

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ливанов Дмитрий Викторович
Должность: Ректор
Дата подписания: 19.03.2026 12:06:54
Уникальный программный ключ:
c6d909c49c1d2034fa3a0156c4eaa51e7232a3a2

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

:
:

Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики
кафедра общей физики

курс: 1

квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчики:

А.В. Гавриков, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор
К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент
С.Л. Кленов, д-р физ.-мат. наук, доцент, доцент
В.А. Овчинкин, канд. техн. наук, доцент, доцент
П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент
М.А. Савров, phd, ассистент
Д.И. Холин, канд. физ.-мат. наук, доцент
Л.М. Колдунов, канд. физ.-мат. наук, доцент
И.С. Юдин, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные законы и понятия термодинамики и молекулярной физики, а также границы их применимости:
- основные законы термодинамики (1, 2, 3 «начала»);
- понятие о равновесных и неравновесных процессах, термодинамическое определение энтропии, закон возрастания энтропии, энтропия идеального газа;
- уравнение адиабатического процесса, скорость звука в идеальном газе:
- термодинамические потенциалы и их применение:
- законы течения сжимаемых газов, эффект Джоуля-Томсона:
- уравнение и свойства неидеального газа Ван-дер-Ваальса:
- основы молекулярно-кинетической теории (основное уравнение МКТ, длина свободного пробега, распределения Больцмана, Максвелла);
- основы статистической физики (статистический смысл энтропии, понятие о распределении Гиббса);
- основы квантовой теории теплоёмкости (степени свободы и их возбуждение, характеристические температуры, закон Дюлонга-Пти);
- основы теории фазовых переходов (фазовые диаграммы, теплоты переходов, уравнение Клапейрона-Клаузиуса);
- основные законы поверхностного натяжения (коэффициент поверхностного натяжения, формула Лапласа, внутренняя энергия единицы поверхности);
- основы теории процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Коэффициенты переноса в газовых средах.
- законы случайного блуждания. Броуновское движение, закон Эйнштейна-Смолуховского. Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии:
- принципы получения и измерения вакуума.
- методику проведения эксперимента;
- методику обработки полученных результатов.

уметь:

- применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач механики:
- применять законы сохранения для расчёта процессов сжатия/расширения газов, в том числе: для расширения газа в пустоту; истечение газов из малого отверстия; течение в условиях эффекта Джоуля-Томсона;
- рассчитывать КПД равновесных циклов тепловых и холодильных машин, в том числе заданных в координатах TS;
- рассчитывать изменение энтропии в неравновесных процессах, а также максимальную и минимальную работы систем;
- рассчитывать тепловые процессы с учётом наличия фазовых переходов и эффектов поверхностного натяжения;
- рассчитывать тепловые процессы для неидеальных газов (для уравнения Ван-дер-Ваальса);
- пользоваться вероятностными распределениями, уметь вычислять средние значения и среднеквадратичные отклонения параметров для случаев распределений Больцмана и Максвелла;
- рассчитывать статистический вес и энтропию на основе статистической теории для простейших систем с дискретными энергетическими уровнями;
- рассчитывать скорость переноса вещества (или тепла) при диффузии (или теплопроводности) в стационарных и квазистационарных случаях;
- рассчитывать среднеквадратичное смещение случайно блуждающей частицы;
- анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.
- работать с современным измерительным оборудованием;
- правильно обрабатывать полученные экспериментальные данные.

владеть:

- основными методами решения задач термодинамики и молекулярной физики;
- метод термодинамических потенциалов;
- метод статистических распределений;
- метод Гиббса статистического описания систем;
- основными математическими инструментами, характерными для задач термодинамики и молекулярной физики:
- математический анализ функций многих переменных;
- преобразования частных производных, преобразование Лежандра;
- основы теории вероятностей.
- навыками работы с современным измерительным оборудованием.

3. Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

4. Перечень вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Представлены в прикрепленном файле.

Критерии оценивания

Представлены в прикрепленном файле.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Представлены в прикрепленном файле.

