

Характеристичне рентгенівське випромінювання міді



Physics

Modern Physics

Production & use of X-rays



Рівень складності

важко



Розмір групи

-



Час підготовки

45+ хвилини



Час виконання

45+ хвилини

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/64e261585b9881000247c73a>

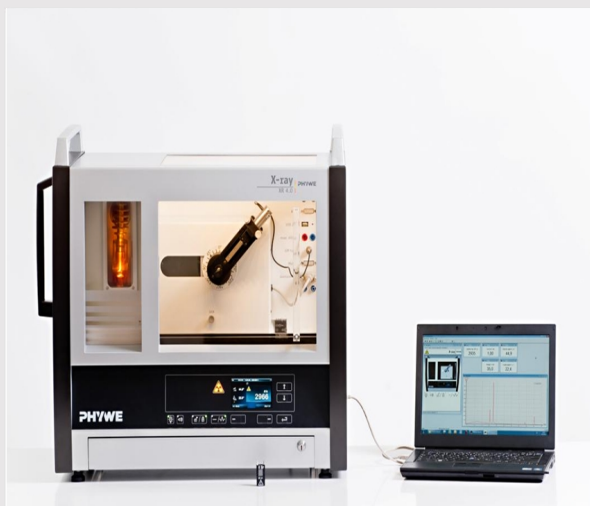
PHYWE

Загальна інформація



Опис

PHYWE



Експериментальна установка

Більшість застосувань рентгенівських променів ґрунтується на їхній здатності проходити крізь речовину. Оскільки ця здатність залежить від густини речовини, стає можливим отримання зображень внутрішніх частин об'єктів і навіть людей. Це знаходить широке застосування в таких галузях, як медицина або безпека.

Додаткова інформація (1/2)

PHYWE

Попередні знання



Попередні знання, необхідні для цього експерименту, наведено в розділі "Теорія".

Принцип



Рентгенівська трубка з мідним анодом генерує рентгенівське випромінювання, яке відбирається за допомогою монокристала в залежності від кута Бреґґа. Лічильник Гейгера-Мюллера вимірює інтенсивність випромінювання. Кути падіння характерних рентгенівських ліній потім використовуються для визначення енергії.

Додаткова інформація (2/2)

PHYWE



Мета навчання

Мета цього експерименту - дослідити характеристичне рентгенівське випромінювання міді.



Завдання

- Проаналізуйте інтенсивність рентгенівського випромінювання міді залежно від кута Бреґґа за допомогою монокристала LiF.
- Проаналізуйте інтенсивність рентгенівського випромінювання міді залежно від кута Бреґґа за допомогою монокристала KBr.
- Визначте значення енергії характеристичних рентгенівських променів міді та порівняйте їх зі значеннями, що були визначені на основі відповідної діаграми енергетичних рівнів.

Теорія (1/3)

PHYWE

Коли електрони з високою кінетичною енергією удараються об металевий анод рентгенівської трубки, утворюється рентгенівське випромінювання з безперервним розподілом енергії. На спектр гальмівного випромінювання накладаються додаткові дискретні лінії. Якщо атом матеріалу анода іонізується на K -оболонці, то після удару електрона електрон з вищою оболонки може зайняти вільне місце, випускаючи квант рентгенівського випромінювання. Енергія цього рентгенівського кванта відповідає різниці енергій двох оболонок, які беруть участь у цьому процесі. Оскільки ця різниця енергій є специфічною для кожного атома, випромінювання, що виникає, також називають характеристичним рентгенівським випромінюванням. На рисунку 1 показано діаграму енергетичних рівнів для міді. Характеристичне рентгенівське випромінювання, яке утворюється при переході з L -оболонки в K -оболонку, називається K_α випромінюванням, тоді як випромінювання, що виникає при переході від M -оболонки до K -оболонки називається K_β випромінюванням (переходи $M_1 \rightarrow K$ та $L_1 \rightarrow K$ заборонені відповідно до квантово-механічних правил відбору).

