

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ПРОБЕГА
АЛЬФА – ЧАСТИЦ**

Методические указания

**к лабораторной работе № 97
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2008

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ПРОБЕГА
АЛЬФА – ЧАСТИЦ

Методические указания

к лабораторной работе № 97
по дисциплине «Физика»

Уфа 2008

Составитель Г.П. Михайлов

УДК
ББК

Определение длины пробега альфа - частиц: Методические указания к лабораторной работе № 97 по дисциплине «Физика» /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Г.П. Михайлов. – Уфа, 2008. – 10 с.

Методические указания знакомят студентов с теорией альфа - распада и механизмом ионизационного торможения. Студенты изучают зависимость числа альфа - частиц от толщины слоя воздуха и определяют длину пробега и энергию частиц.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: Тучков С.В.,
Иванов М.П.

©Уфимский государственный авиационный
технический университет, 2008

Составитель МИХАЙЛОВ Геннадий Петрович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ПРОБЕГА
АЛЬФА – ЧАСИТИЦ

Методические указания

к лабораторной работе № 97
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2008. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
2.1. Закономерности альфа - распада.....	4
2.2. Взаимодействие альфа - частиц с веществом.....	5
3. Экспериментальная часть.....	7
3.1. Описание экспериментальной установки	7
3.2. Требования по технике безопасности.....	8
3.3. Порядок выполнения работы.....	8
3.4. Обработка результатов эксперимента	9
4. Контрольные вопросы	9
Список литературы	10

Лабораторная работа № 97

Определение длины пробега альфа - частиц

1. Цель работы

1.1. Построение зависимости числа α - частиц от толщины слоя воздуха.

1.2. Определение длины среднего пробега и энергии α - частиц.

2. Теоретическая часть

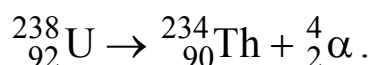
2.1. Закономерности альфа - распада

Альфа - распад происходит в соответствии с так называемыми правилами смещения, позволяющими установить какое ядро возникает в результате распада данного материнского ядра



где ${}^A_Z X$ – материнское ядро, ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ – дочернее ядро, ${}^4_2 \text{He}$ – ядро гелия (α - частица), состоящее из двух протонов и двух нейтронов. Правила смещения являются ничем иным, как следствием двух законов, выполняющихся при радиоактивных распадах – сохранения электрического заряда и сохранения массового числа: сумма зарядов (массовых чисел) возникающих ядер и частиц равна заряду (массовому числу) исходного ядра.

В настоящее время известно более двухсот α - активных ядер, главным образом тяжелых ($A > 200$, $Z > 82$). Примером α - распада служит распад изотопа урана ${}^{238}_{92} \text{U}$ с образованием тория ${}^{234}_{90} \text{Th}$



Скорости вылетающих при распаде α - частиц очень велики и колеблются в пределах от $1,4 \cdot 10^7$ до $2 \cdot 10^7$ м/с, что соответствует энергиям от 4 до 8,8 Мэв. Согласно современным представлениям, α - частицы образуются в момент радиоактивного распада при встрече движущихся внутри ядра двух протонов и двух нейтронов.

Альфа - частицы, испускаемые конкретным ядром, обладают, как правило, определенной энергией. Анализ энергетического спектра α - частиц, испускаемых данным радиоактивным элементом, обнаруживает его «тонкую структуру», обусловленную испусканием

нескольких групп α - частиц, причем в пределах каждой группы их энергии практически постоянны. Дискретный спектр α - частиц свидетельствует о том, что атомные ядра обладают дискретными энергетическими уровнями.

Периоды полураспадов $T_{1/2}$ α - активных ядер варьируются в широких пределах, например, для $^{212}_{84}\text{Po}$ период полураспада равен $3 \cdot 10^7$ с, а для $^{204}_{82}\text{Pb}$ – $1,4 \cdot 10^{17}$ лет. Для α - распада характерна сильная зависимость между $T_{1/2}$ и энергией E вылетающих частиц. Эта взаимосвязь определяется эмпирическим законом Гейгера - Нэттола, который обычно выражают в виде связи между периодом полураспада $T_{1/2}$ и пробегом R_α (расстоянием, проходящим α - частицей в веществе до ее полной остановки)

$$\ln \lambda = A + B \ln R_\alpha, \quad (2.2)$$

где A и B – эмпирические константы, $\lambda = (\ln 2 / T_{1/2})$. Согласно (2.2), чем меньше период полураспада, тем больше пробег, а следовательно, и энергия испускаемых им α - частиц. Пробег α - частиц в воздухе (при нормальных условиях) составляет несколько сантиметров (α - частицы можно задержать обычным листом бумаги).

