

Монохроматизація рентгенівських променів 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/64e263beb00fb4000227d5bf>

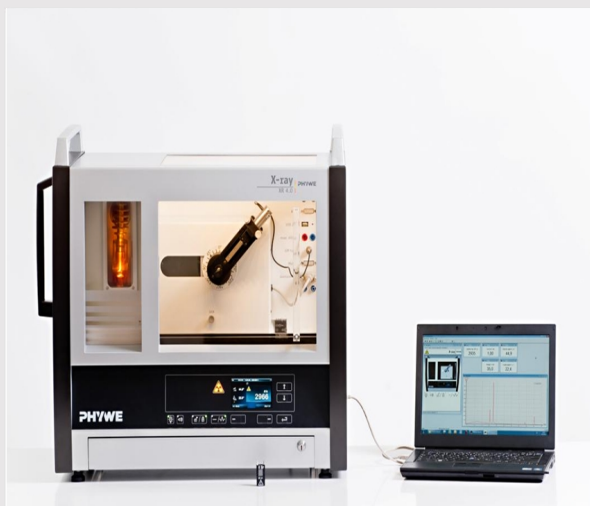
PHYWE

Загальна інформація



Опис

PHYWE



Налаштування

Більшість застосувань рентгенівських променів ґрунтується на їхній здатності проходити крізь речовину. Оскільки ця здатність залежить від густини речовини, стає можливим отримання зображень внутрішньої частини об'єктів і навіть людини. Це має широке застосування в таких галузях, як медицина чи безпека.

Додаткова інформація (1/2)

PHYWE

попередні

знання



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



Науковий принцип

Численні експерименти (наприклад, експерименти Дебая-Шеррера, що стосуються кристалічних структур) потребують монохроматичного рентгенівського випромінювання, яке може бути отримано шляхом фільтрації рентгенівських променів за допомогою монокристалів або металеві фольги.

Додаткова інформація (2/2)

PHYWE



Мета навчання

Мета цього експерименту - дослідити монохроматичне характеристичне рентгенівське випромінювання міді.



Завдання

1. Проаналізувати інтенсивність рентгенівського випромінювання міді залежно від кута Бреґґа та за допомогою монокристалів LiF і KBr . Визначте енергію характерних рентгенівських ліній.
2. Використовуйте монокристал LiF , щоб відфільтрувати характеристичну лінію з поліхроматичного спектра.
3. Монохроматизуйте рентгенівський спектр за допомогою нікелевого фільтра.

Теорія (1/2)

PHYWE

Рентгенівські промені, що генеруються рентгенівською трубкою, є поліхроматичними. Лінії, енергія яких залежить не від напруги анода, а від матеріалу анода, накладаються на гальмівний спектр (див. експеримент P2540105). Оскільки деякі експерименти (експерименти Дебая-Шеррера щодо кристалічних структур) вимагають монохроматичного рентгенівського випромінювання, це випромінювання генерується шляхом фільтрації монокристалів або за допомогою металевих фольг.

Коли рентгенівські промені з довжиною хвилі λ падають на площині решітки монокристала під кутом θ промені, які відбиваються від площин решітки, конструктивно інтерферують один з одним за умови, що їхня різниця ходу відповідає цілому кратному числу довжин хвиль. Це пояснюється законом Брегга:

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

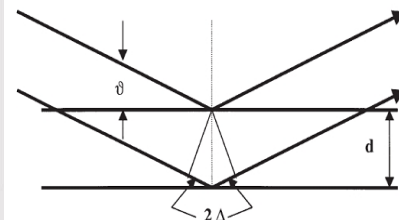


Рис. 1: Брегівське розсіювання на парі площин решітки

Теорія (2/2)

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

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



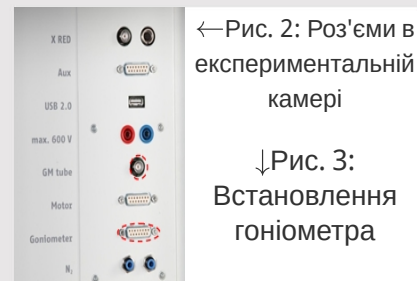
Підготовка та виконання роботи

Підготовка

PHYWE

Підключіть гоніометр і трубку лічильника Гейгера-Мюллера до відповідних гнізд в експериментальній камері (див. червоне маркування на рис. 2). 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. 3). 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. 2: Роз'єми в експериментальній камері

↓Рис. 3: Встановлення гоніометра



Виконання роботи (1/4)

PHYWE

- Підключіть рентгенівську установку через USB-кабель до USB-порту комп'ютера (потрібний порт рентгенівської установки зазначено на рисунку 4).
- 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.