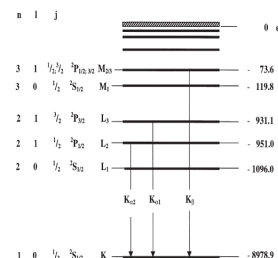


Рис.1: Діаграма рівнів енергії міді ($Z = 29$)

Теорія (2/3)

PHYWE

Характеристичні рентгенівські лінії міді мають такі енергетичні рівні (рис.1):

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

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

E_{K_α} - середнє значення енергії $K_{\alpha1}$ та $K_{\alpha2}$ ліній. Аналіз поліхроматичних рентгенівських променів стає можливим завдяки використанню монокристала. Коли рентгенівське випромінювання з довжиною хвилі λ падає на площини кристалічної решітки монокристала під кутом θ , промені, які відбиваються від площин решітки, конструктивно інтерферують між собою за умови, що різниця ходу Δ відповідає цілому кратному числу довжин хвиль. Відповідно до рисунка 2, закон Брегга застосовується до конструктивної інтерференції:

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

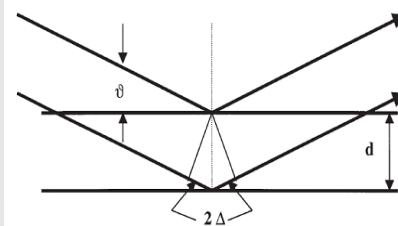


Рис. 2: Брегівське розсіювання на парі площин решітки

Теорія (3/3)

PHYWE

Якщо відома міжплощинна відстань d , то довжину хвилі λ можна визначити за допомогою кута падіння θ . Енергія випромінювання виникає в результаті:

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

Об'єднуючи (2) і (3), отримуємо:

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

Примітка:

Дані діаграми рівнів енергії були взяті з "Довідника з хімії та фізики", CRC Press Inc., Флорида.

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

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

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

Міжплощинна відстань KBr (200) $d = 3,290 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

Еквівалент $1\text{eV} = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Обладнання

PHYWE

Позиція	Матеріал	Пункт №.	Кількість
1	XR 4.0 X-ray Базова рентгенівська установка, 35 кВ	09057-99	1
2	XR 4.0 X-ray Гоніометр для рентгенівської установки, 35 кВ	09057-10	1
3	XR 4.0 Знімна рентгенівська трубка Cu	09057-51	1
4	XR 4.0 X-ray Рентгенівські характеристики, розширення	09135-88	1

PHYWE

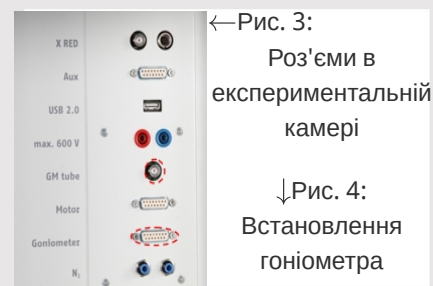
Підготовка та виконання роботи

Підготовка

PHYWE

Підключіть гоніометр і трубку лічильника Гейгера-Мюллера до відповідних гнізд в експериментальній камері (див. червоне маркування на рис. 3). Блок гоніометра з кристалом аналізатора має розташовуватися в крайньому положенні з правого боку. Закріпіть трубку лічильника Гейгера-Мюллера з тримачем на задньому обмежувачі напрямних. Не забудьте встановити діафрагму перед лічильною трубкою (див. рис. 4). Вставте трубку діафрагми діаметром 2 мм у вихідний отвір променя вставного блоку трубки.

Для калібрування: Переконайтеся, що в параметри гоніометра введено правильний кристал. Потім виберіть "Меню", "Гоніометр", "Автокалібрування". Тепер прилад визначить оптимальні положення кристала і гоніометра відносно один одного, а потім і положення піків.



← Рис. 3:
Роз'єми в експериментальній камері

↓ Рис. 4:
Встановлення гоніометра



Виконання роботи (1/3)

PHYWE

- Підключіть рентгенівську установку через USB-кабель до USB-порту комп'ютера (потрібний порт рентгенівської установки зазначено на рис. 5).
- Запустіть програму measure. На екрані з'явиться віртуальна рентгенівська установка.
- Ви можете керувати рентгенівською установкою, натискаючи на різні функції на віртуальній рентгенівській установці та під нею. Крім того, Ви можете змінити параметри на реальній рентгенівській установці. Програма автоматично прийме налаштування.



