4$ Бк/кг көп болса, қатты қалдықтар радиоактивті деп есептеледі.

Шаруашылық тұрмыс канализацияға концентрациялы радиоактивті ағынды су жіберілуге болады, $ДК_B$ асатын су үшін 10 реттен артық болмауы керек, егер осы мекеме коллекторында радиоактивтіліксіз ағынды сулармен он есе сұйылтуы қамтамасыз етілсе, ал радиоактивтілік заттардың суммарлы тасталуы ағыста анықталған мүмкін деңгейді шамасынан аспайды. Аз мөлшерлі сұйық қалдықтарды (200л-ден азырақ), сонымен қатар өндеуге

келмейтін қалдықтарды, радиоактивті қалдықтарды көму пунктеріне (РҚКП) арналған арнайы сыйымдылықта жинайды.

Сұйық радиоактивті қалдықтарды тоғандарға, күлдерге және су қоймаларына ағызуға тиым салынады, өйткені ол жерде балық пен құстар өсіруі мүмкін.

Ашық түрдегі радиоактивті заттарды қолдану жұмыстарын өткізу кезіндегі жабдықтардың, аспаптардың, лабораториялық ыдыстың, аппаратуралардың, сыртқы беттердің радиоактивті ластануы, сонымен қатар арнайы киім сақтауға арналған санитарлық пропуск бөлімшелерінде беттердің ластанудың анықталған мүмкін деңгейлері шамадан асырылмауы керек. Камералардың, бокстердің және сорғыш шкафтардың сонымен қатар оларда орналасқан жабдықтардың ішкі беттерінің ластануы нормаланбайды.

Негізгі әдибиет: 1[155-165]

Қосымша әдебиет: 2[80-85]

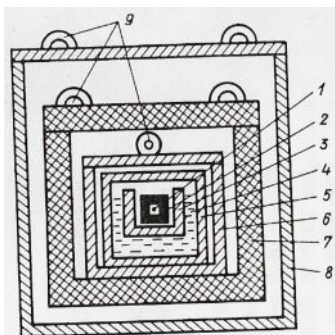
Бақылау сұрақтары:

1. Радиациялық қауіпсіздікті басқаратын құжат қандай?
2. Қандай көздер жабық көздер деп аталады?
3. Жабық көздермен жұмыс істеуде радиациялық қауіпсіздіктің қандай негізгі талаптары бар
4. Ашық көздермен жұмыс істеуге арналған негізгі талаптар

Дәріс 15. Радиоактивті заттарды тасымалдаудың қауіпсіздік негіздері.

Кеңінен қолданылатын әр түрлі иондағыш сәуле көздері радиоактивті жүктердің тасымалдарының өсуіне әкеледі. ТМД-да соңғы 30 жылдықта жыл сайынғы радиоактивті нуклидтерді тасу орамаларының саны 10 есеге дейін артты.

Егер А активтілігі анықталған шекті мүмкін мәнінен азырақ болса, радиоактивтілік заттар қауіптісіз жүктерде тасымалданады, $(3,7 \cdot 10^{-2} - 3,7 \cdot 10^2)$ МБк диапозонында әр түрлі радионуклидтер үшін өзгереді. Орамалардың беттерінде эквивалент мүлшерінің қуаттылығы мк в/ч. артық болмауы керек.



46-сурет - Радиоактивті заттарды тасымалдауға арналған буып-түйетін комплекттің принципіалды схемасы

Радиоактивтілік жүктердің тасымалдауы тасымалдағыш буып-түю комплексі арқылы жүзеге асады, олар көптеген элементтерден құрылуы

мүмкін. Олардың жұмыс істеу қызметтері: иондағыш сәулелерді әлсіретуге арналған, қорғағыш контейнері 7; 6-(қосымша-(енгізгіш) қорғағыш - иондағыш сәулелердің қайтадан әлсіреуіне арналған қосалқы буып-түю жабдықтары; радиоактивті заттар 1 салынған алғашқы сыйымдылықты 2 тиеуге және түсіруге қауіпсіз және ыңғайлы жасау үшін арналған тиегіш стакан 3; қосалқы буып-түйетін құралдар 4- алғашқы сыйымдылықты сақтауға арналған және апат жағдайы болған кездегі радиоактивтік заттарды жұту материалдары; қоршаған ортаға радиоактивтік заттардың таралмауын болдырмайтын герметизациялағыш ыдыс 5; буып-түю комплекстері мен құрама бөлімшелерінің қызметкерлермен, транспорт құралдарымен және де басқа қоршаған орта объектілерімен байланысын болдырмайтын қорғаныс ыдысы 8; тасып-тиеу жұмыстары үшін, буып-түю көмлекстерінде жүкті көтеру мен түсіруге арналған жүк көтергіш элементтері 9.

Сонымен қатар, буып-түю комплексінде артық қысымды шығаруға және жылудың келуіне арналған құрылғылар болуы мүмкін.

Буып-түйетін комплексінің үш түрі болады: I- β -сәулелердің және сәулелердің басқа түрлерінің көздерін тасымалдауға арналған; II- нейтрон көздері және сәуленің басқа түрлері үшін арналған; III- α және β сәулелерінің көздері үшін. I-ші түрдегі буып-түю комплекстерінде γ -сәулелерінің көздері үшін қорғасыннан, шойыннан, болаттан немесе басқа ауыр материалдан тұратын радиацияға қарсы құрылғылар болады (қорғау контейнері, қорғау енгізгіштер). II-ші түрдегі буып-түю комплекстерінде нейтронды сәулелерден қорғану үшін парафин немесе бор мен кадмия қосылған басқа да құрамында сутегі бар заттарды қолданады. III-ші түрдегі буып-түю комплекстерінде, ережеге сәйкес алюминий және әр түрлі пластмассадан тұратын жеңіл материалдары, сонымен қатар қорғасыннан жасалған кішкене қорғаныс енгізгіштері пайдаланады.

Радиоактивтік заттардың тасымалдануы негізгі екі түрге бөлінеді - А және В.

А типті буып-түю комплекттері, радиоактивті заттарды тасу кезіндегі (биіктіктен құлау, қасындағы жүктің соғылуы, қысылу, өткінші жаңбыр) транспорттың жақсы жағдайлары үшін есептелген. В типті буып-түю комплекттері, тасу кезіндегі апат жағдайларына төзімділігін қамтамасыз ету керек.

Орамалардың сыртқы беттерінен 1 метр ара қашықтықта орналасқан кез-келген нүктеден эквивалент дозасының қуатын анықтайтын, радиациялық орамалардың төрт транспорттық категориялары қондырылған.

Орам диаметрінің мөлшері 58 см кем болса, лимиттелуші көрсеткіші болып орамалардың бетінде эквиваленттік мөлшерінің қуаттылығы көрсетіледі, ал диаметрлері үлкен болған жағдайда 1 м ара қашықтықта, сәулелену мөлшерінің қуаттылығы көрсетіледі.

Егер дозаның қуатының ара қашықтығы орамнан 1 м болса, онда оны әр түрлі көлік категорияларына алып бару керек, немесе ең үлкен транспорттық категорияға орналастырады.

Көліктегі А категориясында істейтін жұмысшыларға төмендегілер жатады: буып-түю, жүкті тиеу, жүкті түсіру, алып бару, радиоактивтік заттарды уақытша сақтау.

Көліктегі В категориясына жұмысшы адамдар мен жолаушылар жатады, бұл мамандық радиоактивті жүктермен тікелей байланыста болуды талап етеді.

