МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Термодинамика и статистическая физика»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «18» апреля 2022 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются ознакомление студентов с основами термодинамики, статистической физики и физической кинетики, занимающимися изучением физических процессов в макроскопических системах, содержащих огромное, но конечное, число микроскопических частиц (электронов, атомов, молекул, различных полей). Хотя объект исследования является общим, методы изучения различны. Термодинамический метод не опирается ни на какие модельные представления об атомно-молекулярной структуре вещества, а статистический метод с самого начала основан на модельных атомно-молекулярных представлениях. Данный курс вырабатывает у студентов навыки использования математического аппарата термодинамики и статистической физики для анализа конкретных моделей сложных макроскопических систем.

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы и входит в модуль «Теоретическая физика».

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом линейной алгебры, уметь решать основные типы дифференциальных уравнений, знать основы теоретической механики, электродинамики и квантовой механики. Полученные в курсе знания необходимы для изучения последующих курсов по специальности, а также для продолжения обучения в магистратуре по направлению «Физика» и «Радиофизика».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	**Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)**	**Перечень планируемых результатов обучения**
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ИД-ОПК-1_1 Осуществляет постановку задачи, выбирает способ ее решения	**Знать:** - об основных понятиях термодинамики и статистической физики и их месте в физике; - основные законы (начала) термодинамики и статистической физики; - основные канонические функции распределения в классической статистической физике; - связь статистической физики с термодинамикой; - условия термодинамической устойчивости системы.
	ИД-ОПК-1_2 Применяет математический аппарат, физические законы и теории для решения прикладных и теоретических задач, в	**Уметь:** - использовать математический аппарат термодинамики и статистической физики; - анализировать поведение простейших систем. - использовать изученные методы в флуктуационных явлениях. **Владеть:**

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
	том числе педагогической деятельности	- математическим аппаратом термодинамики и статистической физике; - навыками использования знаний для анализа простейших систем.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение в термодинамику	6	3	1				2	
2	Математический аппарат термодинамики.	6	4	4		1		4	Самостоятельная работа № 1, Контрольная работа
	в том числе с ЭО и ДОТ					*1*		*1*	
3	Третье начало термодинамики	6	3	3				2	
4	Условия термодинамического равновесия	6	3	4				2	
5	Вопросы общей теории фазовых превращений	6	3	3				2	
6	Термодинамические системы во внешних полях	6	3	3				2	
7	Введение в статистическую физику	6	3	3				4	
8	Применение классической статистической физики к равновесным системам	6	3	4		1		4	
9	Принципы квантовой статистической физики	6	3	3				4	

10	Идеальные квантовые газы	6	3	3		1		5	Самостоятельная работа № 1, Контрольная работа
	в том числе с ЭО и ДОТ					*1*		*1*	
11	Системы тождественных частиц.	6	3	3				4	
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего за 6 семестр		***34***	***34***		***5***	***0,5***	***68,5***	
	в том числе с ЭО и ДОТ					***2***		***2***	

Содержание разделов дисциплины:

Термодинамика

1. **Введение в термодинамику**
   - 1.1.1. Предмет и задачи термодинамики. Термодинамическая система и термодинамические параметры.
   - 1.1.2. Постулаты термодинамики. Нулевое начало термодинамики.
   - 1.2. **Первое начало термодинамики.**
     - 1.2.1. Применение первого начала термодинамики к инфинитезимальным процессам. Теплоемкость.
     - 1.2.2. Уравнения состояния системы.
     - 1.2.3. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
   - 1.3. **Второе начало термодинамики.**
     - 1.3.1. Обратимые и необратимые процессы и циклы. Обратимая машина Карно.
     - 1.3.2. Теорема Карно-Клаузиуса. Энтропия.
     - 1.3.3. Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла. Границы применимости второго начала термодинамики
2. **Математический аппарат термодинамики.**
   - 2.1.1. Метод круговых циклов.
   - 2.1.2. Метод термодинамических потенциалов.
   - 2.1.3. Метод определителей Якоби.
   - 2.2. **Термодинамика простейших систем.**
     - 2.2.1. Термодинамика идеального газа. Парадокс Гиббса.
     - 2.2.2. Процесс Гей-Люссака и эффект Джоуля-Томсона.
3. **Третье начало термодинамики.**
   - 3.1. Тепловая теорема Нернста.
   - 3.2. Следствия третьего начала термодинамики.
4. **Условия термодинамического равновесия.**
   - 4.1.1. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости равновесного состояния.
   - 4.1.2. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье и Ле-Шателье-Брауна. Общие условия.
   - 4.2. Равновесие в гомогенной системе. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Закон «разведения» Оствальда.
     - 4.2.1. Условия равновесия гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса.
5. **Вопросы общей теории фазовых превращений.**
   - 5.1. Классификация фазовых переходов.
   - 5.2. Теория фазовых переходов второго рода
6. **Термодинамические системы во внешних полях.**
   - 6.1. Электрохимический потенциал. Условие термодинамического равновесия систем во внешних потенциальных полях.

