

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

_____/ Нальгиева М. А.
от « 21 » 05 2024г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

_____/ Кульбужев Б. С.
от « 21 » 05 2024г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине «Молекулярная физика»

(индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки –

03.03.02 Физика

(код, наименование)

Направленность: **Физика**

Квалификация выпускника – *бакалавр физики*

Форма обучения *очная*

Магас, 2024

Методические рекомендации по изучению дисциплины «Молекулярная физика»

Основной целью при изучении дисциплины является стремление показать области применения и формирование у будущих специалистов теоретических знаний и практических навыков по использованию законов молекулярной физике для широкого спектра задач в различных областях.

Основными задачами изучения дисциплины «Молекулярная физика» являются:

- ☐ сообщить студенту основные принципы и законы молекулярной физики и их математическое выражение;
- ☐ ознакомить студента с основными оптическими явлениями, методами их наблюдения и экспериментального исследования, с главными методами точного измерения физических величин, простейшими методами обработки результатов эксперимента и основными физическими приборами;
- ☐ сформировать определенные навыки экспериментальной работы, научить правильно выразить физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин.

Для эффективного изучения теоретической части дисциплины «Молекулярная физика» необходимо:

- ☐ построить работу по освоению дисциплины в порядке, отвечающим изучению основных этапов, согласно приведенным темам лекционного материала;
- ☐ систематически проверять свои знания по контрольным вопросам и заданиям;
- ☐ усвоить содержание ключевых понятий;
- ☐ плотно работать с основной и дополнительной литературой по соответствующим темам.

Для эффективного изучения практической части дисциплины «Молекулярная физика» рекомендуется:

- ☐ систематически выполнять подготовку к практическим занятиям по предложенным преподавателем темам;
- ☐ своевременно выполнять практические задания.

Промежуточный контроль

В течение семестра студенты выполняют:

- ☐ домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости

домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических и лабораторных занятиях;

- ☐ промежуточные задания во время лабораторных и практических занятий для выявления знаний по основным элементам новых разделов теории; течение семестра.

Итоговый контроль

Традиционная система контроля.

Текущий контроль осуществляется в течение семестра в устной и письменной форме в виде контрольных и лабораторных работ, устных опросов и проектов.

Промежуточный контроль проводится в виде контрольных работ и тестов. Объектом контроля являются умения во всех видах деятельности, ограниченные тематикой и

проблематикой изучаемых разделов курса. Учебно-методические материалы для проведения промежуточного контроля (контрольных работ) каждый учебный год разрабатываются заново. Варианты контрольных работ прошлых лет доступны в электронной форме.

Итоговый контроль проводится в виде экзамена за весь курс обучения. Объектом контроля является достижение заданного Программой уровня владения компетенцией (Основного/Повышенного).

Экзамен в конце 2 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решать практические задачи по всему пройденному материалу.

1. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, С УКАЗАНИЕМ ЭТАПОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Перечень формируемых компетенций:

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
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	<p>УК-2.1. Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними;</p> <p>УК-2.2. Предлагает способы решения поставленных задач и ожидаемые результаты; оценивает предложенные способы с точки зрения соответствия цели проекта;</p> <p>УК-2.3. Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм;</p>	<p>Знать теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов физики;</p> <p>Уметь понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию. Пользоваться теоретическими основами, законами и моделями физики;</p> <p>Владеть физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области основных разделов физики.</p>
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-математических и естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.	<p>ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями в области физико-математических наук, необходимыми для решения профессиональных задач.</p> <p>ОПК-1.2. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.</p> <p>ОПК-1.3. Обладает навыками теоретического и экспериментального исследования объектов</p>	<p>Знает физические основы механики, молекулярной физики, природу колебаний и волн, основы термодинамики, электричества и магнетизма, оптики, основы атомной и ядерной физики, понимает широту и ограниченность применения физики исследованию процессов и явлений в природе и обществе.</p> <p>Умеет использовать теоретические знания при</p>

		<p>профессиональной деятельности, решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней естественнонаучных дисциплин.</p>	<p>объяснении результатов экспериментов, применять знания в области физики для освоения общепрофессиональных дисциплин и решения профессиональных задач, оценивает достоверность полученного решения задачи. Владеет навыками физических исследований, способен передавать результат проведенных исследований в виде конкретных рекомендаций в терминах предметной области знания.</p>
ПК -3	<p>Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований</p>	<p>ПК-3.1. Понимает физические основы методов и средства преобразования информации, обмена информацией на расстоянии с помощью радиоэлектронных средств и технологий.</p> <p>ПК-3.2. Владеет методологией математического моделирования физических процессов и объектов на базе как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ.</p> <p>ПК-3.3. Применяет цифровую технику при обработке данных при соблюдении основных требований информационной безопасности.</p> <p>ПК-3.4. Применяет современные информационные средства при подготовке данных при составлении обзоров, отчетов и научных публикаций.</p>	<p>Владеть: методами нахождения, отбора и объединения различных методов проведения физических исследований.</p> <p>Уметь: осмысленно выбирать научный метод проведения физических исследований.</p> <p>Знать: способы определения видов и типов профессиональных задач, а также методы их решения при проведении физических исследований</p>

2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

Оценивание выполнения *практических заданий*

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично	1. Полнота выполнения	Студентом контрольная работа решена

(повышенный уровень)	практического задания; 2. Своевременность выполнения задания; 3. Последовательность и рациональность выполнения задания; 4. Самостоятельность решения.	самостоятельно. Составлен правильный алгоритм решения заданий. Рассуждения логичны, в выборе формул и решении нет ошибок, получены верные ответы, задания решены рациональным способом. Выполнено 76–100 % (по баллам) контрольной работы
Хорошо (базовый уровень)		Студентом контрольная работа выполнена с подсказкой преподавателя. Составлен правильный алгоритм решения заданий. Рассуждения логичны и в решениях нет существенных ошибок. Правильно сделан выбор формул для решения; есть объяснение решения, но задания решены нерациональным способом или допущено не более двух несущественных ошибок, получен верный ответ. Выполнено 50–75 % (по баллам) контрольной работы
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом контрольная работа решена с подсказками преподавателя. При этом задание понято правильно. В логических рассуждениях нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в выборе формул или в математических расчетах. Задания решено не полностью или в общем виде. Выполнено 25–49 % (по баллам) контрольной работы
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом задания не решено

Оценивание выполнения лабораторных работ

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота выполнения лабораторной работы; 2. Своевременность выполнения лабораторной работы; 3. Последовательность и рациональность выполнения отчета по лабораторной работе;	Студентом лабораторная работа выполнена самостоятельно. Составлен правильный алгоритм выполнения лабораторной работы и отчета по ней, в выводе приведены правильные логические рассуждения. В выборе формул для обработки результатов и

	4. Самостоятельность выполнения лабораторных работ.	графической интерпретации этих результатов нет ошибок, получены верные значения исследуемых и рассчитываемых параметров, лабораторная работа выполнена рациональным способом. Даны правильные и полные ответы на контрольные вопросы.
Хорошо (базовый уровень)		Составлен правильный алгоритм выполнения лабораторной работы и отчета по ней, в выводе приведены в основном правильные логические рассуждения. В выборе формул, для обработки результатов, и графической интерпретации этих результатов нет существенных ошибок. Получены, верные значения исследуемых и рассчитываемых параметров, но лабораторная работа выполнена нерациональным способом или допущено не более двух несущественных ошибок. Даны правильные, но не полные ответы на контрольные вопросы.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом лабораторная работа выполнена с подсказками преподавателя. При этом задание по лабораторной работе понято правильно. В логических рассуждениях, отчета по лабораторной работе нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в выборе формул, для обработки результатов, и графической интерпретации этих результатов; обработка результатов выполнена не полностью или в общем виде. Даны в основном правильные, не полные ответы на контрольные вопросы.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом лабораторная работа не выполнена и /или не проведена обработка и интерпретация результатов эксперимента. Нет ответов на контрольные вопросы.

Оценивание выполнения тестов

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота выполнения тестовых заданий; 2. Своевременность выполнения; 3. Правильность ответов на вопросы; 4. Самостоятельность тестирования.	выполнено 90–100% заданий предложенного теста, в заданиях открытого типа дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос
Хорошо (базовый уровень)		выполнено 65–89% заданий предложенного теста, в заданиях открытого типа дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос; однако были допущены неточности в определении понятий, терминов и др.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		выполнено 31–64% заданий предложенного теста, в заданиях открытого типа дан неполный ответ на поставленный вопрос, в ответе не присутствуют доказательные примеры, текст со стилистическими и орфографическими ошибками.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		выполнено 0–30% заданий предложенного теста, на поставленные вопросы ответ отсутствует или неполный, допущены существенные ошибки в теоретическом материале (терминах, понятиях).

