

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Томский государственный педагогический университет»  
(ТГПУ)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан физико-математического факультета



М.А. Червонный

«31» августа 2012 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ДПП.02. «Теоретическая физика»**

Направление подготовки: 050200.62 Физико-математическое образование

Профессионально-образовательный профиль: физика

Степень (квалификация) выпускника: бакалавр физико-математического образования

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса - сформировать у студентов научные компетенции в таких разделах современной теоретической физики, как квантовая механика, термодинамика и статистическая физика

Задачи курса - познакомить студентов с особенностями квантовых свойств материи и основными положениями и методами квантовой теории, а также с особенностями свойств макроскопических систем и основными положениями и методами термодинамического и статистического методов исследования таких систем; выработать навыки применения методов перечисленных разделов теоретической физики к решению конкретных физических проблем.

### 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

Студент должен

*знать* основные положения и методы квантовой механики, термодинамики и статистической физики, а также знать границы применимости всех трех теорий;

*уметь* формулировать основные определения, раскрывать содержание фундаментальных принципов и законов перечисленных теорий, использовать их основные уравнения для исследования конкретных физических процессов;

*обладать навыками* применения методов квантовой механики, термодинамики и статистической физики к решению конкретных задач.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр	
		5	6
Общая трудоемкость дисциплины	230	115	115
Аудиторные занятия	216	108	108
Лекции	144	72	72
Практические занятия (ПЗ)	72	36	36
Семинары (С)			
Лабораторные работы (ЛР)			
И (или) другие виды аудиторных занятий			
Самостоятельная работа	14	7	7
Курсовой проект (работа)			
Расчетно-графические работы			
Реферат			
И (или) другие виды самостоятельной работы			
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)		Экзамен	Экзамен

### 4. Содержание дисциплины

#### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий (Тематический план)

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	Практические занятия или семинары	Самостоятельная работа
Раздел 1	Квантовая механика			
1	Физические предпосылки создания квантовой механики	6	2	
2	Основные принципы квантовой механики.	14	8	1
3	Математический аппарат	26	10	2

	квантовой механики			
4	Приложения квантовой механики. Точно решаемые задачи.	16	8	2
5	Приближенные методы решения уравнения Шредингера.	6	6	1
6	Релятивистские уравнения квантовой механики	4	2	1
Раздел 2	Статистическая физика и термодинамика			
1.	Термодинамика макроскопических систем с фиксированным количеством вещества.	14	8	2
2	Макроскопические системы с переменным количеством вещества.	14	6	1
3	Общие принципы статистического описания макроскопических систем. Метод Гиббса.	12	4	1
4	Равновесные ансамбли Гиббса.	16	8	1
5	Элементы теории флуктуаций.	10	4	1
6	Элементы неравновесной статистической физики (метод Боголюбова).	6	6	1

## 4.2 Содержание разделов дисциплины

### Квантовая механика

#### 1) Физические предпосылки создания квантовой механики

Физические предпосылки создания квантовой теории: равновесное излучение абсолютно черного тела, фотоэффект, эффект Комптона, модели атома водорода, дифракция электронов, опыты Штерна-Герлаха.

#### 2) Основные принципы квантовой механики.

Корпускулярно-волновой дуализм. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Принцип неопределенностей (принцип статистической дисперсии). Квантовые ансамбли. Задание состояния частицы в квантовой механике. Гипотеза де-Бройля. Волновая функция. Борновская интерпретация квадрата модуля волновой функции. Принцип причинности. Принцип соответствия. Принцип дополненности. Принцип суперпозиции. Волновые пакеты. Вычисление средних значений координаты и импульса частицы. О необходимости введения, в квантовой теории, операторов для физических величин. Операторы координаты и импульса частицы.  $\delta$ -функция Дирака. Вычисление ожидаемых значений (наблюдаемых) физических величин в квантовой механике. Дисперсия наблюдаемой физической величины. Уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона. Уравнение непрерывности для волновой функции. Плотность потока вероятности. Стационарное уравнение Шредингера. Задача на собственные значения и собственные функции оператора энергии. Понятие спектра энергии. Об особенностях собственных векторов состояний, соответствующих собственным значениям из непрерывного и дискретного спектров.

