

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

Черников Тимофей
Группа Б05-902

Цель работы: измерить пробег α -частиц в воздухе двумя способами: с помощью торцевого счетчика Гейгера и ионизационной камеры, – по полученным данным определить энергию частиц.

1 Теоретическое введение и описание установки

В качестве источника α -частиц мы используем ^{239}Pu с периодом полураспада $T_{1/2} = 2,44 \cdot 10^4$ лет. α -частицы, испускаемые ^{239}Pu , состоят из трех моноэнергетических групп, различие между которыми лежит в пределах 50 кэВ, в этом эксперименте мы пренебрегаем этим различием и считаем что их энергия равна 5.15 МэВ.

1.1 Счетчик Гейгера

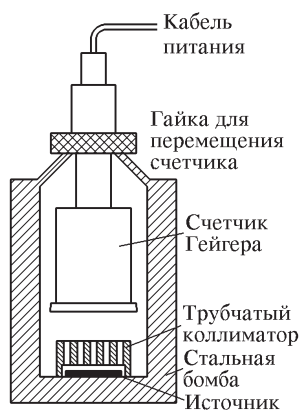


Рис. 1: Схема торцевого счетчика Гейгера

Для определения пробега α -частиц с помощью счетчика радиоактивный источник помещается на дно стального цилиндра (рис. 1), в котором может перемещаться счетчик Гейгера.

Импульсы, возникающие в счетчике, усиливаются и регистрируются пересчетной схемой. Изменяя расстояние от счетчика до источника и измеряя зависимость потока частиц от него, мы можем найти энергию частиц и убедиться в скорости их замедления.

1.2 Ионизационная камера

Ионизационная камера — прибор для количественного измерения ионизации, произведенной заряженными частицами при прохождении через газ.

Заполняющий сосуд газ сам по себе не проводит электрический ток, ток возникает только при прохождении быстрой заряженной частицы, которая рождает в газе на своем пути ионы.

Поместим на торец внутреннего электрода источник ионизирующего излучения, заполним объем камеры воздухом и начнем увеличивать разность потенциалов между электродами. Ток, протекающий через камеру, вначале будет резко возрастать, а затем, начиная с некоторого напряжения V_0 , станет постоянным. 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.

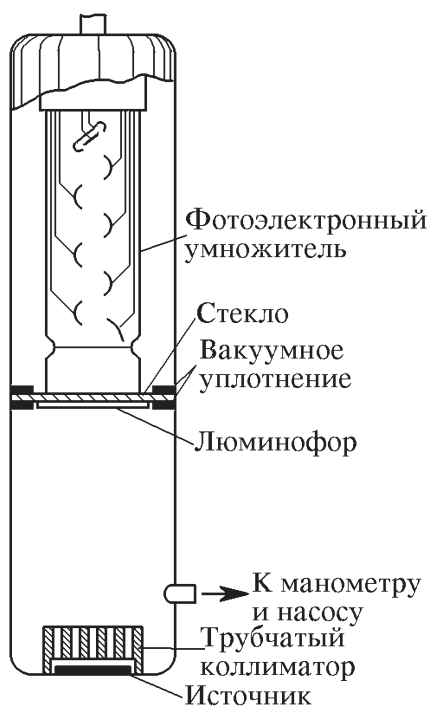


Рис. 2: Схема устройства ионизационной камеры

позволяет изменять давление в камере. Величина тока ионизации измеряется электрометром.

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 α -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 α -частицей, вызывало измеряемое напряжение, емкость C должна быть мала.

При изменении давления в камере ионизационный ток меняется так, как это показано на рис. 3. При небольших давлениях газа α -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.

