

Работа 5-1: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА И ПЕРИОДА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ

Студент: _____ группа: _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: ознакомление с методикой электронографического анализа и расчётом электронограмм поликристаллических образцов.

Приборы и материалы: электронограмма

Краткие теоретические сведения

Явление дифракции электронов при их прохождении через тонкие слои поликристаллических и аморфных образцов положено в основу работы электронографа и используется для структурного анализа кристаллических тел. Этот метод анализа структуры кристаллических тел получил название **электронографии**.

Согласно гипотезе де Бройля, движущаяся частица вещества наряду с корпускулярными свойствами, проявляет так же и волновые свойства. Таким образом, корпускулярно-волновой дуализм, обнаруженный первоначально у световых квантов, оказался всеобщим свойством материи.

Волновой процесс, связанный с движущейся частицей, называют **волнами де Бройля**. Длину волны де Бройля λ , для нерелятивистской частицы можно

определить по формуле:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p},$$

где λ – длина волны де Бройля (измеряется в метрах или

в ангстремах $\text{\AA}$ ($1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ м}$))

$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка; m – масса частицы;

v – скорость частицы; $p = mv$ – импульс частицы.

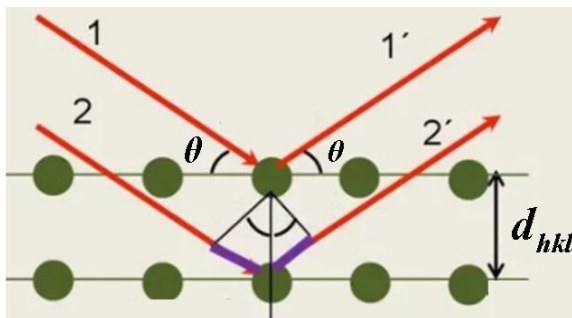


Рис. 1

Для электронов, ускоренных напряжением порядка десятка киловольт, длина волны де Бройля λ лежит в области длин волн рентгеновского излучения. Дифракция электронов, рассеянных кристаллической решеткой, так же как и дифракция рентгеновских лучей, описывается **формулой Вульфа-Брэгга**

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda, \quad (1)$$

где θ (тэта) – угол скольжения, то есть угол между падающим пучком и кристаллографической плоскостью;

n – положительное целое число;

d_{hkl} – межплоскостное расстояние (рис. 1), которое можно определить по формуле

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}, \quad (2)$$

где h, k, l – индексы Миллера, определяющие положение плоскости в кристалле;

a – межатомное расстояние (длина ребра элементарной кубической ячейки) или период кристаллической решётки.

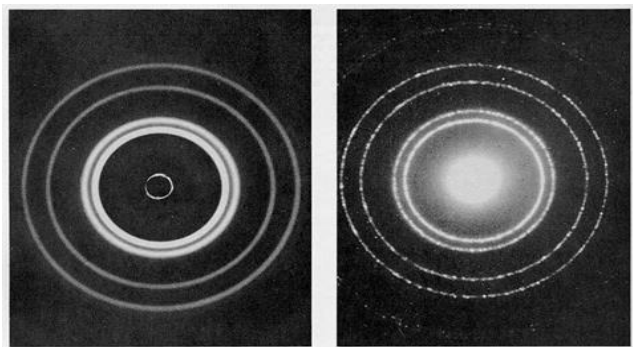
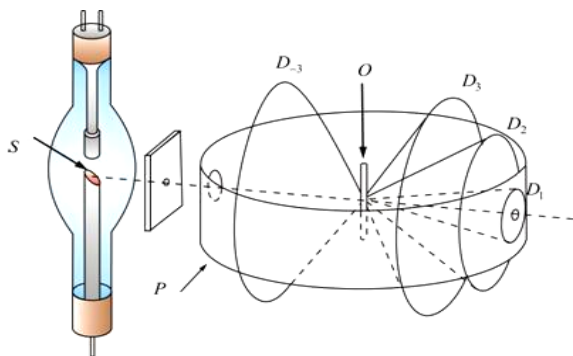


Рис. 2

Для системы плоскостей, параллельной какой-либо грани кубической решётки, d_{hkl} совпадает с периодом кристаллической решётки a .

