

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Статистическая физика и термодинамика

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11.04 Статистическая физика и термодинамика относится к обязательной части образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1: Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1: Знать основы классической статистической физики равновесных систем; термодинамическое (феноменологическое) описание равновесного состояния макроскопических систем и квазистатических процессов; свойства необратимых процессов приближения к термодинамическому равновесию; условия равновесия и устойчивости термодинамических систем; характеристики флуктуаций в равновесных системах; основы квантовой статистической физики. Уметь пользоваться законами термодинамики и статистическими распределениями для расчета термодинамических параметров равновесных систем и их флуктуаций, для описания квазистационарных процессов в термодинамических системах. Владеть навыками решения задач, основываясь на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.	Задачи	Зачёт: Задачи Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

ОПК-3: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	ОПК-3.1: Демонстрация способности понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-3.1: Знать базовые принципы работы современных информационных технологий Уметь применять полученные знания термодинамики и статистической физики для решения задач профессиональной деятельности Владеть навыками научно-исследовательской работы с применением современных информационных технологий	Задачи	Зачёт: Задачи Экзамен: Задачи Контрольные вопросы
---	--	--	--------	---

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	7
Часов по учебному плану	252
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	64
- КСР	3
самостоятельная работа	85
Промежуточная аттестация	36 Экзамен, Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение в термодинамику	11	4	4	8	3
Формализм термодинамики	12	4	4	8	4

Формализм статистической физики	14	4	4	8	6
Микроканоническое распределение	14	4	4	8	6
Распределение Гиббса	14	4	4	8	6
Квантовое распределение Гиббса	14	4	4	8	6
Тождественные частицы	14	4	4	8	6
Равновесное излучение	14	4	4	8	6
Неидеальные газы	14	4	4	8	6
Равновесие фаз	14	4	4	8	6
Многокомпонентные системы	14	4	4	8	6
Твердое тело	14	4	4	8	6
Термодинамика диэлектриков и магнетиков	36	12	12	24	12
Теория флуктуаций	14	4	4	8	6
Аттестация	36				
КСР	3			3	
Итого	252	64	64	131	85

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в термодинамику
 Формализм термодинамики
 Формализм статистической физики
 Микроканоническое распределение
 Распределение Гиббса
 Квантовое распределение Гиббса
 Тождественные частицы
 Равновесное излучение
 Неидеальные газы
 Равновесие фаз
 Многокомпонентные системы
 Твердое тело
 Термодинамика диэлектриков и магнетиков
 Теория флуктуаций

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

- 1) Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1983. - 416 с. – 46 экз.
- 2) Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - 5-изд., стереот.- М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922100540.html>

3) Теоретическая физика. Том 9. Статистическая физика. Ч.2. Теория конденсированного состояния. [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - 4-е изд., исправл. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. -

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102966.html>

4) Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1972. - 400 с. – 32 экз.

б) дополнительная литература:

1) Семенов В.Е., Дорожкина Д.С. Лекции по термодинамике и статистической физике с примерами и задачами. Часть первая. Н.Новгород: ИПФ РАН, 2003. – 300 экз. (деканат ВШОПФ)

2) Ансельм, А.И. Основы статистической физики и термодинамики. — СПб. : Лань, 2007. — 448 с. — Режим доступа: ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/book/692>

3) Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории. [Электронный ресурс] / Кондратьев А.С., Райгородский П.А. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. -

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108768.html>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/statphys.htm>

2) Электронная библиотека Института космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера (ИКФИА) <http://ikfia.ysn.ru/lektsii-i-obzory-dlya-studentov/9-uncategorised/766-stat-fizik.html>

3) В.П. Смирнов КУРС СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. Конспект лекций - Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. - 102 с. Учебные издания Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики: http://books.ifmo.ru/book/613/kurs_statisticheskoy_fiziki._konspekt_lekciy.htm

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. Пусть работа в макроскопической системе с одним внешним параметром определяется как $\delta A = X\delta x$, где $X(x, E) = Ef(x)$. Найти интеграл адиабатического процесса J , допустимый произвол в калорическом уравнении состояния и отвечающую этому произволу энтропию.

Ответ:

2. Выразить $C_p - C_v$ через производные $(\partial P/\partial T)_v$ и $(\partial P/\partial V)_T$.

Ответ:

3. Система состоит из N ($N \gg 1$) одинаковых невзаимодействующих двухуровневых частиц, т.е. каждая из частиц может находиться в одном из двух энергетических состояний с энергией 0 или ε . Система описывается микроканоническим распределением вероятностей с полной энергией $E = k\varepsilon$. Для произвольной выборки из M частиц определить среднюю энергию $\langle E_M \rangle$ и дисперсию $D = \langle (E_M - \langle E_M \rangle)^2 \rangle$.