6.2. Барометрическая формула. Условие химического равновесия во внешних потенциальных полях.

Статистическая физика

7. Введение в статистическую физику.

7.1. Постулаты классической статистической физики

7.2. Канонические функции распределения в классической статистической физике.

7.3. Связь канонического ансамбля с микроканоническим ансамблем.

8. Применение классической статистической физики к равновесным системам.

8.1. Распределение Максвелла–Больцмана

8.2. Изотермическая атмосфера.

8.3. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Теорема о вириале.

9. Принципы квантовой статистической физики.

9.1.1. Чистые и смешанные ансамбли и средние по ансамблю в квантовой статистической физике.

9.1.2. Матрицы плотности микроканонического, канонического и большого канонического ансамблей.

9.2. Формализм вторичного квантования. Обоснование статистической физики.

10. Идеальные квантовые газы.

10.1.1. Вывод функции распределения для идеальных ферми- и бозе-газов и газа Больцмана с помощью микроканонического ансамбля.

10.1.2. Вывод функции распределения для идеальных газов с помощью большого канонического ансамбля.

10.2.1. Модель свободного электронного газа в металлах.

10.2.2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.

10.3.1. Термодинамика теплового излучения. Формула Планка.

10.3.2. Фононы. Теория теплоемкости Дебая.

10.3.3. Больцмановский квантовый газ.

10.3.4. Квантование поступательного движения молекул.

10.3.5. Двухатомные молекулы. Колебательные степени свободы.

10.3.6. Двухатомные молекулы. Вращательные степени свободы.

11. Теория флуктуаций.

11.1.1. Вычисление флуктуаций по методу Гиббса.

11.1.2. Квазитермодинамическая теория малых флуктуаций. Теория "голубого цвета неба" Релея.

12. Броуновское движение и вопросы теории случайных процессов.

12.1.1. Броуновское движение. Формула Эйнштейна для среднего квадратичного смещения броуновской частицы.

12.1.2. Автокорреляционная функция. Спектральная плотность случайного процесса. Соотношения Винера-Хинчина.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы

в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Термодинамика и статистическая физика» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;

посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Кузнецов В.С. Основы термодинамики : текст лекций / В. С. Кузнецов ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль ЯрГУ, 2006. — 79 с. http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20051718.pdf
2. Кузнецов, В. С., Статистическая физика: текст лекций / В. С. Кузнецов ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль, ЯрГУ, 1997, 45 с. http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/19971703.pdf
3. Кузнецов, В. С., Квантовая статистическая физика и основы физической кинетики: текст лекций / В. С. Кузнецов ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль, ЯрГУ, 2000, 94 с. http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20001717.pdf

б) дополнительная литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика : Учеб. пособ. : Для вузов. / Ландау Л. Д. , Лифшиц Е. М. - 5-еизд. , стереот. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 616 с. https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922100540.html
2. Московский, С. Б. Курс статистической физики и термодинамики : учебник для вузов / Московский С. Б. - Москва : Академический Проект, 2020. - 320 с. https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785829130473.html

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ

Автор:

Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н. А.А. Гвоздев

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Термодинамика и статистическая физика»

Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

1. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации

Задания для самостоятельной работы

Задания по теме № 1 «Математический аппарат термодинамики»:

1.Используя метод якобианов, показать, что:
$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \frac{T}{C_p}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$, $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_s = -\frac{T}{C_v}\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v$, $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_v = \frac{C_v}{T}\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_v$, $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_p = \frac{C_p}{T}\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p$,
$\left(\frac{\partial u}{\partial V}\right)_T = -C_v\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_s - P$.

