

Лекция 3. ИОНДАУШЫ СӘУЛЕЛЕНУДІ ЖӘНЕ АКТИВТІЛІКТІ СИПАТТАЙТЫН ӨЛШЕМ БІРЛІКТЕР МЕН ШАМАЛАР

Лекцияның мақсаты: Иондаушы сәулеленудің сипаттамалық шамаларын және радиоактивті ыдырау процесін түсіндіру. Белсенділік, жартылай ыдырау периоды, ыдырау тұрақтысы ұғымдарын және олардың өзара байланыстарын меңгеру.

Негізгі сұрақтар

1. Радиоактивті ыдырау заңы және ыдырау тұрақтысы.
2. Жартылай ыдырау периоды және оның есептелуі.
3. Радиоактивті белсенділік және оның өлшем бірліктері (Беккерель, Кюри).
4. Белсенділіктің меншікті, көлемдік және молярлық түрлері.
5. Белсенділік пен масса арасындағы байланыс.
6. Ыдырау түрлері мен атомдық параметрлердің өзгерісі.

3.1 Активтіліктің өлшем бірлігі

Радиоактивтілік ыдырауларды қарастырғанда радионуклидтің ядролары бір уақытта барлығы ыдырамайтындығы белгілі болды, белгілі уақыттан кейін тек ядролардың бір бөлігі ыдырайды. Бір ядроның бірлік уақыт ішінде ыдырауының ықтималдығын **ыдырау тұрақтысы** деп атайды. Солайша, ыдырау тұрақтысы радиоактивті заттың тұрақсыздығын сипаттайтын шама. Ол не физикалық, немесе химиялық шартқа тәуелді емес. Ыдырау тұрақтысы бір радионуклид үшін белгілі санға тең және ядролар санына тәуелсіз болады. Мысалы, радийдің жалпы ядролар санынан тек $1,38 \times 10^{-11}$ бөлігі ғана секунд сайын ыдырайды.

Егер N — t уақыттағы берілген радиоактивті элементтің ыдырамаған ядроларының саны, ал λ — ыдырау тұрақтысы болса, онда dt уақыт аралығындағы ядролар санының өзгерісі:

$$dN = -\lambda N dt$$

Бұл теңдеуді интегралдап, $t=0$ кезінде радиоактивті атомдардың ыдырамаған ядроларының саны N_0 -ге тең деп есептесек, радиоактивті ыдыраудың экспоненциалды заңын аламыз:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (4.1)$$

Радиоактивті ыдырау жылдамдығын сипаттау үшін *жартылай ыдырау периоды* $T_{1/2}$ (кесте П.22, П.23), яғни бастапқы ядролар санының жартысы ыдырайтын уақыт қолданылады. Егер $N = 1/2 N_0$ деп алсақ, онда $\frac{N}{N_0} = \exp(-\lambda T_{1/2}) = 1/2$, осыдан $\ln 2 = \lambda T_{1/2}$ немесе $T_{1/2} = 0,693/\lambda$, яғни

$$\lambda = 0,693/T_{1/2} \quad (4.2)$$

λ -ның мәнін (4.1)-теңдеуге қойсақ, ядролар санының салыстырмалы өзгерісін анықтайтын теңдеуді аламыз:

$$\frac{N}{N_0} = \exp\left(-\frac{0,693t}{T_{1/2}}\right) = \exp(-\lambda t) \quad (4.3)$$

Радиоактивті заттардың мөлшері масса бірліктерінде емес, радионуклидтің белсенділігі бірліктерінде көрсетіледі. Бұл келесі себептермен түсіндіріледі: егер қолданылатын радиоактивті заттардың мөлшері өте аз болса, олардың массасын өлшеу қиындық тудырады; препараттар әдетте герметикалық ампулаларда сақталады және оларды қиындықсыз шығарып алу мүмкін емес; радиоактивті заттар жиі радиоактивті емес

заттармен араласып қолданылады; әртүрлі заттардың бірдей мөлшері көбінесе әртүрлі белсенділікке ие болады және уақыт өте келе белсенділік төмендейді.