Оценивание ответа на экзамене

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота изложения теоретического материала; 2. Полнота и правильность решения практического задания; 3. Правильность и/или аргументированность изложения (последовательность действий); 4. Самостоятельность ответа; 5. Культура речи.	Студентом дан полный, в логической последовательности развернутый ответ на поставленный вопрос, где он продемонстрировал знания предмета в полном объеме учебной программы, достаточно глубоко осмысливает дисциплину, самостоятельно, и исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы, приводит собственные примеры по проблематике поставленного вопроса, ответил на дополнительные вопросы без ошибок
Хорошо		Студентом дан развернутый ответ на

(базовый уровень)		<p>поставленный вопрос, где студент демонстрирует знания, приобретенные на лекционных и семинарских занятиях, а также полученные посредством изучения обязательных учебных материалов по курсу, дает аргументированные ответы, приводит примеры, в ответе присутствует свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается неточность в ответе. Ответил на все дополнительные вопросы с небольшими неточностями</p>
Удовлетворительно (пороговый уровень)		<p>Студентом дан ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой дисциплины, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы, знанием основных вопросов теории, слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры, недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа на дополнительные вопросы.</p>
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		<p>Студентом дан ответ, который содержит ряд серьезных неточностей, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы, незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов, неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности.</p>

		Выводы поверхностны. Нет ответов на дополнительные вопросы, т.е студент не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.
--	--	---

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ Перечень заданий /вопросов

Первое начало термодинамики и его применение к идеальному газу

Занятие 1. Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. I начало термодинамики»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Имеется газ, который рассматривается как идеальный. По заданным параметрам требуется определить тот или иной неизвестный параметр.

Для решения используются: уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона)

Определение неизвестных параметров в смеси не реагирующих между собой идеальных газов. *Для решения используются:* 1) уравнение состояния идеального газа (Клапейрона – Менделеева); 2) основные уравнения кинетической теории газов; 3) закон Дальтона.

Определение термодинамических коэффициентов для идеального газа по заданным параметрам. *Для решения используется:* взаимосвязь между изменением параметров

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Какой газ называют «идеальным»? При каких условиях и допущениях газ можно рассматривать как идеальный? Приведите примеры реального газа, по своим свойствам близкого к идеальному.
2. Какой термодинамический смысл имеют параметры p , T и V ?
3. Что такое состояние термодинамического равновесия?
4. Какими параметрами определяется термодинамическое состояние идеального газа? Каким законом связаны эти параметры?
5. Что выражает уравнение состояния?
6. Запишите уравнение состояния для произвольной массы газа.
7. В чем смысл закона Дальтона? При каких условиях он выполняется?
8. Можно ли использовать закон Дальтона при большой плотности газовой смеси?
9. Можно ли использовать закон Дальтона для смеси кислорода и водорода?
10. При постоянной температуре концентрация молекул газа уменьшилась в два раза. Какие параметры при этом изменялись?
11. Какова связь между давлением и концентрацией молекул?

12. Как меняется концентрация газа для трех процессов: изотермического, изохорического, изобарического?
13. Как записываются полные дифференциалы любого термодинамического параметра?
14. Как найти связь между термодинамическими коэффициентами для изобарического процесса?

Занятие 2. Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. I начало термодинамики»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Графическое представление процессов (переход газа), заданных аналитически, в различных переменных

Для решения используются: 1) аналитическое уравнение перехода данного квазистатического процесса; 2) уравнение Менделеева – Клапейрона.

Определение теплоемкостей идеального газа (или смеси) в процессах $p = \text{const}$ и $V = \text{const}$ по заданной массе, молекулярному весу газа и числу степеней свободы. *Обратная задача.* Определение некоторых характеристик газа по заданному соотношению теплоемкостей C_p и C_v для данного газа.

Для решения используются: 1) формулы для определения молярной теплоемкости C_p и C_v через число степеней свободы i ; 2) определение «удельной» теплоемкости газа; 3) Связь между «молярной» и «удельной» теплоемкостями газа; 4) Уравнение

Р. Майера; 5) определение «количества теплоты»

Определение теплоемкости идеального газа по заданному уравнению процесса перехода. *Обратная задача.* Определение характера процесса по заданному значению теплоемкости. *Для решения используются:* 1) уравнение состояния идеального газа (Клапейрона – Менделеева); 2) уравнение данного процесса; 3) первое начало термодинамики;

4) определение теплоемкости газа.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Как называется изменение состояния любой термодинамической системы, в том числе и идеального газа, при постоянной температуре, постоянном давлении и постоянном объеме? Как эти изменения состояния для идеального газа можно графически представить на pV -, VT -, pT - диаграммах?
2. Какое состояние называется «термодинамическим равновесием» системы?
3. Какой процесс называется «квазистатическим»? Почему только квазистатический процесс может быть изображен графически?
4. Какие процессы называются «обратимыми», «необратимыми»? Обратимыми или необратимыми являются процессы, происходящие в природе? При каких условиях необратимые процессы можно приближенно считать обратимыми?
5. В чем состоит связь между квазистатичностью и обратимости?
6. Как графически в координатах pV изобразить различные процессы изменения состояния газа: изохорический, изобарический, изотермический, адиабатический? Как графически изобразить эти процессы в других переменных, например, в pT , VT , UT (где U – внутренняя энергия идеального газа)?
7. Дайте определение «теплоемкости» газа, «удельной» теплоемкости, «молярной» теплоемкости.

8. Покажите, что теплоемкость идеального газа зависит от процесса изменения его состояния.
9. На какую физическую величину отличается молярная теплоемкость при постоянном давлении от молярной теплоемкости при постоянном объеме?
10. Как связаны молярная и удельная теплоемкость данного газа между собой?
11. В каких случаях для определения теплоемкости C_p и C_v можно пользоваться представлениями классической теории теплоемкости?
12. Каковы границы применения формул для определения C_p и C_v в классической теории теплоемкости?
13. Изменится ли отношение $C_p/C_v = \gamma$ данного газа, если часть его молекул диссоциирует на атомы?
14. В каких пределах лежат значения теплоемкости идеальных газов?

Занятие 3. Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. I начало термодинамики» Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения:

Определение изменения внутренней энергии идеального газа в заданном процессе. *Для решения используются:* 1) определение C_v идеального газа; 2) зависимость внутренней энергии идеального газа от температуры $U = f(T)$; 3) уравнение Клапейрона – Менделеева (для определения изменения температуры)

Определение работы расширения (сжатия) газа по заданному процессу перехода. *Для решения используются:* 1) понятие элементарной «работы» расширения газа; 2) уравнение процесса перехода газа из состояния «1» в состояние «2»; 3) уравнение состояния идеального газа.

Определение количества тепла, полученного газом (или отнятого у него), в заданном процессе перехода. *Для решения используются:* 1) уравнение процессов перехода; 2) все положения и закономерности, используемые для решения задач типов 1 и 2.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Дайте определение «внутренней энергии» идеального газа. Из каких факторов она складывается? Функцией, каких параметров состояния является внутренняя энергия идеального газа?
2. Что означает, что изменение количества теплоты не является полным дифференциалом?
3. Как определяется «элементарная» работа в термодинамике? От каких параметров она зависит? Каково аналитическое выражение этой функциональной зависимости для различных термодинамических процессов (изохорического, изобарического, изотермического и др.)? Как понимать, что «работа» газа (над газом) не является полным дифференциалом?
4. Какие процессы называются политропическими?
5. В каких пределах может изменяться теплоемкость идеального газа для политропических процессов? Напишите общее выражение теплоемкости для политропы с показателем «n».
6. Какое соотношение существует между C_p и C_v ? Каков физический смысл этих теплоемкостей?
7. Что такое «число степеней свободы» газа? Чему оно равно для одноатомного газа, для двухатомного, для многоатомного?