3. Перечень контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

3.1. Теоретические вопросы к экзамену

1. Термодинамические системы. Микроскопические и макроскопические параметры. Термическое и калорическое уравнения состояния. Равновесные и неравновесные состояния и процессы.
2. Идеальный газ. Связь давления и температуры идеального газа с кинетической энергией его молекул. Уравнение состояния идеального газа. Идеально-газовое определение температуры.
3. Работа, внутренняя энергия, теплота. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа.
4. Теплоёмкость. Теплоёмкости при постоянном объёме и давлении. Связь между C_p и C_v для идеального газа (соотношение Майера).
5. Политропический и адиабатический процессы. Уравнение адиабаты и политропы идеального газа.
6. Скорость звука в газах. Влияние состава газа на скорость звука.
7. Уравнение Бернулли для идеального газа. Истечение идеального газа из отверстия.
8. Тепловые машины. Цикл Карно. КПД машины Карно. Теоремы Карно. Холодильная машина и тепловой насос. Коэффициенты эффективности идеальной холодильной машины и идеального теплового насоса.
9. Второе начало термодинамики. Энтропия (термодинамическое определение). Равенство и неравенство Клаузиуса. Энтропия идеального газа.
10. Обратимые и необратимые процессы. Закон возрастания энтропии. Неравновесное расширение газа в пустоту.
11. Внутренняя энергия как термодинамический потенциал. Связь производной dU/dV с термическим уравнением состояния.
12. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, термодинамический потенциал Гиббса. Соотношения Максвелла (соотношения взаимности).
13. Свободная энергия Гельмгольца, термодинамический потенциал Гиббса. Максимальная работа и максимальная полезная работа термодинамической системы.
14. Теплофизические свойства твёрдых тел. Тепловое расширение. Изменение температуры при адиабатических деформациях.
15. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса. Фазовое равновесие «жидкость—пар», зависимость давления насыщенного пара от температуры.
16. Фазовые диаграммы «твёрдое тело—жидкость—пар». Тройная точка, критическая точка.
17. Поверхностное натяжение. Коэффициент поверхностного натяжения, краевой угол. Смачивание и несмачивание. Формула Лапласа. Свободная и внутренняя энергия поверхности.

18. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости. Роль зародышей в образовании фазы. Кипение.
19. Уравнение Ван-дер-Ваальса как модель неидеального газа. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критические параметры. Приведённое уравнение Ван-дер-Ваальса, закон соответственных состояний.
20. Метастабильные состояния: переохлаждённый пар, перегретая жидкость (на примере модели Ван-дер-Ваальса). Изотермы реального газа, правило Максвелла и правило «рычага».
21. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса. Равновесное и неравновесное расширение газа Ван-дер-Ваальса в теплоизолированном сосуде.
22. Эффект Джоуля—Томсона. Дифференциальный эффект Джоуля—Томсона для газа Ван-дер-Ваальса, температура инверсии.
23. Распределение молекул идеального газа по проекциям и модулю скорости (распределение Максвелла). Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Распределение Максвелла по энергиям.
24. Среднее число молекул, сталкивающихся в единицу времени с единичной площадкой. Средняя энергия молекул, вылетающих в вакуум через малое отверстие.
25. Распределение Больцмана в поле внешних сил. Барометрическая формула.
26. Статистика классических идеальных систем. Микро- и макросостояния. Статистический вес. Распределение Гиббса—Больцмана для идеального газа.
27. Статистические определения энтропии и температуры. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии. Третье начало термодинамики.
28. Зависимость статистического веса и энтропии идеальной системы от числа частиц. Изменение энтропии при смешении газов, парадокс Гиббса.
29. Классическая теория теплоёмкостей. Закон равномерного распределения энергии теплового движения по степеням свободы. Теплоёмкость твёрдых тел (закон Дюлонга—Пти).
30. Основы квантовой теории теплоёмкостей. Возбуждение и замораживание степеней свободы, характеристические температуры. Зависимость теплоёмкости газов от температуры (качественно).
31. Флуктуации в термодинамических системах. Основные методы вычисления флуктуаций. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов (на примере пружинных весов и газового термометра).
32. Зависимость флуктуаций макропараметров от числа частиц, составляющих систему. Флуктуация числа частиц в выделенном объёме.

33. Связь вероятности флуктуации и энтропии системы. Флуктуации температуры в заданном объеме. Флуктуация объема в изотермическом и адиабатическом процессах.
34. Столкновения. Эффективное газокинетическое сечение. Длина свободного пробега. Частота столкновений молекул между собой. Распределение частиц по длинам свободного пробега.
35. Диффузия: закон Фика, коэффициент диффузии. Диффузия примеси, взаимная диффузия. Самодиффузия. Коэффициенты диффузии в газах.
36. Теплопроводность: закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Коэффициент теплопроводности в газах.
37. Вязкость: закон Ньютона, коэффициенты динамической и кинематической вязкости. Коэффициент вязкости в газах.
38. Дифференциальное уравнение одномерной диффузии и теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Скорость расплывания облака частиц и распространения тепла при теплопроводности (качественно).
39. Диффузия как процесс случайных блужданий. Закон Эйнштейна–Смолуховского. Скорость расплывания облака частиц и распространения тепла с точки зрения теории случайных блужданий.
40. Броуновское движение. Подвижность макроскопической частицы. Связь подвижности частицы и коэффициента диффузии облака таких частиц (соотношение Эйнштейна). Закон Эйнштейна–Смолуховского для броуновской частицы.
41. Явления переноса в разреженных газах. Эффузия. Зависимость коэффициента теплопроводности и вязкости газа от давления. Течение разреженного газа по трубе, формула Кнудсена.

3.2. Банк задач для проведения письменного экзамена

(в скобках указано количество баллов, начисляемых за правильное решение задачи)

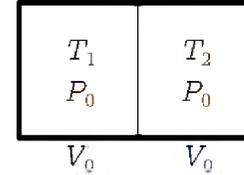
Комплект 1. Вариант А

(1,5) Известно, что коэффициент самодиффузии в воздухе при нормальных условиях равен $D = 0,2 \text{ см}^2/\text{с}$. Оцените коэффициент диффузии облака тумана, состоящего из капель радиусом $R \sim 10 \text{ мкм}$, в атмосфере при нормальных условиях. Для силы трения капель о среду считать применимой формулу Стокса $\vec{F}_{\text{тр}} = -6\pi\eta R\vec{v}$, где η — вязкость среды.

