

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ			
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение			
высшего образования			
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»			
МФТИ			
«УТВЕРЖДАЮ»			
Проректор по учебной и методической работе			
Зубцов Д.А.			
« » _____ 2015 г.			
Рабочая программа дисциплины			
по дисциплине:	Физика твердого тела		
по направлению:	03.03.01 - Прикладные математика и физика (бакалавриат)		
профиль подготовки/ профиль подготовки/	Современные проблемы физики и энергетики		
факультет:	проблем физики и энергетики		
кафедра:	Прикладной физики		
курс:	4		
квалификация:	бакалавр		
Программу составил:	Лозовик Юрий Ефремович, профессор		
Программа обсуждена на заседании кафедры			
СОГЛАСОВАНО:			
Заведующий кафедрой		Леонов А.Г.	
Декан факультета проблем физики и энергетики		Леонов А.Г.	
Начальник учебного управления			

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель дисциплины

Целью курса является изучение физических основ и математического аппарата физики твердого тела. Цель и задачи курса – глубокое и наглядное освоение понятий и самых важных эффектов физики твердого тела и физики твердотельных наноструктур, понимание эвристики важнейших научных открытий, ценности физических аналогий, умение делать простые и быстрые оценки критических параметров для различных эффектов, умение применять полученные знания к конкретным научным и техническим задачам.

Особенности изучения курса – сочетание в одном занятии – лекции и элементов семинара и круглого стола для активизации слушателей. Наличие заданий и консультаций. Срок курса – один семестр с возможным после этого более глубоким изучением физики наноструктур в течение еще одного семестра.

Этот постоянно обновляющийся курс включает в себя последние наиболее интересные и перспективные достижения в физике твердого тела; в настоящее время это, например, – открытие и свойства графена и совсем недавнее открытие и изучение замечательных свойств топологических изоляторов и дираковских полуметаллов.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области физики твердого тела;
- глубокое изучение основных понятий и явлений в физике твердого тела, наиболее важных как с концептуальной, так и с прикладной точек зрения.
- оказание консультаций и помощи студентам в решении конкретных задач в области физики твердого тела и физики наноструктур;
- приобретение навыков самостоятельной работы в области физики твердого тела

Место дисциплины в структуре образовательной программы бакалавриата

Курс «Физика твердого тела» является междисциплинарным курсом и базируется на материалах, прослушанных студентами и читаемых им параллельно курсов бакалавриата по дисциплинам «Общая физика», «Математика», «Теоретическая физика». Вместе с тем данный курс способствует более углублённому освоению курсов «Квантовая механика» и «Статистическая физика». Данный курс является переходным от курса «Общей физики» к специальным предметам, читаемым на базовых кафедрах в ходе обучения бакалавров, а затем магистров. Для освоения данной дисциплины обучающийся должен обладать знаниями и умениями в объеме курса «Общей физики», а также основных математических курсов, пройденных в ходе предыдущего изучения, а именно: – иметь представление об основных понятиях физики электромагнитного излучения, свойств атомов и молекул; – знать и уметь пользоваться основными методами математики и математической физики.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронная подсистема в кристалле.

- 1.1. Адиабатическое приближение.
- 1.2. Симметрия. Трансляционная симметрия и теорема Блоха. Квазиимпульс.
- 1.3. Решетка Бравэ. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
- 1.4. Электронные зоны. Проводники, изоляторы и полупроводники. Эффективная масса электрона в кристалле. Плотность состояний.
- 1.5. Приближения сильной и слабой связи.

1.6. Блоховские осцилляции. Блоховские осцилляции и штарковская лестница. Условия наблюдения блоховских осцилляций. Сверхпериодические структуры. Блоховские осцилляции и терагерцовое излучение

1.7. Область применимости зонного описания. Приближение Хартри-Фока.

1.8. Корреляционные эффекты в электронной подсистеме. Вигнеровская кристаллизация. Электронные корреляции и переход металл-диэлектрик. Переход Мотта-Хаббарда.

2. Фононы.

2.1. Общие свойства фононного спектра.

2.2. Критерий Линдемана. Плавление.

3. Сверхпроводимость

3.1. Основные экспериментальные факты. Идеальная проводимость. Эффект Мейснера. Теплоемкость. Изотопический эффект.

3.2. Феноменологический подход

3.2.1. Уравнение Лондона

3.2.2. Эффект Бома-Аронова и квантование потока.

3.2.3. Теория Гинзбурга-Ландау и недиагональный дальний порядок

3.2.4. Сверхпроводники 1 и 2 рода.

3.2.5. Вихри Абрикосова. Вихревые решетки. Плавление вихревых решеток

3.3. Микроскопический подход. Фононный механизм сверхпроводимости.

3.3.1. Куперовские пары.

3.3.2. Теория БКШ.

3.3.3. Андреевское отражение.

4. Туннельные явления.

4.1. Туннельный эффект. Резонансный туннельный эффект.

4.2. Туннельная спектроскопия.

4.3. Сканирующая туннельная спектроскопия.

4.4. Эффект Джозефсона.

4.4.1. Стационарный эффект Джозефсона.

