

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.03 ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
зав. кафедрой, доцент, к.ф.-м.н. П.П. Турчин

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Формирование базовых знаний в области физики твердого тела как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей фундаментальные основы ее современных приложений в различных сферах деятельности.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Изучившие дисциплину «Физика твердого тела» должны иметь базовые представления о свойствах твердых тел с учетом их структуры, симметрии и электронного строения, уметь организовать экспериментальное и теоретическое моделирование процессов на основе полученных знаний, а также практически применять умения и навыки на производстве, в научных исследованиях и в образовании.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Способен применять физические закономерности взаимодействия излучения с веществом в современных технологиях	закономерности взаимодействия излучения с
ПК-2.1 Применяет закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований	знать свойства твердых тел с учетом их структуры, симметрии и электронного строения;
ПК-2.2 Анализирует области применения высокоэнергетических воздействий на вещество в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах	владеть навыками практического применения знаний в области физики твердого тела
ПК-3 Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства	исследовать их
ПК-3.1 Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	уметь организовать экспериментальное и теоретическое моделирование процессов получения материалов и исследования их свойств на основе полученных знаний по физике твердого тела; владеть методами исследования функционально значимых характеристик материалов
ПК-3.2 Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	знать факторы, определяющие получение материалов с требуемыми свойствами; уметь анализировать свойства твердых тел с учетом их структуры, симметрии и электронного строения; владеть навыками выявления взаимосвязи между составом, структурой, свойствами и поведением материалов

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр	
		6	7
Общая трудоемкость дисциплины	8 (108)	3 (108)	5 (180)
Контактная работа с преподавателем:	5 (180)	2 (72)	3 (108)
занятия лекционного типа	2 (72)	1 (36)	1 (36)
практические занятия	1 (36)	1 (36)	0 (0)
лабораторные работы	2 (72)	0 (0)	2 (72)
Самостоятельная работа обучающихся	2 (72)	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)	36	Зачёт	Экзаме н

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Структура и симметрия кристаллов. Типы связей.					
1.	Лек	Структура и симметрия кристаллов	8	6	
2.	Лек	Методы исследования кристаллической структуры	8	6	
3.	Лек	Типы связей в кристаллах	4	6	
4.	Пр	Структура и симметрия кристаллов	8	6	
5.	Пр	Методы исследования кристаллической структуры	8	6	
6.	Пр	Типы связей в кристаллах	4	6	
7.	Ср	Самостоятельная работа	18	6	
Раздел 2. Фононы, теплоемкость, упругие и диэлектрические свойства кристаллов					
1.	Лек	Фононы и колебания решетки	4	6	
2.	Лек	Упругие свойства кристаллов	4	6	
3.	Лек	Теплоемкость диэлектрических кристаллов	4	6	
4.	Лек	Свойства диэлектриков	4	6	
5.	Пр	Фононы и колебания решетки	4	6	
6.	Пр	Упругие свойства кристаллов	4	6	
7.	Пр	Теплоемкость диэлектрических кристаллов	4	6	
8.	Пр	Свойства диэлектриков	4	6	
9.	Ср	Самостоятельная работа	18	6	
10.	Зачёт	Зачет		6	
Раздел 3. Зонная структура, физические свойства и эффекты в твердых телах					
1.	Лек	Электроны в металлах	6	7	
2.	Лек	Энергетическая зонная структура	6	7	
3.	Лек	Дефекты кристаллической структуры	4	7	
4.	Лек	Полупроводники	4	7	
5.	Лаб	Изучение процесса роста кристаллов под микроскопом	8	7	
6.	Лаб	Рентгеновское ориентирование, изготовление образцов из монокристаллов	8	7	
7.	Лаб	Распространение объемных акустических волн в пьезокристаллах	8	7	
8.	Лаб	Эффект Холла в полупроводниках	8	7	
9.	Ср	Самостоятельная работа	27	7	
Раздел 4. Магнитные свойства твердых тел. Сверхпроводимость.					

1.	Лек	Магнитные свойства твердых тел	8	7	
2.	Лек	Низкотемпературная и высокотемпературная сверхпроводимость	8	7	
3.	Лаб	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников методом фотопроводимости	8	7	
4.	Лаб	Исследование типа проводимости полупроводников методом термо ЭДС	8	7	
5.	Лаб	Статические магнитные свойства кристаллов	8	7	
6.	Лаб	Исследование процессов термического напыления металлических пленок в вакууме	8	7	
7.	Лаб	Исследование поверхности твердых тел с помощью зондового микроскопа	8	7	
8.	Ср	Самостоятельная работа	9	7	
9.	Экзамен	Экзамен	36	7	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела: учебное пособие по физике твердого тела для вузов. - Москва: Физико-математическая литература, 2001. - 335 с..

