

## АЛЬФА-БӨЛШЕКТЕРДІҢ ТӘЖІРИБЕДЕН АЛЫНҒАН ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СПЕКТРІН ҚАРАПАЙЫМ ҚҰРАУШЫЛАРҒА ЖІКТЕУ

Ә.Х. Әбілдаев, С.Д. Ермағанбетова, Д. Әлиев\*

ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ.

\* Халықаралық Қазақ-Түрік университеті, Түркістан қ.

Альфа-бөлшектердің энергетикалық таралуының берілген ең ықтимал мәні үшін Ландау таралуы тұрғызылған. Теориялық таралуды тәжірибелік таралуға жақындататын түзету енгізілген. Нәтижесінде альфа-бөлшектердің тәжірибеден алынған күрделі энергетикалық таралуы қарапайым құраушыларына жіктелген.

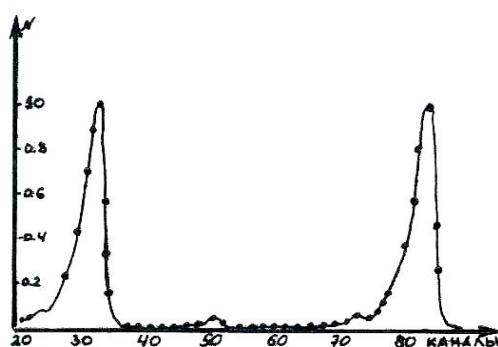
### Кіріспе

Моноэнегетикалы зарядталған бөлшектер жұқа ұлпалардан өткенде ұлпада жоғалтқан энергиясының ауытқуының салдарынан олардың энергетикалық спектрі өзгереді. Ұлпаның қалыңдығы біркелкі және изотропты болған жағдайда бұл өзгерісті есептеп табу қиын емес. [3,4]. Алайда тәжірибеден алынған спектрлердің түрі көбінесе теорияның нәтижесімен қабыса бермейді. Оның себептері төмендегідей болуы мүмкін:

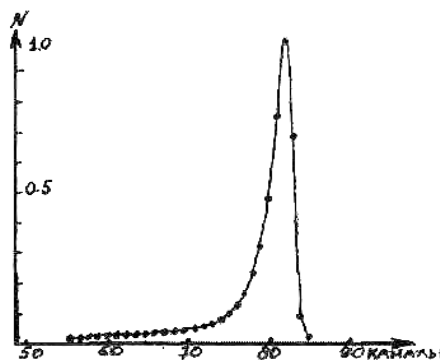
1. Ұлпаның әр бөлігінің қалыңдығы яғни геометриялық өлшемі әртүрлі;
2. Бет бойынша массалық тығыздығы әртүрлі;
3. Ұлпаның ішкі құрылымында анизотропиялық қасиеттер бар.

Аталған себептердің қайсысы орын алса да ұлпадан өткен бөлшектердің энергетикалық спектрі әртүрлі таралулардың қосындысы болары анық. Сондықтан тәжірибеден алынған күрделі спектрді оның қарапайым құраушыларына жіктеу ұлпаның ішкі құрылысына үңілуге мүрсат берері сөзсіз. Ұсынылып отырған жұмыста Ландау таралуының негізінде альфа-бөлшектердің күрделі тәжірибелік спектрі қарапайым құраушыларға жіктелген.

1,2-суреттерде жазық ионизациялық камерада алынған кейбір изотоптардың альфа спектрі көрсетілген. Альфа-бөлшектердің табиғи энергетикалық ауытқуы өлшеусіз аз болғанымен, олардың камера ішіндегі газды иондау процесінде жоғалтқан энергиясының ауытқуы едәуір шамаға жетеді. Уран изотоптарының альфа-спектрі тәжірибелік қондырғыдағы канал құнын анықтау үшін келтіріліп отыр.



