

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 210600 Нанотехнология.(№ 735 тех/бак от 18.01.2006)

ОПД.Ф.10, дисциплины федерального компонента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники протокол № 4 от 24.05.2011

Программу разработал

профессор, д.т.н.

Краснопевцев Евгений Александрович

Заведующий кафедрой

д.ф.м.н.

Гайслер Владимир Анатольевич

Ответственный за основную образовательную программу

д.ф.м.н.

Гайслер Владимир Анатольевич

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
ОПД. Ф. 01	Квантовая механика: принцип неопределенности; принцип суперпозиции; чистые, смешанные и запутанные состояния; операторы; волновая функция и матрица плотности; представления; общие свойства гармонического осциллятора; туннельный эффект; движение в центрально-симметричном поле; теория возмущений; спин; принцип тождественности одинаковых частиц; атом и периодическая система элементов Менделеева; молекула; обменное взаимодействие; самосогласованный потенциал и метод Хартри-Фока; метод функционала плотности; макроскопические квантовые явления; статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна; бозе-конденсация и сверхтекучесть; квантование электромагнитного поля; квантовые измерения; взаимодействие квантовых систем с классическим окружением; квантовый компьютер; квантовые вычисления и унитарные преобразования; квантовый параллелизм; логические квантовые вентили.	130

2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

Особенность (принцип)	Содержание
Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности	Дисциплина включена в учебный план подготовки бакалавров по направлению 210600 как федеральный компонент
Адресат курса	Студенты, обучающиеся по направлению 210600.62 - "Нанотехнология"
Основная цель (цели) дисциплины	Формирование систематических знаний, требующихся для описания низко-размерных квантовых систем, квантовых явлений в газах и твердых телах. Умение решать уравнение Шредингера точными и приближенными методами; количественно описывать квантово-механические эффекты и явления; применять распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна для описания кристаллов, металлов, полупроводников; строить математические модели физических явлений и процессов, лежащих в основе принципов действия приборов и устройств электроники и микроэлектроники.
Ядро дисциплины	Физические и математические основы квантовой механики. Одномерные стационарные задачи. Центральные и осесимметричные задачи. Квазиклассический метод. Теория возмущений. Спин. Распределение Ферми-Дирака. Металлы. Полупроводники. Распределение Бозе-Эйнштейна. Фононы.
Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной	Область применения полученных знаний и умений - курс формирует знания, требующиеся для построения математических моделей явлений и процессов физики низко-

программы	размерных квантовых систем, для понимания принципов действия приборов и устройств электроники и микроэлектроники, а также способствует усвоению материала учебных дисциплин: физика твердого тела, физика полупроводников, квантовая и оптическая электроника.
Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся	Необходимы: знания основ математического анализа, навыки дифференцирования и интегрирования, владение материалом курса "Методы математической физики".
Особенности организации учебного процесса по дисциплине	Курс состоит из лекций - 72 ч., практических занятий - 36 ч. Полный объем курса - 1138 ч. и 2182 ч.

3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

иметь представление	
1	Об основных методах квантовой физики, используемых для описания твердых тел и низко-размерных систем
2	Уравнение Шредингера
3	Приближенные методы квантовой механики
4	Распределения квантовой статистики
5	Характеристики идеального газа микрочастиц в металлах, полупроводниках, кристаллах
знать	
6	Важнейшие квантово-механические эффекты
7	Особенности поведения электрона в периодической структуре
8	Распределения идеального газа микрочастиц в металлах, полупроводниках, кристаллах
уметь	
9	Применять методы квантовой физики для моделирования движения микрочастиц, для описания низко-размерных квантовых систем
10	Решать уравнение Шредингера точными и приближенными методами, с краевыми и начальными условиями
11	Применять распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна для описания квантовых явлений в металлах, полупроводниках, кристаллах
иметь опыт (владеть)	
12	Математического моделирования основополагающих процессов в физике твердого тела, металлов, полупроводников, конденсированного состояния.