8. Как выражаются молярные теплоемкости C_p и C_v для идеального газа с точки зрения классической теории теплоемкости? Границы применимости этих формул.
9. Для каких газов теплоемкости, определенные по формулам $C_v = (i/2)R$ и $C_p = ((i+2)/2)R$, не дают достаточно хорошего совпадения с опытом? Как это можно объяснить?
10. Можно ли в общем случае сказать, что теплоемкости C_p и C_v не зависят от температуры, и если они зависят от температуры, то чем объясняется эта зависимость и когда она проявляется?
11. Укажите общий порядок расчета теплоемкости C любого политропического процесса идеального газа по заданному уравнению состояния газа.
12. При каком условии монотонная кривая, лежащая между адиабатой и изотермой и проходящая через точку их пересечения на диаграмме pV , будет политропой?
13. Можно ли подсчитать работу расширения (или сжатия) идеального газа в адиабатическом процессе, если задано число степеней свободы, начальная и конечная температуры? Какой вид имеет $(A)Q$ через эти параметры?
14. Чему равен показатель политропы для одноатомного

изохорическом, изотермическом и изобарическом процессах?

Занятие 4–5. Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. Первое начало термодинамики»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Задачи, объединяющие все типы задач занятий 2 и 3.

Для решения комбинируются все методы, указанные в вышеприведенных типах задач.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Сформулируйте и запишите первое начало термодинамики. Как выглядит этот закон для: изохорического; адиабатического; изотермического; изобарического процессов?
2. Выражением, какого общего закона является первый закон термодинамики?
3. Какие процессы изменения состояния газа характеризуются отрицательной величиной теплоемкости?
4. Известна конечная T_E и начальная T_A температуры изменения состояния газа, которое проходило по сложной ломаной линии $ABCDE$ (рис.). Газ идеальный, двухатомный. **Достаточно ли** этих данных, чтобы подсчитать: а) работу расширения газа; б) изменение внутренней энергии; в) количество теплоты, полученной (или отданной) газом?
5. Как найти связь между температурой и давлением в адиабатическом процессе? Изобразите ее в координатах pT .
6. Можно ли и как графически сравнивать работу расширения газа от V_1 до V_2 , если расширение происходило один раз изотермически, второй – адиабатически и третий – изобарически?
7. Как изобразиться изотермический процесс идеального газа в координатах pV и UT , где U – внутренняя энергия идеального газа?
8. Как показать, что для одноатомных газов произведение pV равно $2/3$ внутренней энергии, для двухатомных $2/5$ внутренней энергии газа? Какие соотношения нужно использовать для этого?
9. Начертить график зависимости теплоемкости от показателя политропы для политропических процессов.

10. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону $p = bV^{-n}$, $n < 1$, где b – постоянная величина?

Циклические процессы

Занятие 6. Практическое занятие по теме «Циклы. КПД. Энтропия. T-S диаграммы»
Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Нахождение характеристик цикла, заданного на pV-диаграмме.

Для решения используются: метод решения – энергетические расчеты на основе:

1) уравнения состояния для рабочего тела; 2) уравнения процессов для участков цикла; 3) I начала термодинамики; работы, изменения внутренней энергии и теплоты, получаемых для участка цикла; 4) определение эффективности машины (КПД, холодильный коэффициент).

Нахождение характеристик цикла, заданного на TV- или pT-диаграммах.

Для решения используются условия 1-го типа

Циклы на TS – диаграммах. Нахождение эффективности циклов.

Для решения используются: 1) определение энтропии, выражение получаемой рабочим телом теплоты через изменения энтропии и температуры на отрезке цикла; 2) определение эффективности цикла.

Метод циклов для нахождения термодинамических соотношений.

Для решения используются: 1) определение эффективности цикла; 2) сведение заданного цикла к простейшему виду при бесконечно малых изменениях параметров.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что такое квазистатический процесс? Является ли квазистатический процесс обратимым?
2. Что такое диаграмма состояний? Какие процессы могут быть представлены на диаграммах состояний?
3. В чем состоит содержание I начала термодинамики? Как математически записывается I начало термодинамики?
4. При каких процессах внутренняя энергия системы постоянна? В каких случаях изменение энергии системы равно внешней работе, совершаемой системой? Каково будет изменение внутренней энергии, если в качестве системы рассматривать идеальный газ?
5. Как записывается работа, совершаемая идеальным газом, при адиабатическом и изотермическом процессах?
6. Каков физический смысл площади, ограниченной кривой цикла, на диаграммах состояния в различных переменных?
7. Прямой и обратный цикл. Тепловой двигатель и холодильная машина.
8. Как по заданной диаграмме цикла определить, является ли машина тепловой или холодильной?
9. Какие параметры должны быть известны, чтобы было возможно подсчитать работу на адиабатическом участке цикла?
10. Сколько параметров состояния, и какие необходимо задать, чтобы определить работу на изотермическом участке?
11. Сколько параметров и какие надо задать, чтобы определить теплоту, получаемую или отдаваемую рабочим телом, на изотермическом и на изобарическом участках цикла?

12. Коэффициент полезного действия и холодильный коэффициент.
13. Какими величинами может быть определен КПД тепловой машины?
14. Как определить холодильный коэффициент для холодильной машины?
15. Зависит ли теплота, отбираемая у нагревателя, от массы рабочего тела?
16. Зависит ли теплота, отбираемая у нагревателя, от теплоемкости рабочего тела
17. Зависит ли работа, совершаемая рабочим телом и тепловой машины за один цикл, от массы и теплоемкости рабочего тела?
18. Что изменится, если в идеальной тепловой машине вместо одноатомного газа, используемого как рабочее тело, употребить такое же количество двухатомного газа?
19. Справедливо ли утверждение, что газ, сжатый в баллоне, обладает запасом потенциальной энергии аналогично сжатой пружине?
20. Энтропия системы. Формула Больцмана.
21. Изображение термодинамических циклов в pV - и TS - координатах.
22. Каков физический смысл площади, ограниченной кривой цикла, на pV - и TS -диаграммах?

Занятие 7. Практическое занятие по теме « Энтропия функция состояния»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Подсчет изменений энтропии при переходе из одного состояния в другое.

Для решения используются: 1) уравнение состояния вещества; 2) параметры исходного и конечного состояний.

Метод решения основан на использовании независимости изменения энтропии от пути перехода.

Процессы смешивания газов и контактного выравнивания температуры. Это типичные необратимые процессы, которые должны сопровождаться увеличением энтропии. Подсчитывается изменение энтропии заменой рассматриваемого необратимого процесса обратимым, переходящим систему из начального состояния в конечное.

Для решения используются: 1) уравнения процессов, которыми можно заменить необратимые процессы так, чтобы система перешла из начального состояния в конечное; 2) параметры исходного и конечного состояний.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что такое приведенное количество теплоты? Какому условию удовлетворяют приведенные количества теплоты для цикла Карно? Какому условию они удовлетворяют для произвольного кругового процесса?
2. Как и в каких переменных можно записать дифференциал функции энтропии dS ? Как записать Π начало с помощью функции энтропии?
3. Как изменяется энтропия для обратимых и необратимых процессов? Чему равно значение для обратимого и необратимого кругового процесса? Температура каких тел входит в этих случаях в знаменатель подынтегрального выражения? $\square T dQ$
4. Можно ли осуществить в какой-нибудь системе круговой необратимый адиабатический процесс??
5. В каком направлении изменяется энтропия системы при приближении этой системы к состоянию термодинамического равновесия для изолированной и неизолированной системы?

6. Какие термодинамические соотношения вытекают из условия, что энтропия является полным дифференциалом?
7. Какими свойствами обладают коэффициенты в выражениях для полных дифференциалов?
8. Каким путем можно вычислить изменение энтропии при переходе системы из одного состояния в другое?
9. Какие формы записи Вы знаете для изменения энтропии?
10. Почему энтропия замкнутой системы при необратимом процессе возрастает и почему изменение энтропии в этом случае следует вычислять, используя обратимые процессы?
11. Как можно трактовать изменение энтропии при смешивании газов со статистической точки зрения?
12. Чему равно изменение энтропии для адиабатического процесса?

Занятие 8. Практическое занятие по теме «Проверка текущих знаний»

Молекулярно–кинетическая теория

Занятие 9. Практическое занятие по теме «Газокинетических характеристик явления столкновения молекул (длина свободного пробега, число столкновений, эффективное сечение молекул, средняя скорость)»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Задачи на определение поперечного сечения для столкновения молекул, средней длины свободного пробега, частоты столкновений и средней скорости.

