



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 16-В

Спинтарископ Крукса

«ФИЗИКА»

Авторы

Жданова Т.П.

Кудря А.П.

Лемешко Г.Ф.

Пруцакова Н.В.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Указания содержат краткое изложение метода Крукса по регистрации элементарных частиц, позволяющего оценивать содержание радиоактивного препарата в образце.

Методические указания предназначены для студентов младших курсов, изучающих физику.

Авторы

Жданова Т.П. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»

Кудря А.П. - старший преподаватель
кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»

Пруцакова Н.В. - к.ф.-м.н., доцент
кафедры «Физика»



Оглавление

Краткая теория.....	4
Подготовка к работе.....	8
Экспериментальная часть.....	8
Контрольные вопросы.....	10
Список литературы.....	10

Цель работы. Познакомиться: 1) с первыми работами по регистрации радиоактивных излучений; 2) с одним из методов определения процентного содержания в образце радиоактивного вещества.

Оборудование: персональный компьютер с программным обеспечением.

Краткая теория

► Естественная радиоактивность была открыта французским ученым А. Беккерелем в 1896 году. Состав радиоактивного излучения установил Э. Резерфорд. В магнитном поле радиоактивное излучение делилось на три составляющие: α , β , γ – лучи. В последствии было выяснено, что α – лучи - это поток ядер атомов гелия, β – лучи - это поток быстрых электронов, а γ – лучи - это жесткое электромагнитное излучение.

Первый метод регистрации радиоактивного излучения, метод *сцинтилляции*, принадлежит английскому физика У. Круксу. Смысл этого метода состоит в том, что α или β – частицы попадая на люминесцирующий экран, выполненный из сернистого цинка, вызывают его кратковременное свечение. Яркость и длительность вспышек на экране зависит от массы частиц, их энергии и от природы люминесцирующего вещества. Метод сцинтилляций Крукс положил в основу изготовленного им в 1903 году простейшего прибора, названного *спинтарископом* (рис.1).

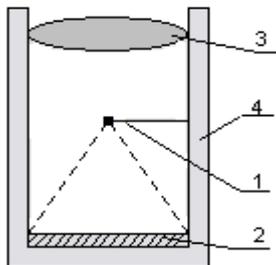


Рис.1

Он состоит из металлического цилиндра 4, на дне которого нанесен люминесцирующий экран 2, на который попадает излучение от радиоактивного препарата, укрепленного на острие иглы 1. Вспышки на экране наблюдают в темном помещении через линзу 3, которая может перемещаться вдоль оси цилиндра. Четкое изображение вспышек на экране соответствует расстоянию между линзой и экраном, равном фокусному расстоянию линзы.

В 1905 году австрийский ученый Э. Швейдлер исследуя статистические закономерности радиоактивного излучения, пришел к выводу, что число атомов, распадающихся за единицу времени (активность радиоактивного препарата), пропорционально числу имеющихся в данный момент времени атомов N :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad (1)$$

где λ – постоянная радиоактивного распада.

Знак « - » свидетельствует об убыли радиоактивных атомов.
Интегрирование (1) приводит к закону радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где N_0 – число радиоактивных ядер в начальный момент времени;

N – число нераспавшихся ядер по прошествии времени t .

Промежуток времени, в течение которого от исходного числа атомов N_0 останется половина $N = N_0 / 2$, называется периодом

полураспада $T_{1/2}$. С учетом этого определения формула (2) примет вид:

$2 = e^{\lambda T}$. После логарифмирования получим связь между постоянной радиоактивного распада и периодом полураспада:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \quad (3)$$

Оказывается, что с помощью спинтарископа можно оценить в любом теле процентное содержание радиоактивного вещества.

Предположим, что мы имеем образец массой m , в котором содержится некоторая масса m_p радиоактивного вещества.

В начальный момент времени количество атомов радиоактивного вещества с молярной массой M равно

$$N_0 = N_A \frac{m_p}{M}, \quad (4)$$

где N_A - постоянная Авогадро.

Образец, укрепленный на острие иглы спинтарископа, излучает частицы равномерно по всем направлениям, а на экран попадает лишь доля их, заключенная в телесном угле

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{\pi D^2}{4R^2} \quad (5)$$

где: S – площадь экрана; D – диаметр экрана; R – расстояние от препарата до экрана.