При прохождении пучка электронов сквозь поликристаллическую пленку, вследствие хаотичности в ориентации монокристалликов в пленке, всегда найдутся системы кристаллических плоскостей, расположенных по отношению к падающему пучку под углами, удовлетворяющими условию (1). Электронные пучки, рассеянные под углом θ (тэта), образуют коническую поверхность с осью, направленной вдоль падающего пучка, и углом при вершине, равным 2θ . На экране, установленном на пути электронов, рассеянных от каждой

системы плоскостей, возникает дифракционное кольцо радиуса r . Поэтому полученная электронограмма представляет собой систему концентрических колец (см. рис. 2).

В данной лабораторной работе задача облегчена тем, что выдаются электронограммы с указанным заранее типом сингонии - кубической.

Расчет электронограмм поликристаллических образцов сводится к определению межплоскостных расстояний по формуле (2).

Для расчета удобно находить отношение Q_i квадрата межплоскостного расстояния первого кольца к квадрату межплоскостного расстояния каждого последующего кольца:

$$Q_i = \frac{d_{H_1 K_1 L_1}^2}{d_{H_i K_i L_i}^2} = \frac{H_1^2 + K_1^2 + L_1^2}{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2} = \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^2,$$

где d_i - диаметр i -го кольца ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$), d_1 - диаметр первого кольца ($i = 1$).

Значения отношений Q_i для первых шести колец электронограммы кубических решеток приведены в табл. 1.

Для расшифровки электронограммы нужно найти ряд отношений Q_i и на основании табл. 1 определить тип кристаллической решётки вещества.

Полученные значения Q_i могут не совпадать точно с табличными значениями, в таком случае тип кристаллической решётки определяют по наиболее близкому к ним ряду.

Таблица 1

Номер дифракции и кольца	КУБИЧЕСКАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЁТКА		
	Объёмноцентрированная (ОЦК)	Гранецентрированная (ГЦК)	Типа алмаза
1	1	1	1
2	2	1,33	2,66
3	3	2,66	3,67
4	4	3,67	3,33
5	5	4	6,33
6	6	5,33	8

Период кубической решетки рассчитывается по формуле:

$$a_i = \frac{2c}{d_i} \sqrt{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2}, \quad (3)$$

где C – постоянная электронографа, значение C указано на выдаваемой электронограмме;

d_i – диаметр i -го кольца; $H_i^2 + K_i^2 + L_i^2$ – сумма квадратов индексов интерференции, соответствующих i -му кольцу (см. табл.2.).

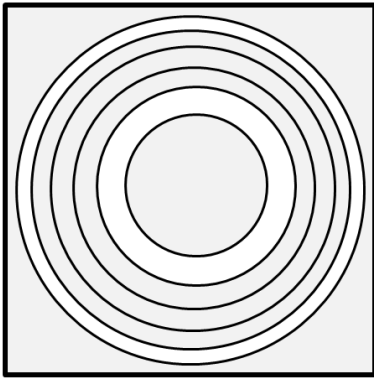
Таблица 2

Номер дифракции кольца	КУБИЧЕСКАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЁТКА					
	Объёмно-центрированная (ОЦК)		Гранецентрированная (ГЦК)		Типа алмаза	
	HKL	$H^2+K^2+L^2$	HKL	$H^2+K^2+L^2$	HKL	$H^2+K^2+L^2$
1	110	2	111	3	111	3
2	200	4	200	4	220	8
3	211	6	220	8	311	11
4	220	8	311	11	400	16
5	310	10	222	12	331	19
6	222	12	400	16	422	24

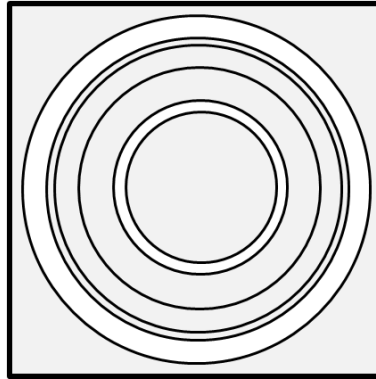
Порядок выполнения работы

Номер бригады совпадает с последней цифрой Вашей зачётной книжки.

