

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по общему курсу физики
Квантовая физика

**Определение энергии α -частицы по величине
свободного пробега.**

Таранов Александр
Группа Б01-206

Содержание

1	Теоретические сведения	1
2	Описание экспериментальной установки	1
2.1	Счетчик Гейгера	1
2.2	Сцинтилляционный счетчик	2
2.3	Ионизационная камера	2
3	Ход работы	4
3.1	Счетчик Гейгера	4
3.2	Сцинтилляционный счетчик	5
3.3	Ионизационная камера	6
4	Вывод	6

Цель работы: Измерить пробег альфа-частиц в воздухе тремя способами: с помощью торцевого счетчика Гейгера, сцинтиляционного счетчика и ионизационной камеры.

1. Теоретические сведения

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

Выполняя строгие математические выкладки, можно получить следующее значение длины пробега α -частицы

$$R \sim \frac{M}{z^2} v_0^2 \quad (1)$$

Однако на практике, полученные экспериментальные данные соответствуют следующей зависимости

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

2. Описание экспериментальной установки

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.), 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. Сцинтилляционный счетчик



Рис. 2: Схема устройства ионизационной камеры

Установка состоит из цилиндрической камеры, на дне которой находится исследуемый препарат. Камера герметично закрыта стеклянной пластинкой, на которую с внутренней стороны нанесен слой люминофора. С наружной стороны к стеклу прижат фотокатод фотоумножителя (рис.). Оптический контакт ФЭУ–стекло обеспечивается тонким слоем вазелинового масла.

2.3. 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.). 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.

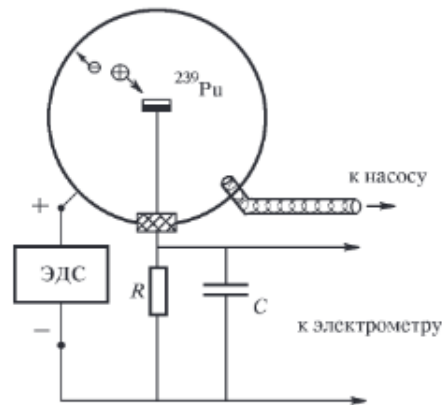


Рис. 3: Схема устройства ионизационной камеры

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.

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. 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.. 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°C .

3. Ход работы

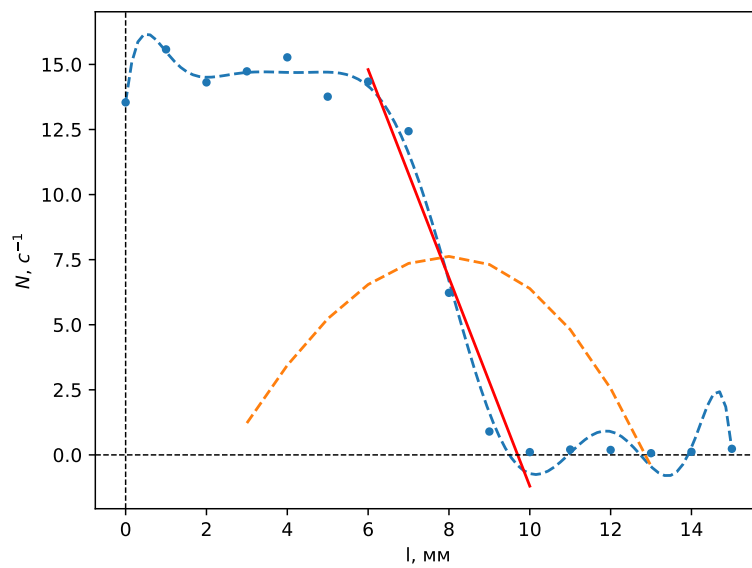
Запишем окружающие параметры:

$$T_{\text{к}} = 298 \text{ K}$$

$$P_{\text{к}} = 1,03 \text{ Атм}$$

3.1. Счетчик Гейгера

Снимем зависимость числа частиц от расстояния между источником и счетчиком и разделим число частиц на время, за которое это число было посчитано.



