

Измерение коэффициентов ослабления потоков гамма-лучей в веществе

Шмаков Владимир — ФФКЭ, гр. Б04-105

Цель работы

- Измерить линейные коэффициенты ослабления потока γ лучей
- Определить энергию γ квантов

Теоретические сведения

Проходя через вещество поток γ квантов ослабляется. Выделяют несколько причин ослабления потока.

I. Фотоэлектронное поглощение

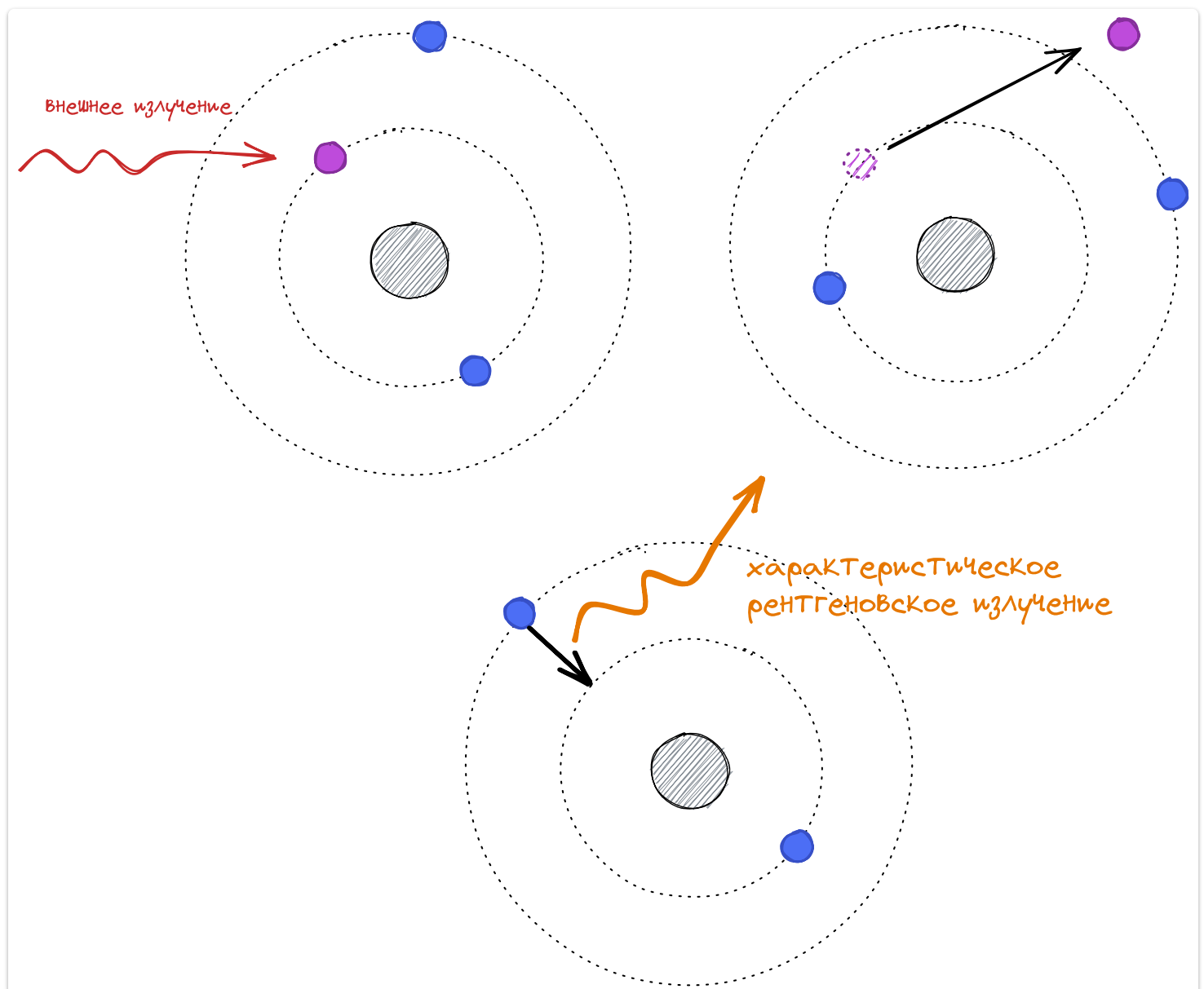


Рисунок 1. Образование характеристического рентгеновского излучения.

