

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

### Лабораторная работа 5.4.1

Определение энергии  $\alpha$ -частиц по величине их пробега в воздухе

Выполнили:

Гисич Арсений  
Вазюля Василиса

Б03-101

# 1 Аннотация

В данной работе измерялся пробег альфа-частиц в воздухе двумя способами: с помощью торцевого счетчика Гейгера и ионизационной камеры.

## 2 Теоретические сведения и методика измерений

В качестве источника альфа-частиц используется  $^{239}\text{Pu}$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 2,44 \times 10^4$  лет. Альфа-частицы, испускаемые  $^{239}\text{Pu}$ , состоят из 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.

### 2.1 Счетчик Гейгера

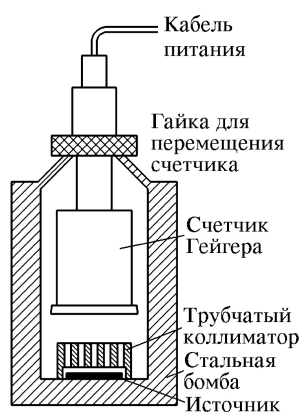


Рис. 1: Схема торцевого счетчика Гейгера

Для определения пробега альфа-частиц с помощью счетчика радиоактивный источник помещается на дно стальной цилиндрической бомбы (рис. 1), в которой может перемещаться торцевой счетчик Гейгера. Его чувствительный объем отделен от наружной среды тонким слюдяным окошком, сквозь которое могут проходить альфа-частицы. Рабочее напряжение счетчика указано на установке.

Импульсы, возникающие в счетчике, усиливаются и регистрируются пересчетной схемой. Путь частиц в воздухе зависит от расстояния между источником и счетчиком. Перемещение счетчика производится путем вращения гайки, находящейся на крышке бомбы. Расстояние между счетчиком и препаратом измеряется по шкале, нанесенной на держатель счетчика. Счетчик не может быть придвинут к препарату ближе чем на 10 мм, т. к. между источником и счетчиком установлен коллиматор, изготовленный из плотно сжатых металлических трубок. Отверстия трубок пропускают к счетчику только те альфа-частицы, которые вылетают из источника почти перпендикулярно его поверхности.

### 2.2 Ионизационная камера

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. 2). Сферическая стенка прибора служит одним из электродов, второй электрод вводится в газ через изолирующую пробку. К электродам подводится постоянное напряжение от источника ЭДС.

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  $^{239}_{94}\text{Pu}$ ), 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.

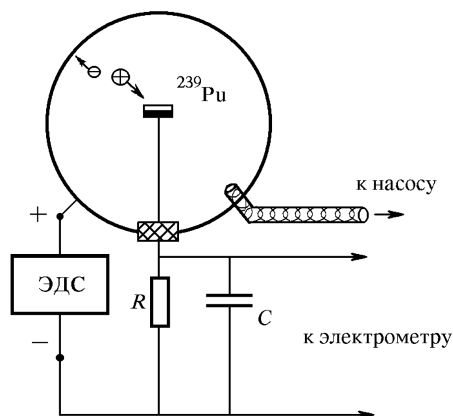


Рис. 2: Схема устройства ионизационной камеры

Если число проходящих через камеру альфа-частиц достаточно велико, то можно регистрировать не заряд, а величину возникающего тока, которая, естественно, пропорциональна интенсивности альфа-частиц. В токовом режиме величину постоянной времени  $RC$ -цепочки устанавливают равной нескольким секундам, а работающую в этом режиме камеру называют токовой.

При изменении давления в камере ионизационный ток меняется так, как это показано на рис. 3. 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. Для определения давления  $P_0$  чаще всего пользуются методом экстраполяции (полученная таким методом величина называется экстраполированным пробегом), продолжая наклонный и горизонтальный участки кривой до пересечения. Найденный таким образом пробег затем должен быть приведен к нормальному давлению и температуре  $15^\circ\text{C}$ .