Опыты Резерфорда (1911 г.) по рассеянию α - частиц на тонких металлических пленках показали, что тяжелые ядра окружены потенциальным барьером, высота которого не меньше 8,8 МэВ. С другой стороны, α - частицы, испускаемые ядрами урана, имеют энергию 4,2 МэВ. Следовательно, α - частицы вылетают из α - радиоактивных ядер с энергией, заметно меньшей высоты потенциального барьера. Классическая физика этот результат объяснить не смогла.

Объяснение α - распада дано квантовой механикой, согласно которой вылет α - частицы из ядра возможен благодаря туннельному эффекту – проникновению α - частицы сквозь потенциальный барьер. Всегда имеется отличная от нуля вероятность того, что частицы с энергией, меньшей высоты потенциального барьера, пройдет через него. Этот эффект целиком обусловлен волновой природой α - частиц.

2.2. Взаимодействие альфа - частиц с веществом

Различают два механизма взаимодействия α - частиц с веществом: упругое рассеяние и ионизационное торможение. При

упругом рассеянии суммарная кинетическая энергия частиц сохраняется и перераспределяется между ними. Вследствие большой массы ($m_\alpha = 7350 m_e$, где m_e – масса электрона) альфа - частицы почти не рассеиваются на электронах среды (а только на ядрах), продолжая двигаться прямолинейно. Кулоновское поле электронов атомов вещества взаимодействует с движущейся α - частицей, которая при этом теряет энергию, постепенно останавливаясь. Это процесс ионизационного торможения. Потери энергии согласно формуле Бете (2.3)

$$-\frac{dE}{dx} \sim \frac{z^2 n}{v^2}, \quad (2.3)$$

где $\frac{dE}{dx}$ – потеря энергии на единицу длины пробега, n – концентрация атомов поглотителя, z – заряд α - частицы, v – ее скорость.

Таким образом, потеря энергии на ионизацию пропорциональна массовой толщине поглотителя (произведение плотности вещества на его толщину) и не зависит от его природы (2.4)

$$\Delta E \sim \rho \Delta x. \quad (2.4)$$

Если исследовать монохроматический поток α - частиц и подсчитывать число частиц, увеличивая постепенно расстояние между источником и детектором, т.е. заставляя альфа - частицы проходить все больший слой воздуха, то число N частиц в пучке начинает на определенном расстоянии падать. Падение происходит не сразу до нуля, а с некоторой конечной скоростью (рис. 2.1), что отражается в значении длины пробега.

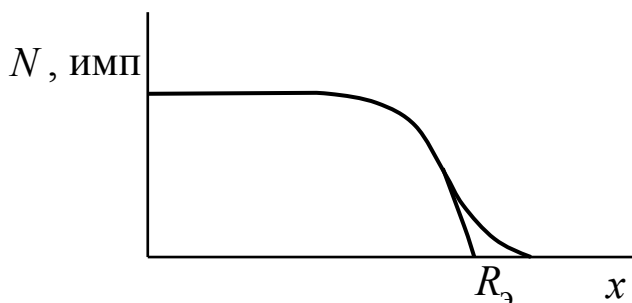


Рис. 2.1

Здесь R_3 – экстраполированный пробег, полученный путем продолжения наклонной линии до пересечения с осью абсцисс.

Полученное таким образом значение длины пробега позволяет оценить энергию α - частиц с помощью уравнения

$$E_{\alpha} = \left(\frac{R_{\alpha}}{0,318} \right)^{2/3}. \quad (2.5)$$

3. Экспериментальная часть

3.1. Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема установки приведена на рис. 3.1.

