

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 29.06.2026 10:29:15
Уникальный программный ключ:
04c19ed8bb98f3b6cb77a486b9a878808522525



МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 1	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

**Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации
по дисциплине
Введение в физику твердого тела**

Направление подготовки (специальность)
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Направленность (профиль)
Физико-химия процессов и материалов

Присваиваемая квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Год набора **2026**

Челябинск 2026 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 2	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

Содержание

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Перечень формируемых компетенций
 - 2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной
3. Содержание оценочных средств по дисциплине
 - 3.1. Виды оценочных средств
 - 3.2. Содержание оценочных средств
4. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации
 - 4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации
 - 4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств
 - 4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 3	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Направление подготовки: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Направленность (профиль): - Физико-химия процессов и материалов

Дисциплина: Введение в физику твердого тела

Семестр: 5

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Система оценивания: оценивание результатов осуществляется в рамках зачет / незачет.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И ЭТАПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «Введение в физику твердого тела»
направлено на формирование следующих компетенций:

Коды компетенции и согласно ФГОС (ОПОП ВО)	Содержание компетенций согласно ФГОС (ОПОП ВО)	Индикаторы достижения компетенции согласно ОПОП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3	4
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Выполняет поиск информации, определяет критерии системного анализа поставленных задач; УК-1.2. Использует критический анализ, систематизацию и обобщение информации для решения поставленных задач	Для достижения УК-1.1: знать основные понятия и разделы физики конденсированного состояния вещества; Для достижения УК-1.2: уметь осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач в области профессиональной деятельности; Для достижения УК-1.2: владеть методами поиска и анализа информации
ПК-1	Способен анализировать опыт ведущих организаций,	ПК-1.1: Знает основные требования к достижению технического уровня изделий из	Для достижения ПК-1.1: знать основные принципы построения физических исследований, классификацию



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 4	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

	организовывать проведение НИР по проектированию и разработке наноструктурированных композиционных материалов и внедрять результаты исследований в новые технологии	наноструктурированных композиционных материалов с учетом опыта ведущих организаций ПК-1.2: Умеет анализировать имеющиеся литературные данные по взаимосвязи дисперсного состава и свойств наноструктурированных материалов; обеспечивать соблюдение требований стандартов, технических условий и нормативной документации на всех стадиях проектирования изделий из наноструктурированных композиционных материалов ПК-1.3: Владеет навыками формирования технических заданий на приобретение сырья и вспомогательных материалов для производства наноструктурированных композиционных материалов	современных методов обработки результатов Для достижения ПК-1.2: уметь формировать задачи исследования, применять на практике современные методы обработки результатов Для достижения ПК-1.3: владеть методами и инструментами анализа и моделирования, основными понятиями, законами и моделями физики
--	--	---	---



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 6

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

инструментами анализа и моделирования, основными понятиями, законами и моделями физики			
--	--	--	--

3.2 Содержание оценочных средств База тестовых вопросов

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Раздел 1 Основы кристаллографии		
1.	Сколько пространственных групп симметрии возможно получить из всего набора точечных элементов симметрии, трансляций и дополнительных элементов симметрии	1) 230 2) 7 3) 32 4) 180
2.	Точечных классов в кристаллографии существует:	1) 230 2) 7 3) 32 4) 180
3.	В кристаллах возможны оси симметрии:	1) любых порядков 2) 1, 2, 3, 4, 6 порядков 3) 2,3,4,5,6 порядков 4) 6, 7, и т.д. порядков
4.	Сколько кристаллических систем (сингоний) существует в геометрической кристаллографии?	1) 14 2) 3 3) 7 4) 6
5.	Какая из указанных плоскостей параллельна одной из координатных осей	1) (111) 2) (121) 3) (100) 4) (110)
6.	Плоскость с индексами Миллера [111] отсекает:	1) на каждой оси одинаковое число осевых единиц 2) на каждой оси единичные отрезки, выраженные в осевых единицах 3) на двух осях по равному числу осевых единиц и параллельна третьей оси 4) одну ось и параллельна двум другим
7.	Для какой сингонии соотношения между параметрами элементарной решетки составляют: $a \neq b \neq c$ и $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	1) триклинной 2) ромбической 3) ромбоэдрической