(2) Нейтроны, имеющие скорость менее $v_0 = 6 \text{ м/с}$, называют ультрахолодными. Они практически полностью отражаются от поверхности многих материалов, поэтому их можно накапливать и долгое время хранить в вакуумированных закрытых сосудах. В сосуд поместили нейтроны, имеющие изначально максвелловское распределение с температурой $T = 300 \text{ К}$. Определите долю нейтронов, которые останутся в сосуде, и их среднеквадратичную скорость. Считать, что за время хранения нейтроны не обмениваются энергией со стенками и между собой. *Указание:* при вычислениях можно воспользоваться тем, что $mv_0^2/2 \ll k_B T$.

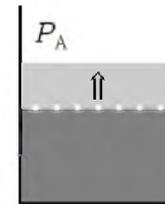
(2) Кондиционер, работая в режиме теплового насоса, поддерживает в комнате температуру $t_k = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ при температуре на улице $t_y = -13 \text{ }^\circ\text{C}$. Из-за несовершенства теплообменников эффективность цикла теплового насоса (отношение теплоты нагревателя к работе) составляет $\alpha = 1/3$ от максимально возможной. Комната получила тепло $Q_k = 1,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Найдите работу кондиционера A и суммарное изменение энтропии ΔS .

(2) Теплоизолированный сосуд объёмом $2V_0 = 2 \text{ л}$ разделён подвижной теплопроводящей перегородкой на две равные части, в каждой из которых находится азот при давлении $P_0 = 1 \text{ атм}$. Начальная температура в одной из половин равна $T_1 = 240 \text{ К}$, а в другой $T_2 = 360 \text{ К}$. В результате теплообмена перегородка начинает перемещаться без трения. Определите количество теплоты Q , которым части сосуда обмениваются в этом процессе, а также изменение энтропии системы ΔS к моменту установления полного термодинамического равновесия. Теплоёмкостью сосуда и перегородки пренебречь.



(2,5) Гигантская градина в форме шарика радиусом $R_0 = 5 \text{ см}$ удерживается в глубине большого бассейна с температурой воды $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура градины $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите, за какое время градина растает. Удельная теплота плавления льда $q = 333 \text{ Дж/г}$, теплопроводность воды $\kappa = 0,58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Плотность льда $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$. Процесс таяния считать медленным в сравнении с процессами установления температур. Конвекции нет.

(2) Жидкость фторкетон, иногда называемая «сухой водой», используется при тушении пожаров в библиотеках, музеях, офисах, поскольку не смачивает бумагу. Фторкетон тяжелее воды и не растворяется в ней. Если поверх фторкетона в сосуд налить воду, то между ними образуется чёткая граница раздела. При нормальном атмосферном давлении $P_A = 760 \text{ торр}$ температура кипения фторкетона равна $t = 49,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако на границе фторкетон–вода кипение начинается уже при $t_{\text{гп}} = 46,2 \text{ }^\circ\text{C}$ («пограничное кипение»). Определите по этим данным молярную теплоту испарения фторкетона Λ . Давление насыщенного водяного пара при температуре $t_{\text{гп}}$ равно $P_v(t_{\text{гп}}) = 76 \text{ торр}$. Влиянием гидростатического давления и поверхностного натяжения пренебречь.



Комплект 1. Вариант Б.

(1,5) Приняв газокинетический диаметр молекул воздуха равным $d_0 \sim 3 \text{ \AA}$, оцените коэффициент диффузии облака тумана, состоящего из капель диаметром $d \sim 30 \text{ мкм}$, в атмосфере при нормальных условиях. Для силы трения капля о среду считать применимой формулу Стокса $\vec{F}_{\text{тр}} = -3\pi\eta d\vec{v}$, где η — вязкость среды.

(2) Тепловые нейтроны с максвелловским распределением по скоростям при температуре $T = 300 \text{ К}$, вылетают через небольшое окно в стенке реактора, перекрытое бериллиевой пластиной. Пластина задерживает нейтроны со скоростью, большей чем $v_0 = 15 \text{ м/с}$, и полностью пропускает более медленные. Во сколько раз такая пластина ослабляет поток нейтронов по сравнению с исходным? Стенки реактора непроницаемы для тепловых нейтронов. *Указание:* при вычислениях можно воспользоваться тем, что $mv_0^2/2 \ll k_B T$.

(2) Кондиционер, работая в режиме теплового насоса, поддерживает в комнате температуру $t_k = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ при температуре на улице $t_y = -7 \text{ }^\circ\text{C}$. Из-за несовершенства теплообменников эффективность цикла теплового насоса (отношение теплоты нагревателя к работе) составляет $\alpha = 1/2$ от максимально возможной. Кондиционер затратил на свою работу электроэнергию $A = 0,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Найдите полученное комнатой тепло Q_k и суммарное изменение энтропии ΔS .

