



ИНЖЕНЕРЫ
БУДУЩЕГО



ФИЗИКА

8

Часть 1

УГЛУБЛЁННЫЙ
УРОВЕНЬ





ФИЗИКА

ИНЖЕНЕРЫ БУДУЩЕГО

8

КЛАСС

Углублённый уровень

Учебник

В двух частях

Часть 1

Под редакцией Ю. А. Панебратцева

Допущено Министерством просвещения
Российской Федерации

МОСКВА
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2024

УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721.6
Ф50

Учебник и разработанное в комплекте с ним учебное пособие допущены к использованию при реализации основных образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 858 от 21.09.2022 г. (в ред. Приказа Минпросвещения России № 119 от 21.02.2024 г.)

Авторы: В. В. Белага, Н. И. Воронцова, И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев

**Физика : инженеры будущего : 8-й класс : углублённый
Ф50 уровень : учебник : в 2 частях / В. В. Белага, Н. И. Воронцова,
И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев ; под ред. Ю. А. Панебратцева. — Москва : Просвещение, 2024.**

ISBN 978-5-09-112669-3.

Ч. 1. — 190, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-09-112670-9.

Общая концепция учебно-методического комплекса, который включает печатные издания и электронные ресурсы, в том числе сайт поддержки УМК, разработана научными сотрудниками Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ), преподавателями Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и специалистами Госкорпорации «Росатом».

Учебники и пособия написаны коллективом авторов под руководством доктора физико-математических наук, профессора Ю. А. Панебратцева в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования, утверждённого Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 287 от 31.05.2021 г., и Федеральной рабочей программой по физике углублённого уровня от 18.05.2023 г.

Данный учебник продолжает предметную линию «Инженеры будущего» по физике, предназначенную для организации предпрофильной подготовки учащихся. Материал учебника выстроен в логике деятельностного подхода. Система заданий направлена на формирование важных компетенций, которые позволяют: научно объяснять природные и технологические явления; применять методы естественно-научного исследования и предлагать научные способы решения проблем; интерпретировать данные и использовать научные доказательства, представленные в различных формах. Помимо предметного содержания, в курсе заложено развитие представлений о сферах профессиональной деятельности, связанных с современным естествознанием.

УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721.6

ISBN 978-5-09-112670-9 (ч. 1)
ISBN 978-5-09-112669-3

© АО «Издательство «Просвещение», 2024
© Художественное оформление.
АО «Издательство «Просвещение», 2024
Все права защищены

ВВЕДЕНИЕ

Слово «инженер» берёт своё начало от латинского *ingenium*, что означает «врождённая способность, дарование, ум, изобретательность». Во все эпохи развития человечества инженерная деятельность была чрезвычайно важна, именно она обеспечивала соответствующее состояние техники и технологии, уклад жизни и способствовала техническому прогрессу. Сегодня профессия инженера является одной из наиболее востребованных, ведь с увеличением скорости изменений, происходящих практически во всех областях техники и технологий, растёт потребность в высококвалифицированных специалистах, способных не только производить и совершенствовать существующие технические устройства, но и создавать новые.

Курс физики является одним из ключевых курсов при подготовке специалистов, планирующих заниматься инженерной деятельностью. Физика изучает общие закономерности явлений природы, её понятия и законы лежат в основе всего естествознания.

Физика — это экспериментальная наука. Её законы основываются на фактах, установленных при помощи опытов. Открывая физические законы, человек смог применять их для своих целей: создал мощнейшие машины и механизмы, научился управлять внутриядерной энергией, вышел в космическое пространство. Работа технических устройств, с которыми человек сталкивается дома, на работе и на улице, без которых сегодня немислима жизнь человечества, основана на правильном применении законов природы, изучаемых физикой.

Физика — точная наука и изучает количественные закономерности явлений, которые записываются в виде формул, поэтому физика «говорит» на языке математики.

Современная физика — это бурно развивающаяся наука, охватывающая многие области знаний человечества.

Материал учебника разделён на тематические главы, которые состоят из параграфов. В начале каждой главы приводится высказывание одного из великих учёных, которое отражает суть содержания темы.

В тексте каждого параграфа важные для осмысления и запоминания термины и понятия выделены **жирным шрифтом** или *курсивом*.

Каждый параграф начинается с вводных рубрик «Новое в уроке» и «Повторим изученное». Рубрика «Новое в уроке» познакомит вас с основными вопросами, которые изучаются в параграфе. Рубрика «Повторим изученное» подскажет, что необходимо вспомнить из ранее изученного материала, для того чтобы усвоить новый.

Текст, содержащийся в рубрике «Важно!», отражает ключевые аспекты изучаемого материала, а также наиболее важные формулы, термины и физические законы.

Информация о традиционном эксперименте, на основе которого строится объяснение материала параграфа, выделена в рубрике «Исследование».

В рубрике «Это интересно» изучаемый материал иллюстрируется интересными историческими фактами и сведениями, примерами технических устройств и явлениями повседневной жизни.



В рубрике «Применяем в профессии» изучаемый материал дополняется примерами, которые могут быть использованы в инженерных профессиях.



Рубрика «Сделай сам!» поможет вам самостоятельно провести эксперименты по тематике изучаемого материала.



Увидеть взаимосвязь физики с другими учебными дисциплинами, которые вы изучаете в школе, поможет рубрика «Межпредметные связи».

Эта рубрика является подсказкой, которая нацелит вас на выполнение следующих заданий:

- приведите дополнительные примеры использования понятий, моделей и законов физики в других областях знаний;
- подготовьте сообщение для своих одноклассников о связях между науками.

Рубрика «Физика в жизни» рассказывает о применении знаний, полученных в параграфе, в окружающем нас мире.

В конце каждого параграфа приведены «Выводы» к параграфу и «Ключевые слова» — основные понятия, новые термины, которые нужно запомнить и по которым можно осуществить поиск дополнительной информации в Интернете.

Завершают параграф «Вопросы и задания», ответы на которые помогут вам закрепить изученный материал и проверить свои знания.

В каждой главе содержатся разделы: «Решение задач», «Лабораторные и исследовательские работы», «Кейс». В параграфе «Решение задач» рассматриваются примеры решения физических задач и приводятся «Задачи для самостоятельного решения», которые помогают закрепить и лучше понять изученный материал. Параграф «Лабораторные и исследовательские работы» содержит обязательные лабораторные работы, которые выполняются в классе, и практические работы-исследования, предназначенные для самостоятельного выполнения в классе или дома. «Кейс» включает проектно-исследовательское задание, в ходе выполнения которого решаются интересные, полезные и связанные с реальной жизнью задачи.

Завершает каждую главу раздел «Подведём итоги», в котором приводятся основные выводы и идеи, содержащиеся в главе. Вопросы, содержащиеся в рубрике «Вопросы для обсуждения», носят проблемный характер и могут стать интересной темой для дискуссии. Возможные темы для сообщений в классе приведены в рубрике «Темы исследовательских и проектных работ».

Желаем вам успехов на пути получения новых знаний!



математика



геометрия



география



биология/экология



технология



физкультура



химия

Глава 1

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

То, что теплота заключается в некотором движении малых частиц тела, теперь уже достаточно ясно.

Л. Эйлер



§ 1 ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

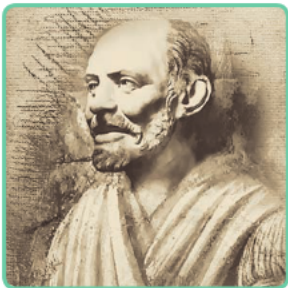
НОВОЕ В УРОКЕ

- Основные положения молекулярно-кинетической теории и их обоснование.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что вы знаете о строении вещества?
- В чём состоит опыт Резерфорда?
- Что такое броуновское движение?
- Что такое диффузия?
- Что вы знаете об агрегатных состояниях вещества?

Вы уже знаете, что все тела состоят из атомов и молекул. Теперь нужно сделать следующий шаг: научиться описывать различные тепловые явления на основе атомно-молекулярных представлений о строении вещества.



Демокрит
(V в. до н. э.)

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ. Раздел физики, в котором изучаются физические свойства вещества на основе представления о том, что оно состоит из атомов и молекул, называется молекулярная физика.

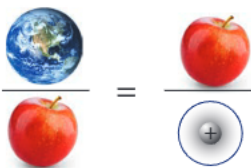
Ещё в Древней Греции около двух с половиной тысяч лет назад Демокритом была выдвинута гипотеза о том, что вещество состоит из мельчайших частичек (*атомов*) и пустот между ними. Но лишь в XVIII в. эта гипотеза начала превращаться в последовательно развиваемую научную теорию — молекулярно-кинетическую теорию (МКТ), которая стала основой молекулярной физики.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

ВАЖНО

В основе **молекулярно-кинетической теории** лежат следующие положения:

- Вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул, между которыми имеются промежутки.
- Частицы вещества находятся в непрерывном хаотичном движении.
- Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

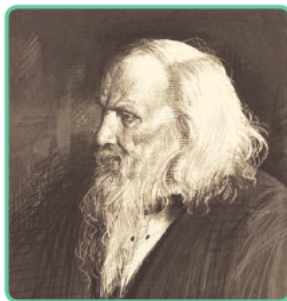


Размеры атомов очень малы. Часто приводят такое сравнение: если увеличить яблоко до размеров земного шара, то размер атома увеличится до размера яблока.

Рассмотрим экспериментальные обоснования этих положений.

АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ. Атомы всех химических элементов систематизированы на основе периодического закона, открытого Д. И. Менделеевым. Всего в таблице Менделеева 118 элементов. 92 из них существуют в природе, остальные созданы учёными в лабораториях.

Из 118 элементов таблицы Менделеева 7 названий связаны с Россией. 44-й элемент рутений (Ru) назван в честь России (от лат. *Ruthenia* — Россия). 62-й элемент самарий (Sm) назван в честь русского горного инженера В. Е. Самарского-Быховца. 101-й элемент менделевий (Md) назван в память о гении российской науки Д. И. Менделееве. 105-й элемент дубний (Db) и 115-й элемент московий (Mc) названы в честь наукограда Дубна и Московской области, где находится Объединённый институт ядерных исследований, в котором было открыто 10 новых сверхтяжёлых элементов. Ещё два элемента носят имена выдающихся учёных нашей страны Г. Н. Флёрва и Ю. Ц. Оганесяна: это 114-й элемент — флеровий (Fl) и 118-й элемент — оганесон (Og).



Дмитрий Иванович Менделеев
(1834—1907)

ВАЖНО

Молекула — это мельчайшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами и способная к самостоятельному существованию.

Молекулы могут состоять из нескольких одинаковых атомов (например, молекула кислорода — O_2 , молекула азота — N_2) или представлять собой сложные соединения атомов различных элементов (например, молекула воды — H_2O). Мельчайшей частицей вещества также может быть и отдельный атом (например, парь металлов).

Исходя из повседневного опыта, мы представляем вещества сплошными, а не состоящими из отдельных частиц. Это связано с очень маленькими размерами молекул и промежутков между ними.

Один из самых известных опытов по определению размеров молекул провёл английский учёный Рэлей (см. § 12 учебника 7 класса). По его оценке диаметр молекулы оливкового масла равен примерно $0,0000000016$ м.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Мир молекул и атомов чрезвычайно разнообразен.

Если размеры самых маленьких молекул составляют порядка 10^{-10} м, то крупные молекулы могут достигать «больших» размеров — порядка микрометров (10^{-6} м).

Массы молекул различных веществ очень малы. Например, масса атома углерода составляет $1,99 \cdot 10^{-26}$ кг, а масса молекулы воды — $3 \cdot 10^{-26}$ кг.

Размеры некоторых атомов и молекул

Азот N_2	$3,2 \cdot 10^{-10}$ м
Кислород O_2	$3 \cdot 10^{-10}$ м
Вода H_2O	$3 \cdot 10^{-10}$ м
Натрий Na	$1,9 \cdot 10^{-10}$ м
Углерод C	$0,67 \cdot 10^{-10}$ м

В обычный оптический микроскоп атомы и молекулы увидеть нельзя. А вот электронные микроскопы и ионные проекторы дают такую возможность. Их максимальное увеличение достигает $(5—10) \cdot 10^6$ раз. Современные методы электронной микроскопии позволяют не только получать изображения отдельных атомов, но и перемещать атомы в пространстве.



Молекулярные модели — это материальные или компьютерные модели молекул сложных веществ. Они дают наглядное представление о взаимном пространственном расположении атомов в молекулах. Интересно, что модели молекул появились на 100 лет раньше, чем реальные изображения молекул, полученные с помощью электронных микроскопов. Трёхмерные молекулярные модели помогают инженерам-химикам проводить анализ молекулярной структуры веществ и влияния взаимного расположения атомов на процессы взаимодействия молекул, а также прогнозировать свойства и характеристики новых материалов.

СУЩЕСТВОВАНИЕ ПРОМЕЖУТКОВ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ. Известно, что в 18 мл воды (примерно одна столовая ложка) содержится около $6 \cdot 10^{23}$ молекул. Такое же количество молекул воды в газообразном состоянии в виде водяного пара занимают объём 22,4 л. Это означает, что промежутки между молекулами газов намного больше, чем промежутки между молекулами жидкости.

Как показывают опыты, все газы легко сжимаются, что свидетельствует об уменьшении среднего расстояния между молекулами в процессе сжатия. Значительно труднее сжимать жидкости и твёрдые тела, что связано с плотной «упаковкой» их молекулярных структур. Например, для того чтобы данный объём воды уменьшить всего на 1 %, необходимо создать внешнее давление, которое более чем в 200 раз превышает атмосферное давление.

В существовании промежутков между молекулами жидкости можно также убедиться с помощью простого опыта, который возможно осуществить в домашних условиях. Если смешать 100 мл воды и 100 мл этилового спирта, то суммарный объём смеси окажется меньше 200 мл. Это подтверждает вывод о том, что между молекулами веществ существуют промежутки.

Тот факт, что промежутки между молекулами и атомами имеются и у твёрдых тел, включая металлы, подтверждает опыт, описанный в XVII в. английским философом Фрэнсисом Бэконом. В полный шар из свинца с толстыми стенками налили воду и загерметизировали отверстие. После того как шар сплюснули, ударяя по нему тяжёлым молотом, на стенках шара выступили капельки воды. Это свидетельствовало о том, что молекулы воды «просочились» наружу по промежуткам между атомами свинца.

Возникновение упругих деформаций в телах также связано с наличием промежутков между молекулами. Если бы этих промежутков не было, то такие деформации, как, например, упругие деформации сжатия, не могли бы возникать в телах.

ДВИЖЕНИЕ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ. Опыты показывают, что молекулы и атомы находятся в постоянном движении, которое не может быть обнаружено каким-либо прямым наблюдением: это явление нельзя увидеть ни в лупу, ни в микроскоп. Однако убедиться, что молекулы движутся, можно косвенным образом, т. е. увидеть не само движение молекул, а результат этого движения.

Одним из опытных доказательств движения молекул и атомов является броуновское движение, которое было открыто в 1827 г. английским ботаником

Р. Броуном. Занимаясь изучением поведения цветочной пыльцы в жидкости под микроскопом, Броун обнаружил, что отдельные частицы пыльцы хаотично двигались без видимых на то причин. Он провёл опыты с мельчайшими частицами угля, сажи, стекла и различных минералов и наблюдал их беспорядочное движение в воде.

Строгое объяснение броуновского движения появилось только в начале XX в. в работах М. Смолуховского и А. Эйнштейна. Эйнштейн объяснил, что взвешенная в воде пыльца подвергается постоянной бомбардировке со стороны молекул воды. Удары молекул по частицам пыльцы с разных сторон и приводят к скачкообразным перемещениям, которые Броун наблюдал в микроскоп. А поскользку молекулы в микроскоп не видны, то движение пыльцы казалось Броуну беспричинным.

Ещё одним проявлением непрерывного и беспорядочного движения молекул является **диффузия** — взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого. Примерами диффузии могут служить распространение запахов и растворение веществ в жидкостях (см. § 14 в учебнике 7 класса). Из-за различий в молекулярном строении в газах диффузия происходит быстрее, чем в жидкостях, а в жидкостях — быстрее, чем в твёрдых телах. Процесс диффузии ускоряется с повышением температуры. Это происходит потому, что с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул. Чем выше температура вещества, тем быстрее происходит диффузия.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

В историю науки вошли опыты французского химика К. Бертолле по изучению диффузии газов.

Диффузию в твёрдых телах впервые наблюдал английский естествоиспытатель В. Робертс-Аустен. В своём опыте он использовал гладко отшлифованные пластинки свинца и золота, которые пролежали друг на друге 5 лет, сдавленные грузом. За это время золото и свинец проникли друг в друга на расстояние около 1 мм.



Все эти опыты подтверждают основные положения молекулярно-кинетической теории.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА ДРУГ С ДРУГОМ. Все молекулы находятся в состоянии непрерывного движения. Однако одни тела сохраняют свою форму и объём, а другие нет. Почему это происходит?

Молекулы вещества могут притягиваться друг к другу и отталкиваться друг от друга. Что действует сильнее — притяжение или отталкивание, напрямую зависит от расстояния между молекулами.

**ВАЖНО**

На расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов), заметнее проявляется притяжение, а при дальнейшем сближении — отталкивание.

Если молекулы находятся друг от друга на расстояниях, превышающих их размеры в несколько раз, то силы взаимодействия между ними становятся очень малы и практически не проявляются.

Различные агрегатные состояния вещества определяются взаимным расположением составляющих вещество молекул, а также характером их движения и взаимодействия.

В газах при атмосферном давлении расстояния между молекулами намного больше размеров самих молекул, поэтому притяжение между молекулами газа мало.

Плотности жидкостей и твёрдых тел во много раз больше плотностей газов, следовательно, их молекулы расположены гораздо ближе. На таких расстояниях силы межмолекулярного взаимодействия могут приводить и к взаимному притяжению, и к взаимному отталкиванию. Эти силы не позволяют атомам и молекулам удалиться на большее расстояние друг от друга или приблизиться ещё больше. Поэтому изменить объём жидкости или форму твёрдого тела достаточно трудно.

ВЫВОД

Основные положения молекулярно-кинетической теории:

- Вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул, между которыми имеются промежутки.
- Частицы вещества находятся в непрерывном хаотичном движении.
- Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

Молекулярно-кинетическая теория; основные положения МКТ; атомы; молекулы; броуновское движение; диффузия; взаимодействие молекул

**И
ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

1. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории.
2. Приведите примеры экспериментального подтверждения положений молекулярно-кинетической теории.
3. Может ли скорость процесса диффузии зависеть от размеров самих молекул?

СТРОЕНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ, ЖИДКИХ И ТВЁРДЫХ ТЕЛ § 2

НОВОЕ В УРОКЕ

Все вещества в зависимости от условий могут находиться в твёрдом, жидком или газообразном состоянии. Наглядным примером служат лёд, вода и водяной пар. Как вы знаете, молекулы одного и того же вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях ничем не отличаются друг от друга. Чем же отличается строение твёрдого тела, жидкости и газа?

- Чем объясняются свойства газов, жидкостей и твёрдых тел.
- Чем отличается характер движения и взаимодействия молекул вещества в различных агрегатных состояниях.
- Чем объясняется тепловое расширение газов, жидкостей и твёрдых тел.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

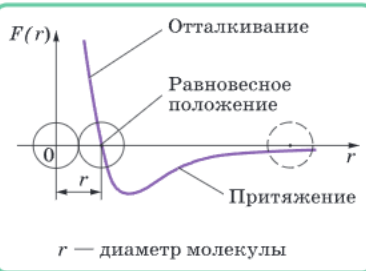
- Из чего состоит вещество?
- В каких агрегатных состояниях может находиться одно и то же вещество?

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНОГО, ЖИДКОГО И ТВЁРДОГО СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА. Твёрдое тело сохраняет свою форму и объём, и для их изменения необходимо приложить значительную силу. Жидкости не имеют определённой формы, они принимают форму сосуда, в котором находятся. При этом объём жидкости, как и объём твёрдого тела, очень трудно изменить. Газы не обладают ни определённой формой, ни объёмом. Они полностью заполняют сосуд, в котором находятся.



Вещества, как вы знаете, состоят из молекул, а молекулы — из атомов. Когда говорят о размерах атомов и молекул, то в качестве единицы длины часто используют специальную единицу — *ангстрем* (обозначается Å), равный 10^{-10} м. Например, размер молекулы воды равен примерно 3 Å , а размер атома золота равен примерно 1 Å .

Молекулы взаимодействуют друг с другом. Если предположить, что даже на очень короткое время молекулы перестанут притягиваться друг к другу, то ничего их не будет удерживать вместе, и тела распадутся



Зависимость силы взаимодействия молекул от расстояния между ними

на отдельные молекулы. Когда молекулы находятся на достаточно больших расстояниях (превышающих их размеры в 4—5 раз), силы взаимодействия между молекулами пренебрежимо малы. При уменьшении расстояния между молекулами сила притяжения возрастает. Однако, когда расстояние между центрами молекул уменьшается до значений, сравнимых с их размерами, между молекулами возникают мощные силы отталкивания. Поэтому жидкости и твёрдые тела трудно сжать.

Молекулы, представляющие собой очень маленькие физические тела, находятся в состоянии непрерывного движения. Поэтому молекулы обладают кинетической энергией. Вместе с тем, поскольку молекулы взаимодействуют, они обладают и потенциальной энергией, зависящей от характера взаимодействия и расположения молекул внутри тела.

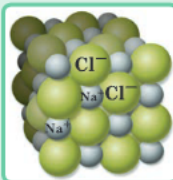
То или иное агрегатное состояние определяется взаимным расположением составляющих вещество молекул, а также характером их движения и взаимодействия.

Поведение жидкостей на основе характера движения их молекул впервые объяснил советский физик Я. И. Френкель в своей работе «Кинетическая теория жидкостей».

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА. Расстояния между молекулами газа при нормальных условиях во много раз превышают размеры молекул. Например, в одном литре ($1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ см}^3$) газа содержится около $2,7 \cdot 10^{22}$ молекул. Среднее расстояние между молекулами примерно в 10 раз больше размера самих молекул. Силы, действующие на таких расстояниях, очень малы, и ими можно пренебречь. Поэтому довольно часто пользуются *моделью идеального газа*. В этой модели молекулы рассматриваются как точечные тела, которые не взаимодействуют и постоянно хаотически движутся, сталкиваясь между собой и изменяя направление своего движения.

ТВЁРДОЕ ТЕЛО И ЖИДКОСТЬ. В 1 л воды содержится примерно $3 \cdot 10^{25}$ молекул. Это почти в 1000 раз больше, чем для газа при нормальных условиях. Это означает, что молекулы жидкости находятся гораздо ближе друг к другу, чем молекулы газа. Также достаточно близко друг к другу находятся молекулы и в твёрдом теле.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



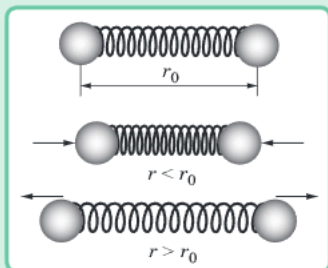
Расстояние между ионами Na^+ и Cl^- в кристаллической решётке поваренной соли составляет примерно $2,8 \cdot 10^{-8}$ см, и это также свидетельствует о том, что расстояние между узлами кристаллической решётки и размеры атомов имеют один и тот же порядок величины.

Характер потенциальной энергии молекул определяется особенностями их взаимодействия друг с другом. Как видно из графика зависимости силы взаимодействия от расстояния между молекулами (см. рисунок на с. 11), равновесному положению молекул соответствует расстояние r_0 , примерно равное диаметру молекулы. В этом положении силы взаимного притяжения и отталкивания компенсируют друг друга, а потенциальная энергия взаимодействия принимает минимальное значение. Это полностью согласуется с фундаментальным принципом, согласно которому наиболее устойчивое состояние физической системы соответствует минимальному значению потенциальной энергии. Попытка увеличить или умень-

шить расстояние между центрами молекул приводит к увеличению потенциальной энергии их взаимодействия.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

На рисунке на примере механической модели показано изменение характера взаимодействия внутри системы, состоящей из двух шариков, соединённых идеальной пружиной. В равновесии потенциальная энергия взаимодействия равна нулю. Попытка изменить расстояние между шариками приводит к возникновению силы взаимодействия (отталкиванию или притяжению) и увеличению потенциальной энергии системы.



ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЁРДЫХ ТЕЛ. При нагревании объём тел увеличивается, а при охлаждении — уменьшается (см. § 11 в учебнике 7 класса). Зная основные положения молекулярно-кинетической теории, можно объяснить это явление. Мы знаем, что все вещества состоят из отдельных молекул, между которыми есть промежутки. С изменением температуры промежутки между молекулами также изменяются.

Тепловое расширение учитывается в быту и технике. Провода на линиях электропередачи между опорами натягивают не слишком туго, они обычно слегка провисают, чтобы зимой при сильном понижении температуры они не лопнули. Рельсы железнодорожного пути не примыкают друг к другу вплотную, между их стыками оставляют небольшие промежутки, чтобы при повышении температуры рельсы могли расширяться и не деформироваться, упираясь друг в друга.

Тепловое расширение жидкостей используют в термометрах.

Расширение газов при нагревании широко используется в воздухоплавании. Воздух внутри воздушного шара нагревают при помощи газовой горелки, в результате объём воздуха внутри оболочки шара увеличивается. При этом расстояние между молекулами газов, входящих в состав воздуха, возрастает, а плотность уменьшается. Это приводит к возникновению подъёмной силы, поднимающей шар вверх.

То или иное агрегатное состояние определяется взаимным расположением составляющих вещество молекул, а также характером их движения и взаимодействия.

Тепловое расширение газов, жидкостей и твёрдых тел объясняется на основе положений молекулярно-кинетической теории.

ВЫВОДЫ

Физические модели строения газов; жидкостей и твёрдых тел; тепловое расширение

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем объясняются различия между газообразными, жидкими и твёрдыми телами?
2. Что происходит с твёрдыми телами, жидкостями и газами при нагревании?
3. Приведите примеры использования теплового расширения тел в быту и в технике.

§ 3 КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И АМОРФНЫЕ ТЕЛА

НОВОЕ В УРОКЕ

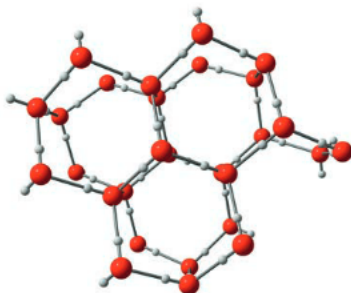
- Что такое монокристаллы и поликристаллы.
- Что такое анизотропия.
- Чем отличаются аморфные тела от кристаллических.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

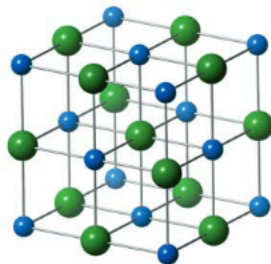
- Каковы свойства твёрдых тел и чем эти свойства объясняются?

Твёрдое тело, в отличие от жидкостей и газов, сохраняет свою форму и объём. Твёрдые тела могут быть *кристаллическими* и *аморфными*.

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ТЕЛА. Кристаллы — это твёрдые тела, атомы или молекулы которых расположены упорядоченно, образуя кристаллическую решётку. Поэтому кристаллы имеют плоские грани. Например, кристаллик льда представляет собой шестиугольную призму, а кристалл поваренной соли имеет форму куба.



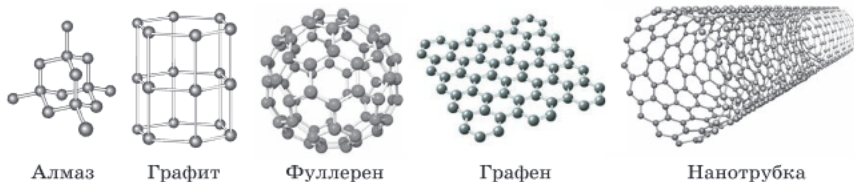
Кристалл льда



Кристалл поваренной соли

Атомы или молекулы *одного и того же химического элемента* могут образовывать различные кристаллические решётки. Например, из атомов углерода состоят такие вещества, как графит, алмаз, фуллерен, нанотрубка и графен. Различное строение их кристаллических решёток приводит к тому, что физические свойства этих веществ отличаются друг от друга. Как вам известно из курса физики для 7 класса, **фуллерен** внешне напоминает футбольный мяч, который состоит из участков пяти- и шестиугольной формы. Если представить, что в вершинах этого многогранника находятся 60 атомов углерода, то получится самый стабильный фуллерен C₆₀. **Графен** представляет собой один слой атомов углерода, расположенных в вершинах связанных шестиугольников с общими сторонами. Графен обладает удивительными свойствами. Это самое тонкое соединение атомов, известное человеку, — оно имеет толщину, соответствующую размеру одного атома, и в то же время обладает удивительной прочностью.

В природе существуют тела, представляющие собой один кристалл, например кристаллы природных минералов или крупинки сахарного песка. Такие тела называются **монокристаллами** или просто **кристаллами**. Кристаллы можно выращивать искусственно.



Большинство кристаллических тел состоит из огромного количества мелких кристалликов, соединённых между собой. Такие тела называются **поликристаллическими**. Примеры поликристаллических тел — кусок любого металла, кусковой сахар, кусок льда и т. п.



Особое место в природе занимают **вирусы**, которые были открыты в 1892 г. русским учёным Д. И. Ивановским. Долгое время было непонятно, являются ли вирусы живыми существами, так как вне клетки вирусы неактивны и существуют в кристаллической форме. Но как только вирус проникает в клетку, он становится внутриклеточным паразитом: начинает активно размножаться и поражать другие клетки. Впервые выделить кристаллы вируса табачной мозаики удалось американскому химику У. Стэнли в 1935 г. Позднее за эту работу он был удостоен Нобелевской премии по химии.



Вирус табачной мозаики

Изучите изменение температуры раствора в процессе растворения поваренной соли в воде. Зафиксируйте максимальное изменение температуры и объясните наблюдаемое явление.

ПОМОЩНИК

- Налейте в мензурку 100 мл воды и насыпьте в воду примерно 5 г поваренной соли.
- Поместите в воду термометр.
- Для ускорения процесса растворения соли можно осторожно помешивать воду стеклянной палочкой.

АНИЗОТРОПИЯ КРИСТАЛЛОВ. Упорядоченное положение атомов (молекул) в кристаллах приводит не только к тому, что у кристаллов есть грани, но и к тому, что физические свойства кристаллов различаются в зависимости от направления. Естественно, речь идёт о монокристаллах. Легче всего продемонстрировать зави-

симось механической прочности кристалла от направления. Кристаллы легче всего раскалываются по определённым плоскостям. Простые карандаши, которыми мы рисуем и пишем, имеют графитовый стержень. Графит состоит из атомов углерода, и его кристаллическая решётка имеет слоистую структуру. Расстояние между слоями существенно больше, чем расстояние между атомами углерода внутри слоя, поэтому силы притяжения между слоями слабее, чем силы притяжения внутри слоя. Когда мы пишем, графитовый стержень трётся о бумагу, происходит его расслоение и тонкие слои графита остаются на бумаге, образуя след от графитового стержня.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Месторождения графита были обнаружены в Англии в 1564 г. Долгое время люди думали, что природный графит — это свинец, поэтому назвали этот чёрный и мягкий камень «чёрный свинец» или *plumbago* (от лат. «подобный свинцу»). Было замечено, что камень может оставлять следы на различных поверхностях. Местные фермеры использовали его для маркировки овец. Найденный минерал можно было легко распиливать на палочки. Эти стержни использовались для рисования и письма. Чтобы стержень не пачкал руки, их обматывали верёвкой, а затем вставляли в деревянные футляры. Современный вид карандаш приобрёл в XVII в.

В 1779 г. шведский физик К. Шееле экспериментально показал, что вещество минерала является одной из форм углерода. А в 1789 г. немецкий геолог А. Вернер предложил для него название — «графит» (от греч. «писать»).

Графит в современном мире используется не только для карандашей, но и для производства огнеупорных материалов, пластмасс, смазки и многого другого. Известно, что графит при высоких давлении и температуре превращается в алмаз.

Многие кристаллы при нагревании расширяются неодинаково в разных направлениях, в зависимости от направления по-разному проводят тепло и электрический ток. От направления зависят также и оптические свойства кристаллов. Зависимость физических свойств кристалла от направления называется **анизотропией**.

Так как поликристаллические тела представляют собой беспорядочные скопления многочисленных мелких кристаллов, то в поликристаллах не наблюдается различий в физических свойствах по разным направлениям. Объясняется это тем, что при движении по любому выбранному направлению внутри тела можно встретить множество кристалликов, повернутых различным образом по отношению друг к другу. Поэтому электрические, тепловые и другие свойства тела являются средней величиной, относящейся ко всем этим многочисленным кристалликам. Это среднее значение одинаково для всех направлений внутри тела.

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ АЛМАЗОВ. Алмаз — кристалл, состоящий из атомов углерода. Природные алмазы формируются в недрах Земли в течение миллионов лет. В то же время искусственные алмазы создаются в лабораториях в течение нескольких суток. При этом искусственные алмазы обладают точно такими же физическими и химическими свойствами.

Одна из технологий выращивания алмазов называется **HPHT (High Pressure High Temperature)** — высокое давление, высокая температура) и состоит в том, что в лаборатории пытаются воссоздать условия, в которых формируются природные алмазы: высокие давление и температуру. В специальный контейнер помещается

металлический расплав, углеродистый материал — графит, а также одна или несколько затравок — небольших кристаллов алмаза. Контейнер нагревается до температуры 1300—1600 °С и подвергается сжатию в гидравлическом прессе для того, чтобы обеспечить давление 50—60 тысяч атмосфер. В этих условиях графит растворяется в расплавленном металле и кристаллизуется на затравке в форме алмаза.

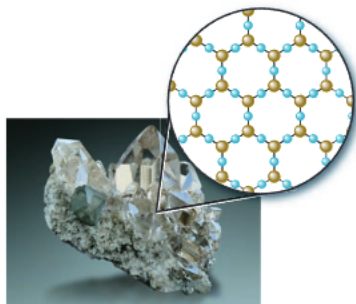
По внешнему виду на алмазы похожи искусственные камни *фианиты*. Своё название они получили в честь Физического института Академии наук СССР (ФИАН), где впервые был выращен этот кристалл. Фианиты имеют другой химический состав, они дешевле и широко используются ювелирами.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ. Области применения кристаллов весьма разнообразны. В первую очередь это относится к сфере науки и техники. Например, более 80 % всех добываемых алмазов и все искусственно выращенные алмазы используются в промышленности в качестве алмазных инструментов для обработки деталей, алмазных подшипников для особо точных хронометров, в ряде оптических устройств и т. п. Важную роль в научных исследованиях сыграло изобретение рубинового лазера, в котором рубиновый стержень служит мощным усилителем света.

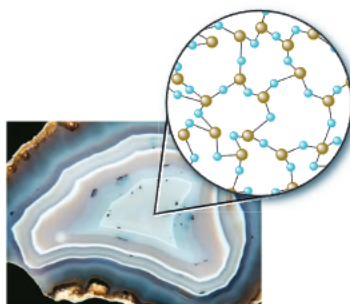
Особую роль играет применение кристаллов в современной микроэлектронике. Практически вся элементная база интегральных микросхем (чипов) и других полупроводниковых устройств базируется на использовании кристаллов германия и кремния.

Повсеместное распространение получили так называемые *жидкие кристаллы* — вещества, сочетающие свойства кристаллов и жидкостей. Молекулы жидких кристаллов являются молекулами органических соединений и могут существовать только в определённом интервале температур. При превышении некоторой температуры жидкий кристалл превращается в обычную жидкость. А при понижении температуры до некоторого предельного значения — в обыкновенный кристалл. Широкое применение жидкие кристаллы получили в телевизорах и дисплеях, а также в устройствах, снабжённых цифровыми индикаторами: электронные часы, микрокалькуляторы, медицинские приборы и т. п. В настоящее время повсеместно используются также сенсорные жидкокристаллические дисплеи и мониторы, которые потребляют мало электроэнергии.

АМОРФНЫЕ ТЕЛА. Аморфные тела — особый вид твёрдых тел, которые по своим физическим свойствам и молекулярной структуре отличаются от кристаллических тел. В аморфных телах атомы или молекулы расположены уже не строго упорядоченно, как в кристаллических. В телах, находящихся в аморфном состоя-



Кристаллический кварц



Аморфный кварц

нии, нельзя обнаружить даже очень малые области, внутри которых наблюдалась бы зависимость физических свойств от направления. К аморфным телам относятся резина, воск, стекло.

Примером того, что одно и то же вещество может находиться как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии, является *кварц*. Если кристалл кварца расплавить (температура плавления кварца составляет $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$), а затем охладить, то при охлаждении образуется плавленный кварц, обладающий свойствами, совершенно одинаковыми по всем направлениям и сильно отличающимися от свойств кристаллического кварца. При внешних воздействиях аморфные тела обладают одновременно упругими свойствами, как твёрдые тела, и текучестью, как жидкости. Пример — смола. От неё можно отколоть кусок, как от твёрдого тела. При этом с течением времени она растекается по поверхности, на которой лежит.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Долгое время считалось, что стекло, будучи аморфным веществом, способно в твёрдом состоянии течь, как жидкость, хотя и очень медленно. В подтверждение этого приводился факт, что нижняя часть старинных стеклянных витражей толще верхней. Оказывается, причина утолщения нижней части стекла состоит в том, что средневековые стекольщики просто не умели отлить идеальные стеклянные листы, а при установке располагали их толстым краем к полу для большей устойчивости. Путаница же возникла от неверного прочтения работы немецкого физика Г. Таммана, изучавшего свойства стекла. На самом деле стекло — это аморфное твёрдое тело.

Выводы

- ! Кристаллы — это твёрдые тела, атомы или молекулы которых расположены упорядоченно, образуя кристаллическую решётку. Зависимость физических свойств кристалла от направления называется анизотропией.
- ! Аморфные тела — особый вид твёрдых тел, которые по своим физическим свойствам и молекулярной структуре отличаются от кристаллических тел. Атомы или молекулы аморфных тел расположены не строго упорядоченно.

Ключевые слова

Кристаллические тела; кристаллическая решётка; монокристалл; поликристалл; анизотропия; графит; алмаз; аморфные тела; кварц

Вопросы и задания

1. Что такое монокристаллы и поликристаллы?
2. Что такое анизотропия?
3. Чем аморфные тела отличаются от кристаллических?
4. Как известно, при определённых условиях кристаллические тела могут превращаться в аморфные. А возможен ли обратный процесс, т. е. превращение аморфных тел в кристаллические?
5. Всегда ли наличие анизотропии означает, что тело является кристаллическим?

СМАЧИВАНИЕ И КАПИЛЛЯРНОСТЬ. § 4

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

НОВОЕ В УРОКЕ

Если пролить воду на пол, то она растечётся лужицей и образует тонкую плёнку. Если же пролить немного воды на смазанную жиром сковороду, она не растечётся, а соберётся в круглые капельки. Одна одежда промокает под дождём, а другая нет, вода просто стекает с неё. Почему?

- Что такое смачивание.
- Что такое капиллярность.
- Чем объясняется поверхностное натяжение.

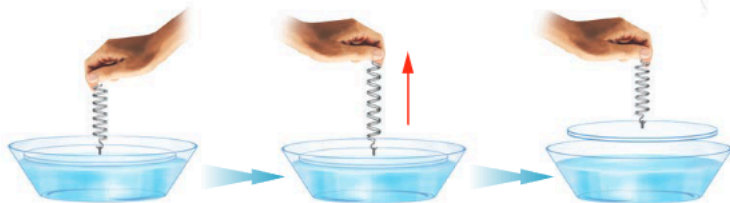
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как молекулы действуют друг на друга?
- Когда проявляется притяжение, а когда — отталкивание молекул?

ЯВЛЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ. Проведём следующий опыт.

ИССЛЕДОВАНИЕ

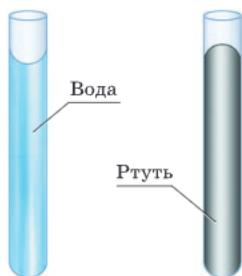
Поднесём к поверхности воды стеклянную пластинку, подвешенную на пружине. Когда пластинка коснётся поверхности воды, начнём поднимать её вверх. Можно увидеть, что в течение некоторого времени пластинка как будто прилипла к воде, и наши усилия только растягивают пружину. Когда же наконец пластинка оторвётся от воды, на её нижней поверхности останется тонкая водяная плёнка.



Мы уже знаем, что между молекулами действуют силы притяжения. То, что нам понадобилось приложить определённое усилие для того, чтобы оторвать стеклянную пластинку от поверхности воды, говорит о том, что силы межмолекулярного притяжения в этом опыте действовали между молекулами воды и молекулами стекла. Вода, оставшаяся на стекле после отрыва, свидетельствует о том, что разрыв произошёл именно между молекулами воды. В противном случае стекло осталось бы сухим. Значит, сила притяжения молекул воды к молекулам стекла превосходит силу притяжения молекул воды друг к другу.

ВАЖНО

Явление растекания жидкости по поверхности твёрдого тела называется **смачиванием**. Оно возникает в том случае, когда молекулы жидкости притягиваются к молекулам твёрдого тела сильнее, чем друг к другу.



Если покрыть стеклянную пластинку тонким слоем воска, то при вынимании пластинки из воды она останется сухой, а пружина не будет дополнительно растягиваться. Говорят, что тело не смачивается жидкостью, если жидкость не растекается по поверхности этого тела тонкой плёнкой, а собирается в круглые капельки. Явление несмачивания объясняется тем, что молекулы жидкости притягиваются к молекулам твёрдого тела слабее, чем друг к другу.

Смачивание влияет на то, какую форму принимает поверхность жидкости в месте соприкосновения с сосудом. Когда силы межмолекулярного притяжения в жидкости превышают силы притяжения молекул жидкости к стенкам сосуда (например, ртуть в стеклянном сосуде), форма поверхности жидкости в месте соприкосновения становится **выпуклой**. Если же поверхность сосуда смачивается жидкостью (например, вода в стеклянном сосуде), форма поверхности жидкости будет **вогнутой**.



Смачивание или несмачивание вещества водой обусловлено его молекулярным строением. По отношению к смачиванию водой вещества разделяются на **гидрофильные** (от греч. «фило» — любить, «любящие воду») и **гидрофобные** (от греч. «фобос» — страх, «боящиеся воды»). На гидрофильной поверхности капля растекается полностью, а на гидрофобной — частично, образуя капельки. Повышение или понижение гидрофильности веществ играет большую роль в различных технологиях. Так, например, в текстильной технологии повышение гидрофильности тканей необходимо для успешного крашения, беления, стирки и т. д., а повышение гидрофобности — для придания тканям водостойкости и непромокаемости.

СМАЧИВАНИЕ В ПРИРОДЕ. Явлением смачивания объясняются многие удивительные факты, присущие живой природе.



Цветки лотоса, одного из самых красивых водных растений, остаются чистыми в любой воде, даже если она сильно загрязнена. Дело в том, что капли воды не смачивают поверхность листьев и цветков и скатываются с них, не оставляя следов.

Не смачиваются водой перья водоплавающих птиц, что позволяет им долго находиться в воде сухими. Причина плохой смачиваемости перьев — наличие на их поверхности тонкой жировой плёнки.



Долгое время физиков и биологов интересовал вопрос: как мухам удаётся двигаться по оконному стеклу и даже ходить по потолку вверх лапками? Как оказалось, дело не в каких-то особенных присосках, а в смачиваемости. Лапка мухи оставляет как след крохотную капельку вязкой жидкости, выделяемую железами. Именно это удерживает муху как на стекле, так и на потолке.

СМАЧИВАНИЕ В БЫТУ И ТЕХНИКЕ. Увеличение смачиваемости играет важную роль, например, при склеивании различных деталей. Для образования прочного

соединения необходимо, чтобы клей хорошо смачивал склеиваемые поверхности. Поэтому перед нанесением клея на деревянные, пластиковые или другие поверхности их обезжиривают.

Одним из древнейших изобретений, принцип действия которого основан на явлении смачиваемости, является мыло! Всем нам хорошо известно, что мыть руки с мылом необходимо не только для того, чтобы отмыть грязь, но и для того, чтобы не допустить распространение бактерий и вирусов. Но на самом деле мыло не убивает бактерии и вирусы, а только отделяет их от кожи рук, и они легко смываются водой.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Никто точно не знает, когда и где впервые появилось мыло. Но существуют легенды, согласно которым ещё шесть тысяч лет назад люди делали мыло, смешивая животные жиры с золой. При смешивании жира и золы происходит химическая реакция, в результате которой получается мыло. Эта реакция называется омылением, и она до сих пор лежит в основе всего мыловарения. Мыловарение существовало уже в Древнем Риме и развивалось в Средние века. Первый патент на производство мыла был выдан в Англии в 1662 г. А решающий вклад в понимание химического состава мыла внёс французский химик М.-Э. Шеврёль.

В наше время для производства мыла уже не используют животные жиры и золу, вместо них используют различные масла и каустическую соду. Но в основе производства по-прежнему лежит реакция омыления, а основным свойством мыла является его способность очищать поверхности.

Почему же мыло моет? Дело в том, что вода плохо смачивает кожу рук, так как на ней присутствуют различные жиры, а использование мыла увеличивает смачиваемость. В реакции омыления масла и сода образуют массу, которая содержит пузырьки. Мыльная пена состоит из огромного количества пузырьков, оболочка которых состоит из воды. Физика и химия мыльного процесса достаточно сложны, но в результате частички грязи прилипают к пузырькам и легко смываются водой.

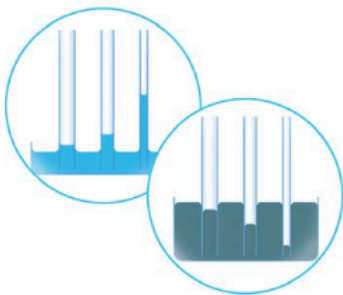
В последнее время учёные создают новые искусственные материалы, которые не смачиваются водой или другими жидкостями. А развитие нанотехнологий позволило разработать самоочищающиеся поверхности, которые, подобно листу лотоса, остаются чистыми и препятствуют отложению загрязнений. Эти технологии используются при создании различных строительных материалов и в промышленности, например при постройке космических кораблей. Подобные материалы используются также для изготовления тентов, зонтов, дождевиков, костюмов, скактей и т. д.

Ещё одна проблема, которая решается при помощи современных материалов и покрытий, — это проблема запотевания стёкол автомобилей или линз очков. Запотевшее стекло — это мельчайшие капельки воды, которые образуются на стекле и создают эффект тумана. При нанесении на стекло гидрофильного покрытия против запотевания смачиваемость поверх-



ности увеличивается, и вода превращается в тонкий ровный слой, а не в капли, поэтому стекло остаётся прозрачным. Такой подход хорошо работает для внутренней поверхности стекла в автомобиле или для внутренней поверхности линз очков для плавания, так как в этих случаях на поверхности образуется сравнительно небольшое количество воды. Но этот способ не сможет предотвратить запотевание ветрового стекла автомобиля при тумане или сильном дожде. Поэтому для таких ситуаций добавляют на стёкла гидрофобные водоотталкивающие материалы, которые уменьшают смачиваемость и заставляют воду стекать и скатываться с поверхности стекла, улучшая видимость.

ЯВЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОСТИ. Смачиванием обусловлено явление, называемое **капиллярностью**. Капиллярами называются тонкие трубки (от лат. *capillaris* — волосной). По капиллярам смачивающая жидкость поднимается вверх. Чем тоньше капилляр, тем выше поднимается в нём смачивающая жидкость. Если же жидкость не смачивает вещество, из которого состоит капилляр, она опускается по капилляру вниз.



В нашем окружении имеется немало тел, пронизанных капиллярами. Это, например, бумага, пряжа, дерево, кожа и т. д. Капилляры часто настолько тонки, что их нельзя увидеть невооружённым глазом. Все подобные вещества при соприкосновении с жидкостью впитывают её в себя. Если опустить в воду краешек бумажной салфетки, вода по невидимым капиллярам поднимется вверх и вся салфетка намочит. Если в воду поместить маленький кусочек сахара, он быстро пропитается водой и начнёт «таять».

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Подъём жидкости по капиллярам впервые наблюдал великий итальянский учёный Леонардо да Винчи. Позднее капиллярные явления исследовали и другие учёные. Роберт Бойль обнаружил, что жидкость поднимается по капиллярам, даже если сосуды находятся в вакууме. Объяснить это явление тем, что частицы жидкости притягиваются друг к другу и к стенкам капилляра, смог английский физик-экспериментатор Фрэнсис Хоксби.

КАПИЛЛЯРНОСТЬ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА, ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ. Явление капиллярности широко распространено в природе. Влага поступает к корням растений через капилляры, пронизывающие почву. Питательные вещества добираются к различным частям растений благодаря капиллярам в них. Человек и животные обладают сетью мелких кровеносных сосудов, называемых капиллярами.

Движение по капиллярам широко используется и в нашей жизни. Полотенца шьют из тканей, которые хорошо смачиваются; поэтому жидкость с поверхности переносится на полотенце, поднимаясь по тонким тканевым волокнам. Губки для мытья посуды пронизаны множеством капилляров и способны впитывать большое количество жидкости. Современные технологии позволяют разрабатывать термо-

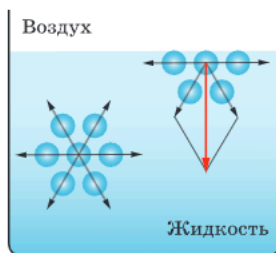
одежду с многослойной структурой. При этом один из слоёв обладает капиллярным действием и может отводить избыток влаги от тела.

В строительных материалах, таких как бетон и кирпич, присутствуют мелкие поры, по которым вода может просачиваться вглубь материала. Для защиты стен и фундамента зданий от разрушительного воздействия влаги строители используют гидроизоляцию.

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ.

Рассмотрим ещё одно свойство, присущее только жидкостям. Если аккуратно положить на поверхность воды швейную иглку, скрепку или лезвие, то они не утонут, а будут лежать на поверхности, хотя плотность металла существенно больше плотности воды.

Этот эффект объясняется различным взаимодействием молекул внутри жидкости и у её поверхности. Молекулы, находящиеся внутри жидкости, притягиваются к другим молекулам, и эти силы притяжения взаимно уравновешивают друг друга. А на молекулы, находящиеся на поверхности жидкости, действуют силы притяжения преимущественно со стороны молекул жидкости (молекулы жидкости и газа, с которым граничит жидкость, взаимодействуют слабо). Поэтому равнодействующая сила притяжения направлена внутрь жидкости.



