

И.Н. Фетисов

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОЗДУХА

Методические указания к лабораторной работе Я- 65

по курсу общей физики

Москва, 2010

Цель работы – ознакомление с радиоактивностью, законами простого и сложного распадов; в экспериментальной части - наблюдение радиоактивности воздуха, обусловленной распадом радона; регистрация убывания активности воздушного фильтра и измерение периода полураспада.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Радиоактивные превращения

Атомы состоят из ядра и электронной оболочки. Линейные размеры атома около 10^{-10} м, а ядра – на 4-5 порядков меньше. Ядра состоят из протонов и нейтронов (нуклонов), между которыми действуют ядерные силы притяжения. Протон имеет положительный элементарный заряд $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, а нейтрон – не заряжен. Масса нуклона примерно в 1840 раз больше массы электрона.

Химические элементы различаются количеством протонов Z , изменяющимся от 1 для водорода до 94 – для плутония. Число Z называют зарядовым числом, или порядковым номером элемента. Количество нуклонов в ядре (массовое число) обозначают A . Ядро элемента X записывают в виде A_ZX , например, ядро гелия ${}^4_2\text{He}$. Атомы одного и того же химического элемента, различающиеся числом нейтронов, называются *изотопами*. Например, для водорода известны три изотопа: ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ и ${}^3_1\text{H}$. Для каждого элемента известно несколько изотопов, некоторые из них стабильные, другие - радиоактивные.

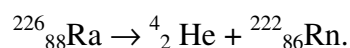
Некоторые ядра (радионуклиды) самопроизвольно (спонтанно) испускают частицы, превращаясь в другое ядро (А. Беккерель, 1896 г.). Это явление получило название *радиоактивности* [1-4]. Распадающееся ядро называют материнским, а образующееся после распада – дочерним. Некоторые дочерние ядра – стабильны, другие - радиоактивны.

К основным радиоактивным превращениям относятся α - и β -распады.

Альфа-распад. При α -распаде ядро (обычно тяжелое) испускает ядро гелия, называемое α -частицей. Схему α -распада представляют в виде

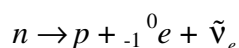


где X и Y – символы химических элементов. Например, превращение радия в радон происходит по схеме

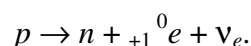


Квантовая механика объясняет α -распад *туннельным эффектом* – проникновением α -частицы через потенциальный барьер на поверхности ядра, образующийся под действием сил ядерного притяжения нуклонов и электрического отталкивания протонов [1].

Бета-распады. При β -распадах в ядре происходит превращение нейтрона в протон, электрон и электронное антинейтрино $\tilde{\nu}_e$



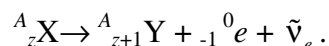
или превращение протона в нейтрон, позитрон и нейтрино



При этом число нуклонов в ядре не изменяется, а зарядовое число изменяется на ± 1 .

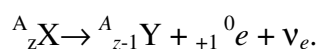
Известны три разновидности β -распада.

Электронный β -распад (β^- -распад) протекает по схеме:



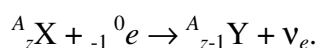
При этом электрон и антинейтрино покидают ядро.

Позитронный β -распад (β^+ -распад). В этом случае ядро испускает позитрон и электронное нейтрино:

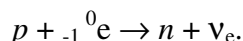


Позитрон является *античастицей* электрона, имеющей такую же массу, но противоположные по знаку электрический заряд, лептонный заряд и магнитный момент [1].

Электронный захват. Третий вид β -распада – захват ядром собственного орбитального электрона, чаще с ближайшей, K – оболочки:



При этом в ядре протон и электрон превращаются в нейтрон и нейтрино



Нейтрино и антинейтрино – электрически незаряженные частицы, различающиеся знаком лептонного заряда [1]. Масса покоя этих частиц много меньше массы электрона (этот вопрос физики изучают в настоящее время). Нейтрино чрезвычайно слабо взаимодействует с веществом, поэтому его можно зарегистрировать только в специальных опытах.