Для решения используются: связи между вероятностью столкновения, поперечным сечением, длиной свободного пробега, частотой столкновения и средней скоростью.

Определение температуры и давления газа по известным молекулярным характеристикам с учетом внутренних степеней свободы и обратные задачи.

Для решения используются: основное уравнение кинетической теории идеальных газов и закон равнораспределения энергии по степеням свободы.

Определение характеристик броуновского движения немолекулярных объектов.

Для решения используются: закономерность броуновского движения и закона равнораспределения энергии по степеням свободы.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1.

Что такое «эффективное сечение» молекул?

2. Как понимать термин «столкновения» молекул? От каких параметров зависит среднее число столкновений молекул в единице объема газа за одну секунду? Как аналитически выражается эта зависимость?

Занятие 10–11. Практическое занятие по теме «Распределения Максвелла»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение характеристик молекулярного движения по распределению Максвелла.

Для решения используется: распределение Максвелла

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Какая из скоростей Максвелловского распределения входит в формулу для среднего числа столкновений в единице объема газа за одну секунду (квадратичная, средняя арифметическая, наивероятнейшая)?

2. Распределение Максвелла допускает сколь угодно большие скорости. Как это согласовать с конечной, полной кинетической энергией молекул газа?
3. Объясните, какими особенностями распределения Максвелла обуславливается, что средняя величина абсолютной скорости меньше, чем наивероятнейшей, но больше, чем корень квадратный из среднеквадратичной скорости?
4. Если полное число частиц в некотором объеме в поле тяжести фиксировано (непроницаемый сосуд), то как изменяется распределение частиц по высоте с изменением температуры, как изменяется положение центра тяжести частиц?
5. Объясните схему какого-либо опыта, с помощью которого можно экспериментально проверить справедливость распределения Больцмана.
6. Изменяется ли и как подъемная сила аэростата при одновременном одинаковом изменении температуры газа в оболочке аэростата и окружающей среды?
7. Что произойдет в аналогичных условиях с подъемной силой дирижабля?

Занятие 12. Практическое занятие по теме «Барометрическая формула. Распределение Больцмана»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение характеристик молекулярного движения по барометрической формуле при наличии потенциальных силовых полей.

Для решения используется: барометрическая формула

Определение характеристик молекулярного движения по распределению Больцмана при наличии потенциальных силовых полей.

Для решения используется: распределение Больцмана

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Распределение Больцмана применимо для случая потенциальных полей. Что Вы можете сказать о распределении частиц в непотенциальных полях?
2. Имеется ли отличие в механизмах возникновения подъемной силы аэростата и дирижабля? Какое отношение к этому вопросу имеет барометрическая формула?
3. Каков физический смысл микроканонического распределения?

Занятие 13. Практическое занятие по теме «Процессы переноса»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение неизвестных характеристик процессов переноса с помощью уравнения переноса для данного конкретного процесса.

Определение газокинетических характеристик молекул из явлений переноса.

Определение изменения величин коэффициентов переноса и газокинетических характеристик молекул в зависимости от изменения параметров состояния газа (p , V , T)

Определение характеристик процессов переноса на основании связи между коэффициентами переноса.

Комбинированные задачи.

Для решения используются (для решения всех пяти типов): 1) соответствующие уравнения переноса; 2) формулы для коэффициентов переноса данного явления и газокинетических характеристик явления столкновения молекул (средняя длина свободного пробега, среднее число столкновений, эффективное сечение молекул); 3) связь между

коэффициентами переноса; 4) основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа.

Занятие 14. Практическое занятие по теме «Проверка текущих знаний по разделу «Молекулярно–кинетическая теория»

Реальные газы

Занятие 15. Практическое занятие по теме «Реальные газы»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Нахождение неизвестных параметров состояния реального газа по заданным и определение характеристических коэффициентов уравнения Ван–дер–Вальса.

Для решения используются: 1) уравнение Ван–дер–Вальса; 2) связь параметров критического состояния реального газа с поправками уравнения Ван–дер–Вальса; 3) определение термических коэффициентов газа.

Сравнение поведения и свойств реально и идеального газов.

Для решения используются термодинамические соотношения, вытекающие из свойств энтропии как функции состояния (или полного дифференциала)

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. В чем отличие «реального» газа от «идеального»? При каких условиях расхождение от закона Клапейрона–Менделеева?
2. Как объяснить расхождение экспериментальных данных с уравнением состояния идеального газа при больших давлениях и совпадение для случая малых давлений?
3. Как записывается уравнение Ван–дер–Вальса: а) для одного моля газа; б) для произвольной массы газа?
4. Каков физический смысл поправок в уравнении Ван–дер–Вальса? Как они вычисляются: а) из молекулярно-кинетической теории; б) через параметры критического состояния?
5. Как будут располагаться изотермы Ван–дер–Вальса на графике pV для различных температур? Какой вид будет иметь изотерма Ван–дер–Вальса: а) для температуры ниже критической; б) для критической температуры; в) для температуры выше критической?
6. Как запишется изменение энтропии для идеального газа и для газа Ван–дер–Вальса?
7. Какова размерность коэффициента a и b в уравнении Ван–дер–Вальса? В каких единицах измеряются коэффициенты a и b в системе СИ?
8. Какая температура называется критической? Чему она равна для воды? Какое вещество обладает самой низкой критической температурой и скольким градусам она равна?
9. Можно ли воздух в комнате в обычных условиях рассматривать как «идеальный» газ?
10. Что называют «насыщенным» паром? Чем определяется давление (или упругость) насыщенного пара?
11. Что такое критическое состояние? Нарисуйте (качественную) зависимость плотности жидкого азота и его насыщенного пара от температуры. Чему равна сжимаемость неидеального газа в критическом состоянии?

Занятие 16. Практическое занятие по теме «Реальные газы»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение внутренней энергии и теплоемкости газа Ван-дер-Вальса по заданным параметрам его состояния.

Для решения используются: 1) определение теплоемкости; 2) определение внутренней энергии ее полного дифференциала; 3) уравнение Ван-дер-Вальса

Определение работы расширения (сжатия) газа Ван-дер-Вальса, количества теплоты, выделенной (поглощенной газом при его расширении (сжатии)), и изменение температуры газа при его расширении в пустоту.

Для решения используются: 1) определение «работы газа» (над газом); 2) первое начало термодинамики; 3) уравнение Ван-дер-Вальса; 4) определение внутренней энергии газа Ван-дер-Вальса.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что называется фазой системы, фазовым равновесием, фазовым переходом, фазовой диаграммой (или кривой равновесия)? Нарисуйте и объясните фазовую диаграмму воды.
2. Какой особенностью обладает фазовая кривая?
3. Как зависит агрегатное состояние вещества от соотношения наименьшего значения потенциальной энергии взаимодействия молекул и средней кинетической энергии хаотического теплового движения молекул?
4. Приведите примеры одно-, двух- и трехфазного равновесного состояния. Сколько фаз одновременно может находиться в равновесном состоянии? От чего это зависит?
5. Что надо знать для ответа на вопрос: можно ли газы, например аммиак и хлор, перевести в жидкое состояние при комнатной температуре и каким способом?
6. Каким путем можно перевести в жидкое состояние указанные в предыдущем вопросе газы? Как можно хранить такие сжиженные газы?
7. Приведите примеры газов, которые никаким способом нельзя привести в жидкое состояние при комнатной температуре и объясните почему
8. Возможен ли непрерывный переход из газообразного состояния в жидкое, минуя стадию двухфазного состояния? Как его осуществить? Возможен ли аналогичный переход из твердого в жидкое (или в газообразное) состояние?
9. Каким явлением сопровождается исчезновение двухфазного состояния жидкость–газ в критической точке? Как оно объясняется и каким образом можно его наблюдать?
10. Что называют «пересыщенным» паром? При каких условиях он может существовать? Как это условие отражено на изотермах Ван-дер-Вальса?
11. Какие участки кривой Ван-дер-Вальса соответствуют «нестабильным» и «метастабильным» состояниям? Объясните смысл и возможность осуществления этих состояний.
12. Что такое перегретая жидкость? Укажите ее область на изотерме Ван-дер-Вальса

Занятие 17. Практическое занятие по теме «Реальные газы»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение неизвестных параметров газа, характеризующих его поведение при эффекте Джоуля–Томсона.

Для решения используются: 1) понятие «энтальпии»; 2) определение дифференциального коэффициента Джоуля–Томсона; 3) формула для температуры инверсии; 4) уравнение Ван-дер-Вальса; 5) все закономерности, применяемые для решения задач типа 1.

