

4.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА β -ЧАСТИЦ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА

Егор Берсенеv

1 Теоретическое введение

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:

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AX + e^- + \tilde{\nu} \quad (1)$$

Освобождающаяся в результате распада энергия делится между исходным ядром, электроном и нейтрино. При этом доля энергии, уносимая ядром крайне мала, так что вся энергия делится между нейтрино и электроном. Поэтому электроны могут иметь любую энергию от нулевой до некоторой максимальной энергии, высвобождаемой при распаде.

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.

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

Энергия электрона связана с импульсом обычным образом:

$$E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2} - mc^2 \quad (3)$$

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

$$d\omega = D\delta(E_e - E - ck)d^3pd^3k = D\delta(E_e - E - ck)p^2dpk^2dkd\Omega_e d\Omega_{\tilde{\nu}} \quad (4)$$

Д 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:

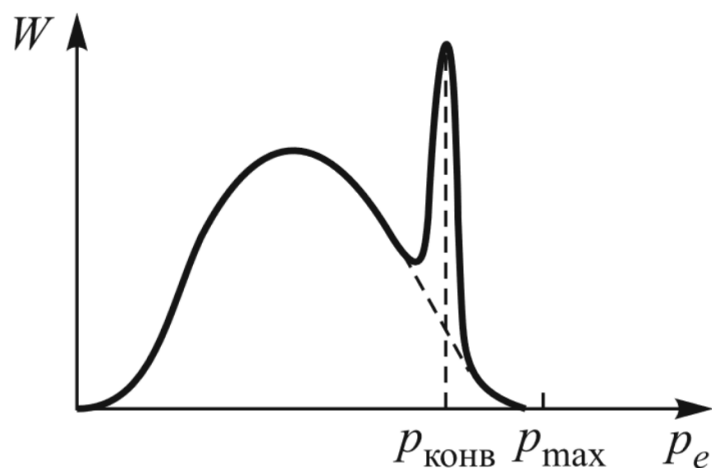
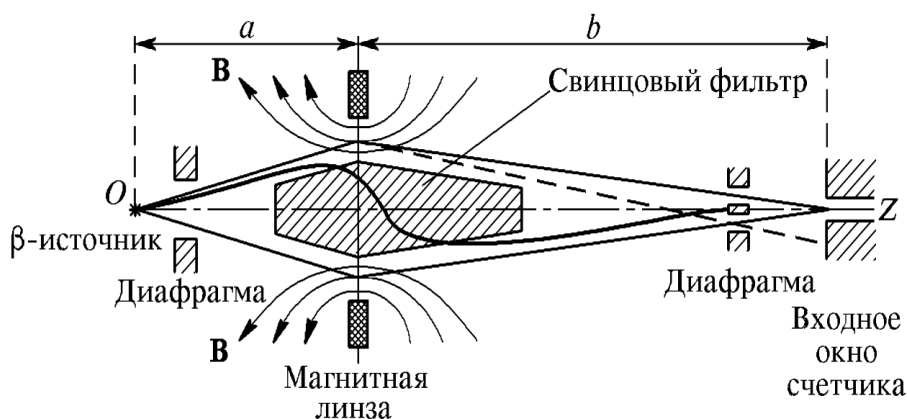
$$dN = \frac{16\pi^2 N_0}{c^2} D p^2 (E_e - E)^2 dp \quad (5)$$

В нерелятивистском случае выражение упрощается и принимает вид:

$$\frac{dN}{dE} \simeq \sqrt{E} (E_e - E)^2 \quad (6)$$

2 Экспериментальная установка

Энергия определяется с помощью β -спектрометров. В работе используется магнитный спектрометр с короткой линзой. Как показывает расчет, для заряженных

Рис. 1: Форма спектра β -частиц при разрешенных переходахРис. 2: Схема β -спектрометра с короткой линзой

частиц тонкая катушка эквивалентна линзе:

$$\frac{1}{f} \simeq \frac{I^2}{p_e^2} \quad (7)$$

При заданной силе тока на входное окно счетчика собираются электроны с определенным импульсом.

