

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

Лабораторна робота №1
ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ГАММА-КВАНТІВ ЗА ПОГЛИНАННЯМ У РЕЧОВИНІ

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

КИЇВ
2016

Мета роботи: визначення енергії гамма-квантів невідомого радіоактивного джерела з моноенергетичним спектром.

1. Короткі теоретичні відомості

Гамма-кванти — це жорстке електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі λ меншою, ніж у рентгенівських променів (рентгенівські промені мають діапазон довжин хвиль приблизно $50\text{—}10^{-3}$ нм, а для гамма-квантів $\lambda < 10^{-2}$ нм). При взаємодії з речовиною потік гамма-квантів зменшується за рахунок трьох можливих механізмів: 1) повністю поглинаються внаслідок фотоефекту, 2) розсіюються, змінюючи напрямок імпульсу та зменшуючи енергію внаслідок комптон-ефекту, 3) перетворюючись в електрон-позитронну пару (при енергії кванту більше $1.02 \text{ MeV} = 2m_0c^2$).

Очевидно, що зменшення кількості гамма-квантів dN в пучку при проходженні через шар речовини пропорційне до частоти зіткнень гамма-квантів з електронами та ядрами речовини. Кількість таких зіткнень пропорційна до кількості N квантів в пучку та до товщини dx шару речовини, через який проходять гамма-кванти

$$dN = -\mu \cdot N \cdot dx, \quad (1)$$

де коефіцієнт пропорційності μ — називається лінійний коефіцієнт поглинання гамма-квантів речовиною, і залежить від енергії гамма-квантів та атомарного складу речовини. Цей коефіцієнт характеризує ймовірність процесу взаємодії гамма-квантів з речовиною. Знак “мінус” виникає тому, що потік гамма-квантів при проходженні через речовину зменшується.

Після інтегрування рівняння (1) можна переписати наступним чином:

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (2)$$

Поділивши праву та ліву частину рівняння (2) на час, отримаємо вираз для інтенсивності:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

(3)

Лінійний коефіцієнт поглинання μ в багатьох випадках не зовсім зручний параметр для розрахунків (наприклад у випадках складного хімічного складу поглинача). Для цього використовується інший параметр — атомний коефіцієнт поглинання, фізичний зміст якого є ймовірність взаємодії гамма-квантів з речовиною, розрахована на один

атом речовини. Для цього треба розділити лінійний коефіцієнт поглинання на концентрацію речовини n , а для того, щоб показник експоненти в рівнянні (3) не змінився, треба і помножити на n . Формула (3) переписується у вигляді

$$I = I_0 \cdot e^{-\sigma n x}, \quad (4)$$

де $\sigma = \mu/n$ — ефективний переріз взаємодії γ -квантів з атомом даної речовини. Фізичний зміст σ — ймовірність процесу взаємодії гамма-квантів з речовиною.

Похибки:

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

\bar{x} - Середнє значення

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

- Середня квадратична похибка

$$\delta = \frac{C_{an} \cdot S_x}{\bar{x}}$$

- Відносна похибка, де C_{an} - коефіцієнт Стюдента

3. Порядок виконання роботи

1. Задати наступні параметри програми: матеріал пластинок – Pb, матеріал детекторів – Al, товщина однієї пластинки — 10 mm.

$t = 30$ s.

2. Запустити програму в інтерактивному режимі для ознайомлення з її можливостями та для наочності.

3. Запустити програму в режимі вимірювань для різних товщин поглиначів.