Комбинированные задачи.

Для решения используются способы и закономерности, приведенные во всех перечисленных выше типах задач. Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. В чем состоит эффект Джоуля–Томсона? Является ли этот процесс обратимым?
2. Какой эффект Джоуля–Томсона называется «положительным», какой – «отрицательным»? Изобразите графически зависимость температуры инверсии объема ($T_i=f(V)$) и укажите положительную и отрицательную область явления Джоуля–Томсона.
3. Какой характеристикой количественно определяется эффект Джоуля–Томсона?
4. Как определяется коэффициент Джоуля–Томсона через коэффициент расширения газа?
5. Какую температуру называют «температурой инверсии»? Каким уравнением она определяется?
6. От каких параметров зависит температура инверсии? Как записать эту зависимость? Каков физический смысл температуры инверсии?
7. Каково соотношение между температурой инверсии и критической температурой данного газа?
8. Приведите примеры газов, для которых при нормальных условиях эффект Джоуля–Томсона имеет различный знак
9. Каким образом осуществляется сжижение газов с использованием эффекта Джоуля–Томсона?

Занятие 18. Практическое занятие по теме «Фазовые переходы»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

По заданным характеристикам и параметрам для точки перехода требуется определить неизвестный параметр.

Для решения используются метод непосредственной подстановки заданных условий в уравнение Клапейрона–Клаузиуса.

По заданным характеристикам и параметрам в некоторой области фазового перехода требуется определить неизвестные.

Для решения используются метод подстановки заданных соотношения для тройной точки. Исследование поведения различных термодинамических параметров вдоль кривых фазового равновесия.

Для решения используются метод, основанный на применении термодинамических преобразований к уравнению Клапейрона–Клаузиуса.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что такое термодинамическая фаза вещества? Совпадает ли понятие термодинамической фазы вещества с понятием агрегатного состояния вещества?
2. Какие величины связывают уравнение Клапейрона–Клаузиуса для однокомпонентной двухфазной системы? Из каких соображений оно выходит?
3. Как получить уравнение Клапейрона–Клаузиуса из термодинамического потенциала?
4. Что такое тройная точка? Что такое критическая точка?
5. Как выглядят кривые фазового равновесия в различных процессах?
6. Каковы две возможности хода кривых плавления на p, T диаграмме вещества?
7. Возможен ли непрерывный переход жидкой фазы в кристаллическую и жидкой фазы в газообразную (или обратно) без расслоения на две фазы?
8. В чем заключается разница между фазовыми переходами 1-го и 2-го рода?
9. В чем заключается дифференциальный характер уравнения Клапейрона–Клаузиуса?

10. Можно ли, зная T , p и $L_{жг}$ (скрытая теплота испарения), определить наклон кривой равновесия жидкость–пар в pT -координатах?
11. При каких условиях можно достаточно точно принять, что теплота возгонки равна сумме теплоты плавления
12. Как находится изменение термодинамических параметров вдоль кривой фазового равновесия?
13. При каких условиях, используя данные для точки перехода, уравнение Клапейрона–Клаузиуса можно распространить на некоторый диапазон значений T и p ?
14. Как подсчитать изменение энтропии вещества при фазовом переходе 1-го рода?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Термодинамическая система как объект исследования.
2. Микроскопическое и макроскопическое описание.
3. ТД равновесие. Флуктуации физических величин.
4. Термодинамические величины. Температура. Макроскопическое движение. Внешние воздействия. Адиабатический процесс. Давление.
5. Работа и количество тепла. Теплоемкость.
6. Термодинамические потенциалы.
7. Первый и второй закон термодинамики. Теорема Карно.
8. Третий закон термодинамики и его следствия. Недостижимость абсолютного нуля температур.
9. Поведение теплоемкости вблизи абсолютного нуля.
10. ТД неравенства. Принцип Ле Шателье-Брауна.
11. Методы охлаждения газов (процесс Джоуля-Томсона, расширение газа в пустоту и т.д.)
12. ФП2-го рода. Уравнения Эренфеста.
13. Термодинамика ФП «проводник-сверхпроводник».
14. Распределение Максвелла.
15. Свободная энергия в распределении Гиббса.
16. Большое каноническое распределение Гиббса.
17. Идеальный больцмановский газ. Распределение Больцмана.
18. Пределы применимости идеального больцмановского газа.
19. Свободная энергия идеального газа. Уравнение состояния.
20. Закон равнораспределения.
21. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна
22. Молекулярное движение в жидкостях
23. Молекулярное движение в твердых телах
24. Полимера
25. Изгиб длинных молекул
26. Жидкие кристаллы
27. Выращивание кристаллов
28. Переход в сверхпроводящее состояние
29. Тепловое ионизационное равновесие
30. Уравнение Саха

31. Метод лазерной вспышки для измерения теплопроводности
32. Двигатель Стирлинга
33. Тепловой баланс Земли
34. Конвективное движение в мантии Земли
35. Энтропийный баланс Земли
36. Динамика мировой системы

Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1 «Определение C_p / C_v для воздуха методом Клемана и Дезорма»

Цель работы:

Изучение теплоемкости газов, адиабатических процессов в газах и определение отношения C_p / C_v (показателя адиабаты для воздуха).

Принадлежности:

Стеклянный баллон, резиновая груша (насос), механический манометр, выпускной кран..

Контрольные вопросы:

1. Что такое функция процесса и функция состояния? Как термодинамические величины являются функциями процесса, а какие функциями состояния в данной работе?
2. Почему теплоемкость газов зависит от способов нагревания? Почему $C_p > C_v$?
3. Какой процесс называется адиабатическим? Какие процессы, происходящие в газах, можно считать адиабатическими?
4. Насколько обоснованным является предположение о том, что $\gamma = C_p / C_v = \text{const}$? Зависит ли теплоемкость от температуры? $\text{const} \quad \square \quad \square$
5. Нарисуйте графики адиабаты и изотермы на одном чертеже.
6. Выведите рабочую формулу $\gamma = C_p / C_v = \Delta P_1 / \Delta P_2$ (8).
7. Зачем нужно после накачивания и выпуска воздуха из баллона ждать момента, когда температура воздуха в баллоне и в комнате выровняются?
8. Какими причинами обусловлены систематические погрешности в данной работе?

Лабораторная работа № 2 «Определение коэффициента вязкости, средней длины свободного пробега

эффективного сечения молекул воздуха».

Цель работы:

Знакомство с устройством и работой капиллярного вискозиметра. Определение по коэффициенту вязкости газокинетических величин.

Оборудование

Экспериментальная установка, манометр, секундомер, линейка, мерный стакан, вспомогательный

- Контрольные вопросы:
1. Какого порядка величины η и λ для воздуха при комнатных температурах?
 2. Почему нельзя включать секундомер сразу после открытия крана?
 3. Обсудите степень равновесия исследуемой системы?
 4. Объясните, чем обусловлен выбор сечения трубок в вашей установке?
 5. Каков механизм вязкости газов?

6. Могут ли наблюдаться явления, связанные с вязкостью, свойственные вакуумному состоянию, при давлении $P \sim 10^2 \text{ Па}$?
7. Как зависит η и λ газов от температуры?
8. Какой физический смысл имеет эффективное сечение столкновения?

Лабораторная работа №3 «Определение C_p/C_v по скорости звука в воздухе»

Цель работы:

Определение показателя адиабаты для воздуха.

Принадлежности:

Звуковой генератор, электронный осциллограф, микрофон, телефон, частотомер, теплоизолированная труба, обогреваемая электропечью, медно-константановая термопара, милливольтметр.

Контрольные вопросы

1. Зависит ли отношение C_p/C_v от температуры в интервале температур от 20 до 1000С? Будет ли наблюдаться такая же зависимость при температурах от -150 до 10000С?
2. Какие свойства вещества характеризует теплоемкость? Может ли одно и то же количества вещества обладать различной теплоемкостью?
3. Почему процесс распространения звуковых волн можно считать адиабатическим?
4. На каком физическом явлении основано измерение температур при помощи термопар?
5. Какое физическое явление лежит в основе измерения скорости звука?

Лабораторная работа №4 «Определение коэффициента вязкости методом Стокса»

Цель работы: Исследование зависимости коэффициента внутреннего трения жидкости от температуры, изучение устройства и принципа работы жидкостного термостата, метод Стокса измерения коэффициента вязкости.