В данной работе измерение пробега альфа-частицы проводится по величине тока ионизации в сферической камере. Внутренним электродом камеры служит диск диаметром 5 мм, на который нанесен тонкий слой  $^{239}_{94}\text{Pu}$ , покрытый сверху тонкой защитной пленкой. Вторым электродом служит внешняя оболочка камеры — полый шар с внутренним диаметром 100 мм. Оба электрода тщательно изолированы один от другого и от земли. Разность потенциалов между электродами составляет 300 В. 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  $R = 100 \text{ МОм}$  ( $C = 10^{-8}$  Фарад, так что  $RC = 1 \text{ с}$ ). Значение измеряемого ионизационного тока (в пикоамперах) высвечивается на цифровом табло.

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  $1,6 \times 10^{-14}$  Кл. Чтобы столь малое количество заряда, создаваемое проходящей через камеру одной альфа-частицей, вызывало измеряемое напряжение, емкость  $C$  должна быть мала.

Так как подвижность электронов примерно в 1000 раз больше подвижности ионов, то подбором параметров  $RC$ -цепочки можно выделить импульсы тока, соответствующие только возникающей электронной компоненте. Реально регистрация электронной компоненты импульса тока обеспечивается при величине постоянной времени  $RC$ -цепочки в несколько микросекунд.

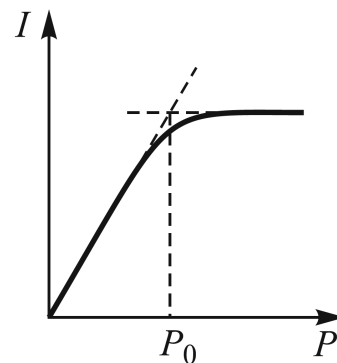


Рис. 3: Характерная кривая зависимости тока ионизационной камеры от давления. Ионизация создается  $\alpha$ -частицами

### 3 Результаты измерений и обработка данных

#### 3.1 Исследование пробега с помощью счётчика Гейгера

Проведём измерения зависимости скорости счёта  $N$  от расстояния  $x$  между источником и счётчиком. Результаты измерений представлены на графике рис. 4. К значениям расстояния необходимо прибавить расстояние между счётчиком и коллиматором, равное 10 мм.