### **3) Математический аппарат квантовой механики**

Волновые функции как векторы линейного пространства Гильберта. Бра- и кет-векторы. Скалярное произведение. Линейные эрмитово-сопряженные операторы. Самосопряженные (эрмитовые) операторы. Образ, ядро, ранг и дефект линейного оператора. Задача на собственные значения и собственные векторы эрмитова оператора. Теоремы о средних и собственных значениях эрмитова оператора. Постулат о собственных значениях наблюдаемых величин. Средние значения и дисперсия наблюдаемых для собственных векторов состояний. Условие ортогональности и условие нормировки собственных векторов. Теорема о базисных системах коммутирующих операторов. О полноте набора собственных векторов эрмитова оператора. Разложение векторов по собственным векторам эрмитова оператора. Физический смысл коэффициентов разложения. "Разложение единицы". Разложение кет-вектора по собственным кет-векторам операторов координаты и импульса. Связь кет-вектора с волновой функцией в координатном и импульсном представлениях. Оператор проектирования. Унитарные операторы. Оператор эволюции. Вывод соотношения неопределенностей для некоммутирующих операторов. Изменение во времени ожидаемых значений наблюдаемых. Оператор полной производной по времени для наблюдаемой величины. Интегралы движения. Теорема Эренфеста. Оператор момента импульса. Оператор спина электрона. Матрицы Паули. Понятие спинора.

### **4) Приложения квантовой механики. Точно решаемые задачи.**

Стационарные состояния частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме. Задача о квантовом гармоническом осцилляторе. Стационарные состояния электрона в атоме водорода. Правила отбора. Рассеяние частицы на  $\delta$ -потенциальном барьере. Коэффициенты прохождения и отражения. Частица в периодическом потенциале. Модель Кронига-Пенни.

### **5) Приближенные методы решения уравнения Шредингера.**

Квазиклассическое приближение. Метод Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна (ВКБ). Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени (в случае невырожденного спектра невозмущенной задачи). Возмущения, зависящие от времени.

### **6) Релятивистские уравнения квантовой механики**

Уравнение Клейна-Гордона-Фока. Уравнение Дирака. "Море" Дирака.

## **Статистическая физика и термодинамика**

### **1) Термодинамика макроскопических систем с фиксированным количеством вещества.**

Понятие о макроскопических системах, микро- и макросостояниях, равновесных и неравновесных термодинамических процессах. Принцип температуры и принцип энтропии. Понятие внутренней энергии и первое начало термодинамики. Модель идеального газа. Понятие абсолютной температуры и абсолютной энтропии. Адиабатический и изотермический потенциалы. Первое начало термодинамики для равновесных процессов. Работа и количество тепла. Понятие теплоемкости. Теплоемкость идеального газа. Термодинамические коэффициенты. Модель газа Ван-дер-Ваальса. Понятие критической точки. Циклические процессы. КПД тепловых машин. Цикл Карно. Теорема о КПД цикла Карно. Второе начало термодинамики. Энтальпия и термодинамический потенциал Гиббса.

**2) Макроскопические системы с переменным количеством вещества.** Химический потенциал. Процессы выравнивания. Экстремальные свойства энтропии и термодинамических потенциалов. Равновесие фаз и фазовые переходы. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Диаграмма кривых равновесия фаз для воды. Принцип Ле-Шателье. Элементы теории фазовых переходов второго рода. Понятие параметра порядка.

### 3. Общие принципы статистического описания макроскопических систем. Метод Гиббса.

Метод Гиббса. Статистические ансамбли. Функция распределения. Фазовые средние. Связь энтропии с функцией распределения. Уравнение для функции распределения.

4) **Равновесные ансамбли Гиббса.** Общие свойства равновесных функций распределения. Теорема Нернста. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения Гиббса. Статистическая сумма. Внутренняя энергия, свободная энергия и термодинамический потенциал “омега”. Равновесные функции распределения для квантового и классического идеального газа – распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Вырожденный ферми-газ. Вырожденный бозе-газ. Бозе-эйнштейновская конденсация. Равновесное излучение абсолютно черного тела.

5) **Элементы теории флуктуаций.** Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации в идеальном газе.

6) **Неравновесные ансамбли Гиббса.** s-частичные неравновесные функции распределения. Цепочка уравнений Боголюбова. Разреженный газ нейтральных частиц. Интеграл столкновений Больцмана. Теорема Больцмана о неубывании энтропии.

### 5. Лабораторный практикум - нет

### 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 6.1 Рекомендуемая литература

##### а) основная литература:

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика [Текст]=Квантовая механика:учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-5-е изд., стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 3:Квантовая механика.-2002.-803 с.
2. Медведев, Б. В. Начала теоретической физики. Механика. Теория поля. Элементы квантовой механики : учебное пособие / Б. В. Медведев. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2007. — 600 с.
3. Ермаков, А. И. Квантовая механика и квантовая химия [Текст]:учебное пособие для вузов/А. И. Ермаков.-М.:Юрайт,2010.-555 с.
4. Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики [Текст]:учебное пособие для вузов/А. И. Ансельм.-СПб.:Лань,2007.-426 с.
5. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика [Текст]=Физическая кинетика:учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-Изд. 2-е, испр.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 10:Физическая кинетика / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский.-2007.-535 с.