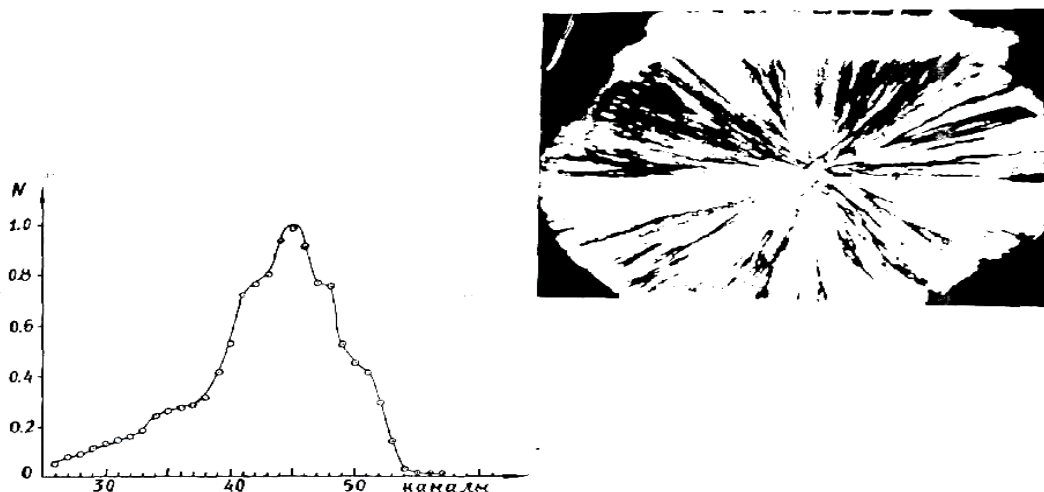
1-сурет. Табиғи уран изотоптарынан шыққан альфа-бөлшектердің энергетикалық спектрі



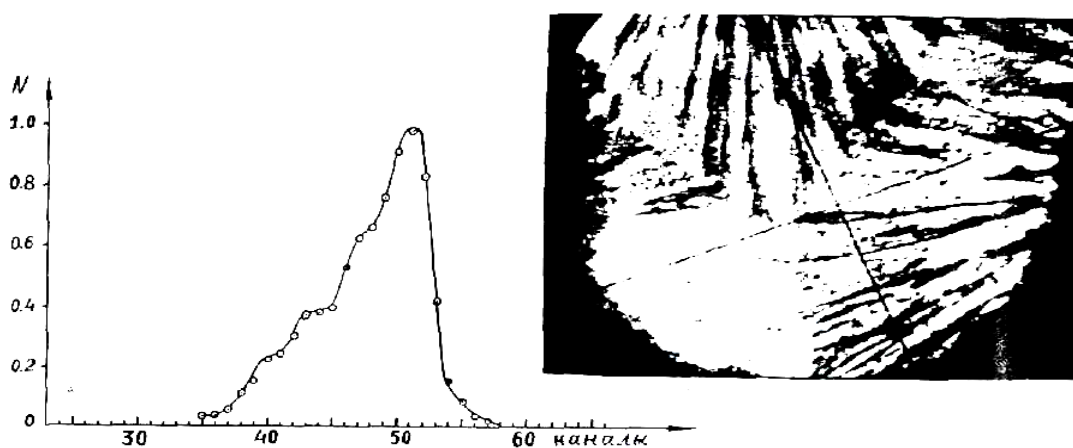
2-сурет.  $Pu^{239}$  альфа-бөлшектерінің энергетикалық үлестірілуі

Тәжірибеде Плутоний-239 изотопынан ұшып шығып жатқан альфа-бөлшектердің энергетикалық спектрі зерттелді. 3-суретте  $Pu^{239}$  альфа-бөлшектерінің полипропилен сферолитінің центрінен өткеннен кейінгі спектрі көрсетілген, ал 4-суретте сол альфа-бөлшектердің бірнеше сферолиттің тоғысқан шекарасынан өткендегі спектрі келтірілген. Суреттерден ұлпаның қалыңдығы бірдей болғанымен оның әр бөлігінің ішкі құрылысы

эртүрлі екені көрініп тұр. Соның салдарынан альфа-бөлшекті тежеу қабілеті эртүрлі болғандықтан, энергетикалық спектрдің пішіні де эртүрлі болады. Келтірілген спектрлердің күрделі екені және олардың бірнеше қарапайым спектрлерден тұратыны күмәнсіз. Егер альфа-бөлшектердің ұлпадан өткеннен кейінгі спектрін қарапайым спектрлерге жіктей алсақ және ол спектрлерді ұлпаның ішкі құрылымымен байланыстыра алсақ, онда ренгенқұрылымдық, оптикалық әдістерге қосымша ұлпалардың ішкі құрылысын анықтайтын альфа-спектрометриялық әдісінің де пайда болуы сөзсіз. Осы мақсатпен біз альфа-бөлшектердің тәжірибеден алынған энергетикалық спектрін қарапайым құраушыларына жіктеудің мүмкіншіліктерін зерттедік.



