



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
«Физика»

«Основы дозиметрии»

(раздел «Ядерная физика»)

Авторы
Кривошеев Н.В.,
Ларина Т.Н.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Основы дозиметрии: методические указания к лабораторной работе № 65 по физике.

Методические указания содержат краткую теорию метода, порядок выполнения лабораторной работы, требования техники безопасности, требования к оформлению результатов, а также перечень контрольных вопросов и тестов.

Авторы

к.ф.-м.н., проф. Н.В.Кривошеев,
к.ф.-м.н., доцент Т.Н. Ларина



Оглавление

Лабораторная работа № 65 ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ.....	4
Контрольные вопросы	9
Тесты [4]	9
Указания по технике безопасности.....	12
Литература.....	12

Лабораторная работа № 65 ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ

Цель работы: Знакомство с видами радиоактивного излучения и основами дозиметрического контроля.

Приборы и принадлежности: Детектор-индикатор радиоактивности КВАРТЕКС РД 8901, источники радиоактивного излучения.

Источники радиоактивного излучения[1, 2]

В зависимости от вида излучения источники подразделяются на

α -, β -, γ - источники, а также источники нейтронов. Радиоактивное излучение возникает вследствие спонтанного распада нестабильных ядер. При этом в данном количестве вещества число радиоактивных ядер уменьшается со временем по закону:

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

где N_0 – начальное число не распавшихся ядер; λ – постоянная распада, характерная для каждого радиоактивного источника.

Если в процессе распада образуются стабильные ядра, то их накопление будет происходить по закону:

$$N_c(t) = N_0(1 - e^{-\lambda t}). \quad (2)$$

Если продукты распада также оказываются радиоактивными, то цепь последовательных превращений радиоактивных ядер можно представить схемой

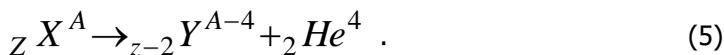


Ядро А является исходным, при его распаде образуется ядро В, распад ядра В приводит к образованию ядра С и т.д. Этот процесс последовательных превращений заканчивается образованием стабильного ядра того или иного изотопа. Длительность жизни ядер характеризуют периодом полураспада, т.е. интервалом времени $T_{1/2}$, по истечении которого распадается половина радиоактивных ядер. Величины λ и $T_{1/2}$ связаны соотношением

$$T_{1/2} = \frac{\text{Ln } 2}{\lambda}. \quad (4)$$

Альфа – излучение радиоактивных ядер

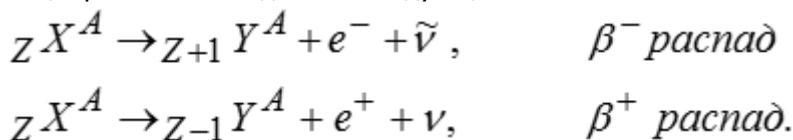
Распад некоторых нестабильных ядер сопровождается излучением α -частиц происходящий по схеме:



Здесь A – массовое число, равное числу нуклонов в ядре, Z – зарядовое число, равное числу протонов в ядре. α - Излучение представляет собой поток ядер гелия ${}_2 He^4$; заряд α - частицы равен $+2e$, а масса совпадает с массой ядра изотопа гелия ${}_2 He^4$, e^- – элементарный электрический заряд. В настоящее время известно около 170 α – активных изотопов. Практически все ядра, для которых $Z > 82$, являются α радиоактивными. Среднее время жизни α – активных ядер изменяется в очень широких пределах – от $3 \cdot 10^7$ с для ${}_{84}Po^{212}$ до $5 \cdot 10^{15}$ лет для ${}_{60}Nd^{144}$. α - Излучение имеет дискретный спектр, отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей и малой проникающей способностью (например, поглощаются слоем алюминия толщиной примерно 0,05 мм).

Бета – излучение радиоактивных ядер

В настоящее время известно около 1300 неустойчивых ядер, распад которых сопровождается излучением β^- – частиц, нейтрино ν , либо антинейтрино $\bar{\nu}$. Процессы излучения β^- – частиц протекают по одной из следующих схем:



Энергетический спектр β^- – частиц сплошной. β^- - Излучение отклоняется электрическим и магнитным полями; его ионизирующая способность значительно меньше (примерно в сто раз), а проникающая способность гораздо больше (поглощается слоем алюминия толщиной примерно 2 мм), чем у α - частиц.

