

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.16.04 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
профессор, д.ф.-м.н. М.М.Коршунов
доцент, к.ф.-м.н. Ю.Н.Тогущова

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Сформировать у студентов знания об основных законах и свойствах термодинамики равновесных процессов, принципах статистической физики, термодинамических свойствах конденсированных сред, неидеальных статистических систем, случайных процессах и физической кинетики. В рамках курса предполагается изучить основные экспериментальные закономерности, лежащие в основе законов термодинамики, статистический метод описания классических и квантовых макроскопических систем, взаимосвязь законов термодинамики и статистической физики, неравновесную термодинамику и физическую кинетику, познакомить с основами физики взаимодействующих систем и методами их описания. Курс призван выработать навыки использования знаний и умений для моделирования физических явлений и проведения численных расчетов.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Познакомить студентов с основными моделями макроскопических систем, используемых в рамках термодинамики и статистической физики, и продемонстрировать действие физических законов, а также эффективность методов термодинамического и статистического описания равновесных и неравновесных процессов в макроскопических системах на примере данных моделей.

Рассмотреть основные экспериментальные закономерности термодинамических явлений, статистические методы описания свойств вещества, структуру и математическую форму основных уравнений статистической физики, равновесной и неравновесной термодинамики и физической кинетики, особенности их использования при описании различных явлений, а также методы описания кинетических явлений и способы нахождения обобщенных кинетических коэффициентов.

Раскрыть роль статистических закономерностей в физике конденсированных сред.

Рассмотреть основные методы экспериментального и теоретического исследования термодинамических явлений, использование термодинамических явлений в современных технологиях.

Проанализировать основные принципы моделирования термодинамических явлений, установить область применимости этих моделей, рассмотреть способы вычисления физических величин, характеризующих явления.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках;	
ОПК-1.1 Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные законы и свойства термодинамики равновесных процессов, принципы статистической физики, термодинамические свойства конденсированных сред, неидеальных статистических систем, случайных процессов и физической кинетики

ОПК-1.2 экспериментальные и теоретические методы исследований	Использует	уметь применять методы статистической физики в своей профессиональной деятельности
---	------------	--

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр	
		7	8
Общая трудоемкость дисциплины	7 (108)	3 (108)	4 (144)
Контактная работа с преподавателем:	4 (144)	2 (72)	2 (72)
занятия лекционного типа	2 (72)	1 (36)	1 (36)
практические занятия	2 (72)	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	2 (72)	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)	36	Зачёт	Экзаме н

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Термодинамическое описание макросистем					
1.	Лек	Объекты исследования термодинамики и стат. физики, цели каждой, взаимодополняемость и первичность. Температура. Энтропия. Работа.	2	7	
2.	Лек	Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Теплоёмкость. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Второе начало термодинамики. Аксиоматика термодинамики – три начала (и нулевое). Принцип Нернста (третье начало) и его следствия.	2	7	
3.	Лек	Термодинамические коэффициенты, соотношения между ними. Отсутствие взаимодействия молекул идеального газа на расстоянии. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса.	2	7	
4.	Лек	Процессы Гей-Люссака и Джоуля-Томпсона. Энтальпия. Термодинамический потенциал (потенциал Гиббса), метод термодинамических функций.	2	7	
5.	Лек	Политропические процессы. Поливариантные системы. Химический потенциал. Неравновесные процессы – рост энтропии, парадокс Гиббса.	2	7	
6.	Лек	Системы в электрических и магнитных полях: два способа наложения электрического поля, вычисление работы для каждого из способов, природа отличия выражений для работы. Способ измерения работы. Два способа наложения магнитного поля и соответствующие выражения для работы.	2	7	
7.	Лек	Симметричные свойства фазовых переходов 2-го рода, параметр порядка. Теория Ландау, скачок теплоёмкости. Связь скачков различных термодинамических коэффициентов друг с другом – уравнения Эренфеста.	2	7	
8.	Лек	Экстремальные свойства термодинамических функций. Термодинамические неравенства. Равновесие фаз. Фазовые переходы 1-го рода. Молярная теплота перехода, уравнение Клайперона-Клаузиуса. Равновесие 3-х фаз, тройная точка. Фазовые переходы 2-го рода.	2	7	
9.	Лек	Феноменологическое обобщение теории Ландау фазовых переходов 2-го рода, критические индексы.	2	7	
10.	Пр	Математическое введение	2	7	
11.	Пр	Квазистатические процессы	2	7	
12.	Пр	I закон термодинамики	2	7	
13.	Пр	II закон термодинамики	2	7	
14.	Пр	Термодинамические функции	2	7	
15.	Пр	III закон термодинамики (теорема Нернста)	2	7	
16.	Пр	Термодинамика стержней и магнетиков	2	7	
17.	Пр	Равновесие фаз	2	7	
18.	Пр	Контрольная работа 1	2	7	
19.	Ср	Самостоятельная работа	18	7	
Раздел 2. Основы статистической физики равновесных систем					
1.	Лек	Квантовые состояния, определения вырождения и энергии системы. Простейшая модель статистической системы – модель линейной цепочки невзаимодействующих спинов в отсутствие внешних полей.	2	7	

