



Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая физика»

Лаборатория ядерной и радиационной безопасности

Лабораторный практикум по дисциплине  
«Защита от ионизирующего излучения»

*Лабораторная работа № 2*

**Взаимодействие альфа-частиц  
с веществом**

Минск 2016

**Описание теории взаимодействия альфа частиц с веществом представлено в Главе 3 (стр. 40) учебного пособия «Практикум по ядерной физике», под ред. В.О. Сергеева. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. (см. в электронном виде в разделе «Вспомогательные материалы»)**

**Цель работы:** изучить основные механизмы взаимодействия альфа-излучения с веществом; определить энергию альфа-частиц исследуемого нуклида по их пробегу в воздухе

**Приборы и материалы:** универсальный лабораторный спектрометр с полупроводниковым поверхностно-барьерным альфа-детектором; источник альфа-излучения из комплекта образцовых спектрометрических альфа-источников (ОСАИ); поглотитель – воздух.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБЕГА. СВЯЗЬ ПРОБЕГА С ЭНЕРГИЕЙ**

Пробег частицы  $R$  можно определить как расстояние, которое она проходит до момента полной потери кинетической энергии. Характерной особенностью  $\alpha$ -частиц является существование у них определенного пробега: треки частиц одной энергии в камере Вильсона представляют собой прямые линии одной и той же длины с небольшим разбросом в одну и другую сторону.

Для выбранной среды величина энергетических потерь на единицу пути  $(-dE/dx)$  для  $\alpha$ -частиц является функцией только скорости, т. е. только кинетической энергии:  $(-dE/dx) = f(E)$ .

Проинтегрировав это выражение по всем значениям  $E$  от  $E_0$  до 0 ( $E_0$  – начальная энергия частицы), можно получить средний пробег  $\alpha$ -частицы в веществе  $\bar{R}$ :

$$\bar{R}(E) = \int_{E_0}^0 (-dE/dx)^{-1} dE.$$

Торможение  $\alpha$ -частиц в среде происходит в результате большого числа упругих и неупругих столкновений с атомами среды, в каждом из которых теряется некоторая флуктуирующая от столкновения к столкновению доля энергии. Поэтому длины пробегов  $R_i$  отдельных моноэнергетических частиц будут флуктуировать относительно среднего значения пробега  $\bar{R}$ .

На практике для определения среднего пробега чаще всего используют эмпирические выражения. Так, для  $\alpha$ -частиц, испускаемых при естественном  $\alpha$ -распаде, т. е. имеющих энергию  $E_\alpha \sim 4\div 7$  МэВ, средний пробег в воздухе при нормальных атмосферных условиях может быть найден из формулы Гейгера, полученной эмпирическим путем:

$$\bar{R}_\alpha^{\text{воздух}} = 0.318 \cdot E_\alpha^{3/2},$$

где  $\bar{R}$  – средний пробег  $\alpha$ -частиц, см;  $E_\alpha$  – энергия  $\alpha$ -частиц, МэВ.

Для других сред, отличных от воздуха, пробег  $\alpha$ -частиц можно представить как

$$\bar{R}_x = \frac{1}{\rho_x} 1.78 \cdot 10^{-4} \cdot A_x^{1/3} E_\alpha^{3/2},$$

где  $A_x$  – массовое число ядер вещества X, энергия  $\alpha$ -частиц  $E_\alpha$  выражена в МэВ, а плотность вещества  $\rho_x$  – в г/см<sup>3</sup>.

При экспериментальном определении пробега исследуют зависимость числа детектируемых  $\alpha$ -частиц  $N_\alpha(x)$  от толщины  $x$  вещества-поглотителя. Форма кривой поглощения  $N_\alpha(x)$  зависит от геометрии эксперимента.

Различают средний, экстраполированный и максимальный пробеги.

**Максимальный пробег** ( $R_{\max}$ ) – это минимальная толщина поглотителя, при которой поглощаются практически все падающие на него  $\alpha$ -частицы.

