

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 21.07.2025 15:50:26
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Е.М. Семенова

«24»

июня

2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Термодинамика и статистическая физика

Закреплена за
кафедрой:

Общей физики

Направление
подготовки:

03.03.02 Физика

Направленность
(профиль):

**Физика, технологии и компьютерное моделирование
функциональных материалов**

Квалификация:

Бакалавр

Форма обучения:

очная

Семестр:

7,8

Программу составил:

д-р физ.-мат. наук, проф., Самсонов В.М.

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

овладение основными методами и подходами термодинамики и статистической физики

Задачи:

Изучение основ термодинамики и статистической физики;

Приобретение навыков применения основных знаний в области термодинамики и статистической физики для решения стандартных задач;

Приобретение навыков применения методов термодинамики и статистической физики к решению задач физики конденсированного состояния, включая описание таких систем, как электронный и фононный газы.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Теория вероятностей и математическая статистика

Квантовая механика

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Квантовая механика

Преддипломная практика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
в том числе:	
аудиторные занятия	104
самостоятельная работа	61
часов на контроль	27

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Анализирует физические объекты и процессы с применением базовых знаний в области физико-математических наук

ОПК-1.2: Применяет знания в области физико-математических наук при решении практических задач в сфере профессиональной деятельности

ОПК-2.2: Решает теоретические задачи и проводит моделирование физических объектов, систем и процессов в рамках научного исследования.

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.2: Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	8
зачеты	7

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Введение. Предмет и методы термодинамики и статистической физики. Макроскопические системы различной природы. История развития термодинамики и статистической физики.					
1.1	Введение.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2	
1.2	Введение.	Ср	7	4		
	Раздел 2. Основы термодинамики					
2.1	Основные понятия термодинамики: термодинамическая система, параметры состояния, термодинамическое равновесие. Температура.	Лек	7	1		
2.2	Основные понятия термодинамики: термодинамическая система, параметры состояния, термодинамическое равновесие. Температура.	Пр	7	1	Л1.4 Л1.5	
2.3	Основы термодинамики	Ср	7	10		
2.4	Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Теплоемкость. Применение первого закона к идеальным системам: идеальному газу и фотонному газу. Понятие о сложных термодинамических системах.	Лек	7	2		
2.5	Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Теплоемкость. Применение первого закона к идеальным системам: идеальному газу и фотонному газу. Понятие о сложных термодинамических системах.	Пр	7	2		

2.6	Второй закон термодинамики. Энтропийная формулировка 2-го закона. Поток и производство энтропии.	Лек	7	2		
2.7	Второй закон термодинамики. Энтропийная формулировка 2-го закона. Поток и производство энтропии.	Пр	7	2		
2.8	Третий закон термодинамики. «Нулевой» закон и его роль.	Лек	7	1		
2.9	Третий закон термодинамики. «Нулевой» закон и его роль.	Пр	7	2		
2.10	Математический аппарат термодинамики: метод однородных функций Эйлера, дифференциальные формы Пфаффа, метод якобианов преобразования.	Лек	7	2		
2.11	Математический аппарат термодинамики: метод однородных функций Эйлера, дифференциальные формы Пфаффа, метод якобианов преобразования.	Пр	7	2		
2.12	Метод характеристических функций. Термодинамика открытых систем. Химический потенциал.	Лек	7	2		
2.13	Метод характеристических функций. Термодинамика открытых систем. Химический потенциал.	Пр	7	2		
2.14	Термодинамическая фаза. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Условия равновесия гетерогенной системы, состоящей из 2-х гомогенных фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	Лек	7	2		
2.15	Термодинамическая фаза. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Условия равновесия гетерогенной системы, состоящей из 2-х гомогенных фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	Пр	7	2		
2.16	Теория Ландау фазовых переходов 2-го рода	Лек	7	1		
2.17	Теория Ландау фазовых переходов 2-го рода	Пр	7	1		
2.18	Понятие о теории зарождения новой фазы. Работа нуклеации. Критический зародыш по Гиббсу.	Лек	7	1		