##### б) дополнительная литература:

1. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики. М.: Наука, 1983. – 664 с.
2. Мессиа, А. Квантовая механика. Т.1. М.: Наука, 1978. – 478 с.
3. Мессиа, А. Квантовая механика. Т.2. М.: Наука, 1979. – 583 с.
4. Боум, А. Квантовая механика: основы и приложения / А. Боум.– М.: Мир, 1990 – 720 с.
5. Бом, Д. Квантовая теория. М.: Наука, 1965
6. Зубарев, Д.Н. Неравновесная статистическая термодинамика / Д.Н. Зубарев. – М.: Наука, 1971. – 414 с.
7. Рей, Ф.. Статистическая физика:[Учебное руководство]/Ф. Рейф; Пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга.-3-е изд., испр.-М.:Наука,1986.-335 с.
8. Пригожин, Илья, Кондепуди, Дилип. Современная термодинамика=Modern Thermodynamics:От тепловых двигателей до диссипативных структур/И. Пригожин,

- Д. Кондепуди; Пер. с англ. Ю. А. Данилова, В. В. Белого; Под ред. Е. П. Агеева.- М.:Мир,2002.-461 с.
9. Савельев, И. В. Курс общей физики=Молекулярная физика и термодинамика:В 5 кн.: [Учебное пособие для втузов]/И. В. Савельев.-М.:Астрель. Кн. 3:Молекулярная физика и термодинамика.-2004.-208 с.
  10. Шредер, ЭГ. Задачи по общей физике для самостоятельной работы: Механика. Термодинамика и молекулярная физика:[Учебное пособие]/Э. Г. Шредер; МО РФ.- Томск:УМИЦ ТГПУ. Ч. 1:Механика. Термодинамика и молекулярная физика.-2000.- 32 с.
  11. Трофимова, Т. И. Сборник задач по курсу физики с решениями [Текст]:учебное пособие для вузов/Т. И. Трофимова, З. Г. Павлова.-4-е изд, стереотип.-М.:Высшая школа,2003.-589 с
  12. Куни, Ф.М. Статистическая физика и термодинамика / Ф.М. Куни. – М.: Наука, 1981. – 352 с.
  13. Ландау, Л.Д., Теоретическая физика=Статистическая физика:Учебное пособие для вузов: В 10 тт./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского.-5-е изд., стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 5, Ч. 1:Статистическая физика.-2001.-613.
  14. Румер, Ю. Б., Рывкин, М. С.. Термодинамика, статистическая физика и кинетика:Учебное пособие/Ю.Б.Румер, М.Ш.Рывкин.-2-е изд.,испр. и доп.- Новосибирск:Новосибирский университет,2000.-608с.

## 6.2 Средства обеспечения освоения дисциплины

Учебно-методические пособия и разработки по решению задач квантовой механики, термодинамики и статистической физики.

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.** Лекционная аудитория. Экран, мультимедийный проектор.

## 8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Выполнение работ по индивидуальным заданиям, устный опрос теории по темам семинарских занятий, вынесения отдельных тем полностью на самостоятельное изучение.

### 8.1. Методические рекомендации для преподавателей.

#### Квантовая механика

Предлагаемый курс содержит шесть разделов: 1) физические предпосылки создания квантовой механики; 2) основные принципы квантовой механики; 3) математический аппарат квантовой механики; 4) приложения квантовой механики. Точно решаемые задачи; 5) приближенные методы решения уравнения Шредингера; 6) релятивистские уравнения квантовой механики. При изложении первого раздела важно обратить внимание на то, что приводимые в нем физические явления и факты разбиваются на две группы: первую группу образуют равновесное излучение абсолютно черного тела, фотоэффект и эффект Комптона, в которых проявляются корпускулярные свойства света; вторую – дифракция пучка электронов на кристаллах и на экране со щелью, а также факт существования устойчивых атомов и наблюдение их линейчатых спектров, в которых проявляются волновые свойства электронов. Этот раздел должен подготовить студентов к восприятию материала второго раздела, понимание которого обычно вызывает наибольшие трудности. Главное – подчеркнуть, что отдельный электрон (микрочастица) в отдельном эксперименте движется случайным образом и взаимодействует с регистрирующим экраном как корпускула, место попадания которой на экран предсказать невозможно. В то же время движение электрона в бесконечной серии одинаковых одночастичных экспериментов (или пучка невзаимодействующих электронов в одном многочастичном эксперименте) носит

