

Монохроматизация рентгеновских лучей молибдена



Физика

Современная физика

Природа рентгеновского излучения и его применение



Уровень сложности

твёрдый



Размер группы

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

45+ Минут

PHYWE
excellence in science

Общая информация

Описание

PHYWE
excellence in science

Экспериментальная установка

Большинство применений рентгеновских лучей основано на их способности проходить сквозь вещество. Поскольку эта способность зависит от плотности вещества, становится возможным получение изображений внутренних частей объектов и даже людей. Это находит широкое применение в таких областях, как медицина или безопасность.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

Предварительные

знания



Предварительные знания, необходимые для этого эксперимента, приведены в разделе "Теория".

Принцип



Многочисленные эксперименты (например, эксперименты Дебая-Шеррера, касающиеся кристаллических структур) требуют монохроматического рентгеновского излучения, которое может быть получено путем фильтрации рентгеновских лучей с помощью монокристаллов или металлической фольги.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science



Обучение

цель



Задачи

Цель этого эксперимента - исследовать монохроматическое характеристическое рентгеновское излучение молибдена.

1. Проанализируйте интенсивность рентгеновского излучения молибдена в зависимости от угла Брэгга и с помощью монокристаллов LiF и KBr. Определите энергию характеристических рентгеновских линий.
2. Используйте монокристалл LiF, чтобы отфильтровать характеристическую линию из полихроматического спектра.
3. Монохроматизируйте рентгеновский спектр с помощью циркониевой фольги.

Теория (1/2)

Рентгеновские лучи, генерируемые рентгеновской трубкой, являются полихроматическими. Линии, энергия которых зависит не от напряжения анода, а от материала анода, накладываются на тормозной спектр (см. Эксперимент P2540205). Поскольку некоторые эксперименты (эксперименты Дебая-Шеррера, касающиеся кристаллических структур) требуют монохроматического рентгеновского излучения, это излучение создается путем фильтрации с помощью монокристаллов или с помощью металлической фольги.

Когда рентгеновские лучи с длиной волны λ падают на плоскости решетки монокристалла под углом скольжения θ , лучи, которые отражаются от плоскостей решетки, конструктивно интерферируют друг с другом при условии, что их разность хода соответствует целому кратному числу длин волн. Это условие объясняется законом Брэгга:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda \quad (1) \quad (d: \text{межплоскостное расстояние; } n = 1, 2, 3, \dots)$$

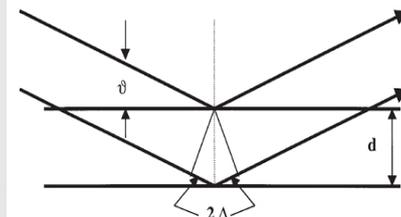


Рис. 1: Брэгговское рассеяние на паре плоскостей решетки

Теория (2/2)

Если известно межплоскостное расстояние d , то с помощью угла скольжения θ можно определить длину волны λ . Энергия излучения возникает в результате:

$$E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

Объединяя (2) и (3), получаем:

$$E = \frac{n \cdot h \cdot c}{2d \cdot \sin(\theta)} \quad (4)$$

Примечание:

Данные диаграммы уровней энергии были взяты из «Справочника по химии и физике», CRC Press Inc., Флорида.

Постоянная Планка $h = 6,6256 \cdot 10^{-34}$ Джс

Скорость света $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Межплоскостное расстояние LiF (200) $d = 2,014 \cdot 10^{-10}$ м

Межплоскостное расстояние KBr (200) $d = 3,290 \cdot 10^{-10}$ м

Смещение $\lambda = 1,4634 \cdot 10^{-10}$ м

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	XR 4.0 X-ray Базовая рентгеновская установка, 35 кВ	09057-99	1
2	XR 4.0 X-ray Гониометр для рентгеновской установки, 35 кВ	09057-10	1
3	XR4 Съёмная рентгеновская трубка Plug-in Mo tube	09057-61	1
4	XR 4.0 X-ray Рентгеновские характеристики, расширение	09135-88	1
	альтернативно XR 4.0 базовый набор	09117-88	1