Принадлежности:

Стеклянный цилиндр с изучаемой жидкостью, термостат, два секундомера, масштабная линейка, металлические шарики, измерительный микроскоп, термометр.

Контрольные вопросы:

1. Какова природа внутреннего трения в жидкости, газе?
2. При выполнении, каких условий сила сопротивления движению тела в вязкой среде может быть записана в виде $6\pi\eta r v$?
3. Всегда ли сила сопротивления движению тела в вязкой среде пропорциональна радиусу шара, его скорости?
4. Какова природа архимедовой силы?
5. Напишите уравнение движения шара в среде.
6. Выведите формулу для скорости равномерного движения шара в среде.
7. Не измеряете ли Вы в эксперименте вместо свойства жидкости, коэффициента внутреннего трения η , трение между материалом шара и жидкости? Почему?
8. Является ли движение шара в жидкости равноускоренным? Равномерным?
9. Что такое время релаксации? Каков его физический смысл?
10. В чем состоит принцип действия термостата?
11. Зачем вода в термостате перемешивается?
12. Почему сразу после включения или изменения температуры термостата измерения вязкости будут неточными?

Лабораторная работа №5 «Определение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капедь.

Цель работы: определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Принадлежности:

Капельница, ванна с исследуемой жидкостью.

Контрольные вопросы:

1. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения?
2. Зависит ли коэффициент поверхностного натяжения от того, с какой средой граничит данная жидкость?

Лабораторная работа №7 «Определение коэффициента теплового расширения жидкости»

Цель работы:

Изучение природы эффекта теплового расширения жидкости, экспериментальное исследование объемного расширения жидкости.

Принадлежности:

Измерительный прибор, термометр, масштабная линейка.

Контрольные вопросы:

1. Какова зависимость объема V от температуры T в жидкостях при постоянном давлении?
2. Какова природа теплового расширения жидкости?
3. Если потенциальная энергия всех частиц жидкости квадратична по смещениям частиц из равновесных положений, то чему равен коэффициент теплового расширения жидкости?
4. От каких физических величин, характеризующих состояние жидкости, зависит величина коэффициента теплового расширения?
5. Дайте краткую характеристику твердых тел, жидкостей, газов (порядок величины коэффициента α , анизотропия свойств α , характерная зависимость $\alpha(T)$).
6. Объясните особенности теплового расширения воды. Имеются ли подобные особенности у других жидкостей, а также в твердых телах?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Дайте определение атомной и молекулярной массы. Что такое изотоп? Запишите приближенно объем

молекулы. Что характеризует число Лошмидта, числа Авогадро?

2. Перечислите основные элементы модели вещества в молекулярной физике.

3. В чем состоят основные признаки различных агрегатных состояний вещества?

4. Какое утверждение лежит в основе статистического метода применительно к молекулярной физике?

5. В чем сущность термодинамического метода описания состояния системы? На каких законах этот метод базируется?

6. Дайте определение вероятности, плотности вероятности.

7. Какое свойство совокупности событий делает возможным нормировку вероятности?

8. Запишите формулы для среднего значения дискретной и непрерывной случайной величины.
9. Зависит ли среднее значение величины от переменной, по которой производится усреднение? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.
10. Какими величинами характеризуются макро- и микроскопические состояния газа?
11. Каков общий характер соотношения между макро- и микроскопическими состояниями системы?
12. Запишите функцию распределения Гаусса (используя в качестве переменной величины координату x) и изобразите примерный вид этой функции.
13. При каких предположениях справедливо распределение Максвелла по скоростям?
14. Как изменяется распределение Максвелла с ростом температуры?
15. Чем обуславливается существование максимума на кривой, характеризующей распределение Максвелла?
16. Какая связь существует между распределением Максвелла и распределением Гаусса?
17. Запишите функции распределения Максвелла $\varphi(v)$, $f(v)$, $F(v)$, что они характеризуют?
18. Получите значение наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.
19. Изобразите вид кривой распределения $F(v)$ и отметьте примерные положения наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.
20. Изобразите примерные графики функции $F(v)$ для двух разных значений температур.
21. Изобразите примерные графики функции $F(v)$ для двух газов с различными значениями молекулярной массы.
22. Объясните причину асимметрии графика функции распределения $F(v)$.
23. Определите долю молекул водорода при температуре $T=300\text{K}$, обладающих скоростями, лежащими в интервале от 1900 до 1905 м/с?
24. Определите долю молекул газа при температуре T , скорости которых больше некоторого заданного значения V ?
25. Опишите опыты Штерна по определению скоростей атомов. Получите формулу $\langle v \rangle = \omega R \Delta S$.
26. Распределение Максвелла допускает сколь угодно большие скорости и кинетические энергии молекул. Как это согласовать с конечной полной кинетической энергией молекул газа?
27. Какими особенностями распределения Максвелла обуславливается, что средние модули скорости больше, чем наиболее вероятная скорость, но меньше, чем корень квадратный из среднеквадратичной?
28. Определите число молекул газа, энергия которых превышает заданную величину E_1 (меньше заданной величины E_1).
29. В каком соотношении находятся между собой средние кинетические энергии теплового движения разных частиц вещества в состоянии его термодинамического равновесия?
30. Как относятся средние скорости разнородных молекул при данной температуре?
31. Выведите функцию распределения Максвелла $F(v)$.
32. В чем смысл столкновения и средней длины свободного пробега при их определении посредством поперечного сечения?

33. Выведите формулу для среднего числа столкновений, испытываемых одной молекулой и между всеми молекулами единицы объема газа в единицу времени.
34. Что такое средняя длина свободного пробега молекул газа? Выведите формулу для средней длины свободного пробега молекул. Получите численное значение этой величины для молекул газа, находящегося при нормальных условиях.
35. Запишите формулу для частоты столкновений молекул о стенку сосуда. Почему столкновения между молекулами идеального газа не сказываются на частоте столкновений молекул о стенку сосуда.
36. Выведите формулу для эффективного поперечного сечения столкновений. Как поперечное сечение связано с законом ослабления молекулярного пучка в газе? Какой смысл имеет поперечное сечение? Как оно связано с температурой?
37. Приведите формулу для поперечного сечения столкновений. Имеет ли это сечение чисто геометрический смысл? От чего оно зависит?
38. Выведите формулу для средней длины свободного пробега молекул газа. От каких величин она зависит?
39. Какие кинематические характеристики молекулярного движения Вы знаете? Запишите формулы для определения этих характеристик.
40. Что называется числом степеней свободы?
41. Каким числом переменных можно описать состояние двухатомной молекулы? Что характеризуют эти переменные?
42. Какие виды движения определяют энергию молекулы? Когда проявляются вращательные и колебательные степени свободы?
43. Запишите формулы для вероятностей поступательного, вращательного и колебательного движения.
44. Используя формулу $dP = A \exp[-m_2(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2/kT)] dv_x dv_y dv_z$, где A – постоянная нормировки, доказать, что на одну поступательную степень свободы приходится энергия, равная $\frac{1}{2}kT$.
45. Покажите, что на каждую вращательную степень свободы приходится энергия, равная $\frac{1}{2}kT$.
46. Покажите, что на каждую колебательную степень свободы приходится энергия, равная kT .
47. Полагая, что число атомов в молекуле равно N , определите среднюю энергию одной молекулы (линейной, нелинейной) и рассмотрите случай трехатомной молекулы.
48. Средняя скорость движения броуновской частицы зависит от ее массы, а средний квадрат удаления частицы от начала за фиксированный промежуток времени от массы не зависит. Почему у легких частиц
49. Сколько молей атомов кислорода содержат два моля молекул воды?
50. Используя формулу для элементарного потока через площадку dS за время dt , получите основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
51. В каком направлении изменится вычисленное значение давления для идеального газа на стенку, если принять во внимание конечные размеры молекул?
52. В каком направлении изменится вычисленное значение давления для идеального газа на стенку, если принять во внимание силы притяжения между молекулами?

