

Московский физико-технический институт

Лабораторная работа 5.4.1

Определение энергии α -частиц по величине их пробега в воздухе.

Бертол Наталия
Б01-005

Долгопрудный, 2022 г

Цель работы

Измеряется пробег α -частиц в воздухе тремя способами, и по полученным величинам определяется их энергия.

Теоретическая часть

Ионизационная камера — прибор для количественного измерения ионизации, произведенной заряженными частицами при прохождении через газ. Камера представляет собой наполненный газом сосуд с двумя электродами (схема камеры приведена на рис. 1).

Заполняющий сосуд газ сам по себе не проводит электрический ток, возникает он только при прохождении быстрой заряженной частицы, которая рождает в газе на своем пути ионы. Поместим на торец внутреннего электрода источник ионизирующего излучения (в нашем случае это источник альфа-частиц Pu_{94}^{239}), заполним объем камеры воздухом и начнем постепенно увеличивать разность потенциалов между электродами. Ток, протекающий через камеру, вначале будет резко возрастать, а затем, начиная с некоторого напряжения V_0 , станет постоянным, т. е. «выйдет на плато». Предельный ток I_0 будет равен $I_0 = n_0 e$, где n_0 — число пар ионов, образуемых в секунду в объеме камеры, а e — заряд электрона.

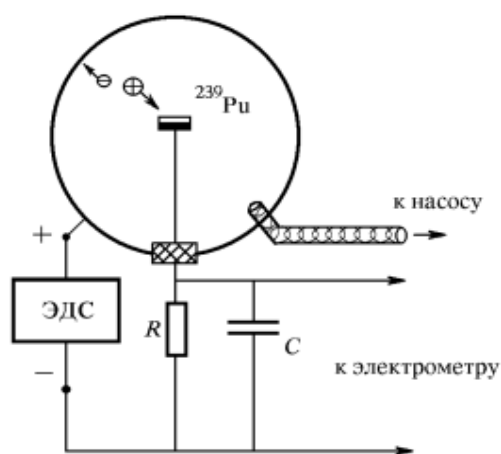


Рис. 1: Схема устройства ионизационной камеры

Прохождение тока через камеру регистрируется посредством измерения напряжения на включенном в цепь камеры сопротивлении R . Так как средняя энергия ионизации атомов воздуха составляет около 30 эВ, то альфа-частица с энергией 3 МэВ образует на своем пути около 10^5 электронов, им соответствует заряд $1,6 \cdot 10^{-14}$ Кл. Чтобы столь малое количество заряда, создаваемое проходящей через камеру одной альфа-частицей, вызывало измеряемое напряжение, емкость C должна быть мала.

