

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Лабораторна робота № 3
ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ БЕТА-ЧАСТИНОК У СПЕКТРІ

Виконали
студенти 4 курсу,
кафедри квантової
радіофізики
Лукашенко Валерія
Лапчевський Костянтин
Корнієнко Анастасія

КИЇВ
2016

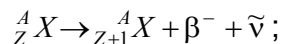
Мета: визначення максимальної енергії бета-частинок в спектрі.

Теоретичні відомості

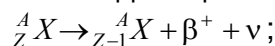
Бета-розпад — це самовільний процес, в якому нестабільне ядро ${}^A_Z X$ перетворюється на ядро-ізобар ${}^A_{Z+1} X$ або ${}^A_{Z-1} X$. Кінцевим результатом цього процесу є перетворення в ядрі нейтрону в протон або протону в нейтрон.

Розрізняють три види β -розпаду:

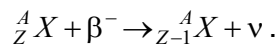
а) електронний β^- -розпад, в якому ядро випускає електрон, а тому зарядове число Z збільшується на одиницю:



б) позитронний β^+ -розпад, в якому ядро випускає позитрон та з цієї причини його зарядове число Z зменшується на одиницю:



в) електронне захоплення (ϵ -захоплення), в якому ядро поглинає один з електронів електронної оболонки, а тому зарядове число зменшується на одиницю:



Звичайно електрон поглинається з K -шару атому, оскільки цей шар знаходиться ближче за все до ядра. В цьому випадку ϵ -захоплення називають K -захопленням. Електрони можуть поглинатися також з L - або M -шару і т.д., але ці процеси значно менш імовірні.

Поправку на поглинання бета-частинок на шляху джерело — лічильник обчислюють за формул

$$I = I_0 \cdot 2^{-pd/\Delta},$$

де Δ — товщина шару половинного поглинання (мг/см^2), в даній роботі $\Delta=78 \text{ мг/см}^2$. Товщина шару половинного поглинання залежить від максимальної енергії E_{max} бета-спектру. Її можна обчислити з наступних емпіричних співвідношень:

$$\text{при } 0,15\text{MeV} < E_{\text{max}} < 0,7\text{MeV} \quad \Delta(\text{мг/см}^2) = 55 \cdot (E_{\text{max}})^{1,66}, \quad (1a)$$

$$\text{при } 0,7\text{MeV} < E_{\text{max}} < 2,5\text{MeV} \quad \Delta(\text{мг/см}^2) = 53 \cdot (E_{\text{max}})^{1,47}. \quad (16)$$

Тут pd — масова товщина речовини на шляху від препарату до робочого об'єму лічильнику:

$$pd = (pd)_{\text{пов}} + (pd)_{\text{е}} + (pd)_{\text{погл}},$$

де $(pd)_{\text{пов}}$ — масова товщина шару повітря між джерелом та лічильником, а $(pd)_{\text{е}}$ — масова товщина вікна лічильника, $(pd)_{\text{погл}}$ — масова товщина поглиначу (в даній роботі поглиначем є алюміній). Сумування масових товщин за формулою (5) допустимо лише для легких та середніх елементів.

Похибки:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

\bar{x} - Середнє значення

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

- Середня квадратична похибка

$$\delta = \frac{C_{an} * S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \quad - \text{Відносна похибка, де } C_{an} - \text{коефіцієнт Стюдента}$$

Хід роботи

1. Впевнитись, що величиною фону при вимірах можна знехтувати.
 $t=30s$.

№	N
1	3
2	5
3	7
4	3
5	7
6	6
7	5
8	6
Av. N	5,25

Таб.1 Величина фону

Похибки: $\Delta N = 0,558$; $\delta = 0,2555$; $\delta = 25,55 \%$

2. Виміряти залежність кількості бета-частинок, які реєструються лічильником за певний інтервал часу.

$t=30s$.

Зразок (або нульова товщина поглинач)

$$(\rho d)_{\text{погл}} = 0$$

№	N
1	26
2	23
3	22
4	20
5	25
6	15
7	19
8	20
Av. N	21,25

Таб. 2 Кількість бета частинок без поглинач

$$\sqrt{(21,25)} = 4,6$$

$16,65 < N < 25,85$ - 95% вірогідність з розподілу Пуассона

Відкидаємо 26 та 15, як випадкові результати.

$$\langle N \rangle = 21,5$$

3. Провести вимірювання кількості β -частинок для різної товщини поглинач (алюмінієвої фольги).

Один прошарок фольги

Параметри: $m = 70 \text{ mg}$; $S = 17,2 \text{ cm}^2$

$$(\rho d)_{\text{погл}} = (\rho d)_1 = \frac{m}{S} = 4,065 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$$

№	N
1	16
2	12
3	18
4	20
5	20
6	24
7	21
8	22
Av. N	19,125

Таб. 3 Кількість бета-частинок з одним шаром поглинач

$$\sqrt{(19,125)} = 4,37$$

$$14,755 < N < 23,495$$

Відкидаємо 24.

$$\langle N \rangle = 18,43$$

Два прошарки фольги

Параметри другого: $m = 75 \text{ mg}$; $S = 21,2 \text{ cm}^2$

$$(\rho d)_{\text{погл}} = (\rho d)_2 = (\rho d)_1 + \frac{m}{S} = 7,607 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$$

№	N
1	10
2	20
3	14
4	16
5	17
6	15
7	10
8	14
Av. N	14,5

Таб. 4 Кількість бета-частинок з двома шарами поглинач

$$\sqrt{(15,375)} = 3,92$$

$$11,455 < N < 19,3$$

Відкидаємо 20 та 10.

