

Бичина Марина Б04-005, Карташов Константин Б04-005,
Лабораторная работа №.5.4.2 «Исследование
энергетического спектра β -частиц при помощи магнитного
спектрометра»

Цель работы:

1. Исследовать энергетический спектр β -частиц при распаде ядер ^{137}Cs
2. Определить их максимальную энергию

Оборудование:

1. β -спектрометр
2. форвакуумный насос
3. компьютер

Теоретическая справка:

Бета-распад – это самопроизвольное превращение ядер, при котором их массовое число не изменяется, а заряд изменяется на единицу.

В данной работе мы будем иметь дело с электронным распадом:



Вероятность $d\omega$ того, что электрон вылетит с импульсом d^3p , а нейтрино с импульсом d^3k равна произведению этих дифференциалов, но мы должны учесть также закон сохранения энергии.

$$E_e - E - ck = 0$$

Энергия электрона связана с импульсом обычным образом:

$$E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2} - mc^2$$

Таким образом, вероятность $d\omega$ принимает вид:

$$d\omega = D\delta(E_e - E - ck)d^3pd^3k = D\delta(E_e - E - ck)p^2dpk^2dkd\Omega_e d\Omega_{\tilde{\nu}}$$

Где D можно считать с хорошей точностью константой. В этом случае можно проинтегрировать по всем углам и по абсолютному значению импульса нейтрино. В этом случае δ -функция исчезнет, а ck всюду заменится на $E_e - E$. После умножения на полное число распадов выражение примет вид:

$$dN = \frac{16\pi^2 N_0}{c^2} D p^2 (E_e - E)^2 dp$$

В нерелятивистском случае:

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

Дочерние ядра, возникающие в результате β -распада, нередко оказываются возбуждёнными. Возбуждённые ядра отдают свою энергию либо излучая гамма-квант, либо передавая избыток энергии одному из электронов с внутренних оболочек атома (обычно K или L). Последние электроны имеют строго определённую энергию и называются *конверсионными*. Ширина монохроматической линии, соответствующая конверсионным электронам, определяет *разрешающую силу спектрометра*.

Описание установки:

Для определения энергии β -частиц в работе используется магнитный спектрометр, схема которого показана на рисунке ниже. Электроны испускаются радиоактивным источником и попадают в магнитное поле катушки, ось которой параллельна OZ . Траектории электронов сходятся в одной точке — фокусе, где и установлен сцинтиляционный счетчик, сигналы которого усиливаются фотоумножителем и регистрируются пересчетным прибором. Фокусное расстояние f магнитной линзы связано с током в катушке I и импульсом p_e регистрируемых частиц следующим образом:

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

При неизменной геометрии установки, увеличивая и уменьшая силу тока, можно фокусировать электроны разных импульсов

$$p_e = kI,$$

где k — коэффициент пропорциональности, являющийся параметром установки. Число частиц N , регистрируемых на установке, равно: $N \approx W \cdot \Delta p_e$, где Δp_e — разрешающая способность спектрометра.

Дифференцируя выражение для форуса магнитной линзы, получим: $\Delta p_e = \frac{1}{2} \frac{\Delta f}{f} p_e$, то есть $\Delta p_e \propto p_e$. Таким образом, для количества частиц справедлива формула:

$$N = CW(p_e)p_e$$

Здесь C — некоторая константа.

