



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра теоретической физики**

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/Н.М. Буднев

«31» марта 2022 г.



### Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.О.15.04 Термодинамика и статистическая физика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол №33 от «31» марта 2022 г.

Председатель



Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №6

От «03» марта 2022 г.

И.о. зав. кафедрой



С.В. Ловцов

Иркутск 2022 г.

## Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля).....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	4
4.3. Содержание учебного материала.....	5
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	7
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	8
а) список литературы.....	8
б) периодические издания.....	9
в) список авторских методических разработок.....	9
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	9
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	9
VII. Образовательные технологии.....	10
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	10
Приложение: фонд оценочных средств	

## **I. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Термодинамика и статистическая физика» является усвоение основных идей и методов равновесной термодинамики и теории равновесных квантовых и классических статистических ансамблей Гиббса и приобретение навыков их применения к конкретным физическим системам при низких и высоких температурах, а также усвоение основных физических представлений и математических идей, лежащих в основе этих методов; приобретение навыков их применения к описанию конкретных физических процессов и к вычислению экспериментально наблюдаемых характеристик равновесных систем.

Данный курс призван решать следующие задачи:

- развитие представлений о трех важнейших ансамблях Гиббса: микроканоническом, каноническом и большом каноническом, об эквивалентности различных равновесных ансамблей, о связи между энтропией и вероятностью и о термодинамической теории флуктуаций;
- овладение приемами предельного перехода от квантовых статистических ансамблей к классическому (больцмановское приближение) и связанных с ними различий в способах учета квантовомеханической тождественности частиц;
- формирование умений и навыков самостоятельного расчета равновесных процессов и характеристик равновесных систем.

## **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Термодинамика и статистическая физика является обязательной для изучения дисциплиной по данному профилю. При изучении курса «Термодинамика и статистическая физика» используются знания, приобретенные при изучении всех без исключения предыдущих математических и физических курсов: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теоретическая механика», «Линейные и нелинейные уравнения физики», «Электродинамика», «Квантовая теория».

Данный курс представляет собой теоретическую основу для последующих разделов курса теоретической физики: «Физика сплошных сред», «Физическая кинетика», «Физика конденсированного состояния», «Введение в квантовую теорию поля», «Квантовая теория излучения»

## **III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)**

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине , соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности
Индикаторы компетенции	ИДК опк 1.1 Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности принципы
Результаты обучения	Знает: основные уравнения и методы равновесной термодинамики, основные законы равновесной термодинамики и теории равновесных квантовых и классических статистических ансамблей Гиббса. Умеет: применять эти методы для решения задач из различных разделов равновесной термодинамики и статистической физики, применять методы равновесной термодинамики для решения конкретных задач, используя адекватные математические модели и приближения. Владеет: навыками вычисления основных термодинамических характеристик, навыками вычисления основных термодинамических уравнений состояния равновесных статистических систем.

#### **IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)**

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов, в том числе 137 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 54 часа.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

#### **4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Разде л дисц ипли ны/те мы	С е м е с т р	Вс ег о ча с т р	Из них практ ическ ая подго товка обуча ющи хся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся , практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточно й аттестации (по семестрам)	
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-12	6	180	54	54	54	1	17	Практическое задание; экзаменацион ные задачи
<b>Итого:</b>			180	54	54	54	1	17	

#### **4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно- методическое обеспечение самостоятельн ой работы
		Вид самостоятельн ой работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	Тема 1-12	Задание в виде задачи	После пройденных тем	17	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительно й литературы по теме практических занятий; Образовательн ые ресурсы, до-ступные по логину и паролю, предоставляем ым Научной библиотекой ИГУ.

## **4.3. Содержание учебного материала**

### **Содержание разделов и тем дисциплины**

#### **Раздел 1. Термодинамика**

##### **Тема 1. Начала термодинамики**

Работа и теплота. I начало термодинамики. II начало термодинамики для квазистатических процессов: формулировки Томсона, Клаузиуса, Каратаедори. Энтропия и абсолютная температура. III начало термодинамики для нестатических (необратимых) процессов. Основное уравнение и основное неравенство термодинамики. IV начало термодинамики (закон Нернста).

