

СЕМЕЙ МЕМЛЕКЕТТІК МЕДИЦИНА УНИВЕРСИТЕТІ

ӘСКЕРИ КАФЕДРА

Әскери токсикология, радиобиология және ЯҚ
мен ХҚ-дан медициналық қорғаныс

ДӘРІС

**ТАҚЫРЫП №14 РАДИОБИОЛОГИЯ ПӘНІ,
МАҚСАТЫ, МІНДЕТТЕРІ. ИОНДАУШЫ
СӘУЛЕЛЕРДІҢ ТҮРЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ
ҚАСИЕТТЕРІ.**

Радиобиология пәні. Радиобиологиялық зерттеулердің мақсаты. Электромагниттік иондаушы сәулелер, олардың қасиеттері.

- Жер шарындағы барлық биота, адаммен қоса, тұрақты түрде табиғи және техногенді радиациялық фонның әсерінің сферасында болады. Адамдар мамандық қызметте, өндірісте және ғылыми зерттеулерде радиоактивті көздерді қолдануда сәулеленуге ұшырайды. Онкологиялық тәжірибеде радиациялардың тірі жасушаларды өлтіру қабілеті кеңінен қолданылуда. Бұл кезде қатерлілермен бірге сау жасушалар да зақымдалады. Радиациялық авария кезінде авариялық қондырғы қызметкерлері сәулеленудің жоғары, тіпті өлімдік дозасын алды, ал территориялар адамның денсаулығына қауіпті көлемді радиоактивті өнімдермен ластануға ұшырады. Радиоактивті ластану адамның өмір сүру ортасының, экологиялық жағдайдың қолайлы немесе қолайсыздығын анықтайтын маңызды факторға айналды. Ядролық қаруды қолданудың зардаптарын масштабы бойынша техногенді әсер мен авариялық салдармен салыстыруға келмейді.

- Иондаушы сәулелердің энергиясы атомдар мен молекулалар арасындағы химиялық және физико-химиялық байланыстың энергиялық мәнінен асып түседі. Сондықтан иондаушы радиацияның әсері сәулеленген құрылымдағы өтетін үрдістерге әсер етпеуі мүмкін емес. Радиациялық фактордың мәні барлық тірі және тірі емес үшін, және, бәрінен бұрын, адам денсаулығына, иондаушы сәулелер әсерінің барлық жақтары және зардаптары туралы нақты білудің қажеттілігін анықтайды

- Радиобиология пәні организмнің ұйымдастырылуының барлық деңгейінде сәулеленудің көптүрлі көріністерін – молекулярлыдан организмдікке дейін, жиі популяциялық та, бұл көріністердің даму механизмін, радиация әсері жағдайында нақты биологиялық эффекттердің дамуына әсер ету (сәулелену түрі, оның дозасы, дозаның күштілігі, оның кеңістікте таралуы, сәулелену ұзақтығы), сәулелену эффектіне табиғаты радиациялық емес факторлардың түрлендіруші әсер етуін құрайды

- Радиобиологиялық зерттеулерде алынған материалдардың сандық талдауын жүргізуге болады. Осыған қоса, сәулемен барлық ағзалар мен тіндерге, сондай-ақ белгілі шектелген аймаққа әсер етуге мүмкіндігі радиобиологиялық әдіс көмегімен алынатын мәліметтің жоғары ақпараттылығын және сенімділігін анықтайды.
- Басқа ғылымдармен қатарлас радиациялық биохимия, радиациялық иммунология, радиациялық гематология, радиациялық генетика, радиациялық цитология және т.б. қалыптасты. Бұл бағыттарда радиобиологиялық құрамдас бөлігі сәуленің жүйеге немесе үрдістерге әсерін анықтаудың жеке міндеттерін шешудің қажеттілігін сызып тастамайды. Сәулеленуден кейін байқалатын эффекттер бұл жүйелердің қызмет ету механизмдерін және бұл үрдістердің болмысын түсінуге мүмкіндік береді.

- Биохимияда, молекулярлы биологияда, иммунологияда, генетикада, геронтологияда, жалпы медицинадағы соңғы он жылдықтағы көптеген жетістіктер бұл ғылымдардың радиобиологиямен тығыз байланысы арқасында жүзеге асты. Бұл ДНК ферментативті репарациясы механизмдерінің ашылуы, қан түзу клеткалары дамуының ерте кезеңдерін анықталуы, және иммундық жауапта күрделі жасушааралық кооперативті әрекеттесулердің анықталуы, физиологиялық регенерация үрдістерінің меңгерілу және т.б., т.с.с.

Радиобиологиялық зерттеулердің мақсаты

– иондаушы сәулелердің биологиялық әсер ету заңдылықтарын тану және төмендегідей маңызды қосалқы аспектілерді негіздеу:

- радиациялық әсер зардаптарын болжау;
- иондаушы сәуле көздерімен жұмыс кезінде радиациялық әсерді қалыпқа келтіру;
- иондаушы сәуле әсері аймағында болу қажет жағдайда іс-әрекет тәртібін және қорғану шараларын дайындау;
- радиациялық зақымданудың алдын алу, диагностикалау және зақымдану ауырлығын болжау құралдарын және әдістерін дайындау, алғашқы көмек және кейінгі емдеу шараларын жүргізуді негіздеу;
- терапевтикалық сәулеленудің рациональды режимдерін дайындау және т.б.