Бұлар - жолаушы және жүк таситын шақ экипаждары, жүктік үлестіріп берушілер, жалпы пайдалануға арналған автокөлік жүргізушілері, жөндеушілер, радиациялық жүгі бар жөндеуші көлік, жүк қабылдаушылар және автошаруашылықтың басқа да қызметкерлері, әуежайлар, станциялар, өзен және теңіз порттары, бұлардың бәрі өз қызметінде радиоактивтілік заттарды тасымалдау жұмыстарына қатысы болады.

Бөлінетін заттарды тасымалдау процесі кезінде радиациялық қауіпсіздік талаптары сақталуы тиіс және оған қоса арнайы ядролық қауіпсіздік шаралары өткізіледі, бағытталғандар қиын-қыстаулық күй-жағдай көріну (өздігінен пайда болатын цеп ядролық реакциялар және ядролық жарылуды сырқыра) зат транспортируемогосы.

Радиациялық жүктерді маркілегенде, жүктің сипаты және жүк туралы мәліметтер берілуі керек. Жүкті жіберу үшін, жүктің екі қапталына, қауіптілік белгісі жапсырылады.

Жеке қорғаныс құралдары (ЖҚҚ). Ашық түрдегі радиоактивтік заттармен жұмыс жасаған кезде міндетті түрде жеке қорғаныс құралдарын қолдану керек.

Жеке қорғаныс құралдарына (ЖҚҚ) арнайы киімдер, аяқ киім, әр түрлі құралдар мен жабдықтар (респираторлар, пневмокостюмдер, противогаздар) жатады, бұлар жұмысшыларды сыртқы ортаның зиянды факторларынан қорғайды. Радиоактивтілік заттармен жұмыс істеген кезде осы жеке қорғаныс құралдары адамдардың демалу және ас қорыту мүшелерін, және де терілерін қорғайды.

Технологиялық құрылғылар разгерметизацияға ұшырағандағы жөндеу және апаттық жұмыстарды орындау кезінде, қауіпті және зиянды өндіріс факторлары аса үлкен роль атқарады.

Жеке қорғаныс құралдарын келесі негізгі түрлерге бөлуге болады:

1) оқшаулағыш костюмдер - пневмокостюмдер, гидроизоляциялау костюмдер;

2) демалу жолдарын қорғайтын құралдар - газқағарлар, респираторлар, пневмошлемдер және т.б.;

3) арнайы киімдер - комбинезондар, жартылай комбинезондар, кеудешелер, шалбарлар, халаттар, алжапқыштар және т.б.;

4) арнайы аяқ киімдер - етіктер, бәтеңкелер, ұзын қонышты етіктер және т.б.;

5) қолға арналған қорғағыш құралдары - қолғаптар;

6) көзге арналған қорғағыш құралдар - қорғағыш көзілдіріктер;

7) сақтану әдістері – қолмен қабылдау, манипуляторлар және т.б.

Жеке қорғаныс құралдарын таңдау жұмыс шарттарына және радиациялық жағдайға, орындалатын жұмыстың сипаты мен көлеміне байланысты анықталады; Мысалы, ыстық лабораторияларда едендері дезактивациялау жұмыстарын орындау үшін, ЖҚҚ-ың комплекстері қолданылады, оларға ақ матадан тігілген комбинезон немесе костюм, іштен киетін ішкіім, шұлық, арнайы аяқ киім, «Лепесток-200» респираторы, алжапқыш, жеңқаптар, пластикті ұзын қонышты етіктер немесе резеңке етіктер, резеңке қолғаптар және мақта-мата қолғаптары жатады.

Ашық көздермен жұмыс істеу учаскелеріне келіп-кететін және ол жерде жұмыс істейтін адамдарды, жұмыстың түріне және кластарына байланысты ЖҚҚ-мен міндетті түрде қамтамасыз ету керек. I-ші кластың және II-ші кластың жеке жұмыстарын орындайтын жұмысшылары, ауадаға радиоактивті заттардың сипатына байланысты комбинезонмен немесе костюммен, қалпақпен, арнайы іш киіммен, шұлықпен, бөтеңке немесе жеңіл аяқ киіммен, қолғаппен, бір рет қолданатын сүлгілермен, беторамалдармен, сонымен қатар демалу жолдарын қорғайтын құралдармен қамтамасыз етілуі керек. II -ші кластың және III -ші кластың жеке жұмыстарын орындайтын жұмысшылары, халатпен, бас киіммен, қолғаппен, жеңіл аяқ киіммен және қажеттілік болған кезде демалу жолдарын қорғау құралдарымен қамтамасыз етілуі керек.

Радиоактивті аэрозолдермен жұмыс істеу кезінде (ұнтақтармен жұмыс істеу, радиоактивті ерітінділерді булау жұмыстары) ғимараттың ауасы ластанғанда, дем алу жолдарын қорғайтын арнайы сүзгіш немесе оқшаулағыш құралдарды қолдану қажет.

15-кесте - Орамалардың транспорттық категориялары

Транспорттық категория	Транспорттық категориясының этикеткасының түстері	Эквивалентті сәуле дозасының шекті рұқсат етілген қуаты, мЗв/ч	
		Ораманың сыртқы бетіндегі кез келген нүктеде	Орамның сыртқы бетіндегі кез келген нүктеден 1 м қашықтықта
I	Ақ	0,005	Саналмайды
II	Сары	0,5	0,01
III	-//-	2,0	0,1
IV	-//-	10,0	0,5

Радиоактивті газдар мен булармен және жұмыс істеу кезінде ғимарат ауасын ластауы мүмкін немесе сүзгіш құралдарын қолданған кезде радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етпесе, онда оқшаулағыш қорғаныс құралдарын қолдану керек.

Радиациялық қауіпсіздік қызметінің шарттары. Иондағыш сәулеленулердің көздерімен жұмыс жасау кезінде радиациялық бақылау ұйымдары болмаған жағдайда, жұмысшыларға және және қоршаған ортаға қауіп туғызады. Сондықтан да, радиациялық заттар мен иондағыш сәуле көздерімен жұмыс өткізілетін барлық жерлерде, радиациялық қауіпсіздік қызметтері жасалған.

Радиациялық қауіпсіздік қызметінің жұмыстарын орындауға арналған, ережеге сәйкес, өзінің құрамында топтардың (учаскелер) қатары болады.

Радиациялық қауіпсіздік қызметінің мақсаты - жұмыстың қауіпсіздік жағдайын қамтамасыз ету, құрылғыдағы радиация деңгейіне жүйелі бақылау кіру, лабораторияларда және жұмысшы аймақтарында қоршаған ортаның радиациялық жағдайын бақылайды.

Радиациялық қауіпсіздік қызметінің негізгі мақсаты келесідей орындалады:

1) радиациялық қауіпсіздік пен (иондағыш көздермен жұмыс жасалатын қондырғылаға, жұмыс орындарына, лабораторияларға байланысты санитарлық ережелері мен нұсқаулары) сәуле көздерімен жұмыс істеу нормаларын сақтауды бақылау, радиациялық қауіпсіздік аймағындағы қызметкерлердің классификациясын жоғарлату үшін курс ұйымдарын жүргізу және әр жыл сайын осы сұрақтарға қатысты білімдерін тексеру жүргізіледі, барлық қызметкерлердің дәрігерлік тексеруден өтуін қамтамасыз ету;

2) жұмыс орындарындағы, көрші ғимараттардағы, мекеме аумағындағы стационарлы және тасымалдау құралдарын пайдалануға арналған радиациялық жағдайды бақылау. Осыдан келіп киімдерде, тері жамылғыларында және жұмыс орындары мен жабдықтарда болатын радиоактивті заттармен ластау деңгейлерінің, ғимарат ауасындағы радиоактивті газ бен аэрозольдің құрамында болатын сыртқы ағынды сәулелердің бақылауы жүзеге асады;

3) сәулеге түскен қызметкерлер жеке бақылаудан өтеді. Сыртқы сәулеленуді бақылау үшін индивидуальді дозиметрлерді, ал организмге немесе басқа да органдарға радиоактивті заттардың түсуін анықтау үшін индивидуальді пробоотборниктер қолданады;

4) сыртқы ортаның объектісіндегі радиоактивтік ластану деңгейін бақылау «Ішкі» дозиметрінің көмегімен жүзеге асады;

5) радиациялық жағдайды бақылау құралдарына - тексеру, калибрлеу және жөндеулер жатады;

6) мүмкін болатын апат жағдайын болдырмау үшін, қажетті шараларды қабылдау және өңдеу;

7) ғылыми-зерттеу жұмыстарын өткізу (ғылыми-методикалық өңдеу, есептеулер, радиациялық бақылау құралдарын жасау және т.б.).

