

5.1

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ ПОТОКА γ -ЛУЧЕЙ В ВЕЩЕСТВЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭНЕРГИИ

Денис Васильев

1 Цель:

с помощью сцинтилляционного счетчика измерить линейные коэффициенты ослабления потока γ -лучей в свинце, железе и алюминии; по их величине определить энергию γ -квантов

2 Оборудование:

свинцовый коллиматор, источник γ -лучей, набор поглотителей, сцинтиллятор, формирователь-выпрямитель

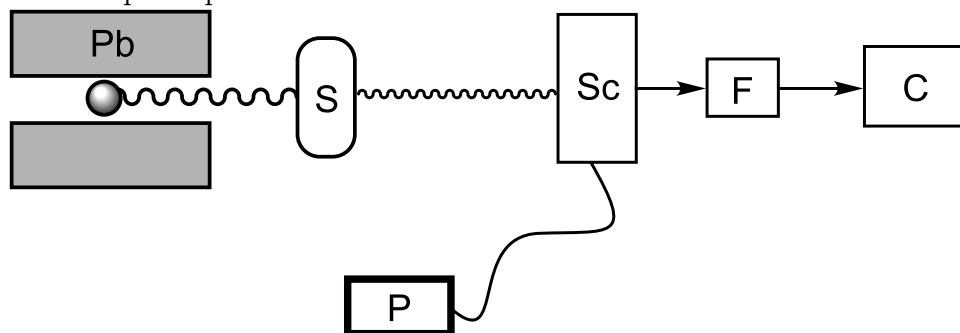
3 Теория:

Одним из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомов, является эксперимент, известный под названием опыта Франка и Герца. Разреженный гелий заполняет трехэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданным между катодом и сетчатым анодом лампы. Передвигаясь от катода к аноду, электроны сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона, налетающего на атом, недостаточна для того, чтобы перевести его в возбужденное состояние, то возможны только упругие соударения, при которых электроны почти не теряют энергии, так как их масса в тысячи раз меньше массы атомов. По мере увеличения разности потенциалов между анодом и катодом энергия электронов увеличивается и, в конце концов, оказывается достаточной для возбуждения атомов. При таких неупругих столкновениях кинетическая энергия налетающего электрона передается одному из атомных электронов, вызывая его переход на свободный энергетический уровень или совсем отрывая его от атома. Третьим электродом лампы является коллектор. Между ним и анодом поддерживается небольшое задерживающее напряжение. Ток коллектора, пропорциональный числу электронов, попадающих на него за секунду, измеряется микроамперметром. При увеличении потенциала анода ток в лампе сначала растет, подобно тому как это происходит в вакуумном диоде (рис.2). Однако, когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. Это происходит потому, что при неупругих соударениях с атомами электроны почти полностью теряют свою энергию и не могут преодолеть задерживающего потенциала между анодом и коллектором. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора вновь возрастает: электроны, испытавшие неупругие соударения, при дальнейшем движении к аноду успевают набрать энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала. Следующее замедление роста тока происходит в момент, когда часть электронов неупруго сталкивается с атомами два раза: первый раз посередине пути, второй – у анода и т.д.

Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих друг от друга на равные расстояния ΔV ; эти расстояния равны энергии первого возбужденного состояния.

4 Экспериментальная установка:

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 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.



5 Измерения:

Все измерения проводились при $t = 100\text{с}$.

Таблица 1: Зависимость числа частиц N от толщины стальной пластинки l

N_0	1887748	1881670	1895446	1909888
N	841748	409176	199274	107876
l, cm	1,0	2,0	3,0	4,0

Таблица 2: Зависимость числа частиц N от толщины алюминиевой пластинки l

N_0	1935403	1866251	1874829	1884667
N	1064750	617680	365580	223070
l, cm	2,0	4,0	6,0	8,0