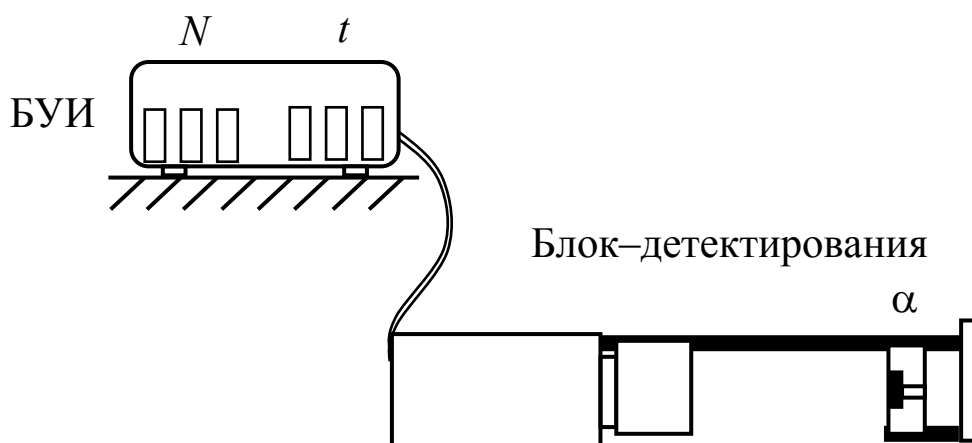


Рис. 3.1

Установка состоит из двух блоков – электронного блока управления и индикации (БУИ) и блока детектирования, соединенных между собой кабелем. Блок детектирования содержит источник и счетчик α - частиц, высоковольтный выпрямитель для питания счетчика. Расстояние между источником и счетчиком измеряется по шкале на скамье, по которой перемещается источник. Электронный блок установки содержит таймер, максимально измеряемый интервал времени которого $t_{\max} = 999$ с, и блок пересчета импульсов.

В электронном блоке имеются следующие кнопки управления: «Сеть» (на задней панели прибора) включает питание счетчиков 220 В, «Пуск» включает таймер и отсчет измеряемых импульсов, «Стоп» – одновременная их остановка, «Сброс» обнуляет их показания, «Время» устанавливает необходимое время измерения.

На табло измерительного блока индикатор «Кол. частиц» показывает число зарегистрированных частиц, а индикатор «сек»

показывает время измерения.

В установке используется источник радионуклидного α - излучения, активность которого обеспечивает гарантированную безопасность при проведении работы без применения специальных средств защиты.

3.2. Требования по технике безопасности

При выполнении работы необходимо:

1. Проверить заземление лабораторной установки и изоляцию токоведущих проводов, о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.

2. Не загромождать рабочее место посторонними предметами.

3. **Категорически запрещается** прикосновение к рабочей поверхности счетчика.

4. По окончании работы выключить установку, отсоединив токоведущие провода от розетки, и привести в порядок рабочее место.

3.3. Порядок выполнения работы

1. Включить кнопку «Сеть», при этом должны высветиться индикаторы.

2. Дать установке прогреться в течение 2 минут.

3. Нажать кнопку «Сброс», при этом на всех разрядах индикаторов должны высветиться нули.

4. Установить время измерения 5 минут.

5. Выставить минимальное расстояние между держателем образца и счетчиком и измерить его.

6. Ослабить винты защитной шторки счетчика, откинуть ее, открыв рабочую поверхность счетчика (при этом и в дальнейшей работе соблюдать осторожность, чтобы не повредить рабочую поверхность счетчика) и закрепить в таком положении с помощью винта.

7. Нажать кнопку «Пуск». После остановки таймера снять показания с индикатора блока пересчета и занести данные в табл. 3.1. Обнулить индикаторы, нажав кнопку «Сброс».

8. Увеличить расстояние и повторить измерение для 8-10 расстояний.

9. По окончании работы необходимо нажать кнопку «Сброс», после чего выключить питание установки выключателем «Сеть» (на задней панели измерительного устройства), закрыть рабочую поверхность счетчика защитной шторкой (**Соблюдать осторожность!**), отключить сетевую вилку от сети.

3.4. Обработка результатов эксперимента

1. Для построения кривой $N(x)$ необходимо внести поправку на телесный угол с учетом реальных размеров окон детектора и источника, так как в детектор попадает лишь часть излучения. Увеличение расстояния уменьшает телесный угол, в котором счетчик «видит» испускаемые, и приводит к уменьшению регистрируемых частиц. Для получения полного числа частиц надо зарегистрированное число частиц N разделить на поправку, взятую из табл. 3.1.

2. Зарегистрированные числа частиц N и поправленные результаты числа частиц N' внести в таблицу 3.2. и построить на миллиметровой бумаге график $N'(x)$.

3. Из графика найти значение экстраполированного пробега R_0 (рис. 2.1) и по формуле (2.5) оценить энергию α - частиц E_α .

Таблица 3.1

x/r	0,10	0,20	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50
поправка	0,286	0,253	0,197	0,175	0,158	0,127	0,102	0,080	0,062

Таблица 3.2

x , м									
N , имп.									
N' , имп.									

где x – расстояние между окном детектора и α -препаратом, r – радиус окошка детектора.

4. Контрольные вопросы

1. Правила смещения для α -распада.
2. Каковы характерные особенности альфа - распада?

3. Объяснение α - распада.
4. В чем состоит закон Гейгера - Нэттола?
5. Как α - частицы взаимодействуют с веществом?
6. Что называется длиной пробега α - частицы и как ее определить?
7. Как оценить энергию α - частицы?

Список литературы

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Academia, 2006.
2. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс физики. – М.: Academia, 2005.