

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**

Кафедра физики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ**

для студентов специальностей
240400, 290300, 290600,
290700, 290800, 291000

Раздел. Строение атома

Лабораторная работа № 66

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

УДК 530.1

Составители: Маклаков Л.И., Хакимов А.М.

Графическое оформление: Сучкова Г.Г.

Под редакцией В.В. Алексеева,

Лабораторная работа разработана и изготовлена в НИИ Ядерной физики Московского Государственного Университета им. М.В.Ломоносова

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов специальностей 240400, 290300, 290600, 290700, 290800, 291000.

Лабораторная работа №66. "Рентгеновское излучение". /Казанская государственная архитектурно-строительная академия. Составители Маклаков Л.И., Хакимов А.М.. (под редакцией В.В. Алексеева,). Казань, 2014 г. – 9 с.

В данных методических указаниях представлен весь материал, включая сами задания теоретические пояснения и справочные данные для выполнения лабораторной работы.

Рецензент: заведующий кафедрой химии Казанской государственной архитектурно-строительной академии профессор, д.х.н. В.В.Овчинников

© Казанская государственная
архитектурно-строительная
академия, 2014 г.

Рентгеновские лучи (рентгеновское излучение) представляют собой электромагнитное излучение с очень короткими длинами волн от 0,001 до 80 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Со стороны длинных волн они перекрываются ультрафиолетовыми лучами, а коротковолновое рентгеновское излучение сливается с γ – лучами радиоактивных веществ. Рентгеновское излучение обладает всеми свойствами, характерными для световых волн: они обладают фотографическим действием, им присущи явления интерференции, дифракции и поляризации.

Целью данной работы является ознакомление с физикой рентгеновских лучей, методами их получения и наблюдения, а также с областями их использования в науке и технике.

Лабораторная работа использует метод моделирования работы рентгеновского спектрометра. Это означает, что установка полностью соответствует реально работающей установке, но все процессы, связанные с рентгеновскими лучами, моделируются с помощью компьютера. Иначе говоря, в установке отсутствуют рентгеновские лучи. Метод моделирования используется потому, что рентгеновское излучение опасно для человека и при обучении нет необходимости иметь с ними дело. Данный подход позволяет научиться работать на установке, узнать в каком виде представляются и обрабатываются получаемые результаты.

Для понимания природы рентгеновского излучения необходимо рассмотреть строение атома. Любой многоэлектронный атом представляет собой положительно заряженное ядро, окружённое системой электронных слоёв. Самый внутренний, ближайший к ядру, слой называют *K*-слоем, следующий — *L*-слой и последующие слои — *M*, *N*, *O*, *P*, *Q*. Каждый слой характеризуется определённым главным квантовым числом n : для *K*-слоя $n = 1$, для *L* — $n = 2$, для *M* — $n = 3$ и т.д. Каждому главному квантовому числу n и, следовательно, электронам данного слоя соответствует определённая энергия E_n . Следует отметить, что с ростом значения главного квантового числа n расстояние от ядра (то есть радиус орбиты, по которой движется электрон), а также энергия электрона увеличиваются. Таким образом, ближайшим к ядру является *K*-слой, который обладает наименьшей энергией.

Линейчатые спектры атомов в оптической области спектра

Электроны внешней оболочки атома, называемые валентными электронами, ответственны за химические, электрические, магнитные и оптические свойства атома. Именно с валентными электронами связано происхождение линейчатых (оптических) спектров атома водорода, наблюдаемых в видимой области спектра. Спектр света, испускаемого водородом при прохождении через него электрического тока, представляет собой серию линий (отсюда слово «линейчатый»). Это означает, что водород (как и другие газообразные тела) излучает электромагнитные волны только определённой частоты $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots$, тогда как нагретые твёрдые и жидкие тела дают сплошной спектр, то есть все частоты видимого спектра.

Природу линейчатых спектров впервые объяснил Нильс Бор с помощью введённых им постулатов. Один из них объясняет излучение энергии атомом и гласит: испускание света атомом происходит при переходе электрона из одного стационарного состояния с энергией E_n в другое с меньшей энергией E_m . При этом испускается квант энергии $h\nu$ в соответствии с уравнением

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (1)$$

где h — $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка, ν — частота излучения.

