

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

## **Рабочая программа дисциплины**

Термодинамика и молекулярная физика

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность образовательной программы

Твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Термодинамика и молекулярная физика» относится к базовой части является обязательным для освоения, преподается на 1 году обучения, в 2 семестре.

**Цели освоения модуля.** главной целью дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика» является создание фундаментальной базы знаний о явлениях, законах, понятиях известных и принятых в молекулярной физике и термодинамике в настоящий момент. Дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика» является базой, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение термодинамики, электродинамики, статистической термодинамике в рамках цикла курсов по теоретической физике и специализированных курсов. Для усвоения данного курса необходимо знание основных физических законов и явлений в объеме школьного курса физики и дисциплины «Механика».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1: Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы ОПК-1.2: Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера ОПК-1.3: Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач	Знать: законы термодинамики, молекулярно-кинетический смысл термодинамических характеристик, свойства термодинамических потенциалов, следствия второго начала термодинамики для равновесных и неравновесных процессов, основные статистические распределения, условия равновесия фаз. Уметь: применять законы термодинамики для анализа термодинамических процессов, уметь пользоваться при анализе термодинамическими потенциалами, анализировать фазовые переходы с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса. Владеть: навыками решения задач, основываясь на знаниях, полученных в ходе освоения дисциплины.	Собеседование. Задачи	Экзамен. Контрольные вопросы

ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	<p>ОПК-2.1. Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p> <p>ОПК-2.2. Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки</p> <p>ОПК-2.3. Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение</p> <p>ОПК-2.4. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач</p> <p>ОПК-2.5. Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации</p> <p>ОПК-2.6. Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования</p> <p>ОПК-2.7. Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений</p>	<p>Знать методы исследования, применяемые при решении научно-исследовательской задачи</p> <p>Уметь: применять полученные знания для решения профессиональных задач.</p> <p>Владеть: основами классической механики и использовать их при проведении теоретических и экспериментальных физических исследований.</p>	Собеседование. Задачи	Экзамен. Контрольные вопросы
--	--	--	--------------------------	---------------------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	48
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>17</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b>
	<b>экзамен</b>

Содержание дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	
Статистическая термодинамика	12	5	4	–	9	3
Молекулярно-кинетическая теория газов	11	5	3	–	8	3
Метод термодинамики	10	5	3	–	8	2
Первый принцип термодинамики	11	5	3	–	8	3
Газы с межмолекулярным взаимодействием	9	4	3	–	7	2
Второй принцип термодинамики	11	6	3	–	9	2
Равновесие фаз и фазовые переходы	10	5	3	–	8	2
Жидкости	9	3	3	–	6	3
Процессы переноса	11	5	3	–	8	3
Твердые тела	12	5	4	–	9	3
В т.ч. текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация – экзамен 36 часов)						

Содержание разделов дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика»

1. Метод термодинамики. Термодинамическая система. Термодинамические параметры, процессы. Равновесные и неравновесные процессы. Температура как функция состояния. Определение температуры. Температурная шкала по идеальному газу. Уравнение состояния и температурные коэффициенты.
2. Молекулярно-кинетическая теория газов. Основное уравнение кинетической теории газов. Давление идеального газа. Закон Дальтона. Уравнение состояния. Уравнение Менделеева-Клайперона.
3. Первый принцип термодинамики. Работа и внутренняя энергия. Первый принцип термодинамики для адиабатически изолированной системы. Количество теплоты. Первый принцип термодинамики. Адиабатическое расширение и сжатие идеального газа. Теплоемкость. Уравнение политропического процесса. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия и теплоемкость идеального газа. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Недостатки классической теории теплоемкости.
4. Газы с межмолекулярным взаимодействием. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическая температура и критическое состояние. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Недостатки уравнения Ван-дер-Ваальса.
5. Второй принцип термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия идеального газа. Циклические процессы. Цикл Карно. Второй принцип термодинамики. Первая теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Приведенное количество теплоты. Энтропия. Дифференциальные соотношения для энтропии. Изменение энтропии при необратимых процессах. Вторая теорема Карно. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии. Пределы применимости второго принципа термодинамики.

