

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«30» апреля 2020 г.

Регистрационный № УД- 8790/уч.

ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

**1-31 04 01 Физика (по направлениям)
направления специальности:**

- 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность),**
- 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность),**
- 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность);**
- 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии;**
- 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий;**
- 1-31 04 08 Компьютерная физика**

2020 г.

Учебная программа составлена на основе типовой учебной программы № ТД-G.318 от 13.07.2010, образовательных стандартов ОСВО 1-31 04 01-2013, 1-31 04 06-2013, 1-31 04 07-2013 утвержденных и введенных в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 88 от 30.08.2013 и 1-31 04 08-2018 утвержденного 22.12.2018 № 124; учебных планов №G31-214/уч., №G31и-215/уч., №G31-218/уч., №G31-216/уч., №G31и-219/уч., №G31и-217/уч., утвержденных 20.02.2018; №G31-229/уч., №G31и-230/уч., утвержденных 20.03.2019; №G31-220/уч., утвержденного 13.07.2018; №G31-162/уч. и №G31и-177/уч., №G31-161/уч. и №G31и-176/уч., утвержденных 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.В. Новицкий — профессор кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Я.Г. Грода — доцент кафедры механики и конструирования Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат физ.-мат. наук, доцент

В.И. Шиманский — доцент кафедры твердого тела физического факультета БГУ, кандидат физ.-мат. наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 14.05.2020);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 5 от 17.06.2020).

Заведующий кафедрой


подпись

А.Н. Фурс
Ф.И.О.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – микроскопическое описание систем с очень большим числом степеней свободы на основе теоретической механики, квантовой механики и электродинамики.

Задачи учебной дисциплины:

1. Дать представление об общих принципах статистического описания на основе микроканонического и канонического ансамбля Гиббса.
2. Применить общий статистический подход к конкретным системам равновесной и неравновесной статистической физики.
3. Выработать навыки решения задач термодинамики и статистической физики.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу** специальных дисциплин государственного компонента для специальностей 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии, 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий, 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность) и к **модулю** «Термодинамика, статистическая физика и квантовая механика» государственного компонента для специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика» по постановке задач и по используемым методам связана с учебной дисциплиной компонента учреждения высшего образования «Квантовая механика». Методической базой дисциплины являются все разделы математических дисциплин и курса теоретической физики. Особое внимание при изложении дисциплины и проведении практических занятий следует уделить строгому микроскопическому описанию тех явлений, которые рассматривались ранее в рамках общей физики на качественном уровне.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Термодинамика и статистическая физика» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций по специальностям 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии, 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий, 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская

деятельность), 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность):

академические компетенции специалиста:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

ЛК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции специалиста:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции специалиста по специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность):

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.

- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

профессиональные компетенции специалиста по специальностям 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий:

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов

исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.

ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

**профессиональные компетенции специалиста по специальностям
1-31 04 06 Ядерные физика и технологии:**

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологий, оборудование и аппаратуру в исследовательской, научно-педагогической и производственной деятельности.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

Специалист, освоивший содержание образовательной программы по специальности 1-31 04 08 «Компьютерная физика», должен обладать следующей базовой профессиональной компетенцией:

БПК 14. Быть способным демонстрировать знания законов термодинамики и статистической физики, уметь обосновывать термодинамические законы методами статистической механики и решать практически важные задачи термодинамики и статистической физики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные законы и методы термодинамики;
- основные принципы статистической механики;
- микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения;

уметь:

- обосновывать законы термодинамики методами статистической механики;
- решать практически важные задачи термодинамики и статистической физики;

владеть:

- навыками математических физики и анализа;
- основными методами статистической физики для микроканонического, канонического и большого канонического ансамблей частиц.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 и 8 семестрах по специальностям 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии, 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий, 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направление специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность). Всего на изучение учебной дисциплины **«Термодинамика и статистическая физика»** отведено 260 часов, из них аудиторных – 132 часа (лекции – 72 часа, практические занятия – 52 часа, управляемая самостоятельная работа – 8 часов):

– в 7 семестре 126 часов, в том числе 72 аудиторных часа, из них: лекции – 38 часов, практические занятия – 30 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа. Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации в семестре — зачет.

