

Лабораторная работа 5.4.1

Калинин Даниил, Б01-108

18 сентября 2023 г.

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

В работе используются: торцевой счётчик Гейгера, сцинтилляционный счётчик.

Теоритическая 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.

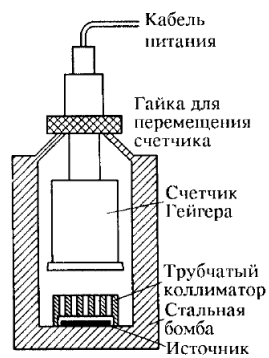


Рис. 1. Установка для измерения пробега α -частиц с помощью торцевого счётчика Гейгера

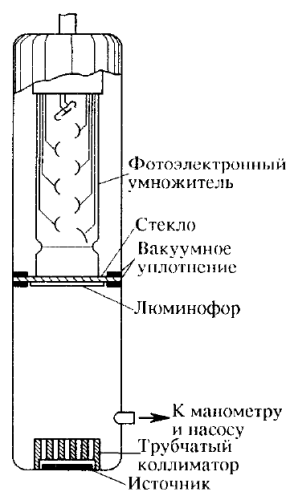


Рис. 2. Установка для измерения пробега α -частиц с помощью сцинтилляционного счётчика

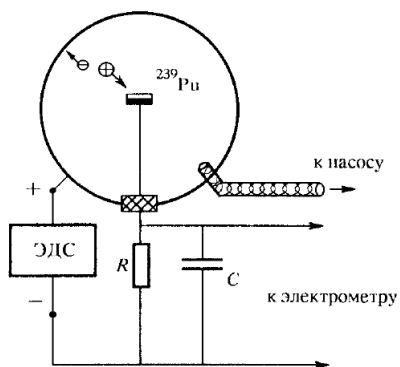


Рис. 3. Схема устройства ионизационной камеры

Ход работы:

1. Для начала воспользуемся счётчиком Гейгера. 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

2. 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:

$$R_{cp} \approx 18 \text{ мм}$$

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

Т. к. $p_{атм} = 100 \text{ кПа}$, т. е. плотность воздуха $\rho \approx 1.184 \cdot 10^{-3} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, то можно перевести величины в $\frac{\text{г}}{\text{см}^2}$:

$$R_{cp} \approx 2.1 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\alpha} = (2.27 \pm 0.14) \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{\text{г}}{\text{см}^2}$$