**Средний пробег** ( $\bar{R}$ ) – это толщина поглотителя, при прохождении которой число  $\alpha$ -частиц уменьшится вдвое.

**Экстраполированный пробег** ( $R_s$ ) получается при экстраполяции наклонной части кривой поглощения.

Очевидно, что используя формулу Гейгера, можно оценить энергию  $\alpha$ -частиц, подставляя длину пробега, найденную экспериментальным путем.

При экспериментальном измерении длины пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе, когда увеличение толщины воздушной прослойки достигается путем увеличения расстояния между источником и детектором, происходит уменьшение телесного угла приема детектора. Это приводит к уменьшению числа зарегистрированных детектором частиц не только за счет их поглощения в воздухе, но и за счет изменения геометрии эксперимента. Частицы, которые первоначально попадали в угол приема детектора, после отодвигания детектора уже в него не попадают из-за уменьшения угла приема. Как следствие, экспериментальная кривая поглощения будет существенно отличаться от теоретической кривой, рассчитанной для параллельного пучка.

Пусть  $D$  – диаметр активной поверхности дискового источника,  $d$  – диаметр входного окна детектора, и  $x$  – расстояние между ними. Чтобы учесть убыль  $\alpha$ -частиц, не связанную с поглощением в воздухе, а вызванную изменением геометрии эксперимента, найдем зависимость отношения числа частиц  $N$ , испущенных источником к числу частиц  $N'$  попадающих на детектор от расстояния  $x$  при заданных  $D$  и  $d$ . Если в эксперименте используется неточечный источник, и размер источника,

детектора, а также расстояние между ними – величины одного порядка, то точный расчет отношения  $\frac{N}{N'}$  представляет собой довольно громоздкую формулу.

В таблице 1 приведены значения геометрического фактора  $G = \frac{N}{N'}$ , характеризующего уменьшение числа регистрируемых частиц за счет изменения геометрии эксперимента. Приведенные значения  $G = G(D, d, x)$  рассчитаны для диаметра рабочей поверхности детектора  $d=7$  мм и диаметра активной поверхности источника  $D=10$  мм.

**Таблица 1. Значения геометрического фактора  $G$  как функции расстояния  $x$  между источником и детектором, рассчитанные для фиксированных диаметров источника (активная часть  $D=10$  мм) и рабочей поверхности детектора ( $d=7$  мм).**

<b>x, мм</b>	<b>G</b>
1	2,69248
2	3,59442
3	4,73902
4	6,13704
5	7,80346
6	9,75174
7	11,9927
8	14,53464
9	17,38376
10	20,54468
11	24,02084
12	27,81478
13	31,92843
14	36,36321
15	41,12024
16	46,20034
17	51,60419
18	57,33227
19	63,38501
20	69,76271
21	76,46563
22	83,49398
23	90,84793
24	98,52762
25	106,53315
26	114,86464
27	123,52214
28	132,50573
29	141,81547
30	151,4514
31	161,41356
32	171,70199
33	182,31672
34	193,25777
35	204,52517
36	216,11893
37	228,03907
38	240,28561
39	252,85856
40	265,75793
41	278,98373
42	292,53598
43	306,41467
44	320,61981
45	335,15142
46	350,0095
47	365,19405
48	380,70507
49	396,54258
50	412,70657

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **1. Подготовка спектрометра к работе**

- 1.1. Включите спектрометр нажатием сетевой кнопки с тыльной стороны прибора.
- 1.2. Запустите программу «Spectrometer».
- 1.3. Установите питание детектора на 28% от полной мощности, задайте максимальный режим усиления на ФЭУ (выбором значения «16» и «×4» для опции «Усиление» ).
- 1.4. Установите нижний порог шкалы детектирования 80, отсекая тем самым из диапазона регистрации низкоэнергетические импульсы, связанные, в основном, с шумами самого детектора.
- 1.5. Установите время экспозиции 180 секунд.
- 1.6. После установки всех параметров следует нажать кнопку «Применить». Запуска на регистрацию производится кнопкой «Пуск». После истечения времени экспозиции остановка регистрации происходит автоматически. Принудительная остановка регистрации может быть выполнена с помощью кнопки «Стоп».
- 1.7. В центральном поле окна программы во время набора будет отображаться спектр регистрируемого излучения как зависимость числа зарегистрированных импульсов от номера канала, в котором произошла регистрация. Суммарное количество зарегистрированных импульсов отображается на панели «Integrate:».
- 1.8. Для повторного запуска с теми же параметрами нажмите кнопки «Сброс» и «Пуск».

