Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан

“26” апреля 2018 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.Б.11.4 Термодинамика и статистическая физика

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: Академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №14 от «26» апреля 2018 г.

Председатель _____ Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
Протокол №7
От «29» марта 2018 г.

Зав. кафедрой _____ С.В. Ловцов

Иркутск 2018 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля).....3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.....3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):.....3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы.....4
5. Содержание программы.....4
6. Темы семинарских занятий.....6
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....7
8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....8
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):.....9
10. Образовательные технологии:.....9
11. Оценочные средства (ОС):.....10
Приложение: фонд оценочных средств

1. 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.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Термодинамика и статистическая физика входит в базовую часть первого блока. 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»

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2: способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	***Знать:*** основные уравнения и методы равновесной термодинамики. ***Уметь:*** применять эти методы для решения задач из различных разделов равновесной термодинамики и статистической физики. ***Владеть****:* навыками вычисления основных термодинамических характеристик.
ОПК-3: способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	***Знать:*** основные законы равновесной термодинамики и теории равновесных квантовых и классических статистических ансамблей Гиббса. ***Уметь:*** применять методы равновесной термодинамики для решения конкретных задач, используя адекватные математические модели и приближения. ***Владеть****:* навыками вычисления основных термодинамических уравнений состояния равновесных статистических систем.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	108 / 3	108
В том числе:	-	-
Лекции	56 / 1,6	56
Практические занятия (ПЗ)	38 / 1,1	38
КСР	14/0,4	14
Самостоятельная работа (всего)	27 / 0,75	27
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	45 / 1,25	45
Контактная работа (всего)	111 / 3,1	111
Общая трудоемкость часы / зачетные единицы	**180/ 5**	**180/ 5**

5. Содержание программы

(см. также http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/statphys09.htm)

5.1 Общее содержание

Раздел 1, Термодинамика

Тема 1. Начала термодинамики

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

Тема 2. Термодинамические потенциалы

Основные термодинамические потенциалы: адиабатический $U(S,V,N)$, свободная энергия $F(T,V,N)=U--TS$, энтальпия $H(S,P,N)=U+PV$, потенциал Гиббса $\Phi(T,P,N)=F+PV$, химический $\mu(T, P)$ и большой потенциал $J(T,V,\mu)=F--\Phi= --PV$. 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 классической статистической физики в картине Гамильтона и Лиувиля. 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 больцмановского приближения. Поправки к давлению больцмановского 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 чсла 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 $T << T_F$. Электроны в чистом полупроводнике.

Тема 11. Магнетизм

Магнитные свойства электронного газа: парамагнетизм 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.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин						
1.	Физика сплошных сред	1	2	3	5	7	11	12
2.	Физическая кинетика	4	5	6	7	8	10	12
3.	Квантовая теория излучения	4	6	8	9	10		
4.	Введение в квантовую теорию поля	4	6	8	9	10		
5	Физика конденсирован. состояния	1-3	4-5	6	7-9	10	11	12

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ Разделы	Темы	Виды подготовки		Самост. работа	
		Лекции	Практические занятия	СРС	КСР
1.	Термодинамика Темы 1--3	12	10	7	6
2.	Статистическая физика Темы 4--12	44	28	20	8

6. Темы семинарских занятий

(ОПК-2,3):
Раздел 1, Темы 1--3: (см. http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/korenb/TDSPh/seminar_t.pdf)

1) Первое начало термодинамики (для реального процесса), работа, теплота, политропические процессы. Т, Р, ρ , 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)

6) Распределения вероятностей. Условная вероятность. Распределения Пуассона и Гаусса. Моменты распределений. Характеристическая функция. **(2ч)**
7) Микроканоническое распределение. Фазовый объем: классический идеальный гази осциллятор. Статистический вес неравновесного состояния системы спинов1/2, как равновесного во внешнем магнитном поле для ансамбля двухуровневой системы. **(2ч)**
8) Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма. Осцилляторы. Двухуровневая система с вырождением. Вероятность мАкроскосостояния идеального газа с температурой Т. **(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, $\varepsilon(p) = ap^l$. 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 *Ek* и их неравновесные и равновесные числа заполнения. Разность магнитных восприимчивостей при фиксированных μ и *N*. Зависимость химпотенциала μ от магнитного поля, полная намагниченность и функция Ланжевена магнетика в больцмановском приближении. **(4ч)**.

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Раздел	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
	Термодинамика Темы 1-3	Внеаудиторное решение задач	Дом. Зад. и **Задание 1** http:// www.pd.isu.ru/ sost/teor_phi/ korenb/TDSPh/ job_1.pdf	Основная и дополнительная	7
	Статистическая физика Темы 4--12	Внеаудиторное решение задач	Дом. Зад. и **Задание 2** http:// www.pd.isu.ru/ sost/teor_phi/ korenb/TDSPh/ job_2.pdf	Основная и дополнительная	20

6.2. 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.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые не предусмотрены.

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

а) Основная литература

1. Ансельм, Андрей Иванович. Основы статистической физики и термодинамики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. И. Ансельм. - Москва : Лань, 1973, 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**.

б) 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 mechanies / 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. Николаев. – 2-е изд.. – М. : Изд-во МГУ, 1986 (10 экз)

в) 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 , в частности:

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/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/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_2.pdf

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,

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

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

10. Образовательные технологии:

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

11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

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

11.1. 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 β_V которой: $VK_T = 1/\omega(T)$, $P\beta_V = B(V)$.

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

11.3. Примерный список вопросов к экзамену:

Начала термодинамики

Работа и теплота. I начало термодинамики. II начало термодинамики для квазистатических процессов: формулировки Томсона, Клаузиуса, Каратеодори. 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, энтальпия H(S,P,N)=U+PV, потенциал Гиббса Ф(T,P,N)=F+PV, химический μ(T, P) и большой потенциал J(T,V,μ)=F-Ф= -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 больцмановского газа. Распределение Максвелла- Больцмана как одночастичное распределение Гиббса. Теорема о равнораспределении и средней энергии, приходящейся на одну 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. Эквивалнентность равновесных ансамблей. Флуктуации энергии. Флуктуации полного числа часиц. Базовая формула вычисления флуктаций 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 больцмановского приближения. Поправки к давлению больцмановского 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 K, уровень Ферми, температура Ферми. Давление вырожденного ферми-газа. Электронная теплоемкость металлов при $T << T_F$.

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.

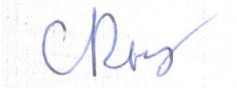
11.4. *Пример экзаменационного билета:*

1. II начало термодинамики для нестатических (необратимых) процессов. Время релаксации. Основное уравнение и основное неравенство термодинамики.

2. Ферми--газ при *T=0 K*, 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 рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«29» марта 2018 г. Протокол №7 Зав. Кафедрой С.В. Ловцов

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