2.	Лек	Число состояний и степень вырождения. Резкий максимум функции степени вырождения (переход к распределению Гаусса). Энергия магнитной системы. Основное предположение статистической физики, замкнутость системы, вероятность, среднее по ансамблю.	2	7	
3.	Лек	Две системы в тепловом контакте. Определение энтропии и температуры. Третье начало термодинамики.	2	7	
4.	Лек	Аддитивность и возрастание энтропии, второе начало термодинамики. Магнитное охлаждение, восприимчивость, закон Кюри. Обобщённая энтропия. Две системы в диффузионном контакте. Химический потенциал.	2	7	
5.	Лек	Факторы Гиббса и Больцмана. Большая стат. сумма. Вычисление средних по ансамблю, число частиц и энергия. Случай постоянного числа частиц, стат. сумма. Отрицательные температуры.	2	7	
6.	Лек	Давление и термодинамическое тождество. Необратимые процессы. Определение энтропии по Больцману. Выражения для свободной энергии и большого термодинамического потенциала через стат. суммы. Свободная энергия Гиббса и энтальпия.	2	7	
7.	Лек	Принцип Паули, фермионы и бозоны. Получение функций распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Квантовая теория свободной частицы в ящике со стенками длиной L (одно- и трёхмерный случай).	2	7	
8.	Лек	Одноатомный идеальный газ. Классический режим. Химический потенциал, энергия, энтропия и уравнение Сакура-Тетроде. Давление и уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость. Малость флуктуаций числа частиц и энергии в макроскопической системе.	2	7	
9.	Лек	Свободная энергия и стат. сумма. Минимум свободной энергии при равновесии. Намагниченность магнитной системы со спиновым избытком $2m$, фазовый переход в ферромагнитное состояние при температуре Кюри. Свободная энергия и стат. сумма для идеального газа.	2	7	
10.	Пр	Элементы теории вероятностей	4	7	
11.	Пр	Распределение Максвелла	2	7	
12.	Пр	Распределение Больцмана	2	7	
13.	Пр	Распределение Гиббса	2	7	
14.	Пр	Квантовое каноническое распределение	2	7	
15.	Пр	Каноническое распределение. Квазиклассическое приближение	2	7	
16.	Пр	Теорема о вириале	2	7	
17.	Пр	Контрольная работа 2	2	7	
18.	Ср	Самостоятельная работа	18	7	