3-сурет.  $Pu^{239}$  альфа-бөлшектерінің полипропилен сферолитінің центріден өткеннен кейінгі энергетикалық спектрі



4-сурет.  $Pu^{239}$  альфа-бөлшектерінің бірнеше полипропилен сферолиттің тоғысқан шекарасынан өткендегі энергетикалық спектрі

Күрделі энергетикалық таралуды қарапайым құраушыларға жіктеудің жалпы түрі төмендегідей сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесін шешуге келіп тіреледі:

$$\sum_{k=1}^N \theta_k \cdot F_{ki} = A_i. \quad (1)$$

Бұл теңдеудің оң жағы альфа-бөлшектердің тәжірибеден алынған энергетикалық таралуы.  $F_{ki}$  -  $k$ -ншы қарапайым құраушының секірмелі мәндері. Бұл құраушыны сипаттайтын энергия ысырабының ең ықтимал мәні  $i_k^* \cdot a$ ,  $N$  - қарапайым құраушылар саны.  $i_k^*$  және  $N$  өзара

байланысты.  $i_k^*$ -ның барлық мәні табылса, олардың саны  $N$ -ге тең.  $i_k^*$ -ның орналасу заңдылығы алдын-ала белгісіз. Альфа-бөлшектерінің ортада тежелуінің теориясына және тәжірибеден алынған нәтижелерге сүйене отырып,  $F_{ki}$  функциясын және  $i_k^*$  мәндерін іздейміз. Табылған шамаларды (1)-ге қойып,  $\theta_k$  -ны жедел табамыз.

Әлбетте, бұл есеп «шарты дұрыс қойылмаған есептер» қатарына жатады, себебі іздеп отырған шамалар бір ізді емес, сондықтан бұл есепті шарты дұрыс қойылмаған есептерді шешу әдісімен шешеміз [1,2]. Біз мұнда есептің мүмкін болатын шешімдерін азайтуға атсалысатын қосымша ақпараттарды іздеп табу әдісін пайдаландық. Ол әдістің мағынасы мынада:

- 1) Альфа-бөлшектердің ортада тежелуінің теориясына сүйене отырып, кез-келген ықтимал ысыраптық мәні үшін қарапайым энергетикалық таралуды тұрғызамыз;
- 2) Ол таралуды тәжірибелік қарапайым таралуға жақындатамыз;
- 3) Тәжірибеден алынған күрделі спектрдің сипаттамасын еске ала отырып, қарапайым таралудың қонатын орнының ең ықтимал энергиясының мәнін анықтаймыз;
- 4) Сол орынға тұрғызылған таралудың шыңына сәйкес келетін бөлшек санының қалыпқа келтірілген мәнін анықтаймыз. Альфа-бөлшектердің ортада тежелуін Ландау таралуы сипаттайды.

### Ландау таралуын тұрғызу

Ландау таралуы  $g$  параметрінің көмегімен  $B_j(b_j)$  универсал функцияның негізінде тұрғызылады [3]. 1-кестеде  $B_j$  функциясының  $b_j$  -ге тәуелді мәндері берілген:

1-кесте.  $B_j$  универсал функциясының  $b_j$  -дан тәуелділік кестесі

$b_j$	$B_j$	$b_j$	$B_j$	$b_j$	$B_j$	$b_j$	$B_j$
-3,50	0,001	3,00	0,074	9,50	0,0130	16,00	0,0041
-3,25	0,002	3,25	0,068	9,75	0,0120	16,25	0,0039
-3,00	0,004	3,50	0,063	10,00	0,0115	16,50	0,0037
-2,75	0,006	3,75	0,058	10,25	0,0110	16,75	0,0035
-2,50	0,010	4,00	0,053	10,50	0,0105	17,00	0,0033
-2,25	0,022	4,25	0,049	10,75	0,0100	17,25	0,0031
-2,00	0,038	4,50	0,046	11,00	0,0095	17,50	0,0029
-1,75	0,066	4,75	0,042	11,25	0,0090	17,75	0,0028
-1,50	0,100	5,00	0,039	11,50	0,0085	18,00	0,0027
-1,25	0,120	5,25	0,037	11,75	0,0082	18,25	0,0026
-1,00	0,150	5,50	0,035	12,00	0,0079	18,50	0,0025
-0,75	0,162	5,75	0,032	12,25	0,0076	18,75	0,0024
-0,50	0,172	6,00	0,031	12,50	0,0073	19,00	0,0023
-0,25	0,177	6,25	0,029	12,75	0,0070	19,25	0,0022
0,00	0,180	6,50	0,026	13,00	0,0067	19,50	0,0021
0,25	0,174	6,75	0,024	13,25	0,0064	19,75	0,0020
0,50	0,166	7,00	0,023	13,50	0,0061	20,00	0,0019
0,75	0,157	7,35	0,021	13,75	0,0059	20,25	0,0018
1,00	0,146	7,50	0,020	14,00	0,0057	20,50	0,0017
1,25	0,134	7,75	0,019	14,25	0,0055	20,25	0,0016
1,50	0,125	8,00	0,018	14,50	0,0053	20,50	0,0015
1,75	0,114	8,25	0,017	14,75	0,0051	20,25	0,0014

2,00	0,104	8,50	0,016	15,00	0,0049	20,50	0,0013
2,25	0,094	8,75	0,015	15,25	0,0047	20,75	0,0012
2,50	0,088	9,00	0,014	15,50	0,0045	21,00	0,0011
2,75	0,080	9,25	0,0135	15,75	0,0043	21,25	0,0010

[3]-те көрсетілген белгілеулерді мына белгілеулермен алмастырдық:

$$\Delta \rightarrow i_k^* \cdot a; \quad \varphi(b) \rightarrow B_j(b_j); \quad \xi \rightarrow g.$$

Сонымен,

$$i_k^* \cdot a = g_k [\ln(g_k / \varepsilon') + 0.37] \quad (2)$$

мұндағы  $i_k^*$ -энергия ысырабының ең ықтимал мәніне сәйкес келетін каналдың нөмірі,  $a$ -анализатордағы каналдың энергияға айналдырғандағы құны.  $i_k^* = 0$  жағдай ұлпамен жабылмаған төсеніштен шығып жатқан альфа-бөлшектердің энергетикалық таралуының ең ықтимал мәніне сай келеді. Енді (2) теңдіктің екі жағын да  $mc^2$ -қа бөлсек, атаудан құтыламыз (мұндағы  $m$ -электронның массасы,  $c$ -жарықтың вакуумдағы жылдамдығы).

$$i_k^* \cdot a / mc^2 = (g_k / mc^2) [\ln(g_k / mc^2) - \ln(\varepsilon' / mc^2) + 0.37]$$

$$\text{Ландау бойынша } \ln \varepsilon' = \ln[(1 - v^2 / c^2) / 2mv^2] \cdot I^2 + v^2 / c^2.$$

Мынадай белгілеулер енгізейік:

$$[(1 - v^2 / c^2) / 2mv^2 \cdot mc^2] \cdot I^2 = \Phi,$$

$$\ln \Phi + v^2 / c^2 = \Pi,$$

$$Mv^2 / 2 = (2E - i_k^* \cdot a) / 2.$$

Мұндағы  $M$ -альфа-бөлшектің массасы,  $v$ -альфа-бөлшектің жылдамдығы.

$$\text{Бұдан } v^2 = (2E - i_k^* \cdot a) / M;$$

$$\Phi = (M / 2m) [(Mc^2 - 2E + i_k^* \cdot a) / Mc^2 \cdot (2E - i_k^* \cdot a) mc^2] \cdot I^2;$$

$$v^2 / c^2 = (2E - i_k^* \cdot a) / Mc^2;$$

$$M / m = P;$$

$$Mc^2 = Q;$$

$$mc^2 = \omega$$

$$\text{Онда } \Phi_k = (P / 2\omega) [(Q - 2E - i_k^* \cdot a) / Q (2E - i_k^* \cdot a)] \cdot I^2;$$

$$\Pi_k = \ln \Phi_k + (2E - i_k^* \cdot a) / Q;$$

$$i_k^* \cdot a = g_k [\ln(g_k / \omega) - \Pi_k + 0.37]. \quad (3)$$

(3) теңдеуінен  $g_k$  параметрін есептеп табуға болады. Бұл теңдеудегі  $g_k$ -дан басқа шамалардың бәрі белгілі.