Радионуклид белсенділігі — бұл радиоактивті көздегі белгілі бір ядролық-энергетикалық күйден спонтанды ядролық ауысулардың dN_0 санының уақыт аралығына dt қатынасы:

$$A = dN_0/dt \quad (4.4)$$

Өздігінен болатын ядролық түрленуді *радиоактивті ыдырау* деп атайды.

СИ жүйесінде радиоактивті көздегі радионуклид белсенділігінің бірлігі беккерель (Бк)* болып табылады.

Беккерель — бұл радиоактивті көздегі радионуклидтің активтілігі (белсенділігі), онда 1 секунд ішінде белгілі бір ядролық-энергетикалық күйден 1 спонтанды ауысу жүзеге асады. Өлшем бірлік француз физигі Антуан Анри Беккерель (1852–1908) құрметіне уран тұздарының радиоактивтілігін ашқаны үшін аталған.

Сондай-ақ үлестік және еселік бірліктер МкБк, мБк, сБк, КБк, МБк және т.б. қолданылады (4.1-кестені қараңыз). Жүйеден тыс белсенділік бірлігі - кюри (Ки). Кюри - 1 секундта $3,7 \times 10^{10}$ ыдырау әктісі болатын (белсенділігі 1 г ^{226}Ra шамамен 1 Ки-ге тең). радионуклид белсенділігіне тең бірлік. Белсенділіктің жүйеден тыс бірлігі Кюри Беккерельмен былайша байланысты:

$$1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \frac{\text{Бк}}{\text{с}} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{Бк}; 1\text{Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11}\text{Ки} \quad (4.5)$$

Ядролық түрлендірулер әрдайым корпускулалық бөлшектерінің (фотондардың) шығуымен жүреді. Ыдыраған ядролар саны шығарылатын корпускулярлық бөлшектер санымен және одан да сирек - шығарылатын фотондар санымен әрдайым сәйкес келмейді. Ыдырау түрлері 4.3-кестеде келтірілген, ыдырау схемаларының қабылданған белгілері 4.1-суретте көрсетілген.

4.1 кесте. Радионуклидтің әр түрлі ыдырау түрлері кезінде атом массасының және атом нөмірінің өзгеруі

Ыдырау түрі	Атом массасы		Атом номері	
	Аналық нуклид	Еншілес нуклид	Аналық нуклид	Еншілес нуклид
α^- -Ыдырау	A	A—4	Z	Z—2
β^- -Ыдырау	A	A	Z	Z+1
β^+ ыдырау,	A	A	Z	Z—1
электронды қармау,	A	A	Z	Z
Изомерлі ауысу				

Дозиметрияда меншікті A_m (Бк/кг), көлемдік A_V (Бк/м³), $A_{\text{мол}}$ молярлық (Бк/моль), беттік A_S (Бк/м²) қолданылады.

Белсенділік (Бк) мен радиоактивті заттардың массасы (г) арасында белгілі бір байланыс бар.

Егер радиоактивті заттың алынған мөлшерінде әрбір секундта $3,7 \times 10^{10}$ ыдырау орын алса, онда осы белсенділікті беретін N жалпы атомдар саны заттың белсенділігін ($3,7 \times 10^{10}$) ыдырау тұрақтысына λ бөлгенге тең болады, яғни $N = A/\lambda$.

$$N = 3,7 \cdot 10^{10} / \lambda = 3,7 \cdot 10^{10} T_{1/2} / 0,693 \quad (4.5)$$

Заттың белсенділігін $A=1\text{Бк}$ беретін грамдардағы радиоактивті заттың жалпы саны m тең:

$$m = \frac{N}{3,7 \cdot 10^{10}} (A/L_0)$$

A — осы радионуклидтің атомдық массасы, г; $L_0 = 6,02 \times 10^{23} (\text{моль})^{-1}$ — Авогадро саны; A/L_0 — бір атомның массасы. Берілген деректерді орнына қоя отырып, 1 Бк (г/Бк) белсенділігі бар заттың массасын грамммен аламыз:

$$m = 1 \frac{T_{1/2}}{0,693} \frac{A}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,24 \cdot 10^{-23} AT_{1/2}. \quad (4.6)$$

