

**Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования**

Исследование поглощения радиоактивного излучения в веществе
Методические указания

Иркутск 2003

Печатается по решению научно - методического совета
Иркутского государственного университета

Кратко рассматривается теория радиоактивного излучения в веществе.
Студентам предлагается экспериментально проверить закон поглощения β - излучения в веществе, определить коэффициент поглощения и энергию β - электронов.

Предназначены для студентов 1 и 2 курсов естественных факультетов.
Библиогр.4 назв. Ил.3. Табл. 1.

Составители: К.ф.-м.н. Алексеева Л.И.,
к.ф.-м.н. Глазунов О.О.
(кафедра общей и космической физики),

Рецензент к.ф.-м.н., доц. Дорохова В.В.

Цель работы

Знакомство с теорией радиоактивного излучения и экспериментальная проверка закона поглощения β - излучения в веществе,

Краткая теория.

Хорошо известно, что целый ряд атомных ядер, встречающихся в природе, например, радий, уран, торий и др., способен самопроизвольно испускать α -, β -, γ - частицы. Такие ядра (элементы) называют радиоактивными. Про них говорят, что они обладают **естественной** радиоактивностью. Самопроизвольное превращение атомных ядер происходит по закону радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} , \quad (1)$$

где N_0 и $N(t)$ – соответственно, первоначальное количество ядер и количество ядер в данный момент времени t , λ – вероятность распада ядра за единицу времени или постоянная распада, характерная для радиоактивного вещества. Знак минус указывает на уменьшение числа атомов радиоактивного вещества со временем.

Период полураспада (T) – это время за которое число радиоактивных ядер уменьшается в два раза.

$$\frac{N_0}{N(T)} = 2 = e^{\lambda T}; \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} \cong \frac{0.7}{\lambda}. \quad (2)$$

T и λ характеризуют данный радиоактивный элемент и существенно отличаются для разных атомов. Наряду с такими "долгоживущими" элементами как уран ${}_{92}\text{U}^{238}$ ($T = 4,5 \cdot 10^9$ лет) в природе встречаются и такие "короткоживущие" элементы, как, например полоний ${}_{84}\text{Po}^{214}$ ($T = 1,5 \cdot 10^{-4}$ с).

Во всех видах радиоактивных превращений выполняются законы сохранения энергий, массового числа и электрического заряда.

α – распад. В процессе α – распада из радиоактивного ядра испускается α – частица, состоящая из двух протонов и двух нейтронов – ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$. При этом заряд ядра уменьшается на две единицы, а массовое число – на четыре единицы. Распад протекает по схеме:



Буквой X обозначен химический символ распадающегося (материнского) ядра, буквой Y – образующегося (дочернего) ядра. Например:

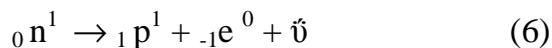


β – распад. В процессе β – распада из радиоактивного ядра самопроизвольно испускается электрон (электронный β^- – распад) или позитрон (позитронный β^+ – распад), которые возникают в самый момент β – распада. Электронов и позитронов в ядре нет. Третьим видом β – распада является захват ядром электрона из K – оболочки своего атома (электронный захват). Во всех трёх случаях β – распад сопровождается испусканием нейтрино или антинейтрино.

Рассмотрим электронный β^- распад



Чтобы подчеркнуть сохранение заряда и числа нуклонов в процессе β – распада электрону приписано зарядовое число $Z = -1$ и массовое число $A = 0$. Дочернее ядро имеет атомный номер на единицу меньше, чем у материнского ядра, массовые числа обеих ядер одинаковые. Наряду с электроном испускается также антинейтрино $\bar{\nu}$. Весь процесс протекает так, как если бы один из нейтронов ядра ${}_Z\text{X}^A$ превратился в протон, претерпев превращение по схеме:



Необходимость введения нейтрино или антинейтрино при β – распаде диктуется законом сохранения энергии. Атомные ядра при радиоактивном распаде теряют вполне определённую энергию. Причём эта энергия больше, чем та, которую уносят β – частицы. Для выполнения закона сохранения энергии следовало предположить возникновение в процессе β – распада ещё

одной частицы. Существование этой частицы было теоретически предсказано В.Паули в 1931г., и она была названа нейтрино Э.Ферми. Экспериментально её существование было доказано в 1956г.

