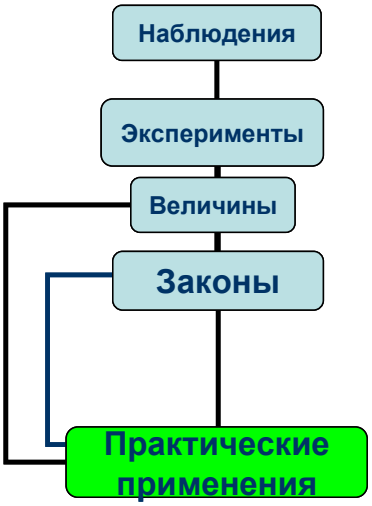
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА (ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ)

Введение

В последние годы существенно возрос интерес к профильному обучению и развивающим методикам. В основе этого интереса лежит, как стремление родителей дать своему ребенку качественное образование, так и негативнее последствия перегрузки учеников. Появились публикации в педагогических изданиях об образовательных учреждениях, добившихся определенных успехов в работе с одаренными детьми. Удивительно, но большинство из них представляют собой набор стандартных пожеланий и не содержат конкретных рекомендаций, неизбежно сопровождающих любой системный и творческий процесс, в том числе и педагогическое исследование. Мои личные наблюдения показывают, что существуют три качественно отличные уровня преподавания физики (да и не только физики) в школе. Учителя, работающие экстенсивным методом, как правило, знакомят учеников с определенной порцией учебной информации, далеко не всегда являющейся структурной единицей физического знания, после чего в целях закрепления предлагают к решению большое количество задач, которые также не образуют системы. Ущербность данного метода "натаскивания" на ЕГЭ или, как модно сейчас говорить, "выучивания" очевидна. Знание не образует системы и представлено ученику в виде большого числа алгоритмов решения задач, не формируется и не развивается картина мира, нет творческого применения знания. Полученного объема сведений ученику может хватить для поступления в высшее учебное заведение, но его совершенно недостаточно для успешного обучения там, да и для последующей деятельности. Преподаватели более высокого уровня глубже понимают методологию физики, овладели целой системой методов, стимулирующих ученика получить качественное образование. Информация, которую получают ученики на уроках данного учителя, образует картину мира, а система задач развивает ее и учит применять знание в технике, быту и повседневной жизни. Школьная физика «устроена» почти также просто, как русский язык и литература. Язык физики – это язык физических величин. Связь между величинами, выраженная математически в виде таблицы, графика или формулы, называют физическим законам. Физические законы составляют основное содержание теории – её ядро. Все физическое знание сосредоточено в фундаментальных физических теориях. Каждую физическую теорию мы изучаем в школьном курсе дважды: 7 – 8 класс (усеченный вариант плана изучения теории) и 9 – 11 класс – по плану.



В соответствие с этим планом я «разложил» весь изучаемый материал по структурным единицам плана изучения теории и, таким образом, у меня появились в начале печатные, а затем и электронные версии примерных планов уроков. В них «хорошая» физика! Сценарии уроков писал сам, долго их редактировал и репетировал, выучил наизусть и только сейчас позволяю себе вести уроки на вдохновении. Теперь мои уроки текут как река, все последующее вытекает из предыдущего, выстраивая картину мира. Нужно легко и светло говорить о глубоком! Созданием картины мира заняты не только ученые, но и художники, поэты, музыканты, философы.

Такой подход позволил мне:

- Выделить главное знание (фундаментальные законы) и уроки, посвященные их изучению, обеспечить необходимыми демонстрациями и моделями.

Законов в России, как в поле травы,
Но мало законопослушных.
Законы же физики вечно правы,
Их самый крутой не нарушит!

Кирилл Годик, ученик НБМОУ «Гимназия № 44» города Новокузнецка

- Распространить системный подход на другие структурные единицы физического знания (явления, объекты, приборы, физические величины).
- Каждая теория теперь обеспечена системой качественных (пять вопросов) и количественных задач, домашними экспериментальными и творческими задачами. В условиях практически всех задач описываются реальные жизненные ситуации, а их решение развивает у учеников необходимые компетенции по применению знания.

- Вся система уроков пронизана эпиграфами, высказываниями известных людей, рисунками, обобщающими таблицами, случаями из судебной практики и даже анекдотами. Вплетаясь в контекст урока, они создают необходимый эмоциональный или исторический фон, который позволяет глубже осознать драму идей в борьбе за истину.
- Электронные версии примерных планов размещены на моем сайте, их используют при подготовке к урокам все ученики и многие преподаватели физики, что в принципе решает проблему учебника.

Все это дополняется эффективной системой контроля, включающей ответы на «пять вопросов», решение задач у доски, контрольные и лабораторные работы. Если ученик имеет за контрольные работы средний балл четыре и больше, то он может претендовать на отличную оценку, если три – то на хорошую, если два – то на удовлетворительную оценку. Итоговая оценка за четверть определяются после этого методом среднего арифметического.

Чтобы осилить весь школьный курс физики - нужны ученики-лидеры, которые принимают цели, поставленные учителем, и следуют за ним, как за вожаком стаи. Остается наполнить уроки групповыми формами работы, чтобы детей тянуло друг к другу, и им было интересно общаться, не допускать конфликтов в классе, и успех гарантирован.

"Закрепившись" на данном уровне и достигнув определенных успехов в обучении, учитель начинает думать о том, как научить ученика творчески (нестандартно и нестереотипно) мыслить, преодолеть стереотип «жить как все», избавиться от комплексов и искать в каждой задаче оригинальное и отличное от других решение. Опыт показывает, что научиться мыслить творчески, развить свои способности может практически любой человек - для этого существуют специальные методики, освоив которые, можно преодолеть инерцию мышления и находить по-настоящему "красивые" ответы на поставленные вопросы. Конечно, "впитавшему" данные методики учителю часто приходиться работать на втором уровне и даже на первом, порою на одном уроке, но в его памяти всегда свежи озарения его учеников, которые заставляют его в каждом новом общении искать творческую основу и новые озарения.

Система преподавания, о которой я так долго говорил, наглядно отражена в примерных планах уроков по молекулярной физике и термодинамике, которые я предлагаю вашему вниманию. В них красивая физика. Успехов Вам на пути к настоящему знанию!

Учитель физики НБМОУ "Гимназия № 44" А. Найдин

Оглавление

1. Введение……2 – 4

2. Основные понятия молекулярной физики……..5-24

3. Основные уравнения молекулярной физики…….25-47

4. Газовые законы…….48-67

5. Основные понятия термодинамики……68-81

6. Основные законы термодинамики……..82-100

7. Тепловые двигатели…….101-115

8. Свойства реальных газов…….116-130

9. Свойства жидкостей…….131-143

10. Свойства твердых тел……...144-174

11. Литература……..175

Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.
Анатолий Найдин

г. Новокузнецк
2014 г

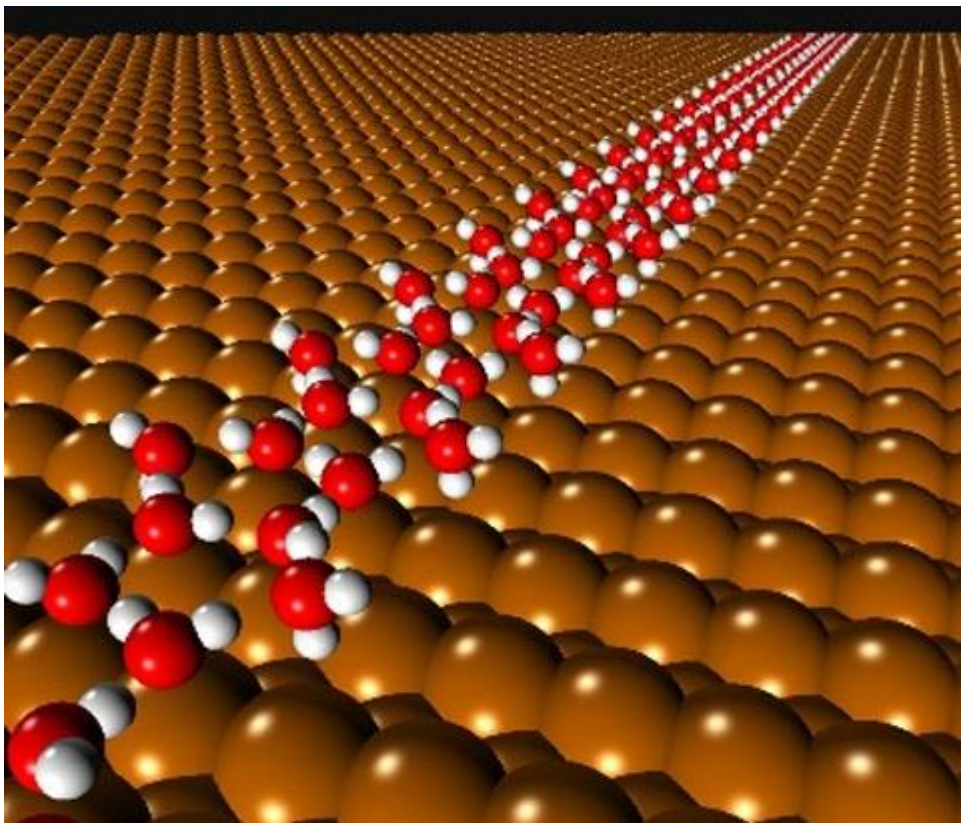
Всю, самое по себе, составляют природу две вещи:
Это, во-первых, тело, во-вторых же, пустое пространство,
Где пребывают они и где двигаться могут различно.
Тит Лукрецкий Кар

И вихря, и света быстрей мой полет,
Отважнее? В область хаоса? Вперед!
Ф. Шиллер

Святой пророк ислама всегда говорил, что поиск знаний и учености входит в обязанность всякого мусульманина, будь то мужчина или женщина. Он побуждал своих учеников всюду искать знаний, даже если за ними придется ехать в Китай.
Абдус Салам, Нобелевская лекция, 1979 г.

Ничто не дается даром в этом мире, и приобретение знания — труднейшая из всех задач, с какими человек может столкнуться. Человек идет к знанию так же, как он идет на войну — полностью пробужденный, полный страха, благоговения и безусловной решимости. Любое отступление этого правила — роковая ошибка.
Карлос Кастанеда, американский антрополог и писатель (1925–1998).

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО МОЛЕКУЛЯРНО - КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГАЗОВ



Сущность Вселенной не имеет в себе силы, которая могла бы противостоять мужеству познания.

Г. Гегель

Урок 1.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ УРОК

Самый большой талант успешных людей - способность заставить себя действовать!

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с основными требованиями, предъявляемыми к их учебной деятельности в кабинете. Дать общее представление об учебной программе по физике, требованиях к знаниям и умениям учащихся. Ответить на вопросы: "Что?", "Как?" и "Зачем?" мы будем изучать на уроках физики.

ТИП УРОКА: урок – лекция.

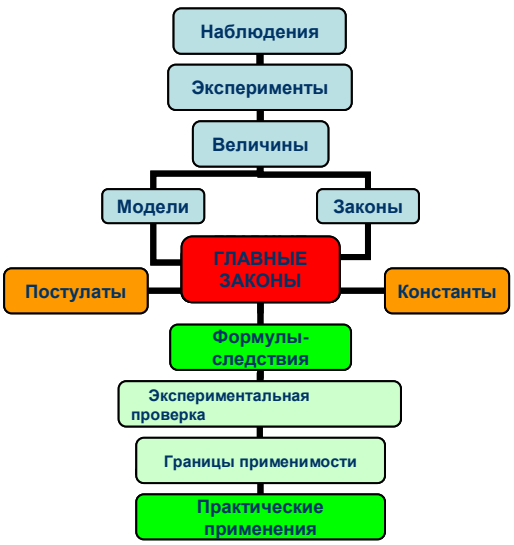
ОБОРУДОВАНИЕ: пружинный маятник, секундомер, выпрямитель высоковольтный, газоразрядные трубки, таблица: "Физическая теория".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Организационная беседа
3. Работа с таблицей
4. Задание на дом

II. Общее знакомство учащихся с учебным кабинетом и преподавателем. Что мы будем изучать в кабинете физики? Что изучает физика? Физические явления: механические, тепловые, электромагнитные, квантовые. Физические явления происходят не сами по себе, а с физическими объектами. Примеры объектов: пружинный маятник, газ, электромагнитное поле.

Физика изучает физические явления и физические объекты. Возникновение физики, как науки, вызвано техническими потребностями человечества (добывание огня, изобретение колеса и щита, Архимед и корона, металлургия, тепловые двигатели, электрические генераторы и двигатели, связь, атомные электростанции) и его вечным стремлением установить общие **законы развития природы** (картину мира).



Как изучает физика явления и объекты?

1. Наблюдения.

Пассивность наблюдений. Воспроизведение явления в лаборатории. Физический прибор. Приборы, расширяющие возможности наших органов чувств. Приборы, регистрирующие явления и объекты, которые не могут быть обнаружены с помощью наших органов чувств.

Что труднее всего на свете? Видеть то, что находится перед глазами!

Гёте

2. Эксперимент.

Ежедневно мы проводим тысячи опытов: кипятим воду, завариваем чай, растворяем сахар, роняем предметы, сушим волосы феном и т.д.

Изучение свойств объекта в процессе экспериментов. Качественные и количественные выводы из экспериментов (демонстрация колебаний пружинного маятника). Субъективность качественных выводов на примере колебаний пружинного маятника с разными амплитудами.

3. Физическая величина – измеримое свойство физического объекта или происходящего с ним процесса.

Измеримые свойства нитяного маятника: длина (ℓ), масса (m), период (T), амплитуда (A). **Язык физики – это язык физических величин!** Задача ученого - обнаружить те свойства, которые позволят расшифровать язык природы и раскрыть его красоту. Помним, что наши инструменты ограничены и поэтому наш взгляд на мир определенно будет близоруким. Достаточно вспомнить, какой была биология до появления микроскопов и какой была астрономия до появления телескопов, физика частиц до столкновения атомов в коллайдерах и появления быстрой электроники.

Язык определяет мышление и способ познания.
гипотеза лингвистической относительности Сепира-Уорфа

4. Физический закон – связь между величинами, выраженная математически в виде таблицы, графика или формулы.

Законы нитяного маятника: T(ℓ), T(m), T(A).

Во Вселенной есть порядок, и наука его постепенно раскрывает. Все мироздание живет по законам физики, скрепляющим его, как тело – скелет. У нас дома действуют те же самые законы физики, что и во всей остальной Вселенной. Универсальность физических законов - главный двигатель научного прогресса. Знание законов физики во многих случаях придает уверенности в себе и помогает противостоять невеждам!

5. Главные (фундаментальные) законы – ядро физической теории.

Теория - венец теоретического обобщения. Она позволяет объяснить, почему данное явление протекает так, а не иначе. Фундаментальные законы должны быть применимы везде и всегда — хоть внутри атомного ядра, хоть на масштабах космоса; хоть в том горячем первичном бульоне всевозможных частиц, который представляла собой Вселенная сразу после Большого взрыва. Любая теория представляет собой модель процесса или явления, описывая его с тем или иным приближением. Сейчас, как и в 17 веке, теории, которые мы создаем, и наш взгляд на мир меняются вместе с изменением наших инструментов исследования. Эта тенденция - отличительная черта науки!

Во всем мне хочется дойти
До самой сути:
В работе, в поисках пути,
В сердечной смуте.
До сущности протекших дней,
До их причины,
До оснований, до корней,
До сердцевины.
Б. Пастернак

В чем различие (если оно есть) между догмой и законом природы?

Получение формул – следствий из главных законов, применяя их к конкретным физическим объектам в конкретных ситуациях, например, к пружинному маятнику.

Экспериментальная проверка следствий. Теория верна, пока все ее следствия подтверждаются экспериментально.

Наука – это упорядоченный здравый смысл, в котором множество прекрасных теорий было убито уродливыми фактами.
Томас Гексли

Границы применимости теории на примере классической механики. Применения теории на примере классической механики.

Дополнительная информация. Физика - наука о простейших и, вместе с тем, наиболее общих законах природы, о материи, её структуре и движении. Законы физики лежат в основе всего естествознания. Физика лежит в основе всего - это краеугольный камень науки, на котором строится остальное! Широко признаваемую систему идей называют теорией, а частное предположение, нуждающееся в экспериментальном подтверждении – гипотезой. Исследование всегда начинается с обнаружения пробела в научном описании природы: иногда находится совершенно новый объект, иногда новое поведение старого объекта. Как только такое событие происходит, ученый подыскивает возможное объяснение нового явления, стараясь по возможности сохранить существующие научные представления. Предположения, которые он при этом выдвигает, называются **рабочей гипотезой**, и далее ученый приступает к экспериментальной проверке этой гипотезы.

Хорошая теория описывает широкий круг явлений на базе нескольких простых постулатов и дает ясные предсказания, которые можно проверить.

Стивен Хокинг

Основная задача на период обучения - знать и применять на практике пять фундаментальных теорий: **механику, молекулярную физику, термодинамику, электродинамику, квантовую теорию.** Что значит «знать»? С точки зрения физики, это значит написать уравнение процесса, с точки зрения техники – предсказать параметры процесса. Наука – это система знаний, базирующаяся на опыте и имеющая дело с воспроизводимыми явлениями.

Если мир создан Творцом, то его следует изучать столь же досконально, как Писание, стремясь найти в нем безупречную божественную гармонию.

Я не становлюсь богаче, сколько бы ни приобретал земель, а вот с помощью мысли я охватываю Вселенную.

Б. Паскаль

Наука представляет собой внутренне единое целое. Ее разделение на отдельные области обусловлено не столько природой вещей, сколько ограниченной способностью человеческого познания. В действительности существует непрерывная цепь от физики и химии через биологию и антропологию к социальным наукам, цепь, которая ни в одном месте не может быть разорвана… М. Планк

Из всех народов первым будет тот, который опередит других в области мысли и умственной деятельности.

Л. Пастер

- *Правда ли, что гениальность – это болезнь?* – спросили Гиппократа, великого врача древнего мира.

- *Безусловно. Но, к сожалению, очень редкая, и – увы! – совершенно незаразная.*

Чем больше ваши мысли, ваши чувства
Открыты для безбрежного искусства,
Для светлого потока красоты. –
Тем он яснее различает звенья
Единства миро зданья, - те черты,
Которым прежде он не знал значенья.

Ф. Шиллер

Структура контроля:

1. **Устные (пять вопросов)** ответы у доски (общая тетрадь для классной работы; регламент устного ответа - 5 мин).
2. **Контрольные работы** (тетрадь 18-ти листовая).
3. **Лабораторные работы** (тетрадь для лабораторных работ).
4. Домашняя работа.
5. **Классная работа**.

Законы физического общества (предложить). Предварительные и итоговые опенки за четверть и за год. Переводной экзамен. Форма проведения экзамена. Итоговая оценка.

Сам Он даровал мне неложное познание существующего, чтобы познать устройство мира и действие стихий, начало, конец и середину времен, смены поворотов и перемены времен, круги годов и положение звезд, природу животных и свойства зверей, стремление ветров и мысли людей, различия растений и силы корней. Познал я все, и сокровенное, и явное, ибо научила меня Премудрость, художница всего.

Книга премудрости Соломона. Глава 7.

АНЕКДОТ. В школе учительница спрашивает первоклассников:

- *Иванов, сколько будет два плюс два?*
- *Три.*
- *Садись, два. Петров!*
- *Пять.*
- *Садись, два. Сидоров!*

Встает Сидоров, сын директора школы.

- *Семь будет. Марья Петровна.*
- *Да-да! Где-то так! Семь-восемь.*

Выборы куратора класса. В английской академии наук существовала такая должность. Согласно контракту, он должен был на каждом заседании общества (а они проходили еженедельно) демонстрировать 3 – 4 опыта, доказывающие новые законы природы.

III. Алгоритмы (планы) изучения структурных единиц знания (теории, закона, величины, объекта, явления) записать в рабочую тетрадь. Проверка учеников на образное и логическое мышление (тест).

IV. Приобрести и подписать тетради для разных видов работ.

1. Отчет за летний период: "Что ты сделал полезное для физики?"

Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что до поры до времени отыскиваю камешек более цветистый, чем обыкновенно, или красивую раковину, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным.

И. Ньютон

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Установив исходные факты, мы начнем строить, основываясь на них, нашу теорию и попытаемся определить, какие моменты в данном деле можно считать узловыми.

Артур Конан Доил

Урок 2.

ВВЕДЕНИЕ В МОЛЕКУЛЯРНУЮ ФИЗИКУ

Мир для греков мир состоял из четырёх элементов: земли, воды, воздуха и огня.

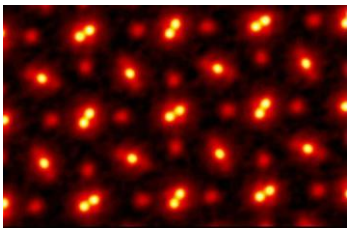
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с предметом и последовательностью изучения молекулярной физики. Ввести понятия: макроскопическое тело, атом, молекула, количество вещества, молярная масса.

ТИП УРОКА: урок-лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: модели молекул, прибор для изучения газовых законов.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом



II. Сегодня мы начнем знакомиться с молекулярной физикой. Прежде всего, ответим на вопрос: "Что изучает молекулярная физика?".

Какие физические явления изучает молекулярная физика? Явления, обусловленные движением молекул?! *Примеры:* кипение, испарение, плавление, нагревание. Эти явления называют **тепловыми**, поскольку они обусловлены изменением температура тел. С какими физическими объектами происходят тепловые явления? *Примеры:* газ, жидкость, твердое тело. Многообразие тепловых явлений и их роль в нашей жизни. Зависимость свойств тел от температуры. *Примеры:* свойства воды, белое и серое олово. Зависимость свойств вещества от его внутренней структуры. **Молекулярная физика изучает тепловые явления, а также свойства и поведение вещества на основе представлений о его молекулярном строении.**

Вначале мы изучим молекулярно-кинетическую теорию разреженного (идеального) газа, затем свойства реальных газов, жидкостей и твердых тел. Как будем изучать? Повторение алгоритма изучения физической теории. Два возможных пути изучения. Мы выберем второй путь - построим модель газа и путем ее теоретического анализа получим главные законы.

Начинаем работать по алгоритму. На основе экспериментов введем понятия, общие для всей молекулярной физики.

1. **Тело, состоящее из большого числа частиц, называют макроскопическим.** Примеры макроскопических тел.
2. **Атом – мельчайшая часть химического элемента.**

Зернистость (дискретность) вещества. Существует очень большое количество различных веществ, и каждое состоит из одного или более представителя простых веществ, называемых элементами (118 элементов, последний элемент в таблице - оганесон $^{294}_{118}Og$). Элемент уже нельзя разделить еще на более простые химические составляющие. Возможные комбинации атомов. **Химическое соединение** — это новое вещество, состоящее из двух или более элементов, соединённых так, что его свойства существенно отличаются от свойств породивших его элементов. У тел, окружающих нас, есть цвет, запах, есть размеры, но атомы, из которых построены эти тела, не обладают ни одним из этих качеств. Возьмите один атом хлора и один атом натрия — получите соль. Возьмите три атома кислорода — получите озон. Да, тот самый, который странно, но приятно пахнет. Возьмите два атома водорода, один атом серы и четыре атома кислорода — получите серную кислоту. При взаимодействии элементов их атомы объединяются, образуя молекулу.

3. **Молекула – мельчайшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства и состоящая из атомов, объединенных химическими связями.**

Атомы и молекулы представляют собой основные строительные блоки, из которых формируется вещество любого типа. Если объединяются атомы одного вида, то такое вещество называется простым. До каких пор можно делить вещество? Пример с делением воды. Дискретность вещества. Каковы массы молекул?

4. **Относительная молекулярная масса ($\mu_в$) – отношение массы молекулы данного вещества к 1/12 массы атома углерода.**

$$\mu_в = \frac{m_0}{1/12 m_{ос}}$$

Примеры: $\mu_H = 1$; $\mu_O = 16$; $\mu_C = 12$; $\mu_{O_2} = 32$; $\mu_{H_2O} = 18$.

Число атомов в 12 граммах углерода. Как это число найти? Число Авогадро.

1 моль любого вещества содержит число частиц, равное числу Авогадро!

N_A= 6,02·10^{23} 1/моль. N_A= (6,022045 ± 0,000031) ·10^{23} (1/моль).

Самый точный метод, основанный на дифракции рентгеновских лучей, дает N_A = 6,0221367·10^{23} (1/моль).

5. **Молярная масса ($M_в$) – масса одного моля данного вещества.** $M_B = m_0 \cdot N_A = \mu_B \cdot 10^{-3}$ *кг/моль.* Примеры: M_{O_2} = 32 · 10^{-3} кг/моль, M_{H_2O}= 18 · 10^{-3} кг/моль.
6. **Количество вещества (ν) – свойство макроскопического тела, измеряемое отношением массы вещества к его молярной массе (отношением числа частиц в теле к числу Авогадро).**

$$\nu = \frac{m}{M_B}. \qquad [\nu] = [\text{моль}]$$

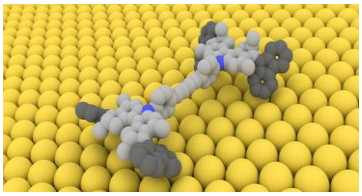
Как определить число частиц в макроскопическом теле? $N = \nu N_A$

Как измерить количество вещества? $\nu = \frac{m}{M_B} = \frac{N \cdot m_0}{N_A \cdot m_0} = \frac{N}{N_A}$.

Как определить массу молекулы данного вещества? $m_0 = \frac{M_B}{N_A}$.

III. *Задачи:*

1. Сколько молекул содержат 5 молей данного вещества?
2. Определите массу молекул кислорода и углекислого газа.
3. Какова масса 50 молей углекислого газа?
4. Сколько молекул содержится в 1 л воды? Каковы масса молекулы воды, ее объем и диаметр?
5. В комнате объемом 60 м^3 испарили капельку духов, содержащую 10^{-4} г ароматического вещества с молярной массой 1000 г/моль. Подсчитать, сколько молекул вещества попадает в легкие человека при каждом вдохе, если объем вдыхаемого воздуха 1 л.



Вопросы:

1. В чем различие между наукой и религией?
2. Сравнить число молекул N_1 в одном моле двухатомного газа – молекулярного кислорода O_2 и число молекул N_2 в одном моле трехатомного газа - озона O_3.
3. При сгорании углерода 12 г углерода соединились с 32 г кислорода. Изменилось ли при этом количество вещества?
4. Сравните число молекул N_1 в 1 г водорода и число молекул N_2 в 1 г кислорода.
5. Имеется 10 г одноатомного газа гелия – He. Сколько моль содержит это количество?
6. Что общего и в чем различие между молями разных веществ?

7. Имеется два сосуда. В одном находятся 1 г молекулярного водорода H_2, в другом – 8 г молекулярного кислорода O_2. В каком сосуде находится большее количество вещества?

IV. § 1-2. Упр. 1, №2-4.

1. Сколько атомов содержит Земля. Принять, что каждый атом имеет диаметр $2 \cdot 10^{-10}$?
2. Предложите способы измерения числа Авогадро.

Считать атомы так же легко, как выполнять все желания возлюбленной…

Шекспир

Урок 3.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

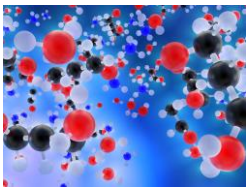
В нашем организме можно найти 81 элемент периодической системы Менделеева!

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить понятия, введенные на прошлом уроке.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: периодическая таблица, микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Что, как и зачем изучает молекулярная физика?

3. Основные понятия молекулярной физики.

Задачи:

1. Где больше частиц: молекул в стакане воды или атомов в стакане ртути?
2. Какой объем занимают $2{,}2 \cdot 10^{23}$ атомов железа?
3. Сколько молекул содержат 2,8 г угарного газа?
4. Сколько молекул воды приходится на одну молекулу углекислого газа в бутылке с лимонадом объемом 0,5 л, если в ней растворено 2,2 мг этого газа?

Вопросы:

1. Каковы диаметры (линейные размеры) атомов и молекул?

Макроскопическими называют объекты, которые человек видит невооруженным глазом.
Микроскопические объекты имеют размеры в диапазоне от 1 до 100 мкм.
Нанометровыми называют объекты, размеры которых лежат в пределах от 1 до 100 нм.

2. Почему для проведения химической реакции вещество измеряют молями?
3. Можно ли провести какую-либо химическую реакцию без остатка?
4. Молекулы можно разделить на атомы. Почему же тогда молекула – мельчайшая частица вещества?
5. Как можно оценить размер молекулы спирта?
6. Почему гелия нет в нашем организме, хотя после водорода это наиболее распространенный элемент во Вселенной?
7. Одинаковые ли количества вещества содержат 10^{20} молекул кислорода и молекул азота?
8. Микроскопическая пылинка углерода (C) обладает массой 0,1 нг. Определить, из скольких молекул она состоит.

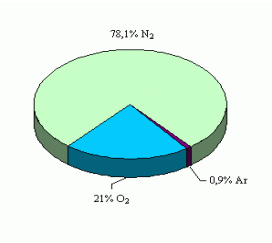
9. Пусть имеется 1 г водорода и 1 г кислорода. Происходит реакция образования воды, которой образовалось максимально возможное количество. Какое вещество – или осталось, а какое прореагировало полностью?
10. При образовании соединения азота с кислородом отношение масс прореагировавших веществ равно 7:16. Какова химическая формула этого соединения?

III. *Задачи:*

1. Смешали 2 кг молекулярного водорода и 4 кг молекулярного кислорода. Какова молярная масса смеси?
2. Смесь на 75% по массе состоит из молекулярного азота и на 25% из молекулярного кислорода. Какова молярная масса смеси?

Смесь — это комбинация веществ, не вступающих в химическую реакцию друг с другом. Какими признаками отличаются химические соединения от смесей?

3. Сколько частиц находится в 1 г азота, если степень его диссоциации 7%?
4. Какая масса углекислого газа растворена в бутылке с лимонадом объемом 0,5 л, если на одну молекулу газа приходится $5{,}56 \cdot 10^5$ молекул воды?
5. По числу молекул воздух у поверхности Земли состоит примерно на 78% из молекул азота, на 21% - из молекул кислорода и еще примерно 1% приходится на атомы аргона. Какова молярная масса воздуха?



Полезные примеры:

1. В чашке чая, которую вы собираетесь выпить, содержится около 1000 молекул из той чашки с ядом, которую заставили выпить Сократа.
2. Если по всей территории России равномерно рассыпать конфеты «горошек» (объем одной конфеты порядка 1 см^3), то какова может быть толщина этого слоя, если число конфет равно числу Авогадро?
3. В ваших легких в каждый момент содержится по две молекулы из последнего вздоха Чингисхана.
4. На расстоянии 40 см можно уложить столько молекул, сколько людей на земном шаре?
5. Для написания одной буквы требуется столько молекул чернил, сколько живых существ на планетах, если бы они были у каждой звезды нашей Галактики ($200 \cdot 10^9$ звезд) и были населены живыми существами также густо, как Земля.
6. На кончике комариного жала, могут уместиться десятки тысяч молекул воды. Подтвердите примеры вашими расчетами.
7. В пустыне Сахара всего три моля песчинок, а моль однодолларовых бумажек покрыл бы Землю слоем в два километра толщиной.
8. Инженеры изготовили микроробота, который может захватить отдельную клетку, а в перспективе и целую опухоль. Длина такого устройства не превышает 10 мкм (0,01 мм).

IV. § 1. Упр. № 1, № 5 – 7

1. Оцените диаметр молекулы данного вещества, если известно, что в жидком или твердом состоянии вещества молекулы расположены почти вплотную друг к другу.
2. Оцените, какая часть всех атомов в кубике алюминия объемом 1 см^3 находится на поверхности. А в кубике алюминия объемом 100 нм^3?

Всякая плодотворная гипотеза кладет начало удивительному извержению потока непредвиденных открытий.

Леон Бриллюен

Урок 4.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Физический мир всегда стремится к состоянию равновесия.

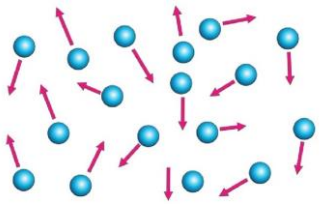
ЦЕЛЬ УРОКА: Продолжить введение основных понятий молекулярной физики. Дать определение понятий: термодинамическая система, тепловое равновесие. Параметры состояния: объем, концентрация, давление, температура.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: демонстрационный прибор для изучения газовых законов, термометр демонстрационный жидкостный, термометр электрический, пересыщенный раствор соли в воде, колба с водой, электроплитка, латунный цилиндр, внутренний стакан от калориметра.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. *Опрос фундаментальный:* 1. Что и как изучает молекулярная физика?

2. Основные понятия молекулярной физики.

Задачи:

1. Определить массу капли воды, при составлении всех молекул которой вплотную друг к другу получилась бы нить, опоясывающая весь земной шар. Диаметр молекулы воды 0,17 нм.
2. Кукуруза на площади 1 га в сутки потребляет около 1 т углекислого газа. Какое количество углерода усваивается при этом растениями?

Если для оценки предположить, что растения равномерно распределены по поверхности Земли, то получается, что 1 км^2 леса производит в год более 1000 т кислорода, чего хватает на один старт ракеты. В мире существует больше видов углеродных молекул, чем всех остальных молекул, вместе взятых.

3. Считая, что объем молекулы воды равен $1{,}1\cdot10^{-23}$ см^3, найти, какой процент от всего пространства, занятого водой, приходится на долю самих молекул.
4. Молярная масса смеси кислорода и гелия равна 18 г/моль. Масса гелия 8 г. Определить массу кислорода в смеси.
5. Радоновые ванны, применяемые для лечения, содержат $1{,}8\cdot10^{6}$ атомов радона в 1 дм^3 воды. На сколько молекул воды приходится один атом радона в лечебной ванне?

Вопросы:

1. Как представить себе малые размеры атомов?
2. Сколько молей воды образуется из шести молей атомарного кислорода и 6 молей молекулярного водорода?
3. Как бы вы организовали состязание на звание «Мисс Молекула»?
4. В чем отличие одного вещества от другого?
5. Молярная масса вещества солнечных недр близка к 0,6. Почему она меньше единицы?
6. Каким образом нить ДНК длиной около 2 м помещается внутри ядра клетки диаметром порядка 0,006 мм?

7. Каким образом атомы фотографируют и даже перемещают с места на место?

III. Цель урока – ввести новые понятия: **термодинамическая система, тепловое равновесие, параметры состояния.**

7. **Термодинамическая система – тело или несколько тел, которые ограничены поверхностью (оболочкой) и могут обмениваться друг с другом или с внешней средой энергией или веществом.**

   Примеры: газ в цилиндре под поршнем, жидкость со своим паром в колбе, раствор соли водный. Различают 3 типа систем:

   - **Изолированная** система – не обменивается с окружающей средой ни веществом, ни энергией.
   - **Замкнутая** (закрытая) система – обменивается с окружающей средой только энергией.
   - **Открытая** система – обменивается с окружающей средой энергией и веществом.

   Если система не изолирована, то ее состояние может изменяться.

8. **Изменение состояния термодинамической системы называют термодинамическим процессом.** Термодинамические процессы – это процессы обмена энергией и веществом или переход энергии из одной формы в другую. Если термодинамические процессы не протекают, то система находится в **равновесном состоянии**.

9. **Тепловое равновесие – состояние термодинамической системы, в которое она самопроизвольно переходит в условиях изоляции от окружающей среды**. Демонстрация установления теплового равновесия в системе, состоящей из теплоприемника и манометра. Бесконечное число возможных состояний теплового равновесия данной термодинамической системы.

Почему же это состояние абстрактно? Потому что в реальной жизни очень тяжело изолировать систему от внешнего влияния окружающего мира. Таким образом, в каждый момент времени протекают какие-то термодинамические процессы. Равновесие применимо к любому количеству объектов, от звёзд в галактиках до чая и сахара в одном стакане. Невероятно, но системы стремятся к равновесию вне зависимости от того, хотим мы этого или нет. ***Ничто из пребывающего в равновесии не может быть живым!***

Историческая справка. Вальтер Нернст, открывший третий закон термодинамики, в часы досуга разводил карпов. Однажды кто-то глубокомысленно заметил: "*Странный выбор. Кур разводить и то интереснее*". Нернст невозмутимо ответил: "*Я развожу таких животных, которые находятся в термодинамическом равновесии с окружающей средой*".

10. **Величины, характеризующие равновесное состояние термодинамической системы, называются параметрами состояния.**

    В изолированной термодинамической системе параметры остаются неизменными.

- **Объем (V) - свойство термодинамической системы занимать часть пространства, измеряемое в кубических метрах.**

- **Концентрация (n) – свойство вещества занимать определенный объем, измеряемое отношением числа молекул данного вещества в объеме, к этому объему.**

$n = \frac{N}{V}$. [n] = [м$^{-3}$]

- **Плотность (ρ) –** свойство вещества занимать определенный объем**, измеряемое отношением массы вещества в данном объеме к этому объему.**

$\rho = \frac{m}{V}$. [ρ] = [кг/м^3]

- **Давление (p) – свойство тел оказывать влияние на данное тело при соприкосновении с ним, измеряемое отношением силы, действующей перпендикулярно поверхности тела, к площади этой поверхности.**

$p = \frac{F}{S}$. [p] = [Н/м^2] = [Па]

1 атм = 760 мм рт.ст. = 101325 Па ≈ 1,01·10^5 Па. 1 мм рт.ст. ≈ 133 Па.

Приборы для измерения давления: манометр, барометр-анероид.

11."Главный" параметр - температура.

Тела никогда не будут в тепловом равновесии, если их температуры различны, но могут быть, например, при разных давлениях.

При контакте тепло всегда передается от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой. Температура — индикатор теплового равновесия!

Равновесная термодинамическая система обладает свойством иметь одинаковую температуру в каждой ее области. Каждому состоянию системы при данных P и V (воздух в комнате) соответствует своя температура. **Температура указывает величину отклонения данного состояния системы от состояния, принятого за нулевое состояние, и определяет направление переноса тепловой энергии при контакте двух тел.**

Это отклонение грубо можно измерить рукой (мера нагретости) или с помощью термометра.

В некоторых регионах используют более простую шкалу с тремя температурами — холодно, терпимо, жарко, а в Сибири добавляют четвертую - «мороз, блин».

Любое вещество, обладающее одним или более свойствами, изменяющимися с температурой, можно использовать для измерения температуры. **Приборы для измерения температуры:** стеклянный жидкостный термометр, термопары, резистивные термометры, термисторы, пирометры, биметаллические термометры, газовые термометры.

У них средняя температура двадцать градусов, а у нас ноль - в двадцать раз меньше!

В.В. Жириновский

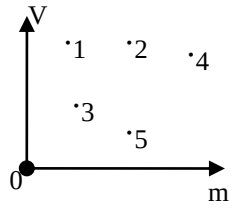
Дополнительная информация: Измерение температуры. Две системы А и В, находящиеся в тепловом равновесии с третьей системой С (термометром), находятся в тепловом равновесии между собой (нулевое начало термодинамики). Мысленный температурный эталон. Сравнение температуры тела с эталоном. Градуировка термометра. Шкала Цельсия. Реперные точки. Использование термометра для изменения температур. Демонстрация измерения температуры тела с помощью электрического термометра. Низкие и высокие температуры. *Тыкать термометром в лицо соседа - это удовольствие!*

Бывает и так! Итальянский ученый Галилео Галилей наполнял изобретенные им термометры не ртутью, не спиртом, а вином. Один из таких приборов он послал своему ученому другу в Англию, сопроводив посылку описанием назначения термометра. Но то ли записка потерялась, то ли ученый друг не понял сути ее, только ответ пришел к Галилею неожиданный: "Вино поистине великолепно. Пожалуйста, вышли еще такой прибор".

IV. *Задача:* При какой температуре плотность керосина равна 770 кг/м^3, если при 20^{0}С она равна 800 кг/м^3?

Вопросы:

1. Что понимают под термодинамической системой?
2. Каковы отличительные признаки состояния теплового равновесия?
3. Почему ртутный и спиртовой термометры с равномерными шкалами дают совпадающие показания только в реперных точках?
4. В каком направлении развиваются процессы в замкнутых термодинамических системах?
5. Как связано понятие температуры с понятием теплового равновесия?
6. Выразите плотность вещества через массу его молекулы.
7. Вишня и ее косточка имеют форму шариков, причем слой мякоти вишни такой же толщины, как и косточка. Во сколько раз объем сочной части вишни больше, чем объем косточки?
8. Какой физический смысл имеет величина, обратная концентрации?
9. Почему нельзя, смешав две порции воды с одинаковой Т, получить воду с более высокой Т?
10. Покажите, что 1 г/см^3 равен 1000 кг/м^3.
11. Шкура коня, который имеет вдвое больший размер, испытывает вдвое большее давление со стороны внутренних органов. Так ли это?
12. Если температура слишком низкая, химические реакции протекают очень медленно, а некоторые вообще невозможны. Почему?
13. Приведите возражения против пользования водяным термометром.
14. Как медицинский термометр «запоминает» температуру?
15. Как бы вы поступали, чтобы измерить температуру: д) Солнца; б) верхних слоев атмосферы; в) крошечного насекомого; г) Луны; д) дна океана?
16. Почему не всегда можно доверять определению температуры на ощупь? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.
17. В лаборатории провели измерение массы и объема пяти тел, после чего отложили результаты на графике. Какое из тел имеет самую большую массу? У какого тела самая маленькая плотность? Какие тела сделаны из одинакового материала?



V. § 9.

1. Термометры бывают: болометрические, фотометрические, бытовые (спиртовые и ртутные), жидкокристаллические, газовые. Что вам о них знаете?
2. Во времена Ломоносова уже пользовались как ртутным, так и спиртовым термометром. Какой из них был более чувствительным при прочих равных условиях?

3. Предложите конструкцию прибора для измерения минимальной (максимальной) температуры.
4. Оцените число молекул воздуха в земной атмосфере.
5. Получается, что атомы заполняют только лишь 10% тела человека. Так ли это?
6. С какой скоростью должен ехать автомобиль, чтобы проколотая шина не сминалась?
7. Оцените температурную разрешающую способность вашей руки.
8. Определите концентрацию молекул льда и среднее расстояние между ними.
9. Поставьте рядом три вместительных сосуда: с горячей водой – слева, с холодной водой – справа и со смесью горячей и холодной воды – в центре. Подержав правую и левую руки в соответствующих сосудах несколько минут, одновременно опустите их в центральный сосуд. Опишите ваши ощущения и постарайтесь их объяснить.

Теперь я верю в существование атомов.

Э. Мах

Урок 5.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Зачем пищевые продукты упаковывают в вакуумную пленку?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с основными положениями (постулатами) молекулярной физики и обосновать их экспериментально. Развить знания учащихся о физической теории.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диапроектор ФОС с принадлежностями, микроскоп биологический, механическая модель броуновского движения, манометр водяной, цилиндр пористый, раствор 1:5 серной кислоты, цинк.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Что и как изучает молекулярная физика?

2. Основные понятия молекулярной физики (определения).

Задачи:

1. Имеется $8 \cdot 10^{25}$ молекул кислорода. Определите массу газа. Определите также плотность и концентрацию газа, если его объем 0,8 м^3.
2. На изделие, площадь поверхности которого 20 см^2, нанесен слой серебра толщиной 1 мкм. Сколько атомов серебра содержится в покрытии?
3. Оцените концентрацию свободных электронов в натрии, полагая, что на один атом приходится один свободный электрон. Плотность натрия 970 кг/м^3, его молярная масса 23 г/моль.
4. Ученик приобрел участок площадью 0,01 га. Какую массу воздуха он получил в придачу?
5. Определить расстояние между ближайшими атомами железа, кристаллизованного в кубическую решетку, если плотность железа ρ = 7,9 г/см^3, а атомная масса M_{Fe}= 56 г/моль.

6. Какой была бы толщина земной атмосферы при постоянной плотности $\rho = 1,25$ кг/м^3?
7. Считая высоту слоя атмосферы много меньшей радиуса Земли ($R_з$ = 6370 км), оцените массу атмосферы.

Газообразный слой, окутывающий Землю, достигает 630 тысяч километров, что в 50 раз больше диаметра нашей планеты. Плотность атомов водорода на расстоянии 60 тысяч километров над поверхностью Земли – около 70 атомов на кубический сантиметр.

III. На будущее постулируем:

1. Все вещество состоит из частиц, атомов или молекул.

2. Частицы вещества находятся в беспрерывном хаотическом движении.

3. Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

Опытное подтверждение справедливости первого постулата.

Невозможность наблюдать молекулы даже в сильный микроскоп, все время оставляла повод сомневаться в гипотезе о корпускулярном строении вещества. Ионный микроскоп (по кадрам диафильма). Фотографии молекул. Растекание капли оливкового масла объемом 1 мм^3 по поверхности воды (максимальная площадь пленки 0,6 м^2). Доказали! Тогда будем изучать свойства большой совокупности этих частиц.

Опытное обоснование второго постулата.

Диффузия – перенос вещества, приводимый к самопроизвольному выравниванию концентраций различных веществ.

Именно диффузия обеспечивает:

1) соединение металлов при сварке, пайке, никелировании, спекании и т.п.;
2) поставку растениям питательных веществ из почвы (так как концентрация полезных веществ в корнях меньше, чем в окружающей их почве);
3) поступление полезных веществ в организмы животных (через стенки желудка и кишечника организм "всасывает" только те растворённые в пище вещества, которых недостаёт для построения новых клеток).

Есть ли между молекулами данного вещества промежутки? Могут ли молекулы одного вещества проникать между молекулами другого? Татарская байка о бочке, которую заполнили трижды: камнями, песком, водой. Диффузия в газах, жидкостях и твердых телах. Пример: У меди температура плавления 1083^{0}С, и при температуре 1075^{0}С атом меди скачет, меняя своих соседей 10^7 раз в секунду, а вот при комнатной температуре время его оседлой жизни $3\cdot10^{12}$лет. Демонстрация **броуновского движения (**1827 г., Броун**).** Броуновские частицы настолько велики, что их можно видеть с помощью микроскопа (каждая частица содержит 10^{10}-10^{11} молекул). Полная неупорядоченность движения броуновских частиц.

Движение молекул ускользает от нашего от нашего непосредственного восприятия, как лёгкая зыбь на поверхности моря для наблюдателя, находящегося на очень далеком расстоянии. Однако если в поле его зрения окажется лодка, то он заметит, что она покачивается, что на море есть легкое волнение, о котором он и не подозревал.

Жан Батист Перрен

Объяснение броуновского движения на модели. **Причина броуновского движения - тепловое движение молекул среды и отсутствие точной компенсации ударов, испытываемых частицей со стороны окружающих ее молекул.**

Я думаю, что эти исследования Эйнштейна больше, чем все другие работы, убеждают физиков в реальности атомов и молекул, в справедливости теории теплоты и фундаментальной роли вероятности в законах природы.

Макс Борн.

Дополнительная информация: Броуновское движение приводит к диффузии частиц в различных средах, и его концепция настолько обща, что применима ко многим явлениям — от рассеивания загрязняющих веществ до возникновения вкусового ощущения сладости сиропа на кончике языка. Теорию броуновского движения используют для описания случайных процессов, с применением большого количества данных — таких как, например, изменение цен. Концепция диффузии помогает понять использование феромонов муравьями или распространение ондатры в Европе после их случайного освобождения из клеток в 1905 г. Законы диффузии использовались для моделирования концентрации вредных веществ в дыме из труб и вытеснения земледельцами охотников-собирателей во времена неолита. Ученые также применяют законы диффузии для изучения проникновения радона в воздух и почву при их загрязнении нефтяными углеводородами. Предел возможности использования приборов для измерения малых величин: флюктуации в электрических цепях (случайные сигналы), снег на экранах телевизоров. Если размер взвешенных в жидкости или газе частиц меньше определенного для их вещества значения, то они не опускаются все на дно, а распределяются по вертикали так, что их концентрация растет с глубиной – устанавливается седиментационное равновесие.

Два вида движения частиц в макроскопических телах: **упорядоченное** (механическое движение тела) и **неупорядоченное** (**тепловое**) движение. Поскольку средняя скорость неупорядоченного (хаотического) движения молекул вещества связана с температурой, то такое движение молекул называют тепловым. **Тепловое движение – случайное, хаотическое, некоррелированное движение большой совокупности частиц.**

Опытное обоснование третьего постулата. Отрыв стеклянной пластинки от поверхности воды, демонстрация со свинцовыми цилиндрами. Косвенные доказательства взаимодействия между молекулами: существование твердого и жидкого агрегатных состояний вещества, силы упругости, силы трения. Природа силы трения: часть атомов "держит" груз (при увеличении расстояния между молекулами в местах контакта начинают преобладать силы притяжения (адгезия)); при увеличении давления трение возрастает. Почему? Распределение электрического заряда в молекуле. Взаимодействие молекул. Зависимость молекулярных сил от расстояния между центрами молекул (график на доске). Происхождение сил упругости (демонстрация модели твердого тела). Тепловое расширение.

Взаимодействие атомов приводит к тому, что возникают огромные совокупности атомов, порой образующие открытые системы, миры, в которых достигнута определенная саморегуляция (сохранение постоянства своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций), позволяющий существовать мирам достаточно долго. Утверждение, что более мелкие элементы составляют более крупные структуры с новыми свойствами, является базовым принципом строения мира.

Газ - агрегатное состояние вещества, в котором его молекулы движутся свободно, заполняя весь предоставленный объем.

Основные свойства газов: не сохраняют ни объема, ни формы; состоят из большого числа частиц; заполняют весь предоставленный объем; создают давление; могут находиться в тепловом равновесии с окружающими телами; легко сжимаемы; физические свойства газа не зависят от его химического состава.

Вещество в газообразном состоянии образует атмосферу Земли, в значительных количествах содержится в твердых земных породах, растворено в воде океанов, морей и рек, образует звезды и заполняет межзвездную среду.

Жидкость – агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым и газообразным. Для них характерна большая подвижность частиц и малое свободное пространство между ними.

Твердое тело - агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы и характером теплового движения атомов, которые совершают малые колебания вокруг положений равновесия.

IV. *Вопросы:*

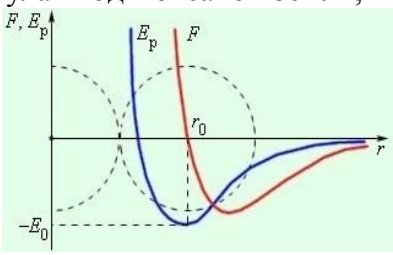
1. Каков характер теплового движения частиц в газах, в жидкостях, в твердых телах?
2. Почему из обломков разбитого стекла невозможно собрать целый стакан?
3. Почему диффузия в твердых телах происходит медленнее, чем в жидкостях, а в жидкостях медленнее, чем в газах?
4. До каких пор происходит диффузия?
5. Чем объяснить возрастание скорости диффузии с повышением температуры?
6. Скользкость льда объяснили диффузией молекул в поверхностном слое. Как это понимать?
7. Скорость движения молекул газа при обычных условиях измеряется сотнями метров в секунду. Почему же процесс диффузии происходит сравнительно медленно?
8. Почему броуновское движение особенно заметно у наиболее мелких взвешенных частиц, а у более крупных оно происходит менее интенсивно?
9. Какой из факторов оказывал заметное влияние на движение броуновских частиц:
   - смена освещения;
   - магнитные поля;
   - вязкость жидкости.
10. Для получения более твердого поверхностного слоя железную деталь помещают в угольный порошок и нагревают, не расплавляя, несколько часов. Зачем?
11. Увеличивая давление над поверхностью воды вдвое, мы удваиваем количество газа, способного растворится в том же количестве воды. Почему?
12. Почему население страны расселяется в ту часть, где больше простора?

Задачи:

1. В озеро попала капелька масла массой m = 0,1 мг и покрыла поверхность воды сплошной пленкой толщиной в один молекулярный слой. Плотность масла ρ = 900 кг/м^3, диаметр молекулы масла d = 2 нм. Оцените площадь S масляной пленки на поверхности воды.
2. Определите среднее расстояние между центрами соседних молекул в куске льда ($V \approx d^3 \cdot N$).

V. § 3 – 5.

1. Используя мензурку и пипетку, определите диаметр молекул машинного масла.
2. По современным данным, масса Солнца равна примерно $1{,}99 \cdot 10^{30}$ кг, а массовая доля кислорода на Солнце составляет 0,8%. Оцените, насколько планетных атмосфер типа земной хватило бы солнечного кислорода?
3. Жители Земли решили перенести часть земной атмосферы на Луну так, чтобы атмосферное давление на поверхности Луны было равно современному значению атмосферного давления на уровне моря на Земле. Какую часть атмосферы Земли (в процентах по массе) нужно для этого переместить на Луну? Считать толщину атмосферы существенно меньшей радиусов Земли и Луны, потери атмосферного вещества на Луне не учитывать.
4. Одна банка до краев заполнена водой и плотно закрыта крышкой, а другая банка - не до конца, и тоже плотно закрыта. Что будет, если выстрелить в эти банки?
5. Оцените отношение массы кислорода, содержащегося в молекулах воды океанов Земли, к массе кислорода в атмосфере Земли.
6. Можно ли дышать кожей?
7. Зависимость молекулярных сил притяжения и отталкивания от расстояния *r* между центрами двух молекул приближенно выражается формулами: $F_{ПР} = - a / r^7$, $F_{ОТ} = b / r^{13}$, где, $a = 1{,}1 \cdot 10^{-77}$ Н·м^7, а $b = 9{,}9 \cdot 10^{-97}$ Н·м^{13}. Оцените по этим данным среднее расстояние между молекулами.



8. Определите скорость понижения верхней границы тумана в сосуде. Учитывая, что эта скорость зависит от вязкости воздуха и от размеров и плотности вещества капли, определите средний размер капель.
9. Измерить скорость распространения запаха пахучего вещества в воздухе. Построить график времени распространения запаха пахучего вещества от расстояния до источника запаха.

В целях создания основы для подобных исследований на строгих принципах механики я изложу законы движения неопределенного количества малых твердых и совершенно упругих шаров, действующих друг на друга только во время столкновений.

Д. Максвелл

Урок 6.

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

Идеальными бывают не только незнакомцы, но и газ.

ЦЕЛЬ УРОКА: На основе анализа физических свойств реальных газов ввести молекулярно-кинетическую модель газа - идеальный газ. Дать представление о случайных и средних значениях энергии молекул, качественно подвести учащихся к понятию распределения частиц по скоростям.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Назовите основные положения молекулярной физики. Приведите основные доказательства существования молекул. 2.

Приведите известные вам доказательства теплового движения молекул. 3. Взаимодействие молекул. 4. Строение газообразных, жидких и твердых тел.

Задачи:

1. Концентрация молекул азота в сосуде $3 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. Определите плотность этого газа.
2. Из медицинского справочника известно, что предельно допустимая концентрация (ПДК) атомов ртути в воздухе равна $3 \cdot 10^{16}$ м^{3}. Масса ртути в одной лампе дневного света 0,2 г. Возникнет ли опасность отравления при повреждении баллона одной из ламп в классе?
3. Какой объем имело бы твердое тело, «спрессованное» из молекул воздуха, находящегося в кабинете физики? Средний диаметр молекул воздуха 0,25 нм.

Ученику, который защищает неверное утверждение: *"Ты как Рыжий Билл, сначала стреляешь в ворота, потом рисуешь мишень".*

4. Морская вода содержит 8% соли (по массе). Сколько пресной воды надо добавить к 30 кг морской, чтобы концентрация соли стала 5%?

Вопросы:

1. Какова природа вязкого трения в жидкостях и газах?
2. Сила тяжести на Луне меньше чем на Земле. Почему же на Земле пыль долго удерживается над ее поверхностью, а на Луне быстро оседает?
3. При ремонте дороги асфальт разогревают. Почему запах разогретого вещества ощущается издалека?
4. Почему броуновские частицы должны быть относительно малыми?
5. Сливки на молоке быстрее отстаиваются в холодном помещении. Почему?
6. Почему облака не падают на землю?
7. Почему, когда чертят мелом на классной доске, то частички его остаются на ней?
8. Что вы вообще знаете о газе; жидкости; твердом теле?

III. Что мы успели рассмотреть? На основе наблюдений и экспериментов ввели основные понятия (перечислить) и обосновали постулаты молекулярной физики. Следующая задача - установить связи между величинами – законы. Описать поведение жидкости, а тем более твердого тела, нам не под силу (взаимодействие атомов или молекул друг с другом). А можно ли описать поведение газа? Плотность газа в 1000 раз меньше, чем плотность жидкости (демонстрация большой сжимаемости газа). Взаимодействием между молекулами газа настолько мало, особенно у разреженных газов, что им можно пренебречь. Независимость физических свойств газов от их химического состава (примеры). Размеры и форма молекул газа мало влияют на его физические свойства, поэтому ими можно пренебречь (считать молекулы материальными точками).

Идеальный газ - модель газа, в которой молекулы представляются материальными точками, между которыми отсутствует взаимодействие на расстоянии. Движение частиц этого газа подчинено законам механики Ньютона.

Молекулы газа не соприкасаются друг с другом; они «асоциальны» и держатся на расстоянии от соседних молекул. Если они сталкиваются, то отскакивают в новых направлениях, как шарики в 3D-бильярде.

Попробуем описать поведение этого самого простого газа, рассматривая движение его молекул. Тепловое движение молекул газа. Среднее значение проекции скорости молекулы на направление *X* и среднее значение квадрата проекции скорости на то же направление.

При весьма большом числе частиц появляются новые своеобразные статистические закономерности.

$$\overline{\upsilon}_x = \frac{\upsilon_{x1} + \upsilon_{x2} + \ldots + \upsilon_{xN}}{N} = 0; \quad \overline{\upsilon}_x^{\,2} = \frac{\upsilon_{x1}^2 + \upsilon_{x2}^2 + \ldots + \upsilon_{xN}^2}{N} \neq 0.$$

Равенство средних квадратов проекции скорости на различные направления: $\overline{\upsilon}_x^{\,2} = \overline{\upsilon}_y^{\,2} = \overline{\upsilon}_z^{\,2}$. Средний квадрат проекции скорости молекулы на направление *X* выразить через средний квадрат модуля скорости (вдоль направления движется 1/3 часть всех молекул): $\overline{\upsilon}_x^{\,2} = \frac{1}{3}\overline{\upsilon}^{\,2}$

Средняя кинетическая энергия молекулы:

$$\overline{E}_к = \frac{E_1 + E_2 + \ldots + E_N}{N} = \frac{m_0}{2}\left(\frac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N}\right) = \frac{m_0}{2}\overline{\upsilon}^{\,2}.$$

Эти формулы нам очень пригодятся при выводе формулы давления газа (основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов).

Если свойства подобной системы тел соответствуют свойствам газов, то этим будет создана важная физическая аналогия, которая может привести к более правильному познанию свойств материи.

Д. Максвелл

Труднее всего описать мусор!