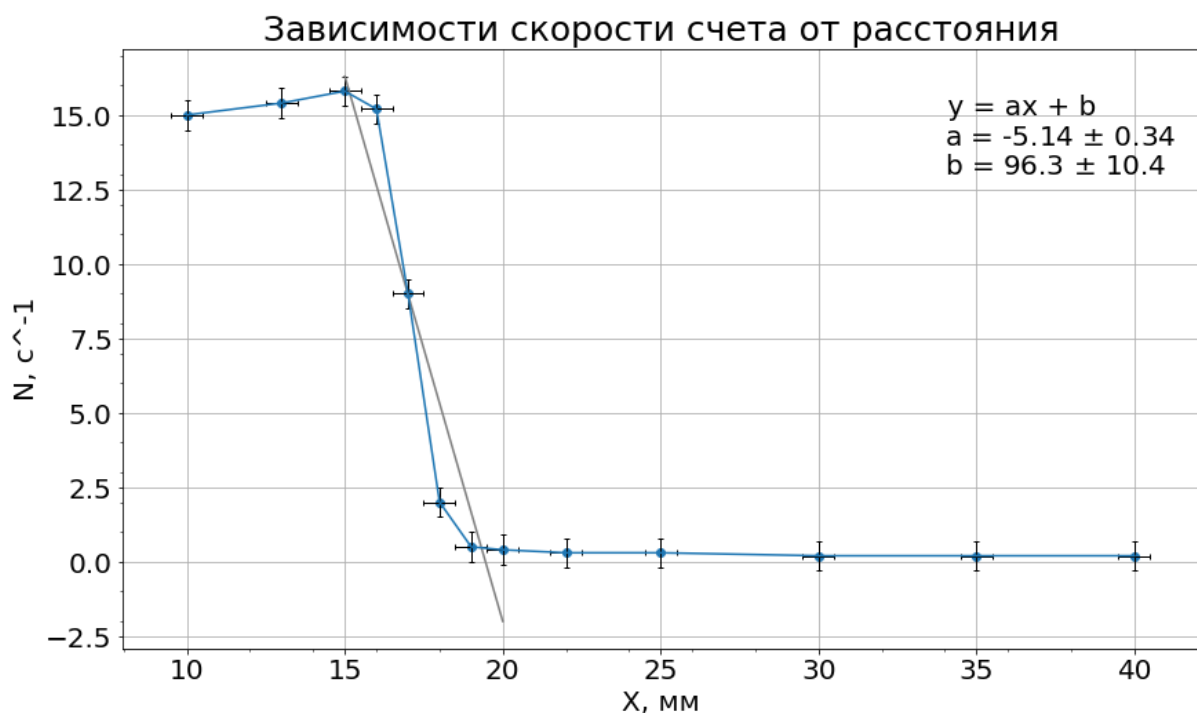
При изменении давления в камере ионизационный ток меняется сначала линейно, а потом выходит на насыщение. При небольших давлениях газа альфа-частицы передают часть энергии стенкам камеры. По достижении

давления P_0 все они заканчивают свой пробег внутри газа, и дальнейшее возрастание тока прекращается. В данной работе измерение пробега альфа-частицы проводится по величине тока ионизации в сферической камере. Вакуумная установка содержит кран и манометр. Она позволяет изменять давление в камере от атмосферного до 10 мм рт. ст. Величина тока ионизации измеряется электрометром, состоящим из нескольких стандартных микросхем, по величине падения напряжения на сопротивлении $R = 100$ МОм ($C = 10^{-8}$ Фарад, так что $RC = 1$ с). Значение измеряемого ионизационного тока (в пикоамперах) высвечивается на цифровом табло.

Выполнение работы

I. Счетчик Гейгера

Включим счетчик Гейгера и дадим ему прогреться в течении 10 минут. Убедимся, что он регистрирует альфа-частицы. Затем проведем измерения зависимости скорости счета частиц N от расстояния между источником и счетчиком x , начиная с минимально допустимых 10 мм и до 40мм. Методика измерения счета и его погрешности стандартные: мы считаем число N' зарегистрированных частиц со статистической погрешностью $\sigma_{N'} = \sqrt{N'}$ и время регистрации t , откуда получаем скорость счета $N = \frac{N'}{t}$ и ее погрешность $\sigma_N = N \cdot \frac{\sqrt{N'}}{N'} = \frac{\sqrt{N'}}{t}$. Погрешность для x оценим как $\sigma_x = 0,5$ мм — погрешность цены деления.



Экстраполируем полученную прямую до пересечения с осью абсцисс. Отсюда получаем экстраполированную длину пробега

$$R_3 = \frac{b}{a} \approx 19 \pm 1,9 \text{ мм} \Rightarrow R'_3 = \rho R_3 = (2,47 \pm 0,29) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$$