При распаде выделяется определенная для данного нуклида энергия в интервале примерно от 20 кэВ до 17 МэВ, что на 3 - 6 порядков больше энергии химических реакций (несколько электрон-вольт на молекулу). Эта энергия делится между продуктами распада таким образом, чтобы выполнялся закон сохранения импульса. (Электрон-вольт – энергия, приобретаемая частицей с элементарным зарядом в электрическом поле с разностью потенциалов 1 В; $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

Атомное ядро, состоящее из двух и более нуклонов, может находиться в состояниях с различными дискретными значениями внутренней энергии. Состояние с минимальной энергией называется основным, а с большей энергией – возбужденным. Ядро перед распадом находится в основном состоянии, а дочернее ядро может оказаться как в основном, так и в возбужденном состояниях. В последнем случае практически мгновенно после распада дочернее ядро переходит в основное состояние, испуская один или несколько фотонов большой энергии, называемых γ -квантами. Энергия γ -квантов на 4...6 порядков больше энергии фотонов видимого света, равной примерно 2 эВ.

Радионуклиды подразделяют на естественные и искусственные. Принципиального различия между ними нет. Естественными радионуклидами являются семейства урана и тория, калий и некоторые другие.

В веществе быстрые заряженные частицы, взаимодействуя с атомными электронами и ядрами, теряют свою энергию на ионизацию и возбуждение атомов. В результате частицы тор-

мозятся и останавливаются. Пробег частицы до остановки зависит от энергии, массы и заряда частицы, а также от вещества (его состава и плотности).

В воздухе пробег α -частицы составляет примерно 5 см, а в плотных веществах – не более 50 мкм. Лист обычной бумаги полностью задерживает α -частицы. При одинаковой энергии пробег β -частицы на три порядка больше, чем α -частицы.

2. Закон радиоактивного распада

Опыты показывают, что количество нераспавшихся атомов убывает по экспоненциальной зависимости. Это верно для случая, когда атомов много. Отсюда следует, что радиоактивное превращение - случайное событие, происходящее с некоторой вероятностью. Экспоненциальный закон распада имеет следующее теоретическое объяснение.

Пусть в момент времени t имеется большое число N одинаковых нераспавшихся ядер. Вероятность распада ядра в единицу времени называется *постоянной распада* λ . Тогда за время dt распадется в среднем

$$dN = \lambda N \cdot dt \quad (1)$$

ядер. Среднее число распадов за единицу времени

$$A = dN / dt = \lambda N \quad (2)$$

называется *активностью* препарата. Единица активности – *беккерель* (Бк) соответствует одному распаду в секунду. Внесистемная единица активности - кюри равна 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк (такова активность 1 г радия).

Приращение числа нераспавшихся ядер за время dt равно числу распадов со знаком минус (см. (1)):

$$dN = - \lambda N \cdot dt.$$

Интегрируя это выражение, получим

$$N = N_0 \exp (-\lambda t), \quad (3)$$

где N_0 – число нераспавшихся ядер в момент времени $t = 0$.

Соотношение (3) выражает *закон радиоактивного распада*: число нераспавшихся атомов убывает со временем по экспоненциальной зависимости. Активность, пропорциональная числу нераспавшихся атомов (см. (2)), убывает по такому же закону:

$$A = A_0 \exp (-\lambda t), \quad (4)$$

где $A_0 = \lambda N_0$ – начальная активность. Опыты подтверждают зависимость (4).

Время жизни радионуклида характеризуют *средним временем жизни*, равным $\tau = 1 / \lambda$, и периодом полураспада, за которое распадается половина ядер:

$$T = (\ln 2) / \lambda = 0,693 / \lambda = 0,693 \tau.$$

Для различных радионуклидов период полураспада изменяется от менее микросекунды до 10^{18} лет.