IV. *Задачи:*

1. Скорости молекул соответственно равны: υ_1 = 300 м/с, υ_2 = 380 м/с, υ_3 = 400 м/с, υ_4 = 250 м/с, υ_5 = 280 м/с. Определите средний квадрат модуля скорости молекулы.
2. Суммарная кинетическая энергия молекул одноатомного газа, содержащегося в 20 г его, равна 3,2 кДж. Найти средний квадрат скорости молекул этого газа.

V. § 6-7.

1. Определить средний рост ученика в классе.
2. Найдите среднюю длину пальца вашей руки.
3. Сколько людей на Земле чихают в течение одной секунды?
4. За какое время вода и ветер смогут сточить до основания Эверест?
5. Проведите на миллиметровой бумаге ось X вдоль линии сетки. Опустите с высоты 15 – 20 см вертикально расположенную спичку, после чего отметьте на бумаге координаты начала

и конца упавшей спички. Запишите в таблицу модуль разницы координат $\ell = |x_2 - x_1|$ спички. Опыт повторите 30 раз, после чего рассчитайте среднее арифметическое модуля разницы координат и сравните его с длиной спички. Объясните результаты опыта.

Давление газа, приписываемое прежде отталкивающей силе молекул, по новой теории, называемой кинетической теорией газов, объясняется ударами молекул о стенку сосуда.

Л. Больцман

Урок 7. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГАЗОВ

Как бы вы себя чувствовали, если бы большой количество шершней летало в комнате?

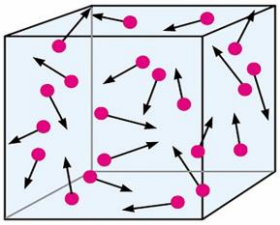
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с методом размерностей и благодаря ему установить вид формулы давления газа. Вывести на основе модели «идеальный газ» основное уравнение молекулярно – кинетической теории газов и опытным путем подтвердить его справедливость с помощью механической модели.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: механическая модель давления газа, обобщающая таблица "Основное уравнение молекулярно – кинетической теории газов.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. *Опрос фундаментальный:* Идеальный газ.

Задачи:

1. Определите средний квадрат модуля скорости молекулы водорода, если ее средняя кинетическая энергия равна $4 \cdot 10^{-21}$ Дж.

Вопросы:

1. До каких пор происходит теплообмен?
2. Почему сильно разреженная газовая среда химически инертна?
3. Каким образом можно получить сильно разреженный газ?
4. К какому газу относятся приведенные ниже утверждения?
   - Молярная масса 44 г/моль.
   - Молекулы газа состоят из двух атомов.
   - Силы притяжения между молекулами газа малы и ими можно пренебречь.
   - Одноатомный газ.

III. Если между молекулами газа так много свободного места, то почему вообще требуется прилагать усилие для его сжатия?

Давление газа. Средняя сила давления газа. От каких параметров газа зависит его давление на стенки сосуда? Демонстрация механической модели газа или аналогия со стрельбой из автомата по мишени.

В физике... нет места для путаных мыслей… Действительно понимающие природу того или иного явления должны получать основные законы из соображений размерности.

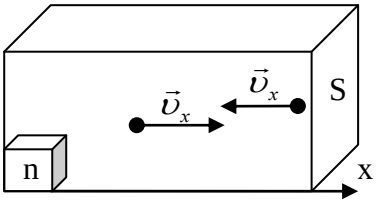
Э. Ферми

Метод размерностей: $p \sim m_0^{\alpha} n^{\beta} \upsilon^{\gamma}$. Размерности подчиняются простым правилам. Нельзя складывать и вычитать разные размерности, но их можно умножать, делить и возводить в степени.

$[Па] = [кг^{\alpha} \cdot м^{-3\beta} \cdot м^{\gamma} \cdot с^{-\gamma}] = [кг^{1} \cdot м^{-1} \cdot с^{-2}] \rightarrow \alpha = 1;\ -3\beta + \gamma = -1;\ \gamma = -2;$ $\rightarrow \alpha = 1;\ \gamma = 2;\ \beta = 1$. Следовательно: $p \sim m_0 n \upsilon^2$.

Идеальный газ в сосуде прямоугольной формы. Газ находится в тепловом равновесии с окружающей средой. **Параметры газа в сосуде: концентрация, объем, температура, давление.**

Микроскопические параметры газа (параметры молекул): импульс, масса, скорость, энергия. В самой простой модели газа его молекулы движутся с одинаковыми скоростями вдоль оси *X* (струя газа).



$$p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x} \rightarrow m_0 \upsilon_x = -m_0 \upsilon_x + \Delta p_{ст}.$$

$$p_{ст} = Z \cdot 2m_0\upsilon_x.\ Z = \frac{nS\upsilon_x \Delta t}{2};\ m_{ст} = \overline{F}\Delta t. \qquad p = \frac{F}{S} = nm_0\upsilon_x^2$$

Экспериментальная проверка с помощью модели давления газа.

Формула давления газа для случая, когда все молекулы газа движутся вдоль оси *X* с разными скоростями: $p = nm_0\overline{\upsilon}_x^2$. Формула давления газа для случая, когда молекулы газа движутся хаотически: $p = \frac{1}{3}nm_0\overline{\upsilon}^2 \rightarrow p = \frac{2}{3}n\overline{E}_к \rightarrow p = \frac{1}{3}\rho\overline{\upsilon}^2$.

Лилипуты, если их много, могут победить и Гулливера!
Не пугайтесь. Это уравнение нам скоро понравится!

Кинетическая теория показала, что давление возникает из усреднённого поведения множества процессов, которые мы неспособны наблюдать непосредственно! По словам Джеймса Клерка Максвелла, наиболее известного и успешного физика XIX века, «правильная теория ставит перед экспериментаторами новые задачи, не препятствуя развитию самой теории».

А насчёт стоячих вибраций это вы здорово придумали. Наукообразно, солидно, никому не понятно, а главное - никто, кроме них, не виноват.

Харитонович

IV. *Задачи:*

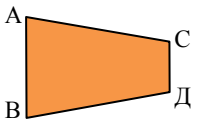
1. С какой силой давит на плечо ручной пулемет при стрельбе, если масса пули 10 г, ее скорость при выстреле 800 м/с и скорострельность пулемета 600 выстрелов в минуту? С какой силой пули будут давить на мишень, если пренебречь сопротивлением воздуха и допустить, что пули: а) упруго отражаются от мишени; б) застревают в ней.
2. Струя воды, движущаяся со скоростью 20 м/с, ударяется о стену перпендикулярно поверхности. Вычислите давление на стену, если вода не отражается от стены.
3. Найти среднюю кинетическую энергию молекулы одноатомного газа при давлении 20 кПа. Концентрация молекул газа при указанном давлении $3 \cdot 10^{25}$ м^3.

Вопросы:

1. Зависит ли давление газа на стенку от ее температуры?
2. Если одна из стенок сосуда липкая (к ней прилипают молекулы), то изменится ли давление газа на эту стенку?
3. Азот и кислород находятся в двух одинаковых контейнерах, и содержать одинаковое число молекул. Какой из газов оказывает большее давление на стенки?
4. Одинаково ли число падающих и отраженных от стенки молекул в любом направлении?
5. Восходящие потоки теплого воздуха некоторые птицы используют для набора высоты и последующего парения. Каким образом им это удается?
6. Птица находится в проволочной клетке, подвешенной к пружинным весам. Изменится ли показание весов, когда сидевшая в клетке птица начнет летать внутри неё?
7. Скорости молекул азота при комнатной температуре порядка 500 м/с. Почему же их удары не вызывают болезненных ощущений?

   Две мухи летают вокруг слона. Одна говорит другой:
   — Нам бы его только повалить, а потом мы его пинками, пинками!
8. Почему на шоссе встречных автомобилей гораздо больше, чем обгоняющих?
9. Объясните, почему давление газа на стенку сосуда, согласно нашей модели, оказалось пропорциональным υ^2, а не υ.
10. Почему не нагревается стенка от ударов молекул?
11. Воздушные потоки от двух вентиляторов произведут большее давление, чем от одного? Так ли это?
12. Радиометр Крукса, также называемый световой мельницей, был изобретен в 1873 г. английским физиком Уильямом Круксом. Он состоит из стеклянной колбы, из которой частично откачан воздух. Внутри на игле установлена четырех лопастная крыльчатка. Каждая лопасть с одной стороны окрашена в черный цвет, а с другой — в белый, или имеет отражающую поверхность. На свету черные стороны лопастей поглощают свет и становятся теплее, чем светлые стороны. Это заставляет лопасти вращаться, потому что черные стороны лопастей стремятся выйти из-под действия света. Почему?
13. Почему шар идеальная фигура?

    - *Саша сказал, что у меня идеальная фигура!*
    - *Оля, он математик, для него идеальная фигура - шар.*



V. § 8. Упр. 1, № 9 –11.

1. Сосуд, имеющий форму усеченного конуса, заполнен сжатым газом. Равны ли силы давления газа на стенки *АВ* и *СД*? Если силы давления не равны, то почему сосуд не приходит в ускоренное движение в сторону большей силы?
2. Используя метод размерностей, получите формулу давления газа.

3. Рассчитайте среднюю силу давления струи газа на площадку, расположенную под некоторым углом к вектору скорости частиц в струе. Найдите вертикальную (подъемная сила) и горизонтальную (сила сопротивления) составляющие средней силы давления. При каком угле, подъемная сила максимальна?
4. Оцените величину тормозного ускорения искусственного спутника Земли, обусловленного сопротивлением атмосферы.
5. Одна из фирм, выпускающих пулеметы, так писала о них в рекламном проспекте: *"Наш пулемет настолько эффективен, что способен держаться в воздухе под действием направленного вниз непрерывного потока выпускаемых пуль"*. Оцените скорострельность этого пулемета.

Усердие все превозмогает.
Козьма Прутков

Урок 8.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

явление → образ → понятие → формула → опыт

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся применять основное уравнение молекулярно - кинетической теории газов для решения конкретных задач.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор, справочник.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:*

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

Задачи:

1. Определить концентрацию молекул водорода, находящегося под давлением $2{,}67\cdot10^4$ Па, если средний квадрат скорости поступательного движения молекул при этих условиях равен $5{,}67\cdot10^6$ м^2/с^2.
2. Космический корабль, имеющий лобовое сечение 50 м^2 и скорость 10 км/с, попадает в облако микрометеоритов, концентрация которого 1 м$^{-3}$. Масса каждого микрометеора 0,02 г. Какой должна быть сила тяги двигателя, чтобы скорость корабля не изменилась? Удар микрометеоритов об обшивку корабля считаете абсолютно неупругим.

Почему слон не может хлопать ушами так же быстро, как колибри взмахивает крыльями?
В околоземном пространстве искусственные спутники земли должны каждые несколько дней включать свои двигатели, чтобы восстановить скорость, потерянную из-за встречного потока весьма разреженного, но все-таки газа.

3. Во время сильного снегопада лыжник, бегущий по полю со скоростью 20 км/ч, заметил, что ему в открытый рот попадает 50 снежинок в минуту. Повернув обратно, он обнаружил, что в рот попадает 30 снежинок в минуту. Оцените дальность видимости в снегопад, если площадь открытого рта спортсмена 24 см², а размер снежинки 1×1 см²?

«Фрэнсис Бэкон, которого можно назвать основоположником современной науки, утверждал, что Бог дал нам Откровение в двух видах. Первое – это Библия, а второе – сам мир, который является книгой Творца. При этом Бэкон полагал, что прочтение книги природы даёт нам ключи к более глубокому пониманию Библии.

III. *Задачи:*

1. Какова толщина покрытия стенки золотом при напылении в течение 1 мин, если атомы золота, обладая энергией 10^{-17} Дж, производят на стенку давление 100 Па. Плотность золота 19300 кг/м^3.
2. К молекулярному пучку, со скоростью молекул υ = 1000 м/с и концентрацией $n = 5{,}0 \cdot 10^{17}$ м$^{-3}$, нормально движется «зеркальная» стенка со скоростью u = 50 м/с. Найти давление, оказываемое на стенку пучком молекул. Масса одной молекулы $m_0 = 3{,}3 \cdot 10^{-26}$ кг.
3. Ведро выставлено на дождь. Изменится ли скорость наполнения ведра водой, если подует ветер? Решить задачу и в ИСО падающих капель.

Вопросы:

1. Атмосферное давление обусловлено весом воздуха. Как же поддерживается нормальное давление в кабине космонавта, если воздух в ней невесом?
2. Одинаково ли давление внутри газа и у стенки сосуда, содержащего газ? Одинакова ли концентрация молекул газа внутри сосуда и у его стенки?
3. В первом случае мяч неподвижен, во втором – скользит по земле со скоростью $\vec{\upsilon}$. В каком случае на мяч в единицу времени попадает дождевых капель больше и во сколько раз, если дождевые капли падают отвесно со скоростью $\vec{\upsilon}$?
4. Вес газа, находящегося в закрытом сосуде, можно определить, отняв от величины веса сосуда с газом вес самого сосуда. Однако молекулы летают по всему объему. Каким же образом их вес влияет на показание весов?
5. Объясните, почему на тело, движущееся в газе или жидкости, действует сила сопротивления.
6. Во сколько раз изменится сила сопротивления при увеличении скорости автомобиля от 50 км/ч до 100 км/ч?
7. Как можно истолковать закон Архимеда с точки зрения молекулярной физики?
8. Ракета равномерно движется сквозь разреженное однородное облако пыли. Во сколько раз нужно увеличить силу тяги, чтобы установившаяся скорость ракеты стала вдвое больше?
9. По изогнутой под прямым углом трубе течет вода. Действует ли вода на трубу? В каком направлении?

IV. Упр. 1, № 12.

1. Оцените среднюю силу, с которой дождевые капли действуют на зонтик во время сильного дождя.
2. В некотором диапазоне значений скоростей сила сопротивления в газе зависит от площади поперечного сечения тела S, плотности газа ρ, и скорости тела υ. Во сколько раз отличаются скорости капель дождя, размеры которых отличаются в n раз?
3. Зависит ли вес песочных часов от того, течет в них песок или нет?

4. Почему обычный воздушный змей устойчиво держится в воздухе лишь при натянутой привязной нити, а при ее обрыве тут же падает?
5. Составьте обобщающую таблицу: "Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов", используя рисунки, чертежи, и текстовый материал.
6. Хаос кажется непредсказуемым лишь на первый взгляд, поскольку в действительности содержит в себе зашифрованные закономерности и подчиняется жестким правилам. Так ли это?

Следовательно, по необходимости должна существовать наибольшая и последняя степень холода, которая должна состоять в полном прекращении вращательного движения частиц.

М. Ломоносов

Урок 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Коллайдер в Церне работал при температуре 14 ТэВ. Как это понимать?

ЦЕЛЬ УРОКА: Установить связь между средней кинетической энергией поступательного движения молекул газа и его температурой. Ввести абсолютную шкалу температур и дать определение температуры.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: сосуд с горячей водой, сосуд с холодной водой, теплоприемник, манометр от прибора для изучения газовых законов, кинофрагмент "Давление газа".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный*:

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов (без вывода).

На камзоле Ломоносова продрались локти. Повстречавший его придворный щеголь ехидно заметил по этому поводу:

- Ученость выглядывает оттуда?

- Нисколько сударь, - немедленно ответил Ломоносов, - глупость заглядывает туда!

Задачи:

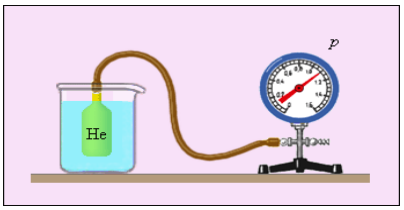
1. Найти среднюю кинетическую энергию молекул одноатомного газа при давлении 20 кПа, если в 2 м^3 этого газа содержится $3\cdot10^{25}$ молекул.
2. Средний квадрат скорости поступательного движения молекул некоторого газа, находящегося под давлением $5\cdot10^4$ Па, равен $2{,}02\cdot10^5$ м^2/с^2. Вычислите плотность этого газа при данных условиях.

Вопросы:

1. Почему реактивные самолеты могут летать с большими скоростями только в верхних слоях атмосферы?
2. Можно ли разогнать парусную лодку, направляя на паруса поток воздуха из мощного вентилятора, находящегося в лодке? Что случится, если дуть мимо паруса?

3. На весах уравновешен закрытый сосуд, на дне которого находится кусок твердой углекислоты. Нарушится ли равновесие весов, когда углекислота испарится?
4. Смешиваются водород и кислород одинаковой массы. Каково отношение оказываемых на стенку давлений?
5. Как можно объяснить с точки зрения молекулярно-кинетической теории, почему лодка плавает в воде (почему на погруженное в жидкость тело действует сила Архимеда)?
6. Два шарика из одного материала падают в облаке пыли. Во сколько раз отличаются друг от друга скорости шариков, если диаметр одного из них вдвое больше диаметра другого?
7. Почему неподвижны все участки оболочки надутого воздушного шарика?

III. Как измерить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа? Возможны ли прямые измерения? Косвенное измерение средней кинетической энергии молекулы (см. задачу):



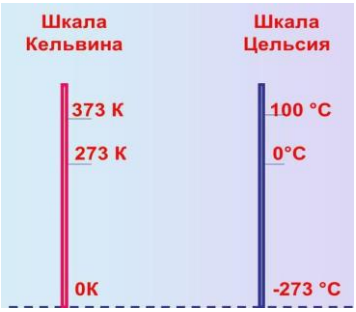
$$\overline{E}_к = \frac{3p \cdot V}{2N}$$

Измерим среднюю кинетическую энергию молекулы газа внутри теплоприемника при комнатной температуре. p_1 - ? (по барометру); t_1 -? (термометр); Объем газа $V = S \cdot h = \pi r^2 h = 2{,}1 \cdot 10^{-4}$ м^3. Число молекул воздуха $N = \frac{m}{M_в} N_A = \frac{\rho V}{M_в} N_A = 5{,}6 \cdot 10^{21} \cdot \overline{E}_{к1} - ?$

Поместим теплоприемник в горячую воду (60 – 70°С) и вновь измерим среднюю кинетическую энергию молекулы. p_2 - ? ; $V_2 = V_1 = 2{,}1 \cdot 10^{-4}$ м^3. $N_2 = N_1 = 5{,}2 \cdot 10^{21}$. $\overline{E}_{к2}$ -? t_2 -? **С увеличением температуры газа увеличивается средняя кинетическая энергия поступательного движения его молекул**!

Проверим, равны ли отношения средних кинетических энергий и отношения температур? Нет! Тогда введем "новую" температуру, которая на 273 градуса больше температуры по шкале Цельсия: $T = t + 273$. В этом случае равенство выполняется с высокой степенью точности: $\frac{\overline{E}_{к2}}{\overline{E}_{к1}} = \frac{T_2}{T_1}$ или $\overline{E}_к \sim T$.

Если ввести коэффициент пропорциональности $\frac{3}{2}k$, то эта зависимость приобретает вид: $\overline{E}_к = \frac{3}{2}kT$. Т - абсолютная температура (всегда положительна). $T \to 0$, $\overline{E}к \to 0$. Т = 0 - абсолютный нуль температуры (самая низкая температура). Эта температура, которую ученым не удается получить пару столетий, и которую никогда не получится достичь. Почему не удается получить данную температуру?



Дополнительный материал: Ученым астрофизической лаборатории в Колорадо удалось охладить атомы рубидия до – 273,15^{0}С, что на 1/170 миллиардную долю градуса выше

абсолютного нуля. Ученым-физикам из Германии удалось получить самую низкую температуру, зарегистрированную за все время существования науки, всего 38 пкК. Максимальный теоретический предел температуры $1{,}416808 \cdot 10^{32}$ К.

Абсолютная шкала температур (шкала Кельвина) и шкала Цельсия. Единица температуры в СИ: Кельвин (К). Похоже, лорд Кельвин хотел, чтобы его имя уж точно никогда не забыли! Постоянная Больцмана измеряется на основе данных эксперимента: **$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.** Современное значение: $k = 1{,}3806504(24) \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа прямо пропорциональна абсолютной температуре. Зная **абсолютную температуру** газа, можно определить **среднюю кинетическую энергию поступательного движения его молекул** и наоборот.

Зачем нужны два параметра, пропорциональные друг другу? Температура и средняя кинетическая энергия молекулы не одно и тоже: разные единицы; при низких температурах эта зависимость оказывается неверной и при $T \to 0$, $\overline{E}_к \neq 0$; отдельная движущаяся молекула обладает $E_к$ и $\overline{E}_к$, но об ее температуре ничего сказать нельзя. **Температура – свойство макроскопического тела (равновесной термодинамической системы)!**

В макроскопическом теле существует тепловое движение молекул, основная характеристика которого $\overline{E}_к$. Прикасаясь к нему, мы испытываем определенные ощущения (температура). Формула $\overline{E}_к = \frac{3}{2}kT$ - мост, связывающий тепловое движение с ощущением тепла, как высота звука с частотой звуковой волны, или ощущение цвета с частотой световой волны.

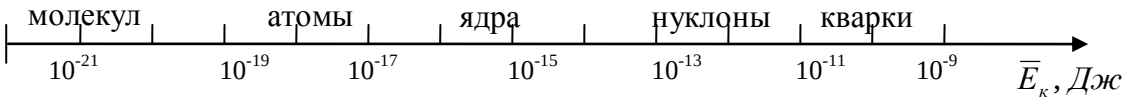
Дополнительная информация. Попадающий с пищей внутрь организма ментол производит охлаждающее действие. Это вызвано тем, что ментол активирует тот же терморецептор TRPM8, который срабатывает и на холодную температуру. В температурном чувстве есть рецепторы, настроенные на разные температурные интервалы. На очень высокую температуру, под 40°С и выше, реагирует TRPV1; для интервала от 33 до 38°С есть TRPM2; когда температура падает ниже 26°С, включается TRPM8. Этот последний можно назвать рецептором прохлады, но не холода – на температурах ниже 10°С он работает плохо (на холод реагирует другой рецептор). Терморецептор TRPV1 включается также от воздействия алкалоида капсаицина, придающего жгущий вкус перцу.

Температура (Т) - свойство равновесной термодинамической системы иметь одинаковую среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы в каждой ее области, прямо пропорциональное этой энергии, измеряемое термометром в Кельвинах.

- В момент рождения наша Вселенная имела температуру около 10^{32} К;
- На Большом Адронном коллайдере в 2012 году получили температуру $5 \cdot 10^{12}$ К;
- 10^{11} К - такова температура внутри новорожденной нейтронной звезды;
- WR 102 в созвездии Стрельца, раскалена до 210000 К;
- Температура внутри огненного шара ядерного взрыва составляет около 20000 К;
- 1 эВ - такая энергия соответствует температуре около десяти тысяч градусов.

Лорд Кельвин, возможно, самый выдающийся физик Викторианской эпохи (он похоронен в Вестминстерском аббатстве рядом с Исааком Ньютоном), уверенно заявлял, что самолеты, никогда не взлетят, у радио нет будущего, рентгеновские лучи считал обманом.

Зависимость структуры вещества от температуры. С ростом температуры газа (при неиз-



менном давлении) атомы газа ионизуются, и он переходит сначала частично, а затем полностью в ионизованное состояние – плазму, которую принято считать четвёртым агрегатным состоянием вещества. При воздействии на плазму высоких давлений она переходит в состояние вырожденной плазмы, затем нейтронной жидкости.

Дополнительный материал: Есть ли предел высоких температур? Самая высокая возможная температура $T_П$ = 1,41679 (11) · 10^{32} К. Более высокая температура не может существовать, так как придание системе дополнительной энергии приводит к рождению новых частиц, но не увеличивает их скорости!

Рассмотрите все субстанции. Сможете ли вы отыскать среди них такие, которые сохраняют свою индивидуальность. Разве все они не распадаются рано или поздно на составные части и не рассеиваются?

Учение Будды

Дополнительный материал. Самая высокая температура, которую создал человек, составила 4 миллиарда градусов Цельсия. Трудно поверить, что температура вещества может достичь такого невероятного уровня! Невероятный рекорд был поставлен в Естественной Лаборатории Брукхэвена в Нью-Йорке в ионном коллайдере RHIC. Ученые заставили столкнуться ионы золота, пытаясь воспроизвести условия Большого взрыва, создав кварк-глюонную плазму. В таком состоянии частицы, которые составляют ядра атомов – протоны и нейтроны, разбиваются, в результате чего получается "суп" из кварков.

Дополнительный материал. В градусах измеряют углы и температуру, плотность жидкости и качество молока и (да, мы не забыли) долю спирта. При этом размер градуса можно всякий раз устанавливать по-разному, и ничего не изменится. Кому и зачем могла понадобиться такая единица измерения? Со школы все мы знаем, что в окружности содержится ровно 360 градусов. Но почему именно 360? Если у вас есть инженерный калькулятор, то, переключаясь между градусами (DEG) и радианами (RAD), вы, возможно, попадали в режим GRAD — это исчисление в градах (или гонах). Один град — это одна сотая часть прямого угла, а значит, полный угол равен 400 град. Сейчас их практически нигде не используют, но свой след в истории они оставили — именно благодаря градам стоградусная температурная шкала получила название шкалы Цельсия. В 1741 году Андерс Цельсий наносит на термометр Делиля свою шкалу — 0 градусов в точке кипения и 100 градусов в точке замерзания воды. Уильям Томсон в 1848 году создал свою шкалу - нулевая точка его шкалы соответствует абсолютному нулю, а цена деления равна градусу Цельсия. Новую шкалу назвали в честь Томсона (ставшего лордом Кельвином), а градус Цельсия в ней превратился в Кельвин. Чтобы подчеркнуть, что речь идет об абсолютной температуре, Кельвин не называют градусом. Выбирая оттенок света лампочки, мы обращаем внимание на цветовую температуру (например, 2800 К), она измеряется в Кельвинах. Отношение объема этилового спирта к общему объему алкогольного напитка, выраженное в процентах, а точнее - объемные проценты, тоже называются градусами.

IV. *Задачи:*

1. При какой температуре средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа будет в два раза больше, чем при температуре – 73^0С?

Вопросы:

1. Каков физический смысл абсолютного нуля температуры?

2. К каким физическим объектам применимо понятие "температура"?
3. Изменится ли средняя кинетическая энергия молекулы и температура идеального газа при его расширении в пустоту (изменится ли средний рост ученика вашего класса, если вы разойдетесь по всей школе)?
4. Нормальная температура человеческого тела около 37^0С. Отчего же нам холодно при температуре воздуха 20^0С и очень жарко при 37^0С?
5. Кубик из железа имеет температуру 10^0С. Какую температуру имеет другой кубик из железа, если он горячее в два раза?
6. В сосуде с газом относительно некоторой системы отсчета кинетическая энергия молекул газа больше, чем в случае, когда сосуд неподвижен. Почему же температуры газа одинаковы?
7. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул в верхних слоях атмосферы соответствует температуре порядка 1000 К, однако термометр в этих слоях показывает очень низкую температуру. Как объяснить этот факт?
8. Куда девался импульс астероида, который в эпоху динозавров достиг поверхности Земли, и это привело к их гибели?
9. По мере охлаждения льда молекулы будут вибрировать все слабее и слабее, пока при температуре -273,15^{0}С не застынут полностью. Почему это происходит?
10. Почему «холодные атомы» из-за их небольшой энергии становятся очень чувствительными к колебаниям в окружающей среде?
11. Регистрируют ли удары отдельных молекул рецепторы тепла и холода в нашем организме?
12. Почему в медицинских градусниках до сих пор используют ртуть, а не другую жидкость?
13. Температура является решающим селектором в химии и задает границы, в которых возможны химические структуры. Так ли это?
14. Существуют ли в природе сколь угодно низкие и сколь угодно высокие температуры?

V. § 9-11. Упр. 2, № 1, 2.

1. Подготовьте пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности М.В. Ломоносова.
2. С помощью циркуля и штангенциркуля найдите на различных участках кожи наименьшее расстояние, при котором две заостренные ножки циркуля с температурой кожи ощущаются раздельно (тактильная чувствительность).

Счастье даётся только знающим.

К.Г. Паустовский

Урок 10.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Истинный мир невидим, совсем не слышим, неосязаем, без вкуса и запаха.

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся решать задачи на применение основных законов молекулярно-кинетической теории газов.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Каким образом измеряют среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы газа? 2. Какова связь между средней кинетической энергией молекулы идеального газа и его абсолютной температурой?

Реакция на пустой ответ у доски: «Ты, братец, как огурец на 99% состоишь из воды»! Если у человека нет мечты или цели в жизни, то он всего лишь вертикальная лужа! При достаточном давлении от него остается «мокрое место».

Шутить надо для того, чтобы совершать серьезные дела.
Аристотель

Задача: На складе есть 100 кг огурцов, содержащих 99% воды. Через месяц содержание воды упало до 98%. Какой стала масса огурцов?

Реакция на плохой ответ у доски: *"Сон разума рождает чудовищ"!*

Вопросы:

1. Какие известные вам свойства объектов изменяются с температурой?
2. Что первично – тепловое движение молекул или температура?
3. Влияет ли температура, на скорость протекания физических процессов?
4. При повышении температуры реактивов повышается скорость химической реакции. Почему?
5. Почему в смеси газов их средние кинетические энергии поступательного движения молекул одинаковы?
6. Что происходить, когда мы охлаждаем в холодильнике воду?
7. Что такое абсолютный нуль температуры?
8. Что вы можете рассказать о термометре?
9. Почему невозможно охладить что-либо ниже -273,15^{0}С (абсолютного нуля)?
10. Как зависит средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул от их массы?
11. От чего вы замерзаете на холоде?
12. Есть ли "границы применимости" понятия "температура"?
13. Почему на Земле пламя свечи горит вверх желтым цветом, в космосе, в отсутствии гравитации она горит синим цветом и в разные стороны, образуя сферу.

Задачи:

1. В баллоне находится аргон массой 5 кг при температуре 300 К. Чему равна полная кинетическая энергия всех его молекул?
2. Оценить среднюю энергию и среднеквадратическую скорость частичек тумана диаметром 10^{-3} см, находящегося в воздухе с температурой 0^{0}С.

III. *Задачи:*

1. Каково среднее значение скорости свободных электронов, находящихся в тепловом равновесии с газом при температуре 20^0С? Масса электрона равна $9{,}1\cdot10^{-31}$ кг.
2. Атомная бомба взрывается в подземной полости диаметром 200 м. Каким будет давление в полости, если при взрыве бомбы выделяется $4\cdot10^{15}$ Дж? Полость прорывается наружу, если давление в ней окажется выше давления окружающей породы. Если плотность породы 3000 кг/м^3, то на какой глубине должна находиться эта полость?

IV. Повторить §§ 10-11. Упр. 2, № 1-2.

1. Составить обобщающую таблицу "Температура", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

И все-таки они движутся!

Л. Больцман

Урок 11. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ МОЛЕКУЛ ГАЗА

Отчего угарный газ (СО) быстрее проникает в организм, чем кислород?

ЦЕЛЬ УРОКА: Получить первую формулу-следствие для расчета средней квадратичной скорости молекул и научить учеников вычислять число молекул газа, движущихся вдоль определенного направления.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Молекулы и молекулярное движение", кинофрагмент "Опыт Штерна", диск вращающийся с принадлежностями.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* Связь между средней кинетической энергией молекул одноатомного газа и абсолютной температурой.

Задачи:

1. Найти средний квадрат скорости атомов серебра при температуре 900°С.
2. При взрыве атомной бомбы образуется газовый шар, температуру которого можно считать равной 20 миллионам градусов. Какова средняя кинетическая энергия частиц в этом шаре?

Вопросы:

1. Абсолютную температуру газа, находящегося в открытом сосуде, увеличили на 25%. Как при этом изменились: *а*) давление? *б*) концентрация молекул газа? *в*) средняя кинетическая энергия молекулы? *г*) суммарная кинетическая энергия всех молекул?

2. В герметично закрытом сосуде находится смесь из двух молей водорода и четырех молей кислорода. Между газами происходит реакция с образованием водяного пара, после чего продукты реакции охлаждаются до прежней температуры и водяной пар не конденсируется. Во сколько раз при этом изменяется давление смеси?
3. Почему искры от бенгальского огня не обжигают руки?
4. Почему человек так чувствителен к изменению температуры своего тела?
5. Какие самые высокие (низкие) температуры наблюдались в природе?
6. Как измеряют температуру в плавильных печах?

III. Как мы изучаем молекулярно-кинетическую теорию газов (повторение по плану изучения физической теории)? Наблюдения и эксперименты → основные понятия → модель → основные законы → следствия → экспериментальная проверка → ... **Первое следствие** – формула для средней квадратичной скорости молекул газа: $\bar{\upsilon} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$. $\bar{\upsilon}_x^2 = \bar{\upsilon}_y^2 = \bar{\upsilon}_z^2 = \frac{1}{3}\bar{\upsilon}^2 = \frac{RT}{M_B}$. $\bar{\upsilon}_x = \sqrt{\frac{RT}{M_B}}$.

Даже если движущиеся вокруг молекулы воздуха не видны, с помощью законов физики мы легко смогли вычислить их среднюю скорость!

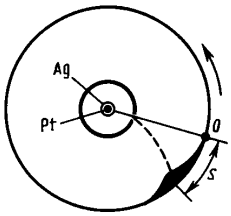
ЧИСЛО МОЛЕКУЛ, ДВИЖУЩИХСЯ В ОПРЕДЕЛЕННОМ НАПРАВЛЕНИИ.

N = $\frac{1}{6}$n S·$\bar{\upsilon}_{кв}$t → N ≈0,3n ·S·$\bar{\upsilon}_x$t (в определенном направлении движется 1/6 всех молекул).

N = $\frac{1}{2}$n·S·$\bar{\upsilon}_x$t → N = 0,5·n·S·$\bar{\upsilon}_x$t (в определенном направлении распространяется ½ всех молекул, движущихся вдоль данной оси координат).

N = $\frac{1}{4}\sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot M_B}}$ ·n·S t = $\frac{1}{4{,}34}$n·S·$\bar{\upsilon}_{кв}$·t → N ≈ 0,4·n·S·$\bar{\upsilon}_x$t (точный расчет).

При расчетах можно пользоваться любой из формул, но свой выбор надо обосновать! **При решении задач в классе мы будем использовать самую первую формулу: N =** $\frac{1}{6}$**·n·S·**$\bar{\upsilon}_{кв}$**t.**



Каково средняя квадратичная скорость атомов серебра при температуре 900^0C? Как ее можно измерить? Идея эксперимента. Экспериментальная установка Штерна для измерения средней квадратичной скорости атомов серебра. Формула: $\bar{\upsilon} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot R(R-r)}{S}$.

Вопрос: Изменится ли точность измерений в опыте Штерна, если увеличить скорость вращения цилиндров?

Искусство экспериментатора состоит в том, чтобы уметь задавать природе вопросы и понимать её ответы.
М. Фарадей

Совпадение экспериментальных и теоретических значений средней квадратичной скорости молекул. Почему же запахи распространяются в воздухе столь медленно? Демонстрация кинофрагмента.

Дополнительная информация. В конце позапрошлого века Л. Больцману приходилось столь часто отражать постоянные нападки со стороны многих противников молекулярно-кинетической теории, что одну из своих статей он заключил, перефразируя Галилея, словами, *"и все-таки они движутся!",* имея в виду, конечно, молекулы.

Движение — есть причина всякой жизни.
Леонардо да Винчи.

Я вполне сознаю, что являюсь лишь одиночкой, слабо сопротивляющейся течению времени. Но мне все же по силам внести такой вклад, что, когда теория газов подвергнется пересмотру, в ней не слишком много придется открывать заново.
Л. Больцман

IV. *Задачи:*

1. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота у поверхности Земли была бы равна второй космической скорости?
2. Найти концентрацию молекул идеального газа, если при температуре 300 К плотность газа равна 1,2 кг/м^3, а средняя квадратичная скорость его молекул 500 м/с.
3. Пробирка массой m содержит моль идеального газа с молярной массой M_B при температуре T. Пробирку открывают, вынимая из нее пробку пренебрежимо малой массы. Оцените скорость пробирки после того, как весь газ выйдет из нее наружу. Считать, что дело происходит в вакууме.
4. Сосуд разделен на две части перегородкой с краном. В одной части сосуда находится смесь, состоящая из одного моля водорода и одного моля азота, в другой части сосуда вакуум. Она наполняется малым количеством газовой смеси после открытия крана на короткое время. Определить отношение концентраций водорода и азота в обеих частях сосуда.

Вопросы:

1. Почему замедляется испарение нити накала лампочки накаливания при заполнении ее баллона инертным газом?
2. Объясните, почему поместив пищу в холодильник, мы замедляем ее порчу?
3. Почему слой воздуха, прилегающего к корпусу космического корабля, летящего в атмосфере Земли, сильно разогревается?
4. В некоторых северных странах пространство между стеклами в оконных стеклопакетах заполняется не воздухом, а тяжелым инертным газом (криптоном). Зачем это делают?
5. В баллоне, который лежит на тележке, имеется дырочка, через которую газ вырывается струей, параллельной рельсам. За счет чего движется тележка?
6. Чему равно отношение средних квадратичных скоростей молекул водорода и молекул кислорода при одной и той же температуре?

7. Во сколько раз отличаются среднеквадратические скорости двух частичек, совершающих броуновское движение в капле воды, если их массы различаются в 9 раз?
8. Почему давление газа в сосуде увеличивается в 2 раза при увеличении средней кинетической энергии его молекул также в 2 раза?
9. Почему чем меньше плотность идеального газа, тем больше скорость его истечения через микроскопические отверстия в стенках сосуда?
10. Скорость, с которой частички воздуха бьют ваше тело каждую секунду, равна скорости звука в воздухе. Почему это должно быть так?
11. Можно ли объяснить уменьшение атмосферного давления с высотой хаотическим движением молекул воздуха?
12. На высоте 100 км давление в миллион раз меньше, чем на уровне океана. По химическому составу атмосфера на этой высоте на 98% состоит из водорода. Почему?
13. Почему водород обладает самой высокой теплопроводностью среди газообразных веществ? Молекула водорода двухатомна — H_2. При нормальных условиях это газ без цвета, запаха и вкуса, удельная теплота сгорания $120{,}9\cdot10^6$ Дж/кг.

Дополнительный материал: Распределение молекул газа по скоростям. В 1859 г. Джеймс Клерк Максвелл (1831 - 1879) получил формулу для наиболее вероятного распределения скоростей молекул газа, состоящего из N молекул: $f(\upsilon)=4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2}\upsilon^2 e\left(-\frac{m\upsilon^2}{2kT}\right)$.

Пользуясь этой функцией легко определить число молекул, скорости которых лежат в интервале от υ до $\upsilon + d\upsilon$, $dN = Nf(\upsilon)d\upsilon$, а также в интервале от υ_1 до υ_2.

Вероятная скорость находится из условия: $\frac{df(\upsilon)}{d\upsilon}=0$.

V. § 12. Упр. 2, № 5-6.

1. Хаос - это тоже порядок, но более сложный, потому что мы не всегда можем уловить закономерности. Так ли это?
2. Материальны ли следующие объекты: 1. Молекула; 2. Время; 3. Пространство; 4. Материальная точка; 5. Электрическое поле.
3. Проведите и опишите эксперимент по измерению максимальной скорости распространения молекул пахучих веществ в воздухе. Попытайтесь оценить значение средней скорости теоретически.
4. Запахи по ощущению делятся на эфирные запахи, цветочные, мускусные, камфорные, мятные, едкие и гнилостные. Кроме того, есть градация запахов по интенсивности. Даже приятный запах с интенсивностью более 4 балла может вызвать головную боль. Основываясь на этих данных, предложите свою теорию обоняния.
5. Почему насекомые (комары, мухи, осы, пчелы) летают не прямо, а зигзагами или кругами? Ведь это энергетически неэффективно?
6. Как отделить молотый перец от соли в смеси, не прикасаясь ни к тому, ни к другому?
7. *"Это был удивительный сыр, острый и со слезой, а его аромат мощностью в двести лошадиных сил действовал в радиусе трех миль и валил человека с ног на расстоянии двухсот ярдов". Трое в лодке, не считая, собаки.*

Какова дрейфовая (средняя) скорость молекул? Какая минимальная концентрация молекул сыра необходима для того, чтобы ощущать его запах? Какая минимальная сила необходима для того, чтобы повалить человека?

7. Когда днём солнце нагревает верхние слои грунта, газы, которые находятся в толще, на глубине, направляются в сторону повышенной температуры, выходят на поверхность и

рассеиваются ветром. Ночью же, когда верхний слой почвы охлаждается, наблюдается обратный процесс, то есть воздух перемещается вглубь, где теплее (эффект Кнудсена). Он играет очень важную роль в так называемом "дыхании почвы". Почему такое происходит?

Высшей истинностью обладает то, что является причиной следствий, в свою очередь, истинных.

Аристотель

Цель ...заключается в отыскании законов, благодаря которым отдельные процессы в природе могут быть сведены к общим правилам и могут быть снова выведены из этих правил.

Г. Гельмгольц

Урок 12. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Каждый день мы пропускаем через легкие до 40 килограммов воздуха!

ЦЕЛЬ УРОКА: Получить следствия из основных законов, которые можно применить к разреженным газам.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор для изучения газовых законов, сосуд с горячей водой, термометр демонстрационный.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Скорости движения молекул газа. 2. Опыт Штерна.

Задачи:

1. Какая масса воздуха проходит в 1 с через мысленно выделенную в воздухе площадку 1 м^2 в одном направлении при нормальных условиях? Концентрация молекул воздуха при данных условиях $n = 2{,}7 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.
2. Из баллона, в котором находятся сильно разряженные пары калия, через узкую горизонтальную трубку выходит пучок атомов. Определить температуру паров, если на горизонтальном пути длиной 50 см среднее смещение атомов по вертикали составляет 3,2 мкм.
3. Два одинаковых сосуда, содержащих одно и то же число молекул азота, соединены краном. В первом сосуде средняя квадратичная скорость молекул равна 400 м/с, а во втором – 500 м/с. Какая установится скорость, если открыть кран, соединяющий сосуды?
4. Средняя квадратическая скорость молекул водорода в сосуде при давлении 200 Па равна $3 \cdot 10^3$ м/с. Определите концентрацию молекул водорода в сосуде. $2 \cdot 10^{22}$ м$^{-3}$
5. Молекулы циана (CN) выделяются с поверхности кометного ядра при температуре 200^{0}С под действием солнечных лучей. Покинут ли они ядро кометы, если оно представляет собой глыбу диаметром D = 100 м, имеющую плотность $\rho = 2{,}7$ г/см^3?
6. Источник атомов серебра создает узкий пучок, который попадает на внутреннюю поверхность неподвижного цилиндра радиуса 30 см и образует на ней пятно. Устройство

начинает вращаться с угловой скоростью 100·π рад/с. Определить скорость атомов серебра, если пятно отклонилось на угол 0,314 рад от первоначального положения.

Вопросы:

1. Почему водород рассеивается в воздухе почти в четыре раза быстрее природного газа?
2. Покажите, что в смеси двух газов, находящихся при одинаковой температуре, отношение их среднеквадратичных скоростей равно обратному отношению квадратных корней их молярных масс.
3. Почему увеличивается срок службы лампы накаливания, если ее заполняют инертным газом с большей молярной массой?
4. Как изменится скорость истечения газа из баллона через небольшое отверстие, если температуру газа увеличить в четыре раза, а давление – в 8 раз?
5. Почему воздушные шарики, наполненные гелием, теряют объём уже через короткое время, в отличие от наполненных воздухом?
6. На воздух действует сила тяжести со стороны Земли. Одинаковое ли давление оказывает воздух на пол и потолок комнаты? Демонстрация с гофрированным сосудом и манометром.
7. Как изменится скорость падения капли дождя при увеличении температуры воздуха?
8. Почему самолет с пропеллером не может разогнаться до скорости более 800 км/ч?
9. Облака водорода в «спокойных» галактиках со временем становятся устойчивыми: их внутреннее давление компенсирует силу сжатия. Как это понимать?
10. При езде на автомобиле в лобовое стекло попадает больше дождевых капель, чем в заднее окно. Почему?
11. Почему перемещение молекул всегда происходит из областей с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией, а если есть разница температур – то из более горячей области в холодную.
12. Идеальный газ в герметичном сосуде нагрели, и его давление возросло на 70%. На сколько процентов увеличилась средняя квадратичная скорость молекул газа?
13. Почему мы не можем ни видеть, ни слышать, ни чувствовать отдельных атомов?
14. Почему продувание электрических генераторов водородом охлаждает их сильнее, чем продувание воздухом?
15. Стенки сосуда, заполненного газом с температурой T, быстро нагрели (охладили) до температуры T_1. Что произошло с давлением газа?

16. Смесь раскаленных газов, молекулы которых с огромными скоростями бомбардируют переднюю часть ракеты, сдвигают ее с места и отправляют в полет. Как это понимать?
17. Почему угарный газ быстрее проникает в организм, чем кислород? Во сколько раз скорость его проникновения больше, чем скорость проникновения кислорода?

III. Основные законы молекулярно-кинетической теории газов → константы → формулы → следствия.

1. $$p = nkT$$

2. Закон Авогадро. В равных объемах газов при одинаковых давлениях и температурах, содержится одинаковое число молекул. В частности, при нормальных условиях моли газов занимают одинаковый объем, равный 22,4 л/моль.

... из законов Ньютона следует, что в равных объемах любых газов при одинаковой температуре и давлении, содержится равное число молекул. Вот какой неожиданный вывод!

Р. Фейнман

Если в 1 л водорода содержится столько же молекул, что и в 1 л кислорода, то отношение плотностей этих газов равно отношению масс молекул.

3. Закон Дальтона: $p = p_1 + p_2 + \ldots + p_N$.

Историческая справка. С 21 года и до самой смерти Дальтон вел подробный дневник, в котором скрупулезно описывал погоду. Он был настолько увлечен записями, что даже фиксировал каждый удар и промах, когда играл в боулинг. Дальтон предположил, что каждому химическому элементу соответствует уникальный для него атом, и что именно смешение и объединение в различных пропорциях этих атомов приводит к образованию наблюдаемых в природе химических веществ.

Поскольку нет приборов для измерения концентрации газов, выразим ее через измеряемые величины: $nk = k\dfrac{N}{V} = kN_A\dfrac{m}{M_B V} = \dfrac{mR}{M_B V}$.

$p \cdot V = \dfrac{m}{M_B}RT \rightarrow p \cdot V = \nu \cdot RT$ **- уравнение Менделеева – Клапейрона:** $\rightarrow \rho = \dfrac{pM_B}{RT}$

Эти пять букв описывают любой газ (закон применим ко всем газам в равной степени). Большинство обычных газов при температуре окружающей среды почти идеальные и для них произведение P·V равно постоянной величине.

4. Уравнение, связывающее давление *p*, объем *V* и температуру *T* физически однородной системы в состоянии теплового равновесия называют уравнением состояния.

5. Другая форма записи уравнения состояния идеального газа. Переведем газ из состояния с параметрами p_1, V_1, T_1 в состояние с параметрами p_2, V_2, T_2:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \quad \rightarrow \quad \frac{p \cdot V}{T} = пост.$$

$$m = пост.$$

6. $M_{CP} = \frac{m}{\nu} = \frac{m_1 + m_2 + \cdots}{\nu_1 + \nu_2 + \cdots} = M_1 n_1 + M_2 n_2 + \cdots$ n - Массовая (объемная) доля газа в смеси.

При некоторых значениях температуры и давления 1 моль азота занимает объем 20 л. Какой объем при этих же условиях займет 1 моль водорода?

Для данной массы газа произведение давления на объем, деленное на его абсолютную температуру – величина постоянная (Э. Клапейрон, 1834 г**).**

Экспериментальная проверка уравнения состояния идеального газа и одновременно графическое изображение процесса.

Уравнение состояния идеального газа (закон) является прямым следствием того, что материя состоит из атомов, практически не взаимодействующих друг с другом. Если уменьшать объем, в котором заключено данное количество газа (медленно, чтобы температура не менялась), давление в объеме увеличивается (подобное можно наблюдать в действии велосипедного насоса). Если в фиксированный объем с газом добавить больше газа (увеличивая массу газа), давление увеличивается (впрыскивая воздух в уже надутую шину). Если в заданном объеме при неизменном количестве газа увеличить его температуру, давление в объеме возрастет (цилиндр двигателя внутреннего сгорания).

IV. *Задачи:*

1. Каково давление сжатого воздуха, находящегося в баллоне емкостью 20 л при 12^0С, если масса этого воздуха 2 кг?
2. Литровая бутылка наполовину заполнена водой и закрыта. Температура окружающей среды t = 27^0С. Какое давление стало бы в бутылке, если бы силы взаимодействия между молекулами воды исчезли, а температура осталась прежней? Ответ: 69 МПа.
3. До какой температуры нужно нагреть запаянный шар, содержащий 9 г воды, чтобы шар разорвался, если известно, что стенки шара выдерживают давление не более 40 атм, а объем шара 1,2 л?
4. Альпинист при каждом вдохе поглощает 5 г воздуха. Какой объем воздуха должен вдыхать альпинист в горах, где давление воздуха составляет $8 \cdot 10^4$ Па при температуре -15^0С? Сколько молекул он вдыхает за один раз? Какова их концентрация? Почему дышать тяжелее, когда жарко?
5. Определить химическую формулу молекулы некоторого соединения углерода с кислородом, если 1 г этого вещества в газообразном состоянии создает в сосуде объемом 1 л давление $0{,}56 \cdot 10^5$ Па при температуре 27°С.
6. Определите концентрацию молекул воздуха в классе. Оцените среднее расстояние между молекулами воздуха. Во сколько раз это расстояние больше диаметра молекулы азота ($d_0 = 3{,}8 \cdot 10^{-10}$ м)?

Если одну молекулу воздуха изобразить в тетради кружком диаметром 0,5 см, то на каком среднем расстоянии будет находиться другая молекула?

Решение: Возьмем 1 $м^3$ и заморозим молекулы на среднем расстоянии. Если N – число молекул вдоль одного ребра, то $n = N^3/1\ м^3 \rightarrow d = 1\ м/N = 1/n^{1/3}$.

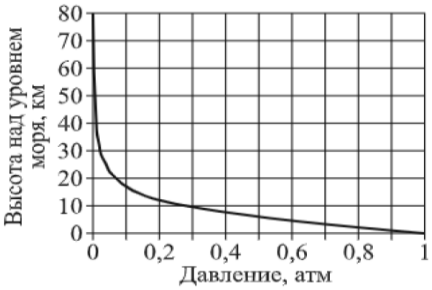
Вопросы:

1. Какой воздух тяжелее - сухой или влажный?
2. Почему облака не падают на землю?

3. Какой газ тяжелее азота, но легче кислорода?
4. Почему атмосферное давление на экваторе всегда меньше, чем в приполярных областях?
5. Почему мячик, наполненный воздухом, отскакивает при ударе о пол?
6. Объем газа уменьшился в 2 раза, а его температура увеличилась в 1,5 раза. Как изменилось давление газа?
7. Взрыв пробирки с нитроглицерином легко объяснить, если взглянуть на уравнение реакции: $4C_3H_5O_9N_3$ (жидкость) → $6N_2$ (газ) + $10H_2O$ (газ) + 12CO (газ) + $7O_2$ (газ). А как вы объясните?

Нитроглицерин взрывается в тысячи раз быстрее, чем срабатывает воздушная подушка безопасности, именно поэтому скорость реакции делает взрывчатые вещества такими смертельно опасными. Нитроглицерин можно представить как «жидкий газ».

8. Почему перед дождем атмосферное давление немного уменьшается? Если искусственно увлажнять воздух в одной области, то возникнет ветер, энергию которого можно использовать.
9. Давление и температура внутри гелиевого шарика почти такие же, как и воздуха снаружи. Почему тогда шарик взлетает?
10. Почему горячий душ притягивает занавеску?
11. Сколько термодинамических параметров задают состояние конкретного идеального газа определенной массы?
12. Почему водород при равном весе занимает больше места, чем другие газы?
13. Почему воздушный шар с закрытым выпускным клапаном, поднявшись на большую высоту, может лопнуть?
14. Сколько молекул воздуха при нормальных условиях находится в пустой бутылке?
15. Как, зная плотность вещества и его молярную массу, определить среднее расстояние между его молекулами?
16. Почему в холодную сырую погоду сила, действующая на парус яхты больше, при равных скоростях ветра?
17. Химические реакции протекают быстрее как при нагревании, так и при повышении давления. Почему?



Дополнительный материал: Распределение Больцмана. Атмосферное давление на высоте *h* обусловлено весом вышележащих слоев газа. Поэтому при подъеме на высоту *dh*, давление газа убывает на *dP* = -*ρgdh*. Поскольку $\rho = \frac{PM_B}{RT}$, $dp = -\frac{\rho M_B}{RT} gdh$, а $\frac{dp}{p} = -\frac{M_B g}{RT} gdh \rightarrow p = p_0 e^{-\frac{M_B gh}{RT}}$ - барометрическая формула. Эту формулу можно преобразовать формулу к виду: $n = n_0 e^{-\frac{m_0 gh}{kT}}$. Из формулы следует, что если $\frac{n_0}{n}$ = пост, то $m_0 h$ = пост. Это значит, чти если масса молекул газа больше, то высота, на которой концентрация молекул газа убывает, например, вдвое, будет в два раза меньше.

Вопросы: Почему на больших высотах в атмосфере Земли доминируют такие газы, как неон, метан, гелий и водород? Почему барометрическая формула неприменима к жидкости?

Дополнительный материал: Атмосферу Земли разделили на четыре слоя, располагающиеся один над другим. Нижний слой, в котором мы живем, тропосфера, поднимается от поверхности Земли примерно на 15 км (в зависимости от широты и сезона). Именно здесь происходят все погодные явления. Выше, на высоте до 45 км, располагается стратосфера, содержащая озон. Дальше следует мезосфера, в которой сгорают метеориты; она простирается на высоту до 75 км. И, наконец, следует легчайшая термосфера, где рождается северное сияние. Протяженность этого слоя достигает 800 км.

V. § 13. Упр. 3, № 5-7.

1. *Если бы на поверхности земного шара царствовала очень высокая температура, какая, без сомнения, существует внутри него, то все воды океанов были бы в виде пара в атмосфере, и не имелось бы ни одной капли в жидком состоянии.*

   С. Карно

   Каким было бы в этом случае атмосферное давление на поверхности Земли?
2. Две полусферы соединены в сферу, из которой частично откачан воздух. Насколько необходимо нагреть газ в сфере, чтобы она развалилась.
3. В летнюю жару в комнате включили кондиционер так, что в ней стало прохладно. Оцените, на сколько процентов изменилась масса воздуха в комнате.
4. Каково максимальное давление в футбольном мяче при ударе?
5. Правда ли, что выдыхаемый нами воздух тяжелее вдыхаемого воздуха?
6. Подопытный кролик дышит газовой смесью, состоящей на 1/3 из молекул кислорода и на 2/3 - из молекул гелия. Найти плотность этой смеси при температуре 50°С и давлении 1,2 атм.
7. Открытую трехлитровую банку опустили с девятого этажа на первый. Оцените, на сколько изменилась масса воздуха в банке.
8. Известный физик решил посмотреть по телевизору футбольный матч, а другой известный физик проделал в кинескопе дырочку диаметром 1 мкм. Успеет ли первый физик посмотреть футбольный матч?
9. Иногда сравнивают молекулы в идеальном газе со звездами в Галактике. Корректно ли такое сравнение?

Теория порождала измерения, и измерения подтверждали теорию.

Э. Роджерс

Усердие все превозмогает.

Козьма Прутков

Урок 13.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Как изменится высота полёта воздушного шарика, ели он окажется в тени?

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников применять следствия молекулярно-кинетической теории газов для решения задач.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Уравнение Менделеева - Клапейрона.

2. Следствия молекулярно-кинетической теории газов.

Задачи:

1. Какова плотность гелия при температуре 127^0С и давлении 0,83 МПа?
2. В баллоне объемом 100 л при температуре 27^0С находится азот. Вследствие неисправности вентиля часть газа вытекла, и его давление при постоянной температуре понизилось на $5 \cdot 10^4$ Па. Какова масса вытекшего из баллона азота?
3. Тонкий резиновый шар радиусом 20 см заполнен воздухом при 20^0С и давлении 100 кПа. Каким будет радиус шара, если его опустить в воду с температурой 4^0С на глубину 20 м?
4. На складе был обнаружен старый баллон с неизвестным газом. Используя манометр, термометр, барометр и пикнометр (прибор для измерения плотности газа), было измерено, что при температуре 17^0С газ плотностью 1,78 кг/м^3 создает давление 107 кПа. Какой газ находится в баллоне? 0,04
5. Атмосферное давление на пике Ленина (высота 7134 м над уровнем моря) $p_1 = 3{,}8 \cdot 10^4$ Па. Определить плотность воздуха ρ_1 на вершине при температуре $t_1 = -10$°С, если при нормальных условиях ($t_0 = 0$°С, $p_0 = 10^5$ Па) плотность воздуха $\rho_0 = 1{,}29$ кг/м^3. 0,51 кг/м^3
6. По трубе подают метан (CH_4) со скоростью 1,1 м/с. Давление газа в 20 раз превышает давление атмосферы. Площадь внутреннего поперечного сечения трубы 6 см^2. Температура газа 17°С. Какая масса газа протечёт через поперечное сечение трубы за 1 ч?
7. Объем идеального газа изменяется пропорционально давлению по закону $V=\alpha p$, где $\alpha > 0$. Во сколько раз изменится давление газа при уменьшении температуры от 327°С до 27°С?
8. В сосуде объемом 1 л заключено 0,28 г азота. Азот нагрет до температуры 1500ºС. При этой температуре 30% молекул азота распались на атомы. Определите давление в сосуде.

Вопросы:

1. Как связаны средняя квадратичная скорость молекулы газа и плотность газа?
2. Дым стелется по земле – к дождю! Так ли это?
3. Почему холодно на вершинах гор? Разве холодный воздух не должен опускаться вниз?
4. Почему расход воздуха дайвером на больших глубинах выше, чем на малых?
5. Почему при изготовлении колб термосов на время откачки воздуха из пространства между их стенками сосуды помещают в печь с температурой 300 – 400^0С?
6. Какой из газов, водород или азот, занимает больший объем, если их массы, давления и температуры одинаковы?

7. Почему ветры Антарктики всегда направлены только в сторону океана (нисходящие ветры)?
8. Является ли закон Дальтона следствием уравнения Менделеева – Клапейрона.
9. Шарик с гелием взмыл вверх и улетел. Как будет изменяться по мере подъема шарика сила Архимеда, если ничто не мешает ему расширяться?
10. Почему космический вакуум не высасывает атмосферу Земли, как пылесос?

Успокойся. Перестаньте трястись и нервничать. Всё, что с нами происходит, случается именно тогда, когда нужно.