53. Что Вы понимаете под уравнением состояния системы? Запишите уравнение состояния для идеального газа, газа Ван-дер-Ваальса, дифференциальное уравнение состояния.
54. В чем сущность законов Дальтона и Авогадро?
55. Какой смысл получает параметр температуры при молекулярно-кинетическом исследовании тепловых свойств вещества?
56. Дайте понятие термометрического тела и термометрической величины. Какие физические характеристики тел можно использовать для измерения температуры? Чем объясняется разнообразие шкал температур?
57. Какое тело выбрано в качестве термометрического в абсолютной термодинамической шкале температур? Каковы преимущества такого выбора?
58. По скольким реперным точкам определяется термодинамическая шкала температур в СИ?
59. Какими термометрами и методами измеряются температуры в различных интервалах?
60. Запишите закон распределения Больцмана. Объясните его сущность.
61. Выведите барометрическую формулу и рассмотрите изменение давления с высотой для различных газов. Изобразите примерный вид этой зависимости. Почему процентный состав в воздухе, до высот порядка 20 км, остается постоянным?
62. При подъеме молекул в поле тяжести их кинетическая энергия уменьшается. Почему при этом в поле тяжести в состоянии равновесия температура не зависит от высоты?
63. В чем заключается суть опыта Перрена по определению постоянной Больцмана (числа Авогадро)?
64. Получите формулы для подъемной силы, действующей на замкнутую оболочку и на аэростат.
65. Дайте понятие внутренней энергии, теплоты, работы. Как внутренняя энергия, так и теплота обуславливаются энергетическими условиями на молекулярном уровне. В чем их различие?
66. При каких условиях дифференциальная форма является полным дифференциалом и что такое функция состояния системы? Какие термодинамические величины являются функциями состояния?
67. В чем состоит содержание первого начала термодинамики? Как математически записывается этот закон?
68. Каково самое важное свойство функции состояния?
69. Запишите выражение для внутренней энергии одного моля идеального газа, состоящего из линейных (нелинейных) молекул.
70. Сформулируйте содержание первого начала термодинамики. Как математически записывается этот закон?
71. Что называется теплоемкостью, удельной и молярной теплоемкостями?
72. Из каких физических соображений следует, что теплоемкость идеального газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме?
73. Используя математическое выражение первого начала найти связь между C_P и C_V . Рассмотрите также случай реального газа. Зависит ли в общем случае теплоемкость от потенциальной энергии взаимодействия молекул?
74. Изобразите графически ориентировочную зависимость C_V от температуры для двухатомного газа, например, для водорода. Вблизи какой температуры найденное на

опыте значение теплоемкости молекулярного водорода стремится к значению теплоемкости одноатомного газа?

75. Какие делаются предположения о строении молекул при расчете теплоемкости газа на основании теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы?

76. Ограничены ли какими-нибудь пределами возможные значения теплоемкости?

77. При каких условиях теплоемкость может иметь отрицательный знак? Возможен ли такой случай?

78. Какие термодинамические процессы Вам известны, и какими уравнениями они описываются? Изобразите графики этих процессов. Получите выражения для работы, совершаемой системой при этих процессах.

79. В каких случаях приращение внутренней энергии системы равно подведенному к системе количеству тепла?

80. В каких случаях внутренняя энергия системы постоянна?

81. В каких случаях изменение внутренней энергии системы равно внешней работе, совершенной системой?

82. Получить уравнение адиабатического процесса и найти работу, выполненную системой при этом процессе.

83. Получить уравнение политропического процесса. При каких условиях политропический процесс переходит в адиабатический, изотермический, изобарический, изохорический? Какие предельные значения может принимать молярная теплоемкость политропического процесса, совершаемого газом?

84. Почему первый закон термодинамики эквивалентен утверждению о невозможности построения вечного двигателя первого рода?

85. В чем состоит принципиальное различие циклов тепловых и холодильных машин?

86. Опишите цикл Карно с идеальным газом. Выведите формулу для КПД цикла Карно.

87. Запишите выражения для КПД тепловых и холодильных машин. При каких условиях КПД этих машин больше единицы?

88. Дайте формулировки Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики и докажите их эквивалентность.

89. Термодинамическая шкала температур и её тождественность идеально-газовой шкале.

90. Сформулируйте теоремы Карно.

91. Путем обобщения второго начала термодинамики попытайтесь ввести понятие энтропии.

92. Запишите основное уравнение термодинамики, связывающее первое начало со вторым.

93. Изобразите цикл Карно на диаграмме S - T (S – энтропия, T – температура) и найдите выражение для КПД цикла.

94. Сформулируйте теорему о росте энтропии изолированной системы. Перечислите процессы, при которых энтропия растет. Докажите теорему, используя конкретный процесс.

95. Получите формулу для приращения энтропии идеального газа, если его параметры изменяются в пределах от P_1 до P_2 и от V_1 до V_2 . Покажите, что при изохорическом процессе приращение энтропии одного моля идеального газа равно $\Delta S = CV \ln T_2/T_1$.

96. Как определяется статистический вес (термодинамическая вероятность)?

97. Запишите формулу Больцмана, связывающую энтропию системы с вероятностью ее состояния.
98. Объясните механизм возникновения ионной связи в молекуле. Изобразите вид кривой потенциальной энергии взаимодействия ионов в молекуле в зависимости от расстояния между ними. Какими силами обусловлены разные участки этой кривой?
99. Как возникает ковалентная связь в молекуле, состоящей из двух одинаковых атомов?
100. Что Вы можете сказать о локализации электронов в ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллах?
101. Чем вызываются Ван-дер-Ваальсовы силы? Изобразите вид кривой потенциальной энергии взаимодействия между молекулами в зависимости от расстояния.
102. Запишите уравнение состояния реального газа для произвольного количества вещества. От каких параметров зависит внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
103. Изобразите теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Опишите зависимость давления насыщенных паров от температуры. Почему переохлажденный пар и перегретая жидкость называются метастабильными состояниями?
104. Опишите состояние системы жидкость – пар.
105. Приведите примерный расчет поправок на объем и на давление, входящих в уравнение Ван-дер-Ваальса.
106. Выведите выражения для параметров системы в критическом состоянии.
107. В чем заключается эффект Джоуля-Томсона? Дайте понятие точки инверсии. Как получить кривую инверсии? Эффект Джоуля-Томсона считается положительным, если при просачивании через пористую перегородку газ нагревается (охлаждается)?
108. Для каких целей применяется эффект Джоуля-Томсона.
109. Можно ли газ перевести в жидкое состояние, используя высокое давление, или для сжижения газа необходимо создавать специальные условия?
110. Объясните механизм возникновения сил поверхностного натяжения. Покажите, что коэффициент поверхностного натяжения определяется работой, которую нужно затратить, чтобы увеличить поверхность пленки на единицу площади.
111. Найдите приращение свободной энергии поверхностного слоя при изотермическом слиянии двух одинаковых капель ртути диаметром 1,5 мм. Что происходит с физической точки зрения?
112. Используя метод воображаемых круговых процессов, найти зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Приведите численное значение этого коэффициента при критической температуре.
113. Что понимается под поверхностно-активными веществами?
114. Охарактеризуйте условия равновесия жидкости на границе раздела сред. Получите формулы, описывающие условия равновесия на границе раздела сред.
115. Запишите формулу поверхностного молекулярного давления на каплю жидкости радиуса R . Какой вид примет эта формула в случае пузырька того же радиуса?
116. Запишите формулу Лапласа в общем виде. Может ли дополнительное молекулярное давление, оказываемое на жидкость, равняться нулю? Дайте обоснования.
117. Получите формулу для высоты поднятия (опускания) уровня жидкости в открытой капиллярной трубке. В какой области человеческой деятельности капиллярные каналы целесообразно закрывать сверху?