детерминированный волновой характер. Другими словами, движение ансамбля микрочастиц носит волновой характер, и это движение предсказуемо. При этом обратить внимание на то, что невозможно приготовить ансамбль, в котором частицы имели бы одновременно вполне определенные значения координаты и импульса. Всем этим нужно руководствоваться при изложении основных принципов квантовой механики во втором разделе. То есть, важно подчеркивать, что квантовая механика дает описание динамики микрочастицы на уровне ансамблей, а не на уровне отдельных частиц ансамбля. Все ее понятия и принципы, включая волновую функцию и соотношение неопределенностей Гейзенберга, относятся к ансамблям. В частности, когда говорится о том, что состояние частицы в квантовой механике задается с помощью волновой функции, то надо иметь в виду, что на самом деле речь идет о состоянии (квантового) ансамбля частиц. Надо иметь также в виду, что принцип неопределенностей Гейзенберга накладывает ограничение не на погрешности измерения координаты и импульса частицы, а на среднеквадратичные отклонения этих случайных величин в ансамбле частиц. Уникальное свойство квантовых ансамблей заключается в том, что волновая функция - как функция координаты частицы - и ее фурье-образ - волновая функция, зависящая от импульса частицы - оказываются, могут рассматриваться как разные представления (координатное и импульсное) вектора, точнее - вектора гильбертова пространства, в котором действуют (линейные, самосопряженные) операторы наблюдаемых физических величин. Изучению свойств векторов состояний и операторов посвящен третий раздел. При изложении этого раздела и четвертого раздела, в котором представлены примеры квантового описания движения частицы во внешних полях, важно обратить внимание на то, что если движение частицы во внешнем поле финитно, то спектр энергии частицы дискретный; в противном случае - непрерывный. Последнее возникает в задачах по рассеянию квантовой частицы.

#### **Статистическая физика и термодинамика**

Особенностью данного курса является то, что сначала излагаются термодинамический подход к описанию физических свойств макроскопических систем и лишь затем - статистический. Обычно, при изучении данного курса на физических факультетах классических университетов считается более предпочтительным аксиоматический подход, когда за основу берется статистическая физика, а законы термодинамики либо выводятся, либо встраиваются в канву статистического подхода. Однако, на наш взгляд, с учетом особенности педагогической специальности, избранный нами порядок изложения термодинамики и статистической физики является более предпочтительным, и, пожалуй, самым подходящим учебником, который написан именно в этом стиле, является книга Ю.Б. Румера и М.Ш. Рывкина «Термодинамика, статистическая физика и кинетика». Предпочтительность такого порядка изложения состоит в том, что законы термодинамики, будучи выведенные эмпирически, более простые по сравнению с законами статистической физики и, следовательно, более легкие для понимания. Важную роль для усвоения курса отводится решению задач на практических занятиях, поэтому в список рекомендуемой литературы включен достаточно большой выбор сборников задач, многие из которых разработаны в ТГПУ и включают примеры решения задач. В качестве рекомендуемой *основной* литературы включены только те книги, которые имеются в наличии в библиотеке ТГПУ.

Предлагаемый курс содержит четыре главы: термодинамику (макроскопических систем с фиксированным и переменным количеством вещества), равновесную и неравновесную статистическую физику, а также элементы теории флуктуаций. Учитывая, что курс предназначен для будущих учителей школы, изучению вопросов первых двух глав следует уделить особое внимание. Базовыми вопросами первой главы являются понятия равновесных и неравновесных процессов, принципы температуры и энтропии, модель идеального газа, термодинамические потенциалы, первое и второе начала термодинамики. Студент должен четко понимать достоинства и недостатки модели идеального газа и, следовательно, необходимость введения более реалистичной модели газа Ван-дер-Ваальса.

Необходимо обращать внимание студентов на разницу между такими величинами, как работа и количество теплоты, которые являются функциями процесса, и макроскопическими величинами, например термодинамическими потенциалами, которые являются функциями состояния макроскопической системы. Лучше всего это можно продемонстрировать на примере циклических процессов. Следует особо остановиться на вопросе о том, как меняется энтропия в ходе процессов выравнивания в идеально теплоизолированных системах, сравнивая их с адиабатическим процессом. При изучении фазовых переходов обратить внимание на исключительную роль при их описании термодинамического потенциала Гиббса.

При ознакомлении с методом Гиббса обратить внимание студентов на разницу между терминами “микросостояние” и “макросостояние”, что все системы ансамбля находятся в разных микросостояниях, но при этом их макросостояние одно и то же. Особое внимание нужно уделить вопросу о связи статистической физики с термодинамикой, что например среднее значение полной энергии по ансамблю как раз и есть внутренняя энергия макросистемы, которая вводится в термодинамике. Студент должен четко понимать разницу в том, что, например, микроканоническое и каноническое распределения Гиббса описывают распределения макроскопических систем по микросостояниям в соответствующих ансамблях, а распределения Максвелла-Больцмана, Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака описывают распределения частиц по одночастичным состояниям в идеальных газах – классических частиц, бозе-частиц и ферми-частиц, соответственно.