Бернар Вербер

11. Назовите не менее трех способов измерения высоты большого здания с помощью барометра.
12. Почему над той местностью, где температура низкая, будет область высокого атмосферного давления, а где температура высокая – область низкого атмосферного давления?
13. Давление атмосферы Титана только на 50% выше, чем на Земле, а воздух вчетверо плотнее. Почему?
14. Как узнать, сколько молекул воздуха находится между стенками термоса?
15. Нужно ли просить скидку у продавца за воздух, который есть внутри многих овощей и фруктов?
16. Если вы попытаетесь без скафандра задержать дыхание в космосе, ваши легкие взорвутся. А если не задержать?
17. Два полых стеклянных шарика разного объема соединены трубкой, посредине которой находится капелька ртути. Можно ли по положению капельки судить о температуре окружающего воздуха?
18. При абсолютной температуре T_0 и давлении p_0 идеальный газ, взятый в количестве вещества 1 моль, занимает объем V_0. Каков объем газа, взятого в количестве вещества 2 моль, при давлении $2p_0$ и температуре $2T_0$?
19. Можно ли сравнить объемы выдыхаемого воздуха, надувая резиновый шарик?
20. В сосуде находится смесь газов. Найти плотность смеси, если известны давление, температура и массы газов.

III. *Задачи.*

1. Шаровая молния представляет собой слабо светящийся газовый шар, свободно плавающий в воздухе. Обычно она наблюдается после грозы. Согласно одной из моделей молния состоит из идеального газа, представляющего собой комплексное соединение, каждая молекула которого содержит ион азота, связанный с несколькими молекулами воды. Температура молнии 600^0С, окружающего воздуха 20^0С. Сколько молекул воды связывает каждый ион азота?

Почему шаровая молния называется шаровой?

- Потому что от неё все шарахаются, - ответил ученик.

2. В вертикально расположенном закрытом цилиндрическом сосуде с площадью основания 25 см^2 находится газ, разделенный поршнем массой 1 кг на два равных отсека. Масса газа под поршнем в два раза больше массы газа над поршнем. Определить давление газа в каждом отсеке. Трением в системе пренебречь, температура в обеих частях сосуда постоянна.
3. В космический корабль, совершающий межпланетный перелет, попал метеорит, пробивший в корпусе маленькое отверстие, через которое наружу стал выходить воздух. Объем корабля 1000 м^3, начальное давление воздуха в нем 10^5 Па, температура 300 К. Через какое время после попадания метеорита давление воздуха в корабле уменьшится на 10^3 Па, если площадь отверстия 1 см^2. 241 с (скорость из у-я Бернулли)

IV. Упр. 3, № 8-10.

1. В сосуде объемом 5 л находится 32 г кислорода при температуре 27^{0}С. Найдите максимальное число неизвестных величин.
2. Предложите конструкцию прибора для измерения объема воздуха, поступающего в легкие (спирометра).
3. Оцените размеры дирижабля, масса которого равна 100 т.
4. Приблизительно подсчитайте собственный вес у огня?
5. Этот момент, когда вся Вселенная была сжата в одной точке, остается для физиков загадкой - потому, что он предполагает сочетание взаимоисключающих условий, например, бесконечной плотности и бесконечной температуры. Так ли это?
6. Если прорыть канал через центр Земли, то какова будет плотность воздуха в центре Земли?
7. Оценить, какая часть атмосферного кислорода Земли израсходуется при сжигании 2 миллиардов тонн угля (эта цифра близка к мировой добыче угля за год).
8. При взрыве атомной бомбы, содержащей 1 кг плутония, получается одна радиоактивная частица на каждый атом плутония. Предполагая, что ветры равномерно перемешивают эти частицы во всей атмосфере, подсчитайте число радиоактивных частиц, попадающих в объем 1 м^3 воздуха у поверхности Земли. Радиус Земли принять равным $6 \cdot 10^6$ м, атомная масса плутония 0,242 кг/моль.
9. Тонну золота взвесили с хорошей точностью сначала зимой на морозе, а потом при июльской жаре. Оцените, во сколько раз разошлись показания весов. Эффект теплового расширения золота мал. Золото примерно в двадцать раз тяжелее воды. Атмосферное давление принять одинаковым.

Что касается величины давления, то уже путем поверхностного исследования можно до известной степени выяснить, от каких обстоятельств оно зависит и каков должен быть характер этой зависимости.

Клаузиус

Урок 14. ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА К ИЗОПРОЦЕССАМ

Почему лопается попкорн?

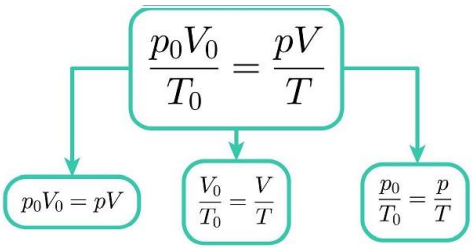
ЦЕЛЬ УРОКА: Применить уравнение состояния идеального газа к изопроцессам и получить еще три формулы – следствия (газовые законы).

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор для изучения газовых законов, сосуд с горячей и сосуд с холодной водой, термометр электрический.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. *Опрос фундаментальный:* 1. Формулы – следствия молекулярно – кинетической теории газов. 2. Уравнение состояния идеального газа.

Задачи:

1. В сосуде находится смесь 10 г углекислого газа и 15 г азота. Найти плотность этой смеси при температуре 27^0С и давлении $1{,}5\cdot10^5$ Па.
2. Оцените массу воздуха, выходящего из щелей отапливаемого помещения объемом 50 $м^3$ при повышении температуры от 0 до 20^0С и нормальном атмосферном давлении.
3. На сколько градусов надо нагреть воздух внутри воздушного шара, чтобы шар взлетел? Диаметр шара 10 м, масса его оболочки 10 кг. Атмосферное давление 760 мм рт. ст., температура окружающего воздуха 27°С.

Воздушные шары обычно делают из нерастяжимых материалов. В результате сам шар не может сильно расширяться. Расширяющийся газ выходит через отверстие в нижней части, поскольку ему больше некуда деваться. В результате внутри шара остается меньше газа, и, следовательно, шар меньше весит. Меньше масса тела – и выталкивающая сила Архимеда преобладает над силой тяжести и поднимает шар в голубое небо.

Формулу написал - предсказал будущее!

Вопросы:

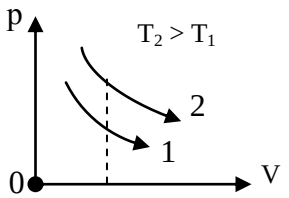
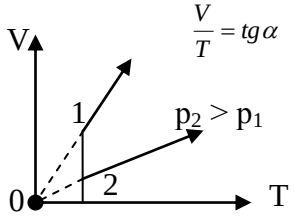
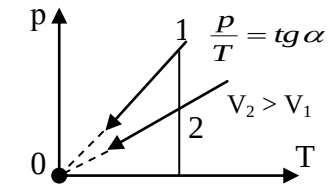
1. Можно ли измерить плотность воздуха, взвешивая мягкий воздухонепроницаемый мешок сначала пустой (сжатый), а потом наполненный воздухом? Объем мешка в наполненном состоянии известен (опыт Аристотеля).
2. Почему в справочниках по физике плотности газов если и указывают, то только при определенной температуре и давлении?
3. Почему углекислый газ скапливается внизу помещения?
4. Высокая температура воздуха делает самолеты слишком тяжелыми. Как это понимать?
5. Почему вероятность возникновения заморозков в долине выше, чем на возвышенности?
6. Почему мыльные пузыри на морозе взлетают вверх?
7. На дне сосуда с газом лежит тело, плотность которого больше плотности газа. Можно ли, повышая давление газа, заставить тело подняться вверх?
8. Почему давление газа увеличивается при сжатии и уменьшается при расширении?
9. Если газ находится в сосуде, то почему не принимают во внимание давление газа, созданное его весом?

10. Почему более тёплая поверхность крыла уменьшает его сопротивление воздуху и повышает эффективность полёта?
11. Если два сосуда заполнить одинаковым количеством молекул разных газов, то давление в этих сосудах будет одинаковым. Так ли это?
12. Какой их газов при данных условиях имеет наименьшую плотность?
13. Как зависит подъемная сила аэростата от температуры, при которой производится подъем?
14. Для каждой температуры горячего газа в воздушном шаре существует своя высота полета, на которой он зависает. Почему?
15. Когда гиря весит больше – зимой или летом?
16. Какие силы совершают работу при подъеме аэростата?
17. Мыльные пузыри, заполненные гелием, плавают в воздухе. Чья масса больше: оболочки пузыря или гелия внутри оболочки?
18. Открытий сосуд с углекислым газом уравновесили на весах. Через некоторое время равновесие весов нарушилось. Почему?

III. Последовательность вывода уравнения состояния идеального газа:

$$p = \frac{2}{3} n\overline{E}_к \;\rightarrow\; E_к = \frac{3}{2}\mathrm{kT} \rightarrow \; p = nkT \rightarrow pV = \frac{m}{M_A}RT \rightarrow \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}.$$

Применение уравнения состояния идеального газа к **изопроцессам – процессам, протекающим при одном неизменном параметре газа.**

Изопроцесс	*Основные особенности*	*Необходимые условия*	*Газовый закон*	*График*	*Причина*
Изотермическое расширение	*V – увел.* *p - умень.*	*T = пост.*	*pV= пост;* *m = пост.*		*p ~ n ~ 1/V*
Изобарное нагревание (расширение)	*T – увел.* *V – увел.*	*p = пост.*	$\frac{V}{T}$ *= пост;* *m = пост.*		*p = пост.* *V ~ T*
Изохорное охлаждение	*T – умень.* *p – умень.*	*V = пост.*	$\frac{p}{T}$ *= пост;* *m = пост.*		*n = пост.* *p ~ T*

Газовый закон - зависимость между двумя параметрами газа при неизменном третьем. Заполнение таблицы совместно с учащимися на доске. Определение газового закона и его

опытное подтверждение с помощью демонстрационного оборудования. **Формулировки газовых законов (записать в тетрадь).**

Закон Бойля-Мариотта: Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления на объем газа есть величина постоянная (Р. Бойль, 1662 г; Э. Мариотт, 1677 г).

Постоянство температуры тела человека носит название изотермия.

... тот же воздух, доведенный до уровня плотности примерно вдвое большего, чем раньше, получает упругость вдвое большую, чем первоначальная.

Роберт Бойль

Роберт Бойль - английский физик, один из учредителей Лондонского королевского общества. Когда мы дышим, ребра поднимаются, и диафрагма сокращается, увеличивая объем легких и уменьшая давление, так что воздух поступает в легкие. В некотором смысле закон Бойля поддерживает нашу жизнь при каждом нашем вздохе.

Закон Гей-Люссака: Для данной массы газа при постоянном давлении отношение объема газа к его температуре есть величина постоянная (1802 г). Линии неизменного давления на погодной карте называются изобарами.

Закон вполне неплохо описывает процесс «поднятия» теста. Превращение воды в газ внутри стимулирует «разбухание» стенок из теста. Но стоит только чуть-чуть опустить температуру, как профитроль мгновенно сдувается!

Закон Шарля: Для данной массы газа при постоянном объеме отношение давления газа к его температуре есть величина постоянная (1787 г).

IV. *Задачи:*

1. Сосуд объемом 12 л, содержащий газ при давлении 4 атм, соединяют с другим сосудом объемом 3 л, из которого полностью откачан воздух. Найти конечное значение давления. Процесс изотермический.
2. В цилиндре под поршнем изобарно охлаждают 10 л газа от 323 К до 273 К. Каков объем охлажденного газа?
3. При изменении температуры газа от 286 К до 326 К давление повысилось на 40 кПа. Найти первоначальное давление газа. Процесс изохорный.
4. В баллоне находился газ при атмосферном давлении 10^5 Па и температуре 10°С. При открытом вентиле баллон нагрели, а затем вентиль закрыли и баллон остудили до начальной температуры. Давление газа в баллоне после этого стало равно 0,7 атм. На сколько градусов нагрели баллон?
5. В открытом вертикальном цилиндре с площадью сечения S под массивным поршнем находится идеальный газ под давлением р. Цилиндр переворачивают вверх дном, при этом поршень опускается так, что объем газа увеличивается вдвое. Найти атмосферное давление и массу поршня. Температура газа в цилиндре не изменяется, трением пренебречь.
6. За сутки внутри космического корабля объемом 100 $м^3$ температура воздуха повысилась с 10°С до 15°С, а давление возросло от 755 мм рт. ст. до 760 мм. рт. ст. Какая масса воздуха была потеряна за сутки? Ответ: 1,4 кг.

Вопросы:

1. Почему тесто поднимается, когда в него кладут дрожжи?
2. Почему внутри печи объем пузырьков углекислого газа в хлебе увеличивается?
3. Если достать из морозильника холодильника охлажденную пустую бутылку и, держа ее в руках, опустить горлышком в воду, то из нее некоторое время будут выходить пузырьки воздуха. Почему?
4. Почему не удается наполнить бутылку жидкостью, если воронка плотно прижата к стенке горлышка бутылки?
5. Осветительная лампочка имеет тонкостенный непрочный баллон и заполняется инертным газом. Из каких соображений выбирается давление газа?
6. Не произошла ли утечка газа из сосуда, если при повышении температуры газа от 2°С до 40°С давление увеличилось с 200 кПа до 220 кПа?
7. Почему обычная чернильная авторучка в самолете пачкает тех, кто взял её с собой в полет?
8. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится газ. Поршень может перемещаться в сосуде без трения. На дне сосуда лежит стальной шарик. Газ нагревают. Как изменится в результате этого объём газа, его давление и действующая на шарик архимедова сила?
9. При изохорном увеличении температуры двухатомного газа в 4 раза его давление возросло в 6 раз. Определите степень диссоциации молекул в данном процессе.
10. Объем воздушного пузырька удваивается при подъеме со дна озера на поверхность. Какова глубина озера?
11. Почему уменьшается объем воздушного шарика, который поместили в холодильник?
12. Может ли объем идеального газа увеличится вдвое от нагревания на 1 К при постоянном давлении?
13. Имеются большой и маленький мяч, давление воздуха в мячах одинаково. Мячи прижимают друг к другу. Какую форму будет иметь поверхность мяча в месте соприкосновения?
14. Широкое колено жидкостного манометра имеет втрое больший диаметр, чем узкое. К какому колену следует присоединить теплоприемник, для более точного измерения давления воздуха в нем?
15. Слониха погружает хобот в воду, закрывает рот, а мощные мышцы на ее груди вздымаются и расширяют грудную клетку. Зачем?

Дополнительная информация. Закон Бойля-Мариотта жизненно важен для дайверов и водолазов. Именно благодаря этому открытию, совершенному Робертом Бойлером и независимо от него открытому еще раз Эдмоном Мариоттом, жизнь любителей глубоководного плавания сейчас в безопасности. Спуск на глубину через каждые 10 метров

подвергает дайвера изменению внешнего давления на 1 атмосферу. В его крови много азота, ведь в воздухе его около 78 %. При погружении и повышении давления азот начинает активно всасываться в кровь. При резком подъёме дайвера на поверхность пузырьки газа начинают резво увеличиваться в объеме, в результате чего кровь закипает во всех сосудах, даже в самых маленьких, что ведет к разрыву клеточных стенок. Возникает декомпрессия или кессонная болезнь. Для того, чтобы вернуться на поверхность безопасно для жизни и здоровья, необходимо выполнять правила подъема на поверхность. Так, например, если водолаз работал на глубине 100 метров, подъем на поверхность будет проходить с 10 остановками, и в трех метрах от поверхности воды водолаз должен провести аж 2 часа. Общее количество часов декомпрессии – 8. Кессонная болезнь может возникать и у летчиков при резком наборе высоты самолетом по той же причине – резкое изменение давления.

Дополнительная информация (осмотическое давление): Растворенное вещество распространяется по всему объему растворителя, подобно тому, как газ распространяется по пустому пространству, занимая весь объем и вызывает специфическое давление, которое ученый назвал **осмотическим**. Осмотическое давление равно давлению газа, которое наблюдалось бы, если бы мы удалили растворитель, а растворенное вещество заполнило бы тот же объем в виде газа. Таким образом, **измеряя осмотическое давление данного вещества в каком-либо растворителе, и зная его массу, можно узнать плотность этого вещества в газообразном состоянии и вычислить его молярную массу**.

Примеры осмоса в природе: 1) набухание сушёных ягод в воде; 2) явление *тургора* (упругости) биоткани; 3) осмотическое экстрагирование (извлечение) воды из биоклеток (чувство жажды после приёма сладкой или солёной пищи); 4) упругость овощей и плодов; 5) прорастание грибов сквозь асфальт; 6) разрушение фундаментов зданий корнями деревьев и растений.

1. Почему утопленники всплывают?
2. Почему нельзя пить морскую воду?
3. Почему вянут цветы без воды? Как можно замедлить этот процесс?
4. Почему ягоды, посыпанные сахаром, быстро выделяют сок?
5. Почему разбухает целлофановый мешочек с поваренной солью, помещенный в кастрюлю с водой? (Пленка от куриного яйца заполняется концентрированным раствором сахара и помещается в воду.)

V. § 14. Упр. 3, № 1,3.

1. Что будет, если давление газа будет прямо пропорционально занимаемому им объему?
2. Изготовьте (предложите конструкцию) прибор для измерения осмотического давления (осмометр).
3. Давление воздуха в шинах «Жигулей» примерно 2 атм. Если автомобиль едет, температура в колёсах повышается (за счёт сил трения). Если температура воздуха внутри сначала равнялась 20°С, а затем (при движении по трассе) возросла до 50°С, давление внутри колёс должно возрасти, стало быть, должна измениться и площадь опоры каждого колёса о дорогу. Во сколько раз?
4. Исследуйте зависимость избыточного давления в воздушном шарике от его диаметра.
5. Стаканчик с небольшим отверстием в дне, содержащий соленую воду, частично погрузили в широкий сосуд с пресной водой. Объясните механизм наблюдаемого периодического процесса, и исследуйте зависимость его периода от различных параметров (соленый осциллятор). Для наглядности соленую воду следует подкрасить.

Многое твердо должно быть установлено прежде.
Нежели сможешь постичь ты правильно сущность предмета,
Надо к нему подходить и окольной, и длинной дорогой.

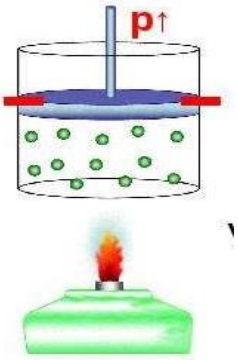
Лукреций Кар

Урок 15

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Какие изопроцессы происходят при выпечке хлеба?

ЦЕЛЬ УРОКА: Продолжать формировать у учащихся навыки решения задач. Показать практическую значимость газовых законов.



ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

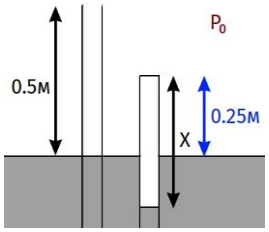
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:*

1. Изотермическое сжатие. 2. Изобарное охлаждение. 3. Изохорное нагревание.

Задачи:

1. Вертикальный цилиндр, открытый сверху, перекрыт массивным поршнем, который находится в равновесии на высоте 1,5 м от дна. Когда цилиндр перевернули вверх дном, расстояние от поршня до дна стало 3 м. Каким будет это расстояние, если цилиндр положить горизонтально. Трения нет, температура неизменна.
2. Температуру водорода с начальным давлением 400 кПа изохорно увеличивают от 200 К до 10000 К, при этом молекулы газа практически полностью распадаются на атомы. Каким станет давление?
3. Баллон с гелием для воздушных шариков имеет объем V = 10 л и позволяет надуть, как пишут производители, N = 50 латексных (резиновых) шариков диаметром d = 20 см. Определите давление в баллоне. Считайте, что в шарике давление близко к атмосферному p_0 = 100 кПа.
4. В прямоугольном сосуде с дном в виде квадрата со стороной 5 см находится некоторая масса газа при температуре 300 К и давлении 150 кПа. Сосуд закрыт крышкой массой 20 кг, которая герметично прижимается к стенкам сосуда под действием силы тяжести. До какой температуры надо нагреть газ в сосуде, чтобы он начал выходить, приоткрыв крышку. Атмосферное давление нормальное.



5. Открытая стеклянная трубка погружена в ртуть так, что над ртутью выступает конец длиной h = 50 см. Трубку закрывают и погружают еще на Δh = 25 см. Если атмосферное давление нормальное, то какова длина столбика воздуха в трубке.

Чтобы познать суть, меру и связь явлений, надо погасить в себе суетность.

Пифагор

Вопросы:

1. При переходе определенной массы газа из одного состояния в другое его давление уменьшается, а температура увеличивается. Как при этом меняется его объем?

2. Почему газовые законы справедливы для всех разреженных газов, независимо от их химического состава?
3. Изобразите график изотермического процесса для идеального газа. Известно, что при давлении 0,2 МПа он занимает объем 3 л.
4. Чем отличается процесс изотермического расширения газа от изобарного нагревания газа и что между ними общего?
5. Почему пустой бумажный мешок, надутый воздухом, с треском разрывается, если ударить его рукой или обо что-либо твердое?
6. Как с помощью цилиндрической мензурки аквалангист может определить глубину озера?
7. Для придания жесткости шарику от настольного тенниса его заполняют воздухом. Не лучше ли его заполнять гелием?
8. Если закрыть рукой нос и рот, то невозможно увеличить объем грудной клетки? Почему?
9. Если открыть бутылку с газированной водой, то пузырьки углекислого газа начинают интенсивно выходить на поверхность. Объясните их происхождение.
10. В каком случае - зимой или летом - накачивают шины автомобилей до большего давления?
11. Почему для глубины больше двух метров требуются дыхательные аппараты, подающие в легкие воздух с избыточным давлением.
12. Перед вами пять законов: $p = n\,k\,T$; $pV = \frac{m}{M_B}RT$; $p_1V_1 = p_2V_2$, $T = пост.$; $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, $V = пост.$; $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, $p = пост.$ Какой из этих законов необходимо применять для объяснения данного явления?
    - "надувание" щёк;
    - присасывание медицинской банки к телу человека;
    - "выстрел" банки соленых огурцов;
    - треск дров в горящей печи;
    - раздувание воздушного шарика вблизи нагретой печи;
    - увеличение объема пузырька при его подъеме со дна водоема.
13. Во сколько раз изменится расход воздуха аквалангиста при погружении на глубину 10 м по сравнению с расходом у поверхности? Температуру считать неизменной.
14. Чтобы яйцо не лопнуло при варке, опытные хозяйки прокалывают скорлупу с тупого конца. Зачем?
15. Почему небольшая трещина в баллоне лампы накаливания приводит к взрыву лампы во время работы?

III. *Задачи:*

1. Сжатый воздух накачивается в баллон емкостью V = 5 м^3. За какое время он будет накачан до давления p = 8·10^5 Па, если компрессор засасывает V_1 = 4 м^3 воздуха в минуту? Считайте процесс изотермическим, а начальное давление - нормальным. ≈ 8,6 мин.
1. Во фляжке емкостью 0,5 л находится 0,3 л воды. Турист пьет из нее воду, плотно прижав губы к горлышку так, что во фляжку не попадает наружный воздух. Сколько воды удастся выпить туристу, если он может понизить давления оставшегося воздуха во фляжке до 80 кПа? Атмосферное давление 100 кПа.
2. Тонкая вертикальная трубка длиной 50 см запаяна с верхнего конца, а нижним концом касается поверхности ртути плотностью 13600 кг/м^3. Во сколько раз нужно изменить температуру воздуха в трубке, чтобы ртуть поднялась в ней на высоту 25 см? Начальное давление воздуха в трубке равно давлению окружающего воздуха p_0 = 10^5 Па.
3. Заполненный газом под давлением 0,1 атм герметичный цилиндрический сосуд разделен пополам тонким поршнем массой 5 кг. Сосуд положили горизонтально на тележку, и она начала движение с ускорением 1 м/с^2. На какое расстояние сместился при этом поршень? Длина сосуда 0,8 м, площадь поперечного сечения поршня 10 см^2.
4. Цилиндрическое ведро массой 1 кг имеет объем 10 л и высоту 40 см. Его погружают вверх дном в воду в вертикальном положении до тех пор, пока дно ведра не оказывается вровень с поверхностью воды. Какую силу нужно приложить к ведру, чтобы удерживать его в этом положении?
   С какой глубины ведро вообще перестанет всплывать?
5. После N = 6 ходов поршня откачивающего насоса давление в сосуде стало равным p = 35 мм рт.ст. Каким было первоначальное давление газа в сосуде, если объем сосуда равен V = 300 см^3, а объем цилиндра насоса V_0 = 200 см^3? Температуру считать постоянной. 750 мм рт. ст.

IV. Упр. 3, № 2, 4.

1. За сколько ходов велосипедного насоса можно накачать футбольный мяч?
2. Оцените силу, необходимую для того, чтобы оторвать от спины хорошо поставленную медицинскую банку.
3. По газопроводу с площадью поперечного сечения *S* течёт газ с молярной массой *M* при давлении *p* и температуре *T*. За промежуток времени *t* протекает масса газа *m*. Какова скорость движения газа в газопроводе?
4. Газ, находящийся в сосуде объемом *V* при давлении P_0 откачивают поршневым насосом, имеющим рабочую камеру объемом V_0. Какое число ходов поршня надо сделать, чтобы давление газа в сосуде понизилось до значения *P*?
5. Выясните, можно ли с помощью шара-зонда диаметром 1 м подняться на поверхность моря со дна Марианской впадины.

... теория газов согласуется с фактами в столь многих отношениях, что едва ли мы можем сомневаться, что в газах беспорядочно мечутся некие сущности, число и размеры которых могут быть приблизительно определены.

Л. Больцман

Урок 16.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1: "ИЗУЧЕНИЕ ИЗОПРОЦЕССОВ В ГАЗАХ"

Гораздо легче найти ошибку, чем истину!

ЦЕЛЬ УРОКА: Повторить с учениками план выполнения лабораторной работы. Экспериментально установить справедливость газовых законов.

ТИП УРОКА: лабораторная работа.

ОБОРУДОВАНИЕ: набор лабораторный для исследования процессов в газах, термометр, сосуд с горячей водой, барометр.

ПЛАН РАБОТЫ:

1. Вступительная часть
2. Краткий инструктаж
3. Выполнение работы
4. Подведение итогов
5. Задание на дом

II. План выполнения работы (оформления): Название работы. Цель работы. Оборудование: прибор для изучения газовых законов, термометр, сосуд с горячей водой.

Краткая теория*:*

I. Проверка справедливости закона Бойля-Мариотта.

№ опыта	Объем воздуха, V, мл	Давление воздуха, p + Δp	Произведение p·V
1	25 + 10		
2	25 + 7		
3	25 + 5		
4	25 = 2		

II. Проверка справедливости закона Гей-Люссака.

№ опыта	Давление воздуха, p + Δp	Объем воздуха, V, мл	Температура, T, K
1			
2			

III. Проверка справедливости закона Шарля.

№ опыта	Объем воздуха, V = 25 мл	Давление воздуха, p + Δp	Температура, T, K
1			
2			

III. Выполнение работы.

IV. Сравнение результатов.

V. Упр. 13, № 12-13.

1. Поместите свечу в центре глубокой тарелки и налейте в тарелку воды. Зажгите свечу и накройте ее прозрачным колпаком. Проанализируйте и объясните последующие эффекты.
2. С помощью пластиковой бутылки и термометра проверьте справедливость закона Гей-Люссака.
3. Оцените глубину погружения кашалота, если объем его легких уменьшился в 100 раз.

Теория, мой друг, сера.

Но зелено вечное дерево жизни.

Гете

Урок 17

ГРАФИКИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

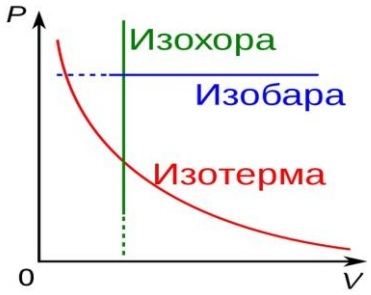
Почему дышать тяжелее, когда жарко?

ЦЕЛЬ УРОКА: Продолжить формирование навыков решения задач. Дать представление о графиках процесса, в том числе и циклического, в координатах P, V; P, T и V, T.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

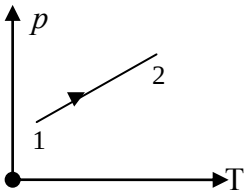


1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* Газовые законы.

Вопросы:

1. Почему пузырьки газа, поднимающиеся со дна водоема на поверхность, все время движутся с ускорением?
2. Если двери в квартиру двойные, то почему внутренняя дверь открывается заметно труднее, особенно если это делаешь быстро?
3. Идеальный газ изобарно нагрели с 10°С до 100°С. Как изменилась его плотность?
4. Какие заключения вы можете сделать из того факта, что воздух комнатной температуры достаточно хорошо подчиняется закону Бойля-Мариотта в интервале давлений от нескольких атмосфер до малой доли атмосферы?
5. Известно, что в шахту глубиной 100 км и диаметром 25 км "стечет" вся земная атмосфера. Как объяснить этот факт с точки зрения известных вам газовых законов?
6. При нагревании идеального газа была получена зависимость давления от абсолютной температуры, изображенная на рисунке. Что происходило во время нагревания газа: сжатие или расширение?

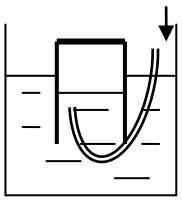


7. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Как при охлаждении сосуда с газом изменятся величины: давление газа, его плотность и внутренняя энергия?
8. Газ нагревают от t_1 = 27°С до t_2 = 39°С при постоянном давлении. На сколько процентов увеличивается его объем? 4%
9. Два баллона с газом объемами V_1 и V_2 соединили трубкой. Какое давление установится в сосуде, если до соединения оно соответственно было равно p_1 и p_2? Температура газа не изменилась. Газ считать идеальным.
10. Почему нельзя изготовить воздушный шар, наполняемый нагретым воздухом, подъемная сила которого равнялась бы подъемно же объема, наполненного водородом?

$$P_1 = \rho_0 gV(1-\frac{\rho_{H_2}}{\rho_0}); P_2 = \rho_0 gV(1-\frac{T_0}{T})$$

11. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он

расширяется по закону $p = \frac{в}{V^n}$, где *в* и *n* – некоторые постоянные.



12. На рисунке изображен стакан, плавающий вверх дном в сосуде с водой. Почему стакан начинает подниматься вверх, если в него нагнетать воздух? Какую роль сыграл воздух?

Задачи:

1. Спортсмен-ныряльщик массой m = 80 кг прыгает в воду, набрав в легкие V_0 = 5 л воздуха. При этом объем его тела составляет V = 82 л. С какой максимальной глубины h он может всплыть, не совершая никаких движений. Атмосферное давление нормальное. 6,9 м
2. Цилиндрический колокол для подводных работ высотой 2 м опускается вверх дном с борта катера на дно водоема глубиной 3 м. Найдите толщину воздушной подушки, образовавшейся у "потолка" колокола к моменту его касания дна водоема. Температуру считать постоянной. (Кессонная болезнь). Атмосферное давление 100 кПа. Как опускают колокол на дно?
3. В вертикально стоящем цилиндрическом сосуде под массивным поршнем находится газ. После того как на поршень положили груз, его объем под поршнем уменьшился в 1,5 раза. Каков будет объем газа, после того как на поршень положат еще один такой же груз? Начальный объем газа V_0, температура остается постоянной.

Наука – сила, которая раскрывает отношения вещей, их законы и взаимодействия.
Александр Иванович Герцен

III. *Задачи:*

1. На рисунке 2 изображен график процесса в координатах P, V. Изобразите

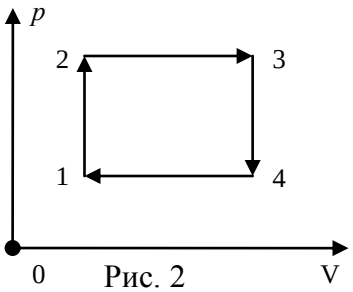


Рис. 2

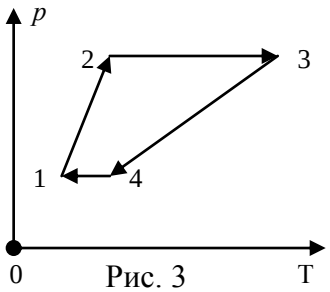


Рис. 3

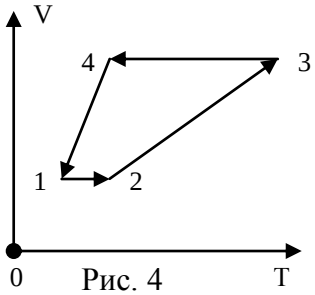


Рис. 4

графически процесс и координатах P, T (Рис.3) и V, T (Рис.4).

Параметры / Участок	P	V	T	Процесс
1 – 2	увел.	пост.	увел.	изохорное нагревание
2 – 3	пост.	увел.	увел.	изобарное расширение
3 – 4	уменьш.	пост.	уменьш.	изохорное охлаждение
4 – 1	пост.	уменьш.	уменьш.	изобарное охлаждение

2. На рисунке 5 изображен график процесса в координатах *p, T*. Изобразите графически процесс в координатах *p, V*.

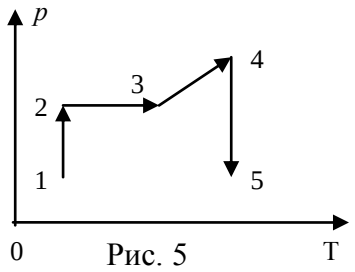


Рис. 5

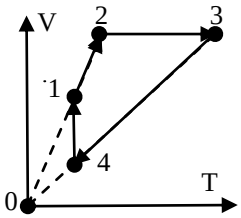


Рис. 6

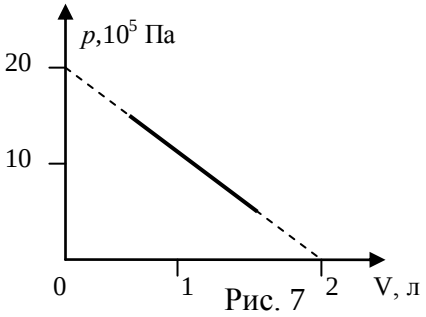


Рис. 7

3. На рисунке 6 дана диаграмма цикла, совершаемого идеальным газом, в координатах V, T. Изобразите диаграмму этого цикла в координатах p, V.
4. Построить график циклического процесса, происходящего с идеальным газом в координатах PT и PV. Масса газа постоянная. Исходный график дан в координатах VT: 1-2 – изобарическое нагревание, 2-3 – изохорическое охлаждение, 3-1 – изотермическое сжатие.
5. График процесса, прошедшего с молем идеального газа, представляет собой в координатах p, V прямую линию (Рис. 7). Какой будет температура газа, когда он будет занимать объем 1 л? Каким будет давление и объем газа при температуре 100 К?

Вопросы:

1. Газ перешел из состояния 1 в состояние 2. Масса газа остается постоянной (Рис. 8). Как изменился объем газа?
2. Начертите графики изменения плотности идеального газа в зависимости от температуры при изобарном и изохорном процессах.
3. С газом произведен замкнутый процесс (цикл). Масса газа остается постоянной. В какой точке температура газа наибольшая (Рис. 9)?

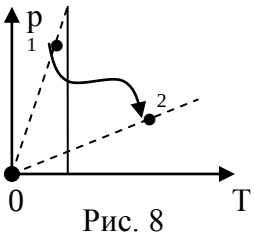


Рис. 8

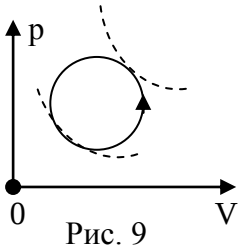
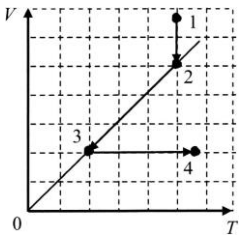


Рис. 9

4. Начертите график зависимости плотности газа от давления при изотермическом процессе, если масса газа остается постоянной.
5. На V/T-диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа p на каждом из трёх участков?



IV. Упр. 3, № 11.

1. Оцените, на какое время хватит аквалангисту баллона со сжатым воздухом на глубине 40 м. Начальное давление воздуха в баллоне 100 атм.
2. Два стеклянных шара разного радиуса соединены тонкой длинной стеклянной трубкой и наполнены воздухом. Посредине трубки находится капля ртути. Можно ли с помощью этого прибора измерить температуру окружающего воздуха?
3. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с законами молекулярно-кинетической теории газов.

Мало иметь хороший ум, главное – хорошо его применять.

Р. Декарт

Урок 18

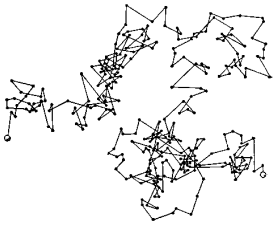
ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО – КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОВ В ТЕХНИКЕ.

ЦЕЛЬ УРОКА: На основе молекулярно–кинетических представлений объяснить явление диффузии, вязкости, теплопроводности. Рассказать об использовании свойств газов в технике.

ТИП УРОКА: урок - лекция.

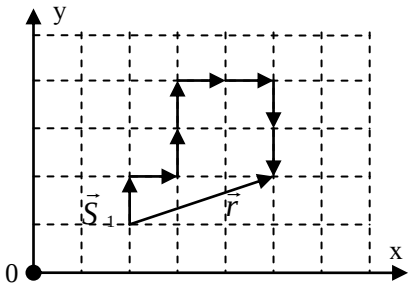
ОБОРУДОВАНИЕ: круглая колба объемом 2 – 3 л с резиновой пробкой, через которую пропущены 2 стеклянные трубки, машинное масло, резиновые трубки, насос ручной.

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

II. Почему процесс диффузии происходить сравнительно медленно, не смотря на то, что скорость молекул измеряется сотнями метров в секунду? Задача о "пьяном матросе". Один из возможных путей матроса: $\vec{r} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2 + ... + \vec{S}_N$.



Тогда: $r^2 = (S_{1x}+S_{2x}+\ldots+S_{Nx})^2+(S_{1y}+S_{2y}+\ldots S_{Ny})^2 =$
$(S_{1x}^2 + S_{1y}^2) + (S_{2x}^2 + S_{2y}^2) + ... + (S_{Nx}^2 + S_{Ny}^2) = Nl^2$.

Сумма парных произведений $2S_{1x}S_{2y}+2S_{1y}S_{2y}+\ldots$ при больших N дает 0. Положительные проекции будут встречаться столь же часто, что и отрицательные.

$r^2 = Sx_1^2 + Sy_1^2 + Sx_2^2 + Sy_2^2 + ... + Sx_N^2 + Sy_N^2 = Nl^2$ **- формула случайного блуждания.**

Время между двумя последовательными прохождениями перекрестка (соударениями) матросом $\tau = \frac{l}{\upsilon}$, а число соударений за время t равно $N = \frac{t}{\tau}$. Поэтому

$\bar{r}^2 = l\upsilon \cdot t$. l **- длина свободного пробега молекулы:** $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$ (d -диаметр молекулы).

Представим, что слепой Петя решит самостоятельно добраться от дома до магазина, который полностью окружает дом на расстоянии 1 км. Длина шага равна 1 метру. Петя будет двигаться со скоростью 1 м/с. Из формулы случайного блуждания получится, что Петя доберётся до магазина только через 11 дней, сделав миллион шагов.

Как зависит длина свободного пробега молекул от температуры газа?

Как быстро происходит диффузия? Скажем, если запах пахучего вещества распространяется на 1 м за 3,5 минуты, то, за какое время он распространится на 10 м?

Случайный выигрыш в казино также пропорционален квадратному корню из числа туров, $\sqrt{N}$ а не $\frac{N}{2}$ (примеры). Амплитуда смещения в результате случайного процесса пропорциональна корню квадратному из времени наблюдения.

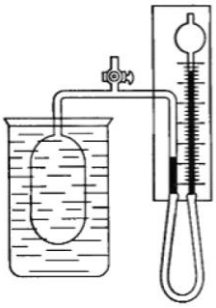
Почему газы обладают **вязкостью** (аналогии с кораблем, движущимся мимо неподвижного корабля, пассажиры которых обмениваются друг с другом (осыпают друг друга) градом камней или с двумя группами бегущих туристов).

Объяснение теплопроводности.

Газ – амортизатор. При наезде колеса на камень сила реакции увеличивается, но и площадь контакта возрастает, поэтому давление в колесе незначительно возрастает (объем воздуха мало изменяется).

Газ – рабочее тело двигателей. Расширяясь, газ совершает работу: пневматические инструменты, ДВС и т.д.

Электронный газ в металле.



Газовый термометр. Используя газообразный гелий в качестве термодинамического вещества, а изменение его давления в зависимости от температуры при постоянной плотности - в качестве термометрического свойства, получают значения температуры в газовой шкале. Рабочий диапазон до 5 К.

Газы в нефтедобыче. Как "достать" нефть с большой глубины? Дальнейшие рассуждения по алгоритму научного исследования: 1) научный факт; 2) гипотеза; 3) модель; 4) опыты; 5) теория; 6) практические применения.

- Научный факт: нефть не вытекает из скважины. Каким образом ее поднять на поверхность?
- Гипотезы: жидкостный насос, закачивание воздуха в полость над нефтью.
- Модель: в качестве модели удобно использовать круглую колбу объемом 2-3 литра, наполовину заполненную машинным маслом. Горлышко колбы закрыто резиновой пробкой, через которую пропущены две стеклянные трубки, одна из которых касается поверхности масла.
- Эксперименты: подъем масла всасывающим насосом. Нагнетание воздуха в полость над маслом.
- Теория: До какой высоты можно поднять нефть предложенным способом? Какое число качков необходимо, для того, чтобы нефть поднять на поверхность?
- Практические применения: Изготовить газовый измеритель объёма.

Число разумных гипотез, объясняющих любое данное явление, бесконечно.

Постулат Персига

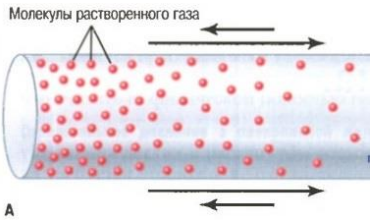
Газовые законы открывает обширное поле для объяснения многих других повседневных явлений: показания барометра, изменение атмосферного давления с высотой, воздухоплавание, принцип действия пневматических устройств, насосов и других механизмов.

Дополнительная информация. Примеры применения закона Дальтона. Почему при изготовлении газировки повышают парциальное давление углекислого газа, а не общее давление воздуха и углекислого газа в объёме над водой? Чем чаще молекулы углекислого газа ударяются о поверхность воды, тем вероятнее молекулы войдут внутрь жидкости и начнут своё блуждание в ней (диффузионное движение в растворе). Количество растворенного в жидкости газа пропорционально парциальному давлению этого газа над

поверхностью жидкости. Оказалось, что и в случае стенок из твёрдого материала поток диффундирующих молекул одного сорта так же определяется парциальными давлениями этого газа с обеих сторон стенки.

Дополнительная информация. Диффузия может быть как односторонней, так и двусторонней. **Односторонняя диффузия** происходит через мембрану, которая препятствует диффузии частиц в одном направлении, но не в другом. В этом случае мембрана является барьером для диффузии некоторых частиц, и диффузия происходит только в одном направлении.

Двусторонняя диффузия, например, диффузия кислорода из альвеол в кровь и диффузия двуокиси углерода в обратном направлении — из крови в альвеолы. Газы перемещаются между кровотоком и воздухом за счет пассивной диффузии из областей с высоким парциальным давлением, в области – с низким давлением. Парциальное давление кислорода в воздухе лёгочных пузырьков 10 − 11 кПа, а давление кислорода в притекающей к лёгким крови около 6 кПа, поэтому кислород интенсивно диффундирует из лёгких в кровь. Парциальное давление углекислого газа в венозной крови на 700 Па больше, чем его парциальное давление в воздухе, находящемся в лёгких, - углекислый газ диффундирует из крови в лёгкие. Множество лёгочных пузырьков и их ячеистое строение обеспечивают большую поверхность, через которую происходит газообмен между воздухом и кровью. Барьер между газом и кровью (альвеолокапиллярная мембрана) очень тонок (около 0,3 мкм), однако обладает большой суммарной площадью (50 - 100 м^2). Объем газа, пересекающего мембрану, прямо пропорционален ее площади и обратно пропорционален толщине. В связи с этим альвеоло-капиллярная мембрана может считаться идеальной для осуществления газообменной функции.



Дополнительная информация. Почему кашалоты могут нырять на большую глубину? На глубинах объем легких кашалота сокращается до одного процента по сравнению с исходным объемом, то есть объемом на поверхности воды. Это повышенное давление приводило бы к растворению в крови кашалота дополнительного количества кислорода и азота. Результатом стала бы ситуация, которую водолазы называют «кессонной болезнью». Эволюционное решение — полностью перекрыть альвеолы с момента, когда кашалот покидает поверхность воды. Альтернативы нет. Но животное может задействовать свои энергетические резервы, поскольку его кровь и мышцы способны запасать огромное количество кислорода.

III. *Задачи:*

1. В сосуде находится гелий при температуре 300 К. Плотность газа такова, что длина свободного пробега в нем составляет 0,5 мкм. Какое среднее расстояние проходит молекула газа за 0,5 с.
2. Простейший газовый термометр представляет собой колбу, закрытую пробкой, в которой находится трубка с капелькой воды. Внутренний диаметр трубки 2 мм, объем колбы 100 мл. В комнате при температуре 20^{0}С капелька воды находится на высоте 50 см от пробки. На какую высоту поднимется капля, если температура воздуха в комнате повысится на 1^{0}С?
3. Имеется запас из 140 баллонов со сжатым чистейшим азотом (объём каждого баллона 400 л, давление - 150 бар). Также имеется водородная система "трубопроводы + печи", объём которой равен 11008 м^3. Можно ли в случае

аварийной ситуации продуть эту водородную систему с давлением 0,6 бар при использовании вышеупомянутого запаса?

4. Средняя квадратичная скорость молекул воздуха в комнате 500 м/с, длина их свободного пробега 0,02 мкм. В данный момент выбранная для наблюдения молекула находится посредине квадратной комнаты площадью 25 $м^2$. Оцените среднее время, за которое она дойдет до стены.

Вопросы:

1. Как определить вес автомобиля, не взвешивая его, а лишь исследуя его баллоны?
2. Почему мяч подпрыгивает, когда им ударяют о землю, а камень нет?
3. При каких условиях газ подчиняется законам идеального газа?
4. Если в отсеке орбитальной станции выключить вентиляторы, то вокруг каждого дышащего образуются «мешки» углекислого газа. Почему?
5. Колесо автомобиля катится вправо, обод его вертится по часовой стрелке. В какую сторону перемещается при этом воздух внутри шины колеса?
6. Скорости теплового движения молекул азота и кислорода близки к скорости пули. Почему же даже очень чуткое обоняние диких животных не улавливает запах охотника, если он подкрадывается к ним против ветра?
7. Почему масло протекает через воронку медленнее, чем бензин?
8. Чем выше давление газа над поверхностью жидкости, тем труднее растворенному в ней газу высвободиться. Почему?
9. Почему сливки не появляются на поверхности пастеризованного молока?
10. Почему крошечные частицы могут плавать в воздухе по нескольку суток?
11. Где быстрее рассеиваются отработавшие газы, и остывает двигатель автомобиля - в низине или в горах?
12. Почему происходит диффузия газов, если убрать перегородку, разделяющую их?
13. Почему, когда мы пытаемся ввести палочку в банку какими-нибудь зернами поглубже, требующееся для этого усилие быстро возрастает с глубиной погружения?
14. В конце 1650-х Роберт Бойль в опытах установил, что дым в вакууме опускается. Почему?
15. Почему твердые тела и жидкости не подчиняются закону Бойля-Мариотта?
16. Зачем человеку две ноздри?
17. Одно из правил безопасности при погружении с аквалангом - перед тем как подниматься на поверхность, надо вдохнуть, а при всплытии правильно выдыхать воздух. Зачем?
18. Вы замерзаете от того, что молекулы вашего тела постепенно теряют энергию и замедляются. Так ли это?

19. Пламя свечи стремится удалиться от горячего жала электрического паяльника или другого нагревателя (эффект Людвига – Соре). Почему?
20. Как же передвигаются бактерии в жидкости, ведь тепловое движение швыряет их как маленькую лодку в бурном море?
21. Назовите перечисленные ниже явления:
    - Изменение состояния термодинамической системы;
    - Проникновение веществ друг в друга при их контакте;
    - Хаотическое движение взвешенных в газе или жидкости частиц;
    - Перенос энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым участкам;
    - Случайное, хаотическое движение большой совокупности частиц.

IV.

1. Открытую стеклянную трубку длиной 1 м наполовину погружают в ртуть. Затем трубку сверху закрывают и вынимают. Какой длины столбик ртути останется в трубке (бюретка)? Атмосферное давление нормальное. Насколько можно понизить давление воздуха в трубке, встряхивая её?
2. В закрытом сосуде при давлении p_0 находится смесь из одного моля кислорода и двух молей водорода. Между газами происходит реакция с образованием водяного пара. Какое давление установится в сосуде после охлаждения до первоначальной температуры? Конденсации пара не происходит.
3. Число «столкновений» в единицу времени животного с фотоловушкой, согласно теории идеального газа, определяется концентрацией животных, расстоянием, которое проходят животные за определенное время (чем больше расстояние, тем больше вероятность «столкновения»), и шириной эффективной зоны срабатывания фотоловушки (площадью контура животного). Так ли это? Попробуйте вывести формулу для числа «столкновений».

Теория, несмотря на ее интеллектуальную миссию,
является максимально практической вещью.
Л. Больцман

Урок 19.

ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК: «МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ»

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся по молекулярно-кинетической теории газов. Повторить структурную схему (алгоритм) изучения физической теории.

ТИП УРОКА: повторительно-обобщающий.

ОБОРУДОВАНИЕ: Обобщающая таблица "Молекулярно-кинетическая теория идеального газа", зачетные папки.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Демонстрация кинофильма
4. Задание на дом

ОБОБЩАЮЩАЯ ТАБЛИЦА: МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ

I. Основание

1. **Наблюдения:** испарение, диффузия, растекание капли масла.
2. **Эксперименты:** свойства газов: не сохраняют ни объема, ни формы, заполняя весь предоставленный объем; состоят из большого числа частиц; действуют на поверхность другого тела при соприкосновении с ним; могут находиться в тепловом равновесии с окружающими телами; легко сжимаемы; физические свойства не зависят от их химического состава.
3. **Основные понятия:** молекула, атом, относительная молекулярная масса, количество вещества. Термодинамическая система, тепловое равновесие, термодинамический процесс. Параметры состояния: объем, давление, концентрация, плотность, температура.
4. **Модель:** идеальный газ.

II. Ядро теории

1. **Постулаты:** Все вещество состоит из молекул. Молекулы находятся в беспрерывном хаотическом движении. Молекулы взаимодействуют друг с другом.
2. **Законы:** $p = \frac{2}{3} n\overline{E}_к$, $\overline{E}_к = \frac{3}{2} kT$; p = nkT.
3. **Константы:** $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ 1/моль; $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

III. Следствия:

1. **Формулы – следствия:** p = nkT, закон Авогадро, закон Дальтона, уравнение состояния идеального газа, газовые законы.
2. **Экспериментальная проверка:** опыт Штерна, опытная проверка газовых законов.
3. **Границы применимости:** только для разреженных газов, удовлетворяющих условию идеальности.
4. **Практические применения:** Газ – амортизатор; газ – рабочее тело двигателей; газы в нефтедобыче. Объяснение явлений: диффузия, вязкость, теплопроводность, осмос.

III. Демонстрация фрагмента кинофильма "Использование сжатого воздуха".

Еще раз о границах применимости теории.

"Если бы бог держал в своей правой руке всю истину, а в левой - только вечное стремление её отыскать, с условием, что при этом всегда будут неизбежные ошибки, и сказал бы мне: "Выбирай!", я смиренно указал бы на левую руку и сказал бы: "Создатель! Отдай мне то, что находится в этой руке: абсолютная истина существует лишь для одного тебя".

Лессинг

IV. Осуществить классификацию предложений по структурным элементам плана изучения теории. **Пользуясь планом изучения любой физической теории,** выясните, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. Все вещество состоит из частиц (молекул или атомов).
2. В опыте Штерна средняя скорость атомов серебра при температуре 1200 К оказалась равной 500 м/с.
3. Капля масла растекается по поверхности воды, образуя тонкую пленку.
4. Давление – свойство тел оказывать влияние на данное тело при соприкосновении с ним, измеряемое отношением силы, действующей перпендикулярно поверхности тела, к площади этой поверхности.
5. Число частиц в моле любого вещества равно $6{,}02 \cdot 10^{23}$.
6. Давление газа прямо пропорционально произведению концентрации газа и средней кинетической энергии поступательного движения молекулы.
7. Идеальный газ – модель газа, в которой молекулы представляются материальными точками, между которыми отсутствует взаимодействие на расстоянии.
8. Реальные газы при достаточном разрежении по свойствам близки к идеальному газу.
9. Для данной массы газа при постоянном объеме давление газа прямо пропорционально его температуре.
10. С помощью законов молекулярно-кинетической теории газов удалось объяснить явления диффузии, теплопроводности и вязкости.

V. Краткие итоги главы.

1. Составить рисуночную обобщающую таблицу по молекулярно-кинетической теории газов, используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. В автомобиле к полу веревочкой привязан шар, наполненный гелием. Окна закрыты. Автомобиль начинает двигаться. Что произойдет с шаром: переместится он вперед, назад или останется в прежнем положении?

3. Рецепторы, которые отвечают за восприятие температуры, способны также «срабатывать» на свет и растяжение, а также на разнообразные химические вещества, которые вырабатывают животные и растения. Подтвердите эту гипотезу в опытах.
4. Бутылка – это оболочка, изолирующая содержимое от окружающей среды. Примеры бутылок: скафандр, космический аппарат, баллон лампочки накаливания, клетка, дом, тюрьма, человеческое тело. Представим себе новую науку – флаконику. Какие общие свойства данного объекта она обнаружит, и какие законы установит?
5. Если в однородной среде возникает по каким-либо причинам сгущение - неоднородность радиуса г, то она может либо продолжать уплотняться (расти) под действием собственного тяготения, либо рассасываться (затухать) под действием газового давления. Направление протекания процесса зависит от того, будет ли размер сгущения больше или меньше критического. Оцените этот критический размер.

Естествознание так человечно, так правдиво, что я желаю удачи каждому, кто отдаётся ему…

В. Гёте

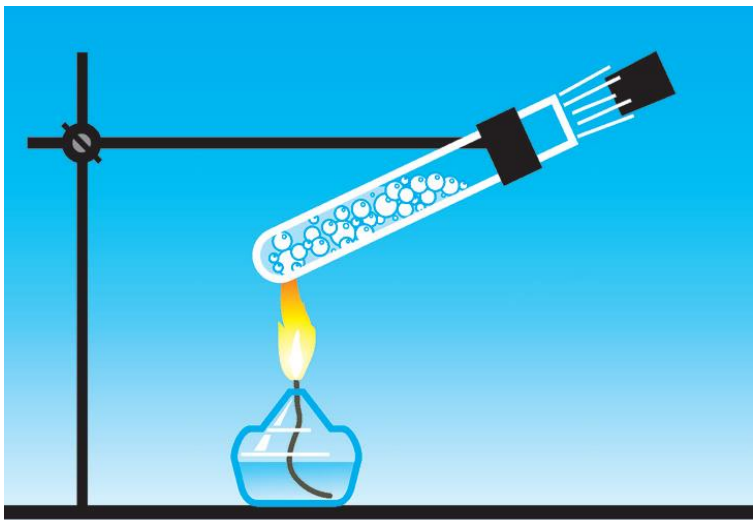
Урок 20.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Вы должны быть честными, а я не должен быть лохом!

Теория оказывается тем более впечатляющей, чем проще ее предпосылки, чем значительнее разнообразие охватываемых ею явлений и чем шире область ее применения. Именно поэтому классическая термодинамика произвела на меня очень глубокое впечатление. Эта единственная общая физическая теория, и я убежден, что в рамках применимости своих основных положений она никогда не будет опровергнута.

А. Эйнштейн.



Нет чудес, которые противоречили бы законам Природы. Чудеса противоречат только нашим представлениям об этих законах.

Августин

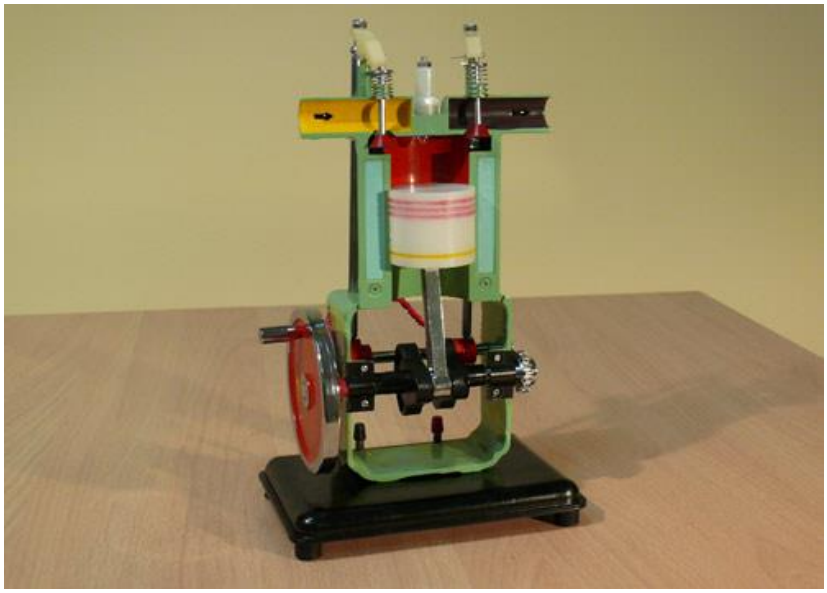
Наиболее верный путь к успеху – все время пробовать еще один раз.

Томас Эдисон

Учитесь у всех, не подражайте никому.

М. Горький

ТЕРМОДИНАМИКА



Вследствие малости частичек вещества движение скрывается от взоров.
Лукреций Кар

Урок 21/1.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ

Сколько будет степеней свободы у замороженного лицеиста? А у отмороженного?

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать общее представление о термодинамическом методе исследования тепловых явлений. Познакомить учащихся с алгоритмом (планом) изучения термодинамики. Ввести и дать определение понятия "Внутренняя энергия".

ТИПУРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: насос вакуумный, сосуд с пробкой, молоток, наковальня, кусок свинца, цифровой электрический термометр.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Лекция
4. Закрепление
5. Задание на лом

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}pV$$

$$U = \frac{5}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{5}{2}pV$$

II. Обобщающее повторение по зачетной палке "Молекулярно-кинетическая теория газов", лист: "Выбери верный ответ".

III. Мы начинаем знакомиться с еще одной теорией тепловых явлений - **термодинамикой** ("терме" - теплота, "динамис" - сила).

Каждому, кому когда-либо приходилось работать летом на открытом воздухе, хорошо известны понятия «тепло» и «работа», связь между которыми изучает термодинамика.

Возникновение термодинамики, как науки о процессах, происходящих в тепловых машинах, т.е. как науки о превращении тепла в работу. Ощущалась острая необходимость в такой теории, ведь паровая энергия была двигателем промышленной революции. Инженерам хотелось сделать свои машины как можно более эффективными.