		4) моноклинной
8.	Для какой сингонии соотношения между параметрами элементарной решетки составляют: $a=b=c$ и $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$	1) кубической 2) ромбической 3) ромбоэдрической 4) тетрагональной
9.	Индексы Миллера плоскости определяют	1) семейство эквивалентных по симметрии плоскостей 2) семейство параллельных плоскостей 3) конкретную плоскость
10.	Для задания трансляционной группы надо указать	1) количество осей симметрии 2) плоскости симметрии 3) базисные вектора трансляций
11.	Какие из указанных элементов относятся к точечной группе симметрии	1) оси симметрии 2) центр инверсии 3) вектора трансляций 4) плоскости симметрии
Раздел 2. Методы определения кристаллической структуры твердого тела		
1.	В каком методе рентгеноструктурного анализа используется немонахроматический пучок рентгеновского излучения?	1) метод вращающегося кристалла 2) метод Дебая –Шеррера 3) метод Лауэ 4) метод Эвальда
2.	Как влияет температура на картину дифракционного спектра твердого тела	1) не влияет 2) приводит к уширению дифракционных максимумов и появлению теплового фона 3) приводит к сужению дифракционных максимумов и появлению теплового фона 4) приводит к появлению теплового фона
3.	Что преимущественно рассеивает рентгеновское излучение	1) ядра атомов 2) ядра и электроны 3) электроны
4.	При помощи какого излучения возможно исследование магнитных свойств твердых тел	1) рентгеновское 2) нейтронное 3) электронное 4) оптическое
5.	При помощи какого метода рентгеноструктурного анализа возможно исследование поликристаллов?	1) метод вращения 2) метод Лауэ 3) метод Дебая –Шеррера



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 8	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

		4) метод качания
Раздел 3. Природа межатомного взаимодействия		
1.	Энергетический спектр электронов в кристаллах имеет вид:	1) непрерывный 2) линейчатый 3) зонный 4) смешанный
2.	Уровень Ферми в полупроводниках вблизи абсолютного нуля расположен:	1) в валентной зоне 2) в зоне проводимости 3) в запрещенной зоне
3.	Какой статистике подчиняется электронный газ в металлах?:	1) Больцмана; 2) Максвелла; 3) Бозе - Эйнштейна; 4) Ферми- Дирака.
4.	Почему свободные электроны в металлах не вносят вклад в теплоемкость при комнатных температурах?	1) т.к. они остаются «вырожденными» вплоть до температур плавления; 2) т.к. «экранируются» кристаллической решеткой; 3) т.к. подчиняются принципу Паули; 4) т.к. повышение температуры оказывает влияние только на электроны, находящиеся вблизи уровня Ферми.
5.	Частицы в молекулярных кристаллах удерживаются:	1) кулоновским взаимодействием 2) силами Ван-дер-Ваальса; 3) электрическим диполь-дипольным взаимодействием; 4) магнитными взаимодействиями.
6.	Какой основной тип связи, как правило, осуществляется в полупроводниках?	1) ионный; 2) ковалентный; 3) металлический; 4) водородный.
Раздел 5. Дефекты в твердых телах		
1.	Какие из указанных дефектов относятся к точечным	1) дефект Шоттки 2) краевая дислокация двойник 3) атом в междуузлии
2.	Дефект Френкеля это	1) частица в междуузлии и вакансия 2) частица в междуузлии 3) вакансия



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 9	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

3.	Дефект Шоттки это	1) частица в междуузлии и вакансии 2) частица в междуузлии 3) вакансии
4.	Как направлен вектор сдвига относительно линии дислокации в случае краевой дислокации?	1) параллельно 2) перпендикулярно 3) под острым углом 4) под тупым углом
5.	Как направлен вектор сдвига относительно линии дислокации в случае винтовой дислокации?	1) параллельно 2) перпендикулярно 3) под острым углом 4) под тупым углом

Задачи к практическим занятиям

Раздел 1. Основы кристаллографии

Практическое занятие 1. Определение кристалла. Трансляции

1. Определить координационные числа и радиусы первой координационной сферы для решеток: простой кубической, ОЦК, ГЦК, ГПУ, типа алмаза. (Ответ: ПК 6, $R=a$; ОЦК 8, $R=(3)^{1/3}a/2$; ГЦК 12, $R=a/(2)^{1/2}$, ГПУ 12, $R=a$; типа алмаза 4, $R=(3)^{1/3}a/4$).

2. Определить число атомов в элементарной ячейке железа, кристаллизующегося в кубической системе (Ответ: ОЦК 2).

3. Показать, что кристаллическая решетка может иметь оси поворота лишь первого, второго, третьего, четвертого и шестого порядков.

4. Структура алмаза.

а) Сколько атомов содержится в примитивной ячейке алмаза?

б) Какова длина (в Å) вектора примитивной трансляции?

в) Сколько атомов содержится в гранцентрированной кубической элементарной ячейке?

5. Выразить объемы элементарных ячеек через радиусы R равновеликих шаров (атомов), образующих плотные упаковки для: ОЦК, ГЦК и гексагональной решеток (Ответ: $V_{\text{ОЦК}}=63 R^3/(3(3)^{1/2})$; $V_{\text{ГЦК}}=16R^3(2)^{1/2}$, $V_{\text{ГПУ}}=24R^3(2)^{1/2}$).

