

Лабораторная работа 5.4.1.

Вязовцев Андрей, Б01-005

02.11.22

Цель работы: Измерить пробег α -частиц в воздухе двумя способами и определить энергию частиц.

В работе используются: торцевой счётчик Гейгера, сцинтилляционный счётчик.

Теоретическая справка:

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

При α -распаде исходное родительское ядро испускает ядро гелия (α -частицу) и превращается в дочернее ядро, число протонов и нейтронов которого меньше на две единицы. Функциональная связь между энергией α -частицы E и периодом полураспада радиоактивного ядра $T_{1/2}$ хорошо описывается формулой:

$$\lg T_{1/2} = \frac{a}{\sqrt{E}} + b \quad (1)$$

Экспериментально энергию α -частиц удобно определять по величине их пробега в веществе. Они, главным образом, теряют свою энергию от неупругих столкновений с атомами вещества. Эти столкновения вызывают ионизацию и возбуждение атомов, поэтому такие потери называются ионизационными.

В нашем рабочем диапазоне (от 4 до 9 МэВ) длину пробега можно вычислить с помощью следующей экспериментальной формулы:

$$R = 0.32E^{3/2} \quad (2)$$

где R выражается в сантиметрах, а E — в МэВ.

Экспериментальная установка:

Энергию β -частиц определяют с помощью β -спектрометров. В работе используется магнитный спектрометр с «короткой линзой». На рис. 3 изображена схема установки. А на рис. 2 — общая блок-схема.

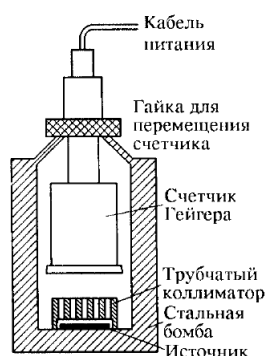


Рис. 1. Установка для измерения пробега α -частиц с помощью торцевого счётчика Гейгера

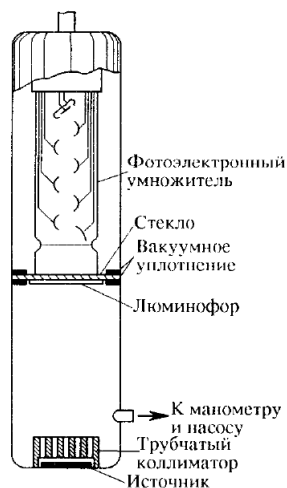


Рис. 2. Установка для измерения пробега α -частиц с помощью сцинтилляционного счётчика

Ход работы:

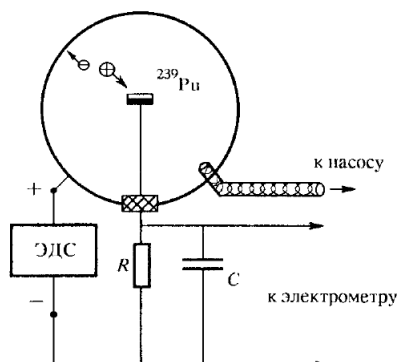


Рис. 3. Схема устройства ионизационной камеры

I. Исследование пробега α -частиц с помощью счётчика Гейгера:

1. Включим установку в сеть, дадим ей прогреться. Убедимся, что она «чувствует» α -частицы.

2. Снимем зависимость скорости счёта от расстояния x от источника до приёмника. Результаты представлены в таблице 1.

$t, \text{с}$	70.218	40.162	40.212	44.857	76.341	125.074	120.178	40.209
N	907	657	603	612	506	42	26	581
$x, \text{мм}$	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	25.0	15.0

$t, \text{с}$	40.206	40.206	40.584	51.685	119.884	119.975	120.123
N	568	544	505	502	339	108	47
$x, \text{мм}$	15.5	16.5	17.0	17.5	18.5	19.0	19.5

Таблица 1. Измерения на счётчике Гейгера

3. Построим график $\frac{N}{t}(x)$ и $\frac{d(N/t)}{dx}(x)$ (см. рис. 4). Определим по нему средний и экстраполированный пробег α -частиц.

Получаем:

$$R_{\text{ср}} \approx 18 \text{ мм}$$

$$R_{\text{э}} = 19.2 \pm 1.2 \text{ мм}$$

Т. к. $p_{\text{атм}} = 99.6 \text{ кПа}$, т. е. плотность воздуха $\rho \approx 1.184 \cdot 10^{-3} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, то можно перевести величины в $\frac{\text{г}}{\text{см}^2}$:

$$R_{cp} \approx 2.1 \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma}{\text{cm}^2}$$

$$R_3 = (2.27 \pm 0.14) \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma}{\text{cm}^2}$$