Эта формула придала физический смысл эмпирической формуле Бальмера, описывающей частоты волн, испускаемых атомом водорода, в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра:

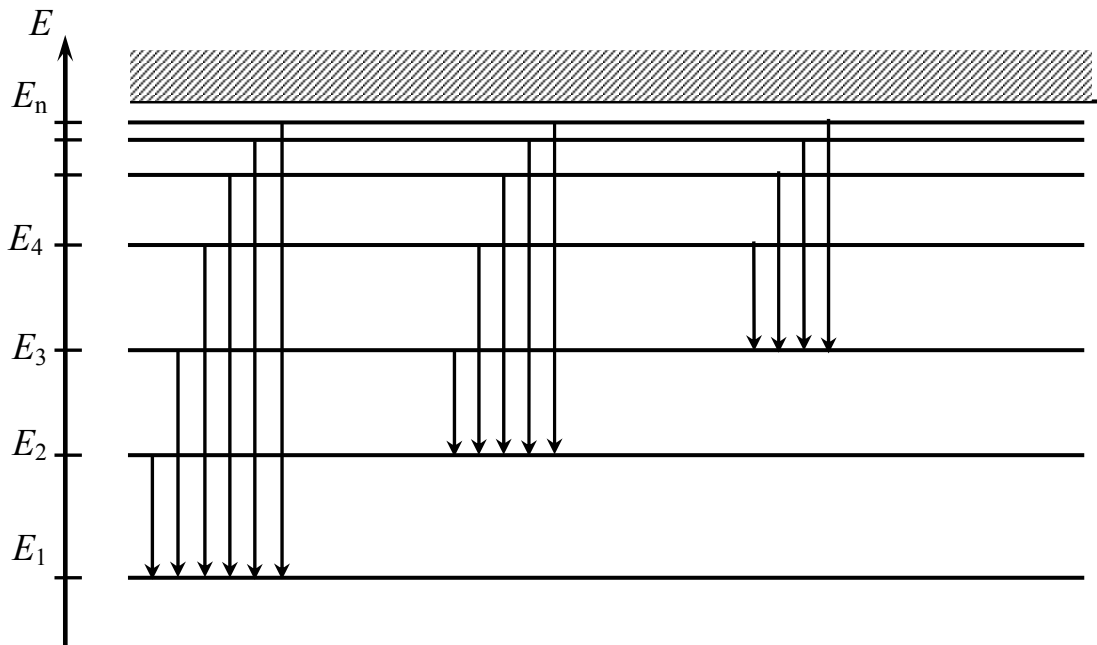


Рис. 1. Схема энергетических уровней и переходов электронов в атоме водорода. Каждому значению энергии атома сопоставляется для наглядности уровень энергии. Заштрихованная область соответствует энергии отрыва электрона от ядра

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right), \quad (2)$$

где ν — частота, испускаемого света, m и n — главные квантовые числа. Число m принимает значения 1, 2, 3, ... и характеризует серию линий, а число n равно $m + 1$, $m + 2$ и т. д. и характеризует конкретную линию серии; $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ 1/c}$ — постоянная Ридберга. При $m = 1$ описывается так называемая серия Лаймана в ультрафиолетовой области $\nu = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$. При $m = 2$ — серия Бальмера в види-

мой области $\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$. При $m = 3$ — серия Пашена в инфракрасной области

$h\nu = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$. На рис. 1 показаны энергии, которыми может обладать электрон в атоме водорода (энергетические уровни), с переходами между ними, описывающими наблюдаемые серии линий.

Умножим обе части (2) на h : $h\nu = hR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$. Сравнивая полученное выражение с формулой (1), получаем:

$$h\nu = E_n - E_m = hR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right). \quad (3)$$

Отсюда следует выражение энергии электрона в атоме водорода на уровне n :

$$E_n = -\frac{hR}{n^2}. \quad (4)$$

Рентгеновское излучение.

Линейчатые спектры, описанные выше, определяются переходами валентных электронов, т.е. электронов, расположенных во **внешних** оболочках атомов. Однако возможны переходы и во **внутренних** слоях, которые и приводят к появлению рентгеновского излучения. Такие переходы возможны лишь в том случае, когда один или несколько внутренних электронов будут удалены (образуются вакансии — «дырки»). Тогда любой электрон, расположенный на более высоком уровне энергии, может перейти на более низкий уровень, где имеются вакансии, с излучением рентгеновского кванта.