Раздел 3. Статистические распределения для квантовых газов и теория флуктуаций

1.	Лек	Применение распределения Ферми-Дирака. Вырожденный ферми-газ. Энергия Ферми. Плотность состояний (орбиталей) для трёхмерного, двумерного и одномерного случаев. Теплоемкость вырожденного ферми-газа, температура Ферми. Теплоемкость в металле.	4	8	
2.	Лек	Функция распределения Планка для фотонов. Плотность фотонных мод. Флуктуации числа фотонов.	6	8	
3.	Лек	Фононы в твёрдых телах, теория Дебая.	6	8	
4.	Лек	Описание фононов как квазичастиц.	4	8	
5.	Лек	Применение распределения Бозе-Эйнштейна. Физика бозонов. Жидкий гелий. Бозе-конденсация. Температурная зависимость теплоёмкости. Явление сверхтекучести.	4	8	
6.	Лек	Бозе-конденсация: вывод дисперсии квазичастиц для газа взаимодействующих бозонов методом Боголюбова.	4	8	
7.	Лек	Матрица плотности, чистые состояния, изменение со временем матрицы плотности. Квантовое уравнение Лиувилля.	4	8	

8.	Лек	Флуктуации, дисперсия, относительная флуктуация. Флуктуации энергии, объёма и числа частиц в T-V-N, T-P-N и T-V- μ системах. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации чисел заполнения в идеальном газе. Флуктуационный предел чувствительности приборов, формула Найквиста.	4	8	
9.	Пр	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля	4	8	
10.	Пр	Идеальный ферми-газ	4	8	
11.	Пр	Распределение Ферми-Дирака. Условие вырождения	4	8	
12.	Пр	Распределение Ферми-Дирака	4	8	
13.	Пр	Электронный газ в квантующем магнитном поле	4	8	
14.	Пр	Распределение Бозе-Эйнштейна. Фотонный газ	2	8	
15.	Пр	Конденсация Бозе-Эйнштейна	2	8	
16.	Пр	Распределение Бозе-Эйнштейна	2	8	
17.	Пр	Бозе-жидкость	2	8	
18.	Пр	Флуктуации термодинамических величин	2	8	
19.	Пр	Флуктуации энергии	2	8	
20.	Пр	Флуктуации числа частиц	2	8	
21.	Пр	Контрольная работа	2	8	
22.	Ср	Самостоятельная работа	36	8	
Раздел 4. Зачет					
1.	Зачёт	Зачет		7	
Раздел 5. Экзамен					
1.	Экзам ен	Экзамен	36	8	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: учебное пособие для вузов по специальности "Физика". - Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 1991. - 800 с..

2. Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: учебное пособие для студентов физических специальностей вузов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1972. - 400 с..

3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика: Т. 5. Статистическая физика: учебное пособие для физических специальностей университетов: в 10-ти т.. - Москва: Физматлит, 2005. - 616 с..

4. Киттель Ч., Капица С. П. Статистическая термодинамика: перевод с английского. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 336 с..

5. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: учеб. пособие. - Москва: Изд-во МГУ, 1986. - 309 с..

6. Кондратьев А. С., Райгородский П. А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории [Электронный ресурс]: учеб. пособие. - Москва: Физматлит, 2007. - 256 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2209 .

7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Лившиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика: Т. 9. Статистическая физика [Электронный ресурс]: в 10 томах : учебное пособие для физических специальностей университетов. - Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы [Физматлит], 1978. - 447 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0073326.pdf> .

8. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие для физических специальностей вузов: [в 5-ти т.]. - Москва: Физматлит, 2005. - 543 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0098967.pdf> .

9. Ландсберг П. Задачи по термодинамике и статистической физике: перевод с английского. - Москва: Мир, 1974. - 640 с..

10. Кубо Р. Статистическая механика: перевод с английского: современный курс с задачами и решениями. - Москва: Мир, 1967. - 452 с..

11. Фейнман Р. Ф., Зубарев Д. Н. Статистическая механика: курс лекций. - Москва: Мир, 1978. - 407 с.

12. Кубо Р., Ичимура Х., Усуи Ц., Хасизуме Н., Зубарев Д. Н., Плакида Н. М. Термодинамика: современный курс с задачами и решениями. - Москва: Мир, 1970. - 303 с..

13. Саранин В. А. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Глазов: ГППИ им. Короленко, 2006. - 60 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/118659> .

14. Тогошова Ю. Н., Коршунов М. М. Термодинамика и статистическая физика [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие [для практических занятий и самостоятельной работы студентов напр. 010700.62 «Физика» и спец. 010708.65 «Биохимическая физика»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-949134.pdf> .