Количество частиц, вызывающих вспышки на экране в единицу времени:

$$\frac{N_\Omega}{t} = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \frac{\Omega}{4\pi}. \quad (6)$$

Совместное решение уравнений (1) – (6) позволяет определить массу радиоактивного вещества, содержащегося в выбранном образце:

Физика

$$m_p = \frac{16R^2}{N_A D^2} \frac{Me^{kt}}{\lambda} \frac{N_\Omega}{t} \quad (7)$$

Вычислим константу в уравнении (7), считая $D = 2$ см, а $R = 6$ см:

$$C = \frac{16R^2}{N_A D^2} = 2,4 \cdot 10^{-22} \text{ моль}.$$

Окончательно уравнение (7) примет вид:

$$m_p = C \frac{Me^{kt}}{\lambda} \frac{N_\Omega}{t}, \quad (8)$$

а процентное содержание m_p в образце:

$$\delta = \frac{m_p}{m} 100\% \quad (9)$$

Так как излучение радиоактивным препаратом частиц по различным направлениям носит случайный характер, то более точное значение искомой величины в этом методе возможно при большом числе измерений и времени измерений, превышающем период полураспада.

► Убыль числа радиоактивных ядер по закону (2) может служить средством измерения времени, прошедшего с того момента, когда количество радиоактивных ядер было равно N_0 , до момента, когда их количество равно N . Другими словами, радиоактивность может выполнять роль часов. Для различных целей нужны часы с различным «ходом».

Для определения возраста минералов, содержащихся в земной коре, следует брать «геологические часы», идущие достаточно медленно, т.е. процессы радиоактивного распада с периодом полураспада того же порядка, что и геологические эпохи – сотни миллионов и миллиарды лет.

В природе найдено только 14 радиоактивных ядер, периоды полураспада которых такого же порядка или больше возраста Вселенной (он приблизительно равен $4,5 \cdot 10^9$ лет). Одиннадцать ядер распадаются в стабильные дочерние ядра, а остальные 3 ядра (Th-232, U-235, U-238) являются основателями радиоактивных семейств (ториевого, уран-радиевого, актиниевого). После серий распадов они, в конце концов, превращаются в стабильные ядра изотопов свинца: Pb-208, Pb-207, Pb-206.

Для оценки возраста земной коры в качестве «геологических часов» подходят ядра изотопов урана (U-238 и U-235) с периодами полураспада $4,5 \cdot 10^9$ и $9 \cdot 10^8$ лет.

Так как изотопы урана в конечном итоге превращаются в стабильные ядра изотопов свинца, то по соотношению количества свинца и урана в природном уране можно рассчитать промежуток времени, в течение которого накопилось данное количество свинца вследствие

распада урана.

► В археологии радиоактивность помогает определить возраст предметов, найденных при раскопках. Здесь время измеряется столетиями или тысячелетиями, поэтому в качестве часов может служить радиоактивный распад с периодом полураспада порядка нескольких столетий или тысячелетий. Сама природа создала такие часы. Под воздействием космических лучей ядра атмосферного азота превращаются в ядра радиоактивного углерода C-14. Период полураспада его равен 5730 годам. Концентрация C-14 в атмосфере поддерживается примерно постоянной. Из радиоактивного углерода образуется радиоактивный углекислый газ, который усваивается растениями точно также, как и обычный CO₂. Вместе с растительной пищей радиоактивный углерод попадает в организм животных и, будучи усвоенным, входит в состав их тканей и органов. При жизни животного или растения процентное содержание радиоактивного углерода остается постоянным, так как потери углерода восполняется питанием. После гибели организма восполнение углерода больше не происходит. С этого момента начинается счет времени по радиоактивным часам. Содержание радиоактивного углерода в организме или изделии из дерева начинает убывать в соответствии с законом радиоактивного распада (2). Следовательно, измерив концентрацию C-14 в останках организмов (в древесине, в костях и т. п.), можно определить дату их смерти или, иначе, их возраст. Проверка этого метода на древних образцах, возраст которых точно определен историческими методами, дала вполне удовлетворительные результаты.

► Широкое распространение во всех областях научной и практической деятельности человека получил *метод меченых атомов*, основанный на использовании радиоактивных изотопов с небольшим периодом полураспада. Введя микроскопическую дозу радиоактивного изотопа в исследуемую систему (в ткань живого организма, растение, в смазку двигателя и т.п.), наблюдают с помощью регистратора радиоактивных излучений (детектора) за перемещением «меченых» атомов в данной системе. Анализ результатов наблюдений дает ценные сведения о процессах, происходящих в исследуемой системе. Например, в медицине существует изотопная диагностика. Сущность этого метода диагностики заключается в том, что «меченные» атомы концентрируются в области пораженных биологических клеток. Построение сканирование с помощью детектора биологических тканей позволяет с высокой точностью определить место заболевания пораженных органов.