2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела [Электронный ресурс]:. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0063648.pdf>.

3. Мерер Х., Якимов Е. Б., Аристов В. В. Диффузия в твердых телах: монография. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 535 с..

4. Рабе К. М., Ан Ч. Г., Трискон Ж.-М., Струков Б. А., Лебедев А. И. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд. - Москва: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011. - 440 с..

5. Дырдин В. В., Польшгалов Ю. И., Мальшин А. А. Физика твердого тела: учебное пособие. - Кемерово: КузГТУ, 2012. - 108 с..

6. Волков Н. В., Попков С. И. Магнетизм твердых тел; диа- и парамагнетизм; магнитный порядок (физика магнитных явлений) [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие [для студентов программ 011200.68.02 «Физика конденсированного состояния вещества»; 011200.68.06 «Физика магнитных явлений»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-885602.pdf>.

7. Сирота Д. И. Физика твердого тела: сборник задач с подробными решениями. - Москва: URSS, 2010. - 183 с..

8. Суздалев И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов: научное издание. - Москва: URSS, 2009. - 589 с..

9. Егоров-Тисменко Ю. К. Кристаллография и кристаллохимия: учебник для вузов по спец. "Геология". - Москва: КДУ, 2010. - 587 с..

10. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учебник. - Санкт-Петербург: Лань, 2010. - 391 с..

11. Суздалев И. П. Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах: [монография]. - Москва: URSS, 2012. - 474 с..

12. Епифанов Г. И. Физика твердого тела: учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 288 с..

13. Ищенко А. А., Гиричев Г. В., Тарасов Ю. И. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества: монография. - Москва: Физматлит, 2012. - 616 с..

14. Савельев И. В. Курс физики: Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов : в 3 томах : учеб. пособие для вузов. - СПб.: Лань, 2008. - 302 с..

15. Александров К. С., Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П., Сорокин П. Б., Бурков С. И., Глушков Д. А., Четвергов Н. А., Софронова С. Н., Токарев Н. А. Теоретическая физика твердого тела [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-656895.zip.

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.

2. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

3. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>
2. Электронная естественнонаучная библиотека <http://bib.tiera.ru>
3. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>
4. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>
5. Научная электронная библиотека <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

учебная аудитория (лаборатория): Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, лабораторное оборудование в соответствии со спецификой дисциплины, АРМ преподавателя, подключением к сети «Интернет» и индивидуальным неограниченным доступом в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.В.03 Физика твердого тела

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ПК-2: Способен применять физические закономерности взаимодействия излучения с веществом в современных технологиях			
6, 7	ПК-2.1: Применяет закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований	знать свойства твердых тел с учетом их структуры, симметрии и электронного строения;	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену
6, 7	ПК-2.2: Анализирует области применения высокоэнергетических воздействий на вещество в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах	владеть навыками практического применения знаний в области физики твердого тела	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену
ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства			
6, 7	ПК-3.1: Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств	уметь организовать экспериментальное и теоретическое моделирование процессов получения материалов и исследования их свойств на основе полученных знаний по физике твердого тела	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену
		владеть методами исследования функционально значимых характеристик материалов	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

6, 7	ПК-3.2: Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства	знать факторы, определяющие получение материалов с требуемыми свойствами	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену
		уметь анализировать свойства твердых тел с учетом их структуры, симметрии и электронного строения	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену
		владеть навыками выявления взаимосвязи между составом, структурой, свойствами и поведением материалов	Защита лабораторных работ; Решение Задач; Вопросы к зачету и экзамену

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Перечень лабораторных работ:

1. Изучение процесса роста кристаллов под микроскопом.
2. Рентгеновское ориентирование, изготовление образцов из монокристаллов.
3. Распространение объемных акустических волн в пьезокристаллах.
4. Эффект Холла в полупроводниках.
5. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников методом фотопроводимости.
6. Исследование типа проводимости полупроводников методом термо ЭДС.
7. Статические магнитные свойства кристаллов.
8. Исследование процессов термического напыления металлических пленок в вакууме.
9. Исследование поверхности твердых тел с помощью зондового микроскопа.

Методические рекомендации по выполнению и защите лабораторных работ:

Для выполнения лабораторной работы по соответствующему разделу студент, используя учебно-методические пособия, изучает теорию явления, получает допуск для проведения эксперимента, оформляет реферативную часть (отчет) с таблицами и графиками, блок-схемой экспериментальной установки. Затем проводит лабораторный эксперимент, обрабатывает результаты, оформляет выводы, защищает работу.