Радиациялық қауіпсіздік қызметінің ұйымдық және нақты орындалуы, иондағыш сәулеленулердің көздерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Негізгі әдибиет: 1[165-175]

Қосымша әдебиет: 2[85-90]

Бақылау сұрақтары:

1. Радиоактивті заттар қандай жағдайда қауіпсіз жүктер ретінде тасымалданады?

2. ЖҚЗ қандай түрлерге бөлінеді?

3. ЖҚЗ қалай анықталады?

4. Қауіпсіздік қызметінің міндеттері қандай?

2.3 Тәжірибелік сабақтардың жоспары

Тақырып 1. Радиоактивті ыдырау заңының негізгі физикалық мінездемелерін анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Радиоактивті ыдырау заңы, нақты уақыт аралығында ыдыраған ядролардың санын анықтау, ыдырау тұрақтысы, радионуклидтер белсенділігін анықтау.

Негізгі әдебиеттер 1[26-28]

Қосымша әдебиеттер 6 [10-12]

Бақылау сұрақтары

1. Радиоактивті ыдырау заңы ?
2. Радиоактивті изотоптың жартылай ыдырау периодының анықтамасын беріңіз?
3. Ыдыраған ядролар саны қалай анықталады?
4. Радиоактивті изотоптың белсенділігі қалай анықталады?

Тақырып 2. Әр түрлі материалдардан жасалған γ - сәулеленуден қорғану экрандарының қалыңдығын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. γ -сәулеленудің қорғасынды, темірлі, алюминийлі экранмен сызықты өзара әсері. Әр түрлі заттарда γ -сәулеленудің жұтылуының сызықты коэффициенті.

Негізгі әдебиеттер 1 [64-67]

Қосымша әдебиеттер 6[14-18]

Бақылау сұрақтары

1. γ -сәулеленудің жұтылуының сызықты коэффициенті қалай анықталады?
2. γ -сәулеленудің экраны ретінде қандай заттарды лаған тиімді?

Тақырып 3. Радиоактивті заттардың жарылыс кезіндегі зиянды бөлшектердің шығу қуатын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Белгілі бір радиоактивті изотоп үшін жарылыс кезіндегі радиоактивті шанның шығу қуатын анықтау.

Негізгі әдебиеттер 2[12-14]

Қосымша әдебиеттер 7[21-25]

Бақылау сұрақтары

1. Радиоактивті заттардың лақтырысының қуаты қандай бірліктерде өлшенеді?
2. Радиоактивті заттардың лақтырысы қандай жағдайда жүзеге асады?

Тақырып 4. Радиоактивті заттардың жарылыс кезіндегі зиянды бөлшектердің шығу қарқындылығын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Жарылыс кезіндегі радиоактивті шанның шығу қарқындылығын анықтау.

Негізгі әдебиеттер 2[12-14]

Қосымша әдебиеттер 7[25-30]

Бақылау сұрақтары

1. Бір реттік лақтырыстарда қатты радиоактивті заттардың бөліну интенсивтілігінің анықтамасын беріңіз?
2. Радиоактивті заттардың бөліну интенсивтілігі қандай өлшем бірліктерде өлшенеді?
3. Радиоактивті заттардың бөліну интенсивтілігі қандай бірліктерде өлшенеді.

Тақырып 5. Радиациялық жағдайды болжау әдісімен анықтау және оны бағалау.

Әдістемелік ұсыныс. Ядролық - энергетикалық комплекстерде апат болған кезде радиоактивтік шанды анықтау.

Негізгі әдебиеттер 1 [43-67]

Қосымша әдебиеттер 7 [30-36]

Бақылау сұрақтары

1. Радиациялық жағдайды болжау принципі неге негізделген?
2. Сәулелену көздерінің классификациясы?
3. Радиациялық сәулелену көздері жоқ мекемелерде радиациялық жағдайды бақылау принциптері.

Тақырып 6. Ластану зоналарындағы қорғау отрядтарының шығынын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Жарылыс кезіндегі радиоактивті шаңтәріздес заттардың шығу қуатын анықтау.

Негізгі әдебиеттер 1[258-262, 67-73]

Қосымша әдебиеттер 5[38-48]

Бақылау сұрақтары

1. Радиациялық шығынды анықтау үшін қандай бастапқы мәліметтер қажет?
2. Эффе́ктивті сәулелену дозасы қандай тәуелділік бойынша анықталады.

Тақырып 7. Радиоактивті затпен ластанған аймақта құтқару отрядының жұмыс істеу уақытының ұзақтығын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Шаңтәріздес заттардың шығу және таралу қарқындылығын анықтау.

Негізгі әдебиеттер 1 [118-120] 5[71-74]

Қосымша әдебиеттер 6[120-125]

Бақылау сұрақтары

1. Зақымдалған аймақта адамдардың шекті болу уақыты бекітуге қандай негізгі мәліметтер қажет?
2. Зақымдалған аймақта жұмысты бастау уақыты қалай басталады?
3. Зақымдалған аймақта адамдар қанша уақыт болуы мүмкін?

Тақырып 8. Іс – жүзіндегі радиациялық жағдайды бағалау. β -сәулелену зоналарында құтқару отрядтарының шекті болу ұзақтығын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Атомдық электр станцияларда апаттың болу мүмкіндігін анықтау. Осындай жағдайлар үшін радиоктиктік заттармен ластанған аймақты анықтау.

Негізгі әдебиеттер 2 [72-73]

Қосымша әдебиеттер 6 [132-137]

Бақылау сұрақтары

1. Радиациялық жағдайды барлауда әскери емес құрылымдардың ролі қандай?

2. Радиоактивті бақылау посты қандай қызмет атқарады?

Әдістемелік нұсқаулар

Практикалық сабақтарды өткізуге арналған әдістемелік нұсқаулар. Есептеулер кезінде НРБ-99 алынған нормативтік мәліметтерді пайдалану керек.

Тақырып 9. Радиациялық жағдайды болжамдау және бағалау.

Әдістемелік ұсыныс. Радиацияның уақытқа тәуелділігін анықтау және радиациялық жағдайды белгілі формуламен есептеу.

Негізгі әдебиеттер 1 [43-67]

Қосымша әдебиеттер 7 [30-36]

Бақылау сұрақтары

1. Радиациялық болжамдау принципі неге негізделген.

2. Сәуле көздерінің классификациясы.

3. Сәуле көздері жоқ өндірістердің радиациялық жағдайын бақылау.

Тақырып 10. Әртүрлі заттрадан жасалған гамма сәулесінен қорғаныс экранының қалыңдығын анықтау.

Әдістемелік ұсыныс. Жартылай ыдырау периоды белгілі уран изотопының массалық үлесін анықтау.

Негізгі әдебиеттер 1[11- 120; 571- 74]

Қосымша әдебиеттер 6[120-125]

Бақылау сұрақтары

Тақырып 11. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан адамдардың қорғау.