Если дырки расположены на K -уровнях ($n = 1$), то есть с них выбиты электроны (механизм выбивания будет рассмотрен ниже), то переходы на образовавшиеся вакансии с выше лежащих L , M , N, \dots -уровней образуют K -серию рентгеновского излучения. Аналогичный процесс наблюдается при переходах на вакансии L -уровней (L -серия), на вакансии M -уровней (M -серия) и т.д. Такие переходы показаны на рис. 2, которые аналогичны переходам, описывающим линейчатые оптические спектры (рис. 1). Это обусловлено общностью механизма возникновения оптических и рентгеновских спектров.

Согласно формуле (4), энергия электрона в атоме водорода равна $E_n = -\frac{hR}{n^2}$.

Электрон в этом случае находится только под воздействием силы притяжения ядра, заряд которого равен $+e$. Однако в случае многоэлектронного атома на отдельный электрон действуют не только силы кулоновского взаимодействия с зарядом ядра Ze (Z — атомный номер элемента), но и с другими электронами. В связи с этим в формулу энергии (4) вводится поправка, учитывающая такое взаимодействие:

$$E_n = -\frac{hR}{n^2}(Z - \sigma_n)^2, \quad (5)$$

где σ_n — постоянная экранирования. Смысл постоянной экранирования заключается в том, что на электрон, совершающий переход, действует не весь заряд ядра Ze , а заряд $(Z - \sigma_n)e$, ослабленный экранирующим действием электронов, находящимися между рассматриваемым электроном и ядром. Эта константа имеет одно и то же значение в пределах одной серии линий для всех химических элементов, но меняется при переходе от одной серии к другой. Так, для K -серии $\sigma_K = 1$, для L -серии $\sigma_L = 7,5$.

Закон Мозли.

Для рентгеновского излучения формула (3) с учётом (5) запишется:

$$h\nu = E_n - E_m = hR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)(Z - \sigma_n)^2. \quad (6)$$

Поделив на h , получим частоту излучаемого рентгеновского излучения:

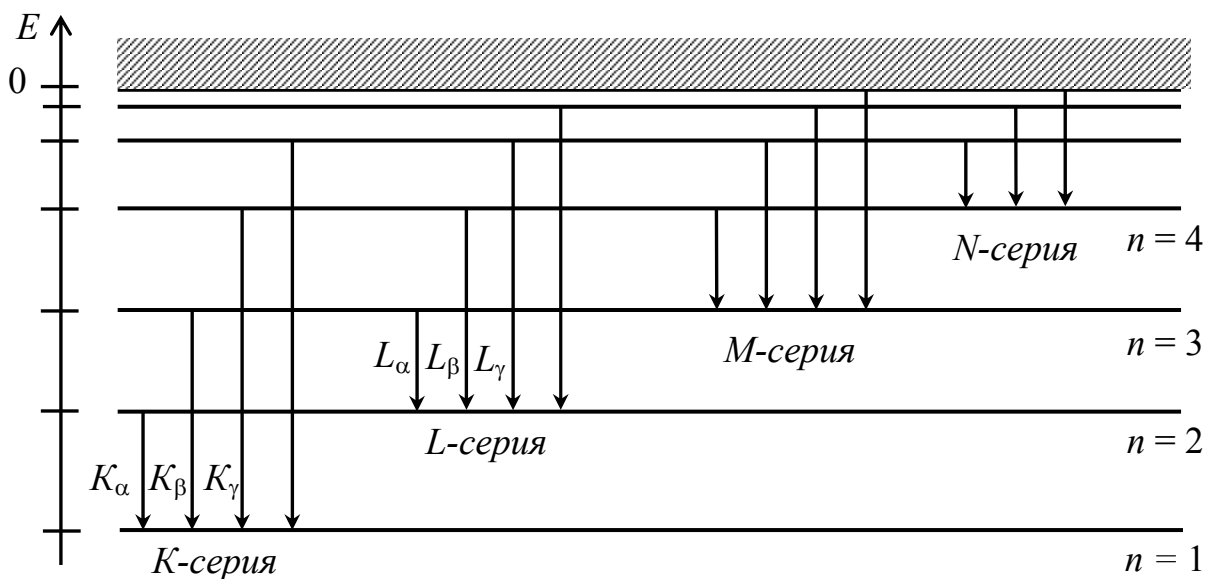


Рис. 2. Схема рентгеновских уровней и переходов, образующих K, L, M, N -серии. Индексами α, β, γ обозначены конкретные линии перехода: α — между соседними уровнями, β — через один уровень, γ — через 2 уровня