4.4.2. Нестационарный эффект Джозефсона.

4.4.3. Сверхпроводящие кубиты.

5. Низкоразмерные системы и наноструктуры.

5.1. Обогащенные и обедненные слои. Полевой транзистор. Инверсионные слои.

5.2. Гетероструктуры.

5.3. Квантовые ямы и сверхрешетки.

5.4. Квантовые провода.

5.5. Квантовые точки

5.6. Основные свойства двумерного электронного газа.

5.7. Целочисленные квантовые эффекты Холла. Основные экспериментальные закономерности целочисленного квантового эффекта Холла. Квантовый эффект Холла и топологические инварианты. Калибровочная инвариантность и квантование холловской проводимости.

5.8. Дробный квантовый эффект Холла. Дробный заряд квазичастиц. Композитные фермионы.

5.9. Открытие графена. Дираковские электроны. Парадокс Клейна. Отсутствие рассеяния назад.

Перспективы применения. Новые двумерные материалы. Теорема Ландау-Пайерлса. Специфика двумерных систем. Устойчивость мембран.

5.10. Дираковские и вейлевские полуметаллы.

5.11. Топологические диэлектрики. Дираковские электроны на поверхности.

Основная литература

1. О.Маделунг. Теория твердого тела. "Наука".1980.
2. А.А.Абрикосов. Основы теории металлов. "Наука". 1987.
3. А.Анималу. Квантовая теория кристаллических твердых тел. "Мир". 1981.
4. С.В.Вонсовский, М.И.Кацнельсон. Квантовая физика твердого тела. "Наука".1983.
5. Квантовый эффект Холла: Пер. с англ. Под ред. Р. Пренджа, С. Гирвина. М.: Мир, 1989. 408 с.

Дополнительная литература

1. Дж.Займан. Принципы теории твердого тела. М.; Мир, 1966
2. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. М.; Наука, 1978
3. Дж.Займан. Электроны и фононы. ИИЛ. 1962.
4. А.Марадудин, Э.Монтрол; Дж.Вейсс. Динамическая теория кристаллической решетки в гармоническом приближении. "Мир". 1965.
5. А.С.Давыдов. Теория твердого тела."Наука". 1976.
6. Киттель У. Введение в физику твердого тела. Наука, Физмат, М., 1978.
7. Ч.Киттель. Квантовая теория твердых тел. М.; Наука, 1961
8. А.И.Ансельм. Введение в теорию полупроводников. "Наука". 1978.
9. Н.Ашкрофт, Н.Мермин. Физика твердого тела. т.1, 2. "Мир",1979.
10. Д.Пайнс. Элементарные возбуждения в твердых телах. М.; Мир, 1965
11. И.М.Лифшиц, С.А.Гредескул, Л.А.Пастур, Введение в теорию неупорядоченных систем, М, Наука, 1980. Электронная теория неупорядоченных полупроводников, М, Наука, 1981.
12. Квантовый эффект Холла, сборник статей, Мир, 1986.
13. Клитцинг К. фон. Квантовый эффект Холла: Нобелевская лекция 1985 г. Успехи физ. наук. 1986. Т. 150, № 1. С. 107-126.
14. Квантовый эффект Холла: Сб. ст.: Пер. с англ. Сост. А.Я. Шик, Ю.В. Шмарцев. М.: Мир, 1986. 232 с.
15. Рашба Э.И., Тимофеев В.Б. Квантовый эффект Холла . Физика и техника полупроводников. 1986. Т. 20, вып. 6. С. 977-1024.
16. Карабутов А.В., Нунупаров М.С. Квантовый эффект Холла в полупроводниках и перспективы его использования в науке и технике. Итоги науки и техники. Электроника. М.: ВИНТИ, 1990. Т. 27. С. 135-173.
17. Т.Райс, Дж.Хенсел, Т. Филипс, Г.Томас, Электронно- дырочная жидкость в полупроводниках, М, Мир, 1980.
18. Altland A., Simons B. Concepts of theoretical solid state physics (free web version, lecture note, 2001).
19. Anderson P.W. Basic notions of condensed matter physics (1984).
20. Бардин Дж., Шриффер Дж. Новое в изучении сверхпроводимости. Современные проблемы физики ФМЛ (1962).
21. Mihaly L., Martin M.C. Solid state physics. problems and solutions (Wiley, 1996)(273s)
22. Вонсовский С.В. Магнетизм (Наука 1971)
23. А.Пуле; Ж.-П.Матье. Колебательные спектры и симметрия кристаллов. "Мир". 1973.

Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Ю.Е.Лозовик, С.П.Меркулова, А.А.Соколик, Коллективные явления в графене, УФН 178, No.7, 757-776 (2008).
2. E. Bichoutskaia, A.M. Popov, Yu.E.Loikov, Nanotube-based data storage devices, Materials Today, 11, No.6, 38-43(2008).