4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 5		
Модуль: Полуклассическая квантовая механика.		
Дидактическая единица: Уравнение Шредингера.		
Полуклассическая квантовая механика	4	1, 3
Модуль: Математические основы квантовой механики		

Дидактическая единица: Математические основы квантовой механики		
Математические основы квантовой механики	8	1, 2
Модуль: Уравнение Шредингера. Одномерные стационарные задачи.		
Дидактическая единица: Одномерные стационарные задачи.		
Уравнение Шредингера. Одномерные стационарные задачи	14	10, 2, 6, 7
Модуль: Центральное-симметричное движение.		
Дидактическая единица: Центральное-симметричное движение.		
Центральное-симметричные и осесимметричные системы	6	1, 10, 2, 9
Модуль: Квазиклассический метод. Теория возмущений. Вариационный метод.		
Дидактическая единица: Квазиклассический метод. Теория возмущений. Вариационный метод.		
Квазиклассический метод. Теория возмущений. Вариационный метод.	6	10
Модуль: Спин электрона. Тожественность частиц.		
Дидактическая единица: Тожественность частиц.		
Спин электрона, тождественность частиц	8	12, 6
Модуль: Каноническое распределение квантового газа.		
Дидактическая единица: Каноническое распределение квантового газа.		
Каноническое распределение квантового газа.	8	4, 8
Модуль: Распределение Ферми-Дирака. Металлы. Полупроводники.		
Дидактическая единица: Распределение Ферми-Дирака		
Распределение Ферми-Дирака	10	11, 12, 5, 8
Модуль: Распределение Бозе-Эйнштейна. Фотоны. Фононы.		
Дидактическая единица: Распределение Бозе-Эйнштейна.		
Распределение Бозе-Эйнштейна. Фотоны. Фононы.	8	11, 12, 8

Практические занятия

Таблица 4.2

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 5			
Модуль: Полуклассическая квантовая механика.			
Дидактическая единица: Полуклассическая квантовая механика			
Полуклассическая квантовая механика	Квантование по Бору-Зоммерфельду	2	3, 9
Модуль: Математические основы квантовой механики			
Дидактическая единица: Математические основы квантовой механики			
Математические основы квантовой механики	Линейные операторы, их собственные функции и значения. Эрмитовы	6	1, 12

	операторы и их свойства. Ортонормированный базис для невырожденного и вырожденного спектра, для дискретного и сплошного спектра. Разложение по ортонормированному базису. Соотношения неопределенностей		
Модуль: Уравнение Шредингера. Одномерные стационарные задачи.			
Дидактическая единица: Уравнение Шредингера.			
Уравнение Шредингера. Одномерные стационарные системы	Бесконечно глубокая и конечная прямоугольные потенциальные ямы. Дельтаобразные ямы и барьеры. Одномерное рассеяние частиц. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор. Модель Кронига-Пенни одномерной кристаллической решетки: волна Блоха, зона Бриллюэна, групповая скорость, эффективная масса	8	2, 7, 8, 9
Модуль: Центральное-симметричное движение.			
Дидактическая единица: Центральное-симметричное движение.			
Центральное-симметричное движение	Водородоподобный атом. Частица в однородном магнитном поле, уровни Ландау. Эффект Ааронова-Бома	4	10, 12, 6
Модуль: Квазиклассический метод. Теория возмущений. Вариационный метод.			
Дидактическая единица: Квазиклассический метод. Теория возмущений. Вариационный метод.			
Теория возмущений, вариационный метод	Теория возмущений стационарных состояний дискретного невырожденного и вырожденного спектров, первый и второй порядки теории возмущений.	2	3, 9