Поглощение потока электронов с одинаковыми скоростями в однородном веществе подчиняется экспоненциальному закону

$$N = N_0 e^{-\mu x}, \quad (6)$$

где N_0 и N – число электронов на входе и выходе слоя вещества толщиной x , μ – коэффициент поглощения. β^- - Излучение сильно рассеивается в веществе, поэтому μ зависит не только от вещества, но и от размеров и формы тел, на которые β^- - излучение падает.

Гамма-излучение ядер

Большинство атомных ядер, возникающих при α – и β – распадах, образуются в возбужденных состояниях. Переход ядра из возбужденного состояния в основное или промежуточное энергетическое состояние может происходить путем излучения γ – квантов, либо путем излучения других каких-либо частиц. γ – Излучение не отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью (например, проходит через слой свинца толщиной

5 см). γ – Излучение является коротковолновым электромагнитным излучением с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda < 10^{-10}$ м, из-за чего его корпускулярные свойства ярко выражены, т.е. его можно рассматривать как поток частиц γ – квантов (фотонов). γ – Спектр, являющийся распределением числа γ – квантов по энергиям, линейчатый, что является доказательством дискретности энергетических состояний атомных ядер.

Основные дозиметрические единицы

Основная задача дозиметрии — определение дозы излучения радиоактивных

препаратов и измерение их активности, что позволяет разрабатывать методы защиты от радиоактивного излучения.

Поглощенная доза излучения D определяется отношением энергии dW излучения, поглощенной веществом, к массе поглощающего вещества [3]:

$$D = \frac{dW}{dm} . \quad (7)$$

Единицей поглощенной дозы является грэй (Гр); 1 Гр=1 Дж/кг. Специальная единица поглощенной дозы – рад; 1 рад=0,01 Гр. Для сравнения биологических эффектов различных видов излучения служит единица бэр: 1 бэр – единица дозы любого вида ионизирующего излучения в биологической ткани, которая создает тот же биологический эффект, что и доза 1 рад рентгеновского или гамма-излучения.

Экспозиционная доза X – отношение полного заряда dQ ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, к массе dm ионизированного воздуха:

$$X = \frac{dQ}{dm} . \quad (8)$$

Основы дозиметрии

Единица экспозиционной дозы $1\text{Кл}\cdot\text{кг}^{-1}$. Специальной единицей экспозиционной дозы является рентген (Р): $1\text{Р}=2,58\cdot 10^{-4}\text{Кл}/\text{кг}$. Рентген – единица экспозиционной дозы рентгеновского или гамма–излучения, при прохождении которого через $0,001293\text{г}$ воздуха (масса 1 см^3 атмосферного воздуха при нормальных условиях) в результате завершения всех ионизационных процессов в воздухе создаются ионы, с величиной заряда в $0,33\cdot 10^{-9}\text{ Кл}$ каждого знака.

Мощность экспозиционной дозы определяется скоростью изменения экспозиционной дозы:

$$X' = \frac{dX}{dt} \quad (9)$$

Для оценки радиационной опасности хронического облучения излучением произвольного состава используют эквивалентную дозу D_{eq} .

Предельно допустимая доза (ПДД) – наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья человека неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Уровень радиации до величины приблизительно 50 мкР/час считается безопасным. Естественный радиационный фон, зависящий от высоты территории над уровнем моря и геологического строения каждого региона, в среднем, в России: 4–20 мкР/ч или 35-175 мР/год.

Приборы дозиметрического контроля

Приборы, предназначенные для обнаружения и измерения радиоактивных излучений, называются дозиметрическими. Практически все методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений (α , β) частиц, а также γ -квантов и нейтронов основаны на их способности производить ионизацию и возбуждение атомов среды. Заряженные частицы вызывают эти процессы непосредственно, а γ – кванты и нейтроны обнаруживаются по ионизации, вызываемой возникающими в результате их взаимодействия с электронами и ядрами атомов среды быстрыми заряженными частицами. Вторичные эффекты, сопровождающие рассмотренные процессы, такие, как вспышка света, электрический ток, потемнение фотопластинки, позволяют регистрировать пролетающие частицы, считать их, отличать друг от друга и измерять их энергию. В детекторе-индикаторе радиоактивности КВАРТЕКС РД 89 01, используемом в данной работе, в качестве регистриру-

Основы дозиметрии

ющего устройства используется счетчик Гейгера–Мюллера [1].

Ход работы

Задание. Определите мощность экспозиционной дозы радиоактивного излучения с помощью детектора-индикатора радиоактивности КВАРТЕКС РД 89 01 и сравните ее с предельно допустимой мощностью экспозиционной дозы по требованию радиационной безопасности.