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)(Z - \sigma_n)^2. \quad (6a)$$

Если рассматривать определённую спектральную линию в данной серии (m и n фиксированы, то есть $R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = M$ — постоянная величина), то получим зависимость частоты рентгеновского излучения от атомного номера химического элемента Z : $\nu = M(Z - \sigma_n)^2$ и

$$\sqrt{\nu} = \sqrt{M}(Z - \sigma_n). \quad (7)$$

Полученное выражение (7) называют законом Мозли, который показывает, что **квадратный корень из частоты колебаний излучения определённой серии пропорционален атомному номеру химического элемента.**

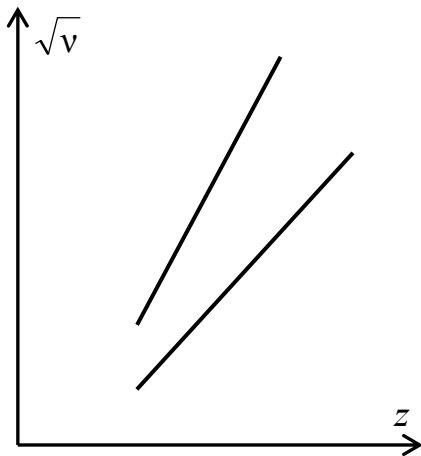


Рис.3. Диаграмма Мозли для K и L - серий

Пример. Для K_α -линии $m = 1$, $n = 2$, $\sigma = 1$ и формула (7) имеет вид $\sqrt{\nu} = \sqrt{\frac{3}{4}R}(Z - 1)$. Если

брать различные Z , то есть переходить от одного химического элемента к другому, и построить график зависимости $\sqrt{\nu}$ от Z , то получим линейную зависимость (рис. 3)

Закон Мозли позволяет по измеренной частоте рентгеновской линии точно узнать атомный номер Z исследуемого элемента. Он сыграл большую роль при размещении элементов в таблице Менделеева.

Получение рентгеновского излучения.

Как следует из предыдущего раздела, для получения рентгеновского излучения необходимо выбить электроны из внутренних оболочек атомов. Тогда переходы электронов с более высоких уровней и приведут к появлению рентгеновского излучения. Этого можно достичь, например, путём облучения атомов электронами большой энергии. Такой метод используется в рентгеновской трубке, схема которой представлена на рис. 4. Рентгеновская трубка представляет собой вакуумный баллон с вмонтированным катодом и анодом (антикатодом), к которым подведено высокое напряжение (10 — 150 кВ). Катод подогревается независимым источником тока и вследствие термоэлектронной эмиссии испускает свободные электроны, которые разгоняются полем высокого напряжения до очень высоких скоростей, то есть приобретают большую кинетическую энергию. Ударяясь об анод, электроны выбивают электроны с внутренних оболочек атомов, из которых состоит материал анода (например, молибдена), и происходит излучение рентгеновских квантов с определёнными частотами — появляется линейчатый спектр материала анода (молибдена). Отметим, что анод делается ско-

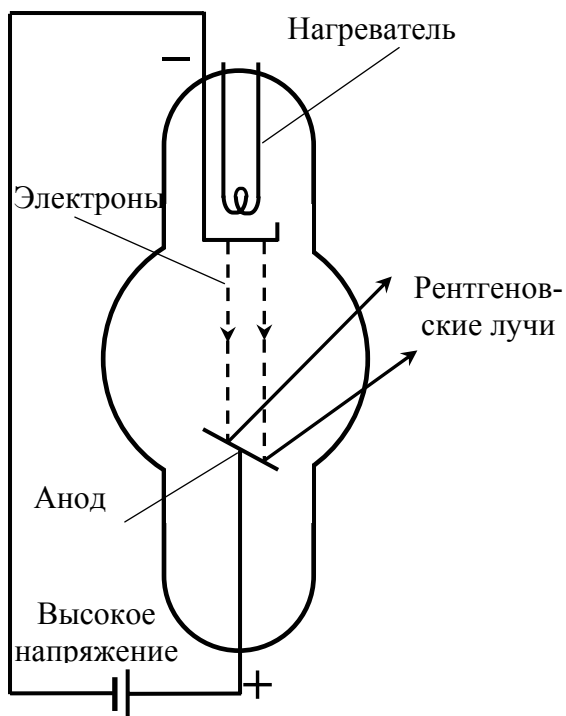


Рис. 4. Рентгеновская трубка

она полностью или частично превращается в энергию рентгеновского кванта,

т.е. $h\nu \leq \frac{mv^2}{2}$. Поэтому частота рентгеновского излучения имеет разные значения, начиная от малых значений до

частоты $\nu_0 = \frac{mv^2}{2h}$, или в длинах

волн от наименьшего значения $\lambda = \frac{c}{\nu_0} = \frac{2hc}{mv^2}$ до больших значений.