► Разнообразное применение получило γ - излучение. Так, например, взаимодействие γ - квантов с электронной оболочкой атомов вещества и с их ядрами дает богатый материал для фундаментальных научных исследований. Большая проникающая способность γ -

излучения используется в γ – дефектоскопии – методе дефектоскопии, основанном на различном поглощении γ - излучения при распространении его в разных средах. По различию интенсивности излучения, прошедшего через разные участки просвечиваемого изделия, определяют местоположение и размеры дефектов (раковин, трещин и т. д.). В медицине широко используется терапевтическое γ – облучение злокачественных опухолей.

О программе

Программа демонстрирует устройство спинтарископа Крукса и имитирует радиоактивный распад; обеспечивает анимацию вспышек на экране спинтарископа и подсчитывает их количество за все время наблюдения.

Разработана программистом кафедры «Физика» Стибаевым Алексеем.

Экспериментальная часть

1. Открыть папку «Крукс» и файл «Spintar».
2. В появившейся панели (рис.2) установить массу образца из интервала $10 \leq m \leq 50$ г, в состав которого входит радиоактивное вещество X^M (выбрать из таблицы один препарат с периодом полураспада, равным нескольким суткам или годам).

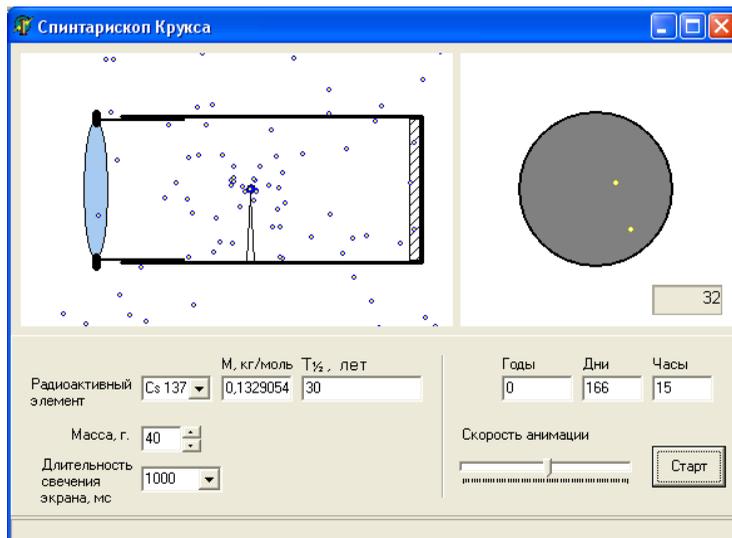


Рис.2

3. Регулятором «Скорость анимации» установить скорость хода виртуальных часов и нажать клавишу «Старт» (чем больше период полураспада радиоактивного препарата, тем быстрее должны идти часы). По истечении нескольких суток или лет остановить часы (клавишей «Стоп»).

4. Записать время наблюдения t (в сутках или годах) и количество вспышек N_{Ω} на экране за это время.

5. Повторить пункт 4 три раза.

6. В таблицу отчета занести: 1) химический символ препарата; 2) молярную массу препарата, в кг/моль; 3) массу исследуемого образца; 4) рассчитать постоянную радиоактивного распада по формуле (3), в 1/сут или 1/час.

	X^M	M	λ	m	t	N_{Ω}	m_p	δ	$\langle \delta \rangle$
№ пп	-	$\frac{кг}{моль}$	$\frac{1}{час}$	кг	сут (час)	-	кг	%	%
1									
2									
3									

7. По формуле (8) вычислить m_p , а по формуле (9) - δ (для вычислений рекомендуется использовать приложение "Maple 7" или инженерный калькулятор Вашей ЭВМ).

8. Оценить среднее значение $\langle \delta \rangle$.

9. Сделать по работе вывод.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под естественной радиоактивностью и каков состав радиоактивного излучения?
2. Запишите закон радиоактивного распада.
3. Что называется периодом полураспада?
3. Как устроен спинарискоскоп Крукса. В чем смысл метода сцинтилляций?
4. Получите формулу для определения массы радиоактивного вещества.

Список литературы

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Грабовский Р.И. Курс физики - СПб.: Лань, 2012