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с инструкцией подготовить к работе детектор-индикатор радиоактивности КВАРТЕКС РД 89 01[5]
2. Провести 5 циклов измерений фоновой мощности экспозиционной дозы излучения X'_{ϕ} . Результаты измерений занести в таблицу 1. Найти среднее значение мощности экспозиционной дозы фона $X'_{\phi\text{сред}}$ и занести его в таблицу 1.

Таблица 1

$X'_{\phi 1}$, мкР/час	$X'_{\phi 2}$, мкР/час	$X'_{\phi 3}$, мкР/час	$X'_{\phi 4}$, мкР/час	$X'_{\phi 5}$, мкР/час	$X'_{\phi\text{сред}}$, мкР/час

3. На расстоянии 3 – 5 см от счетчика расположить радиоактивный источник. Провести 5 циклов измерений мощности экспозиционной дозы X' . Найти среднее значение мощности экспозиционной дозы $X'_{\text{сред}}$ и внести его в таблицу 2.

Таблица 2

X'_1 , мкР/час	X'_2 , мкР/час	X'_3 , мкР/час	X'_4 , мкР/час	X'_5 , мкР/час	$X'_{\text{сред}}$, мкР/час

Оценить погрешности полученных результатов [5].

4. Сравнить полученные результаты с предельно допустимой мощностью экспозиционной дозы по требованию радиационной безопасности.

Контрольные вопросы

1. Виды радиоактивного излучения и их свойства?
2. Что такое ионизирующая способность?
3. Что такое проникающая способность?
4. Какое излучение обладает наибольшей ионизирующей способностью?
5. Какое излучение обладает наибольшей проникающей способностью?
6. Что такое поглощенная доза?
7. Что такое экспозиционная доза?
8. Что такое предельно допустимая доза?

Тесты [4]

1. Какие из нижеприведенных утверждений не справедливы?

- 1) При α -распаде порядковый номер радиоактивного элемента увеличивается на единицу. 2) Характерный размер ядра 10^{-8} м. 3) β -излучение приводит к уменьшению массы атома. 4) Поглощенная доза излучения измеряется в СИ в Кр (кюри).

Варианты ответов: 1) 1 и 2; 2) 3 и 4; 3) 2, 3 и 4; 4) 1, 2 и 3; 5) 1, 3 и 4.

3. Какое или какие из нижеприведенных утверждений не справедливы?

1) Большинство тяжелых ядер, поглотив нейтрон, переходит в возбужденное состояние, поэтому более вероятен радиоактивный распад, в результате которого ядро переходит в более устойчивое состояние.

2) Атом находясь в основном состоянии, может как излучать так и поглощать фотоны. 3) Уменьшение удельной энергии связи (в тяжелых ядрах) с увеличением массового числа, объясняется тем, что энергия притяжения растет пропорционально числу протонов, а энергия электростатического отталкивания пропорциональна квадрату их зарядов.

Варианты ответов: 1) Только 1; 2) Только 2; 3) Только 3; 4) 1 и 2; 5) 1 и 2.

5. В результате семи α -распадов и четырех β -распадов, элемент содержащий 235 нуклонов, превращается в элемент, занимающий 82 позицию в таблице Менделеева. Какое из нижеприведенных утверждений справедливо?

Варианты ответов: 1) первоначальный элемент имеет порядковый номер 100, а конечный – имеет массовое число 207;

2) первоначальный элемент имеет порядковый номер 207, а конечный – имеет массовое число 82;

3) первоначальный элемент имеет порядковый номер 92, а конечный имеет массовое число 207; 4) первоначальный элемент имеет порядковый номер 207, а конечный – имеет массовое число 100; 5) первоначальный элемент имеет порядковый номер 92, а конечный – имеет массовое число 211.

6. На рисунке 3 представлен график зависимости количества числа распавшихся атомов для пяти радиоактивных элементов от времени.

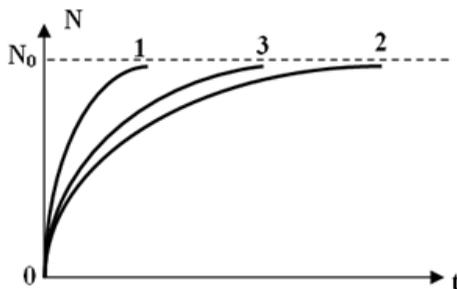


Рис. 3.