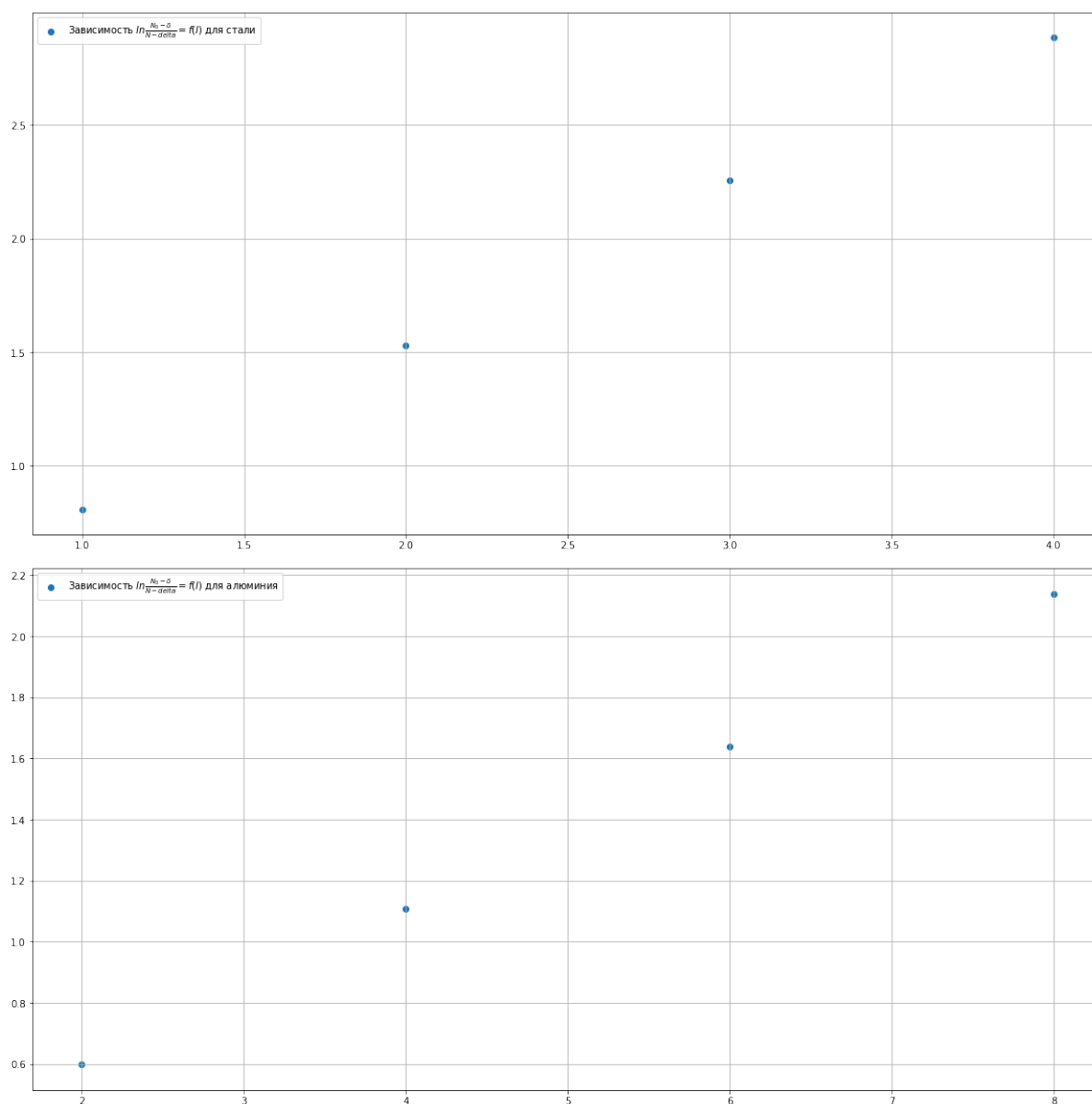
Также мы посчитали фон, который обусловлен шумом ФЭУ и посторонними частицами $\delta = 1334$. При построении графиков и дальнейших вычислениях будем учитывать данную поправку.