При необходимости, некоторые вопросы третьего раздела можно вынести на самостоятельную подготовку. Вопросы четвертой части желательно изучать на лекциях. Здесь, в частности, предполагается, что уравнение Лиувилля для функции распределения получено в разделе “Равновесная статистическая физика”. Следует обратить внимание студентов на связь теоремы Больцмана со вторым началом термодинамики.

## 8.2. Методические рекомендации для студентов.

### Квантовая механика

Предлагаемый курс содержит шесть разделов: 1) физические предпосылки создания квантовой механики; 2) основные принципы квантовой механики; 3) математический аппарат квантовой механики; 4) приложения квантовой механики. Точно решаемые задачи; 5) приближенные методы решения уравнения Шредингера; 6) релятивистские уравнения квантовой механики. Материал первого раздела не должен вызывать особых затруднений. Однако важно обратить внимание на то, что приводимые в этом разделе физические явления и факты разбиваются на две группы: первую группу образуют равновесное излучение абсолютно черного тела, фотоэффект и эффект Комптона, в которых проявляются корпускулярные свойства света; вторую – дифракция пучка электронов на кристаллах и на экране со щелью, а также факт существования устойчивых атомов и наблюдение их линейчатых спектров, в которых проявляются волновые свойства электронов. Этот раздел должен подготовить студентов к восприятию материала второго раздела, понимание которого обычно вызывает наибольшие трудности. Главное – понять, что отдельный электрон (микрочастица) в отдельном эксперименте движется случайным образом и взаимодействует с регистрирующим экраном как корпускула, место попадания которой на экран предсказать невозможно. В то же время движение электрона в бесконечной серии одинаковых одночастичных экспериментов (или пучка невзаимодействующих электронов в одном многочастичном эксперименте) носит детерминированный волновой характер. Другими словами, движение ансамбля микрочастиц носит волновой характер, и это движение предсказуемо. При этом, как оказывается, невозможно приготовить ансамбль, в котором частицы имели бы одновременно вполне определенные значения координаты и импульса. Всем этим нужно руководствоваться при изучении основных принципов квантовой механики во втором разделе. То есть, важно понять, что квантовая механика дает описание динамики микрочастицы на уровне ансамблей, а не на уровне отдельных частиц



ансамбля. Все ее понятия и принципы, включая волновую функцию и соотношение неопределенностей Гейзенберга, относятся к ансамблям. В частности, когда говорится о том, что состояние частицы в квантовой механике задается с помощью волновой функции, то надо иметь в виду, что на самом деле речь идет о состоянии (квантового) ансамбля частиц. Надо иметь также в виду, что принцип неопределенностей Гейзенберга накладывает ограничение не на погрешности измерения координаты и импульса частицы, а на среднеквадратичные отклонения этих случайных величин в ансамбле частиц. Уникальное свойство квантовых ансамблей заключается в том, что волновая функция - как функция координаты частицы - и ее фурье-образ - волновая функция, зависящая от импульса частицы - оказываются, могут рассматриваться как разные представления (координатное и импульсное) вектора, точнее - вектора гильбертова пространства, в котором действуют (линейные, самосопряженные) операторы наблюдаемых физических величин. Изучению свойств векторов состояний и операторов посвящен третий раздел. При изучении этого раздела и четвертого раздела, в котором представлены примеры квантового описания движения частицы во внешних полях, важно обратить внимание на то, что если движение частицы во внешнем поле финитно, то спектр энергии частицы дискретный; в противном случае - непрерывный. Последнее возникает в задачах о рассеянии квантовой частицы.

### **Статистическая физика и термодинамика**

Предлагаемый курс содержит четыре части: термодинамику (отдельно рассматриваются макроскопические системы с фиксированным количеством вещества и системы с переменным количеством вещества, включая фазовые переходы в таких системах), равновесную статистическую физику, элементы теории флуктуаций и неравновесную статистическую физику. Базовыми вопросами первой главы являются понятия равновесных и неравновесных процессов, принципы температуры и энтропии, модель идеального газа, термодинамические потенциалы, первое и второе начала термодинамики. Студент должен четко понимать достоинства и недостатки модели идеального газа и, следовательно, необходимость введения более реалистичной модели газа Ван-дер-Ваальса. Необходимо обратить внимание на разницу между такими величинами, как работа и количество теплоты, которые являются функциями процесса, и макроскопическими величинами, например термодинамическими потенциалами, которые являются функциями состояния макроскопической системы. Лучше всего это видно на примере циклических процессов. Следует особо обратить внимание на том, как меняется энтропия в ходе процессов выравнивания в идеально теплоизолированных системах, по сравнению с (равновесным) адиабатическим процессом. При изучении фазовых переходов нужно обратить внимание на исключительную роль при их описании термодинамического потенциала Гиббса.

