

Лабораторная работа 5.1

Измерение коэффициента ослабления потока γ -лучей в веществе и определение их энергии

Васильев Михаил Владимирович
Студент 3 курса РТ

(Московский физико-технический институт)
(Dated: 30 ноября 2021 г.)

С помощью сцинтилляционного счетчика измеряются линейные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в свинце, железе, пробке и алюминии; по их величине определяется энергия γ -квантов.

Оборудование: Свинцовый коллиматор, набор поглотителей из свинца, алюминия, пробки, сцинтилляционный счетчик.

I. Теоретическая часть.

γ -лучи возникают при переходе возбужденных ядер из одного энергетического состояния в другое, более низкое. Энергия γ -квантов обычно заключена между несколькими десятками килоэлектронвольт и несколькими миллионами электрон-вольт. γ -кванты не несут электрического заряда, их масса равна нулю. Проходя через вещество, пучок γ -квантов постепенно ослабляется. Ослабление происходит по экспоненциальному закону, который может быть записан в двух эквивалентных формах:

$$I = I_0 e^{-\mu l}$$

$$I = I_0 e^{-\mu' m_1}$$

В этих формулах I , I_0 – интенсивности прошедшего и падающего излучений, l – длина пути, пройденного пучком γ -лучей, m_1 – масса пройденного вещества, приходящаяся на единицу площади, μ и μ' – константы, величина которых зависит от вещества, сквозь которое проходят γ -лучи.

Ослабление потока γ -лучей, происходящее при прохождении среды, связано с тремя эффектами: фотоэлектрическим поглощением, комптоновским рассеянием и с генерацией электрон-позитронных пар.

Фотоэлектрическое поглощение. При столкновении γ -квантов с электронами внутренних атомных оболочек может происходить поглощение квантов. Энергия γ -кванта передается соответствующему электрону, а импульс делится между этим электроном и оставшимся после его вылета ионом. Свободный электрон не может поглотить γ -квант, так как при этом невозможно одновременно удовлетворить законам сохранения энергии и импульса. Наружные электроны не принимают участия в фотоэлектрическом поглощении, потому что они слабо связаны в атоме, так что их практически можно считать свободными.

Вероятность фотоэффекта сложным образом зависит от энергии γ -лучей и от заряда ядер. Для оценок можно пользоваться формулой

$$\sigma_\Phi \propto \frac{Z^5}{(\hbar\omega)^{3.5}}$$

Комптоновское рассеяние. Комптоновским рассеянием (или комптон-эффектом) называется упругое столкновение γ -кванта с электроном. При таком столкновении γ -квант передает электрону часть своей энергии, величина которой определяется углом рассеяния. В отличие от фотоэффекта, который может идти только на сильно связанных электронах, комптоновское рассеяние происходит на свободных или слабосвязанных электронах. Роль эффекта Комптона становится существенной только тогда, когда энергия квантов становится много больше энергии связи электронов в атоме (когда достаточно падает вероятность фотоэффекта). Атомные электроны в этом случае можно считать практически свободными, что обычно и делается при теоретическом анализе.

Вероятность комптон-эффекта сложным образом зависит от энергии γ -квантов. В том случае, когда энергия γ -кванта много больше энергии покоя электрона, формула сильно упрощается, и выражение для сечения комптон-эффекта приобретает простой вид:

$$\sigma_k = \pi r^2 \frac{mc^2}{\hbar\omega} \left(\ln \frac{2\hbar\omega}{mc^2} + \frac{1}{2} \right)$$

где $r \approx 2,8 \cdot 10^{-13}$ см классический радиус электрона, а m – его масса.

Образование пар. При энергиях γ -лучей, превышающих $2mc^2 = 1,02$ МэВ, становится возможен процесс поглощения γ -лучей, связанный с образованием электрон-позитронных пар. Рождение пар не может происходить в вакууме, оно возникает в электрическом поле ядер. Вероятность этого процесса приблизительно пропорциональна Z^2 и сложным образом зависит от энергии фотона. При энергиях больше $2mc^2$ фотоэффект даже для самых тяжелых ядер уже не играет практически никакой роли. Вероятность образования пар должна поэтому сравниваться с вероятностью комптоновского рассеяния. При энергиях, с

которыми приходится иметь дело при изучении ядер, рождение пар существенно только в самых тяжелых элементах.

Полный коэффициент ослабления потока γ -лучей. Полный линейный коэффициент ослабления пучка γ -квантов при прохождении через вещество равен сумме коэффициентов для всех трех рассмотренных процессов.