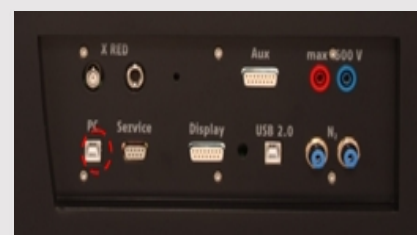
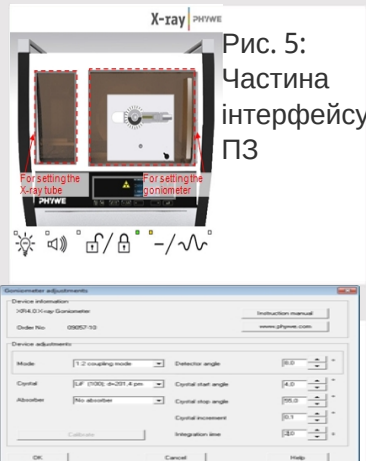


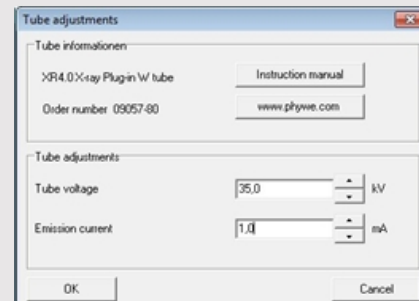
Рис. 4: Підключення комп'ютера

Виконання роботи (2/4)

PHYWE

Рис. 5:
Частина
інтерфейсу
ПЗ

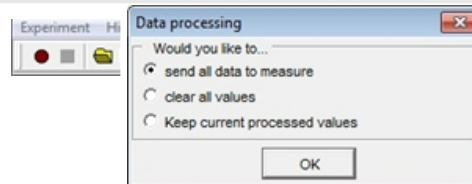
- Натисніть на експериментальну камеру (див. червоне маркування на рис. 5), щоб змінити параметри експерименту. Виберіть параметри, як показано на рис. 6, для кристала LiF. Якщо Ви використовуєте кристал KBr, виберіть початковий кут 3° і кінцевий кут 75° .
- Якщо натиснуть на рентгенівську трубку (див. червоне маркування на рис. 5), можна змінити напругу і силу струму рентгенівської трубки. Виберіть параметри, як показано на рис. 7.

Рис. 7: Налаштування
напруги та сили струмуРис. 6: Налаштування
гоніометра (кристал LiF)

Виконання роботи (3/4)

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 для завдання 1:

- 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

Виконання роботи (4/4)

PHYWE

Завдання 2: Монохроматизація за допомогою монокристалів

Якщо потрібен тільки вузький діапазон поліхроматичного спектра (наприклад, характеристична лінія K_{α}), налаштування гоніометра мають бути змінені таким чином: кристал аналізатора встановлюється в положенні кута $\theta = 22,6^{\circ}$ ($n = 1$). Детектор Гейгера-Мюллера обертає кристал аналізатора, наприклад у такому діапазоні сканування: початковий кут $10^{\circ} < 2\theta <$ кінцевий кут 30° . Відповідні налаштування гоніометра наведено на рис.8.

Завдання 3: Монохроматизація за допомогою фільтрів

Процедура виконання цього завдання відповідає виконанню завдання 1. Однак у цьому випадку необхідно трубку діафрагми (2 мм) замінити на нікелевий фільтр.