Получается непрерывный спектр. Отметим, что область частот тормозного спектра не зависит от материала анода, а определяется только энергией eU , сообщаемой электронам электрическим полем. В целом рентгеновский спектр представляет собой наложение непрерывного и линейчатого спектра (рис. 5).

шенным под некоторым углом для того, чтобы рентгеновское излучение выходило под определённым углом в бок аналогично отражению света от наклонённого зеркала.

Опыт показывает, что, кроме линейчатого спектра, в рентгеновском излучении наблюдается и непрерывный спектр, который называют **тормозным спектром**, а само излучение **тормозным излучением**. Появление этого излучения объясняется следующим образом. Кинетическая энергия подлетающего к аноду электрона определяется соотношением $\frac{mv^2}{2} = eU$,

где m , e и ν — масса, заряд и скорость электрона, U — напряжение между катодом и анодом. При ударе об анод

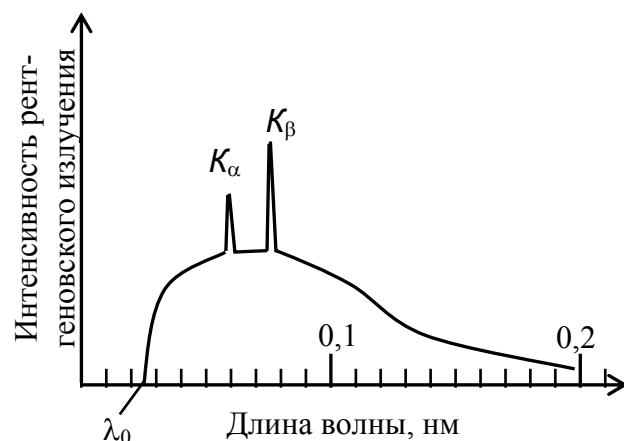


Рис. 5. Рентгеновский спектр излучения, испускаемый молибденовой мишенью

Применение рентгеновских лучей

Открытие рентгеновских лучей привело к широкому их использованию во многих областях. Рассмотрим некоторые применения.

1. Идентификация атомов. Каждый химический элемент обладает своим неповторимым рентгеновским спектром. Это позволяет идентифицировать хи-

мический элемент в любом сложном химическом соединении, то есть изучать его химический состав.

2. Рентгеновская микроскопия. Обычные оптические микроскопы имеют предельное увеличение, что определяется явлением дифракции и длиной волны видимого света. Длина волны рентгеновских лучей много меньше и это позволяет создать микроскоп с увеличением, которое превышает увеличение оптического микроскопа в 100 — 1000 раз.

3. Исследование космоса. Звёзды (в том числе Солнце) являются источниками рентгеновского излучения. По спектру излучения можно определять химический состав звёзд. Оказалось, что рентгеновские лучи испускаются и невидимыми космическими объектами. В настоящее время существуют не только карта обычного видимого звёздного неба, но и карта «рентгеновского неба».

4. Медицина. Рентгеновские лучи обладают способностью проходить через непрозрачные материалы, причём через одни материалы они проникают лучше, чем через другие. Это позволило использовать их в медицинских целях (флюорография и рентгенография).

5. Дифракция рентгеновских лучей и рентгеноструктурный анализ. Дифракцию световых лучей легко наблюдать с помощью дифракционной решётки. Рентгеновские лучи имеют очень короткие длины волн и воспользоваться обычной дифракционной решёткой не удаётся, так как длина волны излучения должна быть соизмерима с размером щели решётки. В этом случае можно воспользоваться кристаллической решёткой какого-то вещества, например, кристалла поваренной соли NaCl. В NaCl атомы образуют кубическую кристаллическую решётку (рис. 6) с периодом идентичности d ($d \approx 0,1$ нм). Предположим, что на такой кристалл под углом θ к его поверхности (не к перпендикуляру к поверхности, как в оптике!) падает пучок рентгеновских лучей одной длины волны λ и что два луча, изображённые на рис. 6, отражаются двумя атомными плоскостями, расстояние между которыми равно d . Разность хода между лучами 1 и 2 равна $\Delta L = 2d \cdot \sin\theta$. Условие усиления интенсивности волн вследствие интерференции запишется, как $\Delta L = m\lambda$ ($m = 1, 2, 3, \dots$) и

