

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ.
ТЕРМОДИНАМИКА. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.
ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА**

Методические указания по выполнению практических работ

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Физика Земли и космоса»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Тема 1. Работа и теплота. Уравнения состояний.....	7
Тема 2. Первое начало термодинамики. Определение теплоемкостей при различных процессах.....	8
Тема 3. Второе начало термодинамики. Вычисление энтропии	8
Тема 4. Методы термодинамики	9
Тема 5. Равновесие и устойчивость. Фазовые переходы	9
Тема 6. Основы статистической механики. Микроканоническое распределение.....	10
Тема 7. Каноническое распределение. Распределение Максвелла.	10

Введение

Целью курса является освоение студентами теоретических основ и методов теоретического исследования равновесных и неравновесных процессов в системах с большим числом частиц, поведение которых подчиняется законам классической и квантовой теории.

Основные задачи дисциплины:

- ознакомить студента с макроскопической термодинамикой, посвященной феноменологическому описанию равновесных и неравновесных систем большого числа частиц и особенностям их поведения;
- изучить равновесную статистическую физику, рассматривающую построение статистической теории равновесных систем, состоящих из большого числа частиц, и устанавливающую связи между макроскопическим (термодинамическим) и микроскопическим способами описания этих систем;
- дать студенту понятие о неравновесной статистической физике, описывающей особенности случайных процессов (флуктуаций) в системах большого числа частиц и закономерности перехода системы из неравновесного состояния в равновесное (являющиеся предметом исследования физической кинетики);
- изучить физику конденсированного состояния, рассматривающую статистические закономерности квантовомеханических систем большого числа частиц, теорию квантовых газов и жидкостей, квантовую теорию твердого тела.
- воспитывать общечеловеческую и профессиональную культуру;
- способствовать формированию научного мировоззрения;
- способствовать развитию таких качеств, как социальная и профессиональная мобильность, ответственность за свое профессиональное определение, конкурентоспособность;
- способствовать решению проблемы подготовки студентов к жизни в современном обществе, адаптации к будущей профессии в условиях региона.

Цель практического занятия – научиться применять теоретические сведения к решению конкретных задач. Для этого необходимо достаточно глубокое и всестороннее обсуждение теоретических понятий и положений; решение типовых задач с подробными комментариями и разъяснениями у доски, решение аналогичных задач на формирование умений и навыков, самостоятельное решение с целью закрепления нового материала.

Очень важно проводить решение любой задачи по определенной схеме, по этапам.

Общая схема и порядок решения задачи

№ этапа	Этапы решения задачи	Какие качества ума проверяются и воспитываются
1	Анализ условий задачи, определение ее вида, содержания характера требований	Концентрация и расширение объема внимания
2	Представление условий задачи в виде некоторой графической модели (структурно – логической схемы, графика, рисунка)	Умение свертывать информацию и представлять в виде графических образов, способность к абстракции
3	Оценка имеющихся данных (что имеется, чего недостает, какая информация избыточна)	Умение провести анализ, сопоставление и оценку данных
4	Наметка плана решения, что требуется найти? Оценка трудности задачи. Интуитивная догадка результата.	Наличие интуиции
5	Поиск способа решения. Выдвижение гипотез для решения, анализ их, оценка и выбор наиболее вероятной гипотезы	Умение поставить вопрос (проблему) и выдвигать гипотезы для их решения, способность к генерации идей
6	Осуществление плана решения (расчет). В ходе решения непрерывно вести оценку своих действий	Умение вести анализ и оценку своих действий, критичность ума
7	Проверка и анализ решения. Формулирование ответа	Способность к оценочным действиям
8	Анализ решения задачи. Определить элемент творчества, какой потребовался при решении данной задачи	Способность к систематизации