Параметры прямой, полученной на резком изменении зависимости:

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	r	a	Δa	b	Δb
8.00e+00	2.00e+00	6.80e+00	3.37e+01	-8.00e+00	-0.974331	-4.00	0.53	38.80	4.34

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

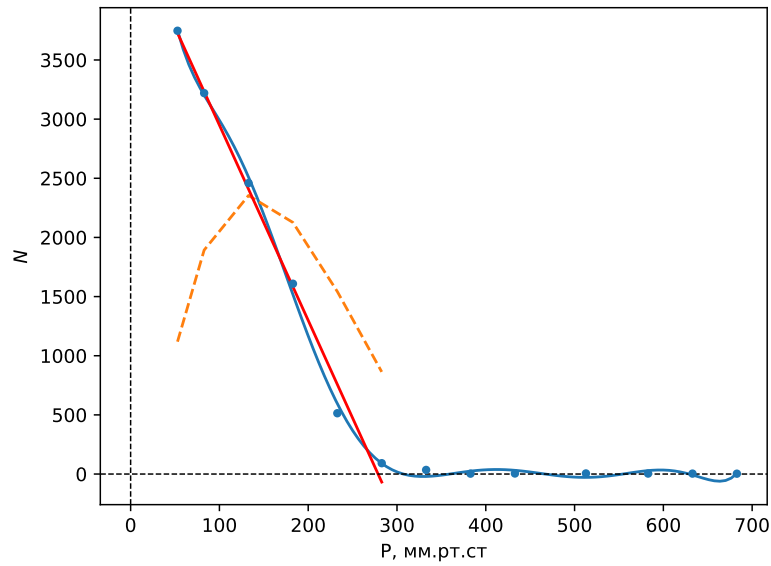
$$R_{\text{э}} = \frac{b}{a} = 9.7 \pm 1.7 \text{ мм}$$

Среднюю длину пробега оценим как $R_{\text{ср}} \simeq 8.0 \pm 0.2 \text{ мм}$

Энергию таких альфа-частицы можно оценить по эмпирической формуле

$$E_{\text{э}} = \left(\frac{R_{\text{э}}}{0.32} \right)^{2/3} \approx 9.7 \pm 1.7 \text{ МэВ}$$

$$E_{\text{ср}} = \left(\frac{R_{\text{ср}}}{0.32} \right)^{2/3} \approx 8.5 \pm 1.0 \text{ МэВ}$$



3.2. Сцинтиляционный счетчик

Параметры прямой, полученной на начальном, линейном участке:

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	r	a	Δa	b	Δb
8.00e+00	2.00e+00	6.80e+00	3.37e+01	-8.00e+00	-0.974331	-4.00	0.53	38.80	4.34

Таблица 1: Значения давлений

$P_{\text{ср}}, \text{ мм.рт.ст}$	$P_{\text{экстр}}, \text{ мм.рт.ст}$
137 ± 4	279 ± 2

Так как пробег $R_0 = 9$ см задается размером камеры, приведем его к н.у.:

$$R_{\text{э}} = R_l \frac{\rho_0}{\rho_k} = R_0 \frac{P_{\text{э}} T_k}{P_k T_0} \approx (3.5 \pm 0.2) \text{ см}$$