### **2. Изучение прохождения альфа-частиц через вещество**

- 3.1. Проанализируйте необходимость регистрации фонового альфа-излучения



#### 4. Завершение работы с установкой

- 4.1. Сразу же после завершения последнего измерения сообщите об этом преподавателю или сотруднику лаборатории, чтобы сдать источник. **Не доставайте источник из держателя самостоятельно и не держите его в руках или на открытой поверхности вне защиты!**
- 4.2. **Уберите до нуля высокое напряжение на детекторе и нажмите кнопку «Применить».** Закройте программу «Spectrometer» и выключите спектрометр.

#### 5. Обработка результатов

- 5.1. Постройте график зависимости  $N'(x)$  числа отсчетов от альфа-источника как функцию толщины слоя  $x$ .
- 5.2. Постройте график зависимости  $N(x)$  числа отсчетов от альфа-источника с погрешностями как функцию толщины слоя  $x$  с учетом геометрической поправки  $G(D,d,x)$ . Значения  $G(D,d,x)=G(x)$  для фиксированных значений диаметра источника  $D=10$  мм и детектора  $d=7$  мм представлены в Таблице 1.
- 5.3. Проанализируйте, как меняется в зависимости от толщины слоя воздуха поток альфа-частиц. Объясните наблюдаемую зависимость.
- 5.4. Из графика  $N(x)$  определите значения среднего  $\bar{R}$ , экстраполированного  $R_0$  и максимального  $R_{max}$  пробегов альфа-частиц.
- 5.5. По номограмме, представленной на рисунке 13, определите энергию  $E_\alpha$  альфа-частиц.
- 5.6. Также рассчитайте энергию альфа-частиц по формуле Гейгера, согласно которой пробег альфа-частиц с энергиями от 4 до 7 МэВ в воздухе описывается соотношением  $R_0=kE_\alpha^{3/2}$ , где  $R_0$  – пробег в см,  $k$  – численный коэффициент, зависящий от температуры и давления воздуха ( $k=0.318$

