

**Отчет о выполнении лабораторной  
работы 4.2 "Исследование  
энергетического спектра  $\beta$ -частиц и  
определение их максимальной энергии  
при помощи магнитного спектрометра"**

Калашников Михаил, Б03-2026

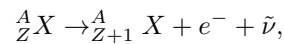
**Цель работы:** Исследовать с помощью магнитного спектрометра энергетический спектр  $\beta$ -частиц при распаде ядер  $^{137}\text{Cs}$  и определить их максимальную энергию. Откалибровать спектрометр по энергии электронов внутренней конверсии  $^{137}\text{Cs}$ .

**В работе используются:**

- цезиевый источник  $\beta$ -частиц;
- магнитный спектрометр;
- форвакуумный насос;
- счетчик, подключенный к компьютеру;
- выпрямитель сигналов.

## 1. Теоретические сведения

Бета-распадом называется самопроизвольное превращение ядер, при котором их массовое число остается прежним, а заряд изменяется на единицу. Бета-активные ядра встречаются во всей области значений массового числа  $A$ . В данной работе будет изучен электронный распад



при котором кроме электрона испускается антинейтрино.

Спектр энергии  $\beta$ -частиц оценивается формулой

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

где  $E_e$  — максимальная энергия электронов.

Дочерние ядра, возникающие в результате  $\beta$ -распада, нередко оказываются возбужденными. Такие 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 определенную энергию и называются конверсионными.

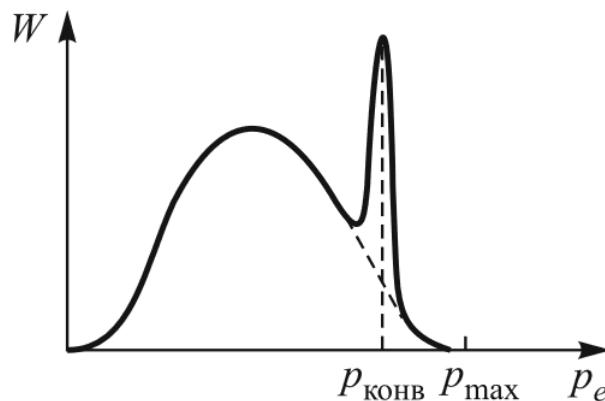


Рис. 1: Форма спектра  $\beta$ -частиц

## 2. Экспериментальная установка

Для определения энергии  $\beta$ -частиц используется магнитный  $\beta$ -спектрометр. Электроны, испускаемые радиоактивным источником попадают в магнитное поле катушки. Траектории электронов в магнитном поле являются сложной спиралью, сходящимися в фокусе. В фокусе установлен детектор электронов.

Для заряженных частиц тонкая катушка эквивалентна линзе. Ее фокусное расстояние зависит от импульса электронов и от силы тока, протекающего через катушку.

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

Так как геометрия прибора в ходе эксперимента остается неизменной, то импульс сфокусированных электронов пропорционален величине тока:

$$p_e = kI.$$

Константу прибора можно определить сравнивая измеренное положение конверсионного пика с табличным значением.

## 3. Проведение эксперимента

1. Включим пересчетный прибор, высоковольтный выпрямитель и форвакуумный насос.
2. Дождемся откачки камеры спектрометра. Степень откачки будем измерять проводя измерения интенсивности  $\beta$ -излучения и отмечая уровень изменения показаний.
3. Приступим к измерению спектра. Будем повышать ток в катушке от 0 до 4.2 А с шагом 0.2 А. Каждое измерение длится 100 секунд. Получим следующий набор точек.
4. Из полученных измерений можно сделать вывод что конверсионный пик лежит в диапазоне от 3 до 3.6 А. Проведем измерения данного участка с шагом 0.05 А. Из всех точек вычтем среднее значение первой и последней точек, приняв его за фоновое излучение ( $N_{\text{ф}} = (0.92 \pm 0.15) \text{ с}^{-1}$ ).

