

Зависимость интенсивности характеристического рентгеновского излучения от силы тока и напряжения на аноде



Физика

Современная физика

Природа рентгеновского излучения и его применение



Уровень сложности

тяжелый



Кол-во учеников

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

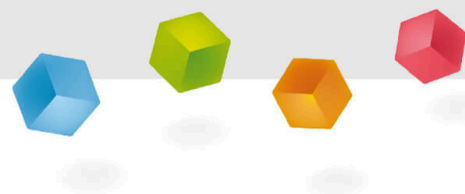
45+ Минут

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/615c58056277d6000377bc96>

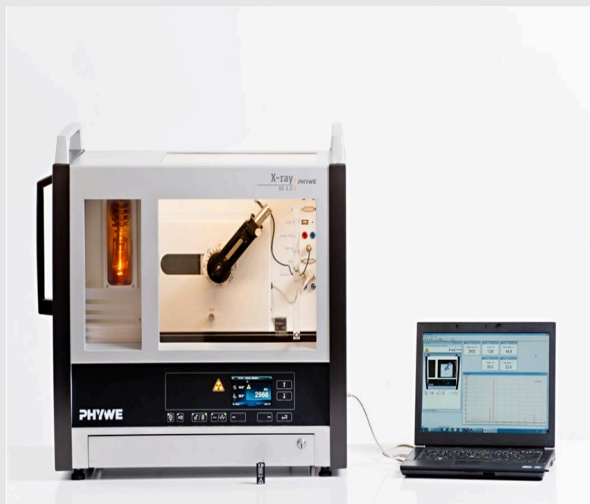
PHYWE

Общая информация



Описание

PHYWE



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

Предварительные

знания



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



Принцип

Рентгеновский спектр рентгеновской трубки с медным анодом выбирается по длине волны с помощью монокристалла LiF в качестве анализатора и регистрируется с помощью трубки-счетчика Гейгера-Мюллера. Интенсивность характеристических линий K_α и K_β определяется в зависимости от анодного тока и напряжения.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE



Обучение

цель



Задачи

Цель этого эксперимента - исследовать интенсивность характеристического рентгеновского излучения в зависимости от анодного тока и анодного напряжения.

- Проанализируйте интенсивность рентгеновского излучения молибдена как функцию угла Брэгга и с помощью монокристалла LiF.
- Определите интенсивность характеристических рентгеновских линий в зависимости от анодного напряжения и тока.
- Сравните результаты эксперимента с результатами, которых можно ожидать теоретически.

Параметры для эксперимента с вольфрамовой трубкой приведены в приложении.

Теория (1/3)

PHYWE

Электроны, выходящие из катода, ускоряются по направлению к аноду под действием напряжения U_A между катодом и анодом. Благодаря высокой кинетической энергии электроны способны выбрасывать электроны из внутренних оболочек атомов материала анода. Если это происходит на К-оболочке атомов, электрон из более высокой оболочки, например, L- или M-оболочки, может занять освободившееся место, испуская при этом квант рентгеновского излучения. Энергия этого рентгеновского кванта соответствует разности энергий двух оболочек, участвующих в этом процессе. Поскольку эта разность энергий зависит от атома, результирующее излучение также называется характеристическим рентгеновским излучением. Рентгеновское излучение, возникающее при переходе от L-оболочки к К-оболочке, называется K_α -излучением, а излучение, возникающее после перехода от M-оболочки к К-оболочке, называется K_β -излучением.

Интенсивность I_K излучения равна:

$$I_K = B \cdot I_A (U_A - U_K)^{1.5} \quad (1)$$

(I_A - анодный ток, U_A - анодное напряжение, $B = \text{const}$ и U_K - потенциал ионизации К-оболочки).

Теория (2/3)

PHYWE

Глубина проникновения ионизирующих электронов в материал анода, а также глубина выхода генерируемых рентгеновских лучей ограничены. Когда они оба достигают своего максимума, соотношение, указанное в (1), теряет свою силу.