(2) Теплоизолированный сосуд объёмом $2V_0 = 2 \text{ л}$ разделён подвижной теплопроводящей перегородкой на две равные части, в одной из которых находится азот N_2 , а в другой — гелий He . Температуры газов $T_0 = 273 \text{ К}$ одинаковы. Начальное давление азота $P_2 = 2 \text{ атм}$, гелия — $P_1 = 1 \text{ атм}$. Перегородку отпускают и она начинает перемещаться, преодолевая вязкое трение. Перегородка движется достаточно медленно,

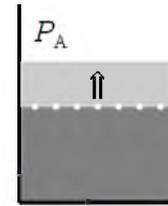
N_2	He
P_2	P_1
T_0	T_0
V_0	V_0

чтобы газы оставались в тепловом равновесии. Найдите величины работ A_1 и A_2 , совершаемых каждым из газов, а также изменение энтропии системы ΔS к моменту установления полного термодинамического равновесия. Теплоёмкостью сосуда и перегородки пренебречь.

(2,5) Определите время, за которое полностью замёрзнет стоячая вода в водопроводной трубе радиусом $R_0 = 30$ мм, если температура стенок трубы поддерживается равной $t_0 = -10$ °С. Начальная температура воды $t_1 = 0$ °С. Плотность льда принять равной плотности воды $\rho \approx 1,0$ г/см³, расширением при замерзании пренебречь. Удельная теплота кристаллизации льда $q = 333$ Дж/г, его теплопроводность $\kappa = 2,25$ Вт/(м·К). Процесс замерзания считать медленным в сравнении с процессами установления температур. Теплотой, затрачиваемой на охлаждение образующегося льда, пренебречь.

Справка: $\int x \ln x dx = \frac{1}{2}x^2(\ln x - \frac{1}{2})$.

(2) Гептан — одна из фракций бензина с химической формулой C_7H_{16} — представляет собой прозрачную лёгкую жидкость, не растворяющуюся в воде. Если поверх воды в сосуд налить гептан, то между ними образуется чёткая граница раздела. Температура кипения гептана при нормальном атмосферном давлении $P_A = 760$ торр равна $t_0 = 98,4$ °С. Однако на границе вода–гептан кипение начинается уже при $t_{гр} = 79,0$ °С («пограничное кипение»). Определите по этим данным удельную теплоту испарения гептана λ . Давление насыщенных паров воды при температуре $t_{гр}$ равно $P_B(t_{гр}) = 341$ торр. Влиянием гидростатического давления и поверхностного натяжения пренебречь.



Комплект 2. Вариант А.

(1,5) Теплопроводность металлов при низких температурах подчиняется закону $\kappa = \alpha T$, где α — некоторая константа. Металлический стержень длиной L и площадью сечения S заключён в теплоизолирующую оболочку, на левом его конце поддерживается температура T_0 , а на правом — $T_1 > T_0$. Найдите поток тепла Q в сторону холодного конца стержня.

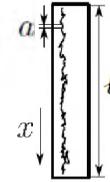
(1,5) Молекула газа смещается за некоторое время t от своего первоначального положения на расстояние $r_1 = 10$ см, испытав большое число столкновений $N \gg 1$. Давление газа изотермически изменяют, и за то же время t молекула смещается на $r_2 = 5$ см. Определите отношение N_1/N_2 числа испытанных ей столкновений в первом и втором случаях.

(2) Вещество в баллоне углекислотного огнетушителя находится в критическом состоянии при температуре $T_0 = 304$ К. Пренебрегая кинетической энергией струи, оцените температуру газа T_1 в раструбе огнетушителя. Газ в баллоне считать подчиняющимся модели Ван-дер-Ваальса, а на выходе из раструба — идеальным. Теплоёмкость CO_2 принять равной $C_V = \frac{7}{2}R$. Возможность фазовых переходов (образование твёрдой углекислоты) не рассматривать.

(2) Уравнение состояния моля некоторого вещества с постоянной теплоёмкостью $C_V = 3R$ есть $PV = R(T + \theta)$, где константа $\theta > 0$. Найдите относительное изменение давления P_2/P_1 в равновесном адиабатическом процессе, если температура выросла от $T_1 = \theta$ до $T_2 = 3\theta$.

(2) Электроны в полупроводниковых гетероструктурах можно рассматривать как двумерный идеальный газ. В начале координат создаётся небольшое облако электронов с максвелловским распределением по скоростям при температуре $T = 10$ К, и они разлетаются по плоскости во все стороны без взаимодействия. Найдите, как плотность потока электронов $j(r)$ зависит от расстояния r до начала координат в момент времени t . Вычислите расстояние r_{\max} , на котором $j(r)$ достигает максимума при $t = 1$ нс. Масса электрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг.

(2,5) Резиновая полоса растянута вдоль оси x до некоторой длины ℓ при температуре T . Молекулы резины моделируются как расположенные вдоль всей полосы одномерные цепочки из $N \gg 1$ звеньев длины a . Каждое звено может находиться в одном из двух состояний: ориентировано либо вдоль оси x , либо противоположно ей. Внутренняя энергия резины от конфигурации звеньев не зависит (звенья не взаимодействуют). Найдите в этой модели силу натяжения $f(\ell, T)$ молекулы резины. Длина полосы много меньше максимальной: $\ell \ll Na$.