- Силы воздействия соседних молекул
- ↓ Равнодействующая сил

ВАЖНО

На все молекулы на поверхности жидкости действуют силы, которые стремятся втянуть их в жидкость. Эти силы называются **силами поверхностного натяжения**.

Из-за действия сил поверхностного натяжения жидкости стремятся уменьшить площадь своей поверхности. Как известно, наименьшую площадь поверхности имеет шар. Именно поэтому маленькие капельки росы или капли дождя имеют почти шарообразную форму.



Как водомерки передвигаются по воде? Это происходит благодаря двум причинам: явлению несмачивания и поверхностному натяжению жидкости.

Лапки водомерки покрыты водоотталкивающими жирами и не смачиваются водой. Кроме этого, на кончиках лапок имеются специальные волоски, которые создают



воздушную подушку между лапками и водой. Однако плотность водомерки больше плотности воды, и она должна бы утонуть в воде, но этого не происходит. Водомерка удерживается на воде благодаря тому, что её вес уравнивается силами поверхностного натяжения воды. В то же время лапки водомерки всегда широко расставлены по воде, что позволяет распределить свой вес по большей площади. Таким образом, каждая лапка оказывает на воду меньшее давление. У водомерки также имеются железы, выделяющие специальные вещества, снижающие силу поверхностного натяжения. В результате водомерка движется вперёд в создаваемой ею водной «лунке».

ВЫВОДЫ

- ! Явление растекания жидкости по поверхности твёрдого тела называется смачиванием.
- ! Капиллярность — явление подъёма или опускания жидкости в капиллярах.
- ! Поверхностное натяжение — свойство жидкости ограничивать свою свободную поверхность.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Смачивание; капиллярность; поверхностное натяжение

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Почему маленькие капли росы на листьях растений имеют форму шариков?
2. Почему слабый ветер, дующий над поверхностью водоёма, практически не поднимает брызг?
3. Перья водоплавающих птиц покрыты тончайшим слоем жира, который не смачивается водой. Зачем необходим этот жирный налёт птицам?
4. Почему кожаную демисезонную обувь рекомендуют смазывать кремом, содержащим жиры или парафин?
5. Если положить кусок мела на мокрую губку, он намокнет. Если сухую губку положить на мокрый мел, она останется сухой. Почему?
6. Приведите примеры использования поверхностного натяжения в быту и технике.

ТЕМПЕРАТУРА И ТЕПЛОЕ ДВИЖЕНИЕ § 5

НОВОЕ В УРОКЕ

Явления, связанные с изменением температуры тел, а также с переходом вещества из одного состояния в другое, называются *тепловыми*, они составляют неотъемлемую часть окружающего мира. Мы используем в быту слова «горячий», «холодный» и т. д. для обозначения наших представлений о тепловом состоянии тела.

- Что такое тепловое движение.
- Как связана температура тела со скоростью движения молекул и их кинетической энергией.
- Что характеризует температура.
- Как измерить температуру.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из чего состоят все вещества?
- Что такое броуновское движение и диффузия?
- Что называют кинетической энергией?

ТЕПЛОЕ ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ. Нагреем сосуд с водой, содержащей взвесь мельчайших твёрдых частиц. Беспорядочное движение отдельной частицы взвеси, называемое броуновским движением, обусловлено хаотическим движением самих молекул жидкости. По мере нагревания воды скорость движения частицы заметно увеличивается. Так что же изменилось? Молекулы холодной воды не отличаются от молекул горячей воды. Поэтому можно сделать вывод о том, что скорость движения броуновской частицы увеличилась, так как увеличилась средняя скорость движения молекул воды. Это означает, что скорость движения молекул и тепловое состояние тела связаны между собой.

Именно поэтому хаотичное движение частиц, из которых состоят тела, называется **тепловым движением**.

В тепловом движении участвуют все частицы, составляющие вещество, — молекулы или атомы, независимо от того, в каком агрегатном состоянии находится это вещество. Изменение характера теплового движения молекул вещества может приводить к изменению его свойств. Например, по мере нагревания лёд начинает превращаться в воду.

СРЕДНЯЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ МОЛЕКУЛ. Любое движущееся тело обладает кинетической энергией, которая зависит от его массы и скорости движения. Поскольку молекула движется и имеет массу, значит, она обладает кинетической энергией. При возрастании скорости движения молекул увеличивается и их кинетическая энергия. Число молекул, составляющих тело, очень велико, и скорости отдельных молекул могут существенно различаться, поэтому нужно говорить не о кинетической энергии одной молекулы, а о *средней кинетической энергии молекул* тела.

ТЕМПЕРАТУРА. Для того чтобы характеризовать тепловое состояние тела, мы используем физическую величину, называемую **температурой**. По температуре тела можно судить о скорости движения, а соответственно, и о кинетической энергии молекул. Так, например, опыты показывают, что явление диффузии жидкости

существенно зависит от температуры: при более высокой температуре диффузия происходит быстрее. Таким образом,

температура является мерой средней кинетической энергии молекул тела.

Чем больше средняя кинетическая энергия молекул тела, тем выше температура тела.

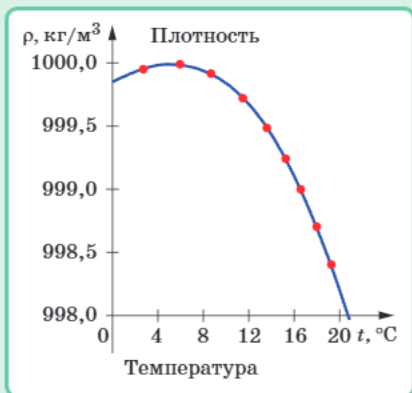
ТЕРМОМЕТРЫ. Очевидно, что температура мороженого ниже, чем температура горячего чая. Вместе с тем, ощущения температуры человека индивидуальны и зависят от ряда внешних факторов. Например, в одной и той же комнате металлические предметы всегда кажутся на ощупь более холодными, чем деревянные или пластмассовые. Следовательно, для того, чтобы сделать объективные выводы о температуре тела, её необходимо измерить.

Для измерения температуры используют специальные измерительные приборы — **термометры**.

Вы уже знаете, что тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Действие *жидкостного термометра* основано на зависимости объёма жидкости от температуры.

В термометрах могут быть использованы различные вещества: жидкие (спирт, ртуть), твёрдые (металлы) или газообразные. Вещество, используемое в термометре, увеличивается в объёме при повышении температуры и уменьшается в объёме при охлаждении.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Особый интерес представляет поведение *водяного термометра*. В отличие от большинства жидкостей, которые при повышении температуры расширяются достаточно равномерно, вода ведёт себя совершенно иначе при нагревании от 0 до 4 °С. В этом температурном диапазоне при нагревании объём воды уменьшается! А уже при температурах выше 4 °С вода при нагревании расширяется. Следовательно, наибольшую плотность вода имеет при температуре 4 °С. Термометры с водой безопасны и просты в использовании, но они обладают невысокой точностью измерений, и их можно применять только в диапазоне температур от 10 до 100 °С.

ОПЫТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ. Такие опыты можно осуществить, поскольку они не требуют сложного и специального оборудования.

Одним из таких опытов является изучение зависимости скорости распространения запаха ароматических веществ от температуры воздуха. Действительно, если в одном углу помещения с помощью распылителя разбрызгать небольшое количество духов или одеколона, то через некоторое время запах будет ощущаться в противоположном углу. Дверь и окна в помещении должны быть закрыты, чтобы не возникали потоки воздуха.

Используя мерную ленту и секундомер, можно оценить скорость распространения запаха. Если этот опыт один раз провести в тёплом помещении (летом), а второй раз в таком же помещении, но в холодном (зимой), то результаты опытов будут различаться. Поскольку скорость диффузии микрочастиц зависит от скорости теплового движения молекул газов, входящих в состав воздуха, то, очевидно, скорость распространения запаха в нагретом помещении будет больше, чем в холодном, а время распространения запаха, соответственно, будет меньше.

Второй опыт, показывающий зависимость скорости диффузии от температуры, связан с явлением, которое можно назвать *поверхностной диффузией*. Для этого опыта потребуются две одинаковые банки, одна из которых наполовину заполнена холодной водой, а другая — горячей. В центр каждой банки из пипеток одновременно капают по капле красящего вещества (чернила, раствор иода и т. п.). Визуально или с помощью линейки и секундомера нетрудно приблизительно оценить скорость распространения окраски по поверхности воды. Видно, что эта скорость в горячей воде существенно больше, чем в холодной.



Хаотичное движение частиц, из которых состоят тела, называется тепловым движением.



Температура является мерой средней кинетической энергии молекул тела.

ВЫВОДЫ

Тепловое движение; температура; средняя кинетическая энергия молекул; термометр

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Пылинкам, находящимся в воздухе, присуще хаотичное движение. Можно ли это движение назвать тепловым?
2. Как температура тела связана со скоростью движения его молекул?
3. На чём основано действие термометра?
4. Как вы думаете, можно ли нагреть одну молекулу? Объясните свой ответ.

§ 6 ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

НОВОЕ В УРОКЕ

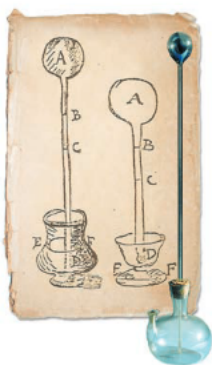
- Что такое термоскоп.
- Какие существуют основные температурные шкалы.
- Что собой представляет абсолютная шкала температур.
- Какие виды термометров существуют и где они применяются.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое температура?
- На чём основано действие термометров?

Сегодня довольно просто измерить температуру тела человека, температуру воздуха или воды. Однако понимание природы температуры и поиск способов её измерения занял не одну сотню лет.

ИСТОРИЯ ТЕРМОМЕТРА. Известно, что учёные древности наблюдали за расширением жидкостей и газов при повышении температуры. Однако первые приборы для измерения температуры стали появляться только в XVI в.



Предшественником термометра является *термоскоп*. Этот прибор не имел шкалы, а показывал только изменение температуры. Один из первых термоскопов разработал в 1592 г. итальянский учёный Галилео Галилей. Его прибор представлял собой небольшой стеклянный баллон, который был припаян к тонкой трубке с открытым концом. Баллон нагревали руками, а открытый конец трубки помещали в сосуд с водой. Нагрев или охлаждение воздуха в баллоне вызывали изменение уровня воды в трубке. Показания такого типа термоскопов были чувствительны к колебаниям атмосферного давления.

На протяжении последующих лет были созданы различные термометры, состоящие из запаянной трубки с колбой, которые заполнялись спиртом. Поскольку трубка была герметичной, то атмосферное давление не оказывало влияния на изменение уровня спирта в трубке.

Термометр в том виде, который известен нам сейчас, сконструировал немецкий физик Д. Фаренгейт в 1709 г.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ. Термометр, как и другие измерительные приборы, имеет шкалу. Для построения шкалы температур выбираются две основные (*реперные*) точки, которым приписывают определённые значения температуры. Затем интервал между ними делят на несколько равных частей, которые соответствуют единицам данной температурной шкалы.

К началу XVIII в. было известно около 35 различных температурных шкал. Недостатком всех созданных термометров было отсутствие стандартной температурной шкалы. У каждого термометра была своя шкала и система измерения температуры.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первые попытки ввести стандартную шкалу температур предприняли в 1701 г. независимо друг от друга датский астроном О. Рёмер и великий английский учёный И. Ньютон. За ноль Рёмер принял температуру замерзания смеси льда и соли. В то время это была минимальная искусственно полученная температура. Второй реперной точкой в шкале Рёмера является температура кипения воды, равная 60 градусам.

Интересно, что при описании своей шкалы Ньютон не использовал понятие температуры, а в качестве единиц измерения употреблял «градусы тепла». Например, за 0 градусов в шкале Ньютона принимается температура таяния льда, 33 градуса тепла — температура кипения воды. В качестве жидкости в своих термометрах Ньютон использовал льняное масло, что позволяло проводить измерения до температуры плавления олова (примерно 230 °С).

В настоящее время используются три температурные шкалы: *шкала Цельсия*, *шкала Фаренгейта* и *шкала Кельвина* (абсолютная шкала температур).

Используемые нами в быту термометры показывают температуру в *градусах Цельсия* (°С). Шкала Цельсия названа в честь шведского учёного А. Цельсия. В этой температурной шкале за ноль принимается температура таяния льда, а за 100 °С — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Расстояние между отметками делится на 100 равных частей, и образуются деления по 1 °С.



Андерс Цельсий
(1701—1744)

ЭТО ИНТЕРЕСНО

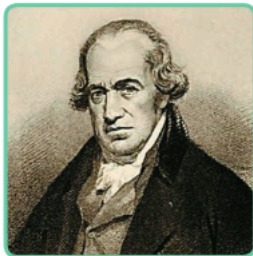
Первоначально у А. Цельсия температура кипения воды была принята за 0 градусов, а таяния льда — за 100 градусов. А «перевернули» шкалу Цельсия его же соотечественники: ботаник К. Линней и астроном М. Штрёммер. Вот этим «перевернутым» термометром мы теперь и пользуемся.

В некоторых странах до сих пор используются термометры со шкалой *Фаренгейта*. Температура таяния льда по шкале Фаренгейта равна 32 °F, а температура кипения воды 212 °F.

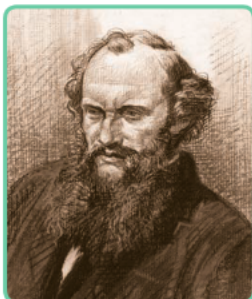
Связь шкал Цельсия и Фаренгейта:

$$t_C = \frac{5}{9} \cdot (t_F - 32) \text{ и } t_F = \frac{9}{5} t_C + 32.$$

АБСОЛЮТНАЯ ШКАЛА ТЕМПЕРАТУР. В 1848 г. английский физик У. Томсон предложил ввести новую шкалу температур, которую называют *абсолютной* или *термодинамической шкалой температур*.



Габриэль Фаренгейт
(1686—1736)



**Уильям Томсон
(лорд Кельвин)**
(1824—1907)

Температура, измеренная по этой шкале, называется **абсолютной** или **термодинамической температурой** (обозначается T). Единица абсолютной температуры — **кельвин** (К); $1 \text{ К} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$. В абсолютной шкале температура таяния льда равна $273,15 \text{ К}$, а температура кипения воды равна $373,15 \text{ К}$. Кельвин является единицей термодинамической температуры в Международной системе единиц (СИ).

Для перевода в кельвины температуры, выраженной в градусах Цельсия, нужно прибавить $273,15$:

$$T = t^\circ + 273,15.$$

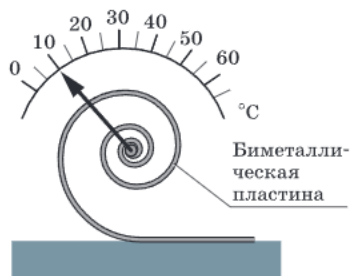
Температуру, равную 0 К , или $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$, называют **абсолютным нулём температуры** — это минимально возможная температура во Вселенной, при которой прекращается тепловое движение частиц вещества. В настоящее время в лабораторных условиях учёные смогли получить температуру порядка 10^{-10} К , что стало самой низкой температурой, достигнутой на Земле.

ВИДЫ ТЕРМОМЕТРОВ. В настоящее время существует множество различных конструкций термометров, которые охватывают огромный диапазон температур: от абсолютного нуля до очень высоких температур, например таких, как на поверхности Солнца (примерно $5500 \text{ }^\circ\text{C}$).

Самыми распространёнными в быту термометрами являются **жидкостные термометры**, заполненные спиртом, ртутью и др. Преимуществом ртутных термометров является высокая точность измерения, как правило, погрешность не превышает $0,1^\circ$. Ртутные термометры используют для измерения температуры тела человека. Но из-за хрупкости конструкции и длительного времени измерения ртутные термометры постепенно вытесняются электронными.

Спиртовые термометры используются в основном для измерения температуры воздуха и применяются в метеорологии. Они позволяют измерять температуры в пределах от $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Газовые термометры основаны на зависимости давления или объёма газа от температуры. Этот тип термометра является наиболее точным и часто используется для регулировки и проверки других типов термометров. Газовые термометры, заполненные водородом или гелием, позволяют проводить измерения при очень низких температурах.



Термометры механического типа со стрелкой имеют чувствительный элемент в виде *биметаллической* пластины. Биметалл включает в себя два или три различных металла, которые расширяются с разной скоростью при изменении температуры. Пластина в форме спирали закручивается или раскручивается при изменении температуры. Это движение передаётся стрелке-указателю, которая перемещается по шкале. Такие термометры широко применяются как в бытовых приборах, например в плитках, отопительных системах, так и в промышленности.



Электронные термометры основаны на изменении электрических свойств материалов при изменении температуры. В последнее время широкое распространение получили цифровые и бесконтактные термометры.



Кроме термометров, для измерения и контроля температуры широко используются *температурные датчики*. В настоящее время часто используются домашние метеостанции, в которых температура в помещении измеряется при помощи электронного термометра, а температурный датчик, расположенный за окном, измеряет температуру воздуха на улице и передаёт эту информацию на экран метеостанции.

Изготовьте термометр.



ПОМОЩНИК

- Вам потребуются небольшая стеклянная бутылка с узким горлышком, вода, спирт, пищевой краситель, трубочка для питья, пластилин, шприц.
- Налейте в бутылку равные количества воды и спирта, чтобы она была заполнена наполовину. Добавьте несколько капель пищевого красителя и перемешайте раствор. Наполните шприц цветным раствором из бутылки.
- Поместите соломинку в бутылку так, чтобы нижний её конец был в воде, но не касался дна бутылки, при этом верхний конец соломинки должен выступать над бутылкой.
- Тщательно залепите горлышко бутылки пластилином.
- Вылейте раствор из шприца в соломинку. Уровень раствора в соломинке должен подняться выше горлышка бутылки. Объясните почему.
- Поместите резервуар вашего термометра в холодную воду, затем в горячую воду. Наблюдайте за изменением уровня раствора в соломинке. Вы можете проградуировать ваш термометр и проверить точность измерений с помощью лабораторного термометра.

ТЕМПЕРАТУРА НА ЗЕМЛЕ. С появлением термометров и температурных шкал стало возможным проводить измерения температуры воздуха у земной поверхности. Такие наблюдения ведутся примерно с 1850 г. В настоящее время на Земле находятся тысячи метеостанций, которые измеряют не только температуру, но

и другие параметры, такие как давление, влажность, направление ветра и т. д. Кроме наземных способов измерения температуры, ведётся оценка температуры земной поверхности по данным спутников.



Самая высокая температура воздуха на Земле составила 56,7 °С и была зарегистрирована в Долине Смерти в Северной Америке в 2012 г. Самая низкая температура –89,2 °С зарегистрирована на советской (потом российской) станции «Восток» в Антарктиде в 1983 г.



Вывод

! Существуют разные температурные шкалы и множество различных конструкций термометров, которые охватывают огромный диапазон температур.

Ключевые слова

Термометр; температурная шкала; шкала Цельсия; шкала Фаренгейта; абсолютная шкала температур; абсолютный нуль; жидкостный термометр; газовый термометр; биметаллический термометр; электронный термометр

Вопросы и задания

1. Какие температурные шкалы вы знаете?
2. В каких случаях в быту используют спиртовые термометры, а в каких — ртутные? Как вы думаете, почему?
3. Почему медицинские термометры изготавливают с более узкими каналами, чем термометры для измерения комнатной температуры?
4. В узкую пробирку налито небольшое количество воды (около 5 мл). Можно ли с достаточной точностью измерить её температуру с помощью бытового термометра? Обоснуйте свой ответ.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ § 7

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое внутренняя энергия тела.
- От каких факторов зависит внутренняя энергия.

Механическая энергия тела складывается из его потенциальной и кинетической энергий. Один из фундаментальных законов природы — закон сохранения энергии — гласит, что энергия никогда не исчезает и не возникает «из ничего», она только переходит из одного вида в другой и от одного тела к другому.

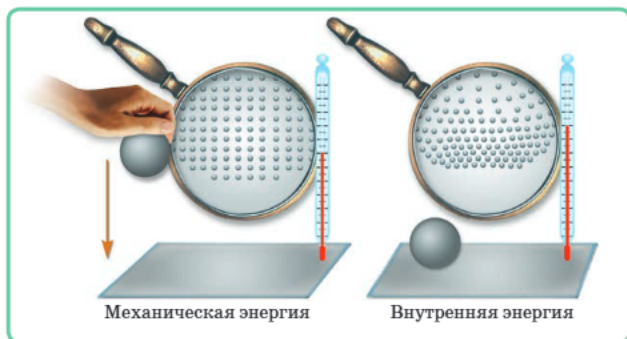
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие существуют виды механической энергии?
- Какие тела обладают потенциальной энергией?
- Какие тела обладают кинетической энергией?
- В чём заключается закон сохранения полной механической энергии?

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ. Поднимем резиновый мячик над полом и отпустим его. Мячик начнёт падать на пол, и его потенциальная энергия будет переходить в кинетическую. После падения мячик отскочит вверх, а его кинетическая энергия будет превращаться в потенциальную. Высота, на которую подпрыгивает мячик, с каждым разом становится всё меньше, и мячик останавливается. Означает ли это, что нарушился основной закон механики и энергия бесследно исчезла?

ИССЛЕДОВАНИЕ

Проведём ещё один опыт. Для этого возьмём свинцовую плиту. Поднимем над ней свинцовый шар и отпустим. Подняв шар, мы сообщили ему запас потенциальной энергии. При падении шар опускается всё ниже, при этом его потенциальная энергия уменьшается. Но в то же время скорость шара увеличивается, следовательно, кинетическая энергия возрастает. После того как шар ударится о плиту, он остановится. Кинетическая и потенциальная энергии шара относительно плиты в этот момент становятся равны нулю.



Куда исчезла механическая энергия шара?

Механическая энергия превратилась в другую форму энергии.

После удара шар и плита деформировались — их состояния изменились. На плите образовалась небольшая вмятина, а шар немного сплюснулся. Если измерить их температуру сразу после удара, обнаружится, что и шар, и плита нагрелись. Следовательно, изменился характер движения частиц, составляющих эти тела. А значит, изменилась и внутренняя энергия тел.

Повышение температуры связано с увеличением кинетической энергии молекул (атомов) тела. Характер взаимодействия молекул друг с другом зависит от расстояний между ними: они либо притягиваются, либо отталкиваются. Это означает, что молекулы (атомы) обладают потенциальной энергией. Деформация тела приводит к изменению взаимного расположения его молекул и, соответственно, их потенциальной энергии. Рассматривая опыт со свинцовым шаром, можно утверждать, что механическая энергия, которой обладал шар вначале, не исчезла бесследно. Произошла деформация тел, изменились потенциальная и кинетическая энергии их частиц, изменилась и температура.

В опыте с резиновым мячиком причина убывания механической энергии заключается в наличии сил трения, сопротивления воздуха и деформаций в материале мяча и пола. Механическая энергия тратится на работу, совершаемую против сил трения (сопротивления), и в итоге переходит в энергию молекул. При движении в воздухе с небольшими скоростями тела не нагреваются. Однако при больших скоростях нагревание уже заметно (движение пули, движение космического корабля при запуске и посадке и пр.).

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. Энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоят тела, называется **внутренней энергией** тела. Внутреннюю энергию обозначают буквой U . Единицей внутренней энергии является *джоуль* (Дж).



Внутренняя энергия = Кинетическая энергия движущихся молекул + Потенциальная энергия взаимодействия молекул

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. Как вы знаете, температура является мерой средней кинетической энергии молекул тела. Следовательно, **внутренняя энергия тела зависит от температуры тела.**

При повышении температуры внутренняя энергия тела увеличивается, так как увеличивается средняя кинетическая энергия молекул.

При понижении температуры внутренняя энергия уменьшается.

Внутренняя энергия тела зависит от его агрегатного состояния.

Действительно, в твёрдых телах, жидкостях и газах различаются как расстояния между молекулами, так и характер движения самих молекул. Следовательно, различны и потенциальная и кинетическая энергии молекул.

Внутренняя энергия тела складывается из потенциальной и кинетической энергий всех его молекул. Поэтому, чем больше молекул в теле, тем больше его внутренняя энергия. Так как масса тела складывается из масс составляющих его частей, то при прочих равных условиях

внутренняя энергия зависит от массы тела.

ОТ ЧЕГО НЕ ЗАВИСИТ ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. Внутренняя энергия тела не зависит ни от механического движения тела как целого, ни от положения этого тела относительно других тел, т. е. не зависит от потенциальной и кинетической энергий самого тела. Например, внутренняя энергия нагретой до кипения воды в чайнике не зависит от того, стоит ли чайник на столе, несут ли его из одной комнаты в другую.

! Энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело, называется внутренней энергией тела.

! При переходе механической энергии во внутреннюю полная энергия сохраняется.

ВЫВОДЫ

Внутренняя энергия; превращения энергии; закон сохранения энергии

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Какую энергию называют внутренней энергией тела?
2. Что может свидетельствовать о переходе механической энергии во внутреннюю?
3. От чего зависит и от чего не зависит внутренняя энергия тела?
4. Тело разделили на две части. Изменилась ли при этом суммарная внутренняя энергия?
5. Изменяется ли внутренняя энергия при деформации тела; при нагревании тела на пламени спиртовки; при подъёме тела над поверхностью Земли?
6. Холодная и горячая вода состоит из одинаковых молекул. Одинаковы ли внутренние энергии одной и той же массы воды в этих состояниях? Ответ обоснуйте.

§ 8 СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как можно изменить внутреннюю энергию тела.
- Что такое теплопередача.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

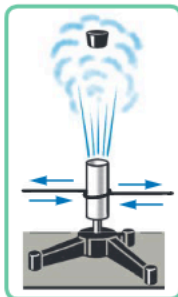
- Как связаны между собой температура тела и средняя кинетическая энергия молекул?
- Что такое внутренняя энергия тела?
- От чего зависит внутренняя энергия тела?

Чтобы понять, каким способом можно изменить внутреннюю энергию, необходимо знать, от чего она зависит. Мы уже знаем, что внутренняя энергия зависит от средней кинетической энергии частиц, составляющих тело, и, следовательно, от его температуры. Значит, для изменения внутренней энергии тела нужно изменить его температуру.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И РАБОТА. Совершая работу, мы можем изменить, например, потенциальную энергию тела. Подняв тело над поверхностью земли, мы тем самым увеличили его потенциальную энергию. Совершив работу, можно также изменить и внутреннюю энергию тела.

При трении тела нагреваются. Если потереть одну ладонь о другую, кожа нагреется. Если быстро спуститься по спортивному канату, то кожу на ладонях можно даже обжечь. Нагревание при трении люди даже использовали в древности для добывания огня. В наше время одним из способов добывания огня является трение спичечной головки о спичечный коробок.

ИССЛЕДОВАНИЕ



В специализированной физической лаборатории при соблюдении всех мер предосторожности можно провести следующий опыт. На подставке укрепляют тонкостенную латунную трубку, имеющую дно. В неё наливают немного эфира и закрывают пробкой. Затем трубку обвивают верёвкой (см. рисунок). Если быстро натирать трубку верёвкой, то через некоторое время эфир закипит и пар вытолкнет пробку.

Этот опыт показывает, что внутренняя энергия эфира увеличилась, ведь он нагрелся и даже закипел.

Причина изменения внутренней энергии — работа против сил трения. Внутреннюю энергию тела можно увеличить путём деформации.

Если несколько раз ударить молотком по свинцовому шарик, он деформируется и заметно нагреется. Совершённая при этом работа приведёт к изменению взаимного расположения атомов свинца и к изменению характера их движения.

Рассмотрим пример, когда совершённая работа приводит к уменьшению внутренней энергии тела.

ИССЛЕДОВАНИЕ

В стеклянный толстостенный сосуд, закрытый резиновой пробкой, с помощью насоса нагнетается воздух, содержащий водяной пар. Через некоторое время пробка вылетает из сосуда, а в самом сосуде образуется туман, представляющий собой мельчайшие капельки воды.



Накачивая воздух в сосуд, мы совершаем работу. Число молекул в сосуде возрастает, увеличивается частота и сила их ударов, возрастает скорость их движения, и, следовательно, увеличивается внутренняя энергия и температура воздуха в сосуде. Затем сжатый воздух выталкивает пробку, совершая работу. При этом его внутренняя энергия уменьшается, и температура воздуха в сосуде понижается.

Именно из-за того, что температура в сосуде понижается, и появляется туман. Как и почему это происходит, мы с вами обсудим немного позднее. Всем, кто открывал бутылки с лимонадом, это явление хорошо знакомо: над горлышком появляется туман.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. Внутреннюю энергию тела можно изменить и без совершения механической работы. Например, внутреннюю энергию воды можно увеличить, нагрев на плите чайник. Если поставить горячую кастрюлю на холодную подставку, то с течением времени кастрюля остынет. Во всех приведенных примерах внутренняя энергия изменяется, хотя работа при этом не совершается.

Опустим металлическую ложку в стакан с горячей водой. Начальная температура воды выше температуры ложки. Значит, средняя кинетическая энергия молекул воды больше средней кинетической энергии частиц холодного металла. Молекулы воды, сталкиваясь с атомами металла, передают им часть своей энергии. При этом кинетическая энергия частиц металла увеличивается, а кинетическая энергия молекул воды уменьшается. В результате температура воды уменьшится, а температура ложки увеличится. С течением времени их температуры станут равными.

ВАЖНО

Процесс передачи энергии от более нагретого тела или участков тела к менее нагретым называется **теплопередачей** или **теплообменом**.

При непосредственном контакте двух тел с разными температурами происходит передача энергии от тела с более высокой температурой к телу, температура которого изначально была ниже. При этом внутренняя энергия тела с более высокой температурой уменьшается, а внутренняя энергия тела с меньшей температурой увеличивается.

Если пренебречь теплообменом системы тел с окружающей средой, то, когда температуры тел становятся равными, теплопередача прекращается. Наступает состояние **теплового равновесия**.

Процесс теплопередачи необратим.

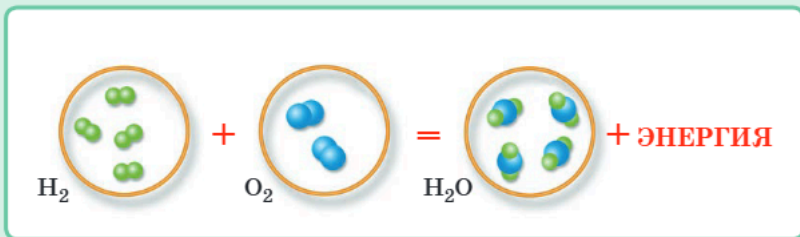
Это означает, что невозможен самопроизвольный процесс передачи внутренней энергии от более холодного тела к более тёплому (нагретому).

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

При измерении температуры жидкостным термометром всегда требуется некоторое время. Дело в том, что при контакте термометра с телом или жидкостью происходит теплопередача — энергия от тела с более высокой температурой передаётся к телу, температура которого изначально была ниже. Например, если мы хотим с помощью термометра измерить температуру воды в сосуде, необходимо подождать, пока температура измерительного прибора перестанет меняться. То есть температура жидкости в термометре станет равна температуре воды, и между водой и термометром наступит состояние теплового равновесия.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Причиной изменения внутренней энергии может служить также химическая реакция, т. е. реакция, в результате которой одно вещество превращается в другое, отличающееся по свойствам и составу. При такой реакции атомы и молекулы перегруппировываются, что, как правило, влечёт за собой изменение их потенциальной и кинетической энергий.



ПРИРОДА ТЕПЛОТЫ. В XVIII в. французские химики выдвинули идею «теплорода» — некой специальной субстанции, объясняющей явления, связанные с тепловой и теплопередачей. В то время считалось, что частицы теплорода отталкиваются друг от друга, но притягивают частицы других веществ. Повышение температуры тела связывалось с увеличением количества теплорода, а понижение температуры — с его уменьшением.

В то же время существовала и другая теория, объясняющая природу теплоты. Многие учёные представляли теплоту как степень подвижности частиц, образующих тело. Эту же идею отстаивал и великий русский учёный М. В. Ломоносов.

В конце XVIII в. английские физики Бенджамин Томпсон (граф Румфорд) и Гемфри Дэви провели опыты, опровергающие теорию теплорода.



Михаил Васильевич
Ломоносов
(1711—1765)

В 1798 г. Румфорд заметил, что при высверливании отверстия в пушечном стволе выделяется большое количество тепла, предположительно из-за трения. Для более точного исследования он проделал следующий опыт. В отверстие в пушечном стволе помещали тупое сверло, которое было плотно прижато к стенкам, и приводили его во вращение. Оказалось, что за 30 мин сверления температура трущихся тел повысилась примерно на 20 °С. Румфорд повторил опыт, погрузив пушечный ствол и сверло в бочку с водой. В результате спустя 2,5 ч работы вода нагрелась и закипела. Из этого опыта Румфорд сделал вывод, что теплота является формой движения.

В 1799 г. Дэви продолжил исследования нагревания тел при трении. Он показал, что трение двух кусков льда друг о друга в вакууме вызывает их плавление.

Теория теплорода не могла объяснить результаты этих экспериментов. Приблизительно в середине XIX в. на её место пришла молекулярно-кинетическая теория строения вещества.

ТЕРМОДИНАМИКА. В физике исторически возникли два направления изучения тепловых явлений. Одно направление основывалось на атомной гипотезе и называлось «Молекулярная физика», а другое направление основывалось на достоверных фактах, полученных опытным путём, и получило название «Термодинамика». Термодинамика изучает те же тепловые явления, что и молекулярная физика, но эти два раздела физики различаются подходом к изучаемым явлениям и взаимно дополняют друг друга. В основе термодинамики лежит понятие *внутренней энергии*.

Более подробно законы термодинамики вы будете изучать в старших классах.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Возникновение термодинамики связано с изучением закономерностей превращения теплоты в механическую работу в тепловых двигателях. Основы термодинамики впервые были заложены в книге французского инженера и физика Сади Карно «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», изданной в Париже в 1824 г.

! Внутреннюю энергию тела можно изменить путём совершения работы и путём теплопередачи.

! Процесс передачи энергии от более нагретого тела или участков тела к менее нагретым называется теплопередачей или теплообменом.

Внутренняя энергия; способы изменения внутренней энергии; совершение работы; теплопередача

1. Как изменяется внутренняя энергия тела, когда над ним совершают работу?
2. Какой опыт показывает, что за счёт внутренней энергии тела можно совершить работу?
3. Что такое теплопередача?
4. Возможен ли в принципе процесс передачи энергии от холодного тела к нагретому?

ВЫВОДЫ

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

ВОПРОСЫ
И
ЗАДАНИЯ

§ 9 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое теплопроводность.
- Как различаются теплопроводности веществ.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

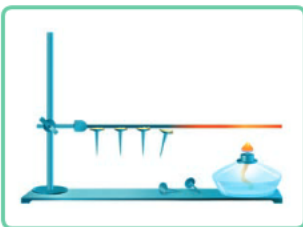
- Что такое теплопередача?

Теплопередача представляет собой процесс передачи внутренней энергии от одного тела к другому. Существует несколько видов теплопередачи. С одним из них — **теплопроводностью** — мы познакомимся на этом уроке.



ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ. Когда вы опускаете чайную ложку в стакан с горячим чаем, то нагревается не только часть ложки, опущенная в воду, но и та часть ложки, которая находится над водой. Значит, внутренняя энергия может переходить не только от одного тела к другому, но и от одной части тела к другой части того же тела.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Проведём следующий опыт. В штативе закрепим толстую металлическую проволоку, к которой при помощи воска прикрепим несколько гвоздиков. Нагреем свободный конец проволоки. Сначала от нагревания размягчается воск, который удерживает ближайший от пламени гвоздик. Спустя некоторое время этот гвоздик отрывается от стержня и падает. Затем падает второй гвоздик, третий и т. д. Следовательно, стержень проводит тепло.

Как объясняется это явление? В проволоке, как и во всех твёрдых телах, атомы совершают колебательные движения около некоторых положений равновесия. При нагревании проволоки в месте её контакта с горелкой скорость колебательного движения атомов металла увеличивается. Эти атомы, взаимодействуя с соседними атомами, передают им часть своей энергии. Таким образом в результате теплопередачи постепенно нагревается вся проволока.

Важно отметить, что в твёрдых телах сами атомы, передавая кинетическую энергию, не меняют своё местоположение, т. е. само вещество не перемещается.

ВАЖНО

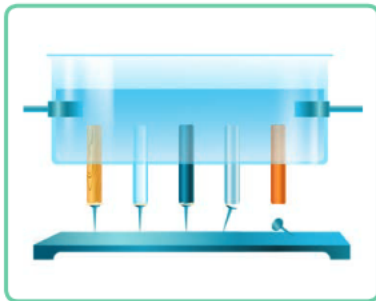
Явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте и при условии отсутствия перемещения вещества называется **теплопроводностью**. При теплопроводности само вещество не перемещается от одной части тела к другой.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ. Способностью передавать тепло, или теплопроводностью, обладают все вещества: и твёрдые, и жидкие, и газообразные. При этом разные вещества имеют различную теплопроводность.

Если один конец деревянной сухой палки держать в руке, а второй конец опустить в костёр, мы не почувствуем нагревания палки до тех пор, пока огонь не коснётся руки. Если же в этом опыте вместо палки взять металлический прут, то свободный конец достаточно быстро станет горячим, и держать его в руке будет невозможно. Всё дело в том, что металлы обладают гораздо большей теплопроводностью, чем дерево.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Рассмотрим следующий опыт. Верхние концы стержней одинакового размера из меди, алюминия, железа, стекла и дерева прогреваются горячей водой. К нижним концам этих стержней прикреплены воском гвоздики. Быстрее всего гвоздик отпадает от медного стержня, значит, медь очень хороший проводник тепла. Через некоторое время гвоздик отпадает от алюминиевого стержня, затем — от железного и только потом от стеклянного. От деревянного стержня, имеющего низкую теплопроводность, гвоздик не отпадёт.



ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Когда хотят вскипятить воду на костре, котелок с водой вешают на деревянную палку. Именно благодаря низкой теплопроводности дерева мы можем спокойно снять котелок с кипящей водой с костра и не обжечься. Низкая теплопроводность дерева используется с древности при изготовлении, например, факелов.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. Рассмотрим теплопроводность жидкостей и газов.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Возьмём пробирку с водой и погрузим в неё кусочек льда, а чтобы он не всплыл вверх (лёд легче воды), придавим его медным грузиком. Но при этом вода должна иметь свободный доступ ко льду. Начнём нагревать верхнюю часть пробирки. Через некоторое время вода у поверхности закипит. Однако на дне пробирки вода останется холодной, и лёд растает не полностью.



Это означает, что у жидкостей теплопроводность невелика (за исключением ртути и расплавленных металлов).

У газов теплопроводность ещё меньше. Это можно проверить на следующем опыте.

ИССЛЕДОВАНИЕ



В сухую пробирку, закрытую резиновой пробкой с маленьким отверстием, вставим металлическую спицу. Держа спицу в руке, нагреем пробирку в пламени спиртовки доньшком вверх. Несмотря на высокую теплопроводность металла, рука долго не почувствует тепла, так как воздух в пробирке имеет очень низкую теплопроводность, и спица практически не нагревается.

Низкая теплопроводность газов по сравнению с твёрдыми телами связана с большими расстояниями между молекулами. Так как передача тепла обусловлена передачей кинетической энергии от молекулы к молекуле, с увеличением межмолекулярных расстояний эта передача становится всё более затруднительной.

Итак, лучшими проводниками тепла являются металлы, а хуже всего проводят тепло газы. Известно, что теплопроводность воздуха в 20 000 раз меньше теплопроводности меди. Самую низкую теплопроводность имеет *вакуум*. Так называют пространство, в котором практически отсутствуют атомы и молекулы. Теплопроводность вакуума близка к нулю.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В ПРИРОДЕ, БЫТУ И ТЕХНИКЕ. Вещества с плохой теплопроводностью одинаково хорошо могут использоваться для поддержания тел как в холодном состоянии, так и в нагретом. Плохая теплопроводность снега позволяет сохранить озимые растения в холодные зимы. Поэтому в бесснежные зимы часто происходит вымерзание озимых посевов на полях. Низкая теплопроводность воздуха, заключённого между перьями птиц, шерстинками меха животных, обеспечивает им эффективную защиту от холода. Малой теплопроводностью обладают все пористые вещества, например пробка и бумага.

Вещества с низкой теплопроводностью широко применяются в быту и технике. Для защиты от холода люди с древности возводили жилища из дерева и камня. Для защиты от ожога на металлических кастрюлях и чайниках делают пластиковые или деревянные ручки. Хорошая теплопроводность металлов, таких как алюминий и медь, используется при изготовлении деталей охлаждающих устройств. Чтобы ускорить процесс обогрева помещений, радиаторы изготавливают из металлов (чугуна, алюминия, стали). Посуду для приготовления пищи также делают из металлов, чтобы сократить время приготовления пищи.



Среди металлов наибольшей теплопроводностью обладают *серебро и медь*. Серебро часто используется для производства компонентов электроинструментов и электроники, а также фотоэлементов солнечных батарей. Изделия из меди эффективно отводят тепло, поэтому медь используют в системах теплообмена (автомобильные радиаторы, холодильники, кондиционеры и т. д.).

Ещё более высокие показатели теплопроводности (в 5 раз выше, чем у меди) имеет алмаз. Сверхзвуковые самолёты, космические корабли покрывают веществом с алмазной крошкой для их быстрого охлаждения в условиях экстремальных температур. Алмазы также широко используются для отвода тепла в электронных устройствах и микросхемах.

Удивительными свойствами обладает *графен* — материал толщиной всего в один атом углерода. Его теплопроводность в 2 раза превышает теплопроводность алмаза. В перспективе его можно использовать как новый класс материалов для систем охлаждения и в космической технике, и в миниатюрных электронных устройствах.

! Явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте и при условии отсутствия перемещения вещества называется теплопроводностью. При распространении тепла само вещество не перемещается от одной части тела к другой.

ВЫВОД

Теплопередача; теплопроводность

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

1. Чем объясняется теплопроводность?
2. Чем объясняется плохая теплопроводность газов?
3. Почему пористые вещества обладают низкой теплопроводностью?
4. Почему в снежную зиму озимые посевы сохраняются лучше, а морозы при отсутствии снега опасны для них?
5. Зачем водопроводные и канализационные трубы зарывают в грунт на значительную глубину?
6. Почему металлическая ложка, опущенная в стеклянный стакан, предохраняет его от растрескивания при наливании кипятка?

§ 10 КОНВЕКЦИЯ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое конвекция.
- Какие виды конвекции существуют.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое теплопередача?
- Что такое теплопроводность?
- Что происходит с телами при нагревании?

Если жидкости и газы обладают низкой теплопроводностью, то как же тогда нам удаётся достаточно быстро прогреть воздух в помещении и вскипятить воду?



ЯВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ВОЗДУХЕ. Находясь рядом с горячей плитой, можно почувствовать тёплые струи воздуха, поднимающиеся над ней. Этот же эффект хорошо ощущается, если сверху поднести руку к горячей свече или включённой лампе накаливания.

Это физическое явление используется в игрушке «музыкальная ёлочка». Когда зажигаются свечи, под действием возникающих струй тёплого воздуха, направленных вверх, вертушка начинает вращаться, а металлические лепестки — звенеть.

Если сделать из бумаги спираль и поместить её над включённой электрической лампочкой, как показано на рисунке, под действием поднимающегося нагретого воздуха спираль начнёт вращаться. В этом устройстве нагревающийся от лампочки воздух расширяется, и его плотность становится меньше плотности окружающего холодного воздуха. Под действием выталкивающей (архимедовой) силы со стороны холодного воздуха тёплый воздух вытесняется вверх. Образующийся тёплый воздушный поток и вращает спираль.

ЯВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ЖИДКОСТИ. Аналогичные явления происходят и при нагревании жидкости, если источник тепла находится снизу.

Нагретые слои жидкости имеют меньшую плотность. Поэтому сила тяжести, действующая на них, становится меньше архимедовой силы, действующей на эти слои со стороны окружающей жидкости. Вследствие этого нагретые слои воды начинают подниматься вверх, а на их место опускаются более холодные слои жидкости. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вся жидкость не прогреется одинаково по всему объёму.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Рассмотрим следующий опыт. На дно колбы с водой аккуратно опустим несколько кристалликов любого красителя (например, марганцовокислого калия). Начнём нагревать колбу снизу. Сразу станет хорошо видно, как со дна колбы поднимаются окрашенные струйки воды.

Опыт демонстрирует движение конвекционных потоков в жидкости, когда тёплые и холодные слои воды меняются местами.

КОНВЕКЦИЯ. При нагревании воздуха или воды снизу происходит теплопередача, обусловленная переносом вещества, чем она и отличается от теплопроводности. Этот процесс называется **конвекцией** (от лат. *convectio* — перенесение).

ВАЖНО

Конвекция — это вид теплопередачи, при котором энергия передаётся потоками (или струями) жидкости или газа.

В 7 классе мы говорили о том, что строение твёрдых тел отличается от строения жидкостей и газов. В твёрдых телах перенос вещества невозможен, поэтому конвекция наблюдается только в жидкостях и газах. В твёрдых телах она не происходит.

В быту мы привыкли к тому, что при нагревании воды источник тепла располагается снизу. Нагревательные приборы в комнате также всегда расположены внизу. В закрытом помещении при работе отопительных приборов всегда возникает явление конвекции. Тёплый воздух всегда поднимается вверх. Поэтому разница температур воздуха у пола и вблизи потолка может достигать нескольких градусов.

Опыты показывают, что при нагревании сверху как жидкостей, так и газов конвекции не происходит. В этом случае просто не возникает выталкивающая сила, так как нагретые слои с меньшей плотностью располагаются сверху.

ЕСТЕСТВЕННАЯ И ВЫНУЖДЕННАЯ КОНВЕКЦИЯ. Различают два вида конвекции: естественную и вынужденную. Рассмотренные выше процессы нагревания воздуха и жидкости являются примерами естественной конвекции. Для её возникновения требуется либо подогрев жидкости или газа снизу, либо охлаждение сверху.

Вынужденная конвекция наблюдается в случае, когда потоки нагретой или охлаждённой жидкости (газа) переносятся под действием насосов или вентиляторов.

ПРИМЕРЫ КОНВЕКЦИИ. Конвекция является очень распространённым явлением в природе. Благодаря конвекции птицы способны подолгу парить в воздухе. Разные участки земли прогреваются по-разному, и из-за этого возникают восходящие воздушные потоки. Эти же потоки используются при полётах на дельтапланах.

Из-за конвекции нагретый пар из труб котельных и дым из печных труб при отсутствии ветра поднимаются вверх, так как имеют более низкую плотность, чем окружающий воздух.

! Конвекция — это вид теплопередачи, при котором энергия передаётся потоками (струями) жидкости или газа.

ВЫВОД

Теплопередача; конвекция

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

1. Чем отличается естественная конвекция от вынужденной?
2. Почему жидкости и газы прогревают снизу?
3. Свеча, зажжённая на борту космической станции, горит слабым мерцающим пламенем, а затем и вовсе гаснет. Объясните это явление.
4. Возможна ли конвекция в невесомости?

§ 11 ИЗЛУЧЕНИЕ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое излучение.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое теплопередача?
- Что такое конвекция?

Основным источником тепла на нашей планете является Солнце, которое находится на расстоянии 150 млн км от Земли. Как же осуществляется теплопередача от Солнца?

ИЗЛУЧЕНИЕ. За пределами земной атмосферы пространство между Землёй и Солнцем содержит очень разреженное вещество. В вакууме перенос энергии путём теплопроводности практически невозможен. Нельзя здесь говорить и о конвекции. Говоря о переносе энергии от Солнца к Земле, мы сталкиваемся с новым видом теплопередачи, который называется *излучением*. Испускание и поглощение излучения играют огромную роль в нашей жизни. Это излучение называется *электромагнитным излучением* или *электромагнитными волнами* (оно будет изучаться в курсе физики 9 класса). Электромагнитные волны являются одним из видов материи, о котором мы ещё не говорили.

Хорошо нам знакомый солнечный свет также является электромагнитным излучением. Существуют различные технические устройства, которые являются источниками электромагнитного излучения, например микроволновые печи.

ВАЖНО

Излучение — третий вид теплопередачи (кроме теплопроводности и конвекции), при котором энергия передаётся не только при наличии среды, но и в вакууме.

Именно излучение является причиной того, что рядом с горячей электрической лампочкой тепло опускается даже снизу, хотя из-за конвекции потоки тёплого воздуха устремляются вверх.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



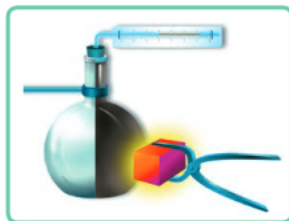
Пётр Николаевич Лебедев
(1866—1912)

При изучении природы излучения были сделаны важные открытия. Одно из них — **давление света**. Давление, производимое светом на тела, впервые было экспериментально обнаружено и измерено выдающимся российским физиком П. Н. Лебедевым. Лебедев изготовил специальные приборы и проделал опыты, представляющие замечательный пример искусства эксперимента. Давление света даже от самых сильных источников ничтожно мало в земных условиях.

ТЕРМОСКОП. Рассмотрим работу простого прибора, который называется **термоскопом**. Он состоит из небольшой колбы, одна сторона которой блестящая, а другая — чёрная или матовая. Если прибор делать самостоятельно, то одну сторону колбы можно просто закоптить. В колбу через пробку вставлена изогнутая трубка, в которую введена небольшая капля подкрашенной жидкости. К трубке прикреплена шкала, позволяющая обнаружить любое нагревание воздуха в колбе, даже если оно малó.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Поднесём к закопчённой поверхности термоскопа нагретое до высокой температуры тело. При этом столбик подкрашенной жидкости переместится на несколько делений вправо. Это означает, что воздух в колбе нагрелся и расширился. Причиной нагревания воздуха в термоскопе может быть только передача ему энергии от нагретого тела.



Энергия в описанном опыте передавалась не в результате теплопроводности, так как между нагретым телом и термоскопом находится воздух — плохой проводник тепла. Конвекция здесь тоже не происходила, так как термоскоп находится рядом с нагретым телом, а не над ним. В данном случае энергия передавалась путём излучения.

