

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физика твердого тела
по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра твердотельной электроники, радиофизики и прикладных информационных технологий
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С.А. Никитов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры твердотельной электроники, радиофизики и прикладных информационных технологий 29.05.2020

Аннотация

Курс "Физика твердого тела" предназначен дать углубленные специализированные знания, необходимые для выполнения научных исследований в рамках дипломных проектов бакалавров и магистров, направленных на изучение новых физических эффектов в твердом теле, применимых для создания новых электронных устройств. дать студентам базовые знания и познакомить с ключевыми понятиями и терминами физики конденсированного состояния.

Задачи дисциплины:

- Ознакомление студентов с физическими основами явления сверхпроводимости и сверхпроводниковой электроники;
- Дать студентам знания в области наиболее важных практических приложений в науке, технике и технологиях;
- Привить студентам навыки к развитию новых подходов к постановке и решению задач фундаментального и прикладного значения.

По результатам освоения студент должен:

Знать:

Природу основных явлений в твердом теле, методы их теоретического описания, а также базовые понятия и концепции физики твердого тела.

Уметь:

Пользоваться базовыми знаниями физики конденсированного состояния.

Владеть:

Основной терминологией физики конденсированного состояния.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Определение твердого тела
2. Симметрия кристаллов
3. Свойства векторов обратной решетки. Рентгеновская дифракция на кристалле
4. Природа сил связи атомов в кристаллической решетке
5. Ковалентная связь
6. Колебания атомов в решетке твердого тела
7. Диэлектрическая проницаемость твердого тела
8. Классическая теория теплоемкости твердого тела
9. Квантовомеханическая задача о гармоническом осцилляторе. Модель Дебая
10. Ангармонизм колебаний атомов решетки
11. Упругие свойства кристаллов
12. Уравнение движения и акустические волны в кристаллах
13. Физическая природа и описание сегнето-, пиро- и пьезоэлектричества
14. Микро- и макроскопические электрические поля в кристаллах
15. Высокочастотные электрические свойства кристаллов
16. Магнитные свойства твердых тел
17. Уравнение Ландау-Лифшица

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- дать углубленные специализированные знания, необходимые для выполнения научных исследований в рамках дипломных проектов бакалавров и магистров, направленных на изучение новых физических эффектов в твердом теле, применимых для создания новых электронных устройств. дать студентам базовые знания и познакомить с ключевыми понятиями и терминами физики конденсированного состояния.

Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с физическими основами явления сверхпроводимости и сверхпроводниковой электроники;
- дать студентам знания в области наиболее важных практических приложений в науке, технике и технологиях;
- привить студентам навыки к развитию новых подходов к постановке и решению задач фундаментального и прикладного значения.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- природу основных явлений в твердом теле, методы их теоретического описания, а также базовые понятия и концепции физики твердого тела.

уметь:

- пользоваться базовыми знаниями физики конденсированного состояния.

владеть:

- основной терминологией физики конденсированного состояния.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Определение твердого тела	2			5
2	Симметрия кристаллов	2			5
3	Свойства векторов обратной решетки. Рентгеновская дифракция на кристалле	2			5
4	Природа сил связи атомов в кристаллической решетке	2			5
5	Ковалентная связь	2			5
6	Колебания атомов в решетке твердого тела	2			5
7	Диэлектрическая проницаемость	2			5
8	Классическая теория теплоемкости твердого тела	2			5

9	Квантовомеханическая задача о гармоническом осцилляторе. Модель Дебая	2			5
10	Ангармонизм колебаний атомов решетки	2			5
11	Упругие свойства кристаллов	2			5
12	Уравнение движения и акустические волны в кристаллах	2			5
13	Физическая природа и описание сегнето-, пиро- и пьезоэлектричества	2			5
14	Микро - и макроскопическое электрические поля в кристаллах	1			5
15	Высокочастотные электрические свойства кристаллов	1			2
16	Магнитные свойства твердых тел	1			2
17	Уравнение Ландау-Лифшица	1			1
Итого часов		30			75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

1. Определение твердого тела

Кристаллические и аморфные твердые тела, связь с порядком. Примеры кристаллических решеток. Двумерные решетки, графены. Фуллерены и тубелены. Узлы и векторы решетки, базис. Решетка Бравэ. Классификация кристаллов по типу решетки Бравэ. Элементарная ячейка.

2. Симметрия кристаллов

Симметрия кристаллов. Точечные и пространственные группы симметрии. Классификация кристаллов по типу симметрии. Связь симметрии кристаллов с симметрией тензоров, описывающих физические свойства кристаллов.

3. Свойства векторов обратной решетки. Рентгеновская дифракция на кристалле

Определение обратной решетки. Свойства векторов обратной решетки. Плоскости решетки и индексы Миллера. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Атомный и структурный факторы рассеяния. Рассеяние электронов и нейтронов. Экспериментальные методы.

4. Природа сил связи атомов в кристаллической решетке

Природа сил связи атомов в кристаллической решетке. Ионная связь: энергия связи, постоянная Маделунга. Природа сил отталкивания.