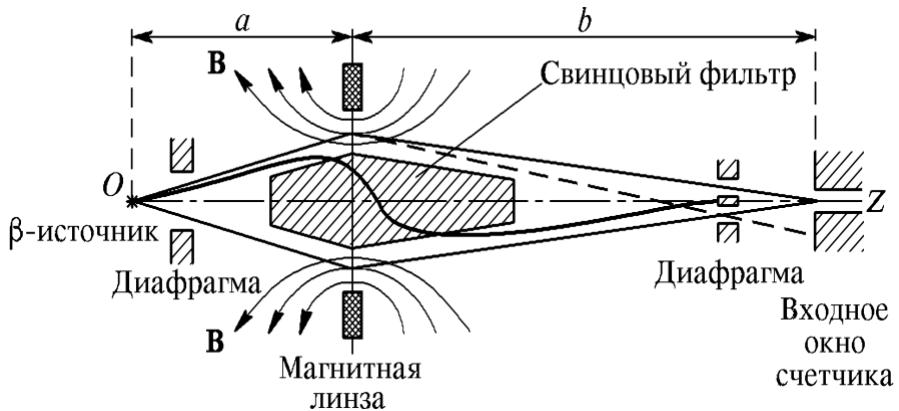


Рис. 1: Схема β -спектрометра с короткой магнитной линзой

Сама установка состоит из:

1. откаченной трубы, куда помещается радиоактивный источник ^{137}Cs
2. магнитной линзы
3. счетчика
4. компьютера
5. форвакуумного насоса и вакууметра

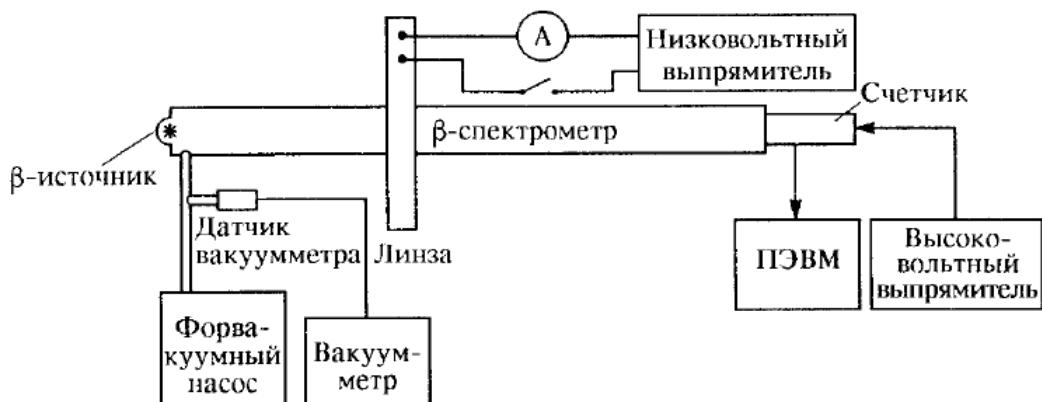


Рис. 2: Схема установки для изучения β -спектра

Ход работы:

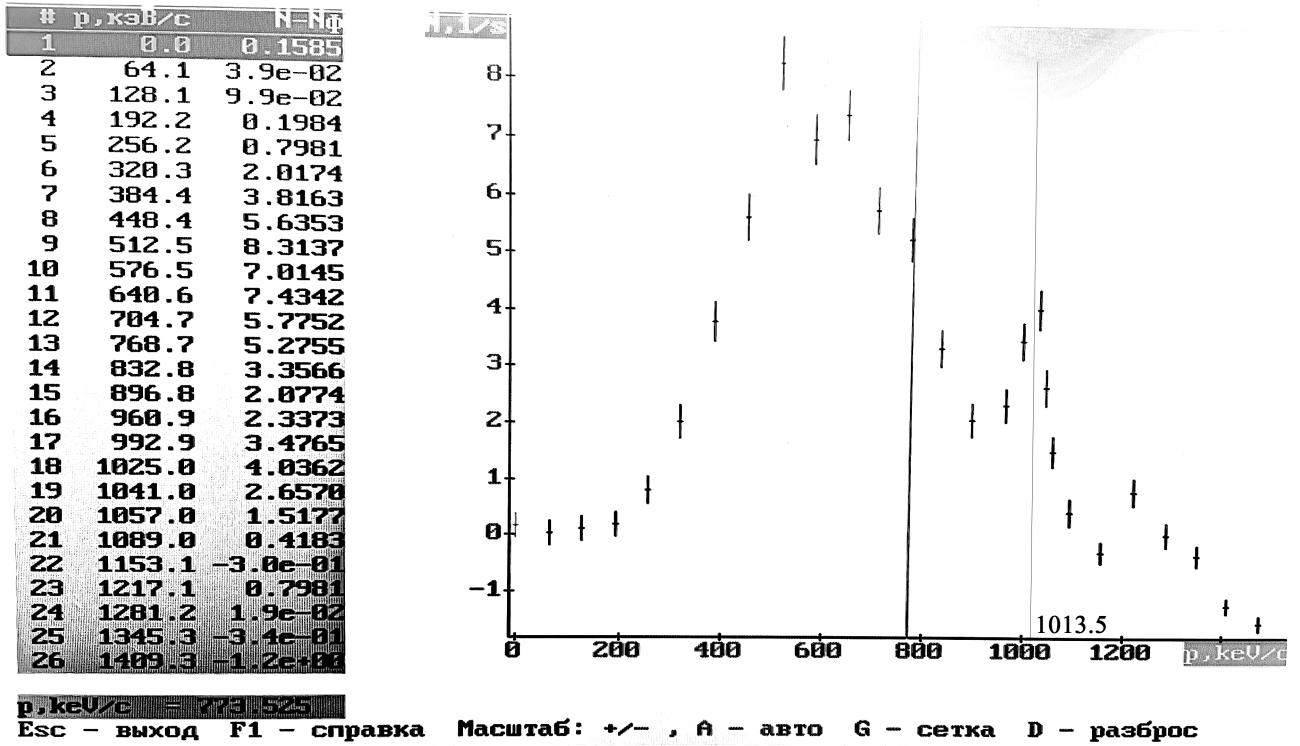
1. В ходе эксперимента были получены данные:

#	J, A	N	N-НФ	p, кэВ/с	T, кэВ	mkFermi
1	0.00	2.639	0.159	0.0	0.0	0.0000
2	0.20	2.519	0.039	64.1	4.8	382.8873
3	0.40	2.579	0.099	128.1	15.8	216.4225
4	0.60	2.678	0.198	192.2	34.9	167.2088
5	0.80	3.278	0.798	256.2	60.6	217.7999
6	1.00	4.497	2.017	320.3	92.1	247.7761
7	1.20	6.296	3.816	384.4	128.4	259.2486
8	1.40	8.115	5.635	448.4	168.9	249.9946
9	1.60	10.794	8.314	512.5	212.7	248.5322
10	1.80	9.494	7.014	576.5	259.4	191.3171
11	2.00	9.914	7.434	640.6	308.4	168.1659
12	2.20	8.255	5.775	704.7	359.4	128.4737
13	2.40	7.756	5.276	768.7	412.1	107.7654
14	2.60	5.837	3.357	832.8	466.1	76.2351
15	2.80	4.557	2.077	896.8	521.2	53.6640
16	3.00	4.817	2.337	960.9	577.3	51.3263
17	3.10	5.957	3.477	992.9	605.7	59.5931
18	3.20	6.516	4.036	1025.0	634.3	61.2247
19	3.25	5.137	2.657	1041.0	648.6	48.5330
20	3.30	3.998	1.518	1057.0	663.0	35.8496
21	3.40	2.898	0.418	1089.0	691.9	17.9970
22	3.60	2.179	-0.301	1153.1	750.2	0.0000
23	3.80	3.278	0.798	1217.1	809.1	21.0386
24	4.00	2.499	0.019	1281.2	868.3	2.9740
25	4.20	2.139	-0.341	1345.3	928.0	0.0000
26	4.40	1.239	-1.241	1409.3	988.1	0.0000

