

# Характеристическое рентгеновское излучение меди



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:

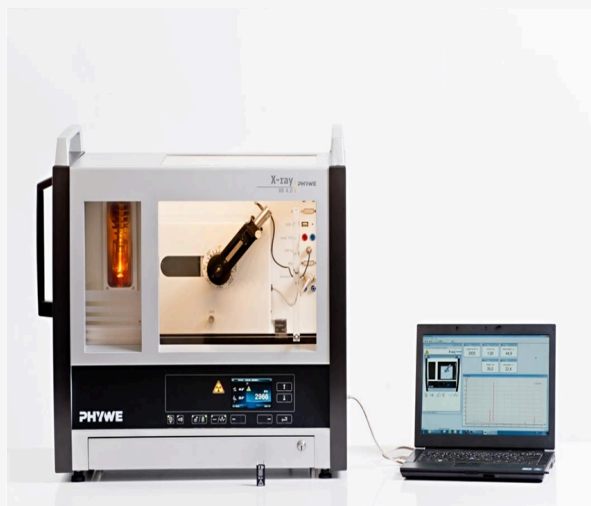
<http://localhost:1337/c/615b06423b0beb0003f80ace>

PHYWE

# Общая информация



## Описание

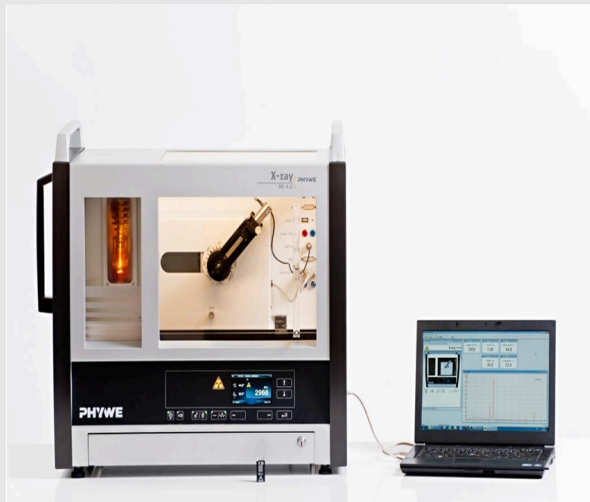


Экспериментальная установка

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.

## 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



Рентгеновская трубка с медным анодом генерирует рентгеновское излучение, которое выбирается в зависимости от угла Брэгга с помощью монокристалла. Счетчик-трубка Гейгера-Мюллера измеряет интенсивность излучения. Углы скольжения характеристических рентгеновских линий используются затем для определения энергии.

## Дополнительная информация (2/2)

PHYWE



### Цель



### Задачи

Цель этого эксперимента - исследовать характеристическое рентгеновское излучение меди.

- Проанализируйте интенсивность рентгеновского излучения меди в зависимости от угла Брэгга с помощью монокристалла LiF.
- Проанализируйте интенсивность рентгеновского излучения меди в зависимости от угла Брэгга с помощью монокристалла KBr.
- Определите значения энергии характеристических рентгеновских лучей меди и сравните их со значениями, которые были определены на основе соответствующей диаграммы энергетических уровней.

## Теория (1/3)

PHYWE

Когда электроны с высоким уровнем кинетической энергии налетают на металлический анод рентгеновской трубки, образуется рентгеновское излучение с непрерывным распределением энергии. На спектр тормозного излучения накладываются дополнительные дискретные линии. Если атом материала анода ионизируется на К-оболочке, после электронного удара электрон с более высокой оболочки может занять свободное место, испуская квант рентгеновского излучения. Энергия этого рентгеновского кванта соответствует разности энергий двух оболочек, участвующих в этом процессе. Поскольку эта разность энергий зависит от конкретного атома, результирующее излучение также называется характеристическим рентгеновским излучением. На рисунке 1 показана диаграмма энергетических уровней для меди. Характеристическое рентгеновское излучение, возникающее при переходе от L-оболочки к К-оболочке, называется  $K_\alpha$  излучением, в то время как излучение, возникающее при переходе от M-оболочки к К-оболочке  $K_\beta$  излучением (переходы  $(M_1 \rightarrow K)$  и  $(L_1 \rightarrow K)$  запрещены в соответствии с квантово-механическими правилами отбора).