• **Перечень тем практических занятий**

№ Темы	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объём часов (астр.)	Интерактивная форма проведения
7,8 семестр			
Тема 1. Термодинамика. Основные понятия и исходные положения термодинамики.			
1	Термодинамические системы и их основные особенности. Термодинамические параметры. Исходные положения термодинамики: постулат существования состояния термодинамического равновесия, постулат аддитивности, постулат существования температуры.	2,25	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 2. Основные законы и уравнения термодинамики.			
2	Первое начало термодинамики, теплоемкость и скрытая теплота, основные термодинамические процессы и их уравнения. Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Основное уравнение термодинамики для квазистатических процессов. Связь между термическим и калорическим уравнениями состояния. Третье начало термодинамики.	2,25	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 3. Методы термодинамики.			
3	Метод циклических процессов. Метод термодинамических потенциалов.	2,25	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 4. Статистическая физика. Основные представления классической статистической механики.			
4	Общая механическая модель. Фазовое пространство. Статистическое описание физической системы. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема. Возвратная теорема Пуанкаре и Цермело. Уравнение движения статистического ансамбля.	2,25	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 5. Классическая теория равновесных состояний.			
5	Равновесный статистический ансамбль. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Каноническое распределение и термодинамика. Некоторые общие свойства канонического распределения, его связь с микроканоническим распределением. Вычисление свободной энергии идеального газа. Парадокс Гиббса. Средняя плотность числа частиц в пространстве и числа заполнения для идеального газа. Реальный газ. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Применение теоремы о равномерном распределении и	2,25	Выполнение индивидуальных заданий

	теоремы о вириале к конкретным системам: гармонический осциллятор, теплоемкость разреженных газов, теплоемкость твердых тел, Средняя энергия, приходящаяся на заданный частотный интервал в распределенной системе, подчиняющейся волновому уравнению, формула Релея – Джинса для равновесного излучения абсолютно черного тела.		
Тема 6. Квантовая статистическая механика.			
6	Квантовая модель вещества. Квантовое каноническое распределение. Квантовый осциллятор. Формула Планка для равновесного излучения абсолютно черного тела. Теплоемкость твердых тел. Теплоемкость двухатомного идеального газа. Квантовая статистика систем одинаковых частиц. Фотонный газ. Электроны в металле. Статистика Бозе–Эйнштейна и Ферми – Дирака. Приложение статистики Бозе–Эйнштейна к фотонному газу. Применение статистики Ферми–Дирака к электронному газу в металле. Конденсация идеального газа Бозе–Эйнштейна.	2,25	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 7. Неравновесная статистическая механика. Кинетика. Теория флуктуаций.			
7	Использование канонических распределений. Корреляционные функции и флуктуации плотности. Квазитермодинамическая теория флуктуаций. Второе начало термодинамики для не квазистатических процессов. Общая формула для вероятности флуктуационного отклонения от равновесного состояния. Зависимость распределения от интенсивности малых флуктуаций. Общая формула для малых термодинамических флуктуаций в неизолированной системе.	5	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 8. Броуновское движение.			
8	Характер движения броуновской частицы. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера–Планка.	5	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 9. Некоторые вопросы теории случайных процессов.			
9	Эргодичность случайного процесса. Стационарный марковский случайный процесс. Гауссовский случайный стационарный марковский процесс. Спектральные представления для случайной переменной и корреляционные функции. Смещение во времени случайной величины и формула Эйнштейна. Формула Найквиста.	5	Выполнение индивидуальных заданий
Тема 10. Термодинамическая теория необратимых процессов.			
10	Общий формализм. Соотношения взаимности Онзагера. Диффузия, термодиффузия, теплопроводность. Термомеханические явления.	5	Выполнение индивидуальных заданий