PHYWE
excellence in science



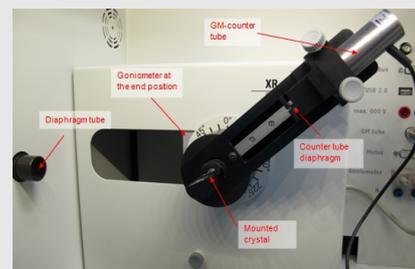
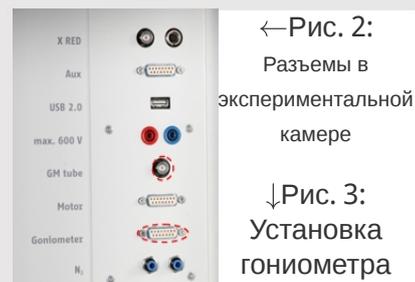
Подготовка и выполнение работы

Подготовка

PHYWE
excellence in science

Подключите гониометр и счетчик Гейгера-Мюллера к соответствующим гнездам в экспериментальной камере (см. красная маркировка на рис. 2). Блок гониометра с кристаллом анализатора должен располагаться в крайнем положении с правой стороны. Закрепите трубку счетчика Гейгера-Мюллера с держателем на заднем упоре направляющих. Не забудьте установить перед счетчиком диафрагму (см. рис. 3). Вставьте диафрагменную трубку диаметром 2 мм в выходное отверстие блока подключения трубки.

Для калибровки: Убедитесь, что в параметры гониометра введен правильный кристалл. Затем выберите "Меню", "Гониометр", "Автокалибровка". Теперь прибор определит оптимальные положения кристалла и гониометра относительно друг друга, а затем и положения пиков.



Выполнение работы (1/4)


 PHYWE
 excellence in science

- Подключите рентгеновскую установку через USB-кабель к USB-порту компьютера (нужный порт рентгеновской установки отмечен на рисунке 4).
- Запустите программное обеспечение `measure`. На экране появится виртуальная рентгеновская установка.
- Вы можете управлять рентгеновской установкой, нажимая на различные функции на виртуальной рентгеновской установке и под ней. Кроме того, Вы можете изменить параметры на самой рентгеновской установке. Программа автоматически примет настройки.



Рис. 4: Подключение компьютера

Выполнение работы (2/4)


 PHYWE
 excellence in science


Рис. 5: Часть интерфейса программного обеспечения

- Нажмите на экспериментальную камеру (см. красную маркировку на рис. 5), чтобы изменить параметры эксперимента. Выберите начальный угол 3° и конечный угол 65° для кристалла LiF. Если вы используете кристалл KBr, выберите начальный угол 3° и конечный угол 75° .
- Если Вы нажмете на рентгеновскую трубку (см. красную маркировку на рис. 5), Вы сможете изменить напряжение и ток рентгеновской трубки. Выберите параметры, как

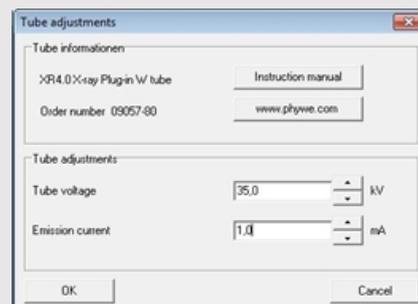
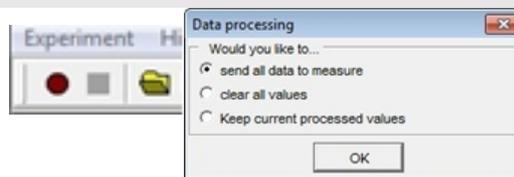


Рис. 6: Настройки напряжения и силы тока

Выполнение работы (3/4)

- Начните измерение, нажав на красный круг:
- После измерения появится следующее окно:



- Выберите первый пункт и подтвердите выбор нажатием кнопки ОК. Теперь измеренные значения будут переданы непосредственно в программу measure.
- В конце данного руководства вы найдете краткое введение в оценку полученных спектров.

Обзор настроек гониометра и рентгеновской установки для задания 1:

- Режим сопряжения 1:2
- Время выхода 2 с; ширина углового шага 0,1°
- Диапазон сканирования 3°-65° (монокристалл LiF) и 3°-75° (монокристалл KBr)
- Анодное напряжение $U_A = 35$ кВ; анодный ток $I_A = 1$ мА

Выполнение работы (4/4)

Задание 2: Монохроматизация с помощью монокристаллов

Если требуется только узкий диапазон полихроматического спектра (например, характеристическая линия K_{α}), настройки гониометра должны быть изменены следующим образом: кристалл анализатора устанавливается в положение угла скольжения $\theta = 10,3^\circ$ ($n = 1$) фиксированным образом. Счетчик Гейгера-Мюллера вращает кристалл анализатора в следующем диапазоне сканирования: начальный угол $10^\circ < 2\theta <$ конечный угол 30° . Соответствующие настройки гониометра приведены на рис.7.