Указание: сначала вычислите энтропию резины.

Комплект 2. Вариант Б.

(1,5) Теплопроводность диэлектриков при низких температурах подчиняется закону $\kappa = \beta T^3$, где β — некоторая константа. Диэлектрический стержень длиной L и площадью сечения S заключён в теплоизолирующую оболочку. На его левом конце поддерживается температура T_0 , на правом — $T_1 > T_0$. Найдите поток тепла Q в сторону холодного конца стержня.

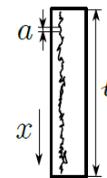
(1,5) Молекула газа смещается на некоторое расстояние r , претерпевая при этом $N \gg 1$ столкновений с другими молекулами. Давление газа изотермически понижают в 5 раз. Во сколько раз изменится число столкновений молекулы при смещении её на то же расстояние r ?

(2) Баллон пневматического пылеочистителя заполнен тетрафторэтаном ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$, $\mu = 102$ г/моль). Температура газа в баллоне $T_0 = 300$ К, плотность $\rho_0 = 25$ кг/м³. Пренебрегая кинетической энергией газовой струи, оцените её температуру T_1 на выходе из узкого канала распылителя. Газ в баллоне считать подчиняющимся модели Ван-дер-Ваальса, а на выходе из канала — идеальным. Известны критические параметры газа: $T_k = 374$ К, $\rho_k = 50$ кг/м³. Удельная теплоёмкость газа $c_p = 0,82$ Дж/(г·К).

(2) Состояние некоторого слабонеидеального одноатомного газа описывается уравнением $(P + \frac{a}{v^3})v = RT$, где v — молярный объём. Определите изменение температуры газа ΔT в результате неравновесного расширения моля газа в пустоту от объёма V_0 до $V_1 = 2V_0$ в теплоизолированном сосуде.

(2) На оси длинного вакуумированного цилиндра радиусом $r = 1$ см натянута тонкая проволока, на которой адсорбированы молекулы воды. После пропускания через проволоку короткого импульса тока эти молекулы разлетаются во все стороны без столкновений с максвелловским распределением по скоростям, соответствующим температуре $T = 500$ К. Найдите, как давление на стенку $P(t)$ зависит от времени, и вычислите, через какое время t_{\max} оно достигнет максимума.

(2,5) Резиновая полоса растянута вдоль оси x до некоторой длины ℓ при температуре T . Молекулы резины моделируются как расположенные вдоль всей полосы одномерные цепочки из $N \gg 1$ звеньев длины a . Каждое звено может находиться в одном из двух состояний: ориентировано либо вдоль оси x , либо противоположно ей. Внутренняя энергия резины от конфигурации звеньев не зависит (звенья не взаимодействуют). Найдите в этой модели работу, которую нужно совершить в расчёте на одну молекулу, чтобы изотермически растянуть резину вдвое. Длина полосы много меньше максимальной: $\ell \ll Na$.



Указание: сначала вычислите энтропию резины.

3.3. Перечень задач для проверки текущей успеваемости

Текущая успеваемость проверяется в рамках проводимых в течение семестра промежуточных контрольных, устных опросов, сдачи домашнего задания.

