

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

ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЕГА β -ЧАСТИЦ В ВОЗДУХЕ

Методические указания

**к лабораторной работе № 89
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2008

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

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЕГА β -ЧАСТИЦ В ВОЗДУХЕ

Методические указания

к лабораторной работе № 89
по дисциплине «Физика»

Уфа 2008

Составитель Г.П. Михайлов

УДК
ББК

Изучение пробега β – частиц в воздухе: Методические указания к лабораторной работе № 89 по дисциплине «Физика» /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Г.П. Михайлов. – Уфа, 2008. – 12 с.

Методические указания знакомят студентов с явлением β - радиоактивности и с механизмами потери энергии электронов при их прохождении через вещество.

Студентам предоставляется возможность экспериментально исследовать зависимость интенсивности β - лучей от толщины слоя воздуха и определить линейный коэффициент поглощения, а также оценить верхнюю границу энергии β^- - спектра и выявить наиболее важный механизм потерь энергии β - электронов при их движении в воздухе.

Методические указания 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

ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЕГА β -ЧАСТИЦ В ВОЗДУХЕ

Методические указания

к лабораторной работе № 89
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. Теория β - распада	4
2.2. Взаимодействие β - излучения с веществом	7
3. Экспериментальная часть.....	9
3.1. Приборы и принадлежности.....	9
3.2. Описание установки	9
3.3. Требования по технике безопасности.....	10
3.4. Порядок выполнения работы	10
4. Контрольные вопросы	12
Список литературы	12

Лабораторная работа № 89

Изучение пробега β - частиц в воздухе

1. Цель работы

1.1. Исследовать зависимость интенсивности β - лучей от толщины слоя воздуха.

1.2. Определить линейный коэффициент поглощения.

1.3. Оценить верхнюю границу энергии β^- - спектра и выявить наиболее важный механизм потерь энергии β - электронов при их движении в воздухе.

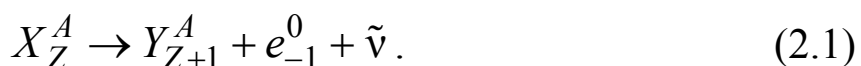
2. Теоретическая часть

2.1. Теория β - распада

Бета - распадом называется радиоактивное превращение ядер, при котором их массовое число не изменяется, а заряд увеличивается или уменьшается на единицу.

Существует три разновидности β - распада. В одном случае ядро, претерпевающее превращение, испускает электрон, в другом – позитрон, в третьем случае, называемом электронным захватом, ядро поглощает один из электронов K - оболочки, значительно реже L или M - оболочки (соответственно говорят о K -, L -, M - захвате).

Первый вид распада (β^- - распад или электронный распад) протекает по схеме



При β - распаде β - электроны обладают самой разнообразной энергией от 0 до E_{\max} . На рис. 2.1 изображен энергетический спектр электронов, испускаемых ядрами при β - распаде. Площадь, охватываемая кривой, дает общее число электронов, испускаемых в единицу времени, $\frac{dN}{dE}$ – относительное число электронов, энергия которых заключена в интервале dE .

Важной особенностью всех энергетических β^- - спектров является их непрерывность. Во всех случаях кривая начинается с нуля и ограничена со стороны больших энергий. Наибольшая энергия E_{\max} , которой могут обладать электроны, называется верхней

границей β^- - спектра и является характеристикой источника β^- - излучения.

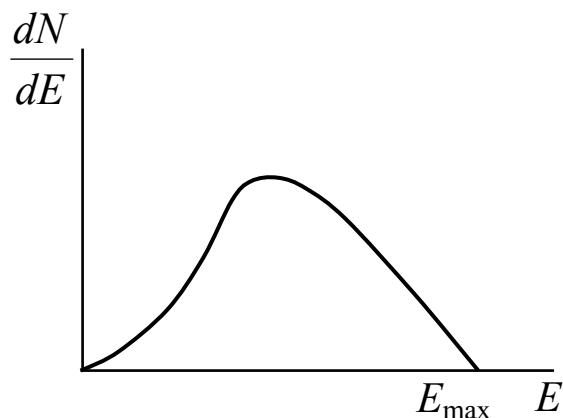


Рис. 2.1

Энергия E_{\max} равна значению энергии Q , освобожденной при β^- - распаде. Следовательно, распады, при которых энергия электрона меньше E_{\max} , протекают с кажущимся нарушением закона сохранения энергии.