Белсенділік A 1 грамм кез келген радионуклид үшін Бк (Бк/г) бірліктерінде тең:

$$A = \frac{1}{0,24 \cdot 10^{-23} AT_{1/2}} = \frac{4,17 \cdot 10^{23}}{AT_{1/2}}. \quad (4.7)$$

Мысал 1. ^{210}Po үшін 1 Бк массасын анықтаңыз ($T_{1/2} = 138$ тәулік, $A = 210$)
Шешімі. (4.6) формуласы бойынша анықтаймыз:

$$m = 0,24 \cdot 10^{-23} \cdot 210 \cdot 138 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 6,01 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

Мысал 2. ^{226}Ra үшін 1 г белсенділігін анықтаңыз ($T_{1/2} = 1620$ жыл, $A = 226$)

Шешімі. (4.7) формуласы бойынша анықтаймыз: $A = \frac{4,17 \cdot 10^{23}}{226 \cdot 31\,536\,000 \cdot 1620} = 3,61 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$

Бақылау сұрақтары

1. Радиоактивті ыдырау заңы қалай жазылады?
2. Ыдырау тұрақтысы нені сипаттайды?
3. Жартылай ыдырау периоды мен λ арасындағы байланыс қандай?
4. Белсенділік пен масса арасындағы тәуелділікті көрсетіңіз.
5. Беккерель мен Кюри бірліктерінің байланысын жазыңыз.
6. α -, β -, γ - және изомерлік ыдыраудың айырмашылықтарын түсіндіріңіз.

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
Материалтану және жаңа материалдар технологиясы

**ИОНДАУШЫ СӘУЛЕЛЕНУДІ ЖӘНЕ
АКТИВТІЛІКТІ СИПАТТАЙТЫН ӨЛШЕМ
БІРЛІКТЕР МЕН ШАМАЛАР**

Мархабаева А.А

- Радиоактивтілік ыдырауларды қарастырғанда радионуклидтің ядролары бір уақытта барлығы ыдырамайтындығы белгілі болды, белгілі уақыттан кейін тек ядролардың бір бөлігі ыдырайды. Бір ядроның бірлік уақыт ішінде ыдырауының ықтималдығын **ыдырау тұрақтысы** деп атайды. Солайша, ыдырау тұрақтысы радиоактивті заттың тұрақсыздығын сипаттайтын шама. Ол не физикалық, немесе химиялық шартқа тәуелді емес. Ыдырау тұрақтысы бір радионуклид үшін белгілі санға тең және ядролар санына тәуелсіз болады. Мысалы, радийдің жалпы ядролар санынан тек $1,38 \times 10^{-11}$ бөлігі ғана секунд сайын ыдырайды.
- Егер N — t уақыттағы берілген радиоактивті элементтің ыдырамаған ядроларының саны, ал λ — ыдырау тұрақтысы болса, онда dt уақыт аралығындағы ядролар санының өзгерісі:

Негізгі дозиметриялық шамалар

- Радионуклид белсенділігі — бұл радиоактивті көздегі белгілі бір ядролық-энергетикалық күйден спонтанды ядролық ауысулардың dN_0 санының уақыт аралығына dt қатынасы:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

- Радионуклидтің массасы мен активтілігінің қатынасы:

$$m = 3.3 \cdot 10^{-3} M \cdot T_{1/2} \cdot A$$

- Бөлшектің флюенсі дегеніміз бірлік аудан арқылы өтетін бөлшектердің саны:

$$\Phi = \frac{\Delta N}{\Delta S}$$

- Ионизациялық сәулелену энергиясының флюенсі:

$$F = \frac{\Delta E}{\Delta S} = \frac{\Delta N \varepsilon}{\Delta S} = \Phi \varepsilon$$

Негізгі дозиметриялық шамалар (2)

- Сәулелену интенсивтілігі –бірлік уақыттағы сәулеленудің энергия ағыны:

$$I = \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

- Жұтылу дозасы – көлемді алып тұратын сәулеленген заттың бірлік массасына кеткен энергия мөлшері. Өлшем бірлігі 1 Бк

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{\Delta E}{\Delta \rho V}$$

- Керма –барлық зарядталған бастапқы бөлшектердің кинетикалық энергиясының заттың массасына қатынасы

$$K = \frac{dE_k}{dm}$$

Негізгі дозиметриялық шамалар (3)