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ. Все тела окружающего нас мира излучают энергию; при этом чем выше температура тела, тем больше энергии оно отдаёт путём излучения.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Пока температура тела невысока, оно излучает энергию, но не светится, т. е. испускает только *тепловые волны*, невидимые для глаза. При повышении температуры оно начинает светиться сначала красным, затем оранжевым, жёлтым и т. д. цветом. Например, при температуре 6000 °С больше всего излучается жёлтых лучей. Именно по этому признаку определили температуру поверхности Солнца.

Излучение тел даже с низкой температурой может быть зарегистрировано специальными приборами, называемыми **тепловизорами**. Эти приборы также называются приборами ночного видения и широко применяются для навигации, в медицине и в военном деле.

ОТРАЖЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ. Когда излучение, распространяясь от тела-источника, достигает других тел, часть его *отражается*, а часть *поглощается*.

При поглощении излучения часть его энергии превращается во внутреннюю энергию тела, и тело нагревается.

Светлые и тёмные поверхности тел поглощают излучение по-разному. Этот факт легко проверить с помощью термоскопа.

Повторим описанный выше опыт, но в этот раз поднесём нагретое тело к светлой стороне колбы. Столбик жидкости в этом случае переместится на гораздо меньшее расстояние. Таким образом,

тело со светлой поверхностью хуже нагревается при теплопередаче путём излучения, чем тело с тёмной поверхностью.

Происходит это вследствие того, что тёмные тела лучше поглощают излучение, а тела, имеющие светлую или блестящую поверхность, лучше отражают.

Способность тел по-разному поглощать и отражать излучение часто используется в быту и технике. Самолёты красят серебристой краской для того, чтобы они меньше нагревались солнечными лучами. Если используют солнечную энергию для нагревания, то соответствующие части приборов окрашивают в тёмный цвет. Это касается таких устройств, как солнечные батареи и ёмкости для воды в летнем душе.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Теплопередача путём излучения широко используется для поддержания тепла в теплицах. Солнечные лучи проникают через стекло или прозрачный полиэтилен и нагревают воздух и почву внутри теплицы. Однако внутренняя поверхность материалов не пропускает излучение наружу, лучи отражаются от поверхностей обратно в теплицу. Таким образом тепло удерживается внутри теплицы.

Это явление получило название *парникового, или тепличного, эффекта*. Его можно наблюдать на Земле и других планетах, обладающих атмосферой. Излучение Солнца проходит через атмосферу, поглощается поверхностью Земли и нагревает нашу планету. При этом парниковые газы (углекислый газ, водяной пар и др.) не позволяют тепловому излучению, испускаемому нагретой поверхностью Земли, вернуться в космическое пространство. Это приводит к постепенному повышению средней температуры нижних слоёв атмосферы.

ВЫВОД

! Излучение — третий вид теплопередачи (кроме теплопроводности и конвекции), при котором энергия передаётся не только при наличии среды, но и в вакууме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Теплопередача; излучение

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. В чём заключается принципиальное отличие излучения от других видов теплопередачи?
2. Как зависит излучение от температуры тела?
3. Как зависит поглощение излучения от цвета поверхности тела?
4. Каким способом осуществляется теплопередача в каждой из указанных ситуаций: от утюга к поверхности гладильной доски; от костра к сидящим вокруг него туристам; от Солнца к Земле?
5. Почему грязный снег в солнечную погоду тает быстрее, чем чистый?
6. В какой одежде летом менее жарко: в белой или тёмной? Почему?

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ПРИРОДЕ § 12

НОВОЕ В УРОКЕ

- Виды теплопередачи на Земле.
- Как образуются ветер и океанские течения.

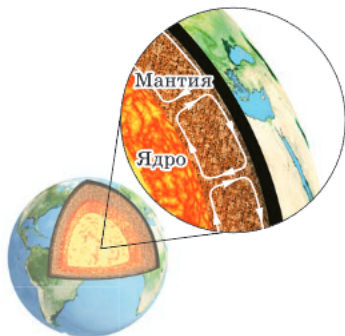
Теплопередача постоянно происходит между всеми телами в природе, включая живые организмы.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое теплопроводность?
- Что такое конвекция?
- Что такое излучение?

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ЗЕМЛЕ. Средняя температура поверхности Земли составляет примерно 15 °С. Нагрев земной поверхности происходит в основном за счёт поглощения солнечного излучения. Днём излучение от Солнца нагревает землю. Она, в свою очередь, нагревает воздух, находящийся рядом с поверхностью, путём теплопередачи и излучения. Ночью, в отсутствие излучения от Солнца, земля остывает, и это приводит к понижению температуры окружающего воздуха.

Во внутренних слоях Земли также происходят процессы теплопередачи. В центральной части ядра температура достигает 6000 °С. Тепло от ядра Земли передаётся к мантии. Температура мантии изменяется от 4000 °С в нижних слоях, расположенных около ядра, до 1300 °С в верхних слоях. В мантии большое количество тепла передаётся конвекционными потоками. Горячие массы вещества поднимаются вверх. Достигнув земной коры, вещество постепенно остывает и опускается в нижние слои мантии.



Движение конвекционных потоков в мантии — это чрезвычайно медленный процесс, всего 2–3 см в год, поэтому отслеживать его очень трудно. Однако за миллионы лет это привело к значительным изменениям. Конвекция в мантии приводит в движение литосферные плиты, что может стать причиной землетрясений, извержений вулканов, дрейфа континентов и т. д.



Тепло, которое исходит из недр Земли, называется **геотермальной энергией**. Вода или пар из горячих источников могут использоваться для отопления или производства электроэнергии. Геотермальная энергия является одним из экологически чистых возобновляемых источников энергии.

ОБРАЗОВАНИЕ ВЕТРА И ОКЕАНИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ. Основную роль при образовании потоков воздуха в атмосфере играет конвекция. Земная поверхность, поглощая солнечное излучение, нагревается неравномерно. Образуются области с различным атмосферным давлением. Возникают **ветры** — движения воздушных масс вдоль земной поверхности из областей высокого давления в области низкого давления. Такие воздушные потоки переносят с собой энергию и влагу.

Эти же причины порождают **дневные и ночные бризы** — ветры, попеременно дующие от моря к суше днём и от суши к морю ночью. В течение дня температура земли становится заметно выше, чем температура моря. Соответственно и воздух, соприкасающийся с землёй, теплеет, расширяется, и его плотность уменьшается. За счёт явления конвекции возникает циркулирующее движение воздушных масс. Ночью происходит обратный процесс, так как земля охлаждается до температуры, которая ниже температуры моря.



Дневной бриз



Ночной бриз

Движения воды в морях и океанах — **течения** также возникают в результате явления конвекции. Поверхностные течения, возникающие в верхних слоях воды, в основном вызваны ветром. Глубоководные течения возникают из-за изменения температуры и солёности воды. Холодная и более солёная вода имеет большую плотность и опускается ко дну, а тёплая и менее солёная поднимается к поверхности. Океанические течения обеспечивают циркуляцию воды по всему Мировому океану.

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ. Человек и теплокровные животные способны поддерживать температуру своего тела в определённых пределах, даже если температура окружающей среды сильно отличается. Регулирование температуры тела происходит за счёт процессов теплопроводности, конвекции, излучения, а также потовыделения. Организм с помощью расширения или сужения сосудов может увеличивать или уменьшать теплоотдачу.

Чтобы поддерживать температуру тела в холодном климате, кожа у животных покрыта шерстью, а у птиц — перьями. Между волосками находится воздух, который имеет низкую теплопроводность и создаёт эффект термоса.

ВЫВОД



Теплопередача играет важную роль в природе.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Геотермальная энергия; ветер; дневной бриз; ночной бриз

ВОПРОСЫ
И ЗАДАНИЯ

1. Какую роль играет теплопередача в поддержании температуры Земли?
2. Объясните, как образуются дневной и ночной бризы.
3. За счёт каких явлений образуются океанские течения?

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В НАШЕМ ДОМЕ § 13

НОВОЕ В УРОКЕ

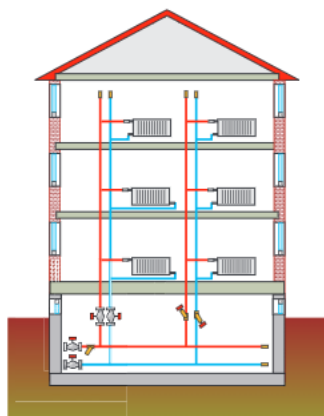
- Как устроены теплоизоляция и отопление дома.

Явления теплопередачи широко используются в нашей жизни для отопления и охлаждения помещений, уменьшения потерь тепла и т. д.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое теплопроводность?
- Что такое конвекция?
- Что такое излучение?

СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ. Для поддержания тепла в холодное время года в наших домах чаще всего используется система водяного отопления, в основе действия которой лежат естественная и вынужденная конвекция. Нагревание воды может производиться либо непосредственно в здании при помощи специального котла, либо за пределами отапливаемого помещения при наличии системы центрального отопления. Горячая вода, поступающая в дом или нагретая в котле, поднимается вверх, а затем спускается по трубам и распределяется по помещениям, отдавая тепло через радиаторы (батареи). Чтобы в радиаторы на нижних этажах поступала горячая вода, а не остывшая, используется электрический насос, который поддерживает постоянную циркуляцию воды в системе отопления за счёт вынужденной конвекции.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Самой первой формой обогрева помещений был костёр, вокруг которого собирались древние люди, чтобы согреться и приготовить пищу. Первые системы центрального отопления появились в Римской империи. В полу и стенах римских домов оставляли пустое пространство, через которое тёплый воздух от печи поступал в комнаты. Водяное отопление появилось с XIV в. в Гренландии, где вода в систему поступала из горячих источников. В России первая система водяного отопления использовалась для отопления Летнего дворца Петра I в Санкт-Петербурге.

Радиаторы используются для более эффективного обогрева помещений. Горячая вода поступает в радиаторы из системы отопления. Проходя по трубам внутри радиатора, она отдаёт тепло путём теплопроводности, а затем выводится обратно в систему отопления, где происходит повторный нагрев. Для большей теплоотдачи радиаторы должны иметь большую площадь соприкосновения с окружающим воздухом, поэтому их изготавливают в виде отдельных секций, через которые проходят тонкие изогнутые трубы.



Нагретый металл радиатора передаёт тепло окружающему воздуху путём излучения. А затем тепло по комнате распределяется в результате конвекции.

Первый радиатор был изобретён в 1855 г. российским предпринимателем и изобретателем Францем Сан-Галли.

В настоящее время чугунные батареи вытесняются алюминиевыми, стальными и биметаллическими.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ. Современные системы отопления позволяют довольно эффективно обогревать наши дома в холодное время года. Но часть тепла уходит за пределы зданий через окна, стены, полы и т. д. Потери тепла происходят в основном путём теплопроводности, поскольку стены, окна, крыша дома контактируют с более холодным воздухом, находящимся снаружи, а основание дома соприкасается с холодной землёй. Тепло теряется также за счёт конвекции. Например, холодный воздух может поступать в дом через приоткрытые окна или щели. Кроме этого, наружные поверхности зданий постоянно излучают тепло в атмосферу.

Чтобы уменьшить потери тепла, при постройке и отделке зданий используют специальные теплоизоляционные материалы, которые обладают низкой теплопроводностью. Как правило, они имеют большое количество пор, заполненных воздухом, и поэтому плохо проводят тепло. Стены зданий обычно имеют многослойную структуру: внешний слой делают из кирпича, бетона или дерева, а внутренние слои заполняют различными утеплителями. Чем больше толщина стен, тем меньше будут теплопотери. Чтобы уменьшить потери тепла за счёт излучения, на стены устанавливают материалы с тонким слоем алюминия, который отражает тепло.

Современные оконные стеклопакеты имеют два или три стекла, разделённых герметичной воздушной (газовой) прослойкой. Воздушная прослойка между стёклами не проводит тепло и играет роль хорошего теплоизолятора. А дополнительное стекло отражает тепловое излучение и снижает потери тепла.

Плотные шторы также могут создавать воздушную прослойку между тканью и окном и уменьшить теплопотери.



В домах с хорошей теплоизоляцией может возникать проблема ухудшения качества воздуха, связанная с отсутствием притока свежего воздуха извне. Одним из способов решения этой проблемы является установка системы вентиляции. В системе вентиляции в теплообменнике приводятся в контакт два воздушных потока с разной температурой, при этом тепло от внутреннего воздуха передаётся воздуху, поступающему снаружи.

При проектировании системы вентиляции зданий инженеры учитывают как передачу тепла внутри здания, так и потери тепла в окружающую среду. Также для эффективности работы системы важно правильно выбрать материалы, которые либо хорошо отводят тепло, либо минимизируют потери энергии (в зависимости от потребностей).

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В БЫТУ. В нашей жизни мы часто сталкиваемся с примерами теплопередачи: глажка белья, нагревание чашки с горячим чаем, охлаждение напитков с помощью льда. Нам кажется прохладнее ходить босиком по плиточному полу, чем по ковру, даже при одинаковой температуре. Микроволновая печь нагревает пищу за счёт передачи тепла излучением. В духовке внутренняя поверхность покрыта материалами, которые хорошо проводят тепло, а внешняя поверхность должна быть сделана из теплоизолирующих материалов с низкой теплопроводностью, чтобы избежать ожогов. Воздух в духовой печи нагревается за счёт излучения от нагретых внутренних поверхностей и равномерно распределяется по всей духовке для приготовления пищи.

В быту часто используется *термос*. Он применяется для сохранения пищевых продуктов при определённой температуре. Термос состоит из сосуда с двойными стенками, поверхность которых покрыта блестящим металлическим слоем. Из пространства между стенками откачивают воздух, что предотвращает и конвекцию, и теплопроводность. Металлический слой, отражая излучение, препятствует передаче энергии.

Такое же устройство имеют термкружки и термосумки.



Термос

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Предшественником термоса является **сосуд Дьюара**, изобретённый в 1892 г. шотландским физиком и химиком Дж. Дьюаром. Дьюар занимался изучением сжижения газов при низких температурах. Чтобы поддерживать низкую температуру исследуемых газов, Дьюар сконструировал сосуд с двойными стенками, между которыми был откачан воздух.

В 1904 г. немецкие стеклодувы Р. Бургер и А. Ашенбрэннер разработали более прочную конструкцию колбы, которая подходила для повседневного использования, добавили к ней пробку и крышку-стаканчик и получили патент на термос.

Охлаждение воздуха кондиционерами происходит путём конвекции воздуха в помещении. Холодный поток воздуха, выпускаемый кондиционером, более плотный и опускается вниз. А тёплый воздух, находящийся внизу, поднимается вверх и всасывается кондиционером.

! Теплопередача широко используется в нашей жизни.

ВЫВОД

Система водяного отопления; теплоизоляция; термос; сосуд Дьюара

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

1. Приведите примеры использования теплопередачи в нашей жизни.
2. Для чего между стенками сосуда в термосе откачивается воздух?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

§ 14 КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как найти изменение внутренней энергии тела.
- Что такое количество теплоты.
- От чего зависит количество теплоты.
- Какие бывают единицы количества теплоты.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое внутренняя энергия тела?
- Как можно изменить внутреннюю энергию тела?

Внутреннюю энергию тела можно изменить путём совершения работы и путём теплопередачи.

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ. В физике принято изменение любой физической величины обозначать греческой буквой Δ (читается «дельта»). Поэтому изменение внутренней энергии тела записывается следующим образом:

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

где U_1 — начальная внутренняя энергия тела, а U_2 — конечная внутренняя энергия тела (после изменения).

Изменение внутренней энергии может принимать как положительное, так и отрицательное значение. Если внутренняя энергия увеличивается ($U_2 > U_1$), то изменение внутренней энергии положительно ($\Delta U > 0$). Если внутренняя энергия уменьшается ($U_2 < U_1$), то изменение внутренней энергии отрицательно ($\Delta U < 0$).

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

Увеличивается:
 $U_2 > U_1 \rightarrow \Delta U > 0$

ВНУТРЕННЯЯ
ЭНЕРГИЯ

Уменьшается:
 $U_2 < U_1 \rightarrow \Delta U < 0$

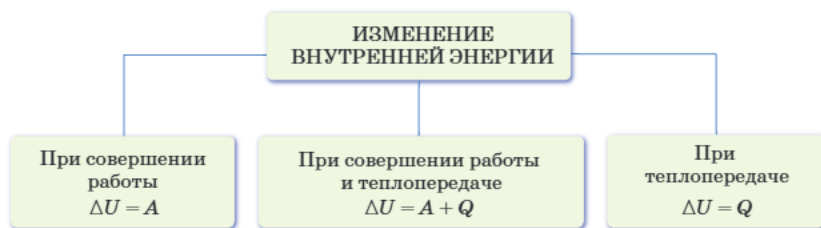
Если внутренняя энергия тела изменилась за счёт совершённой работы, то изменение внутренней энергии равно совершённой работе: $\Delta U = A$. Если же изменение произошло за счёт теплопередачи, то для характеристики этого процесса вводится понятие *количество теплоты*.

ВАЖНО

Энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче, называется **количеством теплоты**. Количество теплоты принято обозначать буквой Q .

Если внутренняя энергия тела в процессе теплопередачи увеличивается, то количество теплоты считается положительным ($Q > 0$) и говорят, что телу сообще-

ли количество теплоты Q . При уменьшении внутренней энергии в процессе теплопередачи количество теплоты считается отрицательным ($Q < 0$) и говорят, что от тела отняли количество теплоты Q .



ВАЖНО

Если одновременно происходят и теплопередача, и совершение работы, то изменение внутренней энергии $\Delta U = A + Q$.

Это уравнение по сути является записью **закона сохранения энергии** в тепловых процессах.

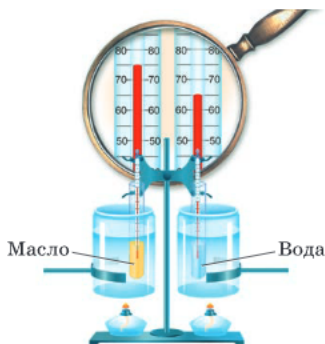
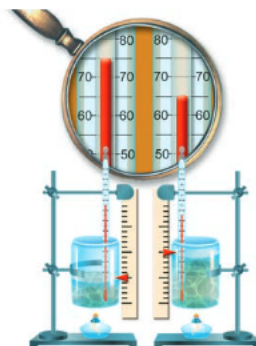
ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. Нагреем на двух одинаковых горелках два одинаковых сосуда с водой массой 100 г и 200 г соответственно. Начальная температура воды в обоих сосудах одинакова. Опыт показывает, что по прошествии некоторого промежутка времени температура воды во втором сосуде увеличится на меньшее число градусов, хотя оба сосуда получают одинаковое количество теплоты. Следовательно, количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела до заданной температуры, зависит от массы тела.

Количество теплоты зависит от массы тела.

Чем больше масса тела, тем большее количество теплоты надо затратить, чтобы изменить его температуру на одно и то же значение.

При остывании тело передаёт окружающим предметам тем большее количество теплоты, чем больше его масса.

Если мы хотим подогреть воду в сосуде так, чтобы она стала тёплой (например, до температуры 40 °C), нам потребуется меньше времени, чем для того, чтобы эту воду вскипятить (т. е. довести до температуры 100 °C). В первом случае воде будет передано меньшее количество теплоты, чем во втором. Таким образом, количество теплоты, которое



необходимо для нагревания, зависит от разности температур тела до и после нагревания.

Количество теплоты зависит от разности температур.

Теперь в одну пробирку нальём воду, а в другую — подсолнечное масло той же массы и температуры, что и вода. Обе пробирки поместим в сосуд с горячей водой. Наблюдая за показаниями термометров, мы увидим, что масло нагревается быстрее. Чтобы нагреть воду и подсолнечное масло до одной и той же температуры, воду следует нагревать дольше. Но чем дольше мы нагреваем воду, тем большее количество теплоты она получает от нагревателя (горячей воды в сосуде). Следовательно, количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела до определённой температуры, зависит от того, из какого вещества тело состоит.

Количество теплоты зависит от вещества.

ВАЖНО

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяемое при остывании), зависит от массы этого тела, изменения его температуры и вида материала.

ЕДИНИЦЫ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ. Единицами количества теплоты являются те же единицы, что и для других видов энергии, — *джоули* (Дж).

Существует и другая единица количества теплоты — *калория* (кал) или *килокалория* (ккал).

Калория (от лат. *calor* — тепло, жар) — это количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 г воды на 1 °С.

Соотношение между джоулем и калорией следующее:

$$1 \text{ кал} \approx 4,19 \text{ Дж.}$$

Калории обычно используют для определения энергетической ценности продуктов питания. Количество калорий в пище определяется количеством энергии, которое получает из неё организм. Например, плитка шоколада массой 100 г содержит примерно 550 ккал (килокалорий), или 2300 кДж, энергии.

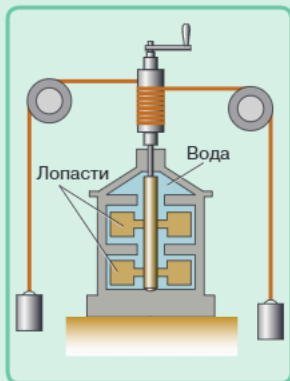
Определим, сколько раз спортсмен должен поднять штангу массой 50 кг на высоту 2 м, чтобы потратить такую энергию. В этом случае полученная энергия ($Q = 2300 \text{ кДж}$) равна механической работе $A = nmgh$, где n — число подъёмов штанги.

Из равенства $Q = A$ получим

$$n = \frac{Q}{mgh} = \frac{2\,300\,000 \text{ Дж}}{50 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2 \text{ м}} = 2347 \text{ раз.}$$

На самом деле энергия, полученная организмом, используется для поддержания всех процессов жизнедеятельности: перекачки крови, хорошего обмена веществ, сердцебиения, роста волос, заживления ран и т. д. И только часть этой энергии расходуется на физическую активность. Поэтому, чтобы сжечь 550 ккал, нужно сделать не 2347 упражнений, а гораздо меньше.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Первые опыты, доказавшие эквивалентность теплоты и работы, выполнил Д. Джоуль в середине XIX в. Установка Джоуля состояла из заполненного водой герметичного медного сосуда, внутри которого вдоль осевой линии устанавливался деревянный стержень с лопатками. На стержень наматывалась нить, к концам которой подвешивались массивные грузы. Посредством блоков грузы опускались вниз, приводя во вращение стержень с лопатками. Из-за трения вода в сосуде нагревалась. Измерив перемещение грузов, Джоуль вычислил совершённую механическую работу. Зная массу воды и измерив изменение её температуры, он вычислил выделившееся при этом количество теплоты. Опыт Джоуля позволил установить пропорциональность между совершённой механической работой и количеством теплоты, полученной телом.

- ! Энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче, называется количеством теплоты.
- ! Количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяемое при остывании), зависит от массы этого тела, изменения его температуры и вида материала.

ВЫВОДЫ

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

**И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

Количество теплоты; внутренняя энергия; теплопередача

1. Что такое количество теплоты и от чего оно зависит?
2. Какие единицы количества теплоты вы знаете?
3. Зависит ли количество теплоты, сообщённое телу, от способа теплопередачи?

§ 15 УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ. РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое удельная теплоёмкость.
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для нагревания тела или выделяемое им при охлаждении.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое количество теплоты?
- Каковы единицы количества теплоты?
- От чего зависит количество теплоты?

Как показывает опыт, чтобы изменить на одно и то же значение температуру тел одинаковой массы, но состоящих из различных веществ, требуется разное количество теплоты. Например, чтобы увеличить на 1°C температуру воды массой 1 кг , требуется количество теплоты, равное 4200 Дж , а для нагревания такой же массы подсолнечного масла требуется 1700 Дж .

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ. Какое количество теплоты потребуется для нагревания на 1°C воды большей массы, например 2 кг ? Для этого необходимо количество теплоты, равное 8400 Дж . Соответственно для нагревания на 1°C 2 кг подсолнечного масла также потребуется вдвое большее количество теплоты — 3400 Дж .

Этот вывод справедлив не только для жидкостей. Например, для нагревания 1 кг железа на 1°C необходимо затратить количество теплоты, равное 460 Дж , а для нагревания 2 кг железа — вдвое большее, т. е. 920 Дж . Таким образом, количество теплоты, необходимое для нагревания тела до определённой температуры, пропорционально массе этого тела.

Количество теплоты пропорционально массе тела.

Вместе с тем количество теплоты, сообщаемое телу при его нагревании, зависит от того, на сколько градусов мы увеличиваем температуру тела. Например, если 2 кг воды надо нагреть не на 1°C , а на 10°C , то для этого потребуется количество теплоты, в 10 раз большее, т. е. $84\,000\text{ Дж}$. Следовательно, количество теплоты пропорционально также разности между конечной и начальной температурами тела: $\Delta t = t_2 - t_1$.

Количество теплоты пропорционально изменению температуры.

С учётом сказанного выражение для количества теплоты, необходимого для нагревания тела массой m на разность температур Δt , следует записать в виде

$$Q = cm\Delta t, \quad (1)$$

где c — некоторая величина, характеризующая тепловые свойства тела. Она называется *удельной теплоёмкостью вещества*.

Выясним физический смысл этой величины. Если массу тела принять равной единице и изменение температуры тела будет равно единице, то по формуле (1) величина c численно равна количеству теплоты:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}.$$

Удельной теплоёмкостью вещества называют физическую величину, численно равную количеству теплоты, необходимому для нагревания единицы массы этого вещества на 1°C . Единица удельной теплоёмкости в СИ — *джоуль на килограмм-градус Цельсия* ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$).

Например, удельная теплоёмкость серебра равна $250 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Это означает, что для нагревания серебра массой 1 кг на 1°C необходимо количество теплоты, равное 250 Дж . Точно такое же (по модулю) количество теплоты будет выделено при охлаждении на 1°C серебра массой 1 кг .



ВАЖНО

Если обозначить величины: удельная теплоёмкость — c , масса тела — m , начальная температура тела — t_1 , конечная температура тела — t_2 , то количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяемой при остывании), рассчитывается по формуле

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

Опыты показывают, что удельная теплоёмкость одного и того же вещества может считаться постоянной в широком интервале температур.

Однако удельная теплоёмкость вещества, находящегося в различных агрегатных состояниях, разная. Например, удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, а удельная теплоёмкость льда $2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Удельная теплоёмкость различных веществ может отличаться в порядок. Так, например, удельная теплоёмкость олова составляет $230 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, а удельная теплоёмкость дерева (дуба) — $2400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

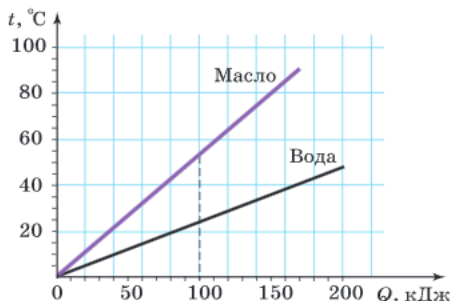
На графике показано повышение температуры воды и подсолнечного масла одинаковой массы при нагревании на двух одинаковых горелках. Видно, что температура воды повышается медленнее, чем температура масла. Это означает, что удельная теплоёмкость воды больше, чем удельная теплоёмкость масла.

Определив по графику, какое количество теплоты передаётся веществу для изменения его температуры, и зная массу вещества, можно вычислить его удельную теплоёмкость.

Большая удельная теплоёмкость воды является причиной того, что в местах, расположенных вблизи больших водоёмов, летом бывает менее жарко, чем в местах с таким же климатом, но без водоёма. Зима вблизи тёплых водоёмов бывает менее холодной.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Олово	$230 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Серебро	$250 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Дерево	$2400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Вода	$4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$



УРАВНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА. В результате теплопередачи более нагретое тело передаёт свою энергию менее нагретому телу. Если пренебречь теплообменом системы тел с окружающей средой, то по закону сохранения энергии количество теплоты $Q_{\text{отд}}$, отданной телом с более высокой температурой (считается отрицательным, $Q_{\text{отд}} < 0$), равно по модулю количеству теплоты $Q_{\text{пол}}$, полученной телом с меньшей температурой (считается положительным, $Q_{\text{пол}} > 0$):

$$|Q_{\text{отд}}| = Q_{\text{пол}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{отд}} + Q_{\text{пол}} = 0.$$

Это равенство называется **уравнением теплового баланса**.

КАЛОРИМЕТР. Калориметр — это прибор, применяемый во многих опытах по тепловым явлениям. Он необходим для измерения количества теплоты, выделяющейся или поглощающейся в каком-либо процессе. Калориметр состоит из внешнего и внутреннего сосудов, разделённых воздушным промежутком, и крышки с отверстием для термометра. Такое устройство позволяет уменьшить влияние внешней среды на процесс теплообмена внутри калориметра.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первые ледяные калориметры были сконструированы шотландским физиком и химиком Дж. Блэком в 1761 г. Их заполняли не водой, а льдом и затем, взвешивая талую воду, стекавшую в сосуд, определяли количество выделившейся теплоты. Термин «калориметр» был введён в 1780 г. французскими учёными А. Л. Лавуазье и П. С. Лапласом. Лавуазье использовал ледяной калориметр для измерения количества теплоты, выделяемой при дыхании морской свинкой.

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ НАГРЕВАТЕЛЯ. Важной характеристикой нагревательного прибора является его *тепловая мощность*. По аналогии с механической мощностью **тепловая мощность** характеризует быстроту выделения тепла, она равна отношению количества теплоты Q , выделенной нагревателем, ко времени Δt , в течение которого происходило нагревание:

$$N = \frac{Q}{\Delta t}.$$

Как и механическая мощность, тепловая мощность измеряется в *ваттах*: $1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$.

В случае нагревания какого-либо тела или жидкости тепловая мощность рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{cm(T_2 - T_1)}{\Delta t},$$

где c — удельная теплоёмкость тела, m — масса тела, $(T_2 - T_1)$ — изменение температуры, Δt — промежуток времени, в течение которого происходило нагревание.

Зная тепловую мощность нагревательного прибора, можно определить, сколько времени потребуется для нагревания тела до той или иной температуры.

МОЩНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ. В тепловых процессах неизбежно происходят потери энергии. Выделение тепловой энергии в окружающую среду называют **тепловыми потерями**. Процесс теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой описывается законом **Ньютона—Рихмана**, названным в честь

английского учёного И. Ньютона и российского физика Г. В. Рихмана, которые независимо друг от друга открыли следующую закономерность.

ВАЖНО

Скорость выделения тепловой энергии в окружающую среду, или, другими словами, **мощность тепловых потерь**, зависит от разности температур тела T и окружающей среды $T_{\text{окр}}$, а также от площади S поверхности тела, соприкасающейся со средой:

$$N_{\text{потерь}} = \alpha(T - T_{\text{окр}})S. \quad (2)$$

Коэффициент α называется **коэффициентом теплоотдачи**, он зависит от теплопроводности материалов и свойств окружающей среды и характеризует интенсивность теплообмена.

Формула (2) показывает, что чем больше разница температур между телом и окружающей средой, тем быстрее происходит процесс теплоотдачи. Например, горячий чай в чашке быстрее остывает в течение первых минут, а когда разница температур становится меньше, скорость охлаждения уменьшается.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Зависимость скорости теплообмена с окружающей средой от площади поверхности тела широко применяется в нашей жизни. Например, площадь поверхности батарей отопления стараются делать больше. В этом случае их эффективность будет выше, они лучше отдавать тепло.

- !** Удельной теплоёмкостью вещества называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, необходимому для нагревания единицы массы этого вещества на 1°C .
- !** Выделение тепловой энергии в окружающую среду называют тепловыми потерями.

ВЫВОДЫ

Количество теплоты; удельная теплоёмкость вещества; тепловая мощность; тепловые потери; коэффициент теплоотдачи

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что называется удельной теплоёмкостью вещества?
2. Что является единицей удельной теплоёмкости вещества?
3. Зависит ли удельная теплоёмкость от агрегатного состояния вещества?

§ 16 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- ЗАДАЧА 1. В алюминиевой кастрюле, имеющей массу 400 г, находится 2 л воды при температуре 20 °С. Какое количество теплоты необходимо для нагревания воды в кастрюле до 100 °С? Удельная теплоёмкость алюминия 920 Дж/(кг · °С), удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С).

Дано:
 $m_1 = 400$ г
 $V = 2$ л
 $t_1 = 20$ °С
 $t_2 = 100$ °С
 $\rho = 1000$ кг/м³
 $c_1 = 920$ Дж/(кг · °С)
 $c_2 = 4200$ Дж/(кг · °С)

$Q - ?$

СИ
 0,4 кг
 0,002 м³

Решение.

Количество теплоты, необходимое для нагревания алюминиевой кастрюли:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t_1).$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды: $Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_1)$.

Масса воды в кастрюле: $m_2 = \rho V$.

На нагревание кастрюли и воды потребуется количество теплоты

$$Q = Q_1 + Q_2 = c_1 m_1 (t_2 - t_1) + c_2 \rho V (t_2 - t_1).$$

$$Q = 920 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)} \cdot 0,4 \text{ кг} \cdot (100 \text{ °С} - 20 \text{ °С}) + 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 \times 0,002 \text{ м}^3 \cdot (100 \text{ °С} - 20 \text{ °С}) = 701\,440 \text{ Дж} = 701,44 \text{ кДж}.$$

Ответ: 701,44 кДж.

- ЗАДАЧА 2. В сосуде содержится 3 л воды при температуре 20 °С. Сколько литров воды при температуре 45 °С надо добавить в сосуд, чтобы в нём установилась температура 30 °С? Свободного объёма в сосуде достаточно. Теплообмен с окружающей средой не учитывайте.

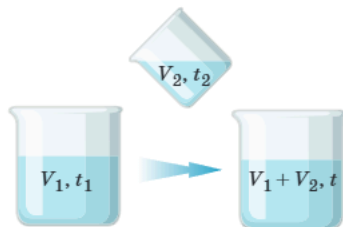
Дано:
 $V_1 = 3$ л
 $t_1 = 20$ °С
 $t_2 = 45$ °С
 $t = 30$ °С

$V_2 - ?$

СИ
 $3 \cdot 10^{-3}$ м³

Решение.

Согласно уравнению теплового баланса, количество теплоты Q_1 , полученной холодной водой, равно по модулю количеству теплоты Q_2 , отданной горячей водой: $|Q_1| = |Q_2|$, или $Q_1 = -Q_2$.



$$Q_1 = cm_1(t - t_1), \quad m_1 = \rho V_1;$$

$$Q_2 = cm_2(t - t_2), \quad m_2 = \rho V_2.$$

Тогда

$$c\rho V_1(t - t_1) = -c\rho V_2(t - t_2) \Rightarrow V_1(t - t_1) = V_2(t_2 - t).$$

$$\text{Выразим объём: } V_2 = V_1 \frac{t - t_1}{t_2 - t}.$$

$$V_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \frac{(30 - 20)^\circ\text{C}}{(45 - 30)^\circ\text{C}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 2 \text{ л}.$$

Ответ: 2 л.

- ЗАДАЧА 3. В калориметр налили 150 мл холодной воды при температуре 15 °С. Металлический цилиндр массой 100 г вынули из сосуда с горячей водой при температуре 80 °С и опустили в холодную воду в калориметре. Через некоторое время в калориметре установилась температура 20 °С. Чему равна удельная теплоёмкость металла? Предположите, какой это может быть металл. Теплообменом с окружающей средой пренебрегите. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С).

Дано:

$$V = 150 \text{ мл}$$

$$t_{\text{в}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{м}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{м}} = 100 \text{ г}$$

$$c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$c_{\text{м}} = ?$$

СИ

$$0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$0,1 \text{ кг}$$

Решение.

Согласно уравнению теплового баланса, количество теплоты $Q_{\text{в}}$, полученной холодной водой, равно по модулю количеству теплоты $Q_{\text{м}}$, отданной металлическим цилиндром:

$$|Q_{\text{в}}| = |Q_{\text{м}}| \text{ или } Q_{\text{в}} = -Q_{\text{м}}.$$

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t - t_{\text{в}}), \quad m_{\text{в}} = \rho V;$$

$$Q_{\text{м}} = c_{\text{м}} m_{\text{м}} (t - t_{\text{м}}).$$

$$\text{Тогда } c_{\text{в}} \rho V (t - t_{\text{в}}) = -c_{\text{м}} m_{\text{м}} (t - t_{\text{м}}),$$

$$\text{откуда } c_{\text{м}} = c_{\text{в}} \frac{\rho V (t - t_{\text{в}})}{m_{\text{м}} (t_{\text{м}} - t)}.$$

Установим наименование полученной величины:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 (\text{ }^\circ\text{C} - \text{ }^\circ\text{C})}{\text{кг} (\text{ }^\circ\text{C} - \text{ }^\circ\text{C})} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

$$c_{\text{м}} = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot (20 - 15)}{0,1 \cdot (80 - 20)} = 525 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

По таблице удельных теплоёмкостей можно найти, что это значение ближе всего к удельной теплоёмкости чугуна (540 Дж/(кг · °С)).

Ответ: 525 Дж/(кг · °С), чугун.

- ЗАДАЧА 4. При приготовлении чая кружку на $3/4$ заполнили водой при температуре 96°C и на $1/4$ долили молока при температуре 4°C . Определите температуру чая, если потери теплоты горячей водой составили 10% первоначального количества теплоты. Удельная теплоёмкость воды $4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплоёмкость молока $3900\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, плотность молока $1030\text{ кг}/\text{м}^3$.

Дано:

$$V_{\text{в}} = \frac{3}{4}V$$

$$V_{\text{м}} = \frac{1}{4}V$$

$$t_{\text{в}} = 96^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{м}} = 4^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{в}} = 4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$c_{\text{м}} = 3900\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000\text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\rho_{\text{м}} = 1030\text{ кг}/\text{м}^3$$

$t - ?$

Решение.

Согласно уравнению теплового баланса, количество теплоты $Q_{\text{м}}$, полученной молоком, равно по модулю количеству теплоты $Q_{\text{в}}$, отданной горячей водой:

$$|Q_{\text{м}}| = |Q_{\text{в}}| \text{ или } Q_{\text{м}} = -Q_{\text{в}}.$$

Однако часть энергии, выделившейся при остывании воды, пошла на нагревание кружки и окружающего воздуха, т. е. на нагревание молока потрачено только 90% количества теплоты $Q_{\text{в}}$:

$$Q_{\text{м}} = -0,9Q_{\text{в}}.$$

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_{\text{в}}), \quad m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}V_{\text{в}} = \rho_{\text{в}}\frac{3}{4}V;$$

$$Q_{\text{м}} = c_{\text{м}}m_{\text{м}}(t - t_{\text{м}}), \quad m_{\text{м}} = \rho_{\text{м}}V_{\text{м}} = \rho_{\text{м}}\frac{1}{4}V.$$

Тогда

$$c_{\text{м}}\rho_{\text{м}}\frac{1}{4}V(t - t_{\text{м}}) = -0,9c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}\frac{3}{4}V(t - t_{\text{в}}), \quad \text{или}$$

$$c_{\text{м}}\rho_{\text{м}}(t - t_{\text{м}}) = 2,7c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t).$$

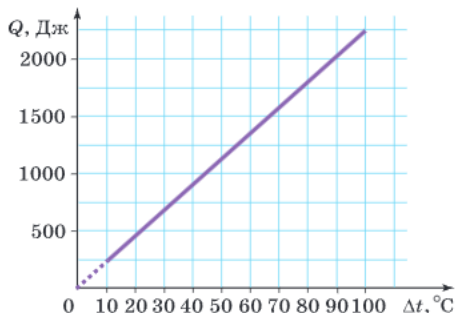
Раскрыв скобки, получим выражение для температуры t :

$$t = \frac{2,7c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}t_{\text{в}} + c_{\text{м}}\rho_{\text{м}}t_{\text{м}}}{2,7c_{\text{в}}\rho_{\text{в}} + c_{\text{м}}\rho_{\text{м}}}.$$

$$t = \frac{2,7 \cdot 4200 \cdot 1000 \cdot 96 + 3900 \cdot 1030 \cdot 4}{2,7 \cdot 4200 \cdot 1000 + 3900 \cdot 1030} \approx 72^\circ\text{C}.$$

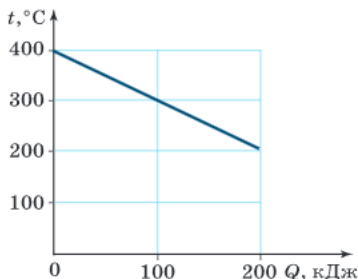
Ответ: 72°C .

- ЗАДАЧА 5. По графику, приведённому на рисунке, определите, с каким веществом проводился эксперимент по определению удельной теплоёмкости, если масса образца 50 г .



Задачи для самостоятельного решения

- 1 Какое количество теплоты выделится при охлаждении одного кирпича массой 4,3 кг от 80 °С до 20 °С? Удельная теплоёмкость кирпича 850 Дж/(кг · °С).
- 2 Песок массой 250 г нагрели, передав количество теплоты, равное 1580 Дж. Определите температуру, до которой нагрелся песок, если начальная температура равна 28 °С. Удельная теплоёмкость песка 880 Дж/(кг · °С).
- 3 В алюминиевую кастрюлю массой 400 г, нагретую на плите до 120 °С, наливают стакан воды массой 250 г при температуре 20 °С. До какой температуры нагрелась вода в кастрюле? Теплообменом с окружающей средой пренебрегите. Удельная теплоёмкость алюминия 920 Дж/(кг · °С), удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С).
- 4 Чугунную гирю массой 3 кг, нагретую до температуры 70 °С, поместили в ведро с водой объёмом 8 л. Через некоторое время температура воды стала равна 20 °С. Определите начальную температуру воды. Удельная теплоёмкость чугуна 540 Дж/(кг · °С), удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С).
- 5 Бассейн наполняется водой из двух кранов: горячей водой с температурой 60 °С и холодной водой с температурой 18 °С. Определите объёмы горячей и холодной воды, необходимые для заполнения бассейна, если бассейн необходимо наполнить до объёма 800 л, а температура воды должна быть 28 °С. Теплообменом с окружающей средой пренебрегите.
- 6 Свинцовый шар массой 20 кг упал на свинцовую плиту массой 30 кг с высоты 5 м. После удара о плиту шар остановился. На сколько градусов нагрелись свинцовая плита и шар, если на их нагревание пошло 80 % выделившейся энергии? Удельная теплоёмкость свинца 140 Дж/(кг · °С).
- 7 Водитель грузовика нажимает на педаль тормоза, спускаясь с горы. Считая, что 1 % механической энергии грузовика идёт на нагревание тормозов, оцените, на сколько градусов нагреваются тормоза. Масса тормозного механизма равна примерно 10 кг, средняя удельная теплоёмкость материала тормозов 800 Дж/(кг · °С). Масса грузовика 8 т, он спускается с постоянной скоростью с высоты 50 м.
- 8 На рисунке изображён график зависимости температуры тела массой 2,5 кг от количества теплоты, выделяемой им при охлаждении. Определите удельную теплоёмкость вещества, из которого изготовлено тело.
- 9 При исследовании охлаждения воды в стакане выяснилось, что вода, нагретая до температуры 100 °С, отдаёт тепло быстрее, чем вода, нагретая до температуры 50 °С. Температура окружающего воздуха 25 °С. Во сколько раз теплоотдача происходит быстрее в первом случае? Объём воды в стаканах одинаковый.



ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ § 17

Лабораторная работа № 1

Экспериментальная проверка уравнения теплового баланса

Цель работы

Проверить выполнение закона сохранения энергии, сравнив количество теплоты, отданное горячей водой, и количество теплоты, полученное холодной водой, при их смешивании.

Оборудование и материалы

Измерительный цилиндр (мензурка), термометр, калориметр, холодная и горячая вода.

Ход работы

- Измерьте объём V_1 холодной воды с помощью мензурки.
- Вычислите массу m_1 холодной воды.
- Измерьте температуру t_1 холодной воды.
- Налейте в калориметр горячую воду. Горячую воду следует наливать во внутренний сосуд калориметра, который вставлен во внешний сосуд. Измерьте температуру t_2 горячей воды, налитой в калориметр.
- Осторожно влейте в калориметр холодную воду. Перемешайте термометром полученную смесь и измерьте её температуру t .
- С помощью мензурки измерьте объём V смеси.
- Вычислите объём горячей воды: $V_2 = V - V_1$.
- Вычислите массу m_2 горячей воды. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

Холодная вода				Смесь холодной и горячей воды		
V_1		m_1 , кг	t_1 , °C	V		t , °C
мл	м ³			мл	м ³	

Горячая вода			
V_2		m_2 , кг	t_2 , °C
мл	м ³		

- Учитывая, что удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · °C), вычислите количество теплоты Q_1 , которое получила холодная вода, и количество теплоты Q_2 , которое отдала горячая вода.

Q_1 , Дж	Q_2 , Дж

- Сравните полученные значения и сделайте вывод.

Лабораторная работа № 2

Измерение удельной теплоёмкости вещества

Цель работы

Научиться опытным путём определять удельную теплоёмкость вещества.

Оборудование и материалы

Металлический (алюминиевый, стальной или железный) цилиндр на нити, измерительный цилиндр (мензурка), термометр, калориметр, вода комнатной температуры, сосуд с горячей водой, весы с разновесами.

Ход работы

- Налейте в мензурку воду комнатной температуры и измерьте её объём V .
- Вычислите массу m_1 воды комнатной температуры.
- С помощью весов определите массу m_2 металлического цилиндра.
- Перелейте воду из мензурки в калориметр. Измерьте температуру t_1 воды в калориметре.
- Опустите металлический цилиндр в сосуд с горячей водой. Подождите, пока цилиндр нагреется, и измерьте температуру t_2 горячей воды в сосуде.
- Опустите нагретый металлический цилиндр в калориметр. Измерьте температуру t воды в калориметре после того, как столбик термометра перестанет подниматься, т. е. когда установится тепловое равновесие между водой в калориметре и металлическим цилиндром.
- Результаты всех измерений занесите в таблицу в своей тетради.

V		m_1 , кг	m_2 , кг	t_1 , °C	t_2 , °C	t , °C
мл	м ³					

- Количество теплоты, полученной холодной водой, $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$, где c_1 — удельная теплоёмкость воды.
 - Количество теплоты, отданной металлическим цилиндром, $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$, где c_2 — удельная теплоёмкость металла цилиндра.
- Составьте уравнение теплового баланса и запишите выражение для c_2 . Подставьте измеренные численные значения и вычислите удельную теплоёмкость металла.
- По таблице удельных теплоёмкостей определите, из какого вещества изготовлен металлический цилиндр.
 - Сделайте вывод.

Практические работы-исследования

Изучаем капиллярные и тепловые явления

ИЗУЧЕНИЕ ПОДЪЁМА ВОДЫ ПО КАПИЛЛЯРАМ

Явление подъёма уровня жидкости в узких стеклянных трубках-капиллярах по сравнению с её уровнем в сосуде объясняется эффектами смачивания. При этом форма поверхности жидкости в капилляре будет вогнутой. В случае смачивания силы притяжения между молекулами воды и молекулами стекла, которые действуют вдоль границы контакта воды со стенками капилляра, должны держать весь вес поднятого вверх столбика воды. Высота подъёма жидкости в узких трубках-капиллярах существенно зависит от внутреннего радиуса капилляра, от характера и степени смачиваемости жидкостью стенок капилляра, а также от плотности самой жидкости.

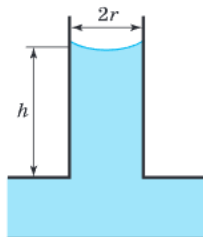
Цель работы

Изучить экспериментально зависимость высоты подъёма воды в капилляре от его радиуса.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать набор капиллярных трубок разного диаметра, сосуд с водой, лабораторные весы с погрешностью не более 0,01 г, линейку и штатив.
- Для измерения радиуса капилляра в чашечку налейте воду в количестве 50—100 мл и взвесьте её на весах.
- Часть воды из чашечки соберите в капилляр, осторожно касаясь им поверхности воды. Чашечку с оставшейся водой взвесьте ещё раз. Разность показаний весов и есть искомая масса m воды в капилляре.
- С помощью линейки измерьте длину l столбика воды в капилляре.
- Запишите выражение для массы воды в капилляре:

$$m = \rho V = \rho l S = \rho l \cdot \pi r^2,$$
 где S — площадь поперечного сечения капилляра, r — радиус капилляра.
- Из выражения для массы воды найдите радиус капилляра: $r = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho l}}$.
- Осторожным встряхиванием полностью удалите воду из капилляра.
- Аккуратно закрепите капилляр с помощью штатива в вертикальном положении и приведите в соприкосновение его нижний конец с поверхностью воды.
Примечание: во избежание поломки капилляра его закрепление в штатив нужно проводить с большой осторожностью, при этом лапки штатива должны быть снабжены прокладками из поролона.
- После установления уровня воды в капилляре с помощью линейки измерьте высоту h водяного столбика.
- Аналогичные измерения проведите для каждого капилляра из набора.
- Для каждого капилляра вычислите произведение rh .
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.



№ капилляра	m , мг	l , мм	r , мм	h , мм	rh , мм ²

- Опираясь на результаты, отражённые в таблице, сделайте вывод о функциональной зависимости между величинами h и r .

ИЗУЧЕНИЕ КОНВЕКЦИИ В ЖИДКОСТИ

Когда нам нужно охладить какой-либо напиток, мы помещаем в стакан кубики льда. При этом лёд плавает на поверхности. Но может быть, охлаждение произошло бы эффективнее, если опустить кубики льда ложкой на дно?

Цель работы

Изучить явление конвекции в жидкости; выяснить, в каком случае охлаждение тёплой воды в сосуде происходит быстрее: когда лёд находится вверху или внизу.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать сосуд, тёплую воду, термометр, кусочек льда, кусочек льда такой же массы с замороженным в нём металлическим шариком или другим тяжёлым предметом, часы с секундной стрелкой.
- Налейте в сосуд тёплую воду и измерьте её температуру. Не вынимая термометр из сосуда с водой, опустите в него кусочек льда. Лёд будет плавать на поверхности воды, т. е. охлаждение будет происходить сверху. Измеряйте температуру воды каждую минуту, пока лёд не растает, и записывайте результаты измерений в таблицу в своей тетради.
- Повторите опыт, налив в сосуд тёплую воду примерно той же температуры. Для охлаждения воды используйте кусочек льда с замороженным в нём металлическим шариком. В этом опыте лёд опустится на дно, т. е. охлаждение будет происходить снизу.
- Для каждого опыта постройте график зависимости изменения температуры воды от времени. Сравните графики и сделайте вывод, в каком случае охлаждение воды в сосуде происходит быстрее.