15. Коршунов М.М., Тогошова Ю.Н. Статистическая физика [Электронный ресурс]: учебно-метод. материалы к изучению дисциплины для ...03.03.02 Физика, 03.03.02.01 Фундаментальная физика, 03.03.02.07 Биохимическая физика, 14.03.02 Ядерная физика и технологии, 16.03.01 Техническая физика, 28.03.01.02 Материалы микро- и наносистемной техники]. - Красноярск: СФУ, 2018. - – Режим доступа: <https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=17899> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.
2. Microsoft Office Professional Plus 2007 Russian Academic. Офисный пакет Microsoft Office.
3. Microsoft Windows Professional 8 Russian. Операционная система Windows.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>
2. Файловый архив для студентов <http://www.studfiles.ru>
3. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
4. Электронно-библиотечная система СФУ <http://bik.sfu-kras.ru/>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.16.04 Статистическая физика

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ОПК-1: Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках			
7,8	ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные законы и свойства термодинамики равновесных процессов, принципы статистической физики, термодинамические свойства конденсированных сред, неидеальных статистических систем, случайных процессов и физической кинетики	Контрольные работы Вопросы к зачету, экзамену, Реферат
7,8	ОПК-1.2: Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	уметь применять методы статистической физики в своей профессиональной деятельности	Контрольные работы Вопросы к зачету, экзамену, Реферат

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Тема: Термодинамика.

Контрольная работа №1

Вариант 1

1. Убедиться в том, что $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\frac{T}{C_V} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$.
2. Определите энтропию $S(P, T)$ тела, для которого справедливы следующие соотношения: $V = V_0[1 + \alpha(T - T_0)]$, $C_P = const$ (V_0, α, T_0 – постоянные).

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

- Используя первый закон термодинамики, покажите, что уравнение адиабаты газа Ван-дер-Ваальса в переменных V и T имеет вид: $T(V - b)RCV = const$.
- Покажите, что зависимость давления насыщенного пара от абсолютной температуры задается формулой $P(T) = AT^{-a\mu/R} \exp\left(-\frac{\lambda_0\mu}{RT}\right)$, если удельная теплота испарения равна $\lambda = \lambda_0 - aT$, где λ_0 , a , A – постоянные величины, μ – молярная масса. Пар можно считать идеальным газом, а удельным объемом жидкости можно пренебречь по сравнению с удельным объемом насыщенного пара.

Вариант 2

- Покажите, что для резиновой ленты $\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial l}{\partial T}\right)_f = 0$.
- Вычислите работу, совершаемую идеальным газом в процессе политропического расширения от объема V_1 до объема V_2 , если начальное давление равно P_1 , а показатель политропы равен n .
- Покажите, что разность молярных теплоемкостей C_p и C_v газа Ван-дер-Ваальса равна $\frac{R}{1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^3}}$.
- Докажите, что любой политропический процесс с идеальным газом, для которого показатель политропы n удовлетворяет неравенству $1 < n < \gamma$, характеризуется отрицательной теплоемкостью.

Тема: Статфизика классических систем.

Контрольная работа №2

Вариант 1

- Случайная величина x подчиняется закону распределения, для которого плотность вероятности $w(x)$ отлична от нуля лишь в области $x \in [0,1]$, где $w(x)$ задается прямой, проходящей через точки с координатами $(0, 0)$ и $(1, 2)$. Написать выражение для плотности распределения вероятности и найти среднеквадратичную относительную флуктуацию δx .
- Найти распределение dW молекул газа в вертикальном цилиндре радиуса R и высоты H , находящемся в однородном поле тяжести и вращающемся вокруг своей оси с угловой скоростью ω .
- Найти свободную энергию и уравнение состояния идеального одноатомного ультрарелятивистского газа, закон дисперсии которого $\varepsilon = cp$.