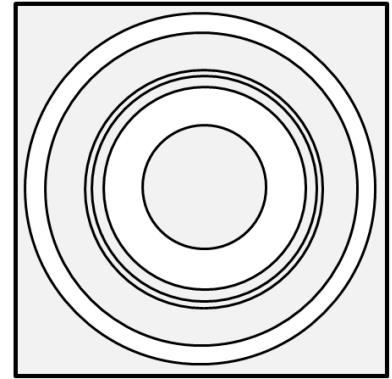
Электроннограммы



Бригады 1, 4, 7
 $c = 3,22 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$



Бригады 0, 2, 5, 8,
 $c = 3,57 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$



Бригады 3, 6, 9
 $c = 2,93 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$

1. Результаты эксперимента снимите к электроннограммы для своей бригады (электроннограммы приведены выше). Измерьте линейкой диаметры d_i пяти первых колец по порядку и запишите постоянную электронографа C (указана на рисунке под электроннограммой). Данные запишите в таблицу 3.

2. Вычислите значения $Q_i = \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^2$, где $i = 1, 2, 3, \dots$ - номера колец по порядку;

d_i - диаметр i -го кольца, d_1 - диаметр первого кольца.

Данные занесите в таблицу 3.

3. По полученному вертикальному ряду Q_i с помощью *таблицы 1* определите тип кристаллической решётки, к которой относится электроннограмма. Определять надо по тому вертикальному ряду Q_i в *таблице 1*, к которому ближе по значениям относится полученный Вами вертикальный набор Q_i .

Таблица 3

Номер кольца	$d_i, \text{ мм}$	$Q_i = \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^2$	$H_i^2 + K_i^2 + L_i^2$	a_i	$\langle a \rangle$	$S_{\langle a \rangle}$
1						
2						
3						
4						
5						

4. Определив по *таблице 1* тип кристаллической решётки, из *таблицы 2* выпишите значения индексов интерференции $H_i^2 + K_i^2 + L_i^2$ по порядку номеров колец.
5. Определите период кубической решётки по формуле:

$$a_i = \frac{2c}{d_i} \sqrt{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2},$$

где C - постоянная электронографа (указана на рисунке под электронограммой).

Полученный ряд значений a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 по соответствующим значениям диаметров колец d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 и их индексов интерференции $H_i^2 + K_i^2 + L_i^2$, занесите в *таблицу 3*.

6. Найдите среднее значение периода кристаллической решётки:

$$\langle a \rangle = \frac{\sum a_i}{n},$$

где n – число измерений.

7. Вычислите среднеквадратичную погрешность измерений:

$$S_{\langle a \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (a_i - \langle a \rangle)^2}{n(n-1)}}.$$

8. Окончательный ответ запишите в виде: $a = \langle a \rangle \pm t_{p,k} S_{\langle a \rangle}$,

где коэффициент Стьюдента $t_{p,k} = 2.8$ для вероятности доверительного интервала $p = 0.95$ при количестве измерений $n = 5$.

Контрольные вопросы

1. Виды агрегатных состояний вещества. Особенности их молекулярной структуры и их свойства.
2. Типы элементарных кристаллических ячеек.
3. Кристаллические и аморфные твёрдые тела, их свойства.
4. Гипотеза Луи де Бройля. Длина волны де Бройля.

ВНИМАНИЕ: Вам не надо проводить эксперимент самостоятельно. За Вас это сделали добрые люди. Ваша задача оформить лабораторную работу по примеру лабораторной работы 0-1 (не надо переписывать всё подряд).

1) Необходима шапка:

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1-5: СОУДАРЕНИЕ ШАРОВ

Студент _____ группа _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: Проверка закона сохранения импульса. Проверка закона сохранения полной механической энергии для упругих столкновений.

Приборы и принадлежности: прибор для исследования столкновения шаров FPM-08.

(рисунок установки можете не делать)

2) Название упражнения:

Упражнение №1. Проверка закона сохранения импульса при неупругом центральном ударе.