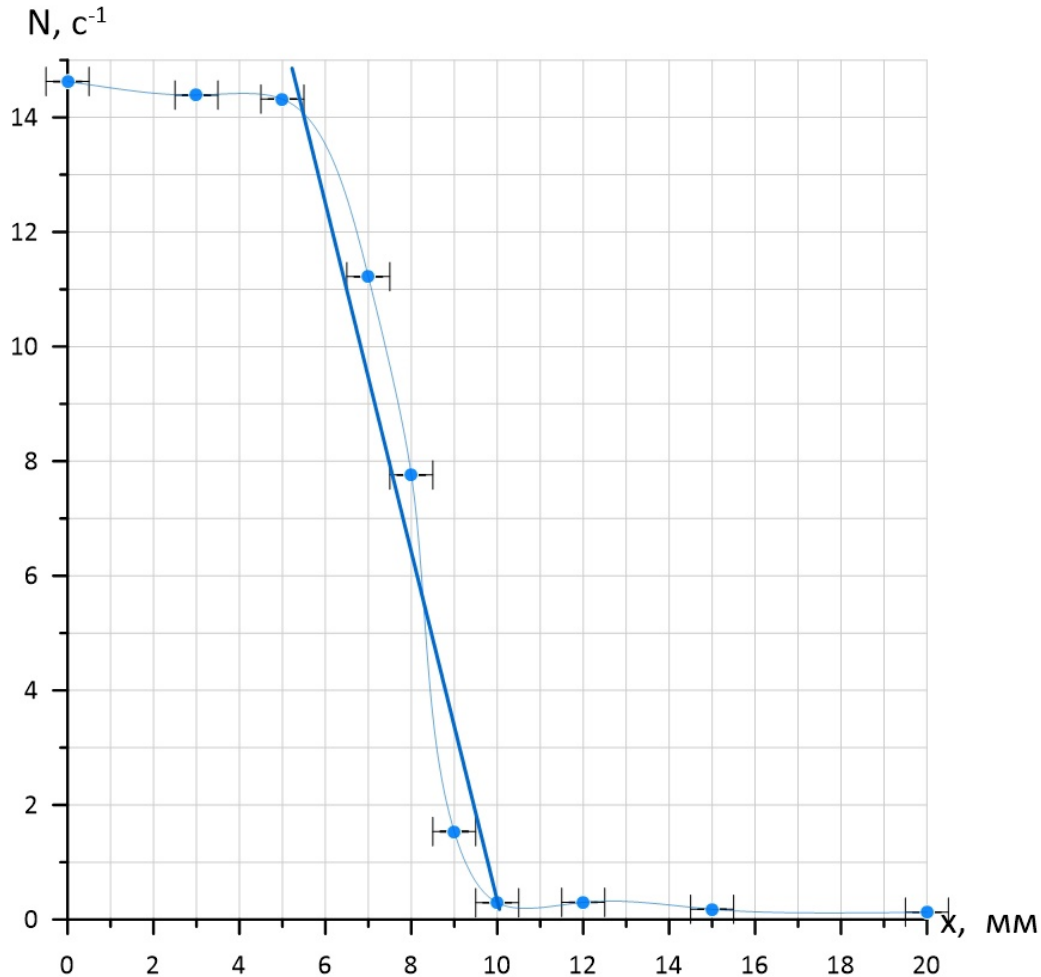


Рис. 4: Зависимость  $N = N(x)$

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

$$R_s = -\frac{b}{a} \approx 20,11 \pm 2,01 \text{ мм} \Rightarrow R'_s = \rho R_s = (2,59 \pm 0,26) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$$

Среднюю длину пробега оценим как  $R_{cp} \simeq 18,0 \pm 0,5 \text{ мм} \Rightarrow R'_{cp} = \rho R_{cp} = (2,32 \pm 0,65) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$

Энергию таких альфа-частицы можно оценить по эмпирической формуле

$$R = 0,32E^{3/2} \Rightarrow E_s \approx 3,41 \pm 0,23 \text{ МэВ}, \quad E_{cp} \approx 3,16 \pm 0,21 \text{ МэВ}$$

### 3.2 Ионизационная камера

Включив питание установки, измерим атмосферное давление  $P_a = 99,35$  кПа (измеренно барометром). Температура  $T = 293$  К. После этого откачаем воздух из камеры до давления порядка  $\simeq 10$  Торр и снимем зависимость тока от давления. Результаты измерений представлены на рис. 5.