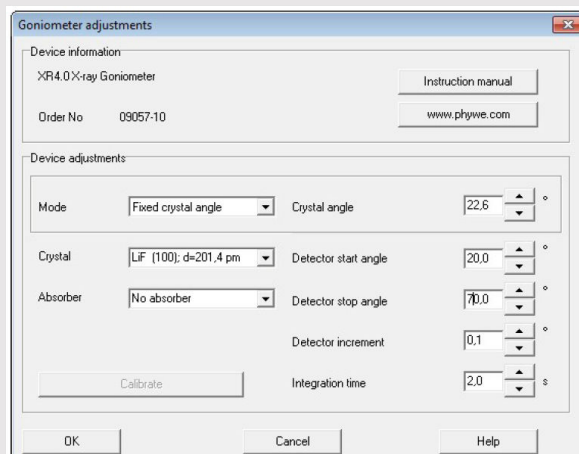
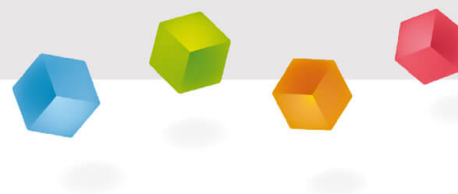


Рис. 8: Налаштування гоніометра; завдання 2

PHYWE

Оцінка



Завдання 1

PHYWE

Завдання 1: Аналіз рентгенівського спектра за допомогою монокристалів LiF и KBr

На рис. 9 показано інтенсивність рентгенівського спектра молибдену залежно від кута θ з використанням кристала LiF, як аналізатора.

У таблиці 1 наведено значення енергії характеристичних рентгенівських ліній, які є результатом кутів падіння θ характеристичних ліній на рис. 9 і міжплощинної відстані ($d = 201,4$ пм) кристала аналізатора відповідно до (3)

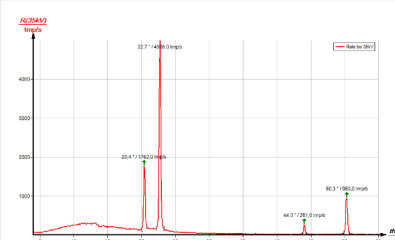


Рис. 9:
Рентгенівський
спектр міді з
кристалом LiF
(200) в якості
аналізатора

Кут θ	Значення енергії
$\theta = 22.7^\circ$; $n = 1$	$E_{K_\alpha} = 7,974$ кеВ
$\theta = 20.4^\circ$; $n = 1$	$E_{K_\alpha} = 8,830$ кеВ
$\theta = 50.3^\circ$; $n = 2$	$E_{K_\alpha} = 8,005$ кеВ
$\theta = 44.0^\circ$; $n = 2$	$E_{K_\alpha} = 8,857$ кеВ

Завдання 2

PHYWE

Завдання 2: Монохроматизація за допомогою монокристалів

На рис. 10 показано, що тільки під кутом $2\theta = 45^\circ$ рентгенівські промені виходять із кристала аналізатора.

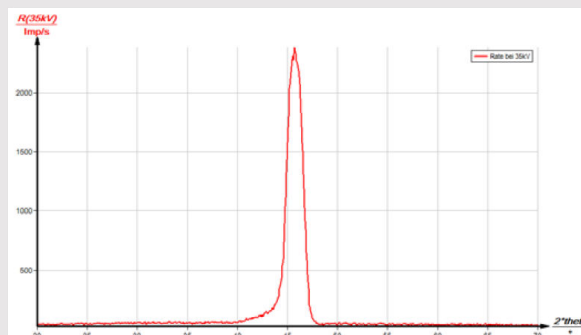


Рис. 10: Монохроматизація
рентгенівського випромінювання міді за
допомогою монокристала; довжина хвилі
фільтрації: λ_{K_α}

Завдання 3

PHYWE

Завдання 3: Монохроматизація за допомогою поглинаючих плівок (абсорбційних фольг)

Якщо тонку металеву фольгу завтовшки x помістити на шляху рентгенівського променя з енергією E та інтенсивністю I_0 , інтенсивність за фольгою через поглинання буде такою:

$$I(E, x) = I_0 e^{-\mu(E) \cdot x} \quad (\mu [\text{см}^{-1}] = \text{лінійний коефіцієнт поглинання}). \quad (4)$$

Хоча коефіцієнт поглинання залежить від енергії, він, як правило, не демонструє різких змін в інтервалі енергій у кілька кеВ. Однак він різко змінюється, коли енергія рентгенівських квантів є достатньо високою, щоб виштовхувати електрони з нижчих енергетичних рівнів атомів матеріалу поглинача. У такому випадку на кривій поглинання з'являється так званий край поглинання. Нікель, наприклад, здатний майже повністю поглинати енергію характеристичної лінії K_β міді, тому що енергія рівня K нікелю трохи менша, ніж енергія лінії K_β . Навпаки, енергія характеристичної лінії K_α міді занадто мала для іонізації нікелю на K -оболонці. У результаті нікелевий фільтр лише незначно знижує інтенсивність лінії K_α відповідно до (4).