6. Определить плотность кристалла стронция, если известно, что кристаллическая решетка гранцентрированной кубической сингонии, а период решетки равен 0,43 нм (Ответ: $\rho=2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

7. Плотность кристалла NaCl равна $\rho=2,18 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Атомный вес натрия равен 23, а хлора - 35,46. Определить постоянную решетки (Ответ: $a=2,81 \text{ Å}$).



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 10

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

8. Пусть элементарная ячейка простой кубической решетки построена из одинаковых атомов, представляющих собой жесткие сферы с радиусом r . Ребро элементарной ячейки $a=2r$ (атомы касаются друг друга). Показать, что часть объема занятая атомами при таком расположении, равна $\pi/6 = 0,523$.

Практические занятия 2, 3. Узел. Кристаллографическое направление и плоскость. Индексы Миллера

1. Найти индексы Миллера плоскости, проходящей через узловые точки кристаллической решетки и отсекающей на осях кристалла отрезки длиной 22 Å, 28 Å и 19 Å, если параметры решетки составляют: $a = 2,75 \text{ Å}$, $b = 2,80 \text{ Å}$, $c = 4,75 \text{ Å}$ (Ответ: 5 4 10).

2. Доказать, что в кубическом кристалле любое направление $[hkl]$ перпендикулярно к плоскости с индексами Миллера (hkl) .

3. Построить кристаллическую плоскость простой кубической решетки с постоянной a , которой соответствуют индексы Миллера (310), и найти расстояние между плоскостями этого типа (Ответ: $a/10^{1/2}$).

4. Для триклинной решетки с параметрами элементарной ячейки $a = 7,09 \text{ Å}$, $b = 7,72 \text{ Å}$, $c = 5,56 \text{ Å}$ и углами триклинности $\alpha = 90^\circ 55'$, $\beta = 101^\circ 20'$, $\gamma = 105^\circ 44'$ определить расстояние между плоскостями (102) (Ответ: $d_{102} = 2,23 \text{ Å}$).

5. Вычислить угол между направлениями $[101]$ и $[012]$ ромбической решетки с параметрами: $a = 4,88 \text{ Å}$, $b = 6,66 \text{ Å}$, $c = 8,32 \text{ Å}$ (Ответ:

$$\cos \varphi = \frac{u_1 u_2 a^2 + v_1 v_2 b^2 + w_1 w_2 c^2}{\sqrt{(u_1^2 a^2 + v_1^2 b^2 + w_1^2 c^2)(u_2^2 a^2 + v_2^2 b^2 + w_2^2 c^2)}}, \varphi \approx 36^\circ$$

6. Написать индексы Миллера для плоскостей, содержащих узлы с кристаллографическими индексами $[[111]]$, $[[1-12]]$, $[[10-10]]$. Найти также отрезки, отсекаемые этими плоскостями на осях координат (Ответ: (-124); отрезки на осях: $4a$; $2b$; $1c$).

7. Даны грани (320) и (110). Найти символы ребра их пересечения (Ответ: $[001]$).

8. Даны два ребра $[-130]$ и $[201]$. Найти символ грани, в которой они лежат одновременно (Ответ: (31-6)).

9. Положение плоскостей в гексагональной системе определяется с помощью четырех индексов. Найти индекс i в плоскостях (100), (010), (110) и (211) гексагональной системы (Ответ: (10-10); (01-10); (11-20); (21-31)).

10. Найти символы плоскости, отсекающей на осях координат отрезки $4a$, $3b$, $2c$ (Ответ: $(hkl) = (346)$).



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 11	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

11. Найти символ плоскости, параллельной осям X и Z и отсекающей 3 единицы на оси Y (Ответ: $hkl=(010)$).

12. Определить угол между плоскостями (201) и (310) в ромбической сере с параметрами решетки $a=10,437 \text{ \AA}$, $b=12,845 \text{ \AA}$, $c=24,369 \text{ \AA}$ (Ответ: $\varphi=17^\circ$).

13. Показать в гексагональной ячейке расположение следующих плоскостей: (0001), (11-20).

14. Определить индексы следующих направлений в кубической решетке: а) ребер; б) диагоналей граней; в) пространственных диагоналей.

15. Показать в ячейке кубической симметрии расположение следящих плоскостей: а) [112]; б) [231]; в) [114]; г) [0-11].

Раздел 2. Методы определения кристаллической структуры твердого тела.

Практические занятия 4, 5. Уравнение Лауэ для амплитуды рассеянной волны. Обратная решетка. Дифракция в кристаллах

1. Определить, какой вид имеет обратная решетка для: простой кубической, гранецентрированной, объемно центрированной, гексагональной решеток и решетки типа алмаза.

2. С помощью непосредственного построения убедиться, что решетка, обратная ГЦК, является ОЦК решеткой.