Запишем закон распада через период полураспада:

$$N(t) = N_0 \exp (-0,693 t / T);$$

$$A(t) = A_0 \exp (-0,693 t / T). \quad (5)$$

В данной лабораторной работе наблюдают быстрое убывание активности со временем. В этом случае экспериментально полученную зависимость активности от времени целесообразно представить в виде графической зависимости $\ln A$ от t . Если выполнить логарифмирование (5), получим

$$\ln A = \ln A_0 - 0,693 t / T. \quad (6)$$

Величина $\ln A$ линейно убывает со временем, как показано на рис.1. Из наклона прямой на рис. 1 можно определить период полураспада с помощью формулы, которую получим из (6), беря приращения:

$$T = 0,693 \Delta t / (\Delta \ln A). \quad (7)$$

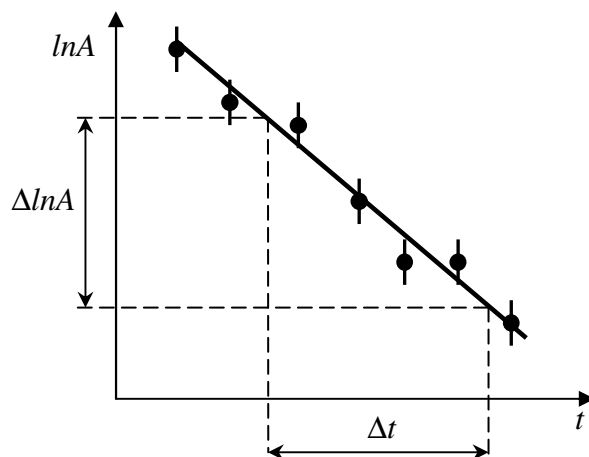


Рис. 1. Закон радиоактивного распада (см. (6)).

Примечание. Это - образец графика для представления результатов измерений. Вертикальной чертой показаны статистические погрешности.

3. Сложный распад

Выше мы рассмотрели простой распад. Сложный распад будет в случае, когда распадающееся ядро само возникло в результате предыдущего распада.

Рассмотрим типичную ситуацию на примере превращения радия в радон, когда предыдущий распад происходит значительно медленнее, чем последующий. Для радия период полураспада $T_1 = 1\,620$ лет (постоянная распада $\lambda_1 = 1,357 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$). Радон, образующийся в результате распада радия, распадается с периодом полураспада $T_2 = 3,825$ дня ($\lambda_2 = 2,097 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$).

Пусть N_0 - начальное число атомов радия в образце, причем в этот момент радон совершенно отсутствует. Пусть в последующий момент времени t имеется N_1 атомов радия. Тогда (см. (2))

$$dN_1 / dt = -\lambda_1 N_1.$$

Число атомов радона, образующихся каждую секунду, равно числу распадающихся атомов радия минус число распадающихся за то же время атомов радона, т. е.

$$dN_2 / dt = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2,$$

где N_2 – число атомов радона, присутствующих в момент времени t , или

$$dN_2 / dt = \lambda_1 N_0 \exp(-\lambda_1 t) - \lambda_2 N_2.$$

Решая это уравнение, находим

$$N_2 = N_0 [\lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1)] [\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)]. \quad (8)$$

Поскольку λ_1 – весьма малая величина, так что даже спустя 10^7 секунд (приблизительно 4 месяца) $\lambda_1 t$ будет порядка 10^{-4} , то $\exp(-\lambda_1 t)$ мало отличается от единицы, т. е. количество радия оста-

ется по существу постоянным, как это следует из большого периода его полураспада. В таком случае (8) имеет вид

$$N_2 = C [1 - \exp(-\lambda_2 t)], \quad (9)$$

где $C = N_0 [\lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1)]$. Формула (9) описывает рост числа атомов радона со временем; соответственно активность радона выражается как

$$A = \lambda_2 N_2, \text{ или } A = \lambda_2 C [1 - \exp(-\lambda_2 t)]. \quad (10)$$

Можно видеть, что по истечении приблизительно двух месяцев $\exp(-\lambda_2 t)$ становится очень малой величиной, так что N_2 приближается к постоянной C . Таким образом, активность радона становится почти постоянной, равной $\lambda_2 C$, и она уменьшается с периодом своего долгоживущего материнского вещества (радия). Говорят, что радон в этом случае находится в *вековом равновесии* с радием.