В соответствии с рис. 1, закон Брэгга применим к конструктивной интерференции:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda \quad (2)$$

(d - межплоскостное расстояние; $n = 1, 2, 3, \dots$)

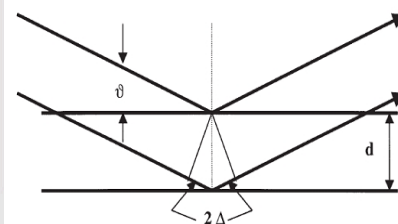


Рис. 1: Брэгговское рассеяние на паре плоскостей решетки

Теория (3/3)

PHYWE

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:

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

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

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

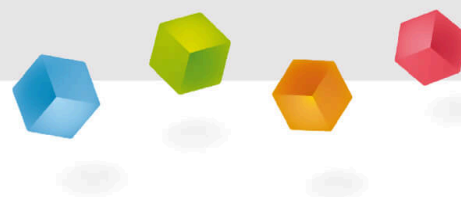
Межплоскостное расстояние LiF (200) $d = 2,014 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

Эквивалент 1 эВ = $1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

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 Cu tube	09057-51	1
4	XR 4.0 X-ray Физика твердого тела, расширение	09125-88	1

PHYWE



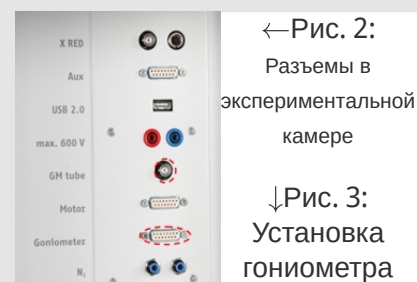
Подготовка и выполнение работы

Подготовка

PHYWE

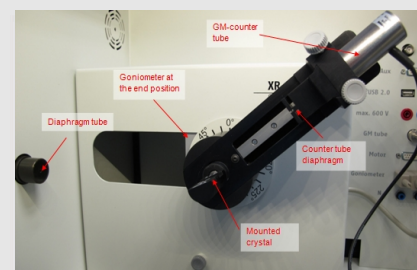
Подключите гониометр и счетную трубку Гейгера-Мюллера к соответствующим гнездам в экспериментальной камере (см. красная маркировка на рис. 2). Блок гониометра с кристаллом анализатора должен находиться в крайнем положении с правой стороны. Закрепите трубку счетчика Гейгера-Мюллера с держателем на заднем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



←Рис. 2:
Разъемы в
экспериментальной
камере

↓Рис. 3:
Установка
гониометра



Выполнение работы (1/4)

PHYWE

- Подключите рентгеновскую установку через USB-кабель к USB-порту компьютера (нужный порт рентгеновской установки отмечен на рисунке 5).
- 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 реальной рентгеновской установке. Программа автоматически примет настройки.



Рис. 4: Подключение компьютера

Выполнение работы (2/4)

PHYWE



Рис. 5:
Часть
интерфейса
ПО

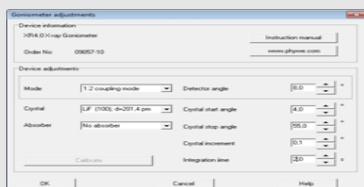


Рис. 6: Настройки
гониометра (кристалл LiF)

- Нажмите на экспериментальную камеру (см. красную маркировку на рис. 5), чтобы изменить параметры эксперимента. Выберите параметры, как показано на рис. 6, для кристалла LiF.
- Если вы нажмете на рентгеновскую трубку (см. красную маркировку на рис. 5), вы сможете изменить напряжение и ток рентгеновской трубки. Выберите параметры, как показано на рис. 7.