3. Выразить углы между векторами обратной решетки через углы прямой решетки (Ответ: $\cos\alpha^*=(\cos\beta \cos\gamma-\cos\gamma)/\sin\beta \sin\gamma$, $\cos\beta^*=(\cos\alpha \cos\gamma-\cos\beta)/\sin\alpha \sin\gamma$, $\cos\gamma^*=(\cos\alpha \cos\beta-\cos\gamma)/\sin\alpha \sin\beta$, $\cos i=(c^*,a^*)/c^*a^*$).

4. Найти векторы обратной решетки для ромбоэдрического кристалла, если $a = 6,36 \text{ \AA}$, $\alpha = 46^\circ 6'$ (Ответ: $a^*=a^2 \sin(\alpha/V) \approx \text{\AA}^{-1}$, $\alpha^*=114^\circ 5'$).

5. Показать для случая простой кубической решетки, что формула Вульфа-Брэгга является следствием условий Лауэ.

6. При съемке дебаеграммы серебра при температурах 18 и 630°C дифракционная линия наблюдается при углах $80^\circ 9'$ и $76^\circ 54'$ соответственно. Вычислить коэффициент термического расширения серебра (Ответ: $\alpha=1,89 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$).

7. Оценить энергию нейтронов, с помощью которых можно исследовать магнитную структуру твердых тел. Каким способом можно получить монохроматический пучок нейтронов такой энергии из исследовательского атомного реактора? ($E \approx 0.08 \text{ эВ}$)



Версия документа - 1	стр. 12	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

8. Методом дифракции излучения необходимо определить кристаллическую структуру тонкой (около 300°A) пленки вещества, напыленного на кристаллическую подложку. Какой пучок предпочтительней использовать для этой цели: рентгеновский, нейтронный или электронный? Обосновать сделанный вывод.

9. Какое максимальное число линий может появиться на рентгенограмме простой кубической решетки с постоянной $a = 2,86 \text{ \AA}$, если исследование ведется на кобальтовом излучении с длиной волны $\lambda = 1,789 \cdot 10^{-8} \text{ см}$? (ответ: 7).

10. Найти атомный формфактор для однородного распределения Z электронов внутри

$$f = \int_0^\infty \frac{U(r) \sin \mu r}{\mu r} dr.$$

сферы радиусом R (Ответ: _____).

11. Определить постоянную решетки кристалла LiJ, если известно, что зеркальное отражение первого порядка рентгеновских лучей с длиной волны $2,10 \text{ \AA}$ от естественной грани этого кристалла происходит при угле скольжения $10^05'$ (Ответ: $a=6 \text{ \AA}$).

12. Известно, что длина волны характеристического рентгеновского излучения, полученного с медного анода, составляет $1,537 \text{ \AA}$. Эти лучи, попадая на кристалл алюминия, вызывают дифракцию от плоскостей (111) под брэгговским углом $19^02'$. Алюминий имеет структуру гранецентрированного куба, плотность его 2699 кг/м^3 , молярная масса - $26,98 \text{ г/моль}$. Рассчитать число Авогадро по этим экспериментальным данным (Ответ: $N_A=6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$).

13. Показать, что интерференционные максимумы от простой кубической решетки при заданном направлении падающих лучей возможны не для любых длин волн, а только для вполне определенных (Ответ: $\lambda = -2a \frac{(k_1 \cos \alpha_0 + k_2 \cos \beta_0 + k_3 \cos \gamma_0)}{(k_1^2 + k_2^2 + k_3^2)}$).

14. Снята рентгенограмма вращения с тетрагонального монокристалла. Длина волны рентгеновского излучения $1,542 \text{ \AA}$. Рентгеновский пучок перпендикулярен оси кристалла. Радиус камеры 3 см , длина 10 см . На нулевой слоевой линии видны пятна на расстояниях $0,54; 0,75; 1,08; 1,19; 1,52; 1,63; 1,71$ и $1,97 \text{ см}$ от центра пленки (место выхода прямого пучка). Расстояние первой слоевой линии от нулевой линии составляет $0,66 \text{ см}$. Проиндцировать наблюдаемые пятна на нулевой линии, вычислить параметры ячейки и расстояние каждой наблюдаемой слоевой линии от нулевой линии (Ответ: $a=8,64 \text{ \AA}$; $c=7,18 \text{ \AA}$). Будут видны только 1, 2 и 3-я слоевые линии на расстояниях $0,66; 1,43$ и $2,53 \text{ см}$ над нулевой слоевой линией).

15. Система плоскостей примитивной кубической решетки задана индексами (111). Определить расстояние между соседними плоскостями, если параметр решетки $a=3 \text{ \AA}$ (Ответ: $d=1,73 \text{ \AA}$).