- Статистический смысл второго принципа термодинамики.
6. Равновесие фаз и фазовые переходы. Метод микроциклов. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Метод характеристических функций. Уравнения Гиббса-Гельмгольца. Термодинамический потенциал сложных систем. Условия равновесия однородных систем. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты. Фазовое равновесие и фазовое превращения первого рода. Правило Максвелла. Теплота фазового перехода. Равновесие гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса. Кривые равновесия фаз. Тройная точка.
  7. Жидкости. Структура жидкости. Явления на границе жидкости. Условия равновесия на границе двух фаз. Краевой угол. Силы, возникающие над кривой поверхностью жидкости. Капиллярные явления. Сила сцепления между смачиваемыми пластинами. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Давление насыщенного пара над кривой поверхностью жидкости. Поверхностное натяжение и условия равновесия фаз. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы.
  8. Статистическая термодинамика. Статистические закономерности. Основы теории вероятностей и элементы комбинаторики. Энергия модельной системы. Энтропия и температура модельной системы. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии. Химический потенциал модельной системы. Условия равновесия двух систем. Фактор Гиббса и фактор Больцмана. Фазовое пространство. Распределение Максвелла. Вычисление средних значений скоростей.
  9. Процессы переноса. Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Средняя длина свободного пробега. Вязкость и перенос импульса. Теплопроводность и перенос энергии. Самодиффузия и перенос частиц.
  10. Твердые тела. Строение твердого тела. Кристаллическая решетка и простейшие элементы симметрии. Фазовые переходы первого и второго рода. Удельная теплота кристаллизации.

#### **4. Образовательные технологии**

1. Чтение лекций;
2. сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
3. методика «вопросы и ответы»;
4. выполнение практического задания у доски;
5. индивидуальная работа над практическим заданием;
6. работа в парах над практическим заданием;
7. работа в малых группах над практическим заданием;
8. методика «мозговой штурм».

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение домашних заданий, решение задач, изучение рекомендованной литературы и подготовку к зачетам и экзаменам. Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на практических занятиях, в процессе лекций, активность в обсуждении качественных вопросов. Для контроля промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика» используются вопросы задачи по нижеприведенным темам.

#### **Вопросы для контроля.**

1. Уравнение состояния идеального газа.
2. Коэффициент теплового расширения, термический коэффициент давления, модуль изотермического всестороннего сжатия.
3. Закон Авогадро. Закон Дальтона.
4. Квазистатические процессы.
5. Внутренняя энергия термодинамических систем.

6. Макроскопическая работа. Количество теплоты.
7. Первое начало термодинамики.
8. Теплоемкость.
9. Внутренняя энергия идеального газа.
10. Закон Джоуля.
11. Уравнение Майера.
12. Адиабатический процесс.
13. Уравнение Пуассона.
14. Политропический процесс.
15. Второе начало термодинамики.
16. Обратимые и необратимые процессы.
17. Тепловые машины. Машина Карно. Цикл Карно.
18. КПД машины Карно.
19. Неравенство Клаузиуса.
20. Энтропия.
21. Свойства энтропии. Вероятностное определение энтропии.
22. Третье начало термодинамики.
23. Термодинамические функции.
24. Соотношения Максвелла.
25. Общие критерии термодинамической устойчивости. Принцип Ле-Шателье-Брауна.
26. Основные формулы молекулярно-кинетической теории.
27. Реальные газы.
28. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
29. Изотермы идеального газа.
30. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
31. Эффект Джоуля-Томсона.
32. Фазовые превращения.
33. Условия равновесия фаз.
34. Уравнение Клайпейрона-Клаузиуса.
35. Тройная точка.
36. Диаграмма состояния.
37. фазовые переходы первого и второго рода.
38. Явления переноса.

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1 Описание шкал оценивания**

#### **Критерии оценок экзамена:**

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твёрдое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном

объеме.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:** практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции. (В приложении)

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания. (В приложении)

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика»**

а) основная литература:

1. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 1981.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=259889&DB=1>
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1990. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=66961&DB=1>
3. Сборник задач по общему курсу физики. Книга II. Термодинамика и молекулярная физика [Электронный ресурс] / Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Сивухин Д. В., Яковлев И.А.; Под ред. Д. В. Сивухина. - 5-е изд., стер. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106031.html>
4. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 416 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71750>
5. Иверонова В.И. (ред.) Физический практикум. Механика и молекулярная физика (2-е изд.). М.: Наука, 1967 <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Iveronova1967ru.djvu>
6. Фаддеев М. А. - Элементарная обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2004. - 120 с.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=467611&DB=1>

б) дополнительная литература:

1. Базаров И.П. Термодинамика. М. Высшая школа, 1991.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=430195&DB=1>
2. Иродов И.Е. Физика макросистем. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=466672>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://phys.unn.ru/library.asp?contenttype=Library>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика»**

помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника.

Авторы: доценты кафедры КРЭФ Зайцева Е.В., Каткова М.Р., Марычев М.О.  
Заведующий кафедрой Е.В. Чупрунов

Рецензент

Зам. декана по учебной работе

О.В. Белова

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.

Председатель Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ А.А. Перов