Задание 3: Монохроматизация с помощью фильтров

Процедура для этой задачи соответствует процедуре для задачи 1. Однако в этом случае трубку диафрагмы (1 мм) необходимо заменить на циркониевый фильтр.

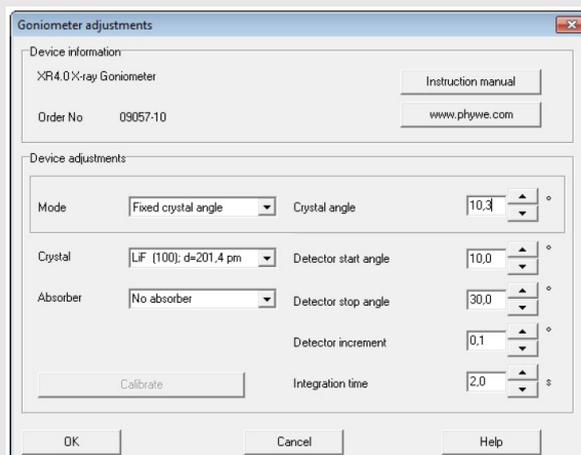


Рис. 7: Настройки гониометра; задание 2



Оценка

Задание 1

Задача 1: Анализ рентгеновского спектра с помощью монокристаллов LiF и KBr

На рис. 8 показана зависимость интенсивности рентгеновского спектра молибдена от угла скольжения. θ , с кристаллом LiF, используемым в качестве анализатора.

В таблице 1 показаны значения энергии для характеристических рентгеновских линий, которые являются результатом углов скольжения θ характеристических линий на рис. 8 и межплоскостного расстояния ($d = 201,4$ пм) кристалла анализатора в соответствии с (3) (см. также P2540205)

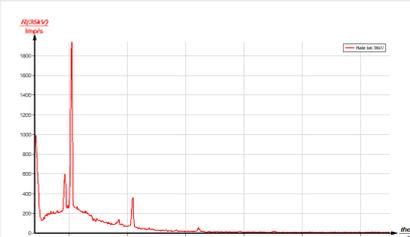


Рис. 8:
Рентгеновский спектр молибдена с кристаллом LiF в качестве анализатора

Угол скольжения θ Значение энергии

$\theta = 10.4^\circ; n = 1$	$E_{K_\alpha} = 17,100$ кэВ
$\theta = 20.9^\circ; n = 2$	$E_{K_\alpha} = 17,244$ кэВ
$\theta = 32.2^\circ; n = 3$	$E_{K_\alpha} = 17,324$ кэВ
$\theta = 9.2^\circ; n = 1$	$E_{K_\alpha} = 19,525$ кэВ
$\theta = 18.5^\circ; n = 2$	$E_{K_\alpha} = 19,401$ кэВ
$\theta = 28.4^\circ; n = 3$	$E_{K_\alpha} = 19,399$ кэВ

Задание 2

Задание 2: Монохроматизация с помощью монокристаллов

На рис. 9 видно, что рентгеновские лучи выходят из кристалла анализатора только под углом $2\theta = 20,6^\circ$

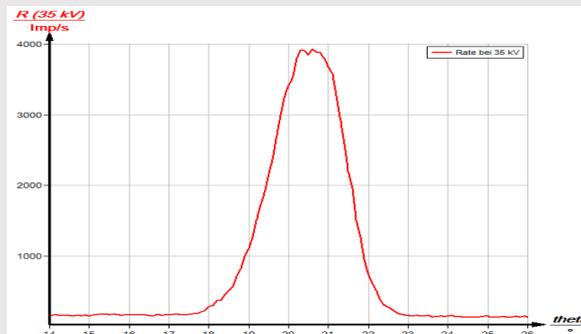


Рис. 9: Монохроматизация рентгеновского излучения молибдена с помощью монокристалла; длина волны фильтрации: λ_{K_α}