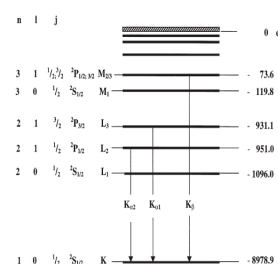


Рис.1: Диаграмма уровней энергии меди ( $Z = 29$ )

## Теория (2/3)

PHYWE

Характеристические рентгеновские линии меди имеют следующие энергетические уровни (рис.1):

$$E_{K_{\alpha}}^* = E_K - \frac{1}{2}(E_{L2} + E_{L3}) = 8,038 \text{ кэВ} \quad (1)$$

$$E_{K_{\beta}} = E_K - E_{M2,3} = 8,905 \text{ кэВ}$$

$E_{K_{\alpha}}$  - среднее значение энергии  $K_{\alpha 1}$  и  $K_{\alpha 2}$  линий. Анализ полихроматических рентгеновских лучей становится возможным благодаря использованию монокристалла. Когда рентгеновские лучи с длиной волны  $\lambda$  падают на плоскости решетки монокристалла под углом скольжения  $\theta$ , лучи, которые отражаются от плоскостей решетки, конструктивно интерферируют друг с другом при условии, что их разность хода  $\Delta$  соответствует целому кратному длины волны. В соответствии с рис. 2, закон Брэгга применим к конструктивной интерференции:

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

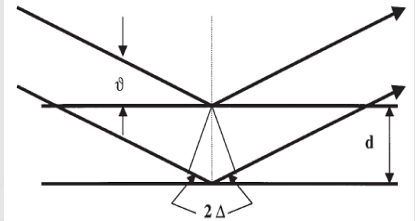


Рис. 2: Брэгговское рассеяние на паре плоскостей решетки

## Оборудование

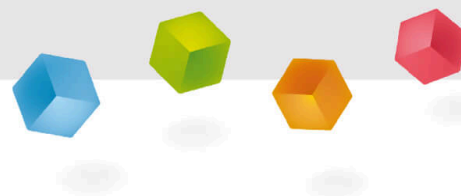
Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	<a href="#">XR 4.0 X-ray Базовая рентгеновская установка, 35 кВ</a>	09057-99	1
2	<a href="#">XR 4.0 X-ray Гониометр для рентгеновской установки, 35 кВ</a>	09057-10	1
3	<a href="#">XR4 Съёмная рентгеновская трубка Plug-in Cu tube</a>	09057-51	1
4	<a href="#">XR 4.0 X-ray Рентгеновские характеристики, расширение</a>	09135-88	1

## Оборудование

PHYWE

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	<a href="#">XR 4.0 X-ray Базовая рентгеновская установка, 35 кВ</a>	09057-99	1
2	<a href="#">XR 4.0 X-ray Гониометр для рентгеновской установки, 35 кВ</a>	09057-10	1
3	<a href="#">XR4 Съёмная рентгеновская трубка Plug-in Cu tube</a>	09057-51	1
4	<a href="#">XR 4.0 X-ray Рентгеновские характеристики, расширение</a>	09135-88	1

PHYWE



## Подготовка и выполнение работы

## Подготовка

PHYWE

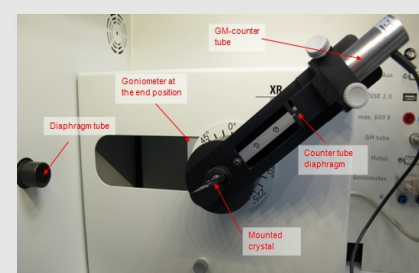
Подключите гониометр и счетчик Гейгера-Мюллера к соответствующим гнездам в экспериментальной камере (см. красную маркировку на рис. 3). Блок гониометра с кристаллом анализатора должен располагаться в крайнем положении с правой стороны. Закрепите трубку счетчика Гейгера-Мюллера с держателем на заднем упоре направляющих. Не забудьте установить перед счетчиком диафрагму (см. рис. 4). 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.