- Радиобиологияның фундаментальді жағдайы тәжірибелік зерттеу және клиникалық бақылаудың нақты сандық негізінде жүргізілген талдау нәтижесі болып табылады.
- Радиобиологияның басқа пәндермен бірлестігінде радиациялық гигиена және радиациялық экология, ісіктер радиобиологиясы, космостық радиобиология сияқты жеке өзіндік бағыттар ресімделді. Осындай бағыттардың бірі - **әскери радиобиология**. Осылайша, қазіргі кезде радиобиологияны фундаментальді ғылымдардың қатарына жатқызады, және оны оқу медициналық радиацияға қарсы қорғану мәселелерінде бағдарлауға ғана емес пайдалы

Иондаушы сәулелердің түрлері және олардың қасиеттері

- Иондаушы сәулелер (ИС) өзінің атын оларды көптеген басқа сәулелерден ажырататын қасиетіне қарай алды - сәулеленген затта атомдар мен молекулаларды иондалуын тудыру қабілеті.
- Барлық ИС **электромагнитті және корпускулярлы** болып бөлінеді.

Электромагниттік иондаушы сәулелер

■ Электромагниттік иондаушы сәулелер

■ Электромагнитті ИС көзіне байланысты тежеуші, сипаттық және ү-сәуле болып бөлінеді. Тежеуші сәуле жылдамдаған зақымдалған бөліктер, электрлік өрісте баяулағанда пайда болады (мысалы, қоршаған атомдық ядролар). Сипаттық сәулелер қозған атомдардың ішкі электрондық қабығының энергетикалық қайта құрылуынан болады, ал ү-сәулелер радиоактивті элементтердің (радиоизотоп) ядролық өзгерісінің өнімі болып табылады.

■ Тежеуші және сипаттық жиынтығы рентген сәулесі деп аталады (ағылшын әдебиеттерінде «х-сәулелер» термині жиі қолданылады). Ол әрқашан жасанды текті, сондай-ақ ү-сәулелер жасандымен қатар, шығу тегі табиғи да бола алады.

■ Электромагниттік ИС маңызды қасиеті В.К. Рентген анықтағаннан кейін 50 тәуліктен соң адамзатқа белгілі болды. 1895ж 28 желтоқсанында ол вюрцбург физико-медициналық қоғам төрағасына х-сәулелер сипаттамасы көрсетілген тезистер ұсынды. Бұл сипаттама басқа электромагниттік ИС дебайланысты, оның негізгі жағдайлары №1 кестеде көрсетілген.

Электромагниттік иондаушы сәулелердің қасиеттері

Көрінетін жарық қасиеттерімен ортақ

Түзу сызық бойынша таралады; магнитті және электрлік өрісте ауытқымайды; олардың көзіне дейінгі арақашықтық квадратына кері пропорционал қарқындылығы бар.

Көрінетін жарық қасиеттерінен айырмашылық

Көзге көрінбейді;
Көрінетін жарықты өткізбейтін материалдар арқылы өтеді;
Осы материалдардың тығыздығына тікелей байланысты әртүрлі материалдармен жартылай бөгеледі; айна беткейіннен көрінбейді; оптикалық линзалармен фокусталмайды және оптикалық призмалармен сынбайды; қарапайым дифракциондық тор арқылы өткенде интерференциялық көрініс бермейді; газды иондайды, минерал, әйнек түсін өзгертеді, жарық өтпейтін қағазға оралған фотопластинканы жарықтандырады.

- Рентген сәле және көрінетін жарық қасиеттерінің біршама айырмашылығына қарамастан, неміс физигі Макс Лауэ 1912 ж. олар табиғаты бойынша ұқсас, тек толқын ұзындықтарымен өзгешеленетіндігін анықтады. Рентген сәулесі толқындарының ең ұзыны көрінетін жарық толқындарына қарағанда қысқалау, бұл олардың әйенк беткейінде, линзаларда және дифракциондық торларда әртүрлі әрекетін түсіндіреті. Мұнымен рентген және ү-сәулелердің иондаушы қасиетінің болуы да байланысты.
- Шынында, фотон энергиясы E электромагниттік тербеліс жиілігіне ν тура пропорционалды және олардық толқын ұзындығына λ кері пропорционалды:
- $E = h \nu = hc/\lambda,$
- мұнда h – тұрақты Планка, c – жарық жылдамдығы.
- Электрон-вольтта бұл энергияны теңдеуінен есептеп шығаруға болады:
- $E = 12400/\lambda,$
- Мұнда өлшем λ нм – да көрсетілген.
- Заттарда атом ионизациясының минимальді энергиясы 34 эВ – ге тең болғандықтан, электромагниттік сәулелердің қайсысы иондаушы қасиетке ие екендігін анықтау оңай: бұл толқын ұзындығы 365 нм аз сәулелер. Кейбір ультракүлгін сәуле кванттарының энергиясы зат иондалуына жеткіліктігіне қарамастан, «иондаушы» термині 2-ші кестеде көрсетілген сәулелердің алғашқы екеуінен кейін ғана бекітілді.

Кесте 2.