Согласно теории фотоэффекта, при столкновении γ квантов с электронами внутренних оболочек может происходить поглощение квантов. В результате электрон «отрывается» от атома. Вакантное место заполняется электроном с вышележащей оболочки, при этом при переходе возникает рентгеновское излучение. Возникшее таким образом излучение называется **характеристическим рентгеновским излучением**.

Вероятность фотоэффекта сложным образом зависит от энергии γ лучей и заряда ядер. Сечение фотоэффекта может быть оценено по формуле (1).

$$\sigma_{\phi} \propto \frac{Z^5}{(\hbar\omega)^{3.5}} \quad (1)$$

На деле, зависимость сечения фотоэффекта от энергии налетающего фотона сложнее. Как видно на рисунке 2, сечение резко возрастает когда энергия фотона становится близкой к энергии связи электрона.

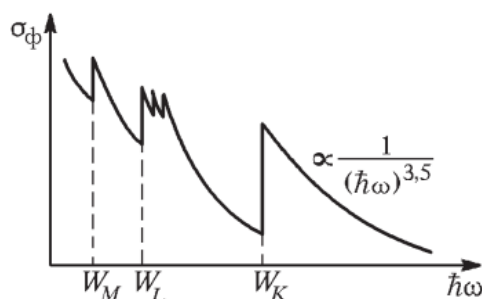


Рисунок 2. Зависимость сечения фотоэффекта от энергии гамма-кванта.

II. Комптоновское рассеивание

При больших энергиях гамма-квантов (сильно превышающих энергию связи электронов), электроны вещества можно считать практически свободными. Сечение Комптон-эффекта задается выражением (2):

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

III. Образование пар

При энергиях лучей, превышающих две энергии покоя электрона велика вероятность возникновения электронно-позитронных пар. Вероятность рождения пары пропорциональна квадрату заряда ядра: $\sigma_{e^+} \propto Z^2$.

Эффект образования пар стоит учитывать только при использовании тяжелых элементов(таких, как свинец). При этом энергия излучения должна быть достаточно высокой(около 5 МэВ).

Полные коэффициенты ослабления

На сайте <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/> могут быть найдены таблицы зависимости коэффициентов ослабления от энергии излучения. На рисунке 3 представлены визуализации таблиц для веществ, используемых в работе:

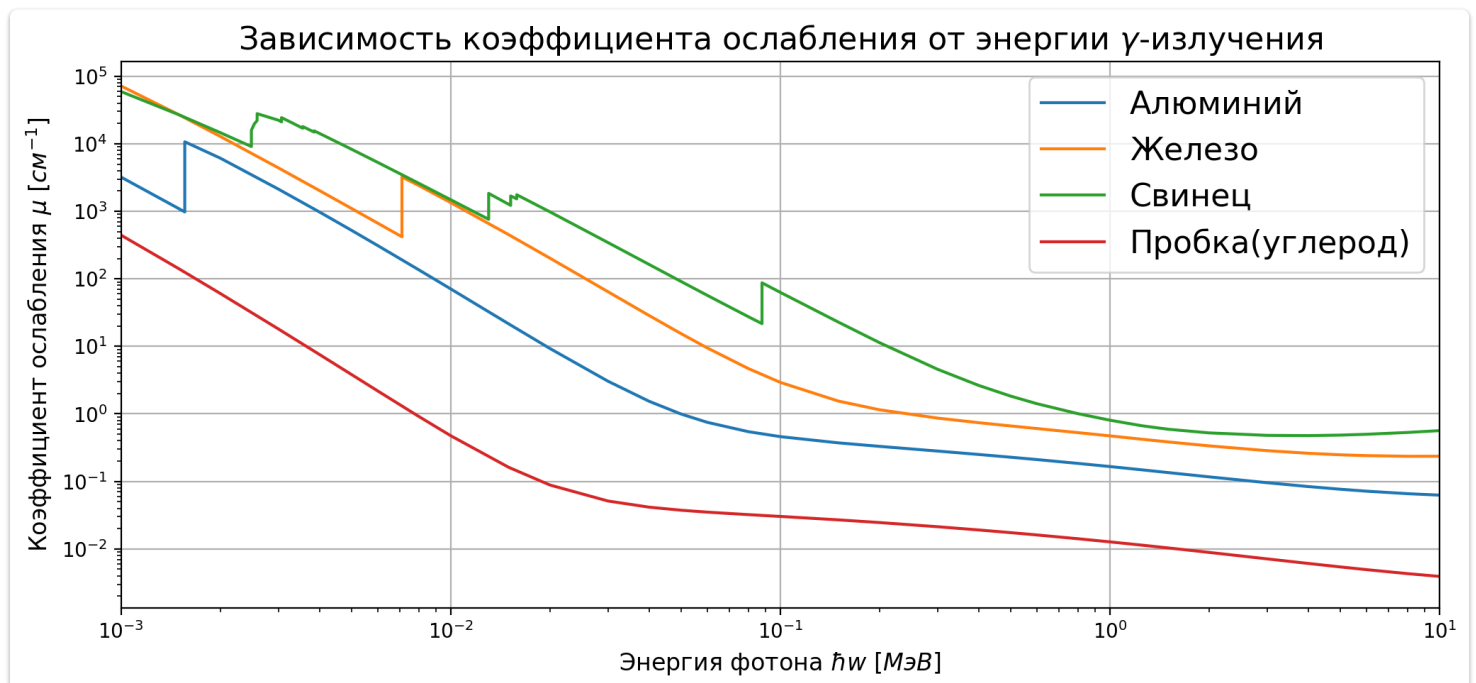


Рисунок 3. Зависимость коэффициента ослабления от энергии. Данные могут быть найдены по [ссылке](https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/).

Методика

Экспериментальная установка

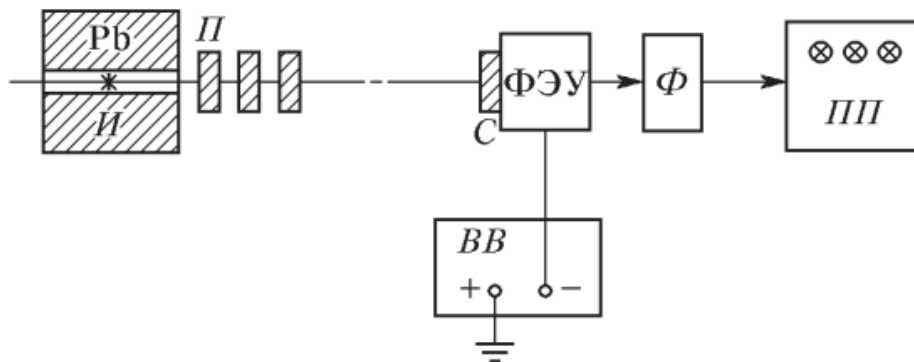


Рисунок 4. Схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 4. Для регистрации фотонов используется сцинтилляционный счетчик, схема которого преследует нас весь семестр.

Между счетчиком и образцом располагается поглотитель. Считаем, что интенсивность излучения экспоненциально падает с ростом длины поглотителя.

$$I = I_0 e^{-\mu l} \quad (3)$$

Тогда коэффициент ослабления μ может быть найден по формуле:

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

Обработка результатов эксперимента

Экспериментальные данные представлены на рисунке 5. Как видно, интенсивность(счет) экспоненциально падает с ростом длины поглотителя.