Әдістемелік ұсыныс. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан адамдарды қорғаудың негізгі тәсілдерін анықтау.

Негізгі әдебиет 1[258-262]; 5[67-73].

Қосымша әдебиет:5[38-48].

Тақырып 12. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан жануарларды қорғау.

Әдістемелік нұсқау. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан жануарларды қорғаудың негізгі тәсілдерін анықтау.

Негізгі әдебиет :1[258-262]; 5[67-73].
Қосымша әдебиет: 5[38-48].

Тақырып 13. Радиоактивтілік бұлт ізінде адамдардың тірі қалу мүмкіндігін қамтамасыз етудің негізгі шаралары.

Әдістемелік ұсыныс. Радиоактивтілік бұлт ізінде адамдардың тірі қалу мүмкіндігін анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[247-262]; 5[99-133].

Қосымша әдебиет: 5[23-54].

Тақырып 14. Сумен қамтамасыз ету ғимараттарын радиоактивті зияндардан қорғау.

Әдістемелік ұсыныс. Сумен қамтамасыз ету ғимараттарын радиоактивті зияндардан қорғауды есептеу.

Негізгі әдебиет: 1[147-222]; 5[159-173].

Қосымша әдебиет: 5[78-98].

Тақырып 15. Жұғу ошақтарында азық үлестіру мен даярлау мүмкіндіктері.

Әдістемелік ұсыныс. Жұғу ошақтарында азық үлестіру мен даярлаудың негізгі тәсілдерін анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[304-362]; 5[196-243].

Қосымша әдебиет: 5[5-12].

« Радиациялық қауіпсіздік негіздері » пәні бойынша курстық жұмыстардың тақырыптары

Тақырып 1. Ядролық реакторлардың жұмыс істеу принциптері.

Тапсырма . Реакторлардың түрлері және сипаттамалары.

Негізгі әдебиет:1[208-242];

Қосымша әдебиет:3[30-48].

Тақырып 2. Сәулеленудің және биологиялық эффективтіліктің негізгі сипаттамалары.

Тапсырма. Иондайтын сәулелердің түрлерін және адам ағзасына иондайтын сәулелердің биологиялық эффективтілігін қарастыру.

Негізгі әдебиет:2[10-52];

Қосымша әдебиет:4[20-33].

Тақырып 3. Радиацияның шекті рауалы мөлшері және сәулелену дозасының негізгі сипаттамалары.

Тапсырма . Радиация апат кезіндегі радиация мөлшерін анықтау.

Негізгі әдебиет:1[56-72];

Қосымша әдебиет: 2[30-51].

Тақырып 4. Радиациялық барлау және дозиметриялық бақылау құралдары.

Тапсырма. Дозиметриялық бақылау құралдарының көмегімен сәулелену мөлшерлерін анықтау .

Негізгі әдебиет: 1[44-77].

Қосымша әдебиет: 6[12-18].

Тақырып 5. Радиоактивтілік ластану ошақтарын зерттеу.

Тапсырма. Радиоактивті заттардың шығарындыларының радиоактивтілік фонын анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[89-67]

Қосымша әдебиет: 6[14-18].

Тақырып 6. Адамдардың санитарлық өңдеу және аяқ-киім, киімдерді, ғимараттарды, территорияларды залалсыздандыру шаралары.

Тапсырма . Дезактивациялаудың негізгі тәсілдерін және оның ретін анықтау

Негізгі әдебиет:1[44-61].

Қосымша әдебиет:6[14-18].

Тақырып 7. Радиациялық сәулеленуге ұшыраған науқастарға күтім жасаудың негізгі ережелері және қарапайым емдеу процедураларын орындау.

Тапсырма. Радиациялық сәулеленуге ұшыраған науқастарға күтім жасаудың ережелері мен күтім жасаудың талаптарын зерттеу.

Негізгі әдебиет:6[123-142]; 5[47-73].

Қосымша әдебиет: 4[56-78].

Тақырып 8. Атомдық электростанцияларындағы апаттардың салдарынан шаруашылық объектілерінің қорғанысын қамтамасыз ету мәселелері.

Тапсырма . Шаруашылық объектілерінің радиациялық сәулеленуден қорғану тәуелділігін анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[189-223]; 5[102-156].

Қосымша әдебиет: 5[178-254].

Тақырып 9. Ядролық - химиялық технологиялардың әсерінен ауыл-аймақ тұрғындарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселелері.

Тапсырма. Ядролық - химиялық технологиялардың әсерінен ауыл-аймақ тұрғындарының негізгі қауіпсіздігін анықтау .

Негізгі әдебиет: 1[258-262]; 5[67-73].

Қосымша әдебиет: 5[38-48].

Тақырып 10. Атомдық электростанцияларындағы апаттан кейінгі жағдайды бағалау.

Тапсырма. Атомдық электростанцияларындағы апаттан кейін радиациялық жағдайдың бағалауын болжау .

Негізгі әдебиет:1[208-262]; 5[17-33].

Қосымша әдебиет:5[58-68].

Тақырып 11. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан адамдардың қорғау.

Тапсырма. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан адамдарды қорғаудың негізгі тәсілдерін анықтау .

Негізгі әдебиет:1[258-262]; 5[67-73].

Қосымша әдебиет:5[38-48].

Тақырып 12. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан жануарларды қорғау.

Тапсырма. Атомдық электростанцияларында болған апат салдарынан жануарларды қорғаудың негізгі тәсілдерін анықтау .

Негізгі әдебиет: 1[258-262]; 5[67-73].

Қосымша әдебиет: 5[38-48].

Тақырып 13. Радиоактивтілік бұлт ізінде адамдардың тірі қалу мүмкіндігін қамтамасыз етудің негізгі шаралары.

Тапсырма. Радиоактивтілік бұлт ізінде адамдардың тірі қалу мүмкіндігін анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[247-262]; 5[99-133].

Қосымша әдебиет:5[23-54].

Тақырып 14. Сумен қамтамасыз ету ғимараттарын радиоактивті зияндардан қорғау.

Тапсырма. Сумен қамтамасыз ету ғимараттарын радиоактивті зияндардан қорғауды есептеу.

Негізгі әдебиет:1[147-222]; 5[159-173].

Қосымша әдебиет:5[78-98].

Тақырып 15. Жұғу ошақтарында азық үлестіру мен даярлау мүмкіндіктері.

Тапсырма. Жұғу ошақтарында азық үлестіру мен даярлаудың негізгі тәсілдерін анықтау.

Негізгі әдебиет:1[304-362];5[196-243].

Қосымша әдебиет:5[5-12].

Тақырып 16. Ядролық - химиялық кәсіпорындарда болған апат салдарынан адамдардың травмалық және күйік зақымдануларды бағалау.

Тапсырма. Ядролық - химиялық кәсіпорындарда болған апат салдарынан адамдардың травмалық және күйік зақымдануларды бағалау жүргізу.

Негізгі әдебиет:1[189-262];5[56-73].

Қосымша әдебиет:5[78-99].

Тақырып 17. Глобальды стронций-90 сиырлардың қаңқасында жинақталуы, таралуы және оның сүтпен бөлінуі.

Тапсырма. Стронций-90 сиырлардың қаңқасында жинақталуы, таралуы және оның сүтпен бөлінуі арасындағы тәуелділікті белгілеу.

Негізгі әдебиет:1[258-262];5[67-73].

Қосымша әдебиет:5[38-48].

Тақырып 18. Радиоактивті ластану жағдайында ауыз су мен азықты пайдалану.

Тапсырма . Радиоактивті ластану жағдайында ауыз су мен азықты пайдалану мүмкіндіктерін анықтау.

Негізгі әдебиет:1[18-62];5[77-83].