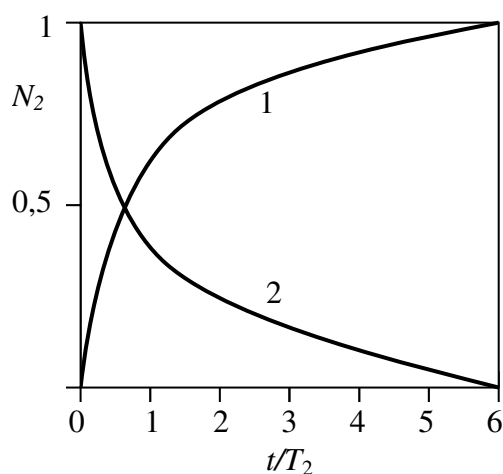


Рис. 2. Накопление радона из чистого радия (кривая 1) и распад равновесного количества радона после его отделения от материнского радия (кривая 2).

Примечания: N_2 — число атомов радона в относительных единицах (за единицу принято равновесное количество радона), T_2 — период полураспада радона.

На рис. 2 показано возрастание количества (и активности) радона в соответствии с уравнением (10) за время, равное шести периодам полураспада радона, т. е. в течение 23 дней.

Если же равновесное количество радона отделить от материнского вещества, то он будет распадаться со своим периодом полураспада $T_2 = 3,825$ дня. Распад радона также показан на рис. 2; очевидно, обе кривые дополняют друг друга до единицы.

При вековом равновесии активности материнского и дочернего веществ равны, т. е.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2,$$

или

$$N_2 / N_1 = \lambda_1 / \lambda_2 = T_2 / T_1. \quad (11)$$

Таким образом, в равновесном состоянии отношение количества атомов материнского и дочернего веществ равно отношению их периодов полураспада.

4. Измерение радиоактивности

В данной работе радиоактивность измеряют счетчиками Гейгера. Счетчик представляет собой небольшую металлическую тонкостенную трубку, по оси которой натянута металлическая проволока. Трубка заполнена газом. К трубке и проволоке подключают высокое напряжение, которое немного меньше пробойного. При прохождении через счетчик β -частицы (или

другой заряженной частицы) происходит небольшая ионизация газа, которая стимулирует электрический пробой. При этом через счетчик и внешнюю цепь проходит кратковременный импульс тока. Специальное устройство считает импульсы и выводит результат на цифровой дисплей. Таким образом, каждый импульс тока означает прохождение частицы через счетчик.

Пусть с радиоактивным препаратом за время t было зарегистрировано N_1 импульсов. Тогда средняя скорость счета импульсов $n_1 = N_1/t$.

При измерении слабой радиоактивности необходимо вводить поправку на фоновое излучение. Оно создается космическими лучами и естественной радиоактивностью окружающих предметов. В отсутствие радиоактивного препарата было подсчитано N_ϕ импульсов за время t . Тогда средняя скорость счета импульсов фона $n_\phi = N_\phi/t$.

Разность $n = n_1 - n_\phi$ называют *регистрируемой активностью* препарата; она пропорциональна количеству распадов за единицу времени (см. (2)).

Обработка результатов измерений становится проще, если измерения с препаратом и фонового излучения выполнять за одинаковое время. В этом случае регистрируемая активность

$$N = N_1 - N_\phi. \quad (12)$$

5. Статистические погрешности измерения радиоактивности

Погрешность измерения радиоактивности складывается из систематической и статистической составляющих. Рассмотрим статистические погрешности.

Пусть счетчик зарегистрировал N импульсов. Повторяя измерения в тех же условиях, мы увидим разброс результатов измерений. Он связан с тем, что распад происходит случайно, но с некоторым средним «темпом». Нахождение среднего темпа $\langle N \rangle$, называемого активностью (см. (2)), является целью измерений.