Задание 3

Задача 3: Монохроматизация с помощью абсорбционной фольги

Если тонкую металлическую фольгу толщиной x поместить на пути рентгеновского луча с энергией E и интенсивностью I_0 , то интенсивность за фольгой из-за поглощения будет следующей:

$$I(E, x) = I_0 e^{-\mu(E) \cdot x} \quad (\mu[\text{cm}^{-1}] = \text{линейный коэффициент поглощения}). \quad (4)$$

Хотя коэффициент поглощения зависит от энергии, он обычно не показывает резких изменений в интервале энергий в несколько кэВ. Однако это резко меняется, когда энергия квантов рентгеновского излучения достаточно высока для выброса электронов с нижних энергетических уровней материала поглотителя. В таком случае в процессе поглощения появляется так называемый край поглощения. Цирконий, например, способен почти полностью поглощать энергию характеристической линии K_β молибдена, поскольку энергия K -уровня циркония немного меньше, чем энергия линии K_β . Напротив, энергия характеристической линии молибдена (K_{α}), слишком мала для ионизации циркония на K -оболочке. В результате циркониевый фильтр незначительно снижает интенсивность линии K_α в соответствии с (4).

Задание 3 (часть 2)

На рис. 10 показан результат анализа рентгеновского спектра молибдена с циркониевым фильтром и монокристаллом LiF в качестве анализатора. Сравнение с соответствующим нефильтрованным спектром (рис. 8) показывает значительное снижение интенсивности линии K_{β} молибдена, тогда как интенсивность линии K_{α} молибдена практически не снижается тонкой фольгой.

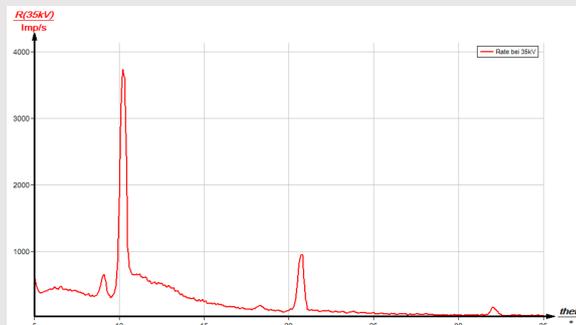


Рис. 10: Рентгеновский спектр молибдена с циркониевым фильтром и кристаллом LiF в качестве анализатора

Задание 3 (часть 3)

По приблизительным оценкам, интенсивность спектральной линии пропорциональна максимуму интенсивности линии. Основываясь на этом приближении, сравнение обоих спектров (для $n = 1$) показывает, что интенсивность линии Mo - K_{β} была уменьшена примерно на 60% циркониевым фильтром (толщина $d = 0,005$ мм). Если в качестве анализатора использовать монокристалл KBr, результаты будут такими же (рис. 11 и 12).



Рис. 11:
Рентгеновский спектр молибдена с кристаллом KBr в качестве анализатора



Рис. 12:
Рентгеновский спектр молибдена с цирконием K_{β} фильтр и кристалл KBr в качестве анализатора

Примечание

PHYWE
excellence in science

Программное обеспечение measure

С помощью программного обеспечения measure пики в спектре могут быть определены довольно легко:

- Нажмите кнопку "Маркировка" и выберите область для определения пика 
- Нажмите на кнопку "Анализ пика" . Появится окно "Анализ пиков" (см. рис. 11). Затем нажмите "Рассчитать".
- Если вычислены не все желаемые пики (или их слишком много), скорректируйте допустимую погрешность соответствующим образом.
- Выберите "Визуализация результатов", чтобы отобразить данные пиков непосредственно в спектре

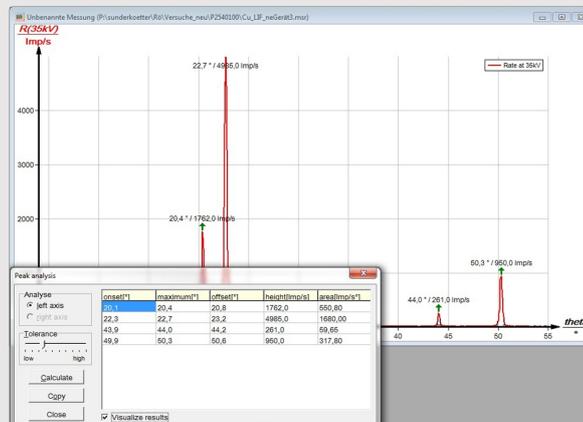


Рис. 13: Автоматический анализ пиков с помощью measure.