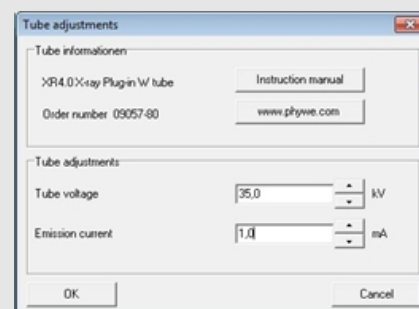
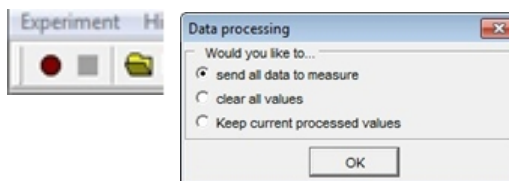


Рис. 7: Настройки
напряжения и силы тока

Выполнение работы (3/4)

PHYWE

- 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.

Выполнение работы (4/4)

PHYWE

Определите интенсивность характеристических рентгеновских линий меди как функцию анодного напряжения и тока.

- Нажмите на экспериментальную камеру (см. красную маркировку на рис. 5), чтобы изменить параметры эксперимента. Выберите диапазон сканирования 19° - 24° .
- Если Вы хотите определить интенсивность в зависимости от анодного тока, запишите спектр с различными анодными токами. Параметры: $U_A = 35 \text{ кВ} = \text{const}$; $I_A = 35 \text{ кВ} \dots 11 \text{ кВ}$ с шагом 2-3 кВ.
- Если Вы хотите определить интенсивность в зависимости от анодного напряжения, запишите спектр с различными анодными напряжениями. Параметры: $I_A = 1 \text{ мА} = \text{const}$; $U_A = 1 \text{ мА} \dots 0,1 \text{ мА}$ с шагом 0,1 мА.
- Оценка такая же, как и для задания 1.

Обзор настроек гониометра и рентгеновской установки:

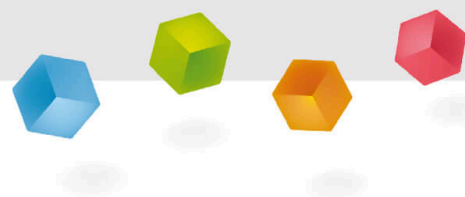
- Режим сопряжения 1:2
- Время выхода 2 с; ширина углового шага $0,1^\circ$

Для записи полного спектра:

- Диапазон сканирования 4° - 55° (монокристалл LiF)
- Анодное напряжение $U_A = 35 \text{ кВ}$; анодный ток $I_A = 1 \text{ мА}$

PHYWE

Оценка



Задание 1

PHYWE

Задача 1: Проанализируйте интенсивность рентгеновского излучения меди в зависимости от угла Брэгга с помощью монокристалла LiF.

На рис. 8 показан рентгеновский спектр меди до интерференции второго порядка. В таблице приведены результирующие углы скольжения θ характеристических линий, а также соответствующих длин волн, которые были рассчитаны на основе (2).

	n = 1		n = 2	
	$\theta/^\circ$	λ/pm	$\theta/^\circ$	λ/pm
Cu (Z=29)K_α	22.6	154.8	50.2	154.7
Cu (Z=29)K_β	20.4	140.4	43.9	139.6

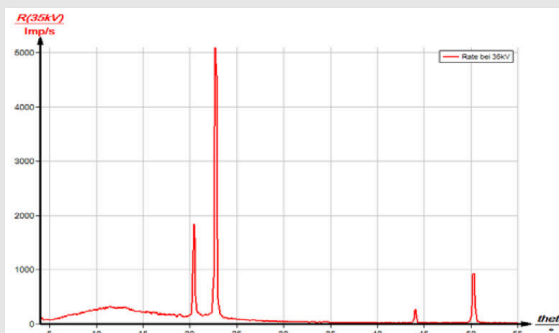


Рис. 8: Рентгеновский спектр меди, монокристалл LiF в качестве анализатора

Задание 2

PHYWE

Задание 2: Определите интенсивность характеристических рентгеновских линий меди в зависимости от анодного напряжения и тока.