##### **Тема 2. Термодинамические потенциалы**

Основные термодинамические потенциалы: адиабатический  $U(S,V,N)$ , свободная энергия  $F(T,V,N)=U-TS$ , энталпия  $H(S,P,N)=U+PV$ , потенциал Гиббса  $\Phi(T,P,N)=F+PV$ , химический  $\tilde{\mathcal{M}}(T, P)$  и большой потенциал  $J(T,V,\tilde{\mathcal{M}})=F-\Phi= -PV$ . Уравнение Гиббса-Дюгема. Общие условия устойчивости термодинамического равновесия, термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье-Брауна. Условия устойчивости для однородных систем. Правило фаз Гиббса. Закон действующих масс.

##### **Тема 3. Фазовые переходы**

Условия равновесия для гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы в однокомпонентных системах. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Уравнения Эренфеста-Кеезома. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Фазовый переход металла из нормального в сверхпроводящее состояние.

#### **Раздел 2. Статистическая физика.**

##### **Тема 4. Ансамбль в статистической механике**

Классический статистический ансамбль: фазовое пространство и функция распределения классического ансамбля, теорема Лиувилля, уравнение Лиувилля. Основной постулат статистической физики в картине Гамильтона и Лиувилля. Необратимость и возвратная теорема Пуанкаре – Цермело. Квантовый ансамбль: статистический оператор (матрица плотности), уравнение фон Неймана. Основной постулат квантовой статистической физики.

##### **Тема 5. Распределения Гиббса**

Функции распределения равновесных статистических систем.

##### **Микроканоническое распределение Гиббса**

Принцип (Толмена) равных априорных вероятностей для квантовой изолированной системы. Статистический вес и энтропия системы. Квазиклассическое приближение и вычисление термодинамических величин. Вероятность и энтропия (как мера неопределенности состояния системы). Вычисление термодинамических величин.

**Каноническое распределение Гиббса для закрытой системы в термостате** Каноническая статистическая сумма (интеграл) и ее связь со свободной энергией системы. Вычисление термодинамических величин. Давление как "отклик" системы на изменение объема. Квазиклассическое приближение.

##### **Большой канонический ансамбль для открытой системы в термостате**

Статистический оператор для систем с переменным числом частиц. Вычисление термодинамических величин с помощью большого канонического распределения Гиббса. Теорема Нернста.

##### **Тема 6. Идеальные системы массивных частиц**

Идеальные системы в Больцмановском приближении. Квазиклассическое приближение для поступательных степеней свободы. Уравнения состояния Больцмановского газа. Распределение Максвелла—Больцмана как одночастичное распределение Гиббса. Теорема о средней энергии, приходящейся на степень свободы Больцмановской системы. Внутренние степени свободы. Характеристическая температура, «замороженные» степени свободы. Вклад вращений и колебаний на примере двухатомной молекулы. Температурная зависимость теплоемкости газа многоатомных молекул. Степень ионизации газа, формула Саха. Идеальные системы бозонов и фермионов. Представление чисел заполнения. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-

Дирака. Распределение Максвелла-Больцмана как предельный случай квантовой статистики. Уравнения состояния идеального квантового газа. Параметр вырождения квантовой системы  $\delta = (n / g_s) (h^2 / 2\pi mkT)^{3/2}$ , критерий применимости большинственного приближения. Поправки к давлению большинственного газа, обусловленные квантовой статистикой. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Химический потенциал и теплоемкость вырожденного бозе-газа вблизи критической точки.

### **Тема 7. Флуктуации термодинамических величин**

Эквивалентность равновесных ансамблей. Флуктуации термодинамических величин: энергии и числа частиц. Флуктуации чисел заполнения в ферми- и бозе-системах. Термодинамическая теория флуктуаций.

### **Тема 8. Излучение абсолютно черного тела**

Закон Планка для спектральной плотности излучения абсолютно черного тела. Уравнения состояния фотонного газа. Два классических предела закона Планка.

### **Тема 9. Теория теплоемкости твердого тела**

Решеточная теплоемкость твердого тела. Акустические и оптические ветви колебаний решетки. Фононы. Теория Эйнштейна и теория Дебая теплоемкости твердого тела. Концепция квазичастиц.

### **Тема 10. Свойства вырожденного и невырожденного ферми-газа**

Ферми-газ при  $T=0K$ , уровень Ферми, температура Ферми. Электронная теплоемкость металлов при  $T \ll T_F$ . Электроны в чистом полупроводнике.