II. Экспериментальная установка и методика

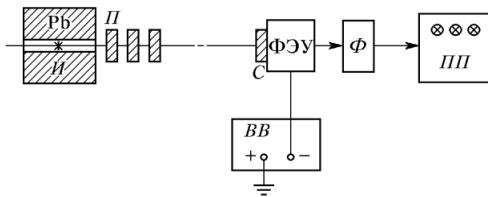


Рис. 1: Блок-схема установки, используемой для измерения коэффициентов ослабления потока γ -лучей: И – источник γ -лучей; Pb – свинцовый контейнер с коллиматорным каналом; П – набор поглотителей; С – сцинтиллятор – кристалл NaI(Tl); Φ – формирователь-выпрямитель

Схема установки, используемой в работе, показана на рис. 1. Свинцовый коллиматор выделяет узкий почти параллельный пучок γ -квантов, проходящий через набор поглотителей П и регистрируемый сцинтилляционным счетчиком*). Сигналы от счетчика усиливаются и регистрируются пересчетным прибором ПП. Высоковольтный выпрямитель ВВ обеспечивает питание сцинтилляционного счетчика. При недостаточно хорошей геометрии в результаты опытов могут вкрасться существенные погрешности. В реальных установках всегда имеется конечная вероятность того, что γ -квант провзаимодействует в поглотителе несколько раз до того, как попадет в детектор. Чтобы уменьшить число таких случаев, в данной работе сцинтилляционный счетчик расположен на большом расстоянии от источника γ -квантов, а поглотители имеют небольшие размеры. Их следует устанавливать за коллиматорной щелью на некотором расстоянии друг от друга, чтобы испытавшие комптоновское рассеяние и выбывшие из прямого потока кванты с меньшей вероятностью могли в него вернуться.

Исследуем поглощение γ -лучей в свинце, железе и алюминии. Для этого измеряем число частиц, попадающих в счетчик за фиксированное время в отсутствие (N0) и в присутствии (N) поглотителя. Измеряем поглощение лучей при различных толщинах образцов.

III. Основные результаты и их обсуждение

При построении графиков получаются почти идеальные прямые, что согласуется с теорией.

	Fe	Al	Pb	Пробка
$\mu' \cdot 10^{-1}, \text{ см}^2/\text{г}$	$1,56 \pm 0,03$	$0,81 \pm 0,04$	$1,08 \pm 0,02$	$0,72 \pm 0,02$

IV. Заключение

Сравнив полученный коэффициент ослабления с табличными значениями в Лабораторном практикуме, можно заключить, что энергия излучения около $0,6 \pm 0,05$ МэВ

V. Данные и график

Фон в присутствии заглушки		Фон без заглушки и поглотителя		Зависимость фона от количества пробок				
№	N	№	N0	№	N _Ф	N	ln(N/N0)	Δln(N/N0)
1	177	1	70557	1	70242	70056	-0,01037	0,0001
2	183	2	70863	2	70343	70157		
3	175	3	70667	2	68779	68593	-0,03358	0,0001
4	162	4	70564	2	68589	68403		
5	184	5	70431	3	67405	67219	-0,05153	0,00015
6	155	6	70547	3	67525	67339		
7	178	7	70740	4	66868	66682	-0,0618	0,00019
8	208	8	70824	4	66688	66502		
9	222	9	71038	5	65286	65100	-0,08792	0,00026
10	177	10	70520	5	64836	64650		
11	184	11	71432					
12	179	12	70555					
13	156	13	70943					
14	221	14	71393					
15	201	15	71001					
16	177	16	70860					
17	194	17	71348					
18	199	18	70783					
19	163							
20	221							

