

Лабораторная работа № 572. Закон Мозли и определение постоянной Ридберга.

Цели и задачи:

- Измерение К-краев поглощения в спектрах пропускания Zr, Mo, Ag.
- Проверка закона Мозли.
- Определение постоянной Ридберга.

Замечания по технике безопасности

Этот рентгеновский аппарат выполнен по всем правилам дизайна рентгеновской аппаратуры, это полностью защищенное устройство для учебного использования, этот аппарат одобрен для использования в школах Германии.

Встроенные защитные и экранированные приспособления уменьшают мощность дозы вне рентгеновского аппарата до $1 \mu\text{Sv/ч}$, которая имеет порядок величины естественного фона.

- Перед вводом в эксплуатацию рентгеновского аппарата, проверьте, нет ли повреждений его конструкции (смотрите в инструкции рентгеновского аппарата);
- Не допускайте посторонних лиц к рентгеновскому аппарату;

Не допускайте перегрева рентгеновской трубки.

- Перед включением высокого напряжения, проверьте, работает ли вентилятор, охлаждающий рентгеновскую трубку;

Гониометр позиционируется исключительно шаговым электродвигателем.

- Не блокируйте ручку мишени и ручку датчика и не прикладывайте силу, чтобы переместить их.

Теоретическая часть

Поглощение рентгеновских квантов при прохождении рентгеновских лучей через вещество, по сути, происходит за счет ионизации атомов, при котором электрон освобождается из внутренней оболочки, например, К-оболочки. Это может произойти только тогда, когда энергия кванта

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (\text{I})$$

h : постоянная Планка

c : скорость света

больше, чем энергия связи E_K оболочки. Пропускание

$$T = \frac{R}{R_0} \quad (\text{II})$$

R : степень интенсивности после аттенюатора

R_0 : интенсивность перед аттенюатором

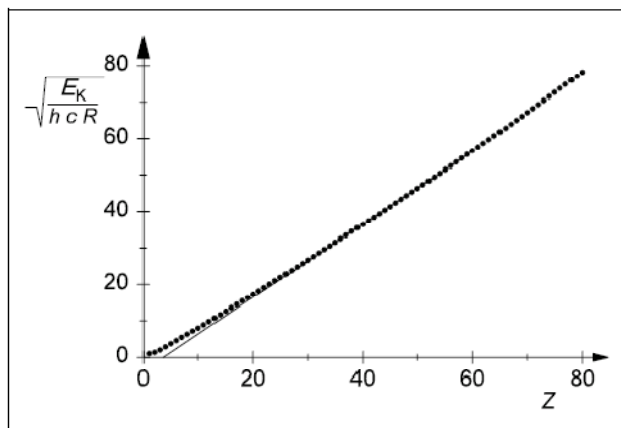


Рис. 1 Энергия связи К-оболочки вида $\sqrt{\frac{E_K}{h \cdot c \cdot R}}$ в зависимости от атомного номера Z

материала тем самым резко увеличивается в зависимости от длины волны на

$$\lambda_K = \frac{h \cdot c}{E_K} \quad (\text{III})$$

Это резкое изменение называется краем поглощения, в данном случае К-краем поглощения.

В 1913 году английский физик Генри Мозли измерил К-края поглощения для различных элементов и сформулировал закон, который носит его имя:

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda_K}} = \sqrt{R} * (Z - \sigma_K) \quad (\text{IV})$$

R : постоянная Ридберга

Z : атомный номер поглощающих элементов

σ_K : коэффициент экранирования К-оболочки

Подставив значение уравнения (III), получим формулу для расчета энергии связи для К-края

$$E_K = h \cdot c \cdot (R - \sigma_K)^2 \quad (\text{V})$$

Мы можем представить это уравнение в соответствии с предсказаниями модели атома Бора, полагая следующее:

Заряд ядра $Z \cdot e$ атома частично экранирован от электрона, высвобожденного из К-оболочки из-за поглощения рентгеновских квантов, оставшимися в атомной оболочке электронами. Поэтому, в среднем, только заряд $(Z - \sigma_K) \cdot e$ действует на электрон при ионизации.