$$2d \cdot \sin\theta = m\lambda. \quad (8)$$

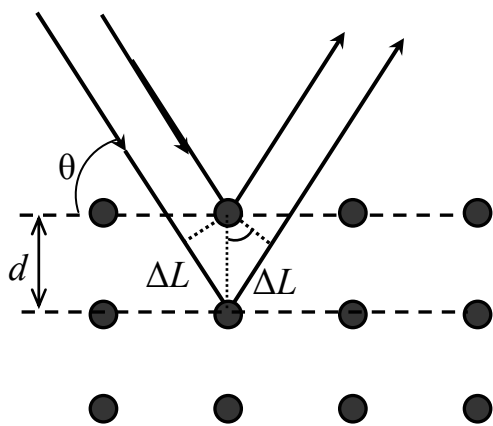


Рис. 6

Это так называемое условие Брэгга. Если известна длина волны λ рентгеновского излучения и измерен угол θ , при котором наблюдается усиление излучения, можно определить межатомное расстояние d . На этом основан рентгеноструктурный анализ в кристаллографии.

Рентгеноструктурный анализ, основанный на использовании формулы Брэгга, занимается исследованием строения материи. Это означает определение строения молекул, кристаллов, биологических сис-

тем, то есть определение расстояний между атомами, углов между химическими связями и пространственной структуры сложных молекул и их совокупностей.

В сложных системах, состоящих из многих атомов, рентгеновские дифракционные картины чрезвычайно сложны, поскольку кристалл является трёхмерным объектом, и лучи будут дифрагировать от разных плоскостей, образованными разными атомами.

В настоящее время разработаны методы расшифровки сложных дифракционных картин с помощью компьютеров, и получается весьма ценная информация. Одним из высших достижений рентгеноструктурного анализа явилась расшифровка структуры молекулы ДНК, ответственной за наследственность человека. Большую роль сыграл этот метод и при изучении строительных материалов — расшифрованы структуры молекул, входящих в них.

Описание установки и выполнение работы

В данной лабораторной работе ставится задача изучения рентгеновских спектров ряда химических элементов и проверка закона Мозли.

Рентгеновский ППД-спектрометр. Приборы для изучения рентгеновского

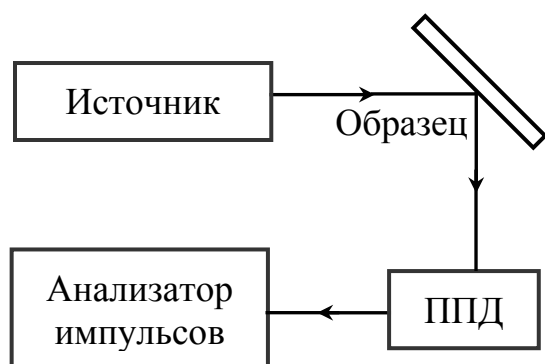


Рис. 8. Принципиальная схема ППД-спектрометра

излучения и его спектрального состава называются рентгеновскими спектрометрами. Рентгеновская трубка излучает все частоты волн. Чтобы проанализировать спектральный состав излучения (определить частоты излучаемых волн) рентгеновский пучок нужно разложить в спектр.

В настоящей работе используется современный спектрометр, использующий полупроводниковый детектор (ППД), способный с помощью электронных устройств различать рентге-

новские кванты разной энергии. Такие детекторы одновременно регистрируют излучение и определяют энергию квантов, то есть разлагают рентгеновское излучение в спектр, но не по частотам, а по энергиям. Энергию рентгеновских квантов принято измерять в электронвольтах (эВ) или точнее в килоэлектронвольтах ($1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ}$). Электрон-вольт — энергия, сообщаемая электрону в электрическом поле с разностью потенциалов 1 В. ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Переход

от энергий к частотам следует по формуле Планка $\nu = \frac{E}{h}$.

