

## Лабораторная работа 5.4.2. Исследование энергетического спектра $\beta$ -частиц и определение их максимальной энергии при помощи магнитного спектрометра.

Вязовцев Андрей, Б01-005

05.10.22

**Цель работы:** С помощью магнитного спектрометра исследовать энергетический спектр  $\beta$ -частиц при распаде ядер  $^{137}\text{Cs}$  и определяется их максимальная энергия.

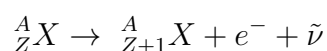
**В работе используются:** магнитный спектрометр с короткой линзой.

### Теоретическая справка:

Явление радиоактивности состоит в самопроизвольном распаде ядер с испусканием одной или нескольких частиц. К числу радиоактивных процессов относятся  $\alpha$ - и  $\beta$ -распады (в том числе и  $K$ -захват),  $\gamma$ -излучение, деление ядер, а также испускание запаздывающих нейтронов и протонов. В нашей работе мы будем рассматривать второе явление.

Бета-распад — процесс самопроизвольного превращения нестабильного ядра в ядро-изобар (ядро с тем же числом нуклонов, т. е. с одинаковым массовым числом  $A$ ) с зарядом, отличным от исходного на  $\Delta Z = \pm 1$  за счёт испускания электрона (позитрона) или захвата электрона с атомной оболочки. Главной особенностью  $\beta$ -распада является то, что он обусловлен не ядерными и не электромагнитными силами, а слабым взаимодействием. Период полураспада изменяется от ничтожных долей секунды до  $10^{18}$  лет, а энергия от 18 кэВ до 13.4 МэВ.

В данной работе мы будем иметь дело с электронным распадом:



Вероятность  $d\omega$  того, что при распаде электрон вылетит с импульсом  $d^3\vec{p}$ , а антинейтрино с импульсом в интервале  $d^3\vec{k}$  равна

$$d\omega = D\delta(E_e - E - ck)d^3pd^3p \quad (1)$$

где  $E_e$  — максимальная энергия электрона,  $E$  — его кинетическая энергия,  $D$  — некоторый коэффициент пропорциональности, при этом:

$$E_e - E - ck = 0 \quad (2)$$

Соответственно, для электрона с импульсом  $[p, p + dp]$  и антинейтрино с импульсом  $[k, k + dk]$  количество распадов  $dN$  на  $N_0$  частиц определяется выражением:

$$dN = N_0 d\omega \quad (3)$$

В нерелятивистском приближении (наш случай) можно получить, что:

$$\frac{dN}{dE} \approx \sqrt{E}(E_e - E)^2 \quad (4)$$

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

### Экспериментальная установка:

Энергию  $\beta$ -частиц определяют с помощью  $\beta$ -спектрометров. В работе используется магнитный спектрометр с «короткой линзой». На рис. 1 изображена схема установки. А на рис. 2 — общая блок-схема.

Как показывает расчёт, для заряженных частиц тонкая катушка эквивалента линзе. Для фокусного расстояния  $f$ , силы тока  $I$  и импульса электрона  $p$  верно:

$$\frac{1}{f} \propto \frac{I^2}{p^2}$$

Отсюда следует:

$$p = kI \quad (5)$$

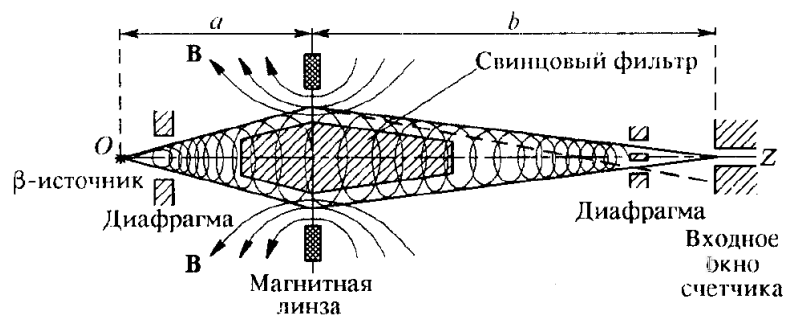


Рис. 1. Схема  $\beta$ -спектрометра с короткой магнитной линзой

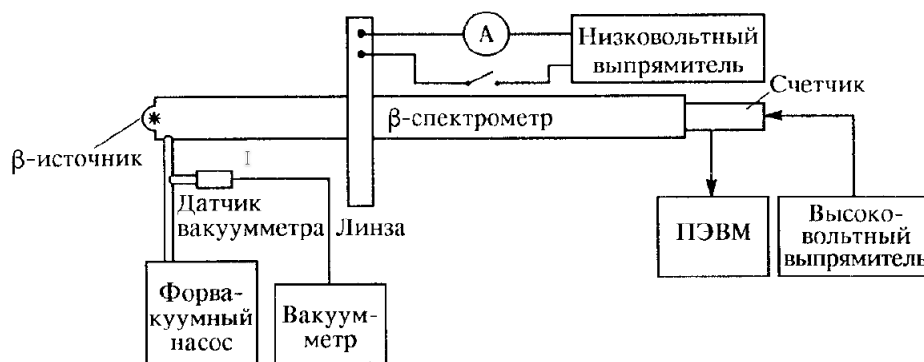


Рис. 2. Блок-схема установки для изучения  $\beta$ -спектра

### Ход работы:

1. Включим пересчётный прибор, высоковольтный выпрямитель и вакуумметр и дадим им прогреться 10-15 минут. Насосом сделаем, чтобы давление в спектрометре было не больше 0.1 Тор. Насос отключим, соединив его с атмосферой.
2. Установим рабочее напряжение на ФЭУ. Убедимся, что  $\beta$ -спектрометр правильно работает.
3. Проведём измерения, особое внимание уделим конверсионному пику. Каждое будем проводить в течение 100 секунд. Результаты представлены в таблице 1.
4. Измерим фон. Результаты — в таблице 2.