3. Ю.Е.Лозовик, Сильные корреляции и новые фазы в системе экситонов и поляритонов, поляритонный лазер, УФН 179, №.3, 309-313 (2009).
4. В.И. Гаман "Физика полупроводниковых приборов"
5. В.И. Корольков, Н. Рахимов "Диоды, транзисторы и тиристоры на основе гетероструктур"
6. Д.В. Ди Лоренцо, Д.Д. Канделуол "Полевые транзисторы на арсениде галлия. Принципы работы и технология изготовления"

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Студент, изучающий курс «Физика твердого тела», должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

Курс является междисциплинарным и требует от студента знаний по квантовой механике и теории твердого тела, навыка решения интегральных и дифференциальных уравнений, знание спецфункций и владение матричным исчислением.

На лекциях все аналитические результаты иллюстрируются оценками для реальных систем, которые студенты выполняют самостоятельно во время лекции. Умение быстро сделать оценки является необходимым навыком как для прохождения курса, так и в дальнейшем -для успешной научной работы.

На каждой лекции студентам предлагается задача для проведения самостоятельного расчета в домашних условиях. Обычно это несложные задачи и расчеты, цель которых – самостоятельное осмысление студентом лекционного материала.

Для контроля успеваемости студентов используется два набора вопросов:

- Базовые, на которые студент должен отвечать сходу, без подготовки.
- Основные, на которые студент отвечает письменно с подготовкой.

ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

Аттестация по дисциплине «Физика твердого тела» осуществляется устной форме.

Перечень контрольных вопросов: («базовые вопросы»)

1. Трансляционная симметрия и теорема Блоха. Квазиимпульс.
2. Зоны Бриллюэна.
3. Электронные зоны. Эффективная масса электрона в кристалле.
4. Приближения сильной и слабой связи.
5. Блоховские осцилляции и штарковская лестница. Блоховские осцилляции и терагерцовое излучение
6. Область применимости зонного описания. Электронные корреляции и переход металл-диэлектрик . Переход Мотта-Хаббарда.
7. Вигнеровская кристаллизация.
8. Фононы. Общие свойства фононного спектра.
9. Критерий Линдемана. Плавление.

10. Сверхпроводимость Эффект Мейснера.
11. Теплоемкость. Изотопический эффект.
12. Феноменологическая теория Лондона.
13. Теория Гинзбурга-Ландау и недиагональный
14. дальний порядок. Сверхпроводники 1 и 2 рода.
15. Эффект Бома-Аронова и квантование потока.
16. Вихри Абрикосова. Вихревые решетки.
17. Куперовские пары. Теория БКШ.
18. Фононный механизм сверхпроводимости. Нефононные механизмы сверхпроводимости.
19. Андреевское отражение.
20. Туннельный эффект. Резонансный туннельный эффект.
21. Туннельная спектроскопия.
22. Эффект Джозефсона.
23. Обедненные и обогащенные слои. Полевой транзистор. Инверсионные слои.
24. Гетероструктуры. Квантовые ямы и сверхрешетки.
25. Квантовые провода. Квантовые точки
26. Основные свойства двумерного электронного газа.
27. Целочисленные квантовые эффекты Холла. Квантовый эффект Холла и топологические инварианты.
28. Дробный квантовый эффект Холла. Дробный заряд квазичастиц.
29. Композитные фермионы.
30. Графен. Дираковские электроны. Парадокс Клейна. Отсутствие рассеяния назад. Перспективы применения. Дираковские материалы.
31. Топологические диэлектрики.

Дополнительные контрольные вопросы

1. Чему равна проводимость в идеальной замороженной решетке?
2. Пусть атомы расположены в узлах решетки и имеется один электрон на атом. Начнем сближать атомы (уменьшать период решетки). Когда в системе возникает металлическая проводимость?
3. При каких условиях парамагнетизм Ван Флека для наночастицы равен нулю?
4. Диамагнетизм Ланжевена для наночастицы растет с ее радиусом. Что ограничивает ее диамагнитный отклик?
5. С помощью каких экспериментов можно определить энергетическую щель в сверхпроводнике?
6. Связанное состояние в трехмерной системе существует, если произведение глубины ямы на квадрат ее ширины больше критического значения. Почему же в задаче Купера связанное состояние существует при сколь угодно малых константах связи?
7. В связи с задачей о квантовом эффекте Холла рассмотрим контурную карту случайного потенциала. При какой энергии находится перколирующий контур?
8. Чему равна продольная проводимость и продольное сопротивление 2D электронной системы в области плато в поперечном сопротивлении в режиме квантового эффекта Холла?
9. Какой эффект мешает созданию транзистора на графене? Как создать транзистор с приемлемым отношением "включено-выключено" ?

Примеры контрольных заданий:

1. Доказать, что из симметрии гамильтониана системы относительно преобразования координат следует сохранение соответствующей физической величины. Продемонстрировать примеры - законы сохранения импульса, момента импульса, их проекций, квазиимпульса.

2. Вычислить спектр колебаний для модельных случаев парного взаимодействия: одноатомный кристалл с взаимодействием между ближайшими соседями; двухатомная цепочка.
3. Вывести выражение для среднего квадрата смещений для смещений атома из узла решетки. Использовать выражение для смещений атома из узла решетки через операторы рождения и поглощения фононов.
4. Оценить из соотношения неопределенности условие образования связанного состояния.