Ныне ее объектом являются практически любые процессы превращения материи, связанные с поглощением или выделением энергии, совершением работы, переносом вещества и т.д. Термодинамика изучает процессы расширения и сжатия, нагрева и охлаждения, плавления и отвердевания, испарения и конденсации. Законы термодинамики управляют всем - от атомов до живых клеток, от двигателей, питающих энергией мир, до черной дыры в центре галактики. Термодинамика объясняет, почему нам необходимо кушать и дышать, как включается свет и каким будет конец Вселенной. При этом она не вдается во внутреннее строение тел (вещество обладает такими свойствами, которые можно понять, не вдаваясь глубоко в его строение и не зная свойств его атомов). Термодинамические свойства - это свойства большой совокупности частиц, то есть **объектом термодинамики является равновесная термодинамическая система**. **Термодинамика изучает тепловые явления, не вдаваясь во внутреннее строение тел.**

По отношению ко всем этим процессам термодинамика отвечает на **три главных вопроса**:

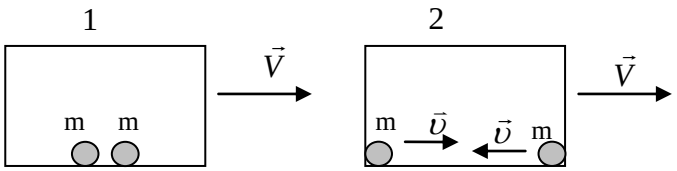
1. **Возможен ли данный процесс при данных условиях?**
2. **Если процесс возможен, то в каком направлении он пойдет?**
3. **Чем процесс закончится?**

Однако логичность и внутренняя согласованность термодинамики будет неполной до тех пор, пока не будет установлена ее связь с атомной моделью строения вещества. Эту связь надо установить. **Основная задача термодинамики** – однозначное описание изменений в термодинамической системе при её переходе из одного состояния в другое.

Как мы будем изучать термодинамику? Наблюдения и эксперименты → основные понятия → основные законы → формулы - следствия → практические применения.

В основе термодинамики лежат три понятия: энергия, энтропия и температура.

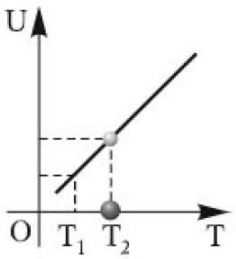
Одно из основных понятий термодинамики - **внутренняя энергия.** Тела обладают внутренней энергией. Она может увеличиваться или уменьшаться. *Примеры.* Вся энергия тела состоит из двух частей: макроскопической энергии и микроскопической. **Макроскопическая энергия - механическая энергия. Микроскопическая энергия - "скрытая".** Пример с двумя движущимися с одинаковой скоростью спичечными коробками массой М, в одном из которых шарики неподвижны относительно коробка, а в другом - движутся с равными скоростями относительно коробка в противоположных направлениях.



$$E_{K1} = \frac{MV^2}{2}; \quad E_{K2} = \frac{MV^2}{2} + 2\left(\frac{m\upsilon^2}{2}\right).$$

Вывод не изменится, если будет отсутствовать корреляция между движениями шариков. Внутренняя энергия тела с точки зрения молекулярно-кинетических представлений:

$$U = \sum_{i=1}^{N} E_{ki} + \sum_{i=1}^{N} E_{ni}$$



Внутренняя энергия идеального одноатомного газа:

$$\overline{E}_{\text{К}} N = (E_{k1} + E_{k2} + ... + E_{kN}) \rightarrow U = \frac{3}{2}\frac{m}{M_B}RT \;\; = U = \frac{3}{2}\nu \cdot R \cdot T = \frac{3}{2}PV$$

В общем случае внутренняя энергия включает в себя:

- **Суммарную кинетическую энергию поступательного и вращательного движения молекул;**
- **Суммарную потенциальную энергию взаимодействия молекул;**
- **Энергию колебательного движения атомов;**
- **Энергию электронных оболочек атомов;**
- **Внутриядерную энергию;**
- **Энергию электромагнитного излучения, обеспечивающего тепловое равновесие между отдельными участками тела.**

Полная энергия, запасенная в теле, измеряется произведением массы тела на квадрат скорости света в вакууме (СТО).

Внутренняя энергия (U) - свойство тела совершать работу или передавать количество теплоты окружающим телам при определенных условиях, измеряемое произведением массы тела на квадрат скорости света.

$$U = m \cdot c^2. \qquad c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

В термодинамике под внутренней энергией тела понимают ту часть его полной внутренней энергии, которая связана с движением и взаимодействием его частиц.

Теплота - есть особая форма энергии (*внутренней*), обусловленная тепловым движением молекул. Температура отражает только кинетическую энергию поступательного движения молекул, а внутренняя энергия означает совокупную энергию всех молекул объекта.

Энергия распределяется равномерно по степеням свободы, поэтому на одну степень свободы приходится $\frac{1}{2} \cdot k \cdot T$. Молекулы идеального одноатомного газа имеют i = 3, поэтому $\overline{E}_K = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$, а **средняя энергия молекулы идеального двухатомного газа** $\overline{E}_K = \frac{5}{2} \cdot k \cdot T$ (i = 5), так как молекула может еще и вращаться относительно двух взаимно перпендикулярных осей. $U = \frac{5}{2} \nu \cdot R \cdot T$

У твердых тел и многоатомных газов $\overline{E} = 3 \cdot k \cdot T$ (i = 6, за исключением CO_2, у которого i = 5). В общем случае: $\overline{E} = \frac{i}{2} \cdot k \cdot T$.

Тепловое равновесие. Температура (T) - свойство равновесной термодинамической системы иметь одинаковую среднюю энергию, приходящуюся на одну степень свободы молекулы, прямо пропорциональное ей, измеряемое термометром в Кельвинах.

В каких случаях внутренняя энергия тела может изменяться? Демонстрации: нагревание куска свинца ударами молота, образование тумана при быстром расширении воздуха в сосуде и т.д. Работу газа, или работу над газом, как и количество теплоты, можно измерить, и, следовательно, определить изменение внутренней энергии газа в конкретном процессе.

Зависимость внутренней энергии от макроскопических параметров тела? U = U (T,V). **У идеального газа: U = U (T).**

IV. *Задачи:*

1. В баллоне находится аргон массой 5 кг при температуре 300 К. Какая полная энергия запасена в аргоне? Чему равна внутренняя энергия газа? Какую часть составляет внутренняя энергия от полной энергии, запасенной в аргоне?
2. Вычислите увеличение внутренней энергии 1 моля идеального одноатомного газа при увеличении его температуры на 1 К. Какую энергию необходимо сообщить газу для этого?
3. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится воздух. Во время

опыта объем воздуха в цилиндре уменьшили в два раза, а его абсолютную температуру увеличили в два раза. Оказалось, однако, что воздух мог просачиваться сквозь зазор вокруг поршня, и за время опыта его давление в цилиндре повысилось только в 3 раза. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия воздуха в цилиндре?

4. Какой энергией теплового движения обладают молекулы двухатомного газа, занимающие при давлении 40 мм рт. ст. объем 10 см^3?
5. Воздух состоит в основном из азота и кислорода. Концентрация молекул азота при этом в 4 раза больше концентрации молекул кислорода. Чему равна кинетическая энергия вращения молекул азота, содержащегося в комнате объемом 60 м^3? Атмосферное давление 10^5 Па.

Вопросы:

1. Почему выскакивают искры при ударе кремния о сталь?
2. Увеличивает ли сильный ветер температуру переносимого им воздуха?
3. Движущийся сосуд, содержащий некоторую массу идеального газа, внезапно останавливается. Что произойдет с давлением газа в сосуде?
4. В сосуде находится смесь азота и неона. Одинаковы ли средние кинетические энергии хаотического движения молекул этих газах?
5. Некий изобретатель объявил, что он придумал машину, которая позволяет из тонны угля получать энергию $9 \cdot 10^{19}$ Дж. Поверите ли вы этому заявлению?
6. При движении сосуда с газом относительно некоторой ИСО, в данной системе отсчета средняя скорость его молекул больше. Не означает ли это, что и температура газа в разных ИСО различна?
7. Внутренняя энергия идеального двухатомного газа определяется формулой $U = \frac{5}{2} pV$. Объясните тогда, зачем мы топим печь, ведь давление и объем газа в комнате не изменяются, а, следовательно, не меняется внутренняя энергия газа. В комнате p = пост., поэтоме $m_1T_1 = m_2T_2$ и U = пост.
8. При достаточно высоких температурах (порядка тысячи или нескольких тысяч градусов) наблюдаются отклонения от закона Менделеева – Клапейрона для газов из многоатомных молекул. Почему?
9. С какой высоты должны упасть на Землю молекулы азота, чтобы их средняя квадратичная скорость оказалась равной 500 м/с?
10. Как изменились бы температура и внутренняя энергия двухатомного газа, если бы внезапно прекратилось бы взаимодействие атомов в молекулах?

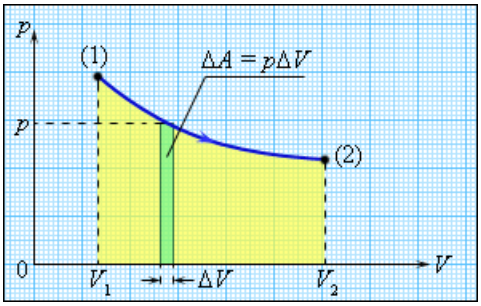
V. § 23. Упр. 6, № 1.

1. Составьте обобщающую таблицу "Внутренняя энергия", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Какова внутренняя энергия 40 м^3 воздуха в комнате при нормальном давлении? 10 МДж
3. Оцените характерную частоту вращения молекул кислорода при комнатной температуре и сравните ее с частотой электромагнитной волны в микроволновой печи (2 - 3 ТГц) и в

световой волне видимого диапазона.

И в этот час печальная природа
Лежит вокруг, вздыхая тяжело,
И снится ей блестящий вал турбины,
И мерный звук разумного труда,
И пенье труб, и зарево платины,
И налитые током провода.

Н.А. Заболоцкий



Урок 22/2.

РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

Чтобы согреть озябшие руки, нужно потереть их.

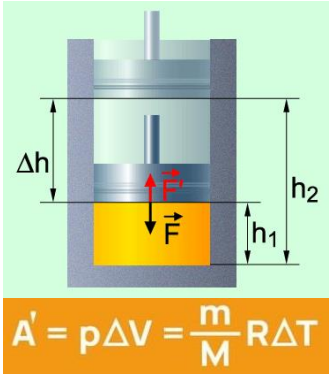
ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о понятии "работа". Научить учеников определять изменение внутренней энергии термодинамической системы по изменению ее внешних параметров.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: стеклянный сосуд с пробкой, насос ручной, гальванометр, термопара, диафильм "Закон сохранения энергии в тепловых процессах".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. *Опрос фундаментальный:* 1. Что и как изучает термодинамика? 2. Внутренняя энергия.

Задачи:

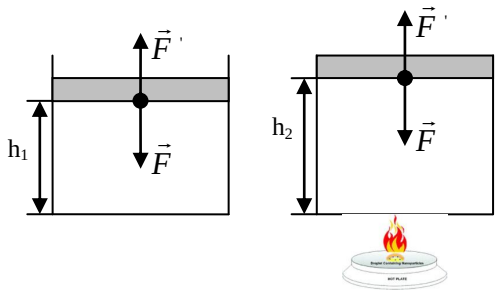
1. Вычислить увеличение внутренней энергии 2 кг водорода при повышении его температуры на 10 К.
2. Какой массы груз можно поднять на высоту 1 м за счет энергии, необходимой для нагревания воздуха в кабинете физики на 1^0С?
3. Закрытый сосуд содержит некоторое количество разреженного газа ксенона при температуре 100 К. Сосуд движется поступательно со скоростью 5 м/с. Какая температура установится в сосуде после того, как его резко остановить? Как изменится ответ, если скорость сосуда составляет 500 м/с?
4. Два моля трехатомного идеального газа изобарически расширяется из состояния с температурой 150^0С и объемом 2 л до объема 5 л. Определить внутреннюю энергию газа в конечном состоянии.
5. В длинной горизонтальной трубе между двумя одинаковыми поршнями массой m каждый находится один моль одноатомного газа. При температуре газа T_0 скорости поршней направлены в одну сторону, и равны υ и 3υ. Какова максимальная температура газа? Труба теплоизолированная, трения нет, массу газа и теплоемкость поршней не учитывать.

6. В компьютерной модели двухмерного газа молекулы представляют собой тонкие невесомые стерженьки длины 1 мм с одинаковыми точечными массами на концах. 10000 таких "молекул" в начальный момент времени движутся "поступательно" с одинаковыми по величине скоростями 1 см/с в квадратном сосуде площади 1 м^2. Все удары гантелей друг о друга и о бортик "сосуда" абсолютно упругие. Оцените среднее время, необходимое для полного оборота гантели после установления движения в системе (движение гантелей плоское).

Вопросы:

1. Если теплота есть не что иное, как движение молекул, то чем отличается горячий, но покоящийся футбольный мяч от холодного, но быстро движущегося?
2. По показаниям термометра или барометра можно судить о внутренней энергии всего воздуха, находящегося в вашей комнате?
3. Объём сосуда с газом увеличили вдвое, выпустив половину газа при неизменной температуре. Как изменились в результате этого давление газа в сосуде, его плотность и внутренняя энергия?
4. Абсолютную температуру газа, находящегося в открытом сосуде, увеличили на 25%. Как при этом изменились: а) давление? б) концентрация молекул газа? в) средняя кинетическая энергия молекулы? г) суммарная кинетическая энергия всех молекул?
5. Идеальный газ сжимают поршнем и одновременно нагревают. Во сколько раз изменится его внутренняя энергия, если объем газа уменьшить в 4 раза, а давление увеличить в 3 раза?
6. При температурах ниже 2,17 К гелий становится сверхтекучим, то есть способным протекать без трения сквозь узкие щели. Почему при этом у оставшегося гелия температура повышается?
7. Несколько частиц сталкиваются так, что максимально возможная часть их кинетической энергии переходит во внутреннюю энергию. Как движутся частицы после столкновения?

III. Как можно изменить внутреннюю энергию тела? Два способа: **1. Совершая работу. 2. Передавая системе некоторое количество теплоты.** *Примеры:* Потирание рук друг о друга, удары молотком по куску свинца (демонстрация), сжатие газа под поршнем (демонстрация). Во всех случаях произведенную работу можно измерить и определить изменение внутренней энергии тела. В качестве примера рассчитаем работу, произведенную газом.



$p = p_0 + \dfrac{mg}{S}$; $A = F \cdot l \cdot cos\alpha$; $l = h_2 - h_1$.

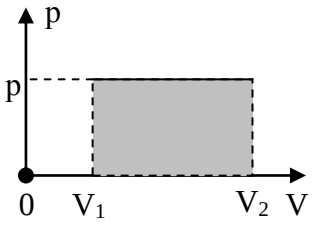
$F' = pS$; $A' = F'(h_2 - h_1) = p(Sh_2 - Sh_1) = p\Delta V$.

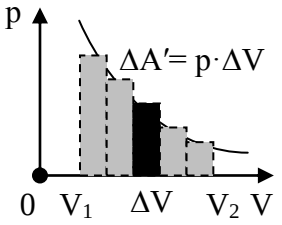
$A' = p\Delta V$ - работа газа при изобарном процессе. $A = -p\Delta V$ – работа внешних сил над газом. При расширении газа $V_2 > V_1$, $A' > 0$, $A < 0$. При сжатии газа $V_2 < V_1$, $A' < 0$, $A > 0$.

Причина изменения внутренней энергии газа при его сжатии (аналогия с футболистом, ударяющим по мячу при встречном движении) – передача упорядоченного движения молекулам газа. *Примеры:* Над телом была совершена работа 500 Дж и его внутренняя энергия ...? Я совершил работу 500 Дж и моя внутренняя энергия уменьшилась на ...? Работа может быть произведена за счет уменьшения внутренней энергии системы, либо за счет сообщения системе некоторого количества теплоты.

Геометрическое истолкование работы. Работа численно равна площади фигуры под графиком давления в координатах p, V.

$A' = \frac{m}{M} R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ **(работа газа в изотермическом процессе).**

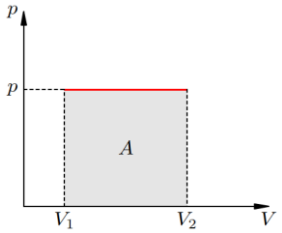




Работа - характеристика способа передачи энергии. Совершая над системой работу, мы вынуждаем ее частицы двигаться упорядоченно, и наоборот, если система совершает работу над окружающими телами, она вызывает в них упорядоченное движение. **Работа – это передача упорядоченного движения (энергии) от одного тела к другому!**

Работа (A') - свойство тела передавать упорядоченное движение другим телам при взаимодействии с ними, приводящее к изменению его внутренней энергии, измеряемое в термодинамике произведением давления на изменение объема газа.

IV. *Задачи:*



1. Какую работу совершит газ, расширяясь при постоянном давлении 3 атм от объема 3 л до объема 18 л?
2. Какую работу произведут 320 г кислорода при изобарном нагревании на 10 К?
3. Воздух, занимающий объем 2 л при давлении 0,8 МПа, изотермически расширился до 10 л. Определите работу, совершенную воздухом.
4. В цилиндре сечением 250 см^2 находится 10 г азота, сжатого невесомым поршнем, на котором лежит гиря массой 12,5 кг. Какую работу произведет газ при нагревании его от 27 до 627^{0}С? Чему равно изменение объема газа? Атмосферное давление 10^5 Па. $p \cdot Sh = p_0 \cdot Sh + mgh$.

   Работа показывает, какая энергию передается от газа поршню (гире) и атмосфере.

   Пиши, давай! А то папе с мамой расскажу! Ты еще не знаешь, что уже знаешь!
5. В сосуде под поршнем находится 1 моль газа. Его температура увеличивается на 1 градус в минуту, а объем за 3 минуты изменился от 30 литров до 31 литра. Давление же газа за это время практически не менялось. Найти это давление.

V. § 24. Упр. 6, № 2-4.

1. Составьте обобщающую таблицу "Работа", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

2. Оцените скорость, которую бы приобрели осколки закупоренной бутылки с водой, если бы притяжение между молекулами воды внезапно исчезло.
3. Почему при надувании воздушного шарика сначала надувать его очень трудно, а по мере увеличения объема все легче?
4. Вы хотите построить установку, использующую среднесуточный перепад давлений 100 Па для получения механической энергии. Считая, что температура в комнате постоянна, оцените максимальный выход механической энергии за месяц от установки с рабочим объемом 1 м^3.

Если теплота не есть субстанция, то она должна быть качеством: и это качество может быть только движением ...

Т. Юнг

Урок 23/3.

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Что будет горячее в 40-градусную жару: металл или дерево?

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о понятии "количество теплоты". Научить учащихся определять изменение внутренней энергии термодинамической системы по изменению ее внутренних параметров.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: калориметр, прибор Тиндаля, нагреватель, термометр, диафильм "Закон сохранения энергии в тепловых процессах".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Работа в термодинамике. 2. Работа газа в изопроцессах.

Задачи:

1. Пар совершает работу 20 кДж по перемещению поршня площадью 200 см^2. При этом давление пара убывает от 2 МПа до 0,1 МПа. Считая зависимость давления от объема линейной, определите расстояние, на которое переместится поршень.
2. Для движения торпеды используется двигатель, работающий на сжатом воздухе. Определите полезную максимальную работу, производимую двигателем, если объем сжатого воздуха 0,2 м^3, давление сжатого воздуха $2\cdot10^7$ Па. Торпеда отрегулирована на движение в воде на глубине 3 м. Процесс изотермический. Считая движение торпеды равномерным, определите силу тяги двигателя, если радиус действия торпеды 2 км.
3. При изотермическом расширении от 0,1 м^3 трех молей газа его давление меняется от 4,48 атм до 1 атм. Найти совершаемую при этом работу и температуру, при которой протекает процесс.
4. Вертикально стоящий цилиндр перекрыт поршнем площадью S и массой M. Между поршнем и цилиндром есть трение. Поршень начнет опускаться, если

на него надавить силой F_1, и подниматься, если его потянуть вверх силой F_2. Найдите давление в цилиндре, если атмосферное давление равно p_0.

5. На расстоянии 10 км от эпицентра взрыва первой атомной бомбы Энрико Ферми держал на ладони мелкие бумажки, которые ударная волна снесла на 1 м. Оцените по этим данным энергию, выделившуюся при взрыве атомной бомбы. Площадь поверхности шара в 4 раза больше площади круга такого же радиуса (Архимед).

При въезде в США для проверки уровня образования нобелевского лауреата Энрико Ферми попросили найти сумму: 15 + 27 = ?

Вопросы:

1. Начальное состояние газа характеризуется параметрам P_0 и V_0. При изотермическом или изобарном расширении до некоторого объема газ произведет большую работу?
2. Какая из шин автомобиля нагреется больше при его движении – слабо или сильно накачанная?
3. Что общего между сжатой пружиной и сжатым газом?
4. Со дна водоема поднимается пузырек воздуха. Совершает ли газ работу?
5. Кедровые орешки помещают в герметичный объем и выдерживают под большим давлением. Затем резко сбрасывают давление, и скорлупа разлетается. Почему и как это происходит?
6. Правда ли, что нагревание в микроволновке пищи на самом деле происходит из-за трения?
7. Почему в горных районах выпадает значительно больше снега и дождя, чем на равнинах?
8. Одинаковые массы водорода и кислорода изобарно нагревают на одинаковое число градусов. Во сколько раз работа, совершаемая водородом, больше чем кислородом?
9. С неподвижным шаром сталкивается движущийся шар такой же массы, после чего они движутся как одно целое. Какая доля механической энергии перешла во внутреннюю энергию?

III. Второй способ изменения внутренней энергий тела - сообщение ему некоторого **количества теплоты.**

Теплообмен - самопроизвольный процесс переноса теплоты, обусловленный разностью температур. Что происходит, когда мы сообщаем телу тепло?

Удельная теплоемкость (с) – свойство вещества накапливать тепло, измеряемое отношением количества теплоты, которое получает или отдает данное вещество, к произведению его массы на изменение температуры. *Примеры:* c_{H_2O}= 4190Дж/(кг·К), c_{Al} = 880Дж/(кг·К), $c_{Тч}$ = 3470 Дж/(кг·К). Удельная теплоёмкость слабо растёт с температурой (при 90^0С теплоёмкость воды составляет 4220 Дж/(кг×К)). Сильно меняется при фазовых превращениях вещества (т.е. при

изменении его агрегатного состояния): теплоёмкость льда при 0^0С в два раза меньше, чем воды; теплоёмкость водяного пара при 100^0С около 1500 Дж/(кг×К).

Расчет количества теплоты (передаваемой тепловой энергии):

$$Q = mc\Delta T = mc\,(T_2 - T_1) = C\cdot\Delta T.$$

Если тело получает тепло, то Q >0, а если отдает, то Q <0. Но есть такие процессы, при которых тело получает или отдает количество теплоты, но его температура не изменяется (ΔT=0) и пользоваться формулой нельзя (пример с кипящей водой). Почему зимой у уток не мерзнут лапы?

Теплота фазовых переходов. 1. Удельная теплота парообразования и конденсации (r) - количество теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг жидкости в пар при температуре кипения.

Для нагревания воды от 0 до 100 °С требуется намного меньше энергии (в пять раз), чем для превращения того же количества воды в пар при 100 °С.

Q = mr – формула для расчета количестве теплоты при парообразовании и конденсации.

Примеры: r_{H_2O} = 2,26·10^6 Дж/кг. Почему вода гасит огонь? Почему теплый влажный воздух может подниматься на высоту до 15 км (кучевые облака)?

2. Удельная теплота плавления и кристаллизации (λ) — количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкость той же температуры.

Q = λm – формула для расчета количества теплоты при плавлении и кристаллизации. Почему вороны поздней осенью предпочитают сидеть на льду?

Удельная теплота сгорания (q) – свойство топлива выделять теплоту при его сгорании, измеряемое отношением выделившегося количества теплоты, к массе полностью сгоревшего топлива.

Q = mq - формула для расчета количества теплоты при сгорании топлива.

Пример: Человек, "сжигая" пищу в кислороде, увеличивает свою внутреннюю энергию.

Титан, один из спутников Сатурна, буквально завален топливом, которое мы могли бы добывать и сжигать, так почему же он не взорвется, если зажечь там спичку?

Древесный уголь – обожженное в печи без доступа воздуха дерево, чтобы отогнать летучие смолы.

Вещество	k , Вт/(м·К)
Кирпич красный	0,77
Древесина (сосна)	0,15 (поперек волокон)
Древесина (сосна)	0,36 (вдоль волокон)
Пенопласт	0,035
Железобетон	2,33
Снег	0,11
(неуплотненный)	0,48
Снег (уплотненный)	0,025

Теплопроводность - это свойство материала, определяющее его способность передавать энергию в виде тепла. Закон Фурье: $Q = k\dfrac{\Delta T}{\ell}S\cdot\tau$ **,** где ΔT - разность температур внутренней и наружной поверхности стены, S – площадь поверхности, ℓ - толщина стены, k - коэффициент теплопроводности. Рекордсменом по теплопроводности во всех направлениях является, например, алмаз. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности? Почему можно прикоснуться к нагретому до белого каления куску стекла и не обжечь руку? Каково это – жить в шкуре козла?

Измерение количества теплоты. **Калориметр. Уравнение теплового баланса. Количество теплоты** - характеристика способа передачи энергии. Нагревая

тело, мы всегда передаем ему неупорядоченное движение.

Дополнительная информация. **Калориметр** - это прибор для измерения количества теплоты, которое выделяется или поглощается в каком-либо процессе (физическом, химическом, биологическом). Принцип работы у прибора простой. Что-то внутри сосуда выделяет тепло, например, горит какой-то объект. Вокруг этого объекта есть второй сосуд с водой (как стакан в стакане), который нагревается. К воде подведен термометр, который следит за изменением температуры. И все это еще окружено теплоизоляцией, чтобы температура менялась только от протекающих внутри процессов. Когда А. Лавуазье и П. Лаплас создавали первый в мире калориметр, он выглядел громоздко, а во втором сосуде была не вода, а лед. При нагревании лед плавился, и вода вытекала через краник: по количеству воды можно было сказать, какое количество теплоты передалось льду.

Интересный факт. В квартире Э. Ферми было холодно, и жена предложила вставить вторые рамы. Ученый решил сначала теоретически рассчитать, какой эффект дадут эти рамы. Расчеты показали, что эффект незначителен. Жена не прислушалась к этим доводам и все-таки вставила рамы. В квартире стало заметно теплее. Ферми удивился, вернулся к расчетам и обнаружил ошибку.

Количества теплоты (Q) – свойство тела передавать хаотическое движение другим телам при теплообмене, приводящее к изменению его внутренней энергии, измеряемое при нагревании произведением теплоемкости тела на изменение его температуры.

IV. *Задачи:*

1. Смешали 6 кг воды при 90^0С и 4 кг спирта при 23^0С. Какова температура смеси? Формула домохозяек! $t = \frac{m_1c_1t_1 + m_2c_2t_2}{m_1c_1 + m_2c_2}$
2. В калориметре находится 2 кг воды при температуре 5^0С. Туда опускают кусок льда массой 5 кг при температуре - 40^0С. Какая температура установится в состоянии теплового равновесия? Сколько льда будет в калориметре?
3. Вода при соблюдении необходимых предосторожностей может быть переохлаждена до температуры – 10^0С. Какая масса льда образуется из 1 кг такой воды, если бросить в нее маленький кусок льда и тем вызвать замерзание.

Обледенение самолетов, попавших в облако, состоящее из переохлажденной воды; гололед; обледенение проводов и ветвей деревьев. Рекордно низкая температура переохлажденной воды – $42{,}55^0$С. Вода может оставаться жидкой при -138^0С. Для этого надо, чтобы в ней отсутствовали любые, даже самые крохотные пылинки, кусочки льда, т.д. Потому что именно они становятся той «основой», вокруг которой вырастает снежинка или градина. Точно по такому же принципу замерзают и естественные водоёмы.

4. При температуре на улице -20^0С работающая батарея поддерживает в комнате температуру 16^0С. Когда кроме батареи включили электроплитку мощностью 1 кВт, в комнате установилась температура 22^0С. Определите тепловую мощность батареи.
5. Какое количество теплоты за сутки теряет человек путем теплопроводности через кожу, если считать коэффициент теплопроводности кожи равным 0,25 Вт/(м·К)? Поверхность тела 1,8 м^2, толщина кожи 2 мм, разность температур на наружной и внутренней поверхностях $0{,}1^0$С.

Вопросы:

1. Верно ли, что при теплообмене тепло всегда передается от тела с большей внутренней энергией к телу с меньшей внутренней энергией?
2. Можно ли довести воду до кипения, подогревая ее стоградусным паром при нормальном атмосферном давлении?
3. Почему теплоизоляционные свойства пенопласта почти в 20 раз лучше, чем кирпича?
4. На одинаковые плитки поставили две одинаковые кастрюли с равным количеством воды при одной и той же температуре. Через некоторое время в первую кастрюлю долили немного воды из кипящего чайника. В какой из кастрюль вода закипит быстрее?
5. Зачем при кипячении дистиллированной воды в нее кладут пористый камень?
6. Чашки для чая имеют форму с заметным расширением к верхнему краю. Зачем?
7. Если на тебя одеты металлические предметы, то ожог в парилке обеспечен. Почему?
8. Почему секциям батарей центрального отопления придают ребристую форму, а не круглую, как у обычных труб?
9. Почему сырые дрова горят хуже сухих и дают меньше тепла?
10. Почему дети замерзают в холодной воде быстрее взрослых?
11. Назовите хотя бы две причины, почему калориметры делают из металла, а не из стекла.
12. Стог сена производит тепловую энергию за счет процессов гниения. Иногда плохо просушенный стог может самовоспламениться (аналогия с разогревом Земли). Почему? Почему нельзя ворошить стог с целью остудить его?
13. Почему размеры млекопитающих резко возрастали в эпохи, отличающиеся холодным климатом?
14. Почему при увеличении солености увеличивается теплопроводность воды, а теплоемкость уменьшается?
15. Два одинаковых термометра выставлены на солнце. Шарик одного из них закопчен, а другого – нет. Одинаковую ли температуру покажут термометры?
16. Почему теплопроводность древесины поперек волокон почти в два раза меньше, чем вдоль волокон?
17. Почему процесс остывания чая в чашке очень трудно рассчитать?
18. Почему, несмотря на очень большую температуру, ядро Земли находится в твердом состоянии?

19. В зимний день температура внутренней поверхности стены много ниже температуры помещения, а температура наружной поверхности стены много выше температуры наружного воздуха. Объясните это.
20. Почему скорость остывания стакана с кипятком в диапазоне температур 75 – 100^0С заметно больше, чем, например, в диапазоне 75 – 50^0С?
21. Какие явления будут наблюдаться, если стакан с водой выставить на солнечный свет?
22. Нынче модны чашки (пиалы) с двойным дном - в таких ёмкостях горячий напиток остывает медленнее. Почему?
23. В трубах подземных частей зданий вода часто замерзает не в мороз, а в оттепель. Чем это объяснить?
24. Почему наночастицы металла нагреваются гораздо быстрее, чем такой же массы кусок металла?

V. § 25. Упр. 6, № 5,13,14.

1. Составить обобщающую таблицу "Количество теплоты", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Какие из усовершенствований наиболее эффективно уменьшают расход энергии на охлаждение жилищ летом?
   - Вместо компрессора и фреона использовать в кондиционерах испарение воды.
   - Делать наружные стены и крыши домов белыми.
   - В жару орошать крышу мелко распыленной водой.
   - Использовать оконные стекла, не пропускающие инфракрасные лучи.
   - Сажать вдоль домов пышную растительность, экранирующую тепло.
3. В сосуде находятся в тепловом равновесии лед и вода одной и той же массы. В сосуд впускают пар при температуре 100^0С и в том же количестве. Какая установится конечная температура? Потерями тепла пренебречь.
4. Построить график зависимости температуры плавления элемента от его порядкового номера и периодической таблице и попытайтесь объяснить эту зависимость на основе известных вам сведений о строении атома.
5. Оцените высоту падения, на которой застывает расплавленная свинцовая капля.
6. Выведите формулу для скорости остывания нагретого тела.
7. До какой минимальной температуры можно охладить пластиковую бутылку с кипяченой водой, не превращая ее в лед? Если встряхнуть бутылку с переохлажденной водой и слить незамерзшую воду через марлю, то, измерив массу льда, можно оценить эту температуру. Попробуйте это сделать.
8. Почему вода в пластиковой бутылке, выставленной на холод, начинает замерзать от стенок? Почему цепочка воздушных пузырьков в воде, замерзшей в пластиковой бутылке, тянется от стенок бутылки почти до ее середины?
9. Фурье сопровождал Наполеона во время Египетского похода. После возвращения он все время мерз и носил пальто даже в жару. Забавно, что хоть он был экспертом в области теплопроводности, но сохранить тепло в собственном теле был не в состоянии. Почему?
10. Температура воздуха над гладкой поверхностью водоема понизилась настолько, что вода покрылась корочкой льда. По какому закону должна изменяться температура воздуха надо льдом, чтобы толщина льда увеличивалась со временем равномерно?
11. Тепловая трубка (heat pipe) — элемент системы охлаждения, принцип работы которого основан на том, что в закрытых трубках из теплопроводящего металла (например, меди) находится легкокипящая жидкость. Каков принцип ее действия?

Из таких же исследований всех других известных физических и химических процессов следует вывод, что природа как целое содержит определенный запас энергии, который не может быть ни уменьшен, ни увеличен; и что поэтому количество энергии в природе вечно и неизменно.

Гельмгольц

Урок 24/ 4.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Главный бухгалтер Природы!

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с содержанием и дать формулировку первого закона термодинамики, научить учеников применять его для решения задач.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: термометр электрический, наковальня, молоток, свинцовая пластинка, тонкий картон, две одинаковые пробирки с водой. Трубка латунная, шнур, эфир, диафильм "Закон сохранения энергии в тепловых процессах".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Количество теплоты. 2. Уравнение теплового баланса.

Задачи:

1. В двух сосудах объемом 1 л и 2 л содержится один и тот же газ с одной и той же концентрацией молекул. В первом сосуде температура 300 К, во втором - 350 К. Определить, какая установится температура, если сосуды привести в тепловой контакт. Теплообмена с окружающей средой нет.
2. В калориметр, где находится 1 кг льда при температуре 0^0С, впускают 500 г водяного пара при температуре 100^0С. Какая температура установится после того, как произойдет теплообмен? Теплоемкостью калориметра можно пренебречь.
3. Рассчитайте количество теплоты, теряемое за сутки, через оконный проём со стеклопакетом, если известно, что сторона квадратного окна 1 м, толщина стеклопакета 0,5 см, температура в комнате 21^0С, на улице 0^0С. k – удельная теплопроводность вещества, равная для стекла 0,84 Вт/ (м · К).

Вопросы:

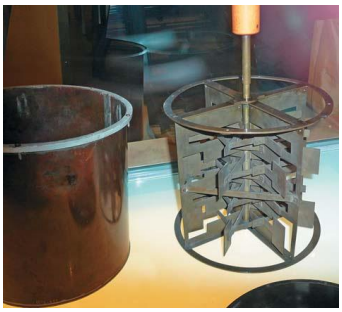
1. Каким кипятильником можно вскипятить воду в кастрюле с меньше затратой энергии, если их мощности 600 Вт и 1 кВт?
2. Можно ли ускорить закипание воды в чайнике, долив в неё горячей воды?
3. Почему теплота испарения вещества больше его теплоты плавления?
4. Чем отличаются различные способы изменения внутренней энергии тела и

что между ними общего?

5. Что происходит, когда изменяется температура, а что – когда сообщается тепло?
6. Можно ли говорить о количестве теплоты и работы, запасенной системой?
7. Если просунуть руку в кастрюлю с кипящей водой, то ожога не избежать, а если просунуть руку в горячую духовку с температурой 300^0С, то ожог маловероятен. Почему?
8. В термосе минимизированы все три типа теплопередачи. Так ли это?
9. От чего зависит количество переданной теплоты от нагретого тела в окружающую среду?
10. Почему алмазы всегда холодные?
11. Если годовой сток рек станет меньше, то и зима будет холоднее. Почему?
12. Стакан наполовину заполнен кипятком. В каком случае вода остынет в большей степени: 1) если подождать 5 минут, а потом долить в стакан холодную воду; 2) если сразу долить холодную воду, а затем подождать 5 минут?
13. Что охлаждается быстрее – ванна, наполненная горячей водой, или стакан с горячим чаем? Почему?
14. Почему у льда при понижении температуры теплоемкость уменьшается, а теплопроводность увеличивается?
15. Почему в приморских странах климат всегда умереннее и ровнее, чем в странах, лежащих внутри материков?
16. Если в стакан кипятка налить тонкий слой масла, то скорость остывания воды значительно уменьшается. Почему?
17. Конькобежец решил затормозить и свел вместе пятки, а носки расставил врозь (обычно тормозят наоборот). Как он будет двигаться дальше, если будет удерживать ступни в этом положении?

III. *...вещи не могут ни создаваться из ничего, ни однажды возникнув вновь обращаться в ничто...*

Лукреций



Демонстрация нагревания свинцовой пластинки молотком и электроплиткой. Нагревание воды во время шторма (Майер). Сверление пушечных стволов (опыт Румфорда). Сверло приводили во вращение, и через два с половиной часа вода нагревалась до кипения. При сверлении тупым сверлом совершалась большая работа и, следовательно, сильнее нагревалась деталь. Джоулю удалось показать, что уже даже при обычном перемешивании воды в горшке ее температура повышается.

Джоуль пытался понять закономерности в электрических и тепловых процессах, но измерительные приборы того времени были очень грубыми и мало на что годились. Тогда

учёный с помощью опыта пивовара создал собственные высокоточные измерительные приборы для контроля экспериментов. Это помогло Джоулю вывести закон сохранения энергии, открыть закон теплового действия электрического тока, явление магнитострикции, изучить основы термодинамики и физики низких температур.

Механический эквивалент теплоты (Джоуль): 4,1858 Дж/кал ≈ 4,19 Дж/кал.

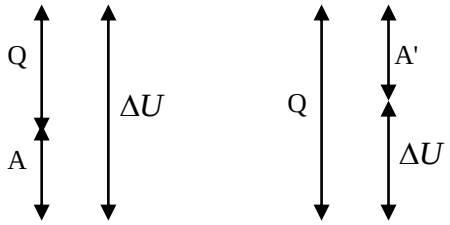
... повсюду, где происходит уничтожение движущей силы, возникает одновременно теплота в количестве, пропорциональном количеству исчезнувшей движущей силы.

С. Карно

Первый закон термодинамики - это закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления (1842 г).

Закон гласит, что энергию нельзя ни создать, ни уничтожить, а только преобразовать из одного вида в другой или передать от одного тела к другому. Независимо от преобразований между различными видами энергии суммарные количества «начальной» и «конечной» энергии в любой физической системе в сумме всегда должны давать одно и то же. **Историческая справка.** Джоуль — один из трех авторов этого закона. Два других — немецкий врач Ю. Р. фон Майер и немецкий же естествоиспытатель Г. Л. Ф. фон Гельмгольц — ответственны главным образом за математическое (Гельмгольц) обоснование закона сохранения энергии и его обоснование с точки зрения теории познания (Майер).

Теплота представляет собой особую форму энергии и должна учитываться в законе сохранения и превращения энергии! Первое начало термодинамики - один из трех основных законов термодинамики, представляющий собой закон сохранения энергии для систем, в которых существенное значение имеют тепловые процессы.



$$A + Q = \Delta U$$

$$\boxed{Q = \Delta U + A'}$$

У этого закона, насколько нам известно, нет известных исключений - он точный.

Фейнман

Пример: Когда мы сжимаем снежок руками, то произведенная нами работа и переданное количество теплоты идут на увеличение внутренней энергии снежка. Часть снега плавится, а образовавшаяся вода, замерзая, образует прочные связи.

Почему венозная кровь у жителей тропиков светлая? Почему скользят сани?

С древних времен, с тех пор как существует изучение природы, оно имеет перед собой в качестве идеала конечную, высшую задачу: объединить пестрое множество физических явлений в единую систему, а если возможно, то в одну даже единственную формулу.

М. Планк

Следствия:

1. **Внутренняя энергия замкнутой системы остается с течением времени неизменной.** Если $Q = 0$ и $A = 0$, то $\Delta U = 0$.
2. **Невозможно создать вечный двигатель** (лат. perpetuum mobile — перпетуум мобиле). Если $Q = 0$, то $A' = -\Delta U$.

Вечный двигатель 1-го рода - воображаемая, непрерывно действующая машина, которая, будучи раз запущенной, совершала бы работу без получения энергии извне (совершала бы полезную работу большую, чем количество сообщённой ей энергии).

Даже если это и неправда, все равно отлично придумано.

Джордано Бруно, «О героическом энтузиазме» (1585)

Когда сказали: «*невозможно построить вечный двигатель*» – возникла

термодинамика!

Прозорливость французской Академии наук, которая еще в 1775 г., задолго до открытия закона сохранения энергии (середина XIX века), решили не принимать к рассмотрению проекты вечных двигателей.

Первый закон термодинамики – главный бухгалтер природы! Если кто-то получал 5 рублей, а 3 из них израсходовал, то у него осталось 2 рубля.

IV. *Задачи:*

1. Свинцовая пуля летит со скоростью 200 м/с и попадает в земляной вал. На сколько градусов нагреется пуля, если 75% кинетической энергии пули превратится во внутреннюю энергию?
2. Пятью ударами молотка гвоздь забили в деревянную стену. Какую силу нужно приложить к шляпке гвоздя, чтобы выдернуть его? Масса молота 200 г, скорость перед ударом 5 м/с, длина гвоздя 10 см.

Время, в течение которого молоток или пуля действуют с какой-то силой на твердое тело, составляет около сотой доли секунды. А это намного больше времени, потребного для отвода энергии от точки удара. От этой точки при ударе излучается целая серия волн напряжений, которые распространяются по всему объему тела.

3. Кусок льда всплывает с глубины 500 м. Оцените, какая часть льда растает. Температура воды и льда 0^0С, удельная теплота плавления льда $3{,}3 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Вопросы:

1. В процессе сжатия над газом совершена работа 60 МДж, при этом он передал окружающей среде 40 МДж тепла. Определите изменение внутренней энергии тела.
2. Помешивая ложечкой горячий чай, мы вызываем его охлаждение. Почему?
3. В 1807 г. физик Ж. Гей-Люссак, изучая свойства газов, установил, что сжатый газ, расширяясь в пустоту, не охлаждается, а при расширении в атмосферу – охлаждается. Почему?
4. Два одинаковых стальных шарика упали с одной и той же высоты. Первый упал в вязкий грунт, а второй, ударившись о камень, отскочил и был пойман рукой на некоторой высоте. Какой из шариков больше нагрелся?
5. Объясните, почему и как трение между движущимися частями машины приводит к выделению тепла.
6. В результате совершения работы и получения количества теплоты 5 кДж внутренняя энергия идеального газа увеличилась на 8 кДж. Какая работа была им совершена?
7. Какова наиболее вероятная последовательность превращения различных видов энергии при рубке дров топором?
8. Звёзды образуются путём сжатия под действием собственной гравитации. Почему при этом возрастает температура звезды?

V. § 26. Упр. 6, № 3-6.

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности ученых, открывших первый закон термодинамики.

2. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется при постоянном давлении?
3. Почему дрожат замерзшие люди и животные?
4. Почему при посадке самолета идет дым от колес. Оценить количество тепла, выделяемого при торможении.

За основу тут мы берем положение такое: из ничего не творится ничто.
Лукреций

Урок 25/5. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

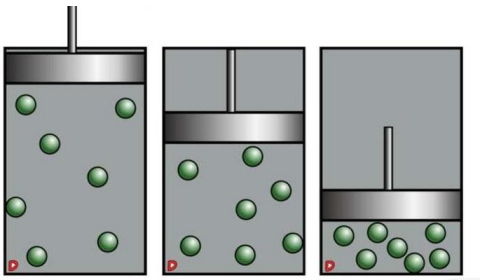
Вечное движение не есть вечный двигатель!

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учащихся применять первый закон термодинамики к изопроцессам. Дать представление об адиабатном процессе.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: воздушное огниво, серный эфир, вата.

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Первый закон термодинамики. 2. Следствия первого закона термодинамики.

Задачи:

1. Один моль инертного газа сжали, совершив работу 600 Дж. В результате сжатия температура газа повысилась на 40^0С. Какое количество теплоты отдал газ?
2. При сообщении идеальному газу количества теплоты Q газ совершает работу A′. Какой была внутренняя энергия газа U_1, если его температура возросла в 4 раза?
3. На сколько изменится температура каждого из двух одинаковых шаров в результате лобового удара, если скорость налетающего шара уменьшилась с 10 м/с до 4 м/с. Второй шар до удара покоился. Удельная теплоемкость материала шаров 300 Дж/(кг·К).
4. Порция азота занимает объем 20 л при давлении 0,5 атм и температуре 300 К. С газом производят следующий процесс: ему медленно сообщают количество теплоты 300 Дж, при этом температура газа увеличивается на 10 К. Сжимается газ или расширяется?
5. Теплоизолированный цилиндрический сосуд разделен на две части неподвижной непроницаемой перегородкой. По одну сторону от перегородки находятся 2 моля одноатомного газа при температуре 300 К, а по другую - 3 моля одноатомного газа при температуре 400 К. Какая температура установится в сосуде, если перегородку убрать? Газы считать идеальными.

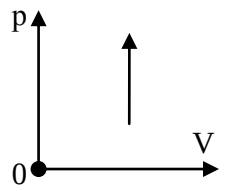
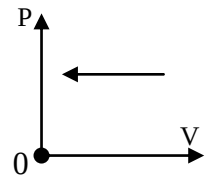
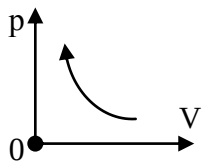
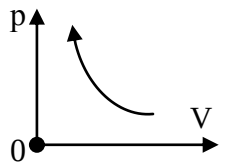
Вопросы:

1. Почему при слабом морозе снежок слепить легко, а при сильном это сделать невозможно?
2. Почему пушечный ствол от холостого выстрела нагревается сильнее, чем от

выстрела со снарядом?

3. Газ совершает работу 2 кДж при передаче ему количества теплоты 7 кДж. Чему равно изменение внутренней энергии газа?
4. За счет, какой энергии совершается работа по перемещению ртути в термометре для измерения температуры тела?
5. Идеальный газ занимает половину теплоизолированного сосуда, в другой половине которого вакуум. Что произойдет с температурой газа, если мгновенно убрать разделительную перегородку?

III. Если термодинамические процессы не протекают, то система находится в равновесном состоянии. Параметры системы взаимосвязаны, когда изменяется один параметр, то и изменяются другие параметры. **Основные формулы**: $A + Q = \Delta U$; $A' = p\Delta V$; $Q = \Delta U + A'$; $A = -p\Delta V$; $U = U(T)$ – для идеального газа.

Процесс	Условия	Направле - ние процесса	Конечный результат	Формула – закон	График
Изохорное нагревание	$V=const$ $Q>0$	$A'=0$, $\Delta U>0$	*T-увел.* *p - увел.*	$Q=\Delta U$	
Изобарное охлаждение (сжатие)	$p=const$ $Q<0$	$A>0$, $\Delta U<0$	*T-уменьш.* *V-уменьш.*	$Q+A=\Delta U$	
Изотермическое сжатие	$T=const$ $A>0$	$\Delta U=0$, $Q<0$	*V- уменьш.* *p - увел.*	$A= -Q$	
Адиабатное сжатие	$Q=0, A>0$	$\Delta U>0$	*V- уменьш.* *T-увел.* *p - увел.*	$A= \Delta U$	

Демонстрация **адиабатного процесса**. *Примеры:* подъем теплого влажного воздуха вверх и образование облаков. Если газ резко сжимается, то он нагревается. Если резко расширяется, то он охлаждается (на этом принципе основана работа охлаждающих систем).

Адиабатный процесс протекает в термодинамической системе без теплообмена с окружающей средой.

Российско-европейский рентгеновский лазер XFEL стал самым мощным и быстрым "кипятильником" Земли, разогрев воду до температуры в $1{,}6\cdot10^5$ К за десятую долю пикосекунды и превратив ее в экзотическую форму материи, ранее неизвестную ученым.

При облучении подобным импульсом электроны оторвутся от своих молекул, межатомные связи разрушатся, вещество ионизируется, и между атомами возникнет сильная отталкивающая сила, которая будет эффективно их разгонять.

Всегда выбирайте самый трудный путь — там вы не встретите конкурентов.

Шарль де Голль

IV. Что нужно, чтобы изучить какую-либо термодинамическую систему?

1. Определить работу, совершаемую в данном процессе.
2. Определить изменение внутренней энергии системы.
3. Определить количество теплоты, которое вошло в систему или которое отдала система.
4. Установить связи между отдельными величинами, которые характеризуют состояние рабочего тела (газа)

Задачи:

1. При изобарном ($p = 9 \cdot 10^6$ Па) расширении на 0,5 м^3 газ совершил работу. В процессе расширения газу передано количество теплоты $13{,}25 \cdot 10^6$ Дж. Рассчитайте изменение внутренней энергии газа.
2. Для изобарного нагревания 800 молей газа на 500 К газу сообщили количество теплоты 8,3 МДж. Определить работу газа и приращение его внутренней энергии.
3. Два моля кислорода очень быстро сжали, совершив при этом работу 300 Дж. Что произошло с температурой кислорода? Чему равно ее изменение?

Вопросы:

1. Почему нагревается обшивка летательного аппарата при его движении в атмосфере Земли (разогрев атмосферного столба до 33000^{0}С при падении астероида)?
2. Чем отличается процесс изотермического расширения газа от процесса его изобарного нагревания и что между ними общего?
3. При работе пневматического молота, работающего сжатым воздухом, наблюдается обмерзание молота снаружи. Как объяснить охлаждение молота?
4. Какую работу произвел газ, если он получил количество теплоты 300 Дж, а его внутренняя энергия увеличилась на 200 Дж?
5. Газ в адиабатном процессе совершает отрицательную работу. Что при этом происходит с его внутренней энергией?
6. Объясните, почему кусок резины нагревается, если его растянуть?
7. У одинаковых количеств одно - и двухатомного газа одинаково изменили температуру. Одинаковое ли количество теплоты потребовалось?
8. В адиабатном процессе внутренняя энергия 1 моль разреженного гелия увеличивается. Как изменяются при этом температура гелия, его давление и объём?
9. Почему вам не поможет печенье с шоколадом сразу после того, как

вы заберетесь на крышу небоскреба?

10. Из начального состояния до некоторого объема газ расширяется в одном случае изотермически, в другом адиабатно. В каком из этих процессов окончательное давление больше, и в каком совершается большая работа?
11. Самая низкая температура во Вселенной – 270,5^{0}С. Почему в быстро расширяющейся туманности Бумеранг она достигает – 272^{0}С?
12. Каковы возможные причины охлаждения поверхности океана на 2 – 3^{0}С в зоне действия сильного подводного землетрясения?
13. Ракета стартует с Земли и разгоняется до нужной скорости. Нагревается ли при разгоне воздух внутри ракеты? Стенки ракеты нетеплопроводные.

V. 27. Упр. 6, № 8 – 10.

1. Сухой воздух переносится слабым ветром через горный перевал высотой 1 км. Оцените, насколько температура воздуха на перевале ниже, чем у подножья гор.
2. Сколько времени понадобится для того, чтобы приготовить чашку горячего кофе за счет энергии хомячка, бегущего в колесе?
3. Один моль идеального одноатомного газа при температуре 290 К расширяется изобарно до тех пор, пока его объем не увеличится в 2 раза. Затем газ нагревают изохорно так, что его давление увеличивается в 3 раза. Найдите изменение внутренней энергии газа.
4. В ветреную погоду у людей отмерзает носы. Между тем приходится читать о том, что метеориты раскаляются от трения о воздух. Почему не нагревается нос?
5. Составьте обобщающую таблицу "Первый закон термодинамики", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

Учение - это труд, непременно труд, а не развлечение.

И.К. Кикоин

Урок 26/6.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

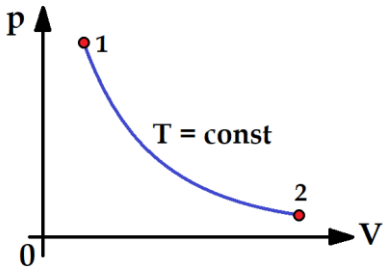
Отчего не встречаются млекопитающие размером с муху?

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников применять первый закон термодинамики при решении задач.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

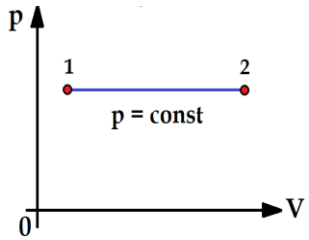
ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Применения первого начала термодинамики в изопроцессах. 2. Адиабатный процесс.

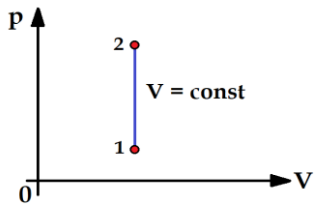
Задачи:



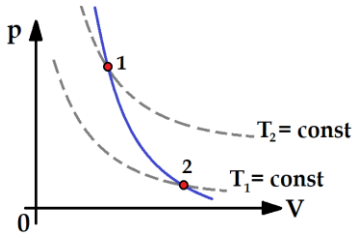
1. Какое количество теплоты потребовалось подвести к молю идеального одноатомного газа при его изобарном нагревании, если в процессе нагревания газ совершил работу 10 Дж? (25Дж) Каков КПД процесса?

Вопрос: Для идеального одноатомного газа работа в изобарном процессе составляет 2/5 от подведенного количества теплоты, а для двухатомного газа сколько?

2. В сосуде емкостью 2 л находится кислород под давлением 1 атм. Стенки сосуда могут выдержать давление до 10 атм. Какое максимальное количество теплоты можно сообщить газу?



3. В теплоизолированном герметичном сосуде находится два моля идеального одноатомного газа при температуре 300 К и нормальном атмосферном давлении. Найти давление газа после включения на три минуты небольшого электронагревателя мощностью 16,6 Вт, помещенного в сосуд.
4. Оцените верхний предел температуры аргона, подвергающегося сжатию поршнем-пулей в цилиндре-стволе, если пуля массой 100 г влетает в ствол, имеющий объем 200 см^3, с начальной скоростью 250 м/с. Начальная температура газа 300 К, давление 1 атм.
5. Кислород, занимающий при давлении p_1 = 1 МПа объем V_1 = 5 л, адиабатно расширяется в 3 раза. Определите работу расширения газа.



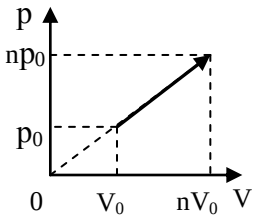
6. Вертикальный цилиндр разделен поршнем массы m. Над поршнем вакуум, а ниже поршня газообразный гелий. К газу подводится тепловая мощность N, при этом поршень поднимается с постоянной скоростью. Найдите эту скорость. Трением пренебречь.

Вопросы:

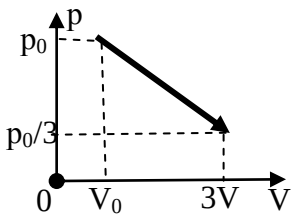
1. Почему ветер, дующий с гор, как правило, сухой и горячий, ведь в горах холодно и влажно?
2. Прогретый у земной поверхности влажный воздух поднимается вверх. Совершает ли он при этом работу? Как изменяется его внутренняя энергия? Каковы последствия этого процесса?
3. В каком случае при сжатии газа в цилиндре до одного и того же конечного объема совершается большая работа: при медленном перемещении поршня или при быстром? Цилиндр не теплоизолированный.
4. Можно ли указать процесс, в котором газ нагревается, отдавая тепло?
5. Почему человек чувствует озноб после того, как сильно чихнет?
6. Два одинаковых объема газа, находившихся при одинаковых условиях, сжимают до одинаковых конечных объемов - один быстро, другой медленно. В каком случае совершенная работа больше?
7. За счет чего нагреваются шины автомобиля при длительной езде?
8. Сжимая газ адиабатно, мы совершаем работу. Увеличивается ли при этом потенциальная энергия молекул газа?
9. Всегда ли подведение тепла к системе приводит к увеличению её внутренней энергии?
10. Откуда получает энергию замерзающая вода, разрывая трубы парового отопления?

11. Иногда газ при охлаждении отдает меньшее количество теплоты, чем было затрачено на его нагревание. Разве это не противоречит закону сохранения энергии?
12. Почему при увеличении внешнего давления температура кристаллизации воды понижается, а температура плавления льда наоборот повышается?

Задачи:



1. Один моль идеального одноатомного газа находится при нормальных условиях. Какое количество теплоты надо сообщить газу, чтобы провести процесс, показанный на рисунке *(n = 2)?*
2. Два моля идеального одноатомного газа находятся в равновесном состоянии при температуре 250 К. Газ сначала нагревают изобарно, а затем – изохорно. В результате давление газа увеличивается на 20%, а объем увеличивается в 1,5 раза. Какова работа газа? Какое количество теплоты он получил в этих двух процессах?
3. Гелий расширяется в процессе 1 - 2, в котором его давление пропорционально объему, от температуры T до температуры 1,2 T. Затем гелий расширяется изобарно в процессе 2 - 3 до температуры 1,5 T. Найти отношение количеств теплоты, полученных газом в процессах 2 - 3 и 1 - 2.
4. Процесс расширения одного моля газа изображен на рисунке. Найти количество теплоты, полученное газом.



IV. Упр. 6, №7, 11, 12.

1. Вообразите мир, в котором не выполняется первый закон термодинамики. Чем еще интересен этот мир?
2. С какой высоты должен падать парашютист без парашюта в вакууме, чтобы от него не осталось мокрого места?
3. По сути, расширение Вселенной – адиабатический процесс. Как это понимать?
4. Вы надежно закрыли отверстие велосипедного насоса и изо всех сил быстро сжали в нем воздух. Оцените максимальную температуру воздуха в насосе, которую можно получить в этом случае.
5. Найти температуру газа при максимальном сжатии, если поршню массы *m* сообщили скорость υ. Система теплоизолированная. Начальные *P, T* и *V* известны.

Где мысль сильна – там дело полно силы.
Шекспир

Дополнительный урок: **ТЕПЛОЕМКОСТЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

Цель науки — понять реальность через объяснения.

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о теплоемкости идеального газа и способах расчета количества теплоты в изопроцессах.

ТИП УРОКА: лекция.