2.Для реального газа с уравнением состояния Ван-дер-Ваальса:
$(P + a/V^2)(V - b) = RT$, определить:
-энтропию S,
-внутреннюю энергию u,
-коэффициент теплового расширения $\alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$,
-разность теплоёмкостей $C_p - C_v$,
-уравнение адиабаты,
-работу газа при изотермическом расширении.

3.Используя метод термодинамических потенциалов, получить четыре соотношения Максвелла:
$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_s = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_v$, $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p$, $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_T$, $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_v = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_T$.

4.Используя неравенство Клаузиуса, показать, что для любого процесса энтропия изолированной системы не убывает.

Задания по теме № 2 «Третье начало термодинамики. Условия термодинамического равновесия»:

1.Рассчитать изменение энтропии при процессах:
-смешивание двух порций воды с разными температурами;
-опускание нагретого тела в холодную воду;
-смешивание двух порций идеального газа;
-смешивание двух порций разных идеальных газов.

2.Исследовать особенности системы, описываемой уравнением состояния Ван-дер-Вальса, вблизи её критической температуры. Исследовать зависимость давления и скрытой теплоты перехода от жидкой к газообразной фазе от температуры в малой окрестности критической точки.

3.На примере простейшей реакции: $\nu_1 A_1 + \nu_2 A_2 = \nu_3 A_3$, проходящей при P=const, T=const, получить условие равновесия в этой реакции трёх реагирующих веществ. Считать, что все три вещества-разреженные газы.

4.Показать, что из III начала термодинамики (теоремы Нернста- Планка) следует недостижимость абсолютного нуля температуры.

Задания по теме № 3 «Термодинамические системы во внешних полях»:

1.Намагниченность идеального парамагнетика определяется законом Кюри, а плотность его энергии: $\varepsilon = aT^4$, где а-константа.

Найти производную $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_S$ и определить величину уменьшения температуры (охлаждения) при адиабатическом отключении магнитного поля.

2.Конденсатор ёмкости C заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(T)$. В первом случае конденсатор подключён к источнику тока, во втором случае заряжен до ЭДС источника и отключён от него. Найти разность теплоёмкостей $C_Q - C_u$ для этих двух случаев.

Задания по теме № 4 «Применение классической статистической физики к равновесным процессам»:

1.Вычислить фазовый объём и энтропию равновесной системы из N тождественных частиц одноатомного идеального газа.

2.Для системы из N тождественных частиц идеального газа вычислить:

-статсумму Z,

-свободную энергию F,

-энтропию S и давление P,

-теплоёмкости C_p, C_v и их разность $C_p - C_v$,

-внутреннюю энергию газа u.

3.Вычислить внутреннюю энергию газа u системы из N одномерных тождественных осцилляторов (частоты ω).

4.Вычислить намагниченность и магнитную восприимчивость системы N невзаимодействующих ротаторов (с магнитным моментом μ вдоль оси ротатора и моментом инерции I).

Задания по теме № 5 «Принципы квантовой статистической физики»:

1.Вычислить статсумму Z, свободную энергию F, внутреннюю энергию u и энтропию S системы из N независимых квантовых осцилляторов частоты ω.

2.Найти зависимость μ(T) химического потенциала сильно вырожденного ферми-газа от температуры. Оценить химический потенциал лития (μ(0)=3,5 эВ) при комнатной температуре.

3.Оценить температуру бозе-конденсации в жидком He_2^4. Считать плотность жидкого гелия $\rho \approx 0.12$ г/см^3 постоянной.