1. В комнате объёмом V в течение некоторого времени был включён нагреватель. В результате температура воздуха увеличилась от T_1 до T_2 . Давление в комнате не изменилось. Найти изменение внутренней ΔU энергии воздуха, содержащегося в комнате.
2. Найти работу, которую совершает моль воздуха, расширяясь от объёма V_0 до $V_1=2V_0$ в изотермическом процессе при комнатной температуре.
3. Температура воздуха равна $T=273$ К. Найти изменение скорости звука при изменении температуры на $\Delta T=1$ К.
4. Вычислить КПД цикла, состоящего из изобарного сжатия, изохорного нагревания и адиабатического расширения, если отношение максимального и минимального объёмов равно 2. Рабочее тело – двухатомный идеальный газ.
5. Тепловая машина с неизвестным веществом в качестве рабочего тела совершает обратимый термодинамический цикл, представленный на рисунке в координатах TS . $T_2 = 3/2T_1$, $T_3 = 3/4T_1$, $T_4 = 1/20 T_1$. Найти КПД цикла.
6. Идеальная тепловая машина, работающая по обратному циклу (тепловой насос), отбирает от первого резервуара 65 Дж теплоты и передаёт количество теплоты 80 Дж второму резервуару при $T = 320$ К. Определить температуру первого резервуара.
7. Два теплоизолированных сосуда равного объёма соединены трубкой с краном. В одном сосуде содержится 10 г водорода H_2 , второй откачан до высокого вакуума. Кран открывают и газ расширяется на весь объём. Считая газ идеальным, найти изменение его энтропии к моменту установления равновесия.
8. Кусок льда массой 90 г, имеющий температур 0 °С, положили в пустую алюминиевую кастрюлю массой 330 г, нагретой до 100 °С. Пренебрегая теплообменом с окружающей средой, найти изменение энтропии системы к моменту установления равновесия. Теплота плавления льда 330 Дж/г, теплоёмкость алюминия $0,9$ Дж/(г·К).
9. Найти изменение свободной энергии ΔF и термодинамического потенциала Гиббса ΔG для 1 кг водяного пара при изотермическом ($T = 298$ К) увеличении давления от 1,0 до 2,0 мбар. Водяной пар считать идеальным газом.
10. Уравнение состояния резиновой полосы имеет вид $f=aT[l/l_0 - (l_0/l)^2]$, где f — натяжение, $a = 1,3 \cdot 10^{-2}$ Н/К, l — длина полосы, длина недеформированной полосы $l_0 = 1$ м. Найти изменение свободной и внутренней энергии резины при её изотермическом растяжении до $l_1 = 2$ м. Температура $T = 300$ К.
11. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы разделить сферическую каплю масла массой $m = 1$ г на капельки диаметром $d = 2 \cdot 10^{-4}$ см, если процесс дробления изотермический. Поверхностное натяжение масла $\sigma=26$ дин/см, плотность масла $\rho = 0,9$ г/см³.
12. На какую высоту поднимается вода между двумя плоскими параллельными пластинами, расстояние между которыми $h = 0,1$ мм, если краевой угол смачивания $\theta=60^\circ$. Поверхностное натяжение воды $\sigma=73 \cdot 10^{-3}$ Н/м.
13. Молярная теплота парообразования воды в точке кипения при $t = 100$ °С равна $\Lambda=40,7$ кДж/моль. Считая водяной пар идеальным газом, найти разность молярных внутренних энергий жидкой воды и водяного пара при данной температуре.
14. Определить температуру кипения воды на вершине Эвереста, где атмосферное давление составляет 250 мм рт. ст. Теплоту парообразования воды считать не зависящей от температуры и равной $\Lambda=2,28$ кДж/г.
15. Оценить относительный перепад давления $\Delta P/P$ паров воды на высоте подъёма воды в полностью смачиваемом капилляре диаметром $d = 1$ мкм. Поверхностное натяжение $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м, температура $t=20^\circ$ С.
16. Во сколько раз давление газа Ван-дер-Ваальса больше его критического давления, если известно, что его объём в 5 раз, а температура в 5,7 раза больше критических значений этих величин?
17. Найти изменение энтропии идеального газа, подвергнутого дросселированию через пористую перегородку, если начальное давление равно $P_1=4$ атм, конечное $P_2=1$ атм.
18. Оценить максимально возможную скорость истечения воздуха при нормальных условиях через отверстие, выходящее в вакуум.
19. Скорости частиц с равной вероятностью принимают все значения от 0 до v_0 . Определить среднюю и среднеквадратичную скорости

- частиц, а также абсолютную и относительную среднеквадратичные флуктуации скорости.
20. Найти наиболее вероятную, среднюю и среднеквадратичную скорости молекул азота при $T = 300 \text{ K}$. Сравнить полученные значения со скоростью звука.
 21. Определить, на какой высоте в изотермической атмосфере её плотность уменьшится в 5 раз, если на высоте 5,5 км она уменьшается в 2 раза.
 22. Молекула может находиться на двух энергетических уровнях: основном и возбуждённом. Разность энергий между ними составляет $\Delta E = 6,0 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$. Какова доля молекул, находящихся в возбуждённом состоянии при $t = 250^\circ \text{ C}$?
 23. Определить температуру, при которой средняя поступательная энергия молекулы H_2 будет равна энергии возбуждения её первого вращательного уровня. Расстояние между атомами равно $d = 0,74 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.
 24. Собственная частота колебаний атомов в молекуле Cl_2 равна 10^{14} с^{-1} . Оценить характеристическую температуру, выше которой колебательную теплоёмкость молекулы можно рассчитывать по классической теории. Какова будет при этом молярная теплоёмкость газа?
 25. Два твёрдых тела с температурами 299 К и 300 К приведены в соприкосновение. Оценить, во сколько раз более вероятно передача порции энергии 10^{-11} эрг от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой, чем в обратном направлении. Теплоёмкости тел достаточно велики, так что изменением их температуры можно пренебречь.
 26. Небольшой груз массой 1 г подвешен на лёгкой нити длиной 1 м. Оценить среднеквадратичное отклонение груза от положения равновесия из-за тепловых флуктуаций при комнатной температуре.
 27. Оценить среднеквадратичную относительную флуктуацию числа молекул воздуха в объёме 1 мкм³ при нормальных условиях.
 28. Кантилевер (чувствительный элемент) атомно-силового микроскопа представляет собой кремниевую пластинку с острой иглой на конце. Вертикальное смещение конца иглы пропорционально приложенной силе с коэффициентом $k = 1 \text{ Н/м}$ («силовая константа» кантилевера). Найдите среднеквадратичную флуктуацию положения иглы при комнатной температуре.
 29. Вязкость азота при комнатной температуре и атмосферном давлении составляет $\eta = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Оценить коэффициенты теплопроводности и самодиффузии азота, а также диаметр молекулы азота.
 30. Оценить количество тепла в расчёте на 1 м^2 , теряемое комнатой в единицу времени через однокамерный стеклопакет. Расстояние между стёклами $h = 23 \text{ мм}$. Разность температур между комнатой и улицей составляет $\Delta T = 30^\circ \text{ C}$. Теплопроводность воздуха $\kappa = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ считать не зависящей от температуры.
 31. В процессе дыхания организм человека извлекает кислород из воздуха и использует его для получения энергии при окислении органических молекул. Считая, что на один моль O_2 выделяется энергия $= 470 \text{ кДж/моль}$, а мощность, вырабатываемая человеком при активной физической нагрузке, составляет $= 1 \text{ кВт}$, оценить рабочую площадь поверхности его лёгких. Мольную долю кислорода в воздухе внутри лёгких принять постоянной и равной $\alpha_0 = 0,14$, а концентрацию O_2 в крови — $c_1 = 2 \text{ моль/м}^3$. Толщина барьера между воздухом и кровью $h = 1 \text{ мкм}$, коэффициент диффузии в нём $D = 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$.
 32. Оценить коэффициент диффузии капель тумана радиусом $R \sim 10 \text{ мкм}$ в воздухе при нормальных условиях. Вязкость воздуха $\eta \sim 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$.
 33. Оценить, за какое время молекула HCN смещается в воздухе при комнатной температуре от исходного положения на расстояние порядка 10 см. Длину свободного пробега принять равной $\lambda \sim 10^{-5} \text{ см}$.
 34. Два сосуда с идеальным газом соединены трубкой, диаметр которой заметно меньше длины свободного пробега в обоих сосудах. Температура в сосудах поддерживается постоянной и равной соответственно T_1 и $T_2 = 2T_1$. Найти отношение давлений P_2/P_1 .
 35. Оценить коэффициент диффузии сильно разреженного воздуха по длинной трубке диаметром 1 см при комнатной температуре. Считать,