Определение коэффициента восстановления кинетической энергии.

3) Таблица

Таблица №1

№ опыта	α	β	m_1	m_2	p_0	p_1	$S_{<p_1>}$	T_0	T_1	$S_{<T_1>}$	K_1
1											
2											
3											
4											
5											

4) Под таблицей расчётные формулы, проверка их размерности и сами вычисления.

5) Грамотно записан ответ.

6) При необходимости сделать вывод и график (где его требуют)

ВНИМАНИЕ: для защиты лабораторной работы необходимо её оформить, провести расчёты согласно результатам эксперимента для Вашей бригады, грамотно заполнить таблицы, проверить размерность формул, грамотно записать ответы и ответить в письменном виде на контрольные вопросы.

Сфотографируйте Вашу работу, а так же ответы на контрольные вопросы, и пришлите фотографии мне на WhatsApp

Не забудьте подписать Вашу лабораторную работу.

Ответы на контрольные вопросы

1. Виды агрегатных состояний вещества. Особенности их молекулярной структуры и их свойства.

Агрегатным состоянием называется состояние одного и того же вещества, переходы между которыми сопровождаются скачкообразными изменениями его физических свойств (например, плотности, объёма, теплоёмкости и других).

Существуют следующие агрегатные состояния вещества:

1. **жидкое**,
2. **твёрдое**,
3. **газообразное**,
4. **плазма** (Ионизированное состояние вещества (то есть вещество состоит не из нейтральных атомов, а из заряженных ионов и свободных электронов, хотя в целом вещество остаётся электрически нейтральным). В этом состоянии находится 99 % видимого вещества во Вселенной, например, Солнце, звёзды, огонь и т.п.)
5. **Бозе – конденсат** (обнаружен в 1995 г, состоит из бозонов (частиц с целым спином) и существует при температурах близких к $T=0\text{ K}$),
В Бозе – конденсате атомы теряют свою индивидуальность и начинают вести себя согласованно, как одна большая молекула.
6. **Ферми- конденсат** (обнаружен в 2003 г, состоит из фермионов (частиц с полуцелым спином) и существует при температурах близких к $T=0\text{ K}$).

Газ

Газом называется состояние вещества, при котором его частицы очень слабо взаимодействуют друг с другом и движутся свободно, занимая весь предоставленный им объём.

Вещество в газообразной форме имеет форму и объём того сосуда, в котором находится газ.

Частицы газа находятся на больших расстояниях друг от друга и движутся между столкновениями прямолинейно и равномерно, взаимодействуя между собой лишь в момент столкновения друг с другом.

Газы легко сжимаются и их объём существенно зависит от температуры и давления.

Вещество находится в газообразном состоянии, если средняя потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия молекул газа между собой $\langle E_{\Pi} \rangle$ оказывается много меньше средней кинетической энергии теплового поступательного движения молекул этого вещества $\langle E_K \rangle$, то есть $\langle E_{\Pi} \rangle \ll \langle E_K \rangle$.

Жидкость

Жидкостью называется состояние вещества со свойствами промежуточными между твёрдым телом и газом, но обладающее только ей присущими особенностями, например, текучестью и поверхностным натяжением.

Вещество в жидкой форме сохраняет объём, но принимает форму сосуда, в котором она находится.

Средние расстояния между частицами жидкости порядка размера самих молекул ($d \approx (2 \div 3) \cdot 10^{-10} \text{ м}$) и со временем практически не изменяются, в следствие чего жидкость сохраняет свой объём неизменным и практически не сжимается.

Частицы жидкости некоторое время совершают колебания около положения равновесия в окружении других частиц, а затем перескакивают на новое место, чем и объясняется текучесть жидкости.

Вещество находится в жидком состоянии, если средняя потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия молекул жидкости между собой $\langle E_{\Pi} \rangle$ оказывается приблизительно равной средней кинетической энергии теплового поступательного движения молекул этого вещества $\langle E_K \rangle$, то есть $\langle E_{\Pi} \rangle \approx \langle E_K \rangle$.