4.Показать, что термическое и калорическое уравнения состояния сильно вырожденного нерелятивистского ферми-газа имеют вид:

$P = Kn^{5/3}, \quad P = {}^{2}/_{3}\,\varepsilon.$

Задания по теме № 6 «Теория флуктуаций. Броуновское движение»:

1.Рассчитать флуктуацию плотности тока термоэлектронной эмиссии (дробовой эффект) при среднем значении тока $\bar{j} = e\bar{n}$.

2.Оценить $\overline{(\Delta n)^2}$ для электронного газа в металле при комнатной температуре.

3.Определить среднее расстояние, на которое продиффундирует газ из больших (по сравнению с молекулами жидкости) молекул, выпущенный из точечного источника в жидкость. Радиус молекулы газа r, температура жидкости T, коэффициент вязкости η.

Контрольная работа №1 (примеры заданий)

1. Какое количество тепла Q получает идеальный газ в процессе политропического расширения от объёма V_1 до объёма V_2 если начальное давление газа было p_1, а показатель политропы равен n.
2. Покажите, что адиабата не может пересекаться с изотермой более чем в одной точке.
3. Для реального газа с уравнением состояния Ван-дер-Ваальса: $(P + a/V^2)(V - b) = RT$, определить:
   -коэффициент теплового расширения $\alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$,
   -разность теплоёмкостей $C_p - C_v$,

Контрольная работа №2 (примеры заданий)

1. Найти число молекул, имеющих заданное значение компонент скорости вдоль некоторой оси $v_{\parallel}$ и в перпендикулярном направлении $v_{\perp}$
2. Разреженный газ находится в сосуде объёмом V при давлении **p**, Предполагая, что молекулы газа имеют максвелловское распределение по скоростям, вычислить скорость истечения газа в вакуум из небольшого отверстия в сосуде площадью S.
3. Для идеального одноатомного газа, состоящего из N тождественных частиц вычислить термодинамические величины F, p.

Критерии оценивания решения задач контрольной работы и заданий для самостоятельной работы

Показатели	Критерии
Понимание условия задачи	– Краткая запись условия. – Использование физической символики. – Запись единиц измерения и перевод их в СИ – Хорошее оформление работы, четкие рисунки и чертежи. – Нахождение и запись необходимых табличных и дополнительных данных.
План решения задачи	– Обоснование выбора физических формул для решения. – Рациональный способ решения – Запись формул
Осуществление решения	– Вывод расчетных(ой) формул(ы), решение задачи в общем виде – Математические операции с единицами измерения физических величин, вычисления
Правильность решения задачи	– Краткое объяснение решения. – Анализ полученных результатов

Шкала оценивания:
0 баллов – полное отсутствие критерия;
1 балл – частичное выполнение критерия;
2 балла – полное выполнение критерия

Суммируются баллы за каждую задачу.

Оценка проставляется по количеству набранных баллов:
менее 60% от максимально возможного количества баллов - неудовлетворительно,
60-75% от максимально возможного количества баллов - удовлетворительно,
76-85% от максимально возможного количества баллов - хорошо,
86-100% от максимально возможного количества баллов – отлично.