$$\frac{\text{г}}{\text{см}^2}$$

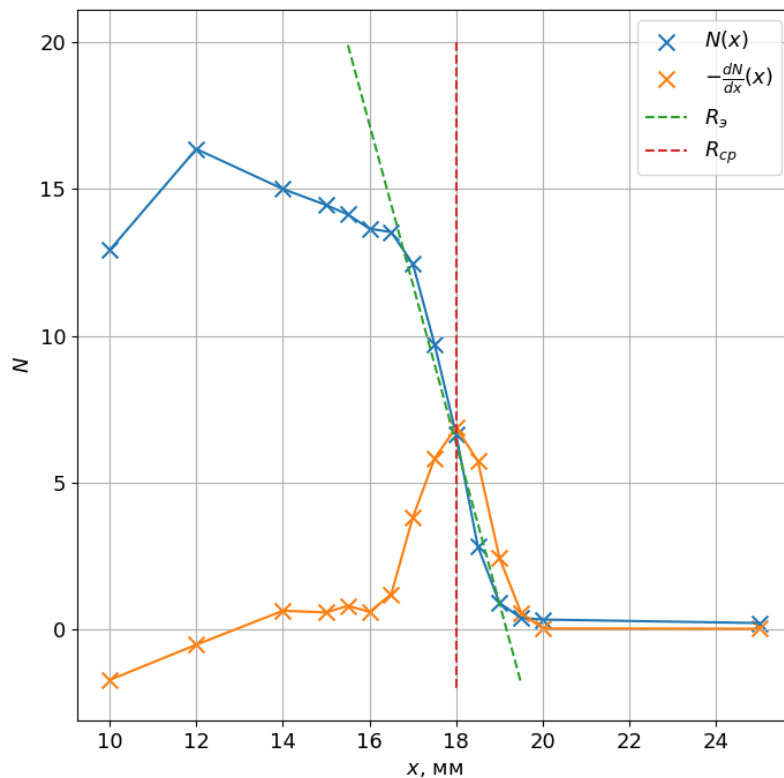


Рис. 4. График $N(x)$

3. Теперь снимем данные с помощью сцинтиляционного счётчика. Снимем зависимость $N(p)$, результат занесем в таблицу 2.

Δp , мм. рт. ст.	10	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200	225
N	3601	3455	3344	3314	2975	2714	2233	1774	1242	717	409	180
t , с	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Δp , мм. рт. ст.	250	275	300	325	190	210	240	260	290	310	340
N	93	64	16	3	680	294	119	87	59	7	5
t , с	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Таблица 2. Измерения на сцинтиляционном счётчике

4. Построим график $N(p)$, где $p = p_{атм} - \Delta p$, $p_{атм} = 750$ мм. рт. ст. Найдём, аналогично предыдущему пункту, $p_{ср}$ и $p_{э}$. Получаем:

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

$$p_{э} = (228 \pm 41) \text{ мм. рт. ст.}$$

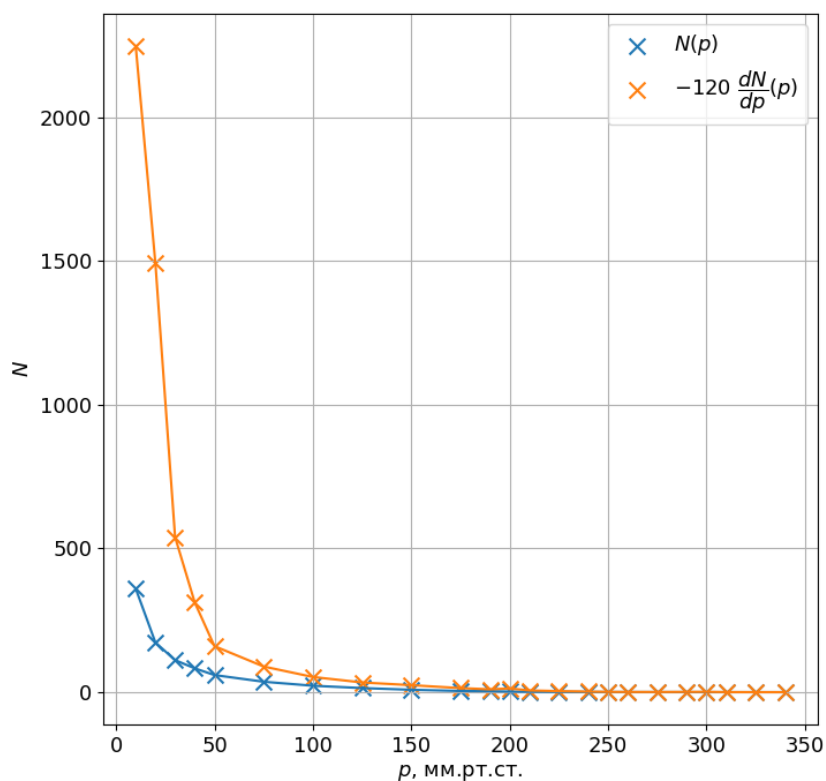


Рис. 5. График $N(p)$

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

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

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

6. Отсюда найдём толщину слюды:

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

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

$$E = (4 \pm 1) \text{ МэВ}$$

Табличное значение – $E = 5.15 \text{ МэВ}$. Таким образом, полученные данные совпадают с табличными в рамках погрешности.

8. Приступим к измерениям с помощью ионизационной камеры. Исследуем зависимость $I(p)$. Результаты представлены в таблице 3.