2.19	Понятие о теории зарождения новой фазы. Работа нуклеации. Критический зародыш по Гиббсу.	Пр	7	1		
	Раздел 3. Введение в статистическую физику.					
3.1	Метод статистической физики. Основные понятия теории вероятностей. Статистические функции распределения. Усреднение. Понятие о флуктуациях.	Лек	7	1		
3.2	Метод статистической физики. Основные понятия теории вероятностей. Статистические функции распределения. Усреднение. Понятие о флуктуациях.	Пр	7	1		
3.3	Классическое и квантовое уравнение Лиувилля.	Лек	7	2		
3.4	Классическое и квантовое уравнение Лиувилля.	Пр	7	2		
3.5	Введение в статистическую физику	Ср	7	10		
	Раздел 4. Статистическая теория идеальных систем					
4.1	Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана.	Лек	7	1		
4.2	Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана.	Пр	7	1		
4.3	Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.	Лек	7	1		
4.4	Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.	Пр	7	1		
4.5	Теория теплоемкости идеального газа.	Лек	7	2		
4.6	Теория теплоемкости идеального газа.	Пр	7	2		
4.7	Статистика Бозе-Эйнштейна. Статистика Ферми-Дирака.	Лек	7	1		
4.8	Статистика Бозе-Эйнштейна. Статистика Ферми-Дирака.	Пр	7	1		
4.9	Переход к классической статистике Максвелла-Больцмана. Сравнение статистики	Лек	7	1		
4.10	Переход к классической статистике Максвелла-Больцмана. Сравнение статистики	Пр	7	1		
4.11	Применение статистики Бозе к фотонному газу.	Лек	7	1		

4.12	Применение статистики Бозе к фотонному газу.	Пр	7	1		
4.13	Квантовая теория теплоемкости твердого тела. Вырожденный Ферми-газ.	Лек	7	1		
4.14	Квантовая теория теплоемкости твердого тела. Вырожденный Ферми-газ.	Пр	7	1		
4.15	Статистическая теория идеальных систем	Ср	7	12		
	Раздел 5. Системы взаимодействующих частиц					
5.1	Формула Больцмана для энтропии. Статистический вес макроскопического состояния.	Лек	8	2		
5.2	Формула Больцмана для энтропии. Статистический вес макроскопического состояния.	Пр	8	2		
5.3	Метод Гиббса. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса для квантового и классического случаев.	Лек	8	2		
5.4	Метод Гиббса. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса для квантового и классического случаев.	Пр	8	2		
5.5	Распределение Максвелла-Больцмана как частный случай распределения Гиббса.	Лек	8	2		
5.6	Распределение Максвелла-Больцмана как частный случай распределения Гиббса.	Пр	8	2		
5.7	Статистический и конфигурационный интегралы. Теория идеального газа. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса.	Лек	8	4		
5.8	Статистический и конфигурационный интегралы. Теория идеального газа. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса.	Пр	8	4		
5.9	Системы взаимодействующих частиц	Ср	8	8		
	Раздел 6. Введение в неравновесную термодинамику и физическую кинетику.					

6.1	Основные принципы неравновесной термодинамики: принцип линейности, принцип симметрии кинетических коэффициентов, принцип Кюри. Понятие о нелинейной термодинамики и синергетике.	Лек	8	2		
6.2	Основные принципы неравновесной термодинамики: принцип линейности, принцип симметрии кинетических коэффициентов, принцип Кюри. Понятие о нелинейной термодинамики и синергетике.	Пр	8	2		
6.3	Броуновское движение. Марковские процессы. Уравнение Фоккера-Планка и его простейшие приложения.	Лек	8	2		
6.4	Броуновское движение. Марковские процессы. Уравнение Фоккера-Планка и его простейшие приложения.	Пр	8	2		
6.5	Кинетическое уравнение Больцмана, Н-теорема. Кинетическое уравнение с релаксационным членом и его простейшие приложения.	Лек	8	2		
6.6	Кинетическое уравнение Больцмана, Н-теорема. Кинетическое уравнение с релаксационным членом и его простейшие приложения.	Пр	8	2		
6.7	Введение в неравновесную термодинамику и физическую кинетику	Ср	8	10		
	Раздел 7. Статистическая физика конденсированного состояния.					
7.1	Статистика фононного и электронного газов. Состояние электронов в кристаллической решетке.	Лек	8	4		
7.2	Статистика фононного и электронного газов. Состояние электронов в кристаллической решетке.	Пр	8	4		

