

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Лабораторная работа 5.4.1
Определение энергии α -частиц
по величине их пробега в воздухе

Салтыкова Дарья

Б04-105

Допуск _____

Выполнение _____

Сдача _____

1 Введение

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

2 Теоретические сведения

При α -распаде исходное родительское ядро испускает ядро гелия и превращается в дочернее ядро, число протонов и число нейтронов 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:

1. С помощью счетчика Гейгера – рис. 1а;
2. С помощью сцинтиляционного счетчика – рис. 1б;
3. С помощью ионизационной камеры – рис. 1с.

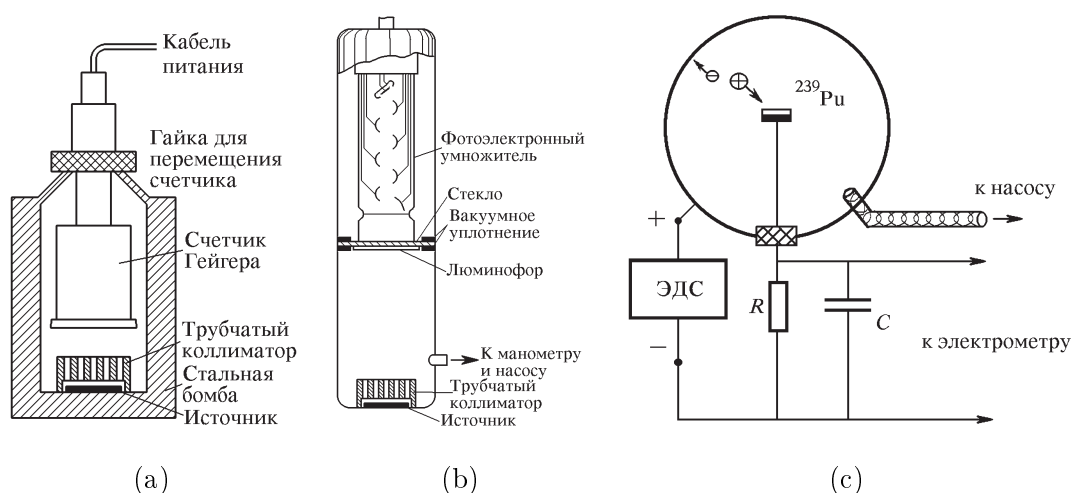


Рис. 1: Экспериментальные установки.

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 I. Ионизационная камера

1. Найдем длину свободного пробега, используя ионизационную камеру. Измерим начальные параметры. Атмосферное давление по барометру: $P_A = 100,9 \text{ кПа} = 756,8 \text{ Торр}$. Ток $8,93 \text{ пА}$. Температура $T = 298 \text{ К}$.
2. Откачаем воздух из камеры до давления порядка $\approx 10 \text{ Торр}$.
3. Построим график зависимости $I(P)$. (Данные см. в Приложении).

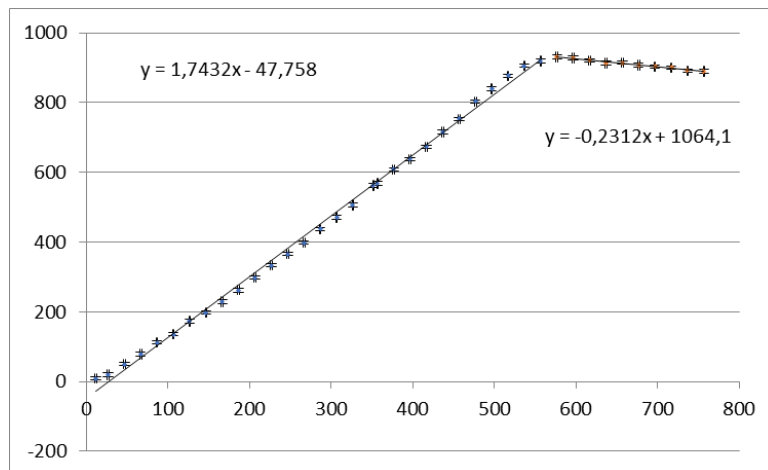


Рис. 2: $I(P)$

Определим по графику $P_{\text{экстр}} = (563 \pm 10) \text{ Торр}$.

Тогда экстраполированный пробег и соответствующая энергия:

$$R_{\text{экстр}} = \frac{288}{T} \frac{P}{760} \frac{10 - 0,5}{2} = 4,57 \pm 0,08 \text{ см}$$

$$E(R_{\text{экстр}} = (5,89 \pm 0,07) \text{ МэВ}.$$

4.2 II. Сцинтилляционный счетчик

1. Подадим напряжение на ФЭУ и измерим скорость счета при P_A .
 2. Откачаем камеру. Снимем зависимость $N(P)$ (данные см. в Приложении) и построим ее график.
- Кривую, приближающую экспериментальные точки, будем искать в виде

$$N(P) = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{P - P_0}{dP}}}.$$

Параметры аппроксимации, определенные с помощью Origin: $A_1 = 3705 \pm 64$, $A_2 = -56 \pm 31$, $P_0 = 180 \pm 2$, $dP = 43 \pm 2$.