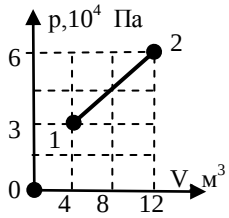
ОБОРУДОВАНИЕ:

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Повторение
3. Лекция
4. Решение задач
5. Задание на дом

II. *Задачи:*

1. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный одноатомный газ. Первоначальное давление газа 75 кПа, расстояние от дна сосуда до поршня 40 см, площадь поперечного сечения поршня 60 см^2. В результате медленного нагревания газа поршень сдвинулся на 10 см. При движении поршня на него со стороны стенок действует сила трения 600 Н. Какое количество теплоты подвели к газу? Сосуд находится в вакууме.



2. Насколько изменяется внутренняя энергия одноатомного идеального газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2? 0,9 МДж. Какое количество теплоты получил бы двухатомный идеальный газ при его переходе из состояния 1 в состояние 2? 1,86 МДж
3. Одноатомный идеальный газ сначала адиабатически сжали, а потом изобарно нагрели на 60^{0}С. Суммарная работа газа в этих двух процессах равна нулю. Определите приращение температуры газа в адиабатном процессе. 40^{0}С
4. Водород занимает объем 10,0 м^3 при давлении 0,1 МПа. Его нагрели при постоянном объеме до давления 0,3 МПа, затем, изотермически увеличив объем, довели давление газа до первоначального. Определите изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную им, и количество теплоты, сообщенное газу. ΔU = – 3,3 МДж. A′ = 1,3 МДж, Q = - 2 МДж

III. Определение теплоемкости связано с первым законом термодинамики законом сохранения и превращения энергии в тепловых процессах: $Q = AU+A'$. Зная теплоемкость вещества в данном термодинамическом процессе, легко найти полученное телом количество теплоты:

$$Q = mc(T_2 - T_1) = C(T_2 - T_1) = \nu \cdot C_\mu (T_2 - T_1)$$

Молярная теплоемкость (С) - количество теплоты, получаемое одним молем вещества при нагревании его на один кельвин.

$$C_\mu = \frac{Q}{\nu(T_2 - T_1)}; \quad [C_\mu] = \left[\frac{Дж}{К \cdot моль}\right].$$

Теплоемкость определяется не только свойствами вещества, но и видом термодинамического процесса.

1. **Изотермический процесс.** При изотермическом расширении *(T = пост.)* газа к нему подводится тепло *(Q>0)*, но его температура остается неизменной. Из определения следует, что теплоемкость газа в изотермическом процессе бесконечно велика. В этом случае все переданное системе количество теплоты идет на совершение работы.
2. **Адиабатный процесс.** Если газ участвует в адиабатном процессе, то его температура изменяется, а полученное газом количество теплоты равно нулю. Следовательно, в адиабатных процессах теплоемкость равна нулю, и работа газа *A′* над внешними телами совершается за счет убыли внутренней энергии: *A′ = -ΔU*.

   Процессы, при которых теплоемкость остается неизменной, принято называть ***политропическими***. Примерами политропических процессов, наряду о изотермическим и адиабатным, являются также изохорный *(V = пост.)* и изобарный *(P = пост.)* процессы. Соответствующие им молярные теплоемкости обозначают через C_V и Cp.

3. **Изохорный процесс.** При изохорном процессе $A' = 0$ и $Q = \Delta U$

$$\nu \cdot C_V (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) \rightarrow C_V = \frac{i}{2} R$$

4. **Изобарный процесс.** При изобарном процессе *(P = пост.)* газ при нагревании расширяется и совершает работу. Полученное газом тепло лишь частично идет на увеличение внутренней энергии, остальная часть затрачивается на совершение работы по расширению. Ясно, что для повышения температуры газа на один кельвин необходимо передать газу большее количество теплоты, чем при изохорном процессе, следовательно, $Cp > C_V$. $Q = \Delta U + A' \rightarrow \nu C_p (T_2 - T_1) = \nu C_v (T_2 - T_1) + \nu R (T_2 - T_1)$;

$C_p = C_v + R$ – *уравнение Роберта Майера.*

VI. *Задачи:*

1. При нагревании 1 кг неизвестного газа на 1 К при постоянном давлении требуется 908,6 Дж, а при нагревании при постоянном объеме требуется 649 Дж. Что это за газ?
2. При нагреве воды объемом V = 4 л от 20 до 100 °С внутренняя энергия жидкости возросла на величину ΔU = 1,34 МДж. Определить теплоемкость С жидкости в сосуде, удельную теплоемкость воды с и ее молярную теплоемкость C_μ.
3. Биогаз — продукт переработки биомассы — состоит на 65 % из метана (CH_4), на 30 % — из углекислого газа (CO_2), на 1,5 % — из сероводорода (H_2S) , остальное — азот (N_2). Вычислить молярную массу данной смеси газов и ее молярную теплоемкость при постоянном объеме.
4. Каковы удельные теплоемкости c_p и c_v смеси газов, содержащей кислород массой 20 г и водород массой 30 г? Ответ: 9.1 кДж/(кг·К); 6.5 кДж/(кг·К)

Вопросы:

1. Какой газ имеет наибольшую удельную теплоемкость?
2. Какова теплоемкость газа в изотермическом процессе и адиабатном процессе?
3. Может ли теплоемкость газа на участке процесса быть отрицательной и что при этом с газом происходит?
4. Какая теплоемкость больше - молярная или удельная? Как различаются отношения молярной теплоемкости к удельной теплоемкости у водорода и углерода?

Но если ваша теория противоречит второму началу термодинамики, я не думаю, что у нее есть хоть какие-то шансы; ей остается лишь исчезнуть, потерпев унизительное поражение.

Артур Эддингтон

Есть вероятность того, что алюминиевый порошок соберется и организуется в ложку, хотя, возможно, для этого вам придется подождать время, большее возраста Вселенной.

Джеймс Глик

Урок 27/ 7.

ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

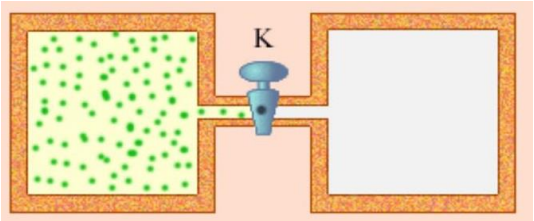
Директор Природы! Почему невозможно изменить прошлое?

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать формулировки второго закона термодинамики и его статистическую интерпретацию; научить применять закон в конкретных ситуациях.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: нитяной маятник, калориметр, тела для калориметра, электроплитка, термометр электрический, ящик с белыми и черными шариками, коробок со спичками, диафильм “Необратимость тепловых процессов”.

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Задание на дом

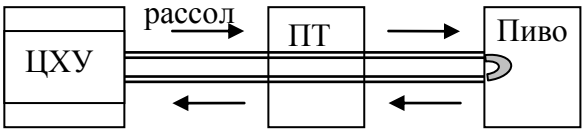
II. *Вопросы:*

1. Для получения газированной воды через воду пропускают сжатый углекислый газ. Почему температура воды при этом понижается?
2. Изобразите изопроцессы графически в координатах Q, A′; Q, ΔU; A,′ ΔU.
3. Почему проколотый мячик не отскакивает при ударе им о пол?
4. При изобарном нагревании газообразный гелий получил количество теплоты 100 Дж. Каково изменение внутренней энергии гелия?
5. В адиабатном процессе внутренняя энергия одного моля разреженного гелия увеличивается. Как изменяются при этом параметры газа?
6. В одном баллоне 40 г неона, в другом 20 г аргона. Баллоны нагревают на одинаковых нагревателях. Неон нагрелся на 20 градусов. На сколько нагрелся аргон? Потерями пренебречь. 80 К
7. Почему взрываются влетающие в атмосферу Земли метеориты?
8. Почему теплоемкость двухатомных газов больше теплоемкости одноатомных газов?
9. Перед вами пять законов: $Q = \Delta U + A'$, $A' = -\Delta U$, $Q = \Delta U$, $A + Q = \Delta U$, $A = \Delta U$. Какой из законов надо применять для объяснения данного явления?
   - Нагревание насоса при накачивании велосипедного колеса;
   - Образование снежка при сжатии снега руками;
   - Образование облаков при подъеме теплого влажного воздуха вверх;
   - Нагревание сосуда с водой на электроплитке;
   - Просветление венозной крови у людей в тропиках.
10. Идеальный газ может переходить из одного состояния в другое двумя способами: первый раз сначала по изобаре, затем по изохоре, второй раз наоборот. При каком переходе выделяется (поглощается) больше тепла?
11. В салоне летящего на большой высоте самолета комфортная температура поддерживается благодаря работе компрессоров, а не нагревателей. Почему это так?
12. Если бы вечный двигатель оказался реальным, то какие законы нам бы пришлось пересмотреть?
10. Почему завихрения вокруг крыльев летящего самолёта и винтов охлаждают воздух?

Задачи:

1. Объем баллона для транспортировки водорода V = 40 л. Водород закачан в баллон при температуре T = 300 К под давлением p = 150 атм. Сколько теплоты нужно подвести к газу, чтобы повысить его температуру на 1 К?
2. Одноатомный идеальный газ находится в цилиндрическом сосуде длиной h = 30 см и площадью сечения S = 1 см^2 при давлении p_1 = 100 кПа. Какую работу нужно совершить, чтобы, сжимая газ адиабатически, увеличить его абсолютную температуру в n = 2 раза? 4,5 Дж
3. Какое количество теплоты получил 1 моль идеального одноатомного газа при изобарном нагревании от некоторой начальной температуры и последующем адиабатном расширении, если при адиабатном расширении газ совершил работу A', а в конечном состоянии его температура равна начальной. Построить график процесса.
4. Одноатомный идеальный газ в количестве *ν = 5 моль* сначала охлаждают при постоянном объеме от температуры 600 К до температуры 400 К, а затем продолжают охлаждать при постоянном давлении до температуры 300 К. Какое количество теплоты отводят при этом от газа?

III. ФИЗИКА И СУД!



В пивоварне охлаждали один из отдаленных погребов посредством центральной холодильной установки. Трубопровод с рассолом проложили через погреб одного торговца. Вскоре, владелец пивоварни обнаружил, что торговец использует рассол для охлаждения своего погреба, и обвинил его в краже. Однако судья заявил: *“В соответствии со статьей 242 УК, кража есть противозаконное присвоение чужого имущества. В данном случае нет состава преступления, т.к. торговец не присваивал себе рассол”*. Тогда владелец пивоварни обратился в следующую инстанцию, аргументируя свою точку зрения: *“Речь идет не о краже рассола, а о краже энергии. Если я буду охлаждать погреб торговца, я должен потреблять больше энергии для холодильной машины”*. Возражение нового, судьи физически было обосновано только наполовину: *"Рассол ведь получает тепло, т.е. энергию из погреба торговца, следовательно, у Вас энергию не украли, а, наоборот, Вы получили энергию в подарок"*. Тогда владелец обратился в суд третьей инстанции. Что ответил судья?

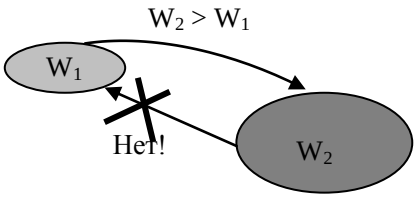
Процессы бывают **обратимые и необратимые.** Разбить яйца и сделать яичницу не сложно, воссоздать же сырые яйца из готовой яичницы — невозможно. Запах из открытого флакона духов наполняет комнату — однако обратно во флакон его не соберешь. Нельзя вернуть воду в опрокинутый стакан, нельзя из дыма, пепла и огня получить дрова!

Необратимые процессы: разрядка аккумулятора через металлическую спираль, передача тепла от горячего тела к холодному, смешение в прозрачной коробке белых и черных шаров, превращение работы в тепло, испарение воды из сосуда, заполнение газом всего предоставленного объема (можно в форме игры с учениками: называю прямой процесс, а ученики – обратный). Почему только одно название обратного процесса вызывает смех? *"Так не может быть, потому что так не бывает никогда!"* Наш мозг интуитивно различает течение времени, воспринимая необратимые процессы как естественные и удивляясь, если что-то протекает в обратном направлении. В связи с этим разумно спросить: «а почему мы вообще должны сомневаться в необратимости природных процессов? При **необратимом** процессе переход от конечного состояния к начальному состоянию требует

затрат энергии, так как процессы идут с частичными потерями энергии в виде тепла. **Необратимым называется процесс, который самопроизвольно течет только в одном направлении.** Есть ли в природе обратимые процессы? **Любые процессы, связанные с превращением различных форм энергии во внутреннюю энергию - необратимы.**

Энергия обладает тремя важнейшими свойствами: во-первых, она может проявляться в различных формах; во-вторых, различные виды энергии могут переходить друг в друга; в-третьих, при любых физических процессах совокупная энергия в замкнутой системе сохраняется. Все виды энергии, за исключением тепловой, могут полностью преобразовываться друг в друга (тепловая энергия, согласно второму началу термодинамики, может преобразовываться в работу лишь частично).

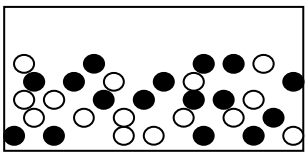
Почему процессы текут самопроизвольно только в одном направлении? Демонстрация со спичками (порядок и беспорядок). Демонстрация со сметанием белых и черных шаров (рисунок на доске). Число нетождественных перестановок 20 белых и 20 черных шаров (состояний беспорядка): $W = 40!/(20!\cdot 20!) = 1{,}37\cdot 10^{11}$.



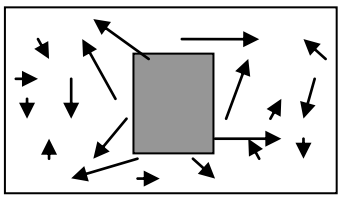
Порядок в системе реализуется несколькими комбинациями, а беспорядок – большим их числом. Поэтому предоставленная самой себе система будет переходить в состояние большего беспорядка. Вероятность обратного процесса бесконечно мала.

Как определить направление процесса? Необходимо рассчитать, сколькими способами (W) могут быть реализованы данные макроскопические состояния системы. Если $W_2 > W_1$, то система самопроизвольно перейдет во второе состояние, в противном случае для ее перевода необходимо совершить работу. Если $W_1 = W_2$, то процесс обратим. **Состояние системы тем более вероятно, чем большим числом микросостояний оно может осуществиться!**

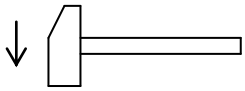
Второй закон термодинамики: Невозможно разделить смесь белых и черных шаров, не совершая работы (Учитель).



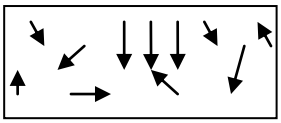
Почему тепло передается от горячего тела к холодному, а не наоборот. **Второй закон термодинамики: Невозможно передать тепло от холодного тела к горячему, не совершая работы** *(Клаузиус).*



Асимметрия между теплом и работой, возможности их взаимного превращения. Возможен ли самопроизвольный процесс превращения тепла в работу? Можно ли получить полезную работу за счет охлаждения одного тела?



Второй закон термодинамики: Невозможно построить тепловой двигатель, который бы совершал полезную работу за счет охлаждения одного тела *(Томсон).* Такой двигатель создавал бы порядок из беспорядка!



...путем охлаждения моря и земли произвела бы механическую работу в любом количестве, вплоть до исчерпания теплоты моря и суши и, в конце концов, материального мира.

У. Томсон

С помощью второго закона термодинамики определяют направление процесса при данных условиях. Второй закон термодинамики – директор Природы, а первый - главный бухгалтер (дебет и кредит).

Дополнительный материал. Тепловая смерть Вселенной. Второй закон термодинамики утверждает, что мера беспорядка — энтропия, либо остаётся неизменной, либо увеличивается. Нарушений этого закона никогда не наблюдалось и не ожидается. Из второго закона следует, что изменения должны происходить так, чтобы увеличивать беспорядок. С этой точки зрения время как будто течёт от прошлого к будущему, потому что Вселенная началась — по причинам, относительно которых нет полного понимания или общего мнения, — в состоянии порядка и движется к состоянию беспорядка. В итоге тепло будет распределяться равномерно и движущей силы для дальнейших изменений не будет. Эту удручающую перспективу учёные середины XIX века назвали тепловой смертью Вселенной. Теоретически, если изменить импульсы всех частиц на противоположные, можно отменить столкновения и уменьшить энтропию. На что Больцман ответил: «попробуйте, обратите их!». **Если бы Вселенная существовала вечно, то ее тепловая смерть давно бы наступила!**

Ни звезды, ни Солнце не встанут –
Не будет вовсе света,
Ни шума вод журчащих –
Ни звука, ни виденья,
Ни зимней листвы, ни весенней,
Ни дел, ни дел дневных -
Только сон бесконечный
В вечной ночи.

Суинберн

Что же такое время? Если никто меня об этом не спрашивает, я знаю; если бы я захотел объяснить тому, кто спрашивает, — нет, не знаю.

Св. Августин. Исповедь

Дополнительный материал. Откуда берется время? Что заставляет время течь из прошлого в будущее? Почему разрушать, рассеивать и смешивать легко, а строить, концентрировать и сортировать - сложно? Связана ли необратимость времени с расширением Вселенной? **Стрела времени.** В отсутствие трения маятник может качаться бесконечно долго и разницы между прошлым и будущим не существует. Но если есть трение, маятник понемногу теряет энергию и замедляется. Трение производит тепло. И мы немедленно оказываемся способны отличить будущее (в котором маятник все больше замедляется) от прошлого. Важное свойство времени — его связь с причинностью. Все, происходящее в наблюдаемом нами мире имеет причину, и причина всегда появляется во времени раньше, чем следствие. Время — поток сменяемых друг за другом событий, которые нельзя изменить после их совершения. Время необратимо, потому что для макроскопической системы есть только один способ вернуться в прошлое, а будущее расходится на множество альтернативных линий**. Время (t) – свойство объектов необратимо изменяться, измеряемое часами в секундах.** Даже если мы не движемся в пространстве, мы совершаем движение во времени. Некоторые ученые считают, что реальность есть геометрическое соотношение между имеющимися частями пространства, а Вселенная просто последовательно оказывается в каждом из них. Эта сменяемость неподвижных состояний и кажется нам ходом времени. Возможно, что физический мир – это единый океан энергии, который возникает и спустя миллисекунды исчезает, пульсируя снова и снова.

Вопросы:

1. Теоретически можно задохнуться оттого, что в результате теплового движения весь воздух в комнате соберется в одном углу. Почему этого не

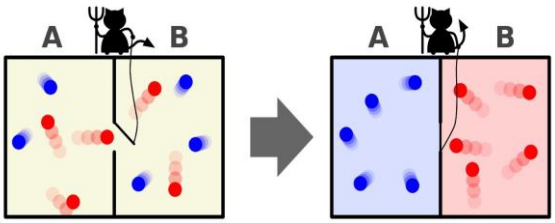
происходит?

2. Почему при случайном перемешивании деталей пазла, они не собираются в нужную картину?
3. Почему слабо надутый мяч плохо отскакивает от пола и еще хуже от песка?
4. Перечислите наибольшее количество процессов, которые не могут произойти самопроизвольно, поскольку запрещены вторым законом термодинамики, но разрешены первым законом.
5. Не возникает ли у вас сомнения в справедливости второго закона термодинамики при изотермическом расширении газа?

6. Почему невозможно сделать из омлета целое яйцо?
7. Любой объект, теряя энергию, теряет способность вернуться в изначальное состояние. Так ли это?
8. Работа любого организма требует точных физических законов. Точность физических законов основана на большом количестве участвующих атомов. Прокомментируйте!
9. Даже обезьяна, ударяя случайным образом по клавишам печатной машинки в течение неограниченно долгого времени, рано или поздно напишет поэму о любви. Так ли это?

Сколько времени понадобится обезьяне, чтобы напечатать на печатной машинке полный текст шекспировского «Гамлета»? Чтобы в нужном порядке напечатать первые 20 букв пьесы, нужен триллион обезьян, которые на триллионе машинок будут печатать 13,7 миллиардов лет.

10. Всякий раз, когда на пляже разваливались песочные замки, вспоминаем о втором начале термодинамики. Мы косвенно апеллируем к нему, когда считаем, что без должного ухода все будет портиться — и наш дом, и наше тело, и автомобиль. Или, как писал Сомерсет Моэм, «нечего рыдать по поводу разлитого молока, ибо все силы мироздания были обращены на то, чтобы оно разлилось». Почему?



11. В сосуде находится газ. Емкость разделена пополам перегородкой со специальной дверкой, которой управляет тот самый «демон Максвелла». Он пропускает из левой части ёмкости в правую только быстрые (горячие) молекулы, а из правой в левую – только медленные (холодные). В итоге одна половина сосуда с газом нагревается, а вторая охлаждается без затрат энергии. Противоречит ли это второму началу термодинамики?

Из физика лирик всегда получится (движение от порядка к беспорядку), а из лирика физик никогда (надо много работать)!!!

V. § 28.

1. Составьте обобщающую таблицу "Второй закон термодинамики", используя рисунки, чертежи и текстовый материал,
2. Вообразите мир, в котором тепло самопроизвольно передается от холодного тела к горячему. Чем еще интересен этот мир?

3. В одном сосуде, объем которого 1,6 л, находится 14 мг азота, в другом сосуде объемом 3,4 л – 16 мг кислорода. Температура газов одинаковая. Сосуды соединяют, а газы перемешиваются. Процесс изотермический. Найти приращение энтропии в этом процессе.
4. Представьте, что в какой-то момент у всех молекул воздуха, находящихся внутри лежащего на земле футбольного мяча, скорость оказалась бы направленной вертикально вверх. На какую высоту взлетел бы мяч?
5. Кристалл растет, Вселенная расширяется. Не означает ли это, что сами материальные объекты создают пространство?
6. Известно, что катализаторы и ингибиторы могут увеличить или замедлить скорость протекания химической реакции, молоко долго сохраняется в холодильнике и прокисает в тепле, время жизни разное для каждого индивидуума. Не означает ли это, что время течет по-разному для каждого объекта во Вселенной?
7. Подготовьте пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Л. Больцмана.
8. Какой была степень беспорядка во Вселенной в момент Большого взрыва?
9. Герой научно – фантастического романа А. Беляева "Ариэль" мог по своему желанию управлять характером движения молекул своего тела, превращая его из хаотического движения в упорядоченное движение. Обсудите возможности такого движения.
10. Закон ли это, если он может раз в миллиарды лет нарушаться? Да! Как у Чехова: "Этого не может быть, потому что не может быть никогда!"
11. Принцип Анри ле Шателье утверждает: "Внешнее воздействие, выводящее систему из термодинамического равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия". Приведите примеры.

Законы термодинамики легко можно получить из принципов статистической механики, неполным выражением которых они являются.

Дж. Гиббс

Дополнительный урок. ЭНТРОПИЯ

Чем порядок отличается от беспорядка? Много беспорядка – это хаос!

ЦЕЛЬ УРОКА: Показать статистический характер второго закона термодинамики и, основываясь на представлениях об энтропии, дать четвертую его формулировку.

ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ:

ПЛАН УРОКА:

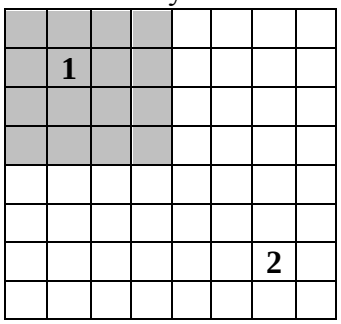
1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Ответы на вопросы
4. Задание на дом

II. Формула на надгробии могилы Больцмана*:* $S = k\cdot \ln W$, где S - энтропия (степень беспорядка) системы, k - постоянная Больцмана, W - термодинамическая вероятность (сколькими способами можно произвести перестройки внутри системы, чтобы внешний наблюдатель не заметил их, то есть не изменились параметры системы). **Энтропия такой системы пропорциональна числу перегруппировок частиц, не меняющих её макроскопических свойств**.

Модель Вселенной, содержащей 64 атома (шахматная доска).

Предположим, что во Вселенной создалось такое распределение возбужденных атомов, как изображено на рисунке. Это соответствует тому, что в системе **1** запасено больше количество энергии в форме теплового движения, тогда как в системе **2** теплового движения вообще нет. Энтропия системы **1**: $S_1 = k\cdot \ln W = k\cdot \ln 1 = 0$. Энтропия системы 2: $S_2 = 0$. Такой сгусток энергии обладает идеальным качеством (нулевая энтропия). Теперь вообразим некого демона - крохотное, бестелесное, озорное и вечно занятое существо, который занят непрерывной переделкой. Этот демон беспрестанно, и бесцельно переносит возбуждение с одного атома на другой; он символ "беззакония", царящего во Вселенной. Наступает момент,

когда демон переносит возмущение с какого-либо атома системы 1 на какой-либо другой атом системы 2. $S_1 = k\cdot \ln 16 = ?$ Существует 16 способов размещения невозбужденного атома в системе, не изменяющих ее термодинамические свойства. $S_2 = k\cdot \ln 48 = ?$ Энтропия обеих систем возросла (второй больше чем первой), температура системы 2 увеличилась, а системы 1 уменьшилась. Демон переносит состояние возбуждения еще от одного атома 1 в систему 2:



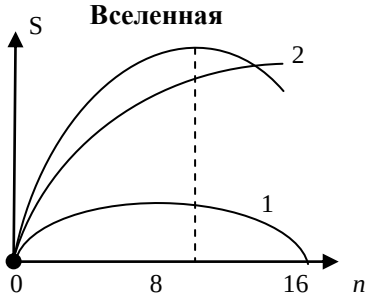
$$S_1 = k\cdot \ln\frac{16\cdot 15}{2} = ? \qquad S_2 = k\cdot \ln\frac{48\cdot 47}{2} = ?$$

Деление на 2 исключает тождественные перестановки двух невозбужденных или возбужденных атомов. После переноса третьего:

$$S_1 = k\cdot \ln\frac{16\cdot 15\cdot 14}{2\cdot 3}, \quad S_2 = k\cdot \ln\frac{48\cdot 47\cdot 46}{2\cdot 3}.$$

После переноса n - го:

$$S_1 = k\cdot \ln\frac{16!}{n!(16-n)!}; \qquad S_2 = k\cdot \ln\frac{48!}{n!(48-n)!}.$$



$S = S_1 + S_2$. Энтропия Вселенной достигает максимума при n = 12?! При этом средние энергии атома одинаковы в каждой системе. Определение температуры системы в этот момент: $T_1 = \dfrac{A}{\ln\frac{12}{4}}$; $T_1 = \dfrac{A}{\ln\frac{36}{12}}$; $T_1 = T_2$. Рассеяние энергии во Вселенной приводит к увеличению энтропии. Энтропия Вселенной достигает максимума в состоянии теплового равновесия. Равновесную температуру Вселенной можно определить сразу $T = \dfrac{A}{\ln\frac{48}{16}} = \dfrac{A}{\ln 3}$ и легко предсказать естественное направление патока энергии. Почему же после достижения Вселенной теплового равновесия в ней не происходит изменений (для макроскопического наблюдателя)? Разве демон прекратил свою деятельность? Нет! Он попал в им же расставленную сеть. Демон работает, но вероятность этого термодинамического состояния очень велика, поскольку реализуется максимальным и очень большим числом способов. **Тепловое равновесие соответствует наиболее вероятному состоянию Вселенной!**

Почему уменьшается высота подскоков мяча при его ударах о пол? Почему газ занимает весь предоставленный ему объем? Если первоначально газ занимает 1/4 объема, то после распространения по всей Вселенной число размещений для одной частицы увеличивается в 4 раза, для двух ~ в 4^2, для 16 - в 4^{16}, а энтропия системы возрастает и в последнем случае станет $S = k\cdot 16 \ln 4$. Законы физики неточны внутри вероятной относительной ошибки, имеющей порядок $1/\sqrt{N}$, где N есть количество молекул, совместно участвующих в проявлении этого закона.

Второй закон термодинамики: Все естественные процессы сопровождаются возрастанием энтропии Вселенной. Второй закон термодинамики свидетельствует, что **энтропия может быть создана, но не может быть уничтожена** (постоянно увеличивается).

Энтропия тела. $dQ = m\cdot c\cdot dT$; $\Delta S = \dfrac{\Delta Q}{T}; S = \int_{T_1}^{T_2} mc\dfrac{dT}{T} = mc\ln\dfrac{T_2}{T_1}$. Подставив всё это в формулу, мы выясним, что энтропия человека составляет примерно $1{,}2\cdot 10^6$ Дж/К.

Вопрос: Разница температур от тропиков к полюсам создает ветер, который стремится выровнять это различие. Объясните явление с помощью второго закона термодинамики.

Собирая пазл, мы своими руками уменьшаем энтропию, но для этого совершаем работу!

Дополнительная информация. Суть второго закона термодинамики достаточно проста: замкнутая система, та, на которую ничто не действует извне, не способна сама перейти из менее упорядоченного состояния в более упорядоченное состояние. Сгоревшее полено не может взять и воссоздать себя из золы и дыма! Вселенная подобна улице с односторонним движением. Энтропия должна постоянно возрастать как в самой Вселенной, так и в любой гипотетической отдельно взятой системе внутри нее. Любая замкнутая система стремится занять состояние с максимальной энтропией, поэтому события следуют один за другим, существует понятие причины и следствия, стрела времени направлена из прошлого в будущее (в том направлении, в котором нарастает энтропия замкнутой системы). Карандаши в коробке имеют меньшую энтропию, чем карандаши, разбросанные по столу. Кусок мела имеет меньшую энтропию, чем тот же кусок, растолченный в пыль. Собранный кубик Рубика имеет меньшую энтропию, чем разобранный. В природе все определяется двумя факторами: система пытается понизить энергию и увеличить энтропию, увеличить беспорядок. На высоких температурах энтропия доминирует, поэтому все плавится. Плавятся кристаллы, жидкости становятся газами. Если мы понижаем температуру, то принцип минимума потенциальной энергии становится важнее, и возникают кристаллы. В нашем мире энтропия постоянно растет. Все процессы, сопровождающиеся ростом энтропии, являются **необратимыми**. Вселенная расширяется, рассеивает свое тепло, этот процесс необратим, он ведет к увеличению энтропии и, в пределе, - к тепловой смерти Вселенной. Если все будет продолжаться так, как идет сейчас, этот мир когда-то будет полностью уничтожен. Казалось бы, этому процессу можно кое-что противопоставить. Когда растет дерево, оно организует материю и уменьшает энтропию. Когда человек пишет книгу, он уменьшает энтропию. Когда много людей строят город или живут по закону, они уменьшают энтропию. Любая организующая деятельность немного уменьшает энтропию и, как следствие, чуть противостоит разрушению мира. Однако в процессе создания порядка мы еще больше увеличиваем энтропию Вселенной! Мы с вами не умрем. Мы просто однажды станем менее упорядоченными, чем являемся сейчас. Живые организмы накапливают в себе энергию и рассеивают ее по пространству планеты, быстро избавляя себя от градиентов! Мир находится в состоянии непрерывной деградации — сложные и совершенные структуры разрушаются, обратный же процесс самопроизвольного перехода невозможен. Энтропия, которая растёт, всем авторитетом физики подтверждая сползание мира в бездну хаоса. **Некоторые лодыри** приходят к выводу, что лучшая стратегия – ничего не делать, потому что так мы будем производить меньше энтропии и отсрочим тепловую смерть Вселенной.

Дополнительная информация. Больцман полагал, что Вселенная в соответствии с законами Ньютона должна быть вечной. Из этого следует, что, если Вселенная Ньютона является замкнутой системой, то энтропия в ней также может лишь возрастать, а время является линейным. Время движется от прошлого к будущему и, как следует из повседневного опыта, в будущем энтропия всегда выше, чем в прошлом. При этом замкнутая система без притока энергии извне стремится к термодинамическому равновесию, окончательная стадия которого в масштабах Вселенной называется «тепловой смертью». Если же в распоряжении есть сколько угодно много времени, то рано или поздно произойдет любое событие – в том числе, такая статистическая флуктуация, из-за которой во Вселенной возникнет достаточно обширный регион с низкой энтропией, а воспринимаемая нами «стрела» времени – это медленное возвращение данного региона обратно к равновесному состоянию. Поэтому сценарий тепловой смерти пока никто не отменял. Является ли второй закон термодинамики единственной причиной необратимости времени?

Дополнительная информация (умное стекло): Оказалось, когда включаем электропитание, молекулы полимерных жидких кристаллов, выстраиваются параллельно друг другу, что позволяет падающему свету свободно проходить, и перед нами прозрачное стекло. При отключении питания, молекулы жидких кристаллов ориентируются случайным образом, что приводит к рассеиванию проходящего света – стекло становится непрозрачным. Так что в выключенном состоянии стекло непрозрачное (умное стекло).

...повсюду, где существуем разность температур, ...
возможно получение движущей силы.
С. Карно

Урок 28/8. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с принципом действия тепловых двигателей и их практическими применениями.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: модель теплового двигателя, стеклянный медицинский шприц (20 мл), колба (100 – 150 мл), электрическая плитка, сосуд с холодной водой. Модель четырехтактного карбюраторного двигателя.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* Второй закон термодинамики.

Задачи:

1. Внутри откаченной до глубокого вакуума установки находится герметичный теплоизолированный цилиндрический сосуд, заполненный идеальным одноатомным газом. Сосуд закрыт сверху теплонепроницаемым поршнем. Газ занимает при этом объем *V*. На поршень ставят гирю той же массы, что и масса поршня. Найти объем газа в новом положении равновесия.
2. В длинном горизонтальном цилиндре между двумя одинаковыми поршнями находится 0,1 моль гелия. В начальный момент один поршень покоится, а другой приближается к нему со скоростью 12 м/с. На сколько градусов максимальная температура газа больше начальной? Массы поршней 415 г. Трением и теплообменом пренебречь, за поршнями вакуум.

Вопросы:

1. Никто никогда не видел, чтобы маятник стал раскачиваться из состояния покоя, начав движение за счет энергии, полученной поглощением тепла от опоры. Почему?
2. Возможен ли процесс, когда все переданное системе количество теплоты пошло на работу?

Вечный двигатель второго рода нарушает второй закон термодинамики, преобразуя тепловую энергию в механическую работу.

3. Для системы, находящейся в состоянии теплового равновесия, время останавливается. Так ли это?
4. Можно ли, израсходовав внутреннюю энергию тела, равную 1 Дж, совершить механическую работу в 1 Дж?
5. При образовании циклона или смерча происходит концентрация энергии.

Не противоречит ли этот факт второму закону термодинамики?

6. Процесс конденсации или кристаллизации вещества приводит к увеличению порядка. Не противоречит ли этот факт второму закону термодинамики?

Порядок в небольшой части термодинамической системы может возникнуть самопроизвольно за счет увеличения беспорядка в окружающем мире (самоорганизация).

7. После Большого взрыва Вселенная представляла собой хаотическую систему излучения и частиц, а теперь содержит множество видов упорядоченности. Почему?

Уже в 1913 году была построена диаграмма Герцшпрунга-Рассела, отчетливо свидетельствовавшая: закон нарастания энтропии действует и в масштабах всей Вселенной, будучи движущим фактором эволюции звезд. Звезды выгорают и остывают, часть их вещества рассеивается в пространстве.

8. Остановится ли время после наступления тепловой смерти Вселенной?

Столетия — фонарики! о, сколько вас во тьме,
На прочной нити времени, протянутой в уме! —
В. Хлебников

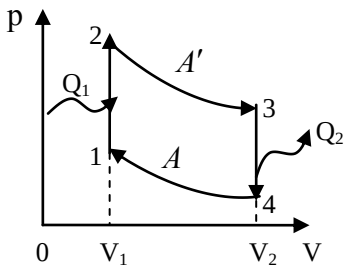
9. Энтропия измеряет бесполезность определенного количества энергии. Так ли это?
10. Игра в бильярд начинается с разбивания пирамидки. Казалось бы, стоит разбежавшимся шарам придать те же ускорения, но обратного направления, как они вновь соберутся воедино. Почему этого не происходит?
11. Справедлив ли второй закон термодинамики для черной дыры?

Есть гипотезы, что энтропия черной дыры пропорциональна ее площади и со временем возрастает, как и ее температура. Существует максимально возможная энтропия черной дыры. **Суммарная энтропия Вселенной всё же растёт за счёт чёрных дыр**, поэтому сценарий тепловой смерти пока никто не отменял. Просто выглядеть он будет не как медленное рассеяние вещества и уравновешивание температуры, а как поглощение вещества чёрными дырами с последующим их испарением.

12. Почему после интенсивного встряхивания ведра с картошкой крупный картофель оказывается наверху, а мелкий внизу? Аналогичные явления наблюдаются и с другими смесями. Не противоречит ли этот факт второму закону термодинамики?
13. Можем ли мы определить время как, например, температуру или массу?

III. Тепловой двигатель – устройство, преобразующее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Прямой процесс – превращение работы в тепло (трение и удар) – человек использовал еще на заре цивилизации, а обратный - 300 лет. Тепло, как и ветер, передаваясь от одного тела к другому, совершает работу!



Работа пара (демонстрация). Работу может совершать и газ. Устройство парового двигателя (объяснение на модели). В нагревателе порция пара получает количество теплоты Q_1, и ее температура становится T_1. Работа пара *(A')* при расширении. Как процесс сделать циклическим? Какую работу необходимо совершить нам *(A)* для возвращения порции пара в нагреватель? Каков КПД этого цикла (цикл

нерадивого ученика)? Холодильник. Порция пара отдает холодильнику количество теплоты Q_2 и ее температура становится T_2. Какую теперь работу необходимо произвести для возвращения порции пара в нагреватель? Меньшую! Почему?

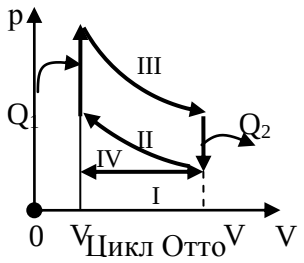
Формула для КПД теплового двигателя: $A_П = A' - A = Q_1 - Q_2 = N \cdot t = F \cdot S$.

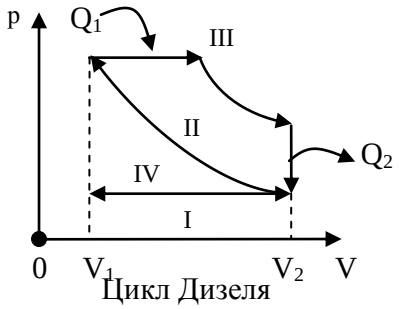
$$\eta = \frac{A_П}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

Для производства работы за счёт тепла требуется поток тепла от горячего источника к холодному стоку. Демонстрация принципа действия простейшего парового двигателя на действующей модели.

Дополнительная информация. Отбирая энергию от нагревателя, мы уменьшаем число возбужденных атомов в нем (температуру), и, следовательно, степень беспорядка (уменьшаем число возможных перестановок). Передавая холодильнику, количество теплоты Q_2, мы значительно увеличиваем степень беспорядка в нем (увеличивается число возможных перестановок). Тепловой двигатель не противоречит второму закону термодинамики. Беспорядок во Вселенной возрастает с каждым циклом теплового двигателя.

На практике используются **карбюраторные двигатели** внутреннего сгорания (цикл Отто) и **дизельные двигатели** (цикл Дизеля). Объяснение на модели.





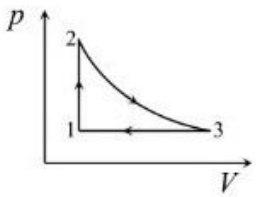
Турбореактивные и ракетные двигатели.

IV. *Вопросы:*

1. Почему во время рабочего хода дизеля давление в цилиндре двигателя падает ниже, чем во время рабочего хода бензинового двигателя?
2. Можно ли человеческий организм рассматривать как тепловой двигатель (до 85% тепла в организме выделяется мышцами)?
3. Возможны ли космические полеты с использованием двигателя внутреннего сгорания?
4. Почему непрогретый автомобильный двигатель плохо тянет?
5. При растворении в воде некоторых веществ, например, гипосульфита, температура раствора понижается. Если использовать такой раствор в качестве холодильника, а окружающую среду – в качестве нагревателя, можно совершить некоторую работу. После высыхания раствора цикл повторяется. Не кроется ли здесь возможность создания вечного двигателя?

Задачи:

1. С идеальным одноатомным газом проведен замкнутый процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Определить КПД теплового двигателя, работающего по этому циклу. $p_2 = 2p_1$, $V_2 = 3V_1$ (решает учитель).
2. Цикл бензинового двигателя внутреннего сгорания близок к циклу Отто, состоящему из двух адиабат и двух изохор. Вначале горючую смесь, которую можно, считать идеальным газом, сжимают без теплообмена с окружающей средой, потом изохорно нагревают (при сгорании топлива) на $\Delta T_1 = 500$ К, затем снова без теплообмена газ расширяется, совершая работу, и наконец, после изохорного охлаждения на $\Delta T_2 = -250$ К газ возвращается в исходное состояние. Найти КПД цикла.
3. Некоторое количество гелия участвует в следующем циклическом процессе – изохорическое нагревание 1-2, изотермическое расширение 2-3, изобарическое охлаждение 3-1. Известно, что в изобарическом охлаждении 3-1 над газом совершена работа А, а в изотермическом расширении 2-3 газу сообщили количество теплоты Q = 1,5 А. Найди КПД цикла. 20%



V. §§ 29, 30. Упр. 6, № 15 – 16.

1. Определите КПД выстрела из ружья.
2. Предложите проект и оцените КПД “ледяного двигателя”, использующего работу, совершаемую водой при замерзании и расширении.
3. Предложите проект и оцените КПД «резинового двигателя», использующего работу, совершаемую резинкой при его нагревании горячей водой.
4. Предложите проект «резинового двигателя» для речного судна.
5. В полимерный шприц наберите некоторое количество воздуха, после чего сопло плотно закройте пальцем. Если поршень шприца быстро выдвинуть и отпустить, то он возвращается практически в исходное состояние. Если же воздух резко сдавить поршнем, то после отпускания поршень может и не вернуться в исходное состояние. Почему?
6. Если Вселенная имеет достаточные масштабы, колебания энтропии могут привести к появлению изолированных областей, отклоняющихся от равновесного состояния и порождающих другие миры, подобные нашему! Так ли это?

Как вы помните, первый фундаментальный закон термодинамики был сформулирован и теоретически обоснован тремя физиками – Робертом Майером, Джеймсом Прескоттом Джоулем и Германом фон Гельмгольцем; второй закон термодинамики был сформулирован двумя великими физиками – Рудольфом Клаузиусом и Вильямом Томсоном, третий закон я открыл самостоятельно. Это доказывает, что четвертого, фундаментального закона быть же может.

Нернст

Урок 29/9.

ЦИКЛ КАРНО

Двигатель машины марки жигули ближе к идеальной тепловой машине, чем двигатель мерседеса, потому что работает бесконечно медленно.

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление о прямой и обратной машине Карно. Научить учеников рассчитывать КПД теплового двигателя.

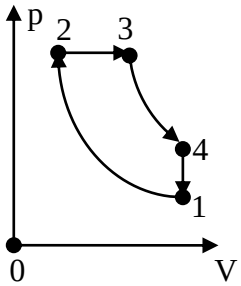
ТИП УРОКА: комбинированный.
ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

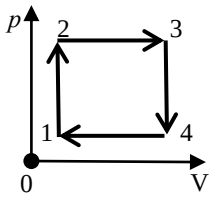
II. *Опрос фундаментальный:* Тепловой двигатель. 2. Двигатели внутреннего сгорания.

Задачи:

1. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры 1-2, изобары 2-3 и участка 3-1 прямо пропорциональной зависимости давления от объема. Найдите КПД цикла, если объем на изобаре изменяется в 2 раза. Рабочее вещество – идеальный одноатомный газ.



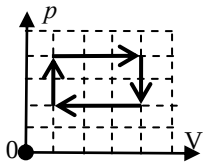
2. На рисунке изображен цикл дизельного двигателя, состоящего из адиабат 1-2 и 3-4, изобары 2-3 и изохоры 4-1. Температуры газа в точках 1,2,3,4 соответственно равны T_1, T_2, T_3, T_4. Найдите КПД цикла. Газ одноатомный.
3. Один киломоль идеального газа совершает работу в цикле, состоящем из двух изохор и двух изобар, причем точки 2 и 4 цикла лежат на одной изотерме, а температуры в точках 1 и 3 равны 300 К и 400 К. Определить работу за цикл. Ответ: 60 кДж



4. Найти совершенную идеальным газом работу за цикл, учитывая его параметры: ν = 3 моль, p_2/p_1 = 9, T_1= 298 К, T_4 = 382 К. 16,7 кДж
5. Заряд дальнобойной пушки содержит 150 кг пороха. Масса снаряда 420 кг. Какова максимально возможная дальность полета (в км) снаряда, если КПД орудия 25%? Удельная теплота сгорания пороха 4,2 МДж/кг. Сопротивление воздуха не учитывать.

Вопросы:

1. Что является нагревателем, а что холодильником в ракетном двигателе?
2. Можно ли поршневой двигатель превратить в компрессор, а турбину – в генератор?
3. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Чему равно отношение работы газа за цикл к работе внешних сил при охлаждении газа?



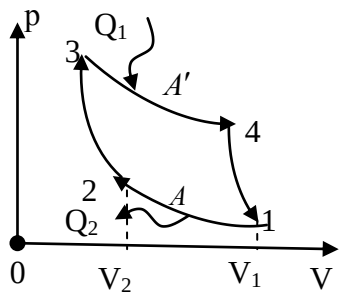
4. В результате кругового процесса газ совершил работу 2,0 кДж и передал холодильнику 8,4 кДж теплоты. Определить КПД цикла.
5. Какую качественную и количественную информацию вы можете получить из PV-диаграммы цикла теплового двигателя?
6. Если раньше и правда был хаос, то как получилось, что теперь на Земле

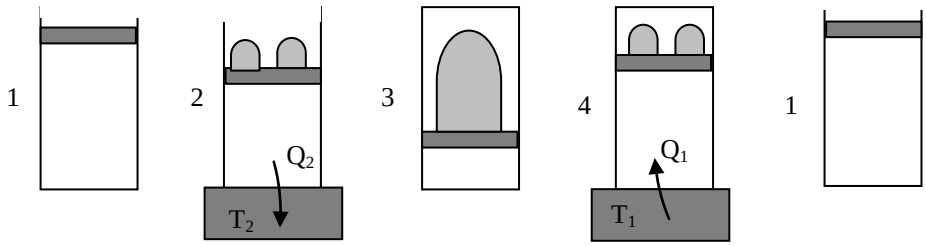
установился видимый порядок?

7. Что является нагревателем и что холодильником у «солнечного паруса», который перемещается в космическом пространстве под действием солнечного ветра?
8. Изобразите PV-диаграмму цикл Эрикссона, состоящего из двух изобар и двух изотерм.

III. Прямой цикл Карно.

Пути повышения КПД тепловых двигателей: а) T_1 = 600 К, T_2 = 300 К, η = 50%; б) T_1= 1000 К, T_2= 300 К, η = 70%; в) T_1 = 600 К, T_2 = 0 К, η = 100%.





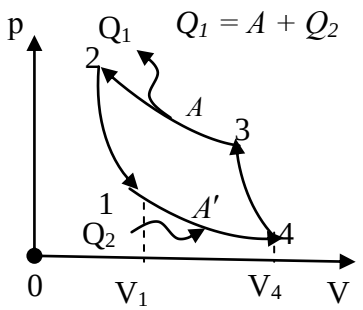
КПД цикла Карно: $\eta_{мах} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$, $\eta < \eta_{мах}$.

Из последнего выражения следует, что КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя и холодильника, но не зависит ни от устройства машины, ни от вида или свойств её рабочего тела. Поэтому максимальный КПД любой тепловой машины не может превосходить КПД тепловой машины Карно, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника.

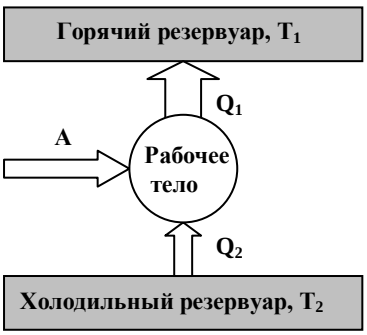
Двигатель Карно имеет много общего с реальными двигателями: он работает по замкнутому циклу (который называется, соответственно, циклом Карно); он получает энергию извне благодаря высокотемпературному процессу (например, при сжигании топлива); часть энергии рассеивается в окружающую среду. При этом производится определенная работа (в случае двигателя Карно — за счет поступательного движения поршня). Таким образом, полученное Карно соотношение устанавливает предел эффективности реальных двигателей, работающих в реальном мире. К нему можно приблизиться, но достичь и, тем более превзойти его инженеры не смогут.

Сегодня, сталкиваясь с дефицитом топливных ресурсов, человечество, тем не менее, вынуждено мириться с тем, что КПД, например, ТЭЦ, работающих на угле или мазуте, не превышает 30-35% — то есть, две трети топлива сжигается впустую, точнее расходуется на подогрев атмосферы — и это перед лицом угрозы глобального потепления.

Машина Карно в качестве холодильной машины. Если цикл совершается по часовой стрелке, то работа газа за цикл положительна, если против – то отрицательна! *Вопрос:* Можно ли, открыв дверцу домашнего холодильника, понизить температуру воздуха в комнате?



	Q	A	ΔU
1 – 4	+	–	0
4 – 3	0	+	+
3 – 2	–	+	0
2 – 1	0	–	–
За цикл	–	+	0



Наиболее распространенной технологией, на которой работают холодильники, по сей день остается парокомпрессионный цикл, в ходе которого хладагент поочередно испытывает фазовые переходы (испарение и конденсацию), сопровождающиеся переносом тепла из холодильной камеры в теплообменник.

Чаще всего в качестве хладагентов используют фреоны. Даже относительно безопасные для озонового слоя гидрофторуглероды — фреоны без содержания хлора — обладают потенциалом глобального потепления, в 2000 раз превышающий таковой у углекислого газа.

Тепловой насос – устройство, предназначенное для перекачки теплоты от холодного тела к горячему телу (У. Томсон, 1852 г).

Охлаждение тела с помощью идеальной тепловой машины. Понижение температуры тела, например, в два раза после каждого цикла.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Абсолютный нуль температуры недостижим (третий закон термодинамики).

Согласно **третьему началу термодинамики** (теореме Нернста), энтропия системы достигает минимума, когда её температура приближается к абсолютному нулю (-273°С).

Для охлаждения материи необходимо тем или иным способом отбирать у неё энергию до тех пор, пока у нас будут на это ресурсы и время. В теории охладить материю до абсолютного нуля (-273,15 °С) можно за бесконечное время с затратами бесконечной энергии, что в реальном мире недостижимо по обоим параметрам.

Дополнительная информация: Даже при абсолютном нуле атом должен представляться нам слегка расплывчатым, если использовать волновое представление о нем, или слегка колеблющимся, если использовать корпускулярную концепцию. Пожалуй, это единственный случай, когда энергия материальной частицы не может ни отдаваться вовне, ни изменяться.

В 2003 году ученым Массачусетского технологического института удалось достигнуть 0,5 миллиардных градуса Кельвина! Усовершенствованное оборудование позволило создать температуру 38 пикокельвинов — самое близкое к абсолютному нулю значение на сегодня. Нет ничего круче, чем видеть, как наука упирается в самые границы законов Вселенной!!!

Факт. На столе у Нернста стояла пробирка с органическим соединением дифенилметаном, температура плавления которого 26^0С. Если в 11 утра препарат таял, Нернст вздыхал: *«Против природы не попрешь»,* и уводил студентов заниматься греблей и плаванием.

Дополнительная информация: Почему холодильник охлаждает? Холодильник должен поглощать тепло и выводить его во внешнюю среду, и никакой другой процесс не справится с этой задачей лучше, чем превращение жидкости в газ (кстати, по той же причине наше тело охлаждается в жаркий день, когда с него испаряется пот). Искусство охлаждения заключается в том, чтобы заставлять газ впитывать тепло в одном месте, перенести в другое и отдать в третьем. В морозильнике рабочая жидкость (аммиак, фреон или изобутан) имеет давление, работающее на снижение температуры кипения. Это вызывает испарение жидкости. При испарении жидкость «вбирает» необходимую скрытую теплоту из окружающего пространства, то есть из морозильника, где становится холоднее. Пар тут же удаляется с помощью насоса в конденсатор, находящийся за пределами емкости. Там он сжимается в компрессоре и вновь превращается в жидкость, выделяя скрытую теплоту, и цикл повторяется. Жидкость через расширительный клапан или капиллярную трубку передаётся в испаритель, где понижается давление и, следовательно, снижается точка кипения жидкости, жидкость начинает активно кипеть и испаряться, забирая из окружающей среды тепло испарения, температура понижается.

Мир вознаграждает вас за создание вещей, которые он не умеет сделать сам.

Равикант

Дополнительная информация: Первый четырехтактный двигатель создал немецкий инженер и изобретатель Николаус Отто в 1876 году. Двигатель был одноцилиндровый, однако в нем поочередно происходили четыре такта. Этот двигатель имел КПД около 22%.

В 1892 году Рудольф Дизель получил патент на двигатель, в котором были следующие нововведения: в цилиндре сжимается только воздух, причем настолько сильно, что его температура возрастает так, что при впрыскивании в цилиндр топлива оно воспламеняется само; как следствие, такой двигатель способен работать без карбюратора и запального устройства (без устройства, производящего зажигание смеси), топливом могли быть и бензин, и керосин, и сырая нефть. Построенный в 1897 году двигатель Дизеля работал на керосине и имел КПД 25%. Можно сказать, что цикл двигателя Дизеля был близок к циклу Карно. Двигатель Дизеля (или, кратко, «дизель»), имеет как преимущества, так и недостатки по сравнению с бензиновыми двигателями. Он долгое время оставался тяговым и экономичным мотором, однако был тихоходным. Высокий КПД является одним из главных преимуществ. Высокий крутящий момент на низких оборотах – тоже преимущество. Но – только на низких оборотах. На дизельном двигателе труднее добиться высоких скоростей. В силу этого дизели успешно используются на судах (теплоходах), поездах (тепловозах) и грузовых автомобилях, но реже – на легковых автомобилях. Однако, совершенствование двигателей и конкуренция между бензиновыми и дизельными двигателями продолжается до сих пор.

Дополнительная информация: Важным аспектом любого теплового двигателя является вид и количество потребляемого им топлива, а также обусловленное этим загрязнение окружающей среды. Паросиловые установки, преобразующие теплоту атомного реактора, термодинамические радиоизотопные генераторы и солнечные электростанции термодинамического типа топлива не сжигают, остальные же зависят от имеющихся энергоносителей, которые во многих случаях транспортируются издалека. Совокупность имеющихся в государстве тепловых двигателей, мест добычи топлива и транспортной инфраструктуры для его транспортировки, называется топливно-энергетическим комплексом.

IV. *Вопросы:*

1. Почему в цикле Дизеля адиабатное сжатие можно производить до более высоких давлений и температур, чем в цикле Отто? Почему при этом возрастает КПД двигателя?

Астероид при соприкосновении с атмосферой создаст перед собой слой заторможенного сжатого воздуха с высокой температурой, как и в дизельном двигателе поршень.

Достигнет ли КПД тепловых машин 100%, если трение в их частях удастся свести к нулю?

2. Почему при низких температурах двигатели самолетов развивают большую мощность (все рекорды установлены зимой)?
3. Почему холодильник или кондиционер необходимо подключать к электрической сети?
4. Для чего необходим холодильник тепловой машине?
5. Если дать замкнутой тепловой системе выполнить некоторую работу, то можно заставить тепло течь от холодного тела к горячему. Приведите примеры.

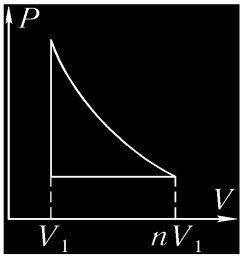
6. Можно ли использовать холодильную машину для охлаждения воздуха в квартире?
7. Обсудите и перечислите факторы, которые не позволяют реальным тепловым двигателям достигать максимального КПД.
8. Не нарушает ли работа холодильной машины законы термодинамики?
9. Правда ли, что дизельные подводные лодки в холодной воде должны двигаться быстрее (возрастание КПД, меньше пузырьков с паром)?
10. Когда работа автомобильного двигателя эффективней - зимой или летом?

Пока есть разница температур, энергия пара или газа приводит в движение поршень, а когда температура уравновешена, извлечь пользу из тепловой энергии уже невозможно. Чем больше разница температур нагревателя и холодильника, тем больше КПД машины.

11. Увеличим степень расширения газа в цикле Карно. Как изменится работа? КПД?
12. Как вы бы записали формулу для КПД теплового насоса?

Задачи:

1. В топке котла паровой машины расходуется 0,35 кг дизельного топлива на 1 кВт·ч энергии. Температура поступающего в турбину пара 250^0С, а температура холодильника 30^0С. Вычислить фактический КПД турбины и сравнить его с КПД идеальной тепловой машины, работающей на тех же условиях.
2. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 400 К, температура холодильника 300 К, количество, теплоты, получаемое от нагревателя за цикл, 400 Дж, число циклов в секунду 2. С какой скоростью будет перемещаться по горизонтальной дороге тележка, приводимая в движение такой машиной, если сила сопротивления 100 Н? Скорость тележки считать постоянной.
3. В холодильник, потребляющий мощность 200 Вт, поместили 2 кг воды при температуре 20^0С. Через 30 мин вся вода превратилась в лед. Какое количество теплоты выделилось при этом в комнате?
4. Работу одного из первых двигателей внутреннего сгорания можно моделировать циклом, состоящим из адиабаты, изобары и изохоры. Определите теоретический КПД такого двигателя, если известно отношение максимального и минимального объемов газа n = 10.



V. §§ 29-30.

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности С. Карно.
2. Предложить конструкцию и изобразить на рисунке PV - диаграмму двухтактного двигателя Дизеля. Почему у этого двигателя КПД выше, чем у четырехтактного двигателя?
3. Предложите конструкцию двухтактного ДВС, в котором два поршня движутся навстречу друг другу, образуя камеру сгорания.
4. Предложите конструкцию «генератора холода».
5. Зимой в комнате может быть на 40 – 50^0С теплее, чем на улице. Можно ли использовать

эту ситуацию для получения полезной работы?

6. Атмосферу Земли можно рассматривать как тепловую машину. Как она работает?
7. В неотапливаемом помещении работает холодильник с терморегулятором. В момент подключения холодильника к сети температура на улице, в помещении и холодильнике была одна и та же. Считая температуру на улице постоянной, изобразите приближенно на графиках, как менялась температура в помещении после подключения холодильника.
8. Можно ли построить реальный «вечный двигатель» на плакучей иве. Ведь сок - эта та же вода, поднятая капиллярами дерева из земли наверх!
9. Почему плакучая ива особенно интенсивно «плачет» именно в жаркие дни?

Несмотря на все насмешки, стремление создавать теоретическое воззрение на вещи внешнего мира было непреодолимо в груди человека; из этого стремления непрестанно рождались все новые цветы.

Л. Больцман

Урок 30/10.