Завдання 3 (частина 2)

PHYWE

На рисунку 11 показано результат аналізу рентгенівського спектра міді з нікелевим фільтром і монокристалом LiF в якості аналізатора. За наближенням інтенсивність спектральної лінії пропорційна максимуму інтенсивності лінії.

Виходячи з цього наближення, порівняння обох спектрів на рис. 9 і 11 (для $n = 1$) показує, що відношення інтенсивностей $I(K_\alpha)/I(K_\beta)$ різко збільшилася завдяки фільтрації.

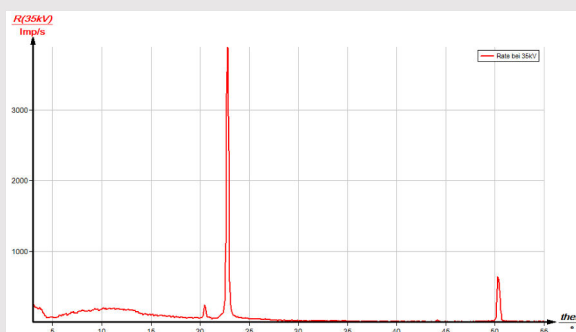


Рис. 11: Рентгенівський спектр міді з нікелевим фільтром і кристалом LiF як аналізатором

Завдання 3 (частина 3)

PHYWE

Якщо в якості аналізатора використовувати монокристал KBr, то результати є аналогічними щодо зменшення інтенсивності лінії K_{β} (рис. 12 і 13).

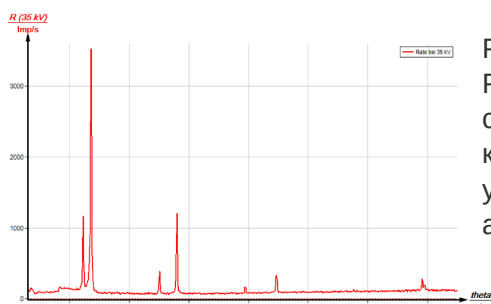


Рис. 12:
Рентгенівський
спектр міді з
кристалом KBr
у якості
аналізатора

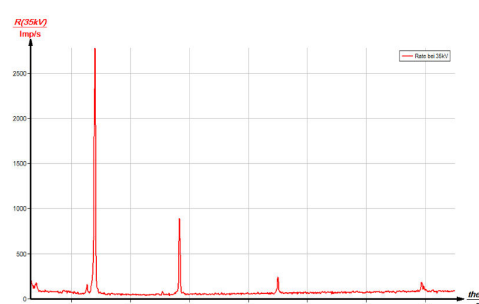


Рис. 13:
Рентгенівський
спектр міді з
нікелевим
фільтром K_{β} і
кристалом KBr
у якості
аналізатора

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.
- Виберіть "Візуалізація результатів", щоб відобразити дані піків безпосередньо в спектрі.

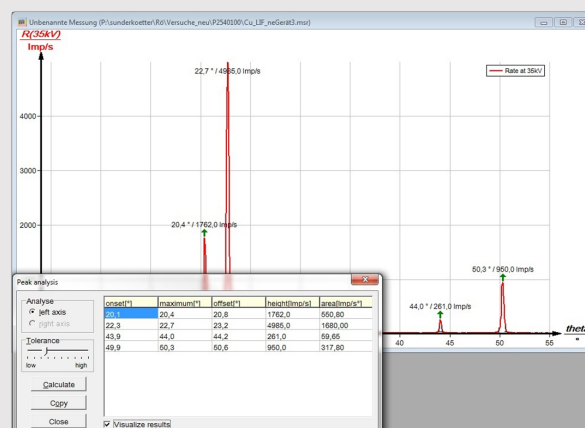


Рис. 14: Автоматичний аналіз піків за допомогою measure