Δp , мм. рт. ст.	30	50	75	100	125	150	178	200	225	250
I , пА	25	55	92	125	166	203	242	274	322	362

Δp , мм. рт. ст.	275	300	325	350	375	400	425	450	475
I , пА	408	450	492	538	585	630	685	725	778

Δp , мм. рт. ст.	500	530	550	575	600	625	650	675	700	725	750
I , пА	826	875	900	914	916	915	908	906	897	891	890

Таблица 3. Метод ионизационной камеры

9. Изобразим зависимость на графике (рис. 6).

10. Из графика находим, что:

$$p_{\alpha} = (569 \pm 10) \text{ мм. рт. ст.}$$

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

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

$$E = (4.8 \pm 0.1) \text{ МэВ}$$

Заключение:

В ходе лабораторной работы был измерен пробег α -частиц в воздухе двумя способами и определена энергия частиц. Данные совпали с табличными по порядку величины.

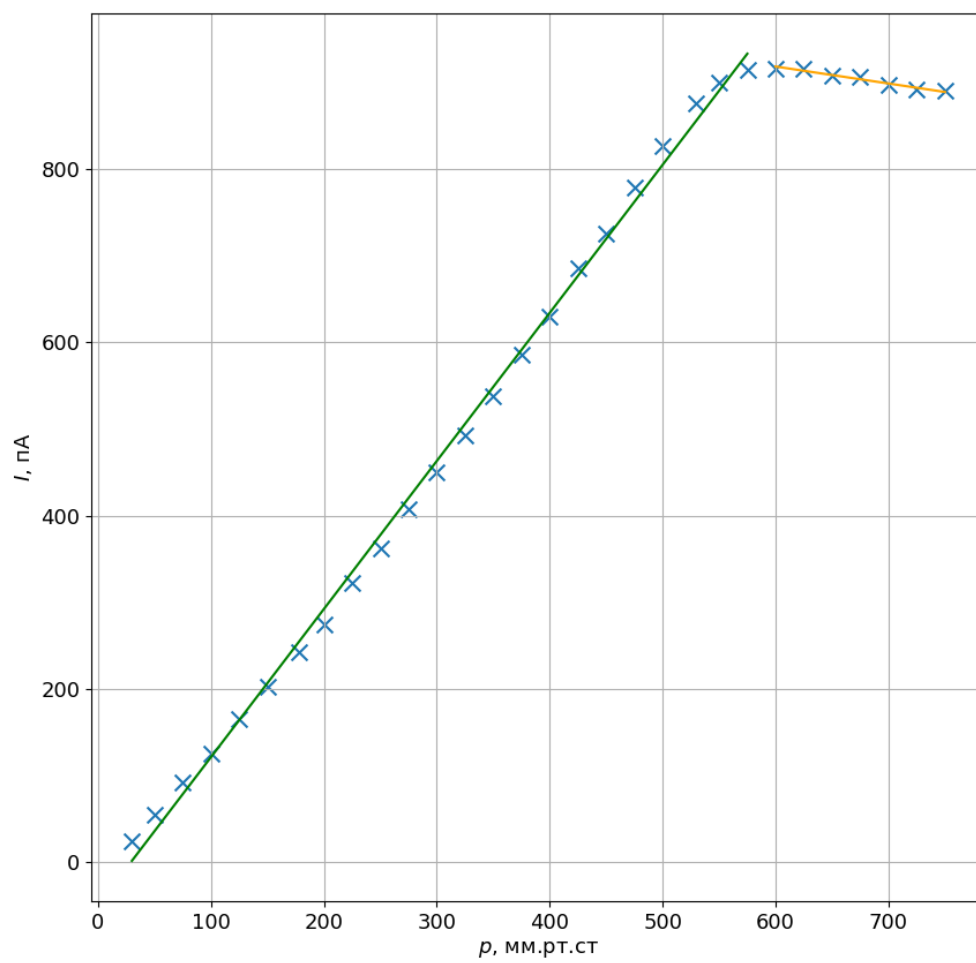


Рис. 6. Зависимость $I(p)$