КЕЙС

«БАНОЧНЫЙ» КАЛОРИМЕТР

При проведении опытов по тепловым явлениям важно уменьшить потери тепла в окружающую среду. Для этого можно использовать такой прибор, как калориметр.

ЗАДАНИЕ. Изготовить калориметр в домашних условиях и проверить его работу.

Этапы выполнения задания

- В качестве оборудования можно использовать пластмассовую бутылку объёмом 1 л, полиэтиленовую крышку, металлическую банку (из-под консервов), ножницы, плоскогубцы, универсальный быстросохнущий клей, горячую воду, чашку, термометр, часы.
- Перед началом работы необходимо подобрать материалы (бутылку и банку) таким образом, чтобы диаметр бутылки — заготовки для внешнего стакана — был несколько больше диаметра металлической банки — внутреннего стакана.

- Обработайте острые края металлической банки, загнув их плоскогубцами. Ножницами аккуратно обрежьте пластмассовую бутылку так, чтобы в неё полностью помещалась металлическая банка (внутренний стакан).
- Из оставшихся обрезков пластмассовой бутылки при помощи ножниц вырежьте подставку для внутреннего стакана. Приклейте её клеем ко дну внешнего стакана.
- Из тех же обрезков при помощи ножниц вырежьте направляющие и приклейте их с внутренней стороны внешнего стакана. Подставка и направляющие необходимы для того, чтобы уменьшить площадь соприкосновения внутреннего и внешнего стаканов, тем самым уменьшить теплообмен с окружающей средой.
- Вставьте металлическую банку во внешний пластмассовый стакан. Прodelайте в полиэтиленовой крышке (крышке калориметра) отверстие для термометра. Закройте калориметр крышкой. Калориметр готов для измерений.
- Налейте в чашку горячую воду объёмом примерно 150—200 мл. При помощи термометра проследите, как изменяется температура воды в чашке в течение времени $T = 30$ мин. Для этого через каждые 5 мин измеряйте температуру воды при помощи термометра.
- Проведите те же измерения, налив воду такого же объёма в изготовленный вами калориметр.
- В каком сосуде вода остывает быстрее? Объясните, почему температура воды в калориметре всё же изменяется.
- Сделайте выводы.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- В основе молекулярно-кинетической теории лежат следующие положения:
 - Вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул.
 - Частицы вещества находятся в непрерывном хаотичном движении.
 - Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.
 - Между частицами вещества имеются промежутки.
- То или иное агрегатное состояние определяется взаимным расположением составляющих вещество молекул, а также характером их движения и взаимодействия.
- Тепловое расширение газов, жидкостей и твёрдых тел объясняется на основе положений молекулярно-кинетической теории.
- Кристаллы — это твёрдые тела, атомы или молекулы которых расположены упорядоченно, образуя кристаллическую решётку. Зависимость физических свойств кристалла от направления называется анизотропией.
- Аморфные тела — особый вид твёрдых тел, которые по своим физическим свойствам и молекулярной структуре отличаются от кристаллических тел: атомы (или молекулы) аморфных тел расположены не строго упорядоченно.
- Явление растекания жидкости по поверхности твёрдого тела называется смачиванием.
- Капиллярность — явление подъёма или опускания жидкости в капиллярах.
- Поверхностное натяжение — свойство жидкости ограничивать свою свободную поверхность.
- Хаотичное движение частиц, из которых состоят тела, называется тепловым движением.

- Температура является мерой средней кинетической энергии молекул тела.
- Энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело, называется внутренней энергией тела.
- При переходе механической энергии во внутреннюю полная энергия сохраняется.
- Внутреннюю энергию тела можно изменить путём совершения работы и посредством теплопередачи.
- Процесс передачи энергии от более нагретого тела или участков тела к менее нагретым называется теплопередачей или теплообменом.
- Явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте и при условии отсутствия перемещения вещества называется теплопроводностью. При теплопроводности само вещество не перемещается от одной части тела к другой.
- Конвекция — это вид теплопередачи, при котором энергия передаётся потоками (или струями) жидкости или газа.
- Излучение — третий вид теплопередачи (кроме теплопроводности и конвекции), при котором энергия передаётся не только при наличии среды, но и в вакууме.
- Энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче, называется количеством теплоты. Количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяемое при остывании), зависит от массы этого тела, изменения его температуры и вида материала.
- Удельной теплоёмкостью вещества называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, необходимому для нагревания единицы массы этого вещества на 1 °С.

Вопросы для обсуждения

- ❓ Почему метеорные тела, прочертив яркий огненный след, сгорают в атмосфере Земли?
- ❓ Как можно объяснить принцип работы центрального водяного отопления?
- ❓ Каким образом осуществляется поддержание тепла в ледяных хижинах эскимосов?

Темы исследовательских и проектных работ

- В мире атомов и молекул.
- Агрегатные состояния веществ на других планетах.
- Удивительные кристаллы.
- Кристаллы в природе.
- Искусственные кристаллы.
- Капиллярность и смачиваемость в живой природе.
- Капиллярность и смачиваемость в жизни человека.
- Температурные шкалы. История появления и использования.
- Температура на Земле.
- Как защитить жильё от холода.
- Процессы конвекции в природе.
- Теплопередача в быту и технике.
- Такие разные по цвету звёзды.
- Энергетическая ценность продуктов питания.
- Закон сохранения энергии. Границы применимости.

Глава 2

ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

В низовьях испаряется вода,
Чтоб возвратиться
Облаком к истокам...

М. Унамуно



§ 18 ПЕРЕХОДЫ ВЕЩЕСТВА ИЗ ОДНОГО АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ В ДРУГОЕ

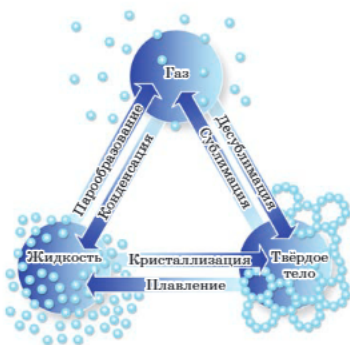
НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое плавление и кристаллизация.
- Что такое парообразование и конденсация.
- Что такое сублимация и десублимация.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- В каких агрегатных состояниях может находиться одно и то же вещество?

Переход вещества из одного агрегатного состояния в другое является причиной многих природных явлений, например таких, как образование облаков, тумана и росы, морозного узора на стекле в зимний день и т. д.



ПЕРЕХОДЫ ВЕЩЕСТВА ИЗ ОДНОГО АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ В ДРУГОЕ. Вещества могут переходить из одного агрегатного состояния в другое. Изменение агрегатного состояния вещества всегда связано с выделением или поглощением некоторого количества теплоты.

Всего различают шесть процессов, при которых происходит переход вещества из одного агрегатного состояния в другое: *плавление, кристаллизация, парообразование, конденсация, сублимация, десублимация.*

ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ. Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называется **плавлением**.

В твёрдых телах, в отличие от жидкостей, частицы расположены упорядоченно. Поэтому, для того чтобы перевести частицы из упорядоченного состояния в неупорядоченное, нужно совершить работу по преодолению сил молекулярного притяжения. Внутренняя энергия вещества при этом увеличивается за счёт увеличения потенциальной энергии взаимодействия молекул. Примерами плавления могут служить таяние льда, плавление металлов в металлургии и пр.

Обратный процесс, связанный с переходом вещества из жидкого состояния в твёрдое, называется **кристаллизацией** или **отвердеванием**. Пример кристаллизации — замерзание воды, застывание расплавленного металла. Процесс кристаллизации сопровождается уменьшением внутренней энергии вещества за счёт уменьшения потенциальной энергии взаимодействия молекул.

ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ. Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием**. Пример парообразования — испарение воды, превращение её в пар.

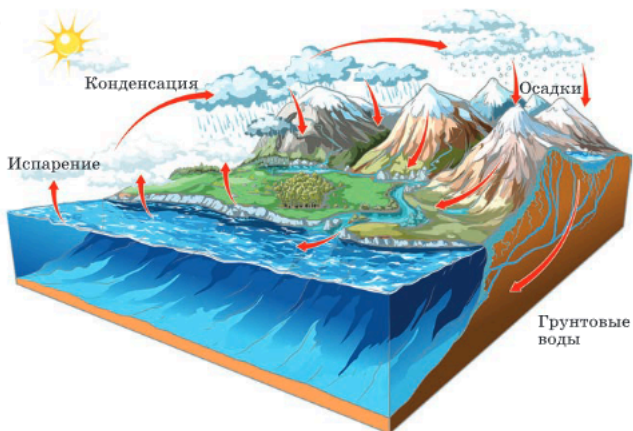
Обратный процесс, связанный с переходом вещества из газообразного состояния в жидкое, называется **конденсацией** (от лат. *condense* — уплотнение, сгущение). Пример конденсации — образование росы.

СУБЛИМАЦИЯ (ВОЗГОНКА) И ДЕСУБЛИМАЦИЯ. Переход вещества из твёрдого состояния в газообразное (минуя жидкое) называется **сублимацией** (от лат. *sublimo* — возношу) или **возгонкой**. Возгонкой объясняются запахи, которыми

обладают многие твёрдые тела. Вылетая из твёрдого тела, молекулы образуют над ним газ (или пар), который и создаёт запах. Например, разные сорта древесины имеют различный запах.

Переход вещества из газообразного состояния в твёрдое (минуя жидкое) называется **десублимацией**. Пример десублимации — образование на окнах зимой инея, узоров из кристалликов льда. Данный процесс десублимации может осуществляться только на внутренней поверхности оконного стекла, где молекулы паров воды превращаются в кристаллики льда.

ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ Вещества в ПРИРОДЕ. Учёные считают, что в течение огромного промежутка времени общее количество воды на нашей планете практически постоянно. Однако в разные моменты времени вода находится в различных местах и в различных агрегатных состояниях. Процесс циклического перемещения воды во всех оболочках Земли называется **круговоротом воды в природе**. С поверхности океанов, морей, рек испаряется вода. При охлаждении водяного пара образуются облака, роса, туман, дождь и снег. Реки и озёра зимой замерзают, а весной снег и лёд тают.



- ! Все вещества в зависимости от условий могут находиться в трёх агрегатных состояниях: твёрдом, жидком и газообразном.
- ! Вещества могут переходить из одного агрегатного состояния в другое. Изменение агрегатного состояния вещества всегда связано с выделением или поглощением некоторого количества теплоты.

Выводы

Агрегатные состояния вещества; плавление; кристаллизация; парообразование; конденсация; сублимация; десублимация; круговорот воды в природе

Ключевые слова

1. Какие процессы, связанные с переходом вещества из одного агрегатного состояния в другое, вы знаете?
2. Приведите примеры, когда переход вещества из одного агрегатного состояния в другое используется в практических целях, в быту.

и вопросы задания

§ 19 ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Чем объясняются процессы плавления и отвердевания кристаллических тел.
- Что такое температура плавления и кристаллизации.
- Как выглядит график плавления и отвердевания кристаллических тел.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие агрегатные состояния вещества существуют?
- Каково молекулярное строение твёрдых тел и жидкостей?
- Что происходит с телом при увеличении средней кинетической энергии его молекул?

Многие твёрдые тела имеют кристаллическое строение. Рассмотрим процесс превращения вещества из твёрдого состояния в жидкое — **плавление**, а также обратный процесс — **отвердевание**. Очевидно, для осуществления процесса плавления необходимо сообщить телу некоторое количество теплоты.

ПЛАВЛЕНИЕ ЛЬДА. Рассмотрим следующий опыт. В пробирке будем нагревать лёд, взятый при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Несмотря на то что мы непрерывно нагреваем содержимое пробирки, в течение некоторого времени лёд остаётся в твёрдом состоянии. При этом его температура повышается. Но как только температура льда оказывается равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, её повышение прекращается, хотя спиртовка продолжает гореть. В пробирке появляется вода. Воды становится всё больше, а льда — всё меньше. Как только исчезнут последние кристаллики льда, температура воды начнёт повышаться.



ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ. Для любого вещества существует температура, выше которой это вещество не может находиться в твёрдом состоянии, оно плавится. Температура, при которой вещество плавится, называется **температурой плавления**.

Следовательно, чтобы расплавить кристаллическое тело, необходимо нагреть его до температуры плавления и в дальнейшем сообщать ему энергию до тех пор, пока всё оно постепенно не превратится в жидкость.



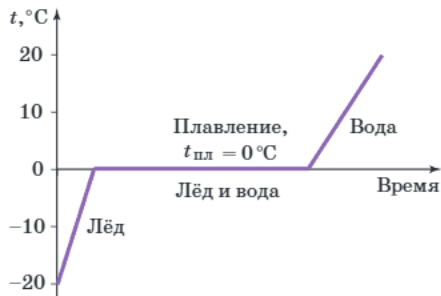
Температуры плавления различных веществ различаются очень сильно. Так, температура плавления азота составляет $-210\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура плавления платины — $1772\text{ }^{\circ}\text{C}$. Металлы, имеющие температуру плавления выше температуры плавления железа ($1539\text{ }^{\circ}\text{C}$), называются **тугоплавкими**. Тугоплавкими являются такие металлы, как титан, вольфрам, осмий, хром и др. Самой большой температурой плавления среди металлов обладает вольфрам ($3422\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Существуют металлы, которые находятся в жидком состоянии при комнатной температуре. Самый известный из них — ртуть, температура плавления которой $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Жидкими являются также галлий, цезий и франций. Франций (Fr) — один из самых редких химических элементов. Его количество на Земле учёными оценивается в 30 г.

Температура плавления твёрдого гелия близка к абсолютному нулю и составляет $-272,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определение температуры плавления может использоваться для выявления примесей в различных веществах, и это используется в отдельных отраслях промышленности. Так, например, в отличие от веществ без примесей, которые плавятся при определённой температуре, плавление веществ, содержащих примеси, происходит в некотором интервале температур, обычно ниже, чем у чистого вещества.

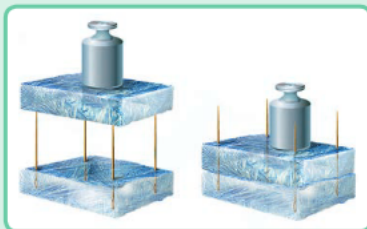
Рассмотрим график зависимости температуры от времени нагревания в опыте, описанном выше. Сначала в течение некоторого времени температура льда повышается от -20 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. После этого лёд начинает плавиться, и температура смеси «лёд + вода» остаётся постоянной до тех пор, пока процесс плавления не завершится. Затем температура образовавшейся воды вновь начинает повышаться.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

А можно ли расплавить лёд при температуре ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Заполним водой небольшую коробочку. Вертикально воткнём в коробочку иголки так, чтобы ушками они касались дна. Заморозим воду в коробочке так, чтобы иголки вмёрзли вертикально в лёд. Теперь на иголки положим кусок льда, а сверху поставим груз и поместим коробочку на мороз. Что мы увидим спустя некоторое время?



Лёд опустился до коробочки, т. е. под давлением лёд плавится даже при отрицательной температуре и иголки проходят насквозь! Например, при давлении $6 \cdot 10^7$ Па температура плавления льда равна $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при давлении $2,2 \cdot 10^8$ Па температура плавления понижается до $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зимой заледеневшие дороги посыпают солью, чтобы лёд начал таять. Дело в том, что температура плавления солёной воды ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Концентрированный раствор соли может не замерзать даже при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПРИРОДА ПЛАВЛЕНИЯ. Что же происходит с молекулами (атомами) вещества при плавлении? В кристаллических телах молекулы расположены в строгом порядке и колеблются около своих положений равновесия. При этом температура тела зависит от скорости движения его молекул. Подводимое тепло приводит как к увеличению средней скорости движения молекул, так и к увеличению амплитуды колебаний относительно их равновесных положений. Следовательно, растёт их средняя кинетическая энергия и повышается температура тела. Отклонение молекул от положения равновесия увеличивается, но кристаллическая структура вещества ещё сохраняется. Когда вещество нагреется до температуры плавления, его температура перестанет расти. Внутренняя энергия теперь увеличивается не за счёт кинетической энергии, а за счёт потенциальной энергии взаимодействия молекул. Таким образом, теперь вся получаемая энергия расходуется на разрушение кристаллической решётки. Вещество плавится и переходит из твёрдого состояния в жидкое. Далее нагревается уже жидкость. При этом увеличивается кинетическая энергия молекул, значит, температура жидкости возрастает.

ОТВЕРДЕВАНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА ОТВЕРДЕВАНИЯ. Переход вещества из жидкого состояния в твёрдое — **отвердевание (кристаллизация)** — происходит в обратном порядке. Вынесем пробирку с водой на мороз. Сначала температура воды понижается. При этом скорость движения молекул уменьшается и их средняя кинетическая энергия понижается. При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ понижение температуры прекращается, хотя внутренняя энергия воды продолжает уменьшаться. Выделяющаяся теплота идёт на нагревание окружающей среды. Силы взаимодействия теперь удерживают медленно движущиеся молекулы, в результате чего формируется кристаллическая решётка.

Данный процесс идёт без изменения температуры вещества. После этого температура получившегося льда начинает уменьшаться до тех пор, пока не сравняется с температурой окружающей среды.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Перед весенними заморозками крестьяне обильно поливали водой грядки с рассадой и закрывали их сверху любым подходящим материалом. Не зная законов физики, наши предки на опыте убеждались в том, что при замерзании воды в окружающее пространство выделяется теплота. Это тепло и предохраняет растения от заморозков.

▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО

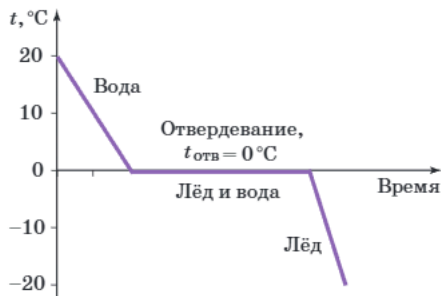
Как образуются ледяные сосульки? В какую погоду образовались сосульки: в оттепель или в мороз? Если в оттепель, то как могла замёрзнуть вода при температуре выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$? Если в мороз, то откуда могла взяться вода на крыше?

Оказывается, для образования сосуллек необходимо, чтобы одновременно происходило два процесса: таяние льда и замерзание воды. Снег на склоне крыши тает, потому что солнечные лучи нагревают его до температуры плавления, а стекающие капли воды у края крыши постепенно замерзают, потому что здесь температура ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Существует температура, ниже которой вещество в жидком состоянии находиться не может, оно отвердевает. Температура, при которой вещество отвердевает, называется **температурой отвердевания** (температура кристаллизации).

Опыты показывают, что для кристаллических тел отвердевание вещества всегда происходит при той же температуре, при которой вещество плавится: $t_{пл} = t_{отв}$.

Процесс отвердевания также можно представить графически. Ниспадающая линия графика показывает, что температура воды уменьшается от +20 до 0 °С. Горизонтальная линия на графике соответствует отвердеванию воды при постоянной температуре 0 °С. Температура смеси «лёд + вода» не изменяется, пока вся вода не превратится в лёд. Затем график убывает, т. е. температура образовавшегося льда продолжает уменьшаться.



Воду, находящуюся в жидком состоянии при отрицательной температуре, называют *переохлаждённой*. Оказывается, переохлаждённую воду можно получить и при нормальном атмосферном давлении. Дело в том, что для кристаллизации необходимы так называемые центры кристаллизации — это мельчайшие взвешенные в воде частицы примесей — солей и других веществ. Поэтому если вода достаточно чистая и в ней отсутствуют центры кристаллизации, то воду можно охладить до температуры $-48,3$ °С. Однако если в такую переохлаждённую воду попадает какая-либо посторонняя частица или если несильно ударить по стенке сосуда, то вода очень быстро превращается в лёд. Капли переохлаждённой воды часто встречаются в облаках. Когда самолёт или другой летательный аппарат пролетает через такое облако, происходит резкая кристаллизация капель воды. Это может привести к обледенению самолёта и неправильной работе приборов.



- ! **Вывод:** Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называется плавлением. Обратный процесс называется кристаллизацией или отвердеванием.
- ! **Вывод:** Температура, при которой вещество плавится, называется температурой плавления. Для кристаллических тел температура плавления равна температуре отвердевания.

ВЫВОДЫ

Плавление; отвердевание; температура плавления

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

1. Какой процесс называют плавлением?
2. На что расходуется энергия, поглощаемая веществом при плавлении?
3. За счёт чего выделяется тепло при отвердевании вещества, если температура тела не понижается?
4. Можно ли в медном сосуде расплавить олово, алюминий, чугун? Обоснуйте свой ответ.

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

§ 20 УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. ПЕРЕХОД АМОРФНЫХ ТЕЛ ИЗ ТвёрДОГО СОСТОЯНИЯ В ЖИДКОЕ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое удельная теплота плавления вещества.
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для плавления тела и выделяемое при его отвердевании.
- Как происходит переход аморфных тел из твёрдого состояния в жидкое.

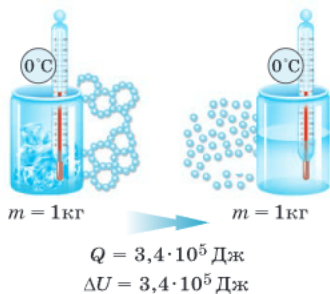
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое плавление и кристаллизация?
- Что такое температура плавления и температура кристаллизации?
- Как выглядит график плавления и отвердевания кристаллических тел?
- Что такое количество теплоты?
- Что такое аморфные тела?

Различные кристаллические вещества имеют разное атомно-молекулярное строение, разные кристаллические решётки. Поэтому различаются и их температуры плавления.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. Для того чтобы разрушить кристаллическую решётку различных веществ, необходимо затратить разную энергию и, следовательно, сообщить веществам разное количество теплоты.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо передать кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкое состояние, называется **удельной теплотой плавления**.



Удельная теплота плавления обозначается греческой буквой λ (читается «лямбда»). Её единица — *джоуль на килограмм* (1 Дж/кг).

Различные вещества имеют разную удельную теплоту плавления. Значения удельной теплоты плавления получены опытным путём. Так, было установлено, что удельная теплота плавления льда равна $3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг. Это означает, что для плавления льда массой 1 кг, взятого при 0°C , и превращения его в воду с такой же температурой требуется затратить $3,4 \cdot 10^5$ Дж энергии. При этом внутренняя энергия получившейся воды увеличится на $3,4 \cdot 10^5$ Дж.

Удельная теплота плавления показывает, на сколько изменяется внутренняя энергия вещества массой 1 кг, взятого при температуре плавления, при его плавлении или отвердевании. Таким образом,

при температуре плавления внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии вещества в твёрдом состоянии.

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛА ПРОИЗВОЛЬНОЙ МАССЫ. Количество теплоты Q , необходимое для плавления кристаллического тела массой m , взятого при температуре плавления и нор-

мальном атмосферном давлении, зависит как от удельной теплоты плавления, так и от массы тела: $Q = \lambda m$.

ВАЖНО

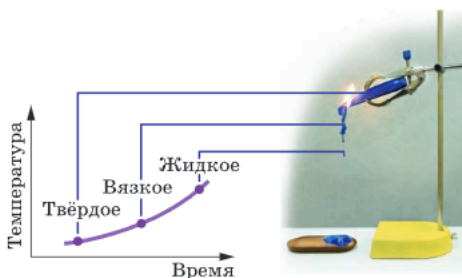
Если обозначить величины: количество теплоты — Q , масса — m и удельная теплота плавления — λ , то **количество теплоты**, необходимое для плавления кристаллического тела при температуре плавления, рассчитывается по формуле

$$Q = \lambda m.$$

Опыты показывают, что количество теплоты, выделяющееся при отверждении и образовании кристаллов, равно количеству теплоты, которое необходимо для их плавления. При этом выделенная энергия передаётся окружающим телам.

ПЕРЕХОД АМОРФНЫХ ТЕЛ ИЗ ТВЁРДОГО СОСТОЯНИЯ В ЖИДКОЕ. Поскольку молекулярное строение аморфных тел отличается от строения кристаллических тел, то их переход из твёрдого состояния в жидкое происходит иначе, чем плавление кристаллических тел. В строении аморфных тел отсутствует кристаллическая структура, поэтому для их плавления не требуется дополнительная энергия для разрыва межмолекулярных связей, как в случае плавления кристаллических тел. Температура аморфных тел при этом изменяется непрерывно. Следовательно, **аморфные тела не обладают определённой температурой плавления.**

При нагревании аморфные тела постепенно размягчаются, превращаясь в жидкость. При обратном процессе — отверждении аморфных тел — температура также изменяется непрерывно, но при этом уменьшается.



! Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо передать кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкое состояние, называется удельной теплотой плавления.

! Аморфные тела не обладают определённой температурой плавления.

Удельная теплота плавления; количество теплоты, необходимое для плавления тела; переход аморфных тел из твёрдого состояния в жидкое

ВЫВОДЫ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. За счёт чего внутренняя энергия расплава, взятого при температуре плавления, больше внутренней энергии того же вещества в твёрдом состоянии?
2. Как вычислить количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела, взятого при температуре плавления?
3. Чем отличается переход аморфного тела из твёрдого состояния в жидкое от плавления кристаллического тела?

§ 21 ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ. НАСЫЩЕННЫЙ ПАР

НОВОЕ В УРОКЕ

- Какие виды парообразования существуют.
- Что такое испарение.
- От каких факторов зависит скорость испарения.
- Что такое динамическое равновесие.
- Что такое насыщенный и ненасыщенный пар.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое парообразование?
- Что такое конденсация?

Нам всем хорошо известно, что роса, появившаяся утром на траве, к полудню исчезает, лужи после дождя высыхают, уровень воды в реках и озёрах летом уменьшается. Жидкость в открытом сосуде со временем постепенно убывает. Однако молекулы жидкости не могут исчезнуть бесследно, просто жидкость превращается в пар.

ВИДЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ. Существует два способа перехода вещества из жидкого состояния в газообразное: *испарение* и *кипение*.

ИСПАРЕНИЕ. Парообразование, происходящее с поверхности жидкости, называется **испарением**.

Почему жидкость испаряется? Известно, что молекулы жидкости находятся в состоянии непрерывного и хаотического движения. При этом молекулы имеют различные скорости движения и, следовательно, разные кинетические энергии. Когда у поверхности жидкости оказывается молекула с относительно большой скоростью, она может преодолеть силы притяжения соседних молекул и вылететь из жидкости. Молекулы, покинувшие поверхность жидкости, образуют над ней пар.

Это и есть процесс испарения жидкости.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Наблюдать процесс испарения воды можно с помощью простейшего оборудования. Для этого следует воспользоваться мензуркой, в которую налита вода, и линейкой. Зафиксировав первоначальный уровень воды в мензурке, измерьте линейкой понижение (в мм) уровня за всё время наблюдения. Поделив далее значение понижения уровня воды на всё время наблюдения, можно оценить скорость (в мм/с) понижения уровня воды.

СКОРОСТЬ ИСПАРЕНИЯ. Из повседневной жизни известно, что лужи после дождя высыхают и в прохладную погоду, и в жару. Однако в одном случае испарение происходит медленнее, в другом — быстрее. Почему? В жидкости всегда имеются молекулы, кинетическая энергия которых больше кинетической энергии других молекул, поэтому испарение происходит при любой температуре. Однако есть несколько факторов, влияющих на скорость испарения. Это температура, площадь поверхности жидкости, движение воздуха (ветер) и род жидкости.

Чем выше температура жидкости, тем больше средняя скорость движения молекул и тем больше молекул, у которых кинетическая энергия достаточна для того, чтобы преодолеть притяжение соседних молекул и вылететь с поверхности жидкости. Так как жидкость могут покинуть только те молекулы, которые находятся

у самой поверхности, то чем больше площадь испаряемой поверхности, тем большее количество молекул покидают жидкость.

Молекула, вылетевшая из жидкости, двигаясь хаотично над поверхностью жидкости, может изменить направление своего движения и вернуться обратно. Если дует ветер, который уносит эти молекулы, то испарение жидкости происходит быстрее.

Если листки бумаги смочить эфиром, водой и маслом, то можно заметить, что эфир испаряется значительно быстрее, чем вода, а вода — быстрее, чем масло. Это связано с тем, что между молекулами эфира силы взаимодействия меньше, чем между молекулами воды или масла. Поэтому большее число молекул эфира способно преодолеть силы притяжения и покинуть поверхность жидкости. Следовательно, чем меньше силы взаимодействия между молекулами жидкости, тем быстрее происходит процесс испарения.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

В жару лужи высыхают быстрее, потому что средняя кинетическая энергия молекул больше и большее их количество покидает жидкость. Расправленное мокрое полотенце высыхает быстрее, чем скомканное, из-за разницы в площади поверхности. А в ветреную погоду мокрые вещи высыхают быстрее из-за того, что ветер уносит водяные пары в сторону.

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПАРЕНИИ. Поскольку при испарении жидкость покидают молекулы, обладающие повышенной кинетической энергией, то средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. Следовательно, внутренняя энергия испаряющейся жидкости также уменьшается, что приводит к понижению её температуры.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Проведём следующий опыт. Конец термометра обмотаем ватой, смоченной эфиром (или водой). При этом показания термометра начнут уменьшаться, что свидетельствует о понижении температуры испаряющейся жидкости.



Из-за охлаждения жидкости при испарении человек в мокрой одежде мёрзнет, а в сухой нет. По этой же причине, выходя из воды, мы чувствуем прохладу даже в самый жаркий день.



Испарение играет важную роль в жизни растений, животных и человека. Вода вместе с минеральными веществами поступает в растения через корни. А лишняя влага испаряется с поверхности листьев, стеблей или цветков. В жаркую погоду человек потеет — жидкость, содержащаяся в организме человека, выходит наружу, в результате температура тела уменьшается. Собака высовывает язык, чтобы увеличить испарение и избежать перегрева.



КОНДЕНСАЦИЯ. Одновременно с испарением происходит и обратный процесс — переход части молекул пара в жидкость. Явление превращения пара в жидкость называется **конденсацией**.

Конденсация пара сопровождается выделением энергии.

Прохладным летним утром мы можем видеть *росу*. Ночью, когда воздух становится холоднее, водяной пар, находящийся в воздухе, конденсируется и маленькие капельки воды оседают на траве и листьях. Выпадает **роса**.

Облака образуются также в процессе конденсации. Они состоят из маленьких капелек воды, в которые превратились водяные пары, поднявшиеся над землёй и попавшие в верхние, более холодные слои атмосферы.

Процесс конденсации водяных паров можно наблюдать непосредственно. Для этого над кастрюлей с кипящей водой достаточно в течение короткого времени подержать холодную крышку. Тогда на ней сразу же начнут образовываться капли воды.



Когда водяной пар, находящийся в воздухе, вступает в контакт с более холодной поверхностью, вода превращается из газа в жидкость и собирается на холодной поверхности. Этот факт знали люди ещё в глубокой древности. В некоторых засушливых районах археологи нашли сооружения в виде пирамиды из камней. Воздух, проходя через камни, охлаждался в ночные часы. Подставив внутрь каменной пирамиды ёмкость, можно было собирать конденсат.

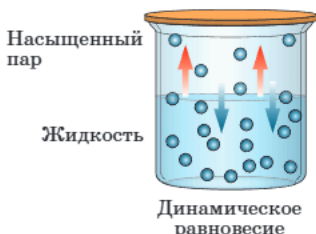
Современные технологии позволяют создавать генераторы для конденсации воды из воздуха. На космических станциях устанавливается специальная аппаратура, которая конденсирует влагу из воздуха, а полученная вода используется повторно для нужд экипажа. Вода из конденсата по составу близка к дистиллированной воде (в ней низкое содержание минеральных веществ). Такую воду не рекомендуется пить, но она хорошо подходит для полива растений.

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ И НАСЫЩЕННЫЙ ПАР. Когда сосуд открыт, процесс испарения происходит быстрее, чем обратный процесс конденсации. При этом масса жидкости в сосуде уменьшается.

Если же испарение происходит в закрытом сосуде, то после того, как сосуд закрыли, число молекул, покидающих поверхность жидкости в единицу времени, будет больше числа молекул, возвращающихся обратно. При этом плотность паров жидкости в сосуде будет увеличиваться.

С увеличением числа молекул пара над поверхностью жидкости возрастает также число молекул, возвращающихся обратно в жидкость. Через некоторое время количество вылетающих из жидкости и возвращающихся в неё молекул сравняется. Наступает **динамическое равновесие** между жидкостью и паром, когда число молекул пара над жидкостью становится постоянным. При динамическом равновесии масса жидкости в закрытом сосуде не изменяется, хотя процесс испарения продолжается.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным**. При этом плотностью насыщенного пара называют массу водяных паров, содержащихся в одном кубическом метре при данной температуре.



Если нагреть закрытый сосуд с водой и насыщенным паром, число молекул, способных покинуть жидкость, увеличится, и динамическое равновесие нарушится. Но через некоторое время равновесие восстановится, при этом плотность насыщенного пара увеличится.

Пар, не находящийся в состоянии равновесия со своей жидкостью, называется **ненасыщенным**. В этом случае возможно дальнейшее испарение жидкости.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

На промышленных установках насыщенный пар получают путём повышения давления и увеличения температуры. Например, при давлении 4 атмосферы температура насыщенного пара будет около 160 °С. Пар с такими параметрами позволяет быстро очищать поверхности от снега и наледи на строительных площадках, проводить дезинфекцию пищевой тары и ёмкостей и т. п.

ВЫВОДЫ

- ! Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется парообразованием. Обратный процесс называется конденсацией. Существует два способа перехода вещества из жидкого состояния в газообразное: испарение и кипение.
- ! Динамическое равновесие между жидкостью и паром — это состояние, при котором число молекул пара над жидкостью постоянно.
- ! Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным.

Парообразование; испарение; кипение; скорость испарения; конденсация; динамическое равновесие; насыщенный пар

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Какие факторы влияют на скорость испарения?
2. Когда наступает динамическое равновесие между паром и жидкостью?
3. Какой пар называют насыщенным?
4. Почему вывешенное на улице после стирки бельё или скошенная трава быстрее высыхают в ветреную погоду, чем в безветренную?
5. При испарении жидкости её температура понижается. Почему же летом вода при испарении не замерзает в открытых водоёмах?
6. Летом после жаркого дня вечером или ночью над рекой часто образуется туман. Объясните причину этого явления.
7. Почему зимой при входе с улицы в тёплое помещение стёкла очков запотевают?

§ 22 КИПЕНИЕ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое кипение.
- Что такое температура кипения.
- От чего зависит температура кипения.

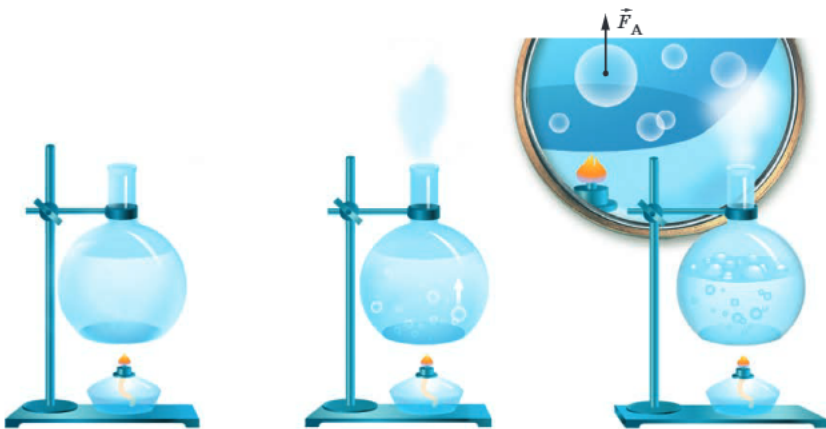
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое парообразование?
- Какие существуют способы парообразования?
- Как происходит испарение?

Существует два способа парообразования: испарение и кипение. Процесс испарения был рассмотрен в предыдущем параграфе. Теперь обсудим процесс кипения.

КИПЕНИЕ ВОДЫ. Рассмотрим, как изменяется температура воды в процессе её нагревания в открытом прозрачном сосуде, и проследим за изменением состояния воды в сосуде.

На начальном этапе по мере повышения температуры усиливается испарение воды. Иногда можно увидеть лёгкий туман над поверхностью воды. Этот туман состоит из мельчайших капелек воды, образовавшихся в воздухе над сосудом благодаря конденсации.



При дальнейшем нагревании мы заметим, что на дне и стенках сосуда появляются маленькие пузырьки. Это пузырьки воздуха, который всегда растворён в воде. При нагревании излишек воздуха выделяется из воды в виде пузырьков.

По мере нагревания вода начинает испаряться не только с поверхности жидкости, но и внутри пузырьков, образуя насыщенный пар. Давление внутри пузырьков воздуха возрастает, и пузырьки увеличиваются в объёме.

С увеличением размеров пузырьков возрастает и архимедова сила, выталкивающая их из воды. Пузырьки отрываются от дна и стенок сосуда и поднимаются вверх.

Пока вся вода не прогрелась, в верхних, более холодных её слоях часть водяного пара внутри пузырьков конденсируется и превращается в воду. При этом давление внутри пузырьков уменьшается, что приводит к их сжатию вплоть до полного исчезновения.

Процессы быстрого роста и схлопывания всё новых пузырьков сопровождаются характерным шумом, обычно предшествующим кипению.

Когда же вода прогревается во всём сосуде, те пузырьки, которые поднимаются к поверхности жидкости, уже не сжимаются, а, наоборот, продолжают расширяться. Достигнув поверхности жидкости, пузырьки лопаются, и пар выходит наружу. Возникает характерное бульканье — *вода кипит*.

ВАЖНО

Кипение — это интенсивное парообразование, происходящее по всему объёму жидкости при определённой температуре.

ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ. В отличие от испарения, которое происходит при любой температуре, кипение жидкости происходит при определённой температуре.

Температура, при которой жидкость кипит, называется **температурой кипения**.

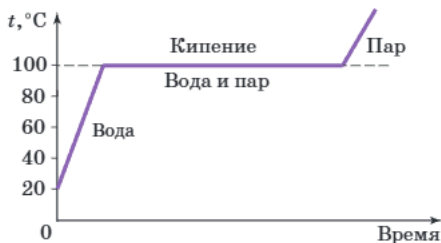
Во время кипения температура жидкости не меняется.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Температуры кипения различных веществ различаются очень сильно. Например, при нормальном атмосферном давлении температура кипения водорода составляет $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура кипения эфира — $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура кипения железа — $2750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

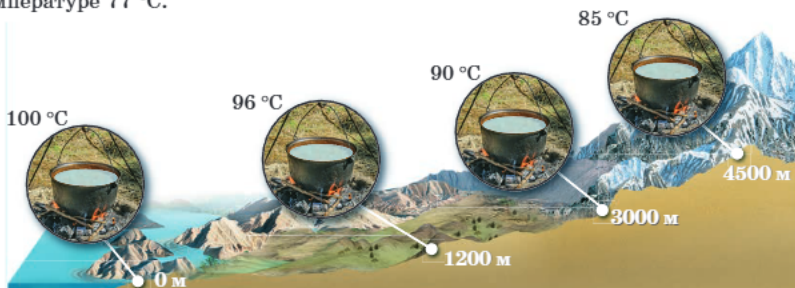
ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ ВРЕМЕНИ.

Построим график зависимости температуры от времени нагревания в рассмотренном выше опыте. Сначала вода нагревается от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Горизонтальная часть графика соответствует кипению воды. В этом процессе вода превращается в пар, температура смеси «вода + пар» остаётся постоянной. Когда вся вода превратится в пар, температура пара начинает повышаться.



ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ. Температура кипения конкретного вещества зависит от атмосферного давления. Для того чтобы в процессе кипения пузырьки не исчезали, давление внутри них должно быть равно атмосферному давлению. Но давление насыщенного пара существенно зависит от температуры. Поэтому при повышении атмосферного давления температура кипения увеличивается, а при понижении — уменьшается.

При подъёме в горы атмосферное давление понижается, поэтому уменьшается температура кипения воды (приблизительно на 1°C на каждые 300 м высоты). Так, на высоте 7000 м давление составляет примерно 41 кПа, и вода кипит при температуре 77°C .



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Выдающийся российский путешественник и натуралист Н. М. Пржевальский, открывший несколько хребтов в горах Центральной Азии, вычислял высоту горы по специальным таблицам, измеряя температуру кипения воды.

Температуру кипения жидкости можно повысить, растворив в ней некоторые вещества. Например, если в воде растворить соль, то температура кипения получившегося раствора будет больше 100°C .

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

В обычной воде находятся мельчайшие пузырьки воздуха. При нагревании они становятся центрами парообразования, и вода закипает. В хорошо отфильтрованной или дистиллированной воде, находящейся в гладкой ёмкости без шероховатостей, пузырьки воздуха отсутствуют и центров парообразования нет. Такую воду можно нагреть до температуры, значительно превышающей 100°C , без закипания. При этом получается так называемая *перегретая жидкость*. При небольшом толчке или попадании в воду постороннего предмета она начинает интенсивно кипеть.

Перегрев воды бывает в микроволновой печи. Поэтому следует соблюдать осторожность — даже если вода выглядит некипящей, её температура может быть выше 100°C .

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Повышение температуры кипения при увеличении давления используется в *скороварке* — кастрюле с герметично закрывающейся крышкой. При нагреве на плите давление пара в ней достигает 200 кПа, а температура кипения воды — 120°C . При такой температуре приготовление пищи происходит намного быстрее. Чтобы сбрасывать избыток давления, в скороварке предусмотрен клапан, через который выпускают пар в процессе приготовления пищи или перед тем, как открыть крышку. Скороварки необходимы жителям горных районов, где пониженное атмосферное давление. Так как температура кипения воды в горах ниже 100°C , продукты долго готовятся или могут быть недоварены.

Скороварку изобрёл в 1679 г. французский физик Дени Папен.



ОПЫТ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЙ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ ВОДЫ ОТ ДАВЛЕНИЯ.

Установим на штативе закрытую колбу с водой. При помощи горелки доведём воду в колбе до кипения. При выключении горелки кипение воды в колбе прекращается.

Теперь при выключенной горелке перевернём колбу и положим сверху кусок льда. Вода в колбе снова закипает.

Что же произошло? Почему вода закипела? Когда мы перевернули колбу и положили сверху лёд, мы тем самым понизили температуру воздуха внутри колбы. Как известно, при понижении температуры молекулы газа движутся медленнее, тем самым оказывая меньшее давление на стенки сосуда, а с понижением давления температура кипения понижается. Если при нормальных условиях вода кипела при 100 °С, то при понижении давления достаточно более низкой температуры.

В нашем случае вода после выключения горелки перестала кипеть, так как успела немного остыть, но этой температуры было достаточно, чтобы вода вновь закипела при пониженном давлении.

Проведение данного опыта требует соблюдения дополнительных мер предосторожности.

Проверьте, что вода может кипеть при температуре ниже 100 °С.



ПОМОЩНИК

- Вам понадобится шприц на 5 мл и горячая вода. Налейте горячую воду из-под крана в шприц. Одним пальцем закройте «носик» шприца, а другой рукой оттягивайте поршень. Объясните, почему вода в шприце начинает кипеть при температуре ниже 100 °С. Проверьте, при какой минимальной температуре вода закипит при таком способе проведения опыта.

- ! Кипение — это интенсивное парообразование, происходящее по всему объёму жидкости при определённой температуре.
- ! Температура, при которой жидкость кипит, называется температурой кипения.
- ! Температура кипения зависит от давления окружающей среды.

ВЫВОДЫ

Парообразование; кипение; температура кипения

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

1. Почему для приготовления пищи используют скороварки, в которых процесс кипения происходит при повышенном давлении?
2. Можно ли добиться кипения воды, не прибегая к её нагреванию?
3. Назовите сходства и различия между процессами кипения и испарения.
4. Можно ли в запаянном сосуде кипятить воду? Объясните свой ответ.

И ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

§ 23 УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

НОВОЕ В УРОКЕ

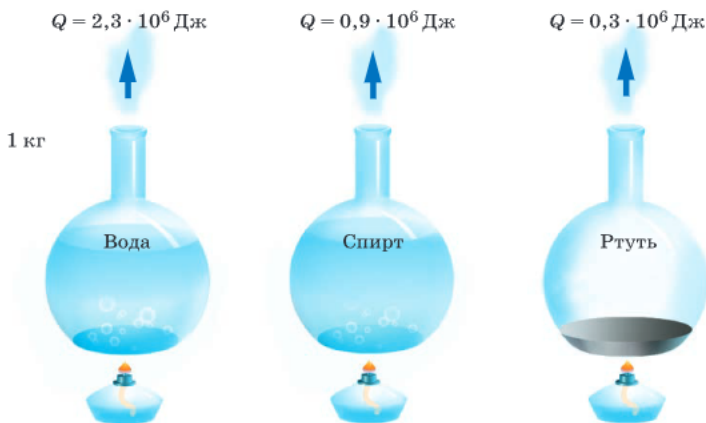
- Что такое удельная теплота парообразования.
- Как вычислить количество теплоты, необходимое для парообразования или выделяющееся при конденсации.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое парообразование?
- Что такое кипение?
- Что такое температура кипения?

Если после закипания воды выключить нагреватель, то кипение сразу же прекратится. Чтобы вода не переставала кипеть, её температура не должна уменьшаться, т. е. вода должна получать достаточное количество теплоты.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ. Для перехода разных веществ из жидкого состояния в газообразное требуется разное количество теплоты. Так, опытным путём было установлено, что для превращения в пар 1 кг воды при температуре 100 °С требуется $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии. Чтобы превратить в пар спирт массой 1 кг при его температуре кипения, требуется $0,9 \cdot 10^6$ Дж энергии.



Для превращения в пар 2 кг воды при температуре 100 °С необходимо передать вдвое большее количество теплоты, чем в случае испарения 1 кг воды, т. е. $4,6 \cdot 10^6$ Дж. Аналогично для превращения в пар спирта массой 2 кг при температуре кипения потребуется $1,8 \cdot 10^6$ Дж энергии.

Таким образом, количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при температуре кипения, пропорционально массе жидкости.

Количество теплоты зависит также от рода жидкости. Поэтому формулу для определения количества теплоты, необходимого для превращения жидкости массой m в пар при температуре кипения, следует записать в виде:

$$Q = Lm, \quad (1)$$

где L — некоторая величина, характеризующая тепловые свойства жидкости.

Обсудим физический смысл величины L . Если массу жидкости принять равной единице, то согласно формуле (1) величина L будет численно равна количеству теплоты, необходимому для превращения в пар жидкости массой 1 кг при температуре кипения:

$$L = \frac{Q}{m}. \quad (2)$$

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо для превращения в пар жидкости массой 1 кг при постоянной температуре, называется **удельной теплотой парообразования**.

Удельную теплоту парообразования обозначают буквой L . Её единица — **джоуль на килограмм** (Дж/кг).

Таким образом, если для превращения воды массой 1 кг в пар при температуре $100\text{ }^\circ\text{C}$ требуется затратить $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии, то удельная теплота парообразования воды равна $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. При этом затраченная энергия пойдёт на увеличение внутренней энергии вещества.

Удельная теплота парообразования показывает, на сколько увеличивается внутренняя энергия вещества массой 1 кг при переходе из жидкого состояния в газообразное при температуре кипения. Таким образом,

при температуре кипения внутренняя энергия вещества в газообразном состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в жидком состоянии.

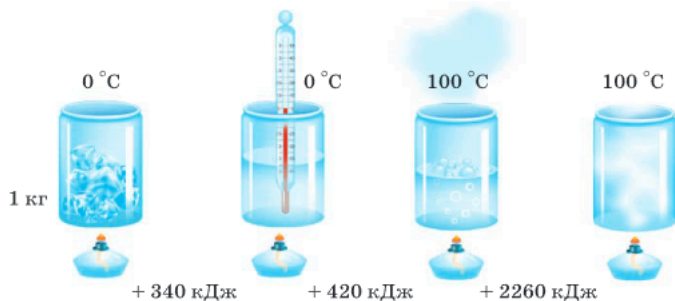
ВАЖНО

Если обозначить величины: количество теплоты — Q , масса — m и удельная теплота парообразования — L , то **количество теплоты**, необходимое для превращения жидкости в пар при температуре кипения, рассчитывается по формуле

$$Q = Lm.$$

Энергия, необходимая для перехода вещества из жидкого состояния в газообразное, значительно превышает энергию, необходимую для нагревания этого вещества до температуры кипения, или энергию, необходимую для плавления этого вещества.

Например, для плавления 1 кг льда с температурой $0\text{ }^\circ\text{C}$ требуется 340 кДж энергии. Для нагревания полученной воды массой 1 кг от 0 до $100\text{ }^\circ\text{C}$ необходимо уже 420 кДж. А для того чтобы превратить эту воду в пар с той же температурой $100\text{ }^\circ\text{C}$, требуется 2260 кДж ($2,3 \cdot 10^6$ Дж) энергии.



ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ. Если водяной пар соприкасается с холодными предметами, происходит его конденсация. При этом пар отдаёт то же количество теплоты, которое пошло на его образование. Например, если для превращения 1 кг воды в пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ требуется затратить $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии, то при конденсации 1 кг водяного пара при той же температуре выделяется точно такое же количество теплоты.



График зависимости температуры от времени для процесса конденсации пара и охлаждения воды выглядит симметрично процессу нагревания и кипения. Водяной пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ конденсируется, превращаясь в воду. Затем образовавшаяся вода остывает.



В различных технических установках и промышленных системах применяются конденсаторы, в которых газообразные вещества путём охлаждения переходят в жидкое состояние. Например, конденсаторы в холодильниках служат для перехода паров хладагентов в жидкое состояние, при этом теплота от продуктов отводится в окружающую среду. Аналогично работают конденсаторы в кондиционерах. Конденсаторы также применяются на тепловых и атомных электростанциях. Горячий пар, поступающий в конденсатор, охлаждается проточной водой, текущей по трубам (пар и вода не смешиваются), в результате пар превращается в воду, а выделившаяся энергия идёт на нагревание проточной воды, которая в дальнейшем может использоваться для отопления.

Выводы

- ! Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо для превращения в пар жидкости массой 1 кг при постоянной температуре, называется удельной теплотой парообразования.
- ! При температуре кипения внутренняя энергия вещества в газообразном состоянии больше внутренней энергии такой же массы вещества в жидком состоянии.