В каком из нижеприведенных соотношений, находятся их периоды полураспадов?

Варианты ответов: 1) $T_1 > T_2 > T_3$; 2) $T_1 < T_2 < T_3$;
3) $T_1 > T_3 > T_2$; 4) $T_1 < T_3 < T_2$; 5) Нельзя определить.

7. Период полураспада одного из изотопов фосфора равен 14 дням. На сколько процентов число распавшихся ядер через 28 суток будет отличаться от их количества в момент начала наблюдения?

Варианты ответов: 1) на 75% больше; 2) на 75% меньше;
3) на 25% больше; 4) на 25% меньше; 5) нельзя определить.

8. Изотоп ${}_{93}\text{Np}^{237}$ нептуния является родоначальником радиоактивного ряда, который включает в себя 11 радиоактивных α и β - распадов и заканчивается изотопом ${}_{83}\text{Bi}$. Сколько нейтронов содержится в конечном ядре и сколько было α и β распадов?

Варианты ответов: 1) α - распадов 7; β - распадов 4; число нейтронов 205;
2) α - распадов 7; β - распадов 4;

Основы дозиметрии

число нейтронов 122; 3) α - распадов 4; β - распадов 7;
 число нейтронов 122; 4) α - распадов 4; β распадов 7; чис-
 ло нейтронов 205; 5) α - распадов 6; β - распадов 5; число
 нейтронов 205.

9. Какие из нижеприведенных утверждений не справедливы?

- 1). Изотопы одного и того же элемента отличаются порядковым номером.
2. Изотопы одного и того же элемента отличаются массовым числом.
3. Принцип действия счетчика Гейгера основан на явлении ударной ионизации.
4. За время, равное двум периодам полураспада радиоактивного элемента, число распавшихся атомов уменьшится на 25%.

Варианты ответов:

- 1) 1 и 4; 2) 2 и 3; 3) 2 и 4; 4) 3 и 4; 5) 2;3 и 4.

10. Какой из нижеприведенных графиков, представленных на рис. 4, наиболее

точно отражает зависимость числа распавшихся атомов радиоактивного вещества от времени?

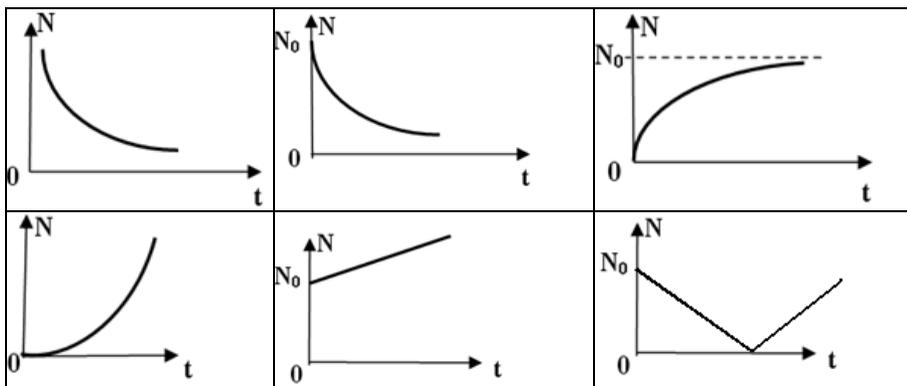


Рис. 4

Варианты ответов:

Указания по технике безопасности

Внимание! Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

1. Запрещается:

1. Включать или выключать электрические рубильники силовых щитов;

Включать схему (подавать электрическое напряжение) без предварительной её проверки лаборантом или преподавателем; производить любые изменения в схеме в процессе работы; оставлять без присмотра включенную установку. При обнаружении неисправного оборудования, электрических розеток и вилок немедленно сообщайте об этом лаборанту или преподавателю. На неисправном оборудовании работать запрещается. По окончании лабораторной работы обязательно отключите установку от электрического напряжения.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2006. – 560с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики, книга 3. Атомная и ядерная физика. – М.: «Наука», 2003 г. – 357 с.
3. Лабораторный практикум по физике /Под ред. К.А. Барсукова и Ю.И. Уханова. М., 1988. –351с.
4. Квантовая, атомная и ядерная физика. Тесты по физике: учеб.-методич. пособие / Э. В. Завитаев, Е. П. Козловская, П. Ф. Шаблий. -М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – 24с.
5. Паспорт детектора–индикатора радиоактивности КВАРТЕКС РД 89 01.