Этот эксперимент подтверждает закон Мозли путем измерения К-краев поглощения для атомных номеров Z между 40 и 50. В этом диапазоне, коэффициент экранирования σ_K в значительной степени зависит от Z (см. Рис. 1). Таким образом, (IV) уравнение эквивалентно общему уравнению прямой вида

$$Y = a \cdot x + b \quad (\text{VI})$$

с атомным номером Z как x -переменной. Из параметров a и b прямой, мы можем рассчитать постоянную Ридберга и коэффициент экранирования σ_K :

$$R = a^2, \quad \sigma_K = -\frac{b}{a} \quad (\text{VII})$$

Уравнение (VI) соответствует закону Дуэйна-Ханта. Коэффициент пропорциональности

$$A = \frac{h \cdot c}{e} \quad (\text{VII})$$

Гониометр с кристаллом NaCl и счетчиком Гейгера-Мюллера в Брэгговской конфигурации используются для измерения пропускания T в зависимости от длины волны. Кристалл и счетчик поворачиваются относительно падающего рентгеновского пучка в 2θ связи, т.е. счетчик поворачивается на удвоенный угол кристалла (см. Рис. 2).

Согласно Брэгговскому закону отражения угол рассеяния θ в первом порядке дифракции соответствует длине волны

$$\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (\text{VIII})$$

$d = 282.01$ pm: расстояние между плоскостями решетки NaCl

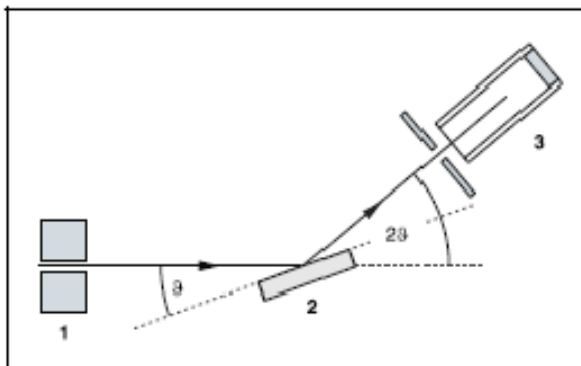


Рис.2. Принципиальная схема дифракции рентгеновских лучей монокристалла и 2θ связь между углом счетчика и углом рассеяния (углом скольжения)

1 коллиматор, 2 монокристалл, 3 счетчик

Экспериментальная установка

- Рентгеновский аппарат марки LD Didactic;
- Рентгеновская трубка с молибденовым анодом;
- Гониометр;
- Столик для образцов;
- Торцевой счетчик;
- Ноутбук.

Подготовительные работы

На рис. 3 показаны некоторые важные детали экспериментальной установки. Для подготовки экспериментальной установки, выполните следующие действия: (см. также инструкцию для рентгеновского аппарата):

- Установите коллиматор в отверстие (a) (обратите внимание на направляющий паз).
- Прикрепите гониометр к направляющим рельсам (d) таким образом, чтобы расстояние s_1 между щелевой диафрагмой коллиматора и серединой столика составило около 5 см. Подключите ленточный кабель (c) для управления гониометром.
- Снимите защитный колпачок на торцевом счетчике, установите торцевой счетчик в гнездо (e) и подключите кабель счетчика к разъему, обозначенному GMTUBE.

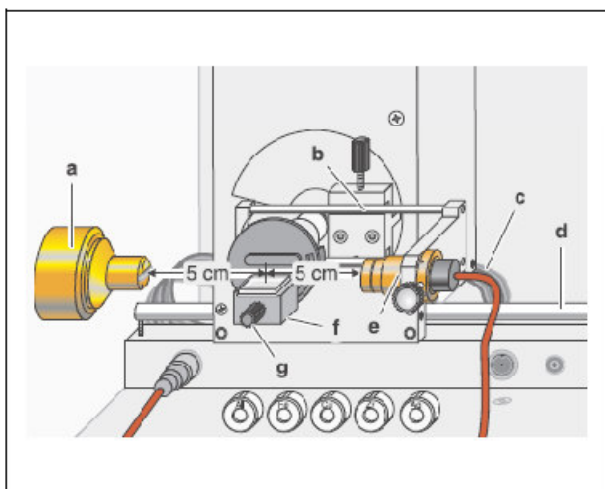



Рис. 3. Экспериментальная установка в Брэгговской конфигурации



- Перемещая крепление (b), установите расстояние s_2 между серединой столика и торцевым счетчиком, равное приблизительно 6 см.
- Установите столик для мишени (f).
- Ослабьте винт с накатанной головкой (g), поместите кристалл NaCl ровно на столик для мишени, осторожно поднимите столик с кристаллом до упора и осторожно затяните винт с накатанной головкой (предотвратите перекося кристалла, слегка надавливая на него)
- При необходимости отрегулируйте нулевое положение гониометра (см. инструкцию для рентгеновского аппарата).

Примечания:

- Кристаллы NaCl гигроскопичны и чрезвычайно хрупки. Храните кристаллы в сухом месте; избегайте механического воздействия на кристалл; держите кристалл только за короткие грани.
- Если интенсивность слишком низкая, Вы можете несколько уменьшить расстояние s_2 между образцом и датчиком. Однако расстояние не должно быть слишком маленьким, иначе угловое разрешение гониометра будет недостаточным.