Вариант 2

1. Пользуясь теоремой о вириале и законом тяготения Ньютона $U = -G \frac{mM}{r}$, показать, что при кеплеровском движении планеты по эллипсу ее полная энергия отрицательна.
2. Вычислить наиболее вероятную энергию ε_H молекул идеального газа. Показать, что $\varepsilon_H \neq \frac{1}{2} m v_H^2$.
3. Получить энтропию и среднюю энергию для подсистемы – трехмерного квантового гармонического осциллятора, энергия которого $\varepsilon_n = \hbar\omega \left(n + \frac{3}{2} \right)$ имеет кратность вырождения $g_n = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$. Квантовое число n может принимать значения $0, 1, 2 \dots$.

Тема: Статфизика квантовых систем. Флуктуации. Контрольная работа №3

Вариант 1

1. Докажите, что в каноническом ансамбле $\langle (\Delta E)^3 \rangle = \frac{\partial^2 \langle E \rangle}{\partial \beta^2}$, если известно, что $\langle (\Delta E)^2 \rangle = -\frac{\partial}{\partial \beta} \langle E \rangle$, где $\beta = \frac{1}{kT}$.
2. Покажите, что в бозе-газе при температуре $T < T_0$ связь между полной и свободной энергиями задается равенством $F/E = -2/3$.
3. Определите, при какой температуре происходит вырождение ультрарелятивистского электронного газа, плотность состояний которого $D(\varepsilon) = \frac{8\pi V}{c^3 h^3} \varepsilon^2$.

Вариант 2

1. Вычислить флуктуации термодинамических величин $\langle (\Delta S)^2 \rangle$, $\langle (\Delta V)^2 \rangle$, $\langle (\Delta S \Delta V) \rangle$, считая независимыми переменными параметры S и V .
2. Покажите, что при температуре, меньшей температуры T_0 бозе-эйнштейновской конденсации, давление в газе не зависит от его объема.
3. Используя метод подсчета состояний в фазовом пространстве, вычислить плотность состояний $D(\varepsilon)$ в двумерном кристалле, закон дисперсии для электронов проводимости которого выражается формулой $\varepsilon = \beta k^4$, импульс $p = \hbar k$, где $\beta = const$, а k – модуль волнового вектора.

Методические рекомендации по выполнению контрольных заданий

На контрольном занятии каждый студент получает соответствующий вариант задания и самостоятельно решает его в течение 2 часов. По результатам этих работ и процента посещаемости семинарских занятий в конце семестра студенты получают допуск к зачету или экзамену. В случае

отсутствия допуска существует дополнительная возможность его получить, путем самостоятельного решения дополнительных контрольных заданий.

Критерии оценки контрольных заданий:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная, не допускается существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач контрольного задания, при этом может быть нарушена логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, если решены менее 50% задач контрольного задания, допущены существенные ошибки.

Перечень вопросов к зачету:

Модуль 1. Термодинамическое описание макросистем.

1. Объекты исследования термодинамики и стат. физики, цели каждой, взаимодополняемость и первичность. Температура. Энтропия. Работа.
2. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Теплоёмкость. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Второе начало термодинамики. Аксиоматика термодинамики – три начала (и нулевое). Принцип Нернста (третье начало) и его следствия.
3. Термодинамические коэффициенты, соотношения между ними. Отсутствие взаимодействия молекул идеального газа на расстоянии. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса.
4. Процессы Гей-Люссака и Джоуля-Томпсона. Энтальпия. Термодинамический потенциал (потенциал Гиббса), метод термодинамических функций.
5. Политропические процессы. Поливариантные системы. Химический потенциал. Неравновесные процессы – рост энтропии, парадокс Гиббса.
6. Системы в электрических и магнитных полях: два способа наложения электрического поля, вычисление работы для каждого из способов, природа отличия выражений для работы. Способ измерения работы. Два способа наложения магнитного поля и соответствующие выражения для работы.
7. Экстремальные свойства термодинамических функций. Термодинамические неравенства. Равновесие фаз. Фазовые переходы 1-го рода. Молярная теплота перехода, уравнение Клайперона-Клаузиуса. Равновесие 3-х фаз, тройная точка. Фазовые переходы 2-го рода.

