

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Кристаллография

по направлению подготовки / специальности

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки / специализация:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 – способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования;

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- тесты – ответы на контрольные вопросы по темам.

Контрольные вопросы по Теме 1 (всего 4 балла).

1. Что является предметом кристаллографии и каковы ее задачи?
2. Перечислите основные этапы исторического развития кристаллографии, как науки.
3. Какими свойствами характеризуется кристаллическое состояние вещества?
4. Перечислите основные типы связей в кристаллических структурах, дайте их краткую характеристику.

Контрольные вопросы по Теме 2 (всего 9 баллов).

1. Дать определения элементарной трансляции, элементарной ячейки, пространственной решетки?
2. Сформулировать правило выбора кристаллографических осей координат.
3. Что такое индексы узлов решетки, рядов (ребер), плоскостей, их обозначения.
4. Правила определения кристаллографических индексов плоскостей.
5. Дайте определение межплоскостного расстояния, периода идентичности.
6. Какие системы координатных осей существуют в кристаллографии, каковы правила их выбора?
7. Показать, что индекс i в четырехосной системе координат, описывающей гексагональную решетку, связан с индексами (hkl) в трехосной системе координат соотношением:
а. $i = -(h+k)$.
8. Что называют кристаллографической зоной. В чем заключается правило перекрестного умножения?
9. Сформулируйте и **докажите** основное свойство плоскостей и осей, принадлежащих одной кристаллографической зоне.

Контрольные вопросы по Теме 3 (всего 4 балла)

1. Дать определения многогранника, планарного комплекса, полярного комплекса
2. Какие методы изображения кристаллов существуют? Перечислить типы кристаллографических проекций?
3. Что такое сфера проекций, меридиан, полюс, экватор?
4. Чем отличается гномостереографическая проекция от стереографической проекции?

Контрольные вопросы по Теме 4 (всего 9 баллов)

1. Что такое обратная решетка? Оценка: **1 балл.**
2. Что такое базисные вектора обратной решетки? Сформулируйте правила построения обратной решетки. Оценка: **1 балл.**
3. Как связаны между собой объемы ячеек кристалла и обратной решетки? Оценка: **1 балл.**
4. Каков геометрический смысл векторов S и H? Оценка: **1 балл.**
5. Перечислите свойства радиус-вектора обратной решетки. Оценка: **1 балл.**
6. Запишите выражение кристаллографической формы для кубической, ромбической, тетрагональной, гексагональной сингоний. Оценка: **1 балл.**
7. Построить решетку, обратную кубической ОЦК-решетке. Оценка: **2 балла.**
8. Приведите примеры использования понятия обратной решетки в физике конденсированного состояния. Оценка: **1 балл.**

Контрольные вопросы по Теме 5 (всего 7 баллов)

1. Что такое матрица преобразований? Сформулируйте правила преобразования систем координат в прямом и обратном пространствах. Оценка: **1 балл.**
2. Получить уравнения преобразования базисов в прямом пространстве для ОЦК – решетки. Оценка: **2 балла.**
3. Перейти от ортогонального базиса к базису для примитивной ячейки в ГЦК – кристаллах. Оценка: **2 балла.**
4. Перейти от гексагонального базиса к ромбоэдрическому для ГПУ-кристаллов. Оценка: **2 балла.**

Контрольные вопросы по Теме 6 (всего 16 баллов)

1. Сравнить и проиллюстрировать симметрические преобразования следующими элементами симметрии: (а) простая поворотная ось симметрии 4-го порядка и зеркально-поворотная ось симметрии 4-го порядка;
(б) простая поворотная ось симметрии 3-го порядка и зеркально-поворотная ось симметрии 3-го порядка.