Ответ:

4. С помощью канонического распределения вероятностей определить уравнения состояния и теплоемкость нерелятивистского идеального газа, состоящего из N материальных точек (бесструктурных частиц) и занимающего объем V .

Ответ:

5. Определить в предельном случае высоких температур плотность квантовых состояний и статистическую сумму для плоского ротатора с моментом инерции I .

Ответ:

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. Пусть работа в макроскопической системе с двумя внешними параметрами определяется как $\delta A = X\delta x + Y\delta y$, где $X(x, y, E) = AE/x$. Определить максимальный возможный произвол для функции $Y(x, y, E)$, найти интеграл адиабатического процесса и допустимый произвол в термическом уравнении состояния.

Ответ:

2. Выразить C_p/C_v через производные $(\partial V/\partial T)_p$, $(\partial V/\partial T)_s$.

Ответ:

3. Система состоит из двух подсистем с температурами T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$) и постоянными теплоемкостями $C_{v1} = C_{v2}$. Определить максимальную работу, которую можно «извлечь» из такой системы в процессе, в результате которого объемы подсистем возвращаются к своим первоначальным значениям.

Ответ:

4. Определить теплоемкость системы, характеризующейся конечным числом квантовых состояний с эквидистантным энергетическим спектром: $E_n = n\varepsilon$, $n = 1, 2, \dots, N$, $N \gg 1$; в диапазоне температур $\varepsilon \ll T \ll N\varepsilon$.

Ответ:

5. Определить с помощью большого канонического распределения уравнение состояния идеального газа тождественных нерелятивистских частиц без внутренней структуры.

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач. (2). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. (3). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. (4). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. (5). Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не

Оценка	Критерии оценивания
	<p>продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.</p> <p>(2). Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений.</p> <p>Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа.</p> <p>Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.</p>

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения 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. Ошибок нет.	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 не 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 и несущественными 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 базовых навыков.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальный набор	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы навыки	Продемонстрирован творческий

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	подход к решению нестандартных задач
--	--	--	--	---	---	--	--------------------------------------

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. Пусть работа в макроскопической системе с одним внешним параметром определяется как $\delta A = X \delta x$, где $X(x, E) = E f(x)$. Найти интеграл адиабатического процесса J , допустимый произвол в калорическом уравнении состояния и отвечающую этому произволу энтропию.

Ответ:

2. Выразить $C_p - C_v$ через производные $(\partial P / \partial T)_v$ и $(\partial P / \partial V)_T$.

Ответ:

3. Система состоит из N ($N \gg 1$) одинаковых невзаимодействующих двухуровневых частиц, т.е. каждая из частиц может находиться в одном из двух энергетических состояний с энергией 0 или ε . Система описывается микроканоническим распределением вероятностей с полной энергией $E = k\varepsilon$. Для произвольной выборки из M частиц определить среднюю энергию $\langle E_M \rangle$ и дисперсию $D = \langle (E_M - \langle E_M \rangle)^2 \rangle$.

Ответ:

4. С помощью канонического распределения вероятностей определить уравнения состояния и теплоемкость нерелятивистского идеального газа, состоящего из N материальных точек (бесструктурных частиц) и занимающего объем V .

Ответ:

5. Определить в предельном случае высоких температур плотность квантовых состояний и статистическую сумму для плоского ротатора с моментом инерции I .

Ответ:

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. Пусть работа в макроскопической системе с двумя внешними параметрами определяется как $\delta A = X\delta x + Y\delta y$, где $X(x, y, E) = AE/x$. Определить максимальный возможный произвол для функции $Y(x, y, E)$, найти интеграл адиабатического процесса и допустимый произвол в термическом уравнении состояния.

Ответ:

2. Выразить C_p/C_v через производные $(\partial V/\partial T)_p$, $(\partial V/\partial T)_s$.

Ответ:

3. Система состоит из двух подсистем с температурами T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$) и постоянными теплоемкостями $C_{v1} = C_{v2}$. Определить максимальную работу, которую можно «извлечь» из такой системы в процессе, в результате которого объемы подсистем возвращаются к своим первоначальным значениям.

Ответ:

4. Определить теплоемкость системы, характеризующейся конечным числом квантовых состояний с эквидистантным энергетическим спектром: $E_n = n\varepsilon$, $n = 1, 2, \dots, N$, $N \gg 1$; в диапазоне температур $\varepsilon \ll T \ll N\varepsilon$.

Ответ:

5. Определить с помощью большого канонического распределения уравнение состояния идеального газа тождественных нерелятивистских частиц без внутренней структуры.