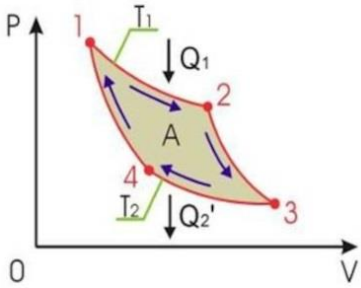
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников рассчитывать КПД теплового двигателя.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Прямая машина Карно. 2. Холодильная машина Карно. 3. Третий закон термодинамики.

Задачи:

1. Газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя равна 220^0С, температура холодильника равна 17^0С. При изотермическом расширении газ совершает работу 120 Дж. Определите количество теплоты, которое газ отдает холодильнику при изотермическом сжатии.
2. С помощью электрической плитки мощностью 1 кВт в комнате поддерживается температура 17^0С при температуре наружного воздуха – 23^0С. Какая мощность потребовалась бы для поддержания в комнате той же температуры с помощью теплового насоса? 138 Вт

3. Из-за несовершенства теплоизоляции холодильник получает от воздуха в комнате количество теплоты 420 кДж за время работы 1 ч. Температура в комнате 20^0С. Какую минимальную мощность должен потреблять холодильник от сети, чтобы поддерживать внутри холодильного шкафа температуру – 5^0С? 11 Вт
4. Холодильник основан на цикле Карно и предназначен для хранения газообразного гелия при температуре 4 К. Сколько джоулей механической энергии требуется для того, чтобы изъять 1 Дж тепла из гелия, находящегося при этой температуре? (температура горячего резервуара 293 К). А если температура образца гелия не 4 К, а 0,1 К.

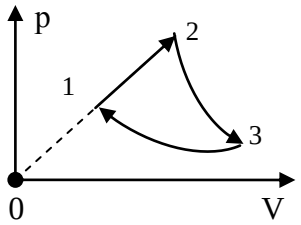
III. *Вопросы:*

1. Каковы причины того, что абсолютный нуль температуры недостижим?

2. Почему холодильник не работает, если он не включен в розетку?
3. Покажите, что тепловой насос может служить в качестве обогревателя зимой и в качестве кондиционера - летом.
4. Как доказать, что абсолютный нуль температуры недостижим?
5. На что расходуется энергия, потребляемая домашним холодильником?
6. Можно ли охладить комнату в жаркий день, оставив открытой дверцу холодильника?
7. Будет ли лучше работать холодильник, если на его теплообменнике сушить мокрые полотенца?
8. Чем отличаются p, V - диаграммы двигателя внутреннего сгорания в случаях, когда смесь сгорает постепенно или со взрывом (детонация). В каком случае выше КПД двигателя?
9. Газ, состоящий из атомов рубидия, был охлаждён до одной шестимиллионной градуса выше абсолютного нуля, а не нуля по Цельсию. Почему это важно?
10. Температура атмосферного воздуха, играющего для автомобильного двигателя роль холодильника, зимой заметно ниже, чем летом. Ведет ли это к увеличению КПД двигателя зимой?
11. Какой из законов термодинамики необходимо применить для объяснения явления образование облаков при подъеме теплого влажного воздуха вверх?
    1) Первый закон термодинамики; 2) второй закон термодинамики; 3) третий закон термодинамики; 4) все три закона.
12. Назовите закон:
    - Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений каждого газа в отдельности;
    - Закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления;
    - Закон, который определяет направление процессов в природе;
    - В равных объемах газов при одинаковых внешних условиях содержится одинаковое число молекул;
    - Закон, устанавливающий зависимость между двумя параметрами газа при неизменном третьем.

Задачи:

1. Кондиционер, работая в режиме нагревателя, закачивает в помещение 3 кВт тепла. Определите минимально возможный расход электроэнергии, если температура в помещении 20 ^{0}С, а на улице – 10 ^{0}С.
2. С одним молем идеального одноатомного газа проводят цикл. На участке 1-2 объем газа увеличивается в 2 раза.



Процесс 2-3 – адиабатное расширение, процесс 3-1 – изотермическое сжатие при температуре 300 К. Найти работу, совершаемую газом на участке 2-3.

3. Один моль гелия совершает цикл: участок 1-2 — адиабата, 2-3 — изотерма, 3-1 — изобара. Работа, совершенная газом за цикл, равна 250 Дж. На участке 2-3 газ отдает количество теплоты Q = 15 кДж. Какова разность температур между состояниями 1 и 2?

VI. Конспект.

Прекрасно, должно быть, командовать миллионами людей в великих государственных начинаниях и вести сотню тысяч человек к победе в битве. Но мне кажется, что еще важнее открывать фундаментальные истины, сидя в скромной комнате и будучи стесненным в средствах, ведь эти истины останутся основой человеческого знания, когда память о битвах сохранится лишь в архивах кропотливого историка.

Людвиг Больцман

Воображение важнее, чем знания, и применяя одну только логику, выдвинуть новую научную идею невозможно.

Альберт Эйнштейн

Урок 31/11. ОБ0ЩАЮЩИЙ УРОК ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

Почему нельзя верить предсказаниям будущего.

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся по термодинамике.

ТИП УРОКА: повторительный.

ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающая таблица “Термодинамика”, зачетные папки по термодинамике.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Систематизация знания
3. Обобщение знания
4. Задание на дом

II. ОБОБЩАЮЩАЯ ТАБЛИЦА: «ТЕРМОДИНАМИКА».

I. ОСНОВАНИЕ

1. Наблюдения: переход механической энергии во внутреннюю энергию, изменение внутренней энергии системы в процессе совершения работы и теплообмена.
2. Эксперименты: количественное определение изменения внутренней энергии системы в процессе совершения работы и теплообмена.
3. Основные понятия: внутренняя энергия, работа газа, количество теплоты.
4. Модель: тепловая машина Карно.

II. ЯДРО ТЕОРИИ

1. Постулаты:
2. Законы: $A + Q = \Delta U$ невозможно передать тепло от холодного тела к

горячему, не совершая работы (определение направления процессов в природе); абсолютный нуль температуры недостижим.

3. Константы: R = 8,31 Дж/(К·моль)

III. СЛЕДСТВИЯ

1. Формулы-следствия: $A = 0$, $Q = 0$, $\Delta U = 0$; $Q = 0$, $A' = -\Delta U$; $Q = A' + \Delta U$; $A = 0$, $Q = \Delta U$; $\Delta U = 0$, $A = -Q$.
2. Экспериментальная проверка:
3. Границы применимости: для любых термодинамических систем.
4. Практические применения: двигатель внутреннего сгорания, определение КПД тепловых машин, возраст Вселенной и т.д.

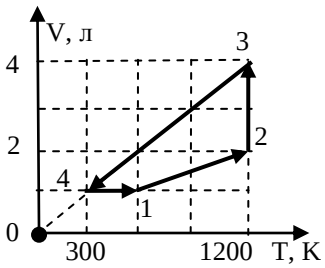
III. Классификация предложений по структурным элементам теории.

Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. При тепловом контакте двух тел их температуры выравниваются.
2. Универсальная газовая постоянная равна 8,31 Дж/(К·моль).
3. Теплота не переходит самопроизвольно от холодного тела к горячему.
4. При изохорном нагревании все подводимое к газу количество теплоты идет на увеличение его внутренней энергии.
5. Работа - свойство тела передавать упорядоченное движение другим телам при их взаимодействии, приводящее к изменению его внутренней энергии, измеряемое в термодинамике произведением давления на изменение объема газа.
6. С помощью законов термодинамики удалось понять, почему невозможно построить вечный двигатель.
7. Первый закон термодинамики – это закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления.
8. КПД теплового двигателя определяется формулой: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$.
9. Законы термодинамики применимы для любых термодинамических систем.
10. Идеальная тепловая машина Карно – модель, с помощью которой были получены важные результаты.

Дополнительные задачи и вопросы:

1. На рисунке показана V - T-диаграмма цикла, совершаемого O_2. Давление газа в точке 1 составляет 200 кПа. Определить давление газа в точках 2, 3, 4. Построить остальные термодинамические диаграммы. Найти: изменение внутренней энергии газа, работу, совершаемую газам, теплоту, подведенную к газу, и изменение энтропии газа в каждом из процессов 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 и во всем цикле. Рассчитать КПД цикла и сравнить его с КПД цикла Карно при тех же максимальной и минимальной температурах.



2. Газ переходит из одного и того же начального состояния 1 в одно и то же конечное состояние 2 в результате следующих процессов: а) изобарного процесса; б) последовательных изохорного и изотермического процессов. Рассмотрите эти переходы графически. Одинаковы или различны в обоих случаях: 1) изменение внутренней энергии; 2) затраченное количество теплоты?
3. В сосуде под поршнем находится азот. Поршень медленно приподнимают, понижая давление газа. Какова молярная теплоёмкость газа в данном процессе, если изменение давления составляет 0,5% при увеличении объема на 1%? Ответ выразите в единицах R (универсальна газовая постоянная), округлите до десятых.
4. Любое нарушение порядка, это беспорядок! Как это понимать?

Пока мы требовали, чтобы все динамические системы подчинялись одним и тем же законам, хаос был препятствием к пониманию. В замкнутом мире классической рациональности поиск знания легко мог приводить к интеллектуальному снобизму и высокомерию. В открытом мире, который мы сейчас учимся описывать, теоретическое знание и практическая мудрость нуждаются друг в друге.

Илья Пригожин

Илья Пригожин - создатель неравновесной термодинамики.

IV.

1. Составить обобщающую таблицу «Термодинамика», используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Почему возникает конусовидное облако конденсата (паровой конус) вокруг объекта, движущегося на околозвуковой скорости (эффект Прандтля — Глоерта)?
3. Почему возрастание температуры внешней среды, приводит к значительному уменьшению коэффициента полезного действия тепловых станций.
4. Бенджамин Томпсон (Румфорд), которому мы обязаны пароваркой, кофеваркой, кухонной плитой — с несколькими конфорками и с возможностью регулировать нагрев, термобельем и многими другими полезным вещами и чьи наблюдения и эксперименты сыграли важную роль в развитии физики. Какие?
5. Извержение вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в январе 2022 года, ставшее одним из самых мощных извержений на Земле за последние десятилетия, приведет не к похолоданию, а к потеплению. Почему возможно как похолодание, так и потепление?

Самое красивое важное достояние этой теории (термодинамики) – это понимание термодинамической «необратимости», как картины перехода к более вероятным состояниям.

В. Паули

Урок 32/12.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Какой из законов термодинамики необходимо применить для объяснения явления образование облаков при подъеме теплого влажного воздуха вверх?

1. Очень феерично описал три закона термодинамики писатель и физик Сноу:
   - Вы не можете выиграть.
   - Вы не избежите убытков.
   - Вы не можете выйти из игры.

То, что не ясно, следует выяснить.
То, что трудно творить,
Следует делать с величайшей настойчивостью.

Конфуций

Надо много учиться, чтобы знать хоть немного.

Шарль Луи Монтескье

Есть только два способа прожить жизнь. Первый: думать, что чудес не бывает. Второй: считать, что всё вокруг — чудо!

Альберт Эйнштейн

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Опыт и наблюдения – таковы величайшие источники мудрости, доступ, к которым открыт для каждого человека.

Чэннинг

Урок 33/1.

НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР

Почему сверху облака бугристые, а снизу – плоские?

ЦЕЛЬ УРОКА: Ввести понятия молекулярной физики: фаза, фазовое равновесие, фазовый переход. На примере парообразования дать представление о фазовых переходах.

ТИП УРОКА: лекция.

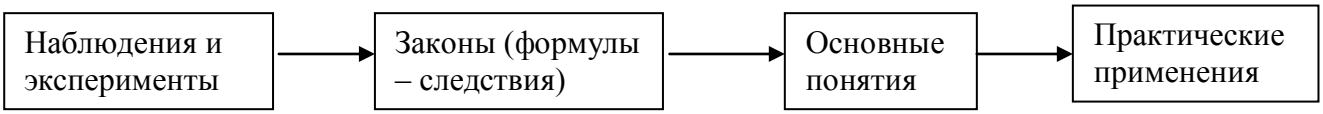
ОБОРУДОВАНИЕ: прибор для изучения газовых законов, вакуумный насос, эфир, колба с водой, электроплитка, насос воздушный.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

II. При изучении молекулярно-кинетической теории идеального газа были получены формулы, с помощью которых можно было объяснить некоторые свойства газов. При изучении термодинамики были получены законы, с помощью которых можно рассчитать изменение внутренней энергии системы и предсказать направление процесса. Однако реальное вещество (газы, жидкости, твердые тела) обладает многими свойствами, и получить количественные результаты на основе молекулярно-кинетических представлений сложно

(причины). Может быть, кому-либо из вас удастся получить основные уравнения реального газа, жидкости или твердого тела, однако пока таких уравнений нет (единая теория агрегатных состояний вещества). Поэтому мы введем основные понятия молекулярной физики, познакомимся с некоторыми свойствами вещества и получим законы, объясним их качественно на основе молекулярно-кинетических представлений и законов термодинамики, а получение главных законов оставим на далекое будущее.



Основные понятия:

1. Фаза - равновесное состояние вещества, отличающееся по физическим свойствам от других возможных равновесных состояний данного вещества.

Примеры: жидкая, твердая и газообразная фаза. Все знают, что при 0^0С в уличных лужах появляются кусочки льда. Первоначально однородная система – жидкая фаза – распадается на две фазы. Между разными фазами одной системы обычно существует четко выраженная граница раздела.

2. Фазовый переход - переход вещества из одной фазы в другую при изменении внешних условий (температуры, давления и т.д.).

Общие свойства фазовых переходов:

- Существует строго определенная температура перехода T_0.
- Фаза при температуре ниже T_0 более упорядочена, чем фаза при температуре выше T_o.

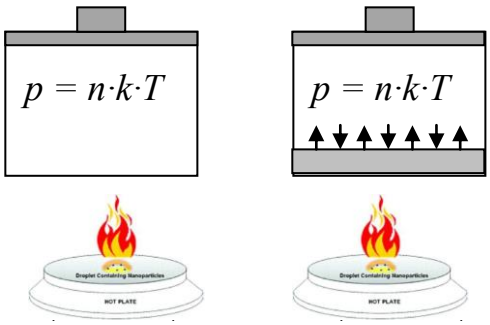
Парообразование - переход вещества из конденсированной фазы в газообразную фазу (испарение, сублимация, кипение).

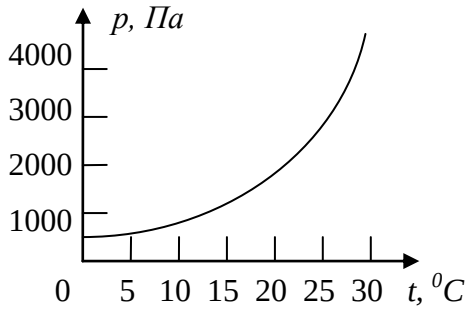
С поверхности жидкости вылетают молекулы, кинетическая энергия которых превышает некоторый энергетический барьер. **Скорость испарения жидкости**: ее зависимость от рода жидкости, температуры, площади свободной поверхности жидкости, плотности пара данной жидкости над ее поверхностью. Охлаждение жидкости при испарении.

Пример: Если бы прекратился кругооборот воды в природе, за год с поверхности Мирового океана испарился бы слой веды толщиной 1,1 м.

3. Фазовое равновесие - одновременное существование равновесных фаз в многофазной системе.

Насыщенный пар (закрыть крышкой стакан с водой). Давление насыщенного и





ненасыщенного паров от температуры (выяснение зависимости качественно по рисунку и на основе формулы $p = n{\cdot}k{\cdot}T$). Чем больше температура воздуха, тем больше в нем может содержаться водяного пара! Давление насыщенного пара

зависит только от температуры пара. График давления насыщенного водяного пара от температуры по справочным данным на доске и в тетрадях.

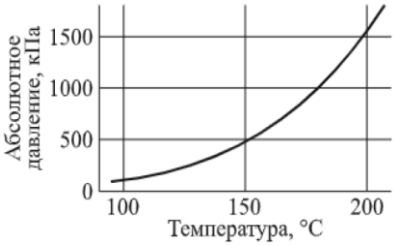
Теплый воздух удерживает больше влаги, чем холодный!

В таблице приведены значения давления насыщенного водяного пара при некоторых значениях температуры. Эта таблица понадобится для решения задач.

$t, {}^0C$	0	20	40	60	80	100	120
$p_н$, кПа	0,61	2,34	7,4	20	47	100	200

В **конденсационном термометре** температура определяется по упругости насыщенных паров гелия. Шкала термометра, т.е. связь температуры и давления в резервуаре, даётся кривой упругости пара.

Дополнительная информация. Образование облаков. Вместе с потоками теплого воздуха водяной пар поднимается все выше и выше. Чем дальше от земли, тем воздух становится холоднее, поэтому происходит обратный испарению процесс - конденсация. Вначале образуются мельчайшие капельки переохлажденной воды, подвешенные в воздухе, - это облака, возникновение которых далеко не всегда приводит к дождю. Обычно ветер уносит облака далеко от тех мест, где они образовались. Если облако попадает в поток более теплого воздуха, капельки снова превращаются в пар. Но если холодного воздуха много, капли увеличиваются в размерах, одновременно опускаясь под действием своей тяжести. Эго уже не белое облачко - это серая и тяжелая дождевая туча. Когда капли становятся достаточно большими, они падают вниз, по пути сливаясь со встреченными маленькими капельками. От того, с какой скоростью растут капли, зависит сила дождя, который проливается из тучи. Капельки имеют одинаковую форму, но их размер может изменяться от 0,5 до 6 мм в диаметре. Капли меньших размеров относят к мороси. В результате вода все время где-то конденсируется, а где-то испаряется. А одновременно с этим высасывает из окружающего воздуха скрытое тепло или высвобождает его обратно. Эти тепловые потоки вызывают изменения температуры и давления, что, в свою очередь, создает так называемые зоны воздушных фронтов. Масса кучевого облака достигает миллиона тонн. Объясните, почему такое тяжелое облако не падает на Землю?

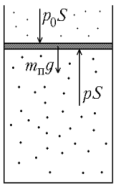


Кипение, как фазовый переход (испарение по всему объему жидкости). **Температура кипения**. Образование пузырьков в жидкости. Как только пузырек достигает определенного критического размера, при котором плавучесть преодолевает силу поверхностного натяжения, удерживающую пузырек на месте, пузырек начинает свободно всплывать. Достигнув поверхности жидкости, пузырьки ненадолго остаются на ней, пока пленка жидкости стекает. Когда пленка жидкости становится достаточно тонкой, она самопроизвольно взрывается с характерным звуком и образует капли аэрозоля. Демонстрация зависимости температуры кипения воды от внешнего давления (дать потрогать ученикам колбу с водой, кипящей при низком давлении).

Перегретая жидкость. Это неустойчивое состояние достигается нагревом ее выше температуры испарения при определенных условиях. При этом, незначительное внешнее воздействие на такую жидкость вызывает ее резкий переход в твердое либо газообразное состояние. Взрывное кипение перегретой жидкости. Демонстрация вытеснения парами кипящей воды воздуха из колбы и заполнение колбы подкрашенной водой после ее охлаждения (быстрое сжатие банки после остывания).

Дополнительная информация: в термических струйных принтерах в каждое сопло встроен резистор. При подаче короткого импульса напряжения резистор примерно за 1 мкс нагревает краситель до 300^0C, в результате чего краситель закипает, и возникший пузырек пара выталкивает наружу каплю красителя из сопла.

III. *Задачи:*



1. 1 кг воды при 100^0С и нормальном давлении превращают в пар такого же давления. Насколько изменится внутренняя энергия воды?
2. Тепловая машина выполняет работу по подъему ящиков. Она состоит из цилиндрического сосуда с легким поршнем, под которым находится кипящая вода при температуре несколько больше 100^0С. Ящик массой 15 кг ставят на поршень и медленно поднимают. Наверху ящик снимают с поршня, а пар выпускают. Определите КПД тепловой машины. Атмосферное давление 10^5 Па, площадь поршня 0,5 м^2.

Паровой поршень обеспечивал такую мощность, что шахтерам удавалось поднять воду на высоту до 45 м! В насосе Ньюкомена поршень поднимается и опускается в зависимости от флуктуаций давления пара, причем обе стадии реализуются в одном и том же пространстве – внутри цилиндра. Но, может быть, это неразумно? Уатт понял, что стоит выводить пар и конденсировать его в другом месте, в специальной охлаждающей камере. Выведение пара в нужный момент приводит к переходу поршня в нижнее положение, но при этом цилиндр остается горячим, и исчезает проблема конденсации пара.

3. Приготовление пищи в кастрюле-скороварке ведется при температуре 108^0С и повышенном давлении. Какая часть воды испарится после разгерметизации скороварки. Атмосферное давление нормальное, теплообменом при установлении теплового равновесия пренебречь.
4. Капля дождя имеет диаметр 2 мм и падает со скоростью около 5 м/с. На какое расстояние за сутки «упадёт» облако, если оно состоит из капелек размера 0,01 мм?
5. В цилиндрическом сосуде под поршнем при температуре T = 373 K находится насыщенный водяной пар. При изотермическом сжатии пара выделилось количество теплоты Q = 4540 Дж. Найти совершенную при сжатии работу A.

Вопросы:

1. Почему вода гасит огонь?
2. Сосуд с водой плавает внутри другого сосуда с кипящей водой. Какими способами можно вызвать закипание воды во внутреннем сосуде?
3. Если пакет с молоком или соком достать из холодильника, вылить из него содержимое и вновь плотно закрыть крышкой, то спустя некоторое время пакет раздуется. Почему?
4. Обладает ли сжатый воздух запасом потенциальной энергии?
5. Испарение по краям лужицы интенсивнее, чем в середине, потому что именно там высокая доля молекул воды соприкасается с воздухом. Поясните, почему это так?
6. Почему молоко "сбегает" при кипячении, а вода нет?
7. Как и почему изменится время закипания воды в открытой кастрюле на плитке при следующих действиях?

- Воду из широкой кастрюли перелить в узкую кастрюлю.
- Кастрюлю закрыть крышкой.
- Воду в кастрюле посолить.
- Долить в кастрюлю горячей воды из чайника.
- Воду в кастрюле помешивать ложкой.

8. Если стеклянную трубку с зауженным нижним концом опустить наполовину в сосуд с горячей водой и, закрыв верхнее отверстие пальцем, быстро перевернуть ее, то из нее горячая вода вытекает. Почему? Почему оказывается неудачным опыт с холодной водой?
9. Почему на морозе газовая зажигалка дает тусклое пламя или вообще его не дает?
10. Почему кипение происходит при постоянной температуре, а испарение приводит к понижению температуры?
11. Эффект Прандтля-Глоерта заключается в появлении конуса пара, иногда окружающего самолет, летящий со сверхзвуковой скоростью. Почему он возникает?
12. Почему «взрываются» зерна кукурузы при приготовлении попкорна?
13. В жаркие летние дни температура воздуха над поверхностью океана в тропиках повышается до 50^0С, и соленая вода интенсивно испаряется. Как изменяется грузоподъемность судна?
14. В морозилку поместили два одинаковых стакана с водой, но в одном вода горячая, а в другом – холодная. Горячая вода замёрзнет быстрее (эффект Мпембы). Почему?
15. Почему говорят, что если след тянется за самолетом через все небо, то следует ожидать ухудшения погоды?
16. "Время жизни" мыльного пузыря заметно увеличивается, если, во-первых, добавить в раствор глицерин или желатин, во-вторых, охлаждая раствор, и, в-третьих, пуская пузыри в прохладном помещении с повышенной влажностью. Почему? Рецепт: 600 г воды, 200 г моющего средства для мытья посуды, 100 г глицерина.
17. В статье, опубликованной в «Докладах Французской академии наук», ученые утверждают, что чем больше и гуще борода, тем чаще образуется лысина. Как это объяснить?
18. Открытая с концов длинная трубка высовывается из воды на 10 см. Верхний конец трубки закрывают, после чего воздух в трубке нагревают от 20^0С до 100^0С. Оцените, насколько надо переместить трубку вверх, чтобы уровень воды в трубке остался на уровне воды в сосуде?
19. Почему в формирующейся туче возникают мощные восходящие потоки?
20. Почему нисходящие потоки в зрелой грозовой туче вызывают ее разрушение?

Дополнительный материал: Опреснение морской воды (в литре морской воды 35 г соли).

- Дистилляция (большой расход энергии).
- Вакуумная дистилляция.
- Вымораживание (если медленно охлаждать морскую воду, то лед на поверхности будет пресным).
- Метод ионного обмена ($Na^+ \rightarrow H^+$, $Cl^- \rightarrow OH^-$).
- Метод обратного осмоса (продавливание морской воды под давлением 50 – 70 атм через специальные фильтрующие мембраны, пропускающие молекулы воды).

Вопрос: Почему нельзя пить морскую воду?

IV. §§ 15, 16. Упр. 4, № 1 – 3.

1. Правда ли, что чайник с закрытой крышкой закипает быстрее чайника с открытой крышкой? (теоретически обсудить эффекты, связанные с повышением давления, испарением воды и т.д.)
2. Если верхняя часть грозового облака преодолеет границу между тропосферой и стратосферой, то будет ливень! Почему это похоже на правду?
3. Кометы, как правило, в основном состоят изо льда. Может ли комета сгореть в атмосфере?
4. На кухне в кастрюле интенсивно кипит вода, так, что крышка радиусом 10 см подпрыгивает 4 раза в секунду примерно на высоту 1 мм. Мощность электроплитки 1 кВт. Оцените теплоту испарения воды.
5. Построить график зависимости температуры кипения жидкости от внешнего давления.
6. Попытайтесь объяснить тунгусскую катастрофу и извержение вулкана Кракатау на основе представлений о взрывном кипении перегретой жидкости.
7. В сосуд наливают доверху кипяток и закрывают пробкой. Пробка держится. А если из сосуда отлить половину горячей воды и снова закрыть пробкой, то она через некоторое время выскакивает. Объясните явление.
8. Если в стакан лимонада бросить щепотку сахара, то процесс выделения пузырьков газа усилится. Исследуйте и объясните явление.
9. Если в стакан лимонада бросить кусочек шоколада, то он начнет периодически подниматься вверх и опускаться на дно. Постройте график процесса, исследуйте и объясните явление.
10. Если внимательно посмотреть на трубу ТЭЦ, то можно заметить, что из нее идет не одна струя дыма, а две, причем обе струи вращаются, воздух между ними – в центре – поднимается, а по краям – спускается. Почему?
11. Стакан наполовину наполнили ледяной водой и герметично закрыли крышкой. Оцените, какой груз надо положить на крышку, чтобы из-под нее не выходил воздух при нагреве до 100°С.
12. Зависит ли давление насыщенного пара от кривизны свободной поверхности жидкости и если зависит, то каким образом?
13. Попробуйте любой фазовый переход объяснить с помощью общих философских законов (закон единства и борьбы противоположностей, закон перехода количественных изменений в качественные, закон отрицания).

Опыты с лимонадом:

1. Если быстро открыть бутылку с газированной водой или лимонадом, то над горлышком в первый момент появится дымок. Объясните явление.
2. Если из только что открытой бутылки налить лимонада в стакан, то в первый момент жидкость начинает пениться, а спустя некоторое время образуются только отдельные пузырьки. Почему?
3. Если накрыть стакан с лимонадом плотно прилегающей крышкой, то через некоторое время выделение газа совсем прекращается. Почему?
4. Какова будет реакция горящей нефти с водой?

Кто хочет съесть ядро ореха, должен расколоть его скорлупу. Плавт

Бледнеет ночь... Туманов пелена
В лощинах и лугах становится белее,
Звучнее лес, безжизненней Луна
И серебро росы на стеклах холоднее.
И. Бунин

Урок 34/2.

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА И ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Чем больше температура, тем более воздух влажный. Как это понимать?

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление о влажности воздуха и познакомить учеников с методами ее измерения.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: психрометр, гигрометр.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

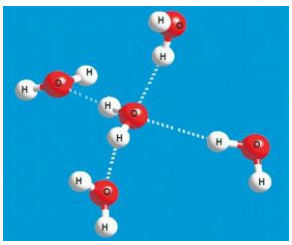
Задачи:

1. В пустом закрытом сосуде объемом 1 $м^3$ испаряется 10 г воды при температуре 20^0С. Будет ли пар насыщенным? Какое количество воды дополнительно должно испариться в этом объеме, чтобы пар стал насыщенным?
2. Какой энергией обладала шаровая молния, если она разорвала деревянную сваю радиусом 15 см на участке длиной 20 см? Предел прочности древесины 3 МПа, начальная температура воды 20^0С, коэффициент пористости дерева 0,1.
3. При изотермическом сжатии m = 9 г водяного пара при температуре T = 373 К, его объем уменьшился в 3 раза, а давление возросло вдвое. Найдите начальный объем пара.
4. Насыщенный водяной пар находится в цилиндре под поршнем при температуре t = 100^0С в объеме V = 15 л. Пар изотермически сжимают, совершая над ним работу A = 200 Дж. Сколько тепла при этом должно быть отведено? $Q = r\mu A/RT$=2600 Дж
5. Паровой котел частично заполнен водой, а частично – смесью воздуха и насыщенного водяного пара при температуре 100^0С. Начальное давление в котле 300 кПа. Найдите давление в котле после понижения температуры до 10^0С?

Вопросы:

1. Почему дождь охлаждает воздух? Почему фонтаны умеряют жару?
2. Приведите примеры фазовых переходов.
3. Удельная теплота парообразования воды значительно больше, чем серного эфира. Почему же эфир, налитый на руку, производит значительно большее охлаждение, чем вода?

4. Равны ли между собой температуры жидкости и ее насыщенного пара, ведь при испарении из жидкости вылетают наиболее "горячие" молекулы?
5. Для того чтобы удостовериться, что баллон огнетушителя, заполненного двуокисью углерода, заряжен и готов к работе, его регулярно взвешивают. Почему для этих целей не используют манометр?
6. Как изменяется температура реального газа при его расширении в пустоту?
7. Почему гаснет свеча в сильной струе воздуха?
8. Почему подпрыгивает крышка чайника во время кипения?
9. В старину людей удивляло, что почти одним и тем же движением губ можно и согреть руки и остудить чай. Как объясните это вы?
10. Почему происходит извержение гейзеров?
11. Почему при взрыве парового котла, давление пара в котором составляет всего лишь 10—15 атмосфер, могут произойти большие разрушения, в то время как при разрыве цилиндра гидравлического пресса, давление в котором превышает несколько сотен атмосфер, значительных разрушений не происходит? Чтобы давление пара стало равно атмосферному, ему нужно увеличить свой объем в 10-15 раз.
12. Нагретую пробирку поставили вертикально открытым концом в воду, налитую в блюдце. Как изменится уровень воды в пробирке по мере ее остывания?
13. Почему всплывает пакетик с чаем, когда его заливают кипятком?
14. Если в скороварку налить два стакана воды и плотно закрыть крышку, то после кипения воды в течение 20 минут и последующего охлаждения, крышку невозможно открыть. Почему?
15. Давление водяного пара при 15^0С было равно 1 кПа. Был ли этот пар насыщенным?
16. Одинаковы ли показания термометров, один из которых помещен у поверхности кипящей жидкости, а другой – в её глубине?
17. Почему вода имеет столь высокую теплоемкость? Вода вплоть до кипения локально неоднородна, в ней как короткоживущие флуктуации могут образовываться структуры низкоплотной воды, в которой молекулы предпочитают собираться в кластеры, слабосвязанные между собой, и более однородной высокоплотной воды. Вода при нормальных условиях куда больше похожа на лёд, чем считалось.

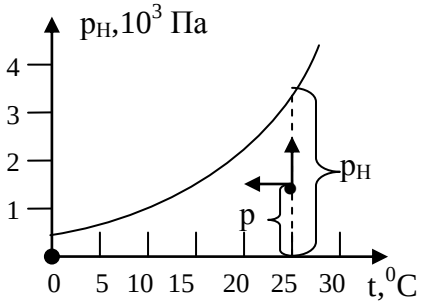


18. Почему в Арктике центр высокого давления, а Исландский и Алеутский центр – области низкого давления?
19. Почему при быстром открытии кран с очень горячей водой часто слышен резкий хлопок? При протекании воды через узкое отверстие ее скорость увеличивается, а давление

уменьшается, и вода закипает. При выходе из отверстия давление вновь возрастает, пузырьки захлопываются. Звуковая волна распространяется по воде с пузырьками пара со скоростью 5 – 10 м/с. Если вода из крана вытекает с большей скоростью, то давление на выходе из узкого отверстия резко возрастает и слышен хлопок.

III. Упругость (p) - парциальное давление водяного пара в атмосфере.

Насыщен ли водяной пар в атмосфере? Мысленные эксперименты с сушкой одежды. Перемещение воздушных масс в атмосфере. **В зависимости от температуры, времени суток и метеоусловий, пар в атмосфере может быть насыщен, близок к насыщению или далек от него.** График давления насыщенного водяного пара от температуры на доске. Допустим, что упругость водяного пара в атмосфере 1500 Па, а температура воздуха 25^0С. Насыщен ли водяной пар (по графику)? На сколько процентов пар насыщен?



t,^{0} С	–20	–10	0	+10	+20	+30	+50	+70	+90	+100	120
$p_н$, мм рт.ст.	0,77	1,95	4,58	9,2	17,54	31,8	92,5	233,7	525,8	760	1520

Относительная влажность воздуха (r) – мера насыщенности водяного пара в атмосфере, измеряемая отношением упругости водяного пара к давлению насыщенного водяного пара при данной температуре, выраженная в процентах: $r = \frac{p}{p_{\cdot}} \cdot 100\%$.

Влажность воздуха может изменяться в зависимости от местных условий на несколько порядков величины – фактически от нуля в пустынях до 100% в дождевых лесах.

Как можно увеличить относительную влажность воздуха?

1. **Испарение.** Увеличение плотности пара приводит к увеличению его упругости ($p = \frac{\rho \cdot R \cdot T}{M_{‰}}$). Изменение относительной влажности на примерах: t = 25^0С, $p_{нас}$= 3200 Па, p = 1600 Па, r = 50%; p = 1900 Па, r = 59%. В каком случае относительная влажность воздуха станет равной 100%? **Существует предельная масса воды, которую при данной температуре можно испарить в помещении.**
2. **Уменьшение объём сосуда, содержащего влажный воздух, при неизменной температуре.** $\rho = \frac{m}{V}$. p = 1600 Па, r = 50%. При уменьшении объема пара в 2 раза, r = 100%. А в три раза?
3. **Понижение температуры воздуха** (на примерах): t = 25^0С, p = 1600 Па, r = 50%; t = 15^0С, p = 1600 Па, $p_{нас}$ = 1705 Па, r = 94%.

Точка росы (t_p) – температура, при которой водяной пар в воздухе становится насыщенным.

Любой пар (газ) состоит не только из молекул, но и из кластеров, объединяющих несколько молекул. При понижении температуры количество и размеры кластеров растут. При достижении точки росы происходит наблюдаемая конденсация.

Какие параметры пара в воздухе можно рассчитать, зная точку росы?

Измерение упругости водяного пара и относительной влажности воздуха с помощью **гигрометра** (демонстрация). Первый волосной гигрометр был создан в 1783 году швейцарским геологом Горацием де Соссюром. В том же году он опубликовал статью, в которой доказал, что при одних и тех же температуре и давлении влажный воздух легче сухого. **Психрометр.** Психрометрическая таблица. Измерение влажности. Значение влажности. *Пример:* Ошибка в 1% при измерении влажности продукции может привести к неточности в определении годовой стоимости добычи угля в 73 млн. руб., зерна - 60 млн. руб. в ценах 1960 года. Оптимальная влажность для человека 45 – 50%.

IV. *Задачи:*

1. Найти относительную влажность воздуха в комнате при 18^0С, если точка росы 10°С.
2. Температура воздуха 23^0С, относительная влажность воздуха 45%. Найти упругость водяного пара и точку росы.
3. В 4 $м^3$ воздуха при температуре 16^0С находится 40 г водяного пара. Найти относительную влажность воздуха.
4. Точка росы водяного пара 11^0С. Какова плотность пара?
5. Воздух в комнате объемом 50 $м^3$ имеет температуру 27^0С и относительную влажность 30%. Сколько времени должен работать увлажнитель воздуха, распыляющий воду с производительностью 2 кг/ч, чтобы относительная влажность в комнате повысилась до 70%?

Типы увлажнителей воздуха: традиционный («холодный пар»), паровой, ультразвуковой.

Вопросы:

1. Если подуть на чистое холодное стекло, то возникает туманное пятнышко, которое затем достаточно быстро уменьшается в размерах и пропадает. Почему?
2. Почему эпидемия гриппа регулярно происходит в зимнее время года (воздушно-капельный путь передачи инфекции)?
3. Почему зимой в теплой комнате низкая влажность воздуха?
4. В каком случае "точка росы" становится "точкой инея"?
5. Ненасыщенный пар охлаждают до появления росы: один раз – изобарически, второй раз – изохорически. В каком случае роса появится при большей температуре? Почему?
6. Почему горнолыжные очки не обмерзают изнутри?
7. Почему кучевое облако имеет форму «кучи»?
8. Почему при увеличении абсолютной влажности воздуха (плотности водяного пара в воздухе) атмосферное давление уменьшается?
9. Воздух может быть перенасыщен влагой, но водяной пар не конденсируется. Почему? Почему он все-таки начинает конденсироваться?
10. Если вам зябко в холодной комнате, то поставьте на пол таз с теплой водой.

Почему вам должно стать теплее?

11. Почему даже в совершенно сухую погоду железо все-таки ржавеет, хотя и медленно?
12. Почему гроза поздней осенью, зимой или ранней весной является очень редким явлением?
13. Туман поднимается или опускается?

V. § 17. Упр. 4, № 4, 6, 7.

1. Определите относительную влажность воздуха в комнате и на улице, используя термометр, стакан с водой (влажную тряпочку) и психрометрическую таблицу. Как изменяется влажность воздуха в течение суток? Данные ваших измерений оформите в виде таблицы или графика.
2. Как зависит скорость испарения воды с поверхности водоема от температуры?
3. Если в блюдце с водой поставить горящую свечу и накрыть её сверху стеклянной банкой. То свеча потухнет, а вода из блюдца окажется в банке. Почему?
4. Объясните приметы:
   - В барометре упала ртуть – к дождю.
   - Вода чиста, как никогда – к дождю.
   - Рыбешка занята игрой, хватает мушек под водой - к ненастью.
   - На скаты крыш садится дым – к ненастью.
   - Кусают злые мухи скот - к ненастью.
5. Пустую алюминиевую банку из-под напитка, к ключу которой прикреплен груз, наполняют холодной водой. Затем стеклянный сосуд наполняют горячей водой и опрокидывают туда банку вверх дном. Банка тонет, но через некоторое время всплывает. Объясните результат эксперимента.
6. Чайник на газовой плите закипел, и конфорку выключили. Почему тут же из носика чайника повалил пар?
7. Обычно летом дождевые капли крупные, а осенью мелкие. Так ли это и если так, то почему?
8. Для измерения относительной влажности воздуха в сосуд, соединенный с манометром и содержащий исследуемый воздух, добавили небольшое количество воды и быстро закрыли пробкой. Через некоторое время часть воды испарилась, и давление в сосуде перестало увеличиваться, достигнув величины, превышающей начальное давление на 1 кПа. Давление насыщенного водяного пара при данной температуре 2,33 кПа. Какова была относительная влажность воздуха.
9. Если вытащить охлажденный стеклянный термометр из холодильника, то можно определить точку росы и относительную влажность воздуха в комнате. Как это сделать?

Наоборот, если бы мы смогли поместить Землю в некую весьма холодную область, например, в атмосферу Юпитера или Сатурна, то все наши реки и океаны превратились бы в горы. Воздух перестал бы быть невидимым и превратился бы в жидкость. Превращение такого рода открыло бы возможность получения новых жидкостей, о которых мы до сих пор не имеем никакого понятия.

Сене Кальете

Урок 35/3.

КРИТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА

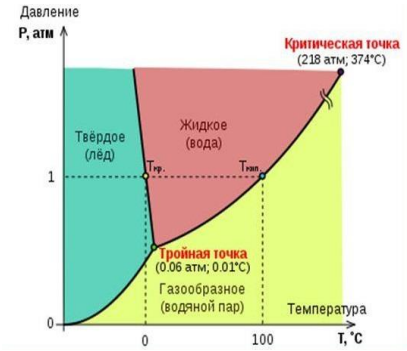
Почему при горении трещат дрова?

ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление о критическом состоянии вещества. Ввести понятие критической температуры. Познакомить учеников с некоторыми

явлениями, открытыми при низких температурах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор для наблюдения критического состояния вещества, проекционный аппарат ФОС-67 с принадлежностями.



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Влажность воздуха. 2. Измерение влажности воздуха.

Задачи:

1. В переданной по радио метеосводке говорилось, что днем температура воздуха в Новокузнецке 22^0С, а относительная влажность воздуха достигла 85%. Утром ожидается понижение температуры до 6^0С. Сколько воды выпадет в виде росы из каждого кубического метра воздуха?
2. В сауне объемом 10 $м^3$, разогретой до 100^0С, установилась влажность 30%. В сауне расплескали 2 л воды, но температура не изменилась. Какой теперь может стать влажность?
3. На улице при 17^0С относительная влажность воздуха составляет 60%. При умеренной физической нагрузке через легкие человека проходит 15 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру 34^0С и относительную влажность 100%. Какую массу воды теряет человек за 20 мин при дыхании?
4. В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной 100 мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха в ней равна 60%. Какой станет относительная влажность воздуха, если трубку поставить вертикально открытым концом вверх? Атмосферное давление равно 760 мм рт.ст. Температуру считать постоянной.
5. Какова плотность влажного воздуха при атмосферном давлении $p = 10^5$ Па, температуре t = 100°С (сауна) и относительной влажности r = 30%?

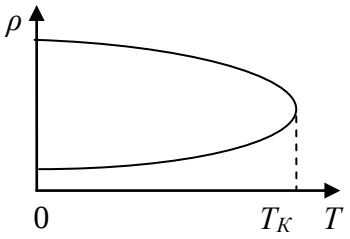
Вопросы:

1. Почему при одинаковых внешних условиях плотность влажного воздуха меньше, чем плотность сухого воздуха?
2. Почему роса обильно выпадает после жаркого сухого дня, особенно в конце лета?

3. Почему запотевают очки, когда человек с мороза входит в комнату? Конденсация пара при локальном достижении 100% влажности: $p = p_н(t_р)$.
4. Почему кожа сохнет и в холодную погоду?

5. Как изменится разность показаний сухого и влажного термометров при понижении температуры воздуха, если упругость водяного пара останется без изменений?
6. Как изменится давление насыщенного пара, отделенного от жидкости, в герметичном сосуде при повышении его абсолютной температуры в два раза?
7. Когда сухой и жаркий воздух в глубине материка движется в сторону океана, становится гораздо жарче. Почему?
8. Лобовое стекло в автомобиле запотело. Быстрее ли оттает стекло, если включить кондиционер?
9. Почему снег со временем твердеет?
10. Назовите причины образования облаков.
11. Приведите примеры, когда влажность достигает 100%.
12. В воздухе содержится водяной пар и другие газы, однако утром в виде росы выпадает только водяной пар. Почему?
13. Почему за самолетом иногда бывает конденсационный след, а иногда нет?
14. Когда с пола в комнате испаряется вода, то у потолка не образуются тучи и не идет дождь? Почему?
15. Что случится с водой в космосе: замерзнет или испарится?
16. Почему инверсионные следы за летящим самолетом, как правило, не возникают на малой высоте?
17. Почему проветривая зимой помещение, мы делаем его воздух еще суше?
18. Если до половины залитый холодной водой чайник поставить на газовую плиту и зажечь конфорку, то почти мгновенно стенки чайника запотевают до той высоты, до которой налита вода. Как объяснить явление?
19. Если зимой на севере влажную одежду зарыть в снег, то она высохнет. Почему?

III. Вода в сосуде (рисунок на доске). Средняя кинетическая и средняя потенциальная энергии молекулы жидкости в сосуде; соотношение между ними. При одной и той же температуре у газов $\overline{E}_K > \overline{E}_{ПГ}$, а у жидкостей $\overline{E}_K < \overline{E}_{ПЖ}$, так что $\overline{E}_{ПГ} << \overline{E}_{ПЖ}$. Железо может перейти в газообразное состояние, для этого его нужно нагреть до 50000 градусов Цельсия.



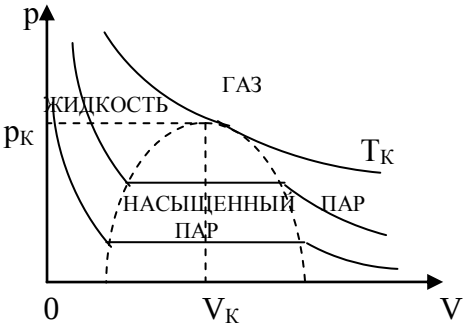
Средняя кинетическая энергия галактик в скоплениях оказалась в сотню раз больше их гравитационной потенциальной энергии. Почему галактики не разлетаются (темная материя)?

Зависимость средней кинетической энергии поступательного движения молекулы от температуры: $\overline{E}_K \sim$ Т. При $T = T_к$, $\overline{E}_K = \overline{E}_{ПЖ}$.

Критическое состояние – предельное состояние равновесия двухфазной системы, в котором обе фазы становятся одинаковыми по своим свойствам.

Вещество в таком состоянии невозможно отнести ни к жидкости, ни к газу!

Критические температура и давление - температура и давление вещества в его критическом состоянии.



Увеличение плотности пара и уменьшение плотности жидкости при повышении температуры; их равенство в критическом состоянии. Демонстрация критического состояния эфира. Самое важное, что в критической точке вещества ведут себя одинаково!

Критические точки (температуры) жидкостей по справочнику (Таб. 138). У воды $t_к = 374^0$С. Больше всего воды находится на Солнце. Вода там находится в виде газа.

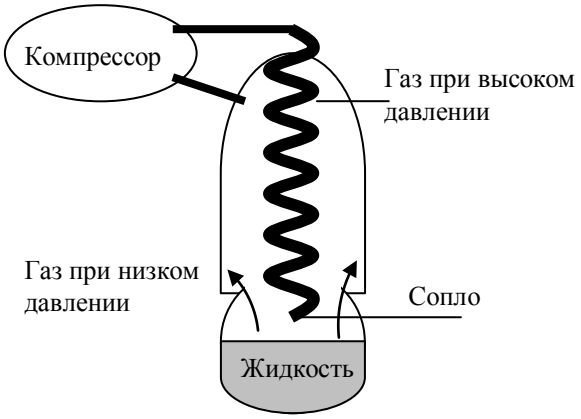
Суммарный вклад в тепловой баланс Земли «черных курильщиков» составляет около 20 % от всего выделяемого геотермального тепла. Ежегодно чёрные курильщики извергают порядка $3 \cdot 10^9$ тонн высокоминерализованной разогретой до 350°С воды (вода не кипит), и порядка $6 \cdot 10^{11}$ тонн — низкотемпературные источники (выше 20°С).

Пар можно превратить в жидкость при данной температуре, а газ нельзя (необходимо предварительное охлаждение до температуры ниже критической)!

Раньше газы: кислород, азот, водород, а позже и гелий, когда его открыли, называли перманентными, потому что считали, что их невозможно сжижать. При температуре 4,2 К "сдался" и газообразный гелий, став самой холодной на свете жидкостью. Экзотические вещества: сверхтекучий гелий – это жидкость, которая может карабкаться по стенам.

Критическая температура пропана 96,8^{0}С. Почему взрываются баллоны с газом при пожаре? Жидкий водород существует в очень узком интервале температур от −252,76 до −259,2 °С. Температура кипения −252,76 °С. В жидком состоянии водород является самым плотным веществом! А в газообразном?

Низкие температуры (ниже 120 К) можно получить с помощью холодильной машины Карно, однако, для их поддержания необходима огромная мощность.



В основе работы используемых в криогенной технике устройств лежит **эффект Джоуля – Томсона** (понижения температуры реального газа при его расширении в пустоту). Принцип действия холодильной машины Линде (достигаемая температура ~ 0,3 К).

Использование сжиженных газов в технике. Ракетная техника (жидкий водород и жидкий кислород). Хранение сжиженных газов.

Криостат (сосуд Дьюара) – термос для хранения холодных жидкостей. Чтобы жидкий гелий испарялся не так сильно, его окружают азотным экраном (слоем азота).

Дополнительная информация: Методы магнитного охлаждения. **Явления, открытые при низких температурах: сверхпроводимость, сверхтекучесть** (Капица). Сверхтекучая жидкость способна протечь сквозь сколь угодно узкие щели, лишь бы размер отверстия был больше, чем размер частиц, из которых состоит жидкость.

Эффектом Джоуля - Томсона называется изменение температуры газа при адиабатическом дросселировании - медленном протекании газа под действием постоянного перепада

давлений сквозь дроссель (пористую перегородку). Данный эффект является одним из методов получения низких температур. Почему это происходит?

Дополнительная информация (принцип действия теплового насоса): 1 г жидкого фреона – 12 (CF_2Cl_2) поместили в резиновый шарик и плотно завязали его веревкой. Температура кипения фреона – 33^{0}С, поэтому он испаряется, поглотив Q_2 = 133 Дж тепла из окружающей среды. Если теперь шарик внести в комнату и сжать пар до полной конденсации, совершив работу А, то комнате он отдаст количество теплоты $Q_1 = Q_2 + A$.

IV. *Вопросы:*

1. В чем преимущество углекислотных огнетушителей, заполняемых двуокисью углерода?
2. Почему жидкий азот можно лить на руку, не боясь ожога? Для капель азота рука, как горячая сковородка, поэтому азот кипит и образуется паровая подушка.
3. В цилиндре с подвижным поршнем находится вода и её насыщенный пар. Объем пара изотермически уменьшили в два раза. Как и какие параметры пара изменились, а какие не изменились в этом процессе?
4. Почему водяной газ мы называем паром, а кислородный – газом?
5. Почему камни для очага нельзя брать из озера?
6. В цилиндре под поршнем находится водяной пар при температуре 100^{0}С и давлении 50 кПа. Каким станет давление пара в цилиндре, если объем его изотермически уменьшить в 4 раза?
7. Когда открываешь бутылку колы, то показывается туман. Почему?
8. В каком состоянии находится вода при температуре 110^{0}С?
9. Почему сухой лед не может существовать длительное время при комнатной температуре?
10. В начале позапрошлого века жидкий воздух получали за счет расширения предварительно сжатого до 200 атм газа в специальных поршневых машинах. Почему это удавалось?

Задачи:

1. Смешали 1 м^3 воздуха с относительной влажностью 20% и 2 м^3 воздуха с относительной влажностью 30%. При этом обе порции были взяты при одинаковых температурах. Смесь занимает объем 3 м^3. Определите ее относительную влажность.
2. Давление воздуха в запертой комнате при температуре 27^{0}С равно 10^5 Па. Влажность воздуха при этом составляет 60%. Каким будет давление сухого воздуха и давление пара при понижении температуры на 5^{0}С? Давление насыщенного пара при 27°С равно 3,56 кПа.
3. В калориметр наливают m_1 = 2 кг воды при температуре t_1 = 10^{0}С, а затем m_2 = 0,8 кг жидкого азота при температуре кипения T_2 = 77 К и закрывают подвижным поршнем, поддерживающим постоянное давление. В каком агрегатном состоянии и при какой температуре будет находиться вещество в калориметре после установления теплового равновесия? Удельная теплота парообразования азота 200 кДж/кг, его удельная теплоемкость c_2 = 1 кДж/(кг·К). 0^{0}С, $m_л$ = 0,7 кг.

V.

1. Составьте обобщающую таблицу "Газ", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

2. Можно ли перевести непрерывно (без резкого скачка) газ в жидкость "в обход" критической точки?
3. Критическая температура воды равна 374,15^{0}С, критическое давление равно 22,13 МПа, а ее плотность при этих условиях 320 кг/м^3. Проверьте, выполняется ли в критическом состоянии уравнение Менделеева – Клапейрона.
4. Найти скорость испарения с единицы поверхности воды в вакууме при температуре 20°С.
5. Опишите картину перехода водяного газа через критическую точку?
6. Почему нельзя кипятить газовую зажигалку?
7. Почему возникает конусовидное облако конденсата (паровой конус) вокруг объекта, движущегося на околозвуковой скорости (эффект Прандтля — Глоерта)?
8. Какие изменения произошли бы в мире, если бы постоянная Больцмана "внезапно" увеличилась в 10 раз?
9. При температурах ниже 2,17 К (≈ -271°С) жидкий гелий становится сверхтекучим, то есть способным протекать без трения сквозь узкие щели. Справедлив ли в этом случае закон сообщающихся сосудов? Ответ обоснуйте.

Дополнительная информация: При температуре сжижения гелий представляет собой жидкость плотностью порядка 200 кг/м^3, очень прозрачную с очень малым коэффициентом преломления. Когда на него падает свет, он кипит. При температуре 1 К и давлении 25 атм гелий становится твердым. При 4 К необходимо давление 140 атм.

Выдуйте мыльный пузырь и смотрите на него: вы можете заниматься всю жизнь его изучением, не переставая извлекать из него уроки физики.

Кельвин

Урок 36/4.

ЯВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ

Почему на воде не остается следа?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с важнейшими свойствами жидкостей. Дать представление о поверхностной энергии и силе поверхностного натяжения, методах измерения поверхностного натяжения.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: сосуд с водой, мыльный раствор, проволочные рамки, динамометр ДПН, проекционный аппарат, диафильм “Свойства жидкостей”.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Критическая температура. 2. Получение и использование сжиженных газов в технике.

Задачи:

1. В цилиндре под поршнем находится 10 г водяного пара при температуре 100^{0}С и давлении 40 кПа. Какая масса пара сконденсируется, если объем пара изотермически уменьшить в 5 раз? Какое количество теплоты было отведено от пара в процессе сжатия?
2. В цилиндре объемом 10 дм^3 под поршнем находится влажный воздух при температуре 20^{0}С и давлении 133 кПа. Относительная влажность воздуха 70%. Каким будет давление в цилиндре, если объем при той же температуре

уменьшить в 10 раз?

3. В сосуде находится влажный воздух. При изотермическом сжатии его объем уменьшился в 5 раз, а давление увеличилось в 3 раза. При дальнейшем изотермическом сжатии в 3 раза давление в итоге стало в 7 раз больше первоначального. Какую относительную влажность имел воздух до начала сжатия?

Вопросы:

1. Можно ли расплавить олово в горячей воде?
2. Капли воды на раскаленной плите часто «живут» дольше, чем на просто горячей плите. Почему?
3. Мыльный пузырь на морозе внезапно сдувается и захлопывается. Почему?
4. Почему для хранения сжиженных газов часто используют сосуды сферической формы?
5. Почему сохраняется очень низкой температура жидкого воздуха (81 К) в сосуде Дьюара?
6. При критической температуре теплота парообразования любой жидкости равна нулю. Почему?
7. Всегда ли воду в газообразном состоянии называют паром?
8. Спирт кипит при 78^0С, а вода – при 100^0С. Почему же спиртовым термометром измеряют температуру кипящей воды?
9. Иней на деревьях иногда исчезает без ветра и оттепели. Объясните, как это происходит?
10. Можно ли через вертикальную трубку длиной 1 м откачать насосом из сосуда ртуть?
11. В запаянной трубке находится вода. Как определить, только ли насыщенный пар воды или еще и воздух находятся над водой в трубке?

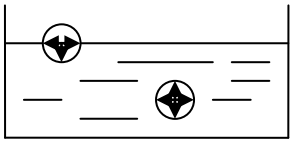
III. Жидкость – агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым состоянием и газообразным.

Свойства жидкости: мало сжимаема; обладает текучестью и вязкостью; принимает форму сосуда, в котором находится; сохраняет объем; образует поверхность; обладает определенной прочностью на разрыв; может непрерывно переходить в газ; не сохраняет форму. Жидкая вода – это неупорядоченное скопление молекул, связанных друг с другом слабыми химическими связями. Процесс непрерывного разрыва и восстановления связей с соседними молекулами позволяют воде сохранять текучесть и изменять форму.

Свойства, присущие только жидкостям: текучесть (жидкости стекают вниз — по-другому не бывает), **поверхностное натяжение** на границе раздела жидкости с любой другой средой. Мы не можем налить воды из кувшина или из чайника, мы не можем ничего проделать с какой бы то ни было жидкостью, чтобы не привести в действие силы поверхностного натяжения. Вода обладает текучестью только в гравитационном поле, а без него она превращается в капли или в пузыри. При взбалтывании, равно как и при кипении, вода пузырится и образуется пена. При приближении к критической температуре свойства

жидкости ближе к свойствам газа, а при приближении к температуре плавления – к твердому телу. Свойства отдельных жидкостей рассчитывают с помощью быстродействующих ЭВМ, однако единого уравнения нет.

Поверхностный слой жидкости. Существование приповерхностного слоя молекул подтверждается следующими примерами: 1) аккуратно положенное лезвие бритвы, покрытое жировой плёнкой, лежит на воде и не тонет; 2) паучки-водомерки перемещаются по поверхности воды; 3) образование пены на поверхности воды (воздух приподнимает плёнку, но не прорывает её); 5) слипание мокрых волос (объясняется стремлением воды, обволакивающей волосы, приобрести минимальную поверхность).



Молекула воды – электрический диполь. Положительный полюс одной молекулы притягивается к отрицательному полюсу другой, в результате на поверхности воды появляется некое подобие пленки. Избыточная потенциальная энергия молекул поверхностного слоя. **Поверхностная энергия *(U_n)* – избыточная потенциальная энергия всех молекул поверхностного слоя.**

$$U_n = \sigma \cdot S$$

Работа по надуванию мыльного пузыря: $A = \sigma \cdot \Delta S = \sigma \cdot 8\pi \cdot R^2$.

Вопрос: Почему мыльный пузырь сдувается? Камень скатывается с горы вниз, батарейка разряжается, чай остывает ровно из-за того, что всякая система стремится уменьшить свою энергию. Чтобы на каждом участке пузыря энергия была минимальна, он должен быть похожим на шар, без выступов или вмятин. **Жидкость всегда стремится уменьшить свою поверхностную энергию** (принцип минимума поверхностей энергии). Демонстрация с рамками (разрыв и сокращение поверхности жидкости); сферическая форма капель жидкости (производство дроби). Почему никто и никогда не видел кубических капель жидкости? Поверхностное натяжение порождает стабильность. Действие этой силы ведет к тому, что вещество приобретает плавные, похожие на стенки мыльного пузыря, очертания, поскольку для создания грубо очерченных поверхностей требуется энергия.

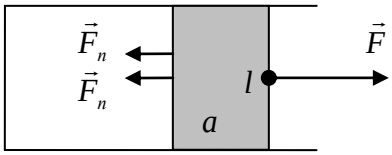
Дождевые капли бывают разных форм, но ни одна из этих форм не имеет остроконечных точек. Любой остроконечный край тотчас же сгладится, поскольку отдельные молекулы не могут противостоять притяжению со стороны основной массы молекул.

Свойство жидкости стремиться уменьшить свою поверхностную энергию называется поверхностным натяжением.

В каждой капле воды отражается весь мир.
Анаксагор

Давление внутри искривленной поверхности: $\Delta P = \sigma\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$ (Лаплас) $\rightarrow$ Δp =4σ/r - избыточное давление внутри мыльного пузыря.