	Термоэлектричество. Эффекты Пельтье и Томсона. Обобщенная восприимчивость и спектральные разложения. Принцип Ле-Шателье.		
	Тема 11. Кинетические уравнения в статистической механике.		
11	Микроскопическое состояние системы и его эволюция. Общая структура кинетического уравнения для одно-частичной функции распределения. Кинетическое уравнение с релаксационным членом вместо интеграла столкновений. Кинетическое уравнение Власова. Кинетическое уравнение Больцмана. Лоренцова форма интеграла столкновений. Кинетическое уравнение Паули.	5	Выполнение индивидуальных заданий
	Тема 12. Физика конденсированного состояния.		
12	Ферми-газ при низких температурах. Электронный газ в металлах. Релятивистский вырожденный ферми-газ. Бозе-газ при низких температурах. Бозе конденсация. Описание молекулярной структуры жидкостей. Общий подход к проблеме жидкого состояния. Соотношения между функциями распределения при разных активностях. Теория Эйнштейна и Дебая теплоемкости твердых тел. Твердые тела при низких и высоких температурах. Статистическое описание электромагнитных процессов. Микроскопические уравнения для заряженных частиц и поля. Полностью ионизированная плазма. Приближение бесстолкновительной плазмы. Уравнения Власова.	5	Выполнение индивидуальных заданий
Итого за 7,8 семестр		43,5	
	Итого	43,5	

Тема 1. Работа и теплота. Уравнения состояний

1. Оценить работу испарения 1 моля воды при переходе её в пар при $t = 100^\circ\text{C}$ и нормальном давлении.
2. Найти работу идеального газа при адиабатном расширении от V_1 до V_2 . Даны также начальная температура T_1 и показатель адиабаты.
3. Найти работу при изотермическом расширении газа Ван-дер-Ваальса.
4. Показать, что дифференциальное выражение для элементарной работы $\delta W = \sum_i A_i da_i$ не является полным дифференциалом от совокупности независимых параметров, определяющих состояние системы.
5. $\left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)_T \left(\frac{\partial a}{\partial A}\right)_T = 1$ Установить, что для простой системы справедливы тождества:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial A}\right)_a \left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)_T \left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_A = -1;$$

1. Показать, что связь между термическими коэффициентами растяжения

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p, \quad \text{сжатия} \quad \beta = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \quad \text{и упрюгости} \quad \gamma = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \quad \text{можно}$$

представить как $\alpha = p_0 \beta \gamma$.

2. Получить приведенное уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса и газа Бертло.

Тема 2. Первое начало термодинамики. Определение теплоемкостей при различных процессах

1. Доказать, что тепловой эффект химической реакции, протекающей при $V = \text{const}$, или при $p = \text{const}$, не зависит от промежуточных реакций, а определяется только начальным и конечным состояниями реагирующих веществ.

2. Найти $C_p - C_v$ для идеального газа.

1. Найти $C_p - C_v$ для газа Ван-дер-Ваальса.

2. Найти удельную теплоту изотермического расширения газа Ван-дер-Ваальса.
3. Определить теплоемкость идеального газа в следующих процессах: а)

$$pV^2 = \text{const}, \quad \text{б)} \quad p^2V = \text{const}, \quad \text{в)} \quad \frac{p}{V} = \text{const}.$$

4. Известно, что $C_v = a(V)T^3$. Какое количество теплоты нужно передать системе, чтобы нагреть её изохорно от T_1 до T_2 ?
5. Является ли процесс релаксации квазистатическим и почему?

Тема 3. Второе начало термодинамики. Вычисление энтропии

Могут ли адиабаты пересекаться и почему?

Термическое и калорическое уравнения состояния электронного газа связаны

соотношением: $pV = \frac{2}{3}U$. Найти уравнение адиабаты в переменных p - V .

В изобарном процессе температура идеального газа увеличилась вдвое. Как изменилась энтропия?

Найти изменение энтропии газа Ван-дер-Ваальса при переходе $T_1, V_1 \rightarrow T_2, V_2$.

Термический коэффициент расширения α для воды в интервале температур от 0 °С до 4 °С является величиной отрицательной. Нагревается или охлаждается вода при адиабатном сжатии в этом интервале температур?