7.3	Статистика носителей заряда. Неравновесные электроны и дырки. Рассеяния носителей заряда, проводимость, и кинетические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников. Квазичастицы. Акустические и оптические фононы, плазмоны, экситоны Френкеля и Ванье. Конденсация бозонов. Сверхтекучесть. Электрон-фононные взаимодействия.	Лек	8	4		
7.4	Статистика носителей заряда. Неравновесные электроны и дырки. Рассеяния носителей заряда, проводимость, и кинетические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников. Квазичастицы. Акустические и оптические фононы, плазмоны, экситоны Френкеля и Ванье. Конденсация бозонов. Сверхтекучесть. Электрон-фононные взаимодействия.	Пр	8	4		
7.5	Полярон Фрелиха. Взаимодействие света с кристаллической решеткой, поляритоны. Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников. Поверхностные состояния электронов. Состояния электронов в структурах с пониженной размерностью.	Лек	8	2		
7.6	Полярон Фрелиха. Взаимодействие света с кристаллической решеткой, поляритоны. Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников. Поверхностные состояния электронов. Состояния электронов в структурах с пониженной размерностью.	Пр	8	2		
7.7	Статистическая физика конденсированного состояния	Ср	8	7		
	Раздел 8. экзамен					
8.1	экзамен	Экзамен	8	27		

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Задание:

Может ли понятие химического потенциала применяться к электронному газу в металлах?

Нет, поскольку электронный газ не является химическим веществом.

Да, поскольку электрон имеет массу покоя.

Да, поскольку электронный газ соответствует определению макроскопической термодинамической системы.

Нет, потому что электроны обладают волновыми свойствами.

В формуле для изменения энтропии идеального газа

$$\Delta S_{12} = C_V \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

отвечающего переходу из состояния 1 в состояние 2, перейдите в правой части от переменных T и V к переменным T и P . Здесь C_V – изохорическая молярная теплоёмкость, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, V – молярный объём, P – давление.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

Задание:

Возможно только три статистических ансамбля: микроканонический, канонический и большой канонический. Согласны ли вы с этим утверждением?

Да, другие ансамбли невозможны.

Нет, можно «конструировать» и иные ансамбли, например – ансамбль.

Другие ансамбли невозможны, потому что нет других характеристических функций, с которыми эти ансамбли были бы связаны.

Возможен еще один ансамбль – ансамбль.

Из общего дифференциального уравнения адиабаты

$$(\partial T / \partial X)_x dX + \gamma (\partial T / \partial x)_X dx = 0$$

получите уравнение адиабаты для идеального парамагнетика. Здесь T – абсолютная температура, $\gamma = C_X / C_x$ (X – обобщённая сила, x – сопряжённая с ней обобщённая координата).

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

Задание:

1. Покажите, что для группы аномальных веществ (например, для воды при $t^{\circ} < 4^{\circ}\text{C}$), у которых удельный объём твёрдой фазы $V_{\text{Т}}$ больше удельного объёма жидкости $V_{\text{Ж}}$, температура плавления T уменьшается с ростом давления.

2. Может ли температура плавления вещества понижаться с ростом внешнего давления?

а. Да, для группы аномальных веществ, у которых удельный объём расплава больше, чем удельный объём кристалла.

б. Нет, т.к. это противоречит уравнению Клапейрона-Клаузиуса.

с. Да, и так ведет себя температура плавления всех веществ.

д. Да, но только для простых веществ.