Растяжение рамки (увеличение площади поверхности мыльной пленки).



$$A = 2 \cdot F_n \cdot a = \Delta U_n = \sigma \cdot 2 \cdot a \cdot l;\ F_n = \sigma \cdot l$$

Сила поверхностного натяжения ($\vec{F}_n$) – свойство жидкости оказывать влияние на границу раздела с другой жидкостью или твердым телом при соприкосновении с ними, измеряемое произведением коэффициента поверхностного натяжения жидкости на длину границы раздела.

«Паспорт» силы поверхностного натяжения:

- **Природа (электромагнитная);**
- **Модуль ($F_п = \sigma \cdot \ell$);**
- **Точка приложения (точка приложения равнодействующей всех сил поверхностного натяжения, действующих на данный участок границы раздела);**
- **Направление (по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярно границе раздела).**

Единица коэффициента поверхностного натяжения: [σ] = [Н/м]. Измерение поверхностного натяжения: метод капель, метод отрыва рамки от поверхности жидкости. Демонстрация с отрывом скобы от поверхности воды и измерение поверхностного натяжения воды. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры жидкости.

Вопрос: Если конец горячей проволоки опустить в воду, на поверхности которой плавают легкие частицы (например, ликоподием), то они быстро "убегают" от проволоки. Почему?

Дополнительная информация: Реофизика – изучает изменение текучести материалов под воздействием физических полей (подали ток на магнитную катушку – проходящая через клапан жидкость затвердела буквально за миллисекунды, а если сняли напряжение – течение также быстро возобновилось).

Дополнительная информация: В качестве жидкости для мыльных пузырей можно использовать водно-глицериново-мыльный раствор (в пропорциях 79:20:1), замерзающий при температуре −6,5 градусов Цельсия.

IV. *Задачи:*

1. Какую работу надо совершить, чтобы надуть мыльный пузырь радиусом 4 см?
2. Каково давление в пузырьках воздуха, образующихся в воде на глубине 3,5 м? Диаметр пузырьков 3,66 мкм. Атмосферное давление 101 кПа.
3. Как велико усилие, необходимое для отрыва металлической скобы массой 1 г от поверхности воды? Длина скобы 40 см.
4. Для измерения поверхностного натяжения воды была использована пипетка с диаметром выходного отверстия 2 мм. Масса 40 капель оказалась равной 1,9 г. Каким по этим данным оказалось поверхностное натяжение воды?

Вопросы:

1. Почему две капли ртути, приведенные в соприкосновение, сливаются в одну?
2. Чем можно объяснить текучесть жидкостей и газов?

3. Можно ли с помощью шприца сравнить коэффициенты поверхностного натяжения жидкостей?
4. В стакан с горячим чаем окунули кусок сахара, при этом растворяющая сахар вода не обжигает руки. Почему?
5. В каком направлении действует сила поверхностного натяжения?
6. Почему слабый ветер поднимает тучи песка в пустыне, а сильнейший ураган на море вздымает гораздо меньше водяных брызг?
7. Поток воздуха из соломинки для коктейля, направленный на поверхность воды, создает в ней углубление. Как это объяснить?
8. Почему вода из кружки выливается непрерывным потоком, а из стеклянной бутылки прерывистой струей (булькает)?
9. Мыльный пузырь лопнул. Исчезла ли энергия, затраченная на выдувание пузыря?
10. Почему из перевернутой банки мед вытекает с трудом?
11. Почему капли воды, которые разлетаются при падении массивных тел в воду, приобретают сферическую форму?

V. Домашние творческие задачи:

1. Почему стальная иголка не тонет на поверхности воды, а железный лом тонет?

Водомерка проваливается до тех пор, пока увеличение поверхностной энергии воды не сравняется с уменьшением потенциальной энергии насекомого.

2. Под воздействием ветра на поверхности океанов, морей и озер образуется рябь, и эта рябь представляет собой волны, в которых действующая вверх сила внутреннего давления воды уравновешивается действующей вниз силой поверхностного натяжения. Так ли это?
3. Если энергично встряхнуть бутылочку с кетчупом и привести его в движение, как он начинает вести себя как жидкость и свободно вытекает из бутылочки. Почему?
4. Как объяснить, что якорь массой 5 тонн надежно удерживает корабль массой 10 тысяч тонн?
5. Может ли существовать сферическая капля воды, которая испарялась бы без поглощения тепла или потери внутренней энергии, а только за счет поверхностного натяжения?
6. Покапайте стеарин с горящей свечи в таз с холодной водой. Объясните результаты вашего опыта и разработайте технологию производства дроби.
7. Оцените максимальный размер капель воды, которые могут висеть на потолке.
8. Оцените силу поверхностного натяжения, удерживающую водомерку на плаву.
9. Используя флакон из-под одеколона и подкрашенную воду, попробуйте выяснить, какова форма поверхности жидкости в свободно падающем сосуде.
10. Почему тонкая струя вода, вытекающая из крана, разрушается на капли? Исследуйте этот эффект и объясните его.
11. Опустив каплю чернил на поверхность воды в трехлитровой банке, опишите и объясните ее движение. Как зависят наблюдаемые эффекты от размера капли?
12. Когда разливают горячую воду по чашкам, в которых уже есть чайная заварка, то некоторые чаинки попадают из чашки в чайник. Почему?
13. В две одинаковые пипетки набирают одинаковое количество воды: в одну холодную, в другую – горячую. Из какой пипетки при их опорожнении упадет больше капель?
14. Почему мыльная пленка в конической трубке «бежит» к её узкому концу?
15. Если отбить кусочек стекла от кромки стакана, то этим стаканом пользоваться опасно

(можно порезать губы). В этом случае место скола нагревают газовой горелкой до размягчения стекла. Что при этом происходит и почему?

16. Правда ли, что поверхностный слой воды подобен упругой перепонке?
17. Почему белье гладят горячим утюгом? Зачем при глажении ткань увлажняют?

Авиценна был и физиком, и врачом, поэтому сила, которая заставляла подниматься кровь в тонком капилляре, казалась ему чрезвычайно важной.

А. Салам

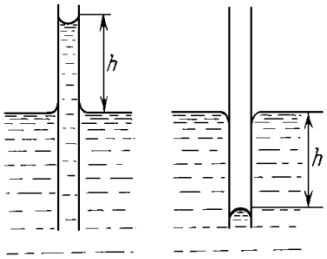
Урок 37/5. ЯВЛЕНИЯ СМАЧИВАНИЯ И КАПИЛЛЯРНОСТИ

Почему кисть удерживает краску?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с явлениями смачивания и капиллярности. Научить учащихся измерять поверхностное натяжение жидкости с помощью капилляра.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: проекционный аппарат ФОС-67 с принадлежностями, набор капилляров, волновая ванна, осветитель для теневого проецирования, детская присыпка, мыло, эфир, диафильм "Свойства жидкостей".



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Поверхностная энергия. 2. Сила поверхностного натяжения. 3. Методы измерения поверхностного натяжения.

Задачи:

1. Палочка длиной 4 см и массой 1 г покоится на поверхности воды. По одну сторону от нее налили мыльный раствор. С каким ускорением начнет двигаться палочка?
2. Проволочная рамка с подвижной перекладиной длиной 8,0 см затянута мыльной плёнкой. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы растянуть плёнку на 2,0 см? Поверхностное натяжение плёнки $\sigma = 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ Н/м.
3. Из плохо закрытого крана капает вода. Определить массу вытекшей за 24 ч воды, если время между отрывами ближайших капель 1 с. Диаметр шейки капли в момент её отрыва считать равным диаметру трубы крана 10 мм. Поверхностное натяжение воды 72,7 мН/м.
4. Воздушный пузырек радиусом $r = 5 \cdot 10^{-5}$ мм находится в воде на глубине h = 1 м. Определите плотность воздуха в пузырьке, если плотность воздуха при нормальном давлении $\rho_0 = 1{,}29$ кг/м^3. Давлением паров воды пренебречь.

Вопросы:

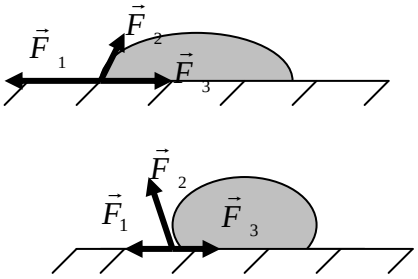
1. При землетрясении происходит разжижение почвы, и она приобретает свойства жидкости. Какие?

2. Почему передвигаясь по зыбучим пескам, рекомендуется вести себя как можно осторожнее и не совершать резких движений.
3. Куда девается мыльная пленка, когда она разрывается?
4. Холодные или горячие капли, капающие из крана самовара, имеют большую массу? Почему вообще вода держится на кончике трубки?
5. Можно было бы экономить миллиарды рублей в год на упаковочных материалах, если бы всю упаковку и для перевозок, и в магазинах делали шарообразной. Почему можно было сэкономить и почему этого не делают?
6. Если спичку длиной 4 см положить на поверхность воды и капнуть с одной стороны мыльного раствора, то спичка придет в движение. Почему? Какая сила на нее будет действовать? Оцените ускорение спички в начальный момент времени.

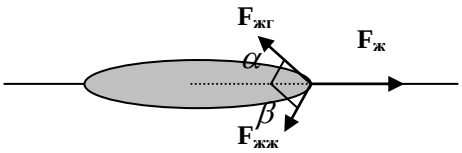
7. Почему маленькие капельки ртути имеют форму почти совершенно правильных шариков?
8. Какие законы определяют форму капель и пузырьков?
9. В начале нашего века судостроители столкнулись со следующим затруднением: гребные винты кораблей приходили в негодность, проработав всего несколько часов. Почему?
10. На торпеду "Шквал", движущуюся под водой со скоростью более 100 м/с, вода почти не оказывает сопротивления. Почему?
11. Почему рост ледяного покрова происходит на поверхности воды?
12. При падении какого-либо предмета на водную поверхность со скоростью более 200 км/ч, вода не успевает проявить свои текучие свойства и ведет себя как твердое тело. Почему?

Дополнительная информация: При увеличении скорости кавитационные пузырьки разрастаются в так называемые каверны. Подача газа в эти области приводит к увеличению каверн, размеры которых зависят от расхода подаваемого газа. Если какое-то тело укладывается в размеры каверны, то гидродинамическое сопротивление определяется только сопротивлением головной части, а размеры, масса и форма тела не играют роли. Креветки отпугивают непрошеных гостей кавитационными пузырями.

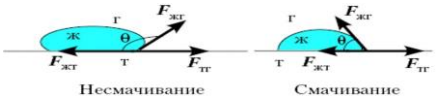
III. Поверхностное натяжение жидкости и его зависимость от среды, с которой данная жидкость граничит. Демонстрация сокращения свободной поверхности жидкости (уменьшение поверхностного натяжения воды мылом или эфиром). Капля масла на поверхности воды. Условие равновесия капли. Что



$F_ж > F_{жг}\cos\alpha + F_{жж}\cos\beta$ - смачивание



Что удерживает лужицу на столе от дальнейшего



растекания? **Смачивание и не смачивание**. **Адгезия** – свойство поверхностей двух разнородных тел противодействовать их разделению. Капля жидкости на поверхности твердого тела. **Краевой угол.** В случае смачивания поверхностей водой, если краевой угол меньше 90 градусов, то поверхность называют гидрофильной, если больше - гидрофобной.

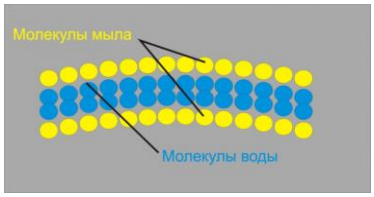
Жидкость в капилляре. **Выпуклый и вогнутый мениск**. Вывод формулы для определения высоты подъема (опускания) жидкости в капилляре.

$p_0 - \frac{2\sigma}{r} + \rho g h = p_0 \rightarrow \qquad h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$. Зависимость высоты подъема (опускания) жидкости в капилляре от рода жидкости и радиуса капилляра. Демонстрация с сообщающими капиллярными трубками разного радиуса.

Капиллярный эффект — процесс, при котором жидкость течёт в узком пространстве без помощи или даже против какой-либо внешней силы, такой как гравитация. На капиллярном эффекте основано действие влажных тряпок, губок, полотенец, салфеток, зажигалок.

Дополнительная информация: Гидрофобность - это свойство материала, которое позволяет ему отталкивать воду. Если поверхность или материал гидрофобный, вода образует капли и скатывается с поверхности, не впитываясь в нее. На поверхности гидрофобного материала обычно присутствуют низкодисперсные силы притяжения или отталкивающие взаимодействия, которые не образуют водородных связей с молекулами воды. Гидрофобность находит широкое применение в различных областях, включая текстильную промышленность (для создания водоотталкивающих материалов), строительство (для гидроизоляции), автомобильную промышленность (для защиты от коррозии) и другие.

Дополнительная информация: Амфифильные вещества (мыло, шампунь, некоторые белки) образуют на поверхности тонкий слой, в котором гидрофильные участки обращены к воде, а гидрофобные – к воздуху. В итоге стенка мыльного пузыря выглядит примерно так, как показано на рисунке. По мере растяжения в ряды "частоколов" вставляются все новые молекулы мыла из резерва, но как только он будет исчерпан, пленка рвется. Такие белки покрывают поверхность альвеол наших легких, препятствуя их спаданию, и защищают воду в организме от быстрого испарения.



Вопрос: Почему капля масла «взрывается» под действием капли спирта? На границе с воздухом больше всего поверхностное натяжение у металлов (у расплавленного золота оно 1,1 Н/м).

Дополнительная информация (глюкометр): Крохотная капелька крови, опущенная на тестовую полоску, благодаря капиллярному действию мгновенно впитывается в абсорбирующий материал. Крошечные поры тестовой полоски заполнены ферментом глюкозооксидазы. Вступая в реакцию с сахаром, содержащимся в крови, он генерирует электрический сигнал, измеряемый с помощью ручного устройства, и на экране отображается точный процент содержания сахара в крови.

Дополнительная информация. Всасывающий насос может поднять воду в трубке на высоту чуть более 10 м, при этом самое высокое растение из существующих на сегодняшний день имеет высоту 112,7 м! Как же деревьям удается обмануть законы физики? Увеличить высоту поднятия воды могли бы помочь уменьшение плотности и вязкости жидкости, которую надо поднять, уменьшение диаметра капилляра и увеличение поверхностного натяжения. Фактически получается, что устьица, испаряя воду, создают своеобразный вакуумный насос, а вода, путешествуя по симпласту, ведет себя как одна очень длинная молекула. Почему так получается?

IV. *Задачи:*

1. В капиллярной трубке радиусом 0,5 мм жидкость поднялась на 11 мм. Найти

плотность данной жидкости, если ее поверхностное натяжение 0,022 Н/м.

2. Найти массу воды, поднявшейся в капиллярной трубке диаметром 0,5 мм.
3. Оцените, сколько воды можно унести в решете. Площадь решета и его ячейки равны соответственно 0,1 $м^2$ и 1 $мм^2$. Решето водой не смачивается. Ткань из такого материала?
4. Капиллярную трубку радиусом r = 10 мкм и длиной l = 20 см, запаянную с одного конца, опускают открытым концом в сосуд с водой. Поверхность жидкости горизонтальная. Определите высоту H, на которую поднимется вода в трубке. Смачивание полное. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, температура постоянная.

Вопросы:

1. Почему ручка топора не выскальзывает из рук, если они влажные?
2. Почему из мокрого песка можно слепить фигурку, а из сухого нет?
3. Жесть после специальной обработки опускают в расплавленный металл и быстро вынимают (лужение и оцинкование). Почему это удается?
4. Почему космонавты не могут плакать так, как мы на земле?
5. Почему так трудно разделить два стеклянных листа, смоченных водой?
6. Почему стог сена остается внутри сухим при дожде?
7. Куда будет перемещаться вода в горизонтальном капилляре при его нагреве с одной стороны?

Именно так потеет человек - выделения проходят через кожу благодаря капиллярам.

8. Почему пища прилипает ко дну сковородок и пригорает?
9. Между двумя столбами натянута веревка. Как изменится прогиб веревки, если она намокнет от дождя?
10. Почему испарение по краям лужицы на столе интенсивнее, чем в середине?
11. Слой масла (например, оливкового) на воде может даже при сильном ветре уменьшить или вообще погасить волны. Почему?
12. Фундамент здания отделяют от кладки листом толя. Для чего это делают?
13. Почему поднятие воды в капиллярах не зависит от давления воздуха?
14. Почему почва, запачкавшая одежду, легче смываются водой, чем жир?
15. Известно, что в холодную погоду для растопки вместо дров используют обыкновенные красные кирпичи, вымоченные в бензине. На чем основан этот способ обогрева?
16. Почему у пловца под водой волосы свободно развеваются, и сразу слипаются, как только пловец выходит из воды? Так и у кисточки для рисования!
17. Почему волейбольная сетка сильно натягивается после дождя?
18. Почему вода мокрая?
19. Почему масло нерастворимо в воде? Не противоречит ли этот факт, второму закону термодинамики?
20. Почему в воде трудно хлопать в ладоши?
21. Почему капля на листе растения быстро исчезает, если прикоснуться к ней

спичкой, один конец которой обмакнули в какое-либо моющее средство?

22. Почему улитка не падает, ползая по потолку?
23. Почему из чистой воды нельзя выдуть пузырь в воздухе?
24. Почему листы бумаги, смоченные водой, слипаются?

Если вода проникает в поверхность объекта (смачивает его), то эта поверхность испытывает "притяжение" со стороны воды и автоматически начинает "прилипать" к ней. На поверхности смоченного объекта всегда есть слой неподвижной жидкости, и это способствует вязкому сопротивлению, поскольку слои жидкости скользят друг мимо друга. Поэтому рыбаки раньше покрывали деревянные лодки составами, похожими на гусиный жир. Плыть на гидрофобной лодке легче. Этот же эффект используется для снижения расхода топлива, необходимого океанским грузовым судам, и, по оценкам, приводит к экономии топлива до 10%.

25. Какие причины обусловливают предельный размер и форму капли?

V. Конспект.

Творческие домашние задачи:

1. Оцените, каким должно быть ускорение свободного падения на планете, чтобы человек мог ходить на ней по воде с не смачивающимися водой подошвами.
2. Почему невозможно что-то написать на воде?
3. Если опустить в воду изогнутую капиллярную трубку (фитиль), то вода, поднимаясь по трубке, казалось бы, снова может возвращаться в сосуд с водой, попутно совершая полезную работу. Возможно ли это?
4. Если положить в воду кусок мела, то из него начинают выходить пузырьки воздуха. Почему?
5. Как сделать так, чтобы чай не стекал по наружной стенке носика заварочного чайника и не проливался на стол?
6. Что же будет, если смыть жир с лапок водомерки поверхностно-активным веществом, например моющим средством?
7. Обычная швейная игла имеет длину 3,5 см и массу 0,1 г. Будет ли игла лежать на поверхности воды, если её аккуратно положить? При каком наибольшем значении диаметра стальная игла сможет удержаться на поверхности воды?
8. Выясните, как зависит диаметр мыльного пузыря от концентрации в нем поверхностно-активного вещества.
9. Два стекла соединены так, что образуют клин. Если основание клина погрузить в воду, то вода поднимется между стеклами и ее поверхность образует гиперболу. Докажите это!
10. В стакан с водой полусферическим дном погрузите стеклянную пробирку. Быстро вытащив ее, замерьте высоту струи воды, которая выскочила за пробиркой. Исследуйте зависимость высоты струи от скорости выдергивания пробирки из воды.
11. На поверхности воды плавают две спички, которые предварительно до половины были опущены в жидкий парафин. Оказалось, что как чистые, так и покрытые парафином концы спичек притягиваются между собой, а “разноименные” концы отталкиваются. Почему?
12. Если налить в стакан воду и бросить туда небольшой кусочек пробки, то, покачавшись, пробка "причалит" к стенке. Как заставить пробку плавать в центре стакана?
13. Как избежать зимой запотевания окон в автомобиле?
14. Вскрытую алюминиевую банку из-под газированного напитка наполняют доверху водой, а затем резко переворачивают, держа за торцы. Почему вода не выливается?
15. На горизонтальной стеклянной пластинке сверху и снизу находятся две одинаковые капельки масла. Какая из капелек сильнее прикреплена к поверхности стекла?
16. Оцените, какой радиус должен иметь алюминиевый шарик, натертый парафином, чтобы он «плавал» в воде, погрузившись ровно наполовину?
17. Оцените, на какую максимальную высоту "подпрыгнет" капелька, возникающая после

исчезновения пузырька газа радиусом 0,25 мм, поднимающаяся из газированной жидкости к ее поверхности.

18. Два тела, плавающие на небольшом расстоянии в жидкости, притягиваются друг к другу в результате поверхностного натяжения независимо от того, плавают ли они в воде или в ртути. Объясните, почему это так.

У капель - тяжесть запонок,
И сад слепит как плес.
Обрызганный, закапанный
Мильоном синих слез.

Б. Пастернак

Урок 38/6

ПРИМЕНЕНИЯ СМАЧИВАНИЯ И КАПИЛЛЯРНОСТИ

Почему полотенца становятся жёсткими после стирки?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с практическими применениями явлений смачивания и капиллярности.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Капиллярные явления в природе и технике".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Демонстрация кинофильма
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Смачивание. 2. Явление капиллярности.

Задачи:

1. В горизонтальном капилляре, внутренний диаметр которого 1 мм, находится столбик глицерина. Какой должна быть длина столбика, чтобы при вертикальном положении капилляра глицерин из него не выливался? Смачивание считать полным. Коэффициент поверхностного натяжения глицерина 0,064 Н/м.
2. Как повысится температура при слиянии 1000 капелек ртути радиусом 0,1 мм в одну большую каплю? Поверхностное натяжение ртути 0,47 Н/м, плотность 13600 кг/м^3, удельная теплоемкость 120 Дж/(кг·°С).
3. Мыльный пузырь надувают воздухом, температура которого выше комнатной температуры. При диаметре пузыря 0,3 мм он начинает всплывать. На сколько процентов температура воздуха в пузыре выше комнатной температуры? Атмосферное давление нормальное. Массой пленки пренебречь.

Вопросы:

1. На чем основано выведение жирных пятен с тканей горячим утюгом?
2. Если положить кусок сухого мела на мокрую губку, то мел намокнет. Если положить сухую губку на мокрый мел, то губка останется сухой. Почему?
3. Почему некоторые ткани после стирки "садятся"?

4. Почему нельзя построить что-то из песка под водой?
5. Почему нижнее отверстие пипетки должно быть малым?
6. Почему почву после дождя обязательно надо рыхлить?
7. Почему при сушке дров на солнце на конце полена, обращенного в тень, выступают капельки воды?
8. Почему к влажному пальцу бумага прилипает, а к сухому нет?
9. Одна из стеклянных колб наполовину заполнена водой, другая – ртутью. Какой будет форма этих жидкостей в состоянии невесомости?
10. Каким образом полотенца отсасывают воду с вашего тела?
11. Почему, прежде чем покрыть штукатурку масляной краской, производят грунтовку олифой?
12. Сообщающиеся капилляры разного диаметра заполнены водой. Как изменится разность уровней воды при нагревании?
13. Почему намокший узел на веревке развязать гораздо труднее, чем на сухой?
14. Снижая поверхностное натяжение, пена для ванн продлевает жизнь воздушных пузырьков, поскольку их большая поверхность оказывается гораздо устойчивее. Почему?
15. Почему в сухую погоду дорожка пылит, а в мокрую – колеса грязнит?
16. Почему высота подъема жидкости в капилляре не зависит от угла его наклона?
17. При подъеме жидкости в капилляре сила поверхностного натяжения совершает работу $A = mgh$, однако потенциальная энергия столба жидкости $E_П = \frac{1}{2}mgh$. Как это согласуется с законом сохранения энергии?
18. Две спички притягиваются друг к другу в результате поверхностного натяжения независимо от того, плавают они в воде или в ртути. Почему?
19. Как объяснить моющее действие мыла?
20. Почему в жаркой бане "пот идет градом"?
21. Как объяснить резание стекла алмазом?
22. Шарообразный стеклянный сосуд, на три четверти заполненный водой, привели в состояние невесомости. Что произойдет с водой? А если вместо воды взять ртуть?
23. Почему в капиллярной трубке большего диаметра вода понимается на меньшую высоту?
24. Почему весь газ не выходит из налитого в стакан лимонада наружу?

III. Демонстрация двух частей кинофильма "Капиллярные явления в природе и технике".

Дополнительная информация: Весь механизм, обеспечивающий жизнь дерева, основан на непрерывности потока воды. Его невозможно перезапустить. Но это очень умная «водопроводная система», и весь расчет ее создателя строится на том, что ее непрерывное действие обусловлено лишь очень маленькой величиной поперечного сечения: буквально несколько нанометров. Силам, тянущим воду вверх, приходится также преодолевать силу

трения со стороны стенок трубки, когда вода продвигается по чрезвычайно узким каналам. Но такой перевес сил поверхностного натяжения над силой земного притяжения и силой трения возможен лишь до определенного предела. Чтобы повышать силу поверхностного натяжения с целью поднять воду на все более высокие уровни, нужно уменьшать устьица. А чем меньше устьица, тем меньше доступ углекислого газа (одного из исходных компонентов, необходимых для фотосинтеза). В этом месте, где водопроводные трубки соприкасаются с воздухом, размер их поперечного сечения составляет всего примерно 10 нанометров. Поскольку канал крошечный, поверхностное натяжение способно оказывать огромное вытягивающее усилие на всю воду под ним, достаточное, чтобы вытягивать весь столб воды вверх по дереву. Потрясающе! Теоретически никакое дерево не может превышать 122–130 метров, поскольку иначе оно не сможет получать достаточное количество углекислого газа для дальнейшего роста. Деревья — жизненно необходимая часть экосистем Земли; они не вырастали бы такими высокими, если бы не могли доставлять воду на требуемую высоту. В лесу вода течет снизу вверх!

Дополнительная информация: Чтобы очки не запотевали, необходимо ослабить поверхностное натяжение воды или увеличить силу притяжения со стороны внутренней поверхности очков. Для этого нужно плюнуть в очки и растереть слюну по внутренней поверхности пластика. Если тонкий слой поверхностно активного вещества нанесен, то любая вода, которая конденсируется на этой поверхности, будет тотчас же им покрыта. Очки для плавания со специальным покрытием на внутренней поверхности, притягивающим воду (оно называется гидрофильным).

IV. Творческие домашние задачи:

1. Составить обобщающую таблицу "Поверхностное натяжение", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Почему сухой песок может сыпаться, а мокрый – нет?
3. Почему на мокром песке остаются следы, отпечатки?
4. Можно ли показать, не пользуясь никакими приборами, что коэффициент поверхностного натяжения у мыльного раствора меньше, чем у чистой воды?
5. Домашнее сочинение: «Вообразите мир без поверхностного натяжения».
6. Измерьте поверхностное натяжение воды разными способами.
7. Оцените диаметр капилляров фитиля, ткани, промокательной бумаги.
8. Объясните, почему, когда камень или капля дождя падает в воду, брызги летят вверх. От чего больше зависит высота полета брызг: от размеров камня или от скорости его падения? Какова максимальная высота полета брызг?
9. При падении на пол спиртового термометра столбик спирта обычно «разрывается». Можно ли восстановить целостность столбика? Если можно, то, как это сделать? Если нельзя, то почему?
10. Оцените наибольший из возможных размеров дождевой капли.
11. Почему почва впитывает дождевую влагу? Почему после дождя бывают лужи? Почему на глинистой почве лужи сохраняются более длительное время? Исследовать путем изменения капиллярной структуры почвы.
12. Почему разрывается ствол ружья, если перед выстрелом он случайно был заполнен водой?
13. Если на поверхность воды, предварительно посыпанной детской присыпкой, капнуть мыльного раствора, то произойдет "взрыв" на поверхности воды. Объясните явление.
14. Пластиковую бутылку наполнили водой из-под крана и положили в морозильную камеру. При замерзании воды в объеме льда образуются пузырьки воздуха. Чем определяется расположение отдельных пузырьков? Почему они выстраиваются в цепочки?
15. Составить обобщающую таблицу "Жидкость", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
16. Колечко детской игрушки для выдувания мыльных пузырей обмакивают в мыльный

раствор и дуют на образовавшуюся в кольце мыльную пленку. При какой скорости воздушного потока начнут выдуваться пузыри? Как нужно регулировать скорость потока, чтобы выдуть пузырь максимального размера?

17. Многие свечи, перед тем как погаснуть, мерцают. Исследуйте и объясните это явление.
18. Благодаря чему свеча сгорает равномерно?
19. Оцените максимальный размер капель дождя. (При падении капли $F_T = F_c = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$, поэтому разрушающее давление силы сопротивления равно восстанавливающему давлению Лапласа $\frac{F_c}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r}$, откуда $r = \sqrt{\frac{3\sigma}{2\rho g}}$).
20. В воду постепенно вливают другую, смешивающуюся с ней жидкость. Постройте график зависимости массы смеси от ее объема, если вливаемая жидкость имеет: а) меньшую плотность, чем вода; б) большую плотность, чем вода.
21. Объясните, почему в медицинском термометре измеренная температура фиксируется, а в уличном нет?

Кристаллу не пристало
Терять черты кристалла.
С. Смирнов

Урок 39/7.

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Почему особо тонкие коньки лучше скользят?

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о твердом теле, его внутреннем строении и свойствах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: набор кристаллических и аморфных тел, диафильм "Кристаллы", лупа, проекционный аппарат ФОС-67, микроскоп, гипосульфит натрия, модели атомов на магнитных держателях.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Лекция
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Задачи:*

1. Капля воды массой 0,1 г введена между двумя плоскими и параллельными между собой стеклянными пластинками, полностью смачиваемыми водой. Как велика сила притяжения между пластинами, если они находятся друг от друга на расстоянии 10^{-3} см (насекомые, выделяя на лапках капельки жидкости, могут ходить по потолку)?
2. Сферическая капля ртути радиусом R свободно падает с высоты H на стеклянную пластинку. Определите максимальное число одинаковых сферических капель, образованных при ударе о пластинку. Плотность ртути ρ, коэффициент поверхностного натяжения ртути σ. Теплоемкостью пластинки и окружающей среды пренебречь.

Вопросы:

1. В горизонтальный стеклянный капилляр с переменным сечением вводят сначала капельку воды, а затем капельку ртути. Как будет двигаться каждая капелька?
2. Плавающий в неполном стакане с водой шарик от пинг-понга притягивается к стенке и прилипает к ней, но в том же стакане с водяной «горкой» – быстро занимает положение в центре. Почему?
3. Как изменится высота уровня в капилляре, если взять капилляр вдвое меньшего диаметра и перенести его на Луну? Ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше земного.
4. Почему прошлогодние листья после таянья льда в пруду собираются на его середине?
5. Можно ли показать, не пользуясь никакими приборами, что коэффициент поверхностного натяжения у мыльного раствора меньше, чем у чистой воды?

III.Твердое тело - агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью форму и характером теплового движения атомов, которые совершают малые колебания около положений равновесия.

Исследование свойств твердых тел. Физика твердого тела (около половины физиков мира работают в этой области). Практическая значимость:

1. Твердые тела металлы и диэлектрики, полупроводники, магниты и т.д.
2. Важные свойства коллективного поведения большого числа частиц.

Два больших класса твердых тел: кристаллы, аморфные тела.

Дополнительная информация. По-настоящему твердые тела как раз кристаллические. Потому что у них есть четко определенный температурой плавления переход из твердого в жидкое состояние. У аморфных же тел этот переход размазан, как сливочное масло по куску батона. Собственно, масло - это аморфное тело. Так почему же, в конце концов, некоторые называют его жидкостью? Да потому что оно течет. Оно течет, потому что аморфное. Только очень медленно. Настолько медленно, что понадобится несколько десятков лет, чтобы заметить это невооруженным глазом. У автомобильных масел при понижении температуры от 120^0 до 20^0С вязкость возрастает в 10^4 раз. У некоторых веществ вязкость может увеличиться настолько, что жидкость станет напоминать твердое тело (смола, канифоль, стекло). Такое состояние и называют аморфным. Аморфные тела с течением времени кристаллизуются (при охлаждении жидкого металла со скоростью 10^6 К/с - аморфный металл). Благодаря своей аморфной структуре металлические стекла могут быть прочными, как сталь, и пластичными, как полимерные материалы, они способны проводить электрический ток и обладают высокой коррозионной стойкостью. Такие материалы могли бы получить широкое распространение при изготовлении медицинских имплантатов и разнообразных электронных устройств, если бы не одно неприятное свойство: хрупкость. Металлические стекла, как правило, являются ломкими и неравномерно сопротивляются усталостным нагрузкам, что ставит под вопрос их надежность. Использование многокомпонентных аморфных металлов (композитов) решает эту проблему, однако для монолитных металлических стекол она до сих пор актуальна.

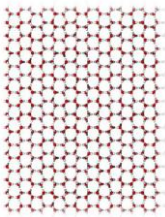
Дополнительная информация. Симметрия кристаллов (демонстрация кристаллов). **Объект является симметричным, если над ним можно произвести некоторые операции (поворот, сдвиг, отражение), в результате которой он будет выглядеть так же, как и прежде.** Симметрия окружает нас почти повсеместно: в архитектуре, природе, геометрических фигурах и орнаментах. Получается, что она является одним из негласных

законов мироздания. Но на уровне отдельных атомов, кристаллы не менее завораживающие, поскольку состоят из стоящих в красивых повторяющихся периодических узорах, атомов одного или разного типов. Симметрия делает нашу жизнь красивой, поэтому будем ей наслаждаться и ценить её!

Мелькает, вьется первый снег,
Звездами падая на брег ...
А.С. Пушкин

Типичный снежный кристалл содержит около 10^{18} молекул воды, а потому шансы обнаружить два абсолютно одинаковых по форме и размеру кристалла практически равны нулю. На макроскопическом уровне это означает, что со времен первой упавшей на землю снежинки до наших дней, по-видимому, не было ни одной, похожей на другую, - все эти удивительные создания природы были разные. Почему? Двух снежинок с одинаковым узором не бывает. В земных условиях повсеместно встречается обычный кристаллический лёд и, реже, две других формы кристаллического льда: один только в верхних слоях атмосферы, а другой в Антарктиде. Две известные аморфные формы льда распространены в космических условиях, где недостаточно тепла для роста кристаллов и такой лёд по структуре напоминает жидкую воду, вот только одна аморфная форма льда имеет плотность ниже плотности воды (0,94 г/см^3), а другая — выше (1,13 г/см^3).

Математик Йоганнес Кеплер, известный своими законами движения планет, в 1611 году написал книгу под названием "Снежинка", в которой он описывает математические законы, лежащие в основе формы снежинок. Кеплер утверждал, что снежинки имеют определенную геометрическую структуру, которую можно описать математически. Спустя более 400 лет после написания книги ученые подтвердили его предположения, с помощью современных методов изображения микроскопии высокого разрешения.



Кристаллы симметричны. Почему?

Важное свойство кристаллов - **анизотропия**, зависимость физических свойств от направления внутри кристалла. Например, вдоль волокон древесина легко растрескивается, а поперек волокон сломать дерево гораздо сложнее. Демонстрация анизотропии теплопроводности у кристаллов гипса, слюды или горного хрусталя. **Кристаллы анизотропные.** Почему? Зачем тупят гвоздь перед тем, как забить в доску?

И не внешняя форма характеризует кристалл, а его внутренняя структура, расположение атомов. Эти атомы создают нечто вроде гигантской молекулы, а точнее, упорядоченную пространственную решетку.
Г. Линднер

Объяснение свойств кристалла на основе представлений о его внутреннем строении. Гаюи (аналогия с домом, построенным из кирпичей). **Элементарная ячейка – элементарная структура, последовательным повторением которой можно построить весь кристалл.** Демонстрация построения кристалла из элементарных ячеек на магнитной доске.

Кристаллическая решетка – модель кристалла.

Демонстрация кристаллических решеток (разные виды упаковок).

Модели криссталических решеток очень красивы: разноцветные маленькие шарики, изображающие атомы, соединенные металлическими стерженьками, представляющими валентные

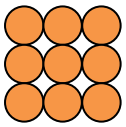
связи.

Дополнительная информация. По теории Гаюи строение и форма кристалла зависят только от формы и распределения составляющих его частей. Среди форм, в которых встречается в природе какое-нибудь кристаллизованное вещество, существует одна, которую нужно считать первичной. Первичной формой Гаюи считал получающуюся при разрушении кристалла форму спайности, отличающуюся постоянством. Из неё могут быть выведены все остальные формы как вторичные образования. **Трансляционная симметрия** – повторение объекта в пространстве через определенное расстояние вдоль прямой, называемой осью трансляции. Простейшим примером подобного могут служить рельсы и шпалы. Если мы сможем увеличить алмаз до громадных размеров, чтобы молекулы были видны невооружённым глазом, то окажется, что они выстроились особым образом. То есть, на всём протяжении тела, молекулы упакованы одинаково, стоят в одном и том же порядке (его ещё называют дальним). В аморфных телах, хоть молекулы и сцеплены друг с другом достаточно сильно, форма соединения молекул похожа только в пределах соседних частиц. Такое расположение позволяет телу проявлять большую эластичность и называется ближним порядком. Рентгеноструктурный анализ.

Кристаллография изучает физические свойства, образование и рост кристаллов, а также их внешнюю и внутреннюю геометрию.

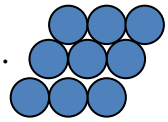
Упорядоченное расположение атомов в кристалле есть прямое следствие общего закона природы: устойчивым является такое состояние системы, при которой её энергия будет минимальной. В нашем случае «система» — это кристалл. Минимальной энергии соответствует упорядоченное расположение атомов (определенному порядку в расположении атомов).

Заполнить пространство шарами одинакового радиуса можно различными способами:



1. Плотность упаковки 1.

$$P = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{(2R)^3} = \frac{\pi}{6} = 0{,}5236$$



2. Плотность упаковки 2.

$$P = 0{,}74048$$

Максимальная плотность упаковки: $P = \sqrt{2}\left[3 \cdot \arccos\left(\frac{1}{3}\right) - \pi\right] = 0{,}7796338$, хотя как нужно упаковать шары, никому не известно.

Дополнительная информация. Например, в куске меди доля свободного пространства составляет 26%, а в расплавленном состоянии она увеличивается до 29%. **Типы кристаллов: молекулярные, ионные, ковалентные, металлические.** Белый снег и серый лёд (твёрдая вода) - это примеры молекулярных кристаллов. Белый порошок, который кладём в чай (сахар), это тоже кристаллы, и даже нашу ДНК вполне можно закристаллизовать. Влияние внутренней структуры на физические свойства кристалла (белое и серое олово, алмаз и графит). Трагедия Скотта. Анизотропия и симметрия - следствия дальнего внутреннего порядка в кристалле (демонстрация на магнитной доске).

Постоянство температуры плавления кристалла. Почему? При плавлении кристалла все подводимое количество теплоты идет на разрушение кристаллической решетки (разрушение порядка).

Зависимость температуры плавления от внешнего давления. Например, при давлении 200 ГПа температура плавления железа 4800^0С. У большинства веществ температура плавления с повышением давления увеличивается. Если твердое тело плотнее жидкого, то сжатие

помогает затвердеванию и мешает плавлению (как у железа). Лед легче воды, и температура плавления льда наоборот понижается при возрастании давления. Почему скользят коньки? Атомы, расположенные на поверхности кристалла, находятся в особых условиях. Они гораздо чаще меняют своих соседей, поэтому по свойствам похожи на жидкости (скользкий лед).

Монокристаллы и поликристаллы.

Обычно процесс кристаллизации начинается сразу во многих местах жидкости, и отдельные участки растут спонтанно (поликристалл). В поликристалле одно и то же расположение частиц повторяется только на протяжении нескольких тысяч атомных рядов, после чего переходит в подобный же узор с ориентацией в другом направлении (зерна).

Дефекты в кристаллах: вакансии (узлы, свободные от атомов), примесные атомы замещения, собственные или примесные межузельные атомы, дислокации (демонстрация на магнитной доске). Почему же возникают вакансии и межузельные атомы?

Рост кристаллов (демонстрация кристаллизации из раствора). Тепловое движение атомов в твердом теле. Диффузия. Коллективное поведение системы. Кристалл - гигантская молекула (атом хлора в кристалле поваренной соли, например, окружен шестью атомами натрия и не известно, кому из них он отдает свой электрон).

Дополнительная информация. Свойство разных веществ состоять из одинаковых частиц называется аллотропией, а сами вещества - аллотропными модификациями. Самым большим количеством аллотропных модификаций обладает углерод. Модификации углерода: графит, алмаз, сажа (аморфный углерод), карбин (одномерный вариант углерода), лонсдейлит (гексагональная разновидность алмаза), фуллерены, углеродные нанотрубки, графен (двумерная форма углерода).

Почему ластик незаменим, когда пишете карандашом на бумаге? Как он действует?

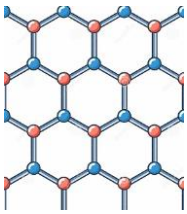
Бриллиант - это всего лишь кусок угля, который хорошо показал себя под давлением.
Уилл Роджерс

Дополнительная информация. Если в насыщенный раствор поваренной соли мы помещаем на нитке кристалл того же веществ, то через несколько дней он вырастает во много раз. Для выращивания монокристаллов Al_2O_3 из их расплавов этот метод не работает, точнее, так происходит, наверное, в природных условиях и процесс занимает тысячи лет. Искусственно их получают из расплавов в специальной печи Вернейля. Учитывая то, что природные сапфиры и рубины - это те же самые кристаллы того же самого оксида с примесями (рубин - с ионами хрома, сапфир - с ионами железа и титана), только выросшие в естественных условиях, на выходе мы получаем примерно одно и то же, только значительно дешевле.

IV. Экспериментальное задание: изучение коллекции твердых тел.

Задача:

1. Лед при температуре 0^0С заключен в теплонепроницаемую оболочку и подвергнут давлению 100 МПа. Какая часть льда расплавится, если при повышении давления на 13,8 МПа, температура плавления льда понижается на 1^0С? Удельная теплоемкость льда 2,5 кДж/(кг·К).
2. Графен — материал, состоящий из монослоя атомов углерода. Атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников со стороной a = 0,14 нм. Определите массу m листа графена площадью S = 1 м^2.



Вопросы:

1. Кубик, вырезанный из монокристалла, нагреваясь, может превратиться в параллелепипед. Почему это возможно?

2. Как доказать, что свинец – кристаллическое, а не аморфное тело?
3. Можно ли передать телу некоторое количество теплоты, не вызывая этим повышение температуры?
4. Почему аморфные вещества длительное время сохраняют свою форму?
5. Древесина анизотропна. Можно ли на этом основании утверждать, что древесина - кристалл?
6. Почему на поверхности всех кристаллов образуется пленка жидкости? Почему ее толщина растет с повышением температуры?
7. Бриллиант – поликристалл или монокристалл?
8. Почему кетчуп легче вытекает из бутылки, если ее сначала потрясти?
9. Почему вещество земной магмы в процессе подъема к поверхности (лава) дегазируется и плавится?
10. Если кубики льда бросить в напиток при комнатной температуре, послышится потрескивание. В чем причина?
11. Чем отличается золото 750 пробы от платины 999 пробы?
12. Почему золотая монета, погребенная в могиле на несколько тысячелетий, сохраняет черты портрета, вычеканенного на ней?
13. Почему драгоценные камни блестят ярче, чем их подделки из стекла?
14. Почему снег в мороз хрустит под ногами? При какой температуре снег начинает хрустеть?
15. Почему при температуре ниже – 30^0С ледяные кристаллики из облаков выпадают в виде «алмазной пыли»?
16. Почему сверхчистые вещества получают многократной перекристаллизацией?

V. §§ 18, 19.

1. Капля соленой воды, высыхая на гладкой поверхности стекла, образует систему колец. Исследуйте и объясните это явление. Как влияет на наблюдаемую картину скорость испарения?
2. Почему большие айсберги плавятся не сверху, а снизу?
3. Если в течение некоторого времени встряхивать ведро с картошкой, то какая окажется сверху – крупная или мелкая?
4. При легком морозе нагруженная проволока прорезает брусок льда, при этом брусок остается целым. Почему?
5. Определите процентное содержание воды во влажном снеге.
6. Покажите, что одинаковыми плитками в виде правильных пятиугольников нельзя настлать паркетный пол.

Каково удлинение, такова и сила.
Р. Гук

Урок 40/8.

ЗАКОН ГУКА

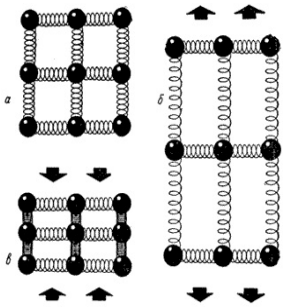
Упругость является свойством всякой конструкции, всякого твердого тела.

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся о деформациях твердых тел. Ввести основные количественные характеристики деформаций и установить

закон Гука.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: модель для демонстрации упругих деформаций, штатив, пружины, набор грузов.



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Кристаллические тела. 2. Аморфные тела.

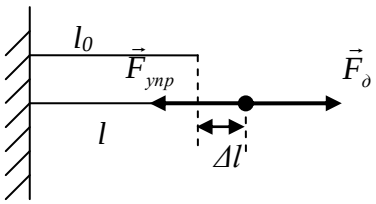
Задача:

1. Алмаз разделили на две части. Цена получившихся бриллиантов пропорциональна квадрату (кубу) их массы. В каком случае общая цена бриллиантов будет минимальной?

Вопросы:

1. Почему мокрая одежда после замерзания трудно разгибается?
2. Как отличить кристаллическое тело от аморфного тела?
3. Имеют ли сплавы металлов определенную температуру плавления?
4. Каков предел остроты лезвия бритвы?
5. Почему лед может обтекать неподвижные однородные тела?
6. Почему растворы замерзают при более низкой температуре, чем чистые растворители?
7. Зачем в состав многих сортов стали входит фосфор, кремний, марганец, хром и никель?
8. Масло – твердое тело иди жидкость?
9. Уплотняется ли песок под вашими ногами, когда вы ходите по влажному песку на берегу реки и водоёма?
10. Почему нанокристаллы легкоплавкие?

III. Деформация – изменение взаимного положения множества частиц тела, приводящее к изменению его размеров и формы.



Виды деформаций: растяжение, сжатие, сдвиг, изгиб, кручение. Примеры с деформацией зажатой в тисы детали. Назвать деформации, испытываемые частями тела и тисов.

Деформации растяжения и сжатия (рисунок на доске). Характеристики деформации: абсолютное и относительное удлинение (числовые примеры): $\Delta l = l - l_0$; $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$. **Закон Гука** (демонстрация): $\Delta l = \frac{F_д}{k} \rightarrow \left[\vec{F}_д\right] = \left[\vec{F}_{упр}\right] \rightarrow$ $F_{упр} = k \cdot \Delta l$. **В пределах малых деформаций сила упругости прямо пропорциональна абсолютному удлинению образца.**

Зависимость коэффициента жесткости от материала образца, его длины и площади поперечного сечения: $k = E \cdot \frac{S}{l_0}$. E – модуль Юнга (1800 г., Томас Юнг).

Последовательное и параллельное соединение пружин.

Механическое напряжение (σ) – свойство тела противодействовать деформации, измеряемое отношением силы упругости к площади поперечного сечения образца: $\sigma = \frac{F_{упр}}{S}$.

Дополнительная информация. Закон Гука в дифференциальной форме: σ = E·ε.
Механическое напряжение пропорционально относительному удлинению, и наоборот.
Энергия, запасенная единицей объема упруго деформированного тела (**плотность энергии**):

$$A = \frac{F \cdot \Delta l}{2} = \frac{\sigma \cdot S \cdot \Delta l}{2} = \frac{\sigma}{2}\left(\frac{\sigma}{E}\right) S \cdot l_0 = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot V. \qquad u = \frac{A}{V} \rightarrow u = \frac{\sigma^2}{2E}.$$

Выделение запасенной в земной коре энергии при землетрясениях: $A = u \cdot V$. Сброс накопленной энергии приводит к образованию сейсмических разрывов и множественных разрушений в среде. По этой же причине следует держаться в стороне от натянутых тросов.

IV. *Задачи:*

1. Проволока длиной 10 м и площадью поперечного сечения 0,75 мм^2 при растяжении силой 100 Н удлинилась на 1 см. Каков модуль Юнга для вещества проволоки?
2. Определить модуль Юнга алюминия, если груз массой m = 210 кг, подвешенный к алюминиевому стрежню поперечного сечения S = 150 мм^2, даёт относительную деформацию ε = 0,020%.
3. Проволока длиной ℓ = 2 м и диаметром d = 2 мм натянута практически горизонтально. Когда к середине проволоки подвесили груз массой m = 1 кг, проволока растянулась настолько, что точка подвеса опустилась на h = 4 см. Определите модуль Юнга материала проволоки. 10^8 Па.
4. Массивный шарик висит на пружине. Все размеры пружины и шарика увеличили в 3 раза. Во сколько раз увеличится растяжение пружины? Во сколько раз изменится период колебаний системы?
5. Медную и стальную проволоки одинакового сечения S = 3,0 мм^2 и длины ℓ = 1,0 м срастили концами. Каково будет общее удлинение составной проволоки, если к ней подвесить груз 10 кг? Рассмотреть случаи параллельного и последовательного соединения. При параллельном: 0,11 мм.
6. Эспандер – спортивный снаряд, состоящий из двух ручек, соединенных резиновыми шнурами. Один из трех резиновых шнуров эспандера оборвался. Обрывок длины ℓ надставили стальной проволокой до длины L целого шнура и прикрепили к ручкам эспандера. Чтобы растянуть исправный эспандер на размах руки требуется сила F_0. Какая сила потребуется для такого же растяжения отремонтированного эспандера?

V. § 20. Упр. 5 № 1-4

1. Соленая вода, замерзая, образует пресный лед. Убедитесь в этом и объясните явление.
2. Если пройти по полосе сырого песка у воды, та вокруг ступней возникает валики светлого песка. Почему?
3. Почему стальная линейка после изгиба стремится восстановить свою форму?

О, сколько нам открытий чудных
Готовит просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг.
А.С. Пушкин

Урок 41/9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2: «ИЗМЕРЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ РЕЗИНЫ»

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить измерять модуль упругости материала.

ТИП УРОКА: лабораторная работа.

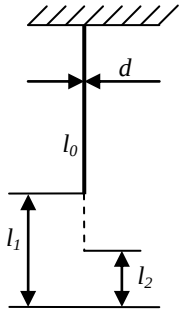
ОБОРУДОВАНИЕ: штатив универсальный с принадлежностями, проволока диаметром 0,2 – 0,3 мм (резиновый жгут), набор грузов, штангенциркуль, линейка измерительная, микрокалькулятор.

ПЛАН РАБОТЫ:

1. Вступительная часть
2. Вводный инструктаж
3. Выполнение работы
4. Подведение итогов
5. Задание на дом

Материал	Модуль Юнга E, [ГПа]
Сталь	200
Чугун	120
Алюминий	70
Титан	120
Бронза	100
Латунь	95
Медь	110
Бетон	20

II. Записать в лабораторную тетрадь название работы, оборудование, краткую теорию. Демонстрация экспериментальной установки по определению модуля упругости материала проволоки или резинового жгута. Как измерить длину проволоки l_0? Диаметр проволоки d, абсолютное удлинение проволоки под действием груза известной массы Δl. Как измерить площадь поперечного сечения проволоки S, вес груза $F_д$? Как определить модуль Юнга материала проволоки E?



$$S = \frac{\pi d^2}{4}; F_Д = mg; \Delta l = l_1 - l_2. \qquad E = \frac{F_д l_0}{\Delta l S} = \frac{mgl_0}{\Delta l \frac{\pi d^2}{4}}$$

Погрешность: $$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta l_0}{l_0} + \frac{\Delta(\Delta \ell)}{\Delta \ell} + 2\left(\frac{\Delta d}{d}\right)$$

III. Выполнение работы. Заполнение отчетной таблицы.

№ п/п	*l_0, м*	*d, м*	*S, м^2*	*m, кг*	*Δl, м*	*E, Па*	*ε*
1							

У резин модуль Юнга очень мал, потому что резина состоит из длинных гибких молекулярных цепочек, которые в ненагруженном материале изгибаются, свиваются, сплетаются, словом, ведут себя подобно ниткам в спутанном клубке.

IV. Выводы. Обсуждение результатов.

V. § 20. Упр. 5 № 5,6.

1. Когда жидкость замерзает, молекулярный характер ее поверхности изменяется мало, и энергия поверхности сохраняется, хотя поверхностное натяжение уже не в силах изменить форму твердой частицы, округлив ее подобно капле.
2. Почему практически невозможно разорвать ленту скотч (полимер с очень длинными ориентированными вдоль ленты молекулами), если не сделать на ней надрезов или очень тонких проколов?

Возможно, перед началом я должен принести какую-то жертву Гефесту, кузнецу и оружейнику Олимпа, единственному технологу, принятому в круг главных богов.
Джон Гордон

Урок 42/10.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Самый прочный материал в мире - это нитка, которая соединяет два новых носка?

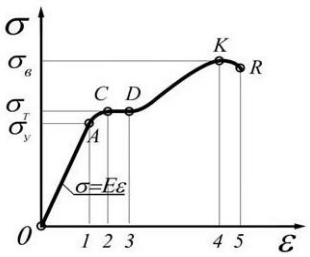
ЦЕЛЬ УРОКА: Дать представление о важнейших механических свойствах твердых тел: упругости, пластичности, прочности, хрупкости.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: медная проволока диаметром 0,15 – 0,2 мм, набор грузов 2 кг, кусок стекла, лист бумаги.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. *Опрос фундаментальный:* 1. Деформации твердых тел. 2. Закон Гука.

Задачи:

1. Стальная проволока сечением 2,5 мм^2 и длиной 10 см сложена вдвое и подсоединена к грузу. Какова жёсткость системы? E = $2\cdot10^{11}$ Па.
2. На какую высоту поднимется камень массой 30 г, выпущенный вертикально вверх из рогатки, резиновый жгут которой сечением 0,2 см^2 и длиной 30 см был растянут на 20 см? Сопротивление воздуха не учитывать. Модуль Юнга для резины 7,8 МПа.
3. Гранитная колонна построена из 30 цилиндрических блоков, установленных вертикально один на другой. Высота каждого блока в ненапряженном состоянии h_0 = 50 см. Оценить относительную деформацию нижнего блока. Модуль Юнга на сжатие $5\cdot10^{10}$ Па. $7{,}5\cdot10^{-4}$%
4. Оцените относительную деформацию ε импланта пяточной кости человека массой m = 70 кг, когда он стоит на одной ноге, содержащей этот имплант. Модуль Юнга импланта E = 2 ГПа, площадь его сечения S = 4.9 см^2. Нагрузку считать приложенной только к импланту и распределённой равномерно.
5. В производственном помещении между жесткими стенами находится без зазора стальная ось площадь поперечного сечения 10 см^2. В результате пожара ось равномерно нагревается. Коэффициент линейного расширения 10^{-5} К$^{-1}$, модуль упругости $2\cdot10^{11}$ Н/м^2. Считать, что стены начинают разрушаться при действии силы $2\cdot10^4$ Н. На сколько должна нагреться ось, чтобы в стене появились разрушения.

Вопросы:

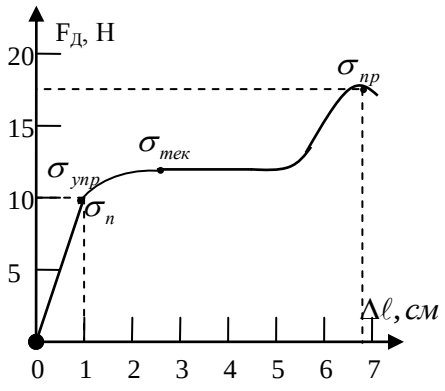
1. При волочении металлический стержень многократно протягивается через ряд отверстий с уменьшающимся диаметром. Какие деформации он испытывает при этом?
2. Для чего рыболовы используют удилища с тонкими упругими концами?
3. На резиновый шар натянута прочная резиновая сетка, нити которой идут по меридианам шара. Какую форму примет шар, если повысить в нем давление?
4. Как отличаются относительные удлинения двух проволок из одного и того же

материала при одинаковых нагрузках, если длина и диаметр первой проволоки в два раза больше, чем второй? А абсолютные удлинения?

5. Две одинаковые пружины, железная и медная, упруго растянуты на одинаковую длину. На растяжение которой из пружин понадобилось затратить большую работу? А если они растянуты одинаковыми силами?
6. Железная и медная проволоки одинаковых размеров подвешены вертикально и соединены внизу невесомым горизонтальным стержнем. Сохранится ли горизонтальное положение стержня, если к его середине прикрепить груз?
7. Во сколько раз уменьшится период колебаний, если груз прикрепить к этому же шнуру, но сложенному вдвое?
8. Тяжелый цилиндр свободно падает. Какие силы действуют на каждый его горизонтальный слой со стороны соседних слоев?

III. На протяжении многих веков человечество сталкивается с проблемами прочности и разрушения твёрдых тел. Были успешные попытки решения вопросов прочности при строительстве храмов, дворцов и других инженерных сооружений. Однако были на этом пути и неудачи. Во время гладиаторских боёв огромное здание амфитеатра в Фидене, недалеко от Рима, в 27 году нашей эры разрушилось. Общее число жертв составило 50 тысяч человек. Знаменитая Вавилонская башня также развалилось в процессе постройки под действием собственного веса. Почему одни твердые тела прочнее других? Что означают такие понятия, как прочность, пластичность, хрупкость?

Изучение механических свойств твердых тел. Разбойник Прокруст и его ложе.



Метод Прокруста. Подвешивание грузов к тонкой медной проволоке; измерение абсолютного удлинения. Построение диаграммы растяжения на доске. Обсуждение диаграммы.

Упругие деформации. Предел пропорциональности и предел упругости (остаточная деформация не превышает 0,1%). Определение предела пропорциональности (предела упругости) меди по диаграмме.

Упругость - свойство твердых тел восстанавливать свои размеры и форму после снятия нагрузки.

Находясь под напряжением, меньшим предела упругости, металл "помнит" свою прежнюю форму. Например, пружина балансира в часах упруго нагружается и разгружается по 18000 раз в час. Границы применимости закона Гука.

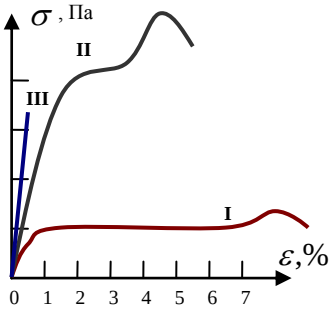
Текучесть материала. Остаточная деформация ("память" металлов дает сбой).

Пластичность - свойство твердых тел сохранять часть деформации после снятия нагрузки, которая ее вызвала.