2 Список вопросов и (или) заданий для проведения итоговой аттестации

Список вопросов к экзамену

Термодинамика

1. Введение в термодинамику. Термодинамическая система и термодинамические параметры. Основные постулаты термодинамики.
2. Первое начало термодинамики. Теплоемкость.
3. Термическое и калорическое уравнения состояния системы. Уравнения состояния некоторых простых систем.
4. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
5. Применение первого начала термодинамики к химическим процессам (Закон Гесса). Распространение звука в газах.
6. Обратимые и необратимые процессы и циклы. Обратимая машина Карно.
7. Второе начало термодинамики. Теорема Карно-Клаузиуса.
8. Интеграл Клаузиуса. Энтропия. Основное уравнение термодинамики.
9. Неравенство Клаузиуса для произвольного цикла. Границы применимости второго начала термодинамики.
10. Методы термодинамики. Метод круговых циклов. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры.
11. Метод термодинамических потенциалов. Уравнения Максвелла.
12. Метод детерминантов Якоби.
13. Термодинамические свойства смеси идеальных газов. Парадокс Гиббса.
14. Связь термического и калорического уравнений состояния системы. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса.
15. Эффект Джоуля-Томсона. Ожижение газов.
16. Общие условия термодинамического равновесия.
17. Равновесие в гомогенной системе. Условия химического равновесия. Закон действующих масс.
18. Закон «разведения» Оствальда.
19. Условия термодинамического равновесия в гетерогенной системе. Правило фаз Гиббса.
20. Термодинамические неравенства.
21. Принцип Ле-Шателье и Ле-Шателье-Брауна.
22. Общая теория фазовых превращений. Фазовые переходы первого рода.
23. Теория фазовых переходов второго рада. Уравнения Эренфеста.
24. Тепловая теорема Нернста. Следствия третьего начала термодинамики.
25. Термодинамические системы при отрицательных абсолютных температурах.
26. Условия термодинамического равновесия систем во внешних потенциальных полях. Электрохимический потенциал.

Статистическая физика

27. Предмет и задачи статистической физики. Вероятностное описание термодинамических систем. Функция распределения и матрица плотности.
28. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема.
29. Уравнение Лиувилля. Свойства функции распределения.
30. Основные постулаты статистической физики. Эргодическая гипотеза.
31. Постулат о виде функции распределения микроканонического ансамбля.
32. Канонический ансамбль. Связь с термодинамикой.
33. Связь канонического распределения с микроканоническим.
34. Вычисление свободной энергии идеального газа. Парадокс Гиббса.

35. Распределение Максвелла-Больцмана.
36. Идеальный газ в поле силы тяжести и в гравитационном поле.
37. Экранирование поля примесей в полупроводниках.
38. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Теорема о вириале.
39. Применение теоремы о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теоремы о вириале к конкретным системам (линейный гармонический и ангармонический осциллятор, закон Дюлонга-Пти).
40. Большой канонический ансамбль.
41. Основы квантовой статистической физики. Чистые и смешанные ансамбли. Матрица плотности.
42. Микроканонический ансамбль идеального ферми-газа.
43. Микроканонический ансамбль идеального бозе-газа.
44. Идеальный квантовый газ. Большой канонический ансамбль.
45. Свободный электронный газ в металлах при абсолютном нуле температуры.
46. Электронно-дырочный газ в полупроводниках. Определение концентрации свободных электронов и дырок в полупроводнике.
47. Фотоны. Тепловое излучение абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана и формула Планка.
48. Фононы. Теория теплоемкости твердых тел по Дебаю.
49.Теория флуктуаций. Вычисление квадратичных флуктуаций по методу Гиббса.
50. Квазитермодинамическая теория флуктуаций в изолированных и замкнутых системах.
51. Броуновское движение. Вычисление квадратичных отклонений броуновской частицы.
52. Автокорреляционная функция.
53. Спектральная характеристика. Соотношение Винера-Хинчина.

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

3. Описание процедуры выставления оценки

В экзаменационные билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом статистической физики и термодинамики; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию статистической физики и термодинамики.

Оценка «Хорошо» выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагается в терминах статистической физики и термодинамики, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины
«Термодинамика и статистическая физика»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Курс «Термодинамика и статистическая физика» посвящен изложению основ термодинамики и статистической физики посредством обобщения и развития идей классической теории поля и квантовой механики. Основной задачей данного курса является обучение студентов законами и подходами к изучению систем из большого числа частиц и полей.

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика» являются лекции, причем в достаточно большом объеме. По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с аппаратом термодинамики и статистической физики.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы термодинамики и статистической физики. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с аппаратом термодинамики и статистической физики, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде контрольной работы в 7-ом семестре и самостоятельных работ (в аудитории) в обоих семестрах изучения дисциплины.

В конце первого семестра изучения дисциплины студенты сдают зачет, в конце всего курса – экзамен. Зачет по итогам первого семестра выставляется по результатам самостоятельной работы и краткого собеседования по ней. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Термодинамика и статистическая физика» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет и экзамен по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.