←Рис. 3:  
Разъемы в  
эксперименталь-  
ной камере

↓Рис. 4:  
Установка  
гониометра



## Выполнение работы (1/3)

PHYWE

- Подключите рентгеновскую установку через USB-кабель к USB-порту компьютера (нужный порт рентгеновской установки отмечен на рис. 5).
- Запустите программу `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.

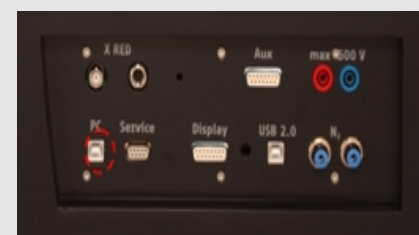


Рис. 5: Подключение  
компьютера



## Выполнение работы (2/3)

PHYWE

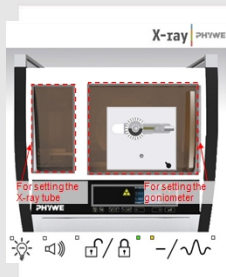


Рис. 6:  
Часть  
интерфейса  
ПО

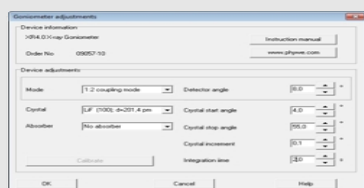


Рис. 7: Настройки  
гониометра (кристалл LiF)

- Нажмите на экспериментальную камеру (см. красную маркировку на рис. 6), чтобы изменить параметры эксперимента. Выберите параметры, как показано на рис. 7, 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. 6), можно изменить напряжение и ток рентгеновской трубки. Выберите параметры, как показано на рис. 8.

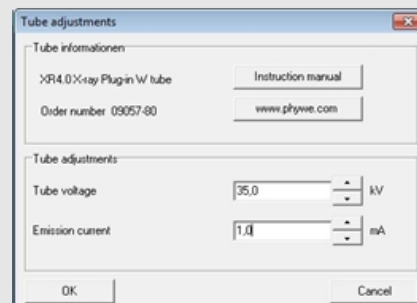
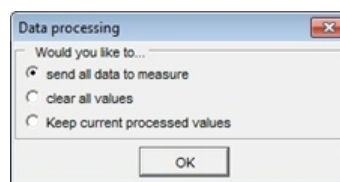
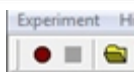


Рис. 8: Настройки  
напряжения и силы тока

## Выполнение работы (3/3)

PHYWE

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



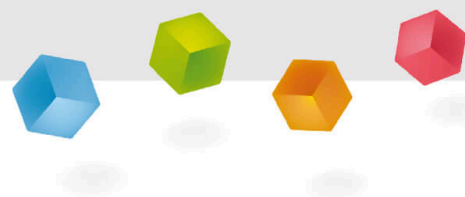
- Выберите первый пункт и подтвердите выбор нажатием кнопки OK. Теперь измеренные значения будут переданы непосредственно в программу measure.
- В конце данного руководства Вы найдете краткое введение в оценку полученных спектров.

### Обзор настроек гониометра и рентгеновской установки:

- Режим сопряжения 1:2
- Время выхода 2 с; ширина углового шага 0,1°
- Диапазон сканирования 4°-55° (монокристалл LiF) и 3°-75° (монокристалл KBr)
- Анодное напряжение  $U_A = 35 \text{ кВ}$ ; анодный ток  $I_A = 1 \text{ мА}$

PHYWE

# Оценка



## Задание 1

PHYWE

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

На рис. 9 показан рентгеновский спектр меди, проанализированный с помощью монокристалла LiF. Четкие линии накладываются на непрерывный тормозной спектр. Углы скольжения этих линий остаются неизменными при изменении анодного напряжения. Это указывает на то, что эти линии являются характеристическими рентгеновскими линиями. Две пары линий можно отнести к интерференции первого и второго порядка ( $n = 1$  и  $n = 2$ ). В таблице 1 приведены углы скольжения  $\theta$ , которые были определены с помощью рис. 9, а также значения энергии для  $K_{\alpha}$  и  $K_{\beta}$  линий меди, которые были рассчитаны с помощью уравнения (4).