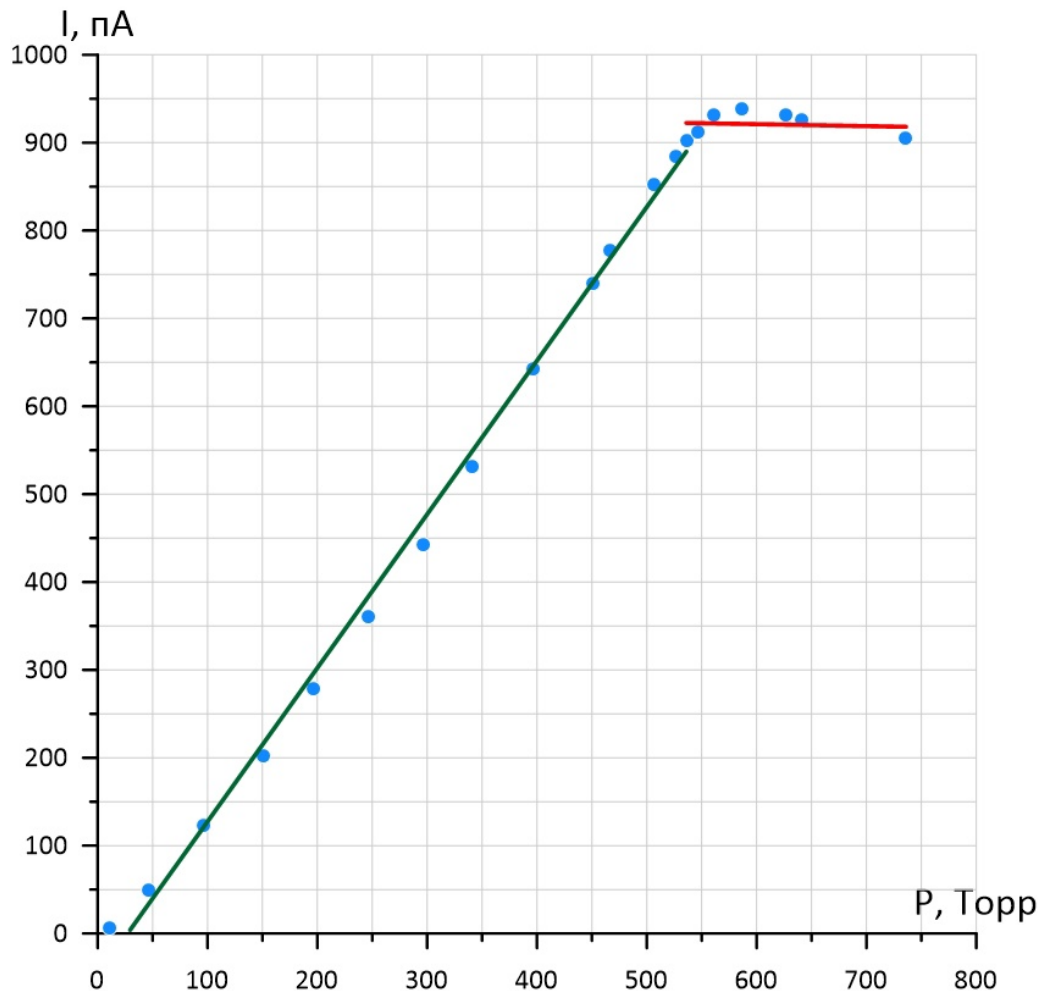


Рис. 5: Зависимость  $I = I(P)$

График зелёной прямой:

$$y = 1.75 \cdot x - 47.55$$

красной:

$$y = -0.02 \cdot x + 934.35$$

Их пересечение дает нам значение

$$P = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \approx (554 \pm 8) \text{ Torr}$$

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

$$R_s = R_l \frac{\rho}{\rho_0} = R_l \frac{P_0 T}{P T_0} \approx (3,35 \pm 0,05) \text{ см} \Rightarrow R'_s \approx (4,32 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$$

Энергию такой альфа-частицы можно оценить по эмпирической формуле

$$R = 0,32E^{3/2} \Rightarrow E_{\alpha} = \left( \frac{R_{\alpha}}{0,32} \right)^{2/3} \approx 4,79 \pm 0,04 \text{ МэВ}$$

## 4 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе был измерен пробег альфа-частиц от  $^{239}\text{Pu}$  двумя способами: с помощью торцевого счетчика Гейгера и ионизационной камеры. По полученным данным была определена энергия альфа-частиц.

При работе с ионизационной камерой пробег и энергия получились близкими к ожидаемым (из таблицы при  $E = 5$  МэВ получаем  $R = 3,29$  см для воздуха). При работе со счетчиком Гейгера значения пробега и энергий ниже табличных. Это можно объяснить тем, что часть энергии альфа-частиц тратится на прохождение слюдяной пластинки, прикрывающей счетчик, и пленки, закрывающей источник.

Если плотность бумаги равна  $1,2 \text{ г/см}^3$ , следовательно, лист бумаги толщины  $l \geq R'/\rho = 3,6$  мкм не пропустит альфа-частицы от  $^{239}\text{Pu}$ .