что разрежение таково, что длина пробега молекул ограничивается диаметром трубки (высокий вакуум).

4. Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «неудовлетворительно (2)» или «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

Правила начисления баллов для промежуточной аттестации (балльно-рейтинговая система)

В течение учебного семестра студент обязан сдать **домашние задания** курса в сроки, предусмотренные программой. Приём заданий после завершения зачётной недели не производится. Преподаватель ставит оценку за сдачу каждого задания по результатам проверки представленных студентом решений, решения контрольных задач, аналогичных задачам из задания, и устной беседы со студентом.

Баллы начисляются в соответствии с таблицей:

Оценка	Баллы
Отлично	2
Хорошо	1
Удовлетворительно	0
Не сдано	-3

Оценивание лабораторных работ

На занятия студент обязан являться подготовленным к выполнению работы: а) знать основные теоретические положения; б) понимать цель и методику выполнения работы; в) знать правила обращения с применяемыми в работе измерительными приборами; г) подготовить лабораторный журнал: указать название работы, привести схему установки с необходимыми пояснениями, основные теоретические сведения и формулы, необходимые для расчётов. Неудовлетворительно подготовленные студенты до выполнения работы не допускаются. Работа считается не выполненной по неуважительной причине. Преподаватель учитывает подготовку к работам и качество их выполнения при выставлении итоговых оценок.

Отчёт о проделанной работе оформляется по установленному образцу (требования и образцы размещены на сайте кафедры в разделе «Лабораторный практикум»). Отчёт может оформляться либо в лабораторном журнале студента (непосредственно после результатов измерений), либо в виде отдельного документа. В последнем случае отчёт прикрепляется (вклеивается или подшивается) к лабораторному журналу. Отчёт может быть оформлен как в рукописном виде, так и с использованием компьютерной техники (полностью или частично). Части отчёта (таблицы, схемы, графики), подготовленные с использованием компьютера, распечатываются и вклеиваются в отчёт. Не допускается представление отчёта только в электронном виде — наличие распечатанной копии обязательно. По требованию преподавателя студент обязан предъявить заверенные исходные данные, файлы с промежуточными расчётами и исходник отчёта.

Расчёты и построение графиков рекомендуется проводить с помощью специализированных вычислительных средств обработки и представления данных. При этом студент обязан понимать общие принципы работы использованных им методов и алгоритмов. Допускается построение графиков от руки на миллиметровой бумаге. Независимо от способа построения, ко всем графикам предъявляются одинаковые требования.

При сдаче работы преподаватель в первую очередь проверяет качество представленного студентом отчёта, в том числе: а) наличие всех пунктов задания по обработке результатов, б) правильность построения графиков, в) корректность обработки экспериментальных данных и расчёта погрешностей, г) корректность представления конечных результатов и сравнения их с табличными данными. Также учитывается подготовка к работе и качество выполнения работы в целом. По результатам проверки отчёта выставляется отдельная оценка по 10-балльной шкале. В случае неудовлетворительного качества отчёта или неудовлетворительных результатов студент может приступить к сдаче работы только после исправления выявленных недостатков.