Сонымен, мына параметрлер берілді деп есептесек,

$$b_j, B_j (j = 1 \div M), E, I, P, Q, \omega, a, i_k^*, k, \eta, q.$$

Онда Ландау таралуының секірмелі мәндерін есептеп табу төмендегі ретпен іске асырылады:

$$1. \Phi_k = (p / 2\omega) [Q - (2E - i_k^* \cdot a)] \cdot I^2 / Q(2E - i_k^* \cdot a).$$

$$2. \Pi_k = \ln \Phi_k + (2E - i_k^* \cdot a) / Q.$$

3.  $g_k$ -ны мына теңдеуден табу керек:

$$i_k^* \cdot a = g_k [\ln(g_k / \omega) - \Pi_k + 0.37].$$

$$4. b_j = (i - i_k^*) \cdot a / g_k.$$

5. Мына шартты  $b_j \leq b_i < b_{j+1}$  орындай отырып  $b_j$  және  $b_{j+1}$  -ді табу қажет.

6.  $B_i = B_j + (B_{j+1} - B_j)(b_i - b_j)/(b_{j+1} - b_j)$ .

7.  $f_{ki} = B_i / g_k$  -осы ең ықтимал мәні  $i_k^*$  каналда орналасқан Ландау таралуының секірімелі мәндері.

Ландау таралуын тәжірибелік қарапайым таралуға жақындату үшін  $g_k$  -ға  $\Delta g$  толықтыру енгізу қажет:

$$\Delta g_k = \eta(i_k^* \cdot a) + q \quad (4)$$

әрі қарай

8.  $G_k = g_k + \Delta g_k$ .

9.  $b_i = (i - i_k^*)a / G_k$ .

10.  $F_{ki} = B_i / G_k$ .

### Қорытынды

Бұл таралу Ландау таралуына толықтыру енгізу арқылы есептелген тәжірибелік қарапайым таралу болып табылады.

### Әдебиет

1. Тихонов А.Н., Арснин В.Я. Методы решения некорректных задач. НаукаМ.1974, 223 с.

2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Владимиров Л.А., Дорошенко Г.Г., Думова А.А. К вопросу об обработке спектров  $\gamma$  квантов и быстрых нейтронов, измеренных с помощью однокристалльных сцинтилляционных спектрометров. Изв.АН. СССР, серия физическая, 1965, том 29, № 5, с. 815-818.

3. Ландау Л.Д. «О потерях энергии быстрыми частицами на ионизацию». В кн: Ландау Л.Д. Собрание трудов, 1-том, М. Наука, 1969 с.482-490

4. Василевский И.М., Прокошкин Ю.Д. Ионизационные потери энергии протонов, дейтронов и  $\alpha$  -частиц. Ядерная физика. 1966, том 4, вып.3, с.549-555.

## РАЗЛОЖЕНИЕ СЛОЖНОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПЕКТРА АЛЬФА-ЧАСТИЦ НА ПРОСТЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

**А.Х. Абильдаев, С.Д. Ермаганбетова, Д. Алиев**

Построено распределение Ландау для любого заданного наиболее вероятного значения энергии распределения альфа-частиц. Расчитана поправка, приближающая теоретическое распределение к экспериментальной. В результате сложное экспериментальное распределение альфа-частиц разложено на простые составляющие.

## EXPANDING INTO SIMPLE CONSTITUENTS THE ENERGETIC SPECTRUM TAKEN FROM EXPERIMENT OF ALPHA PARTICLES

**A.Kh. Abildayev, S.D. Yermaganbetova, D. Aliev**

The Landau distribution has been constructed for any given value of the most probable value of alpha particle distribution energy. Correction reconciling theoretical distribution with the experimental one has been estimated. As a result complicated experimental distribution of alpha particle has been expanded into simple constituents.