

Лекция 2. Иондаушы сәулеленудің табиғаты мен сипаттамалары

Лекцияның мақсаты: Иондаушы сәулеленудің физикалық табиғатын, түрлерін және олардың негізгі қасиеттерін түсіндіру; табиғи және жасанды сәуле көздерін, альфа-, бета-, гамма- және нейтрондық сәулеленудің ерекшеліктерін қарастыру; иондаушы сәулеленудің затпен әсерлесу заңдылықтарын және олардың радиациялық материалтанудағы маңызын түсіндіру.

Негізгі сұрақтар

1. Иондаушы сәулеленудің анықтамасы және түрлері.
2. Табиғи және жасанды сәулелену көздері.
3. Альфа-, бета-, гамма-сәулелену мен нейтрондық сәулеленудің қасиеттері.
4. Электромагниттік және корпускулалық сәулеленудің айырмашылығы.
5. Зарядталған бөлшектердің заттағы энергия жоғалту және тежелу процестері.
6. Нейтрондардың қасиеттері және олардың ортадағы баяулауы.
7. Рентген және гамма-сәулеленудің шығу тегі мен қолданылуы.

Қысқаша мазмұны

1. Иондаушы сәулелену ұғымы

Иондаушы сәулелену – заттармен әрекеттескенде атомдар мен молекулаларды иондай алатын жоғары энергиялы бөлшектер мен электромагниттік толқындар.

Олар екі үлкен топқа бөлінеді:

- **Корпускулалық сәулелену** – жеке бөлшектер ағыны (α , β , n , p және т.б.);
- **Электромагниттік сәулелену** – жоғары энергиялы фотондар (рентген және γ -сәулелер).

Иондаушы сәулеленудің ерекшелігі – ол затпен әсерлескенде энергиясын біртіндеп жоғалтып, ион-жұптар түзеді.

2. Табиғи және жасанды сәулелену көздері

Табиғи көздер:

- Радиоактивті элементтер (ураний, торий, радий, калий-40 және т.б.);
- Космостық сәулелену;
- Жер қыртысындағы және ауамыздағы радионуклидтер.

Жасанды көздер:

- Ядролық реакторлар мен жеделдеткіштер;
- Радиоизотоптық генераторлар;
- Рентген түтіктері мен нейтрон көздері.

Иондаушы сәулелену көздері **ашық** (бөлшектер қоршаған ортаға тарай алады) және **жабық** (сәуле шығару материалы қоршаумен бөлінген) болып бөлінеді.

3. Альфа-сәулелену

Альфа-сәуле – бұл гелий ядролары (${}^4\text{He}^{2+}$), яғни екі протон мен екі нейтроннан тұратын ауыр, оң зарядталған бөлшектер.

4. Бета-сәулелену

Бета-сәуле – электрондар (β^-) немесе позитрондар (β^+) ағыны.

5. Гамма-сәулелену

Гамма-сәуле – ядролық реакциялар кезінде бөлінетін жоғары энергиялы электромагниттік фотондар.

Олар зарядсыз және массасыз, сондықтан ену қабілеті өте жоғары.

6. Рентген сәулеленуі

Рентген сәулелері тежеуіш және сипаттамалық спектрлер түрінде түзіледі.

Электрондар анодтағы атомдармен соқтығысқанда энергиясының бір бөлігі фотон түрінде шығарылады.

Энергия диапазоны **0.1–200 кэВ**.

Медицинада, дефектоскопияда және спектроскопияда кеңінен қолданылады.

7. Нейтрондық сәулелену

Нейтрондар электр заряды жоқ бөлшектер, сондықтан олардың затпен әсерлесуі атом ядроларымен серпімді және серпімсіз соқтығысу арқылы жүреді.

Нейтрондардың энергиясына байланысты түрлері:

- **Жылулық нейтрондар** ($E < 0.025$ эВ);
- **Аралық нейтрондар** (0.025 эВ $< E < 10$ кэВ);
- **Жылдам нейтрондар** ($E > 1$ МэВ).

Нейтрондарды баяулату үшін сутек бар заттар (су, парафин) пайдаланылады, ал қармау үшін бор және кадмий тиімді.

Бақылау сұрақтары

1. Иондаушы сәулелену дегеніміз не?
2. Табиғи және жасанды сәуле көздерінің айырмашылығы қандай?
3. Альфа-сәулелердің ерекшелігі мен ену тереңдігін сипаттаңыз.
4. Бета-сәулелер қандай процестен түзіледі?
5. Гамма-сәулелердің жұтылу механизмдерін атаңыз.
6. Рентген сәулелерінің түзілу жолдарын сипаттаңыз.
7. Нейтрондардың энергиясына қарай қандай түрлері бар?