- Экспозициялық доза – ауадағы фотондармен туғызылған екінші ретті электрондардың тежелуінен пайда болған бір зарядты иондар суммасының ауа массасына қатынасы

$$D_{\text{экс}} = \frac{dQ}{dm}$$

- Рентген – құрғақ атмосфералық ауаның 0,001293 г (қалыпты жағдайда) арқылы өткен фотондық сәулеленудің экспозициялық дозасы:

$$1\text{P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

$$1\text{P} = 0.873 \text{ рад}$$

$$1\text{P} = 0,95 \text{ рад}$$

Негізгі дозиметриялық шамалар (4)

- ЭСТ (энергияның сызықтық тасымалдауы) – зарядталған бөлшектің белгілі жол арасында заттың атомдарымен соқтығысып беретін энергиясының жолға қатынасы:

$$L = \frac{dE}{dl}$$

- Эквивалентті доза – биологиялық тері көлеміндегі иондаушы сәуленің сапа коэффициентінің жұтылу дозасына көбейтіндісі: Өлшем бірлігі Зиверт

$$H = k \cdot D$$

$$13\text{в} = 100\text{бэр}$$

Негізгі дозиметриялық шамалар (5)

- Сапалық коэффициенті мен ЛПЭ –нің эмпирикалық байланысы келесі түрде

$$k = \frac{A}{L} \cdot [1 - e^{-B \cdot L^{2.08}}]$$

$$A = \frac{600 \text{кэВ}}{\text{мкм}}; B = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{мкм/кэВ}^2$$

Вид излучения	К
Рентгеновское и γ -излучение, электроны, позитроны, β -излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

Таблица 3 – Значения k для моноэнергетических нейтронов и протонов

Энергия, МэВ	k	Энергия, МэВ	k
нейтроны		1	12
тепловые	2,9	2,5	10
$1 \cdot 10^{-7}$	2,4	5	8,4
$1 \cdot 10^{-6}$	1,9	10	6,7
$1 \cdot 10^{-5}$	1,7	20	5,4
$1 \cdot 10^{-4}$	1,7	протоны	
$5 \cdot 10^{-3}$	2,8	2	13,5
$2 \cdot 10^{-2}$	4,9	5	11,7
$1 \cdot 10^{-1}$	8,0	10	9,4
$5 \cdot 10^{-1}$	12	20	7,0

Керма тұрақтысы және керма -эквивалент

$$\Gamma = \frac{K \cdot l^2}{A}$$

$$K' = K \cdot l^2$$

Нуклид	Период полураспада, Т	$\Gamma_{\delta},$ аГр·м ² (с·Бк)	$\Gamma_{\gamma},$ Р·см ² /(ч·мКи)	$K_1,$ нГр·м·с	М, мГ·экв Ра
⁴⁰ К	1,28· 10 ⁹ лет	5,1	0,19	1,9	0,09
⁶⁰ Со	5,3 года	84,6	13,0	3,1	1,54
¹³¹ І	8,0 сут.	14,2	2,2	0,52	0,26
¹³⁷ Сs	30 лет	21,3	3,2	0,80	0,40
¹³⁴ Сs	2,0 года	57,4	8,7	2,06	1,03
¹⁵⁵ Eu	5,0 лет	2,6	0,4	0,1	0,05
¹⁷⁰ Тm	129 сут	0,2	0,008	0,06	0,004
¹⁹² Іr	74 сут.	30,0	4,6	1,1	0,54
²²⁶ Ра*	1600 лет	59,5	9,0	2,14	1,07
²²⁶ Ра**	1600 лет	55,3	8,4	2,0	1

- $1 \text{ МКи} = 3,7 \cdot 10^{16} \text{ Бк}$ (распадов в секунду) = $2,22 \cdot 10^{18}$ распадов в минуту;
- $1 \text{ кКи} = 3,7 \cdot 10^{13} \text{ Бк} = 2,22 \cdot 10^{15}$ распадов в минуту.
- $1 \text{ мКи} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк} = 2,22 \cdot 10^9$ распадов в минуту.
- $1 \text{ мкКи} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк} = 2,22 \cdot 10^6$ распадов в минуту.