Версия документа - 1	стр. 13	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Раздел 3. Природа межатомного взаимодействия

Практическое занятие 6. Электроны в металлах. Свободный электронный газ Ферми.

1. Концентрация свободных электронов натрия $2,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. Определить температуру Ферми и скорость электронов на уровне Ферми (Ответ: $T_F = 3,6 \cdot 10^4 \text{ К}$; $v_F = 10^6 \text{ м/с}$).
2. Определить число электронных состояний в единице объема металла с энергией 0,3-0,4 эВ (Ответ: $2,88 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$).
3. Каковы соответственно вероятности того, что при комнатной температуре электрон займет состояния, лежащие на 0,1 эВ выше и на 0,1 эВ ниже уровня Ферми? (Ответ: $1,79 \cdot 10^{-2}$; 0,98).
4. При абсолютном нуле уровень Ферми для меди 7 эВ. Определить значение уровня Ферми при 20 К (Ответ: 7 эВ).
5. Какова вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на 0,01 эВ ниже уровня Ферми, при температуре 18°C (Ответ: 0,6).
6. Как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами энергетического уровня в металле, если уровень расположен на 0,01 эВ ниже уровня Ферми и температура изменяется от 200 до 300К? (Ответ: уменьшится в 1,1 раза).
7. Определить число свободных электронов, которое приходится на один атом натрия при абсолютном нуле. Уровень Ферми для натрия 3,12 эВ. Плотность натрия 970 кг/м^3 , молярная масса натрия равна 22,99 г/моль (Ответ: 0,98 1/атом).
8. Во сколько раз число свободных электронов, приходящихся на один атом металла при 0 К, больше в алюминии, чем в меди, если уровни Ферми соответственно равны 11,7 эВ и 7 эВ? Плотность меди 8900 кг/м^3 , плотность алюминия – 2690 кг/м^3 (Ответ: В 3 раза).
9. Определить концентрацию свободных электронов в металле при абсолютном нуле. Энергию Ферми принять равной 1 эВ (Ответ: $4,58 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$).
10. Определить отношение концентраций свободных электронов при $T=0\text{К}$ в литии и цезии, если известно, что уровень Ферми в этих металлах соответственно равен: 4,72 эВ и 1,53 эВ (Ответ: 5,47).
11. Вычислить суммарную кинетическую энергию электронов проводимости в 1 см^3 цезия при 0 К (Ответ: 2,26 эВ).
12. Вычислить среднее значение кинетической энергии электронов в металле при абсолютном нуле, если уровень Ферми равен 11,7 эВ (Ответ: 7,02 эВ).



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 14

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

13. Металл находится при абсолютном нуле температуры. Определить во сколько раз число электронов с кинетической энергией от $E_F/2$ до E_F больше числа электронов с энергией от нуля до $E_F/2$ (Ответ: в 1,83 раза).

14. Концентрация свободных электронов алюминия $18,06 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$. Определить температуру Ферми и скорость электронов на уровне Ферми (Ответ: $13,5 \cdot 10^4 \text{ К}$; $2,02 \cdot 10^6 \text{ м/сек}$).

Раздел 4. Динамика твердого тела

Практическое занятие 7. Динамика кристаллической решетки

1. Определить величину квазиимпульса фонона соответствующего частоте $\omega = 0,1\omega_{max}$. усредненное значение скорости звука в кристалле $v = 1380 \text{ м/с}$, характеристика температуры Дебая $\Theta_D = 100 \text{ К}$. Дисперсией звуковых волн в кристалле пренебречь (Ответ: $P = 10^{-25} \text{ Н}\cdot\text{с}$).

2. Определить величину квазиимпульса фонона соответствующего частоте $\omega = 0,4\omega_{max}$. усредненное значение скорости звука в кристалле $v = 2000 \text{ м/с}$, характеристика температуры Дебая $\Theta_D = 150 \text{ К}$. Дисперсией звуковых волн в кристалле пренебречь (Ответ: $P = 4,14 \cdot 10^{-25} \text{ Н}\cdot\text{с}$).

3. Определить скорость звука в кристалле поваренной соли, зная, что температура Дебая равна 1670 К и $a = 1,04 \text{ \AA}$ (Ответ: $v = 7,24 \cdot 10^3 \text{ м/с}$).

4. Определите максимальную энергию фононов, распространяющихся вдоль цепочки атомов с периодом решетки $a = 2,84 \text{ \AA}$ со скоростью звука в кристалле 3000 м/с . ($E_{max} = 3,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$)

5. Длина волны фонона, соответствующего частоте $\omega = 0,01\omega_{max}$, равна 52 нм . Пренебрегая дисперсией звуковых волн, определить характеристическую температуру Дебая, если усредненное значение скорости звука в кристалле равно $4,8 \text{ м/с}$. (Ответ: $\Theta_D = 443 \text{ К}$)

6. Найти энергию фонона, соответствующего граничной частоте Дебая, если характеристическая температура Дебая равна 250 К (Ответ: $E = 3,45 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$).