– в 8 семестре 134 часа, в том числе 60 аудиторных часов, из них: лекции – 34 часа, практические занятия – 22 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа. Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации в семестре — экзамен.

Дисциплина изучается в 5 семестре по специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика. Всего на изучение учебной дисциплины **«Термодинамика и статистическая физика»** отведено 228 часов, в том числе аудиторных – 120 часов, из них: лекции – 56 часов, практические занятия – 56 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов. Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации — экзамен.

Дисциплина изучается в 6 и 7 семестрах по специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направления специальности 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность). Всего на изучение учебной дисциплины **«Термодинамика и статистическая физика»** отведено 238 часов, из них аудиторных – 124 часа (лекции – 66 часов, практические занятия – 50 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов):

– в 6 семестре 96 часов, в том числе 60 аудиторных часов, из них: лекции – 32 часа, практические занятия – 24 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа. Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации в семестре — зачет.

– в 7 семестре 142 часа, в том числе 64 аудиторных часа, из них: лекции – 34 часов, практические занятия – 26 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа. Трудоемкость учебной дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации в семестре — экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Основные положения термодинамики

Предмет и методы статистической физики и термодинамики. Квазистатистические процессы. Закон транзитивности теплового равновесия. Внутренняя энергия. Работа. Количество теплоты. Энтропия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Температура. Давление. Адиабатический процесс. Энтальпия. Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Теорема о малых добавках. Соотношения между производными термодинамических величин. Термодинамические циклы. Уравнение и неравенство Клаузиуса. Максимальная работа, производимая телом, находящимся во внешней среде. Термодинамические неравенства. Теорема Нернста. Необратимые процессы. Процесс Джоуля-Томсона. Зависимость термодинамических величин от числа частиц. Большой термодинамический потенциал. Условия теплового равновесия.

Тема 2. Основные принципы статистики

Фазовое пространство. Понятие ансамбля. Статистическое распределение. Статистическая независимость подсистем. Число микросостояний в классической и квантовой физике. Плотность состояний. Матрица плотности. Теорема Лиувилля. Роль интегралов движения. Статистическая матрица. Микроканоническое распределение в классическом и квантовом случаях. Статистический вес. Энтропия Больцмана. Закон возрастания энтропии.

Тема 3. Каноническое и большое каноническое распределение

Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма и статистический интеграл. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Распределение вероятностей для двухуровневой системы, классического и квантового осциллятора, свободной частицы. Большое каноническое распределение (распределение Гиббса с переменным числом частиц). Большая статистическая сумма. Большой термодинамический потенциал в большом каноническом распределении. Большая статистическая сумма по квантовым состояниям.

Тема 4. Классический идеальный газ

Распределение Больцмана в квантовом случае. Распределение Больцмана в классической статистике. Распределение Максвелла. Свободная энергия и уравнение состояния идеального газа. Условия применимости статистики Больцмана. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ, влияние электронного момента. Двухатомный газ. Вращение молекул. Колебания атомов.

Тема 5. Распределения Ферми и Бозе

Принцип тождественности одинаковых частиц. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Магнетизм электронного газа. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Излучение абсолютно чёрного тела. Формула

Планка для спектральной плотности излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана.

Тема 6. Твердые тела

Кристаллическая решетка. Нормальные колебания одномерных цепочек атомов. Колебания кристаллической решётки. Дисперсионное уравнение. Фононы. Интерполяционная формула Дебая для теплоемкости твердого тела. Твёрдые тела при низких и высоких температурах.

Тема 7. Неидеальные классические и квантовые газы

Отклонение газов от идеальности. Статистический вывод разложения по степеням плотности. Формула Ван-дер-Ваальса. Метод Дебая-Хюккеля для классической плазмы. Корреляционная энергия. Термодинамические величины классической плазмы. Понятие о ферми и бозе квантовых жидкостях. Сверхтекучесть бозе-жидкости. Преобразование Боголюбова. Конденсатная волновая функция. Эффект Купера. Сверхпроводимость ферми-жидкости. Эффект Мейсснера. Квантование магнитного потока.