Интенсивность в зависимости от анодного напряжения

На рис. 9 показан соответствующий диапазон сканирования с частотой импульсов для различных выбранных анодных напряжений. На рис. 10 нижние кривые показывают измеренную интенсивность (частоту импульсов) характеристических линий (максимум интенсивности линий) в зависимости от анодного тока I_A при постоянном анодном напряжении $U_A = 35$ кВ. Тем не менее, слишком высокая частота импульсов приводит к насыщению счетчика Гейгера-Мюллера. Отклонение кривых измерения от ожидаемой линейности может быть устранено путем учета мертвого времени трубки Гейгера-Мюллера при высоких значениях частоты импульсов. Эти скорректированные значения представлены верхними кривыми на рис. 10.

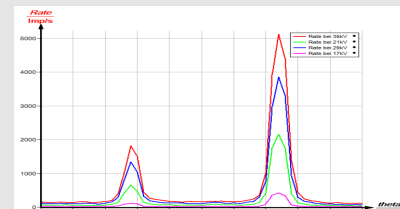


Рис. 9: Диапазон сканирования $19^\circ < \theta < 24^\circ$ при разных анодных напряжениях

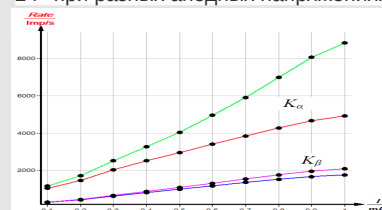


Рис. 10: Интенсивность K_α и K_β линии ($n = 1$) в зависимости от I_A .

Задание 2 (часть 2)

PHYWE

Если τ ($\tau \approx 90 \mu\text{с}$) - мертвое время трубки счетчика Гейгера-Мюллера и N_0 - измеренная частота импульса, то истинная частота импульсов N равна:

$$N = \frac{N_0}{1 - \tau \cdot N_0}$$

Интенсивность в зависимости от анодного тока

На рис. 11 показан соответствующий диапазон сканирования с частотой импульсов для разных выбранных анодных токов.

На рис. 12 показан ход интенсивности двух характеристических линий в зависимости от анодного напряжения U_A ($I_A = \text{const} = 1$ мА). Нижние кривые представляют измеренные частоты импульсов, а верхние кривые показывают частоты импульсов, скорректированные с учетом мертвого времени счетчика Гейгера-Мюллера.

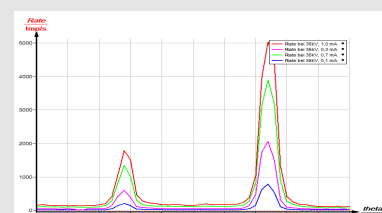


Рис. 11: Диапазон сканирования $19^\circ < \theta < 24^\circ$ при различных анодных

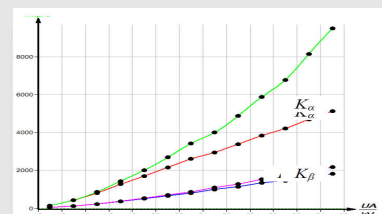


Рис. 12: Интенсивность K_α и K_β линии ($n = 1$) в зависимости от U_A .

Задание 3

PHYWE

Задание 3: Сравните результаты эксперимента с результатами, которые можно ожидать теоретически.

Если сравнить экспериментальные результаты с результатами, которые можно ожидать теоретически, то линейная зависимость между $U_A - U_K$ и частота импульса в (1) подтверждается. Если построить график частоты импульсов характеристических линий на рис. 12 в зависимости от $(U_A - U_K)^{1.5}$ (с $U_K = 8,979$ кэВ для меди, см. эксперимент P2540105), то получается прямая линия.