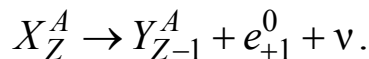
В схеме β^- - распада (2.1) присутствует гипотетическая частица антинейтрино (что означает «маленький нейтрон»), обладающая нулевым зарядом, нулевой массой и спином $\hbar/2$. Введение антинейтрино (а в других типах β^- - распада нейтрино) связано с тем, что явление β^- - радиоактивности поставило перед ядерной физикой ряд проблем: откуда берутся вылетающие электроны, почему их энергии могут принимать всевозможные значения от 0 до E_{\max} и как совместить сохранение при β^- - распаде спина ядра с тем, что, как известно, при β^- - распаде ядра не изменяется число нуклонов в ядре. Поэтому не должен изменяться и спин ядра, равный целому числу \hbar при четном массовом числе A и полуцелому числу \hbar при нечетном числе A . Но вылет электрона, имеющего спин $\hbar/2$, должен изменить спин ядра на величину $\hbar/2$. Решение этих проблем было предложено В. Паули (1931) введением в схему β^- - распадов нейтрино. В случае β^- - распада введение антинейтрино позволило сразу объяснить наличие сплошного энергетического спектра у β^- - излучателей. Полная энергия, теряемая ядром при испускании электрона, действительно равная E_{\max} , но она может различным образом распределяться между электроном и антинейтрино в соответствии с кривой на рис. 2.1. При β^- - распаде нейтрино уносит с собой энергию $E_{\max} - E$, что объясняет кажущееся нарушение закона сохранения

энергии. Естественным образом объяснялось и сохранение спина ядра при β^- - распаде.

Поскольку вместе с электроном уносится и антинейтрино, обладающее, как и электрон, спином $\hbar/2$, суммарный спин обеих частиц при взаимно противоположной ориентации их спинов будет равен нулю. Для решения вопроса о возникновении электронов при β^- - распаде следует еще раз напомнить, что при этом распаде число нуклонов в ядре не изменяется и заряд ядра увеличивается на единицу. Единственной возможностью одновременного осуществления этих условий является превращение в ядре нейтрона n_0^1 в протон p_1^1 с одновременным образованием электрона e_{-1}^0 и вылетом антинейтрино $\tilde{\nu}$



Второй вид распада (β^+ - распад или позитронный распад) протекает по схеме



Процесс сопровождается испусканием позитрона e_{+1}^0 и нейтрино ν .

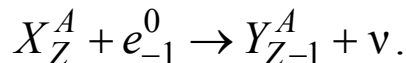
Позитрон является античастицей для электрона. Процесс β^+ - распада протекает так, как если бы один из протонов исходного ядра превратился в нейтрон, испустив при этом позитрон и нейтрино



Третий вид β - распада (электронный захват) заключается в том, что ядро поглощает один из K - электронов (реже L или M) своего атома, в результате чего один из протонов превращается в нейтрон, испуская при этом нейтрино



Схема процесса выглядит следующим образом



Сравнивая схемы превращений (2.2), (2.3), (2.4), видим, что каждый из этих процессов нельзя объяснить делением системы на составные части. Эти процессы представляют собой взаимопревращения микрочастиц. Электрон, позитрон и нейтрино не содержатся в протоне или нейтроне, а рождаются при взаимном превращении последних.

2.2. Взаимодействие β - излучения с веществом

При движении в веществе β - электроны и другие заряженные частицы теряют энергию. Мерой потери энергии заряженной частицы является величина $-\frac{dE}{dx}$, т.е. убыль энергии dE частицы на единицу длины пути dx . Различают потери энергии ионизационные и радиационные. Первый тип потерь обусловлен кулоновским взаимодействием заряженных частиц с электронными оболочками атомов, а второй – взаимодействием с ядрами. Детальный анализ показывает, что ионизационные потери зависят от скорости v заряда по закону $-\left(\frac{dE}{dx}\right) \sim \frac{1}{v^2}$ вплоть до энергий частиц порядка нескольких мегаэлектронвольт. При дальнейшем возрастании скорости убыль энергии dE прекращается. Радиационные потери связаны с тормозным излучением, т.е. испусканием фотонов при торможении β - частицы кулоновским полем ядер атомов вещества. Результатом такого торможения является возникновение рентгеновского излучения с непрерывным спектром частот. Особенно велики тормозные потери энергии в конденсированных средах, где велика плотность ядер и, следовательно, вероятность торможения ядрами заряженных частиц. Исследование радиационных (тормозных) потерь позволило установить следующие закономерности этого явления:

1) радиационные потери возрастают с увеличением заряда ядра атомов вещества прямо пропорционально Z^2 ;

2) тормозное излучение прямо пропорционально квадрату ускорения частицы и, следовательно, при одном и том же заряде частиц (одинаковой силе взаимодействия с ядрами вещества) обратно пропорционально квадрату массы частицы.

