

## 4.2. Исследование энергетического спектра $\beta$ -частицы определение их максимальной энергии при помощи магнитного спектрометра

Хурсик Екатерина

3 декабря 2020 г.

### 1. Цель работы

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

### 2. Ход работы

Откачаем воздух из полости спектрометра, включим вакуумметр. Включим ПЭВМ, формирователь импульсов, питание магнитной линзы и уменьшим ток через неё до нуля.

Проведём измерение  $\beta$ -спектра, изменяя ток в магнитной линзе, при каждом значении тока будем измерять число попаданий частиц в детектор за 100 секунд. Далее в таблице будут сразу приведены значения  $N[\text{с}^{-1}] = \frac{N'}{t_{100}}$  — число частиц в единицу времени. Результаты сведём в таблицу 1.

*Примечание: в таблице погрешности величин указаны в тех же размерностях, что и сами величины.*

Измерим фон:

Таблица 2: Подсчет фона

№	1	2	3	4
$N_{\text{ф}}$	0,810	0,914	0,801	0,769
$\sigma_{N_{\text{ф}}}$	0,089	0,078	0,101	0,077

По результатам измерений возьмем среднее, т.е.

Таблица 1: Результаты измерений

№	$I$ , А	$\sigma_I$ , А	$N$ , с <sup>-1</sup>	$N - N_{\Phi}$ , с <sup>-1</sup>	$\sigma_{N-N_{\Phi}}$	$p$ , кэВ/с,	$\sigma_p$	$T$ , кэВ	$\sigma_T$	$f$ , с/м <sup>3/2</sup>	$\sigma_f$
1	0	0.02	0.66	-0.13	0.14	-	-	-	-	-	-
2	0.2	0.02	0.71	-0.08	0.14	51	5	3	0	-	-
3	0.4	0.02	0.91	0.12	0.15	103	5	10	1	3.322	0.118
4	0.6	0.02	0.89	0.1	0.14	154	5	23	1	1.651	0.118
5	0.8	0.02	0.96	0.17	0.15	206	5	40	1	1.398	0.118
6	1	0.02	1.37	0.58	0.16	257	5	61	1	1.848	0.118
7	1.2	0.02	1.78	0.99	0.17	309	6	86	2	1.835	0.118
8	1.4	0.02	2.4	1.61	0.19	360	6	114	2	1.858	0.118
9	1.7	0.02	3.52	2.73	0.22	437	6	161	2	1.808	0.081
10	2	0.02	3.96	3.17	0.23	514	6	214	3	1.527	0.062
11	2.3	0.02	3.97	3.18	0.23	591	7	271	3	1.24	0.049
12	2.6	0.02	4.05	3.26	0.23	668	7	330	3	1.045	0.04
13	2.9	0.02	3.56	2.77	0.22	746	7	393	4	0.817	0.034
14	3.2	0.02	2.57	1.78	0.19	823	8	457	4	0.565	0.032
15	3.3	0.02	2.27	1.48	0.19	848	8	479	5	0.492	0.032
16	3.4	0.02	1.42	0.63	0.16	874	8	502	5	0.307	0.04
17	3.6	0.02	1.3	0.51	0.16	926	8	546	5	0.254	0.04
18	3.7	0.02	1	0.21	0.15	951	9	569	5	0.156	0.055
19	3.8	0.02	1.14	0.35	0.15	977	9	592	5	0.194	0.043
20	3.85	0.02	1.71	0.92	0.17	990	9	603	5	0.308	0.029
21	3.9	0.02	2.89	2.1	0.2	1003	9	614	5	0.456	0.023
22	3.95	0.02	4.42	3.63	0.24	1015	9	626	6	0.589	0.021
23	4	0.02	5.23	4.44	0.25	1028	9	637	6	0.639	0.02
24	4.1	0.02	5.11	4.32	0.25	1054	9	660	6	0.607	0.019
25	4.2	0.02	4.58	3.79	0.24	1080	9	684	6	0.549	0.019
26	4.3	0.02	4.23	3.44	0.23	1105	10	707	6	0.505	0.018
27	4.33	0.02	3.38	2.59	0.21	1113	10	714	6	0.433	0.019
28	4.35	0.02	2.4	1.61	0.19	1118	10	719	6	0.339	0.02
29	4.4	0.02	2.12	1.33	0.18	1131	10	730	6	0.303	0.021
30	4.5	0.02	0.9	0.11	0.15	1157	10	754	6	0.084	0.056
31	4.6	0.02	0.56	-0.23	0.13	1183	10	777	7	-	-
32	4.8	0.02	0.54	-0.25	0.13	1234	10	825	7	-	-
33	5	0.02	0.32	-0.47	0.12	1285	11	872	7	-	-

$$N_{\Phi} = 0,79 \pm 0,09 \text{ с}^{-1}$$

Проведем вычет фона из числа частиц. Погрешность будет вычисляться как

$$\sigma_{N-N_{\Phi}} = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_{N_{\Phi}}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{N'}}{t_{100}}\right)^2 + \sigma_{N_{\Phi}}^2}$$

Погрешность  $\sigma_N$  вычисляется статистически.