В данной работе измерение пробега α -частицы проводится по величине тока ионизации. 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. Вакуумная установка содержит кран и манометр. Она

2 Экспериментальные данные

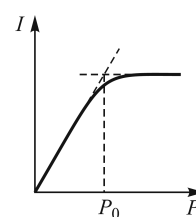
Таблица 1: Счетчик Гейгера.

l , мм	N'	t , с	N , с^{-1}
20	14	72 ± 0.5	0.195 ± 0.002
15	439	30 ± 0.5	14.6 ± 0.3
11	411	30 ± 0.5	13.7 ± 0.3
18	242	30 ± 0.5	8 ± 0.2
19	42	30 ± 0.5	1.4 ± 0.03
50	12	113 ± 0.5	0.106 ± 0.001
13	419	30 ± 0.5	14 ± 0.3
17	418	30 ± 0.5	14 ± 0.3
25	18	107 ± 0.5	0.168 ± 0.001
30	18	107 ± 0.5	0.168 ± 0.001
35	22	93 ± 0.5	0.237 ± 0.002

Таблица 2: Ионизационная камера.

P , Торр	I , пА
20	16
35	42
60	75
82	108
110	150
135	189
160	226
185	264
210	304
235	349
260	390
310	485
360	577
410	681
460	775
510	880
560	960
610	970
590	970
540	940
580	975
570	970
670	955
650	962
630	966
685	968
710	946
730	939
750	937

В таблицу 1 занесены значения давлений в ионизационной камере и соответствующий этому давлению ток через нее, во 2 таблице указаны значения количества частиц, прошедших через счетчик Гейгера за соответствующий период времени при различных расстояниях до источника. В последнем столбце 2 таблице подсчитано значение количества пролетающих α -частиц за одну секунду.



3 Обработка результатов

3.1 Исследование пробега α -ч. счетчика Гейгера

Представим результаты измерений (табл. 1) зависимости $N = N(x)$ в виде графика.

Найдем кривую, приближающую экспериментальные точки, в следующем виде:

$$N(x) = \frac{A}{1 + e^{\alpha(x-x_0)}}.$$

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

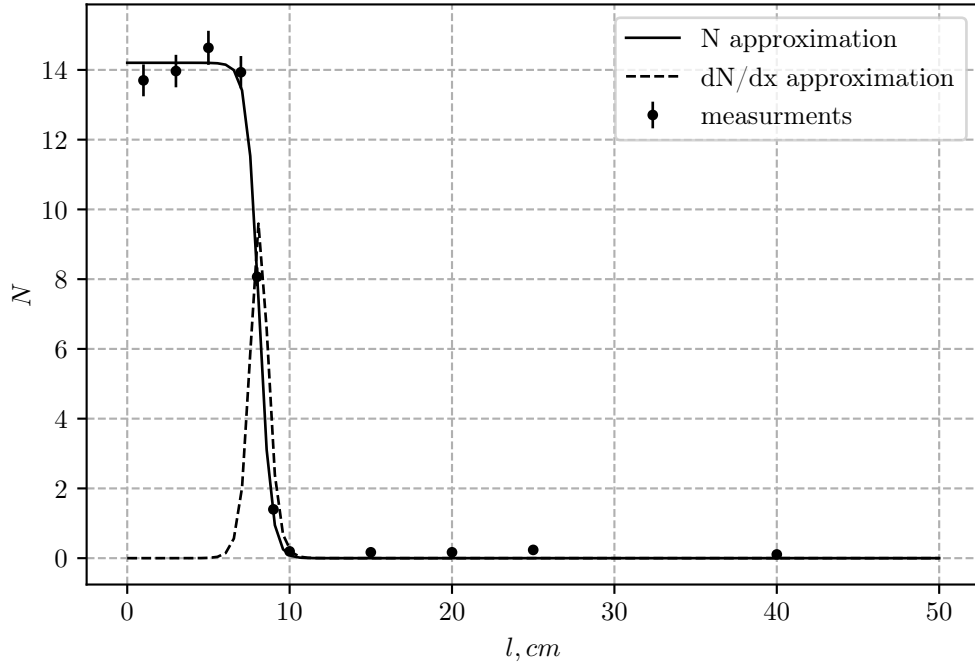


Рис. 4: Зависимость потока α -частиц от расстояния до источника

Таблица 3: Параметры аппроксимации.