Рис. 5: Підключення комп'ютера

Виконання роботи (2/3)

PHYWE



Рис. 6:
Частина
інтерфейсу
ПЗ

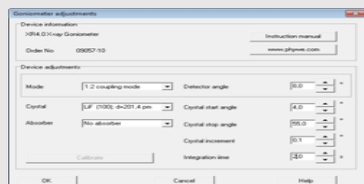


Рис. 7: Налаштування гоніометра (кристал LiF)

- Натисніть на експериментальну камеру (див. червоне маркування на рис. 6), щоб змінити параметри експерименту. Виберіть параметри, як показано на рис. 7, для кристала LiF. Якщо Ви використовуєте кристал KBr, виберіть початковий кут 3° і кінцевий кут 75°.
- Якщо натиснуть на рентгенівську трубку (див. червоне маркування на рис. 6), можна змінити напругу і силу струму рентгенівської трубки. Виберіть параметри, як показано на рис. 8.

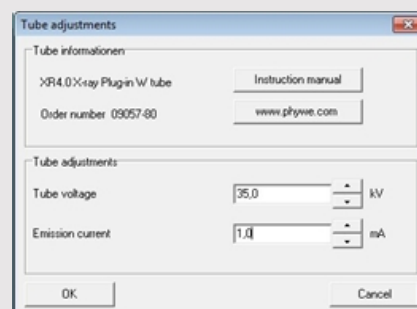
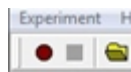


Рис. 8: Налаштування напруги та сили струму

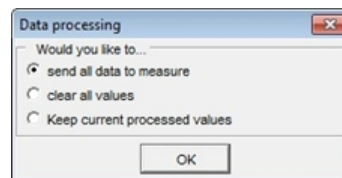
Виконання роботи (3/3)

PHYWE

- Почніть вимірювання, натиснувши на червоне коло:



- Після вимірювання з'явиться наступне вікно:



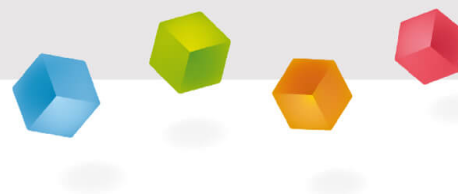
- Виберіть перший пункт і підтвердіть вибір натисканням кнопки ОК. Тепер виміряні значення будуть передані безпосередньо в програму measure.
- Наприкінці цього посібника Ви знайдете короткий вступ до оцінки отриманих спектрів.

Огляд налаштувань гоніометра і рентгенівської установки:

- Режим з'єднання 1:2
- Час виходу 2 с; ширина кроку кута $0,1^\circ$
- Діапазон сканування 4° - 55° (монокристал LiF) і 3° - 75° (монокристал KBr)
- Напруга на аноді $U_A = 35$ кВ; Сила струму на аноді $I_A = 1$ мА

PHYWE

Оцінка



Завдання 1

PHYWE

Проаналізуйте інтенсивність рентгенівського випромінювання міді за допомогою монокристала LiF в залежності від кута Бреґга.

На рис. 9 показано рентгенівський спектр міді, який було проаналізовано за допомогою монокристала LiF. Чіткі лінії накладаються на безперервний гальмівний спектр. Кути падіння цих ліній залишаються незмінними при зміні напруги на аноді. Це вказує на те, що ці лінії є характеристичними рентгенівськими лініями. Дві пари ліній можна віднести до інтерференції першого і другого порядку ($n = 1$ і $n = 2$). У таблиці 1 наведено кути падіння θ , які були визначені за допомогою рис. 9, а також значення енергії для K_α і K_β ліній міді, які були розраховані за допомогою рівняння (4).

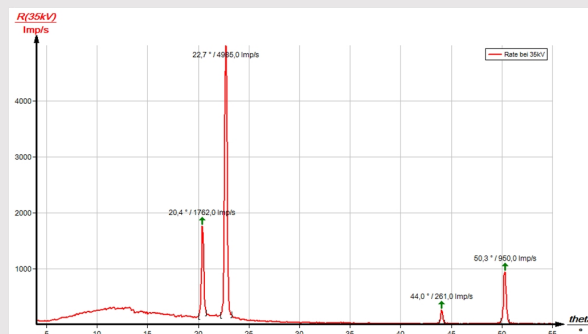


Рис. 9: Інтенсивність рентгенівського випромінювання міді в залежності від кута падіння θ ; кристал аналізатора: LiF

Завдання 2

PHYWE

Проаналізуйте інтенсивність рентгенівського випромінювання міді за допомогою монокристала KBr в залежності від кута Бреґга

Якщо монокристал LiF замінити на монокристал KBr (рис. 10), то через більшу міжплощинну відстань кристала може спостерігатися інтерференція аж до четвертого порядку.