Если зарегистрировано N импульсов (больше нескольких десятков), то с доверительной вероятностью $P = 0,68$ искомая величина $\langle N \rangle$ находится в доверительном интервале

$$\langle N \rangle = (N - \sigma) \dots (N + \sigma), \text{ где}$$

$$\sigma = \sqrt{N}$$

называется среднеквадратической статистической погрешностью (подробнее см. [5]). Например, для $N = 100$ доверительный интервал $\langle N \rangle = 90 \dots 110$. Если счетчик регистрировал все распады, а фонового излучения нет, то $\langle N \rangle$ есть искомое число распадов за данное время.

Относительная погрешность измерения величины $\langle N \rangle$ равна $\epsilon = \sigma / N = 1 / \sqrt{N}$. С ростом N абсолютная погрешность $\sigma = \sqrt{N}$ растет, а относительная ϵ – уменьшается.

Статистическая погрешность регистрируемой активности N (см. (12)) находится по правилам сложения погрешностей (см. [6])

$$\sigma = (\sigma_1^2 + \sigma_\phi^2)^{1/2} = (N_1 + N_\phi)^{1/2} \quad (13)$$

Рассмотрим пример. Предположим, что регистрируемая активность N малая, она равна половине фонового излучения: $N = N_\phi / 2$. Пусть зарегистрировано $N_1 = 150$ и $N_\phi = 100$. Согласно формулам (12) и (13), $N = 50$ с погрешностью $\sigma = 16$. Относительная погрешность измерения величины N составляет $\epsilon = \sigma / N = 32\%$. Погрешность можно уменьшить, если измерения производить дольше и зарегистрировать больше частиц, например $N_1 = 1500$ и $N_\phi = 1000$. В этом случае относительная погрешность равна 10%.

6. Радиоактивное семейство урана-радия

В некоторых случаях один распад следует за другим, образуя ряд (семейство). В природе встречаются три таких семейства, начинающихся с долгоживущих изотопов урана и тория. Рассмотрим ряд урана-радия, с которым связана значительная часть естественной радиоактивности воздуха (табл. 1). В нем представлены α -распады и электронные β -распады. В скобках указан порядковый номер элемента, за ним – массовое число.

Ряд урана-радия

Таблица 1

Изотоп	Вид распада	Период полураспада
Уран (92) – 238	Альфа	$4,5 \cdot 10^9$ лет
Торий (90) – 234	Бета	24 суток
Протактиний (91) – 234	Бета	1,17 мин
Уран (92) – 234	Альфа	245 000 лет
Торий (90) – 230	Альфа	8 000 лет
Радий (88) – 226	Альфа	1 620 лет
Радон (86) – 222	Альфа	3,825 суток
Полоний (84) – 218	Альфа	3 мин
Свинец (82) – 214	Бета	26,8 мин
Висмут (83) – 214	Бета	19,7 мин
Полоний (84) – 214	Альфа	0,000 16 с
Свинец (82) – 212	Бета	22,3 лет
Висмут (83) – 212	Бета	5 суток
Полоний (84) – 212	Альфа	138 суток
Свинец (82) – 208		Стабильный

Ряд начинается с наиболее распространенного изотопа урана. При α -распаде порядковый номер уменьшается на две единицы, а массовое число – на четыре. При β^- -распаде порядковый номер возрастает на единицу, а массовое число не изменяется. В результате чередования α - и β^- -распадов изотопы одного и того же химического элемента образуются в семействе несколько раз, например, для полония - три раза. Ряд заканчивается стабильным изотопом свинца.

7. Радон и радиоактивность воздуха

Радон, тяжелый инертный газ, образуется в результате распада радия (см. табл. 1), который присутствует в почве и в строительных материалах. Радон диффундирует из почвы и строительных материалов, чему способствует относительно большой период полураспада радона (3,8 суток). На содержание радона в наружном воздухе и внутри помещения влияют многие факторы, поэтому его концентрация подвержена очень большим вариациям [4].

Находящийся в воздухе радон распадается, образуя в воздухе короткоживущие дочерние продукты от полония-218 до полония-214 (в табл. 1 они отмечены жирным шрифтом). Дочерние атомы, не являясь газами, при столкновении с мелкими пылинками (аэрозолями) прилипают к ним. Эти радиоактивные пылинки и радон создают практически всю естественную радиоактивность воздуха.