7. Какова максимальная энергия фононов в кристалле свинца, если его характеристическая температура равна 94 К ? (Ответ: $E_{max} = 8,1 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$).

8. Характеристическая температура Дебая для вольфрама равна 310 К , а параметр решетки $3,16 \text{ \AA}$. Определить длину волны фононов, соответствующих частоте $\nu = 0,1 \nu_{max}$. Вычислить усредненное значение скорости звука в вольфраме, дисперсией волн в кристалле пренебречь.

Раздел 5. Дефекты в твердых телах



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 15

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

Практическое занятие 8. Дефекты кристаллической решетки. Диффузия в твердых телах

1. Диффузионные константы лития в кремнии равны $D_0=2,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{сек}$ и $Q=0,65 \text{ эВ}$. Рассчитать температуру, при которой атом лития, растворенный в кремнии, будет совершать один прыжок за одну секунду (Ответ: 260 К).

2. Пусть энергия, требуемая для перемещения атома натрия из внутренней части кристалла на поверхность, равна 1 эВ. Вычислить теплоемкость одного металла при комнатной температуре, обусловленную наличием в нем дефектов Шоттки (Ответ: $3,7 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{град})$).

3. Для образования вакансии в алюминии требуется энергия примерно 0,75 эВ. Сколько существует вакансий на один атом кристалла в состоянии термодинамического равновесия при комнатной температуре? При 600°C? (Ответ: $24,9 \cdot 10^{-14}$; $5 \cdot 10^{-7}$).

4. Показать, что число дефектов Френкеля в твердом теле при температуре T определяется следующим соотношением:

$$E = kT \ln \frac{(N - n)(N' - n)}{n^2},$$

где E – энергия, необходимая для того, чтобы переместить атом из нормального положения в узле в междоузлие; N – число узлов в кристалле; N' – число возможных междоузлий в состоянии равновесия.

5. Вычислить насколько должен раздвинуть атом своих соседей при помещении его в междоузлие гранецентрированной кубической решетки (Ответ: на 93 %).

6. Оценить величину коэффициента диффузии радиоактивного натрия в обычном натрии при комнатной температуре, если высота потенциального барьера, который надо преодолеть атому, чтобы перейти в новое положение равновесия, равна 0,5 эВ. Частота колебаний атома 10^{12} Гц (Ответ: $10^{-15} \text{ м}^2/\text{сек}$).

7. Вычислить насколько должен раздвинуть атом своих соседей при перемещении его в октаэдрическое междоузлие ОЦК- решетки, если длина ребра куба равна a (Ответ: на 99,46 %).

8. Определить толщину слоя, образовавшегося в результате диффузии атомов цинка в германий за 1 сек при температуре отжига 600 К, если высота потенциального барьера, который необходимо преодолеть атому, чтобы перейти в новое положение равновесия равна 3,8 эВ. $D_0=5,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (Ответ: $3,8 \cdot 10^{-19} \text{ м}$).

Раздел 6. Упругие и механические свойства твердых тел

Практическое занятие 9. Закон Гука. Матричная запись тензоров. Механические свойства твердых тел



Версия документа - 1	стр. 16	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

1. Кубический кристалл подвергнут растяжению в направлении [100]. Найти выражение для коэффициента Пуассона (ν) через упругие постоянные или модули упругости (Ответ: $\nu = -s_{12}/s_{11}$).

2. Кубический кристалл подвергнут гидростатическому сжатию. Показать, что величина, обратная сжимаемости $B = -V(dP/dV)$, связана с упругими постоянными соотношением $B = (C_{11} + 2C_{12})/3$ (Ответ: $B = (C_{11} + C_{12})/3$).

3. Показать, что скорость v волны сдвига, распространяющейся вдоль направления [110], когда частицы колеблются в направлении [1-10] в кубическом кристалле, равна $(C_{11} - C_{12}/2\rho)^{1/2}$, где ρ – плотность кристалла (Ответ: $C_{11} = (S_{11} + S_{12})/(S_{11} - S_{12})(S_{11} + 2S_{12})$; $C_{12} = (-S_{12})/(S_{11} - S_{12})(S_{11} + 2S_{12})$).

4. Проволока длиной 5,4 м под действием нагрузки уменьшилась на 2,7 мм. Определить абсолютное и относительное удлинение проволоки в обоих случаях (Ответ: $5 \cdot 10^{-4}$).

5. На проволоке длиной l висит груз P . Проволоку сложили вдвое и подвесили тот же груз. Сравнить абсолютное и относительное удлинение проволоки в обоих случаях (Ответ: $\Delta l_1/\Delta l_2 = 1/4$).