В спектрі гальмівного випромінювання на рис. 10 видно чіткий стрибок інтенсивності при $\theta = 8.0^\circ$. Це відповідає теоретично очікуваному значенню поглинання K краю бромю ($E_K = 13,474$ кеВ) при $n = 1$. У цій ділянці гальмівного спектра неможливо спостерігати поглинання K – краю калію, літію і фтору, оскільки інтенсивність занадто мала (експерименти з поглинання на K – і L – краях див. в експерименті P2541205).

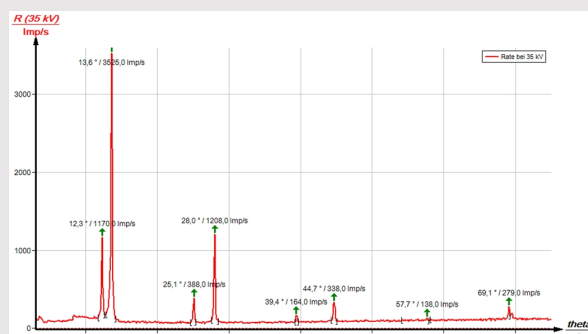


Рис. 10: Інтенсивність рентгенівського випромінювання міді в залежності від кута падіння θ ; кристал аналізатора: KBr

Завдання 3

PHYWE

Визначте значення енергії характеристичних рентгенівських променів міді та порівняйте їх зі значеннями, що були визначені на основі відповідної діаграми енергетичних рівнів.

У таблиці 1 показано кути θ , які були визначені за допомогою рис. 9 і 10, а також значення енергії для характеристичних рентгенівських ліній міді, які були розраховані за допомогою рівняння (4).

Виходячи зі значень енергії характеристичних ліній завдань 1 і 2, можна отримати такі середні значення: $E_{K_\alpha} = 8,010$ кеВ і $E_{K_\beta} = 8,862$ кеВ. Порівняння з відповідними значеннями з (1) показує хорошу відповідність.

Оцінка двох спектрів може бути змінена таким чином: Використовуйте значення енергії характеристичних ліній, що були визначені для одного зі спектрів, для визначення міжплощинної відстані кристала аналізатора, який використовувався для іншого спектра.

Таблиця 1

PHYWE

кристал LiF	$\theta, ^\circ$	Лінія	E, кеВ
n = 1	22.7	K_α	7.974
	20.4	K_β	8.830
n = 2	50.3	K_α	8.005
	44.0	K_β	8.857

Таблиця 1 (частина 2)

PHYWE

кристал KBr	$\theta, ^\circ$	Лінія	E, keV
n = 1	13.6	K_α	8.018
	12.3	K_β	8.831
n = 2	28.0	K_α	8.015
	25.1	K_β	8.870
n = 3	44.7	K_α	8.041
	39.4	K_β	8.902
n = 4	69.1	K_α	8.069
	57.7	K_β	8.919

Примітка

PHYWE

Програмне забезпечення measure

За допомогою програмного забезпечення measure піки в спектрі можуть бути визначені досить легко:

- Натисніть кнопку "Маркування" і виберіть область для визначення піку. 
- Натисніть на кнопку "Аналіз піку". 
- З'явиться вікно "Аналіз піків" (див. рис. 11). Потім натисніть "Розрахувати".
- Якщо обчислені не всі бажані піки (або їх занадто багато), скоригуйте допустиму похибку відповідним чином.

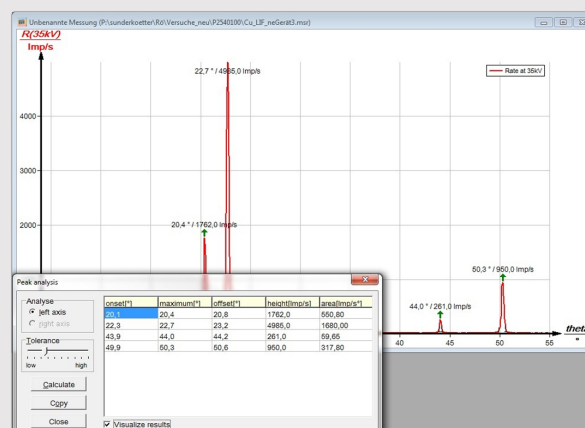


Рис. 11: Автоматичний аналіз піків за допомогою measure.