

# Лабораторная работа 5.4.2

## Исследование энергетического спектра $\beta$ -частиц

Выполнил Жданов Елисей Б01-205

### 1 Цель работы:

С помощью магнитного спектрометра исследовать энергетический спектр  $\beta$ -частиц при распаде ядер  $^{137}\text{Cs}$  и определить их максимальную энергию.

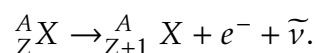
### 2 Оборудование:

Бета спектрометр

Вакуумная камера

### 3 Теоретическая справка

Бета-распад - самопроизвольное превращение ядер, при котором их массовое число не изменяется, а заряд увеличивается или уменьшается на единицу. В данной работе:



Величина  $W(p_e)$  является плотностью вероятности. Распределение электронов по энергии может быть вычислено теоретически. Для разрешенных переходов вероятность  $\beta$ -распада просто пропорциональна статистическому весу.

$$W(p_e)dp_e \propto p_e^2(E_m - E_e)^2 dp_e.$$

Кинетическая энергия электрона и его импульс связаны друг с другом обычной формулой:

$$E = \sqrt{(p_e c)^2 + (m_e c^2)^2} - m_e c^2$$

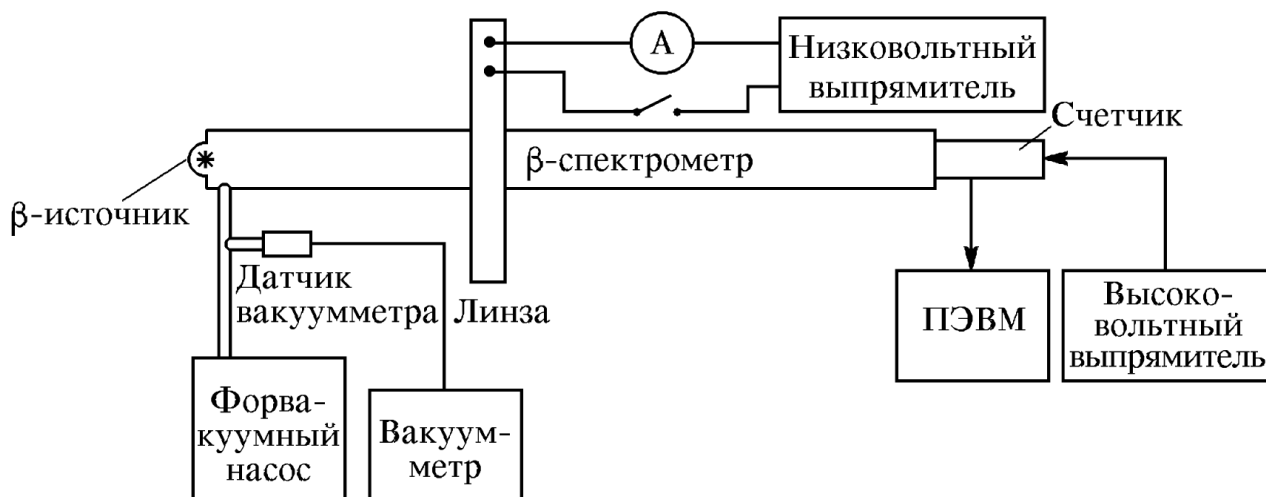
Выражение (3) приводит к спектру, имеющему вид широкого колокола. Кривая плавно отходит от нуля и столь же плавно, по параболе, касается оси абсцисс в области максимального импульса электронов.

Дочерние ядра, возникающие в результате  $\beta$ -распада, нередко оказываются возбужденными. Возбужденные ядра отдают свою энергию либо излучая  $\gamma$ -квант, либо передавая избыток энергии одному из электронов внутренних оболочек атома. Излучаемые в таком процессе электроны имеют строго определенную энергию и называются *конверсионными*.