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач. (2). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. (3). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. (4). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. (5). Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не

Оценка	Критерии оценивания
	<p>продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.</p> <p>(2). Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений.</p> <p>Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа.</p> <p>Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.</p>

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. Пусть работа в макроскопической системе с одним внешним параметром определяется как $\delta A = X \delta x$, где $X(x, E) = E f(x)$. Найти интеграл адиабатического процесса J , допустимый произвол в калорическом уравнении состояния и отвечающую этому произволу энтропию.

Ответ:

2. Выразить $C_p - C_v$ через производные $(\partial P / \partial T)_V$ и $(\partial P / \partial V)_T$.

Ответ:

3. Система состоит из N ($N \gg 1$) одинаковых невзаимодействующих двухуровневых частиц, т.е. каждая из частиц может находиться в одном из двух энергетических состояний с энергией 0 или ε . Система описывается микроканоническим распределением вероятностей с полной энергией $E = k\varepsilon$. Для произвольной выборки из M частиц определить среднюю энергию $\langle E_M \rangle$ и дисперсию $D = \langle (E_M - \langle E_M \rangle)^2 \rangle$.

Ответ:

4. С помощью канонического распределения вероятностей определить уравнения состояния и теплоемкость нерелятивистского идеального газа, состоящего из N материальных точек (бесструктурных частиц) и занимающего объем V .

Ответ:

5. Определить в предельном случае высоких температур плотность квантовых состояний и статистическую сумму для плоского ротатора с моментом инерции I .

Ответ:

6. Определить вклад электрического поля во внутреннюю энергию U конденсатора, заполненного однородным изотропным линейным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(T)$, зависящей от температуры T . Найти теплоемкость C_q конденсатора при заданной величине заряда q на его обкладках, если теплоемкость незаряженного конденсатора равна C_0 .

Ответ:

7. В условиях предыдущей задачи определить изменение температуры при малом изменении заряда конденсатора в адиабатическом процессе. Найти также поступление тепла в систему при малом изменении заряда в изотермическом процессе.

Ответ:

8. Закрытый сосуд наполовину заполнен кипящей водой, находящейся в равновесии со своим паром. Система находится в термостате с температурой T , давление насыщенного пара над чистой водой равно P_0 . В систему накачивается этанол при неизменной температуре; при этом давление в системе увеличивается до величины P_1 , а концентрация этанола в жидкой воде оказывается равной c_1 ($c_1 \ll 1$). Затем давление системы увеличивают до значения P_2 (температура не меняется). Определить, какой в конечном итоге станет концентрация этанола в жидкой фазе c_2 . Считать, что жидкость несжимаема, а пар описывается моделью идеального газа, удельный объем которого намного превышает удельный объем в жидкости: $v_0 \cong \text{const}$, $v_n \gg v_0 = v_{жс}$.

Ответ:

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

Решите задачи. Запишите решение и ответ.

1. Пусть работа в макроскопической системе с двумя внешними параметрами определяется как $\delta A = X\delta x + Y\delta y$, где $X(x, y, E) = AE/x$. Определить максимальный возможный произвол для функции $Y(x, y, E)$, найти интеграл адиабатического процесса и допустимый произвол в термическом уравнении состояния.

Ответ:

2. Выразить C_p/C_v через производные $(\partial V/\partial T)_p$, $(\partial V/\partial T)_s$.

Ответ:

3. Система состоит из двух подсистем с температурами T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$) и постоянными теплоемкостями $C_{v1} = C_{v2}$. Определить максимальную работу, которую можно «извлечь» из такой системы в процессе, в результате которого объемы подсистем возвращаются к своим первоначальным значениям.

Ответ:

4. Определить теплоемкость системы, характеризующейся конечным числом квантовых состояний с эквидистантным энергетическим спектром: $E_n = n\varepsilon$, $n = 1, 2, \dots, N$, $N \gg 1$; в диапазоне температур $\varepsilon \ll T \ll N\varepsilon$.

Ответ:

5. Определить с помощью большого канонического распределения уравнение состояния идеального газа тождественных нерелятивистских частиц без внутренней структуры.

Ответ:

6. Пусть известны решения прямой и обратной задачи электростатики для системы N проводников в линейной изотропной диэлектрической среде:

$$\varphi_\alpha = \sum_{\beta} K_{\alpha\beta}(T) q_\beta \quad q_\alpha = \sum_{\beta} G_{\alpha\beta}(T) \varphi_\beta$$

Определить теплоемкость системы при фиксированных потенциалах проводников, если ее теплоемкость при нулевых потенциалах равна C_0 .

Ответ:

7. Определить теплоемкость конденсатора, заполненного однородным изотропным линейным диэлектриком с зависящей от температуры диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(T)$, в процессе с фиксированной разностью потенциалов φ на его обкладках. теплоемкость незаряженного конденсатора равна C_0 .