За несколько часов радон приходит в состояние векового равновесия со своими короткоживущими дочерними продуктами: на каждый распад радона приходится по одному распаду полония-218, свинца-214, висмута-214 и полония-214 (см. табл. 1). Согласно (11), количество короткоживущих продуктов распада прямо пропорционально их периодам полураспада: на один атом полония-218 приходится 9 атомов свинца-214, 6,5 атомов висмута-214 и $\sim 10^{-6}$ атомов полония-214.

В лабораторной работе радиоактивность воздуха находят с помощью фильтрующих материалов, через которые продувают воздух. Радон проходит через фильтр, а пылинки с радиоактивными атомами задерживаются.

Фильтр помещают под счетчиком Гейгера, который детектирует только β -излучение, поскольку α -излучение поглощается фильтром и стенками счетчика. Активность фильтра, первоначально чистого, нерадиоактивного, измеряют счетчиком Гейгера дважды - перед прокачкой воздуха (измерение фона) и после. Все измерения выполняют за одинаковый 10-минутный интервал. Пусть перед прокачкой было зарегистрировано N_{ϕ} импульсов фона, а после, в одном из интервалов - N_1 импульсов. Разность

$$N = N_1 - N_{\phi} \quad (14)$$

представляет собой регистрируемую активность фильтра. В данной работе интересуются не абсолютным количеством распадов (2), а только убыванием радиоактивности со временем.

После продувки воздуха непрерывно измеряют радиоактивность фильтра в течение примерно 90 минут, считывая показания дисплея каждые 10 минут. Из этих измерений находят регистрируемую активность N за каждый 10-минутный интервал.

По результатам измерений строят два графика – зависимости от времени величин N и $\ln N$. За начало отсчета времени принимают момент окончания продувки и начала счета. Из результатов этих измерений определяют время, за которое активность фильтра уменьшается в два раза.

Обсудим, какие результаты измерений можно ожидать. Из табл. 1 видно, что детектор β -излучения может регистрировать только β -распады свинца – 214 с периодом полураспада 26,8 мин и висмута – 214 с периодом полураспада 19,7 мин. Распадов свинца – 212 очень мало, поскольку его период полураспада большой, а концентрация его далека от равновесной. Отсюда можно заключить, что активность фильтра будет уменьшаться с периодом полураспада около получаса.

Альфа-распад небольшого количества полония-218 с периодом полураспада 3 мин компенсирует убыль свинца-214 в первые примерно 10 минут после окончания продувки. Поэтому в начале измерений β -активность фильтра может не убывать или даже несколько возрастать.

8. Радиационная безопасность

Для оценки биологических последствий воздействия ионизирующих излучений необходимо контролировать их дозы (для ознакомления с практической радиоактивностью рекомендуем ясно изложенную небольшую книгу [4]).

Поглощенной дозой называют отношение поглощенной энергии излучения к массе поглощающего вещества:

$$D = E / m.$$

Единица поглощенной дозы - *грей*: 1 Гр = 1 Дж / кг.

Однако при одной и той же поглощенной дозе биологические последствия для разных видов излучения различны. Более опасными являются сильно ионизирующие излучения - α -частицы, протоны, нейтроны и др. Поэтому поглощенную дозу умножают на коэффициент K , называемый *коэффициентом качества* излучения, и в результате получают *эквивалентную дозу*

$$H = K D.$$

Единица эквивалентной дозы - *зиверт* (Зв).

Для β - и γ -излучений, для которых плотность ионизации минимальна, принимают $K = 1$ Зв/Гр. При этом поглощенной дозе 1 Гр соответствует эквивалентная доза $H = 1$ Зв. Поэтому для этих излучений нет различия между поглощенной и эквивалентной дозой. Однако для α -излучения $K = 20$ Зв/Гр, поэтому при поглощенной дозе 1 Гр эквивалентная доза составит 20 Зв.

Следует учитывать также, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны к радиации, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений.

Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с некоторыми коэффициентами, которые различаются в десятки раз [4]. Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав по всем органам и тканям, получим *эффективную эквивалентную дозу*, отражающую суммарный эффект облучения для организма; она также измеряется в зивертах.