Ключевые слова

Парообразование; удельная теплота парообразования; количество теплоты для превращения жидкости в пар

и вопросы задания

1. Как вычислить количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости произвольной массы, взятой при температуре кипения?
2. Почему ожог горячим паром гораздо опаснее ожога водой той же температуры?
3. Почему если мокрым пальцем быстро коснуться горячего утюга, то жжения не чувствуется?
4. Чем более эффективно тушить огонь — кипятком или холодной водой?

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА § 24

НОВОЕ В УРОКЕ

Воздух, окружающий нас, всегда содержит водяные пары, возникающие вследствие испарения воды с поверхности водоёмов и суши. Количество пара, содержащегося в атмосфере, играет очень важную роль для жизни на Земле, в том числе оказывает влияние на самочувствие человека.

- Что такое относительная влажность воздуха и как её определить.
- Что такое точка росы.
- Какие приборы используют для определения влажности воздуха.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое парообразование?
- Как происходит испарение?
- Что такое насыщенный и ненасыщенный пар?

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В ВОЗДУХЕ. На уроках географии вы узнали о сухом и влажном климате. Если в воздухе содержится мало водяных паров, то это создаёт чувство сухости во рту, одежда электризуется и липнет к телу. Если же водяной пар, содержащийся в воздухе, наоборот, почти насыщен, то при малейшем понижении температуры наступает конденсация пара, выпадают атмосферные осадки в виде росы или тумана.

Содержание водяного пара в воздухе — важная характеристика погоды и климата. Чем выше температура воздуха, тем больше в нём может быть пара. Так, при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ воздух объёмом 1 м^3 может содержать 17 г водяного пара.

В зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, воздух бывает различной степени влажности.

Влажность воздуха характеризуется несколькими показателями.

АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ. Абсолютная влажность (от лат. *absolut* — полный) ρ показывает, сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объёмом 1 м^3 , т. е. плотность водяного пара, находящегося в воздухе.

Показатель абсолютной влажности принято выражать в граммах на кубический метр. В экваториальных широтах абсолютная влажность воздуха может достигать 30 г/м^3 . К полюсам показатель снижается до 1 г/м^3 .

По значению абсолютной влажности воздуха трудно сказать, сухой этот воздух или влажный. Чтобы судить о степени влажности воздуха, важно знать, насколько содержащийся в нём пар близок к состоянию насыщения. Для этого вводится понятие *относительной влажности воздуха*.

ВАЖНО

Относительной влажностью φ воздуха называется отношение абсолютной влажности ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%.$$

Например, относительная влажность воздуха равна 50 %. Это значит, что воздух содержит 50 % того количества водяного пара, который он максимально может содержать при данной температуре.

Считается, что наиболее благоприятная относительная влажность при средних климатических условиях составляет 40—60 %. Отклонение от нормы может вызывать дискомфорт.

В окружающей нас природе не бывает воздуха без водяных паров, т. е. на Земле нет места, где была бы зарегистрирована нулевая относительная влажность. Наибольшая относительная влажность воздуха — 100 % — бывает при тумане.

ТОЧКА РОСЫ. Если влажный воздух охлаждать, то при некоторой температуре находящийся в нём пар станет насыщенным. При дальнейшем охлаждении водяной пар начнёт конденсироваться, выпадет роса, образуется туман.

Температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется **точкой росы**.

Точка росы также характеризует влажность воздуха. Чем выше относительная влажность воздуха, тем точка росы ближе к температуре окружающей среды. Так как при 100 %-ной влажности воздух содержит насыщенный водяной пар, то в этом случае точка росы равна температуре окружающей среды.



Точка росы является важной характеристикой в метеорологии и авиации. Пилоты используют данные о точке росы для определения погодных условий при полёте, вероятности образования тумана и облаков, оценки видимости, а также для вычисления рисков, связанных с обледенением.

Во многих областях промышленности используются пневматические устройства, работающие на сжатом воздухе. В этих системах важно постоянно контролировать точку росы и относительную влажность воздуха. Высокая точка росы и повышенная влажность могут приводить к конденсации водяных паров и, как следствие, к коррозии и ржавчине деталей.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ. Для определения влажности воздуха используют такие приборы, как *гигрометр* и *психрометр*.

Гигрометры бывают двух видов — *конденсационные* и *волосные*.



Конденсационный гигрометр

Конденсационный гигрометр позволяет определить абсолютную влажность воздуха по точке росы. Он представляет собой металлическую коробочку. Её передняя стенка хорошо отполирована.

В коробочку наливают легко испаряющуюся жидкость, например эфир. При испарении эфира происходит охлаждение стенок гигрометра, и при достижении точки росы на полированной поверхности появляются капли росы. Это говорит о том, что пар стал насыщенным. Для более точного определения момента начала конденсации к коробочке прикреплено отполированное металлическое кольцо на теплоизолирующей прокладке.

Температуру гигрометра измеряют термометром. Из таблицы зависимости плотности насыщенного водяного пара от температуры определяют абсолютную влажность воздуха.

Для ускорения процесса испарения эфира через него с помощью груши продувают воздух.

Действие **волосного гигрометра** основано на свойстве конского волоса изменять свою длину при изменении влажности воздуха: он удлиняется при увеличении уровня влажности и укорачивается при его уменьшении.

В гигрометре один конец волоса прикреплен к раме в верхней части прибора, другой конец волоса обернут вокруг ролика и натянут при помощи специально подобранного груза. К ролику прикреплена стрелка. При увеличении относительной влажности воздуха волос удлиняется и вызывает вращение ролика вместе со стрелкой. Передвигаясь по шкале, она указывает значение влажности воздуха, выраженное в процентах.



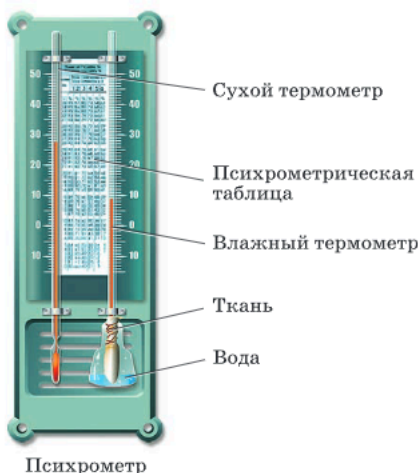
Волосной гигрометр

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Известно, что в Древнем Китае, примерно 3 тысячи лет назад, сухой воздух или влажный определяли путём взвешивания пластов древесного угля. В сухом воздухе древесный уголь был лёгким, во влажном воздухе — более тяжёлым.

Первый простейший гигрометр был изобретён в 1480 г. великим итальянским учёным и инженером Леонардо да Винчи. Гигрометр Леонардо представлял собой рычажные весы, на чашах весов были уравновешены воск и вата. При увеличении влажности воздуха вата впитывала влагу и равновесие весов нарушалось.

В 1783 г. швейцарский физик де Сосюр сконструировал гигрометр, использующий человеческий волос для измерения влажности.



Рассмотрим теперь устройство и принцип действия психрометра. Он состоит из двух термометров. Один из них (сухой) показывает температуру воздуха, а другой (влажный) — температуру ткани, смоченной водой.

С поверхности влажной ткани испаряется вода, в результате её температура понижается. Скорость испарения зависит от температуры и влажности воздуха. Чем меньше паров в воздухе, тем интенсивнее идёт процесс испарения и тем ниже температура влажного термометра.

С помощью специальной таблицы, называемой *психрометрической*, по разности показаний сухого и влажного термометров определяют относительную влажность воздуха.

ВЫВОДЫ

- ! Относительной влажностью воздуха φ называется отношение абсолютной влажности ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах.
- ! Температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется точкой росы.
- ! Для определения влажности воздуха используют гигрометры и психрометры.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Влажность воздуха; абсолютная влажность; относительная влажность; гигрометр; психрометр

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Почему жару гораздо труднее переносить при высокой влажности?
2. На чём основано действие гигрометра и психрометра?
3. Какова относительная влажность воздуха, если показания сухого и влажного термометров одинаковы?
4. В ходе исследования было установлено, что абсолютная влажность воздуха увеличилась, а относительная влажность — уменьшилась. Как при этом изменилась температура воздуха?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 25



- ЗАДАЧА 1. Какое количество теплоты необходимо, чтобы превратить 400 г льда, взятого при температуре -20°C , в воду с температурой $+20^\circ\text{C}$? Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплоёмкость льда $2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда $340 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Дано:

$$m = 400 \text{ г}$$

$$t_{\text{л}} = -20^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$$

$$t = 0^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$$

$$c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$$

$$\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$Q = ?$

СИ

$$0,4 \text{ кг}$$

Решение.

Общее количество теплоты $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$, где Q_1 — количество теплоты, необходимое для нагревания льда от -20°C до температуры плавления (0°C): $Q_1 = c_{\text{л}}m(t - t_{\text{л}})$;

Q_2 — количество теплоты, необходимое для плавления льда: $Q_2 = \lambda m$;

Q_3 — количество теплоты, необходимое для нагревания воды от 0 до 20°C : $Q_3 = c_{\text{в}}m(t_{\text{в}} - t)$.

$$Q = c_{\text{л}}m(t - t_{\text{л}}) + \lambda m + c_{\text{в}}m(t_{\text{в}} - t).$$

$$Q = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}) \cdot 0,4 \text{ кг} \cdot (0^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C})) + 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot 0,4 \text{ кг} + 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}) \cdot 0,4 \text{ кг} (20^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 186\,400 \text{ Дж} = 186,4 \text{ кДж}.$$

Ответ: 186,4 кДж.

- ЗАДАЧА 2. Какое количество энергии необходимо для превращения в пар воды массой 3 кг, взятой при температуре 10°C ? Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота парообразования $2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$Q = ?$

Решение.

Общее количество теплоты $Q = Q_1 + Q_2$,

где Q_1 — количество теплоты, необходимое для нагревания воды от 10°C до 100°C : $Q_1 = cm(t_2 - t_1)$, а Q_2 — количество теплоты, необходимое для превращения воды в пар без изменения её температуры: $Q_2 = Lm$.

$$Q = cm(t_2 - t_1) + Lm.$$

$$Q = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}) \cdot 3 \text{ кг} (100^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) + 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot 3 \text{ кг} = 8,034 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Ответ: $8,034 \cdot 10^6 \text{ Дж}$, или 8034 кДж.

- ЗАДАЧА 3. В калориметр, в котором находилась вода массой 0,3 кг при температуре 40°C , опустили кусок таящего льда. Через некоторое время весь лёд растаял, и температура воды стала равна 25°C . Определите

массу куска льда. Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда $340 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Дано:

$$\begin{aligned} m_{\text{в}} &= 0,3 \text{ кг} \\ t_1 &= 40^\circ\text{C} \\ t_2 &= 25^\circ\text{C} \\ t &= 0^\circ\text{C} \\ c &= 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \\ \lambda &= 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг} \end{aligned}$$

$m_{\text{л}} - ?$

Решение.

Согласно уравнению теплового баланса, количество теплоты $Q_{\text{в}}$, отданной водой при охлаждении, равно по модулю количеству теплоты $Q_{\text{л}}$, необходимой для плавления льда и нагревания образовавшейся воды до 25°C :

$$|Q_{\text{в}}| = Q_{\text{л}}, \text{ или } Q_{\text{л}} = -Q_{\text{в}}.$$

$$Q_{\text{в}} = Q_1 + Q_2,$$

$$Q_1 = \lambda m_{\text{л}},$$

$$Q_2 = cm_{\text{л}}(t_2 - t).$$

$$Q_{\text{в}} = cm_{\text{в}}(t_1 - t_2).$$

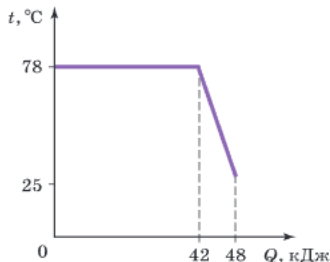
$$cm_{\text{л}}(t_2 - t) + \lambda m_{\text{л}} = cm_{\text{в}}(t_1 - t_2).$$

$$m_{\text{л}} = \frac{cm_{\text{в}}(t_1 - t_2)}{c(t_2 - t) + \lambda}.$$

$$\begin{aligned} m_{\text{л}} &= \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,3 \text{ кг} \cdot (40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) + 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx \\ &\approx 0,042 \text{ кг} = 42 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: 42 г.

- ЗАДАЧА 4. На рисунке изображён график зависимости температуры от выделенного количества теплоты для следующего процесса: пары спирта массой $0,05 \text{ кг}$ при температуре 78°C конденсируются и образовавшийся спирт охлаждается до 25°C . Определите по этим данным удельную теплоту парообразования и удельную теплоёмкость спирта.



Дано:

$$\begin{aligned} t(Q) \\ m &= 0,05 \text{ кг} \\ t_1 &= 78^\circ\text{C} \\ t_2 &= 25^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$L - ?$
 $c - ?$

Решение.

Пары спирта находятся при температуре 78°C , что является температурой кипения спирта.

Количество теплоты, выделяющееся при конденсации, $|Q_1| = Lm$. Согласно графику, $Q_1 = 42 \text{ кДж} = 42000 \text{ Дж}$.

$$\text{Получим: } L = \frac{Q_1}{m}, \quad L = \frac{42000 \text{ Дж}}{0,05 \text{ кг}} = 84 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{кг}.$$

При охлаждении спирта от 78°C до 25°C тепло выделяется.

Количество теплоты $Q_2 = cm(t_2 - t_1)$.

Из графика видно, что $|Q_1| + |Q_2| = 48 \text{ кДж}$,

откуда $|Q_2| = 6 \text{ кДж} = 6000 \text{ Дж}$.

$$\text{Тогда } c = \frac{-|Q_2|}{m(t_2 - t_1)}, \quad c = \frac{6000 \text{ Дж}}{0,05 \text{ кг}(78^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}.$$

Ответ: $84 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{кг}$; $2,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$.

- ЗАДАЧА 5. В комнате размером $4 \times 5 \times 3 \text{ м}^3$ содержится 520 г водяного пара. Определите абсолютную и относительную влажность воздуха, если температура в помещении $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Дано:
 $a = 4 \text{ м}$
 $b = 5 \text{ м}$
 $c = 3 \text{ м}$
 $m = 520 \text{ г}$
 $t = 24 \text{ }^\circ\text{C}$

$\rho - ?$
 $\varphi - ?$

Решение.

Абсолютную влажность воздуха можно найти так же, как плотность, разделив массу водяных паров на объём помещения:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{abc}.$$

$$\rho = \frac{520 \text{ г}}{4 \cdot 5 \cdot 3 \text{ м}^3} = 8,67 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}.$$

$$\text{Относительная влажность } \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100 \%,$$

где ρ — абсолютная влажность, ρ_0 — табличное значение плотности насыщенных водяных паров при данной температуре.

Из таблицы «Зависимость давления и плотности насыщенного пара от температуры» найдём, что при температуре $24 \text{ }^\circ\text{C}$ плотность насыщенных водяных паров $\rho_0 = 21,8 \text{ г/м}^3$.

$$\text{Тогда } \varphi = \frac{8,67}{21,8} \cdot 100 \% \approx 40 \%.$$

Ответ: $8,67 \text{ г/м}^3$; 40% .

- ЗАДАЧА 6. Температура воздуха на улице $20 \text{ }^\circ\text{C}$, а относительная влажность 60% . Выпадет ли ночью роса, если температура опустится до $16 \text{ }^\circ\text{C}$? Какой должна быть максимальная температура воздуха, чтобы образовалась роса?

Дано:
 $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_1 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\varphi = 60 \%$

$t_p - ?$

Решение.

Роса выпадает при температуре, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным.

$$\text{Относительная влажность } \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100 \%,$$

где ρ — абсолютная влажность, ρ_0 — табличное значение плотности насыщенных водяных паров при данной температуре.

Из таблицы «Зависимость давления и плотности насыщенного пара от температуры» найдём, что при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ плотность насыщенных водяных паров $\rho_0 = 17,3 \text{ г/м}^3$.

Вычислим абсолютную влажность: $\rho = \varphi \cdot \rho_0 / 100 \%$,

$$\rho = 60 \% \cdot 17,3 \text{ г/м}^3 / 100 \% = 10,38 \text{ г/м}^3.$$

Из этой же таблицы определим, что плотность насыщенного пара $\rho = 10,38 \text{ г/м}^3$ возможна при температуре от 11 до $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, при температуре $16 \text{ }^\circ\text{C}$ роса не выпадет.

Роса выпадет при температуре ниже $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: нет; ниже $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

- ЗАДАЧА 7. Две одинаковые льдинки, летящие навстречу друг другу с равными скоростями, сталкиваются «лоб в лоб». Температура льдинок равна $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Какой должна быть минимальная скорость льдинок, чтобы в результате столкновения они превратились в воду той же температуры? Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг .

Дано:

$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$

$v = ?$

СИ

$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$

Решение.

Согласно условию задачи в данном явлении наблюдается процесс превращения механической энергии системы во внутреннюю энергию.

Суммарная кинетическая энергия льдин

$$E_k = 2 \frac{mv^2}{2} = mv^2,$$

где m — масса льдинки.

Количество теплоты, необходимое для превращения льдинок в воду:

$$Q = 2m\lambda.$$

Модуль изменения механической энергии

$$|\Delta E_{\text{мех}}| = E_k.$$

Согласно закону сохранения энергии

$$Q = |\Delta E_{\text{мех}}|,$$

$$2m\lambda = mv^2, \Rightarrow v = \sqrt{2\lambda}.$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 3,3 \cdot 10^5} = 10^3 \cdot \sqrt{0,66} \approx$$

$$\approx 812 \text{ (м/с)}.$$

Ответ: 812 м/с.

Задачи для самостоятельного решения

- 1) Какое количество теплоты выделится при отвердевании 15 г золота, взятого при температуре плавления? Удельная теплота плавления золота $6,7 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$.
- 2) Лёд массой 2 кг имеет температуру $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Весь ли лёд растает и до какой температуры нагреется образовавшаяся вода, если ему сообщить количество теплоты: 1) 500 кДж; 2) 800 кДж? Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплота плавления льда $340\,000 \text{ Дж/кг}$.
- 3) В калориметр с водой массой 0,6 кг при температуре $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ опустили тающий лёд массой 100 г. Определите температуру, установившуюся в калориметре после того, как лёд растаял. Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплота плавления льда $340\,000 \text{ Дж/кг}$.
- 4) Расплавленное олово массой 250 г при температуре $232 \text{ } ^\circ\text{C}$ выливают в сосуд с водой объёмом 3 л при температуре $24 \text{ } ^\circ\text{C}$. На сколько градусов нагреется вода? Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплоёмкость олова $250 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплота плавления олова $59\,000 \text{ Дж/кг}$.
- 5) Тонкостенный сосуд, в котором находится лёд массой 1 кг с температурой $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$, равномерно нагревают на горелке мощностью 1 кВт до тех пор, пока весь лёд не растает и образовавшаяся вода не нагреется до кипения. Постройте график зависимости температуры от времени. Сколько времени потребуется для осуществления описанного процесса? Потери энергии в окружающую среду и теплоёмкостью сосуда пренебрегите. Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплоёмкость льда $2100 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплота плавления льда $340\,000 \text{ Дж/кг}$.

- 6 Рассчитайте общее количество теплоты, необходимое для превращения 2 кг льда, взятого при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, в пар с температурой $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Постройте примерный график зависимости температуры от времени. Удельная теплоёмкость воды $4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, удельная теплоёмкость льда $2100\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, удельная теплота плавления льда $340\,000\text{ Дж}/\text{кг}$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6\text{ Дж}/\text{кг}$.
- 7 Водяной пар массой $0,2\text{ кг}$ при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ впускают в холодную воду массой $2,5\text{ кг}$. Температура воды после конденсации пара в ней поднялась до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите первоначальную температуру воды. Удельная теплоёмкость воды $4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6\text{ Дж}/\text{кг}$.
- 8 В сосуде находится 300 г воды и 200 г льда при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Достаточно ли будет 900 г расплавленного алюминия, взятого при температуре $658\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы при выливании его в сосуд вся вода превратилась в пар? Теплоёмкость сосуда не учитывайте. Удельная теплоёмкость воды $4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, удельная теплота плавления льда $340\,000\text{ Дж}/\text{кг}$, удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6\text{ Дж}/\text{кг}$, удельная теплоёмкость алюминия $920\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, удельная теплота плавления алюминия $390\,000\text{ Дж}/\text{кг}$.
- 9 Определите относительную и абсолютную влажность в комнате объёмом 160 м^3 при температуре $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, если в ней содержится 680 г водяного пара.
- 10 Сколько граммов водяных паров содержится в помещении размером $6 \times 5 \times 4\text{ м}^3$ при температуре $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, если относительная влажность составляет 45% ?
- 11 При температуре $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительная влажность воздуха равна 70% . При какой температуре выпадет роса?
- 12 Конденсационный гигрометр показывает температуру $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите абсолютную влажность воздуха.
- 13 Показания сухого и влажного термометров равны соответственно $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите относительную влажность воздуха.

Зависимость давления и плотности насыщенного пара от температуры

$t, ^{\circ}\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г}/\text{м}^3$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г}/\text{м}^3$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г}/\text{м}^3$
0	0,611	4,84	11	1,31	10,0	22	2,64	19,4
1	0,656	5,22	12	1,40	10,7	23	2,81	20,6
2	0,705	5,60	13	1,50	11,4	24	2,99	21,8
3	0,757	5,98	14	1,59	12,1	25	3,17	23,0
4	0,813	6,40	15	1,70	12,8	30	4,24	30,3
5	0,872	6,84	16	1,81	13,6	40	7,37	51,2
6	0,934	7,3	17	1,94	14,5	50	12,3	83,0
7	1,01	7,8	18	2,06	15,4	60	19,9	130
8	1,07	8,3	19	2,19	16,3	70	31,0	198
9	1,15	8,8	20	2,34	17,3	80	47,3	293
10	1,23	9,4	21	2,48	18,3	90	70,1	424

- Сравните изменение температуры воды в опытах 1 и 2, в опытах 1 и 3.
- По результатам измерений в опытах 1, 2 и 3 постройте график зависимости температуры воды от времени.
- Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 4

Определение влажности воздуха

Цель работы

Научиться определять влажность воздуха.

Оборудование и материалы

Термометр, кусочек ваты или марли, вода комнатной температуры, гигрометр, психрометрическая таблица.

Ход работы

- Измерьте температуру t_1 воздуха в классе (или дома) — показания сухого термометра.
- Оберните резервуар термометра ватой или марлей, смоченной в воде.
- Наблюдайте за показаниями термометра. Запишите минимальное значение температуры t_2 (показания влажного термометра) в таблицу в своей тетради.
- Найдите разность температур $t_1 - t_2$.
- С помощью психрометрической таблицы определите относительную влажность воздуха.
- Определите влажность воздуха с помощью гигрометра.

$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_1 - t_2, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, %	Показания гигрометра, %

- Сравните полученные результаты.
- Сделайте вывод о том, какой воздух в вашем классе (или дома): сухой или влажный.

Практические работы-исследования

Изучаем тепловые явления

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ РАСТВОРЕНИЯ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ

Если в сосуд с водой поместить кристаллическое тело (например, кристаллы поваренной соли, сахара или перманганата калия), то оно будет постепенно растворяться в воде. При этом кристаллы будут разделяться на более мелкие частицы.

Цель работы

Определить удельную теплоту растворения поваренной соли, основываясь на хорошей растворимости её в воде.

Научная справка

Понятие *удельной теплоты растворения* кристаллических тел в общих чертах аналогично понятию удельной теплоты плавления кристаллов. Как при плавлении, так и при растворении происходит процесс разрушения кристаллической решётки вещества, для чего необходим приток энергии извне. В случае плавления эта энергия поступает от нагревателя, а в случае растворения энергия может быть получена только от растворителя, т. е. той среды, в которую помещено растворяемое вещество.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать калориметр, мензурку, электронные весы, термометр, сосуд с водой комнатной температуры, соль.
- В калориметр налейте воду фиксированной массы $m_{\text{в}} \approx 100$ г.
- С помощью весов отмерьте соль массой $m_{\text{с}} \approx 5$ г.
- Измерьте начальную температуру t_0 воды в калориметре.
- Насыпьте соль в воду и добейтесь её полного растворения.

Примечание. Для ускорения процесса растворения соли допускается осторожное помешивание раствора стеклянной палочкой.

- Измерьте конечную температуру t раствора соли.
- Запишите уравнение теплового баланса:

$$m_{\text{с}}\lambda = m_{\text{в}}c(t_0 - t),$$

где λ — удельная теплота растворения соли, $c = 4200$ Дж/(кг · °С) — удельная теплоёмкость воды.

- Из уравнения теплового баланса следует:

$$\lambda = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{с}}}c(t_0 - t).$$

- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради.

$m_{\text{в}}, \text{г}$	$m_{\text{с}}, \text{г}$	$t_0, \text{°C}$	$t, \text{°C}$	$\lambda, \text{Дж/кг}$	$\lambda_{\text{табл}}, \text{Дж/кг}$

- Используя дополнительные источники информации, найдите табличное значение удельной теплоты растворения соли $\lambda_{\text{табл}}$.
- По результатам работы сделайте выводы.

Примечание. В данной работе в качестве термометра целесообразно использовать мультиметр, снабжённый термопарой и шкалой для измерения температуры с ценой деления 0,1 °С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И АМОРФНЫХ ТЕЛ

Плавление кристаллических тел происходит при определённой температуре — температуре плавления. Аморфные тела не обладают определённой температурой плавления. Их температура изменяется непрерывно в течение всего процесса перехода из твёрдого состояния в жидкое. Проверим на опыте, действительно ли это так.

Цель работы

Исследовать изменение температуры при плавлении кристаллических тел (льда) и аморфных тел (парафина).

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать кусочки льда и парафина (или воска), сосуд, ёмкость для нагревания, термометр, часы, нагревательный прибор.
- Приготовьте тающий лёд. Для этого положите в сосуд немного льда и дождитесь, пока на дне образуется немного воды, т. е. пока лёд начнёт таять.
- Поместите термометр в сосуд с тающим льдом и измерьте температуру льда.
- Следите за процессом плавления льда в сосуде и через равные промежутки времени (например, каждую минуту) записывайте показания термометра. Для ускорения процесса плавления можно подогревать сосуд со льдом при помощи спиртовки.
- Когда весь лёд расплавится, продолжайте следить за процессом нагревания воды в сосуде, записывая показания термометра через равные промежутки времени.

Время, мин									
Температура, °C									

- По результатам измерений постройте график зависимости температуры льда от времени.
- При какой температуре происходило плавление льда? В течение какого времени происходило плавление льда?
- Положите кусочки парафина в ёмкость и измерьте температуру парафина.
- Включите нагревательный прибор. Поставьте на него ёмкость с парафином, не вынимая термометр. Следите за процессом плавления парафина и каждую минуту записывайте показания термометра, пока весь парафин не расплавится.
- Когда весь парафин расплавится, выключите нагревательный прибор. Продолжайте каждую минуту записывать показания термометра, пока парафин не затвердеет.
- По результатам измерений постройте график зависимости температуры парафина от времени.
- Сделайте выводы.

СОЛЁНЫЙ ЛЁД

Хорошо знакомые нам ученики инженерного класса Петя и Саша обсуждали причины, по которым в зимний период дворники посыпают снег солью. Петя утверждал, что это делается для скорейшего таяния снега на тротуарах, и соль, таким образом, даёт эффект, аналогичный нагреванию. Саша же утверждал, что снег смешивают с солью для понижения температуры смеси во избежание гололёда. Чтобы понять, кто из них прав, ребята обратились за помощью к своему учителю физики. Учитель разъяснил, что на самом деле никакого противоречия нет, поскольку в обоих случаях происходит охлаждение смеси при растворении соли в воде. При этом точка замерзания образовавшегося соляного раствора оказывается ниже точки замерзания чистой воды. Это и предотвращает образование гололёда.

КЕЙС

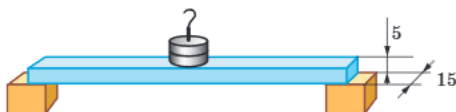
КЕЙС

Как пояснил далее учитель, это не единственная особенность солёной воды. Например, представляется интересным вопрос: как соотносятся прочностные свойства льда, приготовленного из солёной и пресной воды?

Любознательные ученики решили опытным путём найти ответ на этот вопрос. Давайте и мы вместе с Петей и Сашей проведём все необходимые измерения.

Этапы выполнения задания

- Прежде всего, нам потребуется изготовить формочки для получения узких (шириной $\approx 1,5\text{—}2$ см) и тонких (толщиной $\approx 0,5$ см) брусочков льда. Длина брусочков около 15 см. Для изготовления формочек удобно использовать пластиковые профили, которые в широком ассортименте продаются в магазинах строительных материалов.
- Для опытов потребуются также набор грузов из школьного комплекта «Механика», мензурка, электронные весы, соль, вода.
- С помощью мензурки и весов отмеряем необходимые количества воды и соли для приготовления солевого раствора.
- Для расширения базы исследований рекомендуется приготовить солевые растворы с разной концентрацией соли. Например, с концентрацией 5 %, 10 %, 20 % соли.
- Приготовленные растворы заливаем в формочки и помещаем в камеру морозильника.
- Аналогичным образом готовим формочки с чистой водой для получения несолевого льда.
- Приготовленный лёд вынимаем из морозильника и после небольшого оттаивания аккуратно извлекаем из формочек.
- Брусочек своими концами осторожно помещаем на упоры.
- На середину брусочка аккуратно помещаем грузики известной массы (устанавливая их один на другой), постепенно увеличивая нагрузку.
- Фиксируем массу нагрузки, при которой происходит разрушение брусочка.



- Опыты поочерёдно проводим для всех брусочков, включая брусочек из чистого льда.
- Результаты опытов записываем в таблицу в своей тетради.

Концентрация соли, %	Чистый лёд	5 %	10 %	20 %	Насыщенный раствор соли
Масса нагрузки m , г					

- По результатам измерений сделайте выводы.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Вещества могут переходить из одного агрегатного состояния в другое. Изменение агрегатного состояния вещества всегда связано с выделением или поглощением некоторого количества теплоты.
- Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называется плавлением. Обратный процесс называется кристаллизацией или отвердеванием.
- Температура, при которой вещество плавится, называется температурой плавления. Для кристаллических тел температура плавления равна температуре отвердевания.
- Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо передать кристаллическому телу массой 1 кг, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкое состояние, называется удельной теплотой плавления.
- Аморфные тела не обладают определённой температурой плавления.
- Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется парообразованием. Обратный процесс называется конденсацией. Существует два способа перехода вещества из жидкого состояния в газообразное: испарение и кипение.
- Динамическое равновесие между жидкостью и паром — это состояние, при котором число молекул пара над жидкостью постоянно. Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным.
- Кипение — это процесс интенсивного парообразования, происходящего по всему объёму жидкости при определённой температуре.
- Температура, при которой жидкость кипит, называется температурой кипения. Температура кипения зависит от давления.
- Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты необходимо для превращения в пар жидкости массой 1 кг при постоянной температуре, называется удельной теплотой парообразования.
- Относительной влажностью воздуха φ называется отношение абсолютной влажности ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах.
- Температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется точкой росы.
- Для определения влажности воздуха используют гигрометры и психрометры.

Вопросы для обсуждения

- ❓ Почему конденсация водяного пара в атмосфере в капельки дождя или снежинки ведёт к потеплению воздуха?
- ❓ В зимнее время тротуары и пешеходные дорожки посыпают солью, от чего снег начинает таять. Что при этом происходит?
- ❓ Чем можно объяснить, что во время сильных морозов в лесу трещат деревья?
- ❓ Можно ли в условиях невесомости вскипятить воду в открытом сосуде?

Темы исследовательских и проектных работ

- Такая разная вода.
- Как расплавить металл. Плавильные печи.
- Процессы кристаллизации в природе.
- Всегда ли кипит вода?
- Процессы конденсации в природе.
- Влажность воздуха в метеорологии.
- Измерение влажности воздуха.

Глава 3

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ



Природа, повсюду предоставляя горючий материал, дала нам возможность всегда и везде получать теплоту и сопровождающую её движущую силу. Развивать эту силу и приспособлять её для наших нужд — такова цель тепловых машин.

Н. Л. Сади Карно

§ 27 ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

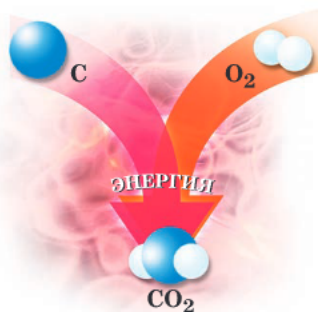
НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое удельная теплота сгорания топлива.
- Как вычислить количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое количество теплоты?

В глубокой древности люди научились разжигать огонь — первый самостоятельно добытый источник энергии. На огне готовят пищу, им обогревают жилище, он горит в топках тепловых электростанций. Для того чтобы огонь горел, необходимо топливо. В качестве топлива могут быть использованы уголь, нефть, торф, дрова, природный газ и пр.



Реакция окисления

ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. При сгорании топлива выделяется энергия. Выясним, за счёт чего это происходит.

Горение топлива — это химическая реакция окисления, при которой атомы углерода, содержащиеся в топливе, соединяются с атомами кислорода, содержащимися в воздухе. В результате образуются молекулы углекислого газа, кинетическая энергия которых оказывается больше, чем у исходных частиц. Поэтому процесс горения сопровождается выделением энергии.

Энергия, выделяющаяся при полном сгорании топлива, называется **теплотой сгорания топлива**.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. Как показывают опыты, при сгорании 1 кг сухих берёзовых дров выделяется $1,0 \cdot 10^7$ Дж энергии. При сгорании 2 кг сухих дров выделяется $2,0 \cdot 10^7$ Дж, т. е. вдвое больше. Следовательно,

количество теплоты, выделяемое при сжигании топлива, пропорционально массе топлива.

При сгорании разного топлива одинаковой массы выделяется разное количество теплоты. Например, при сжигании 1 кг нефти можно получить количество теплоты, в 3 раза большее, чем при сжигании той же массы торфа, и в 4 раза большее, чем при сжигании той же массы дров.

Приведённые примеры показывают, что при полном сжигании топлива массой m количество выделенной энергии Q зависит также от вида топлива:

$$Q = qm, \quad (1)$$

где q — некоторая величина, характеризующая тепловые свойства топлива. Её называют **удельной теплотой сгорания топлива**.

Таким образом, **удельной теплотой сгорания топлива** называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, выделяющемуся при сгорании

единицы массы топлива. Единица удельной теплоты сгорания топлива — *джоуль на килограмм* (Дж/кг).

ВАЖНО

Если обозначить величины: количество теплоты — Q , масса топлива — m и удельная теплота сгорания топлива — q , то **количество теплоты**, выделяющееся при сгорании топлива, рассчитывается по формуле

$$Q = qm.$$

Удельная теплота сгорания отличается для разных видов топлива. Например, наибольшей теплотой сгорания обладает водород (120 МДж/кг), среди жидких видов топлива наибольшая удельная теплота сгорания у бензина (44 МДж/кг), среди твёрдых — у древесного (34 МДж/кг) и каменного угля (30 МДж/кг).

Чем выше удельная теплота сгорания топлива, тем меньше его расход для получения одного и того же количества теплоты.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

При сжигании топлива в реакции участвует *кислород* из атмосферы, вследствие чего его содержание в воздухе постепенно уменьшается.

При горении газа, угля или нефти в воздух выбрасываются миллионы тонн газообразных веществ, таких как *углекислый газ, метан, оксиды серы и азота* и многие другие. Кроме этого, в воздух попадают *зола, пыль и копоть*.

В атмосфере Земли в настоящее время содержится около $2,1 \cdot 10^{12}$ т углекислого газа (более 0,041 % от общей массы атмосферы). До периода бурного развития энергетики и транспорта количество углекислого газа, поглощаемого из атмосферы при фотосинтезе растениями и растворяемого в Мировом океане, было равно количеству газа, выделяемого при дыхании и гниении. В последние десятилетия этот баланс стал нарушаться. В настоящее время за счёт сжигания угля, нефти и газа в атмосферу Земли ежегодно поступает дополнительно около 20 млрд т углекислого газа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. Значения удельной теплоты сгорания для различных видов топлива можно найти в справочниках. Их определяют специалисты в лабораториях различными методами.

В одном из экспериментальных методов определения удельной теплоты сгорания используется специальный **калориметр сгорания**, или *бомбовый калориметр*. Такой калориметр представляет собой сосуд с водой, в который помещается герметичный контейнер (бомба) с образцом топлива известной массы. Контейнер заполняется кислородом, и образец поджигается электрической искрой. Термометр или температурные датчики фиксируют изменение температуры воды.



Калориметр изготовлен из теплоизолирующих материалов, поэтому потери энергии в окружающую среду очень малы. Таким образом, можно считать, что вся энергия, выделяющаяся при сгорании образца, идёт на нагревание воды:

$$Q_1 = Q_2,$$

где $Q_1 = qm_{\text{т}}$ — количество теплоты, выделившееся при сгорании образца топлива, q — удельная теплота сгорания, $m_{\text{т}}$ — масса сгоревшего образца топлива, $Q_2 = cm_{\text{в}}\Delta t$ — количество теплоты, затраченное на нагревание воды, c — удельная теплоёмкость воды, $m_{\text{в}}$ — масса воды, Δt — изменение температуры воды.

Приравнявая эти выражения для Q_1 и Q_2 , получим: $qm_{\text{т}} = cm_{\text{в}}\Delta t$, откуда

$$q = \frac{cm_{\text{в}}\Delta t}{m_{\text{т}}}.$$

При точных измерениях необходимо также учитывать количество теплоты, которое идёт на нагревание самой бомбы.

Этот метод используется во многих отраслях промышленности — в энергетике, при добыче полезных ископаемых, производстве материалов и т. д. Некоторое время назад таким способом определяли калорийность пищевых продуктов. Предварительно высушенные образцы продуктов или готовых блюд помещали в калориметр, сжигали и по изменению температуры воды вычисляли количество переданной теплоты в джоулях и калориях.

Выводы

- ! Энергия, выделяющаяся при полном сгорании топлива, называется теплотой сгорания топлива.
- ! Чем выше удельная теплота сгорания топлива, тем меньше его расход для получения одного и того же количества теплоты.

Ключевые слова

Сгорание топлива; удельная теплота сгорания топлива

Вопросы и задания

1. Какую величину называют удельной теплотой сгорания топлива?
2. Как вычислить количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива?
3. Почему удельная теплота сгорания сырых дров меньше, чем сухих той же породы древесины?
4. Почему одной спичкой древесную лучину зажечь можно, а крупное полено нет? Как в быту решается эта проблема при розжиге печи?
5. Почему разбросанные угли костра быстро гаснут, а сложенные в кучу долго сохраняются в раскалённом виде?
6. Объясните, используя табличные данные, почему порох невыгодно применять как топливо, а бензином нельзя заменить порох в артиллерийских орудиях.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

§ 28

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое тепловые двигатели.
- Что называют коэффициентом полезного действия теплового двигателя.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое количество теплоты?
- При каких условиях внутренняя энергия переходит в механическую?

Внутреннюю энергию можно использовать для совершения механической работы. Технический прогресс во многом зависит от умения человечества использовать огромные запасы внутренней энергии различных видов топлива.

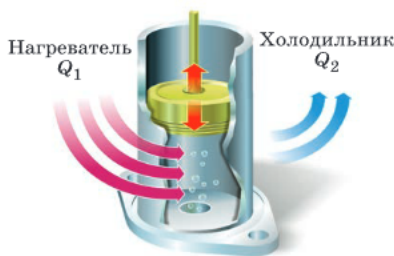
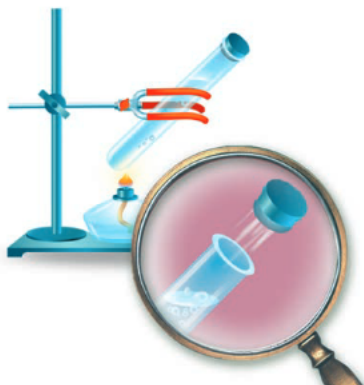
ПРОСТЕЙШИЙ ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ.

Если в пробирку, плотно закрытую пробкой, налить немного воды и нагреть её до кипения, то под давлением образовавшегося пара пробка вылетит из пробирки. Часть энергии топлива перешла во внутреннюю энергию пара, который, расширяясь, совершил работу по перемещению пробки. Внутренняя энергия пара превратилась в кинетическую энергию пробки.

Если заменить пробирку прочным металлическим цилиндром, а пробку плотно пригнанным поршнем, который может двигаться вдоль цилиндра, то получится простейший тепловой двигатель. Устройства, в которых происходит преобразование внутренней энергии топлива в механическую, называются **тепловыми двигателями**.

Газ, расширение которого вызывает перемещение поршня, называется **рабочим телом**. Газ, получая энергию от нагревателя, расширяется и совершает работу.

Для постоянной работы теплового двигателя необходимо, чтобы поршень после расширения газа возвращался в исходное положение, сжимая газ до первоначального состояния. Это может быть осуществлено только за счёт работы внешней силы, знак которой противоположен знаку работы, совершаемой газом. Поэтому перед сжатием газ нужно охладить, чтобы уменьшить его давление и тем самым уменьшить работу внешних сил. Следовательно, нужно иметь **холодильник**, которому рабочее тело отдаёт некоторое количество



теплоты. Роль холодильника может выполнять и окружающий воздух. После этого вновь могут происходить процессы расширения и сжатия газа. Таким образом, **работа теплового двигателя состоит из периодически повторяющихся процессов (циклов) расширения и сжатия.**

Рабочее тело, получая некоторое количество теплоты Q_1 от нагревателя, часть этого количества теплоты, по модулю равную $|Q_2|$, отдаёт холодильнику. Поэтому, в соответствии с законом сохранения энергии, совершаемая работа A не может быть больше разности $Q_1 - |Q_2|$.

ВИДЫ ДВИГАТЕЛЕЙ. Существует несколько видов тепловых двигателей, которые можно разделить на *двигатели внешнего сгорания* и *двигатели внутреннего сгорания*. Из названий понятно, что в двигателе внешнего сгорания топливо сгорает снаружи основной части двигателя, а в двигателе внутреннего сгорания топливо горит внутри цилиндра.



КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОвого ДВИГАТЕЛЯ. При сгорании топлива в двигателе только часть энергии идёт на совершение полезной работы. Чем меньше энергии теряется, тем экономичнее тепловой двигатель.

Для характеристики экономичности различных двигателей вводится понятие *коэффициента полезного действия* (КПД).

ВАЖНО !

Отношение полезной работы, совершённой двигателем, к энергии, полученной от нагревателя, называется **коэффициентом полезного действия** теплового двигателя:

$$\eta = \frac{A_n}{Q_1} \cdot 100 \%, \quad \text{или} \quad \eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

Так как полезная работа A_n меньше энергии Q_1 , полученной от нагревателя, то **КПД теплового двигателя всегда меньше 100 %.**

Формула (1) показывает, что тепловой двигатель тем эффективнее, чем больше разница в количествах теплоты Q_1 , полученной от нагревателя, и Q_2 , отданной холодильнику.





У всех тепловых двигателей КПД не достигает даже 50 %. Это означает, что более половины энергии, содержащейся в топливе, теряется. Основная причина низкого КПД заключается в том, что, получив энергию от сгоревшего топлива, двигатель не может её полностью превратить в механическую энергию.

ЭТО ИНТЕРЕСНО 

В 1824 г. французский физик и математик Сади Карно предпринял попытки разобраться в сути процессов, происходящих при работе тепловых двигателей, и понять, как их можно улучшить. В своей работе «О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» он описал модель идеальной тепловой машины и рассчитал её максимальный КПД. Карно пришёл к выводу, что КПД теплового двигателя можно повысить, увеличивая температуру нагревателя и уменьшая температуру холодильника. Идея двигателя Карно сыграла огромную роль в истории науки, так как с её помощью удалось объяснить принцип действия любых тепловых двигателей.

В настоящее время важной технической задачей инженеров является повышение КПД тепловых двигателей. Один из способов увеличения КПД — уменьшение трения между движущимися частями двигателя. Другой способ — увеличение разницы температур в тепловом двигателе. Температура холодильника обычно близка к температуре окружающей среды. Для уменьшения этой температуры на электростанциях используются специальные установки — *градирни*, которые предназначены для отведения тепла и охлаждения пара. В то же время необходимо повышать температуру нагревателя. Современные технологии позволяют использовать улучшенные жаропрочные материалы, которые выдерживают чрезвычайно высокие температуры, например в реактивных двигателях.



-  Устройства, в которых происходит преобразование внутренней энергии топлива в механическую, называются тепловыми двигателями.
-  Газ, расширение которого вызывает перемещение поршня, называется рабочим телом.
-  Работа теплового двигателя состоит из периодически повторяющихся процессов (циклов) расширения и сжатия.
-  КПД теплового двигателя всегда меньше 100 %.

ВЫВОДЫ

Тепловой двигатель; рабочее тело; нагреватель; холодильник; КПД двигателя

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Что такое тепловой двигатель? Каковы его основные части?
2. Какие виды двигателей существуют?
3. Почему КПД теплового двигателя не может быть равен 100 % или больше?
4. Приведите известные вам примеры применения тепловых двигателей в повседневной жизни, технике.
5. Опишите, какие превращения энергии происходят при выстреле из ружья. Можно ли считать огнестрельное оружие тепловым двигателем?
6. Поскольку холодильником для двигателя автомобиля является окружающая среда, температура которой зимой ниже, чем летом, то можно ли ожидать увеличения КПД двигателя в зимнее время?

§ 29 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

НОВОЕ В УРОКЕ

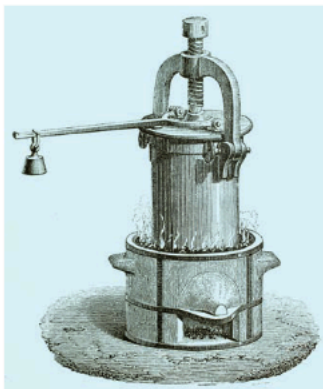
- Когда был изобретён первый паровой автомобиль.
- Как работает паровоз.
- Кто изобрёл пароход.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое тепловой двигатель?
- Что называют КПД теплового двигателя?

Паровые двигатели считаются величайшим изобретением всех времён. К началу XIX в. они стали более компактными, что позволило использовать их не только на заводах и фабриках, но и создавать паровые транспортные средства. Появились первые паровые автомобили, паровозы, пароходы, дирижабли.

ПАРОВЫЕ МАШИНЫ. В XVIII в. водяные и ветряные мельницы уже не могли справляться с нуждами развивающейся промышленности. Возникла потребность в новых источниках движущей силы. Это привело к появлению и широкому распространению *паровых машин* — первых тепловых двигателей, использующих внутреннюю энергию пара. Примечательно, что создателями первых таких устройств были инженеры и изобретатели, а не учёные.



Один из первых проектов действующей паровой машины предложил в 1690 г. французский физик и изобретатель Дени Папена. Папен заметил, что пар в изобретённой им скороварке толкает вверх крышку. На основе этой идеи он сконструировал цилиндр с поршнем. На дно цилиндра наливали немного воды, которая при нагревании превращалась в пар. Нагретый пар поднимал поршень вверх, совершая полезную работу. Когда поршень достигал верхней точки, цилиндр охлаждали водой, пар в цилиндре конденсировался, и в пространстве над водой образовывался вакуум. Под действием атмосферного давления поршень опускался вниз. Если к поршню прикрепляли верёвку с грузом, то при опускании поршня вниз груз поднимался вверх.

В 1698 г. английский инженер Томас Севери, изучив работы Папена, изобрёл паровой насос для подъёма и откачки воды из угольных шахт. Паровая машина Севери была установлена в Летнем саду в Петербурге для подачи воды в фонтаны.

Спустя несколько лет, используя идеи Папена и Севери, английский механик Томас Ньюкомен усовершенствовал паровой насос для откачки воды из глубоких шахт. Как и в паровой машине Папена, Ньюкомен использовал цилиндр с поршнем, в который поступал пар из парового котла. Поршень, поднимаемый паром, приводил в движение коромысло, связанное с поршнем водяного насоса.

Первую паровую машину в России спроектировал изобретатель Иван Иванович Ползунов в 1763 г. Он модернизировал машину Ньюкомена, предложив использовать два цилиндра вместо одного. Поршни в цилиндрах машины Ползунова работали в противофазе, т. е. когда в один цилиндр поступал пар и его поршень

двигался вверх, в другом цилиндре пар конденсировался и поршень опускался вниз. Подача воды и пара в цилиндры была полностью автоматизирована. Паровая машина Ползунова имела огромные размеры: её высота достигала 11 м, диаметр парового котла составлял порядка 3,5 м, а паровые цилиндры имели высоту 2,8 м.

В 1765 г. английский механик Джеймс Уатт усовершенствовал паровой насос Ньюкомена и сконструировал паровой двигатель нового типа. Для более экономичной работы двигателя Уатт создал отдельную камеру — конденсатор, предназначенный для конденсации пара, благодаря чему не тратилась энергия на постоянный разогрев цилиндра. Паровая машина Уатта могла не только откачивать воду, но и приводить в движение мельницы и различные станки.



ПАРОВЫЕ АВТОМОБИЛИ. Предшественником автомобиля считается машина с паровым двигателем, построенная в 1769 г. французским инженером и изобретателем Никола Кюньо. Она представляла собой трёхколёсную повозку и предназначалась для перевозки артиллерийских орудий.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Среди изобретений, описанных Леонардо да Винчи, можно найти проект самодвижущейся тележки. Механизм приводился в движение при помощи пружины без использования силы человека.

В 1672 г. фламандский учёный и иезуит-миссионер Фердинанд Вербист построил и подарил китайскому императору игрушку в виде тележки, работающей на пару. Она была всего 65 см в длину и не рассчитана на перевозку водителя и пассажиров. На тележке устанавливался котёл, в котором генерировался пар, вращающий зубчатое колесо, что приводило в движение колёса тележки. Она заправлялась углём и могла двигаться больше часа.

В 1784 г. британский механик-изобретатель Уильям Мёрдок построил и испытал модель кареты, работающей на паровом двигателе. А в 1801 г. ещё один британский изобретатель Ричард Тревитик сконструировал первый автомобиль для перевозки пассажиров и проехал на нём по улицам Лондона.

Последующие модели паровых автомобилей отличались более лёгкими котлами, манёвренностью и развивали скорости до 60 км/ч. С массовым производством автомобилей стали развиваться и дороги между городами. Паровые автомобили применялись до 30-х гг. XX в., но постепенно были вытеснены более совершенными автомобилями с двигателями внутреннего сгорания.