Электромагниттік сәуле түрлерінің ТОЛҚЫН ҰЗЫНДЫҒЫ

Электромагниттік сәуле атауы	Толқын ұзындығы диапазоны, нм
γ-сәуле	$< 0,01$
Рентген сәуле	< 10
Ультракүлгін сәуле	10 – 400
Инфрақызыл сәуле	800 – 100000
Радиотолқын	$> 10^5$
Көрінетін жарық	
Күлгін	400 – 420
Көк	420 – 490
Жасыл	490 – 540
Сары	540 – 640
Қызыл	640 – 800

- Заттардың ионизациясы ИС биологиялық белсенділігі негізінде жатыр. Осы феномен оларды анықтау және сандық бағалауға (дозиметрия) да қолданылады.
- Электромагниттік ИС заттар атомдарымен арақатынасы фотоэффект, Комптон-эффект және электрон-позитронды бу түзілу түрлерінде өтуі мүмкін.
- **Фотоэффект** – атомның сыртқы электронды қабатының бірімен барлық фотон энергиясының жұтылуы, оның электрон атомынан «ығыстырылған» кинетикалық энергияға айналуы. Бұл эффект фотондар энергиясы 0,05 МэВ дейін кезінде басым болады.
- **Комптон-эффект** – электронға фотон энергиясының бір бөлігінің ғана берілуі; қалған энергия екіншілік («шашыраңқы») фотонға беріледі, ол атомдармен фотоэффект немесе комптон-эффект механизмі бойынша әрекеттеседі. Кванттар энергиясы 0,1-ден 2,0 МэВ дейін болғанда (мысалы, ядролық жарылыстың енуші радиациясы жағдайында) комптон-эффект үлесіне затпен жұтылған γ -сәуле энергиясының 100% дейін келеді.
- **Электрон-позитронды бу түзілісі** атом ядросынан тікелей жақындықта γ -кванттың өтуі кезінде болады. Бұл фотондардың олардың энергиясы 50 МэВ аса болғанда заттармен әрекеттесуінің негізгі түрі, оны тек лабораториялық жағдайда бақылауға болады.

- Электромагниттік сәуле кванттарының жұтылуы кезінде түзілетін жылдамдаған зақымдалған бөлшектер (фотоэлектрондар, комптонов электрондары) екіншілік болып табылады, бірақ ионизация факторы және сәулеленген затта атомдар қозуы мәні бойынша бірінші дәрежелі. Сондықтан рентген және гамма-сәулелер жанама иондаушы сәулелер деп аталады.
- Фотондар энергиясы ионизациялық қана емес, олардың ену қабілеті бойынша да анықталады. Жоғары энергетикалық («қатты» В.К. Рентген анықтамасы бойынша) электромагнитті сәулелер адамдар және жануарлар денесінің бойлап оңай енеді, организмнің барлық жасушаларында ионизацияны шақырады. Керісінше, рентген түтікшесінің анодында кернеуінде бірнеше кВ шамадағы алынатын «жұмсақ» рентген сәулелері, тереңде жатқан тіндерге тікелей әсер етпей, негізінен терімен бөгеледі.

- Электромагнитті ИС зат арқылы өтуі кезінде олардың ағымының қарқындылығы Ламберт-Бер заңына сәйкес азаяды:
- $I = I_0 e^{-\mu x}$,
- мұнда I_0 – түсуші қарқындылығы, ал I – сәуле ағымының қалыңдығы x экран арқылы өткеннің қарқындылығы; e – натурал логарифм негізі және μ - әлсіреу коэффициенті, оның мөлшері ИС энергетикалық спектрі және заттың қасиетіне байланысты.
- Материалдардың қалқалаушы қасиетінің қолайлы көрсеткіші олардың қабатының қалыңдығы болып табылады, сәулені екі есе әлсіретеді – жартылай әлсіреу қабаты. Бұл мөлшер ИС әлсіреу коэффициентімен байланысты:
- $D = 0,693 / \mu$.
- Электромагниттік ИС әлсіреу коэффициенті Менделеев кестесіндегі реттік номердің артуымен бірге өседі, яғни затқа кіретін элементтердің атомдық массасынның да. Сондықтан құрамында ауыр металдар бар заттарды электромагниттік ИС-ден қалқалау тиімдірек («экрандаумен қорғаныс»). Қорғасын және барий сәулелік диагностика және терапияға арналған орындар құрылысында қолданылатын материалдар құрамына енгізіледі. «Экрандаумен қорғаныс» ИС ағымының қарқындылығының оның көзіне дейінгі арақашықтығына тәуелділігіне негізделген «арақашықтықпен қорғаныс», және қызметкерлерге ИС әсер етуі уақытының минимизациясымен - «уақыттық қорғаныспен» толықтырылады.

Корпускулярлы иондаушы сәулелер

- Корпускулярлы ИС-ге нейтрондар және жылдамдаған зақымдалған бөлшектер жатады.
- Нейтрондық сәулелер атомдық ядроның жылдамдаған зақымданған бөлшектермен және жоғары энергиялы фотондармен бомбалау кезінде пайда болады. Лабораториялық жағдайлардан басқа, мұндай жол атомдық оқ-дәрілердің жарылысы кезінде жүзеге асады, онда бұл бөлшектердің көзі $^{92}\text{U}235$ немесе $^{94}\text{Pu}239$ ядроларының бөлінудің тізбектік реакциясы болып табылады. Нейтрондардың түзілуінің басқа жолы – оқ-дәрі жарылысы кезінде болатын жеңіл элементтер ядроларының синтезі – дейтерий ($^1\text{D}2$), тритий ($^1\text{T}3$) и литий ($^3\text{Li}6$), термоядролық (сутектік).

Кесте 3.