При низкой температуре энтропия электронного газа в металлах пропорциональна температуре. Найти температурную зависимость разности теплоемкостей $C_p - C_v$.

Найти работу идеального газа в цикле Карно. Известны температура холодильника и нагревателя и интервалы изменения объема.

Показать, что если теплоемкость $C_v \sim T$, то энтропия системы имеет тот же характер зависимости от температуры.

Тема 4. Методы термодинамики

1. Найти свободную энергию газа Ван-дер-Ваальса.

2. Известна энтальпия: $H = H(S, p)$. Найти $\beta_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s$.

3. Известна свободная энергия некоторой системы: $F = -\frac{3}{2} RT \ln[a(V)T]$. Найти C_v .

4. Известен потенциал Гиббса некоторой системы:

$$G = aT(1 - \ln T) + RT \ln P - TS_0 + U_0 \quad (a, S_0, R, U_0 - \text{const}).$$

Найти термическое и калорическое уравнения состояния. Какой системе соответствует данный потенциал? Каков физический смысл постоянной a ?

5. Получить выражение для энтальпии 1 моля идеального газа.

6. Записать соотношение Максвелла для термодинамического потенциала, собственными переменными которого являются энтальпия H и давление p .

7. Получить энергию Гельмгольца смеси идеальных газов, состоящих из ν_1 молей одного и ν_2 другого компонента. Найти изменение энергии Гельмгольца при изотермической диффузии газа.

-
- **Указание:** Не забывайте, что все выражения для термодинамических потенциалов необходимо записывать в собственных переменных.

Тема 5. Равновесие и устойчивость. Фазовые переходы

1. Определить условия равновесия изолированной двухфазной двухкомпонентной системы, когда каждый компонент входит в состав только одной фазы.

2. Цилиндр, разделенный легко скользящей перегородкой на два отсека, в которых находятся ν_1 и ν_2 молей идеального газа, помещен в термостат. Найти условия равновесия.

3. Найти число молей йодистого водорода HI при равновесии в химической реакции $H_2 + I_2 = 2HI$. Известны постоянная реакции K_c и начальное число молей водорода и йода.

4. В какой пропорции следует смешать азот и водород, чтобы получить наибольший равновесный выход аммиака?
5. Для двухкомпонентной системы (например, вода и поваренная соль) определить, сколько фаз могут одновременно находиться в равновесии и каково будет при этом число степеней свободы?
6. Известны теплоемкость пара C_p , удельная теплота испарения, температура. Найти теплоемкость насыщенного пара.
7. Найти зависимость от температуры удельной теплоты испарения на кривой испарения (т.е. $\left(\frac{\partial \lambda}{\partial T}\right)_\mu$).

Указание: Задачи на определение условий равновесия конкретных систем необходимо решать, исходя из общих условий термодинамического равновесия и устойчивости.

Тема 6. Основы статистической механики. Микроканоническое распределение.

1. Для классического одномерного гармонического осциллятора:
 1. найти и начертить фазовые траектории;
 2. проверить выполнимость теоремы Лиувилля;
 3. записать уравнение Лиувилля.
2. Прodelать то же самое для частицы, движущейся в однородном гравитационном поле Земли. Начальное направление движения — вертикально вверх.
3. Проверить справедливость теоремы Лиувилля для случая упругого соударения двух частиц, движущихся по одной прямой.
4. На фазовой плоскости (q, p) найти фазовые траектории и вычислить изменение со временем фазового объема $dqdp$ для свободной частицы, сила трения которой о среду пропорциональна скорости.
5. Для одномерного гармонического осциллятора найти $\Gamma_{\text{кл}}(E)$ — объем фазового пространства, отвечающего энергиям меньше E . Записать микроканоническое распределение.
6. N -частиц идеального газа, заключенного в объеме V , подчиняются микроканоническому распределению с энергией E . Вычислить для них фазовый объем, энтропию. Найти уравнение состояния газа.