ПАРОВОЗ И ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА. После испытания паровой кареты Ричард Тревитик поставил паровую машину на рельсы, построив таким образом первый в мире паровоз. Масса паровоза составляла 5 т, и он мог транспортировать 5 вагонов со скоростью 8 км/ч. Но существовавшие в то время рельсы не всегда выдерживали большую массу паровоза.

 ЭТО ИНТЕРЕСНО

Можно считать, что самые первые прообразы рельсовых дорог использовались древними греками примерно в 6-м тысячелетии до н. э. Одна из таких дорог была построена через Коринфский перешеек, соединяющий полуостров Пелопоннес с материковой частью Греции, чтобы перетаскивать корабли по суше. Дорога была вымощена каменными плитами с глубокими желобами. В желоба помещали деревянные рельсы (полозья), которые смазывали жиром, и по ним тащили волоком корабли или повозки на колёсах.

В XVI в. в Европе по деревянным рельсам лошади перевозили гружёные телеги — вагонетки. В XVII в. на смену деревянным рельсам пришли чугунные. Но чугун подвержен ржавчине и хрупкости, что часто приводило к его разрушению под нагрузкой. Из-за этого чугунные рельсы делали небольшой длины, но всё равно они быстро деформировались и становились неровными.

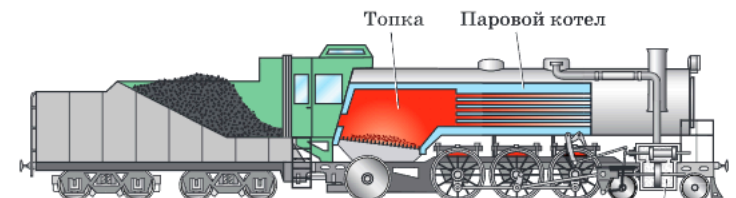
В 1814 г. ещё один английский конструктор и изобретатель Джордж Стефенсон построил паровоз с улучшенным и более мощным паровым двигателем. Под руководством Стефенсона были построены и первые железные дороги, способные выдерживать нагрузки тяжёлых паровозов, хотя в то время железо стоило в 2 раза дороже, чем чугун. В 1825 г. состоялось открытие первой железной дороги для общественного пользования между городами Стоктон и Дарлингтон в Англии. Её протяжённость была 40 км. Паровоз Стефенсона, двигаясь со средней скоростью 8 км/ч, перевозил по ней вагоны с углём и до 600 пассажиров.

В 1829 г. состоялись соревнования лучших локомотивов, которые выиграл паровоз «Ракета», построенный Стефенсоном и его сыном. Мощность паровоза составляла 13 л. с., а максимальная скорость достигала 47 км/ч. Паровой двигатель этого локомотива стал образцом для последующих конструкций паровозов.

Первый паровоз в России построили механики отец и сын Ефим Алексеевич и Мирон Ефимович Черепановы в 1833—1834 гг. Паровоз Черепановых возил вагоны с рудой весом более 3 т со скоростью 13—14 км/ч. Первая железная дорога в России была открыта в 1837 г. между Петербургом и Царским Селом.

Производство более прочных стальных рельсов началось с 1857 г., что послужило основой для развития железнодорожного транспорта во всём мире. С момента своего изобретения паровозы и железные дороги сыграли огромную роль в развитии нашей цивилизации.

Несмотря на множество различных конструкций, все паровозы имеют одинаковые элементы и принцип работы. Помощник машиниста забрасывает в топку



Паровая машина

паровоза уголь, при сжигании которого выделяется энергия. Горячие газы, образующиеся в результате сгорания угля, проходят через ряд дымоходов, окружённых водой в паровом котле. В результате вода в котле нагревается и закипает. Образовавшийся пар через трубы поступает в паровую машину. Попадая в цилиндр паровой машины, пар расширяется и толкает поршень, движение которого передаётся ведущим колёсам паровоза. После того как пар отработал в цилиндре паровой машины, он выводится через дымовую трубу, создавая дополнительную тягу для огня в топке.

ПАРОХОД. Паровые машины нашли ещё одно важное применение в водном транспорте. В 1787 г. американский изобретатель и инженер Джон Фитч построил первый пароход. Он приводился в движение с помощью вёсел, расположенных с обеих сторон судна и работавших от паровой машины. Однако изобретение Фитча не получило последующего развития.

В 1807 г. другой американец Роберт Фултон предложил более удачную конструкцию парохода. Его пароход «Клермон» совершал регулярные коммерческие рейсы по реке Гудзон. Именно Фултон запатентовал конструкцию своего парохода и вошёл в историю как изобретатель парохода.

В 1819 г. пароход «Саванна» впервые пересёк Атлантический океан.

Первый пароход в России был построен русским инженером Карлом Бердом в 1815 г. и назывался «Елизавета». Он курсировал между Петербургом и Кронштадтом.

Паровые машины постепенно становились более мощными, и сила пара заменила паруса на судах.



Паровые машины использовались в паровых автомобилях, паровозах, пароходах.

ВЫВОД

Паровая машина; паровой автомобиль; паровоз; пароход

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

**ВОПРОСЫ
И
ЗАДАНИЯ**

1. Для движения каких транспортных средств использовались паровые машины?
2. Опишите принцип работы паровоза.
3. Чтобы паровоз мог передвигаться на большие расстояния, в его бункер помещался необходимый запас угля. Запасом какого ещё вещества должен был быть снабжён паровоз?

§ 30 ПАРОВАЯ ТУРБИНА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое паровая турбина.
- Из каких частей состоит паровая турбина и как она работает.

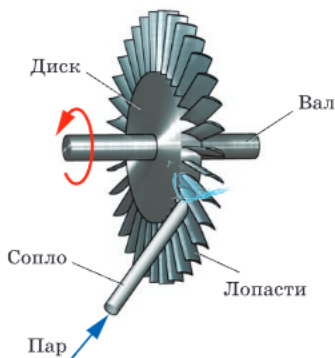
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое тепловой двигатель?
- Каковы основные части теплового двигателя?
- Что называют КПД теплового двигателя?

В наше время широкое распространение получил другой тепловой двигатель, называемый **турбиной**.

ПАРОВАЯ ТУРБИНА. Рабочим газом в паровой турбине является водяной пар, который образуется при нагревании воды в паровых котлах.

Паровая турбина представляет собой насаженный на *вал* массивный *диск*. По ободу диска закреплены *лопасти*. Около лопастей расположены трубы — *сопла*, в которые поступает пар из котла. Принцип работы паровой турбины основан на преобразовании внутренней энергии водяного пара в механическую энергию.



ЭТО ИНТЕРЕСНО



Первое известное устройство, которое приводилось в движение паром, было описано древнегреческим учёным Героном Александрийским, жившим в I в. н. э.

Геронов шар, или *золипил* (шар бога ветров Зола), представлял собой полый металлический шар, укрепленный на оси. В него впускался пар из закрытого сосуда, в котором кипела вода. В шар вставлялись две трубки с загнутыми в противоположные стороны концами. Пар, вырываясь из трубок, приводил шар в быстрое вращение.

Однако только в конце XIX в. шведский инженер Густав Лаваль и английский инженер Чарлз Парсон независимо друг от друга создали пригодные для промышленности паровые турбины.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ. В паровом котле под большим давлением получается пар, температура которого достигает 600 °С. Он направляется в сопло и в нём расширяется. При расширении пара его внутренняя энергия превраща-

ется в кинетическую энергию направленного движения струи пара. Эти струи поступают из сопла на лопасти турбины, вследствие чего диск турбины вращается с достаточно высокой скоростью. Вал и диск с лопастями образуют *ротор турбины*, который находится в специальном корпусе. По всей поверхности корпуса помещаются сопла.



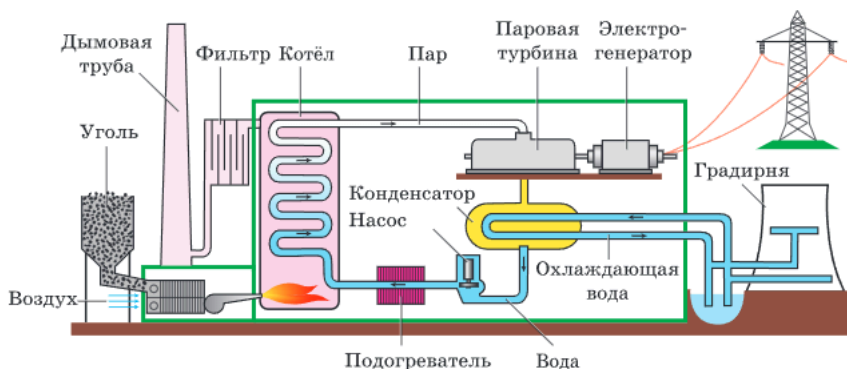
ЭТО ИНТЕРЕСНО

В 1878 г. Г. Лаваль разработал конструкцию молочного сепаратора. Но чтобы получить необходимую скорость вращения ёмкости с молоком, нужен был мощный двигатель. В 1889 г. Лаваль построил паровую турбину, которая представляла собой колесо с лопатками. Струя пара, образующегося в котле, вырывалась из трубки (сопла), действовала на лопатки и раскручивала колесо. Экспериментируя с разными видами трубок для подачи пара, Лаваль пришёл к выводу, что они должны иметь форму конуса. В этом случае скорость пара значительно увеличивалась. Такие трубки называются сейчас «сопла Лавалья». Изобретённая Лавалем турбина была намного экономичнее и мощнее старых паровых двигателей. Её стали использовать для работы высокоскоростных машин: пил, сепараторов, насосов.

В современных турбинах применяют не один, а несколько дисков, насаженных на общий вал. Пар, последовательно проходя через лопасти всех дисков, отдаёт каждому из них часть своей энергии. Первая такая турбина была разработана Ч. Парсоном в 1884 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН. Паровые турбины широко применяют на современных тепловых и атомных электростанциях, где паровую турбину соединяют с генератором электрического тока.

Тепловые электростанции работают по следующему принципу: топливо сжигается в топке парового котла. Выделяющееся при горении тепло приводит к испарению воды, циркулирующей внутри расположенных в котле труб, и подогревает образовавшийся пар. Пар, расширяясь, вращает ротор турбины, а тот, в свою очередь, вал электрического генератора. Затем отработанный пар конденсируется, вода из конденсатора через систему подогревателей возвращается в котёл.





ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первым, кто соединил паровую турбину с генератором электрической энергии, был Ч. Парсон. В результате этого с помощью турбины стало возможно вырабатывать электричество. В 1899 г. была построена первая электростанция с паровыми турбинами Парсона.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПАРОВЫХ ТУРБИН. По сравнению с другими тепловыми двигателями турбины обладают рядом преимуществ.

Рабочим телом турбины является водяной пар, для получения которого подходит практически любое, даже самое дешёвое, топливо. Кроме того, турбины позволяют получать довольно большие мощности, а их КПД составляет 30—40 %.

Паровые турбинные двигатели нашли широкое применение на водном транспорте. Их применение на сухопутном транспорте и тем более в авиации ограничено необходимостью иметь топку и котёл для получения пара, а также большое количество воды для использования в качестве рабочего тела.

Существуют паровые турбины специального назначения, работающие на отбросном тепле — воде, нагревающейся в процессах охлаждения на металлургических, машиностроительных и химических предприятиях.

К *достоинствам* паровых турбин обычно относят:

— возможность работы на различных видах топлива: газообразном, жидком, твёрдом;

- использование доступного теплоносителя;
- широкий диапазон мощностей;
- возможность длительной эксплуатации.

Недостатки паровых турбин:

- высокая инерционность паровых установок (долгое время пуска и остановки);
- низкое количество производимой электроэнергии в соотношении к затраченной тепловой энергии;
- дорогостоящий ремонт;
- снижение экологических показателей при использовании тяжёлых мазутов и твёрдого топлива.

ВЫВОД



Паровые турбины широко применяют на современных тепловых и атомных электростанциях, где паровую турбину соединяют с генератором электрического тока.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Паровая турбина; тепловая электростанция

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Какие тепловые двигатели называются паровыми турбинами?
2. Назовите основные части турбины.
3. Какими преимуществами обладает турбина по сравнению с двигателем внутреннего сгорания?

ДВИГАТЕЛЬ § 31

ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

НОВОЕ В УРОКЕ

Мы уже рассмотрели паровые машины, которые относятся к двигателям внешнего сгорания. Как видно из названия, в двигателях внешнего сгорания топливо сгорает снаружи основной части двигателя. В двигателях внутреннего сгорания топливо горит внутри рабочего цилиндра. Теперь рассмотрим двигатели внутреннего сгорания.

- Что такое двигатель внутреннего сгорания.
- Как устроен двигатель внутреннего сгорания и как он работает.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое тепловые двигатели?
- Каковы основные части теплового двигателя?
- Что такое КПД теплового двигателя?

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ. Среди способов увеличения КПД тепловых двигателей один оказался особенно рациональным. Суть его состояла в уменьшении потерь энергии за счёт перенесения места сжигания топлива и нагрева рабочего тела внутрь цилиндра. Отсюда и происхождение названия **двигатель внутреннего сгорания (ДВС)**. Эти двигатели работают на жидком топливе (бензин, керосин, нефть) или на горючем газе.

Двигатель внутреннего сгорания — один из самых распространённых двигателей. Он приводит в движение автомобили, тракторы, тепловозы, теплоходы и т. д.

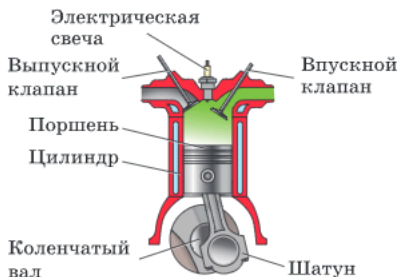
ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первый двигатель внутреннего сгорания создал в 1860 г. французский инженер Э. Ленуар. КПД его двигателя был равен всего 3,3 %. Однако благодаря развитию инженерной мысли в короткие сроки он был значительно усовершенствован. В 1864 г. немецкий инженер Н. А. Отто получил патент на новую модель двигателя внутреннего сгорания. Основное отличие этого двигателя от двигателя Ленуара заключалось в том, что в цилиндре двигателя Отто осуществлялось предварительное сжатие рабочей смеси. Поэтому КПД двигателя Отто значительно превышал КПД двигателя Ленуара.

УСТРОЙСТВО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.

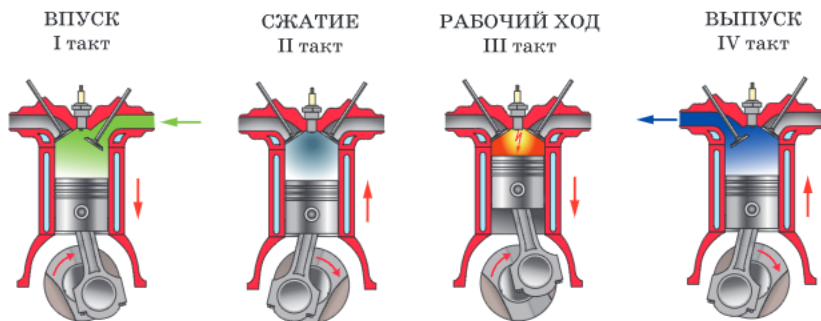
Рассмотрим простейший двигатель внутреннего сгорания. Он состоит из **цилиндра**, в котором перемещается **поршень**, соединённый с **шатун**ом (шатун — деталь механизма, предназначенная для соединения с коленчатым валом).

Шатун насажен на **коленчатый вал** и приводит его во вращение при движении поршня в цилиндре. В верхней части цилиндра имеются два отверстия, в которые вставлены **клапаны** — **впускной** и **выпускной**.



При работе двигателя по мере необходимости клапаны открываются и закрываются. Через них в цилиндр поступает горючая смесь, которая воспламеняется с помощью *свечи*, а также выходят отработанные газы.

ЧЕТЫРЕ ТАКТА РАБОТЫ ДВС. Крайние положения поршня в цилиндре называют *мёртвыми точками*, а расстояние, проходимое поршнем от одной мёртвой точки до другой, — *ходом поршня*. Один рабочий цикл в двигателе происходит за четыре хода поршня — четыре такта, поэтому такие двигатели называют **четырёхтактными**. Один ход поршня, или один такт двигателя, совершается за пол-оборота коленчатого вала.



Первый такт — впуск. Поршень движется сверху вниз от верхней мёртвой точки в нижнюю. Объём над поршнем увеличивается, и давление газа в цилиндре над ним уменьшается. Впускной клапан открывается, и через него поступает горючая смесь (смесь паров бензина и воздуха). Выпускной клапан при этом закрыт. Когда поршень приходит в нижнюю мёртвую точку, впускной клапан закрывается.

Второй такт — сжатие. При дальнейшем повороте вала поршень движется вверх и сжимает горючую смесь. Оба клапана закрыты. Когда поршень доходит до крайнего верхнего положения, сжатая горючая смесь воспламеняется (от электрической искры) и быстро сгорает.

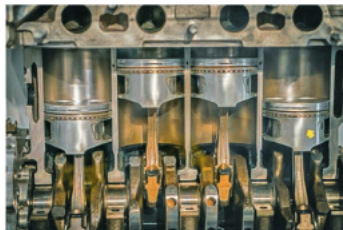
Третий такт — рабочий ход. При сгорании горючей смеси выделяется большое количество теплоты. Температура газообразных продуктов сгорания достигает 1600—1800 °С. Давление на поршень при этом возрастает. Расширяясь, газ толкает поршень, а вместе с ним и коленчатый вал с насаженным на него массивным маховиком, совершая при этом механическую работу. При этом газ охлаждается, так как часть его внутренней энергии превращается в механическую. Получив сильный толчок, маховик продолжает вращаться по инерции и перемещает посредством коленчатого вала поршень при последующих тактах.

Четвёртый такт — выпуск. Поршень движется вверх, выталкивая через открытый выпускной клапан отработанный газ. В конце четвёртого такта выпускной клапан закрывается. Затем цикл повторяется.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Первые двигатели внутреннего сгорания были одноцилиндровыми. Чтобы увеличить мощность такого двигателя, надо было увеличивать объём цилиндра. Позднее для создания более мощных двигателей стали увеличивать число цилиндров. Появились

двухцилиндровые, четырёхцилиндровые двигатели и т. д. В современных двигателях может использоваться от 1 до 24 цилиндров. В каждом из цилиндров шатуны связаны с общим коленчатым валом. В многоцилиндровых двигателях рабочие циклы каждого цилиндра не совпадают, а сдвинуты на один ход поршня. Большинство автомобилей используют четырёхцилиндровые ДВС.



4-цилиндровый ДВС

ДИЗЕЛЬНЫЕ И КАРБЮРАТОРНЫЕ ДВС. Двигатели внутреннего сгорания подразделяются на *дизельные* и *карбюраторные*. Основное их различие заключается в способе подачи топливо-воздушной смеси в цилиндр и способе её воспламенения.

В **карбюраторном двигателе** горючая смесь готовится вне двигателя в специальном устройстве — карбюраторе и из него поступает в двигатель; в необходимый момент она поджигается от свечи зажигания. Цикл работы карбюраторного двигателя может включать в себя 4 такта или 2 такта работы.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Двигатели, в которых рабочий цикл происходит за 2 такта, т. е. в течение одного оборота коленчатого вала, называют **двухтактными**. Процессы впуска горючей смеси и выпуска отработанного газа происходят одновременно. Движущийся поршень выполняет роль клапанов, открывая и закрывая впускные и выпускные окна и направляя потоки газов.

Двигатели такого типа применяются, например, в мотоциклах, небольших моторных лодках, бензопилах и других инструментах.

Важный шаг в деле совершенствования двигателей внутреннего сгорания был сделан в 1892 г. немецким инженером Рудольфом Д и з е л е м. В **дизельном двигателе** воздух попадает в цилиндр отдельно от топлива и затем сжимается. Из-за высокой степени сжатия, когда воздух нагревается до температуры самовоспламенения дизельного топлива (700—800 °С), оно впрыскивается в камеры сгорания через форсунки под большим давлением.

Дизельные двигатели устанавливают на легковых и грузовых машинах, сельскохозяйственной технике, теплоходах, тепловозах и т. д.

Дизельные двигатели являются наиболее экономичными тепловыми двигателями: они работают на дешёвых видах топлива и имеют КПД 30—50 %.

Карбюраторные двигатели внутреннего сгорания имеют довольно низкий КПД — 25—30 %.

АВТОМОБИЛИ С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ. Изобретение двигателя внутреннего сгорания сыграло огромную роль в автомобилестроении.

Первый автомобиль с бензиновым двигателем внутреннего сгорания был создан в 1886 г. Готлибом Д а й м л е р о м.

В том же году появился трёхколёсный автомобиль Карла Б е н ц а.

Их скорость достигала 18 км/ч.

В 1892 г. свой первый автомобиль построил Генри Ф о р д.



Автомобиль Даймлера



Автомобиль Бенца

▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО

Американский изобретатель Генри Форд изобрёл улучшенную сборочную линию с конвейерной лентой на своём автомобильном заводе. Одна из моделей автомобиля Ford собиралась за 93 минуты. За счёт сокращения времени себестоимость автомобилей уменьшилась. В начале XX в. Форд был крупнейшим в мире производителем автомобилей.

ВЫВОДЫ

- ! Существует несколько видов тепловых двигателей, которые можно разделить на двигатели внутреннего сгорания и двигатели внешнего сгорания.
- ! Двигатель внутреннего сгорания — один из самых распространённых двигателей. Он приводит в движение автомобили, тракторы, тепловозы, теплоходы и т. д.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Двигатель внутреннего сгорания; дизельный двигатель внутреннего сгорания; карбюраторный двигатель внутреннего сгорания

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Из каких тактов состоит работа двигателя внутреннего сгорания?
2. В какой из тактов внутренняя энергия топлива превращается в механическую, т. е. двигатель совершает работу?
3. Какую роль выполняет маховик в двигателе внутреннего сгорания?
4. Почему двигатель внутреннего сгорания является тепловым двигателем?
5. Как вы думаете, отражается ли неполное сгорание топлива в двигателе внутреннего сгорания на его КПД; на окружающей среде? Обоснуйте свой ответ.

РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ § 32

НОВОЕ В УРОКЕ

Реактивное движение было известно ещё в VII в. в Китае, где оно использовалось в фейерверках на праздниках. Сегодня реактивные двигатели играют важную роль в авиации. Они заставляют двигаться массивные самолёты и ракеты, развивая огромные скорости.

- Как устроены газовые турбины.
- Что собой представляет и как работает реактивный двигатель.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как устроен двигатель внутреннего сгорания?
- Как устроена паровая турбина?
- Как происходит процесс передачи энергии?

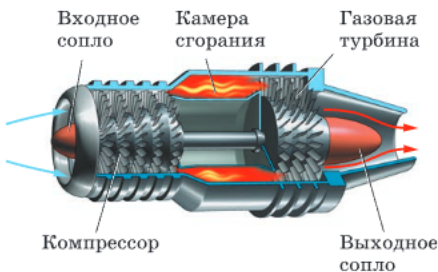
ГАЗОВАЯ ТУРБИНА. Газовая турбина сочетает в себе достоинства двигателя внутреннего сгорания и паровой турбины.

Важное преимущество газовой турбины — это упрощённое преобразование внутренней энергии газа во вращательное движение вала, в турбине нет поршня, шатуна и коленчатого вала. Как и в любом двигателе внутреннего сгорания, в газовой турбине отсутствуют топка и котёл. Такие двигатели, имея большую мощность, нашли широкое применение в авиации.

При работе турбины ротор *компрессора* вращается и засасывает воздух через *входное сопло*. Воздух, проходя через ряд лопастей компрессора, сжимается, его давление и температура повышаются. Сжатый воздух поступает в *камеры сгорания*. Одновременно через форсунку в неё впрыскивается под большим давлением жидкое топливо (керосин, мазут).

При горении топлива воздух, служащий рабочим телом, нагревается до 1500—2200 °С. Воздух расширяется, и скорость его движения увеличивается.

Движущиеся с большой скоростью воздух и продукты горения направляются в *газовую турбину*. Переходя от ступени к ступени, они отдают свою кинетическую энергию лопаткам ротора турбины, при этом их температура уменьшается до 550 °С.



Часть полученной турбиной энергии расходуется на вращение компрессора, а остальная энергия используется, например, для вращения винта самолёта или ротора электрического генератора. Отработанный воздух вместе с продуктами сгорания при давлении, близком к атмосферному, со скоростью более 500 м/с выбрасывается через *выходное сопло* в атмосферу.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

В настоящее время газовые турбины используются на электростанциях в сочетании с паровыми турбинами. Некоторые вертолёты, самолёты и военные машины оснащены газотурбинными двигателями. В отличие от двигателей внутреннего сгорания, газотурбинные двигатели имеют большую мощность, а их размеры меньше подобных двигателей с системой цилиндров и поршней.

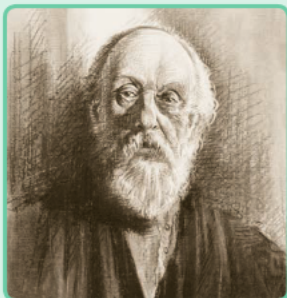
РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ. Газовая турбина может быть использована как реактивный двигатель. Воздух и продукты горения выбрасываются из газовой турбины с большой скоростью. Реактивная сила тяги, возникшая при этом, может быть использована для движения самолёта, судна, автомобиля.



Реактивная сила тяги, возникшая при этом, может быть использована для движения самолёта, судна, автомобиля.

Реактивные двигатели, которые применяют в ракетах, не используют в своей работе воздух земной атмосферы. В ракетах топливо сгорает в камерах сгорания, и образовавшиеся газы оказывают сильное давление на стенки камеры. С одной стороны камеры имеется сопло, через которое продукты сгорания вырываются в окружающее пространство. При этом расширяющиеся газы оказывают давление на стенки камеры, как на поршень, толкая ракету вперёд.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Константин Эдуардович
Циолковский
(1857—1935)

Большинство современных ракет оснащаются жидкостными реактивными двигателями. В качестве реактивного топлива в них используются жидкости или сжиженные газы.

Конструкцию космической ракеты с жидкостным реактивным двигателем впервые предложил в 1903 г. русский учёный Константин Эдуардович Циолковский.

Благодаря реактивным двигателям человечество смогло преодолеть скорость звука, оторваться от земли и полететь в космос. Ступить на Луну и запустить искусственные спутники на орбиты Земли, Луны, Марса и других планет Солнечной системы. А также запустить космические аппараты за пределы Солнечной системы. В будущем планируется отправить экспедиции на Марс.


Итак, в реактивном двигателе внутренняя энергия топлива непосредственно преобразуется в кинетическую энергию движущегося аппарата.

ЭТО ИНТЕРЕСНО 

Считается, что изобретателями реактивного двигателя в том виде, который мы знаем сегодня, являются немецкий физик и инженер-конструктор Ганс фон Охайн и английский инженер и пилот Фрэнк Уиттл. В 1939 г. состоялся первый в мире полёт на самолёте с турбореактивным двигателем.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Различают воздушно-реактивные двигатели и ракетные двигатели. В *воздушно-реактивных двигателях* топливо окисляется кислородом, потребляемым из атмосферного воздуха. Такие двигатели устанавливают на реактивные самолёты, крылатые ракеты, беспилотные летательные аппараты и т. д. В отличие от воздушно-реактивных двигателей *ракетным двигателям* для работы не требуется воздух земной атмосферы. Ракета несёт все необходимые компоненты как горючего, так и окислителя на борту. Поэтому ракетные двигатели используются для работы в космическом пространстве.

 В современной технике широко применяют такие тепловые двигатели, как газовая турбина и реактивный двигатель.

ВЫВОДЫ

Газовая турбина; реактивный двигатель

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. На каком физическом принципе основано реактивное движение?
2. В чём заключается сходство, а в чём различия в работе паровой и газовой турбин?
3. Можете ли вы привести примеры животных, которые для своего перемещения используют принцип реактивного движения?
4. Если надуть воздушный шарик и, не завязывая его отверстие, выпустить из рук, то шарик начнёт быстро двигаться по сложной траектории. В чём причина движения шарика?

§ 33 ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

НОВОЕ В УРОКЕ

- На чём основан принцип работы холодильника.
- Каковы основные части холодильной установки.
- Как работает кондиционер.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как происходит процесс передачи энергии?
- Что происходит с энергией при испарении?

В природе процесс передачи энергии от холодного тела к горячему невозможен. Однако искусственное охлаждение стало неотъемлемой частью современной жизни. В быту мы нередко используем холодильник для охлаждения пищевых продуктов. Для охлаждения воздуха в помещении используются кондиционеры.

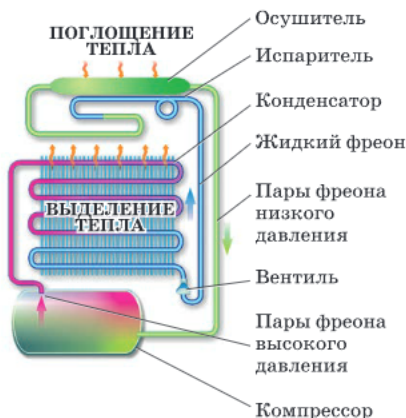
ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ. Действие холодильника заключается в том, что от холодного тела, находящегося в морозильнике, отнимается некоторое количество теплоты и передаётся более нагретому телу. Этим телом является воздух в комнате, который в результате работы холодильника дополнительно нагревается. В этом легко убедиться, если поднести руку к радиатору, расположенному на задней стенке холодильника.

Процесс испарения жидкости может происходить и без подвода энергии извне. В этом случае испарение осуществляется за счёт уменьшения внутренней энергии соседних слоёв жидкости, что приводит к понижению её температуры. Особенно сильный эффект наблюдается при быстром испарении жидкости. Это явление и используется в работе холодильных машин.

Для охлаждения в холодильнике используется вещество, которое легко испаряется, например *фреон* (кипит при $-29,8^{\circ}\text{C}$). Через *вентиль* жидкий фреон подаётся в *испаритель* и в нём быстро испаряется. Испарение сопровождается поглощением энергии от стенок испарителя, от воздуха, соприкасающегося с ним, и от продуктов, находящихся в морозильной камере.

Компрессор, приводимый в действие электродвигателем, откачивает газообразный фреон из испарителя и нагнетает его в *конденсатор*. Конденсатор располагается на задней стенке холодильника в виде специальной решётки либо встроен во внутренние боковые стенки. В конденсаторе фреон конденсируется и вновь поступает через вентиль в испаритель. В процессе конденсации фреона выделяется энергия. Можно заметить, что во время работы холодильника решётка конденсатора или стенки холодильника, в которых находится конденсатор, нагреваются.

Итак, за счёт энергии, потребляемой от электрической сети, совершается процесс передачи тепла от холодильной камеры к более нагретому окружающему воздуху.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

До изобретения холодильника для сохранения продуктов использовали мокрую ткань. Люди заметили, что при испарении воды соприкасающиеся с ней предметы охлаждаются. Поэтому мокрыми кусками ткани обёртывали бутылки, кувшины и другие ёмкости. Кроме этого, продукты хранили в вырытых ямах, колодцах, погребах, так как там температура была ниже, чем в доме. На Руси применялись специальные изолированные погреба, которые назывались «ледниками». Зимой в них помещали снег и лёд, переложенные соломой. Такая конструкция позволяла сохранять продукты в течение всего года.

Слово «холодильник» впервые употребил в 1803 г. американский предприниматель Томас Мур. Для доставки сливочного масла к месту назначения он изобрёл конструкцию, которая позволяла хранить продукты длительное время. Холодильник представлял собой деревянный корпус, в котором находился металлический контейнер. Контейнер был обёрнут шкурками кролика и заполнен льдом. В XIX в. такие устройства назывались ледяными ящиками (англ. *ice-box*).

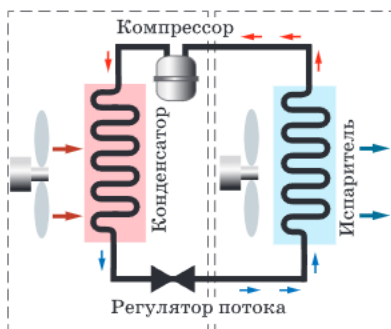
Первый бытовой электрический холодильник был собран в 1913 г.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Когда мы открываем дверцу холодильника, тёплый воздух из помещения попадает в холодильник или в морозильную камеру. Водяной пар, содержащийся в воздухе, при контакте с холодным испарителем конденсируется, и образовавшаяся вода замерзает. Таким образом, на задней стенке холодильника или в морозильной камере возможно образование снега и льда. В последнее время широкой популярностью пользуются холодильники, имеющие автоматическую систему оттаивания. Например, в холодильниках с так называемой системой No Frost (от англ. «нет изморози/инее») с помощью вентилятора обеспечивается вывод влаги из системы. А в холодильниках с капельной системой разморозки через определённые промежутки времени происходит нагрев испарителя. Лёд со стенок холодильника оттаивает, и образовавшиеся капли стекают в специальное отверстие.

КОНДИЦИОНЕР. Как и холодильник, кондиционер использует явление поглощения энергии при испарении жидкости для охлаждения воздуха в помещении. Если открыть дверцу холодильника, то попавший в холодильник тёплый воздух охладится. Но при этом из-за работы холодильника сильно нагреется конденсатор, который, в свою очередь, передаст тепло окружающему воздуху. Поэтому такой способ охлаждения воздуха не очень эффективен.

Кондиционер имеет два блока: внутренний и внешний. *Внутренний блок*, находящийся в помещении, содержит *испаритель*. В испарителе, как и в холодильнике,



Внешний блок Внутренний блок

происходит кипение и испарение хладагента (например, фреона). При испарении фреон поглощает энергию от стенок испарителя и от воздуха, соприкасающегося с ним. *Вентилятор* прогоняет воздух через испаритель, и воздух выходит из блока в помещение охлаждённым.

Внешний блок, который находится на улице, представляет собой металлический ящик с *компрессором* и *конденсатором*. Таким образом, тепло, выделяемое конденсатором, передаётся уже не в помещение, а наружному воздуху.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первая система кондиционирования воздуха была разработана в 1902 г. американским инженером-электриком Уиллисом Кэрриером. В его системе тёплый воздух вытягивался из помещения, проходил через систему холодных труб (заполненных холодной водой) и поступал охлаждённым обратно в помещение.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Кондиционер уменьшает влажность воздуха в помещении. Дело в том, что, когда тёплый воздух поступает во внутренний блок кондиционера, его температура уменьшается, и часть водяного пара из воздуха конденсируется. Поэтому рядом с кондиционерами имеются стоки и поддоны для воды. Бытовой кондиционер может вывести из помещения 1—2 л воды за 1 ч.

ВЫВОД



Искусственное охлаждение стало неотъемлемой частью современной жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Холодильник; кондиционер

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем работа кондиционера отличается от работы холодильника?
2. Как можно определить КПД холодильной машины?
3. Можно ли понизить температуру воздуха в помещении, если открыть дверцу холодильника?
4. В зимнее время холодильник выставили на открытый балкон. Возможна ли при этом экономия электроэнергии?

ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ И ЭКОЛОГИЯ § 34

НОВОЕ В УРОКЕ

- Каковы экологические проблемы использования тепловых машин.
- Каковы возможные пути решения этих экологических проблем.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как устроен двигатель внутреннего сгорания?
- Как устроена паровая турбина?
- На чём основан принцип работы холодильника?

Непрерывное развитие энергетики, автомобильного и других видов транспорта, возрастание потребления угля, нефти и газа в промышленности и на бытовые нужды увеличивают возможности удовлетворения жизненных потребностей человека. Однако в настоящее время количество ежегодно сжигаемого в различных тепловых машинах топлива настолько велико, что запасы ископаемого топлива на нашей планете стремительно оскудевают. Всё более сложной проблемой становится охрана природы от вредного влияния продуктов сгорания.

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ СО СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА. Отрицательное влияние тепловых машин на окружающую среду связано с действием различных факторов.

Загрязнение воздуха *азотными* и *серными соединениями* очень вредно для здоровья человека, отрицательно влияет на животный и растительный мир Земли. Особенно существенно это загрязнение в крупных городах и промышленных центрах.

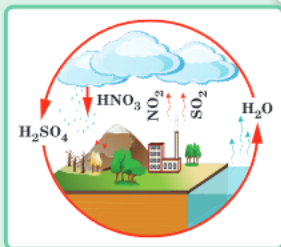
Более половины всех загрязнений атмосферы даёт транспорт. Кроме оксида углерода и соединений азота, автомобильные двигатели ежегодно выбрасывают в атмосферу около 330 000 т *свинца*.

Так как автомобильные двигатели играют решающую роль в загрязнении атмосферы в городах, проблема их усовершенствования представляет одну из наиболее актуальных научно-технических задач.

Перспективными являются разработки и испытания автомобилей, в которых вместо бензиновых двигателей применяются электродвигатели, питающиеся от аккумуляторов, или двигатели, использующие в качестве топлива водород.



Попадающие в атмосферу продукты сгорания образуют дополнительные кислоты. В результате повышается кислотность водяных паров, и на землю проливаются *кислотные дожди*, наносящие урон растениям и животным. Термин «кислотный дождь» впервые появился в книге английского химика Роберта Смита «Воздух и дождь: начало химической климатологии». Но только во второй половине XX в. проблема кислотных осадков стала настолько актуальной, что ею стали заниматься учёные всего мира.



ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ. Многие современные учёные утверждают, что в течение последнего столетия температура атмосферы нашей планеты увеличилась на один градус выше среднего показателя. Изменение климата на Земле происходит в результате как естественных внутренних процессов, так и деятельности человека.

На первый взгляд производство на планете более $6 \cdot 10^{14}$ МДж энергии в год, отнесённое к площади освоенной человеком суши (около 100 млн км²), даёт ничтожное увеличение по сравнению с поступлением лучистой энергии Солнца на земную поверхность (приблизительно 1 кДж на 1 м² поверхности каждую секунду).

Трудно с уверенностью сказать, происходит глобальное потепление или нет, так как наблюдаемый рост температуры всё ещё находится в пределах естественных температурных колебаний.

Однако расчёты показывают, что если ежегодное использование первичных энергоресурсов возрастёт в 100 раз, то средняя температура на Земле повысится ещё примерно на 1 °С. Дальнейшее повышение температуры может привести к интенсивному таянию ледников и катастрофическому повышению уровня Мирового океана, к изменению природных комплексов, что существенно изменит условия жизни человека на планете. Сегодняшние темпы роста энергопотребления таковы, что прогнозы на будущее выглядят очень тревожно.

Применение паровых турбин на электростанциях требует много воды и больших площадей, занимаемых под пруды для охлаждения отработанного пара.

Если отработанную горячую воду мощной теплоэлектростанции сливать в проточную воду, то её температура повысится. Такого воздействия на гидросферу допускать нельзя, оно приведёт к изменению теплового режима в реках, видового состава флоры и фауны. Поэтому рядом с теплоэлектростанциями создаются пруды-охладители площадью 10—20 км², изолированные от рек и озёр.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Борьба с загрязнением воздуха и воды отходами промышленного производства достаточно эффективно ведётся с использованием различных фильтров, в том числе мембранных. Например, размеры пор мембраны для микрофльтрации составляют от 0,1 до 1,0 мкм, для ультрафльтрации — от 0,02 до 0,1 мкм, а для нанофльтрации — от 0,001 до 0,02 мкм. Все эти фильтры способны задерживать и абсорбировать коллоидные частицы, высокомолекулярные соединения, бактериальные компоненты. Рекордными характеристиками обладают так называемые фильтры с системой обратного осмоса: размеры пор их мембран порядка 0,0001 мкм. Такие фильтры удаляют практически все загрязнения и примеси.

В 70-х годах XX в. учёные заговорили об истончении озонового слоя над Южным полюсом. Этот слой чрезвычайно важен для поддержания жизни на нашей планете, поскольку защищает биосферу от вредного ультрафиолетового излучения Солнца.

Предполагается, что появление озоновых дыр связано с поступлением в атмосферу фреонов — газообразных веществ, широко используемых в холодильниках, а также в различных аэрозольных упаковках.

Дополнительным источником воздействия на окружающую среду являются тепловые потери в теплоцентралях крупных городов.

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В ТЕПЛОСЕТЯХ. Многоквартирные дома, промышленные и офисные здания и другие городские объекты обогреваются с помощью системы центрального отопления. Тепловая энергия вырабатывается в котельных или *теплоэлектроцентралях* (ТЭЦ). Затем теплоноситель (горячая вода или пар) переносит эту энергию к потребителям по тепловым сетям, которые представляют собой систему соединённых между собой трубопроводов. Горячая вода (или пар) постоянно циркулирует в системе: от котельной она движется по трубам и поступает в батареи отопления, а затем возвращается обратно в котельную для подогрева и дальнейшего использования.

Безусловно, в каждом элементе системы отопления происходят тепловые потери, т. е. выделение тепловой энергии в окружающую среду. При производстве тепловой энергии в котельной или ТЭЦ основные тепловые потери связаны с неполным сгоранием топлива в котле и уходящими в окружающую среду газами и могут достигать 18—20 %. Потери тепла при транспортировке по теплосетям зависят от длины теплотрасс, их состояния, используемых изоляционных материалов. Тепловые потери в теплосетях обычно не превышают 5—7 %.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. Человечество осознало, что нерациональное использование результатов технического прогресса может нанести огромный вред хрупкому равновесию в мировой экосистеме. Поэтому ведутся разработки альтернативных источников энергии, таких как солнечные батареи, ветровые и геотермальные электростанции, переработка бытовых отходов и отходов производства.

Экономия электроэнергии, воду и тепло в своём доме, мы способствуем уменьшению количества вредных выбросов в атмосферу. Каждый может внести свой вклад в сохранение нашей планеты.

❗ Отрицательное влияние тепловых машин на окружающую среду связано с действием различных факторов.

❗ В настоящее время широкое распространение получили поиски альтернативных источников энергии.

ВЫВОДЫ

Тепловая машина; экология; глобальное потепление; кислотные дожди; озоновые дыры

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Какое отрицательное воздействие оказывают тепловые машины на экологию?
2. Предложите способы уменьшения отрицательного влияния тепловых машин на экологию.
3. Существуют ли какие-либо внешние факторы, не связанные непосредственно с деятельностью человека, которые могут оказывать влияние на характер изменения климата Земли? Если да, то приведите примеры.

§ 35 ВСЕОБЩИЙ ХАРАКТЕР ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как проявляется закон сохранения энергии в механических и тепловых явлениях.
- Примеры проявления закона сохранения энергии в природе.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как формулируется закон сохранения энергии?

Закон сохранения энергии — один из самых фундаментальных принципов материального мира. Этот закон носит всеобъемлющий характер и выполняется в физических, химических, биологических процессах. Его проявление можно обнаружить во всех процессах, происходящих в атмосфере Земли, в недрах земной коры, а также внутри звёзд и на просторах Вселенной.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ. Изучая механику, мы знакомимся с простейшими проявлениями закона сохранения энергии — это взаимные превращения потенциальной и кинетической энергии. Если по каким-то причинам при проведении опыта измерения показали невыполнение закона сохранения механической энергии, то необходимо найти и объяснить причину этого — значит, где-то была допущена ошибка или часть энергии из механической превратилась в другую.

Например, шарик без проскальзывания скатывается по наклонной плоскости. Как показывают опыты, выполненные с высокой точностью, его потенциальная энергия в начале движения и кинетическая энергия поступательного движения в тот момент, когда он начинает двигаться по горизонтальной поверхности, различаются. Одной из причин этого является тот факт, что часть потенциальной энергии превращается в кинетическую энергию вращательного движения шарика. При этом полная энергия системы тел, состоящей из шарика и наклонной плоскости, сохраняется.

Во многих механических явлениях часть полной механической энергии затрачивается также на совершение работы против сил трения и сопротивления среды.

ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВО ВНУТРЕНнюю. Мы знаем множество примеров превращения механической энергии во внутреннюю. С древних времён человек научился превращать механическую энергию в тепловую при добычании огня трением. В наше время ярким примером такого превращения может служить нагревание обшивки космических кораблей при возвращении их на Землю.

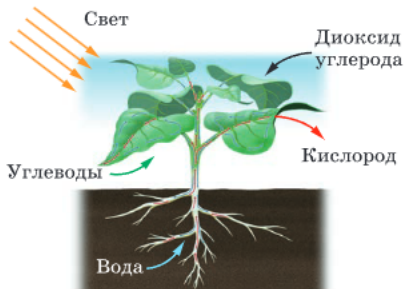
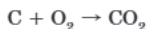
Внутренняя энергия тела связана со взаимным расположением и движением молекул вещества, т. е. с потенциальной и кинетической энергией молекул. При этом следует отметить, что как при механическом движении тел, так и при их нагревании или охлаждении, а также при переходе тел из одного агрегатного состояния в другое состав молекул и свойства молекул вещества не меняются. Например, водяной пар, вода и лёд состоят из одних и тех же молекул, содержащих два атома водорода и один атом кислорода — H_2O .



Пример химической реакции с выделением энергии

Когда из молекул двух различных веществ образуется новое вещество, происходит выделение или поглощение энергии. Если внутренняя энергия веществ в процессе реакции уменьшается, то происходит выделение энергии в окружающую среду, если внутренняя энергия увеличивается — происходит поглощение энергии.

В этих реакциях, меняя давление и температуру, из разных атомов и молекул можно создавать новые вещества. Например, в реакции горения при высоких температурах атомы углерода С соединяются с молекулами кислорода O_2 , образуя новое вещество — *углекислый газ* (молекулы CO_2):



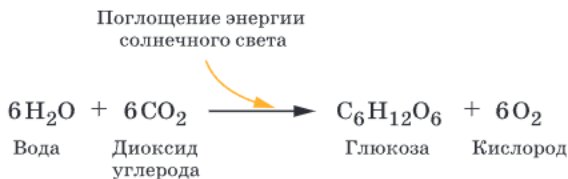
Фотосинтез

молекулы кислорода и сложных органических веществ — углеводов. При этом углеводы как бы аккумулируют или «запасают» солнечную энергию.

При этом не только образуются новые молекулы, но и *выделяется энергия*.

Некоторые химические реакции идут с *поглощением энергии*. Одна из таких реакций — *фотосинтез*. «Фотосинтез» в переводе с греческого означает создание или сборку чего-либо под действием света.

Солнечное излучение несёт с собой огромную энергию, которая обеспечивает жизнь на Земле. Когда свет попадает в клетки растений, его энергия идёт на химические реакции, в которых из молекул углекислого газа и воды образуются молекулы



Реакция фотосинтеза

Интересно, что образующиеся в реакции фотосинтеза углеводы содержат больше энергии, чем исходные вещества (вода и углекислый газ). Животные, поедая растения, в результате сложных биологических процессов, происходящих внутри клеток, получают эту энергию и расходуют её в процессе своей жизнедеятельности. Более того, за сотни миллионов лет в недрах Земли накоплены полезные ископаемые — уголь, природный газ, нефть и т. д. Люди добывают их и используют для своих нужд, в частности для получения тепла и электричества. Эти полезные ископаемые являются продуктами разложения древних растений и живых организмов. Содержащаяся в них энергия ранее была получена за счёт солнечного света.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ПРИРОДЕ. Основным источником энергии на Земле является излучение Солнца. Поверхность Земли и океанов, поглощая солнечное излучение, нагревается неравномерно. Это приводит к образованию ветра — движению воздушных масс из области высокого давления в область низкого давления. Такие воздушные потоки переносят с собой энергию и влагу и определяют климат на нашей планете. Энергию ветра человек научился использовать, начиная с ветряных мельниц и заканчивая современными ветроэнергетическими установками. Современные технологии позволяют также строить солнечные электростанции и преобразовывать солнечную энергию в электрическую, которая используется в быту.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Закономерным является вопрос: откуда берётся энергия, которую излучает Солнце? Она возникает в результате ядерных реакций, когда при огромных температурах и давлениях происходит превращение самых лёгких ядер водорода в ядра гелия. Эти реакции идут с выделением колоссальной энергии. И называются они *реакциями термоядерного синтеза*.

ВСЕОБЩИЙ ХАРАКТЕР ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ. В процессе изучения тепловых явлений физикам стало понятно, что при переходе механической энергии во внутреннюю полная энергия сохраняется. С развитием физики человечество открывало всё новые и новые виды энергии.

Фундаментальность закона сохранения энергии заключается в том, что, независимо от возможных переходов энергии из одной формы в другую,

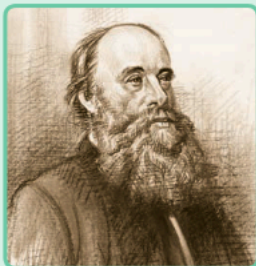
полная энергия остаётся постоянной.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Открытие и формулировка закона сохранения и превращения энергии — результат работы множества учёных на протяжении многих лет. Но главными открывателями закона считаются немецкий врач и естествоиспытатель Роберт Майер, английский физик Джеймс Джоуль и немецкий физик Герман Гельмгольц. Независимо друг от друга исследователи пришли к одному выводу о всеобщем характере закона сохранения энергии.



Юлиус Роберт Майер
(1814—1878)



Джеймс Прескотт Джоуль
(1818—1889)



Герман Гельмгольц
(1821—1894)

НЕОБРАТИМОСТЬ ПРОЦЕССОВ В ПРИРОДЕ. Поставим на холодную металлическую подставку горячую кастрюлю. Постепенно кастрюля отдаст часть своего тепла подставке, при этом подставка нагреется, а кастрюля остынет. Обратный процесс, при котором холодная подставка отдаст часть своего тепла горячей кастрюле, вполне допустим согласно закону сохранения энергии, но в реальности невозможен. Если кусочек льда опустить в стакан с тёплой водой, лёд постепенно растает, а вода остынет. Этот процесс также необратим. Процесс, который может протекать только в одном определённом направлении, называется **необратимым**.

ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И НЕВОЗМОЖНОСТЬ ИХ СОЗДАНИЯ. Устройство, безостановочно двигающее себя без поступления энергии извне и совершающее какую-либо полезную работу, например поднимающее груз, по сути является *вечным двигателем*. Первые проекты вечного двигателя относятся к XIII в. К концу XVIII в. укрепилось убеждение в невозможности создания вечного двигателя, и с 1775 г. Французская академия наук отказалась рассматривать подобные проекты. В середине XIX в. с установлением закона сохранения энергии была доказана неосуществимость этой идеи.