$I, \text{ A}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$N, \frac{1}{\text{с}}$	1.36	1.61	2.03	2.07	2.70	3.44	3.73	4.68	5.20	5.83

$I, \text{ A}$	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
$N, \frac{1}{\text{с}}$	6.41	6.93	8.21	8.23	7.88	8.09	7.35	6.70	6.62	5.56

$I, \text{ A}$	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.05	3.1	3.15	3.2
$N, \frac{1}{\text{с}}$	4.39	3.49	3.30	3.68	5.17	7.27	9.66	12.41	12.63

$I, \text{ A}$	3.3	3.35	3.4	3.45	3.5	3.6	3.7	3.9	4.1
$N, \frac{1}{\text{с}}$	12.04	11.05	8.74	6.52	4.47	2.62	1.42	0.73	0.62

Таблица 1. Измерения на  $\beta$ -спектрометре

$t, \text{ с}$	300	300
$N, \frac{1}{\text{с}}$	1.3593	0.5964
$I, \text{ A}$	0	4.25

Таблица 2. Фон спектрометра

### Обработка результатов:

5. Вычтем из измерений фон и построим график  $N(I)$ . При этом уровень конверсионного пика приблизим распределением Гаусса, а другую часть графика — уравнением вида:

$$N(I) = a \cdot \sqrt{I}(I - b)^2 + c$$

6. Найдём константу прибора по энергии электронов внутренней конверсии  $^{137}\text{Cs}$ , равной  $T_{\text{к}} = 624 \text{ кЭВ}$ . Т. к.  $m = 511 \text{ кЭВ}$ , то  $E_{\text{к}} = 1135 \text{ кЭВ}$  и  $p_{\text{к}} = 1013 \text{ кЭВ}$ . Т.к.  $I = (3.241 \pm 0.004) \text{ A}$ , то

$$k = (312.7 \pm 0.4) \frac{\text{кЭВ}}{\text{A}}$$

7. Построим график Ферми-Кюри. Из графика получаем, что:

$$E_{max} = (1140 \pm 30) \text{ кЭВ}$$

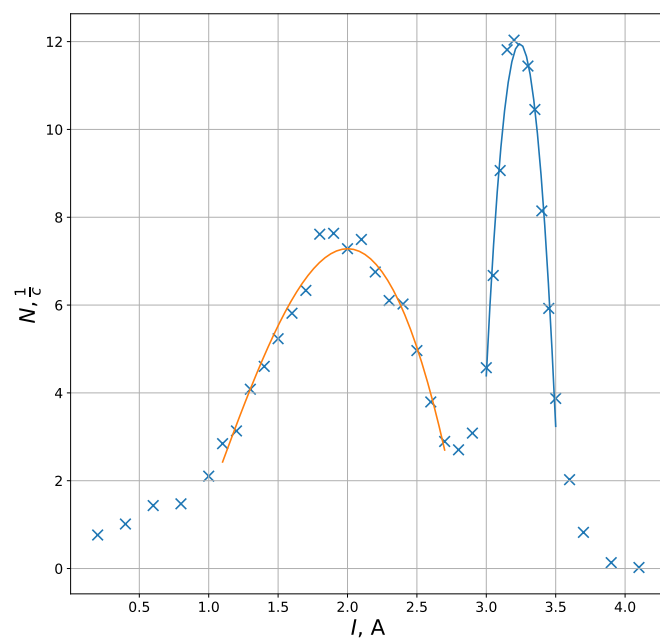


Рис. 3. Главный график

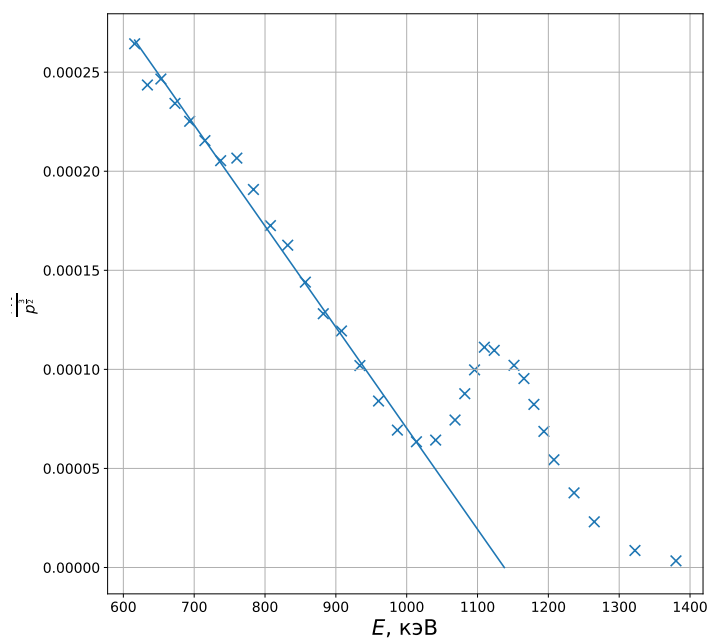


Рис. 4. График Ферми-Кюри