Ұсынылатын әдебиеттер

Мукашев К.М., Мархабаева А.А. Яр Мухамедова Г.Ш. Радиационное материаловедение. Алматы. Қазақ университеті. 2016 ж;

Асабина Е.А. Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства функциональных материалов. Новгород, 2012;

Углов В.В. Радиационные эффекты в твердых телах. 2011;

2. Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. - М.: Энергоатомиздат, 2003. - 272 с;

3. Ахизер И.А., Давыдов Л.Н. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Наукова Думка, 2001. - 142 ;

Аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Физика техникалық факультеті

**Иондаушы сәулеленудің табиғаты мен сипаттамалары
Иондаушы сәулелену көздері.**

Мархабаева А.А.

- *Иондаушы сәулелену* — зат немесе қоршаған орта атомдарының немесе молекулаларының иондануына және қозуына әкелетін радиоактивті ыдырау, ядролық түрленулер, бөлшектердің тежелуі кезінде пайда болатын элементар бөлшектердің немесе электромагниттік сәулелену кванттарының ағыны.
- *Фотонды иондаушы сәулелену* — бұл электромагниттік сәулеленудің барлық түрлері, атом ядроларының, атомдардың электрондарының энергетикалық күйінің өзгеруі немесе бөлшектердің жойылуы кезінде пайда болған - ультракүлгін және сипаттамалық рентген сәулелері, радиоактивті ыдырау және басқа ядролық реакциялар кезінде және зарядталған бөлшектердің электр немесе магнит өрісінде тежелуі кезінде пайда болатын сәулелер.

- ***Корпускулалық иондаушы сәулелену*** – альфа және бета бөлшектерінің, протондардың, жеделдетілген иондар мен электрондардың, нейтрондардың және т.б. ағындары. зарядталған бөлшектер ағынының корпускулалық сәулеленуі тікелей иондаушы сәулелену класына жатады. Зарядталмаған бөлшектер ағынының корпускулалық сәулеленуі жанама иондаушы сәулелену деп аталады.
- ***Иондаушы сәулелену көзі*** – құрамында радиоактивті материал бар объект немесе белгілі бір жағдайларда иондаушы сәуле шығаратын немесе шығаруға қабілетті техникалық құрылғы. Белгілі бір қасиеттері бар иондаушы бөлшектердің ағынын алуға (генерациялауға, индукциялауға) арналған.

- **Қоршаған ортаны бақылаудың негізгі радионуклидтері.** Төменде 1.1-кестеде радионуклидтердің ядролық-физикалық сипаттамалары туралы қысқаша мәліметтер келтірілген, олардың мазмұны қоршаған ортада, құрылыс материалдарында, жұмыс және тұрмыстық үй-жайларда, әсіресе ауыл шаруашылығының тамақ өнімдерінде адам денсаулығына радиациялық қауіп төндіруі мүмкін.

Нуклид	Атауы	Жартылай ыдырау мерзімі	Гамма- кванттар, МэВ	Бета-бөлшектер $E_{\max}$, МэВ	
^{40}K	Калий-40	$1.3 \cdot 10^9$ жыл	1.461		Табиғи нуклидтер
$^{226}\text{Ra} \Rightarrow ^{206}\text{Pb}$	Уран қатары	1620 жыл	көп, 2.45 дейін	көп, 3 дейін	
$^{232}\text{Th} \Rightarrow ^{208}\text{Pb}$	Торий қатары	$1.4 \cdot 10^{10}$ жыл	көп, 2.62 дейін	көп, 3 дейін	
^{137}Cs	Цезий-137	30 жыл	0.662	1.17	Техногенді
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	Стронций-Иттрий	30 жыл, 3 күн	-	0.55, 2.29	
^{131}I	Йод-131	8 күн	0.365	0.606	Атом электр станциясының апаттары өнімдері
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	Церий-Празеодим	285 күн, 17 мин.	0.133	0.318, 3	
$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	Рутений-Родий	372 күн, 30 сек.	0.512, 0.622	0.04, 3.5	

- Ра-226 ыдырау өнімі Радон-222 ерекше назар аударуға лайық. Бұл инертті газ және кез келген ортадан және заттардан (топырақ, құрылыс материалдары және т.б.) шығарылады, олардың құрамында әрдайым дерлік уран және оның ыдырау өнімдері бар. Ашық ауада жер деңгейіндегі радонның орташа концентрациясы 8 Бк/м^3 құрайды. Радонның жартылай ыдырау кезеңі 3824 күнді құрайды және жабық және нашар желдетілетін жерлерде жиналуы мүмкін.
- Жер тұрғындары сәулеленудің негізгі бөлігін табиғи радиация көздерінен алады. Бұл табиғи радионуклидтер және ғарыштық сәулелер. Табиғи сәулелену көздеріне байланысты жалпы доза жылына орта есеппен шамамен 2.4 мЗв құрайды.