Тема 8. Фазовые переходы

Фазовые переходы первого рода. Условия равновесия фаз. Правило фаз Гиббса. Формула Клайперона-Клаузиуса. Критическая точка. Правило Максвелла. Закон соответственных состояний. Фазовые переходы второго рода. Параметр порядка. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Скачок теплоемкости при фазовых переходах второго рода. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Теория эффективного поля. Модель Изинга.

Тема 9. Теория флуктуаций

Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации в идеальном газе. Формула Пуассона. Обобщенная восприимчивость. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Флуктуационно-диссипационная теорема.

Тема 10. Основы термодинамики необратимых процессов

Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. H-теорема Больцмана. Явления переноса. Принцип детального равновесия и H-теорема. Вычисление вязкости с помощью кинетического уравнения Больцмана. Свойства сильно разреженных газов. Уравнения Власова для плазмы.

Тема 11. Броуновское движение и случайные процессы

Стохастические процессы. Марковские процессы. Совместная и условная плотности вероятности. Броуновское движение и винеровский процесс. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнение Ланжевена.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования для специальностей: 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии, 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий, 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направление специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические Занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Основные положения термодинамики Квазистатические процессы. Энтропия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Температура. Давление. Адиабатический процесс. Энтальпия. Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Термодинамические циклы. Теорема Нернста. Процесс Джоуля-Томсона. Большой термодинамический потенциал.	10	10				2	Контрольная работа
2	Основные принципы статистики Фазовое пространство. Понятие ансамбля. Плотность состояний. Статистическое распределение. Матрица плотности. Статистическая	4	4					Коллоквиум

	матрица. Микроканоническое распределение в классическом и квантовом случаях. Статистический вес. Энтропия Больцмана.							
3	Каноническое и большое каноническое распределение Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма. Вывод термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма по квантовым состояниям.	8	12				2	Контрольная работа
4	Классический идеальный газ Распределение Больцмана в квантовом случае и в классической статистике. Распределение Максвелла. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ, влияние электронного момента. Двухатомный газ. Вращение молекул. Колебания атомов.	4	4					Коллоквиум
5	Распределения Ферми и Бозе Принцип тождественности одинаковых частиц. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Магнетизм электронного газа. Вырожденный	12	16				2	Контрольная работа

	бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Излучение абсолютно чёрного тела. Формула Планка.							
6	Твердые тела Кристаллическая решетка. Нормальные колебания одномерных цепочек атомов. Колебания кристаллической решётки. Дисперсионное уравнение. Фононы. Интерполяционная формула Дебая для теплоемкости твердого тела. Твёрдые тела при низких и высоких температурах.	4						Коллоквиум
7	Неидеальные классические и квантовые газы Отклонение газов от идеальности. Статистический вывод разложения по степеням плотности. Формула Ван-дер-Ваальса. Метод Дебая-Хюккеля для классической плазмы. Корреляционная энергия. Понятие о ферми- и бозе-квантовых жидкостях. Преобразование Боголюбова. Сверхтекучесть бозе-жидкости. Конденсатная волновая функция. Эффект Купера. Сверхпроводимость ферми-жидкости. Эффект Мейсснера.	12	2					Решение задач
8	Фазовые переходы Фазовые переходы первого рода. Формула Клайперона-Клаузиуса. Критическая точка. Правило Максвелла. Фазовые переходы	8	4				2	Контрольная работа

	второго рода. Параметр порядка. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Теория эффективного поля. Модель Изинга.							
9	Теория флуктуаций Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Флуктуационно-диссипационная теорема.	4						Коллоквиум
10	Основы термодинамики необратимых процессов Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Н-теорема Больцмана. Явления переноса. Принцип детального равновесия и Н-теорема. Свойства сильно разреженных газов. Уравнения Власова для плазмы.	4						Устный опрос
11	Броуновское движение и случайные процессы Стохастические процессы. Марковские процессы. Броуновское движение и винеровский процесс. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнение Ланжевена.	2						Устный опрос
	Итого	72	52				8	