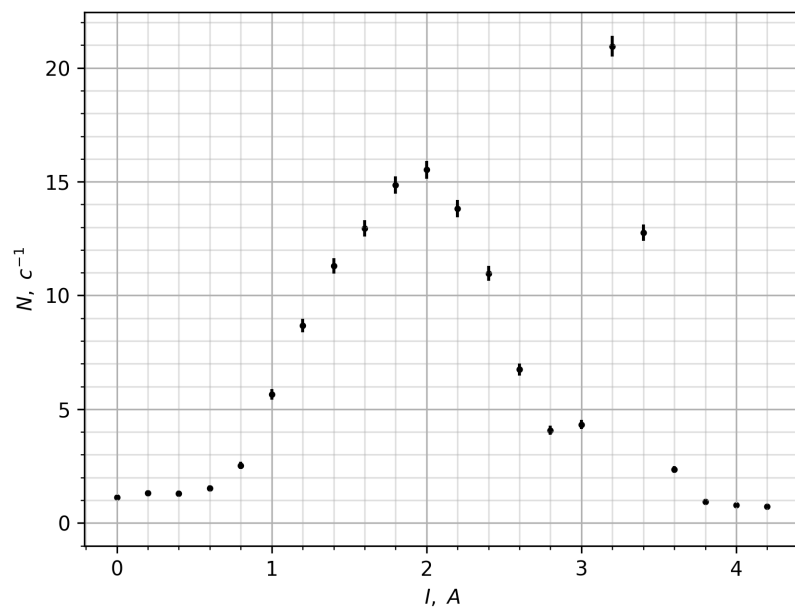


Рис. 2: Первичное измерение спектра

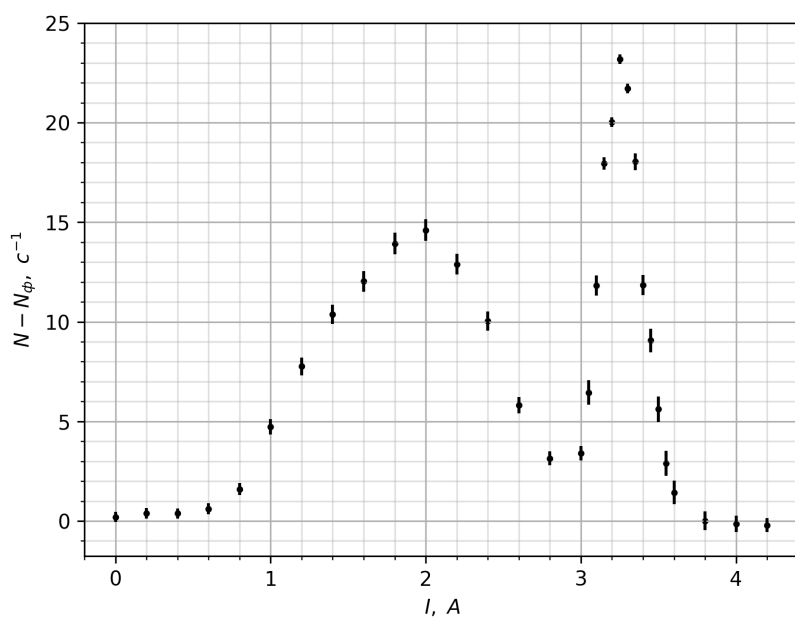


Рис. 3: Измеренный спектр  $\beta$ -излучения

## 4. Обработка результатов

1. Проведем калибровку спектрометра. Для определения точного положения центра конверсионного пика аппроксимируем его гауссовой кривой:

$$N - N_{\Phi} = ae^{-\frac{(I-b)^2}{2c^2}}$$

Получим параметры:

$$a = (22.8 \pm 0.3) \text{ c}^{-1}, \quad b = (3.257 \pm 0.004) \text{ A}, \quad c = (0.136 \pm 0.003) \text{ A}$$

Следовательно, положение центра конверсионного пика:

$$I_{\text{конв}} = b = (3.257 \pm 0.004) \text{ A}$$

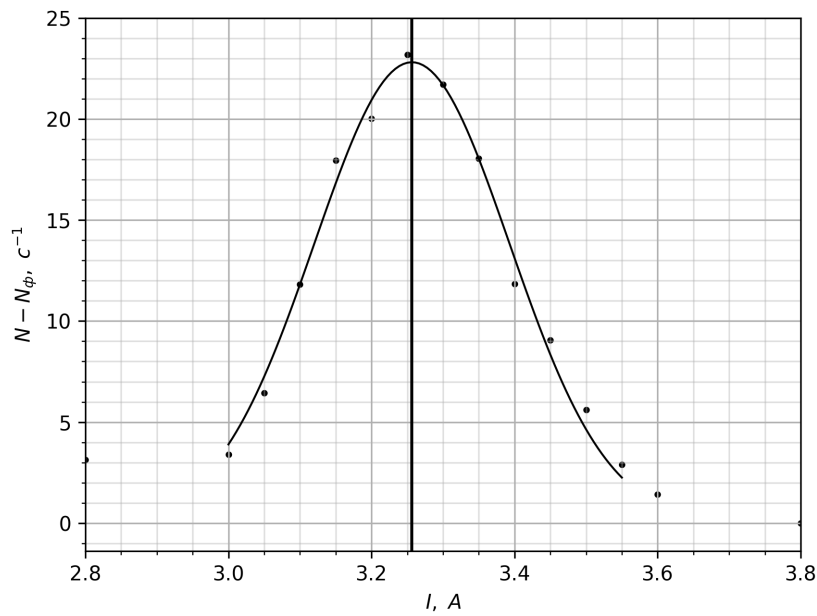


Рис. 4: Аппроксимация конверсионного пика

2. Зная, что  $(pc)_{\text{конв}} = 1013.5$  кэВ, рассчитаем константу прибора:

$$k = \frac{(pc)_{\text{конв}}}{I_{\text{конв}}} = (311.2 \pm 0.3) \frac{\text{кэВ}}{\text{A}}$$

Построим полученный спектр с тремя осями абсцисс – сила тока, импульс и кинетическая энергия.