Plates	Al	Detector	Pb	Energy		Dose, Gy								Av Dose, Gy	S, 10 ⁻¹¹	C	δ	2,4
№	x, mm	m, g		1	2	3	4	5	6	7	8							
1	10	2,9056	9,00E-09	8,96E-09	9,08919E-09	0,000000009	9,05281E-09	9,05281E-09	9,08919E-09	0,000000009		9,04E-09	1,258401878				3,34152	0,33%
2	20	5,8112	5,32893E-09	5,34199E-09	5,40464E-09	5,34247E-09	5,38559E-09	5,31143E-09	5,33038E-09	5,36491E-09		5,35E-09	1,110001255				4,97825	0,50%
3	30	8,7168	2,85334E-09	2,83759E-09	2,84089E-09	2,84991E-09	2,86811E-09	2,86685E-09	2,82013E-09	2,81687E-09		2,84E-09	0,678950855				5,72912	0,57%
4	40	11,622	1,55683E-09	1,56422E-09	1,55413E-09	1,55683E-09	1,52453E-09	1,5694E-09	1,56262E-09	1,5655E-09		1,56E-09	0,494959144				7,63062	0,76%
5	50	14,528	1,01E-09	1,01E-09	1,01E-09	1,02E-09	1,01E-09	1,01E-09	1,00E-09	1,02E-09		1,01E-09	0,227069082				5,39261	0,54%
6	60	17,434	5,36319E-10	5,31601E-10	5,31601E-10	5,3325E-10	5,36319E-10	5,31601E-10	5,31601E-10	5,3325E-10		5,33E-10	0,072823363				3,27792	0,33%
7	70	20,339	3,33671E-10	3,33671E-10	3,33671E-10	3,33671E-10	3,33671E-10	3,33671E-10	3,33671E-10	3,33671E-10		3,34E-10					0,00000	0,00%
8	80	23,245	1,47486E-10	1,5003E-10	1,47486E-10	1,48792E-10	1,41417E-10	1,47486E-10	1,47486E-10	1,5003E-10		1,48E-10	0,095867563				15,59600	1,56%
9	90	26,15	1,23079E-10	1,26423E-10	1,23079E-10	1,23079E-10	1,26423E-10	1,23079E-10	1,23079E-10	1,1853E-10		1,23E-10	0,087108352				16,94904	1,69%
10	100	29,056	7,24428E-11	7,24428E-11	7,24428E-11	7,24428E-11	7,24428E-11	7,24428E-11	7,24428E-11	7,24428E-11		7,24E-11					0,00000	0,00%
11	110	31,962	3,77512E-11	3,7586E-11	3,77512E-11	3,77512E-11	3,7586E-11	3,77512E-11	3,7586E-11	3,7586E-11		3,58E-11	0,075453804				50,64739	5,06%
12	120	34,867	1,23859E-12	1,23859E-12	1,23859E-12	1,23859E-12	1,23859E-12	1,23859E-12	1,23859E-12	1,23859E-12		1,24E-12					0,00000	0,00%
13	130	37,773	1,57364E-11	1,57364E-11	1,57364E-11	1,57364E-11	1,57364E-11	1,57364E-11	1,57364E-11	1,57364E-11		1,57E-11					0,00000	0,00%
14	140	40,678	0	0	0	0	0	0	0	0		0,00E+00					0,00000	0,00%
15	150	43,584	5,91802E-13	5,91802E-13	5,91802E-13	5,91802E-13	5,91802E-13	5,91802E-13	5,91802E-13	5,91802E-13		5,92E-13					0,00000	0,00%
16	160	46,49	5,80111E-12	5,80111E-12	5,80111E-12	5,80111E-12	5,80111E-12	5,80111E-12	5,80111E-12	5,80111E-12		5,80E-12					0,00000	0,00%

Таб.1 Результати моделювання проходження гамма за 30 с. з енергією 5.1 МеВ.