8. Симметричные свойства фазовых переходов 2-го рода, параметр порядка. Теория Ландау, скачок теплоёмкости. Связь скачков различных термодинамических коэффициентов друг с другом – уравнения Эренфеста.
9. Феноменологическое обобщение теории Ландау фазовых переходов 2-го рода, критические индексы.

Модуль 2. Основы статистической физики равновесных систем.

10. Квантовые состояния, определения вырождения и энергии системы. Простейшая модель статистической системы – модель линейной цепочки невзаимодействующих спинов в отсутствие внешних полей.
11. Число состояний и степень вырождения. Резкий максимум функции степени вырождения (переход к распределению Гаусса). Энергия магнитной системы. Основное предположение статистической физики, замкнутость системы, вероятность, среднее по ансамблю.
12. Две системы в тепловом контакте. Определение энтропии и температуры. Третье начало термодинамики.
13. Аддитивность и возрастание энтропии, второе начало термодинамики. Магнитное охлаждение, восприимчивость, закон Кюри. Обобщённая энтропия. Две системы в диффузионном контакте. Химический потенциал.
14. Факторы Гиббса и Больцмана. Большая стат. сумма. Вычисление средних по ансамблю, число частиц и энергия. Случай постоянного числа частиц, стат. сумма. Отрицательные температуры.
15. Давление и термодинамическое тождество. Необратимые процессы. Определение энтропии по Больцману. Выражения для свободной энергии и большого термодинамического потенциала через стат. суммы. Свободная энергия Гиббса и энтальпия.
16. Принцип Паули, фермионы и бозоны. Получение функций распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Квантовая теория свободной частицы в ящике со стенками длиной L (одно- и трёхмерный случай).
17. Одноатомный идеальный газ. Классический режим. Химический потенциал, энергия, энтропия и уравнение Сакура-Тетроде. Давление и уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость. Малость флуктуаций числа частиц и энергии в макроскопической системе.
18. Свободная энергия и стат. сумма, минимум свободной энергии при равновесии. Намагниченность магнитной системы со спиновым избытком $2m$, фазовый переход в ферромагнитное состояние при температуре Кюри. Свободная энергия и стат. сумма для идеального газа.

Методические рекомендации по проведению зачета

Виды учебной деятельности студента, учитываемые в рейтинге:

1. Посещение лекционных и семинарских занятий
2. Решение семинарских задач

3. Контрольная работа

Пороговая оценка видов контролируемой учебной деятельности студента, учитываемые в рейтинге:

1. Посещение лекционных занятий – не более 4 пропущенных занятий в семестре
2. Посещение семинарских занятий – не более 4 пропущенных занятий в семестре
3. Контрольная работа - «удовлетворительно» за каждую контрольную работу в семестре
4. Решение задач на семинарах – не менее 50% от всех задач на каждом семинаре

Студенты, которые не смогли преодолеть пороговое значение оценки для каждого вида контролируемой учебной деятельности, к зачёту не допускаются и выполняют письменные работы и задания из семинарских занятий и задачников по дисциплине.

Критерии оценки зачета:

«Зачтено» выставляется обучающемуся, если в ответе верно изложено не менее 50% материала и не допущено существенных неточностей.

«Не зачтено» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части (более 50 %) программного материала и допускает существенные ошибки.

Перечень вопросов к экзамену:

Модуль 3. Статистические распределения для квантовых газов и теория флуктуаций.

1. Применение распределения Ферми-Дирака. Вырожденный ферми-газ. Энергия Ферми. Плотность состояний (орбиталей) для трёхмерного, двумерного и одномерного случаев. Теплоемкость вырожденного ферми-газа, температура Ферми. Теплоёмкость в металле.
2. Функция распределения Планка для фотонов. Плотность фотонных мод. Флуктуации числа фотонов.
3. Фононы в твёрдых телах, теория Дебая.
4. Описание фононов как квазичастиц.
5. Применение распределения Бозе-Эйнштейна. Физика бозонов. Жидкий гелий. Бозе-конденсация. Температурная зависимость теплоёмкости. Явление сверхтекучести.
6. Бозе-конденсация: вывод дисперсии квазичастиц для газа взаимодействующих бозонов методом Боголюбова.
7. Матрица плотности, чистые состояния, изменение со временем матрицы плотности. Квантовое уравнение Лиувилля.

