

Отчёт по лабораторной работе № 5.4.1.
Определение энергии α -частиц по величине их
пробега в воздухе.

Плюскова Н.А. Б04-004

27 января 2023 г.

1. Аннотация

2. Теоретические сведения

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

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

Экспоненциальный характер этого процесса возникает вследствие экспоненциального затухания волновой функции в области под барьером, где потенциальная энергия больше энергии частицы.

Для описания связи между энергией α -частицы и ее пробегом пользуются эмпирическими соотношениями. В диапазоне энергий α -частиц от 4 до 9 МэВ эта связь хорошо описывается выражением:

$$R = 0,32E^{3/2}$$

3. Экспериментальная установка

В данной работе пробег α -частиц в воздухе определяется тремя способами: помощью счетчика Гейгера (рис.1а), сцинтилляционного счетчика (рис.1б) и ионизационной камеры (рис.1в).

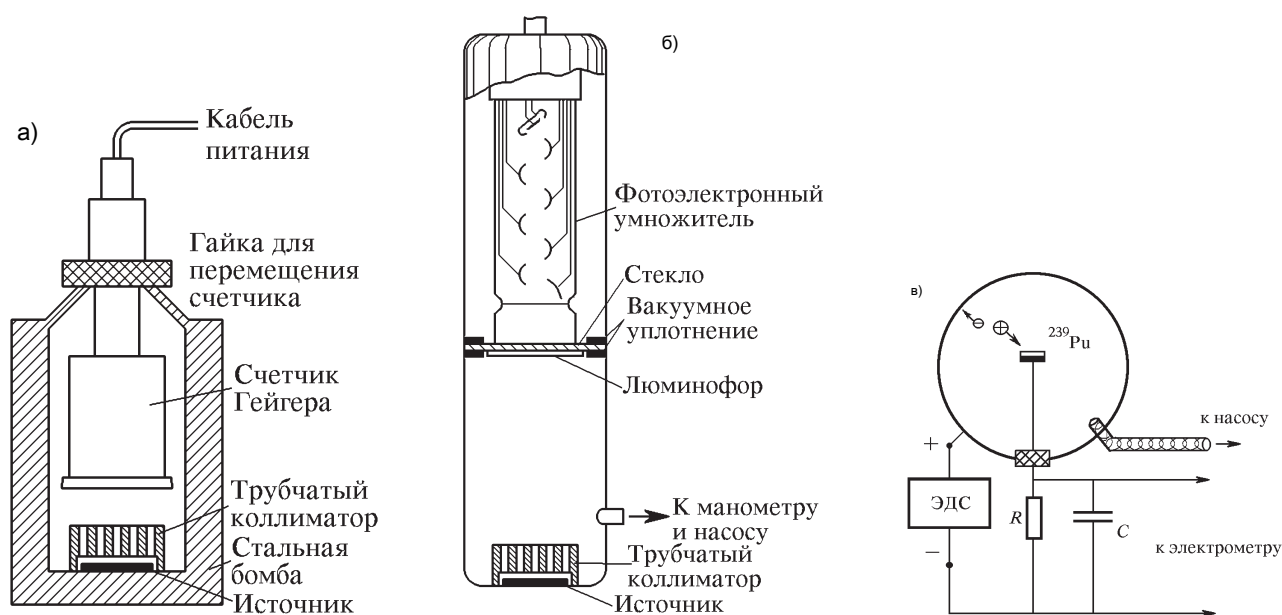


Рис. 1: Экспериментальные установки

В качестве источника α -частиц используется ^{239}Pu с периодом полураспада $T_{1/2} = 2,44 \cdot 10^4$ лет. Альфа-частицы, испускаемые ^{239}Pu состоят их трех моноэнергетических групп, различие между которыми лежит в пределах 50 кэВ. При той точности, которая достигается в наших опытах, их можно считать совпадающими по энергии, равной 5,15 МэВ.

4. Ход работы

4.1 Исследование пробега α -частиц с помощью счетчика Гейгера

Измерим зависимость скорости счета N от расстояния x между источником и счетчиком:

$t, \text{с}$	$x, \text{мм}$	$N, \text{имп}$
54	10	781
50	10,5	793
45	11	743
51	11,5	791
51	12	737
52	12,5	797
48	13	696
47	13,5	710
58	14	853
52	14,5	783
51	15	737
53	15,5	734
59	16	788
57	16,5	789
67	17	813
68	17,5	660
95	18	662
102	18,5	326
122	19	100
104	19,5	35
101	22	26

Построим график зависимости $N = N(x)$:

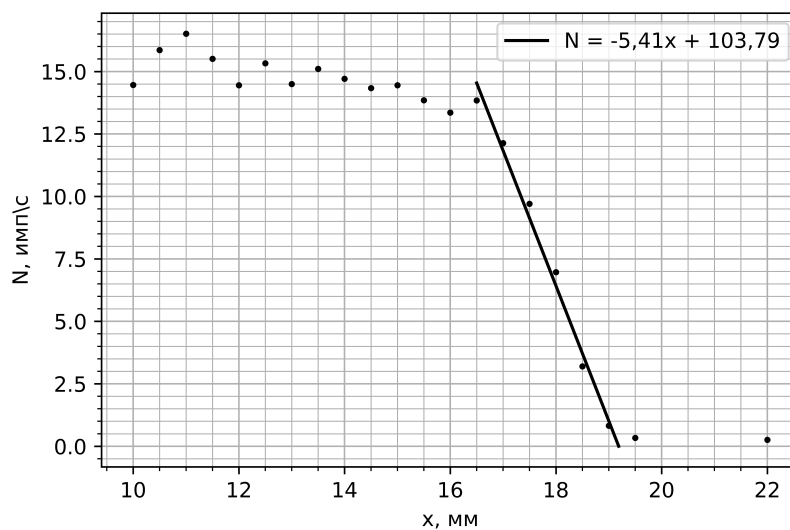


Рис. 2: Зависимость $N = N(x)$

Наклонную часть графика аппроксимируем линейной функцией и экстраполируем полученную прямую до пересечения с осью абсцисс. Отсюда получаем экстраполированную

длину пробега с погрешностью, определяемую из МНК:

$$R_e \approx (19,2 \pm 0,9) \text{ мм} \rightarrow R'_e = \rho R_e = (2,41 \pm 0,11) \text{ мг/см}^2$$

Среднюю длину пробега оценим как координату середины прямой по оси абсцисс:

$$R_{av} \approx (17,8 \pm 0,9) \text{ мм} \rightarrow R'_{av} = \rho R_{av} = (2,17 \pm 0,10) \text{ мг/см}^2.$$

Отметим, что истинный пробег α -частиц больше измеренного, так как часть энергии частиц тратится на прохождение слюдяной пластинки, прикрывающей счетчик, и пленки, закрывающей источник.

4.2 Определение пробега α -частиц с помощью сцинтилляционного счетчика

Измерим зависимость скорости счета N от давления P в камере:

$t, \text{с}$	$P, \text{торр}$	$\sigma_P, \text{торр}$	N	σ_N
10	328,6	2,5	4	2
10	278,6		70	8
10	248,6		325	18
10	228,6		728	27
10	198,6		1291	36
10	178,6		1690	41
10	168,6		1921	44
10	148,6		2199	47
10	129,6		2624	51
10	118,6		2714	52

Построим график зависимости $N = N(P)$:

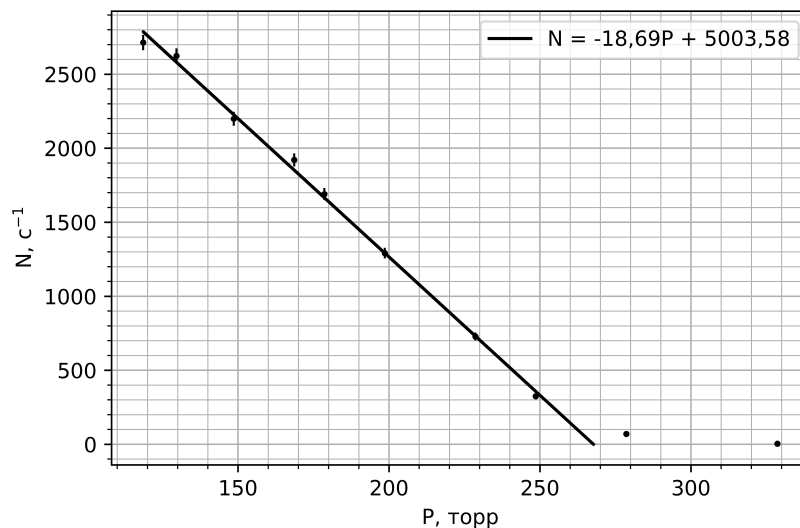


Рис. 3: Зависимость $N = N(P)$

Из графика получим: $P_0 \approx (267,7 \pm 2,3) \text{ торр}$

Экстраполированная длина пробега находится по формуле:

$$R = R_l \frac{\rho}{\rho_0} = R_l \frac{PT_0}{P_0 T} \approx 3,51 \pm 0,52 \text{ см} \rightarrow R' \approx 4,3 \pm 0,64 \text{ мг/см}^2,$$

где $R_l = 90$ мм - пробег при н.у.