Замечание: построение провести по аналогии с примером, приведенным в л.9 (пп. Комбинированные геометрические преобразования (файл «Лекция №9», с. 13)

Оценка: **3 балла.**

2. Привести названия общих простых форм (ОПФ), соответствующих видам симметрии, содержащим единственный элемент симметрии – поворотную ось симметрии 1, 2, 3, 4, 6 порядка (см. Таблицу их п.6.3 на стр. 18 Лекции №10).

Оценка: **3 балла.**

3. Доказать теорему Эйлера.

Оценка: **5 баллов.**

4. Путем графических построений (см. Теорему 2, п.6.5 Лекции №12) доказать эквивалентность :

$$\begin{aligned} \overset{\circ}{3} &\equiv \overline{6} = 3 + m_{\perp}, \\ \overset{\circ}{4} &\equiv \overline{4}, \\ \overset{\circ}{6} &\equiv \overline{3} \end{aligned}$$

Оценка: **5 баллов.**

Контрольные вопросы по Теме 7 (всего 4, 16 баллов)

1. Доказать Теорему 1 о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Для доказательства использовать графическое построение (см. рисунок Теоремы 1 а).
Оценка: 3 *балла*.

2. Доказать Теорему 3 о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Для доказательства использовать графическое построение, приведенное в лекции.
Оценка: 4 *балла*.

3. Доказать Теоремы 4 и 4а о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Использовать пример доказательства Теоремы 2.
Оценка: 6 *баллов*.

4. Доказать Теорему 5 о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Использовать пример доказательства Теоремы 2.
Оценка: 3 *балла*.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Зачет по дисциплине проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Индексы узла решетки, узловой прямой, узловой плоскости
2. Закрытые элементы симметрии. Международные символы. Изображение на проекции.
3. Понятие обратного пространства и обратной решетки. Соотношения между основными векторами.
4. Кристаллическая структура и структурный тип.

Примеры задач:

1. Найти ось кристаллографической зоны по известным координатам двух плоскостей, принадлежащих этой зоне.
2. Найти координаты плоскости по известным координатам двух осей зон, лежащих в этой плоскости.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Максимальная сумма баллов для промежуточной аттестации – 42 балла.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Оценка зачета определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-50 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет включает 2 вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИПК-1.2. Ответы даются в развернутой форме.

Вопросы, выносимые на зачет.

1. Индексы узла решетки, узловой прямой, узловой плоскости

2. Закрытые элементы симметрии. Международные символы. Изображение на проекции.
3. Понятие обратного пространства и обратной решетки. Соотношения между основными векторами.
4. Группы трансляций. Решетки Браве. Распределение решеток Браве по сингониям.
5. Винтовые оси, международные символы. Изображение на чертежах.
6. Решение задач с помощью сетки Вульфа.
7. Теоремы об открытых симметрических преобразованиях.
8. Кристаллографические системы координат.
9. Кристаллографические проекции. Сетка Вульфа.
10. Ступени (виды) симметрии. Классы симметрии с осью 3-го порядка.
11. Свойства радиуса-вектора $\vec{r}_{HKL}^*$ обратной решетки.
12. Понятие кристаллографической категории. Понятие сингонии и класса симметрии.
13. Изменение плоскости гномостереографической проекции с помощью сетки Вульфа.
14. Плоскости скользящего отражения, международный символ и изображение на чертежах.
15. Ступени (виды) симметрии. Классы симметрии с осью 4-го порядка.
16. Понятие зоны плоскостей. Уравнение зоны (получить с помощью обратной решетки).
17. Четвертый индекс плоскости в гексагональной системе.
18. Понятие "простой формы", общие и частные простые формы. Привести примеры.
19. Закрытые элементы симметрии. Международные символы. Изображение на проекции.
20. Главные кристаллографические направления во всех сингониях.
21. Примеры применения обратной решетки для решения кристаллографических задач.
22. Понятие пространственной группы, символ пространственной группы.
23. Инверсионные и зеркальные оси симметрии.
24. Изображение зоны плоскостей в различных кристаллографических проекциях.
25. Кристаллографические проекции, типы. Стереографические проекции кристаллографических плоскостей и направлений.
26. Применение обратной решетки для нахождения квадратичной формы. Квадратичная форма кубического кристалла.
27. Преобразование векторов обратной решетки.
28. Теоремы о сочетании элементов симметрии кристаллических структур.
29. Атомные и ионные радиусы. Координационное число, полиэдр, сфера.
30. Взаимодействие плоскости симметрии и параллельной ей трансляции. Плоскости скользящего отражения
31. Взаимодействие оси симметрии и параллельной ей трансляции. Винтовые оси симметрии.
32. Пространственные группы симметрии. Символ пространственной группы.
33. Плотнейшие шаровые упаковки. Коэффициент компактности.