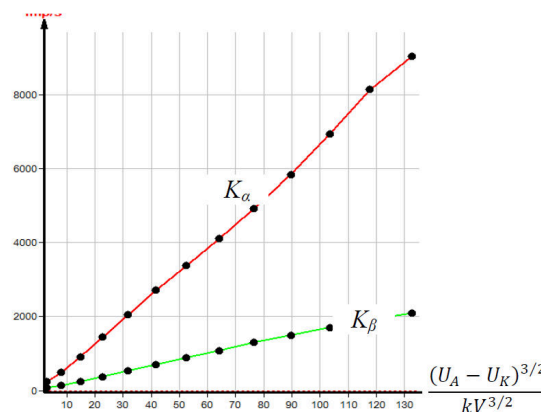


Рис. 13: Истинная частота импульса K_α и K_β линии в зависимости от $(U_A - U_K)^{1.5}$; ($I_A = \text{const} = 1$ мА)

Примечание

PHYWE

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. 14). Затем нажмите "Рассчитать".
- Если вычислены не все желаемые пики (или их слишком много), скорректируйте допуск на погрешность.
- Выберите «Визуализировать результаты», чтобы отображать данные пиков непосредственно в спектре.



Рис. 14: Автоматический анализ пиков с помощью measure.

PHYWE



Приложение

Выполнение работы

PHYWE

Процедура с использованием
вольфрамовой трубки:

Задача 1: Запишите весь спектр:

**Обзор настроек гониометра и
рентгеновской установки:**

- Режим сопряжения 1:2
- Время выхода 5 - 6 с; ширина углового шага $0,1^\circ$
- Диапазон сканирования 4° - 80° (монокристалл LiF)
- $U_A = 35 \text{ кВ}$; $I_A = 1 \text{ мА}$

**Задание 2: Определите интенсивность отдельной
линии**

Для оценки изучите α_1 и α_2 линии, которые отображаются
как одна линия

**Определение интенсивности характеристических
линий в зависимости от U_A и I_A .**

- Время выхода 3 с; ширина углового шага $0,1^\circ$
- Диапазон сканирования 4° - 25° (монокристалл LiF)
- $U_A = 35 \text{ кВ}$; $I_A = 1 \text{ мА} \dots 0,1 \text{ мА}$ с шагом $0,1 \text{ мА}$
- $I_A = 1 \text{ мА}$; $U_A = 35 \text{ кВ} \dots 11 \text{ кВ}$ с шагом 2 - 3 кВ

Теория и оценка

PHYWE

Поскольку энергия К-оболочки составляет примерно 70 кэВ, максимально доступная энергия первичного пучка рентгеновского блока 35 кэВ недостаточна для возбуждения К-оболочки. Ионизировать можно только уровень L (P2542805 включает соответствующую диаграмму энергетических уровней).

Для оценки, рассматриваются α_1 и α_2 линии. Они являются результатом L_3M_5/L_3M_4 переходов. Эти две линии настолько близки друг к другу, что их невозможно разделить, а скорее они выглядят как одна линия.

Оценка соответствует оценке меди, но в данном случае только с одной единственной линией. Для задачи 3 используется потенциал ионизации оболочки L_3 $U_K = 10,206$ кэВ, поскольку переход происходит в эту оболочку.

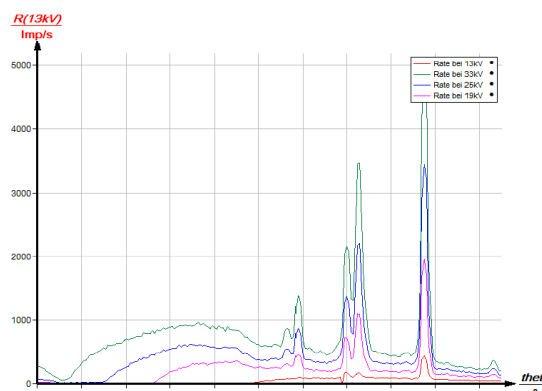


Рис. 15: Диапазон сканирования $4^\circ < \theta < 25^\circ$ при различных анодных напряжениях для вольфрамовой трубки