### **Тема 11. Магнетизм**

Магнитные свойства электронного газа: параметризм Паули и диамагнетизм Ландау. Локализованные спины. Ферромагнетизм и "молекулярное" поле Вейсса. Обменное взаимодействие Гейзенберга. Домены. Температура Кюри.

### **Тема 12. Неидеальный классический газ**

Конфигурационная статистическая сумма. Теорема вириала в статистической механике. Приближенный учет парного взаимодействия молекул газа. Уравнение состояния слабонеидеального газа. Вириальное разложение.

#### **4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

Раздел 1. Темы 1--3: (см. [http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/seminar\\_t.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/seminar_t.pdf))

- 1) Первое начало термодинамики (для реального процесса), работа, теплота, политропические процессы.  $T, P, \rho$ , в различных моделях атмосферы. (2ч)
- 2) Второе начало (для виртуального обратимого процесса и/или равновесного состояния) и его следствия. Энтропия и ее вычисление, к.п.д. тепловых машин, Метод якобианов. (2ч)
- 3) Неравновесные процессы, Гей-Люс. Дж.-Томп. Термодинамические потенциалы  $U$ ,  $H$ . Теорема Нернста. (2ч)
- 4) Потенциалы Гельмгольца и Гиббса. Излучение. Фазовые переходы. Поверхность раздела. (2ч)
- 5) Диэлектрики. Магнетики. Стержни. Ленты. Химические реакции, растворы. (2ч)

Раздел 2. Темы 4—12: (см. [http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/prakt\\_sp.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/prakt_sp.pdf))

- 6) Распределения вероятностей. Условная вероятность. Распределения Пуассона и Гаусса. Моменты распределений. Характеристическая функция. (2ч)
- 7) Микроканоническое распределение. Фазовый объем: классический идеальный газ и осциллятор. Статистический вес неравновесного состояния системы спинов  $1/2$ , как равновесного во внешнем магнитном поле для ансамбля двухуровневой системы. (2ч)
- 8) Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма. Осцилляторы. Двухуровневая система с вырождением. Вероятность микросостояния идеального газа с температурой  $T$ . (2ч)
- 9) Системы с переменным числом частиц. Большое распределение Гиббса. (2ч)

- 10) Распределение Максвелла в d-мерии. Среднее число столкновений, длина пробега. Классическая формула Ричардсона. (2ч)
- 11) Распределения Больцмана. Системы во внешнем поле. (2ч)
- 12) Распределения Больцмана. Теоремы о равнораспределении и вириале. (2ч)
- 13) Распределения Больцмана. Классические и квантовые магнитные моменты в магнитном поле. Функции Ланжевена и Бриллюэна. Восприимчивость и теплоемкость. Классический предел. Одномерная модель Изинга. (2ч)
- 14) Термодинамика идеальных Ферми- и Бозе- газов в d-мерии,  $\varepsilon(p) = ap^d$ . Бозе-конденсация, теплоемкость Дебая, химпотенциал Ферми-газа в d=2. Квантовая формула Ричардсона. (2ч)
- 15) Распределения Ферми из принципа Паули и гипотезы молекулярного хаоса. Излучение черного тела. Формула Планка в среде. (2ч)
- 16) Релятивистский вырожденный электронный газ, равновесие нейтронной звезды. Флуктуации термодинамических величин. Энтропия как функция чисел заполнения. Собственные полупроводники. (4ч)
- 17) Ионизация как термализация. Статистический вес и энтропия неравновесных квантовых газов с группами  $Gk >> 1$  (почти) вырожденных состояний с энергией  $E_k$  и их неравновесные и равновесные числа заполнения. Разность магнитных восприимчивостей при фиксированных  $M$  и  $N$ . Зависимость химпотенциала  $\mu$  от магнитного поля, полная намагниченность и функция Ланжевена магнетика в больцмановском приближении. (4ч).