Экспериментальные данные

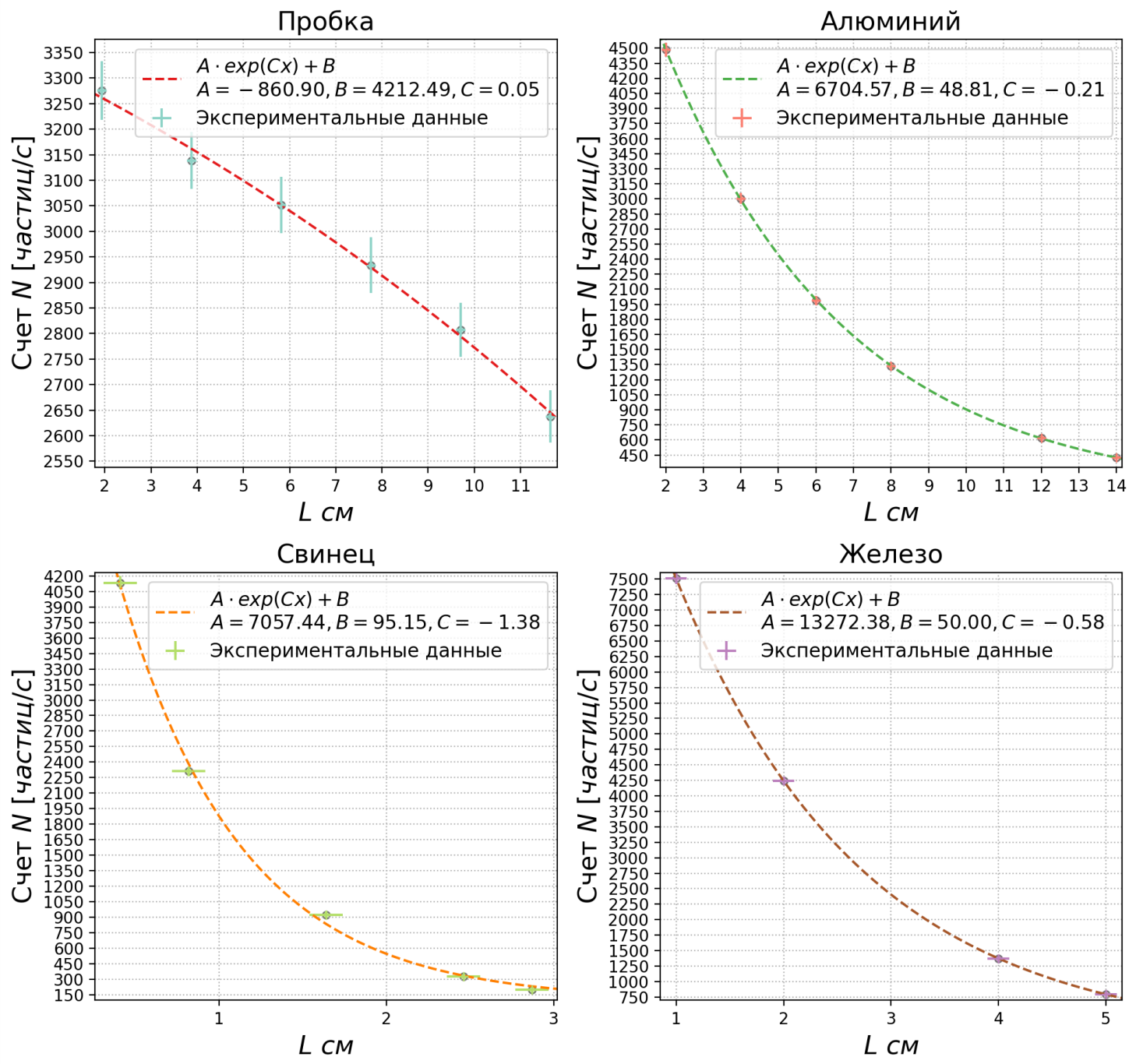


Рисунок 5. Экспериментальные данные.