γ - лучи испускаются атомными ядрами при его переходе из возбуждённого в нормальное состояние. Они представляют собой поток фотонов, имеющих очень высокую частоту $\nu \sim 10^{20}$ Гц, что соответствует очень короткой длине волны $\lambda = c/\nu \sim 10^{-12}$ м, энергия $h\nu \approx 1\text{МэВ}$.

Поглощение излучения веществом

При прохождении через вещество заряженных частиц или γ - квантов постепенно теряется их энергия. Общая картина процессов, протекающих при движении частиц высоких энергий через поглотитель, крайне сложна. Частицы взаимодействуют с электронами, находящимися на различных оболочках атомов вещества, рассеиваются кулоновскими полями ядер, могут вызывать различные ядерные реакции и вторичные эффекты. Например, пучок высокоэнергетических электронов порождает в веществе мощный поток γ - квантов. Вклад того или иного процесса в величину потери энергии частиц – dE/dx существенно зависит от типа частиц и их энергии.

Так, пролетая через вещество, α –частица постепенно теряет свою энергию, затрачивая её на ионизацию молекул вещества. Пробег α –частиц в воздухе составляет 30 – 90 мм, в алюминии – 0,06 мм, в биологической ткани 0,12 мм. α –частицы полностью задерживаются обычным листом бумаги.

γ - лучи – очень жёсткое электромагнитное излучение, они не отклоняются электрическим и магнитными полями, распространяются со скоростью света, при прохождении через кристалл обнаруживают дифракцию. Гамма -лучи являются одним из самых проникающих излучений. Наиболее жёсткие γ - лучи проходят через слой свинца толщиной 5 см или через слой воздуха в несколько сотен метров.

В данной лабораторной работе изучается взаимодействие β – электронов, имеющих энергию порядка 0,4 МэВ с веществом (слюда). Поэтому подробно ознакомимся рассмотрением процессов, характерных для этих частиц.

При прохождении через вещество электроны теряют свою энергию вследствие электромагнитного взаимодействия с электронами атомов поглотителя, при этом происходит ионизация и возбуждение атомов – ионизационные потери $(-dE/dx)_{\text{ион}}$.

Число электронов, прошедших слюду заданной толщины, является постепенно уменьшающейся функцией толщины поглотителя. Обозначим dN число электронов, поглотившихся слоем dx вещества.

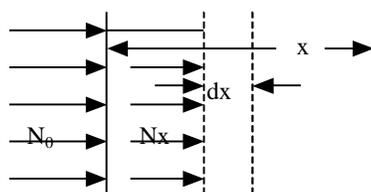


Рис.1

Тогда $dN = -N_x k dx$, где k – коэффициент поглощения β излучения в веществе, зависящий только от энергии β – электронов. $k = \rho \mu$, ρ – плотность вещества, μ – коэффициент ослабления β излучения.

Разделив переменные $dN/N = -k dx$ и интегрируя это выражение, получим экспоненциальный закон ослабления β излучения в веществе.

$$N = N_0 e^{-kx} = N_0 e^{-\rho \mu x} . \quad (7)$$

Для тяжёлых заряженных частиц траектория в веществе представляет собой прямую линию, для электронов траектория не является прямолинейной из-за большого числа актов упругого рассеяния на электронах вещества. След движения электрона имеет извилистый характер. Максимальная толщина слюды, поглощающей практически все падающей на неё электроны, характеризует так называемый практический или эффективный пробег, т.е. $L_{\text{эфф}}$.

при полном поглощении частиц ($N = 0$), который может быть оценён путём экстраполяции кривой поглощения, представленной в полулогарифмическом масштабе в координатах $\{\ln N; x\}$. По значению $L_{\text{эфф.}}$ можно оценить среднюю энергию β электронов по эмпирической формуле

$$L_{\text{эфф.}} = 0,407 E^{1,38}, \quad (8)$$

справедливой для значений энергий $0,15 < E < 0,8$ МэВ, можно оценить значение энергии β – электронов [4].

Метод регистрации β – излучения

Для регистрации и измерения характеристик ядерных излучений применяют самые разнообразные приборы : ионизационные камеры, пропорциональные счётчики, счётчики Гейгера-Мюллера, сцинтиляционные счётчики, диффузионные камеры, камеры Вильсона, пузырьковые и искровые камеры, черенковские счётчики и др. Кроме того, регистрируют ядерные излучения также с помощью специальных фотоэмульсий, а за последнее время разработаны твёрдые полупроводниковые и другие детекторы ядерных излучений.