8. Флуктуации, дисперсия, относительная флуктуация. Флуктуации энергии, объёма и числа частиц в T-V-N, T-P-N и T-V- μ системах. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации чисел заполнения в идеальном газе. Флуктуационный предел чувствительности приборов, формула Найквиста.

Модуль 4. Физическая кинетика, основы неравновесной термодинамики и метода Кубо.

9. Неравновесные состояния и процессы. Предметы изучения кинетики и неравновесной термодинамики. Функция распределения в кинетике. Разреженный и плотный газы. Стохастическое движение в газах высокой плотности, марковские процессы, уравнение Смолуховского и принцип детального равновесия.

10. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение частицы в газе или жидкости во внешнем поле.

11. Уравнение кинетического баланса, запись в квантовом случае. Пример идеального газа с двумя невырожденными уровнями энергии. Система атомов в равновесии с электромагнитным излучением, вывод формулы Планка по Эйнштейну.

12. Разреженный газ, интеграл столкновений, вывод кинетического уравнения Больцмана. Запись интеграла столкновений через сечение рассеяния.

13. Уравнения переноса Максвелла. Законы изменения массы, импульса, кинетической и потенциальной энергий.

14. Законы сохранения и возрастания энтропии, H-теорема Больцмана. Функция распределения при локальном равновесии.

15. Стадии эволюции неравновесной системы: первоначальная хаотизация, кинетический этап, гидродинамический этап. Уравнения газовой динамики, необходимость дополнить их феноменологическими уравнениями. Возникновение вязких сил в неравновесных процессах.

16. Неравновесная термодинамика: уравнения баланса массы, энергии, импульса, энтропии. Соотношения Онсагера.

17. Метод Кубо, матрица плотности системы во внешнем поле. Вычисление тензора проводимости вещества, диэлектрическая проницаемость.

18. Теория линейного отклика неравновесной системы на возмущение. Двухвременные функции Грина.

Методические рекомендации по проведению экзамена

Виды учебной деятельности студента, учитываемые в рейтинге:

1. Посещение лекционных и семинарских занятий
2. Решение семинарских задач
3. Контрольная работа

Пороговая оценка видов контролируемой учебной деятельности студента, учитываемые в рейтинге:

1. Посещение лекционных занятий – не более 4 пропущенных занятий в семестре
2. Посещение семинарских занятий – не более 4 пропущенных занятий в семестре
3. Контрольная работа - «удовлетворительно» за каждую контрольную работу в семестре
4. Решение задач на семинарах – не менее 50% от всех задач на каждом семинаре

Студенты, которые не смогли преодолеть пороговое значение оценки для каждого вида контролируемой учебной деятельности, к экзамену не допускаются и выполняют письменные работы и задания из семинарских занятий и задачников по дисциплине.

Критерии оценки экзамена:

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Темы рефератов по Модулю 1 и Модулю 2:

1. Термодинамика стержней. Формулы для определения их энтропии, внутренней энергии, теплоёмкости. Вывод этих формул.

2. Термодинамика парамагнетиков. Формулы для определения их энтропии, внутренней энергии, намагниченности, и связи теплоёмкостей C_M и C_H . Вывод этих формул.

3. Термодинамика излучения. Законы Рэлея-Джинса и Стефана-Больцмана. Вывод этих формул.

4. Поливариантные системы, магнитострикция и пьезомагнитный эффект.

5. Правило Максвелла для фазовых переходов первого рода, его вывод и связь с принципом Ле-Шателье.

6. Термодинамика сверхпроводников.

7. Распределение Больцмана, его вывод и примеры использования.

8. Распределение Максвелла, его вывод и примеры использования.