$$\langle N \rangle = 15,2$$

Три прошарки фольги

Параметри третього: $m=70\text{ mg}$; $S=16,72\text{ cm}^2$

$$(\rho d)_{\text{погл}} = (\rho d)_3 = (\rho d)_2 + \frac{m}{S} = 11,794 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$$

№	N
1	19
2	17
3	13
4	12
5	11
6	19
7	15
8	13
Av. N	14,875

Таб. 5 Кількість бета-частинок з трьома шарами поглинача

$$\sqrt{(14,875)} = 3,86$$

$$11,015 < N < 18,73$$

Відкидаємо 19.

$$\langle N \rangle = 13,5$$

Чотири прошарки фольги

Параметри четвертого: $m=75\text{ mg}$; $S=20\text{ cm}^2$

$$(\rho d)_{\text{погл}} = (\rho d)_4 = (\rho d)_3 + \frac{m}{S} = 15,544 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$$

№	N
1	13
2	9
3	11
4	16
5	15
6	16
7	15
8	20
Av. N	14,375

Таб. 6 Кількість бета-частинок з чотирма шарами поглинача

$$\sqrt{(14,375)} = 3,79$$

$$10,59 < N < 18,17$$

Відкидаємо 20, 9.

$$\langle N \rangle = 14,33$$

$$\rho d = (\rho d)_{\text{пов}} + (\rho d)_e + (\rho d)_{\text{погл}} = 4,862 \left(\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2} \right) + (\rho d)_{\text{погл}}$$

Кіл. Шарів	ρd , mg ² /cm	N	S	δ	δ , %
0	4,8620	21,50	0,9220	0,1041	10,41
1	8,9318	18,43	1,1848	0,1487	14,87
2	12,4695	15,20	0,5831	0,0965	9,65
3	16,6561	13,50	0,7480	0,1207	12,07
4	20,4061	14,33	0,6785	0,1133	11,33

Таб. 7 Масова товщина та похибки для різних товщин поглинача

4. Ввести отриману для різної товщини поглинача кількість частинок до комп'ютерної програми та одержати напівлогарифмічний графік залежності швидкості рахунку β -частинок від масової товщини поглинача $\ln I(\rho d)$.

$I = I_0 \cdot 2^{-\rho d / \Delta}$ - поправка на поглинання бета-частинок на шляху джерело-лічильник

Враховуючи цю поправку отримаємо:

Кіл. Шарів	ρd , mg/cm ²	N	I , c ⁻¹	LN(I)
0	4,8620	21,50	0,7483	-0,2899
1	8,9318	18,43	0,6651	-0,4078
2	12,4695	15,20	0,5660	-0,5691
3	16,6561	13,50	0,5218	-0,6505
4	20,4061	14,33	0,5726	-0,5575

Таб. 8 Таблиця значень для побудови напівлогарифмічного графіка

Рис. 1 $\rho d = f(\ln(I))$

5. Визначити товщину шару половинного поглинання.

За методом МНК: $f(x) = ax + b$

$$a = -36,23 \frac{mg}{cm^2}$$

$$b = -5,27 \frac{mg}{cm^2}$$

$$S_a = 12,88 \frac{mg}{cm^2}$$

$$S_b = 6,59 \frac{mg}{cm^2}$$

$$\Delta = -\ln 2 \cdot A = \ln 2 \cdot \frac{\rho d_2 - \rho d_1}{\ln I_1 - \ln I_2}, = -\ln(2) * (-36,23) = 25,11 \frac{mg}{cm^2}$$

$$S(\Delta) = \ln(2) * S(a) = \ln(2) * (12,88) = 8,93 \frac{mg}{cm^2} \quad \text{- абсолютна похибка}$$

і

6. За допомогою теоретичної таблиці визначити максимальну енергію β -частинок $E_{\beta max}$.

$$E_{\beta max} \approx 0,6 MeV$$

7. За формулами (1а) або (1б) (в залежності від максимальної енергії бета-частинок) перевірити отримане значення $E_{\beta max}$.

Для 0,7 MeV теоретично підходять обидві формули. Перевіримо де краще поставити знак рівності.

$$\Delta (mg/cm^2) = 55 \cdot (E_{max})^{1,66},$$

$$\Delta_1 = 55 * (0,6)^{1,66} = 23,55 \frac{mg}{cm^2} \quad \Delta - \Delta_1 = 1,55 \frac{mg}{cm^2}$$

Визначимо похибку енергії:

$$\Delta E = 0,6 \left(\frac{\delta \Delta}{55} \right)^{0,6} = 0,2 MeV$$

Висновок

У даній роботі було досліджено спектр бета-частинок та визначено їх максимальну енергію. Під час роботи змінювалась товщина алюмінієвого поглинача з нульової до 4-шарової. Фон визначено достатньо малим, щоб їм можна було знехтувати.

У результаті визначено, що товщина шару половинного поглинання

$$\Delta = (25,11 \pm 8,93) \frac{mg}{cm^2}, \text{ а максимальна енергія спектру } E = (0,6 \pm 0,2) MeV$$

Отримане значення енергії лежить в межах допустимих середніх значень максимальної енергії бета – частинок, тобто лежить в межах 0.011 MeV – 12 MeV.

Відносна похибка максимальної енергії $\delta = 33,3 \%$. Така велика похибка пов'язана з тим, що навіть з нульовим поглиначем випромінювання джерела всього лиш в 4 рази більше, тобто десь приблизно 25% частинок, що долетіли до детектора могли бути фоном, що дає підстави думати, що джерело вже має меншу активність, ніж потрібно для дослідження. Для отримання більш точних результатів можна набрати більшу статистику.