5. Ковалентная связь

Ковалентная связь: обменное взаимодействие, направленность и насыщенность связей. Силы Ван-дер-Ваальса и молекулярная связь. Металлическая связь.

6. Колебания атомов в решетке твердого тела

Спектры колебаний одно- и двухатомных решеток. Акустические и оптические моды. Дисперсионное соотношение. Зона Бриллюэна. Обобщение на трехмерный случай. Циклические граничные условия и разрешенные значения волнового вектора. Плотность состояний.

7. Диэлектрическая проницаемость

Диэлектрическая проницаемость твердого тела. Основные понятия.

8. Классическая теория теплоемкости твердого тела

Уравнения динамики кристаллической решетки в гармоническом приближении. Классическая теория теплоемкости твердого тела.

9. Квантовомеханическая задача о гармоническом осцилляторе. Модель Дебая

Квантовомеханическая задача о гармоническом осцилляторе. Квантование энергии колебаний кристаллической решетки. Фононы. Распределение Планка. Квантовая теория теплоемкости. Модель Дебая.

10. Ангармонизм колебаний атомов решетки

Ангармонизм колебаний атомов решетки. Тепловое расширение. Взаимодействие фононов. Время жизни фононов и длина свободного пробега. Нормальные процессы и процессы переброса. Теплопроводность. Поправки к закону Дюлонга и Пти.

11. Упругие свойства кристаллов

Упругие свойства кристаллов. Тензоры деформации и механического напряжения и их свойства. Закон Гука. Тензор модулей упругости. Обозначения Фохта.

12. Уравнение движения и акустические волны в кристаллах

Уравнение движения и акустические волны в кристаллах. Фазовая и групповая скорости. Примеры вычисления фазовой скорости акустических волн в кубических кристаллах. Поверхностные акустические волны. Кварцевый резонатор. Принципы работы устройств акустоэлектроники.

13. Физическая природа и описание сегнето-, пиро- и пьезоэлектричества

Физическая природа и описание сегнето-, пиро- и пьезоэлектричества. Необходимое и достаточное условия существования пьезоэффекта. Электрострикция. Влияние пьезоэффекта на упругость и скорость акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах. Принципы работы устройств электро- и акустооптики.

14. Микро - и макроскопические электрические поля в кристаллах

Микро - и макроскопические электрические поля в кристаллах. Локальное поле. Механизмы поляризуемости твердых тел. Диэлектрическая проницаемость. Ограниченность применимости формулы Клаузиуса-Моссотти.

15. Высокочастотные электрические свойства кристаллов

Высокочастотные электрические свойства кристаллов. Зависимость поляризуемости от частоты. Действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости, соотношение Крамерса-Кронига. Оптическое решеточное поглощение.

16. Магнитные свойства твердых тел

Магнитные свойства твердых тел. Обменное и релятивистские взаимодействия. Энергия магнитоупорядоченного кристалла.

17. Уравнение Ландау-Лифшица

Уравнение Ландау-Лифшица. Спиновые и магнитоупругие волны в кристаллах. Принципы работы устройств спин - волновой электроники.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Доска, маркеры, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева .— 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006 .— 792 с.

Дополнительная литература

1. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра твердотельной электроники, радиофизики и прикладных информационных технологий
курс:	3
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	С.А. Никитов, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика твердого тела» обучающийся должен:

знать:

- природу основных явлений в твердом теле, методы их теоретического описания, а также базовые понятия и концепции физики твердого тела.

уметь:

- пользоваться базовыми знаниями физики конденсированного состояния.

владеть:

- основной терминологией физики конденсированного состояния.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях проведения текущего контроля предусмотрен краткий опрос по темам предыдущего занятия

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

- 1 Определение твердого тела
- 2 Симметрия кристаллов
- 3 Свойства векторов обратной решетки. Рентгеновская дифракция на кристалле
- 4 Природа сил связи атомов в кристаллической решетке
- 5 Ковалентная связь
- 6 Колебания атомов в решетке твердого тела
- 7 Диэлектрическая проницаемость твердого тела
- 8 Классическая теория теплоемкости твердого тела
- 9 Квантовомеханическая задача о гармоническом осцилляторе. Модель Дебая
- 10 Анггармонизм колебаний атомов решетки
- 11 Упругие свойства кристаллов
- 12 Уравнение движения и акустические волны в кристаллах
- 13 Физическая природа и описание сегнето-, пиро- и пьезоэлектричества
- 14 Микро - и макроскопические электрические поля в кристаллах

Примеры билетов.

Пример 1.

1. Высокочастотные электрические свойства кристаллов
2. Магнитные свойства твердых тел

3. Уравнение Ландау-Лифшица

Пример 2.

1. Свойства векторов обратной решетки. Рентгеновская дифракция на кристалле
2. Природа сил связи атомов в кристаллической решетке
3. Ковалентная связь

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;

- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;

- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.