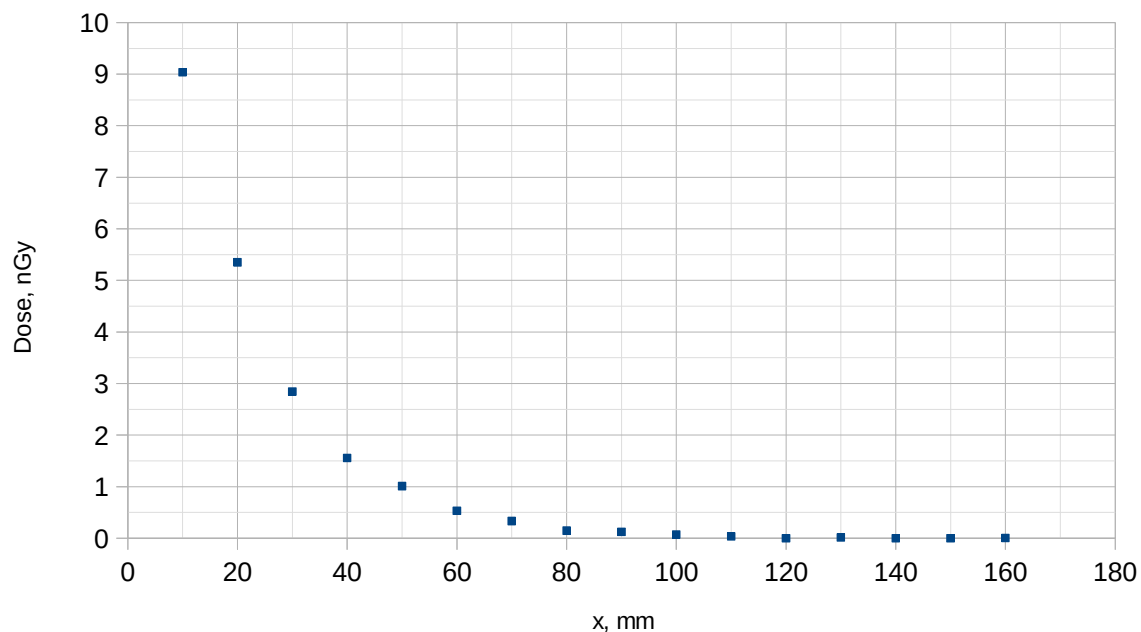


Рис. 1 Доза опромінення в залежності від товщини пластинок

4.Отримати за допомогою комп'ютерної обробки залежність $I(x)$ в напівлогарифмічних координатах $\ln I(x)$. Кутовий коефіцієнт цієї залежності в МНК і буде лінійний коефіцієнт поглинання μ .

№	x, mm	Av.Dose, Gy	I, Gy/s	Ln(I)
1	10	9,04E-09	3,01E-10	-21,92
2	20	5,35E-09	1,78E-10	-22,45
3	30	2,84E-09	9,48E-11	-23,08
4	40	1,56E-09	5,19E-11	-23,68
5	50	1,01E-09	3,37E-11	-24,11
6	60	5,33E-10	1,78E-11	-24,75
7	70	3,34E-10	1,11E-11	-25,22
8	80	1,48E-10	4,92E-12	-26,04
9	90	1,23E-10	4,11E-12	-26,22
10	100	7,24E-11	2,41E-12	-26,75
11	110	3,58E-11	1,19E-12	-27,46
12	120	1,24E-12	4,13E-14	-30,82
13	130	1,57E-11	5,25E-13	-28,28
14	140	0,00E+00	0,00E+00	
15	150	5,92E-13	1,97E-14	-31,56
16	160	5,80E-12	1,93E-13	-29,27

Таб. 2 Інтенсивність в залежності від товщини пластинки

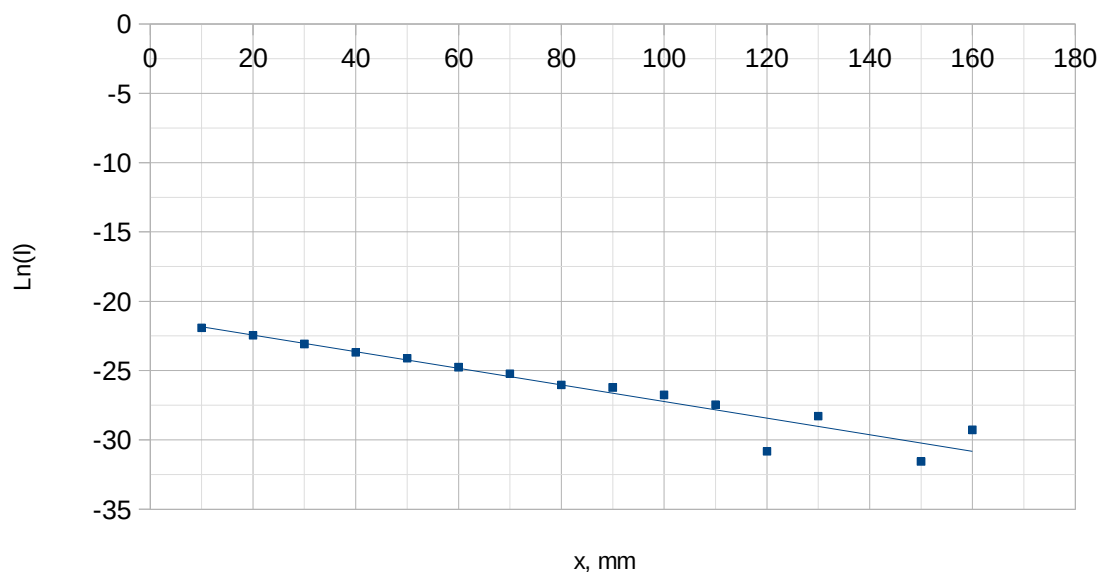


Рис. 2 LN(I)