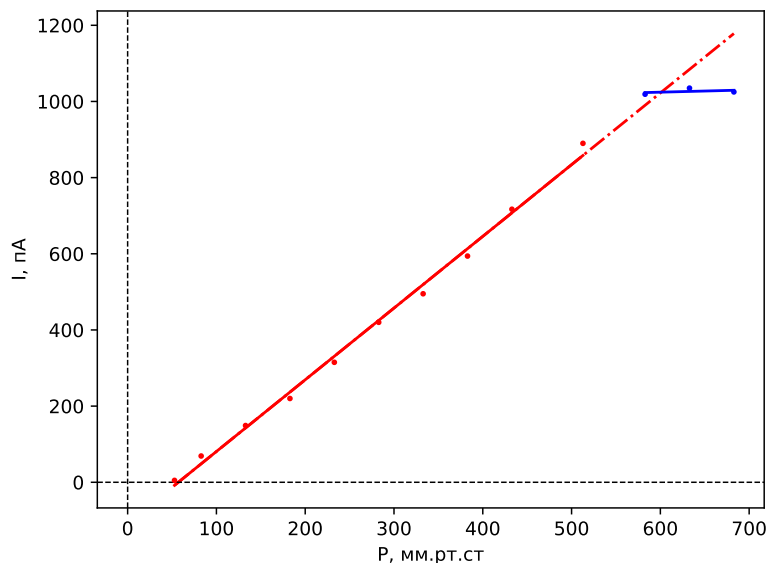
Энергию такой альфа-частицы можно оценить по формуле (1)

$$E_{\text{э}} = \left(\frac{R_{\text{э}}}{0,32} \right)^{2/3} \approx 4.9 \pm 0.3 \text{ МэВ}$$

Оценим значение среднего пробега частицы

$$R_{\text{ср}} = R_l \frac{\rho_0}{\rho_k} = R_0 \frac{P_{\text{ср}} T_k}{P_k T_0} \approx (1.7 \pm 0.1) \text{ см}$$

3.3. Ионизационная камера



Построил две прямых, соответствующих линейным участкам графика, их характеристики:

\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	r	a	Δa	b	Δb
6.33e+02	1.67e+03	1.03e+03	4.36e+01	1.00e+02	0.371154	0.06	0.15	988.37	95.19
\bar{x}	σ_x^2	\bar{y}	σ_y^2	r_{xy}	r	a	Δa	b	Δb
2.63e+02	2.12e+04	3.87e+02	7.54e+04	3.99e+04	0.997838	1.88	0.04	-107.47	13.17

Их пересечение дает нам значение

$$P_0 = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \approx (601 \pm 75) \text{ мм.рт.ст} \quad (3)$$

Так как пробег $R_0 = 5$ см задается размером камеры, приведем его к н.у.:

$$R_{\text{norm}} = R_l \frac{\rho_0}{\rho_k} = R_0 \frac{P_0 T_k}{P_k T_0} \approx (7.5 \pm 0.9) \text{ см} \quad (4)$$

Энергию такой альфа-частицы можно оценить по формуле (1)

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

$$E_{\text{norm}} = \left(\frac{R_{\text{norm}}}{0,32} \right)^{2/3} \approx 8.2 \pm 1.0 \text{ МэВ}$$

4. Вывод

В работе был измерен пробег альфа-частиц от ^{239}Pu с помощью ионизационной камеры, счетчика Гейгера, сцинтиляционного счетчика. Также была проверена эмпирическая зависимость (1) зависимости энергии частицы от длины пробега. По полученным данным была определена энергия α -частиц.

1. При работе с счетчиком Гегера пробег оказался равным $l_e = 9.7 \pm 1.7$ мм, что является малой величиной, что может объясняться потерями инергии на преодаление слюдяной пластинки, прикрывающей счетчик.
2. При работе с сцинтеляционным счетчиком пробег получился равным $l_e = 3.5 \pm 0.2$ см, сравнивая по указанию из лабника с длиной пробега при энергии 5,15 мЭв ($l = 3, 4$ см), но по нашим подсчётам оценочная энергия равна 4.9 ± 0.3 МэВ, что соответствует длине пробега ($l = 2.7$ см), что соответствует действительности.
3. При работе с ионизационной камерой пробег и энергия получились близкими к ожидаемым: 8.2 ± 1 МэВ, при длине пробега 7.5 см