Тема 7. Каноническое распределение. Распределение Максвелла.

1. Найти статистический интеграл A для одномерного гармонического осциллятора с частотой ν , помещенного в термостат. Записать классическое КР.

2. Вычислить среднюю по КР энергию гармонического осциллятора, погруженного в термостат.
3. Исходя из распределения Максвелла по импульсам p , записать плотность распределения вероятностей для кинетической энергии $E=p^2/2m$ и модуля скорости частицы в канонической системе.
4. Вычислить средние и наиболее вероятные значения энергии и модуля скорости в распределении Максвелла.
5. Какова доля частиц в канонической системе, имеющих энергию $p^2/2m$ меньше средней? Классическая статистика применима; взаимодействие между частицами зависит только от их пространственного положения.
6. Найти свободную энергию и уравнение состояния идеального газа, заключенного в сосуд, закрытый подвижным поршнем массой M . Поршень рассматривать как тело, имеющее одну степень свободы в направлении оси Z .

Пример варианта контрольной работы

Вариант 2

- Как внутренняя энергия зависит от объема в изотермическом процессе, если $U(V,T)$.
- Известно, что $S(V,T)$. Как изменится энтропия системы при ее изохорном нагревании от T_1 до T_2 ?
- Найти энергию Гиббса для 1 моля идеального газа.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ.
ТЕРМОДИНАМИКА. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.
ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА**

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Физика Земли и космоса»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
План-график выполнения самостоятельной работы	5
Контрольные точки и виды отчетности по ним	6
Методические рекомендации по изучению теоретического материала, подготовке к практическим работам	7

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач. Конечной целью самостоятельной работы является организация самостоятельной познавательной деятельности, формирование умения самостоятельно анализировать информацию, выделять главное и второстепенное.

Основными формами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика конденсированного состояния. Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика» являются:

- подготовка к практическим работам.
- подготовка к собеседованию

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

ОПК-1 (Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности), Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные (ОПК-2), Способен применять фундаментальные знания в области физики и математики для постановки и решения научно-исследовательских и прикладных задач в своей профессиональной деятельности (ПК-1), Системное и критическое мышление Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач (УК-1).

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Методы термодинамики»	Собеседование	Тема 1 Практическое занятие №1
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Основные понятия и исходные положения термодинамики»	Собеседование	Тема 1 Практическое занятие №
Самостоятельное изучение литературы	Конспект на тему «Основные законы и уравнения термодинамики»	Собеседование	Тема 3 Практическое занятие №1
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Термодинамическая теория необратимых процессов»	Собеседование	Тема 1 Практическое занятие №2
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Кинетические уравнения в статистической механике»	Собеседование	Тема 4 Практическое занятие №3
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Некоторые вопросы теории случайных процессов»	Собеседование	Тема 4 Практическое занятие №4
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Броуновское движение»	Собеседование	Тема 1 Практическое занятие №5
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Квантовая статистическая механика»	Собеседование	Тема 2 Практическое занятие №6
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Классическая теория равновесных состояний»	Собеседование	Тема 2 Практическое занятие №7
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Неравновесная статистическая механика. Кинетика. Теория флуктуаций»	Собеседование	Тема 3 Практическое занятие №8

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Статистическая физика. Основные представления классической статистической механики»	Собеседование	Тема 2 Практическое занятие №9
Подготовка к практической работе	Конспект на тему «Физика конденсированного состояния»	Собеседование	Тема 4 Практическое занятие №10
Подготовка к экзамену	Экзамен	Вопросы к экзамену	Тема 5 Практическое занятие №11

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
7 семестр			
1	Конспект	4	13.5
	Итого за 7 семестр:		13.5
8 семестр			
4	Конспект	8	13.5
	Итого за 8 семестр:		13.5
	Итого:		27

Методические рекомендации по изучению теоретического материала, подготовке к лабораторным работам

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с практическими занятиями, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности.