6. Найти соотношение между модулями упругости и упругими податливостями кубического кристалла (Ответ: $C_{11} = \frac{S_{11} + S_{12}}{(S_{11} - S_{12})(S_{11} + 2S_{12})}$; $C_{12} = \frac{-S_{12}}{(S_{11} - S_{12})(S_{11} + 2S_{12})}$; $C_{44} = \frac{1}{S_{44}}$).

7. Упругие постоянные бериллия C_{11} , C_{33} , C_{44} , C_{12} , C_{13} соответственно равны: $30,8 \cdot 10^{10}$, $35,7 \cdot 10^{10}$, $11,0 \cdot 10^{10}$, $-5,8 \cdot 10^{10}$ и $8,7 \cdot 10^{10}$ Н/м². Бериллий имеет гексагональную решетку, для которой набор постоянных упругой жесткости сводится к матрице:

$$C_{ij} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{13} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12}) \end{vmatrix}$$

Вычислить коэффициенты податливостей. (Ответ: $S_{11} \approx 0,37 \cdot 10^{-11}$ м²/Н; $S_{12} \approx 0,11 \cdot 10^{-11}$ м²/Н; $S_{13} \approx -0,11 \cdot 10^{-11}$ м²/Н; $S_{33} \approx 0,34 \cdot 10^{-11}$ м²/Н; $S_{44} \approx 0,9 \cdot 10^{-11}$ м²/Н).

8. 4.5. Определить модули упругости C_{22} , C_{44} , C_{66} и C_{46} моноклинного кристалла по



скоростям распространения ультразвуковых волн, приведенных в таблице. Плотность кристалла 1160 кг/м^3 .

Направление распространения волны	Направление смещения в волне	Скорость звука, м/сек
010	010	2890
100	010	1450
001	010	1680
010	100	1400
010	001	1510

(Ответ: $C_{22} \approx 9,7 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$; $C_{44} \approx 3,3 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$; $C_{66} \approx 2,4 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$; $C_{46} \approx 1,39 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$.)

Вопросы к зачету

- 1 Понятие о кристалле. Описание кристаллических структур.
- 2 Трансляционная инвариантность.
- 3 Решётка, базис, элементарная ячейка.
- 4 Другие операции симметрии.
- 5 Классификация кристаллических решёток и решётки Браве. Двумерный случай.
- 6 Решётки Браве. Трёхмерный случай.
- 7 Кристаллографические группы симметрии
- 8 Описание положения атомов в элементарной ячейке, кристаллографических направлений и плоскостей.
- 9 Примеры кристаллических структур.
- 10 Дифракция на кристалле. Характеристики излучений.
- 11 Закон (формула) Вульфа-Брэгга.
- 12 Дифракционные методы. Метод Лауэ.
- 13 Дифракционные методы. Метод вращений.
- 14 Дифракционные методы. Метод порошка.
- 15 Структурный анализ. Структурный фактор базиса.
- 16 Обратная. решётка. Свойства обратной решетки. Построение обратной решётки
- 17 Ячейка Вигнера –Зейтца. Пример построения.
- 18 Зоны Бриллюэна. Примеры построения.
- 19 Уравнения Лауэ.
- 20 Экспериментальные дифракционные методы определения кристаллической структуры твердого тела
- 21 Классификация кристаллов.
- 22 Молекулярные кристаллы.
- 23 Ионные кристаллы.
- 24 Ковалентные кристаллы
- 25 Металлы.
- 26 Кристаллы с водородной связью
- 27 Классификация твердых тел с точки зрения энергетических зон.
- 28 Поверхность Ферми.
- 29 Природа происхождения энергетических зон. Зонные схемы.



- 30 Происхождение энергетических зон.
- 31 Спектр свободного электрона в кристалле.
- 32 Энергия Ферми.
- 33 Эффективная масса электронов.
- 34 Гармоническое приближение.
- 35 Колебания в однородной цепочке атомов
- 36 Колебания в цепочке с двумя сортами атомов
- 37 Колебания в цепочке с одним сортом атомов
- 38 Колебания атомов в трехмерной решетке.
- 39 Число разрешенных значений длин волн. граничные условия Борна-Кармана.
- 40 Анализ дисперсионной кривой для линейной цепочки одинаковых атомов.
- 41 Зависимость фазовой и групповой скоростей от волнового числа.
- 42 Акустическая и оптическая ветви колебаний.
- 43 Экспериментальные методы исследования фононного спектра.
- 44 Фононная теплоемкость твердых тел
- 45 Классификация дефектов.
- 46 Тепловые точечные дефекты.
- 47 Термодинамика тепловых точечных дефектов.
- 48 Точечные дефекты в ионных кристаллах
- 49 Поверхностные и объемные дефекты.
- 50 Радиационные дефекты.
- 51 Дефекты упаковки. Дислокации
- 52 Дефекты по Френкелю и по Шоттки.
- 53 Факторы, вызывающие появление дефектов.
- 54 Образование дислокаций. Схема Франка-Рида.
- 55 Приближение сплошной среды.
- 56 Механическое напряжение.
- 57 Деформация.
- 58 Тензоры напряжений и деформаций.
- 59 Диаграмма деформации. Закон Гука.
- 60 Матричная запись тензоров.
- 61 Пластические свойства твердых тел.
- 62 Упругие волны в твердых телах.
- 63 Соотношения Коши. Устойчивость кристаллических решеток
- 64 Уравнение движения сплошной среды.
- 65 Энергия деформируемого твердого тела.
- 66 Упругие волны в твердых телах.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