Функція апроксимації: $f(x) = -0,059 (mm^{-1})x - 21,23$ ($f(x) = ax + b$)

$$\sigma = \frac{0,59}{0,32 \cdot 10^{23}} = 18,4 \cdot 10^{-24} = 18,4 \text{ барн} \quad \Delta\sigma = \frac{\Delta\mu}{0,32 \cdot 10^{23}} = \frac{S_a}{0,32 \cdot 10^{23}} = \frac{52,65 \cdot 10}{32,8 \cdot 10^2}$$

Відповідно до теоретичного матеріалу такий переріз розсіювання для свинцю відповідає енергії гамма-частинок приблизно 1,362 MeV. Апроксимуємо теоретичну залежність для значень поблизу визначеної енергії гамма-частинок:

σ, барн	E, MeV
35,2	0,6811
23,45	1,022
18,87	1,362
1,911	2,043
1,372	4,086
1,252	5,108

Таб.3 -Теоретичні значення енергії для різних σ

$$E(\sigma) = 4,36 \cdot \sigma (\text{барн})^{(-0,47)} (\text{MeV})$$

Розрахуємо похибку отриманої енергії.

$$\Delta E(\sigma) = 4,36 \cdot 0,47 \cdot \sigma (\text{барн})^{(-1,47)} \Delta\sigma = ($$

$$\Delta E = 0,045 \text{ MeV}$$

Груба оцінка μ:

$$\mu = -22,45 + 23,08 = 0,63 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\sigma = \frac{0,63}{0,32 \cdot 10^{23}} = 19,6 \cdot 10^{-24} = 19,6 \text{ барн}$$

Відповідно до теоретичного матеріалу такий переріз розсіювання для алюмінію відповідає енергії гамма-частинок порядку 1,2-1,34 MeV.

У файлі ConsoleOutputData результат складав 1,3325 MeV.

Однак, при підрахуванні помилок ми вважали, що наш детектор ідеальний. Насправді, він має різні чутливості до різних енергій, тому до похибки прямих вимірювань, треба було б додати ще систематичну похибку та похибку моделювання. Знайти більш реальну похибку можна в файлі ResultToPlot, де програма у Geant4 вже розрахувала її.