3 Экспериментальные данные

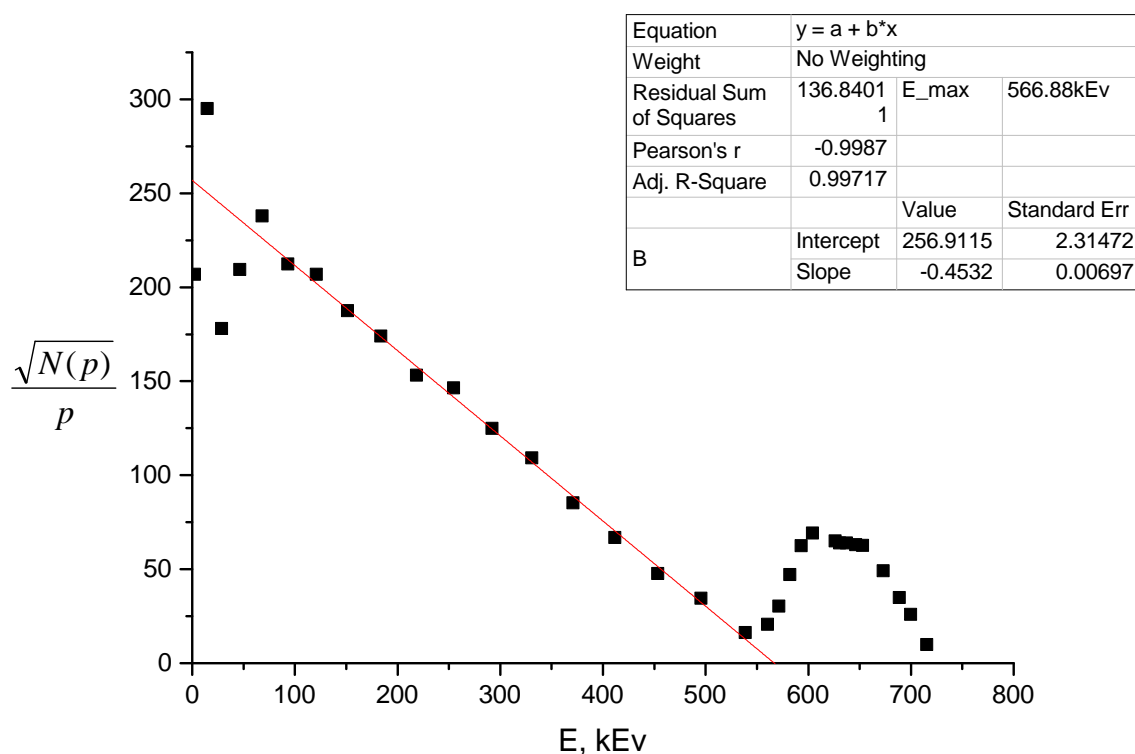
Снимем точки β -спектра. Фоновое излучение равно $N_b = 0.775$. С учетом этого пересчитаем число частиц, зарегистрированных счетчиком.

Таблица 1: Экспериментальные данные

I, A	$N, 1/s$	$N - N_b, 1/s$	$p, keV/s$	E, keV	$\frac{\sqrt{N}}{p}$
0	0.85	0.0752	0.00	0	—
0.2	0.78	0.0052	49.53	2.40	206.88
0.5	0.94	0.1652	123.82	14.82	294.99
0.7	0.94	0.1652	173.35	28.66	178.08
0.9	1.26	0.4852	222.88	46.58	209.34
1.1	1.919	1.1442	272.41	68.19	237.91
1.3	2.279	1.5042	321.94	93.11	212.32
1.5	2.969	2.1942	371.47	120.94	206.90
1.7	3.399	2.6242	421.00	151.32	187.53
1.9	3.929	3.1542	470.53	183.90	174.01
2.1	4.079	3.3042	520.06	218.39	153.27
2.3	4.739	3.9642	569.58	254.54	146.47
2.5	4.479	3.7042	619.11	292.12	124.94
2.7	4.339	3.5642	668.64	330.94	109.19
2.9	3.469	2.6942	718.17	370.84	85.28
3.1	2.799	2.0242	767.70	411.66	66.89
3.3	2.019	1.2442	817.23	453.31	47.75
3.5	1.55	0.7752	866.76	495.67	34.50
3.7	0.98	0.2052	916.29	538.66	16.33
3.9	2.769	1.9942	965.82	582.20	47.05
4.1	5.198	4.4232	1015.35	626.23	65.00
4.12	5.118	4.3432	1020.30	630.66	63.95
4.15	5.198	4.4232	1027.73	637.31	63.83
4.19	5.208	4.4332	1037.64	646.19	62.99
4.22	5.258	4.4832	1045.06	652.87	62.67
4.31	3.719	2.9442	1067.35	672.94	49.21
4.38	2.329	1.5542	1084.69	688.60	34.90
4.43	1.659	0.8842	1097.07	699.82	25.88
4.58	0.43	-0.3448	1134.22	733.60	—
4.73	0.59	-0.1848	1171.36	767.57	—
4	5.428	4.6532	990.58	604.16	69.19
3.95	4.429	3.6542	978.20	593.17	62.48
3.8	1.13	0.3552	941.05	560.37	20.65
3.85	1.57	0.7952	953.44	571.27	30.29

Построим график Ферми-Кюри.

По точке пересечения графика с осью абсцисс определим максимальную энергию электронов в β -спектре. $E_{max} = 566.9 keV$

Рис. 3: Форма спектра β -частиц при разрешенных переходах

4 Вывод и обсуждение результатов

В проделанной работе было исследовано явление β -распада ^{137}Cs . Выявлен «полудискретный» характер спектра: непрерывная часть обеспечивается за счет рождения двух частиц, дискретный пик — рождение конверсионных электронов. Непрерывность спектра доказывает существование антинейтрино и его рождение в процессе β^- распада. Также было выяснено существование конверсионных электронов — частиц, испускаемых в результате перехода ядра на более низкий энергетический уровень. Их энергетический спектр является уже дискретным, т.к. их энергия строго привязана к энергиям электронных уровней в атоме.