На человека постоянно воздействуют излучения естественных радиоактивных веществ внутри организма и вне его, а также космические лучи. В различных районах дозы могут силь-

но различаться. Средняя годовая эффективная эквивалентная доза от естественных источников радиации равна примерно 2 мЗв.

Радон вместе со своими дочерними продуктами распада ответственен примерно за $\frac{3}{4}$ годовой эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях.

Помимо естественных источников излучения, имеются также искусственные. В настоящее время основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, вносят медицинская диагностика и методы лечения с применением рентгеновских лучей и радиоактивности.

При работе с радиоактивными источниками вредное воздействие внешнего облучения можно уменьшить, сокращая время облучения, увеличивая расстояние до источника и применяя поглощающие экраны.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Время выполнения работы составляет не менее двух астрономических часов.

1. Порядок выполнения работы

Задание 1. Ознакомиться с установкой.

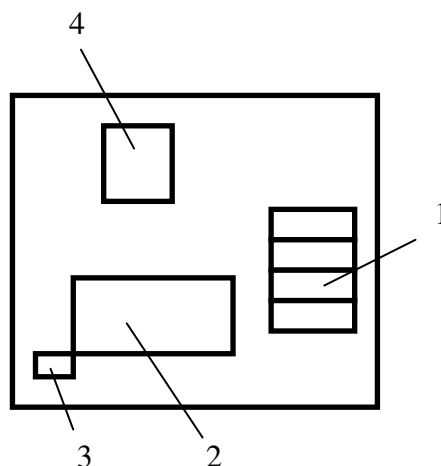


Рис. 3. Схема установки:
1 - счетчики Гейгера; 2 - блок регистрации;
3 - часы; 4 - источник питания

Установка (рис. 3) состоит из четырех цилиндрических счетчиков Гейгера 1, блока регистрации 2, часов 3 и источника питания 4 на 9 В. Счетчики закреплены на пластине с шарниром, которую можно приподнять и положить под счетчиками фильтр. Индикатор блока регистрации показывает число зарегистрированных импульсов. Блок регистрации имеет две кнопки – «ПУСК» и «СТОП». Для включения установки необходимо вставить вилку в сетевую розетку.

Внимание! Во избежание порчи счетчика и поражения током, запрещается подносить к счетчику что-либо, кроме воздушных фильтров.

К лабораторной установке прилагаются фильтры и воздуходувка, которую следует расположить в плохо проветриваемом помещении.

После использования фильтра его радиоактивность практически полностью исчезает через сутки, поэтому фильтры можно использовать многократно с интервалом в одни сутки. В течение дня на первом занятии используется фильтр №1, на втором – второй и т. д.

Наилучшие фильтры изготовлены из нетканого материала с очень тонкими волокнами, хорошо задерживающими мелкие аэрозоли. Эти фильтры требуют бережного обращения.

Задание 2. Измерить фоновое излучение.

1. Получить у дежурного по лаборатории фильтр.
2. Сложить фильтр, как складывают платки, до размера, немного превышающего размер всех счетчиков.
3. Приподняв счетчики, установить под ними фильтр; опустить счетчики.
4. Включить установку сетевой вилкой.
5. Нажать кнопку «ПУСК» и заметить по часам время.
6. Через 10 минут остановить счет кнопкой «СТОП». Количество зарегистрированных импульсов N_f записать в отчет.

Задание 3. Прокачать воздух через фильтр.

1. С помощью дежурного по лаборатории установить фильтр на воздухоудувке так, чтобы воздух не мог просачиваться мимо фильтра. Включить мотор на 10 мин. Выключить мотор и снять фильтр. Во время прокачки подготовить табл. 2.

Задание 4. Измерить радиоактивность фильтра.

1. Сразу после прокачки установить фильтр под счетчиками так же, как при измерении фона.
2. Записать в первую строку табл. 2 время начала измерений. Нажать кнопку «ПУСК».
3. Не останавливая счетчик, с интервалом ровно 10 мин записывать в табл. 2 время по часам и число импульсов на индикаторе. Измерения производить 90 мин.