Қосымша әдебиет:5[13-48].

Тақырып 19. Аймақтың радиоактивтілік ластану жағдайында бактериологиялық ошақты ликвидациялау.

Тапсырма. Аймақтың радиоактивтілік ластану жағдайларында бактериологиялық ошақты ликвидациялау мүмкіндіктері мен уақытын белгілеу.

Негізгі әдебиет: 1[58-62]; 5[67-73].

Қосымша әдебиет: 5[56-108].

Тақырып 20. Аймақтың радиоактивті ластану жағдайларында ауылшаруашылық малдарды қорғау шаралары.

Тапсырма. Радиациялық жағдайда жануарларды қорғау шараларын анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[28-29]; 5[97-133].

Қосымша әдебиет: 5[11-68].

Тақырып 21. Әртүрлі масштабтағы карталарға радиациялық жағдайды түсіруге арналған құралдар.

Тапсырма. Аймақтарға радиациялық жағдайды түсіруге арналған құралдармен жұмыс істеуді үйрену.

Негізгі әдебиет: 1[88-162]; 5[167-193].

Қосымша әдебиет: 5[78-138].

Тақырып 22. Зақымданған аймақ арқылы тамақ өнімдерін тасымалдау.

Тапсырма. Зақымданған аймақ арқылы тамақ өнімдерін тасымалдау тәсілдерін анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[324-362]; 5[204-233].

Қосымша әдебиет: 5[96-106].

Тақырып 23. Қоршаған ортаның жоғары радиоактивтілік шарттарында адамдарды құтқару тәсілдері.

Тапсырма. Белгілі формулалармен жоғары радиациялық жағдай аймағында адамдардың құтқару уақытын анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[258-262]; 5[67-73].

Қосымша әдебиет: 5[89-148].

Тақырып 24. Гамма сәулеленудің адамдарға әсері.

Тапсырма. Адамдарға гамма сәулеленудің биологиялық әсерін белгілеу.

Негізгі әдебиет: 1[254-262]; 5[17-23].

Қосымша әдебиет: 5[48-59].

Тақырып 25. Ауылшаруашылық өсімдіктерге бөлу өнімдерінің жердегі органдар арқылы түсу ерекшелігі.

Тапсырма. Жердегі органдар арқылы ауылшаруашылық өсімдіктерге бөлу өнімдерінің түсу жолдарын айқындау.

Негізгі әдебиет: 1[89-112]; 5[17-33].

Қосымша әдебиет: 5[9-18].

Тақырып 26. Гидроморфты және жартылай гидроморфты қатарлы топырақта цезий-137 қасиеттері.

Тапсырма. Гидроморфты және жартылай гидроморфты қатарлы топырақта цезий-137 қасиеттерін анықтау.

Негізгі әдебиет: 1[111-142]; 5[199-210].

Қосымша әдебиет: 5[14-45].

Тақырып 27. Радиоактивтілік стронцийдің өсімдіктермен жинақталу ерекшеліктері.

Тапсырма. Стронцийдің өсімдіктермен жинақталу тәуелділігін орнату .

Негізгі әдебиет:1[301-342];5[19-43].

Қосымша әдебиет:5[78-88].

Тақырып 28. Өсімдіктердің табиғи радиоактивтілігі.

Тапсырма . Өсімдіктердің табиғи радиоактивтілігін анықтау .

Негізгі әдебиет:1[46-62]; [77-89].

Қосымша әдебиет:5[56-78].

Тақырып 29. Радиоактивті зақымдану зардаптарын жою мақсатында машиналарды пайдалану.

Тапсырма. Радиоактивті зақымдану зардаптарын жою мақсатында пайдаланылатын машиналардың типін анықтау.

Негізгі әдебиет:1[28-62];5[68-93].

Қосымша әдебиет:5[40-48].

Тақырып 30. Гамма - сәулеленуді ағашпен әлсірету.

Тапсырма . Әлсірету коэффициентін және еселілігін анықтау .

Негізгі әдебиет:1[81-162];5[167-273].

Қосымша әдебиет:5[28-44].

**Студенттердің өзіндік жұмысы аясында сабақтар жоспары
(СӨЖ-15 сағат)**

№	Тапсырма	Әдістемелік ұсыныстар	Ұсынылатын әдебиет
1	2	3	4
1	Радиоактивті заттарды игеру, өңдеу, пайдалану және көму орындары	Уранды өндірістер	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
2	Радиоактивті заттардың авариялық лақтырыстары кезіндегі жергілікті ластанулары	АЭС авариялар	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
3	Радиоактивті ізді зоналау	АЭС зоналарын бекіту	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
4	Әр түрлі беттердің, топырақтың, судың және жергілікті тамақ өнімдерінің ластануын бағалау	Беткі қабаттардан сынамаларды алу	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
5	Сыртқы орта объектерінен радиоактивті заттардың (РЗ) мөлшерін анықтау мақсатында сынама алу ережелері	-	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
6	Эталондарды дайындау. Радиометриялық аппаратураны градуирлеу.	Аппаратурамен жұмыс істеу	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
7	Гамма сәулелену көздерін дайындау	Бөліну көзін градуирлеу	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
8	Радиоактивті заттармен (РЗ) ластанған сынамаларды өлшеу	Есептегіштермен жұмыс істеу	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
9	Радиометриялық сараптама үшін сынама алу. Радиометриялық зертханада пайдаланылатын радиоактивті ластануды	Радиометриялық аспаптар	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]

	өлшеу әдістері		
10	β -активті заттармен ластанған су, тамақ өнімдері және басқа материалдардың радиоактивті ластануын өлшеу әдістері.	β -сәулелену ерекшеліктері	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
11	Сараптамаға арналған препараттарды дайындау. Препараттар: топырақ, су және тамақ өнімдері.	Препараттарды дайындау әдістері	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
12	Радиоактивті заттардың жасын анықтау	Месбауар әдісі	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
13	Дала шарттарында әр түрлі беттердің радиоактивті ластануын өлшеу әдістері	Жерлерді зерттеу	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
14	Жарылыс өнімдерімен ластанған территорияда адамдардың ішкі сәулеленуінің ролі	Сәулеленудің биологиялық әсері	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
15	Радиоактивті ластану зонасында сыртқы гамма сәулеленуден қорғаудың кейбір іс-шаралары	Жеке қорғану заттары	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]

Студенттердің оқытушымен өзіндік жұмысы (СОӨЖ) аясында сабақтарының жоспары

№	Тапсырма	Жүргізілу түрі	Әдістемелік ұсыныстар	Ұсынылатын әдебиеттер
1	2	3	4	5
1	Радионуклид белсенділігі	Практикалық сабақ	Уранды өндірістер	Негізгі [1,2] Қосымша [4]
2	Сәулелелену алаңының мінездемелері	Практикалық сабақ	АЭС зоналарын бекіту	Негізгі [1,2] Қосымша [4]
3	Сәулелелену алаңының дозалық мінездемелері	Практикалық сабақ	Беткі қабаттардан сынамаларды алу	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
4	Фотондардың заттармен өзара әсері	Практикалық сабақ	Бөліну көзін градуирлеу	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
5	Нейтрондардың заттармен өзара әсері	Практикалық сабақ	β -сәулелену ерекшеліктері	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
6	Сәулелену көздерінің классификациясы	Практикалық сабақ	Жеке қорғану заттары	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
7	Нүктелі изотропты радионуклидтің γ -сәулелену алаңын есептеуге арналған формула	Практикалық сабақ	АЭС ауданын зерттеу	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
8	Радионуклидті көздің керма-тұрақтысы	Практикалық сабақ	Көліктік жұмыстар	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
9	Радияциялық ластану аймағында гамма сәулелерінен қорғанудың кейбір шаралары.	Іскер - ойым	ЖҚҚ	Негізгі [1,2] Қосымша [3]
10	Рұқсат етілген сәулелену мөлшерін сақтау	Іскер - ойым	РҚН	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]

11	Адам ағзасына радиоактивті заттардың кіруіне шектейтін шаралар	Дискуссия	ҚҚҚ	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
12	Адам жерісінің радиациялық зақымдалуын болдырмау	Дискуссия	ЖҚҚ	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
13	АЭС-радиациялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету.	тренинг	АЭС- зерттеу	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
14	Радиациялық барлау	Дискуссия	Құтқару отряды	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]
15	Радиациялық және химиялық бақылау постарының әрекеттері	Пікір алмастыру	Тасымалдау	Негізгі [1,2] Қосымша [5,6]

2.6 Өзіндік бақылауға арналған тесттік тапсырмалар

1. Радиоактивтілік дегеніміз не?