Отчет по лабораторной работе представляется по следующей форме:

- название и авторы работы; организация, где выполнена работа, краткая аннотация;
- теоретическое введение, цель работы;
- оригинальная часть, состоящая из следующих разделов: материалы и приборы, методика измерений, обработка и обсуждение результатов, оценка достоверности полученного результата, выводы;
- список литературных источников.

Критерии оценки защиты лабораторной работы:

«**Зачтено**» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент демонстрирует:

- владение теоретическим материалом в привязке в экспериментальной проверке модели явления;
- понимание приближений, в рамках которых используется теоретическая модель;
- умение доказать достоверность полученных результатов путем вычисления статистической и систематической погрешностей и сравнение с литературными данными;
- владения размерностями физических величин и умение применять различные системы единиц;
- умение делать однозначные выводы, связанные с полученным результатом;
- правильность оформления библиографических данных;
- умение осуществлять поиск материалов по теме в сети Internet.

«**Не зачтено**» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент не демонстрирует вышеперечисленных знаний, умений, навыков.

Задачи:

1. Определить сингонию кристалла точечной симметрии $4mm$, подвергнутых действию одноосного механического напряжения вдоль кристаллографических осей: а) $[100]$, б) $[110]$, в) $[111]$.
2. Найти все элементы симметрии точечной группы $m\bar{3}m$.
3. Будут ли поляризоваться пластинки, изготовленные из монокристалла $La_3Ga_5O_{14}$ (точечная симметрия 32) при приложении напряжения одноосного сжатия перпендикулярно к рабочим граням:
а) если срез кристалла перпендикулярен оси 3 ?
если срез кристалла перпендикулярен оси 2 ?
4. Пользуясь матричным представлением операций симметрии, проиллюстрировать теорему Эйлера на примере класса 422 .
5. Определить отрезки, которые отсекает на осях решетки плоскость $(1\ 2\ 5)$
6. Найти индексы плоскостей, проходящих через узловые точки кристаллической решетки с координатами $9\ 10\ 30$, если параметры решетки $a = 3$, $b = 5$ и $c = 6$.
7. Векторы гексагональной пространственной решетки заданы соотношениями: $\vec{a} = \frac{\sqrt{3}}{2}a\vec{x} + \frac{a}{2}\vec{y}$, $\vec{a} = -\frac{\sqrt{3}}{2}a\vec{x} + \frac{a}{2}\vec{y}$, $\vec{c} = c\vec{z}$. Найти векторы примитивных трансляций обратной решетки и её объём. Нарисовать обратную решётку.
8. На рентгенограмме некоторого кубического кристалла, снятой на излучении меди K_α ($\lambda = 1,541 \text{ \AA}$) видны линии под углами Брегга θ : $12,3$; $14,1$; $20,2$; $24,0$; $25,1$; $29,3$; $32,2$; $33,1$; Отношения $\sin^2 \theta$ для этих углов пропорциональны соответственно числам: 3 , 4 , 8 , 11 , 12 , 16 , 19 , 20 . Проиндексировать эти линии. Определить, является ли эта решётка примитивной, ГЦК или ОЦК, и вычислить длину ребра ячейки. Плотность этого вещества равна $8,31 \text{ г/см}^3$, молекулярный вес - 312 . Найти число молекул в элементарной ячейке, если единица атомной массы $1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}$.
9. Рассчитать по методу Эвьена значение постоянной Маделунга для $CsCl$.
10. Получить выражения для групповой и фазовой скорости продольных фононов линейной монокристаллической цепочки. Построить графики полученных зависимостей.
11. Модули упругой податливости кубического монокристалла $Bi_{12}GeO_{20}$ $S_{11} = 8,5 \cdot 10^{-12}$, $S_{12} = -0,91 \cdot 10^{-12}$ и $S_{44} = 38 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$, плотность 9200 кг/м^3 . Найти значения скоростей звука в направлениях $[100]$, $[010]$, $[001]$, $[110]$, $[1\bar{1}0]$, $[111]$.
12. Теплоемкость серебра при 10 К равна $199 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)}$. Определить характеристическую температуру.
13. Найти направления в тригональном кристалле, в которых коэффициент теплового расширения равен нулю. Компоненты тензора теплового расширения равны: $\beta_{11} = \beta_{22} = -5,6 \cdot 10^{-6}$, $\beta_{33} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Методические рекомендации по решению задач:

Текущий контроль предусматривает решение задач на семинарских занятиях. При решении задач студент должен продемонстрировать умение самостоятельно решать задачи по изучаемым разделам.