При ознакомлении с методом Гиббса нужно обратить внимание на разницу между терминами "микросостояние" и "макросостояние", что все системы ансамбля находятся в разных микросостояниях, но при этом их макросостояние одно и то же. Особое внимание нужно уделить вопросу о связи статистической физики с термодинамикой, что например среднее значение полной энергии по ансамблю как раз и есть внутренняя энергия макросистемы, которая вводится в термодинамике. Студент должен четко понимать разницу в том, что, например, микроканоническое и каноническое распределения Гиббса описывают распределения макроскопических систем по микросостояниям в соответствующих ансамблях, а распределения Максвелла-Больцмана, Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака описывают распределения частиц по одночастичным состояниям в идеальных газах классических частиц, бозе-частиц и ферми-частиц, соответственно. Следует обратить внимание на связь теоремы Больцмана со вторым началом термодинамики.

## Перечень вопросов для самостоятельной работы:

### К разделу «Квантовая механика»

1. В чем состоит суть корпускулярно-волнового дуализма в квантовой механике?
2. Как описываются состояния частицы в квантовой механике?
3. Каков физический смысл волновой функции?
4. Можно ли на основе квантовой теории предсказать одновременно точные значения координаты и импульса частицы?
5. В каком случае решение нестационарного уравнения Шредингера сводится к решению стационарного уравнения Шредингера?
6. В каком случае состояние частицы описывается волной де-Бройля?
7. Почему квантовая механика рассматривает только линейные эрмитовы операторы?
8. Имеется ли какая-либо связь между собственными значениями оператора физической величины и измеряемыми значениями этой величины?
9. В каком случае две физические величины (наблюдаемые) могут одновременно иметь точно определенные значения?
10. Можно ли с помощью единичного измерения какой-либо физической величины (импульса, координаты и т.д.) проверить предсказания квантовой теории относительно этой величины? В каком случае импульс частицы является интегралом движения?
11. Какие величины являются интегралами движения электрона в атоме водорода в отсутствие внешних электрического и магнитного полей?
12. Может ли энергия квантового гармонического осциллятора равняться нулю? Чем отличаются ферми-частицы от бозе-частиц?
13. Почему спин частицы не имеет классического аналога?
14. Как формулируется задача на собственные значения и собственные функции оператора?
15. Операторы координаты и импульса частицы.
16.  $\delta$ -функция Дирака и ее свойства.
17. Вычисление ожидаемых значений (наблюдаемых) физических величин в квантовой механике.
18. Дисперсия наблюдаемой физической величины.
19. Уравнение Шредингера.
20. Оператор Гамильтона.
21. Уравнение непрерывности для волновой функции.
22. Плотность потока вероятности.
23. Стационарное уравнение Шредингера.
24. Задача на собственные значения и собственные функции оператора энергии. Понятие спектра энергии.
25. Об особенностях собственных векторов состояний, соответствующих собственным значениям из непрерывного и дискретного спектров.
26. Волновые функции как векторы линейного пространства Гильберта. Бра- и кет-векторы.
27. Скалярное произведение.
28. Линейные эрмитово-сопряженные операторы.
29. Самосопряженные (эрмитовы) операторы.
30. Теоремы о средних и собственных значениях эрмитова оператора.
31. Постулат о собственных значениях наблюдаемых величин.
32. Средние значения и дисперсия наблюдаемых для собственных векторов состояний.
33. Условие ортогональности и условие нормировки собственных векторов.
34. Теорема о базисных системах коммутирующих операторов.
35. О полноте набора собственных векторов эрмитова оператора.
36. Разложение векторов по собственным векторам эрмитова оператора.

37. Физический смысл коэффициентов разложения.
38. "Разложение единицы".
39. Разложение кет-вектора по собственным кет-векторам операторов координаты и импульса. Связь кет-вектора с волновой функцией в координатном и импульсном представлениях.
40. Оператор проектирования.
41. Унитарные операторы.
42. Оператор эволюции.
43. Вывод соотношения неопределенностей для некоммутирующих операторов.
44. Изменение во времени ожидаемых значений наблюдаемых.
45. Оператор полной производной по времени для наблюдаемой величины.
46. Интегралы движения.
47. Теорема Эренфеста.
48. Оператор момента импульса.
49. Оператор спина электрона. Матрицы Паули. Понятие спинора.
50. Стационарные состояния частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме.
51. Задача о квантовом гармоническом осцилляторе.
52. Стационарные состояния электрона в атоме водорода.
53. Правила отбора.
54. Коэффициенты прохождения и отражения.
55. Квазиклассическое приближение. Метод Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна (ВКБ).
56. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени (в случае невырожденного спектра невозмущенной задачи).
57. Возмущения, зависящие от времени. Уравнение Клейна-Гордона-Фока.
58. Уравнение Дирака. "Море" Дирака.