- ! Закон сохранения энергии носит всеобъемлющий характер и выполняется в физических, химических, биологических и других процессах.
- ! Создать вечный двигатель невозможно.

ВЫВОДЫ

Закон сохранения энергии; реакция горения; реакция фотосинтеза

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

1. Приведите примеры явлений, в которых механическая энергия превращается в тепловую, а тепловая энергия превращается в механическую.
2. Каково значение закона сохранения энергии в природе?

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

§ 36

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- ЗАДАЧА 1. Определите, на сколько градусов можно нагреть 25 л воды, используя всю теплоту, выделяющуюся при сгорании 50 г бензина. Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота сгорания бензина $46 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$, плотность воды $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Дано:

$$V_{\text{в}} = 25 \text{ л}$$

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$m_{\text{б}} = 50 \text{ г}$$

$$q_{\text{б}} = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$\Delta t = ?$

СИ

$$2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

0,05 кг

Решение.

По условию задачи количество теплоты $Q_{\text{б}}$, выделяющейся при сгорании бензина, равно количеству теплоты $Q_{\text{в}}$, которое расходуется на нагревание воды:

$$Q_{\text{б}} = Q_{\text{в}}, \quad Q_{\text{б}} = q_{\text{б}} m_{\text{б}},$$

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t, \quad m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} V_{\text{в}}.$$

Запишем равенство: $q_{\text{б}} m_{\text{б}} = c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} \Delta t$,

$$\text{откуда } \Delta t = \frac{q_{\text{б}} m_{\text{б}}}{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}}}.$$

Установим наименование полученной величины:

$$[\Delta t] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} = ^\circ\text{C}.$$

Такое наименование соответствует наименованию единицы температуры.

Подставим числовые значения:

$$\Delta t = \frac{46 \cdot 10^6 \cdot 0,05}{4200 \cdot 1000 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} \approx 22 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ответ: $22 \text{ } ^\circ\text{C}$.

- ЗАДАЧА 2. На какую высоту можно поднять груз массой 1,5 кг за счёт энергии, которая выделяется при сжигании 1 г дизельного топлива? Удельная теплота сгорания топлива $42,7 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$.

Дано:

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$m_{\text{т}} = 1 \text{ г}$$

$$q = 42,7 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$h = ?$

СИ

10^{-3} кг

Решение.

Количество теплоты Q , которая выделяется при сгорании топлива, идёт на увеличение потенциальной энергии $E_{\text{п}}$ груза:

$$Q = E_{\text{п}}, \quad \text{где } Q = q m_{\text{т}}, \quad E_{\text{п}} = mgh.$$

Получаем равенство $q m_{\text{т}} = mgh$, откуда $h = \frac{q m_{\text{т}}}{mg}$.

$$h = \frac{42,7 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{1,5 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 2847 \text{ м}.$$

Ответ: 2847 м.

- ЗАДАЧА 3. Рабочее тело тепловой машины за 1 ч работы получает от нагревателя количество теплоты в 1,8 раза больше, чем отдаёт холодильнику за это же время. Вычислите КПД тепловой машины.

Дано:
 $Q_n = 1,8Q_x$

$\eta - ?$

Решение.

КПД теплового двигателя

$$\eta = \frac{Q_n - |Q_x|}{Q_n} \cdot 100\%$$

Тогда

$$\eta = \frac{1,8Q_x - Q_x}{1,8Q_x} \cdot 100\% = \frac{0,8}{1,8} \cdot 100\% = 44\%$$

Ответ: 44 %.

- ЗАДАЧА 4. Для работы парового двигателя в течение 2 ч требуется 5 кг угля. Определите мощность двигателя, если его КПД равен 25 %. Удельная теплота сгорания угля 29 МДж/кг.

Дано:
 $t = 2$ ч
 $m = 5$ кг
 $\eta = 25\%$
 $q = 29$ МДж/кг

$N - ?$

СИ
 7200 с
 $29 \cdot 10^6$ Дж/кг

Решение.

$$\text{КПД теплового двигателя } \eta = \frac{A_n}{Q_n} \cdot 100\%,$$

где A_n — полезная работа, совершённая двигателем,

$Q_n = qm$ — энергия, полученная от нагревателя и равная энергии сгорания топлива.

$$\text{Мощность двигателя } N = \frac{A_n}{t}.$$

Учитывая, что полезная работа

$$A_n = \frac{\eta Q_n}{100\%} = \frac{\eta qm}{100\%},$$

$$\text{получаем мощность } N = \frac{\eta qm}{100\% \cdot t};$$

$$N = \frac{25\% \cdot 29 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 5 \text{ кг}}{100\% \cdot 7200 \text{ с}} = 5000 \text{ Вт} = 5 \text{ кВт}.$$

Ответ: 5 кВт.

- ЗАДАЧА 5. КПД теплового двигателя равен 35 %. После модернизации конструкции двигателя количество теплоты, получаемой от нагревателя, увеличилось на 10 %, а количество теплоты, отдаваемой холодильнику, осталось прежним. Чему равен КПД теплового двигателя после модернизации?

Дано:
 $\eta_1 = 35\%$
 $Q_{n2} = 1,1Q_{n1}$
 $Q_{x2} = Q_{x1}$

$\eta_2 - ?$

Решение.

КПД теплового двигателя до модернизации:

$$\eta_1 = \frac{Q_{n1} - Q_{x1}}{Q_{n1}} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{Q_{x1}}{Q_{n1}}\right) \cdot 100\%.$$

Из этого выражения найдём:

$$\frac{Q_{x1}}{Q_{n1}} = 1 - \frac{\eta_1}{100\%} = 1 - 0,35 = 0,65.$$

КПД теплового двигателя после модернизации:

$$\eta_2 = \frac{Q_{\text{н2}} - Q_{\text{х2}}}{Q_{\text{н2}}} \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{Q_{\text{х2}}}{Q_{\text{н2}}} \right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{Q_{\text{х1}}}{1,1Q_{\text{н1}}} \right) \cdot 100 \%$$

$$\eta_2 = \left(1 - \frac{1}{1,1} \cdot 0,65 \right) \cdot 100 \% = 41 \%$$

Ответ: 41 %.

Задачи для самостоятельного решения

- 1 Какое количество теплоты выделится при полном сгорании сухих берёзовых дров объёмом $0,8 \text{ м}^3$? Плотность данного сорта древесины считайте равной $0,7 \text{ г/см}^3$.
- 2 В каком случае выделится большее количество теплоты: при сгорании 10 л бензина или 1 м^3 природного газа с плотностью 720 кг/м^3 ?
- 3 Какую скорость можно сообщить автомобилю массой $1,5 \text{ т}$ за счёт энергии, которая выделяется при сжигании 100 г водорода? Удельная теплота сгорания водорода $120 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.
- 4 Комната размером $4 \times 5 \times 3 \text{ м}^3$ теряет через тонкие стены и окна энергию, равную 6 ккал , за 1 мин . Определите массу сухих берёзовых дров, которые нужно сжечь в печи с коэффициентом полезного действия 56% , чтобы в течение суток поддерживать в комнате температуру воздуха $21 \text{ }^\circ\text{C}$ без изменения.
- 5 Во время работы тепловой двигатель получает от нагревателя 600 Дж энергии. При этом 150 Дж энергии составляют потери тепла в окружающую среду. Чему равен КПД теплового двигателя?
- 6 Определите КПД двигателя легкового автомобиля, если за 1 ч работы он израсходовал 11 л бензина, развивая мощность до 102 л. с. ($1 \text{ л. с.} = 735,5 \text{ Вт}$). Плотность бензина 760 кг/м^3 .



Практическая работа-исследование

Изучаем тепловой двигатель

ИЗМЕРЕНИЕ КПД ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ

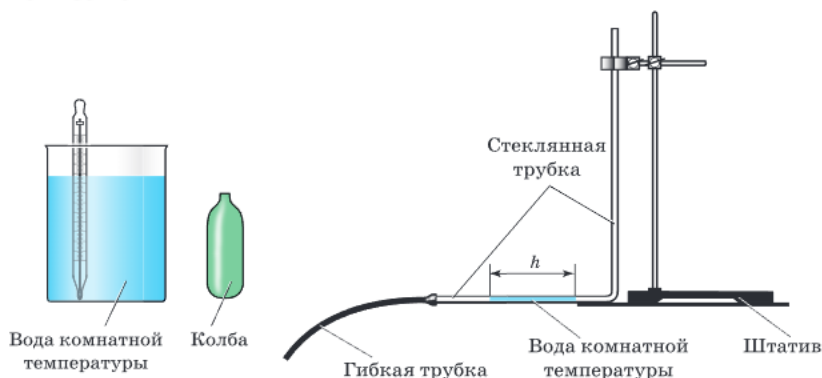
Как вы знаете, газ при нагревании расширяется и может совершать полезную работу. А можно ли обычный воздух превратить в рабочее тело тепловой машины? Какую полезную работу может совершить нагретый воздух? И как определить КПД полученного теплового устройства?

Цель работы

Опытным путём определить КПД тепловой машины, использующей энергию нагретого воздуха.

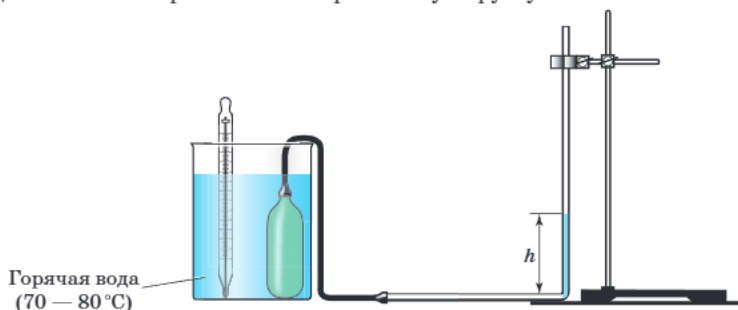
Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать небольшую колбу или сосуд объёмом 40—50 мл из набора для проверки газовых законов, две стеклянные трубки длиной 20—30 см и диаметром 0,5—1,0 см, длинную гибкую резиновую или пластмассовую трубку диаметром 0,5—1,0 см, термометр, медицинский шприц, штатив, линейку, сосуд с горячей водой (калориметр), сосуд с водой комнатной температуры.
- Соберите установку. К штативу прикрепите две соединённые между собой стеклянные трубки. К концу горизонтальной стеклянной трубки прикрепите гибкую трубку.



- С помощью шприца наберите 5—6 мл воды комнатной температуры и через вертикальную трубку введите её в горизонтальную трубку.
- Измерьте длину h столбика воды в трубке.
- К свободному концу горизонтальной трубки прикрепите колбу с воздухом. (Объём V_c колбы считается известным.)

- Придерживая горизонтальную трубку, поместите колбу в сосуд с водой комнатной температуры. Измерьте температуру t_1 воды; температура воды также равна и температуре воздуха в колбе.
- В стакан с водой комнатной температуры долейте горячую воду. Зафиксируйте изменение температуры Δt воздуха в колбе к моменту времени, когда столбик воды полностью переместится в вертикальную трубку.



- Используя табличные значения плотностей, вычислите массу воздуха $m_{\text{возд}}$ в колбе и массу m столбика воды. При этом мы пренебрегаем незначительным изменением плотности воздуха при его нагревании до указанной температуры.
- Используя табличное значение удельной теплоёмкости $c_{\text{возд}}$ воздуха, рассчитайте изменение его внутренней энергии в процессе совершения работы (затрачено количество теплоты):

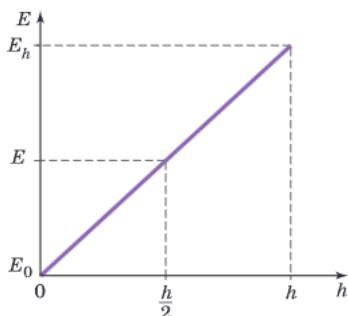
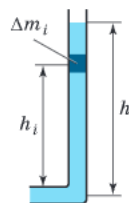
$$Q_2 = m_{\text{возд}} c_{\text{возд}} |\Delta t|.$$

- Вычислите изменение потенциальной энергии столбика воды (полезная работа).

Если разделить столбик воды массой m и высотой h на большое число одинаковых малых элементов массой Δm_i каждый, то потенциальная энергия такого элемента запишется в виде: $E_i = \Delta m_i g h_i$.

Потенциальная энергия всего столбика воды равна сумме потенциальных энергий отдельных элементов:

$$E = E_1(h_1) + E_2(h_2) + \dots + E_n(h_n).$$



Таким образом, зависимость потенциальной энергии от высоты является прямо пропорциональной. Поэтому мы можем для вычисления потенциальной энергии всего столбика воды использовать среднее значение

$$E = \frac{E(0) + E(h)}{2} = \frac{1}{2} mgh,$$

так как $E(0) = 0$.

Следовательно,

$$A_{\text{п}} = \frac{1}{2} mgh.$$

- Вычислите КПД тепловой машины по формуле:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_2} \cdot 100 \ %.$$

- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в тетради.

V_c , мл	$m_{\text{возд}}$, г	Δt , °С	$c_{\text{возд}}$, МДж/(г · °С)	$Q_{\text{затр}}$, МДж	m , г	h , см	A_p , МДж	η , %

- Объясните, почему КПД данной тепловой машины имеет малое значение.
- Перечислите по возможности все факторы, приводящие к потерям энергии в данном процессе.
- Сделайте выводы.

ОГНЕСТРЕЛЬНОЕ ОРУЖИЕ КАК ТЕПЛОВАЯ МАШИНА

КЕЙС

Между учениками 8-го инженерного класса Петей и Сашей возникла дискуссия о том, можно ли огнестрельное оружие рассматривать как тепловую машину. Как утверждал Петя, при выстреле внутренняя энергия взрывчатого вещества (пороха) превращается в механическую энергию движущейся пули. При этом увеличение механической энергии пули осуществляется за счёт работы сил давления пороховых газов. Таким образом, внутренняя энергия топлива превращается в механическую работу, что и является основным предназначением тепловой машины. Однако Саша высказал иное мнение, аргументируя его тем, что если рассматривать огнестрельное оружие как тепловую машину, то для её работы оказывается совершенно не нужным холодильник, который является необходимой составной частью любой тепловой машины.

Для разрешения возникшего спора учащиеся обратились за помощью к своему учителю физики. Как пояснил учитель, определение огнестрельного оружия как тепловой машины может быть принято только условно. Соответственно в качестве холодильника в этом случае следует рассматривать окружающую среду. При этом влияние характеристик этой среды (например, её температуры) на эффективность огнестрельного оружия требует специального исследования. Вместе с тем, сказал учитель, если действительно рассматривать огнестрельное оружие как тепловую машину, то представляет интерес оценка коэффициента полезного действия такой машины. Поэтому учитель порекомендовал Пете и Саше воспользоваться нужной информацией из интернета и оценить КПД выстрела из гладкоствольного ружья. При этом, подчеркнул учитель, выстрел не должен быть холостым.

Научная справка. В интернете можно найти много информации о характеристиках стрелкового гладкоствольного оружия. Для оценки КПД выстрела вам прежде всего потребуются данные о массе M пули, массе m пороха в патроне, скорости v вылета пули из оружейного ствола, а также значение удельной теплоты q сгорания пороха. В качестве примера можно привести данные оружейной пули 12-го калибра типа «Стрела»: $M = 33$ г, $m = 2,2$ г, $v \approx 430\text{—}450$ м/с.

Этапы выполнения задания

- Запишите определение КПД выстрела:

$$\eta = \frac{A}{Q},$$

где A — работа сил давления пороховых газов,

$Q = qm$ — количество теплоты, выделившееся при взрыве порохового заряда массой m .

КЕЙС

- Если пренебречь потерями на трение, то вся работа A пороховых газов идёт на увеличение кинетической энергии пули: $A = E_k$, $E_k = \frac{Mv^2}{2}$.
- Запишите в таблицу характеристики заряда и пули для разных типов гладкоствольного оружия.
- Вычислите КПД выстрела. Результат занесите в таблицу в своей тетради.

Калибр патрона	Масса пули M , г	Масса пороха m , г	Скорость пули v , м/с	Удельная теплота сгорания q , Дж/кг	η , %

- Сравните полученное значение КПД с КПД двигателя внутреннего сгорания, например автомобиля.
- Сделайте выводы.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Энергия, выделяющаяся при полном сгорании топлива, называется теплотой сгорания топлива.
- Устройства, в которых происходит преобразование внутренней энергии топлива в механическую, называются тепловыми двигателями.
- Газ, расширение которого вызывает перемещение поршня, называется рабочим телом. Газ, получив энергию от нагревателя, расширяется и совершает работу.
- Существует несколько видов тепловых двигателей, которые можно разделить на двигатели внутреннего сгорания и двигатели внешнего сгорания.
- Двигатель внутреннего сгорания — один из самых распространённых видов двигателей. Он приводит в движение автомобили, тракторы, тепловозы, теплоходы и т. д.
- Паровые турбины широко применяют на современных тепловых и атомных электростанциях, где паровую турбину соединяют с генератором электрического тока.
- В современной технике широко применяют такие тепловые двигатели, как газовая турбина и реактивный двигатель.
- Искусственное охлаждение с помощью холодильников и кондиционеров стало неотъемлемой частью современной жизни.
- Отрицательное влияние тепловых машин на окружающую среду связано с действием различных факторов.
- В настоящее время широкое распространение получили поиски альтернативных источников энергии.
- Закон сохранения энергии носит всеобъемлющий характер и выполняется в физических, химических, биологических и других процессах.

Вопросы для обсуждения

- ❓ Почему расход топлива автомобилем в городском цикле всегда больше расхода топлива на шоссе?
- ❓ Различно ли количество теплоты, выделяемое при полном сжигании 5 кг дров на костре у подножия и на вершине горы?
- ❓ Каковы достоинства и недостатки двигателей внутреннего сгорания?

Темы исследовательских и проектных работ

- Энергия топлива.
- Как отвести тепло с космической орбитальной станции.
- Паровые машины. От древности до наших дней.
- История автомобиля.
- Будущее автомобилей. Какое оно?

- Современные паровые турбины.
- Реактивный двигатель и авиация.
- Эволюция холодильного оборудования.
- Тепловые машины и глобальное потепление.
- Вода — топливо будущего.
- Альтернативные виды топлива.
- Экологически чистые тепловые двигатели.
- Тепловые двигатели и экология.

Глава 4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Существует электричество двух родов, в высокой степени отличных один от другого: один род я называю «стеклянным» электричеством, другой — «смоляным».

Ш. Ф. Дюфе



§ 38 ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое электризация.
- Какие тела называются наэлектризованными.
- Как взаимодействуют одновременно и разноимённо заряженные тела.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие электромагнитные явления вы знаете?

Значение электричества в жизни современного общества чрезвычайно велико. При помощи электрических сигналов осуществляется телефонная связь, радиопередача, работает телевидение и многое другое. При дальнейшем изучении физики вы также узнаете, что *электрические* (правильнее — *электромагнитные*) явления определяют устойчивость атомов, объединяют атомы в молекулы, взаимодействие между которыми и формирует структуру вещества. Все виды сил трения и упругости, которые вы изучали в разделе механики, в своей основе имеют электрическую природу.

УДИВИТЕЛЬНОЕ СВОЙСТВО ЯНТАРЯ. Ещё в VI в. до н. э. знаменитый философ и математик Фалес Милетский, имевший титул одного из семи мудрецов Греции, впервые исследовал удивительное свойство янтаря.

Янтарь — это окаменевшая смола деревьев, которые росли на Земле сотни тысяч лет назад. С давних времён интерес у человека вызывало свойство янтаря после натирания шерстью притягивать к себе лёгкие предметы. Люди наделяли янтарь различными чудодейственными свойствами. Легенда рассказывает, что юная дочь Фалеса не могла, как ни старалась, очистить янтарное веретено от приставших к нему пылинок и ниточек: они вновь и вновь прилипали обратно.

Долгое время считалось, что этим особенным свойством обладает только янтарь. Однако через две тысячи лет английский физик У. Гильберт, исследовавший это явление, обнаружил, что аналогичным свойством обладают алмаз, сапфир, стекло и некоторые другие материалы, если потереть их о шёлк. Все эти вещества он назвал электрическими, т. е. подобными янтарю (от греч. *electron* — янтарь).



Фалес Милетский
(ок. 590—547 до н. э.)



Уильям Гильберт
(1544—1603)

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ. Если тело после натирания приобретает способность притягивать к себе другие тела, говорят, что оно *наэлектризовано* или *заряжено* либо что ему сообщили **электрический заряд**.

Электризация наблюдается всегда при контакте двух разнородных тел, например стекла и кожи, эбонита или резины и шерсти и т. д. Если эбонитовую палочку потереть о кусочек шерсти, то не только палочка, но и сукно начнёт притягивать лёгкие предметы. Это говорит о том, что при трении электрический заряд приобретают оба тела. Данное явление называется *электризацией трением*.



В данном случае трение не играет определяющей роли. Главную роль здесь играет плотное соприкосновение поверхностей электризуемых тел, а трение лишь способствует увеличению площади их контакта.



Сообщение телу электрического заряда называется **электризацией тела**.

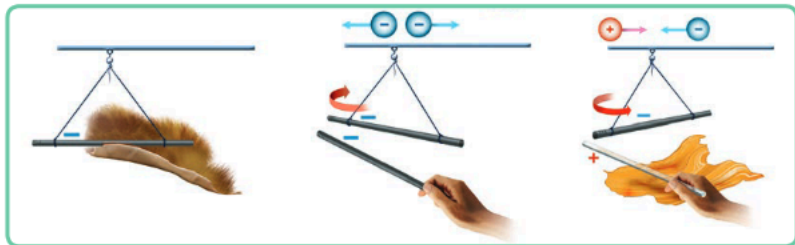
ФИЗИКА В ЖИЗНИ

С примерами электризации мы постоянно сталкиваемся в жизни. Если только что прохшие после мытья волосы расчесать пластмассовой расчёской, можно услышать лёгкое потрескивание. Если после этого поднести к волосам листок бумаги, волосы начнут к нему притягиваться. А если проделать этот опыт в темноте перед зеркалом, то можно увидеть, как между волосами и расчёской проскакивают небольшие искорки. Одежда из синтетической ткани из-за электризации при движении человека иногда прилипает к телу. Для того чтобы этого избежать, одежду обрабатывают специальным средством, уменьшающим электризацию одежды при её ношении, — *антистатиком*.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ. Как взаимодействуют между собой наэлектризованные тела, например стеклянная палочка, потёртая о шёлк, и эбонитовая, потёртая о мех?

ИССЛЕДОВАНИЕ

Наэлектризуем трением о мех эбонитовую палочку, подвешенную на нити. Приблизим к ней другую такую же наэлектризованную палочку. В результате *палочки отталкиваются*. Теперь наэлектризуем стеклянную палочку трением о шёлк. Приблизим её к подвешенной на нити наэлектризованной эбонитовой палочке. В результате *палочки притягиваются*.



В первом опыте мы использовали одинаковые палочки и наэлектризовали их трением об одно и то же тело, поэтому можно предположить, что они имеют заряды одного и того же рода — *одноимённые*. Таким образом,

тела, имеющие одноимённые заряды, отталкиваются друг от друга.

Во втором опыте заряд, образовавшийся на стекле, должен быть другого рода, чем на эбоните. Заряды на стекле и на эбоните *разноимённые*. Таким образом,

тела, имеющие разноимённые заряды, притягиваются друг к другу.

До приближения наэлектризованной палочки подвешенные палочки находились в равновесии. На них действовали сила тяжести и сила натяжения нити, уравновешивающие друг друга. При взаимодействии с наэлектризованной палочкой их положение изменилось, значит, на них стали действовать ещё какие-то другие силы. В данных опытах мы имеем дело с **электрическими** силами.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ЗАРЯДЫ. Несмотря на обилие различных веществ, в природе существует только два рода электрических зарядов, условно называемых *положительными* и *отрицательными*.

Положительными (+) называют заряды, подобные возникающим на стекле, потёртом о шёлк, а **отрицательными (-)** — заряды, подобные тем, которые возникают на эбоните, потёртом о мех.

ВАЖНО

Тела, имеющие заряды одинакового знака, отталкиваются, а тела, имеющие заряды противоположных знаков, притягиваются.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННОГО И НЕЗАРЯЖЕННОГО ТЕЛА. А как взаимодействуют между собой наэлектризованное тело и тело, не имеющее заряда?

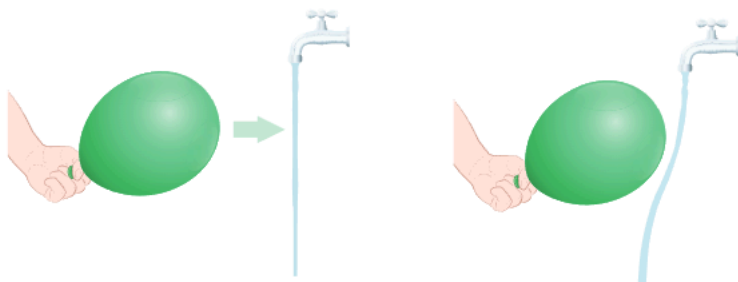
ИССЛЕДОВАНИЕ



Наэлектризуем пластмассовую расчёску о волосы. Поднесём её к мелким кусочкам бумаги, не касаясь их. Некоторые кусочки бумаги притянутся к расчёске. Это означает, что на кусочки бумаги действует электрическая сила, которая преодолевает силу тяжести и поднимает их со стола.

Опыты показывают, что незаряженные тела притягиваются и к положительно и к отрицательно заряженным телам.

Взаимодействовать подобным образом могут не только твёрдые тела. Возьмём воздушный шарик и также потрём его о волосы. Поднесём наэлектризованный шарик к струе воды, текущей из крана. В результате струя воды изгибается, притягиваясь к шартику.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первым, кто предположил, что в природе существуют только два рода электрических зарядов, был французский химик Шарль Дюфе. Один род заряда он назвал «стеклянным», а другой — «смоляным». До Дюфе считалось, что наэлектризованные тела способны только притягивать лёгкие незаряженные предметы. Однако Дюфе показал, что разноимённые заряды притягиваются, а одноимённые — отталкиваются.

- ! Сообщение телу электрического заряда называется электризацией тела.
- ! Тела, имеющие заряды одинакового знака, отталкиваются. Тела, имеющие заряды противоположных знаков, притягиваются.

ВЫВОДЫ

Электрические явления; электризация трением; электрический заряд; положительный и отрицательный заряды; одноимённые и разноимённые заряды

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Какие тела называются наэлектризованными?
2. Какие два рода электрических зарядов существуют в природе?
3. Как взаимодействуют между собой положительно и отрицательно заряженные тела?
4. Объясните, почему ворсинки и пыль прилипают к одежде при чистке её щёткой.
5. Предложите способ, как можно обнаружить, имеет ли тело электрический заряд.

§ 39 ЭЛЕКТРОСКОП. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ

НОВОЕ В УРОКЕ

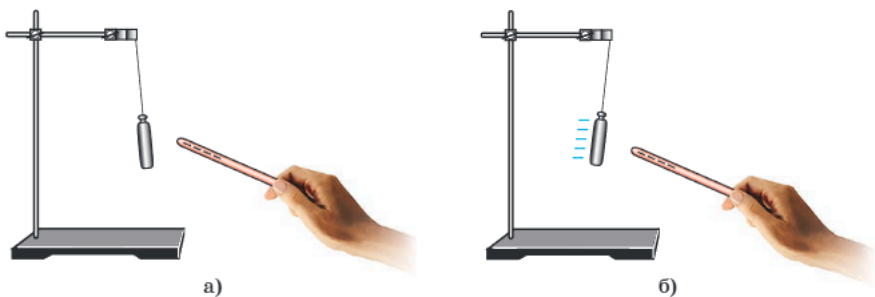
- Как устроен электроскоп.
- Как устроен электрометр.
- Что такое проводники.
- Что такое диэлектрики.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электризация?
- Какие тела называются наэлектризованными?
- Как взаимодействуют одноимённо и разноимённо заряженные тела?

Является ли натирание разнородных тел друг о друга единственным способом их электризации? Чтобы ответить на этот вопрос, опять обратимся к опыту.

ПЕРЕДАЧА ЗАРЯДА ПРИ СОПРИКОСНОВЕНИИ ТЕЛ. Поднесём наэлектризованную эбонитовую палочку к бумажной гильзе, висящей на капроновой нити. Гильза сначала притянется к палочке (рис. а), затем, прикоснувшись, оттолкнётся от неё (рис. б). Это происходит потому, что гильза, коснувшись палочки, получает от неё отрицательный заряд, а одноимённые заряды отталкиваются.



Если же к заряженной гильзе поднести наэлектризованную трением о шёлк стеклянную палочку, то гильза притянется к ней, поскольку в этом случае заряды тел противоположны. Следовательно,

при соприкосновении двух тел электрический заряд может частично переходить с заряженного тела на незаряженное.

ЭЛЕКТРОСКОП. Зарядим две бумажные гильзы, висящие на капроновых нитях, одинаковыми зарядами, коснувшись гильз заряженной эбонитовой палочкой. Гильзы будут отталкиваться друг от друга. В этом опыте гильзы выполняют функцию своеобразного индикатора: если палочка была заряжена, то они оттолкнутся друг от друга.

На рассмотренном физическом явлении основано действие **электроскопа** (от греч. *electron* и *scopoe* — смотреть, наблюдать) — простейшего прибора для обнаружения электризации тел. Основным элементом школьного электроскопа

является металлический стержень с шариком на одном конце и лёгкими листочками из фольги на другом. Стержень пропущен через пластмассовую пробку, вставленную в металлический корпус, закрытый с обеих сторон стёклами. Если зарядить шарик электроскопа, то зарядятся и полоски фольги. Наэлектризованные листочки, отталкиваясь друг от друга, расходятся на некоторый угол. Это означает, что они зарядились одноимённым зарядом. Чем больше угол, на который разойдутся листочки электроскопа, тем сильнее он наэлектризован, тем больший электрический заряд ему сообщён.



Наэлектризуем пластмассовую расчёску о волосы и коснёмся ею шарика электроскопа. При этом листочки электроскопа разойдутся на некоторый угол. Последовательно касаясь расчёской шарика электроскопа, мы увидим, что листочки электроскопа расходятся всё больше. Это свидетельствует о том, что электроскоп накапливает заряд одного знака.

Поднесём теперь к заряженному электроскопу стеклянную палочку, предварительно наэлектризованную трением о шёлк. В этом случае угол между листочками электроскопа уменьшится.

Таким способом с помощью электроскопа можно установить знак заряда тела.

ЭЛЕКТРОМЕТР. Существует другой вид электроскопа, называемый **электрôметром**. Вместо листочков на металлическом стержне укреплен стрелка. При прикосновении заряженного тела к стержню электрометра стрелка отклоняется на некоторый угол. По изменению угла отклонения стрелки электрометра можно судить об увеличении или уменьшении электрического заряда, переданного стержню.

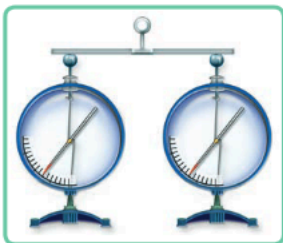
ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первый в мире электроскоп был сконструирован в 1600 г. У. Гильбертом и назывался «версориум» (от лат. поворачиваться). Он представлял собой металлическую стрелку, которая похожа на стрелку компаса и может свободно вращаться на вертикальной игле. Если к такому устройству подносить заряженные тела, то стрелка притягивается к ним и поворачивается. Проведя ряд экспериментов, Гильберт обнаружил, что способностью притягивать мелкие предметы обладает не только натёртый янтарь, но и алмаз, сапфир, хрусталь, стекло и другие материалы, которые он назвал «электрическими». В середине XVIII в. был создан электроскоп с шариком. Примерно в это же время русский физик Г. Рихман изобрёл первый электрометр.



ПРОВОДНИКИ. Электрический заряд может не только переходить с одного тела на другое, но и перемещаться по самому телу. Например, после прикосновения заряженного тела к верхнему концу стержня электроскопа заряжался и весь стержень, и листочки.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Если зарядить один из двух одинаковых электрометров и соединить приборы металлическим стержнем, то окажется, что отклонение стрелки первого электрометра несколько уменьшится, зато отклонится стрелка второго электрометра. В результате отклонение стрелок обоих приборов будет одинаковым.

В металлах электрический заряд может свободно перемещаться. Поэтому от заряженного электрометра по металлическому стержню половина заряда перешла к незаряженному. В результате они оказались одинаково заряженными, и их стрелки отклонились на одинаковые углы.

Вещества, по которым электрический заряд легко передаётся от одного тела к другому, называются **проводниками**. Примерами хороших проводников могут служить различные металлы, растворы солей и кислот в воде, а также графит.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Самым лучшим проводником среди металлов является серебро, следом за ним идут медь и алюминий. Эти металлы значительно дешевле серебра, и именно они используются повсеместно в электрооборудовании.

Тело человека также является проводником. Размер человеческого тела намного больше размера шарика электрометра. Поэтому если коснуться заряженного шарика рукой, то электрометр разрядится. Через руку электрический заряд уйдёт в пол и стены комнаты. В подобных случаях принято говорить, что заряд «ушёл в землю».

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

На свойстве проводников проводить электрический заряд основано заземление — передача заряда земле. Земной шар велик по сравнению с телами, находящимися на нём. Поэтому при соприкосновении с Землёй заряженное тело отдаёт ей практически весь свой заряд.



ЭТО ИНТЕРЕСНО



В технике для получения больших электрических зарядов используется установка, которую называют *генератор Ван-де-Граафа*. Генератор представляет собой полый металлический шар, закреплённый на изолирующей колонне. Внутри шара посредством движущейся резиновой ленты передаётся заряд. Электрический заряд на небольших генераторах позволяет наблюдать интересную опытную демонстрацию: у человека, коснувшегося купола генератора, волосы встают дыбом, поскольку одинаково заряженные кончики волос начинают отталкиваться.

ДИЭЛЕКТРИКИ. Если электрометры из предыдущего опыта соединить стеклянной палочкой, то никаких изменений не произойдёт, т. е. стекло не позволяет электрическому заряду передаваться от одного тела к другому.

Вещества, по которым электрический заряд не может переходить от одного тела к другому, называются **диэлектриками** или **изоляторами**. К ним относят такие вещества, как пластмассы, резина, фарфор, стекло, янтарь, эбонит, все газы, дистиллированная вода и др.

Диэлектрики широко используются в электротехнике, приборостроении и других сферах деятельности человека в качестве изоляционных материалов, чтобы предотвратить утечку электрических зарядов. Электрические кабели и провода покрыты резиной или пластмассой. Для закрепления линий электропередачи на опорах используются фарфоровые или керамические изоляторы. Электрики при работе с электрическим оборудованием пользуются специальными резиновыми перчатками, чтобы защититься от удара током.

ПОЛУПРОВОДНИКИ. Кроме проводников и диэлектриков, существует промежуточный класс веществ, называемых **полупроводниками**. При повышении температуры они ведут себя как хорошие проводники, т. е. могут легко передавать заряд от одного тела к другому, а при понижении температуры — как диэлектрики. К полупроводникам относятся такие вещества, как кремний, германий, бор, селен, а также многочисленные минералы, оксиды, сульфиды и т. д.

Полупроводники находят широкое применение в различных областях науки и техники. Они используются при создании транзисторов, полупроводниковых диодов, фоторезисторов и других приборов, без которых невозможна работа современных компьютеров, средств связи, а также многих медицинских и бытовых приборов.

! Электроскоп — простейший прибор для обнаружения электризации тел.

! Вещества, по которым электрический заряд легко передаётся от одного тела к другому, называют проводниками. Вещества, по которым электрический заряд не может проходить, называют диэлектриками или изоляторами. Вещества с промежуточными свойствами называют полупроводниками.

ВЫВОДЫ

Электроскоп; электрометр; проводники; диэлектрики; полупроводники

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Как устроен электроскоп?
2. Почему расходятся листочки электроскопа, если его шарика коснуться электрически заряженным телом?
3. Для чего применяют электроскопы и электрометры?
4. Как с помощью положительно заряженной палочки определить знак электрического заряда, которым был заряжен электроскоп?
5. Чем отличаются проводники от диэлектриков?
6. Приведите примеры проводников и диэлектриков и их использования в быту и технике.
7. Если прикоснуться рукой к металлическому шару генератора Ван-де-Граафа, то волосы поднимутся вверх. Объясните это явление.

§ 40 ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ЭЛЕКТРОН

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое электрический заряд и каковы его единицы.
- Как называется частица с самым малым зарядом.
- Каковы заряд и масса электрона.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Какие тела называют наэлектризованными?
- Какие два рода заряда существуют в природе?

На предыдущих уроках мы рассмотрели явление электризации тел, а также ввели понятие заряда. Однако на вопрос «Что такое электрический заряд?» ответить не так просто.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. *Электрический заряд* — одно из фундаментальных понятий физики. Его невозможно объяснить через какие-то более простые понятия. Заряд мы не можем ни увидеть глазами, ни потрогать руками. Зато мы можем получить ответ на вопрос, обладает ли данное тело зарядом.

ВАЖНО

Наличие у тел электрического заряда означает их способность вступать во взаимодействие с другими заряженными телами. При этом заряд является количественной мерой способности тел к электрическим взаимодействиям.

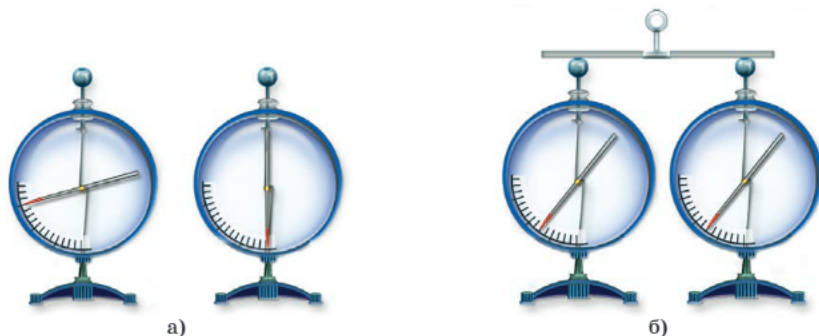
Именно поэтому для понимания природы электрического заряда надо изучать взаимодействие заряженных тел.

Попробуем провести аналогию с исследованием живой клетки. Мы можем за ней наблюдать при помощи микроскопа и изучать её взаимодействие с окружающим миром. Можно разделить её на составляющие и изучить, что у неё внутри. Но поняв, из чего состоит клетка, мы всё равно не сможем установить законы её жизнедеятельности. Именно поэтому для понимания природы живой клетки изучают законы её взаимодействия с окружающей средой. Мы не можем исследовать сам электрический заряд изнутри, но можем изучить его по тому, как он взаимодействует с другими телами.

ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. Если взять два одинаковых электромметра, один из которых заряжен, а другой нет (рис. а), и соединить их металлическим стержнем, то часть заряда, а именно половина, перейдёт на незаряженный электромметр (рис. б).

Уберём металлический проводник и коснёмся рукой одного из электромметров, и он полностью разрядится. Затем вновь соединим электромметры проводником. Теперь на каждом из электромметров останется четвёртая часть первоначального заряда. Этот процесс деления заряда можно продолжать и далее.

Существует ли предел подобного деления заряда? Ответ на этот вопрос дали российский физик А. Ф. Иоффе и американский физик Р. Милликен, проведя независимо сложные и точные опыты (1909—1913).

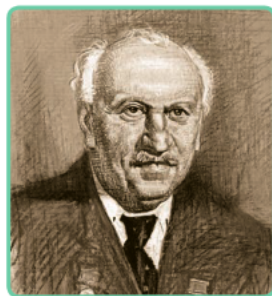


ОПЫТЫ ИОФФЕ И МИЛЛИКЕНА. ЭЛЕКТРОН. В своих опытах А. Ф. Иоффе изучал движение малых частиц вещества (пылинки металла, мельчайшие капли масла) в пространстве между двумя параллельными металлическими пластинами *A* и *B*, имеющими заряды противоположных знаков (см. рисунок внизу страницы). Пространство между пластинами освещалось ультрафиолетовым излучением, под действием которого металлические пылинки, заряженные отрицательно, теряли часть своего заряда.

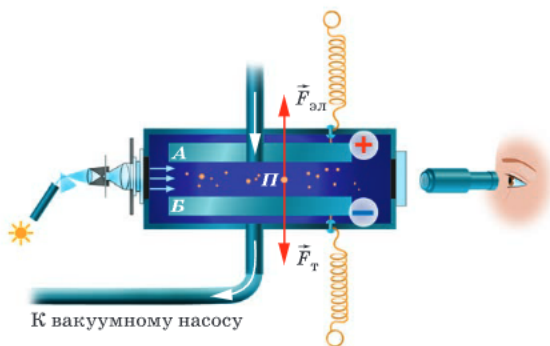
С помощью микроскопа Иоффе со своими сотрудниками наблюдал движение цинковых пылинок, заряженных отрицательно. Под действием силы тяжести пылинка *П* начнёт падать вниз. Однако силу тяжести F_T , действующую на пылинку, можно уравновесить, если пластину *A* зарядить положительно, а пластину *B* — отрицательно.

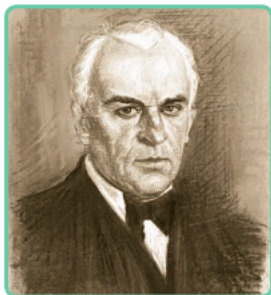
Электрическое взаимодействие между заряженными телами приводит к возникновению *электрической силы* $F_{эл}$.

Можно так подобрать заряд пластин, что будет выполняться равенство $F_T = F_{эл}$. По значениям силы тяжести и зарядов пластин вычислили заряд пылинки. Затем воздействовали на пылинку ультрафиолетовым излучением, уменьшая тем самым её заряд. Пылинка снова начинала падать, поскольку в результате потери части заряда равенство $F_T = F_{эл}$ нарушалось. Изменяя заряды пластин, добивались равновесия пылинки, что позволяло вычислять её новый заряд. Изменение заряда пылинки повторялось несколько раз.



Абрам Фёдорович Иоффе
(1880—1960)





Роберт Милликен
(1868—1953)

Точные количественные опыты, позволившие измерить наименьшую порцию, на которую изменялся электрический заряд, были осуществлены американским физиком Р. Милликеном.

Как показали опыты, все изменения заряда исследуемых тел (капельки жидкости, крохотные частички металла, пылинки и т. п.) оказались целыми кратными некоторой определённой величины, т. е. заряд пылинки изменялся порциями. На основании этого был сделан вывод, что в природе существует наименьшая порция электрического заряда, далее уже неделимая. Её принято называть **элементарным зарядом**.

Частицу-носитель этого элементарного заряда называли **электроном**.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Современную жизнь невозможно себе представить без технических устройств, в основе действия которых лежит использование электронных пучков (потока направленно движущихся электронов). Например, электронные пучки используются в работе электронных микроскопов, а также всех устройств с электронно-лучевыми трубками.

ЕДИНИЦА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. За единицу электрического заряда в СИ принят *кулон* (Кл). Эта единица названа в честь французского физика Шарля Кулона, открывшего основной закон взаимодействия электрических зарядов. Электрический заряд принято обозначать буквой q .

В СИ модуль элементарного электрического заряда равен $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

ВЫВОДЫ

- ! Наименьшая порция электрического заряда, далее уже неделимая, называется элементарным зарядом.
- ! Частица-носитель этого элементарного заряда называется электроном.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электрический заряд; элементарный заряд; электрон

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. В чём заключалась суть опытов Иоффе и Милликена?
2. Как называется частица, имеющая наименьший заряд?
3. К камере установки в опытах Иоффе подключался вакуумный насос. Как вы думаете, зачем из камеры откачивался воздух?

СТРОЕНИЕ АТОМОВ. ИОНЫ § 41

НОВОЕ В УРОКЕ

Вы уже знаете, что все тела в природе состоят из различных веществ, а вещество состоит из атомов и молекул. Тела, с которыми мы имеем дело в обыденной жизни, электрически нейтральны, т. е. не имеют электрического заряда. Но тогда возникает вопрос: откуда появляются заряды при электризации тел? И почему одни тела заряжаются положительно, а другие — отрицательно?

- Какие частицы входят в состав атома и в состав атомного ядра.
- Что такое положительные и отрицательные ионы.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из каких частиц состоят все вещества?
- Какие два рода заряда существуют в природе?
- Как называется частица, имеющая наименьший заряд?

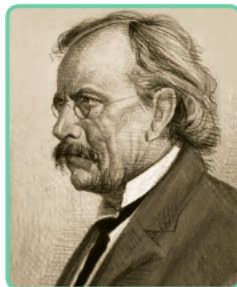
ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕОРИИ СТРОЕНИЯ АТОМОВ. Древнегреческие философы-атомисты считали атом простейшей, не имеющей структуры частицей (от греч. *atomos* — неделимый). Если считать атомы неделимыми и не имеющими какой-либо внутренней структуры, то различия физических и химических свойств веществ можно объяснить только тем, что их атомы различаются массой и, возможно, размерами. В противном случае разнообразие свойств веществ может объясняться тем, что внутреннее строение атомов, из которых состоят вещества, неодинаково. Ответ на этот вопрос можно было получить только на основе эксперимента.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

В 1808 г. Джон Дальтон предложил свою теорию строения вещества. Он предположил, что атомы имеют форму мельчайших сфер, которые, взаимодействуя друг с другом, образуют различные вещества. Дальтон ввёл в науку понятие «атомный вес» и первым определил атомные веса (массы) ряда элементов.

На рубеже XIX—XX вв. был накоплен значительный экспериментальный материал, свидетельствующий о сложном строении атома. В 1897 г. английский физик Дж. Дж. Томсон установил, что при нагревании ряда веществ и при освещении их ультрафиолетовым светом из атомов вылетают одинаковые отрицательно заряженные частицы — *электроны*. При этом он сумел оценить отношение заряда электрона к его массе. За работы, которые привели к открытию электрона, Томсон получил Нобелевскую премию. Подробнее об этих опытах вы узнаете в 9 классе.

Заряд электрона был впервые измерен в опытах Иоффе и Милликена (см. § 40).



Джозеф Джон Томсон
(1856—1940)

ВАЖНО

Электрон имеет отрицательный заряд, по модулю равный элементарному заряду.

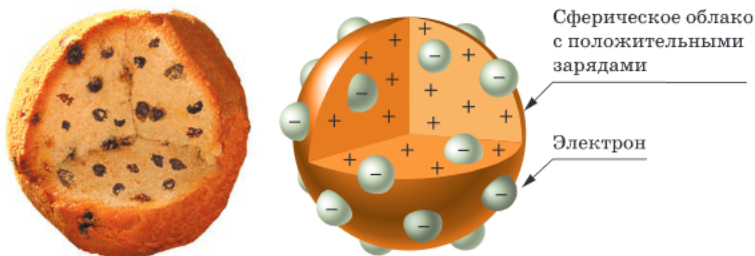
Масса электрона примерно в 1800 раз меньше, чем масса самого лёгкого атома — атома водорода.

Масса m_e электрона	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Заряд q_e электрона	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Впервые термин «электрон» был введён в 1891 г. ирландским физиком и математиком Джорджем Стоуни для обозначения единицы элементарного заряда. Позднее это название закрепилось за частицами, которые открыл Дж. Дж. Томсон.

МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ АТОМОВ. ОПЫТЫ РЕЗЕРФОРДА. Одну из первых моделей строения атома предложил в 1903 г. Дж. Дж. Томсон. Он предположил, что атом имеет форму шара, положительно заряженного по всему объёму, а отрицательно заряженные электроны находятся внутри его (так называемая «пудинговая» модель, где электроны уподобляются изюминкам, вкрапленным в тесто).



«Пудинговая» модель строения атома

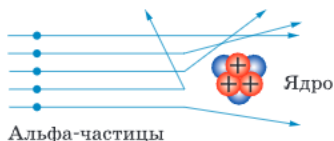
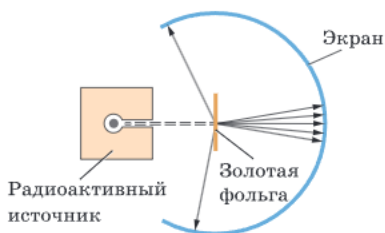


Эрнест Резерфорд
(1871—1937)

Для проверки существующих гипотез о строении атома в 1908—1911 г. английский физик Э. Резерфорд и его сотрудники выполнили опыты по прохождению положительно заряженных частиц через тонкую металлическую фольгу. Это были частицы, которые испускаются солями урана и радия. Они обладают положительным зарядом и массой, более чем в 7000 раз превышающей массу электрона, и их называют **альфа-частицами**. Быстро летящие частицы проходили сквозь фольгу и, попадая на экран, покрытый специальным веществом, вызывали вспышки, хорошо видимые в микроскоп.

Оказалось, что большинство частиц свободно проходит сквозь фольгу, испытывая лишь незначительные отклонения. Однако в отдельных случаях (примерно в одном на 8000—10 000 частиц) наблюдалось

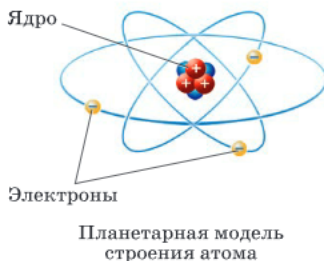
отклонение альфа-частиц на угол больше 90° . Это казалось удивительным, поскольку столкновение альфа-частицы с лёгкими электронами, входящими в состав атомов, не могло так сильно изменить траекторию её движения.



Резерфорд предположил, что отражение альфа-частицы назад обусловлено её столкновением с другой положительно заряженной частицей, масса которой соизмерима с массой альфа-частицы. Эту частицу назвали **атомным ядром**. Практически вся масса атома сосредоточена в его ядре, диаметр которого в десятки тысяч раз меньше диаметра самого атома.

Согласно *модели Резерфорда* атом устроен подобно Солнечной системе: в центре атома имеется положительно заряженное ядро, а на большом расстоянии от него движутся отрицательно заряженные электроны, как планеты вокруг Солнца. Эта модель строения атома была названа **планетарной (или ядерной) моделью**.

Опыты Резерфорда явились основой для развития представлений о строении атома. Позже (в 1913 г.) великий датский физик Нильс Бор заложил основы современной теории строения атома.



Нильс Хенрик Давид Бор
(1868—1953)

СТРОЕНИЕ ЯДРА АТОМА. Более поздние опыты показали, что ядро атома также имеет сложное строение. В состав атомного ядра входят положительно заряженные частицы — *протоны* и частицы, не имеющие электрического заряда, — *нейтроны*.

