

Работа 5.17

Оценка энергии γ -квантов путем измерения коэффициентов ослабления γ -лучей

Оборудование: установка типа Б-2, радиоактивный препарат ^{60}Co , набор поглотителей, секундомер.

Введение

В отличие от заряженных частиц, которые при прохождении через вещество вызывают ионизацию и постепенно теряют свою энергию, γ -квант движется со скоростью света и либо совсем не изменяет скорости (не взаимодействует), либо поглощается или рассеивается и выбывает из пучка. При этом может появиться новый γ -квант с меньшей энергией, а поглотившая его заряженная частица получает энергию.

Число γ -квантов, выбывающих из пучка при прохождении поглотителя толщиной dx , пропорционально dx и числу γ -квантов N , падающих на слой вещества dx . Таким образом, уменьшение числа γ -квантов в пучке равно:

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

Коэффициент пропорциональности μ называется *полным линейным коэффициентом ослабления* (часто μ называют *коэффициентом поглощения*). Из равенства (1) следует, что

$$\mu = -\frac{dN}{N dx}, \quad (2)$$

т. е. полный коэффициент ослабления равен относительному ослаблению пучка γ -лучей при прохождении слоя единичной толщины.

При интегрировании выражения (1) от нулевой толщины до данной получим:

$$N = N_0 e^{-\mu x}, \quad (3)$$

откуда

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{N_0}{N}. \quad (4)$$

Таким образом, для нахождения коэффициента ослабления необходимо измерить толщину образца x , число N_0 γ -квантов, падающих на образец, и число γ -квантов N , проходящих через него. Обычно μ выражают в см^{-1} . Часто пользуются понятием *массового коэффициента ослабления*, равного μ / ρ , где ρ — плотность вещества. В этом случае толщину слоя вещества измеряют в $\text{г}/\text{см}^2$ или $\text{мг}/\text{см}^2$.

При энергии γ -квантов от 2 до 10 МэВ массовый коэффициент ослабления примерно одинаковый для всех веществ, а защитные стенки, изготовленные из любых веществ, эквивалентны при одинаковой толщине, если она выражена в г/см².

Поглощение γ -квантов в веществе происходит в основном за счет трех процессов: *фотоэффекта, рассеивания на свободных электронах* (эффект Комптона) и *возникновения электронно-позитронных пар*. Каждый из перечисленных процессов характеризуется своим коэффициентом поглощения, а полный коэффициент поглощения μ является их суммой:

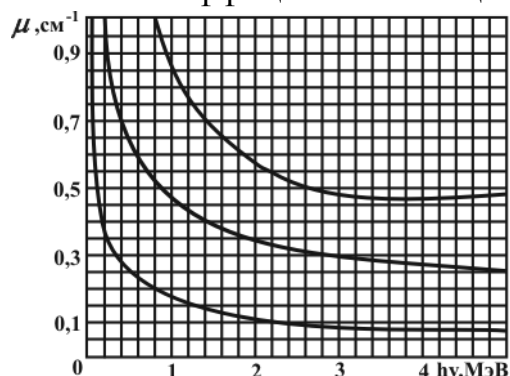


Рис. 5.43

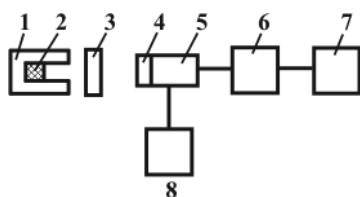


Рис. 5.44

Пользуясь этими графиками и найденными в опытах значениями коэффициентов ослабления для железа, свинца и алюминия, можно приближенно найти энергию γ -квантов. В данной работе находится энергия γ -излучения изотопа ⁶⁰Co.

Описание установки. Блок-схема установки для нахождения коэффициентов ослабления γ -лучей приведена на рис. 5.44.

Свинцовый коллиматор 1 излучает узкий пучок γ -лучей от радиоактивного изотопа ⁶⁰Co 2, который проходит через поглотитель 3 и попадает на сцинтиллятор 4 (кристалл NaI). Световые вспышки регистрируются с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-19 5, усилителя 6 и счетчика импульсов 7. Фотоэлектронный умножитель питается от высоковольтного выпрямителя 8. Для того чтобы рассеянные γ -кванты вылетали из пучка, сцинтилляционный счетчик размещен на достаточно большом расстоянии от поглотителя.

$$\mu = \mu_{\text{ф}} + \mu_{\text{к}} + \mu_{\text{пар}}$$

Вклад каждого из слагаемых полного коэффициента ослабления зависит от энергии γ -квантов и атомного номера вещества.

При малых энергиях наблюдается фотоэлектрическое поглощение. С увеличением энергии преобладающим является комптоновское рассеивание. При достаточно больших значениях энергии проявляется процесс возникновения электронно-позитронных пар. Поэтому полный коэффициент ослабления γ -лучей в веществе сложным образом зависит от энергии γ -квантов.

На рис. 5.43 приведена зависимость коэффициента ослабления от энергии фотонов

Порядок выполнения работы

1. Включите установку и дайте ей прогреться.
2. Определите натуральный фон установки N_{ϕ} и интенсивность γ -пучка без поглотителя N_0 с учетом фона.
3. На пути пучка γ -лучей поставьте пластинку из железа и измерьте количество импульсов N . Аналогичные измерения проведите для свинца и алюминия. Выполните измерения с одной, двумя и т. д. пластинками каждого из поглотителей до уменьшения интенсивности γ -лучей в 2 — 3 раза.
4. По формуле (4) найдите коэффициент ослабления γ -излучения для железа, свинца, алюминия и, пользуясь графиками, приведенными на рис. 5.43, найдите энергию γ -квантов. Результаты запишите в таблицу 1:

Таблица 1

№ п/п	N_{ϕ}	N_0	x , см	N			μ , см ⁻¹	$h\nu$, МэВ
				Fe	Pb	Al		

5. Сравните полученные значения коэффициента ослабления с табличными данными (таблица 2).

Таблица 2

Поглотитель	μ , см ⁻¹	Поглотитель	μ , см ⁻¹
Алюминий	0,1433	Магний	0,0994
Железо	0,4467	Медь	0,4638
Золото	1,0740	Никель	0,4881
Кадмий	0,4382	Свинец	0,6426
Кальций	0,0895	Цинк	0,3662



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите закон поглощения γ -квантов.
2. Назовите процессы, за счет которых происходит поглощение γ -излучения?
3. Запишите выражение, которое устанавливает связь между линейным коэффициентом поглощения и массовым.
4. Объясните наличие минимума на графике зависимости коэффициента ослабления от энергии.
5. Почему при нахождении энергии γ -лучей измеряют поглощение не в одном веществе, а в 2 — 3 веществах?

6. Нужно ли при измерениях учитывать эффективность счетчика к γ -излучению?
7. Может ли происходить фотоэффект на свободных электронах? Почему?
8. Как по кривой поглощения найти величину фона?
9. Объясните механизм возникновения γ -кванта?
10. Чему равен полный коэффициент поглощения?