Отсюда следует, что тормозное излучение является основным источником потерь энергии для быстрых электронов, в то время как для протонов и более тяжелых заряженных ядер тормозные потери незначительны. При малых энергиях электронов основным источником потерь являются ионизационные потери.

Расчеты показывают, что отношение удельных потерь энергии электронов dE/dx (потеря энергии на единицу длины пути) на излучение (радиационные потери) и ионизацию (ионизационные потери) равно

$$\frac{(dE / dx)_{\text{иониз}}}{(dE / dx)_{\text{изл}}} \approx \frac{800}{ZE(\text{МэВ})}. \quad (2.5)$$

Соотношение (2.5) позволяет оценить вклад радиационных и ионизационных потерь энергии электронов при их прохождении через вещество.

Взаимодействие β - излучения с веществом характеризуется законом поглощения β - лучей от радиоактивного источника

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \quad (2.6)$$

где μ – коэффициент поглощения.

Логарифмируя (2.6), получим:

$$\ln I = \ln I_0 - \mu d \quad \text{или} \quad \mu = \frac{\ln I_0 - \ln I}{d}. \quad (2.7)$$

Если по оси абсцисс отложить d , а по оси ординат $\ln I$, то получится прямая (рис. 2.2).

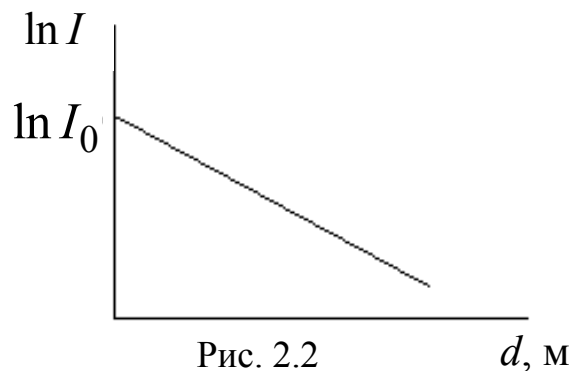


Рис. 2.2

Таким образом, построив такой график, можно определить линейный коэффициент поглощения. Коэффициент связан с верхней границей энергетического спектра β - частиц E_{max} соотношением

$$\frac{\mu}{\rho} \approx \frac{22}{E_{\text{max}}^{4/3}} \quad 0,5 < E_{\text{max}} < 6 \text{ МэВ}, \quad (2.8)$$

где ρ – плотность вещества, кг/м^3 .

Используя выражение (2.8), можно оценить значение величины

$$E_{\text{max}} \approx \left(\frac{22\rho}{\mu} \right)^{3/4} \quad (\text{МэВ}). \quad (2.9)$$

3. Экспериментальная часть

3.1. Приборы и принадлежности

- а) измеритель скорости счета импульсов типа RUST-3;
- б) счетчиковый блок детектирования SGB-2P;
- в) цилиндрическая камера с радиоактивным препаратом.

3.2. Описание установки

Структурная схема установки приведена на рис. 3.1.

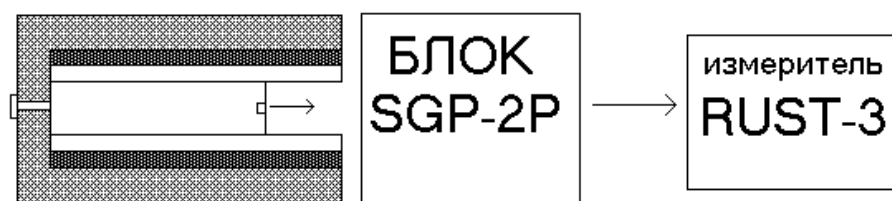


Рис. 3.1

В работе используется универсальный измеритель типа RUST-3, который предназначен для измерения скорости счета импульсов и для сигнализации о превышении установленной скорости счета импульсов. Измеритель имеет внутренний стабилизированный источник высокого напряжения для питания счетчиков. Это напряжение регулируется ступенчато от 375 до 1575 В. Напряжение питания блоков детектирования устанавливается выбором переключателей «грубо» и «точно». Измеритель имеет 4 порога дискриминации, которые устанавливаются ступенчато на значения: 25, 50, 100 и 250 мВ. Кнопкой «сброс» сбрасываются показания измерительного прибора. Измеритель обеспечивает звуковую сигнализацию о превышении заданной скорости счета импульсов, устанавливаемой ступенчато на значения 20, 40, 60, 80, 100% каждого измерительного поддиапазона. Сигнализация осуществляется прерывистым звуковым сигналом с частотой повторения, прямо пропорциональной показаниям измерительного прибора. Время установления рабочего режима измерителя не более 3 мин. Электрическое соединение между измерителем и блоком детектирования осуществляется специальным кабелем.

