

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Термодинамика и статистическая физика
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.03 Радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Фундаментальная радиофизика
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

| № варианта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД |
|------------|--|--|
| 1 | Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть | Дисциплина <i>Б1.О.26, Термодинамика и статистическая физика</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> . |

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства |
|---|---|--|----------------------------------|
| | Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине** | |
| ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности; | ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики. | Знать: методики получения базовых знаний в области математики и естественных наук, в частности в области термодинамики и статистической физики. | <i>Собеседование, задача</i> |
| | ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач. | Уметь: овладевать базовыми знаниями в области математики и естественных наук, в частности в области термодинамики и статистической физики, и использовать их в профессиональной деятельности | |
| | ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности. | Владеть: опытом получения базовых знаний в области математики и естественных наук, в частности в области термодинамики и статистической физики, и их | |

| | | | |
|--|--|---|------------------------------|
| | | использования в профессиональной деятельности | |
| ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные; | ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов. | Знать: современные образовательные и информационные технологии для самостоятельного приобретения новых знаний в области термодинамики и статистической физики | <i>Собеседование, задача</i> |
| | ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы. | Уметь: самостоятельно приобретать новые знания в области термодинамики и статистической физики, используя современные образовательные и информационные технологии | |
| | ОПК-3.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов. | Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний в области термодинамики и статистической физики с использованием современных образовательных и информационных технологий | |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| | очная форма обучения |
| Общая трудоемкость | 6 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану | 216 |

| | |
|--|-----------|
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 64 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| самостоятельная работа | 72 |
| КСР | 3 |
| Промежуточная аттестация – Экзамен (7 семестр), Зачет (6 семестр) | 45 |

3.2. Содержание дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|---|--------------|--|---------------------------|----------------------------|-------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Всего | |
| 1 Введение. | 2 | 1 | | | 1 | 1 |
| 2 Основы классической статистики. | 33 | 9 | 8 | | 17 | 16 |
| 3 Термодинамическое описание равновесных систем. | 31 | 12 | 10 | | 22 | 9 |
| 4 Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. | 15 | 5 | 2 | | 7 | 8 |
| 5 Фазовые переходы. | 7 | 3 | | | 3 | 4 |
| 6 Распределение Максвелла-Больцмана. | 7 | 2 | 2 | | 4 | 3 |
| 7 Флуктуации в равновесных системах. | 15 | 5 | 2 | | 7 | 8 |
| 8 Основы квантовой статистики. | 30 | 13 | 4 | | 17 | 13 |
| 9 Квантовая статистика невзаимодействующих тождественных частиц. | 28 | 14 | 4 | | 18 | 10 |
| В т. ч. текущий контроль | 3 | | 3 | | 3 | |

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках проведения контрольных работ и групповых консультаций. Промежуточный контроль осуществляется на зачёте. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение отдельных тем рабочей программы и решение домашних заданий по практике. *Цель самостоятельной работы* - подготовка современного компетентного специалиста и формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Особое место отводится самостоятельной практической проработке студентами отдельных разделов и тем по изучаемой дисциплине при выполнении домашних заданий по практике.

Обучающийся должен быть обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам, содержащим все издания основной литературы, перечисленные в рабочих программах дисциплин (модулей), практик; к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Список вопросов для контроля текущего усвоения материала практических занятий:

1. Первый принцип термодинамики. Политропические процессы.
2. Второй принцип термодинамики и его следствия.
3. Характеристические функции.
4. Термодинамика равновесного электромагнитного излучения.
5. Необратимые процессы.
6. Устойчивость термодинамических систем.
7. Тепловые двигатели.
8. Теорема Карно.
9. Распределение Максвелла.
10. Распределение Больцмана.
11. Каноническое распределение Гиббса.
12. Идеальный газ из двухатомных жестких молекул.
13. Идеальный газ из двухатомных полярных молекул во внешнем электрическом поле.
14. Статистический расчет равновесных флуктуаций.
15. Квазитермодинамический расчет флуктуаций.
16. Квантовое распределение Гиббса.
17. Распределение Ферми.
18. Распределение Бозе.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | Шкала оценивания сформированности компетенций | | | | | | |
|--|--|---|--|---|---|---|---|
| | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
| | не зачтено | | зачтено | | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без недочетов. | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценки при промежуточной аттестации

| | |
|---------------------|--|
| Превосходно | Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями. |
| Отлично | Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками. |
| Очень хорошо | В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок. |
| Хорошо | Хорошая подготовка, но со значительными ошибками. |
| Удовлетворительно | Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям. |
| Неудовлетворительно | Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. |
| Плохо | Подготовка совершенно недостаточная. |