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования для специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Основные положения термодинамики Квазистатические процессы. Энтропия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Температура. Давление. Адиабатический процесс. Энтальпия. Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Термодинамические циклы. Теорема Нернста. Процесс Джоуля-Томсона. Большой термодинамический потенциал.	10	16				2	Контрольная работа
2	Основные принципы статистики Фазовое пространство. Понятие ансамбля. Плотность состояний. Статистическое распределение. Матрица плотности. Статистическая матрица. Микроканоническое распределение в классическом и	4	4					Устный опрос, решение задач

	квантовом случаях. Статистический вес. Энтропия Больцмана.							
3	Каноническое и большое каноническое распределение Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма. Вывод термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма по квантовым состояниям.	8	12				2	Коллоквиум
4	Классический идеальный газ Распределение Больцмана в квантовом случае и в классической статистике. Распределение Максвелла. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ, влияние электронного момента. Двухатомный газ. Вращение молекул. Колебания атомов.	4	4					Решение задач
5	Распределения Ферми и Бозе Принцип тождественности одинаковых частиц. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Магнетизм электронного газа. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Излучение абсолютно	12	16				2	Контрольная работа

	чёрного тела. Формула Планка.							
6	Твердые тела Кристаллическая решетка. Нормальные колебания одномерных цепочек атомов. Колебания кристаллической решётки. Дисперсионное уравнение. Фононы. Интерполяционная формула Дебая для теплоемкости твердого тела. Твёрдые тела при низких и высоких температурах.	2						Устный опрос
7	Неидеальные классические и квантовые газы Отклонение газов от идеальности. Статистический вывод разложения по степеням плотности. Формула Ван-дер-Ваальса. Метод Дебая-Хюккеля для классической плазмы. Корреляционная энергия. Понятие о ферми- и бозе-квантовых жидкостях. Преобразование Боголюбова. Сверхтекучесть бозе-жидкости. Конденсатная волновая функция. Эффект Купера. Сверхпроводимость ферми-жидкости. Эффект Мейсснера.	4						Устный опрос
8	Фазовые переходы Фазовые переходы первого рода. Формула Клайперона-Клаузиуса. Критическая точка. Правило Максвелла. Фазовые переходы второго рода. Параметр порядка. Теория Ландау фазовых переходов	6	4				2	Коллоквиум

	второго рода. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Теория эффективного поля. Модель Изинга.							
9	Теория флуктуаций Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Флуктуационно-диссипационная теорема.	2						Устный опрос
10	Основы термодинамики необратимых процессов Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Н-теорема Больцмана. Явления переноса. Принцип детального равновесия и Н-теорема. Свойства сильно разреженных газов. Уравнения Власова для плазмы.	2						Устный опрос
11	Броуновское движение и случайные процессы Стохастические процессы. Марковские процессы. Броуновское движение и винеровский процесс. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнение Ланжевена.	2						Устный опрос
	Итого	56	56				8	

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направления специальности 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Основные положения термодинамики Квазистатические процессы. Энтропия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Температура. Давление. Адиабатический процесс. Энтальпия. Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Термодинамические циклы. Теорема Нернста. Процесс Джоуля-Томсона. Большой термодинамический потенциал.	10	10				2	Контрольная работа
2	Основные принципы статистики Фазовое пространство. Понятие ансамбля. Плотность состояний. Статистическое распределение. Матрица плотности. Статистическая	4	4					Коллоквиум

	матрица. Микроканоническое распределение в классическом и квантовом случаях. Статистический вес. Энтропия Больцмана.							
3	Каноническое и большое каноническое распределение Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма. Вывод термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма по квантовым состояниям.	8	12				2	Контрольная работа
4	Классический идеальный газ Распределение Больцмана в квантовом случае и в классической статистике. Распределение Максвелла. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ, влияние электронного момента. Двухатомный газ. Вращение молекул. Колебания атомов.	4	4					Коллоквиум
5	Распределения Ферми и Бозе Принцип тождественности одинаковых частиц. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Магнетизм электронного газа. Вырожденный	12	14				2	Контрольная работа

	бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Излучение абсолютно чёрного тела. Формула Планка.							
6	Твердые тела Кристаллическая решетка. Нормальные колебания одномерных цепочек атомов. Колебания кристаллической решётки. Дисперсионное уравнение. Фононы. Интерполяционная формула Дебая для теплоемкости твердого тела. Твёрдые тела при низких и высоких температурах.	4						Коллоквиум
7	Неидеальные классические и квантовые газы Отклонение газов от идеальности. Статистический вывод разложения по степеням плотности. Формула Ван-дер-Ваальса. Метод Дебая-Хюккеля для классической плазмы. Корреляционная энергия. Понятие о ферми- и бозе-квантовых жидкостях. Преобразование Боголюбова. Сверхтекучесть бозе-жидкости. Конденсатная волновая функция. Эффект Купера. Сверхпроводимость ферми-жидкости. Эффект Мейсснера.	8	2					Решение задач
8	Фазовые переходы Фазовые переходы первого рода. Формула Клайперона-Клаузиуса. Критическая точка. Правило Максвелла. Фазовые переходы	8	4				2	Контрольная работа

	второго рода. Параметр порядка. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Теория эффективного поля. Модель Изинга.							
9	Теория флуктуаций Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Флуктуационно-диссипационная теорема.	2						Коллоквиум
10	Основы термодинамики необратимых процессов Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Н-теорема Больцмана. Явления переноса. Принцип детального равновесия и Н-теорема. Свойства сильно разреженных газов. Уравнения Власова для плазмы.	4						Устный опрос
11	Броуновское движение и случайные процессы Стохастические процессы. Марковские процессы. Броуновское движение и винеровский процесс. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнение Ланжевена.	2						Устный опрос
	Итого	66	50				8	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Часть 1. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
2. Путилов, К.А. Термодинамика. / К.А. Путилов. - М.: Наука, 1971.
3. Кубо, Р. Статистическая механика / Р. Кубо. – М.: URSS, 2007.
4. Кубо, Р. Термодинамика / Р. Кубо. – М.: Мир, 1970.
5. Базаров, И.П. Термодинамика. / И.П. Базаров. - М.: Высшая школа, 1991.
6. Кайзер, Дж. Статистическая термодинамика неравновесных процессов / Дж. Кайзер. – М.: Мир, 1990.
7. Киттель, Ч. Элементарная статистическая физика / Ч. Киттель. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960.
8. Байков, В.И. Теплофизика. Термодинамика и статистическая физика / В. И. Байков, Н. В. Павлюкевич. – Минск : Вышэйшая школа, 2018.

Перечень дополнительной литературы

9. Шкаровский, И. Кинетика частиц плазмы. / И. Шкаровский, Т. Джонстон, М. Бачинский. – М.: Атомиздат, 1969.
10. Дайсон, Ф. Статистическая теория энергетических уровней сложных систем / Ф. Дайсон. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
11. Балеску, Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. В 2 т. / Р. Балеску. - М: Мир, 1978.
12. Шиллинг, Г. Статистическая физика в примерах. / Г. Шиллинг. - М: Мир, 1978.
13. Ландау, Л.Д. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
14. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957.
15. Менский, М.Б. Квантовые измерения и декогеренция / М.Б. Менский. – М.: Физматлит, 2001.
16. Абаимов, С.Г. Статистическая физика сложных систем. От фракталов до скейлинг-поведения / С. Г. Абаимов. – Изд. стер. – Москва : URSS : Либроком, 2016. – 388 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика» учебным планом предусмотрен зачет и экзамен по специальностям 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии, 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий, 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность) и экзамен по специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется проведение контрольных работ и коллоквиумов. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. Контрольные работы и коллоквиумы проводятся в письменной форме. Рекомендуемое количество заданий за каждую письменную работу составляет 3-4 задачи. Количество баллов за каждую решенную задачу выставляется в зависимости от правильности, полноты и оригинальности ее решения. Нерешенная или решённая полностью неправильно задача оценивается в 0 баллов. Оценка рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждую задачу.