Проведение эксперимента

- Запустите программу «X-Ray Apparatus», убедитесь, что аппарат подключен правильно, и удалите все существующие данные измерений с помощью кнопки  или клавиши F4.
- Установите высокое напряжение трубки $U = 35,0$ kV, эмиссионный ток $I = 1,00$ mA, и угловой шаг $\Delta\beta = 0,1^\circ$.

- Нажмите клавишу COUPLED для активации 2 θ связи мишени и датчика и установите нижний предел угла мишени 3,7° и верхний предел 7,5°.
- время экспозиции $\Delta t = 5$ с
- Начните измерение и передачу данных на ПК, нажав клавишу SCAN.
- Когда завершится измерение, установите циркониевый фильтр на торцевой счетчик(е)гониометра и начните новое измерение, нажав клавишу SCAN.
- Замените фольгу Zr на фольгу Mo, Ag одну за другой и проведите дальнейшие измерения.
- Когда Вы закончите измерения, сохраните серию измерений под соответствующим именем, нажав кнопку  или F2.
- Для отображения данных измерений в виде зависимости от длины волны λ , откройте диалоговое окно "Settings" с помощью кнопки  или F5, и на вкладке «Crystal» → Lattice-plane spacing 2d: "564.0 pm (NaCl)".

Обработка данных

- Перейдите на вкладку "Transmission" в программе "X-Ray Apparatus" для генерирования спектра пропускания (см.Рис. 5) из дифракционных спектров (см.Рис. 4).
- Нажмите правой кнопкой мыши на диаграмме, чтобы получить доступ к оценочным функциям программы «X-Ray Apparatus» и выберите команду "Draw K-Edges".
- Отметьте диапазон для каждого K-края в спектрах пропускания с помощью левой кнопки мыши.
- Перейдите на вкладку "Moseley" и введите атомные номера соответствующих образцов фольги (Zr: 40, Mo: 42, Ag: 47) в графе Z (см.Рис. 6).
- Установите курсор на диаграмме, нажмите правую кнопку мыши и выберите команду "Best-fit Straight Line", затем, удерживая левую кнопку мыши, отметьте диапазон на диаграмме, на котором Вы хотите наложить линию. Результат значения постоянной Ридберга R и коэффициент экранирования σ_K будет отображен в левом нижнем углу окна.

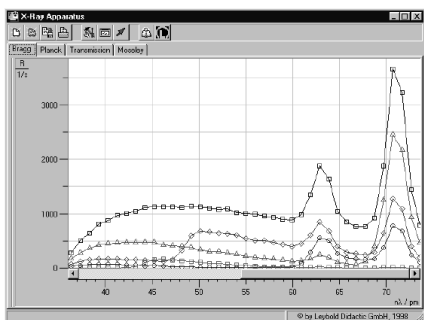


Рис. 4 Дифракционный спектр рентгеновских лучей с характеристическими линиями анода молибдена в диапазоне длин волн от 36 до 74 pm ($U = 35$ kV)
 Квадраты: Без затухания
 Треугольники: Затухание в фольге Zr
 Круги: Затухание в фольге Mo
 Ромбики: Затухание в фольге Ag

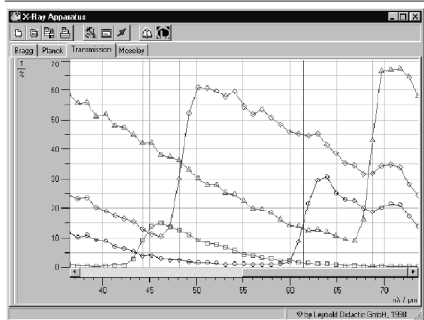


Рис. 5 Спектры пропускания в диапазоне длин волн от 36 до 74 pm
 Треугольники: Затухание в фольге Zr
 Круги: Затухание в фольге Mo
 Ромбики: Затухание в фольге Ag

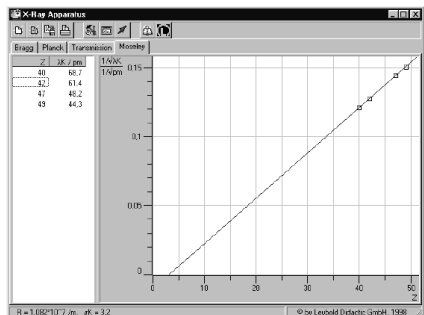


Рис. 6 показывает результат эксперимента
 $R = 1.082 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$, $\sigma_K = 3.2$

Справочное значение:
 $R = 1.097373 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
 $\sigma_K = 3.6$ (для умеренно тяжелых ядер)