Для точного нахождения показателя экспоненты, линеаризуем экспериментальные кривые. По оси y отложим величину $\ln(N_0/N)$, по оси x - длину поглотителя. Согласно формуле (4), коэффициент наклона наилучшей прямой есть искомый параметр μ .

Линеаризация экспериментальных зависимостей

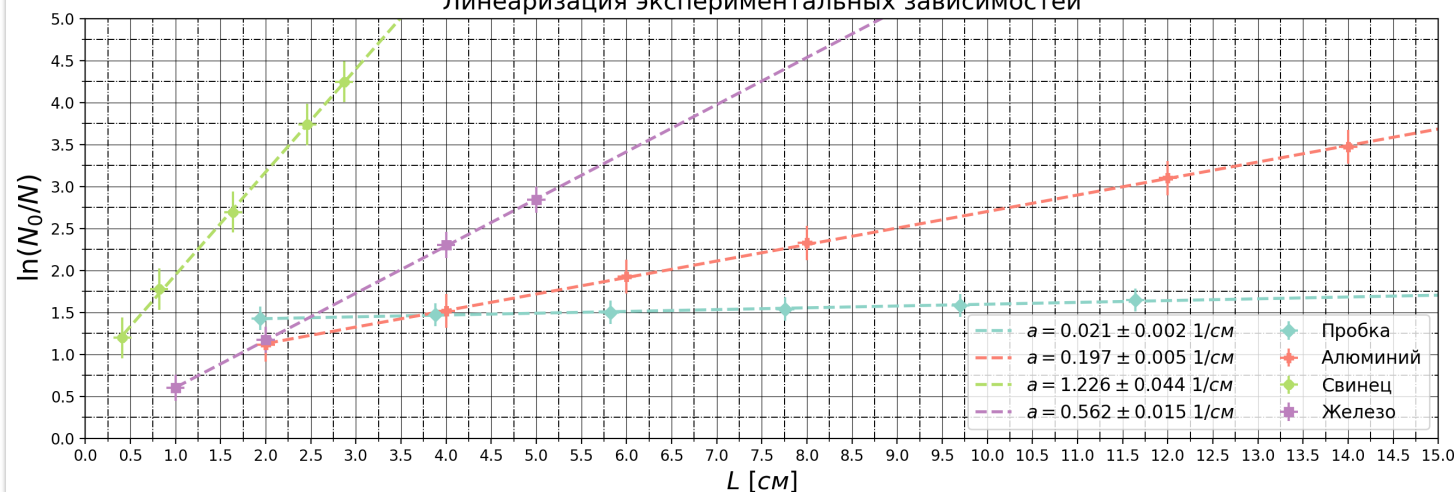


Рисунок 6. Линеаризация экспериментальных зависимостей

Найденные коэффициенты поглощения позволяют найти энергию гамма-квантов. Найдём точки пересечения кривых изображенных на рисунке 3 с прямыми вида $y = \mu$.