- А) химиялық элементтер атомының екінші бір химиялық элемент атомына өздігінен фотондар бөле отырып айналуы;
- В) химиялық элементтер атомының екінші бір химиялық элемент атомына өздігінен электрондар бөле отырып айналуы;
- С) химиялық элементтер атомының екінші бір химиялық элемент атомына өздігінен фотондар мен электрондар бөле отырып айналуы;
- Д) химиялық элементтердің тұрақты емес изотоптарының екінші бір элемент изотопына атом және фотон бөле отырып айналуы;
- Е) химиялық элементтердің тұрақты емес изотоптарының екінші бір элемент изотопына элементарлық бөлшектер және ядролар бөле отырып айналуы.

2. Протондар саны бірдей ядролар қалай аталады?

- А) изобаралар
- В) изотоптар
- С) изомерлер
- Д) изоспиндер
- Е) бариондар

3. β сәулелер ағыны дегеніміз не?

- А) фотондар
- В) нейтрондар
- С) нуклондар
- Д) элек мезондар
- Е) электрондар

4. β - ыдырау қандай бөлшектің бөлінуімен өтеді?

- А) нейтрондар
- В) протон
- С) фотон
- Д) нейтрино және антинейтрино
- Е) электрон

5. СИ жүйесінде эквивалентті сәулелену дозасы қандай бірліктерде өлшенеді?

A) бэр

B) Зв

C) $\frac{Дж}{кг}$

D) $\frac{Дж}{г}$

E) $\frac{Кг}{Кл}$

6. Адамның бүкіл денесінің бір ретгі сәулеленуінде жұтылу дозасының жинақты тәуелділігіне байланысты қатерлі сәуле ауруының неше дәрежесі бар?

A) 2

B) 4

C) 5

D) 6

E) 7

7. Бір ретгі сәулеленуде эффективті дозаның $D_{эф}$ есептемесі қандай формула бойынша жүргізіледі?

A) $D_{эф} = \frac{D_0}{D}$

B) $D_{эф} = a \cdot D_0$

C) $D_{эф} = a \cdot D$

D) $D_{эф} = a(D - D_0)$

E) $D_{эф} = a(D + D_0)$

8. Радиоактивті іздің барлық территориясы неше зонаға бөлінеді?

A) 8

B) 6

C) 5

D) 4

E) 2

9. Сәулеленген жануарлардың етінің тамаққа жарамдылығы жайлы шешім қандай сараптама мәліметтері негізінде шығарылады?

A) санитарлық

B) санитарлық-гигиеналық

C) санитарлық - ветеринарлық

D) санитарлық-эпидемиялық

E) қалалық администрация СЭС

10. Сәулеленген объектінің белсенділігін анықтауда барлық препараттар түріне қандай үрдістер ортақ обольш табылады?

A) массасы 10-20 г сынама алу

B) сынамаларды өртеу және күлге айналдыру

- C) ұсақтау
- D) еріту
- E) барлық жоғарыда көрсетілген үрдістер

11. Атом ядросы қандай санмен сипатталады?

- A) массалық сан
- B) массалық және зарядтық сан
- C) нейтрондар саны
- D) нейтрондар және протондар саны қосындысы
- E) барлық жоғарыда көрсетілген сандар

12. Қандай ядролар изобаралар деп аталады?

- A) протондар саны бірдей ядролар
- B) нейтрондар саны бірдей ядролар
- C) массалық саны бірдей ядролар
- D) электрондар саны бірдей ядролар
- E) спин саны саны бірдей ядролар

13. Нейтрондар саны бірдей ядроларды қалай атайды ?

- A) изобаралар
- B) изотондар
- C) изоатомдар
- D) изомерлер
- E) бариондар

14. A және Z сандары бірдей ядролар қалай аталады?

- A) изобаралар
- B) изомерлер
- C) изотондар
- D) изотоптар
- E) изоспиндер

15. Ядролық күштер әсерлесудің қандай түріне жатады?

- A) әлсіз
- B) күшті
- C) электромагнитті
- D) кулон
- E) гравитациялық

16. Мезондардың ядродағы ролі қандай?

- A) протондар арасындағы өзара байланыс
- B) нейтрондар арасындағы өзара байланыс
- C) нуклондар арасындағы өзара байланыс
- D) фотондар арасындағы өзара байланыс
- E) барлық жоғарыда көрсетілген байланыстар

17. Радиоактивті ыдырау заңына қандай формула сәйкес келеді?

- A) $\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$
- B) $\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$
- C) $N_0 = Ne^{-\lambda t}$
- D) $N - N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$

Е) $\frac{\Delta N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

18. Радиоактивті заттардың жартылай ыдырау периоды қандай формула бойынша анықталады?

А) $zT = \frac{\lambda}{\ln 2}$

В) $T = \frac{\lambda}{0,693}$

С) $T = \frac{0,693}{\lambda} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

Д) $T = \frac{N}{N_0} t$

Е) $T = \frac{N_0}{N} t$

19. α -ыдырау дегеніміз не?

А) фотондар ағыны

В) нейтрондар ағыны

С) электрондар ағыны

Д) гелий ядролары ағыны

Е) протондар ағыны

20. $U^{238} \rightarrow {}_2H^4 +$ ядролық реакциясына сәйкес изотопты қойыңыз?

А) ${}_{91}U^{235}$

В) ${}_2Th^{234}$

С) ${}_{91}Po^{234}$

Д) ${}_{90}Pa^{232}$

Е) ${}_{90}Th^{232}$

21. α -ыдырау дың басты ерекшелігі не?

А) Қосалқы ядро қозған күйде қалады

В) Бас ядро қозған күйде болады

С) Қос ядро да қозған күйде болады

Д) α - бөлшек қозған күйде болады

Е) β - бөлшек қозған күйде болады

22. Ядролық ыдырау кезіндегі аралық бөлшек қалай аталады?

А) қосымша ядро

В) құрамды не компаунд ядро

С) бас ядро

Д) тұрақсыз ядро

Е) дұрыс жауап жоқ

23. Нейтрондардың нысанамен өзара әсері қандай формула бойынша көрсетіледі?

А) $P = \sigma n \delta$

В) $\Delta N = NP$

С) $N(\delta) = N_0(1 - e^{-\delta t})$

Д) $P = \delta e^{-\lambda t}$

E) $N(\delta) = N_0 e^{-\delta n \delta}$

24. Жылдам бөлшектермен жүргізілетін жасанды ядролық реакция алғашқы рет қай жылы жүзеге асты?

- A) 1932
- B) 1928
- C) 1942
- D) 1949
- E) 1950

25. Уран-графитті реакторда нейтрондарды жұтқыш ретінде қандай заттар пайдаланылады?

- A) қорғасын
- B) темір
- C) бор және кадмий
- D) алюминий
- E) қорғасын және темір

26. Термоядролық реакция дегеніміз не?

