

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.07.2024 12:02:42  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:  
Руководитель ООП  
  
Б.Б.Педько  
«21» мая 2024 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(и):  
*д-р физ.-мат. наук, проф., Самсонов В.М.*



Тверь, 2024

## 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

<b>Общая трудоемкость</b>	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
<b>в том числе:</b>	
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 равномерном распределении энергии по степеням свободы.	Лек	7	1		
4.4	Теорема о равномерном распределении 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  $V_{\text{T}}$  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?

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

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

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

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

Л1.4	Краснопевцев Е. А., Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем, Новосибирск: НГТУ, 2017, ISBN: 978-5-7782-3366-9, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118453">https://e.lanbook.com/book/118453</a>
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: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68400">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68400</a>

### 9.1.2. Дополнительная литература

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

### 9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

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

### 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

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

18. Рассчитать теплоемкость идеального газа в процессе  $\frac{p}{V} = const$ .
19. Установить связь критических параметров с постоянными  $a, b$  уравнения состояния

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

системы Ван-дер-Ваальса

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  $\sigma$  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.

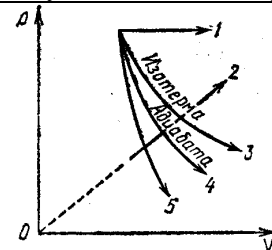
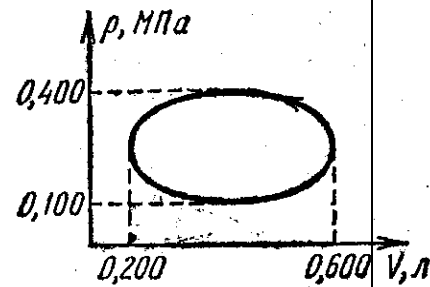
23. а) Показать, что для одной частицы массой  $m$ , движущейся классически и нерелятивистски в свободном от полей резервуаре объемом  $v$  (при  $g = 1$ ),  $Z_1 = h^{-3} v (2\pi m k T)^{3/2}$ , где  $T$  – температура этой системы.

б) Для  $n$  различных 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 $T_1 = 300$ К до $T_2 = 400$ К.
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.	<p>Некоторое количество идеального газа с одноатомными молекулами совершило при <math>p=1 \cdot 10^5 \text{ Па}</math> обратимый изобарический процесс, в ходе которого объем газа изменился от значения <math>V_1=10 \text{ л}</math> до значения <math>V_2=20 \text{ л}</math>.</p> <p>Определить:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>приращение внутренней энергии газа <math>\Delta U</math>,</li> <li>совершенную газом работу <math>A</math>,</li> <li>полученное газом количество теплоты <math>Q</math>.</li> </ol>
6.	<p>На рисунке приведены графики четырех различных функций распределения вероятностей значений некоторой величины <math>x</math>. Для каждого из графиков найти константу <math>A</math>, при которой оказывается нормированной. Затем вычислить <math>\langle x \rangle</math> и <math>\langle x^2 \rangle</math>. Для случая <math>a</math> вычислить также <math>\langle  x  \rangle</math>.</p> 