На зачете студент отвечает на два теоретических вопроса.

Время подготовки к ответу на вопросы билета – 20 минут. Во время подготовки



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 19	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

можно использовать справочные материалы.

4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств

Максимальный балл за **посещение лекционных занятий** – 6 баллов, за **посещение практических занятий** – 4 балла.

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и в форме самостоятельной работы. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. В течение семестра студент должен сдать отчет по каждой теме. Отчет по теме считается сданным вовремя, если он сдан в течение месяца после изучения темы на практическом занятии. Отчет подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы. Максимальный балл за сдачу всех тем – 42 баллов.

Критерии оценивания отчета по темам практических занятий:

Оценка	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Характеристик и ответа	Решено > 80% задач, отчет сдан вовремя	Решено >80% задач, отчет не вовремя	Решено <80% задач, отчет сдан не вовремя	Задачи не решены
Баллы	6-7 баллов	3-5 баллов	1-2 балла	0 баллов
Уровень освоения проверяемых компетенций	высокий	средний	базовый	недостаточный

Также в течение семестра проводится четыре теста по разделам «Основы кристаллографии», «Методы определения кристаллической структуры твердого тела», «Природа межатомного взаимодействия» и «Дефекты в твердых телах». В тестовом задании студенту предлагается ответить на 5 вопросов. Максимальный балл за тестовую работу – 2 балла.

Критерии оценивания тестовых работ:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Правильно решены четыре теста	8	высокий
Решены четыре теста, но есть ошибки	7-6	средний
Решены все тесты, но есть не менее двух ошибок	5-4	базовый



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 20	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Частично решены тесты	3-1	недостаточный
-----------------------	-----	---------------

Таким образом, за работу в семестре студент может получить максимум 60 баллов.

Если студент за время работы в семестре набрал менее 25 баллов, для него **зачет** проходит в два этапа: 1 этап – решение задачи, 2 этап – ответ на билет. Если студент набрал 35 баллов и более – только ответ по билету.

Максимальный балл за ответы на зачетном занятии – 40 баллов.

Критерии оценивания теоретических вопросов:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения. Возможны несущественные ошибки.	35-40	высокий
Студент твердо знает материал, грамотно и, по существу, излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул или отсутствии некоторых элементов вывода.	25-35	средний
Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин по другим вопросам зачета.	10-20	базовый
Не может ответить на вопрос базового уровня	0-9	недостаточный

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации. Полученные за текущую аттестацию баллы суммируются с баллами, полученными за каждый этап при прохождении промежуточной аттестации:

Критерии оценивания зачета:

0-69 баллов - незачтено;

70-100 баллов - зачтено.

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций

Уровни сформированности компетенций определяется следующим образом:

1. Высокий уровень сформированности компетенций соответствует набранному диапазону баллов 91-100:



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра физики конденсированного состояния

Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику твердого тела»
по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 21	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

предполагает формирование компетенций на высоком уровне: студент свободно владеет основной терминологией и понятийным аппаратом раздела теоретической физики «Введение в физику твердого тела», что позволяет формулировать выводы и участвовать в дискуссии по учебным вопросам данной дисциплины; полностью сформировано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач и уверенно владеть навыком их решения;

2. Средний уровень соответствует набранному диапазону баллов 81-90: предполагает формирование компетенций на среднем уровне: студент хорошо владеет основной терминологией и понятийным аппаратом раздела теоретической физики «Физика конденсированного состояния вещества»; сформировано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач и владеть навыками решения базовых задач по дисциплине;
3. Базовый уровень соответствует набранному диапазону баллов 70-80: предполагает формирование компетенций на начальном уровне: студент знает «теоретический минимум» и недостаточно владеет методами решения базовых задач по дисциплине;
4. Низкий уровень соответствует набранному диапазону баллов 0-69: студент не владеет основной терминологией и понятийным аппаратом раздела теоретической физики «Введение в физику твердого тела»; не владеет навыками решения базовых задач.