При подготовке к занятию необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Перед занятием необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты изучаемой проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время собеседования. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Рекомендуемые источники информации (№ источника)			
		Основная	Дополнительная	Методическая	Интернет-ресурсы
1	Термодинамические потенциалы сложных систем	1	1	1	1, 2
2	Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста.	1	1	1	1, 2
3	Невозможность последовательного механического описания физических систем многих частиц.	1	1	1	1, 2
4	Макроскопические величины как фазовые средние.	1	1	1	1, 2
5	Распределение Максвелла–Больцмана.	1	1	1	1, 2
6	К статистической теории жидкого состояния	1	1	1	1, 2
7	Описание квантовых систем.	1	1	1	1, 2
8	Квантовый осциллятор и квантовый ротатор.	1	1	1	1, 2

9	Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина.	1	1	1	1, 2
---	---	---	---	---	------

Критерии оценки самостоятельной работы студентов

Критерии оценивания результатов самостоятельной работы студентов разработаны с учетом требований ФГОС ВО. Задания, выносимые на самостоятельную работу, оцениваются по шкале «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Оценка **«отлично»** выставляется при следующих условиях:

- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные в задании, выносимом на самостоятельную работу студентов;
- показано умение грамотно применять полученные теоретические знания при анализе событий действительности;
- показано глубокое и творческое овладение основной и дополнительной литературой;
- материал излагается аргументировано и логически стройно.

Оценка **«хорошо»** выставляется при следующих условиях:

- даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные в задании, выносимом на самостоятельную работу;
- показаны достаточно прочные практические навыки;
- даны полные, но недостаточно обоснованные ответы на дополнительные вопросы;
- показаны глубокие знания основной и недостаточное знакомство с дополнительной литературой;
- показано умение теоретически обосновывать высказываемые положения;
- ответы в основном были краткими, но в них не всегда выдерживалась логическая последовательность.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при следующих условиях.

- даны в основном правильные ответы на все вопросы задания, выносимого на самостоятельную работу аспирантов, но без должной глубины и обоснования;
- показаны недостаточно прочные практические навыки;
- не даны положительные ответы на некоторые дополнительные вопросы;
- показаны недостаточные знания основной литературы;
- ответы были многословными, мысли излагались недостаточно четко и без должной логической последовательности.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется в случаях, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно», когда студент не усвоил основного содержания предмета и слабо знает рекомендованную литературу.

Вопросы к собеседованию

7 семестр

Базовый уровень

1. Термодинамический и статистический методы. Основные понятия. Достоинства и недостатки.
2. Термодинамические системы, параметры и равновесие.
3. Основные постулаты термодинамики.
4. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты.
5. Равновесные и неравновесные процессы. Время релаксации.
6. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота.
7. Термические и калорические уравнения состояния.
8. Первое начало термодинамики.
9. Теплоёмкости и теплота изотермического изменения внешних параметров.
10. Исходная формулировка второго начала термодинамики.
11. Обратимые и необратимые процессы.
12. Различные формулировки второго начала термодинамики и их эквивалентность.
13. Цикл Карно.
14. Коэффициент полезного действия общего цикла Карно.
15. Математическое обоснование существования температуры и энтропии.
16. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов.
17. Связь между термическим и калорическим уравнениями состояния.
18. Основное уравнение и основное неравенство термодинамики (Неравенство Клаузиуса).
19. Пределы применимости второго начала термодинамики. Направление времени.

Повышенный уровень

20. Третье начало термодинамики.