Критерии оценки решения задач:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач, последовательность изложения решения логически стройная, не допускается существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач, при этом может быть нарушена логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, если решены менее 50% задач, допущены существенные ошибки.

Вопросы к зачету:

1. Трансляции. Элементарная ячейка и базис. Точечная симметрия, классы точечной симметрии
2. Пространственная симметрия, федоровские группы.
3. Категории и сингонии.
4. Предельные группы симметрии, принцип симметрии Кюри.
5. Типы пространственных решеток Бравэ.
6. Закон рациональности параметров, феноменологическое и математическое определение индексов Миллера направлений и плоскостей.
7. Обратная решетка и межплоскостные расстояния.
8. Закон дифракции Брэгга-Вульфа.
9. Условие дифракции и обратная решетка. Построение Эвальда.
10. Уравнения дифракции Лауэ.
11. Структурный фактор базиса и атомный фактор рассеяния. Законы погасания.
12. Основные условия образования кристаллов. Энергия химической связи.
13. Кристаллы инертных газов. Происхождение сил Ван-дер-Ваальса – Лондона. Природа сил отталкивания. Принцип Паули. Потенциал Ленарда-Джонса.
14. Ионные кристаллы. Энергия Маделунга.
15. Объемный модуль упругости кубических кристаллов.
16. Степень ионности связи в кристаллах бинарных соединений.
17. Металлические кристаллы. Металлическая связь и ее особенности. Энергия металлического кристалла.

18. Кристаллы с водородными связями. Природа водородной связи и ее особенности.
19. Неупругое рассеяние фотонов на акустических фононах. Квазиимпульс. Законы сохранения энергии и импульса.
20. Вектор смещения атомных плоскостей. Квазиупругая сила. Силовые постоянные. Уравнение движения атомной плоскости.
21. Колебания линейной монокристаллической цепочки. Первая зона Бриллюэна.
22. Особенности колебаний решетки на границе зоны Бриллюэна. Континуальное приближение.
23. Колебания двухатомной линейной цепочки (разные массы атомов). Акустические и оптические колебания. Предельная частота акустической моды. Запрещенная область частот.
24. Колебания двухатомной линейной цепочки (разные силовые постоянные). Акустические и оптические колебания.
25. Колебания трехмерной решетки. Циклические граничные условия. Динамическая матрица, ее свойства.
26. Температурная зависимость теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга-Пти.
27. Функция распределения Планка для фононов. Модель Эйнштейна теплоемкости твердых тел.
28. Приближение Дебая для акустических типов колебаний твердого тела. Плотность мод. Теория теплоемкости твердых тел Дебая. Температура Дебая.
29. Ангармонизм колебаний решетки. Тепловое расширение.
30. Теплопроводность твердых тел.
31. Определение тензора деформаций. Бесконечно малые и конечные деформации.
32. Однородные и неоднородные деформации.
33. Тензор механических напряжений, его внутренняя симметрия.
34. Закон Гука для анизотропной сплошной среды. Постоянные упругой податливости и упругой жесткости.
35. Энергия упругой деформации. Тензор упругих модулей для кубического кристалла.
36. Объемный модуль упругости и упругие постоянные кубического кристалла.
37. Уравнение движения упругой анизотропной сплошной среды. Уравнения Кристоффеля.
38. Упругие волны в кубических кристаллах (направление $[110]$).

Методические рекомендации по проведению зачета:

В 6 семестре предусмотрен зачет. Форма проведения зачета - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценки зачета:

«зачтено» выставляется обучающемуся, если в ответе верно изложено не менее 50 % материала и не допущено существенных неточностей;
«не зачтено» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части (более 50 %) программного материала и допускает существенные ошибки.

Вопросы к экзамену:

1. Макроскопическое электрическое поле. Поляризация. Поляризационные заряды. Диэлектрическая восприимчивость. Диэлектрическая проницаемость.
2. Локальное поле. Поле Лорентца. Связь макро- и микроскопических свойств диэлектриков. Уравнение Клаузиуса-Мосотти-Лорентца.
3. Механизмы поляризации в кристаллах с различными типами химических связей. Электронная поляризация (статическая поляризуемость, частотная зависимость).
4. Ионная поляризуемость твердых тел. Соотношение Лиддена-Сакса-Теллера.
5. Ориентационная поляризуемость твердых тел.
6. Диэлектрическая релаксация. Уравнение Дебая.
7. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Тангенс диэлектрических потерь. Диэлектрические потери при различных типах поляризации.
8. Сегнето-, пиро- и пьезоэлектрики. Электрострикция
9. Типичные свойства металлов. Классические модели газа свободных электронов.
10. Электронная проводимость, теплоемкость, теплопроводность металлов. Несостоятельность классических моделей.
11. Статистика Ферми-Дирака для электронного газа.
12. Уравнение Шредингера и волновые функции свободных электронов.
13. Энергетические уровни и плотность электронных состояний.
14. Температурная зависимость функции распределения Ферми-Дирака.
15. Энергия Ферми. Поверхность Ферми.
16. Электронная теплоемкость.
17. Модель металлической проводимости Зоммерфельда.
18. Движение электронов в металле в магнитном поле. Циклотронная частота. Статическое магнетосопротивление.
19. Эффект Холла в металлах.
20. Модель металлической проводимости в квантовом приближении. Теплопроводность металлов. Закон Видемана-Франца.
21. Отражение электромагнитных волн от металла. Плазменные колебания электронного газа.
22. Модель Кронинга-Пенни.
23. Модель почти свободных электронов (ПСЭ). Дифракция Брэгга для электронов на границе зоны Бриллюэна.

24. Зоны разрешенных и запрещенных энергий в модели ПСЭ.
25. Теорема Блоха. Волновое уравнение для электрона в поле периодического потенциала.
26. Энергетический спектр состояний сильно связанных электронов (оценка методом линейной комбинации атомных орбиталей). Эффективная масса и ширина разрешенной зоны.
27. Схема приведенных зон.
28. Особенности на границе зоны Бриллюэна. Число энергетических уровней в зоне. Металлы, полуметаллы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения заполнения зон.
29. Эффект де Гааза- Ван Альфена.
30. Строение поверхности Ферми.
31. Физическая интерпретация эффективной массы. Экспериментальные методы определения ширины запрещенной зоны.
32. Собственные полупроводники. Запрещенная зона. Фотопроводимость.
33. Прямые и непрямые процессы поглощения фотонов.
34. Дрейфовая скорость. Подвижность.
35. Концентрация электронов (дырок) в зоне проводимости (валентной зоне). Закон действующих масс.
36. Водородоподобная модель. Донорные и акцепторные примеси. Электронная и дырочная проводимость.
37. Температурная ионизация примесных центров.
38. Методы определения знака носителей тока в полупроводниках (эффект Холла, термоэлектродвижущая сила).
39. Температурная зависимость проводимости в примесном полупроводнике.
40. Вакансии: дефекты по Шоттки, дефекты по Френкелю.
41. Центры окраски в ионных кристаллах.
42. Дислокации. Вектор Бюргерса. Границы зерен. Влияние дислокационной структуры на механические свойства кристаллов и сплавов.
43. Магнитная восприимчивость и проницаемость. Намагниченность.
44. Диамагнетизм атомов. Прецессия Лармора. Формула Ланжевена.
45. Квантовая теория диамагнетизма и парамагнетизма. Закон Кюри.
46. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Приближение молекулярного поля.
47. Модель ферромагнетизма Гейзенберга. Температурная зависимость магнитной восприимчивости (закон Кюри-Вейсса). Точка Кюри.
48. Ферромагнетики. Антиферромагнетики. Ферромагнитные домены. Кривая намагничивания ферромагнетиков в переменном поле. Гистерезис. Намагниченность насыщения. Остаточная намагниченность. Коэрцитивная сила.
49. Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Идеальный диамагнетизм (эффект Мейснера). Теплоемкость. Энергетическая щель.
50. Понятие о теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера. Эффект Джозефсона.

51. Гипотезы о природе ВТСП.

Методические рекомендации по проведению экзамена:

В 7 семестре предусмотрен экзамен. Экзамен проходит в устной форме, в билет включены два теоретических вопроса. Для допуска к экзамену нужно выполнить все лабораторные работы.

Критерии оценки экзамена:

- «отлично» выставляется обучающемуся, если
 - Продемонстрировано уверенное владение освоенным материалом. Даны правильные исчерпывающие ответы. Приведены формулы и, при необходимости, их вывод. Представлены правильные ответы на дополнительные вопросы;
- «хорошо»:
 - Продемонстрировано уверенное владение освоенным материалом, встречаются несущественные ошибки. Не на все дополнительные вопросы даны правильные ответы.
- «удовлетворительно»:
 - Продемонстрировано удовлетворительное знание материала. Представлены конечные формулы без выводов. Не на все дополнительные вопросы даны правильные ответы.
- «неудовлетворительно»:
 - Содержание ответа не соответствует теме задания или соответствует ему в очень малой степени. Продемонстрировано крайне низкое (отрывочное) знание материала.

Разработчик



П.П.Турчин