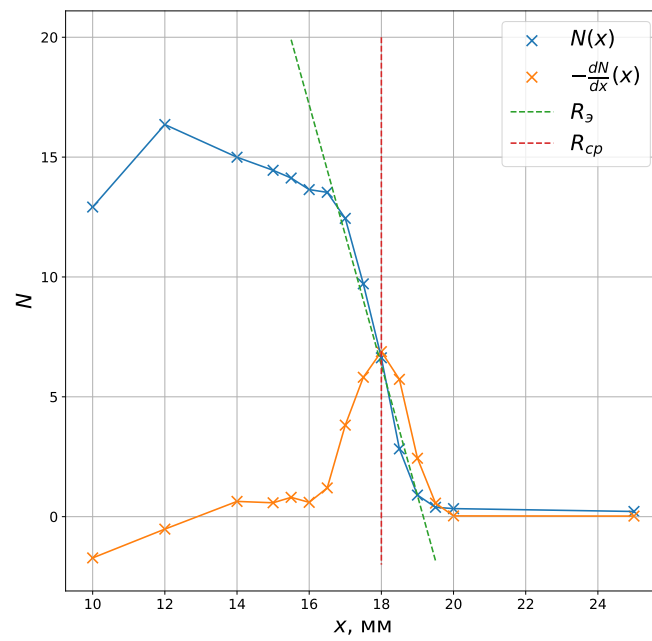


Рис. 4. Красивый график $N(x)$

II. Определение пробега α -частиц с помощью сцинтилляционного счётчика:

4. Включим установку в сеть, дадим ей прогреться. Настроим её по инструкции.

5. Снимем зависимость $N(p)$. Результаты на таблице 2.

Δp , мм. рт. ст.	735	725	700	675	650	625	600	575
N	3582	3308	2932	2524	2123	3187	2125	2185
t , с	10	10	10	10	10	20	20	40

Δp , мм. рт. ст.	550	500	450	400	350	475	525
N	1677	489	80	15	7	342	723
t , с	50	50	50	50	20	50	50

Таблица 2. Измерения на сцинтилляционном счётчике

6. Построим график $N(p)$, где $p = p_{\text{атм}} - \Delta p$, $p_{\text{атм}} = 747$ мм. рт. ст. Найдём, аналогично предыдущему пункту, $p_{\text{ср}}$ и $p_{\text{э}}$. Получаем:

$$p_{\text{ср}} \approx 147 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$p_{\text{э}} = (230 \pm 50) \text{ мм. рт. ст.}$$

7. Пересчитаем пробег к R при $p = 760$ мм. рт. ст. и $T = 288$ К. Учтём, что общая длина установки 9 см.

$$R_{\text{ср}} \approx 17 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$$

$$R_{\text{э}} = (27 \pm 6) \text{ мм} = (3.2 \pm 0.7) \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$$

8. Отсюда найдём толщину слюды:

$$l = 1.2 \cdot (R_{II} - R_I) = (10 \pm 7) \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$$

9. Вычислим по формуле (2) энергию α -частиц:

$$E = (4 \pm 1) \text{ МэВ}$$

Что находится около рамок погрешности с реальным значением $E = 5.15$ МэВ.

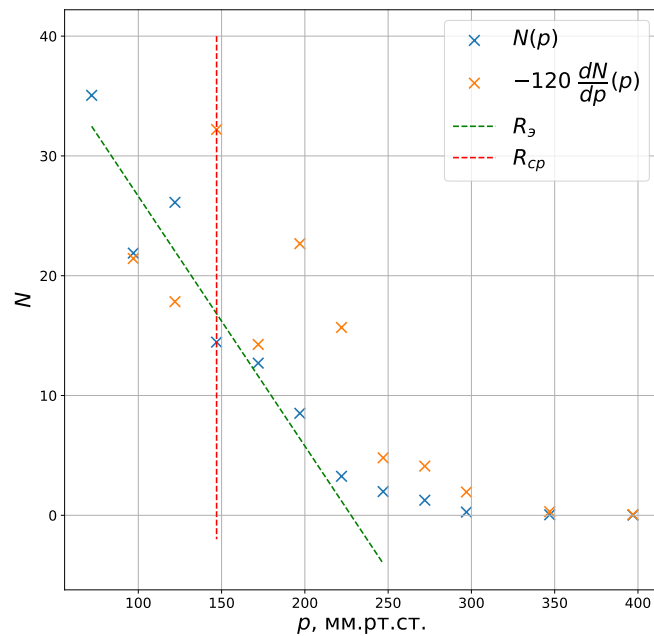


Рис. 5. Красивый график $N(p)$

III. Определение пробега α -частиц с помощью ионизационной камеры:

10. Включим установку в сеть.
11. Исследуем зависимость $I(p)$. Результаты представлены в таблице 3.

Δp , мм. рт. ст.	0	50	100	150	200	250	300
I , пА	922	935	947	960	943	865	752
Δp , мм. рт. ст.	350	400	450	500	550	600	650
I , пА	660	559	457	374	290	206	127
Δp , мм. рт. ст.	700	125	175	225	275	325	375
I , пА	51	953	960	904	812	707	612

Таблица 3. Измерения с помощью ионизационной камеры

12. Из графика находим, что:

$$p_{\text{э}} = (554 \pm 12) \text{ мм. рт. ст.}$$

13. Далее найдём величины из предыдущих пунктов. Учтём, что 0.5 см и 10 см — диаметры первого и второго электродов.

$$R_{\text{э}} = (3.40 \pm 0.07) \cdot 10^{-3} \frac{\text{Г}}{\text{см}^2}$$

$$E = (4.8 \pm 0.1) \text{ МэВ}$$

Полученное значение энергии близко к табличному, хоть и не попадает в рамки погрешности.