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

| Вопросы для зачета | Код компетенции |
|--|-----------------|
| 1. Ансамбль Гиббса. Уравнение Лиувилля. | ОПК-1 |
| 2. Микроканоническое распределение для изолированной системы. | ОПК-1 |
| 3. Классическое каноническое распределение для системы в термостате. | ОПК-1 |
| 4. Функция распределения для энергии. Сравнение микроканонического и канонического распределений | ОПК-1 |
| 5. Статистическое определение энтропии равновесной системы. | ОПК-1 |
| 6. Первый принцип термодинамики. Внутренняя энергия. | ОПК-1 |
| 7. Нулевое начало термодинамики. Температура. | ОПК-1 |
| 8. Теплоемкость. Политропические процессы. | ОПК-1 |
| 9. Второй принцип термодинамики. Термодинамическое определение энтропии | ОПК-1 |
| 10. Статистическое обоснование второго принципа термодинамики. | ОПК-1 |
| 11. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы и теорема о вириале. | ОПК-1 |
| 12. Классическая теория теплоемкостей идеального газа и твердого тела. | ОПК-1 |
| 13. Некоторые следствия принципов термодинамики. | ОПК-2 |

| | |
|--|-------|
| Соотношение между c_p и c_v . | |
| 14. Характеристические функции F, Φ, I. | ОПК-2 |
| 15. Магнитокалорический эффект. | ОПК-2 |
| 16. Связь энтропии с вероятностью. Принцип возрастания энтропии. | ОПК-2 |
| 17. Неравенство Клаузиуса. Превращение тепла в работу. | ОПК-2 |
| 18. Расширение в пустоту. Выравнивание температур. | ОПК-2 |
| 19. Встречная диффузия двух газов. Парадокс Гиббса. | ОПК-2 |
| 20. Процесс Джоуля-Томсона. | ОПК-2 |
| 21. Термодинамика систем с переменным числом частиц. | ОПК-2 |
| 22. Функция распределения для системы с переменным числом частиц в термостате. | ОПК-2 |
| 23. Распределение Максвелла. | ОПК-2 |
| 24. Распределение Больцмана. | ОПК-2 |

| Вопросы для экзамена | Код компетенции |
|---|-----------------|
| 1. Фазовое пространство. Функция статистического распределения. | ОПК-1 |
| 2. Ансамбль Гиббса. Уравнение Лиувилля. Равновесный ансамбль | ОПК-1 |
| 3. Микроканоническое распределение для изолированной системы. | ОПК-1 |
| 4. Классическое каноническое распределение для системы в термостате. | ОПК-1 |
| 5. Функция распределения для энергии. Сравнение микроканонического и канонического распределений. | ОПК-1 |
| 6. Статистическое определение энтропии равновесной системы. | ОПК-1 |
| 7. Первый принцип термодинамики. Внутренняя энергия. | ОПК-1 |
| 8. Нулевое начало термодинамики. Температура. | ОПК-1 |
| 9. Теплоемкость. Политропические процессы. | ОПК-1 |
| 10. Второй принцип термодинамики. Термодинамическое | ОПК-1 |