Темы рефератов по Модулю 3 и Модулю 4:

1. Свободная энергия и статистическая сумма для идеального газа: два способа вычисления стат. суммы и возникновение множителя $1/N!$

2. Белые карлики и применимость теории вырожденного ферми-газа к ним.

3. Оценка поверхностной температуры звезды.

4. Флуктуации числа фотонов, эксперимент Брауна и Твисса.

Методические рекомендации по подготовке реферата:

Написание реферата — это важный процесс, который помогает усвоить материал, развить аналитические и исследовательские навыки. Ниже приведены методические рекомендации, которые могут помочь в этом:

1. Выбор темы

- Актуальность: Выбирайте тему, которая интересует вас и имеет смысл в контексте учебного курса или современности.

- Специфика: Уточняйте и конкретизируйте тему, чтобы не охватывать слишком широкий пласт информации.

2. Сбор информации

- Источники: Используйте разнообразные источники: книги, научные статьи, интернет-ресурсы, учебники.

- Критический подход: Оценивайте достоверность и актуальность информации, обращая внимание на авторитетность источников.

3. Структура реферата

- Титульный лист: Указывайте название работы, ФИО, учебное заведение, дисциплину и дату.

- Содержание: Составьте оглавление, чтобы читатель мог легко ориентироваться в работе.

- Введение: Ознакомьте с темой, обоснуйте ее актуальность и поставьте цели и задачи.

- Основная часть: Разделите на логические главы и подразделы. Освещайте ключевые аспекты темы, приводите примеры и аргументы.

- Заключение: Подведите итоги работы, сделайте выводы и предложения по дальнейшему изучению темы.

- Список использованных источников: Перечислите все источники, на которые вы опирались при написании реферата, в соответствующем формате.

4. Стиль и язык

- Ясность и точность: Используйте простой и понятный язык, избегайте избыточной терминологии без объяснения.

- Логичность: Структурируйте мысли так, чтобы они следовали одна из другой, создавая логическую цепочку.

5. Оформление

- Реферат должен быть оформлен в соответствии с требованиями Стандарта университета «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» [Электронный ресурс] / Красноярск: СФУ, 2021, СТУ 7.5-07-2021, <http://www.sfu-kras.ru/node/8127>

6. Проверка и редактирование

- Корректурa: Проверьте работу на наличие грамматических, орфографических и стилистических ошибок.

- Чтение вслух: Прочитайте текст вслух — это поможет выявить неясности и трудные для восприятия места.

7. Временные рамки

- Планирование: Определите срок написания реферата и распределите задания по времени: поиск информации, написание черновика, исправление и оформление.

Реферат можно сдать по мере готовности в течение семестра.

Критерии оценки реферата:

«Зачтено» выставляется обучающемуся, если:

1) Содержание реферата в целом соответствует теме задания.

2) Продемонстрировано владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины, отсутствуют ошибки в употреблении терминов.

Показано умелое использование категорий и терминов дисциплины.

Продемонстрировано умение аргументированно излагать собственную точку зрения. Изложение отчасти сопровождается адекватными иллюстрациями (примерами) из практики.

3) Реферат в достаточной степени структурирован и выстроен в заданной логике без нарушений общего смысла. Части ответа логически взаимосвязаны. Отражена логическая структура проблемы (задания): постановка проблемы – аргументация – выводы. Объем ответа незначительно превышает заданные рамки при сохранении смысла.

4) Достаточная степень самостоятельности, оригинальность в представлении материала.

«Не зачтено» выставляется обучающемуся, если:

1) Содержание реферата не соответствует теме задания или соответствует ему в очень малой степени. Продемонстрировано крайне

низкое (отрывочное) знание фактического материала, много фактических ошибок – практически все факты (данные) либо искажены, либо неверны.

2) Продемонстрировано крайне слабое владение понятийно-терминологическим аппаратом дисциплины (неуместность употребления, неверные аббревиатуры, искаженное толкование и т.д.), присутствуют многочисленные ошибки в употреблении терминов.

3) Реферат представляет собой сплошной текст без структурирования, нарушена заданная логика. Части реферата не взаимосвязаны логически.

Разработчик



М.М. Коршунов