

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

$$\sigma_{\text{ф}} \propto \frac{Z^5}{(\hbar\omega)^{3,5}}$$

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 $r \simeq 2,8 \cdot 10^{-13}$ 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

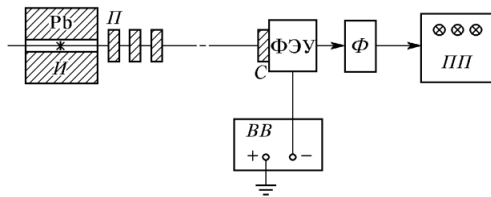


Рис. 1: Блок-схема установки, используемой для измерения коэффициентов ослабления потока γ -лучей: И – источник γ -лучей; Рб – свинцовый контейнер с коллиматорным каналом; П – набор поглотителей; С – сцинтиллятор – кристалл NaI(Tl); Ф – формирователь-выпрямитель

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 вкратиться 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 (N_0) 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	№	Nф	N	$\ln(N/N0)$	$\Delta \ln(N/N0)$
1	177	1	70557	1	70242	70056	-0,01037	0,0001
2	183	2	70863		70343	70157		
3	175	3	70667	2	68779	68593	-0,03358	0,0001
4	162	4	70564		68589	68403		
5	184	5	70431	3	67405	67219	-0,05153	0,00015
6	155	6	70547		67525	67339		
7	178	7	70740	4	66868	66682	-0,0618	0,00019
8	208	8	70824		66688	66502		
9	222	9	71038	5	65286	65100	-0,08792	0,00026
10	177	10	70520		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 алюминиевых цилиндров					Зависимость фона от количества железных цилиндров					Зависимость фона от количества свинцовых цилиндров						
№	Nф	N	ln(N/N0)	$\Delta ln(N/N0)$	№	Nф	N	ln(N/N0)	$\Delta ln(N/N0)$	№	Nф	N	ln(N/N0)	$\Delta ln(N/N0)$		
1	47259	47073	-0,4066	0,00122	1	39775	39589	-0,57318	0,00172	1	39304	39118	-0,58785	0,00176		
	47479	47293				40139	39953				39747	39561				
	47333	47147				39885	39699				39561	39375				
2	31603	31417	-0,80914	0,00243	2	22540	22354	-1,15667	0,00347	2	24069	23883	-1,09835	0,0033		
	31849	31663				22100	21914				23865	23679				
	31725	31539				22432	22246				23510	23324				
3	20600	20414	-1,2362	0,00371		22794	22608				23774	23588				
	20898	20712			3	13062	12876	-1,71059	0,00513	3	13383	13197	-1,66777	0,005		
	20754	20568				12928	12742				13772	13586				
	20801	20615				13014	12828				13372	13186				
4	14162	13976	-1,63178	0,0049		12831	12645				4	7380			7194	-2,29603
	14114	13928			7210	7024	7703	7517								
	13882	13696			7353	7167	7834	7648								
	13989	13803			7618	7432	7839	7653								
5	14055	13869	-2,04082	0,00612	7132	6946	7542	7356								
	9492	9306			7298	7112	7760	7574								
	9339	9153			7189	7003	7656	7470								
	9436	9250			7232	7046	7740	7554								
	9325	9139			7421	7235	7802	7616								
	9401	9215			7330	7144	7779	7593								
	9352	9166			7751	7565										
	9380	9194			7683	7497										

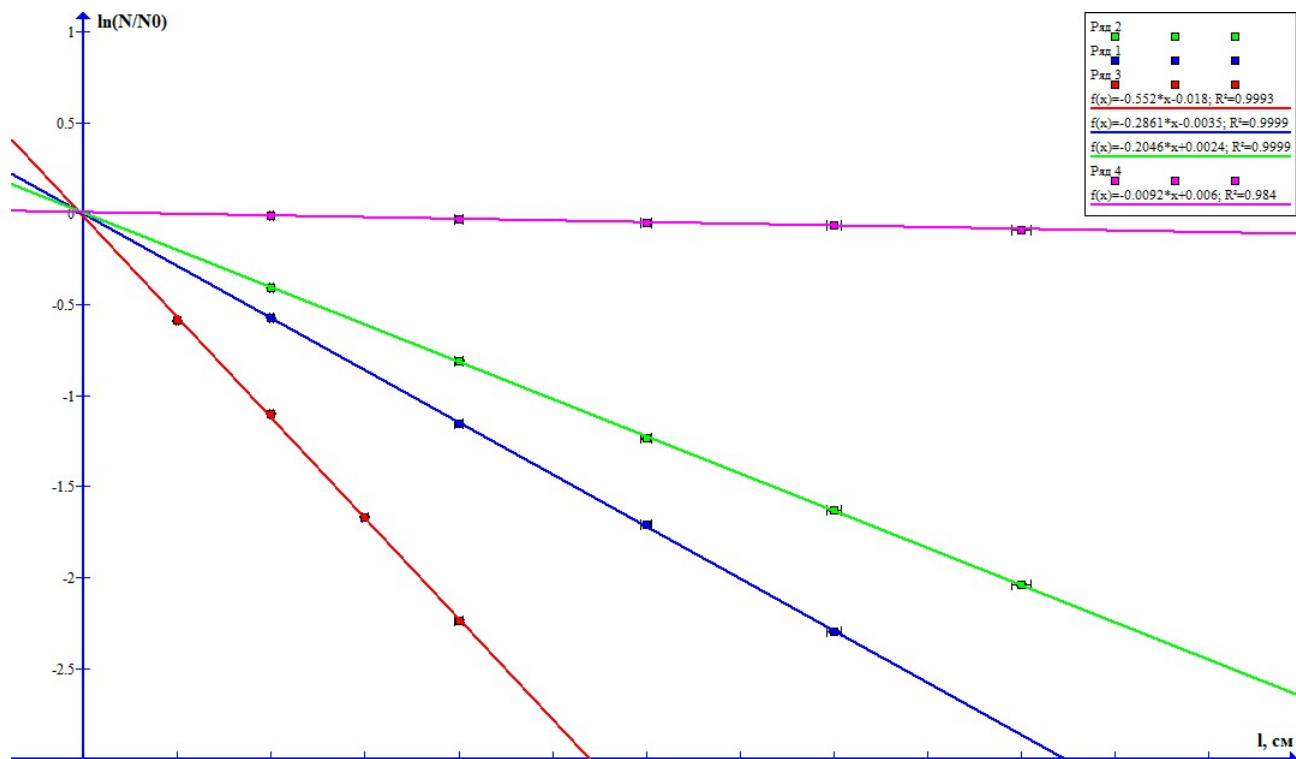


Рис. 2: График зависимости $\ln(N/N_0)$ от l см