Среднюю длину пробега оценим как

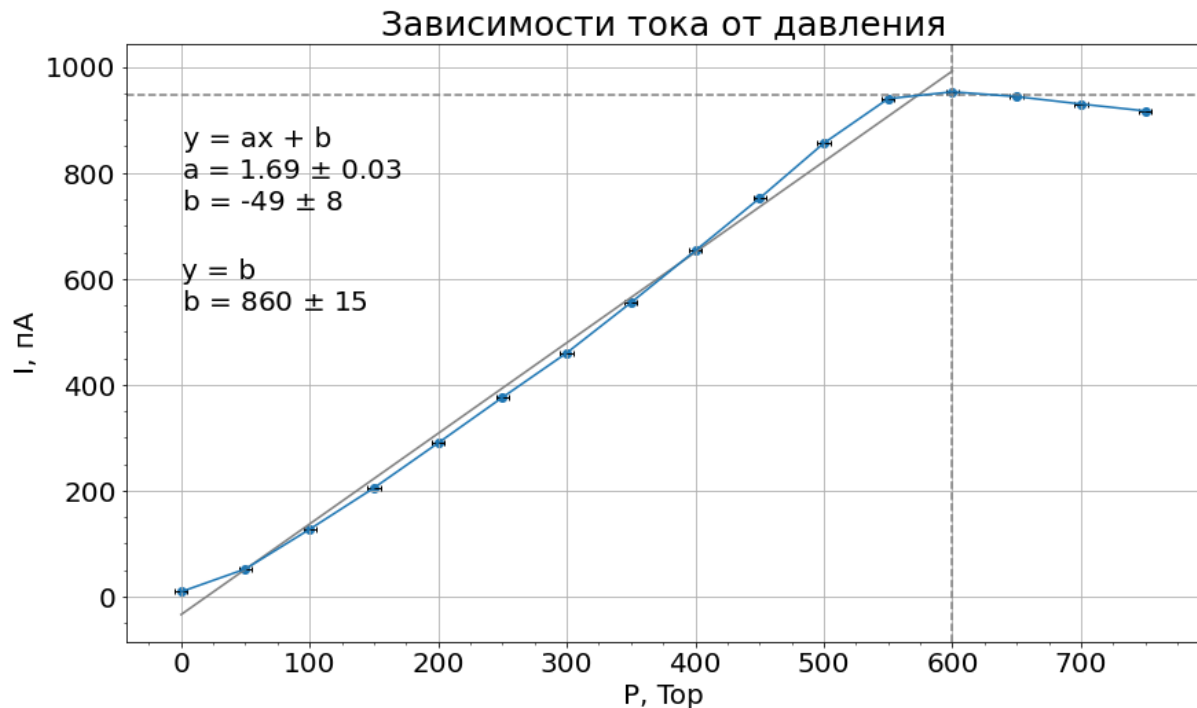
$$R_{cp} \approx 17,9 \pm 1,7 \text{ мм} \Rightarrow R'_{cp} = \rho R_{cp} = (2,29 \pm 0,17) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$$

Энергию таких альфа-частицы можно оценить по формуле

$$R = 0,32E^{3/2} \Rightarrow E_3 \approx 3,29 \pm 0,24 \text{ МэВ}, \quad E_{cp} \approx 3,12 \pm 0,20 \text{ МэВ}$$

II. Ионизационная камера

Включив питание установки, измерим при атмосферном давлении $P_a = 103 \text{ кПа} = 770 \text{ Торр}$ (измеренном барометром) ток $I_a = 820 \text{ пА}$. Температура $T = 298 \text{ К}$. После этого откачаем воздух из камеры до давления порядка $\approx 10 \text{ Торр}$ и снимем зависимость тока от давления. Погрешность давления оценим как цену деления — $\sigma_p = 5 \text{ Торр}$, погрешность $\sigma_I = 3 \text{ пФ}$.