Еще одной формой контроля знаний служит решение задач, как аудиторно, так и в форме домашнего задания. Решение задач в аудитории сопряжено с устным опросом и позволяет оценить качество усвоения нового материала. Решение задач в форме домашнего задания направлено на укрепление знаний, полученных в ходе лекций и практических занятий.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и оценки, полученной на экзамене. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,3; для итогового контроля (экзаменационной оценки) — 0,7.

Оценка текущего контроля формируется

Оценка за активное участие в учебном процессе и посещение занятий	Количество баллов
Участие в ходе практических занятий и выполнение домашних заданий	Максимальный балл – 10
Коллоквиумы	Максимальный балл – 10
Контрольные работы	Максимальный балл – 10

Количество баллов	Оценка (T_T)	Количество баллов	Оценка (T_T)
0	0		
2	1	17	6
5	2	20	7
7	3	24	8
10	4	27	9
14	5	30	10

В случае неявки на практическое занятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить нагрузку в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за работы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения деканата мероприятие может быть проведено повторно, до сессии.

Рейтинговая оценка $T_P = T_T \cdot 0.3 + T_{\text{И}} \cdot 0.7$.

где $T_{\text{И}}$ – оценка итогового контроля.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Управляемая самостоятельная работа студентов в количестве 8 часов проводится в аудитории.

Тема № 1. Основные положения термодинамики (2 ч.)

Студенты решают задачи по термодинамике.

Примерный перечень вопросов:

1. Первое начало термодинамики.
2. Второе начало термодинамики.
3. Преобразование термодинамических величин.

Форма контроля — контрольная работа

Тема № 3. Каноническое и большое каноническое распределение (2 ч.)

Студенты решают задачи методом канонического распределения Гиббса.

Примерный перечень вопросов:

1. Каноническое распределение.
2. Статистическая сумма.
3. Канонический ансамбль.

Форма контроля — контрольная работа

Тема № 5. Распределение Ферми и Бозе (2 ч.)

Студенты решают задачи с использованием квантовых распределений Ферми и Бозе.

Примерный перечень вопросов:

1. Распределение Ферми.
2. Распределение Бозе.
3. Вырожденные ферми- и бозе-газы.

Форма контроля — контрольная работа

Тема № 8. Фазовые переходы (2 ч.)

Студенты решают задачи, связанные с фазовыми переходами второго рода.

Примерный перечень вопросов:

1. Фазовые переходы второго рода.
2. Метод эффективного поля.
3. Ферромагнетики.

Форма контроля — контрольная работа

Примерная тематика практических занятий

Практические занятия № 1-5. Тема 1. Основные положения термодинамики. Квазистатические процессы. Энтропия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Адиабатический процесс. Термодинамические потенциалы. Термодинамические циклы. Преобразование термодинамических величин. Соотношения Максвелла. (10 часов)

Практические занятия № 6-7. Тема 2. Основные принципы статистики. Фазовое пространство. Плотность состояний. Статистическое распределение. Матрица плотности. Микроканоническое распределение. Статистический вес. Энтропия Больцмана. (4 часа)

Практические занятия № 8-13. Тема 3. Каноническое и большое каноническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма. Вывод термодинамических соотношений из распределения Гиббса. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма по квантовым состояниям. (12 часов)

Практические занятия № 14-15. Тема 4. Классический идеальный газ. Распределение Больцмана в квантовом случае и в классической статистике. Распределение Максвелла. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ, влияние электронного момента. Двухатомный газ. Вращение молекул. (4 часов)

Практические занятия № 16-23. Тема 5. Распределения Ферми и Бозе. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Вырожденный электронный газ. Магнетизм электронного газа. Полупроводники. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Излучение абсолютно чёрного тела. Формула Планка. (16 часов)

Практическое занятие № 24. Тема 7. Неидеальные классические и квантовые газы. Формула Ван-дер-Ваальса. Метод Дебая-Хюккеля для классической плазмы. (2 часа)

Практические занятия № 25-26. Тема 8. Фазовые переходы. Фазовые переходы первого рода. Формула Клайперона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Теория эффективного поля. Метод Брэгга-Вильямса. (4 часа)