Энергияға байланысты нейтрондар жіктемесі

Атауы	Энергия бөлшектер
Жылулық	$< 0,1\text{эВ}$
Баяу	$0,1 - 500,0\text{ эВ}$
Аралық	$0,5 - 100,0\text{ кэВ}$
Жылдам	$0,1 - 10,0\text{ МэВ}$
Аса үлкен	$10 - 1000\text{ МэВ}$
энергияжылдам (релятивисттік)	$> 1000\text{ МэВ}$

- Атомдық оқ-дәрі жарылысында түзілетін нейтрондардың көпшілігі жылдам нейтрондарға, ал сутектік жарылыс кезіндегі – жоғары энергиялы нейтрондарға жатады.
- Нейтрондардың заряды болмағандықтан, олар тек ядролармен әрекеттесіп, атомдардың электронды қабатына тікелей әсер көрсетпейді. Ядролармен соқтығысып, нейтрондар олардан тебіледі (шашырау), немесе олармен жұтылады (ядролық қайта құрылуға қатысу). Төменде нейтрондардың заттар атомдарымен әрекеттесуі үрдістерінің мазмұны ашылады.
- **Упругое рассеяние.** Көміртегі, азот, оттегі, фосфор ядроларымен соқтығысуы кезінде нейтрондар 10-15 % , ал сутегі ядроларымен соқтығысуы кезінде – өзінің энергиясының $2/3$ жоғалтады. Нейтрондармен жоғалтылған энергия «қайтару ядроларына» – жоғары иондаушы қабілеті бар оң зақымданған бөлшектерге беріледі. Упругое рассеяние – атомдық және сутектік жарылыстарда түзілетін нейтрондармен энергия жоғалуының негізгі жолы.

- **Неупругое рассеяние.** Бұл жағдайда энергияның бір бөлігі нейтрондармен ядро-нысаналардың қозуына шығындалады. Бастапқы күйге ядролар γ -сәуле фотондарын шығарып, қайтып келеді.
- **Ядролық қайта құрылу.** Ядролармен нейтрондар жұтылуы кезінде протондар, α -бөлшек, γ -кванттар шығарылуы жүреді, жасанды радиоактивті изотоптар (бұл құбылыс дәлдемелі белсенділік деп аталады) пайда болады.
- Нейтрондардың заттармен әрекеттесуінде түзілетін жылдамдаған зақымдалған бөлшектер – қайта беру ядролары – ионизацияға және атомдар қозуына негізгі үлес қосады. Сондықтан нейтрондар, рентген және γ -сәулелер сияқты жанама иондаушы сәулелер деп аталады.
- **Нейтрондардың енуші қабілеті** γ -сәулелерге қарағанда біршама аз, бірақ жылдамдаған зақымдалған бөлшектерге қарағанда жоғары. Ядролық және сутектік жарылыс кезінде нейтрондар ағымы болат бронь және темір бетон арқылы оңай өтіп, жүздеген метрлерге таралады. Нейтрондар энергиясы жеңіл атом ядроларына эффективтірек беріледі. Сондықтан сутегі, бериллий, көміртегі атомдарымен бай заттар нейтронды сәулелерден қалқалауда қолданысқа ие. Нейтрондарды бөгеуі нашар болып келетін ауыр металдар неупругого рассеяния және ядролық қайта құрылу нәтижесінде жеңіл материалдарда пайда болатын екіншілік γ -сәулені әлсірету үшін қолданылуы мүмкін.

- **Жылдамдаған зақымдалған бөлшектер** – бұл кеңістікте қозғалатын электрлік өріс көзі (электрондар ағымы - β -бөлшек, протондар, гелий атомы ядросы - α -бөлшектердің). Жылдамдаған зақымдалған бөлшектердің табиғи көзі кейбір табиғи радиоизотоптар болып табылады. Жасанды көздеріне жасанды радиоизотоптар және зақымдалған бөлшектердің жылдамдатқыштары жатады.
- Заттан өтуі кезінде зақымдалған бөлшектер олардың атомдарымен әрекеттесуі мүмкін. Төменде осы байланыстың түрлері айтылады.
- **Упругое рассеяние** – энергия жоғалтусыз атом ядроларынан тебілуі нәтижесінде зақымдалған бөлшектің траекториясының өзгеруі. Бөлшектің салмағы неғұрлым аз болса, оның түзу бағыттан ауытқуы соғұрлым көп болады. Сондықтан затта β -бөлшек траекториясы қираған, ал протон және α -бөлшектердікі – түзу.

- **Неупругое тяжелу.** Электрон атом ядросы маңынан өткен кезде жылдамдық және энергиясын жоғалтады. Бұл кезде электронның жолы бойымен, сол бағытпен ұшқан тяжелу сәулесінің де фотоны шығуы мүмкін.
- **Атомдардың қозуы және ионизациясы** олардың электрондық қабаттарымен бөлшектердің байланысуы нәтижесінде болады – бұл затта жылдамдаған зақымдалған бөлшектердің энергия жоғалтуының негізгі жолы. Олардың электрлік өрісі әсерінен атомдардың электрондық қабаттарының ауытқуы жүреді, соңғысы қозуға немесе иондалған күйге ауысады. Зақымдалған бөлшектердің атомдардың электрондық қабаттарымен тікелей байланыса алу қабілеті оларды біріншілік иондаушы сәулелер ретінде аңқытауға мүмкіндік берді.
- Жылдамдаған зақымдалған бөлшектердің **ену қабілетінің** мәні зор емес. Ол бөлшек жылдамдығының квадратына, салмағы және энергиясына тура пропорционал. Керісінше, ену қабілетінің бөлшек зарядының абсолютті көлемімен байланысы теріс болып табылады. β -бөлшектің ауада жүрісі ондаған сантиметрді құрайды, ал α -бөлшектер – миллиметрлер. Киім адамды сырттай бұл сәулелерден жақсы қорғайды. Бірақ олардың көздерінің организм ішіне түсуі қауіпті болып табылады, өйткені тіндердегі α немесе β -бөлшектердің жүрісі жасушалардың мөлшерінен асады, бұл сәуленің оған сезімтал субжасушалық құрылымдарға әсер етуіне жағдай жасайды.