Их пересечение дает нам значение

$$P_0 = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1} \approx (540 \pm 21) \text{ Торр}$$

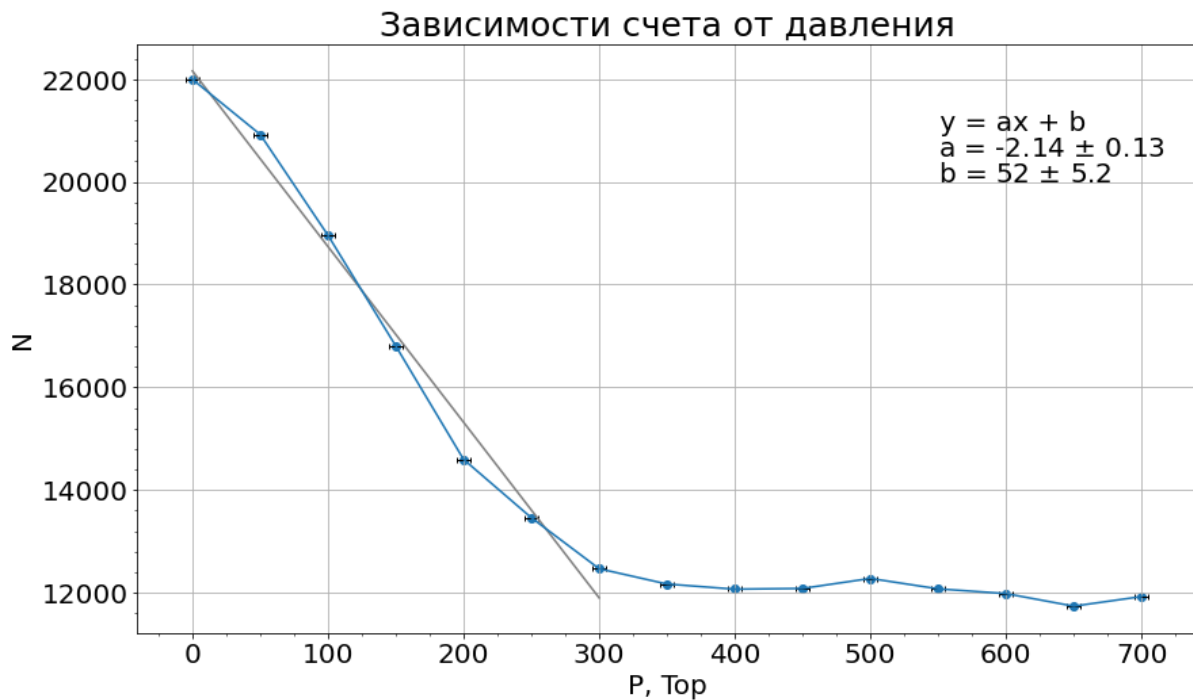
Так как пробег $R_l = 5 \text{ см}$ задается размером камеры, приведем его в нормальных условиях:

$$R_3 = R_l \frac{\rho}{\rho_0} = R_l \frac{PT_0}{P_0 T} \approx (3,43 \pm 0,14) \text{ см} \Rightarrow R_3' \approx (4,42 \pm 0,19) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$$

Энергию такой альфа-частицы можно оценить по формуле

$$R = 0,32E^{3/2} \Rightarrow E_3 = \left(\frac{R_3}{0,32}\right)^2 \approx 5 \pm 0,09 \text{ МэВ}$$

III. Сцинтилляционного счетчика



Получаем экстраполированную длину пробега

$$R_{\text{э}} = \frac{b}{a} \approx 23 \pm 2 \text{ мм}$$

Среднюю длину пробега оценим как

$$R_{\text{ср}} \approx 21 \pm 1,8 \text{ мм}$$

Энергию таких альфа-частицы можно оценить по формуле

$$R = 0,32E^{3/2} \Rightarrow E_{\text{э}} = \left(\frac{R_{\text{э}}}{0,32}\right)^2 \approx 5.1 \pm 0,06 \text{ МэВ}$$

Вывод

В работе был измерен пробег альфа-частиц от Pu_{94}^{239} с помощью ионизационной камеры. По полученным данным была определена энергия α -частиц. При работе с ионизационной камерой пробег и энергия получились близкими к ожидаемым: $5 \pm 0,09$ МэВ и $5.1 \pm 0,06$ МэВ против табличных 5.244 МэВ.