В качестве радиоактивного источника β -излучения используется изотоп стронция Sr_{38}^{90} с периодом полураспада 28 лет, распад которого протекает по схеме (рис. 2.2).

3.3. Требования по технике безопасности

Для электропитания экспериментальной установки используется сетевое напряжение 220 В, подводимое к розетке, расположенной на стене.

Установка подсоединяется к розетке сетевым шнуром с двухполюсной вилкой. Все токоведущие части установки закрыты, что исключает их случайное касание. Вся установка заземлена. Радиоактивный источник помещен внутри закрытой алюминиевой цилиндрической камеры, толщина стенок которой исключает проникновение β - излучения за ее пределы.

При выполнении работы необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием.
2. Проверить заземление лабораторной установки и изоляцию токоведущих проводов, немедленно сообщить преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях.
3. Не загромождать рабочее место оборудованием, не относящимся к выполняемой работе.
4. Не оставлять без присмотра лабораторную установку.
5. По окончании работы вынуть вилку из розетки и привести в порядок свое рабочее место.

3.4. Порядок выполнения работы

1. Перед включением вилки в сеть 220 В убедиться в правильности положения переключателей на лицевой панели измерителя скорости счета импульсов:

- а) «ВН» (грубая регулировка напряжения) в положение 375 В;
 - б) «+» (точная регулировка напряжения) в положение 75 В;
 - в) «измер. диапазон» (измерительный диапазон) в положение 1 К (1000 имп/с);
 - г) «постоянная времени» в положение 10 с;
 - д) «порог дискр.» (порог дискриминации) в положение 100 мВ;
 - е) «сигнализация» в положение 100.
2. Вставить сетевую вилку измерителя в розетку 220 В и прогреть прибор в течение нескольких минут.

3. Вращением винтовой резьбы цилиндрической камеры установить положение «1», соответствующее толщине слоя воздуха в 1 см, и, выждав в течение 3 минут, произвести измерение скорости

счета импульсов по верхней шкале (при работе на пределе «1 К» цена деления равна 100).

4. Далее произвести измерения для значений толщин слоя воздуха в интервале от 1 до 10 см с шагом 1 см и результаты занести в таблицу (при толщине слоя воздуха $6 \div 10$ см переключатель «измер. диапазон» поставить в положение 100, при этом цена деления равна 10).

5. Переключатель «ВН» поставить в положение «ВЫКЛ. ПРИБ.» и обязательно вынуть вилку из розетки (в противном случае блок детектирования останется под напряжением). Вращением винтовой резьбы цилиндрической камеры установить положение «1 см».

6. Результаты измерения изобразить на графике $I = f(d)$.

7. Построить график $\ln I = f(d)$ и по его наклону определить коэффициент поглощения μ с использованием соотношения (2.7).

8. Рассчитать верхнюю границу β^- - спектра по формуле (2.9), используя в качестве плотности воздуха $\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$; в качестве μ взять среднее арифметическое значений экспериментальных коэффициентов поглощения.

9. Оценить вклад потерь энергии β^- - электронов при их взаимодействии с атомами воздуха по формуле (2.5), приняв в качестве кинетической энергии β^- - частиц среднюю энергию частиц, которая равна $E_{\max}/3$ (МэВ). Значения Z взять для водорода H_2 ($Z = 2$), азота N_2 ($Z = 28$), кислорода O_2 ($Z = 32$).

10. Написать вывод, в котором указать: какой математической зависимостью можно аппроксимировать график $I = f(d)$; какой тип потерь наиболее важен при прохождении β^- - электронов в воздухе.

Таблица

I , имп/с	d , м	$\ln I$	μ , м^{-1}	E_{\max} , МэВ
	0,01			
	0,02			
	.			
	.			
	.			
	0,1			

4. Контрольные вопросы

1. Приведите схему различных видов β - распада.
2. Какие проблемы перед ядерной физикой поставило явление β - радиоактивности?
3. Как доказать, что при β^- - распаде, кроме электронов излучается антинейтрино?
4. Опишите типы потерь энергии при прохождении β - электронов через вещество.
5. Какой вид имеет закон радиоактивного поглощения β - лучей?
6. Как экспериментально определяется линейный коэффициент поглощения?

Список литературы

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