34. Стехиометрическая формула.
35. Кристаллическая структура и структурный тип.

Задачи, выносимые на зачет.

1. Найти ось кристаллографической зоны по известным координатам двух плоскостей, принадлежащих этой зоне.
2. Найти координаты плоскости по известным координатам двух осей зон, лежащих в этой плоскости.
3. Методом кристаллографического умножения определить координаты плоскости по известным координатам двух кристаллографических направлений, лежащих в этой плоскости.
4. Методом кристаллографического умножения определить координаты плоскости по известным координатам двух кристаллографических направлений, лежащих в этой плоскости.
5. Определить 4-й индекс плоскости гексагонального кристалла.
6. Найти индексы (hkl) плоскости, принадлежащей одновременно 2-м зонам.
7. Построить стереографическую проекцию (СП) направления в кристалле, заданного координатами.
8. Определить полярные координаты направления в кристалле по его стереографической проекции.
9. Определить углы между парами направлений в кристалле по заданным стереографическим проекциям.
10. Построить СП направления в кристалле по заданным координатным углам.
11. Построить СП плоскости по заданной СП ее нормали.
12. Построить зону и найти ось зоны, если даны гномостереографические проекции двух граней, принадлежащих этой зоне.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Задача 1 (ИПК-1.1).

Построить стереографическую проекцию направления в кристалле по координатным углам $\lambda=50^\circ$, $\mu=55^\circ$, $\nu=10^\circ$.

Задача 2 (ИОПК 2.2)

Найти кристаллографические индексы плоскости, описываемой уравнением:

$$3x+z=1$$

Ответ:

- (а) {130}
- (б) [031]
- (в) (301)
- (г) 3,0,1

Теоретические вопросы (ИПК-1.1, ИОПК 2.2):

1. Перечислите закрытые элементы симметрии. Как они обозначаются в международной кристаллографической системе, графически на стереографической проекции.
2. Запишите соотношения между основными векторами прямой и обратной решетки.
3. Перечислите типы решеток Бравэ, запишите их обозначения, распределите по сингониям.
4. Сформулируйте правила построения кристаллографических систем координат. Перечислите кристаллографические системы координат, запишите соотношения между модулями базисных векторов и углами между ними.

5. Дайте определения кристаллографических проекций. Чем отличаются стереографические проекции от гномостереографических проекций.
6. Что такое кристаллографическая зона. Запишите уравнение кристаллографической зоны.
7. Для чего вводят четвертый индекс плоскости в гексагональной системе.
8. Что такое планарный комплекс, полярный комплекс?
9. Что такое квадратичная форма. Запишите формулы квадратичных форм для кубического, тетрагонального, гексагонального кристалла.
10. Что такое пространственная группа симметрии, как формируется символ пространственной группы? Сколько всего пространственных групп симметрии?
11. Приведите примеры плотнейших шаровых упаковок. Как рассчитывается коэффициент компактности упаковки?
12. Что такое стехиометрическая формула, приведите примеры.
13. Чем отличается понятие кристаллической решетки от понятия кристаллическая структура? Что такое структурный тип?
14. Что такое координационное число, координационный полиэдр, координационная сфера?

Информация о разработчике

Мейснер Людмила Леонидовна, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, профессор.