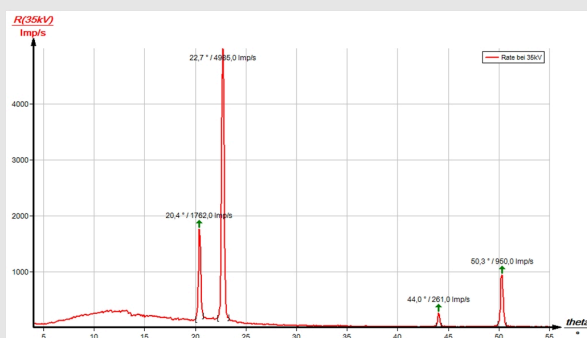


Рис. 9: Интенсивность рентгеновского излучения меди в зависимости от угла скольжения  $\theta$ ; кристалл анализатора: LiF

## Задание 2

PHYWE

Проанализируйте интенсивность рентгеновского излучения меди с помощью монокристалла KBr в зависимости от угла Брэгга

Если монокристалл LiF заменить на монокристалл KBr (рис. 10), то из-за большего межплоскостного расстояния кристалла может наблюдаться интерференция вплоть до четвертого порядка.

В спектре тормозного излучения на рис. 10 виден четкий скачок интенсивности при  $\theta = 8.0^\circ$ . Это соответствует значению поглощения К-края брома ( $E_K = 13,474$  кэВ) при  $n = 1$ , что можно ожидать теоретически. В этой области тормозного спектра невозможно наблюдать поглощение К-края калия, лития и фтора, поскольку интенсивность слишком мала

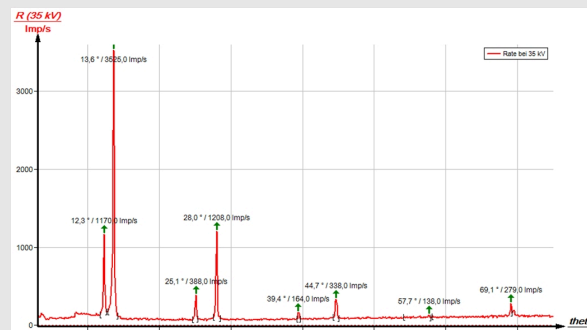


Рис. 10: Интенсивность рентгеновского излучения меди в зависимости от угла скольжения  $\theta$ ; кристалл анализатора: KBr

## Задание 3

PHYWE

Определите значения энергии характеристических рентгеновских лучей меди и сравните их со значениями, которые были определены на основе соответствующей диаграммы энергетических уровней.

В таблице 1 показаны углы скольжения  $\theta$ , которые были определены с помощью рис. 9 и 10, а также значения энергии для характеристических рентгеновских линий меди, которые были рассчитаны с помощью уравнения (4).

Исходя из значений энергии характеристических линий задач 1 и 2, получаются следующие средние значения:  $E_{K\alpha} = 8,010$  кэВ и  $E_{K\beta} = 8,862$  кэВ. Сравнение с соответствующими значениями из (1) показывает хорошее соответствие.

Оценка двух спектров может быть изменена следующим образом: Используйте значения энергии характеристических линий, которые были определены для одного из спектров, для определения межплоскостного расстояния кристалла анализатора, который использовался для другого спектра.

Таблица 1

PHYWE

кристалл LiF	$\theta, ^\circ$	Линия	E, кэВ
n = 1	22.7	$K_\alpha$	7.974
	20.4	$K_\beta$	8.830
n = 2	50.3	$K_\alpha$	8.005
	44.0	$K_\beta$	8.857

Таблица 1 (часть 2)

PHYWE

кристалл KBr	$\theta, ^\circ$	Линия	E, кэВ
n = 1	13.6	$K_\alpha$	8.018
	12.3	$K_\beta$	8.831
n = 2	28.0	$K_\alpha$	8.015
	25.1	$K_\beta$	8.870
n = 3	44.7	$K_\alpha$	8.041
	39.4	$K_\beta$	8.902
n = 4	69.1	$K_\alpha$	8.069
	57.7	$K_\beta$	8.919