Рентгеновский спектрометр (рис. 8) состоит из источника рентгеновского излучения в виде рентгеновской трубки, изучаемого образца, полупроводникового детектора (ППД) и электронной схемы для анализа сигналов от ППД (анализатор импульсов), включающей персональный компьютер. На рис. 9 приведена фото-

графия части установки, на которой указаны месторасположение рентгеновской трубки (1), диска с набором мишеней-образцов (2) и ППД спектрометра (4).

Первичное рентгеновское излучение попадает на образец и возбуждает в нём вторичное излучение, которое затем регистрируется под углом 90° относительно направления возбуждающего пучка с помощью ППД. На передней панели прибора имеется цифровой индикатор, указывающий название и атомный номер образца, кнопки со световыми диодами-индикаторами для включения различных узлов прибора и кнопка включения питания установки. Сигналы со спектрометра передаются в компьютер. Компьютер управляет работой прибора и контролирует действия, выполняющего работу студента.

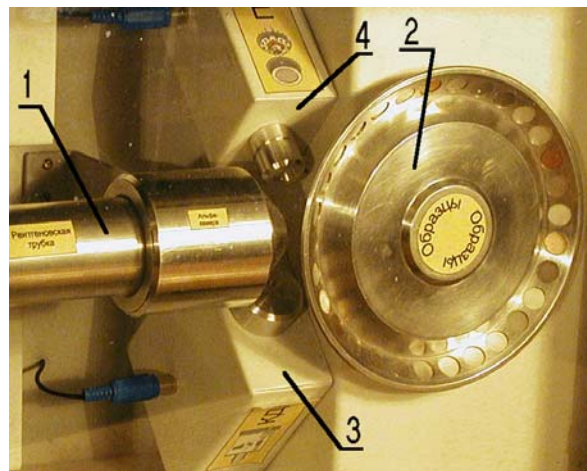


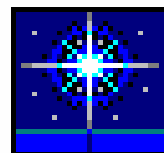
Рис. 9

Порядок выполнения работы

Подготовка к работе.

1. Включить прибор кнопкой «ВКЛ» в правом нижнем углу.
2. Включить или перезагрузить компьютер.
3. Открыть папку «УЛК Рентгеновский спектрометр» на рабочем столе Windows (нацелив курсор и нажав на левую кнопку мыши). Затем нажмите клавишу “Enter”.

4. Запустить программу с ярлыком «Эксперимент»



. Нажмите

- клавишу “Enter”. По запросу компьютера введите Вашу фамилию, имя и номер группы. Закончив ввод, нажмите «ОК» и затем клавишу “Enter”.
5. Выясните, под каким порядковым номером Вы записаны в журнале лабораторных работ. (Журнал находится у преподавателя)
 6. Выберите образцы в соответствии с приведённой таблицей согласно Вашему варианту (номеру в журнале).
 7. Мышкой откройте первую строку списка «Панель экспериментальной установки». Нажмите ОК или клавишу “Enter”.
 8. Выберите первый образец из Вашего набора (см. пункт 7 задания в таблице 1), наведя курсор на соответствующий элемент списка. После нажатия левой клавиши мыши программа предложит Вам установить образец. Согласитесь, нажав «ДА», и диск с образцами начнёт вращаться. Подождите, пока вращение прекратится и на индикаторе прибора появится название выбранного элемента.

Таблица 1.

Порядковый Номер	Химические элементы и их атомные номера
1	Титан $Z = 22$, Германий $Z = 32$, Индий $Z = 49$,
2	Изотоп железа Fe^{55} $Z = 26$, Молибден $Z = 42$, Сурьма $Z = 51$
3	Железо $Z=26$, Селен $Z = 34$, Серебро $Z = 47$
4	Кобальт $Z = 27$, Ниобий $Z = 41$, Сурьма $Z = 51$
5	Титан $Z = 22$, Медь $Z = 29$, Сурьма $Z = 51$
6	Титан $Z=22$, Селен $Z = 34$, Индий $Z = 49$
7	Изотоп железа Fe^{55} $Z = 26$, Галлий $Z = 31$, Серебро $Z = 47$
8	Железо $Z = 26$, Ниобий $Z = 41$, Индий $Z = 49$
9	Медь $Z = 29$, Молибден $Z = 42$, Сурьма $Z = 51$
10	Вольфрам $Z = 74$, Свинец $Z = 82$, Америций $Z = 95$
11	Вольфрам $Z = 74$, Золото $Z = 79$, Америций $Z = 95$
12	Вольфрам $Z = 74$, Радий $Z = 88$, Америций $Z = 95$
13	Тантал $Z = 73$, Висмут $Z = 83$, Америций $Z = 95$
14	Тантал $Z = 73$, Золото $Z = 79$, Америций $Z = 95$
15	Тантал $Z = 73$, Висмут $Z = 83$, Америций $Z = 95$