Отложим на графике экспериментальные точки в осях  $I$ ,  $N - N_{\Phi}$  и профитируем их функцией

$$y(x) = g + a \exp\left(\frac{(x-b)^2}{2c^2}\right) + d \cdot x^2(f - \sqrt{x^2 + e})^2$$

Первый член вносит общую поправку значений по  $y$  (обусловленную вычетом фона), второй — функция Гаусса для конверсионного пика и третий — спектр  $\beta$ -распада. Результаты фита сведем в таблицу 3.

Важным результатом фита является параметр  $b = (4.122 \pm 0.015) \text{ А}$  — он показывает, где находится конверсионный пик по оси абсцисс. С его помощью можно найти из (??)

$$k = \frac{p_c}{I} \approx 245/c \text{ кэВ/А}$$

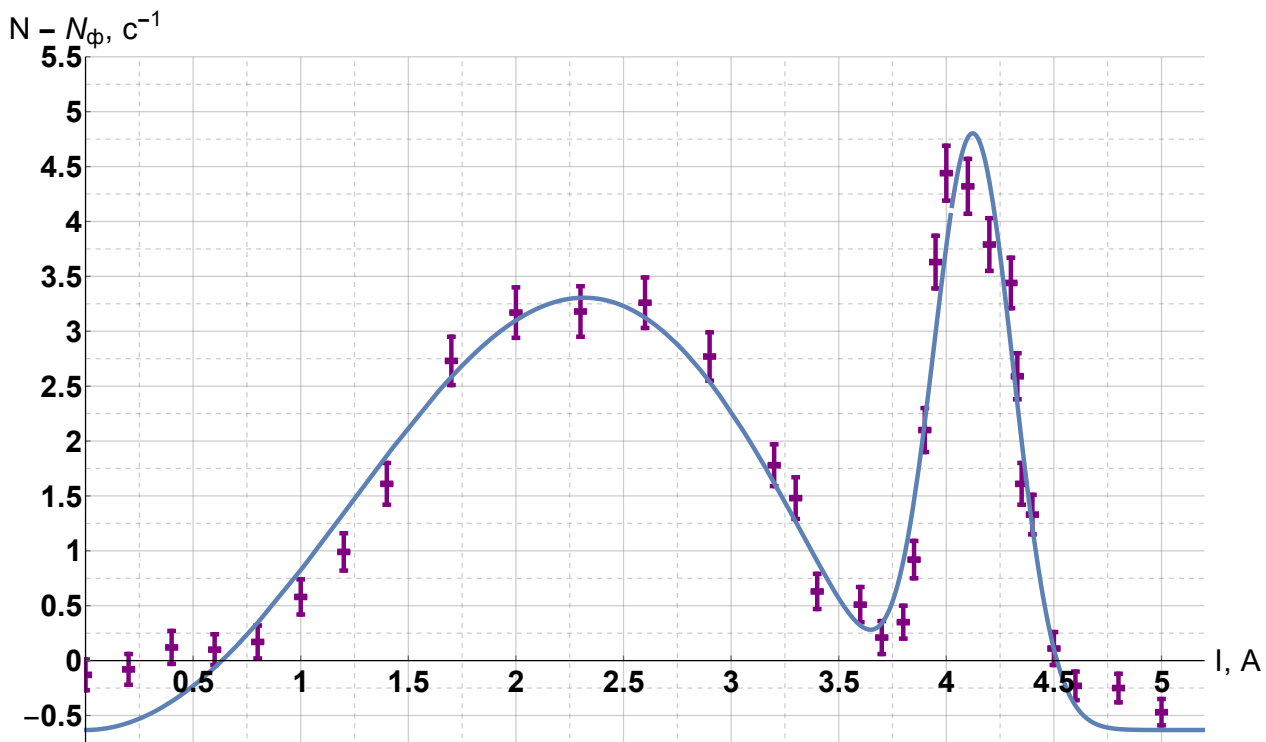


Рис. 1: Измерение  $\beta$ -спектра

Таблица 3: Результаты фита  $\beta$ -спектра

Параметр	Значение	Ошибка
$a$	5.43	0.36
$b$	4.122	0.015
$c$	0.19	0.02
$d$	7.83	196.6
$e$	17.82	217.76
$f$	301.70	7766.48
$g$	-0.63	0.27
$\chi_\nu$	3,1	

Зная конверсионный пик и соответствующие ему импульс  $p_c = 1013$  кэВ/с и энергию  $T = 634$  кэВ, мы можем откалибровать шкалу токов в шкалу импульсов и энергий. Это занесено в таблицу 1.