2.Сұрақ. Плотнойонизирующие и редкоизирующие излучения.

Иондаушы сәулелерді сандық бағалау. Дозиметрия негіздері

- Атомдардың және молекулалардың біріншілік өзгерісі ионизацияға немесе қозуға алып келеді және сапалық жағынан оларға әсер ететін ИС түріне байланысты емес. Бірақ заттың масса бірлігімен жұтылған энергияның бір мөлгерінде бұл энергияның сәулеленген көлемінде микрокеңістіктік таралуы әртүрлі. Бұл айырмашылық энергияның сызықтық берілуімен (ЭСБ) анықталады – бөлшекпен затқа берілетін энергия мөлшерімен орташа жүріп өтілген жолдың ұзындық бірлігіне:
- $ЛПЭ = dE/dx,$
- мұнда E – бөлшек энергиясы (эВ); x – бөлшек жолы (мкм).
- ЭСБ ИС түріне және заттың тығыздығына байланысты. Кестеде көрсетілген бұл көрсеткіштің мәні әдетте судағы нақтылы ИС ЭСБ көлеміне сәйкес келеді 37 ИИ в воде. электромагниттік ИС және нейтрондардың ЭСБ біріншілік иондаушы факторлардың ЭСБ мөлшерімен анықталады.
- ЭСБ шамасын білгеннен кейін, ИС бөлшектерін жолының ұзындық бірлігінде түзілетін орташа иондар санын анықтауға болады. Ол үшін ЭСБ шамасын иондардың бір жұбы түзілуіне қажет энергия мөлшеріне бөлу керек. (бұл мөлшер 34 эВ құрайды). Затта ИС бөлшегінің орташа 1 мкм жолына түзілетін иондар жұп мөлшері ионизацияның сызықтық тығыздығы деп аталады (ИСТ).

Кесте 4.

Редкоионизирующие и плотноионизирующие излучения

Критерий	Иондаушы сәулелер	
	Редкоионизиру ющие	Плотноионизир ующие
Өлшем ЛПЭ, КэВ/мкм	10-нан аз	10 көп
ИС атауы	Барлық электромагнитті ИС; β - излучение	Протондар, басқа қайтарым ядролары; α -бөлшектер; нейтрондар

- Редкоионизирующие сәулелер салыстырмалы жоғары ену қабілетімен ерекшеленеді, және, осының есебінен, олардың энергиясы тығыз иондаушы ИС-ге қарағанда, сәулеленген дене көлемінде біркелкі таралады. Микроскопиялық денелер үшін (по размерам сопоставимых с клетками) бұл айырмашылық болмашы, және энергиясы жағынан тең мөлшердегі сәулелердің эффектіндегі айырмашылық тек ЭСБ мөлшерімен анықталады. ЭСБ мөлшерімен микроскопиялық биообъекттер қатынасында сәулелердің салыстырмалы биологиялық эффективтілігі де тікелей байланысты.
- Затқа нейтрондардың әсер етуі кезінде қайтып беру ядролары түзіледі, олардың ЭСБ көлемі үлкен. Сол себепті нейтрондар тығыз иондаушы ИС – ге жатқызылады. Сонымен бірге, нейтрондар үлкен енуші қабілетке де ие; олардың әсер етуінде түзілетін тығыз иондаушы бөлшектер сәулеленген объект қалыңдығының әртүрлі тереңдігінде пайда болады.
- ИС анықтау және радиациялық әсерді сандық дозиметрия деп аталады. Сәулелік әсер деңгейін сандық сипаттау үшін сәуле дозасы түсінігі енгізілген. Дозаның үш негізгі түрі қолданылады – экспозициялық, жұтылған және эквиваленттік.

- **Экспозициялық доза (X)** – ИС мөлшерінің өлшем бірлігі, оның физикалық мәні ауа сәулеленуі кезінде оның салмақ бірлігінде түзілетін бір таңбалы иондардың жиынтықтық заряды болып табылады:
- $X = dQ/dm$,
- гмұнда dQ – кеңістіктің кіші көлемінде түзілген барлық екіншілік электрондардың толық тежелуі жағдайында ауада туындайтын, бір таңбалы барлық иондардың жиынтықтық заряды, dm – ауа салмағы.
- Хб жүйесінде экспозициялық дозаның бірлігі килограммға бөлінген кулон (Кл/кг) болып табылады. Бірақ, жиірек экспозициялық дозаның жүйеден тыс бірлігі қолданылады – рентген (Р), ол қалыпты жағдайда 1 см³ құрғақ ауада $2,1 \cdot 10^9$ иондар жұбының түзілуіне сәйкес келеді. $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$; $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.
- Ауада және басқа орталарда сәулеленумен шақырылатын өзгерістер сандық жағынан әртүрлі. Бұл әртүрлі заттардың бірдей салмақ көлемінде сәулеленуімен берілетін энергияның әртүрлі мөлшерімен байланысты. **Жұтылған доза (D)** бірлігінде ИС мөлшерін айқындап, бұл факторды ескеруге болады. Жұтылған дозаның физикалық маңызы заттың – заттың салмағына сәулемен берілетін энергия мөлшері:

- $D = dE/dm$,
- Мұнда dE – заттың кіші салмағымен жұтылған сәуленің энергиясы dm .
- ХБ жүйесінде жұтылған доза греймен (Гр) белгіленеді. $1\text{Гр} = 1\text{Дж/кг}$. Жұтылған дозаның жүйеден тыс бірлігі жиі қолданылады – рад (аббревиатура «radiation absorbed dose»). Рад сантигрейге тең ($1\text{рад} = 10^{-2}\text{Гр}$).
- Жұтылған дозаның биологиялық маңызды мөлшерін тікелей өлшеу оларға сәйкес энергияның шамалы ғана болғандығына байланысты әрқашан мүмкін емес. салмағы 76 кг адамның өлімге әкелетін 4 Гр дозада жалпы сәулеленуінде оның денесіне 305 Дж энергия хабар беріледі. Ол денені $0,001\text{ОС}$ –қа жылытуға ғана жеткілікті. Сол себепті, әдетте, ИС экспозициялық дозасы тікелей өлшенеді, ал жұтылған доза сәулеленген орта қасиеттерін есепке алып өлшенеді. Ауада 1 рентген $0,89$ рад –қа сәйкес келеді, ал организм тіндерінде орташа $0,95$ рад.

Эквиваленттік доза.

Әртүрлі ИС биожүйелерде бірдей жұтылған дозада да мөлшері жағынан әртүрлі эффекттер шақырады. Бұл ЭСБ және әлсіреу коэффициенті μ сияқты ИС сипаттамаларымен байланысты. Кіші көлемді биологиялық объектерге (мысалы, макромолекула, жасушалық органелла және жасушаларға), оларға әсер ететін сәуленің ЭСБ үлкен мәніне нақтылы биообъект шегінде туындайтын қозу және ионизация актілерінің үлкен саны сәйкес келеді. Сәйкесінше, жасуша және субжасушалық құрылымдарға қатынасты тығыз иондаушы сәулелердің зақымдаушы эффекті де үлкен болады. Бұл айырмашылық ЭСБ мөлшерімен айқындалады. Рентген және γ -сәуле үшін оны 1-ге тең деп қабылдайды, ал қалған ИС әрбіреуіне ЭСБ мәні рентген және қарастырылатын ИС –нің бірдей эффективті жұтылған дозаларының қатынасы ретінде есептеледі. Кейбір ИС түрлері үшін ЭСБ мәні 5-кестеде көрсетілген.

Кесте 5.

Жасушалар үшін иондаушы сәулелердің салыстырмалы биологиялық эффективтілігі

Иондаушы сәуле	Мөлшер ОБЭ
Рентген, γ - және β -сәуле	1 3
Нейтрондар баяу	10
Нейтрондар жылдам және аса үлкен энергияның α -сәуле	20

- Эквиваленттік доза (H) ИС биологиялық белсенділігінің айырмашылығын ескеруге мүмкіндік береді:
- $H = D \cdot ОБЭ$,
- Мұнда D – берілген биообъект нүктесіндегі ИС жұтылған дозасы. ХБ жүйесінде эквиваленттік доза бірлігі зиверт (Зв) болып табылады, ал жүйеден тыс бірлігі бэр (аббревиатура «радтың биологиялық эквиваленті»). $1Зв = 100бэр$.
- Объекттің сыртқы көзбен сәулелену дозасын өлшеуге арналған құралдар доза өлшеуіштер (дозиметр) деп аталады.

- **Сәуле дозасының қуаты (радиация деңгейі).** Бұл көрсеткіш сәулелік әсердің қарқындылығын сипаттайды. Дозаның қуатын уақыт бірлігінде тіркелетін доза ретінде түсінеді. ХБ жүйесінде экспозициялық доза қуаты Кл/(кг·с) белгіленеді, яғни А/кг. Доза қуатының жүйеден тыс бірлігі – Р/сағ және оның туындылары (мР/сағ, мкР/сағ). Жұтылған дозаның қуат бірлігі Гр/с, рад/с және оның туындылары. ИС дифференцияланбаған ағымының ұзақ әсер етуінде эквиваленттік дозаның қуатының жүйеден тыс бірлігі – Зв/жыл және бэр/жыл.
- Доза күштілігінң көлеміне байланысты *қысқа уақытты, ұзартылған және созылмалы сәулелену* ажыратылады. Доза қуаты 0,02 Гр/мин жоғары болғанда қысқа уақытты сәулелену деп саналады. Бірнеше ай немесе жыл бойы үздіксіз радиациялық әсер ету созылмалы деп аталады, ал ұзартылған сәулелену алғашқы екеуінің аралығын алады. Адам организмі сәулеленген жағдайда, егер 4 тәуліктен артық емес барлық дозаның 80% аз емес тіркелсе, сәулелену бір реттік деп аталады.
- Дозаның уақытта таралуына байланысты *үздіксіз және фракцияланған сәулелену* ажыратылады. Егер ИС дозасы бұл мерзімде сәулелену болмайтын уақыт интервалдарымен кезектелетін, бөліктерге (фракция) бөлінген болса, сәулелену фракцияланған деп аталады. Егер бұл интервалдар иәуліктен аза болса, адамға әсер ету нәтижесі бойынша фракцияланған сәулелену ұзартылғанға жақындайды.
- Сәуле дозасы қуатының мәні – бірдей дозада сәулелену кезінде сәуленің дозасының қуаты неғұрлым үлкен болса, радиобиологиялық эффекттер соғұрлым күшті көрінеді. Негізгі дозиметриялық шамалар және олардың өлшем бірліктері 6-кестеде келтірілген.
- Сыртқы көзден объекттің сәулеленуінің доза күшін өлшеуге арналған құралдар доза қуатын өлшеуіштер (рентгенметр) деп аталады.

Кесте 6.