	Нестационарные возмущения. Периодическое возмущение. Вероятности оптических переходов. Частота Раби. Вариационный метод Ритца		
Модуль: Спин электрона. Тождественность частиц.			
Дидактическая единица: Спин электрона.			
Спин электрона. Тождественность частиц	Операторы спина. Уравнение Паули. Тождественность частиц и принцип Паули. Спиновая и координатная части волновой функции двух электронов. Обменное взаимодействие.	2	9
Модуль: Каноническое распределение квантового газа.			
Дидактическая единица: Каноническое распределение квантового газа.			
Плотность квантовых состояний.	Плотность квантовых состояний f-мерного газа электронов, газа в магнитном поле, фотонного газа, фононного газа. Каноническое распределение Гиббса для квантовых систем. Статистическая сумма. Вычисление термодинамических характеристик. Большое каноническое распределение для квантовых систем. Статистическая сумма. Распределение по энергетическим состояниям	4	10, 11, 4
Модуль: Распределение Ферми-Дирака. Металлы. Полупроводники.			
Дидактическая единица: Распределение Ферми-Дирака			
Распределение Ферми-Дирака	Химический потенциал, уровень и энергия Ферми. Вырожденный и невырожденный газ. Уравнение состояния для	4	11, 4, 5, 9

	слабо вырожденного газа. Электронный газ в металле. Распределение электронов по энергии. Температура Ферми. Внутренняя энергия, теплоемкость, давление, энтропия электронного газа. Химический потенциал и теплоемкость слабо- и сильно вырожденного газа. Распределение электронов по модулю скорости. Термоэлектронная эмиссия, формула Ричардсона-Дашмена. Магнитные свойства электронного газа в металле. Парамагнитная спиновая восприимчивость. Распределения электронов и дырок для собственной и примесной проводимостей полупроводника, уровень Ферми полупроводника, внутренняя энергия электронов и дырок. Двухмерный электронный газ.		
Модуль: Распределение Бозе-Эйнштейна. Фотоны. Фононы.			
Дидактическая единица: Распределение Бозе-Эйнштейна.			
Распределение Бозе-Эйнштейна	Химический потенциал. Фотонный газ. Равновесная концентрация фотонов. Формула Планка. Законы Вина, Стефана-Больцмана. Свободная энергия, энтропия, давление. Фононный газ. Теория кристаллической решетки Дебая. Частота и температура Дебая. Внутренняя энергия и теплоемкость кристалла при высоких и низких температурах. Закон Дебая. Наиболее вероятная энергия фонона.	4	12, 4, 9

5. Самостоятельная работа студентов

Семестр- 5, Контрольные работы

В течение семестра студент выполняет индивидуальную контрольную работу, содержащую задачи по теме:

1. Физические и математические основы квантовой теории - 6 ч.

В силу важности этой темы выполнение контрольной работы является допуском для выполнения курсовой работы по курсу.

Семестр- 5, Курсовая работа

Курсовая работа состоит из трех индивидуальных заданий, содержащие задачи по темам:

1. Физические и математические основы квантовой теории - 6 ч.
2. Одномерные, осесимметричные, центрально-симметричные задачи квантовой механики - 6 ч.
3. Квантовые статистические равновесные системы фермионов и бозонов - 6 ч.

Всего 18 ч.

Цели курсовой работы:

1. Активизация самостоятельной учебной работы студентов.
2. Получение студентами практических навыков в деятельности, необходимой для усвоения дальнейшего материала.
3. Контроль преподавателем уровня освоения студентами важнейших тем курса.

Семестр- 5, Подготовка к занятиям

Разбор конспектов прослушанных лекций - 6 ч.

6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине

Индивидуальная курсовая работа, содержащая три основные темы, сдается поэтапно.

Физические и математические основы квантовой теории 5 неделя

Одномерные, осесимметричные, центрально-симметричные задачи квантовой механики
11 неделя

Квантовые статистические равновесные систем фермионов и бозонов 18 неделя

Для допуска к экзамену студент должен сдать курсовую работу и коллоквиум.

Итоговое число баллов складывается из баллов, получаемых за каждый вид деятельности

Активность на занятиях (выставляется в конце 5-ой, 10-ой и 15-ой недели): 0-6

Посещаемость лекций: 0-6

Индивидуальное задание 1: 5-10

Индивидуальное задание 2: 5-10

Индивидуальное задание 3: 5-10

Коллоквиум: 20

Экзамен:

постановка задачи и качественный анализ результата: 0-20

+ количественное обоснование результата: 0-10

+ дополнительные вопросы по теме билета: 0-10

Итоговая оценка выставляется согласно положению о БРС НГТУ

7. Список литературы

7.1 Основная литература

В печатном виде

1. Краснопевцев Е. А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела : [учебное пособие] / Е. А. Краснопевцев. - Новосибирск, 2010. - 354 с. : ил.
2. Краснопевцев Е. А. Статистическая физика равновесных систем (в приложении к микро- и наносистемам) : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 274, [1] с. : графики