3. Найдем $P_{\text{ср}}$ и $P_{\text{экстр}}$, а по ним $R_{\text{ср}}$ и $R_{\text{экстр}}$.

$$N''(P_{\text{ср}}) = 0$$

$$P_{\text{ср}} = (180 \pm 4) \text{ Торр}, R_{\text{ср}} = \frac{288}{T} \cdot \frac{P}{760} \cdot 9 = 2,06 \pm 0,05 \text{ см}.$$

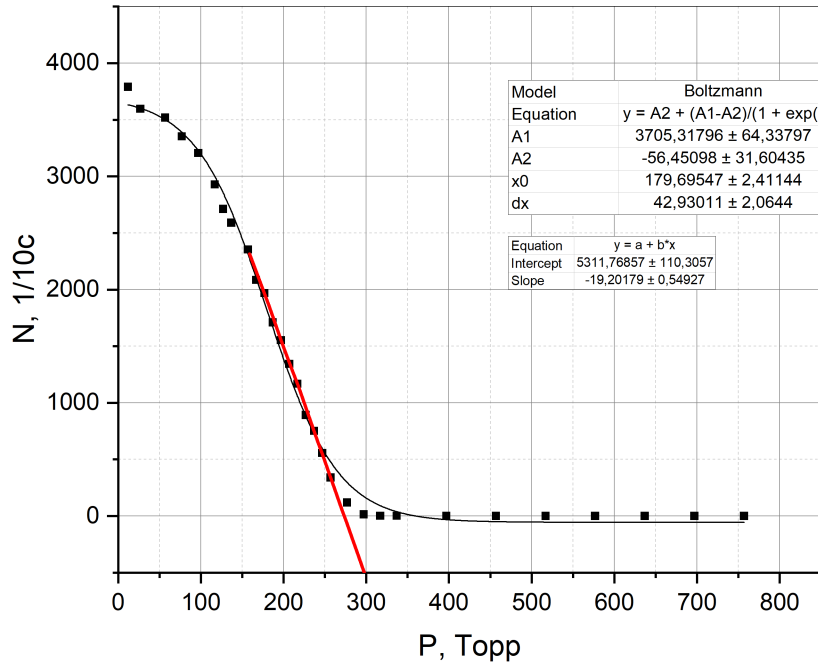


Рис. 3: $N(P)$

Построим касательную к кривой $N(P)$ через точку $P_{\text{ср}}$ и продолжим ее до пересечения с осью P . Получим $P_{\text{экстр}} = (294 \pm 8)$ Торр, $R_{\text{экстр}} = 3,17 \pm 0,09$ см.

Тогда $E(R_{\text{ср}} = (3,46 \pm 0,06)$ МэВ), $E(R_{\text{экстр}}) = (4,61 \pm 0,09)$ МэВ.

4. Рассчитаем по полученным данным, бумажный листок какой толщины не пропустит α -частицы от ^{239}Pu . Если плотность бумаги $1,2 \text{ г/см}^2$, $L \geq R/\rho = 32,4$.

5 Вывод

В данной работе была двумя способами измерена длина свободного пробега α -частиц в воздухе: с помощью ионизационной камеры и сцинтилляционного счетчика. Получены следующие результаты:

$$R_{\text{ср}} = 2,06 \pm 0,05 \text{ см}, E(R_{\text{ср}} = (3,46 \pm 0,06) \text{ МэВ}),$$

$$R_{\text{экстр}} = 3,17 \pm 0,09 \text{ см}, E(R_{\text{экстр}}) = (4,61 \pm 0,09) \text{ МэВ} - \text{для сцинтилляционного счетчика};$$

$$R_{\text{экстр}} = (4,57 \pm 0,08) \text{ см}, E(R_{\text{экстр}} = (5,89 \pm 0,07) \text{ МэВ} - \text{для ионизационной камеры}.$$

$$E_{\text{табл}} = 5,15 \text{ МэВ}.$$

Несоответствие экспериментальных значений табличному может быть связано или с заметной угловой расходимостью пучков (брэгговский пик смещен и сильно размыт), или с тем, что пленка, покрывающая источники, замедляет движение альфа-частиц.

Также было оценено, что бумажный листок толщиной более 32,4 мкм не пропустит α -частицы от ^{239}Pu .

6 Приложение

δP , Торр	I , пА	P , Торр
745	0,11	9
730	0,22	20
710	0,52	50
690	0,81	79
670	1,14	112
650	1,38	136
630	1,75	173
610	2	198
590	2,31	229
570	2,64	262
550	3	298
530	3,35	333
510	3,68	366
490	4	398
470	4,39	437
450	4,73	471
430	5,08	506
405	5,64	562
400	5,7	568
380	6,1	608
360	6,4	638
340	6,75	673
320	7,18	716
300	7,55	753
280	8,05	803
260	8,42	840
240	8,79	877
220	9,07	905
200	9,21	919
180	9,33	931
160	9,3	928
140	9,23	921
120	9,15	913
100	9,16	914
80	9,09	907
60	9,05	903
40	9,02	900
20	8,94	892
0	8,92	890

δP , Topp	t , c	N
745	10	3791
730	10	3597
700	10	3519
680	10	3354
660	10	3206
640	10	2929
620	10	2591
600	10	2354
580	10	1969
560	10	1554
540	10	1168
520	10	753
500	10	341
480	10	120
460	10	15
440	10	2
420	100	20
360	100	13
300	100	7
240	100	6
180	100	6
120	100	6
60	100	6
0	100	6
630	10	2712
590	10	2085
570	10	1711
550	10	1344
530	10	892
510	10	557