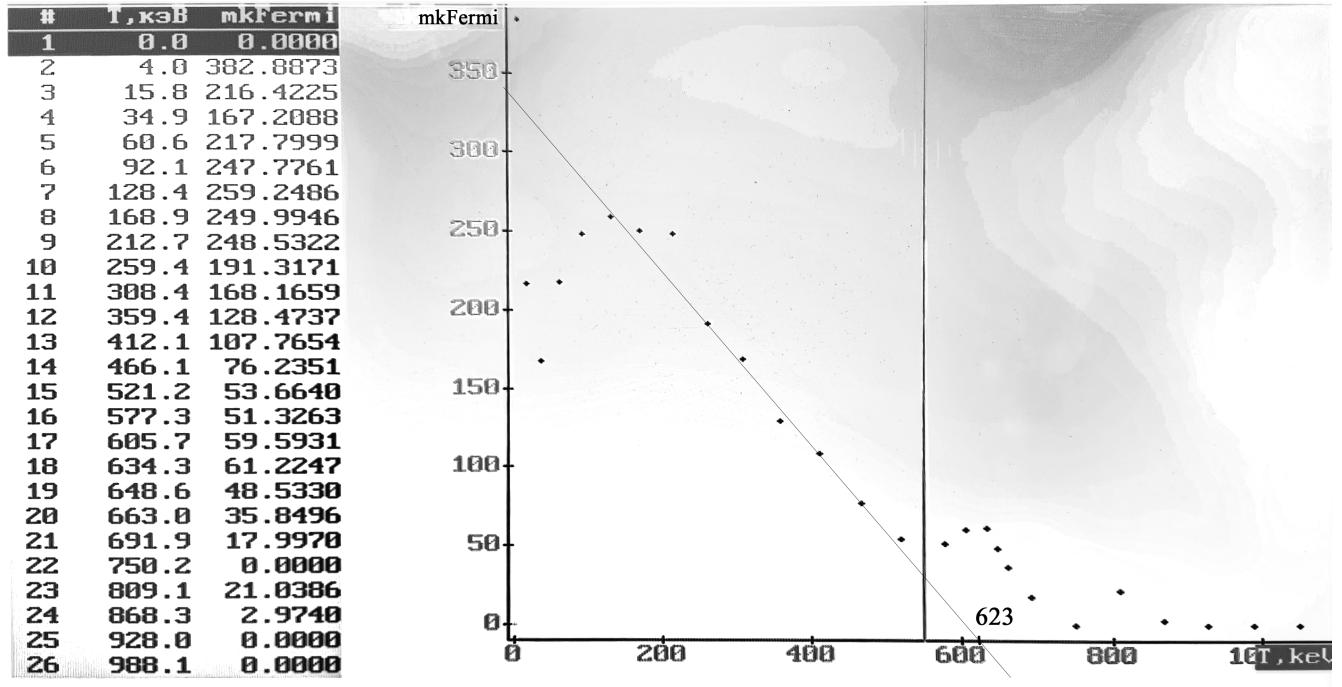
$$mkFermi = J(N-N\Phi) \times p^{3/2} \times 1e6$$

Рис. 3: Данные эксперимента

2. Из графика $N(p)$ мы видим ярко выраженный конверсионный пик, произведение импульса на скорость света которого составляет $pc = 1013.5$ кэВ/с. По нему была произведена калибровка спектра.



3. Получим график Ферми-Кюри. Из него, проведя прямую по МНК получим максимальную энергию $E = E_{max}$ (как прямая, пересекающая ось абсцисс)



4. Из графика, $E_{max} = 623$ кэВ

Выводы:

1. В ходе работы было исследовано явление β -распада ^{137}Cs . В спектре β -частиц наблюдаются две области: электроны, рождённые в паре с антинейтрино и конверсионные электроны, испускаемые в результате перехода ядра на более низкий энергетический уровень
2. С помощью графика Ферми-Кюри было определено максимальное значение энергии β -частиц в спектре: $E_{max} = 623$ кэВ