#### К разделу «Статистическая физика и термодинамика»

1. Понятие микро- и макросостояний равновесных макроскопических систем
2. Понятие равновесных и неравновесных термодинамических процессов.
3. Принцип температуры и принцип энтропии.
4. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики.
5. Модель идеального газа. Понятие абсолютной температуры и абсолютной энтропии. Уравнения состояния идеального газа
6. Адиабатический потенциал. Первое начало термодинамики для равновесных процессов.
7. Свободная энергия.
8. Работа и количество тепла.
9. Понятие теплоемкости.
10. Энтальпия и термодинамический потенциал Гиббса.
11. Термодинамические коэффициенты.
12. Термодинамический анализ круговых процессов. КПД тепловых машин.
13. Понятие о цикле Карно.
14. Второе начало термодинамики.
15. Уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса.
16. Правило Максвелла для газа Ван-дер-Ваальса.
17. Химический потенциал.
18. Экстремальные свойства энтропии и термодинамических потенциалов.
19. Фазовые переходы 1-го рода. Условие равновесия фаз. Уравнение Клайперона-Клаузиуса.
20. Диаграмма кривых равновесия фаз для воды.
21. Фазовые переходы 2-го рода. Параметр порядка.

22. Понятие ансамблей Гиббса. Функция распределения. Фазовые средние. Энтропия. И функция распределения.
23. Уравнение Лиувилля.
24. Основные свойства равновесных функций распределения.
25. Теорема Нернста.
26. Микроканоническое распределение Гиббса.
27. Каноническое распределение Гиббса.
28. Большое каноническое распределение Гиббса
29. Распределение Бозе-Эйнштейна.
30. Распределение Ферми-Дирака.
31. Распределение Максвелла-Больцмана.
32. Статистическая сумма и термодинамические потенциалы.
33. Цепочка уравнений Боголюбова.
34. Модель разреженного газа частиц с короткодействующим потенциалом взаимодействия. Иерархия характерных масштабов длины и времени.
35. Принцип полного ослабления начальных корреляций.
36. Интеграл столкновений Больцмана и его свойства.
37. H-теорема Больцмана.
38. Распределение Гаусса для флуктуаций.
39. Флуктуации основных термодинамических величин.
40. Флуктуации в идеальном газе.

**Темы рефератов и курсовых работ: не предусмотрено учебным планом**

**Перечень вопросов к экзамену.**

**Квантовая механика ( 5 семестр )**

1. Разложение волновых функций по собственным функциям эрмитовых операторов. Физический смысл коэффициентов разложения
2. Постановка задачи на собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов.
3. Вывести уравнение для радиальной волновой функции электрона в поле центральных сил.
4. Принцип соответствия.
5. Исследовать асимптотику радиальной волновой функции для частицы в поле центральных сил.
6. Модель атома Бора (постулаты Бора).
7. Получить уравнение непрерывности (закон сохранения «числа частиц») для волновой функции.
8. Квантовые числа, характеризующие стационарные состояния электрона в атоме водорода.
9. Оператор импульса.
10. Корпускулярно-волновой дуализм.
11. Зависимость средних значений наблюдаемых величин от времени. Интегралы движения.
12. Спектральные серии для электронов в атоме водорода.
13. Оператор момента импульса.
14. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
15. Стационарные состояния и энергетический спектр электрона в бесконечно глубокой потенциальной яме.
16. Связь среднего значения оператора для произвольного локализованного состояния с собственными значениями данного оператора.
17. Нестационарное и стационарное уравнения Шредингера. Связь между ними.
18. Волновые функции свободного электрона. Волновые пакеты.

19. Уравнения Эренфеста.
20. Понятие энергии ионизации атома водорода.
21. Оператор спина частицы.
22. Модель атома Резерфорда.
23. Решение радиального уравнения Шредингера для области отрицательных значений энергии.
24. Понятие квантового ансамбля.
25. Задача о квантовом гармоническом осцилляторе.
26. Интегралы движения электрона в атоме водорода в отсутствии внешних полей.
27. Задача о рассеянии частицы на одномерной потенциальной ступеньке.
28. Интегралы движения свободной частицы.
29. Свойства собственных функций эрмитовых операторов.
30. Понятие спинора.
31. Оператор полной производной по времени физической наблюдаемой.
32. Понятие эрмитово-сопряженного оператора.
33. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени (в случае невырожденного спектра невозмущенной задачи).
34. Понятие "море Дирака".
35. Теория возмущений. Возмущения, зависящие от времени.
36. Матрицы Паули.
37. Оператор проектирования.
38. Понятие бра- и кет-векторов.
39. Связь кет-вектора с волновой функцией в координатном и импульсном представлениях.
40. Правила отбора для электронных переходов в атоме водорода.
41. Вывод соотношения неопределенностей для некоммутирующих наблюдаемых.
42. Оператор эволюции.