В электронном виде

1. Краснопевцев Е. А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела : [учебное пособие] / Е. А. Краснопевцев. - Новосибирск, 2010. - 354 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/krasnopev.pdf>
2. Краснопевцев Е. А. Статистическая физика равновесных систем (в приложении к микро- и наносистемам) : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 274, [1] с. : графики. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/krasnopevcev.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

7.2 Дополнительная литература

В печатном виде

1. Гридчин В. А. Спецглавы физики: задачи с примерами решений : учебное пособие / В. А. Гридчин, Р. П. Дикарева, Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 103 с. : ил.
2. Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил.
3. Галицкий В. М. Задачи по квантовой механике : учебное пособие для физ. спец. вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. - М., 1992. - 880 с.

В электронном виде

1. Гридчин В. А. Спецглавы физики: задачи с примерами решений : учебное пособие / В. А. Гридчин, Р. П. Дикарева, Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 103 с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2004/2004_gridchin.rar
2. Дубровский В. Г. Введение в квантовую и статистическую физику : учебник / В. Г. Дубровский. - Новосибирск, 2005. - 487 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005dubrovsk.pdf>

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

В печатном виде

1. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников : [учебное пособие для вузов по физическим и техническим направлениям и специальностям] / А. И. Ансельм. - СПб. [и др.], 2008. - 618 с. : ил., табл.

9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине

Образцы задач курсовой работы

1. Получить энергию квазиклассического квантования в яме с потенциальной энергией $U(x) = Ax + B$, где $A, B > 0$.
2. Для частицы с эффективной массой m^* доказать эрмитовость оператора кинетической энергии $\hat{T}$, и неэрмитовость оператора $\hat{H}$.
3. Доказать $\hat{H}^\dagger = \hat{H}$.
4. Для системы в состоянии ψ , где ϕ - угловая переменная, найти вероятности обнаружения состояний ϕ_n , где $n = 0, 1, 2, \dots$
5. Для оператора радиального импульса $\hat{p}_r$ доказать $[\hat{p}_r, \hat{r}] = -i\hbar$.
6. На потенциальный барьер падает частица с энергией E ($E < U_0$). Найти вероятность обнаружения частицы при $x > 0$.
7. Найти уровни энергии в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, показанной на рисунке.
8. Методом ВКБ найти коэффициент прохождения заряда e с энергией E через барьер $U(x)$, где $0 < x < a$, E - поле двойного электрического слоя.
9. Для состояния n линейного гармонического осциллятора доказать соотношение неопределенностей $\Delta x \Delta p = \hbar/2$.
10. Для состояния $2p$ водородоподобного атома найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра.
11. Доказать, что плотность состояний трехмерного идеального газа частиц с m равна $\frac{m^3}{2\pi^2\hbar^3}$.
12. Доказать, что расстояние между соседними уровнями электронов в металле $\propto E^{-1/2}$. Найти для $V = 1 \text{ см}^3$, $\mu = 5 \text{ эВ}$.
13. Для фермионов доказать $\Delta E \propto T$.
14. Доказать, что при $T \gg T_D$ число фононов в трехмерном кристалле пропорционально числу узлов и первой степени температуры.

Вопросы коллоквиума

1. Операторы координаты и импульса, их собственные функции. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
2. Плотность вероятности, ток вероятности. Пример плоской волны.
3. Уравнение Шредингера для стационарного и нестационарного состояний. Пример применения.
4. Спин электрона. Операторы, собственные функции, собственные значения.
5. Принцип Паули, его обоснование.
6. Плотность квантовых состояний. Определение. Пример применения.
7. Распределение Ферми по состояниям и по энергии. Электронный газ в металле и полупроводнике. Химический потенциал.
8. Распределение Бозе по состояниям. Химический потенциал. Фононный газ, распределение по частоте. Частота и температура Дебая.