Газонаполненные детекторы (счётчики) благодаря хорошей чувствительности и излучениям разных видов, простоте, дешевизне являются самыми распространёнными приборами регистрации. Такой счётчик представляет собой наполненную газом оболочку, в объём которой введены два электрода. Цилиндрический счётчик состоит из металлической трубки и тонкой металлической нити, натянутой по оси цилиндра. Нить служит анодом, трубка катодом. В качестве наполняющих разреженных газов используются аргон, неон, азот и т.д. На счётчик подают высокое напряжение U порядка 300 – 1000 В, создающее в газовом объёме счётчика электрическое поле. Как правило, катод счётчика поддерживают под потенциалом Земли, что гарантирует безопасность в работе. Схема включения счётчика показана на рис. 2.

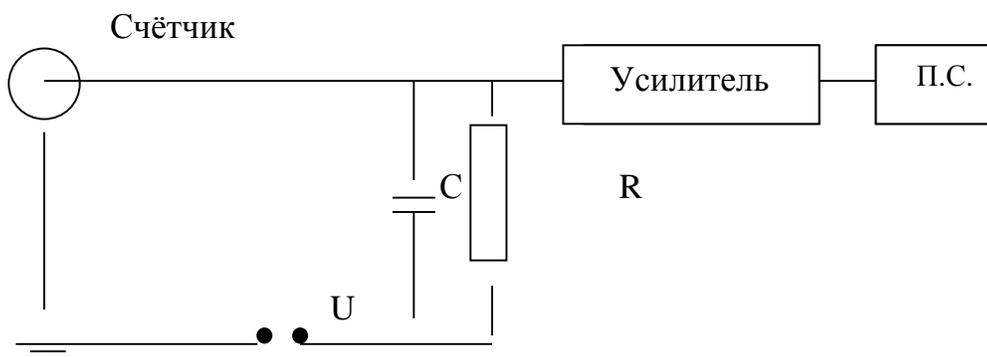


Рис.2

C – общая ёмкость счётчика и входа усилителя, R – сопротивление нагрузки. Регистрация протекает следующим образом. Частица ядерного излучения, попадая внутрь счётчика, вызывает ионизацию газов благодаря чему возникает импульс тока. Он усиливается на сопротивлении R и подаётся на анализирующую и пересчётную схему ПС.

Основной характеристикой счётчика является зависимость числа зарегистрированных частиц от напряжения (при постоянном потоке частиц). До тех пор, пока напряжение на счётчике меньше некоторого значения U_1 (рис. 3), счётчик не "считает".

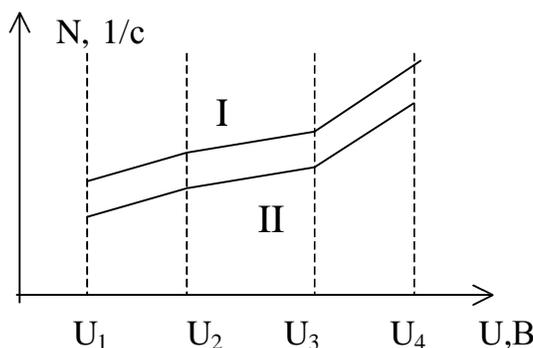


Рис.3.

Если увеличить напряжение на электродах, не меняя при этом интенсивности облучения, то можно отметить три стадии работы счётчика, в полном соответствии с областями его вольт – амперной характеристики.

При росте напряжения от U_1 до U_2 (рис.3), число импульсов в секунду растёт с увеличением напряжения. На этом участке счётчик регистрирует не все частицы, попадающих в него. На участке U_2U_3 (область тока насыщения вольт - амперной характеристики) число импульсов не меняется (или почти не меняется) с ростом напряжения. Здесь счётчик сосчитывает все частицы, попавшие в его рабочий объём. Горизонтальный участок кривой называется

"плато". Разность $U_3 - U_2$ называется протяжённостью плато. (Кривая I соответствует более интенсивному потоку внешних частиц, чем кривая II). Наклон и величина плато зависит от количества самопроизвольных разрядов, которые обусловлены попаданием в него частиц. Правее U_3 число самопроизвольных разрядов увеличивается, и когда напряжение достигает некоторого значения U_4 , разряд в счётчике не гаснет (область самостоятельного разряда вольт -амперной характеристики). У хороших счётчиков плато горизонтальное, а его длина равна нескольким сотням вольт.