118. Для каких целей используются явления смачивания и несмачивания? Может ли тело плавать на поверхности жидкости, если плотность тела больше плотности жидкости? Может ли тело погружаться в жидкость, если плотность тела меньше плотности жидкости?
119. Выведите формулу теплоемкости одноатомных твердых тел. В чем заключается сущность закона Дюлонга-Пти?
120. Как выполняется закон Дюлонга - Пти для различных элементов? Приведите примерную кривую зависимости теплоемкости от температуры.
121. Какие допущения делаются при выводе теплоемкости по квантовой теории? В чем отличие теорий Эйнштейна и Дебая?
122. Почему при температурах, близких к абсолютному нулю теплоемкости стремятся к нулевому значению?
123. Для газов при обычных температурах справедливо уравнение Майера $C_p - C_v = R$. Что можно сказать о выполнении или невыполнении этого уравнения в случае металлов?
124. Удельные теплоемкости металлических твердых тел значительно меньше удельных теплоемкостей газов и жидкостей. Объясните причину этих расхождений.
125. Считая, что на каждый колеблющийся ион кристаллической решетки приходится один свободный электрон и что, свободные электроны можно рассматривать как идеальный газ, определите атомную теплоемкость кристалла. Сравните полученное значение с выражением закона Дюлонга - Пти. Объясните полученный результат.
126. Что такое насыщенный пар? Запишите уравнение зависимости давления насыщенного пара от температуры (уравнение Клапейрона-Клаузиуса).
127. Получите уравнение Клапейрона-Клаузиуса, используя метод воображаемых круговых процессов.
128. Какие процессы можно описывать с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса?
129. Приведите пример диаграммы состояния вещества. Дайте понятие тройной точки, приведите значения параметров тройной точки для воды.
130. Какими эффектами сопровождаются фазовые переходы первого рода?
131. Можно ли использовать (и как) уравнение Клапейрона-Клаузиуса для описания фазовых переходов второго рода? Какие переходы относятся к переходам второго рода?
132. Какой критерий термодинамического потенциала Гиббса используется при разделении фазовых переходов первого и второго рода?
133. Как Вы понимаете полиморфные превращения, приведите конкретные примеры таких превращений? К переходам какого рода относятся эти превращения?
134. Чем отличается процесс кипения от процесса испарения? Почему, закипая вода "шумит"?
135. Дайте понятие перегретого и пересыщенного пара, перегретой и переохлажденной жидкости. В какой области физики используют явление пересыщения водяного пара и перегрева воды?
136. Что понимают под скрытой теплотой парообразования (плавления, сублимации)?
137. Вывести рабочую формулу для определения скрытой теплоты парообразования.
138. Как изменяется энтропия системы при фазовых переходах первого и второго рода?
139. Объясните процесс диффузии (вязкости, теплопроводности). В чем состоит сущность этих процессов с точки зрения молекулярно-кинетической теории? Приведите экспериментальные законы, описывающие явления переноса.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные экспериментальные факты, свидетельствующие о дискретном строении вещества. Массы и размеры молекул. Число Авогадро. Особенности межмолекулярного взаимодействия.
2. Статистический и термодинамический методы описания систем многих частиц. Макроскопическое и микроскопическое состояние системы.
3. Вероятность. Плотность вероятности. Нормировка вероятности. Средние значения дискретной и непрерывно изменяющейся случайной величины.
4. Понятие температуры. Принципы конструирования термометра. Термометрическое тело и термометрическая величина. Эмпирические шкалы температур. Шкала температур на основе свойств идеального газа.
5. Расчёт вероятности макроскопического состояния.
6. Наиболее вероятное число частиц.
7. Распределение Гаусса.
8. Вывод распределения Максвелла из распределения Гаусса. Распределение молекул по компонентам скоростей
9. Характерные скорости распределения Максвелла.
10. Нахождение числа молекул, обладающих заданным направлением движения в заданном интервале скоростей.
11. Нахождение числа молекул, энергия которых превышает заданную величину.
12. Частота столкновений молекул газа о стенку сосуда.
13. Измерение скоростей молекул. Проверка распределения Максвелла.
14. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла-Больцмана.
15. Опыты Перрена по определению постоянной Больцмана (числа Авогадро).
16. Барометрическая формула (вывод) и атмосфера Земли. Зависимость барометрического распределения от сорта молекул.
17. Длина свободного пробега молекулы и ее эффективное сечение (геометрическое и вероятностное толкование).
18. Распределение по длинам свободного пробега молекул в пучке.
19. Равномерное распределение энергии по степеням свободы.
20. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (вывод).
21. Вывод уравнения состояния идеального газа. Закон Дальтона. Закон Авогадро.
22. Термодинамические параметры. Нулевое начало термодинамики. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы.
23. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Теплота. Работа.
24. Теплоёмкость системы. Теплоёмкость идеального газа. Связь теплоёмкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера Экспериментальная зависимость C_v идеального газа от температуры.
25. Модель идеального газа. Внутренняя энергия. Работа. Теплота.
26. Изотермический, изохорический, изобарический, адиабатический процессы. Работа в этих процессах.
27. Политропические процессы. Уравнение политропы. Работа в этом процессе.

28. Преобразование теплоты в работу. Нагреватель, рабочее тело, холодильник. Коэффициент полезного действия.
29. Тепловой двигатель и холодильная машина.
30. Цикл Карно и его КПД.
31. Две теоремы Карно.
32. Термодинамическая шкала температур и её тождественность идеально-газовой шкале. Неравенство Клаузиуса.
33. Второе начало термодинамики. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина). Их эквивалентность
34. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе. Теорема Нернста.
35. Энтропия и вероятность. Микро- и макросостояния системы. Термодинамическая вероятность. Принцип Больцмана. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики.
36. Реальные газы. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда - Джонса.
37. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
38. Теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Зависимость давления насыщенных паров от температуры. Метастабильные состояния.
39. Система жидкость – пар.
40. Критическое состояние. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.
41. Эффект Джоуля – Томсона и температура инверсии.
42. Жидкости. Общее описание, элементы теории Френкеля. Ближний порядок. Поверхностная свободная энергия и коэффициент поверхностного натяжения.
43. Давление под искривленной поверхностью жидкости: формула Лапласа.
44. Смачивание, краевые углы, капиллярные явления. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности.
45. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения жидкости от температуры
46. Кристаллические и аморфные состояния. Кристаллы. Понятие симметрии и анизотропии. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Физические типы кристаллов.
47. Тепловое движение в кристаллах, закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость твердого тела при низких температурах. Фундаментальные трудности классической теории теплоемкости.
48. Фаза и фазовое равновесие. Фазовые переходы первого. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Скрытая теплота перехода.
49. Фазовые переходы второго рода. Примеры.
50. Диаграммы состояний Тройная точка. Аномалии теплового расширения при фазовых переходах.
51. Явления переноса. Диффузия: закон Фика. Внутреннее трение (перенос импульса): закон Ньютона - Стокса. Теплопроводность: закон Фурье.
52. Уравнение переноса. Явление переноса в газах. Связь между коэффициентами переноса и их зависимость от температуры и давления.

**Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины
(модуля) «Молекулярная физика»**

№№ п/п	Вид занятия (лк,пр,с.р.)	Наименование необходимой учебной литературы по дисциплине	Автор	Издательство, год издания	Наличие лит-ры
Основная литература					
1	лк,пр,с/р	Курс общий физики. Т. 1-3	Зисман Г.А, Тодес О.М.	М.: Наука, 1972г	Библиотека ИнГГУ
2	лк,пр,с/р	Общий курс физики. Т. 1-5.	Сивухин Д.В.	М.: Высшая школа,1996г.	Библиотека ИнГГУ
3	лк,пр,с/р	Курс общей физики. Т. 1-3	Савельев М..В.	М: Наука, 1989г.	Библиотека ИнГГУ
4	лк,пр,с/р	Молекулярная физика.	Кикоин И.К., Кикоин А.К.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
5	лк,пр,с/р	Курс общей физики.	Трофимова Т.И.	М.: Высшая школа,2005г.	Библиотека ИнГГУ
Дополнительная литература					
1	С/р	Курс физики.	Детлаф А.А., Яворский Б.М.	М.: Высшая школа, 1989.	Библиотека ИнГГУ
2	С/р	Молекулярная физика	Матвеев А.Н.	М.: Высшая школа,1986г.	Библиотека ИнГГУ
3	С/р	Молекулярная физика	Телеснин Р.В.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
4	С/р	Статистическая физика	Рейф Ф.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
Сборники задач по курсу общей физики					
1	Пр, с/р	Сборник задач по общей физике	Волькенштейн Г.С.	М.: Высшая школа, 1986.	Каф. общ.физ.
2	Пр, с/р	Задачник по физике	Чертов Л. Г., Воробьев А. А.	М.: Высшая школа, 1986.	Каф. общ.физ.
3	Пр, с/р	Задачи по общей физике.	Иродов И. Е.	М.: Наука, 1998.	Каф. общ.физ.

Интернет-ресурсы

<http://fizrast.ru/sitemap.html>

<http://www.don-agro.ru>

<http://xn-80abucjiibhv9a.xn-plai/>

<http://www.agroxxi.ru/> (РГБ)

<http://elibrary.rsl.ru> Научная электронная библиотека

<http://elibrary.ru/default.asp> Российская национальная библиотека

<http://primo.nlr.ru> <http://nbmgu.ru> Электронная библиотека Российской государственной библиотеки