#### **4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)**

№ нед.	Раздел	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
	Термодинамика <u>Темы 1-3</u>	Внеаудиторное решение задач	Дом. Зад. и <b>Задание 1</b> <a href="http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/job_1.pdf">http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/job_1.pdf</a>	Основная и дополнительная	7
	Статистическая физика <u>Темы 4--12</u>	Внеаудиторное решение задач	Дом. Зад. и <b>Задание 2</b> <a href="http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/job_2.pdf">http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/job_2.pdf</a>	Основная и дополнительная	10

#### **4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов**

*Раздел 1, Темы 1--3:* Своевременное решение домашних заданий указанных в планах. *Раздел 2, Темы 4—12:* Своевременное решение домашних заданий указанных в планах. Своевременное выполнение и сдача двух семестровых заданий.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**

Курсовые не предусмотрены.

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) список литературы

#### Основная литература

1. **Ансельм, Андрей Иванович.** Основы статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. И. Ансельм. - Москва : Лань, 2007. - 423, [3] с. : ил. - (Учебники для вузов : специальная литература) (Классическая учебная литература по физике) (Лучшие классические учебники). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ.

2. **Коткин, Глеб Леонидович.** Лекции по статистической физике. учеб. пособие / Г.Л. Коткин. - Москва – Ижевск, : R&C Dynamics, 2006. 190 с. (20 экз)

3. **Коренблит, Сергей Эммануилович.** Конспект лекций по статистической физике [Текст] : учеб. пособие / С. Э. Коренблит, С. И. Синеговский ; Фед. агентство по образованию; Иркут. гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2005. - 180 с. ; 28 см. - Библиогр.: с. 178-180. (100 экз)

4. **Коренблит, Сергей Эммануилович.** Конспект лекций по статистической физике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Э. Коренблит, С. И. Синеговский. – 2-е изд. -- Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. - Электрон. текстовые дан. - Иркутск : ИГУ, 2015. Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. (2005 cd-rom)

5. **Коренблит, Сергей Эммануилович.** Конспект лекций по термодинамике : Учеб. пособие / С. Э. Коренблит ; Иркутский гос. ун-т. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2007. - 67 с. ; 30 см. - Библиогр.: с. 66-67. (100 экз)

6. **Коренблит, Сергей Эммануилович.** Конспект лекций по термодинамике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Э. Коренблит. - ЭВК. - Иркутск Изд-во: ИГУ, 2007.-. 67 с- Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.

7. **Коренблит, Сергей Эммануилович.** Двенадцать задач по экологической физике [Текст] : задачник / С. Э. Коренблит ; Иркутский гос. ун-т, Физ. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - 56 с. ; 24 см. (50 экз)

8. **Коренблит, Сергей Эммануилович.** Двенадцать задач по экологической физике [Электронный ресурс]: задачник / С. Э. Коренблит. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.

#### Дополнительная литература

1. **Румер, Ю.Б.** Термодинамика,статистическая физика и кинетика : Учеб.пособие для студ.физ.спец.вузов / Ю.Б. Румер, М.С. Рывкин. – 3-е изд.,стер.. – Новосибирск : Изд-во НГУ,Сиб. унив. изд-во, 1977, 2001. (55 экз)

2. **Базаров, И. П.** Задачи по термодинамике и статистической физике : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. и спец. "Физика" / И. П. Базаров, Э. В. Геворкян, П. Н. Николаев. – 2-е изд.. – М. : Ленанд, 2014. (1 экз)

3. **Базаров, И. П.** Термодинамика [Текст] : [Учеб.для ун-тов по спец."Физика"] / И.П. Базаров. - 4-е изд.,перераб.и доп. - М. : Высш. шк., 1983, 1991. (7 экз)

4. **Балеску, Раду.** Равновесная и неравновесная статистическая механика : в 2 т. / Р. Балеску ; Пер. с англ. под ред. Д. Н. Зубарева. – М. : Мир. – 1978. Т.1., Т.2. – 1978.: а-ил.. – Пер. изд.: Equilibrium and nonequilibrium statistical mechanics / Balescu, Radu, 1975. (11 экз)

5. **Задачи по термодинамике** и статистической физике : Пер.с англ. / Под ред.П. Ландсберга. – М. : Мир, 1974. – 640 с. (5 экз)

6. **Ландау, Л. Д.** Теоретическая физика : учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов: В 10т. / Л.Д.Ландау,Е.М. Лифшиц. - 5-е изд.,стер. - М. : Физматлит. Т.5 : Статистическая физика.Ч.1. - 5-е изд.,стер. -, 1976, 2001. - 616 с. (49 экз)