Теперь подставим в  $\frac{dN}{dE} \approx \sqrt{E}(E_e - E)^2$  формулу  $N = CW(p_e)p_e$ , сокращая обе части на  $\delta p_e$ , мы получаем

$$N(p) \approx p^3(E_e - E)^2 \Rightarrow \frac{\sqrt{N}}{p^{3/2}} \propto T_{max} - T$$

Отложив по оси  $y$  величину  $\frac{\sqrt{N}}{p^{3/2}} = f$  в таблице 1, а по  $x$  — кинетическую энергию, мы можем построить график, называемый графиком Ферми-Кюри, и определить по нему  $T_{max}$  — в этих осях спектр  $\beta$ -распада описывается прямой, который мы можем профитировать  $y = ax + b$ .

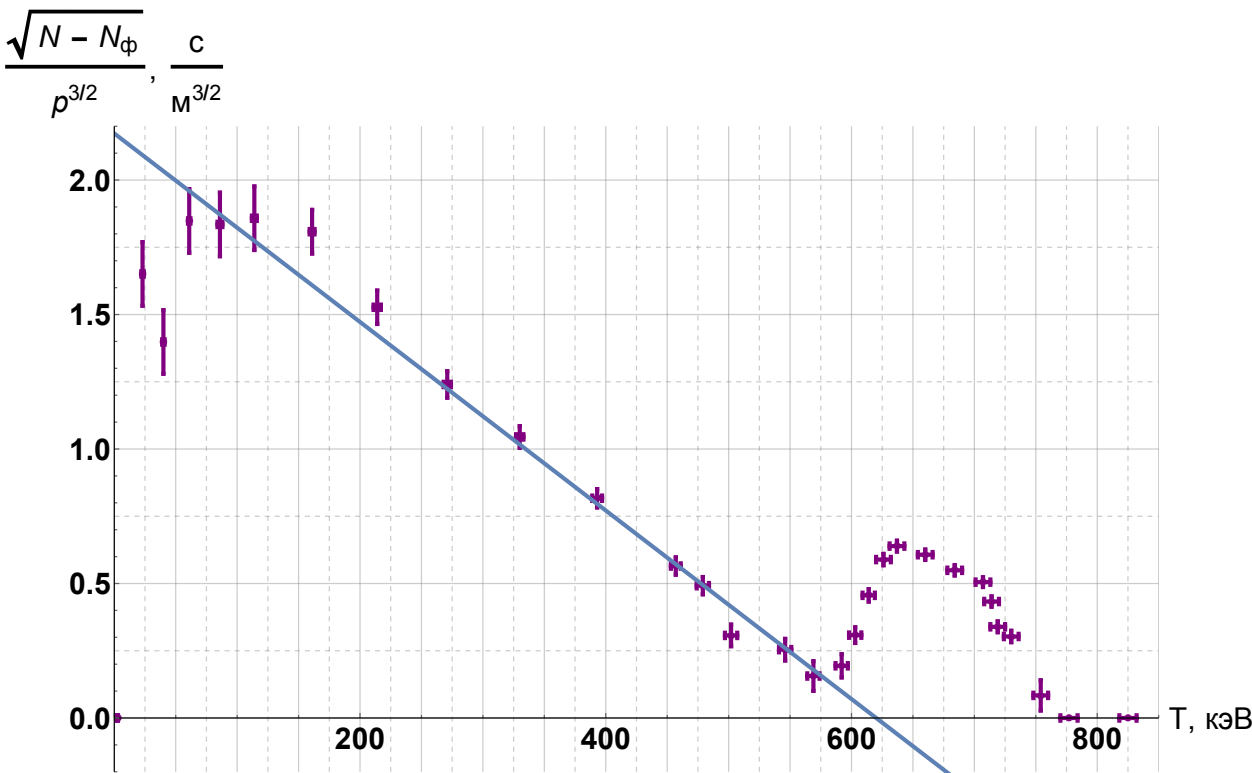


Рис. 2: График Ферми-Кюри

В результате фита мы получаем, что при  $y = 0$  мы можем найти  $T_{max} = \frac{b}{-a} \approx (610 \pm 46)$  кэВ.

Таблица 4: Результаты фита Ферми-Кюри

Параметр	Значение	Ошибка
$b$	2.17	0.13
$a$	-0.0035	0.0003
$\chi_{\nu}$	2,1	

3. Вывод

Таким образом, в работе мы изучили спектр  $\beta$ -распада  $^{136}\text{Cs}$ , экспериментальным путем нашли конверсионный пик, оценили параметры установки и подсчитали максимальную возможную кинетическую энергию электрона в этом распаде.