A	$\alpha, \text{мм}^{-1}$	$x_0, \text{мм}$
14.2	2.7	18.1

Средний $R_{\text{ср}}$ и экстраполированный $R_{\text{экстр}}$ пробеги определяются следующими уравнениями (для среднего пробега мы находим значение, при котором максимальна производная функции, которой мы аппроксимируем график, а чтобы найти экстраполированный пробег, построим касательную к нашей функции в данной точке и найдем ее пересечение с осью абсцисс):

$$\begin{cases} N''(R_{\text{ср}}) = x_0, \\ R_{\text{экстр}} = R_{\text{ср}} + |N(R_{\text{ср}})/N'(R_{\text{ср}})|. \end{cases}$$

Энергию можно найти по формуле: $E = (R/0,32)^{2/3}$.

Таблица 4: R .

$R_{\text{ср}}, \text{см}$	$R_{\text{экстр}}, \text{см}$
1.81 ± 0.05	1.9 ± 0.05

Таблица 5: E .

$E(R_{\text{ср}}), \text{МэВ}$	$E(R_{\text{экстр}}), \text{МэВ}$
3.17 ± 0.1	3.28 ± 0.1

3.2 Определение пробега α -ч. с помощью ионизационной камеры

Представим результаты измерений (табл. 2) зависимости $I = I(P)$ в виде графика – рис. 5.

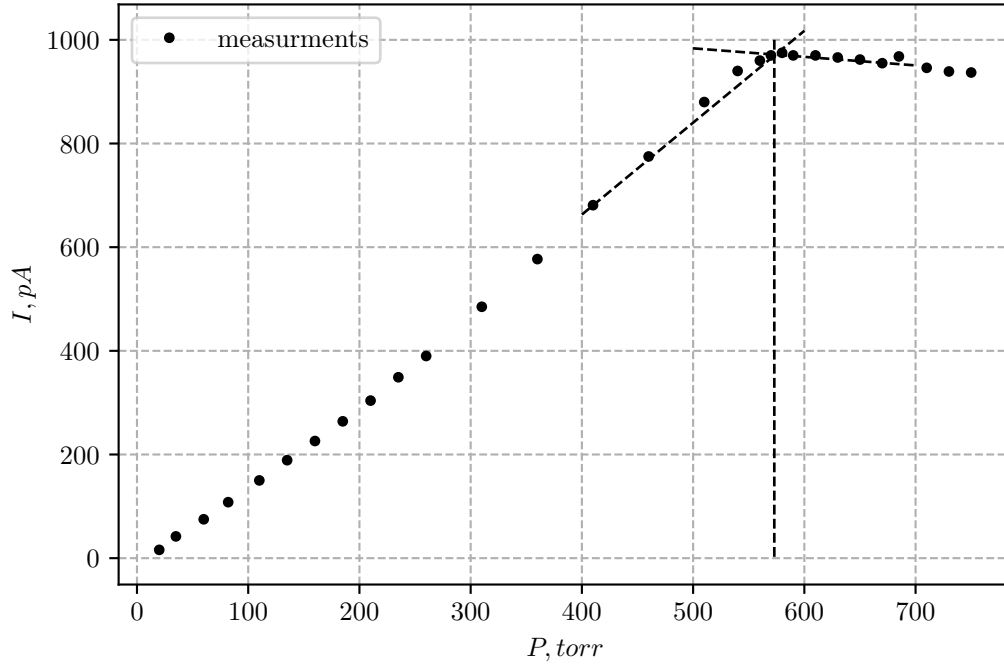


Рис. 5: Зависимость тока от давления

По графику определим: $P_{\text{экстр}} = (570 \pm 5)$ торр. Аналогично предыдущему пункту найдём экстраполированный пробег $R_{\text{экстр}}$ и соответствующую энергию.

$$R = \frac{288 \text{ K}}{T} \frac{P}{760 \text{ торр}} \frac{10 - 0.5}{2} \text{ см},$$

где 0.5 см и 10 см – диаметры первого и второго электродов соответственно.

Таблица 6: R . Таблица 7: E .

$R_{\text{экстр}}, \text{ см}$	$E(R_{\text{экстр}}), \text{ МэВ}$
3.44 ± 0.1	4.87 ± 0.1

4 Обсуждение результатов и выводы

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

При работе с ионизационной камерой пробег и энергия получились близкими к ожидаемым (из таблиц при $E = 5 \text{ МэВ}$ получаем $R = 3,29 \text{ см}$ для воздуха).