Демонстрация пластичности прутика припоя. Для льда больших ледников характерна деформация, то есть текучесть, обусловленная напряжением. По этой причине гималайские ледники сдвигаются со скоростью в два-три метра в сутки. Определение предела текучести меди по диаграмме растяжения.

Предел прочности. Определение предела прочности меди по диаграмме.

Прочность - свойство твердых тел сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы.



Немаловажную роль в механических свойствах металлов играют и его зерна (кристаллиты). Чем меньше зерна, тем прочнее металл. Самый прочный материал – углеродные нанотрубки! Зачем материалу нужна прочность? Титан – самый прочный металл!

Коэффициент запаса прочности: $n = \frac{\sigma_{пр}}{\sigma}$. Канаты на лифтах имеют двенадцати кратный запас прочности!

Примерные диаграммы растяжения стали и чугуна. Упругие материалы: сталь (1%), резина (20 – 30 %). Пластичные материалы: медь. Хрупкие материалы: чугун (0,45%).

Хрупкость - свойство материалов разрушаться при небольшой деформации под действием напряжений, средний уровень которых ниже предела текучести. Материал хрупкий, если подвижность дислокаций в нем очень мала.

Кость в пять раз прочнее стального бруска того же веса, но она более хрупкая и способна сломаться при ударе.

Твердость - свойство материала оказывать противодействие проникновению в него другого металла (противодействие вдавливанию или царапанью). Самый твердый – алмаз! Редкие металлы ванадий и титан отличаются высокой твердостью.

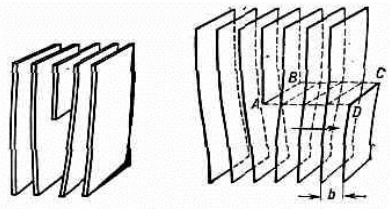
Объяснение механических свойств твердых тел на основе молекулярно-кинетических представлений.

Дополнительная информация. Эффект Иоффе (оценка прочности листа бумаги с мелкими разрывами и целого листа бумаги). Почему изменяется прочность листа бумаги? 1920 г. академик А.Ф. Иоффе ответил на этот вопрос несложным и эффектным опытом. Берётся кристалл каменной соли. Экспериментально измеряется его прочность, как правило, равная нескольким десяткам МПа. Затем кристалл погружается в горячую воду, в которой растворяется поверхностный слой некоторой толщины. Затем вновь измеряется прочность кристалла. На этот раз она оказывается намного более высокой — около 2000 МПа, что лишь в два раза меньше теоретического значения прочности. Вывод напрашивается сам собой. Лишившись поверхностного слоя, кристалл освободился и от многочисленных ран, которые накопил на своих боках за долгую жизнь,— щербин и царапин, трещин и других более мелких поверхностных дефектов. Интересно, что в тонких волокнах трещины образуются реже, а в тончайших почти не попадаются, потому что им там нет места. Чем тоньше в опытах были получены кварцевые нити, тем они оказывались прочнее.

Механизм пластической деформации. Скольжение слоев?! Нет! **Дислокации** (аналогия с перемещением тяжелой якорной цепи). Процесс перемещения дислокации подобен перемещению складки на ковре. Складку перемещать легче, чем весь ковер! В результате ковер в целом сдвигается на некоторое расстояние, а складка исчезает.

В летнее время, под тенью акации,
Приятно мечтать о дислокации.
К. Прутков

Чем больше дислокаций, тем значительнее пластические деформации и меньше прочность. В куске деформируемого металла размером с булавочную головку суммарная длина дислокаций больше расстояния от Земли до Луны. Нужны ли дислокации металлу? Больше дислокаций – значительнее пластические деформации и наоборот. **При пластических деформациях совершенная работа идет на выделение тепла** (демонстрация). Сокращения мышц не только дают нам возможность двигаться, но и снабжают нас теплом!



Дополнительная информация: Наклеп – растяжение материала (увеличивает число дислокаций, выходящих наружу, а, следовательно, и прочность). Растянутая проволока рвется уже без удлинения (демонстрация). При пластических деформациях дислокации перемещаются по твердому телу и, например, в самолетах заканчивают свое существование на заклепках (в самолете 2 – 3 миллиона заклепок). Каждому знаком хрестоматийный пример: если надо сломать проволоку, то ее следует несколько раз согнуть взад-вперед. Вначале металл деформируется легко, затем немного упрочняется и, наконец, ломается хрупким образом. Металл, упрочненный деформацией, может быть возвращен в исходное мягкое состояние путем **отжига**. **Отжиг** (медленное охлаждение) – основной способ отпуска (смягчения) металла (образование в металле малого количества крупных зерен).

Кристаллы без дислокаций - "усы". Лучшими сочетаниями плотности и прочности обладают не металлы, а самые прочные из известных веществ – недавно полученные нитевидные кристаллы (усы) углерода и окиси алюминия.

Дополнительная информация: Изменение механических свойств твердых тел при нагревании или охлаждении. Прочность стали при повышении температуры до 900^0С уменьшается в 13 раз! На свойства материалов влияют механическая и тепловая обработки. Например, при нагревании упругой стали до «желтого каления» она становится пластичной и, наоборот, пластичный свинец, охлажденный жидким азотом, становится хрупким. Для чего кузнец, прежде чем отковать деталь нужной формы, производит нагрев заготовки? На свойства материалов влияет и механическая обработка. Металл представляет собой не единый кристалл с единым упорядочением атомов по всему объёму металла, а так называемый конгломерат зёрен, где в каждом зерне наблюдается своя упорядоченность атомов. Форма, размеры и направления кристаллографических осей зёрен зависят от условий кристаллизации и дальнейшей обработки. Ковка железа (разлом крупных зерен при деформации металла). Большое количество малых зерен увеличивает прочность металла. Японцы докрасна раскаленные мечи погружали в тела живых пленников и, таким образом, закаливали их. В настоящее время подавляющее количество металлической продукции, использующейся цивилизацией, изготавливается именно с использованием обработки металлов давлением: прокатка, ковка, штамповка, волочение, прессование, чеканка. Обработка давлением литого металла улучшает его структуру, повышает прочность и долговечность изделий из него.

Дополнительная информация: Для каждой марки стали существует определенный температурный интервал начала и конца ковки. В среднем этот интервал составляет 1100 – 1200^0С (соломенно-желтый цвет нагретой стали). При перегреве заготовки (ярко-белый цвет) происходит потеря связи между зернами металла. При ударе такая заготовка разбивается на части. Отсюда и пошло выражение «довести до белого каления», обозначающую крайнюю точку терпения человека.

IV. *Задачи:*

1. Какого поперечного сечения надо взять алюминиевый прут, чтобы подвесить

к нему груз массой 200 кг при коэффициенте запаса прочности 5?

2. Масса кабины лифта вместе с пассажирами 500 кг. Лифт движется вверх с ускорением 0,5 м/с^2. Каким должно быть сечение стального троса, если коэффициент запаса прочности 15?
3. Стальной канат, могущий выдержать вес неподвижной кабины лифта, имеет диаметр 9 мм. Какой диаметр должен иметь канат, если кабина лифта может иметь ускорение до 80 м/с^2?
4. Из лука стреляют вертикально вверх стрелой массы m. На какую высоту поднимется стрела? Натяжение тетивы лука T, ее длина l, тетиву оттягивают на расстояние h.
5. Стальная проволока диаметром 1 мм натянута в горизонтальном положении между двумя зажимами, находящимися на расстоянии 2 м друг от друга. К середине проволоки подвесили груз массой 0,25 кг. На сколько сантиметров опустится точка подвеса груза?

Вопросы:

1. Объясните пословицу: "Где тонко, там и рвется".
2. При смачивании кристалла каменной соли (NaCl) водой его прочность возрастает в сотни раз. Почему?
3. Почему толстый лед весной менее прочен, чем тонкий лед в начале зимы?
4. Почему проявление сил сцепления между двумя кусками металла демонстрируют со свинцом, а не со сталью?
5. Почему по росе косить траву легче?
6. Объясните пословицу: «Куй железо, пока горячо».
7. Почему не бывает более высоких деревьев, чем эвкалипт (максимальная высота не может превышать 200 м)?
8. Почему блоха прыгает в 200 раз выше своего роста, а кузнечик только в 20 раз?
9. Что такое "усталость металла"?
10. Можно ли считать одну отдельно взятую молекулу веществом, ведь она не обладает рядом физических свойств вещества, таких как температура плавления, плотность, твердость?
11. Какие свойства монокристалла зависят от числа дислокаций в единице объема?
12. Почему заклёпки всегда разрушаются в местах резкого изменения сечения при переходе от стержня к головке?
13. Почему все нанодетали оказываются очень прочными (предел прочности в десятки раз выше, чем у обычных образцов)?
14. Назовите перечисленные ниже явления:
    - Парообразование с поверхности жидкости;

- Переход вещества из одной фазы в другую при изменении внешних условий;
- Зависимость физических свойств от направления внутри кристалла;
- Изменение взаимного положения множества частиц тела, приводящее к изменению его размеров и формы;
- Парообразование по всему объему жидкости;
- Растекание капли масла по поверхности воды;
- Изменение состояния газа без теплообмена с окружающей средой;
- Сохранение части деформации телом после снятия нагрузки.

V. §§ 21, 22. Упр. 5, № 6.

1. Существуют два предела прочности: прочность на растяжение и прочность на сжатие. Они не совпадают. Почему?
2. Почему стекло и чугун - хрупкие материалы?
3. Почему аморфные металлы и их сплавы, по сравнению с их кристаллическим состоянием, имеют меньшую плотность, большую прочность, меньшую пластичность, высокую коррозийную стойкость?
4. Докажите, что коэффициент запаса прочности возрастает при уменьшении размеров объекта?
5. Почему поверхностное натяжение не в силах изменить форму твердой частицы, округлив ее подобно капле?
6. Оцените, какую работу необходимо совершить, чтобы завязать узлом стальной лом?
7. Оцените время соударения стальных шариков, имеющих диаметр 0,01 м. Плотность стали 7800 кг/м^3, модуль Юнга 200 ГПа.
8. Что такое режеляция? Какова ее роль в объяснении движения ледников, сползающих по горным склонам?
9. Рассчитайте силу, необходимую для разрыва медной проволоки из школьного набора проводов диаметром 0,3 мм.
10. Сколько кусков сахара-рафинада можно положить друг на друга?
11. В эксперименте по проверке закона Гука используется резиновый жгут. По полученным данным определите максимальное относительное удлинение, при котором деформация еще остается упругой.
12. Предложите лучшую конструкцию моста из стандартного листа бумаги формата А4 (без использования клея). Качество моста оценивается по величине P/l, где P – максимальная нагрузка, которую мост выдерживает на середине пролета, l – длина моста (ширина реки).
13. Шерстяная нить сплетена из множества отдельных ворсинок. Исследуйте прочность такой нити на разрыв в зависимости от ее длины. Объясните результаты эксперимента.
14. Какую площадь поперечного сечения должен был бы иметь стальной трос, чтобы выдержать силу, с которой Земля притягивается к Солнцу?
15. Оцените безопасную высоту прыжка на твердую землю.

Истинная и законная цель всех наук состоит в том, чтобы наделить жизнь человеческую новыми приобретениями и богатствами.

Френсис Бэкон

Урок 43/11. ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В ТЕХНИКЕ

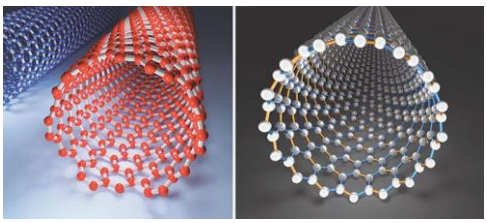
«Сдал начерталку – можешь влюбиться, сдал сопромат – можешь жениться»

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с применениями деформаций в технике и физическими основами создания новых материалов с заранее заданными

свойствами.

ТИП УРОКА: урок – конференция.

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Сообщения учащихся
4. Подведение итогов
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Диаграмма растяжения материала. 2. Механические свойства твердых тел: упругость, пластичность, прочность, твердость. 3. Объяснение механических свойств твердых тел.

Задачи:

1. Для взятия пробы грунта со дна океана используется специальный прибор, опускаемый на стальном тросе. Какова предельная глубина погружения прибора, если его массой по сравнению с массой троса можно пренебречь.
2. Из скольких стальных проволок диаметром 2 мм должен состоять трос, рассчитанный на подъем груза 2 т, если коэффициент запаса прочности равен 4?
3. Оцените максимальную высоту гор на Земле, считая, что деформация горы под действием собственной силы тяжести перестает быть упругой, когда относительная деформация достигает значения $\Delta\ell/\ell = 10^{-2}$ и гора «расползается» у своего основания. Характерные значения параметров горных пород $\rho = 10^4$ кг/м^3, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Н/м^2. 20 км
4. Сечение бедренной кости человека напоминает пустотелый цилиндр с внешним радиусом 11 мм и внутренним 5 мм. Предел прочности костной ткани на сжатие 170 МПа. Какая сила, направленная вдоль кости, может её сломать?
5. Стальная балка наглухо закреплена между двумя стенами при 0^0С. При повышении температуры, она производит на стены давление, равное 40 МПа. До какой температуры нагрелась балка?
6. Жёсткий титановый корпус подводной лодки имеет длину 150 м и диаметр 12 м. Толщина стенок корпуса порядка 10 см. Оцените изменение длины лодки при ее погружении на глубину 300 м. Модуль Юнга для титана 110 ГПа.

Почему затонувшие подводные лодки не "висят" где-то поблизости от океанского дна, а опускаются на самое дно? Если корпус потерпевшей аварию лодки и не сомнет давлением воды, что случается чаще всего, то он будет непрерывно сжиматься, выталкивающая сила будет падать, и лодка будет опускаться на дно все быстрее и быстрее.

7. Стальной цилиндрический баллон для газа имеет диаметр 0,5 м. Какой должна быть толщина его стенок, если он предназначен для давлений до 150 атм?

Почему бутылки для шампанского делают толще и тяжелее обычных винных бутылок, а пробку приходится буквально запечатывать проволочной сеткой, называемой мюзле?

Вопросы:

1. Разрыв нити происходит там, где ее прочность минимальна. Объясните тогда, почему рвется однородная и не имеющая дефектов нить.
2. Как изменяется энергия тела при пластических деформациях?
3. Почему рушатся при пожаре стальные конструкции, хотя сталь не горит и в огне пожара не плавится?
4. Почему при закалке возрастают прочность и твердость стали?
5. Ледники текут, потому что лёд приобретает пластические свойства и текучесть. Как это объяснить?
6. Почему накипь (отложения на стенках котла растворенных в воде солей) может стать причиной взрыва парового котла?
7. Почему окна в самолетах круглые, а, например, не квадратные?
8. Теплоход при столкновении с лодкой может потопить ее без всяких для себя повреждений. Как это согласуется с равенством действия и противодействия?
9. Объясните пословицу: «Металл - в огне, человек в труде познается».
10. Почему и как способность к растяжению пружинных весов зависит от температуры?
11. Почему трос (канат) делают не сплошным, а состоящим из отдельных проволок (нитей)?
12. Почему лыжные палки делают полыми внутри?
13. Почему наручные часы рекомендуется заводить утром, а не вечером, когда вы их снимаете с руки?
14. Сможет ли рыбак определить предел прочности лески известного диаметра, располагая гирей массой 1 кг и рулеткой?
15. Почему шарики подшипников способны выдержать огромное давление?
16. Как изменяется прочность металла при прессовании? Почему?
17. Какую форму должен иметь паровой котел, чтобы при заданной толщине стенок прочность котла была наибольшей?
18. Сокращения мышц не только дают нам возможность двигаться, но и снабжают нас теплом. Почему?

Благодаря сложному биологическому механизму наши мышцы непрерывно подстраиваются под внешнюю нагрузку, что позволяет удерживать, например, гирю в вытянутой руке и совершают работу, которая переходит в тепло.

19. Великан и лилипут устроили соревнование: кто больше подтянется на перекладине. Кто выиграет и почему?
20. Назовите три причины, почему тормозная колодка изнашивается быстрее, чем колесо?
21. Плотность лития почти в два раза меньше плотности воды. Почему же из лития не строят корабли?

22. Предположим, что все размеры стальной проволоки изменили в *n* раз. Во сколько раз изменится: а) объем? б) масса? в) площадь поверхности? г) коэффициент жесткости? д) прочность?
23. Почему при комнатной температуре масло можно размазать по хлебу ножом, а само оно не растекается?
24. Почему неупругие материалы хорошо поглощают звук?
25. Куда девается кинетическая энергия автомобиля при столкновении, например, с деревом?
26. Если сила трения скольжения не зависит от площади контакта, то зачем коньки делают тонкими?
27. Если фольгу от обертки конфеты разглаживать ногтем на твердой поверхности, двигая ногтем, все время в одном направлении, то она всегда закручивается вверх, навстречу этому направлению. Почему?
28. Почему на Земле максимальная высота гор 8848 м (Эверест), а на Марсе – 28 км (Олимп).
29. Назовите самый упругий из известных вам материалов, самый прочный, самый хрупкий, самый пластичный, самый твердый.
30. Почему глобальное потепление приводит к уменьшению размеров многих растений и животных?
31. Назовите устройство:
    - для измерения влажности воздуха;
    - для хранения сжиженных газов;
    - для преобразования внутренней энергии топлива в механическую энергию;
    - для перекачки теплоты от холодного тела к горячему.
32. Почему белый медведь крупнее бурого медведя?
33. Почему при забивании гвоздя в доску он иногда сгибается?
34. Из куска золота массой 2 кг можно выковать золотые листы общей площадью более 1000 м^2. Почему такое возможно?
35. Земля полностью восстанавливает свою форму после приливных воздействий, что является признаком упругости (пружины). Так ли это?
36. Почему для любого мелкого животного сила тяжести не представляет никакой опасности?

Если линейная разница между объектами, на которые мы смотрим в микроскоп, в десятки-сотни-тысячи раз, то разница в объемах или весе — от тысяч до миллионов раз!

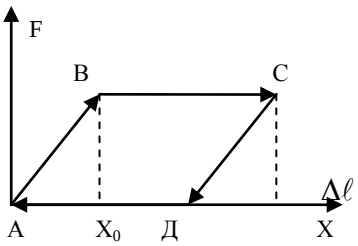
37. Железо и сталь, прежде чем расплавиться, размягчаются. Как это понимать?
38. Почему нанопроволоки почти не испытывают пластических деформаций?

Дополнительные задачи:

1. Плотность железного маховика $\rho = 8\cdot10^3$ кг/м^3, а маховика из плавленого кварца $2{,}4\cdot10^3$ кг/м^3. Оба маховика имеют одинаковый предел прочности на разрыв и одинаковую массу.

Каково отношение максимальных запасов энергии для этих маховиков? 0,3

2. Оцените максимальную высоту строго вертикального дерева, если плотность дерева порядка 500 кг/м^3, а предел прочности 10^8 Па. Почему высота деревьев значительно меньше полученной оценки?
3. Толстостенная стальная колонна длиной ℓ = 3 м и наружным диаметром D = 300 мм сжимается силой F = 10 МН. Определить толщину стенки и абсолютное изменение длины колонны, если допустимое давление $p_д$ = 50 МПа.
4. Остаточную деформацию упругого стержня можно грубо изобразить с помощью графика. Пусть стержень вначале растянут на $\Delta l = x$, а затем нагрузку убирают. Определите максимальное изменение ΔT температуры стержня, если его теплоемкость равна C. Стержень теплоизолированный.



Дополнительная информация. Лёд. Когда лёд в сосуде с водой тает, плотность смеси увеличивается. С ростом температуры этот процесс развивается, что приводит к дальнейшему увеличению плотности, однако, когда температура переваливает +4 °С, более существенным становится увеличение объёма за счёт теплового движения молекул, и в результате плотность начинает уменьшаться.

Лёд обладает пластичностью, что позволяет ему течь, если к нему приложена сила. Примером являются ледники, которые постепенно начинают стекать в низины, если на их поверхности накапливается большое количество снега, своим весом ускоряющего течение.

При температурах, близких к точке плавления льда, его поверхность покрывается тонкой жидкой пленкой (у молекул воды, которые находятся на поверхности, соседей с одной стороны нет). Такая пленка носит название переходного слоя. Благодаря этому явлению, можно кататься на коньках по льду, так как при повышении давления, возрастает температура (локально, в месте приложения давления), что в свою очередь, вызывает появление квазижидкого слоя, по которому и скользит остриё конька!

Дополнительная информация. Почему животные размером с небоскреб обречены? Почти четыре века назад Галилео Галилей открыл закон масштабирования объектов, известный как закон квадрата — куба. Согласно ему, если увеличить все размеры объекта в два раза, площадь его поверхности увеличится уже в четыре раза (два в квадрате), а его объем — в восемь (два в кубе). Чем больше множитель, тем больше нагрузка на конструкцию. Это одна из причин, почему сложно проектировать сверхвысокие здания. Возьмем самых высоких из современных, хорошо изученных животных — жирафов. Их сердце в три раза мощнее сердца человеческого, а кровь — в три раза гуще нашей. Без этих приспособлений животные немедленно погибали бы от перепада давления при подъеме или опускании головы.

Что, наконец, представляется нам затверделым и плотным,
То состоять из начал крючковатых должно несомненно,
Сцепленных между собой наподобие веток сплетенных,
В этом разряде вещей, занимая в, нем первое место.
Будут алмазы стоять, что ударов совсем не боятся,
Далее – твердый кремень и железа могучего крепость,
Так же как стойкая медь, что звенит при ударах в засовы.

Лукреций

III. Применение деформаций в машиностроении.

Сегодня **материаловедение** - это наука, которая охватывает все сферы нашей жизнедеятельности от бытового уровня до высокотехнологического производства биосовместимых материалов для протезов, полупроводников для электроники, покрытий, повышающих коррозионную и износостойкость материалов и механизмов. Конец XX и начало XXI века принесли массу открытий в материаловедении.

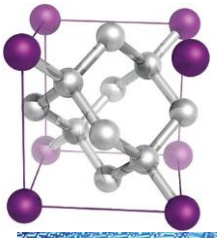
Композитный материал - многокомпонентные материалы, состоящие, как правило, из

пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями, обладающими высокой прочностью и жесткостью.

Пеноматериалы – легкие газонаполненные материалы ячеистого строения, напоминающие по структуре затвердевшую пену. Изготовляются из полимеров, резин, стекла, керамики, алюминия и других веществ.

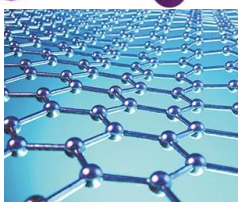
Полимеры - неорганические и органические, аморфные и кристаллические вещества, состоящие из звеньев, соединённых в длинные макромолекулы химическими связями.

Углепластики - полимерные композиционные материалы из переплетённых нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол.

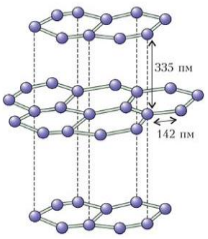


Углерод - особый элемент, единственный, способный соединяться сам с собой и образовывать без большого расхода энергии длинные устойчивые цепи, а для жизни на Земле (той единственной формы жизни, которая нам известна) нужны как раз длинные цепи. Потому-то углерод и является ключевым элементом в создании жизни.

Примо Леви



В алмазе каждый из четырех электронов внешней оболочки соединяется с электроном внешней оболочки другого атома с образованием четырех связей С—С. По прихоти химии атомы углерода более склонны образовывать двумерную структуру, в которой каждый из них связывается только с тремя другими. Таков двумерный кристалл — графен. Оставшийся незадействованным четвертый электрон внешней оболочки (один на атом) готов участвовать в формировании слабой связи, которая соединяет между собой один слой графена с другим, другой с третьим и т. п. В результате такой упаковки формируется графит — наиболее распространенная форма кристаллического углерода. Из графена, самого прочного в мире материала, можно сделать пластину в миллион раз тоньше бумаги и в 200 раз прочнее стали. Чтобы проломить слой графена толщиной с пленку для пищевых продуктов, нужна сила слона, приложенная к заточенному карандашу.



Материал	Модуль Юнга, ГПа	Прочность
Стекловолокно	90	4,7
Кевлар	180	5
Углеродное волокно	600	3,6

Доклады учеников:

1. Пути создания материалов с заранее заданными свойствами.
2. Управление свойствами, структурой и строением материалов.
3. Управление технологией обработки материалов.
4. Механическая память металлов.
5. Разрушение, прочность и сверхпрочность.
6. Металлические стекла.
7. Перовскит - одно из перспективных соединений для аккумуляции солнечной энергии.
8. Композитные материалы - материалы будущего.
9. Фуллерены и углеродные нанотрубки.

Нанотехнологии представляют собой совокупность химических, физических или искусственных биологических процессов, позволяющих контролируемо работать с нанообъектами, формирующими различные материалы, устройства или технические системы.

1. Повторное использование промышленных отходов.
2. Технологий переработки вторичных материалов с использование методов биотехнологии.

Полезная информация: Вулканическое стекло (обсидиан) - нераскристаллизовавшийся продукт, образующийся при закалке (очень быстром остывании) магматического расплава, достигшего земной поверхности. Охлаждение вулканической лавы при этом происходит

настолько быстро, что никакие кристаллы минералов не успевают выделиться из расплава, а состав обсидиана представляет собой усредненный состав кислой магмы.
Если бы подобный магматический расплав медленно застывал на глубине, из него образовалась бы магматическая порода типа гранита, состоящая из кварца, полевого шпата и слюды. В целом, химический состав обсидиана аналогичен граниту, в котором главные компоненты представлены кремнеземом (SiO_2 от 65 до 75%) и глиноземом (Al_2O_3 от 10 до 18%).
Дополнительная информация (металлы): Металлы — это группа из более 90 простых веществ из периодической таблицы Менделеева. Металлам характерны несколько свойств, по которым их разделяют по группам:

- **твердость** — сопротивление к проникновению в материал другого, более твердого тела;
- **прочность** — стойкость к разрушению под воздействием внешней нагрузки;
- **упругость** — изменение формы материала под воздействием внешних сил и восстановление ее после того, как эти силы перестают на нее воздействовать;
- **пластичность** — изменение формы материала под внешним воздействием и сохранение ее после устранения этого воздействия;
- **износостойкость** — сохранение хорошего внешнего вида и физических свойств материала после сильного трения;
- **вязкость** — способность материала вытягиваться под воздействием внешних сил;
- **усталость** — свойство материала выдерживать многократные нагрузки;
- **жароустойчивость** — сопротивление окислительным процессам при нагревании до высоких температур.

Черные металлы делятся на 5 подгрупп:

- **железные металлы (**кобальт, никель и марганец);
- **тугоплавкие металлы (**ниобий, молибден, вольфрам и рений);
- **урановые металлы (**уран, калифорний и другие радиоактивные металлы);
- **редкоземельные металлы (**лантан, празеодим, неодим и другие металлы);
- **щелочноземельные металлы (**бериллий, магний, кальций, радий и другие металлы).

Цветные металлы (тяжелые металлы, легкие металлы, благородные металлы).
Дополнительная информация (выплавка стали): Чистое железо достаточно пластичное, чугун хрупкий. Чтобы изготовить сталь, нужно было добавить к чистому железу еще кокса, чтобы вернуть углерод, а затем варить всю эту смесь на протяжении нескольких недель. Это дорого. Тогда стали в расплавленный чугун добавлять кислород (воздух), чтобы связать углерод, после чего в определенный момент прекращают подачу кислорода. В результате вместо чистого железа получают сталь с каким-то содержанием углерода. Чистое железо плавится при 1535° С, однако уже довольно малые добавки углерода значительно понижают температуру плавления железа, а углерод всегда под рукой - ведь для нагрева руды использовали в качестве топлива древесный уголь. Самая низкая температура плавления, достигнутая на этом пути, - около 1150° С.
Дополнительная информация: Конь, размер которого в 2 раза больше, имеет в 8 раз больший вес и в 4 раза большую площадь опоры, на которую опираются его ноги. Получается, что ноги коня, который имеет вдвое больший размер, испытывает вдвое большее давление со стороны опоры. Значит, если мы будем увеличивать размер нашего коня, то в какой-то момент прочность костей ног окажется недостаточной, чтобы удерживать увеличивающийся вес и ноги коня разрушатся. Недостаточной окажется прочность шейного отдела, шкуры, таза и других органов. Этим объясняется, почему головы гигантских динозавров были так непропорционально малы по сравнению с их туловищами и почему животные с большими по сравнению с их туловищами головами, такие как дельфины и киты, живут в воде: сила Архимеда компенсирует вес их тел, и требования к прочности существенно смягчаются. Сила мышц (прочность костей) пропорциональна площади, а вес пропорционален объему, поэтому о слонов конечности толстые. Количество выделяемой животным энергии пропорционально объему, а излучаемой – пропорционально площади,

поэтому у слона большие уши. Млекопитающие и птицы не могут иметь массу меньше 1,5 – 2 г. При таких размерах отношение площади к объему оказалось бы слишком большим, и более мелкие животные не смогли бы оставаться теплокровными из-за огромных потерь тепла.

Дополнительная информация: Из законов геометрии следует, что с увеличением геометрических размеров тела площадь его поверхности растет медленнее, чем объем, и при некотором размере тела поры уже не могут обеспечить адекватное поступление кислорода. Вот почему большинство современных насекомых имеют небольшие размеры – в противном случае они бы задохнулись. Когда насекомые на Земле достигали больших размеров?

Дополнительная информация: При растяжении пластинки с эллиптическим отверстием наиболее опасные (пиковые) напряжения в пластинке определяются по формуле: $\sigma_y = \sigma \cdot (1 + 2\frac{a}{d})$ - где a и d – большая и малая полуось эллипса. Самая опасная ситуация возникает у острых вырезов в хрупких материалах. Почему заклёпки всегда разрушаются в местах резкого изменения сечения при переходе от стержня к головке? Почему иллюминаторы в самолетах делают овальной формы?

IV. Подведение итогов конференции, награждение победителей.

V.

1. Опишите вымышленную ситуацию форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с молекулярно - кинетическими представлениями о строении вещества.
2. Плиний старший (23-79 гг. н.э.) советовал положить предполагаемый алмаз на наковальню и ударить его тяжелым молотом как можно сильнее. Если камень не выдержит, он не настоящий алмаз. Так ли это?
3. Детали при низкой температуре помещаются в среду с порошкообразным цинком при температуре до 450 градусов по Цельсию. Чем выше температура обработки, тем большая равномерность покрытия детали обеспечивается. Почему?
4. Оцените давление, которое замерзающая вода оказывает на стенки расщелины.
5. Почему стебли однолетних растений имеют форму трубок?
6. Почему головы гигантских динозавров были так непропорционально малы по сравнению с их туловищами и почему животные с большими по сравнению с их туловищами головами, такие как дельфины и киты, живут в воде?
7. Если маленьким молотком проковать небольшой участок медной проволоки, то прочность этого участка увеличится. Так ли это и почему?
8. Каким образом конструкция многих современных автомобилей способна поглощать при ударе максимум энергии?
9. Спичку или соломинку довольно трудно разорвать, растягивая их вдоль оси, и очень легко сломать, изогнув их. Почему?
10. Чем сильнее надут воздушный шарик, тем на большее число маленьких частей он лопается. Так ли это и почему?
11. Почему мелкие насекомые, падая с большой высоты, остаются невредимыми, а крупные животные гибнут?
12. Не относятся ни к газу, ни к жидкости, ни к твердым телам такие вещества, как: стекло, коллоиды, жидкие кристаллы и сверхпроводники. Почему?
13. Когда жидкость замерзает, молекулярный характер ее поверхности изменяется мало, и поверхностная энергия сохраняется. Предположим, что при достижении теоретической прочности, вся энергия деформации в объеме между двумя слоями атомов переходит в поверхностную энергию. Тогда из полученной формулы следует, что чем тоньше образец, тем он прочнее. Так ли это на самом деле?

$$\frac{\sigma^2}{2E} = \frac{\sigma_{пов} \cdot S}{S \cdot d} = \frac{\sigma_{пов}}{d}$$

14. Каким может быть максимальный размер планеты, имеющий форму куба?
15. Доказать, что если все в мире увеличить в два раза, то этого не может быть.
16. Накатайте из теста (пластилина) на муке 40 – 50 шариков одинакового размера диаметром 5 – 10 мм и, поместив их в резиновый шарик, обожмите руками со всех сторон. Какие многогранники у вас получились и почему? Начертите диаграмму распределения многогранников, на основе полученных статистических данных.
17. Перечислите главные (определяющие) свойства газа, пара, жидкости, твердого тела.
18. В сосуде емкостью 1 м^3 находится 100 кг кислорода под давлением 10^5 Па. Плотность жидкого кислорода 1141 кг/м^3. Кислород кипит при атмосферном давлении при температуре 90 К. Какова абсолютная «влажность» кислорода в той части сосуда, где кислород находится в газообразном состоянии? Какова масса этого газообразного кислорода в сосуде?
19. В тонкостенном сферическом баллоне должен храниться газ при температуре T. Определить массу баллона m, если плотность материала, из которого он изготовлен ρ, разрывающее материал напряжение σ, количество газа в баллоне ν молей.
20. Зависимость потенциальной энергии взаимодействия молекул от расстояния между их центрами:

$$E_n = 4E_0\left(\left(\frac{r}{r_0}\right)^{12} - \left(\frac{r_0}{r}\right)^{6}\right), \text{ где } E_0 \approx 10^{-20} \text{ Дж.}$$

На каком расстоянии между центрами молекул их потенциальная энергия минимальна?

Человек, который верит в сказку, однажды в неё попадает, потому что у него есть сердце...
С. П. Королёв

...я хочу большего: не просто понимать смысл слов, но еще знать, почему они звучат так, а не иначе…
Лессинг

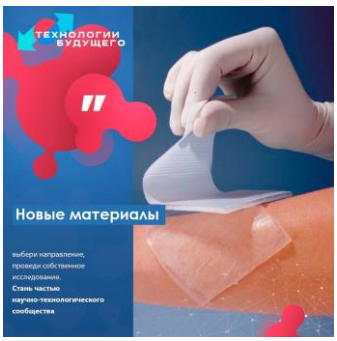
Урок 44/12. ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

Что мешает вам сжать шарик из скомканного листа бумаги еще больше?

ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме: «Свойства паров, жидкостей и твердых тел».

ТИП УРОКА: обобщающий - повторительный урок.

ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающая таблица "Молекулярная физика", зачетные папки по молекулярной физике.



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Самостоятельная работа
4. Задание на дом

II. Заполнение обобщающей таблицы "Физическая теория".

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

I. ОСНОВАНИЕ

1. *Наблюдения:* испарение, сферическая форма капель жидкости, правильная геометрическая форма кристаллов.
2. *Эксперименты:* опыты с парами, капиллярные явления, деформации твердых тел.

3. *Основные понятия:* фаза, фазовое равновесие, фазовый переход, жидкость, поверхностное натяжение. Твердое тело, деформация, кристалл, прочность, упругость, пластичность, хрупкость.
4. *Модель:* идеальный газ, жидкость, кристалл.

II. ЯДРО ТЕОРИИ

1. *Постулаты:* три основных положения молекулярной физики.
2. *Законы:* $p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \overline{E}_к$; $\overline{E}_к = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$; методы молекулярной динамики.
3. *Константы:* k = 1,38·10^{-23} Дж/К; R= 8,31 Дж/(К·моль).

III. СЛЕДСТВИЯ

1. *Формулы-следствия:* $r = \frac{p}{p_{н'}} \cdot 100\%$; $\sigma = \frac{F_п}{l}$; $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$; $\sigma = E \cdot \varepsilon$
2. *Экспериментальная проверка:* определение модуля упругости материала; измерение поверхностного натяжение.
3. *Границы применимости:*
4. *Практические применения:* сжижение газов, измерение влажности воздуха, окрашивание, фитили, осушение болот. Проводники, изоляторы, магниты.

Тепловая форма движения материи. Что мы можем объяснить с помощью закономерностей, полученных при изучении молекулярной физики?

III. Работа с зачетными папками "Молекулярная физика".

Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам плана можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. Идеальным называют кристалл с совершенной трехмерно-периодической решеткой, лишенный любых дефектов строения.
2. Все вещество состоит из частиц – атомов или молекул.
3. При малых деформациях механическое напряжение в любой области твердого тела прямо пропорционально относительному удлинению.
4. Температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении равна 100^{0}С.
5. Методами молекулярной динамики получены точные результаты относительно структуры и свойств многих простых жидкостей.
6. Законы молекулярной физики жидкостей не применимы вблизи критической точки и вблизи температуры кристаллизации жидкости.
7. Твердые тела применяют в качестве проводников, изоляторов и полупроводников.
8. Механическое напряжение (σ) – свойство твердого тела противодействовать деформации, измеряемое отношением силы упругости к площади сечения образца.

9. Кристаллы имеют правильную геометрическую формулу.
10. Скорость испарения жидкости зависит от рода жидкости, температуры, площади ее свободной поверхности, плотности пара данной жидкости над ее поверхностью.

IV. Подготовка к контрольной работе, решение задач.

1. Почему в оконных рамах старых домов стёкла дребезжат?

Лучше думать перед тем, как действовать, чем после.
Демокрит

Урок 45/13.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Колбаситься – это то же самое, что и плющиться, только круглее и мягче!

Все знали, насколько Роберт Вуд неравнодушен к эффектным демонстрациям. Во время визита Капица установил в бокал стеклянные палочки и в присутствии Вуда налил в бокал жидкий кислород. Палочки с шумом вылетели из бокала. Выглядело очень эффектно. Вуд с улыбкой зааплодировал и не заставил ждать ответную выходку — он выпил из бокала жидкий кислород. Все пришли в ужас, а Роберт Вуд засмеялся и выплюнул жидкий кислород, который держал во рту, обратно в бокал. Это произвело фурор.

Учитель отправляет учеников на олимпиаду.
- Ну, сходите, часок посидите, опозоритесь и уйдёте.

Человеческое - мелодия, природное - дисгармония…
Джон Апдайк

Природа не знает остановки в своем движении и казнит всякую бездеятельность.
Гете

Экспериментатор, в отличие от теоретика, ошибается только один раз, а потом ему уже не верят.
Л.А. Арцимович

Когда в делах, я от веселий прячусь,
Когда дурачиться – дурачусь;
А смешивать два этих ремесла
Есть тьма искусников, я не из их числа.
А.С. Грибоедов

Студент-химик старательно выполнил очередной шаг инструкции к лабораторной работе: «добавьте азотную кислоту» и... в лаборатории прогремел взрыв! Когда впоследствии стали разбираться, в чём же дело, выяснилось, что на следующей странице учебника было написано: «... медленно, по каплям». Составляйте план работы и исполняйте его!

Какие три предмета должен взять с собой на необитаемый остров настящий физик?

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

1. Проведите эксперименты и объясните явления:
   - присасывание медицинской банки к телу человека;
   - воспламенение ватки, смоченной эфиром, при резком сжатии поршня в цилиндре;
   - образование тумана в сосуде при резком расширении воздуха;
   - сдувание мыльного пузыря;

- почти сферическую форму капель жидкости на стекле;
- сокращение свободной поверхности мыльной пленки;
- притяжение двух спичек на поверхности воды;
- подъем жидкости в капилляре;
- испарение кристаллического йода;
- плавление и затвердевание гипосульфита;
- понижение температуры снега при добавлении к нему поваренной соли;
- увеличение прочности медной проволоки после наклепа;
- эффект Иоффе;
- броуновское движение.

2. Определите влажность воздуха с помощью психрометра.
3. Определите точку росы с помощью гигрометра.
4. Продемонстрируйте явление взаимной диффузии газов (пары брома в воздухе).
5. Чтобы увидеть, как происходит конвекция, бросьте в кастрюлю немного мелкой лапши и понаблюдайте за ее циркуляцией (повторяющимися движениями вверх и вниз).
6. Определите пределы измерения и пену деления термометра (барометра).
7. Продемонстрируйте изменение внутренней энергии металла при деформации.
8. Продемонстрируйте явление межмолекулярного взаимодействия.
9. У вас есть динамометр, набор разновесов и нитка. С какой точностью вы можете измерить массу тела?
10. Закалка и отпуск стальной проволоки. Оборудование: два куска тонкой стальной проволоки, зажигалка, стакан холодной воды.
11. Объясните опыт со смешением воды и спирта.
12. Оцените давление, оказываемое вами на поверхность Земли.
13. Сколько теннисных шариков поместится в классной комнате?
14. С какой высоты можно прыгать в воду, чтобы не разбиться?
15. **Опыт "Ползущий стакан"**. Возьмите чистое оконное стекло длиной около 30 - 40 см. Под один край стекло подложите два спичечных коробка, так, чтобы образовалась наклонная плоскость. Смочите водой край стакана из тонкого стекла и поставить вверх дном на стекло. Поднести к стенке стакана горящую свечу и стакан медленно поползет. Как это объяснить?

Дополнительная информация: Человек одной рукой способен расколоть деревянную доску или разбить бетонный блок. Деревянная доска может согнуться примерно на сантиметр, прежде чем сломается – по отношению к ней нужно применить силу в 500 ньютон. Поскольку бетонные блоки менее гибкие, чем дерево, то они расколются, если применить силу в 2500-3000 ньютон. Напрашивается вопрос: почему рука каратиста не травмируется силой удара? Всё дело в анатомии: кости человека в пять раз прочнее бетона, и сломать их в

пятьдесят раз труднее (чтобы сломать бедренную кость, нужно приложить силу в 25000 ньютон). К старости в результате избытка в организме солей кость становится хрупкой и ломкой.

Что, наконец, представляется нам затверделым и плотным,
То состоять из начал крючковатых должно несомненно,
Сцепленных между собой наподобие веток сплетенных,
В этом разряде вещей, занимая в, нем первое место.
Будут алмазы стоять, что ударов совсем не боятся,

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ ПРОЕКТОВ	ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ
1. Предложите конструкцию: а) регулятора влажности; б) измерителя прочности нити; в) измерителя толщины бумаги; г) сигнализатора кипения жидкости; д) измерителя атмосферного давления; е) регулятора температуры кипения жидкости; ж) измерителя высоких температур; з) измерителя низких температур; и) измерителя поверхностного натяжения жидкости; 2. Поверхностное натяжение в природе и технике. 3. Свойства жидкого гелия. 4. В мире тепла и холода. 5. Как растут кристаллы. 6. Симметрия кристаллов. 7. Свойства белого и серого олова. 8. Как вы себе представляете биофизику сокращения мышц? 9. Энтропия, вероятность и информация. 10. Почему для насекомых теплокровность невозможна? 11. Как спастись в падающем лифте? 12.	1. Экспериментальные исследования строения кристаллов. 2. Экспериментальные методы изучения дефектов в кристаллах. 3. Исследование деформаций твердых тел. 4. Использование деформаций в технике. 5. Тепловое расширение в технике. 6. Физика в мире полимеров. 7. Происхождение жизни. 8. Самая главная молекула. 9. Предложите проект лунной школы. 10. Преимущества теплокровных животных перед холоднокровными животными. 11. Технические возможности манипулирования атомами и молекулами. 12. Практические применения нанотехнологий. 13. Отличительные свойства нанообъектов. 14. Простые углеродные наноматериалы: графены, фуллерены, нанотрубки. 15. Основные этапы развития нанотехнологий. 16. В чем заключается механическая целесообразность строения нашего скелета? 17. Методом размерностей установите, как зависит частота колебаний капли дождя от поверхностного натяжения воды и массы капли. 18. Физика сварки, пайки, склеивания, слипания.

Далее - твердый кремень и железа могучего крепость,
*Так же как стойкая медь, что звенит при ударах в засовы *.*
Лукреций. "О природе вещей"

Без гипотез и предположений не мыслим ни один шаг в науке.
О. Хвольсон

Выскажем великую истину: никаких нематериальных материй не существует.
Роберт Майер

В наше время новые законы природы можно открыть только в пятом знаке после запятой.
Майкельсон

— Что слушаешь?
— Хор страдающих молекул.
— Чего?
— Слушаю, как чайник кипит….

Как просеять молекулы?

Как ни удивительно, но подобное существует, весьма активно применяется на практике и так и называется — **молекулярные сита**. В их качестве выступают своеобразные минеральные пористые кристаллы, носящие название «цеолитов». Адсорбцией называется способность тел к поглощению, и она тесно связана со свойствами поверхности тел: если газообразные или жидкие вещества находятся в непосредственном контакте с твёрдыми телами, то чем больше площадь поверхности этого тела, тем большее количество жидкости или газа эта поверхность сможет удержать. Те вещества, которые цеолит может легко адсорбировать, имеют размер молекул, позволяющий им проходить внутри этих каналов, в то время как у ряда других веществ размер молекул слишком велик для прохождения в каналы и, соответственно, они и не будут адсорбироваться. Например, кислород в установках получается из атмосферного воздуха в потоковом режиме с помощью разделения его цеолитовыми колонками. Подобный способ разделения атмосферного воздуха применяется не только для целей дыхания. Такие потоковые установки, только более мощные, используют для подачи кислорода на предприятиях по переработке отходов, где газообразный кислород используется для более полного дожигания отходов.

Мы верили нашей дороге.
Мечтались нам отблески рая…
И вот – неподвижны – у края
Стоим мы в стыде и тревоге.
Валерий Брюсов

Как выжить в эпоху глобального потепления?

Люди чрезвычайно чувствительны к температуре. Независимо от того, насколько холодно или жарко на улице, занимаемся мы спортом или отдыхаем, температура нашего тела должна оставаться постоянной, если мы хотим остаться здоровыми или просто выжить. Механизмы адекватной ауторегуляции температуры тела удивительны. Однако биофизические возможности регулировать температуру тела достаточно ограничены, и расширить их можно во вполне обозримых рамках — с помощью одежды и способов охлаждения. Человек, как и все млекопитающие и птицы, принадлежит к так называемым теплокровным организмам, температура тела которых заметно выше, чем температура окружающей среды обитания. Это возможно при условии равновесия между выделением и отдачей тепла, чрезвычайно важную роль при этом играют изоляционные слои покровов, предупреждающие избыточную потерю тепла, например жировая ткань. Кроме того, кровообращение в коже и способность потеть обеспечивают отдачу тепла в случаях, когда температура тела повышается сверх нормы. Это позволяет теплокровным организмам поддерживать постоянство температуры тела в разных состояниях активности и условиях окружающей среды. Для раздетого взрослого человека в состоянии покоя термическая нейтральная зона, так называемая нейтральная температура окружающей среды, при которой человек не мерзнет и не потеет, находится в пределах 27–31°С — при полном физическом бездействии, относительной влажности воздуха 50% и отсутствии ветра. В таких условиях обмен энергией минимален.

При воздействии холода происходит сужение кровеносных сосудов кожи, а при повышении температуры — их расширение. Почти каждый испытал это на себе: уши, кисти и стопы особенно быстро бледнеют и охлаждаются — именно потому, что там на холоде

стремительно снижается кровообращение и замедляется кровоток. С головой дело обстоит по-другому. Там сужения сосудов в ответ на воздействие холода не происходит, и зимой мы особенно сильно теряем много тепла именно через голову; поэтому зимой надо носить шапку и следить за тем, чтобы волосы были сухими. Влажные волосы и влажная одежда усиливают отведение тепла в двадцать два раза! Большая часть чувствительных к холоду рецепторов расположена на шее, и поэтому зимой мы носим свитера с воротом и шарфы. При воздействии тепла, наоборот, усиливается теплоотдача в области головы и конечностей; на конечностях это кисти и стопы, а на голове уши. Все эти области обладают большой поверхностью относительно их объема, а это облегчает теплоотдачу в окружающую среду. Если человек одет, то в обмене тепла играет роль поверхность тела, оставшаяся доступной; одежда уменьшает эффективную поверхность теплообмена, и при воздействии холода это желательно. А при воздействии тепла люди снимают лишнюю одежду. Чем толще пограничный слой воздуха между телом и одеждой, тем слабее теплообмен между телом и окружающей средой. Выбирая подходящую одежду, можно зимой увеличивать толщину этого слоя, а летом ее уменьшать.

С физической точки зрения теплообмен осуществляется четырьмя способами: это конвекция, теплопроводность, испарение (испарение пота) и излучение. Конвекционный теплообмен происходит главным образом в слое воздуха толщиной несколько миллиметров (пограничном слое), окружающем кожу. Существуют две формы конвекции — естественная и принудительная. Если человек находится в прохладной среде, то вдоль поверхности тела происходит перемещение масс снизу вверх, так как теплый воздух легче холодного. Восходящий поток воздуха забирает при этом тепло путем конвекции. Внутри тела человека теплые слои жидкости также поднимаются вверх от ног к голове. О принудительной конвекции говорят, например, когда человек подвергается воздействию сильного ветра. В этом случае конвекционная теплоотдача усиливается, потому что, во-первых, разрушается окружающий кожу пограничный слой воздуха. Во-вторых, отвод тепла от поверхности тела ускоряется благодаря ветру. Оба фактора способствуют быстрому охлаждению тела.

Еще один способ транспорта тепла — излучение. Незащищенное воздействие на тело существенно более холодных предметов, которые излучают мало энергии, ведет к тому, что падает местная температура кожи, активируются ее рецепторы холода и происходит сужение кровеносных сосудов. Пораженные холодом участки кожи и подлежащие мышцы продолжают остывать. За этим следуют судорожное напряжение мышц, нарастающее ощущение холода и озноб. Впрочем, предметы с более высокой температурой за счет излучения вызывают ощущение тепла. Важную роль в теплоотдаче играют форма и размер корпуса. У маленьких организмов, таких как мыши, большая поверхность тела в отношении объема, а у слонов, наоборот, при большом объеме тела поверхность его невелика. Такие организмы защищены от переохлаждения, но легче перегреваются. У мелких организмов принудительная конвекция может быстро привести к нарушению теплового баланса.

Чем выше давление пара снаружи (душное помещение, тропики), тем труднее отдавать воду за счет испарения. Если же относительная влажность воздуха низкая (в сухом пустынном климате), то человек может в течение непродолжительного времени переносить чрезвычайно высокую температуру воздуха и поступление тепла извне. Находясь в пустыне, физическую работу надо выполнять либо ранним утром, либо поздним вечером или даже ночью. Следует избегать дневных нагрузок, когда наиболее интенсивно длинноволновое излучение Солнца, достигающее максимума в полуденные часы. Необходимо осознанно пить много воды и добавлять к рациону соль, чтобы компенсировать их потери с потом, потому что чувство жажды и ощущение потребности в соли при больших потерях жидкости становятся неадекватными. Ночные судороги в икроножных мышцах указывают на нарушение электролитного баланса. Кроме того, одежда должна покрывать большую часть поверхности тела, пропускать водяные пары и быть просторной, чтобы обеспечивать циркуляцию воздуха над поверхностью тела. Таким образом, можно оптимально использовать транспорт тепла путем естественной конвекции и обеспечивать комфортный

микроклимат над кожей. Цвет одежды играет здесь меньшую роль, чем свойства ткани. К чему приведет глобальное потепление, и каким навыкам, в связи с этим, нам стоило бы поучиться у верблюдов? Густая шерсть верблюда, содержащая большой объем воздуха, создает надежный изолирующий слой, защищающий от солнечного излучения.

И, быть может, немного осталось веков,
Как на мир наш, зеленый и старый,
Дико ринутся хищные стаи песков
Из пылающей юной Сахары.
Николай Гумилев

...опыт – единственный источник истины, только опыт может научить нас чему-либо новому…
Анри Пуанкаре

Дополнительные задачи и вопросы:

1. Почему покой и сон понижают температуру, мышечная деятельность повышает ее?
2. Почему Эверест гремит и трещит по ночам?

Причиной громких звуков являются перепады температур, которые провоцируют сжатие льда, вследствие чего он лопается. Свидетели отмечают, что ледники начинают издавать ужасный шум сразу после захода солнца.

3. Почему в мышечной ткани выделяется большее количество тепла, чем, например, в соединительной ткани, костях, хрящах?
4. Утверждают, что всего одна ложка масла способна погасить волны на озере. Так ли это?

Американский ученый Бенджамин Франклин установил, что одна ложка масла (примерно 15 мл.) растекается по поверхности воды площадью порядка 2000 м^2. При этом рябь на поверхности воды почти полностью исчезает. На гребне волны слой масла оказывается более тонким, и сила поверхностного натяжения воды здесь будет больше, а во впадине – меньше. Вот почему волнение воды и влияние ветра на водную поверхность так сильно изменяются в присутствии слоя масла. Если вы купаетесь по утрам, то посмотрите в ветреный день по направлении ветра на воду, и вы увидите, что тело производит то же действие, что и масло. По той же самой причине и след от парохода виден так долго на воде в форме гладкой ленты.

5. Определите наибольшее возможное давление одного моля идеального газа в процессе, происходящем по закону $T = T_0(1 - V_0/V)$, где T_0 и V_0 — известны положительные постоянные, V — текущее значение объема газа. В течение всего процесса $V > V_0$. При каком значении объема будет достигнуто максимальное давление?
6. Что дольше освобождается от снега: пригорок или низина? Почему?
7. На вершинах гор еще лежит снег, а у подножья уже зеленая травка! Почему?
8. Иногда снег хрустит под ногами — причём, в морозную погоду этот звук слышен отчётливо и пропадает при наступлении оттепели.
9. Когда стекольщик режет стекло, он не старается прорезать его на всю толщу листа, а делает лишь неглубокий надрез на поверхности, после чего по такой царапине стекло легко разламывается. Почему?
10. Почему под водой (в бочке, в тазу, в реке) стекло можно резать ножницами?

Всё это - следствие эффекта Ребиндера, то есть адсорбционного понижения прочности твёрдых тел в результате их контакта с другими веществами, как правило - жидкими. В случае со стеклом в воде всё происходит потому, что на поверхности твёрдого тела есть микроскопические трещинки, и когда ты пытаешься воздействовать на него ножницами, то добавляешь, таким образом, ещё одну трещину - в нужном направлении. Вода проникает в неё, вызывает физическое напряжение и усиливает деформацию. Ещё пример, демонстрирующий тот же самый эффект. При попытке пробить гвоздём керамическую кружку или горшок, вы рискуете расколоть посуду на куски. Зато если поместить её под воду

и попробовать сделать то же самое, гвоздь легко пробьёт в дне кружки или горшка отверстие.

11. Горы находятся к источнику тепла ближе равнин, но на их вершинах гораздо холоднее. Почему?
12. Если вынуть сильно охлажденную бутылку минеральной воды из морозильника и открыть ее, то после этого часть воды замерзнет. Почему?
13. Винные «ножки», или «слезы», – медленно стекающие в результате вращения бокала капли вина. Как они образуются с научной точки зрения?

Тонкий слой вина, прилегающий к стенкам бокала, соприкасаясь с воздухом, теряет спирт путем испарения значительно быстрее, чем вино в бокале. Вследствие этого вино в тонком слое становится беднее спиртом и богаче водой, чем нижележащие слои, а потому его поверхностная перепонка становится более сильно натянутой. Жидкость этого слоя поднимается вверх, пока ее не накопится столько, что она станет собираться в капли, которые будут стекать обратно, как вы можете видеть это на экране.

14. Почему вещество земной магмы в процессе подъема к поверхности (лава) дегазируется и плавится?
15. При изготовлении фанеры волокна нового слоя накладываются перпендикулярно волокнам предыдущего. Зачем?
16. Говорят, что сосиски при долгом кипячении разрываются вдоль, а не поперек? Так ли это и почему?
17. В старых домах окна дребезжат в рамах, ведь вверху они уже тоньше, чем подготовленный для них зазор. Так ли это?
18. Кристаллы времени имеют хорошо заметную для учёных структуру, повторяющуюся во времени. Объясните.
19. Как известно из учебников у воды нет формы, но вода все-таки имеет свою форму. Это шар. Как это понимать?
20. Поэтому поверхность песчаного пляжа мягче, чем нижние слои?
21. Почему если промочишь ноги, то болит горло? Какая гипотеза предпочтительнее?
    - Вирусы начинают лучше передаваться по воздуху, потому что не липнут к каплям воды.
    - Слизистые оболочки наших ртов и носов высыхают и трескаются, упрощая патогенам путь внутрь организма.
    - Некоторые вирусы на холоде размножаются лучше, чем в тепле.
    - Когда мы мерзнем, у нас сжимаются сосуды — это нужно, чтобы к поверхности тела притекало меньше крови, и оно не теряло лишнее тепло.
    - Иммунные клетки хуже работают на холоде и выделяют меньше противовирусных веществ.
22. Пчелы - удивительное творение природы: миллионы лет они строят ячейки сотов правильной шестиугольной формы (были найдены окаменелые останки пчелы возрастом в 100 миллионов лет). Все ячейки имеют совершенно одинаковый размер. Почему пчелы строят соты именно так, почему они предпочли сеть правильных шестиугольников, а не правильных треугольников или квадратов, ведь их, казалось бы, гораздо проще сконструировать? С точки зрения математики шестигранная «пчелиная ячейка» - идеальная геометрическая форма для максимального использования единиц площади и объема: вмещает максимальное количество меда, и в то же время, для ее создания требуется минимальное количество воска. То есть пчела использует наиболее выгодную из всевозможных форм. А с точки зрения физики?

Мой дом построен по законам самой строгой архитектуры. Сам Евклид мог бы поучиться, познавая геометрию моих сот. Пчела, «Тысяча и одна ночь».

Любая достаточно продвинутая технология неотличима от волшебства.

Артур Кларк

Какую пищу нашему уму дает созерцание сил сцепления! Как много новых явлений открывается здесь! Именно эти силы обеспечивают прочность всего того, что сооружаем мы на земле, используя железо, камень и другие прочные материалы. И только подумайте, что все наши конструкции - взять хотя бы "Грейт Истерн", размеры которого и мощь, кажется, лежат за пределами человеческого воображения, - существуют постольку, поскольку существуют силы сцепления.

М. Фарадей, О различных силах природы

Использованы ли все резервы прочности, скрытые в материалах? Можно ли улучшить существующие типы материалов и создать совершенно новые, отличные от них, которые были бы намного прочнее? Если да, то, каким образом это сделать и как они будут выглядеть? Если мы, в самом деле, будем располагать лучшими материалами, то, как и где их следует применять?

Всегда старайся сначала подумать, а потом лучше промолчи.

Айзек Азимов. Я, робот

Чрезмерная краткость речи иной раз превращает её в загадку.

Блез Паскаль

ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
2. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
3. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. − М.: Дрофа,2002.
4. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. - М.: Просвещение, 1972.
5. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
6. Д. Джанколи. Физика. - М.: Мир,1989.
7. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
8. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
9. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
10. А.А. Найдин. Обобщающий урок по квантовой физике // Физика в школе, № 2, 1991.
11. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
12. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
13. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
14. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн. Кн. 3. Строение и свойства вещества. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
15. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Молекулярная физика и термодинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2005
16. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
17. Физика и жизнь. Законы природы: от кухни до космоса / Элен Черски; пер. с англ. И. Веригина; [науч. ред. А. Минько]. — Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2021. — 336 с.
18. Горлач В. В. Методы решения физических задач. – М.:ООО Юрайт, 2024.
19. К о н д р а т ь е в А. С., У з д и н В. М. Физика. Сборник задач. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 392 с. — ISBN 5-9221-0579-5.
20. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. https://naidin.ru