Примечания. По достижении 10 000 импульсов счетчик, не останавливаясь, продолжает счет с нуля. Во время измерений выполнять обработку результатов измерений.

4. По окончании опыта выключить установку вилкой, а фильтр передать дежурному.

Радиоактивность фильтра

Таблица 2

Время	Показания индикатора

Примечание. Таблица должна содержать 10 строк

2. Обработка результатов измерений

1. Подготовить табл. 3.

Результаты измерений

Таблица 3

t , мин	N_I	$N = N_I - N_f$	$\ln N$	σ	$\ln (N + \sigma)$	$\ln (N - \sigma)$
5						
15						
...						

Примечания:

1. Таблица должна содержать 10 строк.
2. N_I – число зарегистрированных импульсов за 10-минутный интервал.
3. t – время между началом счета и серединой интервала.
4. σ вычислять по формуле (13).

2. По данным табл. 2 для каждого 10-минутного интервала вычислить величины, указанные в заголовке табл. 3. Результаты записать в табл. 3.

3. На миллиметровой бумаге построить график – зависимость N от t . Для этого на график наносят хорошо видимые экспериментальные точки. Для каждой точки указывают вертикальной чертой длиной 2σ статистическую погрешность (см. (13)). Через экспериментальные точки с учетом погрешности проводят гладкую кривую распада.

4. На миллиметровой бумаге построить график – зависимость $\ln N$ от t . Для этого на график наносят хорошо видимые экспериментальные точки.

Для каждой точки указывают вертикальной чертой статистическую погрешность, приведенную в последних двух столбцах табл. 3 (верхняя точка этой черты имеет значение $\ln(N + \sigma)$, нижняя - $\ln(N - \sigma)$).

Через экспериментальные точки с учетом погрешности проводят наилучшую на глаз прямую.

5. Сделать вывод, согласуются ли результаты опыта с законом распада (6)?

6. Используя последний график и формулу (7), определить время, за которое активность фильтра уменьшается в два раза (условно – «период полураспада» смеси радионуклидов на воздушном фильтре). Пояснение см. на рис. 1. Вместо активности A подставить в формулу (7) пропорциональную ей величину N .

7. Результат измерения периода полураспада привести в табл. 4.

Таблица 4

Время убывания активности фильтра в два раза $T = \dots$ мин
--

8. Сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие спонтанные превращения происходят в ядрах с протоном и нейтроном?
2. Из какой части атома вылетает электрон при β^- -распаде?
3. Что такое электронный захват?
4. Сформулируйте закон радиоактивного распада.
5. Что такое постоянная распада, среднее время жизни и период полураспада? Какая связь между ними?
6. Что такое активность и в каких единицах она измеряется?
7. Что называют вековым равновесием?
8. Какие радионуклиды создают естественную радиоактивность воздуха?
9. Что такое поглощенная доза, эквивалентная доза и эффективная эквивалентная доза? В каких единицах они измеряются?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мартинсон Л.К., Смирнов Е.В.* Квантовая физика: Учебное пособие. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 496 с.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики в 3 т. М.: Наука, 1988. т. 3. 496 с.
3. *Мария Кюри.* Радиоактивность. 2-е изд. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 79.
5. *Фетисов И.Н.* Статистика радиоактивного распада: метод. указания к лабораторной работе Я-64 по курсу общей физики. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.- 20 с. : ил.
6. *Савельева А.И., Фетисов И.Н.* Обработка результатов измерений при проведении физического эксперимента: метод. указания к лабораторной работе М-1а по курсу общей физики. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1984.- 24 с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Теоретическая часть

1. Радиоактивные превращения
2. Закон радиоактивного распада
3. Сложный распад
4. Измерение радиоактивности
5. Статистические погрешности измерения радиоактивности
6. Радиоактивное семейство урана-радия
7. Радон и радиоактивность воздуха
8. Радиационная безопасность
4. Методика измерений

Экспериментальная часть

1. Порядок выполнения работы
2. Обработка результатов измерений

Контрольные вопросы

Список литературы