9. На приборной панели включите только жёлтую кнопку «ППД» для **титана, изотопа железа, кобальта, радия и америция** (эти образцы выделены в таблице жирным шрифтом). Для всех остальных образцов включите две кнопки: «рентген» и «ППД». При этом загорится подсветка кнопок, а на экране монитора эти надписи станут красными.

10. Нажатием левой клавиши мыши запустите ярлык «эксперимент»



(находится в верхнем левом углу экрана).

11. Установите время экспозиции 50 секунд. Если эта цифра уже введена на панели управления, то остаётся только нажать на «ОК». Иначе придётся ввести число 50, установив мышью курсор в соответствующее окошко и набирая цифры с клавиатуры.

12. Произведите набор спектра. Для этого программа предложит нажать на **панели прибора** мигающую красную кнопку «набор спектра». После нажатия мигание прекратится.

13. Дождавшись конца измерения, сохраните спектр, запустив ярлык «со-

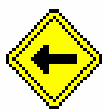
хранить» в виде дискеты



в верхнем левом углу экрана. На-

жмите клавишу “Enter” или ОК.

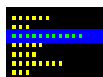
14. Повторите измерения для оставшихся образцов, выполняя указания пунктов 9-14. Для этого найдите на экране и нажмите кнопку «назад»



(жёлтый ромб с чёрной стрелкой).

15. Войдите в пункт меню «обработка спектра». Для возврата в меню ис-

пользуйте значок



. В окне записанных спектров выберите

нужный спектр и откройте его.

16. Нажмите на синий значок



идентификации линий на экра-

не дисплея. После выбора нужного элемента и нажатия кнопки «ОК» на спектральных линиях появляются указатели типа линии. Если в спектре имеются «чужие» линии, то они не идентифицируются.

17. Для вариантов 1 — 9 найдите энергии линий K_{α} . Для 10 и 11 вариантов — энергии линий L_{α} . Для 12 и 13 вариантов — энергии линий L_{β} . Для 14 и 15 вариантов — энергии линий L_{γ} . С этой целью выделите участок спектра с соответствующей линией. Для выделения подведите курсор к началу участка (краю линии). Теперь нажмите и не отпускайте левую кнопку мыши, пока её смещением не приведёте курсор к другому краю участка. Выделенный участок оказывается затемнённым. Нажав на значок

чок



, увеличьте картинку. Затем установите курсор на центр

(максимум) линии, нажмите на левую кнопку мыши.

18. Определите энергию линий в кэВ, взяв значения в правом нижнем углу экрана.
19. Запишите эти значения в приведённую ниже таблицу.
20. Для выключения компьютера наведите курсор на кнопку «Пуск», нажмите на левую клавишу мыши, выберите в окне «Завершение работы» выключить компьютер. Нажмите ОК. Когда на экране дисплея появится надпись «Теперь питание компьютера можно отключить», отключите компьютер.
21. Выразите энергию в джоулях, умножив значение в кэВ на $1,6 \cdot 10^{-16}$.

22. Определите частоту линии по формуле $\nu = \frac{E}{h}$, где постоянная Планка

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с.}$$

23. Заполните таблицу 2.

24. Постройте график зависимости квадратного корня частоты линии от атомного номера элемента.

25. Продлив график до пересечения с осью абсцисс, найдите постоянную экранирования.

Таблица 2.

Название элемента	Атомный номер Z	Энергия E , в кэВ	Частота ν , в Гц	Корень из частоты $\sqrt{\nu}$

Контрольные вопросы

1. Объясните природу линейчатых спектров атомов.
2. Поясните постулат Бора, объясняющий излучение света атомами, и его связь с формулой Бальмера.
3. Каково происхождение рентгеновских спектров.
4. Формула Мозли и её смысл.
5. Объясните работу рентгеновской трубки.
6. С чем связано тормозное рентгеновское излучение?
7. Какие применения рентгеновского излучения?
8. Объясните дифракцию рентгеновского излучения и смысл рентгеноструктурного анализа.