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)**, который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

Преподавание дисциплины «Термодинамика и статистическая физика» базируется на **аксиоматическом подходе**, в рамках которого сначала преподносятся фундаментальные положения, а затем эти знания используются для решения прикладных проблем. Данный подход применяется как для термодинамики, так и для статистической физики. Подход предполагает:

- освоение студентом фундаментальных знаний и обретение базы для дальнейшего решения практических задач;
- глубокое понимание вопросов, позволяющее применять аналогии между различными областями физики.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;

- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к выполнению контрольных работ и коллоквиумов;
- выполнение домашних заданий.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Теплота. Работа. Внутренняя энергия.
2. Энтропия в термодинамике и статистической физике. Неравенство Клаузиуса.
3. Абсолютная температура. Термометр.
4. Давление. Условия теплового равновесия.
5. Теплоемкость.
6. Законы термодинамики.
7. Обратимые и необратимые процессы.
8. Квазистатические процессы.
9. Расширение в пустоту и процесс Джоуля-Томсона.
10. Теорема Нернста.
11. Адиабатические процессы.
12. Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Энтальпия.
13. Соотношения Максвелла.
14. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал.
15. Фазовое пространство.
16. Число состояний. Плотность состояний.
17. Статистический вес.
18. Формулы Больцмана и Гиббса для энтропии.
19. Классический и квантовый микроканонический ансамбль.
20. Классический и квантовый канонический ансамбль. Статистическая сумма.
21. Классический и квантовый большой канонический ансамбль. Большая статистическая сумма.
22. Распределение Больцмана.
23. Статистика Максвелла-Больцмана.
24. Идеальный газ: статистическая сумма, уравнение состояния и теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.
25. Вириальное уравнение состояния. Неидеальный газ: статистическая сумма и уравнение Ван-дер-Ваальса.
26. Метод Дебая-Хюккеля для классической плазмы.
27. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
28. Идеальные ферми- и бозе-газы. Уравнение состояния.

29. Вырожденный ферми-газ. Импульс и энергия Ферми. Энергия, давление, энтропия и теплоемкость вырожденного ферми-газа.
30. Магнетизм электронного газа.
31. Температура конденсации. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Энергия и теплоемкость вырожденного бозе-газа.
32. Газ фотонов. Планковский закон излучения.
33. Излучение абсолютно черного тела.
34. Квантовая бозе-жидкость. Преобразование Боголюбова.
35. Сверхтекучесть.
36. Конденсатная волновая функция.
37. Квантовая ферми-жидкость.
38. Сверхпроводимость.
39. Эффект Мейсснера.
40. Кристаллическая решетка. Описание решеточных колебаний.
41. Квантование колебаний решетки. Фононы.
42. Теплоемкость твердых тел: модели Дебая и Эйнштейна.
43. Электроны и дырки. Собственные и примесные полупроводники.
44. Определение фазы. Правило фаз.
45. Теплота фазового перехода. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
46. Критическая точка фазового перехода.
47. Фазовые переходы второго рода. Параметр порядка.
48. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Обменное взаимодействие.
49. Модель Изинга. Приближение молекулярного поля. Температура Кюри фазовых переходов второго рода.
50. Корреляционные функции.
51. Распределение флуктуаций. Флуктуации термодинамических величин.
52. Броуновское движение.
53. Уравнение Ланжевена.
54. Уравнение Фоккера-Планка.
55. Флуктуационно-диссипационная теорема.
56. Соотношения Онзагера.
57. Кинетическое уравнение Больцмана.
58. H-теорема Больцмана.
59. Уравнения Власова для плазмы.
60. Вязкость. Самодиффузия. Тепловая и электрическая проводимость.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Квантовая механика	Кафедра теоретической физики и астрофизик и	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленной варианте (протокол № 11 от 14.05.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
теоретической физики и астрофизики
(протокол № ____ от ____ г.)

Заведующий кафедрой
ядерной физики
д.ф.-м.н., профессор

_____ А.Н. Фурс

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета БГУ
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов