

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО  
президиумом  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

«Термодинамика и статистическая физика»

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.03 «Радиофизика»

---

Направленность образовательной программы  
«Радиофизика и электроника»

---

Квалификация (степень)  
бакалавр

---

Форма обучения  
очная

---

Нижегород

2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы Б1.Б26 и обязательна для освоения в 6 и 7 семестрах.

Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения содержания дисциплин «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Атомная и ядерная физика», «Теоретическая механика», «Квантовая механика», «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Векторный и тензорный анализ», «Методы математической физики».

Целью освоения дисциплины является:

Формирование у студентов современного представления об основных методах статистического и термодинамического (феноменологического) описания свойств равновесных и неравновесных макроскопических систем, состоящих из большого числа частиц.

Освоение дисциплины «Термодинамика и статистическая физика» является необходимым базовым образованием для изучения дисциплин «Физическая электроника», «Полупроводниковая электроника».

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

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
Общепрофессиональные компетенции (ОПК)	
ОПК-1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (этап освоения – завершающий)	Знать: методики получения базовых знаний в области математики и естественных наук, в частности в области термодинамики и статистической физики.
	Уметь: овладевать базовыми знаниями в области математики и естественных наук, в частности в области термодинамики и статистической физики и использовать их в профессиональной 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: способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (этап освоения – завершающий)	Знать: современные образовательные и информационные технологии для самостоятельного приобретения новых знаний в области термодинамики и статистической физики
	Уметь: самостоятельно приобретать новые знания в области термодинамики и статистической физики, используя современные образовательные и информационные технологии
	Владеть: опытом самостоятельного приобретения новых знаний в области термодинамики и статистической физики с использованием современных образовательных и информационных технологий

## 2. Структура и содержание дисциплины «Термодинамика и статистическая физика»

Объем дисциплины (модуля) составляет шесть зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 99 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (64 часа – занятия лекционного типа, 32 часа – занятия семинарского типа, 3 часа мероприятия промежуточной аттестации), 117 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, (в том числе 45 часов – подготовка к экзамену).

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)		В том числе											
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы								Самостоятельная работа обучающегося, часы			
	из них													
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа		Всего									
1 Введение.	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная
		Заочная		Заочная		Заочная		Заочная		Заочная		Заочная		Заочная
	1		1						1					

2 Основы классической статистики.	27		9		8					17		10		
3 Термодинамическое описание равновесных систем.	37		12		10					22		15		
4 Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем.	11		5		2					7		4		
5 Фазовые переходы.	7		3							3		4		
6 Распределение Максвелла-Больцмана.	7		2		2					4		3		
7 Флуктуации в равновесных системах.	11		5		2					7		4		
8 Основы квантовой статистики.	29		13		4					17		12		
9 Квантовая статистика невзаимодействующих тождественных частиц.	38		14		4					18		20		
В т.ч. текущий контроль	3				3					3				
Промежуточная аттестация: зачёт, экзамен														

Содержание разделов дисциплины:

1 Введение

2 Основы классической статистики.

Фазовое пространство. Функция статистического распределения. Ансамбль Гиббса. Уравнение Лиувилля. Равновесный статистический ансамбль. Микроканоническое распределение. Каноническое распределе-

ние Гиббса. Связь между микроканоническим и каноническим распределениями. Статистическое определение энтропии равновесной системы.

### 3 Термодинамическое описание равновесных систем.

Изменение состояния. Процесс. Свойства теплоизолированных процессов. Первый принцип термодинамики. Нулевое начало термодинамики. Температура. Теплоемкость. Политропические процессы. Второй принцип термодинамики. Его статистическое обоснование. Термодинамическое определение энтропии. Свободная энергия. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Классическая теория теплоемкостей. Некоторые следствия принципов термодинамики. Характеристические функции. Соотношения между производными от термодинамических величин. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Магнитное охлаждение. Связь энтропии с вероятностью. Принцип возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса. Превращение тепла в работу. Цикл Карно. Теоремы Карно. Расширение газа в пустоту. Выравнивание температур при теплообмене. Встречная диффузия газов. Парадокс Гиббса. Процесс Джоуля-Томсона. Термодинамика систем с переменным числом частиц. Функция распределения для системы с переменным числом частиц в термостате.

### 4 Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем.

Устойчивость изолированной системы. Закрытая система в термостате. Устойчивость системы с переменным числом частиц. Устойчивость тела во внешней среде. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Правило фаз Гиббса. Критическая точка.

### 5 Фазовые переходы.

Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Метастабильные состояния. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау.

### 6 Распределение Максвелла-Больцмана.

Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана для идеального газа.

### 7 Флуктуации в равновесных системах.

Статистический расчет флуктуаций энергии и числа частиц. Квazитермодинамическая теория равновесных флуктуаций. Принцип Больцмана.

## 8 Основы квантовой статистики.

Чистые и смешанные состояния. Статистическая матрица (матрица плотности). Уравнение движения для матрицы плотности. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Статистическая сумма. Свободная энергия. Энтропия. Средняя энергия квантового осциллятора. Равновесное излучение. Формула Планка. Тело в равновесии с излучением. Закон Кирхгофа. Эффективная температура излучения. Квантовая теория теплоемкости идеальных газов. Квантовая теория теплоемкости твердого тела. Третье начало термодинамики. Принцип Нернста. Недостижимость абсолютного нуля температуры.

## 9 Квантовая статистика невзаимодействующих тождественных частиц.

Большое каноническое распределение. Распределение Бозе и Ферми. Квазиклассическое приближение. Температура вырождения. Тепловая ионизация атомов. Уравнение состояния квантового идеального газа из элементарных частиц. Вырожденный бозе-газ. Фотонный газ. Вырожденный ферми-газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа в металлах. Слабая термоэлектронная эмиссия.

### 3. **Образовательные технологии**

Для реализации компетентностного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

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

#### 1. Виды самостоятельной работы:

- еженедельно к каждому практическому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде практических задач.
- еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.

2. Порядок контроля выполнения самостоятельной работы:

- контроль выполнения домашнего задания проводится в рамках каждого практического занятия.
- в рамках каждого аудиторного занятия проводится контроль посещаемости.
- список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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. Квазиротермодинамический расчет флуктуаций.
16. Квантовое распределение Гиббса.
17. Распределение Ферми.
18. Распределение Бозе.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (этап освоения – завершающий)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	Не зачтено	Зачтено
<u>Знания</u>	Уровень знаний ниже минимальных	Минимально допустимый уровень

	требований. Имели место грубые ошибки.	знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми.
<u>Умения</u>	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 30 %	30 – 100 %

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание фундаментальных понятий, принципов и положений электродинамики, основных законов теории поля, свойств различных сред	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.
Умение анализировать полученные знания и возможности их использования в профессиональной деятельности	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме



	ответа		объеме.	недочетами.		недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	без недочетов
Навыки решения профессиональных задач в области электродинамики	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

**ОПК-2:** способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (этап освоения – завершающий)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	Не зачтено	Зачтено
<u>Знания</u>	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми.
<u>Умения</u>	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
Шкала оценок по проценту правиль-	0 – 30 %	30 – 100 %

НО ВЫПОЛНЕННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДА- НИЙ		
--	--	--

Индикато- ры компе- тенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовле- творитель- но	удовлетво- рительно	хорошо	очень хо- рошо	отлично	превос- ходно
Знание за- кономерно- стей рас- простране- ния элек- ромагнит- ных волн в различных средах и методов расчета полей элек- ромагнит- ных волн и колебаний	Отсутст- вие зна- ний тео- ретиче- ского ма- териала.  Невоз- можность оценить полноту знаний вследст- вие отказа обучаю- щегося от ответа	Уровень знаний ни- же мини- мальных требований. Имели ме- сто грубые ошибки.	Минималь- но допус- тимый уро- вень зна- ний. Допу- щено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответст- вующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответст- вующем программе подготовки. Допущено несколько несущест- венных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответст- вующем програм- ме подго- товки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превы- шающем програм- му подго- товки.
Умение самостоя- тельно приобре- тать новые знания в области электроди- намики, используя современ- ные обра- зователь- ные и ин- формаци- онные тех- нологии	Отсутст- вие мини- мальных умений . Невоз- можность оценить наличие умений вследст- вие отказа обучаю- щегося от ответа	При реше- нии стан- дартных задач не продемон- стрированы основные умения.  Имели ме- сто грубые ошибки.	Продемон- стрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемон- стрированы все основ- ные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемон- стрированы все основ- ные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Проде- монстри- рованы все ос- новные уме- ния, решен ы все ос- новные задачи с отдель- ными не- сущест- венными недочета- ми, вы- полнены все зада- ния в пол- ном объе- ме.	Проде- монстри- рованы все основ- ные уме- ния,. Ре- шены все основные задачи. Выполне- ны все задания, в полном объеме без недо- четов
Навыки самостоя- тельного приобрете-	Отсутст- вие вла-	При реше- нии стан- дартных задач не	Имеется минималь- ный	Продемон- стрированы базовые	Продемон- стрированы базовые	Проде- монстри- рованы	Проде- монстри- рован творче-

ния новых знаний в области электродинамики с использованием современных образовательных и информационных технологий	дения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	ский подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания.

Для оценки результатов обучения студентов на экзамене применяется семизначная шкала оценивания.

Для оценки результатов обучения студентов на зачёте применяется двузначная шкала оценивания.

## 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить часть из двух разделов содержания дисциплины.

Для оценивания итогов обучения в виде умений и владений используются практические контрольные задания в виде краткой формулировки действий, которые следует выполнить для получения решения предложенной задачи, или описания ожидаемого результата решения предлагаемой задачи.

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

*Пример экзаменационного билета:*

Вопрос 1. Микроканоническое распределение.

Вопрос 2. Фазовые переходы первого рода.

Задача: Нагревается или охлаждается классический одноатомный идеальный газ

при расширении по закону:  $P^2 \cdot V = const$ . Какова его молярная теплоёмкость в этом процессе.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канатов О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2022. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/met\\_mat\\_Mil.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf).

2. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

---

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.II. М. Наука, 1976, 584 стр.
2. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М. Наука, 1977, 552 стр.
3. Базаров И.П. Термодинамика. М. Высшая школа, 1991, 343 стр.
4. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика. М. Наука, 1982, 608 стр.

---

б) дополнительная литература:

1. Терлецкий Я.П. Статистическая физика. М. Высшая школа, 1994, 280 стр.
2. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. М. Наука, 1973, 424 стр.
3. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. М. Наука, 1983, 416 стр.

в) Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным Государственным Образовательным Стандартом Высшего Профессионального Образования с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика», квалификация - бакалавр.

Автор \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Рецензент \_\_\_\_\_ Бакунов М.И.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.