Негізгі дозиметриялық шамалар және олардың өлшеу бірліктері

Дозиметриялық шама	Өлшем, оның атауы, белгіленуі		Өлшем қатынасы
	Жүйеден тыс	ХБ	
Экспозициондық доза	Рентген (Р)	Кулон килограммға (Кл/кг)	$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$
Экспозициондық дозаның қуаты	Рентген сағатта (Р/час)	Ампер килограммға (А/кг)	$1 \text{ А/кг} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ Р/сағ}$
Жұтылғандоза	Рад (рад)	Грей (Гр)	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
Жұтылған доза қуаты	Рад сағатта (рад/час)	Грей секундта (Гр/с)	$1 \text{ Гр/с} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ рад/сағ}$
Эквиваленттік доза	Бэр (бэр)	Зиверт (Зв)	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Эквиваленттік доза қуаты	Бэр жылда (бэр/жыл) зиверт жылда (Зв/жыл) Зиверт	секундта (Зв/с)	$1 \text{ Зв/с} = 3,15 \cdot 10^9 \text{ бэр/жыл}$

3.Сұрақ. Иондаушы сәулелердің негізгі көздері, радионуклидтер радиациялық қауіп көзі ретінде.

- Шығу тегіне байланысты ИС көздері *табиғи және жасанды* болып бөлінеді. Дамыған елдерде тұрғындар табиғи көздерден сәулеленудің жиынтық дозасының $2/3$ алады. Медициналық шаралар (сәулелі диагностика және сәулелі терапия) бұл дозаның үштен бір бөлігін алады, ал атомдық энергетика, басқа ИС көздерін қолданудың бейбіт түрлері және ядролық қару сынағының үлесі аз. (сурет 64).
- Табиғи көздерден шығатын ИС ағымының жиынтығы Жердің табиғи радиациялық фоны деп аталады. Қазіргі заманғы көзқарастарға сәйкес, ол биологиялық түрлердің өзгергіштігінің қозғаушы күші ретінде маңызды роль атқарады.
- Сырттан организмге көбінесе γ -сәулелер әсер етеді, оның көзі негізінен жер қыртысында болатын радиоактивті заттар болып табылады. Тасты құрылыстарда, ашық жерлерге қарағанда, γ -сәуле қарқындылығы бірнеше есе төмен, бұл құрылыстық материалдардың қалқалаушы қасиетін түсіндіреді. Қалқалаудың арнайы әдістерін қолданып, организмнің сырттай γ -сәулеленуін толық жоюға болады. Теңіз бетінен биіктігі өсуіне қарай сыртқы сәулеленудің жер көздерінің ролі азаяды. Сонымен бірге табиғи радиациялық фонның космостық құрамы артады.

ИС табиғи көздерінің көпшілігінің сәулеленуінен құтылу мүмкін емес: бұл организмнің құрамына кіретін радиоактивті заттар. Табиғи көздерден жиынтық дозадағы үлесі шамамен 2/3 құрайды.

Сурет 6. Иондаушы сәуленің негізгі көздерінің дамыған елдердің тұрғындары сәулеленуіндегі үлесі



- ИС жасанды (техногенді) көздеріне рентген түтікшелері, зақымдалған бөлшектерді жылдамдатқыштар, құрамында радионуклидтер бар құралдар жатады. Соңғы топ ашық (атмосферамен тікелей қатынастағы) және жабық (герметикалық қабатпен қапталған) ИС көздеріне бөлінеді. Жабық ИС көздері объектке сырттай сәулелік әсер ету мақсатында қолданылады. Олар ү-терапиялық құрылғы, дефектоскоп, атомдық реактор, кейбір дозиметриялық және радиометриялық құралдардың құрылымдық элементтері болып табылады.

- Өндірістік және тұрмыстық техникада кеңінен пайдаланылатын, радиолампалар және электрондық-сәулелік түтікшелер әлсіз рентген сәулесінің көзі болуы мүмкін. Бірақ Однако в штатных условиях эксплуатацияның штаттық жағдайларында бұл құрылғылар тарапынан адамға сәулелік әсерінің қарқындылығы радиациялық қаіпсіздік нормаларымен регламенттелген негізгі дозалық шегінен шықпайды. Адам жасаныды ИС көздерінен алатын дозаның үлесіне қазіргі кезде емдік және диагностикалық шаралар қосады. Олардың кейбіреуіндегі сәулелік жүктеме 65-кестеде көрсетілген. Дамыған елдерде тұрғындардың медициналық мақсатта сәулелену дозасы орташа алғанда дүние жүзіндегіге қарағанда, үш есе жоғары.

- *ИС көздері әскери уақытта өзекті болып келеді.* Ядролық қару қолданған жағдайда немесе ядролық энергетика объектілерінде ірі масштабты апат болғанда организмге сәулелік әсердің қарқыны бірнеше есе өседі. Ядролық жарылыстың негізгі радиациялық факторы енуші радиация және жергілікті жердің радиоактивті зақымдалуы (ЖРЗ)

Кесте 7.

Кейбір медициналық шараларда сәуленің жұтылған дозасының шамалы мәні

Медициналық шара	Сәулелену дозасы, сГр
Keудe торы рентгенография	1
Keудe торы флюорографиясы	5
Keудe торы рентгеноскопиясы	5 – 10
Құрсақ қуысы рентгеноскопиясы	10 - 20
Қатерлі ісіктерді емдеу	2000 - 10000

Радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау көрсеткіштері

- Кейбір элементтермен ИС өздігінен шығару қабілеті радиоактивтілік деп аталады. Радиоактивті қасиетті алғаш А. Беккерел ураннан 1896 ж анықтаған. 1934 ж. Ирен және Фредерик Жолио-Кюри жасанды радиоактивтілікті ашқанна кейін, барлық элементтердің радиоактивті изотоптары алынды, сонымен бірге осыған дейін элементтердің периодтық жүйесінде бос болған торлар толтырылды. 40-шы жылдарда атомдық номері 92 асатын («трансурандық элементтер») элементтерді алуға қол жетті. Радиоактивтілік нейтрондарға да тән: 11 минутта бос нейтрондардың біреуі протонға айналады және электрон шығарады.