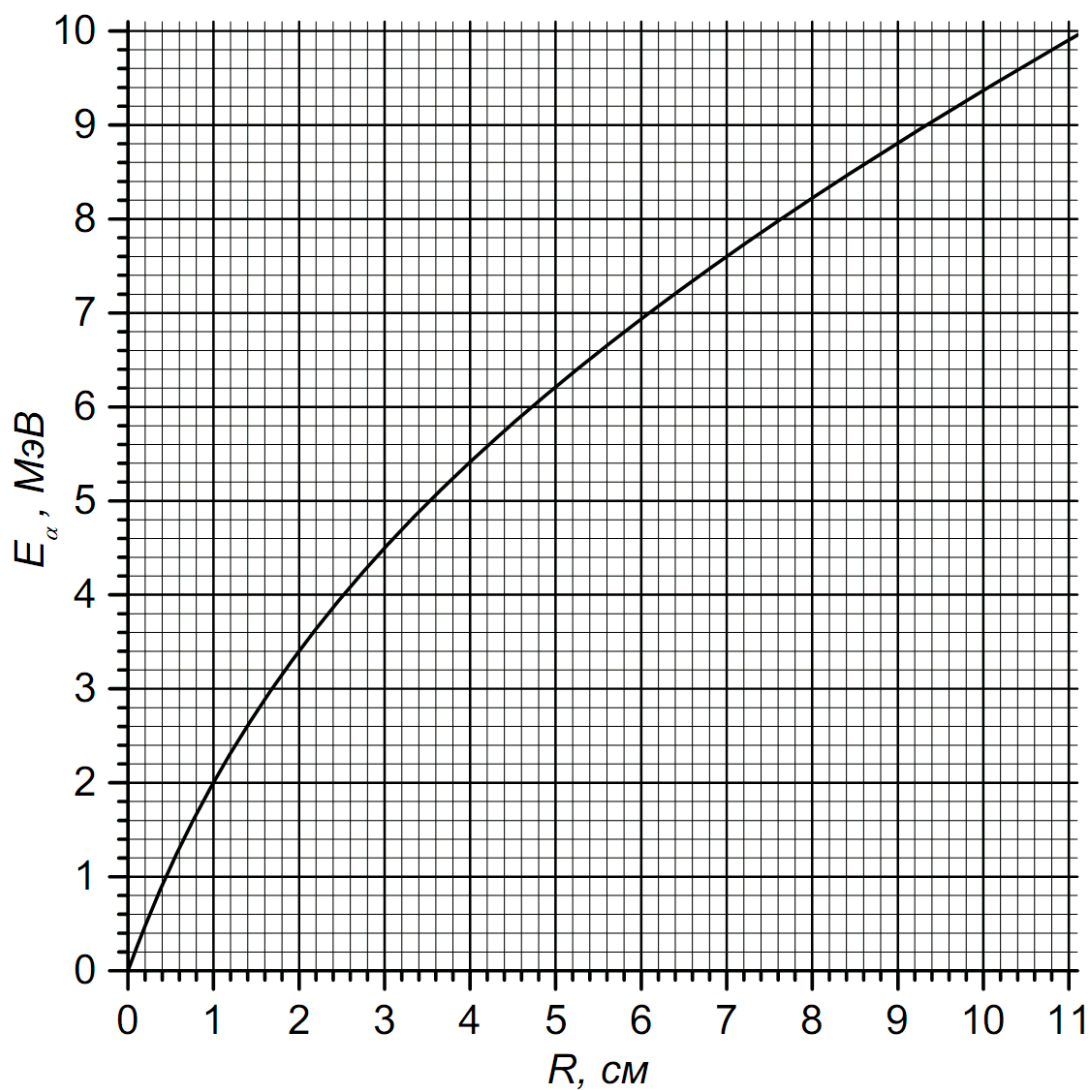
при 15°C и 760 мм. рт. ст),  $E_\alpha$  – энергия альфа-частиц в МэВ.

- 5.7. Сравните экспериментально полученное значение энергии альфа-частиц (п. 5.7) с истинным значением энергии использованного вами альфа-источника. Последнее можно уточнить, например, с использованием программы RadDecay.
- 5.8. В отчете представьте результаты в виде таблицы и графиков, значения пробегов, полученное на основе экспериментальных данных значение энергии альфа-частиц  $E_\alpha$  с оценкой погрешности, сравнение экспериментально полученного значения  $E_\alpha$  с истинным значением энергии альфа-источника и анализ полученного результата.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое альфа-частицы, каков их состав, в каких процессах они возникают и где они используются?
2. Какова энергия альфа-частиц, испускаемых естественно радиоактивными элементами?
3. Каковы основные процессы взаимодействия альфа-частиц с веществом?
4. Рассеяние альфа-частиц. Формула Резерфорда.
5. Ионизационное торможение альфа-частиц. Зависимость потерь энергии альфа-частиц от их начальной энергии.
6. Кривая Брэгга. Объяснить вид кривой Брэгга.
7. Пробег альфа-частиц. Зависимость пробега от начальной энергии альфа-частиц. Чем объясняется разброс пробегов альфа-частиц с одной и той же энергией?
- 5.9. Получите аналитически геометрическую поправку  $G(D, x)$  к значению детектируемого числа частиц при изменении расстояния  $x$  между точечным источником и детектором в виде диска с диаметром  $D$ .





**Рисунок 13. Связь между энергией  $E_\alpha$  и пробегом альфа-частиц в воздухе при атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. и температуре 15°C**