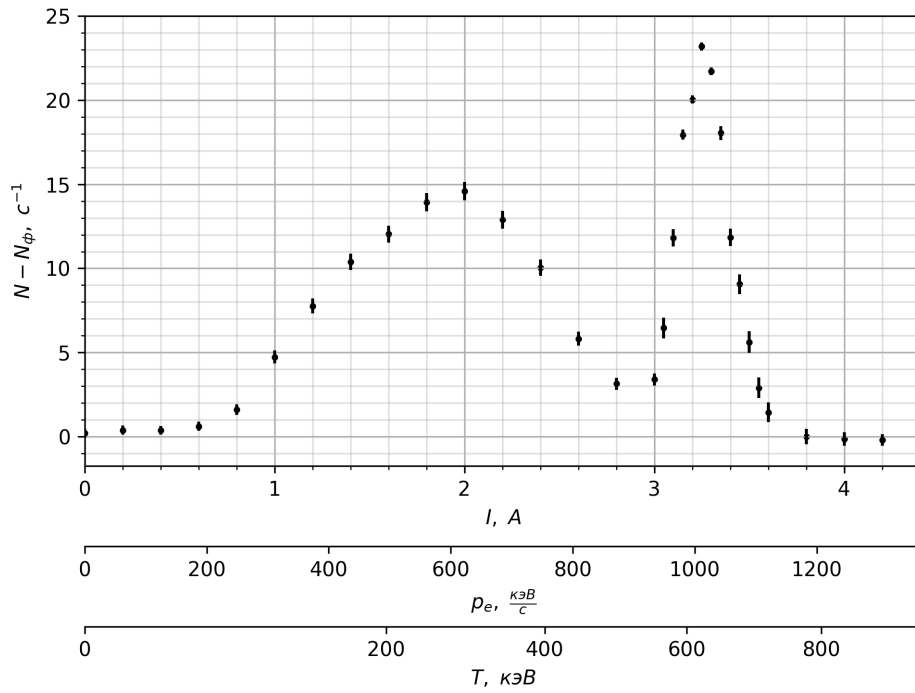


Рис. 5: Измеренный спектр  $\beta$ -излучения с дополнительными осями

3. Теперь можем построить график Ферми. Зная, что спектр описывается формулой

$$\sqrt{\frac{N - N_{\Phi}}{p^3}} = a(T_{max} - T),$$

построим график в координатах  $\sqrt{(N - N_{\Phi})/p^3}$  по оси ординат и  $T$  по оси абсцисс.

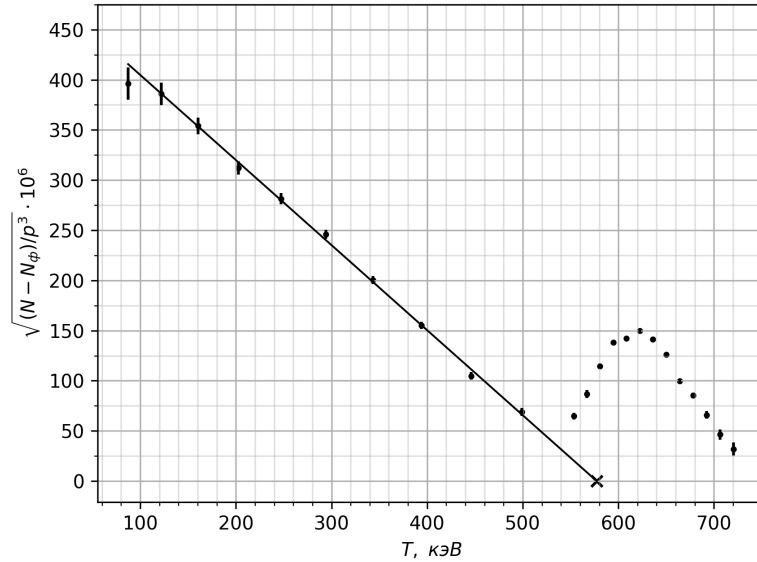


Рис. 6: График Ферми

4. Через часть этих точек можно провести прямую. Точка пересечения этой прямой с осью абсцисс будет равна  $T_{max}$ :

$$T_{max} = (577 \pm 4) \text{ кэВ}$$

## 5. Выводы

В ходе работы была произведена калибровка магнитного спектрометра и определена максимальная кинетическая энергия электронов, испускаемые атомом цезия при  $\beta$ -распаде. Согласно данным из лабораторного практикума данное значение должно быть меньше энергии конверсионных электронов, однако мной был получен обратный результат. Для повышения точности исследования можно было повысить степень вакуума в установке и провести более длительные регистрации  $\beta$ -частиц.