7. **Квасников, И. А.** Термодинамика и статистическая физика. Т. 2: Теория равновесных. систем: Учеб. пособие / И. А. Квасников. – М. : Изд-во МГУ, 1991,2003,2010. – 793 с. : а-ил. (18 экз)

- 8. Леонтович, М. А.** Введение в термодинамику. Статистическая физика : учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов / М. А. Леонтович. – М. : Наука, 1983. (3 экз)
- 8. Оришич, Т.И.** Сборник задач с решениями по термодинамике и статистической физике / Т.И. Оришич, Л.Г. Филиппова. – Новосибирск : НГУ, 1993. – 93 с. (1 экз)
- 9. Филатова, Е. С.** Сборник задач с решениями по термодинамике и статистической физике : учеб. пособие / Е. С. Филатова, Л. Г. Филиппова ; Новосиб. гос. ун-т им. Ленинского комсомола. – Новосибирск : НГУ, 1981. – 87 с. 86. (1 экз)
- 10. Сборник задач по теоретической физике** [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов / Л. Г. **Гречко** [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1984. (2 экз)
- 11. Базаров, И. П.** Термодинамика и статистическая физика : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. и спец. "Физика" / И. П. Базаров, Э. В. Геворкян, П. Н. Nikolaev. – 2-е изд.. – М. : Изд-во МГУ, 1986 (10 экз)

**б) периодические издания**

- нет.

**в) список авторских методических разработок**

- №3,4,5,6,7,8 из списка литературы

**г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Основные материалы по курсу доступны на персональной странице

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/korenb.html](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/korenb.html) , в частности:

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/trd.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/trd.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/tdsph.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/tdsph.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/ah.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/ah.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/seminar\\_t.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/seminar_t.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/prakt\\_sp.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/prakt_sp.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/job\\_1.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/job_1.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/job\\_2.pdf](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/job_2.pdf)

[http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/korenb/TDSPh/vopros02.htm](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/vopros02.htm)

Литература доступна также на <http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

<https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;

<http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;

<http://rucont.ru> - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека,

**VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Аудитория минимум с двумя досками и мел. Доступ к ресурсам ИГУ из сети Интернет. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук.

## **VII. Образовательные технологии**

Лекция, практические занятия, индивидуальная работа при сдаче домашних и семестровых заданий.

## **VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Формы текущего контроля: контрольная работа по термодинамике; прием двух семестровых заданий. Форма промежуточного контроля – экзамен.

### **8.1. Варианты контрольных вопросов по термодинамике:**

- (1) Найти магнитную восприимчивость  $\chi_m(T)$  магнетика с  $M = \chi_m(T)H$  во внешнем поле  $H$ , если его теплоемкость  $C_M$  не зависит от намагниченности  $M$ .
- (2) Найти теплоемкости процесса  $\varphi(P, T) = const$ .
- (3) Найти термическое уравнение состояния среды, для сжимаемости  $K_T$ , и термического коэффициента давления  $\beta_V$  которой:  $VK_T = 1/\omega(T)$ ,  $P\beta_V = B(V)$ .

**8.2.** Задачи из еженедельных домашних заданий, указанных в планах семинаров, и двух семестровых заданий.

### **8.3. Примерный список вопросов к экзамену**

#### **Начала термодинамики**

Работа и теплота. I начало термодинамики. II начало термодинамики для квазистатических процессов: формулировки Томсона, Клаузиуса, Каратаедори. Энтропия и абсолютная температура. II начало термодинамики для нестатических (необратимых) процессов. Основное уравнение и основное неравенство термодинамики. III начало термодинамики (закон Нернста).

#### **Термодинамические потенциалы**

Основные термодинамические потенциалы: адиабатический  $U(S, V, N)$ , свободная энергия  $F(T, V, N) = U - TS$ , энталпия  $H(S, P, N) = U + PV$ , потенциал Гиббса  $\Phi(T, P, N) = F + PV$ , химический  $\tilde{J}(T, P)$  и большой потенциал  $J(T, V, \tilde{J}) = F - \Phi = -PV$ . Уравнение Гиббса-Дюгема. Общие условия устойчивости термодинамического равновесия, термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье-Брауна. Условия устойчивости для однородных систем, закон действующих масс.