- A) жеңіл ядролардың бірігуі
- B) ауыр ядролардың ыдырауы
- C) жеңіл және ауыр ядролардың ыдырауы
- D) уранның ыдырауы
- E) ториидің ыдырауы

27. Сәулеленудің кез келген түрін тіркеу принципі неге негізделген?

- A) электронды детектормен бөліп алу
- B) заттармен әсер
- C) бөлшектерді жұту
- D) екінші ретті бөлшектердің сәулеленуі
- E) дұрыс жауап жоқ

28. Детектордың негізгі мінездемелері қандай?

- A) бөлшекпен әсерлесу мүмкіндігі
- B) жұту энергиясы
- C) электрондық тепе-теңдік
- D) тіркеу эффективтілігі
- E) барлық жоғарыда көрсетілгендер

29. Газразрядты есептегіштердің негізгі мінездемесі қалай аталады?

- A) вольттік
- B) токтік
- C) вольтамперлік
- D) ионизациялық
- E) катодты

30. Дозиметрияның сцинтилляциялық әдісінің физикалық негіздері қандай?

- A) заттың атомдары мен молекулаларының ионизациясы және қозуы
- B) заттың атомдары мен молекулаларының бөлшектерінің жұтылуы
- C) электрондарды бөлу
- D) нейтрондарды бөлу
- E) протондарды бөлу

31. РФЛ сөзін талдаңыздар?

- A) Радиациялық-физикалық люминисценция
- B) Радиофотолюминисценция
- C) Радиациялық-физикалық люминофор
- D) Радио-физикалық люминисценция
- E) Дұрыс дауап жоқ

32. Сцинтилляторлардың қандай түрлері бар?

- A) жасанды
- B) табиғи
- C) жасанды және табиғи
- D) органикалық және бейорганикалық
- E) барлық жауаптар дұрыс

33. Фотоземлемсіяның қараю дәрежесі қандай формула бойынша анықталады?

- A) $S = \ln \frac{I_0}{I}$
- B) $S = \lg \frac{I}{I_0}$
- C) $S = \ln \frac{I}{I_0}$
- D) $S = I \lg I_0$
- E) $S = \lg \frac{I_0}{I}$

34. Радиометрлер қандай шамаларды өлшеу үшін пайдаланылады?

- A) Сәулеленген бөлшектер ағынының тығыздығы
- B) Радионуклидтер белсенділігі
- C) Бөлшектер ағыны тығыздығы мен радионуклидтер белсенділігі
- D) жұтылу ағыны тығыздығы
- E) барлық жоғарыда көрсетілгендер дұрыс

35. Ағзадағы биохимиялық үрдістердің өзгеріне не себепкер болады?

- A) бос радикалдар мен тотықтырғыштар
- B) электрондар
- C) фотондар
- D) нейтрондар
- E) протондар

36. Атом қаруы алғашқы рет қай жылы пайдаланылды?

- A) 6 тамыз 1945 жыл
- B) 1 тамыз 1945 жыл
- C) 3 тамыз 1945 жыл
- D) 5 тамыз 1945 жыл
- E) 2 тамыз 1945 жыл

37. Радиациялық сәулеленуді нормалау концепциясы негізінде не жатыр?

- A) Дозаны шектеу дозасы
- B) Экранды жасау принципі
- C) Шектелген сәуле принципі

D) ЖҚЗ қамтамасыз ету принципі

E) Дұрыс жауап жоқ

38. Сәулеленетін адамдар қандай категорияларға бөлінеді?

A) Б

B) А

C) А және Б

D) А,Б және В

E) барлық жауап дұрыс

39. Қорғанышты қандай принциптер бойынша бөледі?

A) қажеттілігі бойынша

B) типіне сәйкес

C) біріктіруіне (компоновка) сәйкес

D) формасы және геометриясы

E) барлық жауап дұрыс

40. Бөліну көзінің ұзаруына сәйкес жинақталу факторы қалай өзгереді?

A) тұрақты болады

B) артады

C) азаяды

D) секірмелі өзгереді

E) дұрыс жауап жоқ

Дұрыс жауаптар кілті

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E	B	E	D	B	D	B	D	E	E	B	C	C	B	B	C	B	C	D	B
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A	B	E	A	C	A	B	D	C	A	B	D	E	C	A	A	A	C	E	B

2.7 Курс бойынша емтихан сұрақтары

1. Атом құрамы және атомдық сәулелену

2. Атом ядросының құрамы мен мінездемелері

3. Радиоактивті ыдырау заңы

4. Радиоактивті заттың жартылай ыдырау периоды

5. α - ыдырау және оның ерекшеліктері

6. β - ыдырау және оның түрлері

7. γ -сәулелер

8. Ядролардың бөлінуі

9. «Жұтылу дозасының» анықтамасы

10.«Экспозициялық дозаның» анықтамасы

11.«Эквивалентті дозаның» анықтамасы

12. Бөлшектер ағынының заттың ядросымен өзара әсері ықтималдығы

13.Иондалу сәулесінің тірі ағзаға әсерінің ерекшеліктері

14.Иондалу сәулесінің ағзаға әсерінің алғашқы механизмдері

15.Иондалу сәулелерінің детекторлары, ионизациялық камералар

16.Газразрядты есептегіштер және оның мінездемелері

- 17.Химиялық және фотографиялық детекторлар, сцинтиляциялық есептегіштер
- 18.Радиоактивті қалдықтарды өңдеу және көму орындары
- 19.Жаппай лақтырыстарда пайда болатын жергілікті радиациялық ластанулар
- 20.Жаппай лақтырыстардан соң радиациялық жағдайды бағалау
- 21.Сәулеленудің шекті дозаларын пайдалану
- 22.Адам ағзасына радиоактивті заттардың түсуін шектеу іс-шаралары
- 23.Сыртқы орта объектерінен сынама алу ережелері
- 24.Радиометриялық зертханаларда пайдаланылатын радиоактивті сәулелерді өлшеу әдістері
- 25.Тамақ өнімдерінің радиоактивтілігін анықтау
- 26.Радиоактивті өнімнің жасын анықтау әдістері
- 27.Радиоактивті заттардың лақтырыстарының интенсивтілігі мен қуаты
- 28.Радиоактивті заттардың бөліну қуаты мен интенсивтілігі
- 29.Бөліну көзінің ұзақтығының жинақталу факторына әсері
- 30.Радиоактивті заттарды тасымалдау негіздері
31. Радиоактивті изотоптың белсенділігі
- 32.Радиоактивтіліктің халықаралық өлшемдері
- 33.Радиоактивті сәулелер өрісінің дозалық сипаттамасы
- 34.Радиоактивті сәулелер өрісінің сипаттамасы
35. Ионизациялаушы сәулелердің флюенс
36. Иондаушы сәулелер ағынының тығыздығы
37. Иондаушы бөлшектердің энергия флюенсі
38. Керма дегеніміз не?
- 39.Сәулелену коэффициентінің сапасы
- 40.Бэр өлшемінің анықтамасы
- 41.Жұтылған дозаның қуаты
- 42.Шоғырланған сәуленің жұтылу заңдылығы
- 43.Фотонның азаюының массалық коэффициенті
- 44.Зарядталған бөлшектердің серпімді және серпімсіз сейілуі
- 45.Зарядталған бөлшектердің әсерлесуерекшелігі
- 46.Қандайәффекттердің нәтижесінде фотон жұтылады
- 47.Энергия жүруінебайланысты нейтрондардың бөлінуі
- 48.Нейтрондардың әсерлесуінің толық қимасы
- 49.Сәуле көздерінің классификациясы
- 50.Иондаушы сәулелердің энергетикалық спектрі
- 51.Нүктелік γ - сәулесінің өрісі
- 52.Керма тұрақтары
- 53.Нейтрон көздерінің сипаттамасы
- 54.Фотонейтрондар көздері
- 55.Ядролықсинтез және нейтрон көздерінің бөлінуі
- 56.Судың сәуле әсерінен ыдырауы
- 57.Фондық сәулелерден адамның сәулеленуі