При работе со счётчиком рабочее напряжение выбирают в пределах плато, для того чтобы колебания напряжения не оказывали влияние на число сосчитанных импульсов. А число частиц внешнего ионизатора, проникших во внутрь счётчика, было наиболее достоверным.

Одной из характеристик счётчика является фон. Фон счётчика – это средняя скорость счёта в отсутствие радиоактивного препарата. Он обусловлен в основном космическими лучами, радиоактивными примесями в материалах, из которых изготовлен счётчик, и самопроизвольными разрядами.

Порядок выполнения работы

Измерение рабочей характеристики счётчика.

- 1) Включить пересчетку и источник напряжения УИП – 1 и дать им прогреться. Убедиться, что домик с радиоактивным препаратом закрыт свинцовой пластинкой.
- 2) Установить на счётчике напряжение 300 В и определить число импульсов в течение трёх минут. Затем увеличивать напряжение через 20 Вольт до 600 Вольт. Показания приборов записывать в таблицу.
- 3) Построить рабочую характеристику счётчика $N = f(U)$. По оси ординат – число импульсов, по оси абсцисс – напряжение.

Проверка закона поглощения β – излучения в веществе.

- 1) Определение фона счётчика.

Установку привести в рабочее состояние. На счётчик подать рабочее напряжение, соответствующее "плато" рабочей характеристики и определяют число импульсов N_{ϕ} в течение трёх минут, соответствующее фону излучения (домик с радиоактивным препаратом закрыт свинцом).

2) Удалить с домика свинцовую пластинку и измерить в течение трёх минут число импульсов, соответствующее отсутствию поглотителя (N_0).

3) Закрывать окошечко домика фильтрами слюды – одним, двумя, тремя слоями и т.д., не менее 10 раз. Каждый раз определить число импульсов в течение трёх минут. Толщину фильтров измерить микрометром, определяя общую толщину фильтра $x = x_1 + x_2 + \dots$. Все результаты занести в таблицу 1. По полученным данным построить график зависимости $\ln(N - N_{\phi}) = f(x)$. При этом, если выполняется закон поглощения (7), то на графике должна получиться прямая линия.

Таблица 1

NN n/n	X, мм	N, 1/c	ln (N– N _φ)
1			
2			
и			
т.д.			

Определение коэффициента поглощения β излучения в веществе и энергии β электронов

Для определения коэффициента поглощения поступают следующим образом. Логарифмируют формулу (7), записывают полученное выражение для двух значений x и вычитают второе из первого:

$$\ln N_1 = \ln N_0 - kx_1; \quad (9)$$

$$\ln N_2 = \ln N_0 - kx_2, \text{ откуда}$$

$$k = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{(x_2 - x_1)}.$$

Для вычисления k на зависимость $\ln N = f(x)$ выбирают две точки, наиболее удалённые друг от друга и находящиеся на прямой. Соответствующие этим точкам значения $\ln N$ и x подставляют в формулу (9).

Определить по графику $L_{\text{эфф}}$. Для этого продлить на графике прямую до пересечения с осью x . Точка пересечения определит значение $L_{\text{эфф}}$. Оценить значение энергии β электронов по формуле (8).

Контрольные вопросы

1. Расскажите об основных типах радиоактивных превращений. Приведите примеры.
2. Выведите закон радиоактивного распада ядер. Что такое период полураспада?
3. Расскажите об особенностях β – распада, о нейтрино.
4. Выведите закон поглощения излучения в веществе. Что такое длина пробега частиц?
5. Объясните устройство и принцип действия газового счётчика.
6. Что такое характеристика счётчика, "плато"?
7. Какая реакция радиоактивных превращений используется в данной работе, какая энергия β – излучения?

Рекомендуемая литература.

1. Грабовский Р.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1980.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1979, т.3.
3. Широков Ю.М., Юдин М.П. Ядерная физика. М.: Наука, 1980, 53.
4. Практикум по ядерной физике. М.: Изд-во МГУ, 1979.

*Алексеева Лариса Ивановна
Глазунов Олег Олегович,*

Определение показателя адиабаты воздуха

Подписано в печать 26.04.02 . Формат 60X90 1/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл.печ.л. 0,8.Уч.-изд. л. 0,7. Тираж 150 экз. План 2003г. Поз.

Редакционно - издательский отдел
Иркутского государственного университета