21. Следствия третьего начала термодинамики.
22. Метод термодинамических потенциалов.
23. Физический смысл характеристических функций.
24. Термодинамические потенциалы сложных систем.
25. Связь между свободной и внутренней энергией.
26. Условия термодинамического равновесия и устойчивости.
27. Термодинамика стержней.
28. Термодинамика магнетиков.
29. Термодинамика диэлектриков.
30. Термодинамика излучения.
31. Термодинамика плазмы.
32. Термодинамика воды.
33. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода.
34. Уравнения Клапейрона – Клаузиуса.
35. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста.
36. Поверхностное натяжение и давление. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы. Зародыши.
37. Локальное равновесие и основное уравнение термодинамики неравновесных процессов.
38. Уравнения баланса и законы сохранения различных величин в термодинамике необратимых процессов.
39. Соотношения взаимности Онзагера и принцип Кюри.
40. Вариационные принципы термодинамики необратимых процессов.
41. Устойчивость стационарных состояний, принцип Ле Шателье и невозможность упорядочения в области линейных необратимых процессов.
42. Термодинамические явления.
43. Термодинамический и механокалорический эффекты.
44. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина.

45. Пространственные диссипативные структуры. Ячейки Бенара.
46. Временные и пространственно – временные диссипативные структуры. Реакция Белоусова – Жаботинского.

8 семестр

Базовый уровень

1. Модель идеального газа.
2. Распределение молекул газа по скоростям.
3. Связь распределений Максвелла по скоростям с абсолютной температурой.
4. Характерные скорости молекул при максвелловском распределении.
5. Средние относительные скорости.
6. Соответствие модели идеального газа реальному газу.
7. Неравновесные состояния. Явления релаксации и переноса.
8. Поперечные сечения. Длина свободного пробега.
9. Распределение свободных пробегов частиц
10. Вязкость газов.
11. Теплопроводность газов.
12. Диффузия газов.
13. Невозможность последовательного механического описания физических систем многих частиц.
14. Макроскопическое и микроскопическое описание системы в термодинамическом равновесии.
15. Изображение системы в фазовом пространстве.
16. Элемент фазового объема. Вероятность нахождения системы в фазовом пространстве.
17. Теорема о сохранении фазового объема (Теорема Лиувилля).
18. Макроскопические величины как фазовые средние.
19. Микроканоническое распределение.
20. Каноническое распределение Гиббса.
21. Свойства канонического распределения.
22. Физический смысл параметров канонического распределения.

23. Энтропия и её связь с вероятностью состояния.
24. Распределение Максвелла–Больцмана.
25. Большое каноническое распределение Гиббса.
26. Выражение термодинамических функций через интеграл состояний.
27. Интеграл состояний и термодинамические функции идеального газа.
28. Статистическое рассмотрение системы взаимодействующих частиц.
29. Вывод уравнения состояния реального газа.
30. К статистической теории жидкого состояния.

Повышенный уровень

1. Статистика диэлектриков.
2. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы.
3. Теплоемкость разряженных газов.
4. Теплоемкость твердых тел.
5. Применение методов статистической физики к равновесному излучению.
6. Классическая теория электронного газа.
7. Определение флуктуации.
8. Связь флуктуаций со свободной энергией. Корреляция.
9. Чувствительность различных измерительных приборов.
10. Рассеяние света на флуктуациях плотности.
11. Броуновское движение.
12. Статистика полимеров.
13. Квантовые системы и их свойства.
14. Описание квантовых систем.
15. Применение статистического метода к квантовым системам.
16. Метод ячеек Больцмана.
17. Статистики квантовых систем.
18. Сопоставление статистик Максвелла–Больцмана, Бозе–Эйнштейна, Ферми–Дирака.
19. Квантовый осциллятор и квантовый ротатор.
20. Сумма по состояниям и внутренняя энергия систем осцилляторов и ротаторов.
21. Теплоемкость газов. Характеристические температуры.
22. Теплоемкость твердых тел. Закон Дебая.
23. Законы равновесного излучения.

24. Статистика парамагнетиков.
25. Применение статистики Бозе–Эйнштейна к описанию системы частиц.
26. Равновесное излучение как фотонный газ.
27. Применение статистик Ферми–Дирака к описанию поведения системы частиц.
28. Электронный газ в металлах.
29. Магнитные свойства электронного газа.
30. Состояние систем с отрицательной абсолютной температурой.

Вопросы к экзамену

1. Начала термодинамики: I, II и III начала термодинамики. Теорема Нернста. Внутренняя энергия. Энтропия и температура. Теплоемкость.
2. Термодинамические потенциалы: Энтальпия. Свободная энергия (Гельмгольца). Термодинамический потенциал (Гиббса).
3. Переменное число частиц: Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал (Ландау).
4. Тепловые машины: Цикл Карно и теорема Карно. Цикл Джоуля. Цикл Отто. Цикл Дизеля.
5. Элементы теории вероятностей, реализуемые в статистической физике: Комбинаторные формулы. Формула Стирлинга. Гамма-функция. Вероятности и средние значения. Дисперсия. Гипергеометрическое распределение. Биномиальное распределение. Распределение Пуассона. Распределение Гаусса.
6. Принципы статистической механики: Микро- и макросостояния. Э르고дическая гипотеза. Статистический вес макросостояния. Энтропия и статистический вес. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии. Энтропия и второе начало термодинамики.
7. Распределение Гиббса: Микроканонический ансамбль. Распределение Гиббса. Канонический ансамбль. Статистическая сумма. Статсумма и средние величины. Статсумма и свободная энергия. Статистическая температура и энтропия. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана.
8. Распределение Гиббса с переменным числом частиц: Большой канонический ансамбль. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.
9. Квантовая статистика: Распределение Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака.
10. Тепловое расширение твердых тел: Коэффициенты линейного и объемного расширений. Ангармонизм колебаний. Связь коэффициента линейного расширения с теплоемкостью.
11. Идеальный молекулярный газ: Энтропия идеального одноатомного газа. Возрастание энтропии при диффузии газов. Парадокс Гиббса. Свободная энергия больцмановского идеального газа.
12. Реальный молекулярный газ: Молекулярные силы и отступления от законов идеальных газов. Уравнения Ван-дер-Ваальса, Дитеричи, Бертло, Клаузиуса и Камерлинга-Оннеса. Изотермы реального газа.

Правило Максвелла. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля-Томсона для газа Ван-дер-Ваальса. Методы получения низких температур и сжижения газов.

13. Идеальный электронный газ: Сжимаемость электронного газа. Теплоёмкость электронного газа.

14. Излучение абсолютно черного тела: Закон излучения Вина. Закон Рэлея–Джинса. Закон Планка. Фотоны. Закон Стефана–Больцмана. Закон смещения Вина. Термодинамика равновесного теплового излучения.

15. Колебания кристаллической решетки: Акустическая и оптическая ветви дисперсии колебаний кристаллической решетки.

16. Теплоёмкость твёрдых тел: Закон Дюлонга–Пти. Квантовая теория теплоемкости Эйнштейна. Фононы. Температура Дебая. Квантовая теория теплоемкости Дебая.

17. Полупроводники: Статистика электронов и дырок в собственных полупроводниках. Статистика электронов и дырок в примесных полупроводниках.

18. Сверхпроводимость: Феноменология сверхпроводимости. Микроскопическая теория сверхпроводимости.

19. Физическая кинетика: Кинетическое уравнение Больцмана. Связь уравнения Больцмана и уравнений гидродинамики. Кинетические явления в полупроводниках. Термоэлектрические эффекты.

1. Список литературы

Основная литература:

- Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс; под ред. Я. А. Смородинского, Вып. 4, Кинетика. Теплота. Звук. - 9-е изд. - М.: URSS, 2014. - 260 с. : ил. - Библиогр. в подстроч. прим. - ISBN 978-5-453-00060-9. - ISBN 978-5-397-04362-5

Дополнительная литература:

- Московский С.Б. Курс статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Московский С.Б.— Электрон. текстовые данные. – М.: Академический Проект, Фонд «Мир», 2015.— 317 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/36735.html>. – ЭБС «IPRbooks»