Заряд протона положительный и равен по модулю заряду электрона. Масса протона примерно в 1800 раз больше массы электрона.

Электрический заряд нейтрона равен нулю. Масса нейтрона оказалась близка к массе протона.

Количество протонов в ядре атома равно количеству вращающихся вокруг него электронов. Таким образом, положительный заряд ядра атома равен модулю отрицательного заряда всех его электронов. **Атом в целом электрически нейтрален.**

Масса протона	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Заряд протона	$+1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса нейтрона	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Заряд нейтрона	0

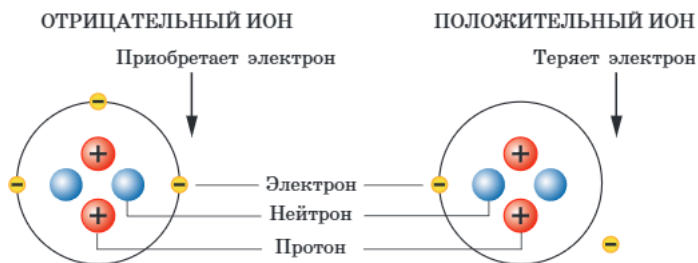
Атомы разных веществ отличаются друг от друга. Число протонов, нейтронов и электронов в атомах различных веществ может быть разным.

Например, самый простой из встречающихся в природе атомов — атом водорода — состоит из одного протона и вращающегося вокруг него электрона. Второй по сложности — атом гелия. В его ядре два протона и два нейтрона, а вокруг вращаются два электрона.

ИОНЫ. Атом любого химического элемента электрически нейтрален, так как содержит одинаковое число протонов и электронов, заряды которых равны по модулю.

Однако бывают ситуации, когда атом может потерять один или несколько электронов и стать **положительно заряженным ионом**.

Но возможно и обратное: один или несколько электронов присоединяются к атому. В этом случае атом приобретает отрицательный заряд и становится **отрицательно заряженным ионом**.



Выводы

- ! Согласно планетарной модели в центре атома находится положительно заряженное ядро, а вокруг него движутся отрицательно заряженные электроны.
- ! Атом в целом электрически нейтрален, потому что положительный заряд его ядра равен модулю отрицательного заряда всех его электронов.

Ключевые слова

Атом; атомное ядро; электрон; опыт Резерфорда; планетарная модель атома; протон; нейтрон; ион

Вопросы и задания

1. В чём заключалась главная цель опытов Резерфорда?
2. К каким выводам о строении атома пришёл Резерфорд на основе результатов своих опытов?
3. Почему электроны, входящие в состав атома, не могут оказывать заметного влияния на отклонение альфа-частиц?
4. Какие частицы входят в состав атома и атомного ядра?
5. Как образуются положительно и отрицательно заряженные ионы?
6. В чём состоит отличие иона некоторого вещества от атома; от молекулы того же вещества?
7. Сколько протонов, нейтронов, электронов входит в состав атома углерода?

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ТЕЛ. § 42

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как осуществляется электризация тел при их соприкосновении.
- Как передаётся заряд от одного тела к другому.
- Почему одни тела являются проводниками электричества, а другие — не являются.
- Почему возникает притяжение между заряженными и незаряженными телами.
- Как формулируется закон сохранения заряда.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из каких частиц состоят все вещества?
- Какие два рода электрических зарядов существуют в природе?
- Как называют частицу с самым малым зарядом?

В обычном состоянии тела, образованные из нейтральных молекул и атомов, являются незаряженными. Каким же образом тогда осуществляется электризация тел, каков её механизм?

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТРЕНИЕМ. Для того чтобы получить заряженные тела, т. е. наэлектризовать их, нужно отделить часть отрицательного заряда от связанного с ним заряда положительного. Например, если провести расчёской несколько раз по сухим волосам, то некоторая часть самых подвижных заряженных частиц — электронов — перейдёт с волос на расчёску и зарядит её отрицательно. Волосы при этом зарядятся положительно. Появление заряда на расчёске обнаруживается очень просто: она начинает притягивать лёгкие предметы (кусочки бумаги, пушинки и т. д.).

При электризации трением само по себе трение не является существенным. Оно лишь способствует более тесному контакту между разнородными веществами. При таком контакте часть электронов того вещества, у которого электроны слабо связаны с ядром атома, переходит на другое вещество.

Аналогичное явление происходит при натирании стеклянной палочки о шёлк: электроны со стекла переходят на шёлк, в результате чего стекло оказывается заряженным положительно, а шёлк — отрицательно. Заряды тел при этом равны: сколько электронов покинуло стекло, перенесено совокупный отрицательный заряд на шёлк, столько же протонов образовало некомпенсированный положительный заряд на стекле. Таким образом,

при электризации тел заряды не создаются, они лишь перераспределяются между разнородными телами.

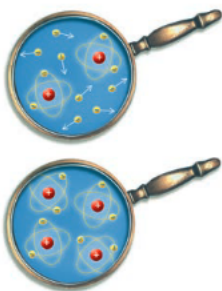
ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ПРИ КОНТАКТЕ. Но почему часть заряда переходит с наэлектризованного тела на незаряженное при их контакте?



Например, мы касаемся отрицательно заряженной расчёской бумажной гильзы, подвешенной на нити. Гильза также зарядится отрицательно, так как часть электронов с расчёски переходит на гильзу. Поскольку одноимённо заряженные тела отталкиваются, то гильза оттолкнётся от расчёски.



А как передаётся телу положительный заряд? Если прикоснуться к незаряженной гильзе стеклянной палочкой, заряженной положительно, то часть электронов с гильзы под действием сил притяжения перейдёт на палочку. В результате этого гильза зарядится положительно.



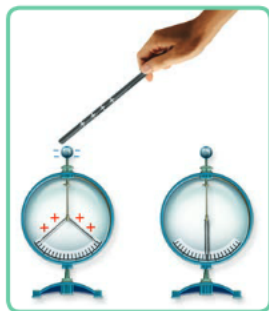
СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ. Во всех случаях электризации тел перемещаются только электроны, а положительно заряженные ионы остаются в своём прежнем положении.

Хорошая проводимость ряда веществ объясняется возможностью перемещения электронов. Например, в металлах наиболее удалённые от ядра электроны могут покидать свои атомы и перемещаться по кристаллической решётке. Эти электроны называются свободными электронами.

Диэлектрики не проводят электрический заряд, так как в них очень мало свободных электронов.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ЧЕРЕЗ ВЛИЯНИЕ. Проведём следующий опыт.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Приближим к незаряженному электроскопу положительно заряженную палочку. Мы увидим, что листочки электроскопа разошлись, т. е. на них появился одноимённый заряд. Поскольку электроскоп в целом остаётся незаряженным, то на его шарике возникает равный по значению заряд, но противоположного знака. Уберём палочку. Листочки при этом опадут — разделение заряда прекратится.

Суть данного явления заключается в следующем. Если мы подносим к электроскопу положительно заряженное тело, то свободные электроны под действием притяжения зарядов палочки перемещаются по стержню вверх и накапливаются на шарике. Листочки электроскопа при этом заряжаются положительно.

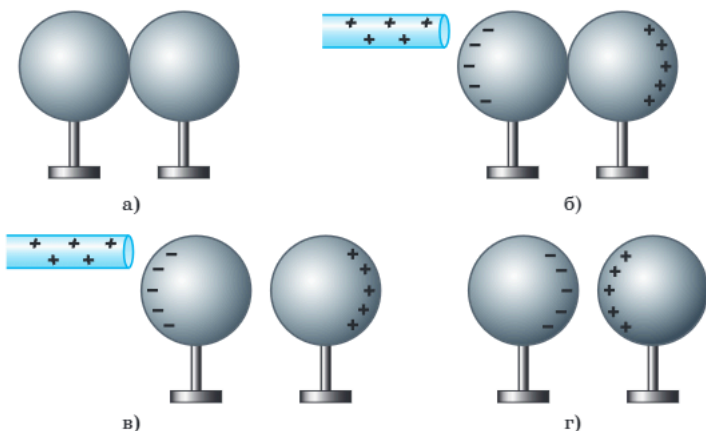
Когда же к электроскопу приближается отрицательно заряженное тело, электроны под действием отталкивания устремляются к нижнему концу стержня.

В обоих случаях концы стержня электроскопа заряжаются противоположными по знаку зарядами.

ВАЖНО

Электризация незаряженного тела, осуществляемая без непосредственного его контакта с заряженным телом, называется **электростатической индукцией** или **электризацией через влияние**.

Поднесём положительно заряженную палочку к двум соприкасающимся незаряженным металлическим сферам. Свободные электроны будут притягиваться положительно заряженной палочкой и перемещаться с одной сферы на другую. В результате сфера, которая расположена ближе к заряженной палочке, будет иметь отрицательный заряд, а другая сфера — положительный, так как на ней возникает недостаток электронов. Если убрать заряженную палочку, то сферы вновь окажутся не заряжены. Однако, если разделить сферы до удаления заряженной палочки, то каждая из сфер будет иметь заряд противоположного знака. Таким образом, **с помощью электростатической индукции можно зарядить тела, не сообщая им электрического заряда**.



ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Если наэлектризовать воздушный шарик трением о газету, а затем прикоснуться им к стене комнаты, то шарик к ней словно приклеится. Причины здесь те же, что и в случае притяжения маленьких кусочков бумаги к наэлектризованной расчёске. Однако спустя некоторое время шарик упадёт на пол. Это свидетельствует о том, что шарик потерял часть своего первоначального заряда, и силы притяжения между зарядами уже не смогли уравновесить силу тяжести, действующую на шарик. Основной причиной уменьшения заряда шарика является наличие в воздухе большого количества положительно и отрицательно заряженных ионов. Поэтому ионы, обладающие противоположным знаком заряда, чем знак заряда тела, способны в течение некоторого времени полностью нейтрализовать этот заряд.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЗАРЯДА. Общее число электронов у тел, участвующих в процессе электризации, остаётся неизменным вследствие фундаментального закона природы — *закона сохранения заряда*.

ВАЖНО

Закон сохранения заряда: алгебраическая сумма электрических зарядов тел остаётся постоянной:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \text{const.}$$

Если одно тело при электризации приобретает положительный заряд, то второе тело приобретает равный по модулю отрицательный заряд.

ВЫВОДЫ

- ! Электризация незаряженного тела, осуществляемая без непосредственного его контакта с заряженным телом, называется электростатической индукцией или электризацией через влияние.
- ! Закон сохранения заряда: алгебраическая сумма электрических зарядов тел остаётся постоянной.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

Электризация трением; электризация при контакте; свободные электроны; электризация через влияние; электростатическая индукция; закон сохранения заряда

**И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

1. Почему при электризации трением заряды разнородных тел равны по величине, но противоположны по знаку?
2. В чём заключается явление электростатической индукции?
3. Почему электрически нейтральное тело притягивается к заряженному телу?
4. Чем отличаются способы электризации тела прикосновением и влиянием?
5. Стекланную палочку потёрли о шёлковый материал, наэлектризовав её. Что можно сказать о зарядах, приобретённых палочкой и шёлком? Выполняется ли при этом закон сохранения заряда?
6. На тонких шёлковых нитях подвешены две одинаковые лёгкие гильзы, причём одна из них заряжена. Как определить, какая из них заряжена, не пользуясь никакими приборами?
7. Изолированному проводящему телу сообщили отрицательный заряд. Изменилась ли при этом его масса?

ЗАКОН КУЛОНА § 43



НОВОЕ В УРОКЕ

- Как Кулон осуществил свой классический опыт.
- Как формулируется закон Кулона.

Первые количественные закономерности взаимодействия двух неподвижных электрических зарядов были установлены в конце XVIII в. французским физиком Шарлем Кулоном.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический заряд?
- Какие знаки зарядов существуют?
- Как взаимодействуют одноимённые и разноимённые заряды?

ПОНЯТИЕ ТОЧЕЧНОГО ЗАРЯДА. При изучении и описании электрических явлений вводится понятие *точечного заряда*, т. е., говоря о взаимодействии заряженных тел, мы будем рассматривать взаимодействие точечных зарядов. На самом деле точечных зарядов, как и материальных точек, в природе не существует. Но если расстояние между заряженными телами во много раз больше их размеров, то, как свидетельствует опыт, их размеры и форма не влияют на характер взаимодействия между ними.

ВАЖНО

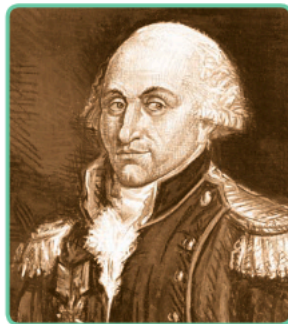
Точечным зарядом называют физическую модель, в которой размерами заряженного тела можно пренебречь.

ОПЫТ КУЛОНА. Как показывает опыт, сила взаимодействия между заряженными телами зависит от свойств среды, в которой находятся тела. Поэтому для простоты будем считать, что взаимодействие происходит в вакууме.

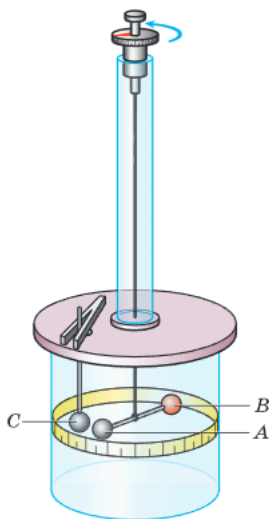
Открытый Ш. Кулоном закон относится к числу фундаментальных (основных) физических законов и поэтому мог быть получен только опытным путём.

Основную часть установки Кулона составляли так называемые *крутильные весы*, представляющие собой стеклянный сосуд, в котором на упругой нити подвешивалось лёгкое коромысло в виде стеклянной палочки. На одном конце коромысла был закреплён маленький металлический шарик *A*, а на другом — противовес *B*. Другой такой же металлический шарик *C* с помощью палочки закреплялся неподвижно на крышке весов. Заряженные металлические шарики *A* и *C* Кулон использовал в качестве точечных зарядов.

Если шарикам *A* и *C* сообщали одинаковые заряды, они отталкивались друг от друга. Чтобы расстоя-



Шарль Огюстен Кулон
(1736—1806)



ние между центрами шариков оставалось фиксированным, необходимо было закручивать упругую нить на определённый угол. По углу закручивания нити определялась сила взаимодействия между шариками.

Главная цель опытов с крутильными весами заключалась в установлении зависимости силы взаимодействия между заряженными шариками от их зарядов и расстояния между ними. И если измерение угла закручивания нити и расстояния между шариками не представляло особых трудностей, то методов измерения заряда в те времена не существовало, поскольку не было даже единиц заряда.

Однако Кулон сумел изменять заряд в кратное число раз: он прикасался заряженным шариком к точно такому же незаряженному. Заряд при этом распределялся поровну между шариками, уменьшая тем самым заряд шарика в два раза. Таким же способом Кулон мог уменьшать заряд в 4, 8 и более раз.

ЗАКОН КУЛОНА. Многократно повторённые опыты с крутильными весами позволили Кулону сформулировать *закон*, названный впоследствии его именем:

сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Обратная пропорциональность квадрату расстояния означает, что при увеличении расстояния между зарядами в 2 раза сила взаимодействия ослабевает в 4 раза, при увеличении расстояния в 3 раза — сила взаимодействия уменьшается в 9 раз и т. д.

Математическая форма записи закона Кулона имеет вид

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \quad (1)$$

где $|q_1|$ и $|q_2|$ — модули зарядов; r — расстояние между ними; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц.

Из формулы (1) следует, что коэффициент k в законе Кулона в системе СИ численно равен силе, с которой взаимодействуют два точечных тела с зарядом 1 Кл каждое и находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга. Значение этой силы, если бы её можно было измерить, очень велико: $F = 9 \cdot 10^9$ Н. Следовательно, постоянная k в законе Кулона равна $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

ВАЖНО ↓

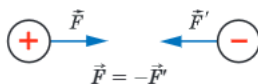
Если обозначить величины:

сила взаимодействия между двумя точечными зарядами — F , модули зарядов — $|q_1|$ и $|q_2|$, расстояние между зарядами — r , то эту **силу** рассчитывают по формуле

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — постоянная в законе Кулона.

Силы взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов направлены вдоль прямой, соединяющей центры этих зарядов (заряженных тел). Такие силы называются *центральными*.



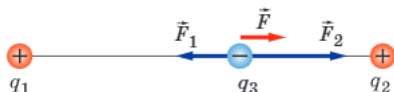
ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первым закон взаимодействия электрических зарядов установил английский физик Генри Кавендиш, современник Кулона. Однако большинство своих работ по электричеству Кавендиш не опубликовал, и они в течение почти ста лет хранились в архиве его семьи. Эти работы стали известны благодаря Дж. Максвеллу, которому были переданы рукописи Кавендиша.

Важно отметить, что закон Кулона применим только для точечных неподвижных зарядов.

Опыты показывают, что если имеются не два, а три или большее количество зарядов, то на каждый заряд действуют, соответственно, две или более сил. В этом случае следует определять равнодействующую сил, действующих на каждый заряд.

Пусть три заряда размещены вдоль одной прямой, как показано на рисунке. Тогда на центральный отрицательный заряд q_3 действуют сила \vec{F}_1 со стороны заряда q_1 и сила \vec{F}_2 со стороны заряда q_2 . Сила \vec{F} — равнодействующая сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 .



- ! Закон Кулона: сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.
- ! Силы взаимодействия, направленные вдоль прямой, соединяющей центры тел, называются центральными.

ВЫВОДЫ

Закон Кулона; крутильные весы; центральные силы

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. С помощью какого оборудования Кулон изучал взаимодействие зарядов?
2. Сформулируйте закон Кулона.
3. Как изменится сила взаимодействия между двумя зарядами, если расстояние между ними увеличить в 2 раза?
4. Посередине между двумя одноимёнными и равными по величине зарядами поместили третий заряд. Чему равна равнодействующая электрических сил, действующих на третий заряд?

§ 44 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. НАПРЯЖЁННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое электрическое поле.
- Каковы основные свойства электрического поля.
- Что такое напряжённость электрического поля.
- Как можно графически изобразить электрическое поле.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как взаимодействуют заряженные тела?
- Как называют частицу-носитель электрического заряда?

Многочисленные опыты по притяжению или отталкиванию заряженных тел свидетельствуют о том, что электрически заряженные тела взаимодействуют на расстоянии. Но остаётся неясным вопрос о том, как именно одно заряженное тело воздействует на другое.

ОКАЗЫВАЕТ ЛИ ВЛИЯНИЕ ВОЗДУХ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЗАРЯДАМИ.

Мы вправе задать вопрос: нет ли между заряженными телами какой-либо материальной связи, например невидимых нитей или элементов среды, посредством которых осуществляется взаимодействие?

Может быть, здесь главную роль играет воздух, находящийся между заряженными телами? Для проверки обратимся к опыту.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Поместим под колокол воздушного насоса заряженный электроскоп и выкачаем из-под колокола воздух. В безвоздушном пространстве лепестки электроскопа отталкиваются так же, как и в воздушной среде. Следовательно,

воздух не является посредником в осуществлении взаимодействия между заряженными телами.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. Великий английский физик Майкл Фарадей впервые выдвинул идею, что электрически заряженные тела не действуют друг на друга непосредственно. Каждое из них создаёт в окружающем пространстве *электрическое поле*.

Понятие поля в современной физике занимает одно из центральных мест.

ВАЖНО

Электрическое поле — это особый вид материи, отличающийся от вещества и существующий вокруг заряженных тел. Оно непрерывно в пространстве и оказывает воздействие на другие заряды. По мере удаления от заряда, создающего поле, действие поля ослабевает.



Майкл Фарадей
(1791—1867)



Джеймс Клерк Максвелл
(1831—1879)

Электрическое поле, как и электрический заряд, можно изучать через его взаимодействие с окружающими телами.

Действие электрического поля можно обнаружить, если поместить в это поле какое-либо заряженное тело.

Окончательно развил идеи Фарадея и создал теорию электромагнитных явлений английский учёный Дж. Максвелл.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Идея прямого взаимодействия тел, т. е. взаимодействия без всякого посредника в виде поля, была впервые использована И. Ньютоном при формулировке закона всемирного тяготения. Эти представления лежали в основе теории дальнодействия, согласно которой тела действуют друг на друга непосредственно через пустоту, и это действие передаётся мгновенно. В учении об электричестве вначале также возникла теория прямого действия на расстоянии через пустоту. Эксперименты подтвердили правильность гипотезы Фарадея (теория близкодействия), бывшего противником теории дальнодействия.

НАПРЯЖЁННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. Наши представления о свойствах электрического поля складываются на основе опытов по взаимодействию заряженных тел.

Главное свойство электрического поля — способность действовать на отдельные заряженные частицы (электроны, ионы, протоны) и на электрически заряженные тела с некоторой силой. Основные характеристики поля можно установить, изучив его действие на точечный (пробный) заряд.

Пусть электрическое поле создаётся зарядом Q . Согласно закону Кулона на заряд q , помещённый в некоторую точку этого поля, действует сила \vec{F} , пропорциональная заряду. На заряд $2q$ будет действовать в 2 раза большая сила, на заряд $3q$ — в 3 раза большая сила и т. д. Однако отношение силы, действующей на помещённый в данную точку поля заряд, к значению этого заряда уже не будет зависеть от заряда. Это отношение может рассматриваться как характеристика поля, которую называют напряжённостью электрического поля и обозначают буквой \vec{E} .



ВАЖНО

Напряжённость электрического поля равна отношению силы, действующей на помещённый в данную точку поля заряд, к значению заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1)$$

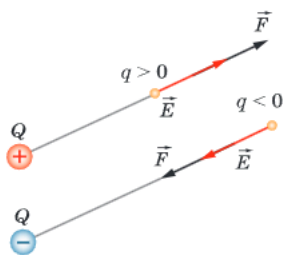
Единицей напряжённости в СИ является *ньютон на кулон* (Н/Кл).

1 Н/Кл — это напряжённость в такой точке поля, в которой на заряд 1 Кл действует сила, равная 1 Н.

Если электрическое поле создаётся точечным зарядом, то силу F в формуле (1) можно найти с помощью закона Кулона. Тогда напряжённость электрического поля, создаваемого точечным зарядом Q на расстоянии r от него, равна:

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}, \quad (2)$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — постоянная в законе Кулона.



Формула (2) показывает, что чем ближе точка располагается к заряду, тем больше напряжённость поля в этой точке.

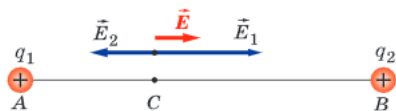
Как следует из определения, напряжённость электрического поля является *векторной величиной*, поскольку сила — векторная величина. Кроме числового значения, она имеет ещё и направление. Направление вектора напряжённости совпадает с направлением вектора силы, действующей на положительный заряд. При этом если заряд, создающий электрическое поле, положительный, то вектор напряжённости в данной точке поля направлен от заряда, а если заряд отрицательный, то к заряду.

ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ ПОЛЕЙ. Если в некоторой точке пространства электрическое поле создаётся несколькими зарядами, то напряжённость в данной точке поля равна векторной сумме напряжённостей полей, создаваемых независимо каждым из зарядов:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Это правило называется **принципом суперпозиции полей**.

Например, в точке C электрическое поле создаётся двумя положительными зарядами q_1 и q_2 , напряжённости которых соответственно \vec{E}_1 и \vec{E}_2 . Тогда результирующая напряжённость \vec{E} в точке C будет равна векторной сумме: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.



СИЛОВЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. Для наглядности электрическое поле принято изображать при помощи так называемых **силовых линий** (линий напряжённости).

Если мелкие кусочки шерсти или опилки насыпать на гладкую стеклянную пластинку и поместить её над заряженным телом, то кусочки шерсти под действием электрического поля переориентируются. Они расположатся вдоль силовых линий электрического поля.

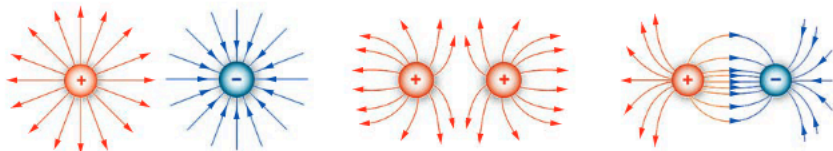
Изображение электрического поля при помощи силовых линий позволяет наглядно представить степень воздействия поля на заряд:

чем гуще силовые линии, тем сильнее поле действует на заряд.

ВАЖНО

Линией напряжённости электрического поля называется линия, касательная к которой в каждой точке направлена вдоль вектора напряжённости \vec{E} . Принято, что силовые линии поля точечного заряда начинаются на положительном заряде, а заканчиваются на отрицательном заряде. Силовые линии не пересекаются.

Это показано на примере поля двух одноимённых точечных зарядов и двух разноимённых.



- !** Электрическое поле — это особый вид материи, оно непрерывно в пространстве и оказывает воздействие на другие заряды. Для наглядности электрическое поле принято изображать при помощи силовых линий.
- !** Напряжённость — это векторная физическая величина, характеризующая электрическое поле в данной точке поля и равная отношению силы, действующей на помещённый в данную точку поля заряд, к значению заряда.

ВЫВОДЫ

Электрическое поле; напряжённость поля; силовые линии электрического поля; принцип суперпозиции

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Каковы основные свойства электрического поля?
2. Что такое силовые линии электрического поля?
3. Какое направление принято за направление силовых линий электрического поля?
4. Будут ли взаимодействовать близкорасположенные электрические заряды в безвоздушном пространстве? Обоснуйте свой ответ.
5. Что такое напряжённость электрического поля?
6. В чём заключается принцип суперпозиции полей?

§ 45 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как образуется молния.
- Как устроен громоотвод.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электризация тел?
- Что такое электрическое поле?

Вокруг нас происходит множество электрических явлений. Рассмотрим некоторые из них.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МОЛНИИ. Наиболее яркое электрическое атмосферное явление — молния.



На земном шаре одновременно происходит до 1800 гроз. В умеренных широтах грозы в среднем бывают 10—15 раз в год, у экватора на суше от 80 до 160 грозовых дней в году, над океаном грозы случаются реже, а в Арктике — одна в несколько лет.



Происхождение молнии объясняют следующим образом. Облака под действием ветра с большой скоростью проносятся над землёй и электризуются. При этом верхние и нижние слои облаков приобретают разноимённые заряды. Вокруг этих облаков возникает сильное электрическое поле. На ближайших к ним телах образуется электрический заряд противоположного знака. Такими телами могут являться другие облака, а также поверхность земли с находящимися на ней высокими объектами.

Иногда два наэлектризованных облака приближаются друг к другу на достаточно близкое расстояние. Если при этом положительно заряженный слой облака приближается к отрицательно заряженному слою другого облака, то между ними происходит разряд — молния (рис. а). Разряд сопровождается звуком (громом).

Когда грозовая туча имеет отрицательный электрический заряд и проходит близко к поверхности земли, то создаваемое этим электрическим зарядом поле



а)



б)

приводит к появлению на предметах и на поверхности земли положительного электрического заряда. Между тучей и заряженными предметами может произойти разряд (рис. б).

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Молния и гром происходят одновременно, но свет распространяется со скоростью 300 000 км/с, а скорость звука в воздухе 340 м/с. Поэтому мы сначала видим разряд — молнию, а звук разряда — гром — слышим спустя некоторое время. Зная время запаздывания грома, можно оценить, как далеко от наблюдателя произошёл разряд.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Электрическую природу молнии впервые раскрыл американский учёный Бенджамин Франклин в 1752 г. Во время грозы он запустил в облака воздушного змея. Как только верёвка, на которой был привязан змей, намочла от дождя, её растрепавшиеся волокна внезапно встали дыбом, указывая на то, что змей и нить зарядились. Находясь под навесом и придерживая нить, на которой был подвешен змей, Франклин осуществил опыт, который мог оказаться для учёного смертельным. Он приблизил палец к металлическому ключу, привязанному к мокрому шнуру. Но ещё до того, как он коснулся пальцем ключа, между ключом и пальцем проскочили искры, произведя при этом треск.

Подобные опыты чрезвычайно опасны. Некоторые исследователи погибли во время таких экспериментов.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Летом 1753 г. в своей домашней лаборатории в Петербурге трагически погиб от удара молнии известный физик, академик Г. В. Рихман. В 1745 г. учёный создал первый электроизмерительный прибор — «электрический указатель», позволявший измерять «электрическую силу». «Электрический указатель» стал основным элементом созданной Ломоносовым и Рихманом «громовой машины», сыгравшей важную роль в разработке первой научной теории атмосферного электричества.

МОЛНИЕОТВОД (ГРОМООТВОД). Во время своих опытов Б. Франклин обнаружил, что металлическое остриё, соединённое с землёй, снимает электрические разряды с заряженных тел. Сконструированный им *молниеотвод*, или *громоотвод*, как его иногда называют, был первым научно обоснованным устройством для защиты от молний.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Независимо от Франклина чешский учёный П. Дивиш в 1754 г. установил заострённый железный шест на высоком столбе около своего дома для извлечения электричества из туч. Но изобретение Дивиша не было оценено его соотечественниками. Местные крестьяне уничтожили громоотвод, полагая, что именно он стал причиной засухи.



Простейший молниеотвод представляет собой заострённый металлический стержень, прикреплённый к зданию и поднятый над крышей. Он соединяется со всеми металлическими частями здания и с массивной металлической плитой, зарытой в землю, чем обеспечивается заземление молниеотвода.

При разряде молнии заряд по громоотводу уходит в землю и не приносит никакого вреда. Кроме того, наведённый тучей на здание электрический заряд уходит с громоотвода в землю, тем самым не только предохраняя здание от удара молнии, но и уменьшая вероятность её удара в данное здание.

Роль молниеотводов могут играть башенные краны, металлические мосты, фонарные столбы и другие высокие металлические конструкции с системой заземления.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Молния чаще всего ударяет в возвышающиеся над уровнем земли объекты — колокольни, флагштоки, небоскрёбы, а также в одиночные деревья в полях и вершины холмов. Если молния попадает в металл, она его плавит. Попадая в песок, молния плавит и его. Попав в дерево, молния расщепляет его, обугливает, а может и поджечь. Поэтому во время грозы нельзя прятаться от дождя под высокими деревьями. Попав в строения, молния также может разрушить их и поджечь.



ОГНИ СВЯТОГО ЭЛЬМА. В течение сотен лет моряки замечали, что во время гроз на верхушках корабельных мачт появляются странные огни, которые получили название огней святого Эльма. Моряки думали, что этими огнями их покровитель святой Эльм показывает, что они находятся под его опекой. Огни святого Эльма можно также наблюдать во время грозы на верхушках высоких зданий, на кончиках лопастей пропеллеров самолётов и т. п. Это явление наблюдается, когда в остроконечных частях предметов появляется большой электрический заряд.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЫБЫ. Рыбы, способные создавать электрические разряды, известны человеку с древнейших времён. На древних египетских надгробьях нашли изображения африканского электрического сома. Египтяне верили, что сом является «защитником рыб». Рыбак, который вытаскивал сеть с рыбой, мог получить электрический разряд и выпустить сеть из рук.

Врачи в древние времена использовали электрических скатов для лечения болезней: больных заставляли прикасаться к рыбам, и от ударов электрического тока они будто бы выздоравливали.

Самым сильным электрическим зарядом обладают электрические угри. Их разряды опасны даже для человека.

Но электрические органы нужны рыбам не только для нападения или защиты. Учёные обнаружили, что африканская пресноводная рыба гимнархус непрерывно испускает слабые электрические сигналы, чтобы ориентироваться в пространстве вокруг себя. Она может плавать в мутной воде среди водорослей и камней, не задевая их.

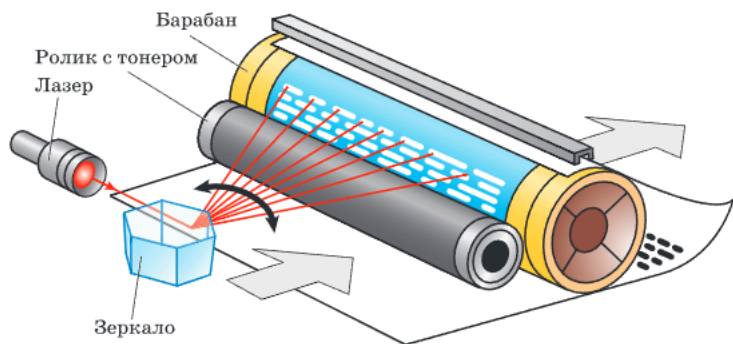
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В БЫТУ И ТЕХНИКЕ. Электризация часто наблюдается и в быту. Разряды электричества возникают при ходьбе человека по полимерным покрытиям, синтетическим коврам, при снятии синтетической одежды, при расчёсывании волос пластмассовой расчёской и т. д.

В домашних условиях устранить заряды статического электричества можно, увлажняя воздух или используя антистатические препараты. На производстве человек также сталкивается с проблемой самопроизвольной электризации.

При трении о воздух электризуется самолёт, поэтому после посадки к нему нельзя сразу приставлять металлический трап: возникнет электрический разряд, который может вызвать пожар.

После посадки самолёт сначала «разряжают»: опускают на землю соединённый с обшивкой самолёта металлический трос, по которому заряд уходит в землю.

Электризация применяется и в технике, например в процессе работы *лазерного принтера и копировального аппарата*. Первоначально изображение формируется на фотобарабане. Для этого фотобарабану сообщается положительный или отрицательный заряд. Затем лазерный луч, попадая на поверхность фотобарабана, снимает заряд в тех местах, где это необходимо. Специальная сухая краска (тонер) наносится на поверхность фотобарабана и притягивается к заряженным участкам поверхности. Следующим этапом является перенос изображения с фотобарабана на лист бумаги и закрепление краски на бумаге при высокой температуре.



В промышленности широко используются электростатические фильтры, которые эффективно очищают воздух от самой мелкой пыли (размером от 0,01 мкм), копоти и дыма. Загрязнённый воздух проходит через специальный блок ионизации, где частицы пыли приобретают электрический заряд. В блоке осаждения заряженные частицы притягиваются к противоположно заряженным пластинам, а очищенный воздух выходит в помещение.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА. Майкл Фарадей в ходе своих экспериментов по электричеству обнаружил, что электрическое поле отсутствует во внутренней полости заряженных проводников. Таким образом, проводники могут экрани-

ровать внешние электрические поля. На этом явлении основана *электростатическая защита*.

Например, металлические контейнеры или сетки применяют для защиты чувствительного электронного оборудования от внешних электрических разрядов. Автомобиль или самолёт действуют по этому же принципу — они способны защитить находящихся в них пассажиров от разрядов молний. Именно поэтому во время грозы лучше оставаться в машине.

В микроволновых печах дверцы покрыты металлической сеткой, которая экранирует внутреннее излучение и защищает человека от его воздействия. Специальные костюмы, изготовленные из проводящей металлической ткани, используются электромонтёрами при работе с высоковольтными линиями электропередач. Даже отключённые от сети провода способны накапливать статическое электричество. Электрические заряды стекают по одежде и уходят в землю, не причиняя вреда человеку.

Электростатическая защита также применяется в медицинской диагностике, например для аппаратов МРТ. Она предотвращает поступление к оборудованию внешних сигналов, которые могут повлиять на результаты исследований.

ВЫВОД

! Вокруг нас происходит множество электрических явлений.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Молния; молниеотвод (громоотвод); огни святого Эльма; электрические рыбы; электрические явления в быту и технике; лазерный принтер

И
ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Как образуется молния?
2. Для чего применяют молниеотвод?
3. Какие примеры проявления электрических явлений в быту и технике вы можете привести?
4. Увеличивает или уменьшает молниеотвод вероятность удара молнии в здание? Обоснуйте свой ответ.
5. Каких действий следует избегать во время грозы? Где нельзя укрываться? Обоснуйте свой ответ.
6. Для чего к цистернам бензовозов прикрепляют стальные цепи, тем самым заземляя их? Почему таких цепей нет у железнодорожных цистерн?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 46



- ЗАДАЧА 1. В процессе электризации тело потеряло $8,3 \cdot 10^{15}$ электронов. Затем телу дополнительно было передано $5,8 \cdot 10^{12}$ электронов. Определите заряд и знак заряда тела.

Дано:

$$N_1 = 8,3 \cdot 10^{15}$$

$$N_2 = 5,8 \cdot 10^{12}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$q = ?$

Решение.

Так как $N_1 > N_2$, то тело имеет недостаток электронов n и заряжено положительно:

$$n = N_2 - N_1.$$

Заряд тела найдём, умножив недостаток электронов на элементарный заряд:

$$q = (N_2 - N_1)e,$$

$$q = (8,3 \cdot 10^{15} - 5,8 \cdot 10^{12}) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} =$$

$$= (8300 \cdot 10^{12} - 5,8 \cdot 10^{12}) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} =$$

$$= 8294,2 \cdot 10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \approx 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} = 1,3 \text{ мКл}.$$

Ответ: 1,3 мКл.

- ЗАДАЧА 2. Стеклой палочкой, имеющей первоначальный заряд 8 нКл, коснулись незаряженного шарика электрометра. После соприкосновения электрометр получил заряд 5 нКл. Определите заряд палочки после соприкосновения с электрометром.

Дано:

$$q_{n1} = 8 \text{ нКл}$$

$$q_{m1} = 0$$

$$q_{m2} = 5 \text{ нКл}$$

$q_{n2} = ?$

Решение.

В соответствии с законом сохранения заряда алгебраическая сумма электрических зарядов системы тел остаётся постоянной. Поэтому суммарный заряд тел до соприкосновения равен суммарному заряду тел после соприкосновения:

$$q_{n1} + q_{m1} = q_{n2} + q_{m2}.$$

$$q_{n2} = q_{n1} + q_{m1} - q_{m2}.$$

$$q_{n2} = 8 \text{ нКл} + 0 - 5 \text{ нКл} = 3 \text{ нКл}.$$

Ответ: 3 нКл.

- ЗАДАЧА 3. Вычислите силу электрического взаимодействия между протоном и электроном, которые находятся на расстоянии 10^{-10} м. Сделайте рисунок.

Дано:

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$r = 10^{-10} \text{ м}$$

$F = ?$

Решение.

В соответствии с законом Кулона

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}.$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{(10^{-10} \text{ м})^2} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ Н}.$$



Ответ: $2,3 \cdot 10^{-8}$ Н.

- ЗАДАЧА 4. На точечный заряд 20 нКл, помещённый в электрическое поле, действует сила 50 мН. Определите напряжённость электрического поля.

Дано:	СИ
$q = 20 \text{ нКл}$	$2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$
$F = 50 \text{ мН}$	$0,05 \text{ Н}$
$E - ?$	

Решение.

$$E = \frac{F}{q}.$$

$$E = \frac{0,05 \text{ Н}}{2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Н/Кл}.$$

Ответ: $2,5 \cdot 10^6 \text{ Н/Кл}$.

Задачи для самостоятельного решения

- 1 Определите, какое количество электронов будет иметь массу 1 мг.
- 2 Сколько электронов необходимо забрать от нейтрального тела, чтобы оно имело заряд 1,5 нКл?
- 3 В результате электризации трением тело получило $2 \cdot 10^{15}$ лишних электронов. Определите заряд тела после электризации.
- 4 Одна из двух одинаковых металлических сфер имеет заряд $5q$, а другая — $-8q$. Сферы привели в соприкосновение и развели. Определите заряды сфер после контакта.
- 5 Капля воды с электрическим зарядом $-\frac{3q}{2}$ соединилась с другой каплей воды, имеющей заряд $\frac{3q}{4}$. Каким стал заряд образовавшейся капли?
- 6 Три одинаковых по размеру шарика с зарядами 1 нКл, 2 нКл и 3 нКл подвешены на нитях. Какими станут заряды шариков, если шариком с зарядом 2 нКл сначала коснуться шарика с зарядом 1 нКл, а затем шарика с зарядом 3 нКл? Изменится ли ответ, если изменить очередность касания?
- 7 Две пылинки, имеющие заряды 5 нКл и -3 нКл , находятся на расстоянии 20 см друг от друга. Пылинки привели в соприкосновение и вернули в прежнее положение. Определите силу электрического взаимодействия пылинок до и после соприкосновения.
- 8 Определите напряжённость электрического поля, создаваемого точечным зарядом 10 нКл на расстоянии 5 см от него.
- 9 Электрическое поле создано двумя зарядами 8 нКл и 10 нКл. Расстояние между зарядами 5 см. Определите напряжённость электрического поля в точке, находящейся на линии между зарядами на расстоянии 1 см от первого заряда.



Практическая работа-исследование

Изучаем электризацию тел

СКОЛЬКО ВРЕМЕНИ «ЖИВЁТ» ЗАРЯД!

Как показали многочисленные опыты, заряженное тело не может сохранять свой заряд неограниченно большое время. С течением времени заряд любого тела будет постепенно уменьшаться вплоть до его полной потери.

Цель работы

Изучить характер зависимости потери заряда телом от времени, исследовать зависимость скорости потери заряда от свойств окружающей среды.

Научная справка

Причин, вследствие которых заряженное тело теряет свой заряд, может быть несколько. Вместе с тем можно выделить ряд главных факторов, приводящих к потере заряда, с последующей опытной проверкой выдвинутых гипотез. Скорость потери телом заряда, по-видимому, зависит как от свойств самого тела (вида вещества, из которого изготовлено тело, формы тела, его размеров и т. п.), так и свойств окружающей среды (концентрации положительных и отрицательных ионов, содержащихся в воздухе, влажности и температуры воздуха, наличия в воздухе частичек пыли, дыма и т. п.). Для опытной проверки указанных предположений необходимо использовать ряд приборов, входящих в комплект оборудования школьного кабинета физики.

Ход работы

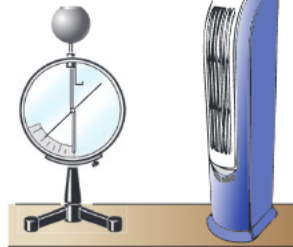
- В качестве оборудования потребуются следующие приборы и материалы: два одинаковых электрометра, снабжённых шкалой с уменьшенной вдвое ценой деления за счёт нанесения дополнительных рисок; ионизатор воздуха (можно использовать бытовой ионизатор); психрометр для измерения влажности воздуха; герметичный бокс из прозрачного пластика; кювета с водой; эбонитовая палочка (длинная расчёска из пластика); кусочки меха или шерсти; часы.

Опыт 1

- С помощью эбонитовой палочки или расчёски, потёртых о мех, зарядите первый электрометр. При этом стрелка прибора отклонится на фиксированное число делений шкалы. Опыт проведите в помещении с относительной влажностью воздуха порядка 60—70 % (комнатные условия).



Опыт 1



Опыт 2

Опыт 2

- Одновременно с опытом 1 точно так же зарядите второй электрометр, причём рядом с ним поместите включённый ионизатор воздуха (см. рисунок на с. 183). При проведении экспериментов электрометры должны быть удалены друг от друга на максимально возможное расстояние.
- Начертите в тетради таблицы.
- В режиме реального времени запишите в таблицы 1 и 2 зависимость заряда электрометров (в числах делений шкалы) от времени (например, через каждые 5 минут).

Таблица 1

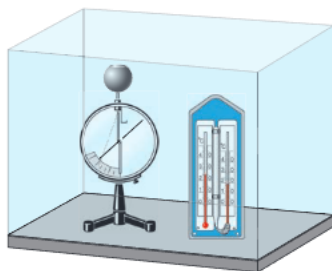
Число делений шкалы									
t , мин									

Таблица 2

Число делений шкалы									
t , мин									

Опыт 3

- Электрометр зарядите точно так же, как и в опыте 1 (по углу отклонения стрелки). Поместите электрометр в прозрачный герметичный бокс, в котором создана 100%-ная влажность. Запишите в таблицу 3 зависимость заряда электрометра от времени.



Опыт 3

Таблица 3

Число делений шкалы									
t , мин									

- По данным таблиц 1—3 постройте графики зависимости зарядов электрометров (в числах делений шкалы) от времени. Графики постройте на одном листе миллиметровой бумаги.
- Сделайте выводы.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ «БАНОЧНОГО» ЭЛЕКТРОСКОПА

Электроскоп — простейший электрический прибор, с помощью которого можно определить, имеет ли тело электрический заряд. Его принцип основан на отталкивании одноимённых зарядов.

Цель работы

Изготовить электроскоп в домашних условиях и проверить его работу.

Этапы выполнения задания

- В качестве оборудования можно использовать стеклянную банку объёмом 0,5 л или более, полиэтиленовую крышку, гвоздь (100 мм), медную проволоку, бумагу, ножницы, пластилин, шило, плоскогубцы, расчёску.
- По центру полиэтиленовой крышки проделайте шилом отверстие.
- В образовавшееся отверстие вставьте гвоздь (так, чтобы приблизительно $\frac{2}{3}$ его длины и заострённый конец располагались с внутренней стороны крышки). Гвоздь будет выполнять функцию стержня в электроскопе, а его шляпка — функцию шарика.
- У заострённого конца гвоздя закрепите кусок медной проволоки (сделав несколько витков вокруг гвоздя) так, чтобы остались два конца длиной приблизительно 2,5—3 см.
- При помощи плоскогубцев загните концы проволоки так, чтобы на концах образовались крючки.
- Изготовьте листочки электроскопа длиной 30—40 мм и шириной 5—7 мм, вырезав их из бумаги.
- У края каждого листочка при помощи шила проделайте отверстие. Подвесьте листочки на крючки к концам проволоки.
- Аккуратно опустите подвешенные на проволоке листочки в банку (корпус электроскопа), при этом закрыв её крышкой.

Примечание: во избежание произвольного перемещения гвоздя относительно крышки во время проведения опытов закрепите гвоздь при помощи пластилина.

- Проверьте, как работает электроскоп. Для этого наэлектризуйте пластмассовую расчёску, проводя ею по волосам. Прикоснитесь наэлектризованной расчёской к шляпке гвоздя и убедитесь, что листочки бумаги расходятся в разные стороны.
- Повторите указанный опыт несколько раз. Последовательно наэлектризовывайте расчёску, а затем касайтесь ею шляпки гвоздя. Увеличивается ли угол, на который расходятся листочки «баночного» электроскопа?
- К заряженному предложенным выше способом электроскопу поднесите тело, имеющее отрицательный заряд (например, стеклянная палочка, потёртая о шёлк). Изменился ли угол расхождения листочков электроскопа? Что при этом произошло?
- Сравните результаты опытов с наэлектризованными телами для случаев использования школьного и «баночного» электроскопов.
- Как с помощью заряженного электроскопа, зная знак его заряда, установить знак заряда произвольного тела?
- Сделайте выводы.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Сообщение телу электрического заряда называется электризацией тела.
- Тела, имеющие заряды одинакового знака, отталкиваются. Тела, имеющие заряды противоположных знаков, притягиваются.
- Электроскоп — простейший прибор для обнаружения электризации тел.
- Вещества, по которым электрический заряд легко передаётся от одного тела к другому, называются проводниками.
- Вещества, по которым электрический заряд не может переходить от одного тела к другому, называются диэлектриками или изоляторами.
- Вещества с промежуточными свойствами называются полупроводниками.
- Наименьшую порцию электрического заряда, далее уже неделимую, называют элементарным зарядом. Частицу-носитель этого элементарного заряда называют электроном.
- Согласно планетарной модели, в центре атома имеется положительно заряженное ядро, а на большом расстоянии от него движутся отрицательно заряженные электроны.
- Атом в целом электрически нейтрален, потому что положительный заряд его ядра равен модулю отрицательного заряда всех его электронов.
- Электризация незаряженного тела, осуществляемая без непосредственного его контакта с заряженным телом, называется электростатической индукцией или электризацией через влияние.
- Закон сохранения заряда: алгебраическая сумма электрических зарядов тел остаётся постоянной.
- Закон Кулона: сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.
- Электрическое поле — это особый вид материи, оно непрерывно в пространстве и оказывает воздействие на другие заряды. Для наглядности электрическое поле принято изображать при помощи силовых линий.
- Напряжённость — это векторная физическая величина, характеризующая электрическое поле в данной точке поля и равная отношению силы, действующей на помещённый в данную точку поля заряд, к значению заряда.
- Вокруг нас происходит множество электрических явлений.

Вопросы для обсуждения

- ❓ Можно ли с помощью незаряженного электроскопа определить знак заряда тела?
- ❓ Что произойдёт, если отрицательно заряженное тело заземлить?
- ❓ Как изготовить электроскоп в домашних условиях из подручных средств?
- ❓ Какими укрытиями нельзя пользоваться и какие действия нельзя совершать во время грозы?

Темы исследовательских и проектных работ

- Развитие представлений об электрических явлениях.
- Сверхпроводимость.
- Как накопить электрический заряд?
- История открытия электрона.
- Развитие представлений об атомном ядре.
- Материальность электрического поля.
- Электрические явления в природе.
- Электризация в быту.
- Польза и вред электризации.
- Способы защиты от статического электричества.
- Электризация в технике.

Ответы к задачам для самостоятельного решения

ГЛАВА 1 § 16

1. 219,3 кДж.
2. 35 °С.
3. 46 °С.
4. 17,6 °С.
5. 190 л горячей воды и 610 л холодной воды.
6. На 0,1 °С.
7. На ≈ 5 °С.
8. 400 Дж/(кг · °С).
9. В 3 раза.

ГЛАВА 2 § 25

1. 1005 Дж.
2. 1) В воду превратится 1,47 кг льда; 2) весь лёд превратится в воду, и вода прогреется до 14 °С.
3. 40 °С.
4. На 2 °С.
5. 13 мин.
6. 6,2 МДж.
7. 2 °С.
8. Не достаточно.
9. 4,25 г/м³; 28 %.
10. 1,47 кг.

11. Ниже 9 °С.

12. 9,4 г/м³.

13. 56 %.

ГЛАВА 3 § 36

1. $7,28 \cdot 10^9$ Дж.
2. При сгорании природного газа.
3. 127 м/с.
4. 5 кг.
5. 75 %.
6. 70 %.

ГЛАВА 4 § 46

1. 10^{24} .
2. $9 \cdot 10^9$.
3. 0,32 мКл.
4. $-1,5q$.
5. $-\frac{3q}{4}$.
6. 1,5 нКл; 2,25 нКл; 2,25 нКл; да.
7. $3,4 \cdot 10^{-7}$ Н; $2,25 \cdot 10^{-7}$ Н.
8. 36 000 Н/Кл.
9. $6,6 \cdot 10^5$ Н/Кл.