Сдача проходит в форме индивидуальной беседы преподавателя со студентом. Студент может приступить к сдаче (защите) работы после получения им положительной оценки за отчёт. Преподаватель проверяет и оценивает а) выводы, сделанные студентом по результатам работы; б) знание экспериментальной установки, методики измерений; в) знание основных теоретических положений; г) умение проводить расчёты и оценки величин, относящихся к работе. По результатам защиты выставляется оценка по 10-балльной шкале. Работа считается полностью сданной при наличии двух положительных оценок (за отчёт и защиту работы).

На последнем занятии в семестре проводится *дифференцированный зачёт* по курсу. На зачёт студент должен представить результаты и отчёты по всем работам, выполненным и сданным в течение семестра. Итоговую оценку за зачёт ставит преподаватель лаборатории на основании оценок, полученных студентом в течение семестра. При необходимости преподаватель может провести дополнительный опрос студента по проделанным работам. Итоговая оценка фиксируется в лабораторном журнале успеваемости, ведомости и зачётке студента.

При наличии на момент проведения зачёта не выполненных или не сданных работ, студенту ставится оценка «неуд».

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

5.1. Порядок проведения письменной части экзамена

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене предлагаются для решения 6 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

На письменной части экзамена разрешается пользоваться одним листом формата А4 с любыми заранее подготовленными материалами (ограниченный формат open-book). Разрешается пользоваться домашним заданием. Задание должно быть оформлено лично студентом от руки и не должно содержать посторонних материалов. Несколько тетрадей или листов должны быть неразрывно сшиты (например, степлером) в единый блок. Запрещается пользоваться учебными и справочными материалами в любом виде (учебники, учебно-методически пособия, задачки, справочники и т.п.). Разрешается пользоваться калькуляторами, не оснащёнными средствами связи. Категорически запрещается иметь при себе любые устройства, которые могут служить средствами связи (телефоны, планшеты, ноутбуки, смарт-часы, фитнес-браслеты, наушники и т.п.). Нарушители удаляются из аудитории и получают оценку неуд(1) за контрольную работу и за экзамен.

В решениях задач обязательно должны быть явно указаны используемые основные физические законы и обоснована возможность их применения в данной физической ситуации. Необоснованные решения (в том числе решения, содержащие набор формул без пояснений) не засчитываются как правильные. Если в условии задачи имеются числовые данные — наличие числового ответа обязательно. Отсутствие или неверный по порядку величины числовой ответ снижает оценку за задачу.

По результатам **письменной экзаменационной работы** студент набирает баллы за решение каждой задачи. Баллы за контрольную работу суммируются с баллами за задание. Неуважительная неявка на письменную контрольную работу засчитывается как 0 баллов.

В случае документально подтверждённой уважительной неявки студенту предоставляется возможность решить задачи, аналогичные задачам письменного экзамена, непосредственно в день проведения устного экзамена. Набранные баллы добавляются к итоговой сумме.

5.2. Порядок проведения устной части экзамена

К моменту начала экзамена вычисляется итоговая сумма баллов S . Если $S \geq 3$, студент приступает к сдаче устного экзамена по следующей процедуре.

Устный экзамен по курсу представляет собой экспертную оценку знаний и умений студента преподавателем. Итоговая оценка за курс ставится на основании анализа результатов текущего контроля знаний, контрольной работы и беседы со студентом.

Экзамен проходит в форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса (см. п. 3.1.).

Пример экзаменационного билета:

БИЛЕТ N 1

1. Вопрос по выбору.
2. Описание движения материальной точки вдоль плоской кривой. Нормальное и тангенциальное ускорения. Радиус кривизны траектории.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углублённое изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 60 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по теоретической программе курса, при условии, что ответ на них не требует дополнительной подготовки. Общая продолжительность опроса не может превышать 2 астрономических часа.

Сумма набранных студентом баллов S определяет *максимальную* оценку, которую преподаватель может выставить студенту на устном экзамене согласно таблице.

Сумма баллов	Итоговая оценка
$S \geq 10$	Отлично (10) или ниже
$S = 9$	Отлично (9) или ниже
$S = 8$	Отлично (8) или ниже
$S = 7$	Хорошо (7) или ниже
$S = 6$	Хорошо (6) или ниже
$S = 5$	Хорошо (5) или ниже
$S = 4$	Удовлетворительно (4) или ниже
$S = 3$	Удовлетворительно (3) или ниже

Если сумма баллов недостаточна ($S < 3$), студенту предлагаются для решения задачи из домашнего задания. За каждую правильно решённую задачу начисляется +1 балл. На решение каждой задачи отводится не более 20 минут, и не более 120 минут на все задачи. Пользоваться учебными и справочными пособиями, а также собственными записями *запрещается*.

После того, как сумма баллов достигает $S = 3$, студент приступает к устной беседе с преподавателем по билету. Если студент не набрал указанную сумму за отведённое время, он считается не сдавшим экзамен с оценкой «неудовлетворительно (1)». Набранные баллы за правильные решения задач суммируются и сохраняются до проведения следующей переэкзаменовки.

Переэкзаменовки (повторная промежуточная аттестация) проводятся по тем же правилам, что и основной экзамен.