Зарядталған бөлшектердің көздері.

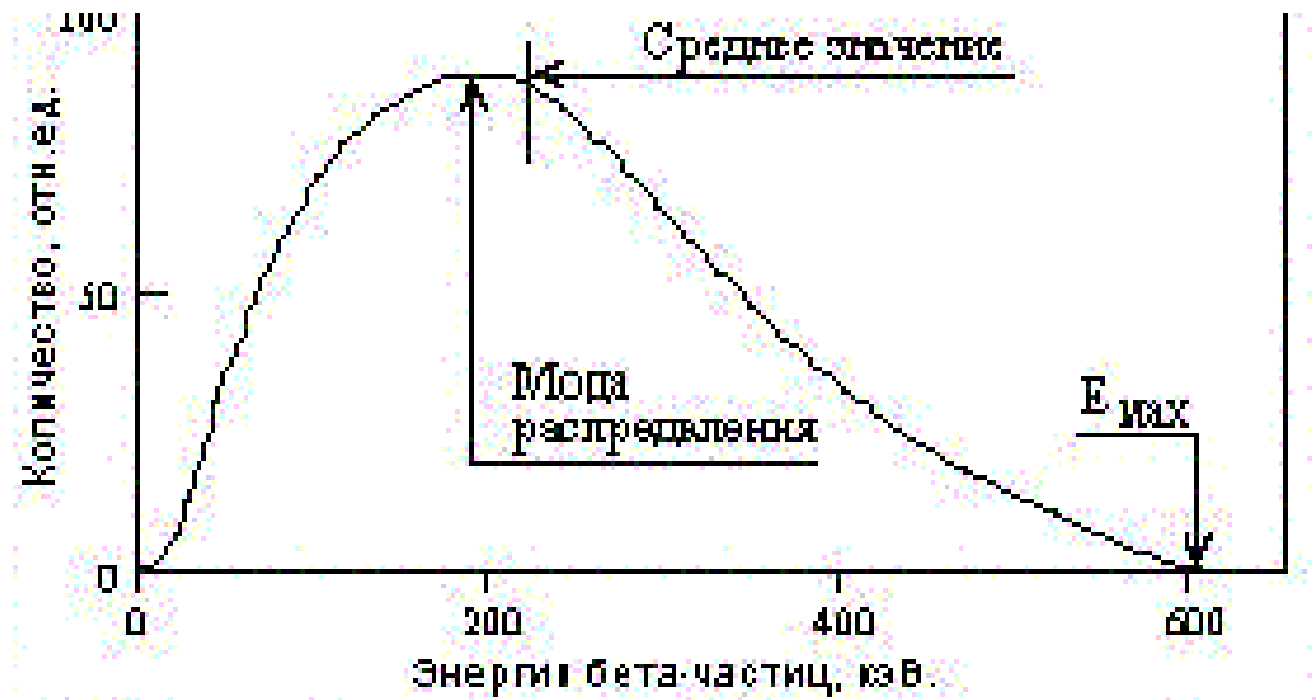
Ондаған элементар зарядталған бөлшектер белгілі, бірақ олардың көпшілігінің өмір сүру ұзақтығы микросекундтардан аспайды. Ядролық реакцияларға қатысатын элементар зарядталған бөлшектерге бета бөлшектері (электрондар мен позитрондар), протондар және альфа бөлшектері (гелий ядролары ${}^4\text{He}$, заряд +2, массасы 4) жатады.