58. Сәулеленген адам ағзаларын топқа бөлу
59. Жылулық факторлардың заттақ атомдық нөміріне тәуелділігі
60. Тежелу электрондар көздерінен қорғану
61. Ядрода мезондар (Π^+ , Π^- және Π^0) қандай роль атқарады
62. Термоядролық синтез
63. Термоядролық реакциялар
64. Детектордың негізгі сипаттамалары
65. Газыдырайтын есептегіштің сипаттамасы
66. Дозиметрияның синтиляциялық әдісі
67. Масса ақауы
68. Иондаушы сәуледен қорғану экрандары
69. Сызықтың жұтылу коэффициенті
70. Дозиметрияның люминесценттік әдісі
71. Иондаушы сәулелерден қорғану классификациясы
72. Радияциялық заттардың жинақталу факторы
73. Радиациондық аппараттардың классификациясы
74. Иондаушы сәулелерден қорғанудың түрлері
75. темогендік қорғаныс
76. Радиациондық апаттар
77. Иондаушы сәулелерден қорғанудың классификациясы
78. Дозиметрияның фотографиялық әдісі
79. Дозиметрияның люминесценттік әдісі
80. Радиациондық құралдардың классификациясы
81. Иондаушы бөлшектерден қорғанудың типтері
82. Эффе́ктивтік доза
83. Ұжымдық доза
84. Бор постулаты
85. Гамма сәулесінің затпен әсерлесуі
86. Бетта сәулесінің затпен әсерлесуі
87. Нейтрондардың затпен әсерлесуі
88. Рентгент сәулелері
89. Гамма сәулесінен қорғану
90. Бетта сәулесінен қорғану
91. Альфа сәулесінен қорғану
92. Жартылай ыдырау периоды
93. Жартылай ыдырау периодының формуласын қорытып шығару
94. Атом модельдері
95. Гамма сәулелерінің шектік дозасы
96. Ядролық реакторлар
97. Электрон-позитрон жұптерінің пайда болуы
98. Қабылданған тәуелділіктің концентрациясы
99. Иондаушы сәулелерден қорғанудың жеке қорғаныс құралдары
100. Радиациондық қауіпсіздік қызметі.

Глоссарий

1. **Радиоактивтілік** - бір химиялық элементтің тұрақсыз изотоптарының қарапайым бөлшектер мен ядролардың шашырауымен жүзеге асатын басқа бір изотопқа айналуын айтамыз.

2. **Активтілік бірлігі** - Халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ) радиоактивті препараттар активтілігі секундтағы ыдырау санымен анықталады. Бұл жүйеде активтілік бірлігі ыдырау/сек.

3. **Протон** - сутегі атомы ядросы болып табылады. Оның заряды $+e=1,6 \cdot 10^{-19}$ К және массасы $m_p=938,2$ Мэв

4. **Нейтрон** – (n) массасы протон массасына жақын, электр заряды жоқ бөлшек.

5. **Альфа ыдырау** – гелий ${}^4_2\text{He}$ ядроларының ағыны

6. **Газразрядты есептегіш** – газды арттыру принципіде қолданылатын иондағыш детекторлар.

7. **Сцинтилляция** – заттардың молекулалары мен атомдарының олар арқылы зарядталған бөлшектер өткен кездегі қозуы мен ионизациясы.

8. **Қорғаныш (экран)** – иондалу сәулелерінің ағынын төмендету үшін олардың бөліну көзі мен адамдар мен құрал-жабдықтардың орналасу аймағының арасына қойылатын кез келген орта (материал)

9. **Шекті рұқсат етілген доза (ШРД)** – 1 жылдағы жеке эквивалентті дозаның көп мәні, мұнда 50 жыл аралығында түзу сәулелер болмайды; қазіргі әдістерімен анықталған, А категориясына жататын қызметкердің денсаулық жағдайының қолайсыз өзгерістері.

10. **Дозаның шегі (ДШ)** – критикалық топтағы адамдар үшін 1 жылдағы жеке эквивалентті дозаның көп мәні, тегіс сәуле үшін 70 жыл аралығында болмайды, ал адам денсаулығының қолайсыз жағдайға өзгеруі қазіргі тәсілдерден пайда болады

11. **Ядролық реакция** - атом ядросының қарапайым бөлшекпен не басқа ядромен интенсивті әсерлесуі нәтижесінде ядроның өзгеруі.

12. **Сәулелену жарақаты** - организмге иондағыш сәулелерден әр түрлі жарақаттардың пайда болуы.

13. **Электрондық тепе-теңдік** - фотонның ортамен бірлесіп әрекет ету жағдайы, берілген көлеміндегі сәуленің жұтылған энергиясы электрондардың кинетикалық қосынды энергиясына тең.

14. **Радиотермомлюминесценция (РТЛ)** дегеніміз иондалу сәулесінің кристалында жинақталған энергиясы жылулық қоздыру әсерінен флюоресценция энергиясына айналатын үрдіс.

15. **Шекті орта** - көлденең өлшемдерінің бірде бірі шексіз деп қабылдана алмайтын орта.

16. **Жеке қорғаныс құралдары (ЖҚҚ)** жұмысшыларды сыртқы ортаның зиянды факторларынан қорғайтын арнайы киімдер, аяқ киім, әртүрлі құралдар мен жабдықтар (респираторлар, пневмокостюмдер, противогаздар) жатады.

17. **Жарық шығыны** – жарық шашырауының фотондар санының сцинтилляторда зарядталған бөлшектердің энергиясына қатынасы

18. **Жарқырау уақыты** – атомның қоздырылған күйі сипатталатын орташа уақыт.

19. **Генетикалық эффект** - табиғи (спонтанды) немесе жасанды, мысалы сәулелену жолмен шығатын организмнің тұқым қуалау қасиетінің өзгеруі.

20. **Хромосома** (грек тілінен «хромо» - түс, бояу, «сома» - дене)- организмнің тұқым қуалау информациясынан тұратын, ДНК-дағы ядраклеткалардың структуралық элементі.

21. **Мутация** (латын тілінен «mutation» - өзгеру, ауысу) организмнің (хромосомалар мен гендерде) генетикалық материалдарында ауыстыру мен бұзылулардың нәтижесінде пайда болады.

22. **Радиациялық қорғаныс** мақсаты – бұл зиянды стохастикалық емес эффектін болдырмау, және қабылдауға болады деп есептелінген стохастикалық эффекттің пайда болу ықтималдық деңгейлеріне дейінгі шек қоюы.

Жараспаев Мырзағали Тоқпақұлы
Садвақасов Ерлан Ермекұлы

РАДИЯЦИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІК НЕГІЗДЕРІ

Пәннің оқу-әдістемелік кешені
(5В0731 – Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау)

Редактор
Техн. редактор

"Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау "
кафедрасының мәжілісі хаттамасы. №_1_ «13»_10_2011
ж

Құрылыс және сәулет институты
ОӘК мәжілісі хаттамасы № 2 от «_17_»_10_2011
ж.

Басуға қол қойылды _____ 2011 ___ ж.

Тираж ___ экз. Формат 60x84 1/16. Типография қағазы №1.
Көлемі _____ б.т. Тапсырыс №___ Бағасы келісімді

Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-ның баспаханасында терілді.
ҚазҰТУ ғылыми-техникалық баспа орталығы
Алматы қаласы, Ладыгин көшесі, 32