Зависимость фона от количества алюминеевых цилиндров					Зависимость фона от количества железных цилиндров					Зависимость фона от количества свинцовых цилиндров				
Nº	Nф	N	ln(N/N0)	Δln(N/N0)	Nº	Nф	N	ln(N/N0)	Δln(N/N0)	Nº	Nф	N	ln(N/N0)	Δln(N/N0)
1	47259	47073			1	39775	39589			1	39304	39118		
	47479	47293	-0,4066	0,00122	1	40139	39953	-0,57318	0,00172		39747	39561	-0,58785	0,00176
	47333	47147			1	39885	39699			1	39561	39375		
2	31603	31417			2	22540	22354			2	24069	23883		
	31849	31663	-0,80914	0,00243	2	22100	21914			2	23865	23679	-1,09835	0,0033
	31725	31539			2	22432	22246	-1,15667	0,00347	2	23510	23324		
3	20600	20414			2	22794	22608			2	23774	23588		
	20898	20712			3	13062	12876			3	13383	13197		
	20754	20568			3	12928	12742			3	13772	13586		
	20801	20615			3	13014	12828	-1,71059	0,00513	3	13372	13186	-1,66777	0,005
4	14162	13976			3	12831	12645			3	13689	13503		
	14114	13928			3	13117	12931			3	13537	13351		
	13882	13696	-1,63178	0,0049	4	7380	7194			4	7810	7624		
	13989	13803			4	7210	7024			4	7703	7517		
	14055	13869			4	7353	7167			4	7834	7648		
5	9492	9306			4	7618	7432			4	7839	7653		
	9339	9153			4	7132	6946			4	7542	7356		
	9436	9250			4	7298	7112			4	7760	7574		
	9325	9139			4	7189	7003			4	7656	7470		
	9401	9215			4	7232	7046			4	7740	7554		
	9352	9166			4	7421	7235			4	7802	7616		
	9380	9194			4	7330	7144			4	7779	7593		
										4	7751	7565		
										4	7683	7497		

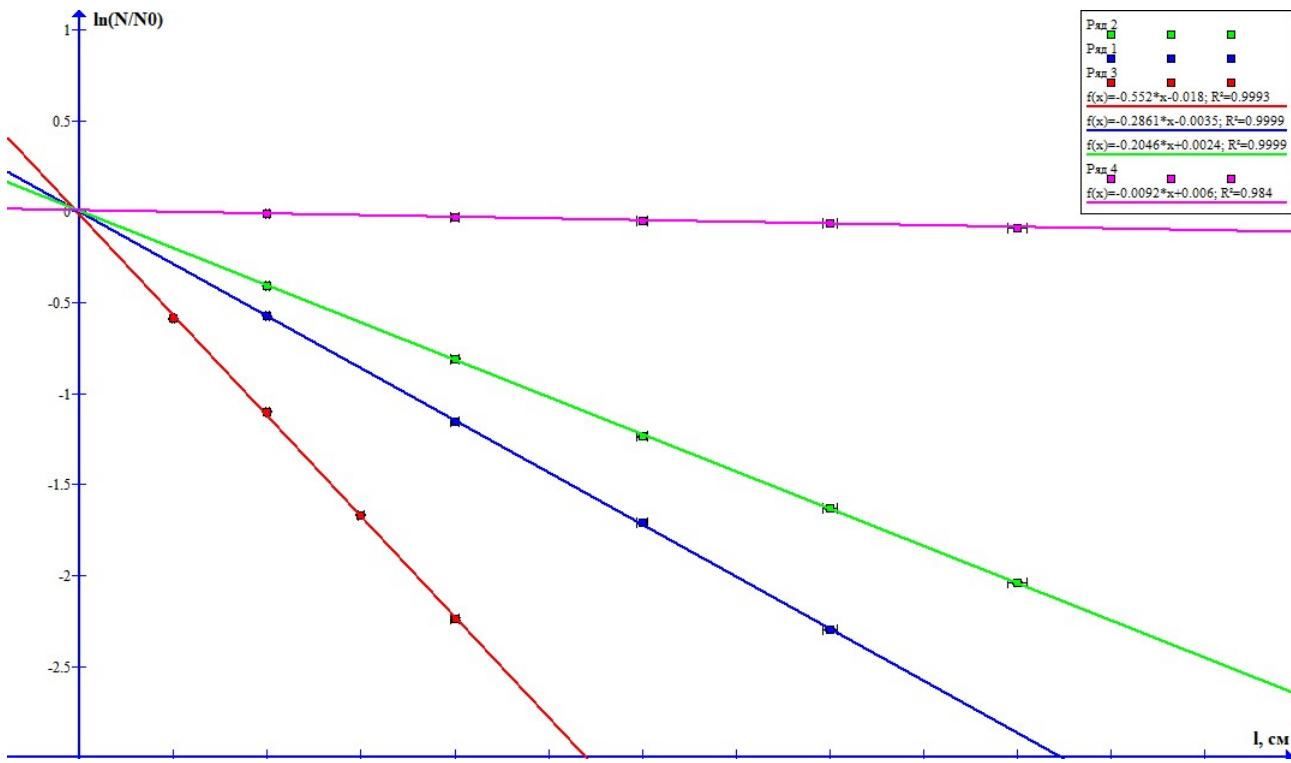


Рис. 2: График зависимости $\ln(N/N_0)$ от l см