Твёрдое тело

Твёрдым телом называется агрегатное состояние вещества, которое характеризуется стабильностью формы и объёма.

Частицы твёрдого тела находятся на расстояниях друг от друга порядка размеров самих частиц ($d \approx (1 \div 2) \cdot 10^{-10} \text{ м}$) и совершают колебания малой амплитуды около положений равновесия. Частота колебаний атомов в решётке порядка 10^{12} Гц.

Вещество находится в твёрдом состоянии, если средняя потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия молекул жидкости между собой $\langle E_{\Pi} \rangle$ оказывается много большей средней кинетической энергии теплового поступательного движения молекул этого вещества $\langle E_K \rangle$, то есть $\langle E_{\Pi} \rangle \gg \langle E_K \rangle$.

2. Типы элементарных кристаллических ячеек. Виды сингоний кристаллических ячеек и их отличия.

В каждой пространственной решётке можно выделить структурный элемент минимального размера, который называется **элементарной ячейкой**. Вся кристаллическая решетка может быть построена путём параллельного переноса (**трансляцией**) элементарной ячейки по некоторым направлениям.

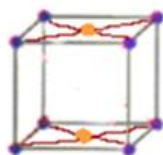
Теоретически доказано, что всего может существовать 230 различных пространственных кристаллических структур. Большинство из них (но не все) обнаружены в природе или созданы искусственно.

На рисунке представлены основные типы элементарных кристаллических ячеек.



простая
кубическая

(ПК)



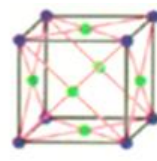
базо -
центрированная

(БЦК)



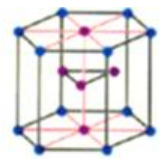
объёмно -
центрированная

(ОЦК)



гране
центрированная

(ГЦК)



гексагональная
плотно
упакованная

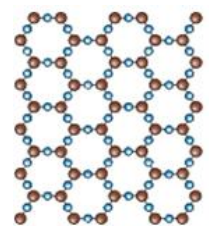
(ГПУ)

3. Кристаллические и аморфные твёрдые тела, их свойства.

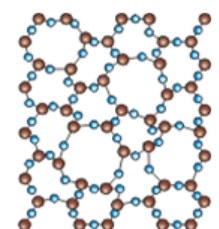
Твёрдое тело чаще всего бывает либо в кристаллическом виде, либо в аморфном виде.

Различия между кристаллическими и аморфными телами

- Кристаллические тела имеют упорядоченное, периодически повторяющееся расположение частиц в пространстве,



- аморфные тела не имеют упорядоченного, периодически повторяющегося расположения частиц в пространстве.



- **Кристаллические тела** имеют определённую температуру плавления (то есть при нагревании переходят в жидкое состояние при строго определённой температуре),

- **аморфные тела** не имеют определённой температуры плавления (то есть при нагревании постепенно размягчаются и переходят в жидкое состояние).

- **Кристаллы** обладают **анизотропными свойствами** (то есть по разным направлениям в кристалле его физические свойства (например, механические, магнитные, оптические и другие свойства) имеют различные значения).

- **аморфные тела** обладают **изотропными свойствами** (то есть по разным направлениям в аморфном теле его физические свойства (например, механические, магнитные, оптические и другие свойства) имеют одинаковые значения).

4. Гипотеза Луи де Бройля. Длина волны де Бройля.

В 1923 году французский физик Луи де Бройль выдвинул гипотезу об **универсальности корпускулярно-волнового дуализма**. Де Бройль предположил, что не только фотоны, но любые другие частицы материи наряду с корпускулярными обладают также и волновыми свойствами.

Согласно Луи де Бройлю, с каждым микрообъектом связаны, с одной стороны, **корпускулярные характеристики** – энергия E и импульс p , а с другой стороны, **волновые характеристики** – длина волны λ .

Корпускулярные и волновые характеристики микрообъектов связаны такими же количественными соотношениями, как и у

фотона:

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

где p -импульс частицы, $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$;

$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ - постоянная Планка,

λ - длина волны де Бройля, м.