Погрешность R считалась по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{(R_l \cdot \frac{T}{PT_0} \cdot \sigma_{P_0})^2 + (R_l \cdot \frac{P_0 T}{PT_0^2} \cdot \sigma_{T_0})^2}$$

Оценим энергию α -частицы по эмпирической формуле:

$$R = 0,32 E^{3/2}$$

Откуда получаем:

$$E \approx (4,94 \pm 0,49) \text{ МэВ}$$

Погрешность энергии считалась по формуле:

$$\sigma_E = \frac{2 \cdot \sigma_R}{3 \cdot 0,32 \cdot R^{\frac{1}{3}}}$$

4.3 Определение пробега α -частиц с помощью ионизационной камеры

Измерим зависимость величины тока I от давления P в камере:

P , торр	σ_P , торр	I , А	σ_I , А	P , торр	σ_P , торр	I , А	σ_I , А
728,6	2,5	880	5	428,6	2,5	698	2
698,6		883	5	378,6		605	2
678,6		887	5	328,6		507	2
678,6		887	5	298,6		449	1
658,6		898	5	278,6		416	1
638,6		900	5	248,6		362	1
628,6		901	5	228,6		332	1
618,6		904	5	198,6		282	1
598,6		904	5	178,6		252	1
578,6		907	5	129,6		172	0
578,6		907	5	118,6		155	1
558,6		905	5	98,6		124	1
538,6		890	5	79,6		97	0
528,6		883	5	78,6		94	0
518,6		870	5	58,6		67	0
498,6		836	5	38,6		37	0
478,6		800	2	26,6		19	0

Построим график зависимости $I = I(P)$:

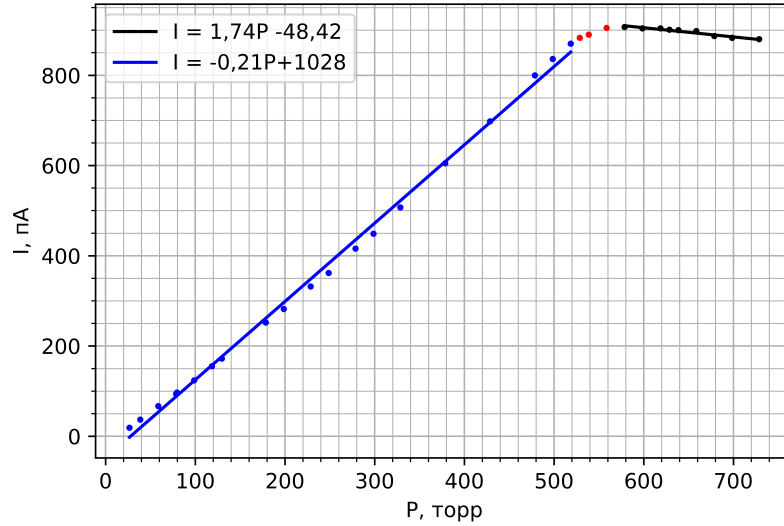


Рис. 4: Зависимость $I = I(P)$

По графику определим давление P_0 , при котором α -частицы заканчивают свой пробег внутри газа. Для этого построим две прямых, соответствующих линейным участкам графика. Их пересечение дает нам значение

$$P_0 = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \approx (562.2 \pm 5.1) \text{ торр}$$

Так как пробег $R_l = 5$ см задается размером камеры, приведем его к н.у.:

$$R = R_l \frac{\rho}{\rho_0} = R_l \frac{PT_0}{P_0 T} \approx (3.84 \pm 0.50) \text{ см} \rightarrow R' \approx (4.71 \pm 0.61) \text{ мг/см}^2$$

Погрешность R считалась по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\left(R_l \cdot \frac{T}{PT_0} \cdot \sigma_{P_0}\right)^2 + \left(R_l \cdot \frac{P_0 T}{PT_0^2} \cdot \sigma_{T_0}\right)^2}$$

Оценим энергию α -частицы по эмпирической формуле:

$$R = 0.32E^{3/2}$$

Откуда получаем:

$$E \approx (5.24 \pm 0.45) \text{ МэВ}$$

Погрешность энергии считалась по формуле:

$$\sigma_E = \frac{2 \cdot \sigma_R}{3 \cdot 0.32 \cdot R^{1/3}}$$

5. Выводы

В работе был измерен пробег альфа-частиц от ^{239}Pu тремя способами: с помощью торцевого счетчика Гейгера, сцинтилляционного счетчика и ионизационной камеры. По полученным данным была определена энергия альфа - частиц.

При работе с ионизационной камерой и сцинтилляционным счетчиком пробег и энергия получились близкими к ожидаемым в пределах погрешности (из таблиц при $E = 5$ МэВ получаем $R = 3,29$ см для воздуха). При работе со счетчиком Гейгера значение пробега ниже табличных. Это можно объяснить тем, что часть энергии альфа-частиц тратится на прохождение слюдяной пластинки, прикрывающей счетчик, и пленки, закрывающей источник. Толщину пленки можно оценить из соотношения $R' = R' + 0,2R \rightarrow R \approx 9,45$ мг/см².