Способ аттестации: устный или письменный

Критерии оценки:

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

см. приложение

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Бондарев, Калашников, Спирин, Курс общей физики в 3 кн. Книга 3: термодинамика, статистическая физика, строение вещества, Москва: Юрайт, 2023, ISBN: 978-5-9916-1755-0, URL: https://urait.ru/bcode/532034
Л1.2	Ефремов, Статистическая физика и термодинамика, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-05152-0, URL: https://urait.ru/bcode/539573
Л1.3	Самсонов, Учебно-методический комплекс по дисциплине "Термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика", Тверь, 2012, ISBN: , URL: http://texts.lib.tversu.ru/texts2/04293umk.pdf

Л1.4	Краснопевцев Е. А., Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем, Новосибирск: НГТУ, 2017, ISBN: 978-5-7782-3366-9, URL: https://e.lanbook.com/book/118453
Л1.5	Кондратьев А. С., Райгородский П. А., Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории, Москва: Физматлит, 2007, ISBN: 978-5-9221-0876-8, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68400

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Новиков И. И., Термодинамика, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-0987-7, URL: https://e.lanbook.com/book/210323
Л2.2	Савельев И. В., Молекулярная физика и термодинамика, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-9197-1, URL: https://e.lanbook.com/book/187739

9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	1. Ячейки Беннара (учебный фильм) : http://www.youtube.com/watch?v=FRFqoH1Tv-g
Э2	2. Диффузия и ее применение (учебный фильм): http://rutube.ru/video/01c1b9358e696f998e466640660591a0

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Многофункциональный редактор ONLYOFFICE

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Лань»
6	ЭБС BOOK.ru
7	ЭБС ТвГУ
8	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

3-218

комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Вопросы и задачи для проверки знаний при освоении дисциплины

1. Для идеального газа $pv = \theta$, $c_v = \text{const}$ получить уравнение адиабаты $p = p(v)$.
2. Показать, что для идеального газа $pv = \theta$ удельная теплоемкость $c_p = c_v + R$
3. Определить КПД тепловой машины, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм $\theta = \theta_1$, $\theta = \theta_2$ пересеченных двумя адиабатами.
4. Показать, что КПД теплового двигателя не может превысить КПД цикла Карно, работающего в том же диапазоне температур.
5. Для идеального газа $pv = \theta$, $c_v = \text{const}$, получить барометрическое распределение плотности в поле силы тяжести $U(z) = mgz$.
6. Исходя из условия равновесия жидкости и газа $\mu_{\text{gas}}(\theta, p) = \mu_{\text{liq}}(\theta, p)$, получить выражение для температурного градиента $\frac{dp}{d\theta}$ давления насыщенного пара.
7. Полагая, что давление равновесного электромагнитного излучения P равно трети плотности его энергии $u = \frac{\varepsilon}{V}$, получить температурную зависимость $u = u(\theta)$.
8. Считая $dS = \frac{1}{\theta}(d\varepsilon + pdV)$ полным дифференциалом в переменных (θ, V) , выразить величину $\left[\frac{\partial \varepsilon}{\partial v}\right]_{\theta}$ через уравнение состояния $p = p(\theta, V)$.
9. Показать, что если теплоемкость $c_v \sim \theta^a$, то энтропия системы имеет тот же характер зависимости от температуры.
10. Указать условия, при которых равновесное состояние системы соответствует максимальному значению энтропии.
11. Указать условия, при которых равновесное состояние системы соответствует минимальному значению свободной энергии.
12. Показать, что для равновесной классической нерелятивистской системы средняя кинетическая энергия частиц равна $\frac{3}{2}\theta$.
13. Определить среднее число частиц идеального классического газа, падающих за секунду на 1 см^2 стенки.
14. Для вырожденного $\theta = 0$ идеального Ферми-газа определить граничные значения импульса и энергии частиц.
15. Определить среднюю энергию гармонических колебаний, происходящих в равновесных статистических системах.
16. Для системы с фиксированным числом частиц получить оценку для дисперсии температуры $(\Delta\theta)^2$ при условии $V = \text{const}$, $p = \text{const}$.
17. Для равновесной системы, находящейся в выделенной воображаемыми стенками области определить дисперсию числа частиц в системе $(\Delta N)^2$, выразив ее через уравнение состояния $p = p(\theta, V)$.