Конверсия чаще всего происходит на оболочках К и L. Ширина конверсионной линии является чисто аппаратной – по ней можно оценить разрешающую силу спектрометра.

## 4 Экспериментальная установка

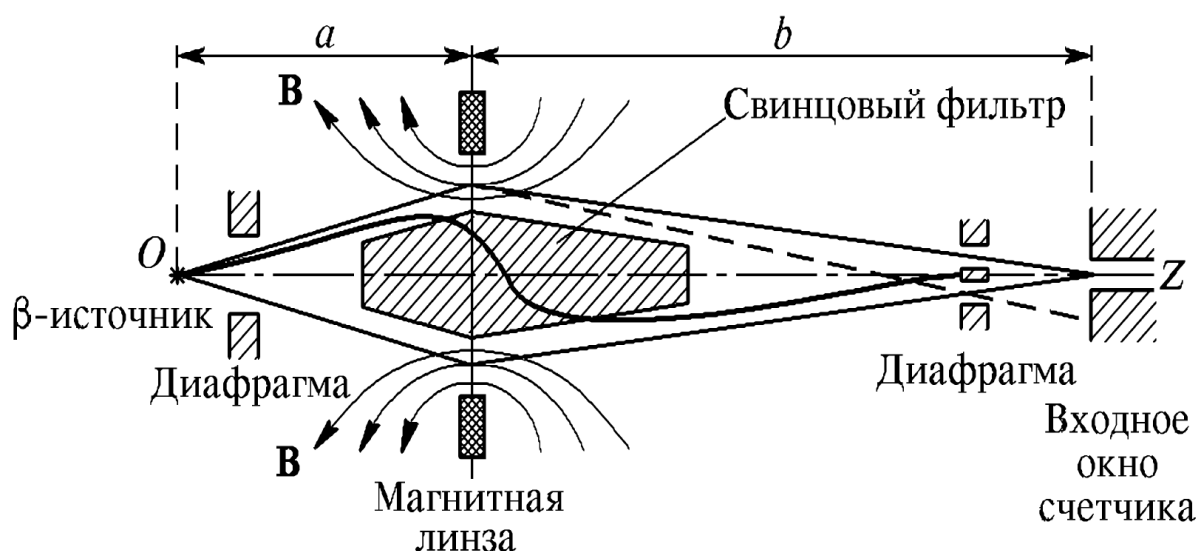
Блок-схема установки для изучения  $\beta$ -спектров изображена на рис. Радиоактивный источник  $^{137}\text{Cs}$  помещен внутрь откачанной трубы. Электроны, сфокусированные магнитной линзой, попадают в счетчик. В газоразрядном счетчике они инициируют газовый разряд и тем самым приводят к появлению электрических импульсов на электродах, которые затем регистрируются пересчетным прибором.



Энергию  $\beta$ -частиц определяют с помощью  $\beta$ -спектрометров (рис.). В работе используется магнитный спектрометр с «короткой линзой». Отметим, что в течение всего опыта геометрия прибора остается неизменной, поэтому импульс сфокусированных электронов пропорционален величине тока:

$$p_e = kI.$$

Связь между числом частиц, регистрируемых установкой, и функцией  $W(p_e)$  выража-



ется формулой:

$$N(p_e) \propto W(p_e)p_e,$$

откуда

$$\frac{\sqrt{N}}{p_e^{3/2}} \propto E_m - E$$

## 5 Измерения, Обработка

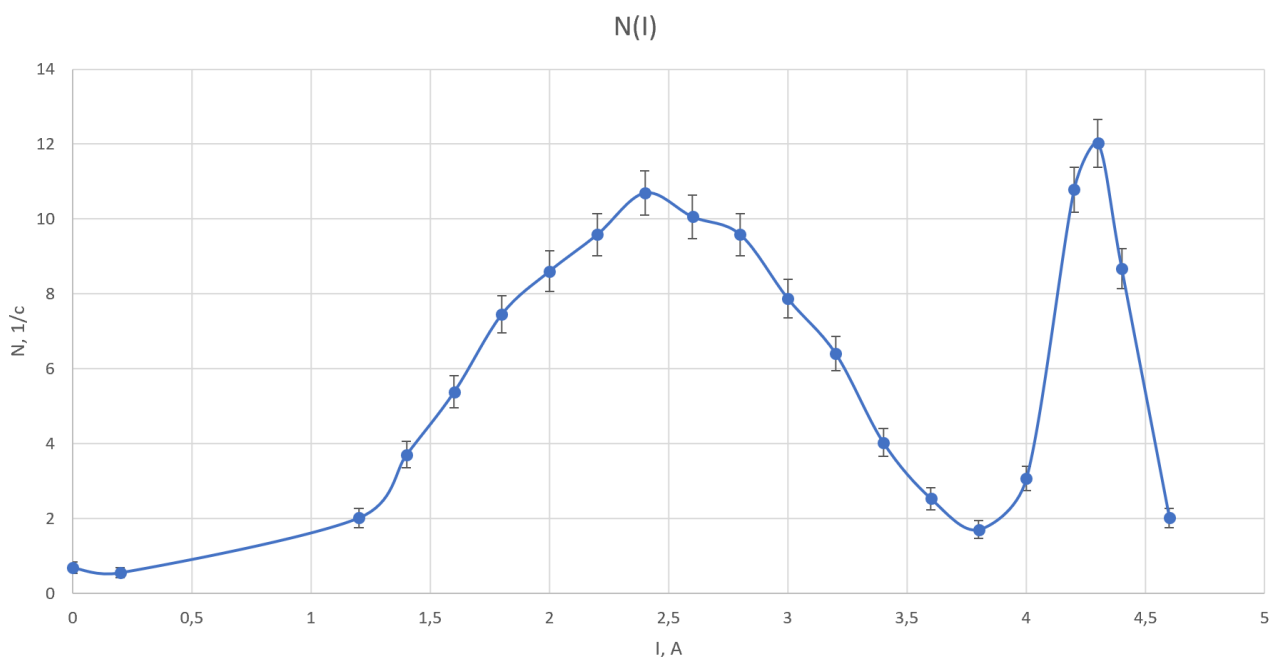
По результатам измерений построим график спектра  $\beta$ -распада атома  $^{137}\text{Cs}$  и откалибруем его. Для этого пересчитаем значения силы тока в импульс по формуле (★). Коэффициент  $k$  определим по известной конверсионной линии:

$$kcI_0 = 1013.5 \text{ кэВ},$$

где  $c$  – скорость света,  $I_0 = 3.25 \text{ А}$  – сила тока, при которой наблюдается конверсионный пик. Получаем, что

$$k = (312 \pm 2) \frac{\text{кэВ}}{c \cdot \text{А}}.$$

Сдвиг графика по оси ординат сделаем на величину радиационного фона  $N_{\text{ф}}$  при  $I = 4.10 \text{ А}$  и  $I = 0 \text{ А}$ , так как в этом случае график касается оси абсцисс в области максимальной энергии, что соответствует теоретической зависимости.



Определим максимальную энергию  $\beta$ -спектра. Анализ рис. в таком случае даст достаточно грубый результат, так как нам придётся ограничиться исследованием точек у самой верхней границы спектра. Эти точки измерены с наименьшей статистической точностью. Однако мы можем уменьшить ошибку определения максимальной энергии посредством процедуры Ферми-Кюри. Для этого мы отложим по оси ординат величину  $\sqrt{N}/p^{3/2}$ , а по оси абсцисс энергию  $\beta$ -частиц (с учётом того, что энергия электронов внутренней конверсии  $^{137}\text{Cs}$  равна 634, кэВ). В таком случае мы задействуем большинство экспериментальных точек, и прежде всего точки середины  $\beta$ -спектра, которые измерены с наилучшей точностью.