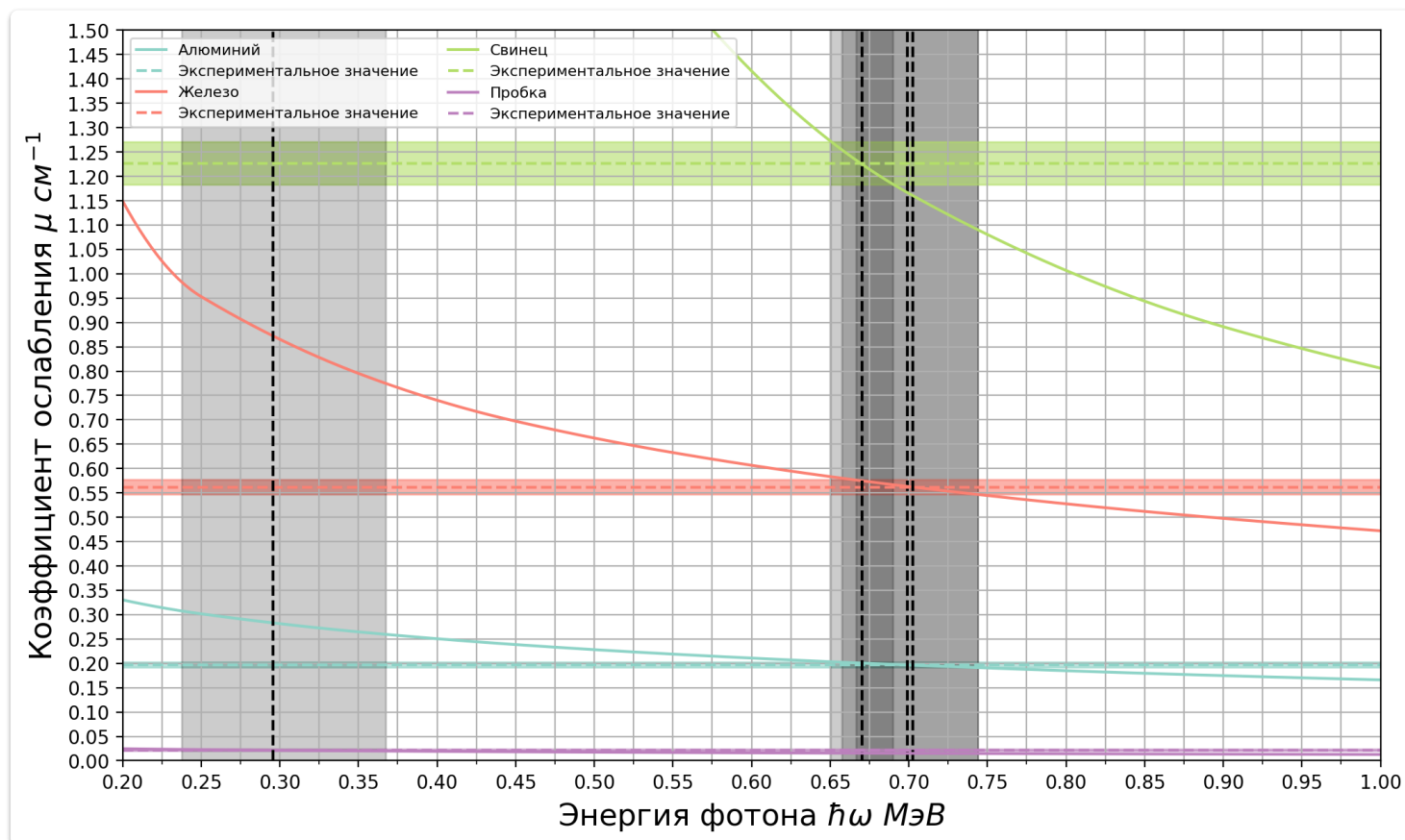


Рисунок 7. Нахождение энергии гамма-квантов

Как видно на рисунке 7, энергия излучения $\hbar\omega = 0.7 \pm 0.05$ МэВ.

Вывод

В ходе проведенного эксперимента удалось:

1. Найти коэффициенты ослабления для четырех типов веществ с точностью $\sim 5\%$.
2. По найденным коэффициентам ослабления удалось определить энергию гамма-квантов. Она оказалась равно $\hbar\omega = 0.7 \pm 0.05 \text{ МэВ}$.

При нахождении энергии гамма-квантов не учитывалось значение коэффициента ослабления пробкового вещества. Точка пересечения кривых для пробки сильно левее точек пересечения для остальных веществ. Это связано с несколькими факторами:

- Использовалась таблица для углерода, доля которого - 60% в составе пробкового дерева.
- Использовалась неточная плотность материала для пересчета. Согласно источнику «википедия», плотность пробки составляет $0.2\text{г}/\text{см}^3$ (именно такое значение использовалось при построении кривой). Однако данное сильно зависит от типа используемого дерева. Для повышения точности следует добавить измерение плотности используемого образца.