18. Рассчитать теплоемкость идеального газа в процессе $\frac{p}{V} = \text{const}$.
19. Установить связь критических параметров с постоянными a, b уравнения состояния системы Ван-дер-Ваальса $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$.

20. Система может находиться в любом из N состояний. Вероятность того, что система находится в i -ом состоянии, равна p_i ($i=1, 2, \dots, N$), причем $\sum_{i=1}^N p_i = 1$. Применяя метод неопределенных множителей, показать, что распределение вероятности, соответствующее максимуму информационной энтропии $S = -k \sum_i p_i \ln p_i$, имеет вид

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N}$$

$$S = S_1 = k \ln N.$$

21. Одномерное нормальное (гауссово) распределение с нулевым средним значением и среднеквадратичным отклонением σ описывается выражением

$$p(x) = (2\pi\sigma^2)^{-1/2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad -\infty < x < \infty.$$

а) Показать, что для такого распределения информационная энтропия равна $k \ln (2\pi e \sigma^2)/2$, где e – основание натуральных логарифмов.

б) Показать, что для заданного значения $\int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx \equiv \sigma^2$ нормированное распределение вероятности, имеющее наибольшую информационную энтропию, является одномерным нормальным распределением.

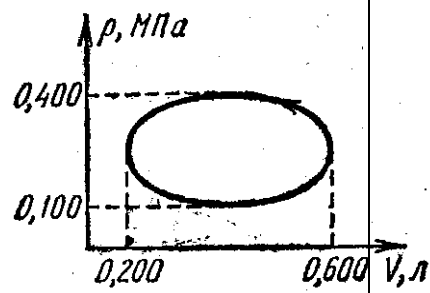
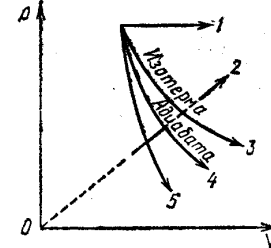
22. Система находится при фиксированных значениях химического потенциала и температуры. Показать, что логарифм большой статистической суммы для такой системы пропорционален объему.

23. а) Показать, что для одной частицы массой m , движущейся классически и нерелятивистски в свободном от полей резервуаре объемом v (при $g = 1$), $Z_1 = h^{-3} v (2\pi m k T)^{3/2}$, где T – температура этой системы.

б) Для n различимых частиц, движущихся независимо, но с точечным взаимодействием, как в п. «а», в классическом случае должно быть справедливо равенство

$$Z_n = Z_1^n$$

Объяснить качественно, как изменится Z_n , если частицы являются неразличимыми.

1.	В рассматриваемом интервале температур теплоемкость некоторого тела определяется функцией $C = 10 + 2 \cdot 10^{-2} T + 3 \cdot 10^{-5} T^2$ (Дж/К). Определить количество теплоты Q , получаемое телом при нагревании от $T_1 = 300\text{K}$ до $T_2 = 400\text{K}$.	
2.	Круговой процесс на диаграмме p, V изображается эллипсом, показанным на рис. Используя данные, приведенные на рисунке, определить количество теплоты Q , получаемое рабочим телом за один цикл	
3.	Изобразить для идеального газа примерные графики изохорического, изобарического, изотермического и адиабатического процессов на диаграммах: а) p, V ; б) T, V ; в) T, p . Графики изобразить проходящими через общую для них точку.	
4.	На рисунке изображены пять процессов, протекающих с идеальным газом. Как ведет себя внутренняя энергия газа в ходе каждого из процессов?	

5.	Некоторое количество идеального газа с одноатомными молекулами совершило при $p=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ обратимый изобарический процесс, в ходе которого объем газа изменился от значения $V_1=10 \text{ л}$ до значения $V_2=20 \text{ л}$. Определить: - приращение внутренней энергии газа ΔU, - совершенную газом работу A, - полученное газом количество теплоты Q.
6.	На рисунке приведены графики четырех различных функций распределения вероятностей значений некоторой величины x. Для каждого из графиков найти константу A, при которой оказывается нормированной. Затем вычислить x и x^2. Для случая a вычислить также $\langle x \rangle$. 