График Ферми-Кюри

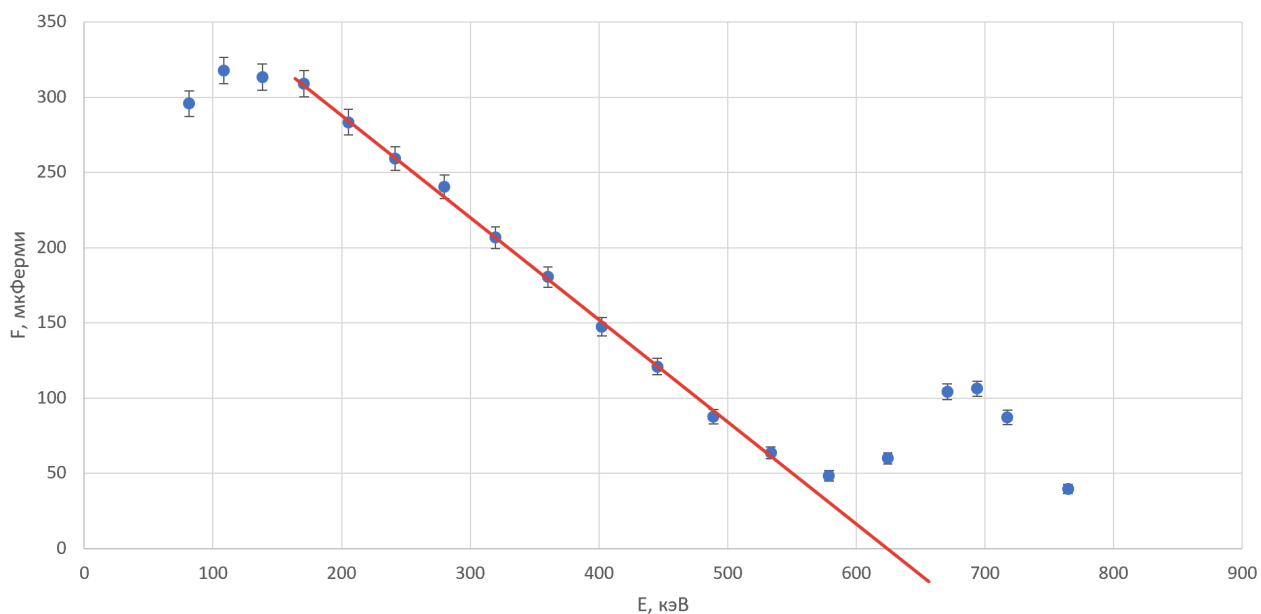


Таблица 1: Результаты линейной аппроксимации.

	$a, \text{кэВ}^{-5/2}$	$\text{кэВ}^{-3/2}$
Величина	-0,748	467
Погрешность	0,018	9

Ясно, что  $E_m = -\frac{b}{a}$  и  $\sigma_{E_m} = E_m \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b}\right)}$ , откуда  $E_m = (620 \pm 20) \text{кэВ}$ .

## 6 Вывод

В ходе лабораторной работы с помощью магнитного спектрометра мы исследовали энергетический спектр  $\beta$ -частиц при распаде ядер  $^{137}\text{Cs}$ . Калибровку спектрометра осуществили по энергии электронов внутренней конверсии.

Анализ графика (рис. ??) показывает, что точки купола достаточно хорошо приближаются параболой. Такой вид зависимости согласуется с теоретической. Конверсионный же пик оказывается можно приблизить Гауссовым распределением. Заметим, что в окрестности нуля спектр положителен – эти точки требуют повторного измерения.

Также мы определили максимальную энергию  $E_m = 620 \text{кэВ}$  вылетающих электронов при  $\beta$ -распаде ядра  $^{137}\text{Cs}$  методом Ферми-Кюри с ошибкой в 3%.

## 7 Ресурсы

Расчет по МНК: метод-наименьших-квадратов.рф