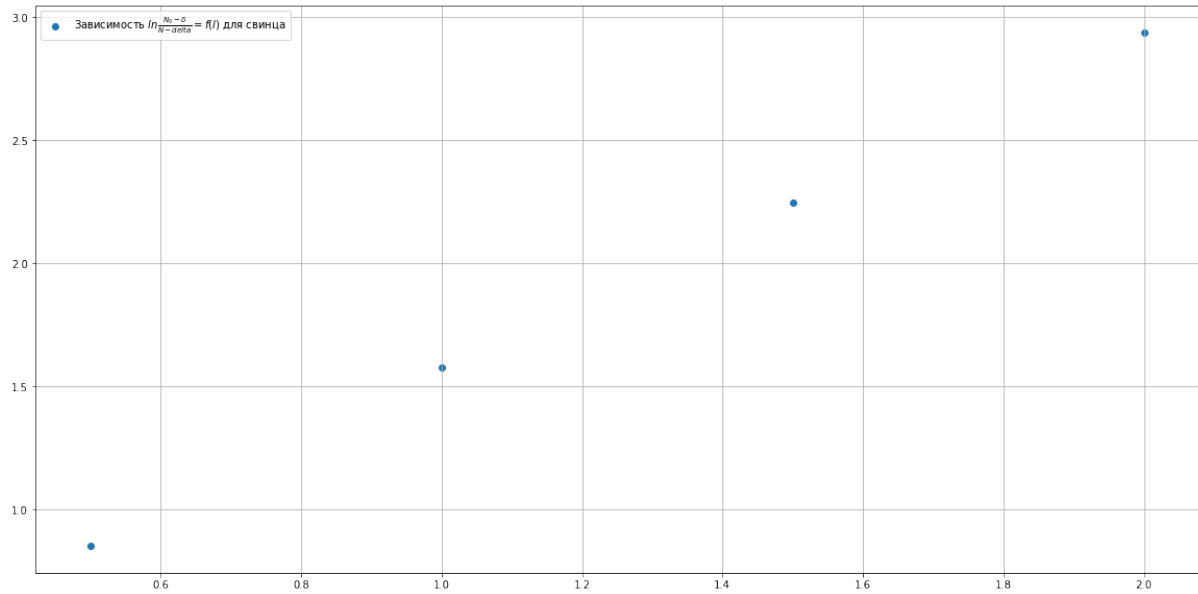
Таблица 3: Зависимость числа частиц N от толщины свинцовой пластинки l

N_0	1880883	1866034	1881708	1914274
N	802605	386808	199940	102824
l, cm	0,5	1,0	1,5	2,0

6 Результаты

По данным таблиц строим графики зависимости $\ln \frac{N_0 - \delta}{N - \delta} = f(l)$.





Графически определяем линейные коэффициенты поглощения γ -лучей с учетом статистической погрешности числа частиц (от Пуассоновского распределения), а также погрешности от измерений толщины пластин штангенциркулем.

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_l^2} = \sqrt{0.005^2 + 0.003^2} \approx 0.006$$

$$\mu_{fe} = (0.761 \pm 0.004) \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{al} = (0.279 \pm 0.002) \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_{pb} = (1.561 \pm 0.008) \text{ cm}^{-1}$$

Теперь с помощью линейных коэффициентов ослабления мы можем рассчитать коэффициенты $\mu' = \frac{\mu}{\rho}$:

$$\mu'_{fe} = (0.0967 \pm 0.0006) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$$\mu'_{al} = (0.1033 \pm 0.0006) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$$\mu'_{pb} = (0.1375 \pm 0.0008) \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

Остаётся, используя найденные коэффициенты ослабления, определить среднюю энергию γ -лучей, испускаемых источников. Глядя в таблицу V.4, видим, что средняя энергия излучения $\bar{E} \approx 0.4 \text{ МэВ}$

7 Вывод:

Итак, с помощью сцинтилляционного счётчика мы смогли определить коэффициенты ослабления различных материалов и нашли хороший способ измерения средней энергии γ -лучей, испускаемых источником. Данная работа - хороший пример изучения вероятностных процессов, происходящих при взаимодействии электронов и γ -лучей (комptonовское рассеяние, фотоэффект).