x, mm	Dose, Gy	Δ, Gy	δ	δ, %	Dose, Gy	Δ, Gy	δ	δ, %
10	9,00E-09	2,52E-10	0,02802		2,80	8,96E-09	2,52E-10	0,02809
20	5,33E-09	1,96E-10	0,03678		3,68	5,34E-09	1,96E-10	0,03674
30	2,85E-09	1,42E-10	0,04981		4,98	2,84E-09	1,42E-10	0,04992
40	1,56E-09	1,04E-10	0,06664		6,66	1,56E-09	1,04E-10	0,06650
50	1,01E-09	8,44E-11	0,08377		8,38	1,01E-09	8,44E-11	0,08377
60	5,36E-10	6,17E-11	0,11509		11,51	5,32E-10	6,15E-11	0,11577
70	3,34E-10	4,80E-11	0,14394		14,39	3,34E-10	4,80E-11	0,14394
80	1,47E-10	3,23E-11	0,21926		21,93	1,50E-10	3,24E-11	0,21620
90	1,23E-10	2,86E-11	0,23250		23,25	1,26E-10	2,93E-11	0,23203
100	7,24E-11	2,22E-11	0,30645		30,64	7,24E-11	2,22E-11	0,30645
110	3,78E-11	1,58E-11	0,41936		41,94	3,38E-11	1,53E-11	0,45381
120	1,24E-12	1,24E-12	0,99999		100,00	1,24E-12	1,24E-12	0,99999
130	1,57E-11	1,11E-11	0,70267		70,27	1,57E-11	1,11E-11	0,70267
140	0,00E+00	0,00E+00	-		-	0,00E+00	0,00E+00	-
150	5,92E-13	5,92E-13	0,99999		100,00	5,92E-13	5,92E-13	0,99999
160	5,80E-12	5,80E-12	0,99999		100,00	5,80E-12	5,80E-12	0,99999
x, mm	Dose, Gy	Δ, Gy	δ	δ, %	Dose, Gy	Δ, Gy	δ	δ, %
10	9,09E-09	2,53E-10	0,02788		2,79	9,04E-09	2,53E-10	0,02796
20	5,40E-09	1,97E-10	0,03653		3,65	5,34E-09	1,96E-10	0,03673
30	2,84E-09	1,42E-10	0,04994		4,99	2,85E-09	1,42E-10	0,04980
40	1,55E-09	1,04E-10	0,06679		6,68	1,56E-09	1,04E-10	0,06664
50	1,01E-09	8,45E-11	0,08383		8,38	1,02E-09	8,48E-11	0,08304
60	5,32E-10	6,15E-11	0,11577		11,58	5,33E-10	6,16E-11	0,11546
70	3,34E-10	4,80E-11	0,14394		14,39	3,34E-10	4,80E-11	0,14394
80	1,47E-10	3,23E-11	0,21926		21,93	1,49E-10	3,22E-11	0,21783
90	1,23E-10	2,86E-11	0,23250		23,25	1,23E-10	2,86E-11	0,23251
100	7,24E-11	2,22E-11	0,30645		30,64	7,24E-11	2,22E-11	0,30645
110	3,78E-11	1,58E-11	0,41936		41,94	3,38E-11	1,53E-11	0,45381
120	1,24E-12	1,24E-12	0,99999		100,00	1,24E-12	1,24E-12	0,99999
130	1,57E-11	1,11E-11	0,70267		70,27	1,57E-11	1,11E-11	0,70267
140	0,00E+00	0,00E+00	-		-	0,00E+00	0,00E+00	-
150	5,92E-13	5,92E-13	0,99999		100,00	5,92E-13	5,92E-13	0,99999
160	5,80E-12	5,80E-12	0,99999		100,00	5,80E-12	5,80E-12	0,99999
x, mm	Dose, Gy	Δ, Gy	δ	δ, %	Dose, Gy	Δ, Gy	δ	δ, %
10	9,09E-09	2,53E-10	0,02788		2,79	9,03E-09	2,53E-10	0,02798
20	5,33E-09	1,96E-10	0,03678		3,68	5,36E-09	1,97E-10	0,03666
30	2,82E-09	1,41E-10	0,05011		5,01	2,82E-09	1,41E-10	0,05015
40	1,56E-09	1,04E-10	0,06656		6,66	1,57E-09	1,04E-10	0,06650
50	1,00E-09	8,43E-11	0,08421		8,42	1,02E-09	8,47E-11	0,08331
60	5,32E-10	6,15E-11	0,11577		11,58	5,33E-10	6,16E-11	0,11546
70	3,34E-10	4,80E-11	0,14394		14,39	3,34E-10	4,80E-11	0,14394
80	1,47E-10	3,23E-11	0,21926		21,93	1,50E-10	3,24E-11	0,21620
90	1,23E-10	2,86E-11	0,23251		23,25	1,19E-10	2,83E-11	0,23836
100	7,24E-11	2,22E-11	0,30645		30,64	7,24E-11	2,22E-11	0,30645
110	3,38E-11	1,53E-11	0,45381		45,38	3,38E-11	1,53E-11	0,45381
120	1,24E-12	1,24E-12	0,99999		100,00	1,24E-12	1,24E-12	0,99999
130	1,57E-11	1,11E-11	0,70267		70,27	1,57E-11	1,11E-11	0,70267
140	0,00E+00	0,00E+00	-		-	0,00E+00	0,00E+00	-
150	5,92E-13	5,92E-13	0,99999		100,00	5,92E-13	5,92E-13	0,99999
160	5,80E-12	5,80E-12	0,99999		100,00	5,80E-12	5,80E-12	0,99999

Таб. 4.1
Данні з
Geant4
1

Таб. 4.2 Данні з Geant4

З таблиці видно, що насправді помилка більша, ніж обрахована у роботі, але можливості точно розрахувати її по моделюванню потребує наявності вихідного коду, доступу до якого в студентів немає.

Висновок.

У даній лабораторній роботі було досліджено проходження гамма-частинок крізь середовище. У роботі було проведено моделювання за допомогою програмного пакету Geant4. У моделюванні гамма-частинки проходили крізь 16 свинцевих пластинок з різною товщиною (від 10 мм до 160 мм). Кожна пластинка була площею 16x16см. З іншого боку стояв алюмінієвий детектор, що реєстрував дозу опромінення з боку частинок, що подолали пластинки. Відрізок часу протягом якого реєструвались гамма-частинки становив 30 с.

Теоретично, інтенсивність гамма-променів експоненціально спадає зі збільшенням товщини пластинок з Pb. При моделюванні за допомогою програмного пакету Geant4 це спадання спостерігалось для гамма-променів з енергією 5,1 МеВ. Під час роботи було помічено, що збільшення кількості променів гамма-частинок жодним чином не впливало на точність результату чи його абсолютне значення. Після опрацювання отриманих даних виявилось, що енергія гамма-променів, що досягли детектора, вже становила $E = (1,362 \pm 0,045) \text{ MeV}$.