Ауадағы бета бөлшектерінің диапазоны энергияға байланысты бірнеше метрге дейін жетеді. Қалыңдығы 3.5 мм алюминий, темір – 1.2 мм, қорғасын – 0.8 мм қабаты максималды энергиясы 2 МэВ болатын бета-бөлшектердің ағынынан толығымен қорғайды. Киім бета бөлшектерінің 50% дейін сіңіреді. Адам денесі сыртқы сәулеленуге ұшыраса бета бөлшектерінің 20-25% 1 мм-ден астам тереңдікке енеді. Массасы үлкен альфа бөлшектері атом қабықтарының электрондарымен соқтығысқанда бастапқы бағытынан өте аз ауытқуларды бастан кешіреді және сызықты дерлік қозғалады. Заттағы альфа бөлшектерінің диапазоны өте аз. Мысалы, энергиясы 4 МэВ альфа-бөлшегі ауада шамамен 2.5 см, ал суда немесе жануарлар мен адамның терісінде миллиметрдің жүзден бір бөлігін құрайды

Бета-сәулеленудің көздері.

Бета-сәулелену — корпускулярлық иондаушы сәулелену, атом ядроларының бета-ыдырауы кезінде жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен ядродан электрон немесе позитронның бөлінуімен пайда болатын электрондар немесе позитрондар ағыны.

Радионуклидтердің бета-ыдырауы нейтрино-сәулеленумен бірге жүреді, ал ыдырау энергиясының электрон мен нейтрино арасында бөлінуі кездейсоқ болады. Бұл шығарылатын бета-бөлшектердің энергиясының таралуы 0-ден әрбір изотоп үшін анықталған максималды энергия $E_{\max}$ -қа дейін үздіксіз, таралу режимі төмен энергиялық аймаққа ауысады, ал бөлшектердің орташа энергиясы $E_{\max}$ (0.25-0.45) ретті болуына әкеледі.



- 1-сурет Бета-сәулеленудің энергияның таралуы

Бета-бөлшектердің радионуклидтік көздері.

Изотоп	Атауы	Жартылай ыдырау мерзімі	Максималды энергия, кэВ
^3H	Тритий	12.6 жыл	18.6
^{35}S	Сера-35	87.2 күн	167
$^{90}\text{Sr} \Rightarrow$	Стронций-90,	28 жыл	540
$\Rightarrow ^{90}\text{Y}$	Иттрий-90	64.2 сағат	2270
^{147}Pm	Прометий-147	2.6 жыл	220
^{204}Tl	Таллий-204	3.9 жыл	77

Альфа сәулелену көздері.

- **Альфа-сәулелену** – корпускулярлық иондаушы сәулелену, ол энергиясы 10 МэВ-ке дейінгі, бастапқы жылдамдығы шамамен 20 мың км/с болатын альфа-бөлшектердің (гелий атомдарының ядроларының) ағыны. Бұл бөлшектер атомдық саны жоғары радионуклидтердің, негізінен атомдық нөмірлері 92-ден асатын трансурандық элементтердің ыдырауы арқылы шығарылады. Олардың иондаушы күші орасан зор, бірақ олардың ену қабілеті шамалы. Ауадағы жол ұзындығы 3-11 см (шамамен МэВ-дегі бөлшектердің энергиясына тең), сұйық және қатты ортада миллиметрдің жүзден бір бөлігін құрайды. Беттік тығыздығы 0.01 г/см² зат қабаты энергиясы 10 МэВ-қа дейінгі сәулеленуді толығымен жұтады. Сыртқы альфа-сәулелену адам терісінің мүйізді қабатында жұтылады.

Радионуклидті альфа сәулелену көздері табиғи изотоптардың да, ауыр жасанды изотоптардың да тұрақсыз ядролардың альфа ыдырауын пайдаланады. Альфа-бөлшектердің ыдырау кезіндегі негізгі энергетикалық диапазоны 4-тен 8 МэВ-қа шамасында. Сәулеленудің энергияның таралуы дискретті және бірнеше энергетикалық топтардың альфа бөлшектерімен ұсынылған. Максималды энергиясы бар альфа-бөлшектердің шығымы әдетте максималды болады, энергия шығару сызықтарының ені өте аз. Радионуклидті альфа көздерін алу үшін альфа бөлшектерінің максималды шығымдылығы және минималды ілеспе гамма-сәулеленуі бар изотоптар қолданылады. Альфа бөлшектерінің көздері металл астарларда жұқа қабатты нұсқада дайындалады (1.3-кесте). Таза дерлік альфа эмитенттері (мысалы, полоний-210) энергияның тамаша көзі болып табылады. Po-210 негізіндегі эмитенттің меншікті қуаты текше сантиметрге 1200 ваттан асады. Полоний-210 жабдықтың жұмысына қажетті температуралық жағдайларды сақтай отырып, «Луноход 2» үшін жылытқыш ретінде қызмет етті. Энергия көзі ретінде полоний-210 қашықтағы маяктар үшін қуат көзі ретінде кеңінен қолданылады.