Ответ:

8. Вычислить коррелятор внутренней энергии и числа частиц $\langle \Delta E \Delta N \rangle$ для нерелятивистского идеального газа фермионов, находящегося в заданном объеме V в термостате с температурой T и химическим потенциалом μ . Частицы считать материальными точками (без внутренней структуры).

Ответ:

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

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

5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1) Математическая формулировка второго начала. Энтропия как термодинамический потенциал равновесной системы.

- 2) Термодинамические потенциалы в простых системах.
- 3) Экстенсивные и интенсивные параметры. Максимальный произвол в зависимости термодинамических потенциалов от своих аргументов.
- 4) Микроканоническое распределение и уравнения состояния.
- 5) Распределение вероятностей по энергиям подсистем, находящихся в тепловом контакте.
- 6) Распределение Гиббса в классической статистической физике.
- 7) Распределение вероятности по энергии системы в термостате.
- 8) Квантовое каноническое распределение.
- 9) Плотность квантовых состояний в квазиклассическом пределе.
- 10) Большое каноническое распределение.
- 11) Расширенное каноническое распределение.
- 12) Уравнения состояния идеального газа и условия их применимости.
- 13) Идеальный газ тождественных частиц. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, расчет уравнений состояния.
- 14) Термодинамика фотонного газа.
- 15) Излучение черного тела (интенсивность излучения в единицу телесного угла).
- 16) Плотность свободной энергии в диэлектрической среде, выраженная через макроскопические поля
- 17) Свободная энергия диэлектрического тела в однородном внешнем поле.
- 18) Плотность свободной энергии в магнитной среде, выраженная через макроскопические поля.
- 19) Свободная энергия куска магнетика в однородном внешнем поле.
- 20) Независимо флуктуирующие термодинамические параметры в системах с фиксированным объемом.
- 21) Независимо флуктуирующие термодинамические параметры в системах с фиксированным числом частиц

5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

- 1) Математическая формулировка второго начала. Энтропия как термодинамический потенциал равновесной системы.

- 2) Термодинамические потенциалы в простых системах.
- 3) Экстенсивные и интенсивные параметры. Максимальный произвол в зависимости термодинамических потенциалов от своих аргументов.
- 4) Микроканоническое распределение и уравнения состояния.
- 5) Распределение вероятностей по энергиям подсистем, находящихся в тепловом контакте.
- 6) Распределение Гиббса в классической статистической физике.
- 7) Распределение вероятности по энергии системы в термостате.
- 8) Квантовое каноническое распределение.
- 9) Плотность квантовых состояний в квазиклассическом пределе.
- 10) Большое каноническое распределение.
- 11) Расширенное каноническое распределение.
- 12) Уравнения состояния идеального газа и условия их применимости.
- 13) Идеальный газ тождественных частиц. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, расчет уравнений состояния.
- 14) Термодинамика фотонного газа.
- 15) Излучение черного тела (интенсивность излучения в единицу телесного угла).
- 16) Плотность свободной энергии в диэлектрической среде, выраженная через макроскопические поля
- 17) Свободная энергия диэлектрического тела в однородном внешнем поле.
- 18) Плотность свободной энергии в магнитной среде, выраженная через макроскопические поля.
- 19) Свободная энергия куска магнетика в однородном внешнем поле.
- 20) Независимо флуктуирующие термодинамические параметры в системах с фиксированным объемом.
- 21) Независимо флуктуирующие термодинамические параметры в системах с фиксированным числом частиц

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.

Оценка	Критерии оценивания
	Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Леонтович Михаил Александрович. Введение в термодинамику. Статистическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1983. - 416 с. : ил. - 1.10., 46 экз.

2. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика. Часть 1 : Учебное пособие. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2018. - 620 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1510-0., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741027&idb=0>.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 9. Статистическая физика. Теория конденсированного состояния. Часть 2 : Учебное пособие. - 5-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2018. - 440 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1580-3., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741029&idb=0>.
4. Румер Юрий Борисович. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов / [ред. Т. Г. Корышева]. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 552 с. - 1.50., 11 экз.

Дополнительная литература:

1. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1973. - 423 с. : черт. - 1.01., 12 экз.
2. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории. / Кондратьев А.С., Райгородский П.А. - Москва : Физматлит, 2007., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636054&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/statphys.htm>
- 2) Электронная библиотека Института космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера (ИКФИА) <http://ikfia.ysn.ru/lektsii-i-obzory-dlya-studentov/9-uncategorised/766-stat-fizik.html>
- 3) В.П. Смирнов КУРС СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. Конспект лекций - Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. - 102 с. Учебные издания Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики:
http://books.ifmo.ru/book/613/kurs_statisticheskoy_fiziki._konspekt_lekciy.htm

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

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 по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Кукушкин Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, доцент
Дорожкина Дарья Сергеевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Викторov Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 31.01.2025, протокол № 2.