#### **Фазовые переходы**

Условия равновесия для гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы в однокомпонентных системах. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Уравнения Эренфеста-Кеезома. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Фазовый переход металла из нормального в сверхпроводящее состояние.

#### **Ансамбль в статистической механике**

Статистический ансамбль, фазовое пространство и функция распределения. Классический ансамбль, теорема Лиувилля, уравнение Лиувилля. Квантовый ансамбль, статистический оператор, матрица плотности, уравнение фон Неймана. Основной постулат статистической физики.

#### **Распределения Гиббса.**

Равновесные статистические системы. Принцип (Толмена) равных априорных вероятностей для изолированной системы. Микроканоническое распределение Гиббса. Статистический вес и энтропия системы. Квазиклассическое приближение для микроканонического распределения и вычисление термодинамических величин. Энтропия как мера неопределенности состояния системы. Каноническое распределение Гиббса для закрытой системы в термостате. Каноническая статистическая сумма (интеграл) и ее связь со свободной энергией системы. Давление как "отклик" системы на изменение объема. Открытая система в термостате. Большой канонический ансамбль. Статистический оператор для систем с переменным числом частиц. Вычисление термодинамических величин с помощью большого канонического распределения Гиббса. Теорема Нернста.

## **Идеальные системы массивных частиц**

Идеальные системы в больцмановском приближении. Квазиклассическое приближение для поступательных степеней свободы. Уравнения состояния бульцмановского газа. Распределение Максвелла-Больцмана как одночастичное распределение Гиббса. Теорема о равнораспределении и средней энергии, приходящейся на одну степень свободы бульцмановской системы. Внутренние степени свободы. Характеристическая температура, "замороженные" степени свободы. Вклад вращений и колебаний на примере двухатомной молекулы. Температурная зависимость теплоемкости газа многоатомных молекул. Степень ионизации газа, формула Саха. Идеальные системы бозонов и фермионов. Представление чисел заполнения. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Распределение Максвелла-Больцмана как предельный случай квантовой статистики. Эквивалентность равновесных ансамблей. Флуктуации энергии. Флуктуации полного числа частиц. Базовая формула вычисления флуктуаций основных термодинамических величин. Флуктуации чисел заполнения в ферми- и бозе-системах. Уравнения состояния идеального квантового газа. Параметр вырождения квантовой системы  $\delta = (n/g_s)(h^2/2\pi mkT)^{3/2}$ , критерий применимости бульцмановского приближения. Поправки к давлению бульцмановского газа, обусловленные квантовой статистикой. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Энергия, теплоемкость, давление вырожденного бозе-газа ниже критической температуры. Поведение химического потенциала вблизи критической температуры

## **Излучение абсолютно черного тела**

Закон Планка для спектральной плотности излучения абсолютно черного тела. Уравнения состояния фотонного газа. Два классических предела закона Планка.

## **Теория теплоемкости твердого тела**

Решеточная теплоемкость твердого тела. Акустические и оптические ветви колебаний решетки. Фононы. Теория Эйнштейна и теория Дебая теплоемкости твердого тела.

## **Свойства вырожденного ферми-газа**

Ферми-газ при  $T=0$  К, уровень Ферми, температура Ферми. Давление вырожденного ферми-газа. Электронная теплоемкость металлов при  $T \ll T_F$ .

## **Магнетизм**

Магнитные свойства электронного газа: парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Локализованные спины. Ферромагнетизм и "молекулярное" поле Вейса. Обменное взаимодействие Гейзенберга. Домены.

## **Слабонеидеальный классический газ**

Учет взаимодействия молекул. Вириал. Уравнение состояния слабонеидеального газа. Вириальное разложение.

### **8.4. Пример экзаменационного билета:**

1. II начало термодинамики для нестатических (необратимых) процессов. Время релаксации. Основное уравнение и основное неравенство термодинамики.
2. Ферми-газ при  $T=0$  К, энергия Ферми, температура Ферми. Внутренняя энергия и давление абсолютно вырожденного ферми-газа.
3. Для известного термического уравнения состояния идеального вырожденного бозе-газа ( $T < TB$ ) найти его энтропию  $S$  и теплоемкость  $Cv$ , как функции температуры  $T$  и объема  $V$ .

**Разработчики:**



профессор кафедры теоретической физики

С.Э. Коренблит

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики  
«03» марта 2022 г.

Протокол №6 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**