1.3-кесте. Альфа-бөлшектердің радионуклидтік көздері.

Изотоп	Атауы	Жартылай ыдырау мерзімі	Бөлшек энергиясы, МэВ	шығыс/100 Бк
^{210}Po	Полоний-210	138 күн	5.3	100
^{226}Ra	Радий-226	1620 жыл	4.78; 4.59	95; 5
^{238}Pu	Плутоний-238	86.4 жыл	5.49; 5.45	72; 28
^{239}Pu	Плутоний-239	24410 жыл	5.15; 5.13; 5.1	72; 17; 11
^{242}Cm	Кюрий-242	163 күн	6.11; 6.07	74; 26
^{244}Cm	Кюрий-244	17.4 жыл	5.80; 5.76	77; 23
^{252}Cf	Калифорний-252	2.55 жыл	6.11; 6.07	85; 15

- Гамма-сәулелену көздері. Гамма-сәулелену (gamma radiation) — қысқа толқынды, толқын ұзындығы 0.1 нм-ден аз емес, радиоактивті ядролардың ыдырауы, ядролардың қозу күйінен негізгі күйге өтуі, жылдам зарядталған бөлшектердің затпен әсерлесуі, электронды позитронды жұптардың аннигиляциясы кезінде пайда болатын, электромагниттік сәулелену. Ядролар энергетикалық күйдің кейбір рұқсат етілген деңгейлерінен тұратындықтан, гамма сәулеленуінің спектрі дискретті, бірнеше кэВ-тен ондаған МэВ диапозон аралығында энергия топтарынан тұрады. Атомдық нөмері үлкен радионуклидтер үшін гамма квантының энергетикалық топтары бірнеше ондаған болуы мүмкін, бірақ олар шығу ықтималдығымен ерекшеленеді және үлкен шығу кванттық сызыктардың саны әдетте шамалы.

- Фотоэффектінің ықтималдығы квант энергиясы 200 кэВ төмен болғанда жоғары және фотонның энергиясы өскен сайын күрт төмендейді. Комптон эффектісі кезінде фотон энергиясы электронға толық берілмейді, фотон қозғалу бағытын өзгертеді. Комптондық шашырау 0.2 - 5 МэВ энергия аралығында байқалады және ортаның реттік нөміріне пропорционал. и пропорционально атомному номеру среды. Фотон энергиясы 1.022 МэВ -тен асқанда ядро маңайында электрон – позитрон жұптарының түзілу процесі мүмкін, оның ықтималдығы фотон энергиясы өскен сайын артады.
- Гамма-квантың ауадағы жүру жолы бірнеше жүздеген сантиметрге жетеді. Оның ену қабілеті энергияның өсуімен артады, ортаның тығыздығы өскенде төмендейді. Фотонды иондаушы сәулеленудің әлсіреуі экспоненциалды заңдылыққа бағынады. 1 МэВ энергия үшін ондық әлсірету қабатының қалыңдығы шамамен 30 г/см² (2.5 см қорғасын, 4 см темір немесе 12-15 см бетон).

Таблица 1.4. Гамма сәулеленудің радионуклиді көздері

Изотоп	Атауы	Жартылай ыдырау периоды	Сәулеленудің энергия сызықтары, кэВ	Кванттық шығу % / Бк
²⁴ Na	Натрий-24	14,9 сағат	1380; 2760	110
⁵⁹ Fe	Темір-59	45 тәулік	1100; 1290	56; 44
⁶⁰ Co	Кобальт-60	5.27 жыл	1170; 1330	110
⁶⁵ Zn	Цинк-65	245 тәулік	1120	45.5
⁷⁵ Se	Селен-75	127 тәулік	120; 136; 265; (280; 400)	15; 54; 56; 36
⁸⁵ Sr	Стронций-85	64 тәулік	513	100
¹¹³ Sn	Қалайы-113	119 тәулік	393	69.4
¹²⁴ Sb	Сурьма-124	60.8 тәулік	610; 640-1450; 1690; 2080	100; 35; 50; 6.5
¹³¹ I	Йод-131	8.1 тәулік	360; 630-720	78; 12
¹³⁷ Cs	Цезий-137	26.6 жыл	661	92
¹⁴¹ Ce	Церий-141	32.5 тәулік	145	67
¹⁹² Ir	Иридий-192	74 тәулік	296-316	1.36
²²² Rn	Радон-222	3.82 тәулік	241-2452	2.00