### **Статистическая физика и термодинамика ( 6 семестр )**

1. Циклические процессы.
2. Связь энтропии с функцией распределения.
3. Микроканоническое распределение Гиббса.
4. Обратимые и необратимые процессы.
5. Газ Ван-дер-Ваальса.
6. Характер поведения энтропии в процессах выравнивания.
7. Изотермический потенциал.
8. Понятие энергии Ферми вырожденного электронного газа.
9. Принцип температуры. Понятие абсолютной температуры.
10. Химический потенциал.
11. Каноническое распределение Гиббса.
12. Фазовые средние.
13. Распределение Ферми-Дирака.
14. КПД тепловой машины.
15. Распределение Бозе-Эйнштейна.
16. КПД цикла Карно.
17. Принцип энтропии. Понятие абсолютной энтропии.
18. Количество теплоты, подводимое (отводимое) в ходе квазистатических процессов.
19. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса.
20. Основные свойства равновесных функций распределения.
21. Распределение Максвелла.
22. Экстремальные свойства потенциала Гиббса и свободной энергии.
23. Распределение Больцмана.
24. Понятие о метастабильных состояниях макроскопических систем.

25. Правило Максвелла для газа Ван-дер-Ваальса.
26. Термодинамические коэффициенты.
27. Большое каноническое распределение Гиббса.
28. Второе начало термодинамики.
29. Давление вырожденного электронного газа.
30. Понятие теплоемкости.
31. Конденсация Бозе-Эйнштейна.
32. КПД цикла Карно.
33. Давление вырожденного электронного газа.
34. Понятие теплоемкости.
35. Зависимость полной энергии равновесного излучения абсолютно черного тела от температуры.
36. Уравнение состояния идеального газа.
37. Относительная флуктуация энергии в случае канонического ансамбля Гиббса.
38. Понятия микро- и макросостояний.
39. Распределение Гаусса для флуктуаций.
40. Флуктуации основных термодинамических величин.
41. Флуктуации в идеальном газе.
42. Статистическая сумма и термодинамические потенциалы.
43. Цепочка уравнений Боголюбова.
44. Модель разреженного газа частиц с короткодействующим потенциалом взаимодействия. Иерархия характерных масштабов длины и времени.
45. Интеграл столкновений Больцмана.
46. H-теорема Больцмана.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 050200.62 – физико-математическое образование, степень (квалификация) – бакалавр физико-математического образования, профиль – физика.

Программу составил доктор физ.- мат. наук,  
доцент кафедры теоретической физики ТГПУ



Н.Л. Чуприков

Программа дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики ТГПУ,  
протокол № 8 от “30” августа 2012 г

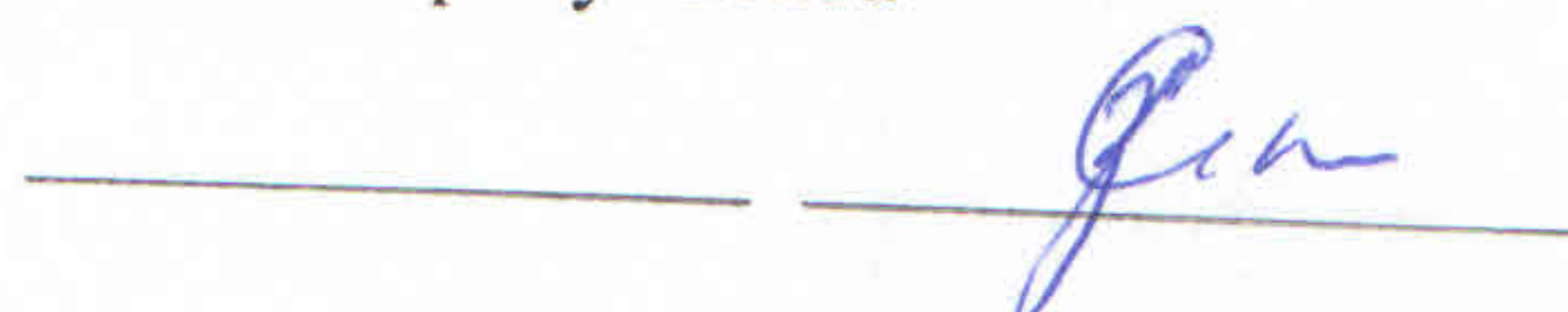
Зав. кафедрой, профессор



И.Л. Бухбиндер

Программа дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-математического факультета ТГПУ (УМС университета), протокол № 5 от 30 августа 2012 г.

Председатель УМК физико-математического факультета



З.А.Скрипко

Согласовано:

Декан физико-математического факультета

М.А. Червонный