- Радиоизотоптармен шығарылатын ИС көздеріне атомдық ядро ыдарауымен және жаңа химиялық элемент түзілуімен жүретін ядро ішілік қайта құрылулар жатады. Өздігінен радиоактивті ыдырауға ұшыраған, атомдық ядросы бар, химиялық элементтер радионуклидтер деп аталады.
- Радиоактивті ыдырау радиоактивті элементтің атом санының азаюын шақырады. Радионуклидтің атомдарының жартысы ыдырайтын уақыт ішіндегі аралық жартылай ыдырау кезеңі деп аталады. Бұл шаманы біліп, кез келген уақыттағы t радионуклидтің ыдырамаған атомдар санын анықтауға болады:
- $$N = N_0 \cdot 2^{-t/T},$$
- мұнда N_0 – атомдардың бастапқы саны; N – t мезетіндегі атомдар саны; T – жартылай ыдырау кезеңі.

- Жартылай ыдырау кезеңі радиоактивті заттың негізгі сипаттамаларының бірі болып табылады, өйткені оның мөлшері қатаң тұрақты және сыртқы орта жағдайына байланысты емес. Егер жартылай ыдырау кезеңі секундтармен – сағаттармен өлшенсе, қысқа өмір сүруші радионуклидтер, егер жылдармен өлшенсе – ұзақ өмір сүруші радионуклидтер. Негізгі изотоп уранның - $^{92}\text{U}238$ жартылай ыдырау кезеңі 4,5 миллиард жылды құрайды. Радиоактивті ыдырау жылдамдығының медициналық мәні – организмге немесе тері жабындыларына түскен радиоактивті заттардың бірдей мөлшерінде, жартылай ыдырау кезеңі үлкен радионуклиді бары ұзағырақ сәулеленуді (сәйкесінше, сәулеленудің жоғары дозасын) қамтамасыз етеді.

- *ИС шығаратын радионуклидтер сипатына қарай α және β -сәуле шығарушыға бөлінеді. Осы корпускулалармен қатар, кейбір радионуклидтер γ -кванттар да шығарады. Сәуле шығару сипаты қоршаған ортада және организмде радионуклидтерді анықтау үшін маңызды. γ -сәулелер радиоактивті заттар бар денелерден сыртқа оңай енеді. Сондықтан ИС γ -құрамды радионуклидтердің болуы оларды анықтауға және олардың мөлшерін өлшеуге септігін тигізеді.*

Радиоактивті заттардың мөлшері.

Радиометрия

- Радиоактивті заттардың мөлшерін дәстүрлі бірліктермен (масса, салмақ немесе көлем) белгілеу ыңғайсыз. Сондықтан радиоактивті заттардың мөлшерін бағалау критеріі олардың **радиоактивтілігі**, яғни ИС шығару қабілеті болып табылады. ХБ жүйесінде радиоактивтілік бірлігі секундтағы 1 ыдырау (беккерель, Бк), ал дәстүрлі бірлігі кюри (Ки). Радионуклидтермен зақымданған заттың көлем бірлігіне немесе масса бірлігіне жатқызылатын белсенділік үлесті белсенділік деп аталады. Радионуклидтермен зақымданған беткейдің аудан бірлігіне жатқызылатын белсенділік беткейлі радиоактивті зақымданудың тығыздығы деп аталады. Радиоактивтілік бірліктері және олардың туындылары бб-кестеде көрсетілген.
- Радиоактивті заттарды анықтау және әртүрлі объектердегі олардың құрамын сандық бағалау радиометрия деп аталады. Радиоактивті заттар олар шығаратын ИС бойынша анықталуына байланысты, радиометриялық зерттеулерге дозиметриялық құралдар – γ -сәуленің доза қуатын өлшегіштер қолданылуы мүмкін.

Кесте 8.

Радиоактивті заттардың мөлшерін өлшеу бірлігі

РЗ мөлшерінің көрсеткіштері	Өлшем, атауы, белгіленуі		Өлшемдік қатынастық
	Жүйеден тыс	ХБ	
Белсенділік	кюри (Ки)	беккерель (Бк)	1 Ки = 3,7 10 ¹⁰ Бк
Үлестік белсенділік	Ки/кг; Ки/м ³	Бк/кг; Бк/м ³	-
Беткей радиоактивті зақымданудың тығыздығы	Ки/см ² ; Ки/м ² ; Ки/км ² ; распад/(мин. см ²)	Бк/м ²	-

- Белсенділік – тіндердің сәулелену дозасын, сәйкесінше, организмге түскенде және дененің сырттай радиоактивті зақымдануында радионуклидтердің зақымдаушы эффектіні анықтайтын негізгі көрсеткіш. Сонымен қатар, радионуклидтердің қауіптілігі олар құрамында бар радиоактивті заттардың агрегатты күйін және басқа физикалық қасиеттеріне (адгезивтілік, липофильдік), радионуклидтердің түсу, таралу және организмнен шығарылу сипатына да байланысты.

- **Дайындаған: Әскери кафедра
оқытушысы**

м/қ аға лейтенанты

Е. Нуриев