| | |
|---|-------|
| определение энтропии | |
| 11.Статистическое обоснование второго принципа термодинамики. | ОПК-1 |
| 12.Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы и теорема о вириале. | ОПК-1 |
| 13.Классическая теория теплоемкостей идеального газа и твердого тела. | ОПК-1 |
| 14.Некоторые следствия принципов термодинамики. Соотношение между c_p и c_v . | ОПК-1 |
| 15.Характеристические функции F,Φ,I. | ОПК-1 |
| 16.Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса. | ОПК-1 |
| 17. Магнитокалорический эффект. | ОПК-1 |
| 18.Связь энтропии с вероятностью. Принцип возрастания энтропии. | ОПК-1 |
| 19.Неравенство Клаузиуса. Превращение тепла в работу. | ОПК-1 |
| 20.Расширение в пустоту. Выравнивание температур. | ОПК-1 |
| 21.Встречная диффузия двух газов. Парадокс Гиббса. | ОПК-1 |
| 22.Процесс Джоуля-Томсона. | ОПК-1 |
| 23.Термодинамика систем с переменным числом частиц. | ОПК-1 |
| 24.Функция распределения для системы с переменным числом частиц в термостате. | ОПК-1 |
| 25.Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. | ОПК-1 |
| 26.Равновесие тела во внешней среде | ОПК-1 |
| 27.Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. | ОПК-1 |
| 28.Правило фаз Гиббса. | ОПК-2 |
| 29.Фазовые переходы первого рода. | ОПК-2 |
| 30.Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Метастабильные состояния. | ОПК-2 |
| 31.Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. | ОПК-2 |

| | |
|---|-------|
| 32.Распределение Максвелла-Больцмана. | ОПК-2 |
| 33.Статистический расчет флуктуаций энергии и числа частиц. | ОПК-2 |
| 34.Принцип Больцмана. Квазитермодинамическая теория равновесных флуктуаций. | ОПК-2 |
| 35.Квантовое каноническое распределение. | ОПК-2 |
| 36.Свободная энергия и энтропия в квантовой статистике. | ОПК-2 |
| 37.Средняя энергия квантового осциллятора. | ОПК-2 |
| 38.Равновесное излучение. Формула Планка. | ОПК-2 |
| 39.Тело в равновесии с излучением. Закон Кирхгофа. Эффективная температура излучения. | ОПК-2 |
| 40.Квантовая теория теплоемкости идеальных газов. | ОПК-2 |
| 41.Дебаевская теория теплоемкости твердого тела. | ОПК-2 |
| 42.Третье начало термодинамики. | ОПК-2 |
| 43.Распределение Бозе. | ОПК-2 |
| 44.Распределени Тепловая ионизация атомов. Формула Саха.е Ферми. | ОПК-2 |
| 45.Квазиклассическое приближение. Температура вырождения. | ОПК-2 |
| 46.Тепловая ионизация атомов. Формула Саха. | ОПК-2 |
| 47.Уравнение состояния квантового идеального газа из элементарных частиц. | ОПК-2 |
| 48.Вырожденный бозе-газ. | ОПК-2 |
| 49.Фотонный газ. | ОПК-2 |
| 50.Вырожденный ферми-газ при $T \rightarrow 0$. | ОПК-2 |
| 51.Теплоемкость вырожденного электронного газа в металлах. | ОПК-2 |
| 52.Внутренняя энергия, энтропия и давление электронного газа в металлах. | ОПК-2 |
| 53.Слабая термоэлектронная эмиссия. | ОПК-2 |

5.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задание 1.

Вывести уравнение политропического процесса для модели газа Ван-дер-Ваальса в переменных TV и pV .

Задание 2.

Вывести зависимость энтропии равновесного излучения от температуры и объёма.

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задача 1.

Нагревается или охлаждается классический одноатомный идеальный газ при расширении по закону: $p^2 \cdot V = const$. Какова его молярная теплоёмкость в этом процессе.

Задача 2.

Вычислить разность молярных теплоёмкостей при постоянном давлении и объёме для модели газа Ван-дер-Ваальса.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1. М.:Физматлит, 2018, 440 стр. - <http://znanium.com/catalog/document?id=369176>
2. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М. Наука, 1972, 400 стр. – 43 экз.
3. Базаров И.П. Термодинамика. М. Высшая школа, 1991, 375 стр. – 98 экз.
4. Терлецкий Я.П. Статистическая физика. М. Высшая школа, 1973, 278 стр. – 8 экз.
5. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика. М. Наука, 1982, 608 стр. – 21 экз.
6. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. М. Наука, 1973, 423 стр. – 12 экз.
7. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. М. Наука, 1983, 416 стр. – 46 экз.

б) дополнительная литература:

1. Левич В.Г. Курс теоретической физики. Т.1. М.: Наука, 1969, 910 стр. – 109 экз.
2. Куни Ф.М. Статистическая физика и термодинамика. М.: Наука, 1981, 351 стр. – 13 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор Гавриленко В.Г.

Рецензент Бакунов М.И.

Заведующий кафедрой Гавриленко В.Г.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.