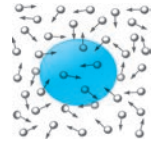
ФИЗИКА

Учебник для 9 класса школ общего средного образования

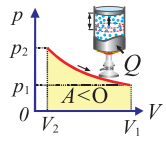
Переработанное и дополненное третье издание

Рекомендовано
Министерством Народного образования
Республики Узбекистан

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА



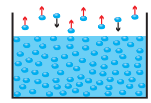
ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ



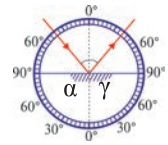
ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ



СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ И ТВЁРДЫХ ТЕЛ



ОПТИКА



Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма
Ташкент-2019

УДК 372.853(075)
ББК 22. 3 я 72
Ф 58

Авторы: П.ХАБИБУЛЛАЕВ, А.БОЙДЕДАЕВ, А. БАХРОМОВ, К.СУЯРОВ, ДЖ. УСАРОВ, М. ЮЛДАШЕВА

Специальный редактор :
К. Турсунметов – доктор физ.мат наук, профессор Национального Университета Узбекистана

Р е ц е н з е н т ы :

А.Т. МАМАДАЛИМОВ – доктор физ.мат наук, академик АН Республики Узбекистан.
М. ДЖОРАЕВ – доктор педагогическиз наук, профессор ТГПУ имени Низами
Э. ХУЖАНОВ – преподаватель кафедры «Астрономия и физика атмосферы» ТГПУ им. Низами.
З.САНГИРОВА – Методист предмета физики отдела «Точные и естественные науки» РЦО.
Ш. САДЫКОВА – преподаватель кафедры «Общая физика» НУУ им. Мирзо Улугбека, доктор философических наук.
М. БАДРИДДИНОВА – учитель школы № 91 Яккасарайского района г. Ташкента.
Е. А. ЖУРАВЛЁВА – учитель школы № 145 Яшнабадского района г.Ташкента.
М. БАЙМУРАТОВА – учитель школы № 7 Сергелийского района г.Ташкента.

Условные обозначения:

– обратите внимание и запомните
– ответьте на вопросы
– запомните
– решите задачи
– выполните практические работы
* – задачи, повышенной сложности

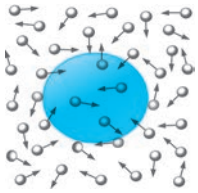
Опечатано для аренды за счёт средств Республиканского целового книжного фонда

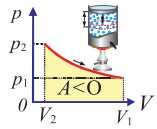
Хабибуллаев П.
Физика. Учебник для 9 класса школ общего средного образования /П.Хабибуллаев [и др]. – Т.: Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма, 2019. –176 стр..

УДК 372.853(075)
ББК 22. 3 я 72

ISBN 978-9943-5551-3-6

© Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма 2019





ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

Молекулярная физика — раздел физики, изучающий свойства тел и происходящие в них процессы, связанные с огромным числом частиц (молекул, атомов, ионов), содержащихся в телах.

Область задач, изучаемых в разделе Молекулярной физики и термодинамике является весьма широкой и она изучает и объясняет:

– строение вещества;

– физические свойства тел в различных агрегатных состояниях;

– закономерности перехода веществ из одного состояния в другое;

– поверхностные явления в жидкостях а также явления, происходящие на границе жидкости и твёрдого тела;

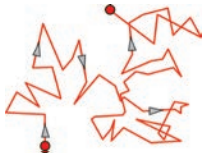
– движения частиц, из которых состоят вещетсва и причины, проявления силы взаимодействия между этими частицами.

В разделе «Молекулярная физика и термодинамика» свойства вещества, состоящих из огромного числа атомов и молекул, изучаются с использованием статистического и термодинамического методов.

1. Статистический метод. Слово *«статистика»* означает «считать», «обобщать». При статистическом методе изучается движения не отдельно взятых частиц вещества, а их среднее результирующие движение. Например, средняя скорость, средняя кинетическая энергия молекул и др. Среднее результирующее движение определяется исходя из закономерностей движения отдельных частиц. Статистический метод положен в основу молекулярно-кинетической теории строения вещества.

2. Термодинамический метод. Слово *«термодинамика»* происходит от слов *«термо»* – *«теплота»* и *«динамика»* – *«сила»*, *«движение»*. При термодинамическом методе состояние вещества определяется такими параметрами, как температура, давление, объем.

При изучении молекулярной физики указанные методы дополняют друг друга и позволяют изучать строение веществ в газообразном, жидком и твердом состояниях, а также протекающие в них процессы.



ГЛАВА I

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

§ 1. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Первоначальное представление о строении вещества принадлежит греческому философу Демокриту, жившему в V–IV веках до нашей эры. Демокрит излагал в своих трудах, о том, чтобы понять суть природных явлений, необходимо сперва изучать внутренее строение тел. По мнению Демокрита все тела состоят из очень маленьких неделимых частиц. Эти частицы Демокрит называл атомами, как вам известно из курса физики 6 класса.

Теория, которая изучает строение и свойства веществ, на основе представления о том, что молекулы этих веществ всегда движутся и между ними существуют сила взаимодействия, называется молекулярно-кинетической теорией (МКТ).

Молекулярная-кинетическая теория строения вещества начала своё развитие с XVIII в. В развитие молекулярной-кинетической теории внесли большой вклад русские учёные М.В.Ломоносов и Д.И.Менделеев, английские ученые Д.Дальтон и Дж.Максвелл, немецкий ученый О.Штерн, австрийский ученый Л.Больцман, итальянский ученый А.Авогадро и другие.

Молекулярно-кинетическая теория строения вещества основывается на следующих положениях, которых доказаны опытами:

1. Все вещества состоят из частиц – атомов и молекул.
2. Атомы и молекулы совершают непрерывные и беспорядочные движения.
3. Между атомами и молекулами существуют силы взаимного притяжения и отталкивания.

Это отчетливо прослеживается на примере диффузии веществ, находящихся в газообразном, жидком и твердом состояниях.

1. Если открыть флакон духов в одном углу комнаты, их запах распространится по всей комнате. Это доказивает, что духи состоят из молекул. Из-за непрерывного и беспорядочного движения, они распространяются по всей комнате. Но мы почувствуем запах духов лишь через некоторое время, потому что они, сталкиваясь на своем пути с бесчисленными молекулами воздуха, совершают непрерывные и беспорядочные движения, меняя направление своего движений.

2. Если добавить в стакан с водой ложку молока (рис. 1, *а*), то можно наблюдать, что молоко смешается с водой не сразу, а лишь спустя определенное время (рис. 1, *б*). Если смешивание воды и молока указывает на то, что эти жидкости состоят из частиц, совершающих беспорядочное движение, то время, необходимое для их смешивания, свидетельствует о взаимодействии частиц молока и воды.

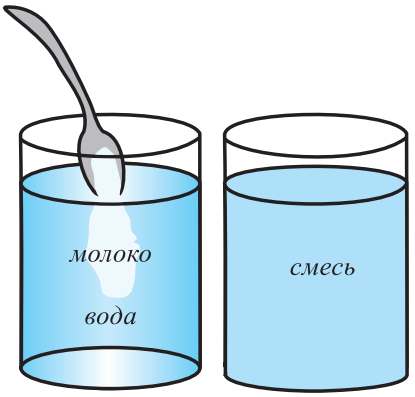


рис.1.

3. Если отполированные пластины из свинца и золота поместить друг на друга, закрепив специальным зажимом(рис. 2, *а*), то через 5 лет, сняв зажим, можно обнаружить, что они «срослись». Атомы золота проникли в поверхность свинцовой пластины примерно 1 мм и наоборот (рис. 2, *б*). Проникновение частиц золота в свинец, и наоборот, молекул свинца в золото указывает на то, что эти металлы состоят из частиц, которые также хотя и медленно совершают беспорядочные движения, но взаимодействуют друг с другом. Медленное проникновение частиц твердых тел показывает что, сила взаимодействия молекулы твердых тел намного сильнее чем сила взаимодействия молекулы жидкости или газов.

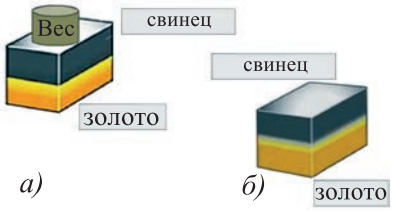


рис.2.

Броуновское движение

В 1827 году Роберт Броун английский естествоиспытатель наблюдал следуюшее явление. Рассматривая в микроскоп за спорами плауна, расположенными в воде, он обратил внимание, что споры постоянно двигались. Сначала он предположил, что они проявляют признаки жизни. Позже он рассматривал и другие мелкие частицы, в том числе частички камня. Но и они постоянно двигались Это движение назвали броуновским движением.

Беспорядочное движение атомов и молекул в жидкостях или газах называется хаотическим движением.

Слово «хаотический» происходит от латинского «хаос» и означает «беспорядочный». Молекулярно-кинетеческую теорию броуновского движения создал в 1905 г. Альберт Эйнштейн.

Причина броуновского движения частицы состоит в том, что удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг друга. На рисунке 3 показано положение броуновской частицы и ближайших к ней молекул

воды. При беспорядочном движении молекул число ударов с разных сторон будет различно. Значит результирующая сила и придаст направление движения частице.

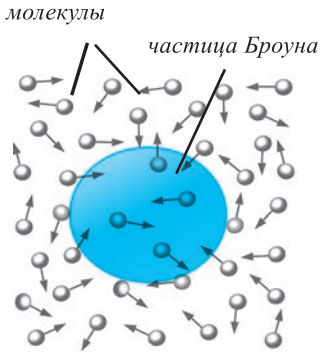


рис.3.

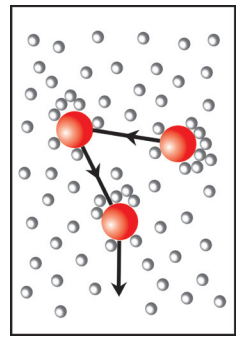


рис.4.

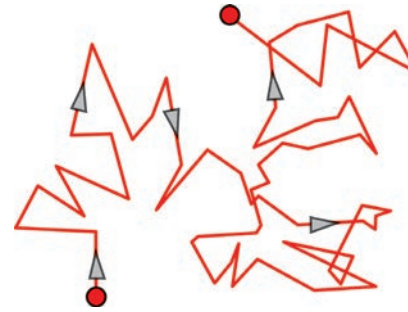


рис.5.

Таким образом броуновское движение не только доказывает непрерывное беспорядоченное движение молекул, но и подтверждает их существование.

Броуновское движение было подробно исследовано в 1908–1913 гг. французким физиком Дж. Перреном, который сфотографировал положения хаотически движущихся частиц за равные промежутки времени. При этом траектория их движения представляла собой ломанные линии не одинаковой длины (рис.5). За доказательство существования молекул Ж. Перрену в 1926 г. присуждена Нобелевская премия по физике.

Броуновское движение представляет собой непрерывное и беспорядочное движение.
Траектория броуновского движения представляет собой ломанные линии.
Броуновское движение зависит от размера частицы.

1. Какие эксперименты потверждают основные положения молекулярно-кинетической теории строения вещества ?
2. Объясните причину проявление броуновского движения.
3. Почему два кусочка пластилина прилипают друг к друга, а две половинки сломанного карандаша слипить вместе нельзя ?
4. Почему твёрдые тела не распадаются на отдельные молекулы, хотя молекулы совершают непрерывное и беспорядоченное движения ?

Наблюдение броуновского движение. В темной комнате включите фонарик встряхнув кусочкам ткани, вы увидите непреривное и беспорядоченное движение частиц пыли в воздухе. Запишите выводы в тетраде.

Показать беспорядочное движение молекул при помощи механической модели.

Необходимые принадлежности: белые и черные шарики, тарелка, фломастер.

Цель: изучить гипотезу беспорядоченного движения молекул при помощи механической модели.

1. Берём 20 белых и чёрных шариков. (Шарики здесь играют роль молекул)
2. Берём глубокий сосуд с плоским основанием (например, тарелку)
3. Разделяем фломастером основание сосуда на две равные части.
4. В одну половину выкладиваем белые шарики, а в другую – чёрные. (рис.6. *а*)
5. Слегка встряхивая тарелку, наблюдаем за положением шариков. (рис. 6. *б*)
6. Запишем выводы.



а) *б)*

рис.6.

§ 2. МАССА И РАЗМЕР МОЛЕКУЛ

Молекулы

Вы уже знаете, что вещества состоят из мельчайших частиц – молекул и атомов.

Мельчайшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства, называется молекулой.

Молекула состоят из атомов одинаковых или различных химических элементов. Металлы и инертные газы встречаются в природе в виде атомов. А молекулы других веществ состоят, по крайнем мере, из двух атомов. Например, водород это газ, состоящий из молекул водорода (H_2). Каждая

молекула водорода содержит два атома водорода (H). Кислород содержащийся в воздухе состоит из молекул кислорода (O_2). Каждая молекула кислорода содержит два атома кислорода (O). Вода состоит из молекул воды(H_2O). В каждой молекуле воды содержатся два атома водорода (H) и один атом кислорода (O).

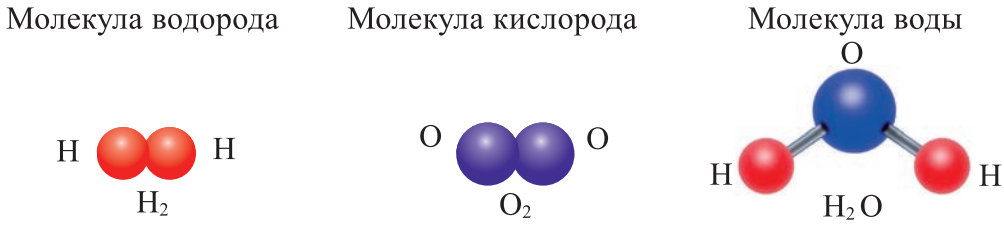


рис.7.

Размер молекул

Так как размеры молекул очень маленькие, то их видеть невозможно. Но вот невидимые, очень маленькие частицы соединяются и преобразуют видимый нам мир. А каковы размер молекулы? Можно ли определить их размеры?

Размеры молекул можно определить различными способами. Рассмотрим простейших из них, то есть процесс расстекания капли оливкового масла по поверхности воды, которая находится в широком сосуде (рис.8). Опыты показывают, что капля масла объемом 1 мм^3 образуют площадь приблизительно 0,6 м^2. При максимальном растекании капли масла по поверхности воды, можно представить, что толщина слоя масла и диаметр молекулы почти равны. И так, определив толщину слоя масла мы можем примерно вычислить размер одной молекулы.

Толщина слоя масла определим следующим образом. Объем капли масла V равен произведению площади кругового пятна S на толщину слоя d:

$$\boxed{V = S \cdot d.} \quad (1)$$

Тогда толщина слоя или диаметр молекулы масла равен:

$$d = \frac{V}{S} = \frac{\text{мм}^3}{0{,}6\,\text{м}^2} = \frac{\text{м}^3}{0{,}6\,\text{м}^2} \approx 1{,}7 \cdot 10^{-9}\,\text{м}\ .$$

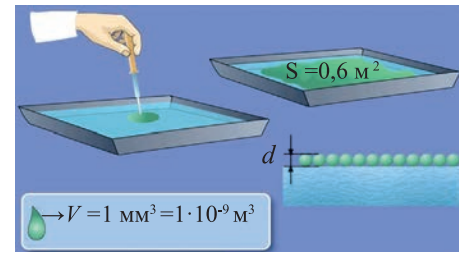


рис. 8.

Молекулы настолько малы, что их трудно различать даже в самый сильный оптический микроскоп. По полученным результатам, следует, что атом – это есть шар радиусом 10^{-10} м. Так как молекулы состоят из атомов, их размеры намного больше чем размеров атомов.

Например, диаметр молекулы водорода $d \approx 2{,}3 \cdot 10^{-10}$м, а диаметр молекулы воды $d \approx 3 \cdot 10^{-10}$м.

Эти размеры так малы, что их невозможно себе представить. В таких случаях прибегают к помощи сравнений. Например, если увеличить размер молекулы до размеров среднего яблока, то размер яблока при этом увеличении, будет равен размеру Земли. Или, если увеличить все тела в 10^8 раз, то рост мальчика, имеюшего высоту 1м, достигнет 100000 км.

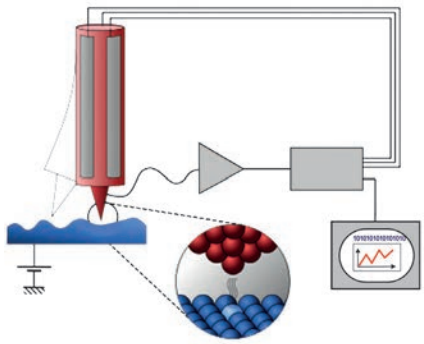


рис. 9.

В настоящее время с помощью специальных приборов можно получить изображения сравнительно больших молекул. Один из таких приборов является **туннельный микроскоп** (рис 9), был разработан в 1980 году сотрудниками фирмы IBM[1]. Авторы этого изобретении Герд Бин и Генрих Рорер в 1986 году были нагреждены Нобеловской премией. Туннельный микроскоп имеет возможность увеличить предмет в 100 миллион раз что дает возможность измерять размер атома с очень высокой точностью. С помощью тунельного микроскопа определили диаметр атома углерода с высокой точностью, и он равен на $1{,}4 \cdot 10^{-10}$ м. Также были определены размеры атомов других веществ. Получение изображения частиц вещества с помощью туннельных микроскопов дало возможность убедиться в том, что вещества состоят из атомов и молекул.

Масса молекул

Используя свои знания о размере молекул, вычислим массу молекулы. Допустим, если диаметр молекулы воды равен $d \sim 3 \cdot 10^{-10}$ м, то его объем приблизительно равен на $V \sim d^3 = (3 \cdot 10^{-10}\text{ м})^3$. Считая, что молекулы воды находятся очень близко друг к другу, вычислим число молекул в 1 м^3 воды:

$$N = \frac{1м^3}{(3 \cdot 10^{-10} м)^3} \approx 3{,}7 \cdot 10^{28}.$$

Зная, что масса 1 м^3 воды равна 1000 кг, вычислим массу одной молекулы воды:

$$m_0 = \frac{1000\,\text{кг}}{3{,}7 \cdot 10^{28}} \approx 2{,}7 \cdot 10^{-26}\,\text{кг}.$$

По результатам вычислений видно, что масса одной молекулы воды

[1] IBM (Internasional Business Machines) ведущая компания в США по программному обеспечении

очень мала. Так же малы и массы молекул других веществ. Например, масса одной молекулы кислорода $m_{O_2} \approx 5,32 \cdot 10^{-26}$кг, масса одной молекулы углерода $m_C \approx 1,992 \cdot 10^{-26}$кг, масса одной молекулы ртути $m_{Hg} \approx 3,337 \cdot 10^{-25}$кг.

Относительная атомная (молекулярная) масса

Вы уже знаете, что массы молекул очень малы и их массы невозможно измерить при помощи весов. Поэтому введено новое понятие – **атомная единица массы unit (u)**[2] . Согласно Международному соглашению массы всех атомов и молекул сравнивают с 1/12 частью массы атома углерода $^{12}_{6}C$. Тогда атомная единица массы будет равна:

$$m_{0C} \cdot \frac{1}{12} = 1,992 \cdot 10^{-26}\text{кг} \cdot \frac{1}{12} \approx 1,66 \cdot 10^{-27}\text{кг}.$$

Итак,

$$1\text{u} \approx 1,66 \cdot 10^{-27}\text{кг}.$$

Относительной атомной массой вещества называют отношение массы молекулы (атома) m_0 данного вещества к $^1/_{12}$ массы атома углерода m_{0C}.

Относительная атомная масса вычисляется следующим образом:

$$\text{Относительная атомная масса} = \frac{\text{Масса одного атома вещества}}{\text{1/12 массы атома углерода}}$$

или

$$A_{отн} = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}. \quad (2)$$

Согласно выражению (2) относительная масса атома кислорода равна:

$$A_{отн} = \frac{2,66 \cdot 10^{-26}\text{кг}}{1,66 \cdot 10^{-27}\text{кг}} = 16\text{u}.$$

Относительная атомная масса не имеет единицы измерений. Относительная атомная масса всех химических элементов дана в периодической таблице химических элементов Д.И.Менделеева. Чтобы найти молекулярную массу сложных веществ надо сложить атомные массы всех элементов, входящих в состав молекулы вещества.

[2] «unit» – английское слово – «unifed mass unit» – атомная единица массы

Например: чтобы найти молекулярную массу воды (H_2O) надо массу двух атомов водорода сложить к одной атомной массе кислорода, то есть: $M_{H_2O} = 1 \cdot 2 + 16 = 18$ u.

Образец решения задачи

Масса одной молекулы воды $3 \cdot 10^{-26}$ кг. Сколько молекул в 12 см^3 воды ?

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$m_0 = 3 \cdot 10^{-26}$ кг $V = 12$ см^3 $= 12 \cdot 10^{-6}$ м^3 $\rho = 1000$ кг / м^3 . *Найти:* $N = ?$	$m = \rho \cdot V$; $N = \frac{m}{m_0}$; $N = \frac{\rho \cdot V}{m_0}$. $[N] = \frac{\text{кг}}{\text{кг}} = 1$.	$N = \frac{10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-26}} = 4 \cdot 10^{23}$ **Ответ:** $N = 4 \cdot 10^{23}$.

1. Дайте определение молекуле и поясните на примерах.
2. Как можно определить размеры молекул ?
3. Каков порядок размеров атомов и молекул ?
4. Какая величина была принята в качестве атомной единицы массы ?
5. Как определяется относительная молекулярная масса вещества ?

У 1

1. Вычислите число атомов углерода в 2,4 кг угля (углерода), принимая массу атома углерода $2 \cdot 10^{-26}$ кг.
2. Масло объемом 0,2 мм^3 растеклось по поверхности воды тонким слоем и заняло площадь 0,8 м^2. Принимая толщину слоя равной диаметру молекулы масла, определите этот диаметр.
3. Масса одной молекулы воды $3 \cdot 10^{-26}$ кг. Сколько молекул содержится в 5 см^3 воды ?
4*. В сосуде содержится 10^{24} молекулы воды. Найдите объем сосуда. Диаметр молекулы воды $3 \cdot 10^{-10}$ м.
5*. Найдите число молекул в масле объемом 35 см^3, если диаметр молекулы масла приблизительно $2{,}6 \cdot 10^{-10}$ м.

6. Заполните таблицу:

№	Вещества	Химическая формула	Относительная молекулярная масса (u)
1	Азот		
2	Озон		
3	Поваренная соль		
4	Метан		
5	Углекислый газ		

§ 3. КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА

Количество вещества

Атомы (или молекулы) в макроскопических (слово «макро» от греческого означает «большой») телах бывают в очень большом количестве. Поэтому принято сравнивать количество атомов в определенном теле с количеством атомов в 12 г углерода.

1 моль – это такое количество вещества, которое содержит столько же атомов (молекул), сколько атомов содержится в 12 г углерода.

Отсюда следует что, число молекул (атомов) в 1 моле любого вещества одинаково. За единицу измерения количества вещества в СИ принят моль. Количество вещества обозначается буквой ***ν*** (ню).

Постоянная Авогадро

Число молекул в 1 моле вещества называется (в честь итальянского ученого Амедео Авогадро) ***постоянной Авогадро*** и обозначается N_A.

Постоянная Авогадро является фундаментальной физической величиной и ее числовое значение равно:
$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

Если количество вещества ν, то число молекул определяется:

$$N = \nu \cdot N_A. \qquad (1)$$

Чтобы найти количество вещества необходимо число молекул разделить на постоянную Авогадро:

$$\nu = \frac{N}{N_A}. \qquad (2)$$

Молярная масса

Масса одного моля вещества называется молярной массой и обозначается буквой *M*.

Согласно этому определению, молярная масса вещества равна произведению массы одной молекулы на постоянную Авогадро:

$$M = m_0 N_A. \qquad (3)$$

За единицу молярной массы принята единица кг/моль.Согласно выражению (3), можно вычислить массу молекулы вещества:

$$m_0 = \frac{M}{N_A}. \qquad (4)$$

Итак, чтобы определить массу одной молекулы любого вещества надо молярную массу вещества разделить на постоянную Авогадро.

Из формулы относительной молекулярной массы $M_{отн}=\frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0C}}$ находим m_0, и подставим в выражение (3) и получим $M=\frac{1}{12}m_{0C}\cdot M_{отн}\cdot N_A$

Упростив это выражение подставляя числовые значения массы атома углерода и постоянной Авогадро, получаем следующее соотношение:

$$M = M_{отн}\cdot 10^{-3}\text{кг/моль} \quad \text{или} \quad M = M_{отн}\ \text{г/моль}.$$

Итак, молярная масса – это масса, которая численно равна относительной молекулярной массе, но выраженная в граммах. По таблице Менделеева можно определить относительную молекулярную массу любого вещества. Например: Относительная молекулярная масса углекислого газа (CO_2) равна M_{CO_2} = 44 u, а молярная масса углекислого газа (CO_2) будет равна M = 44 г/моль.

Число молекул

Чтобы найти массу вещества надо число молекул этого вещества умножить на массу одной молекулы, то есть:

$$m = m_0 N. \qquad (5)$$

Подставив формулу (4) в (5), получаем:

$$m = \frac{M}{N_A} N. \qquad (6)$$

С учётом формулы (1), выражении (6) запишется:

$$\nu = \frac{m}{M}. \qquad (7)$$

Тогда выражение (1) согласно выражению (7) пишем так:

$$N = \frac{m}{M} N_A. \qquad (8)$$

По этой формуле можно найти число молекул (или атомов) в любом веществе.

Концентрация молекул

Число молекул в единице объема называется концентрацией молекул и обозначается буквой *n*.

Согласно определению, концентрация молекул определяется:

$$n = \frac{N}{V}, \qquad (9)$$

здесь N – число молекул в сосуде, V– объем сосуда.

За единицу концентрации молекул в СИ принят $[n] = м^{-3}$.

Если выражение (8) поставить в (9), получается еще одна формула для вычисления концентрации молекул:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{1}{V} \cdot \frac{m}{M} N_A = \frac{\rho}{m_0}. \qquad (10)$$

Получили формулу вычисления плотности вещества, то есть: $\rho = n \cdot m_0$.

Образец решения задачи

Задача 1. Определите число молекул в воде объемом 54 см^3.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$V = 54$ см^3 $\rho = 1$ г/см^3 $M = 18$ г /моль $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.	$m = \rho \cdot V$; $N = \frac{m}{M} N_A$. $[m] = \frac{г}{см^3} \cdot см^3 = г.$	$m = 54 \cdot 1 = 54$ г. $N = \frac{54}{18} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} = 1{,}806 \cdot 10^{24}$.
Найти: $N = ?$	$[N] = \frac{г}{г/моль} \cdot \frac{1}{моль} = 1$	**Ответ:** $N = 1{,}806 \cdot 10^{24}$.

Задача 2. Какой объем занимают 136 моль ртути? Плотность ртути равна 13,6 г/см^3, молярная масса 200 г/моль.

Дано:

$\nu = 136$ моль

$\rho = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3

$M = 200 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Найти:

$V = ?$

Формула:

$$\nu = \frac{m}{M}; \qquad m = \nu \cdot M.$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{\nu \cdot M}{\rho}.$$

$$[V] = \frac{\text{моль} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}^3.$$

Вычисление:

$$V = \frac{136 \cdot 200 \cdot 10^{-3}}{13{,}6 \cdot 10^3}\ \text{м}^3 = 2 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3.$$

Ответ: $V = 2 \cdot 10^{-3}$ м^3 $= 2$ *л.*

1. Что называется количеством вещества? Какова её единица измерения?
2. Назовите числовое значение постоянной Авогадро и объяните ее физический смысл.
3. Какая величина называется молярной массой? Назовите молярные массы озона, углекислого газа и метана?
4. Как вычисляется число молекул вещества?
5. Определите концентрацию молекул воды в сосуде (рис.10)? Точность измерения сосуда дана в миллилитрах.



рис.10.

У 2

1. Определите количество вещества воды массой 270 г.
2. Какова масса 8 молей углекислого газа (CO_2)?
3. Определите число молекул в 7 г азоте (N_2).
4. Молярная масса вещества равна 36 г/моль. Определите массу одной молекулы этого вещества.
5. Заполните таблицу.

№	Вещества	Химическая формула	Молярная масса (г/моль)	Масса молекулы (г)
1	Поваренная соль	NaCl		
2	Озон	O_3		
3	Азот	N_2		
4	Метан	CH_4		

6. Масса одной молекулы газа равна $7{,}33 \cdot 10^{-26}$ кг. Определите молярную массу газа.

§ 4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Определите число молекул углерода в графитовом карандаше длиной 15 см и площадью поперечного сечения 4 мм^2. Плотность графита 1,6 г/см^3, а масса одной молекулы углерода $2\cdot10^{-26}$ кг.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
l =15 см = $15\cdot10^{-2}$ м S = 4 мм^2 = $4\cdot10^{-6}$ м^2 ρ =1,6 г/см^3 =$1,6\cdot10^3$ кг/м^3 $m_0 = 2\cdot10^{-26}$ кг. *Найти:* N = ?	$V = S\cdot l$, $m = \rho\cdot V$ Отсюда: $m = \rho\cdot S\cdot l$. $N = \frac{m}{m_0} = \frac{\rho\cdot S\cdot l}{m_0}$. $[N] = \frac{\text{кг}}{\text{кг}} = 1$	$N = \frac{1,6\cdot10^3\cdot4\cdot10^{-6}\cdot15\cdot10^{-2}}{2\cdot10^{-26}} =$ $= 4,8\cdot10^{22}$. **Ответ:** $N = 4,8\cdot10^{22}$.

Задача 2. В сосуде объемом 5 л содержится азот массой 140 г. Вычислите концентрацию молекул газа.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
V = 5 л = $5\cdot10^{-3}$ м^3 m = 140 г = 0,14 кг M = $28\cdot10^{-3}$ кг/моль N_A = $6\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$. *Найти:* n = ?	$N = \frac{m}{M}\cdot N_A$; $n = \frac{N}{V}$. $[n] = \frac{1}{\text{м}^3}$.	$N = \frac{0,14}{28\cdot10^{-3}}\cdot6\cdot10^{23} = 3\cdot10^{24}$. $n = \frac{3\cdot10^{24}}{5\cdot10^{-3}} = 6\cdot10^{26}\frac{1}{\text{м}^3}$. **Ответ:** $n = 6\cdot10^{26}$ м$^{-3}$.

Задача 3. На изделие, поверхность которого 20 см^2, нанесен слой серебра толщиной 1,5 мкм. Сколько атомов серебра содержится в покрытии? Плотность серебро$10,5\cdot10^3$ кг/м^3, а молярная масса 108 г/моль.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
S = 20 см^2 = $2\cdot10^{-3}$ м^2 h = 1,5 мкм =$1,5\cdot10^{-6}$ м ρ = $10,5\cdot10^3$ кг/м^3 M = $108\cdot10^{-3}$ кг/моль N_A = $6\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$. *Найти:* N = ?	$m = \rho\cdot V = \rho\cdot S\cdot h$, $\nu = \frac{m}{M}$, $N = \nu\cdot N_A$ $N = \frac{m}{M}\cdot N_A = \frac{\rho S h}{M}\cdot N_A$. $[N] = \frac{\text{кг}}{\text{кг/моль}}\cdot\frac{1}{\text{моль}} = 1$	$N = \frac{10,5\cdot10^3\cdot2\cdot10^{-3}\cdot1,5\cdot10^{-6}}{108\cdot10^{-3}}$ $\cdot6\cdot10^{23} = 1,75\cdot10^{20}$. **Ответ:** $N = 1,75\cdot10^{20}$.

У
З

1. Предмет массой 81 г изготовлен из алюминия. Сколько атомов алюминия содержится в этом предмете ?

2. Какова масса железного предмета, если в нем содержится $4 \cdot 10^{24}$ атомов железа ?

3. Масса газа в сосуде 5,5 кг, а число молекул $7{,}5 \cdot 10^{25}$. Что это за газ ?

4. В сосуд налили воду массой 72 г. Найдите концентрацию молекулы воды в сосуде.

5. Определите число атомов в 6 $см^3$ алмаза. Плотность алмаза 3500 $кг/м^3$, а молярная масса -12 г/моль.

6. Из 200 моль меди изготовлена пластина толщиной 2 мм. Какова площадь пластины ? Плотность меди 8900 $кг/м^3$, а молярная масса 64 г/моль.

7. Какую массу будет иметь кубик с площадью поверхности 24 $см^2$, если плотность вещества, из которого он изготовлен 5 $г/см^3$?

8. Какой объем занимает 34 моля ртути? Плотность ртути 13,6 $г/см^3$, а молярная масса - 200 г/моль.

9. Определить концентрацию молекул кислорода массой 1,6 кг, находящегося в сосуде объемом 10 *л*.

10. Зная, что диаметр молекулы воды $3 \cdot 10^{-10}$ м, подсчитайте, какой длины получилось бы нить, если бы все молекулы, содержащиеся в 3 г этой жидкости, были расположены в один ряд вплотную друг к другу. Сравните эту длину с расстоянием от Земли до Луны ($3{,}84 \cdot 10^5$ км).

11*. Найдите объем воды в сосуде, если в нем содержится $3 \cdot 10^{24}$ молекул воды. Диаметр молекулы воды $3 \cdot 10^{-10}$ м.

12*. Найдите число молекул в 24 $см^3$ масла. Диаметр молекулы масла приблизительно $2 \cdot 10^{-10}$ м.

13. На фотоснимке видимый диаметр молекулы некоторого вещества равен 0,5 мм. Чему равен действительный диаметр молекулы данного вещества, если фотоснимок получен с помощью электронного микроскопа с увеличением в 200 000 раз ?

14. Почему дым от костра, по мере его подъема, перестает быть видимым, даже в безветренную погоду ?

15. Как известно, между молекулами существуют силы притяжения. Тогда почему невозможно восстановить целостность разбитых изделий из фарфора или керамики без склеивания ?

§ 5. ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

Идеальный газ

В разреженных газах средние межмолекулярные расстояния намного больше размеров их молекул. При этом можно считать, что силы взаимодействия между молекулами незначительны. Так как, расстояние между молекулами газа намного больше, чем их размеры, то собственным объёмом газа можно пренебречь. А молекулу газа можно считать материальной точкой. Поэтому разреженные газы можно условно считать идеальными.

Газ, у которого молекулы рассматриваются как материальные точки и силы взаимодействия между молекулами считаются весьма незначительны, называется идеальным газом.

Абсолютно идеальные газы в природе не встречаются. Все существующие газы являются реальными, потому что между их молекулами существуют силы взаимодействия, хотя значения этих сил маленькие.

Газ, свойства которого зависят от взаимодействия его молекул, называется реальным.

Свойства разреженных газов очень близки к свойствам идеального газа. При нормальных условиях, когда средняя потенциальная энергия, возникающая в результате взаимодействия молекул, намного меньше средней кинетической энергии, такой газ можно считать идеальным.

Давление идеального газа

Допустим, что в сосуде находится газ. Совершая беспорядочные движения, его молекулы сталкиваются со стенками сосуда, действуя на них при каждом столкновении с определенной силой. Сила воздействия одной молекулы очень мала, однако число молекул в сосуде весьма значительно. Они почти беспрерывно ударяются о стенки сосуда. Под действием многочисленных ударов молекул о дно и стенки сосуда, последние испытывают давление (рис.11).

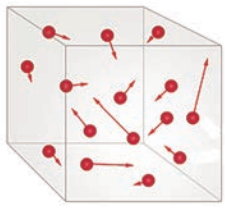


рис.11.

Когда молекулы газа совершают хаотическое движение, то они сталкиваясь друг с другом меняют направление и модуль скорости. В таком случае средняя скорость молекулы характеризуется их средней квадратичной скоростью. Средняя квадратичная скорость молекул определяется по следующей формуле, $\overline{\upsilon^2} = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2$

т.к $\upsilon_x = \upsilon_y = \upsilon_z$, тогда $\overline{\upsilon_x^2} = 3\upsilon^2$ или $\upsilon_x^2 = \dfrac{\overline{\upsilon^2}}{3}$

Молекулы газа почти беспрерывно ударяются о стенки сосуда передая им импульс $(m_0\vec{\upsilon})$, из-за которого возникает давления. Давление газа зависит от числа молекул, которые ударяются о стенки сосуда, от массы молекулы и от среднеквадратичной скорости движения молекулы. А число молекул, ударяющихся о стенки сосуда за единицу времени прямо пропорционально концентрации молекул. Для вычисления давления молекулы газов получена следующая формула:

$$p = \frac{1}{3} n\, m_o\, \overline{\upsilon^2}. \qquad (1)$$

Здесь n – концентрация молекул газа, m_0 – масса одной молекулы, $\overline{\upsilon^2}$ – средняя квадратичная скорость движения молекул.

Умножив на 2 и учитывая $\overline{E}_к = \frac{m_0 \overline{\upsilon^2}}{2}$, формулу (1) перепишем в следующем виде:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{\upsilon^2}}{2} \quad \text{или} \quad p = \frac{2}{3} n \overline{E}_к. \qquad (2)$$

Давления газа прямо пропорционально средней кинетической энергии молекул газа содержащихся в единице объема.

(1) Учитывая что произведение $n \cdot m_0$ в формуле (1) есть плотность газа, то перепишем её в следующим виде:

$$p = \frac{1}{3} \rho\, \overline{\upsilon^2}. \qquad (3)$$

Выражения (1), (2) и (3) называются **основными уравнениями молекулярно-кинетической теории идеального газа**.

Образец решение задачи

Задача 1. Какова средняя квадратичная скорость движения молекул идеального газа, имеющего плотность 1,5 кг/м^3 при давлении 180 кПа?

Дано:

$\rho = 1{,}5$ кг/м^3

$p = 180 \cdot 10^3$ Па.

Найти:

$\overline{\upsilon} = ?$

Формула:

$$p = \frac{1}{3} \rho\, \overline{\upsilon^2}; \quad \overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}.$$

$$[\overline{\upsilon}] = \sqrt{\frac{\text{Па}}{\text{кг/м}^3}} = \sqrt{\frac{\text{Н/м}^2}{\text{кг/м}^3}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\text{кг} : \text{м/с}^2}{\text{кг/м}}} = \text{м/с}.$$

Вычисление:

$$\overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3 \cdot 180 \cdot 10^3}{1{,}5}}\ \text{м/с} = 600\ \text{м/с}.$$

Ответ: $\overline{\upsilon} = 600$ м/с.

Задача 2. Найдите среднюю кинетическую энергию молекул газа при давлении 120 кПа. Концентрация молекул этого газа при указанном давлении составляет $5 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$?

Дано:

$p = 120 \cdot 10^3$ Па
$n = 5 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$.

Найти:

$\overline{E}_к = ?$

Формула: Из формулы $p = \frac{2}{3} n \cdot \overline{E}_к$ получим $\overline{E}_к = \frac{3p}{2n}$

$$\left[\overline{E}_к\right] = \frac{3p}{2n} = \frac{\text{Па}}{\text{м}^{-3}} = \frac{\text{Н/м}^2}{\text{м}^{-3}} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Вычисление:

$$\overline{E}_к = \frac{3 \cdot 120 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 10^{26}} = 3,6 \cdot 10^{-22} \text{Дж}.$$

Ответ: $\overline{E}_к = 3,6 \cdot 10^{-22}$ Дж.

1. Каким условиям отвечает газ, называемый идеальным ?
2. Чем отличается реальный газ от идеального ?
3. Что такое средняя квадратичная скорость молекул ?
4. Как определяются средняя арифметическая и средняя квадратичные скорости молекул ?
5. Объясните давления идеального газа с молекулярно-кинетической точки зрения.
6. От чего зависит давление газа на стенки сосуда, в котором он находится ?

У 4

1. Сосуд наполнен водородом. Концентрация молекул в сосуде равна $4,5 \cdot 10^{24}$ м$^{-3}$. Вычислите давление газа в сосуде. Средняя квадратичная скорость молекулы газа равна 400 м/с.
2. Каково давление газа, если средняя квадратичная скорость его молекул 600 м/с, а его плотность 0,9 кг/м^3 ?
3. Какова средняя квадратичная скорость движения молекул газа, если его плотность 1,5 кг/м^3, а давление 7,2 кПа ?
4. Давление газа в сосуде, при концентрации молекул $3 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$, равно 80 кПа. Найдите среднюю кинетическую энергию одной молекулы.
5. Определите плотность кислорода, если средняя квадратичная скорость движения его молекул 600 м/с, а давление составляет 90 кПа ?
6. Какова средняя квадратичная скорость движения молекул газа, если имея массу 0,3 кг, он занимает объем 1 м^3 при давлении 400 кПа ?
7. Найдите среднюю кинетическую энергию молекулы газа при давлении 30 кПа. Концентрация молекул этого газа при указанном давлении составляют $4 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.

§ 6. ТЕМПЕРАТУРА

Тепловое равновесие

Понятие температуры имеет огромное значение при изучении тепловых явлений. Температура – одна из важных величин молекулярной физики и термодинамики.

Опуская руки в различные сосуды с водой, мы чувствуем, в каком сосуде вода теплее, а в каком холоднее. Про теплую воду мы говорим, что ее температура выше температуры холодной воды.

Температура– физическая величина, количественно определяющая тепловое состояние вещества.

Слово *«температура»* в переводе с латинского означает «состояние». При измерении температуры человека через некоторое время между телом человека и ртутью термометра устанавливается тепловое равновесие. После установления теплового равновесия показание термометра не изменяется.

Выравнивание температуры веществ в результате теплового обмена называется тепловым равновесием.

Во всех частях системы, находящейся в тепловом равновесии, температура будет одинаковой. Если температура двух тел будет одинокова, между ними не осуществляются процесс теплового обмена. Если осуществить контакт двух тел, имеющие разные температуры, через некоторые время между ними происходит теплообмен. Процесс теплообмена продалжаются до тех пор, пока температуры тел, находящихся в тепловом контакте, не станут одинаковыми. Например: возьмите горячий чай из чайника и поставьте его на стол. Через некоторые время температура чая сравняется с температурой воздуха в комнате, то есть наступает тепловое равновесие.

Температурная шкала Цельсия

Температура веществ измеряется с помощью термометра. Чаще всего используется ртутный термометр (рис. 12). В резервуаре такого термометра находится ртуть. Из резервуара выходит трубочка, по которой при повышении температуры ртуть, расширяясь, поднимается вверх.

Шкала термометра градуирована, и по отметке, на которую поднимается ртуть, можно определить температуру. За единицу измерения температуры принят градус. При

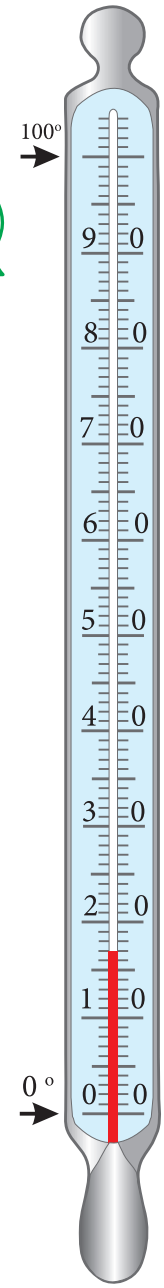


рис.12.

нормальном атмосферном давлении за температуру таяния льда принят 0 градусов, за температуру кипения воды 100 градусов. Этот промежуток разделен на 100 равных отрезков, каждый из которых принят за 1 градус. Слово **«градус»** в переводе с латинского означает **«шаг»**.

Данная шкала была предложена в 1742 г. шведским ученым **Андерсом Цельсием** и называется **температурной шкалой Цельсия**.

Температура , измеряемая по шкале Цельсия, выражается в °C и читается как **«градус Цельсия»**.

Термометры градуируются по-разному. Например, шкала термометра для измерения температуры воды разделена на отрезки в промежутке от 0 °C до 100 °C, для измерения температуры тела человека от 35 °C до 42 °C, для измерения температуры воздуха от – 20 °C до 50 °C.

Температура, измеряемая по шкале Цельсия обозначается с буквой *t*.

Абсолютная температура

В повседневной жизни используется температура t, выражаемая по шкале Цельсия. Однако при изучении тепловых явлений в веществах используется так называемая шкала абсолютной температуры, обозначаемая буквой *T*.

Шкала температуры, которая начинается с абсолютного нуля, была предложена в 1848 г. Уильямом Томсоном (Кельвин). Эта шкала абсолютной температуры в честь него называется шкалой Кельвина. Единица измерения абсолютной температуры в СИ называется Кельвином и обозначается буквой К.

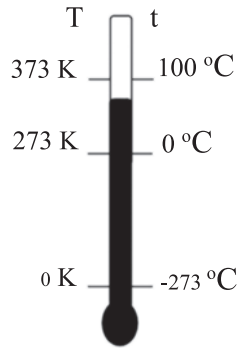


рис.13.

Значение градуса (шага) при измерении температуры по шкале Кельвина принято равным значению градуса по шкале Цельсия. Выяснено, что температура абсолютного нуля при измерении по шкале Цельсия равна – 273,15 °C. Это значит, что при t = 0 °C, T = 273,15 К. Округляя 273,15 К до 273 К, формулу перехода температуры из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина можно выразить следующим образом:

$$T = t + 273. \qquad (1)$$

Связь между температурой по шкале Цельсия и по шкале Кельвина иллюстрирует диаграмма на рис. 13. Но изменение абсолютной тепмературы ΔT равно изменению температуры по шкале Цельсия $\Delta t°$, то есть: $\Delta T = \Delta t°$.

Температура абсолютного нуля является самой низкой температурой, при которой прекращается движение молекул вещества.

Молекулярно-кинетическое толкование температуры

Все тела состоят из атомов и молекул. Атомы и молекулы совершают непрерывное и беспорядочные движения. При нагревании беспорядочные движения молекулы ускоряются. Движение молекул называется тепловым движением, так как интенсивность движения и взаимодействия молекул зависит от температуры.

Температура **– есть мера средней кинетической энергии поступательного движения молекул.**

С макроскопической точки зрения, *температура* – есть количественная мера теплового состояния вещества. С молекулярной точки зрения, зависимость между температурой и средней кинетической энергией молекул имеет вид:

$$\bar{E}_{\text{к}} = \frac{3}{2}kT. \qquad (2)$$

Здесь коэффициент k назван постоянной Больцмана в честь австрийского физика Людовига Больцмана, внесшего большой вклад в молекулярно-кинетическую теорию. Она равна $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Постоянная Больцмана выражает коэффициент связи между средней кинетической энергией молекул газа и его температурой.

При состоянии теплового равновесия средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул будет одинакова.

Подставляя (2) в формулу $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_{\text{к}}$ можно получить формулу давления идеального газа, выраженную через температуру:

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{3}{2} kT = n k T \qquad \text{или} \qquad p = n k T. \qquad (3)$$

Давление идеального газа прямо пропорционально концентрации молекул газа и температуре.

Образец решение задачи

Вычислите полную кинетическую энергию поступательного движения молекул в сосуде, если объем сосуда 4 *л*, а давление 120 кПа.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$V = 4 \cdot 10^{-3}$ м^3 $p = 12 \cdot 10^4$ Па. *Найти:* $E_{полн} = ?$	$p = \frac{2}{3} \cdot n\overline{E}_к = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \overline{E}_к.$ $E_{полн} = N \cdot \overline{E}_к; \quad E_{полн} = \frac{3}{2} pV.$ $[E] = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$	$E_{полн} = \frac{3}{2} \cdot 12 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-3} =$ $= 720$ Дж. **Ответ:** $E_{полн} = 720$ Дж.



1. Какие единицы измерения температуры вы знаете ?
2. Как выражается формула перехода температуры, выраженной по шкале Цельсия в шкалу Кельвина ?
3. Напишите формулу, выражающая зависимость температуры и средней кинетической энергией молекул и объясните её.
4. Напишите формулу давления идеального газа, выраженную через температуру и концентрацию газа, и объясните её.
5. Какова будет концентрация молекул воздуха при нормальных условиях ?



1. Выразите значения температуры в кельвинах: 0 °C, 27 °C, 100 °C, 127 °C, -73 °C, -223 °C, -200 °C.
2. Выразите значения температуры в градусах Цельсия: 0 K, 73 K, 273 K, 300 K, 773 K, 1000 K, 2000 K.
3. Газ, находящийся в сосуде и имеющий температуру 27 °C, нагрели до температуры 627 °C. Как при этом изменилось давление молекул газа, ударяющихся о стенки сосуда ?
4. Концентрация молекул газа в сосуде составляет $3 \cdot 10^{27}$ м$^{-3}$. Определите давление молекул газа на стенки сосуда при 60 °C.
5. Когда температура достигла 400 К, показания манометра стало 276 кПа. Найдите концентрацию молекул.
6. Сколько молекулы воздуха содержится в единице объема 1 м^3 при нормальных условиях? При нормальных условиях давление 100 кПа, а температура 273 К.
7. Современные технические насосы позволяють создать вакуум 1 пПа. Сколько молекул газа содержится в 1 см^3 такого вакуума при температуре 300 К.

§ 7. СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ ГАЗА

Мы уже знаем, что средняя кинетическая энергия молекул газа массой m_0 в сосуде определяется по формуле: $\overline{E}_к = \frac{m_0 \overline{\upsilon^2}}{2}$. Если температура газа в сосуде равна T, то средняя кинетическая энергия может также иметь вид: $\overline{E}_к = \frac{3}{2} \cdot kT$

Приравняв в эти два выражения, запишем:

$$\frac{m_o \overline{\upsilon^2}}{2} = \frac{3}{2} kT \quad \text{или} \quad \overline{\upsilon^2} = \frac{3kT}{m_0}. \qquad (1)$$

Из (1) можно найти среднюю квадратичную скорость молекул

$$\overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \qquad (2)$$

Учитывая, что $M = m_o \cdot N_A$, формула (2) примет следующий вид:

$$\overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3kN_AT}{M}}. \qquad (3)$$

Произведение постоянной Больцмана *k* на постоянную Авогадро N_A принято назвать универсальной (молярной) газовой постоянной.

Универсальная газовая постоянная обозначается буквой *R*, и равна:

$$R = k \cdot N_A. \qquad (4)$$

Согласно выражению (4) ее значение можно вычислить следующим образом: $R = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} = 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Значит, значение универсальной газовой постоянной равно:

$$R = 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Согласно по выражению (4), формулу вычисления средней квадратичной скорости молекул газа можем написать так:

$$\overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \qquad (5)$$

С помощью формулы (5) можно найти среднюю квадратичную скорость молекул различных газов при различных тепературах.

В1859 г. английский физик Дж. Максвелл теоретическим путем установил, что молекулы газа при одинаковой температуре двигаются с различными скоростями то есть установил теорию распределение молекул по скоростям. Согласно его теории, распределение молекул по скоростям имеет вид кривой, изображенной на рис. 14. Большее число молекул двигается со скоростью υ_m, которая, однако, несколько меньше скорости $\upsilon_{кв}$.

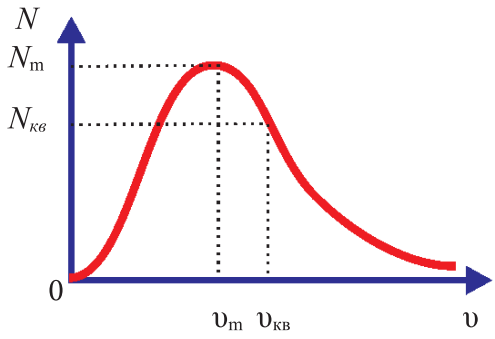
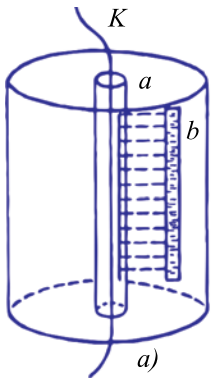


рис.14.

Скорость движения молекул газа была впервые экспериментально определена в 1920 г. немецким физиком **Отто Штерном** (1888–1969). Прибор Штерна состоял из двух жестко скрепленных друг с другом цилиндрических сосудов, вдоль общей оси которых была натянута платиновая посеребренная проволочка *K*. Схематичекий вид этого прибора приведен на рис.15 *а*. Радиусы внутренних и внешных цилиндров соответсвенно обозначен с буквой *r* и *R*. Проволка ***K*** окружена цилиндрической загородкой, в которой имеется щель. Воздух цилиндров откачан, т.е создавался высокий вакуум. При нагревании платиновой проволки током серебро испарялось и давало молекулярный пучок, вылетающий из щели и достигающий стенки сосуда. Те атомы, которые летели от проволочки вдоль радиуса ***r*** к щели, вылетели во внешний цилиндр радиусом *R* и оседали на стенке, образуя узенькую серебрянную полоску ***b***.



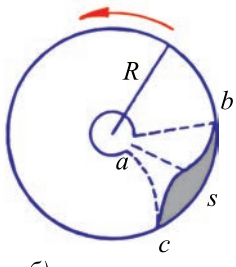


рис.15.

Для определения скорости атомов серебра, цилиндр должен вращаться с очень большой скоростью. Поэтому атомы серебра оседали не против щели, а позади неё. В итоге на поверхности внешного цилиндра образовывалась не узенькая серебрянная полоска, а широкая полоса *bc* неодинаковой толщины (рис.15 *б*).

Установим зависимость между длиной серебранной полоски ***bc*** и угловой скоростью самого цилиндра:

$$s = \omega R t. \qquad (6)$$

Так как толщина полоски не одинакова (рис.15 *б*), то атомы серебра имели различные скорости. Можно считать, что скорости атомов серебра совпадают со средней скоростью, тогда:

$$\upsilon_{ср} = \frac{R-r}{t}. \qquad (7)$$

Из формулы (6) находим *t,* подставим ее занчения в (7), и получим еще одну формулу для вычисления средней скорости: $\upsilon_{ср} = \frac{\omega R(R-r)}{s}.$ (8)

Следует обратить внимание на большое сходство видов графика максвелловского распределения и разреза серебрянной полосы, что уже является качественным подтверждением правильности закона Максвелла. Итак, опыт Штерна дал возможность экспериментально проверить правильность распределения Максвелла по скоростям.

Опыт Штерна подтвердил правильность молекулярно-кинетической теории, а также правильность теории Максвелла о распределении молекул в соответствии с их скоростями.

Образец решение задачи

Какова средняя квадратическая скорость углерода, если масса атома углерода равна $2\cdot10^{-26}$ кг, а кинетическая энергия $2{,}5\cdot10^{-21}$Дж ?

Дано:

$m_o = 2\cdot10^{-26}$ кг

$E_к = 2{,}5\cdot10^{-21}$ Дж.

Найти:

υ = ?

Формула:

$E_к = \frac{m_o\upsilon^2}{2}$; $\upsilon = \sqrt{\frac{2E_к}{m_o}}$.

$[\upsilon] = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг}\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{кг}}} = \text{м/с}.$

Вычисление:

$\upsilon = \sqrt{\frac{2\cdot2{,}5\cdot10^{-21}}{2\cdot10^{-26}}}$ м/с $= 500$ м/с.

Ответ: $\upsilon = 500$ м/с.

1. Сравните средние квадратичные скорости молекул кислорода и водорода, если температуры этих газов одинаковы.
2. Проанализируйте теорию Максвелла о распределении молекул по их скоростям и объясните ее сущность.
3. Как изменяется средняя кинетическая энергия молекул газа в сосуде при увеличении его температуры в 2 раза ?
4. Как изменяется средняя квадратическая скорость молекул газа в сосуде при увеличении его температуры в четыре раза ?

§ 8. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. По результатам опыта *О.Штерна* определите скорость атомов серебра. Серебро начало испариться при нагреве проволоки до температури 1500 К. Уголовая скорость вращения цилиндров 280 рад/с. Атомы, осевщие на внешнем цилиндре, образовали серебренную полоску длиной 1,12 см. Радиусы внутреннего и внешнего цилиндров соответственно равны 1,2 см и 16 см. Сравните значение скорости полученной экспериментально со скоростью полученной теоретически.

Дано:

$T = 1500\ K$

$\omega = 280$ рад/с

$s = 1{,}12\cdot10^{-2}$ м

$r = 1{,}2\cdot10^{-2}$ м

$R_в = 16\cdot10^{-2}$ м

$R = 8{,}31$Дж/(моль·К)

М=$108\cdot10^{-3}$кг/моль.

Найти:

$\overline{\upsilon} = ?$

Формула:

$s = \omega \cdot R_в \cdot \Delta t;$

$\Delta t = \frac{R_в - r}{\overline{\upsilon}};$

$\overline{\upsilon} = \frac{\omega \cdot R_в \cdot (R_в - r)}{s}.$

$[\overline{\upsilon}] = \frac{\frac{1}{с}\cdot м \cdot м}{м} = \frac{м}{с}.$

Вычисление:

$$\overline{\upsilon} = \frac{280\cdot16\cdot10^{-2}\cdot14{,}8\cdot10^{-2}}{1{,}12\cdot10^{-2}}\frac{м}{с} = 592\frac{м}{с}.$$

$$\overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3\cdot8{,}31\cdot1500}{108\cdot10^{-3}}}\frac{м}{с} = 588\frac{м}{с}.$$

Вывод: значение скорости, полученное экспериментальным путем очень близко к значению скорости вычисленное теоритически.

Задача 2. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул водорода равна средней квадратичной скорости молекул гелия, имеющего температуру 580 К ?

Дано:

$M_1 = 2\cdot10^{-3}$ кг/моль

$M_2 = 4\cdot10^{-3}$ кг/моль

$T_2 = 580$ К

$\overline{\upsilon_1} = \overline{\upsilon_2}.$

Найти:

$T_1 = ?$

Формула:

$$\overline{\upsilon_1} = \sqrt{\frac{3RT_1}{M_1}}, \qquad \overline{\upsilon_2} = \sqrt{\frac{3RT_2}{M_2}}$$

Отсюда

$$T_1 = \frac{M_1 T_2}{M_2}.$$

$$[T_1] = \frac{M_1 \cdot T_2}{M_2} = \frac{\frac{кг}{моль}\cdot К}{\frac{кг}{моль}} = К.$$

Вычисление:

$$T_1 = \frac{2\cdot10^{-3}\cdot580}{4\cdot10^{-3}}К = 290К.$$

Вывод: $T_1 = 290$ К.

Задача 3. При повышении температуры идеального газа на 150 К, средняя квадратическая скорость его молекул увеличилась с 250 м/с до 500 м/с. Найдите первоначальную температуру газа ?

Дано:

$T_2 = T_1 + \Delta T$

$\Delta T = 150$ К

$\upsilon_1 = 250$ м/с.

$\upsilon_2 = 500$ м/с.

Найти:

$T_1 = ?$

Формула:

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T_1}{M}};$$

$$\upsilon_2 = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T_2}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot (T_1 + \Delta T)}{M}};$$

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \sqrt{\frac{T_1 + \Delta T}{T_1}}; \qquad \left(\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}\right)^2 = \frac{T_1 + \Delta T}{T_1};$$

$$T_1 = \frac{\Delta T}{\left(\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}\right)^2 - 1}. \qquad [T_1] = \frac{\text{К}}{\left(\frac{\text{м/с}^2}{\text{м/с}}\right)^2} = \text{К}.$$

Вычисление:

$$T_1 = \frac{150}{\left(\frac{500}{250}\right)^2 - 1} = 50\text{К}.$$

Ответ: $T_1 = 50$ К.

У 6

1. Определите среднюю квадратичную скорость молекул водорода при температуре –23 °С.
2. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода станет равной 500 м/с ?
3. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул идеального газа равна $9{,}52 \cdot 10^{-21}$ Дж. Определите температуру этого газа.
4. Чему равна средняя кинетическая энергия молекул одноатомного идеального газа при давлении $1{,}6 \cdot 10^5$ Па и концентрации молекул газа равной $4 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$.
5. Найдите концентрацию молекул газа при его давлении 2,4 МПа, если средняя кинетическая энергия поступательного движения $1{,}2 \cdot 10^{-20}$ Дж.
6. Какой объем занимает 2 моль идеального газа, если он находится при давлении 10 кПа и температуре 300 К ?
7*. При какой температуре среднеквадратичная скорость молекул гелия будет такой же, как и среднеквадратичная скорость молекул водорода при 350 К ?
8*. При повышении температуры идеального газа на 150 °С, средняя квадратичная скорость молекул увеличилась от 300 м/с до 600 м/с. Найдите начальную температуру газа ?

§ 9. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Уравнение состояния идеального газа

Вам известно, что **термодинамическое** состояние газа определенной массы характеризуется тремя макроскопическими параметрами, то есть давлением p, объемом V и температурой T. При переходе газа из одного состояния в другое все 3 параметра (p, V, T), характеризующие его состояние могут измениться одновременно. Например, пусть состояние некоторой массы газа m характеризуется параметрами p_1, V_1, T_1. Переведем ее в другое состояние, характеризующееся параметрами p_2, V_2, T_2. Теперь запишем уравнение, показывающие зависимость между термодинамическими параметрами этих двух состояний.

Для того чтобы вывести уравнение состояния идеального газа воспользуемся формулой основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = n k T. \qquad (1)$$

Приняв в этой формуле, число молекул в единице объема $n = \frac{N}{V}$ и число молекул $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$, ее можем записать так:

$$pV = \frac{m}{M} N_A k T. \qquad (2)$$

С учётом $k \cdot N_A = R$, уравнение (2) примет следующий вид:

$$\boxed{pV = \frac{m}{M} RT.} \qquad (3)$$

Соотношение (3) вывел французский физик Бенуам Клапейрон и усовершенствовал эту формулу русский ученый Дмитрий Иванович Менделеев. Поэтому это уравнение названо **уравнением Менделеева-Клапейрона**. Поскольку это уравнение определяет состояние идеального газа, его также называют уравненим состояния идеального газа.

Уравнение состояния идеального газа выражают связь между массой, молекулярной массой, давлением, объемом и температурой газа.

Для 1 моля газа уравнение Менделеева-Клапейрона можно привести к виду:

$$pV = RT \quad \text{или} \quad \frac{p \cdot V}{T} = R \qquad (4)$$

Уравнение Клапейрона

Применим уравнение состояния идеального газа для двух состояниях, происходящих при неизменной массе, то есть $m = const$:

$$p_1V_1 = \frac{m}{M} \cdot RT_1 \qquad \text{и} \qquad p_2V_2 = \frac{m}{M} RT_2. \qquad (5)$$

При делении их на одинаковые множители имеем:

$$\boxed{\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}.} \qquad (6)$$

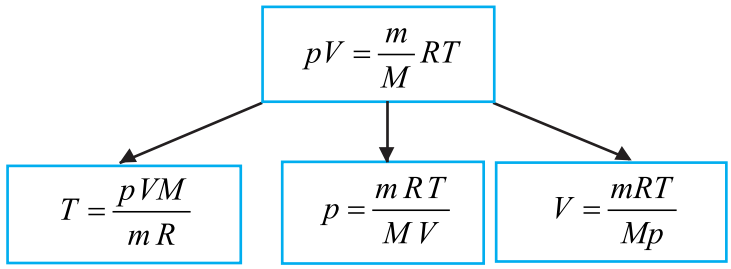
Из этого уравнения следует следующее выражение:

$$\boxed{\frac{pV}{T} = const.} \qquad (7)$$

Таким образом, при неизменных массе и молярной массе идеального газа отношение макроскопических параметров (p, V, T) остаётся постоянным. Это уравнение связывает два состояния идеального газа независимо от того, каким образом газ перешёл из одного состояния в другое. Уравнение состояния идеального газа в виде (4) и (7) называются **уравнением Клапейрона**. Уравнение Клапейрона – есть одно из уранений состояния идеального газа, постоянной массой.

При изучения тепловых явлений важно знать уравнение состояния идеального газа. Уравнение состояния идеального газа дает возможность определить один из параметров идеального газа, если известно его два других параметра.

Например:



Образец решение задач

Определите массу кислорода объемом 20 л, при давлении 160 кПа, и температуре 127 °С.

Дано:	**Формула :**	**Вычисление:**
$V = 20\ л = 20 \cdot 10^{-3}\ м^3$ $T = 127\ ^oC + 273 = 400\ K$ $p = 160\ кПа = 16 \cdot 10^4\ Па$ $M = 32 \cdot 10^{-3}\ кг/моль.$	$pV = \frac{m}{M} \cdot RT;$ $m = \frac{pVM}{RT}.$	$m = \frac{16 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{8{,}31 \cdot 400}\ кг =$ $= 30{,}8 \cdot 10^{-3}\ кг.$
Найти: $m = ?$	$[m] = \frac{Па \cdot м^3 \cdot \frac{кг}{моль}}{\frac{Дж}{моль \cdot K} \cdot K} =$ $= \frac{\frac{Н}{м^2} \cdot м^3 \cdot кг}{Н \cdot м} = кг.$	**Ответ:** $m = 30{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг.

1. Какое уравнение называется уравнением состояния идеального газа ?
2. Выведите уравнение состояния идеального газа.
3. Каково значение уравнения состояния идеального газа ?
4. Какой объем занимает 1 моль идеального газа при нормальных условиях ?

У 7

1. Какой объем занимает 500 молей идеального газа при давлении 0,45 МПа и температуре 52 °С ?
2. Давление газа объемом 0,05 м³ составляет 250 кПа, а температура 500 К. Определите количество вещества.
3. Газ массой 8 г при температуре 27 °С и давлении 150 кПа занимает объем 4,15 л. Что это за газ ?
4. Определите плотность кислорода при температуре 367 °С и давлении 415 кПа.
5. В баллоне объемом 24 л содержится 1,2 кг углекислого газа. Баллон выдерживает давление $3 \cdot 10^6$ Па. При какой температуре появляется опасность взрыва ?
6. Вычислите количество вещества газа, находящегося в сосуде с объемом 40 л под давлением 200 кПа и при температуре 400 К.
7. Сколько молей воздуха содержится в комнате размерами 4x5x3 м³ при температуре 17 °С ? Атмосферное давление 10^5 Па.
8. Какова температура молекулярного азота массой 280 г, находящегося под давлением 3,5 МПа в сосуде объемом 16,6 л ?

ИЗОПРОЦЕССЫ

При переходе газа постоянной массой из одного состояния в другое, могут измениться два его параметров, а третий остаётся постоянным.

Процесс, характеризующий связь между макроскопическими параметрами газа, когда один из этих параметров остается неизменным, называется изопроцессом.

Имеются три вида изопроцессов: **изотермический, изобарический** и **изохорический.**

§ 10. ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Физический процесс, протекающий при неизменных массе (m=const) и температуре (T=const) , называется изотермическим процессом.

От греческих слов «*изос*» - постоянный и «*термос*» - теплый.

Закономерность изотермического процесса независимо друг от друга была открыта английским ученым **Р. Бойлем** и французским ученым **Э.Мариоттом**. Поэтому данная закономерность, была названа законом **Бойля-Мариотта**.

Чтобы сохранить газ при неизменной температуре, сосуд с газом поместим в специальный сосуд так называемый термостат. Запишем уравнения состояния идеального газа для двух состояний при T = const:

$$p_1V_1 = \frac{m}{M}RT \quad \text{и} \quad p_2V_2 = \frac{m}{M}R\,T. \qquad (1)$$

Так как, правые части этих формул равны, то получим

$$p_1V_1 = p_2V_2 \qquad (2)$$

Отсюда следует вывод: **Для данной массы газа при постоянной температуре произведение объема газа на соответствующее ему давление есть величина постоянная.** Для того чтобы изобразить этот процесс графическим способом, необходимо сопоставить значения объема на оси абцисс, а значения давлении на оси ординат. Потом соединить точки, соответсвующие этим значениям.

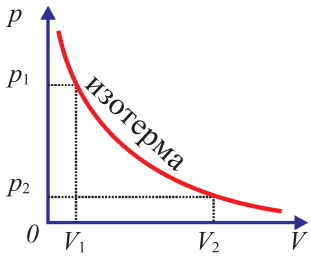


рис.16.

На рисунке 16 дан график зависимоти давления газа от объема при постоянной температуре. Изотермический процесс на диаграмме pV описывается в виде кривой линией (гипербола) и она называется **изотермой.** Изотерма характеризует обратную пропорциональность давления газа от объема, то есть: $p \sim 1/V$ **.**

При неизменной температуре **давление газа данной массы изменяется обратно пропорционально его объему.**

Закон Бойля-Мариотта можно выразить в виде отношений, показывающие зависимость плотности газа от объема и от давлении газа. Плотность газа для первого и второго состояний выражается так:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} \quad \text{и} \quad \rho_2 = \frac{m}{V_2}. \qquad (3)$$

Если взять их отношения друг к другу, то получим следующее выражение для закона Бойля-Мариотта:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}. \qquad (4)$$

Итак, в изотермическом процессе плотность газа изменяется обратно пропорционально его объему и прямо пропорционально его давлению.

Образец решение задач

При нормальных условиях газ занимает объем 6 л. Какой объем займёт этот газ, если давление газа увеличится на 20 кПа ? Температура постоянная.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$T = const$ $p_1 = 100$ кПа $= 10^5$ Па $V_1 = 6\ л = 6 \cdot 10^{-3}$ м^3 $p_2 = p_1 + 20$ кПа $= 1{,}2 \cdot 10^5$ Па.	$p_1V_1 = p_2V_2;$ $V_2 = \frac{p_1V_1}{p_2}.$	$V_2 = \frac{10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}2 \cdot 10^5}\text{м}^3 = 5 \cdot 10^{-3}\text{м}^3.$
Найти: $V_2 = ?$	$[V] = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{Па}} = \text{м}^3.$	**Ответ:** $V_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ м$^3 = 5$ л.

1. Какой процесс называется изопроцессом ?
2. Какой процесс называется изотермическим ?
3. Запишите формулу закона Бойля-Мариотта и объясните ее.
4. Что называется изотермой? Какую линию представляет собой изотерма ?
5. Начертите изотермы для различных температур газа и объясните их.
6. Напишите формулу зависимоти плотности газа от объема для изотермического процесса.

У 8 1. Начальный объем газа 0,2 л, а давление 300 кПа. При изотермическим расширении давление достигло 120 кПа. Найдите конечный объем газа.

2. Начальный объем газа, заключенного в цилиндр с поршнем 24 см^3, а давление 0,8 МПа. Каким будет давление газа при изотермическом сжатии до объема 16 см^3 ?

3. При нормальных условиях газ занимает объем 50 л. Какой объем займет этот газ, если давление увеличить в 4 раза ? Температура постоянна.

4. После изотермического сжатия идеального газа его объем уменьшился с 1,2 л до 0,8 л При этом давление газа увеличилось на 40 кПа. Каково было начальное давление газа ?

§ 11. ИЗОБАРИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Физический процесс, протекающий при неизменных массе *(m=const)* и давлении *(p=const)*, называется изобарическим процессом.

От греческого слова “барос” – давление.

При изобарическом процессе объем *(V)* данной массы газа изменяется в зависимости от температуры *(T)*. Зависимость объем газа от температуры для этого процесса, получим при помощи уравнения состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона). Запишем уравнение состояния газа для двух состояний, в которых давление было постоянное ($p_1 = p_2$):

$$p_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1 \ , \qquad p_2V_2 = \frac{m}{M}RT_2 \qquad (1)$$

Разделив эти уравнения почленно, получим следующие равенства:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad \text{или} \qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}. \qquad (2)$$

Уравнению (2) также можно записать в следующим виде.

$$\frac{V}{T} = const. \qquad (3)$$

Итак, **при изобарическим процессе для данной массы газа отношение объёма к абсолютной температуре есть величина постоянная.** Этот закон был открыт в 1802 г. французским ученым Гей-Люссаком. Поэтому его назвали законом Гей-Люссака.

Приведя к общему знаменателю равенство (3), запишем его в виде: V=const$\cdot T$. Отсюда следует, что при изобарическим процессе объем газа данной массы прямо пропорциональен его температуре. В изобарическим процессе линия, выражающая зависимость между объемом и температурой

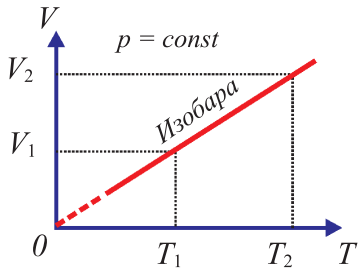


рис.17.

называется изобарой. Изобара представляет собой прямую линию, выходящую из начала координат (рис.17).

При неизменном давлении объем газа данной массы изменяется прямо пропорционально его температуре.

Образец решения задачи

Температура газа 67 °С, а объем 25 л. До какой температуры надо охладить газ при постоянном давлении, чтобы его объем стал 10 л ?

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$T_1 = 67\ °C + 273 = 340\ K$ $V_1 = 25\ л = 25 \cdot 10^{-3}\ м^3$ $V_2 = 10\ л = 10 \cdot 10^{-3}\ м^3$ $p = const.$ *Найти*: $\Delta T = ?$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2};\quad T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1};$ $\Delta T = T_1 - T_2.$ $[\Delta T] = K.$	$T_2 = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 340\ K}{25 \cdot 10^{-3}} = 136\ K.$ $\Delta T = 340\ K - 136\ K = 204\ K.$ **Ответ:** $\Delta T = 204\ K.$

1. Какой процесс называется изобарическим ?
2. Запишите формулу закона Гей-Люссака и объясните ее.
3. Что называется изобарой? Какую линию представляет собой изобара ?
4. Начертите изобары для различных давлений газа и объясните их.

У 9

1. Объем идеального газа при температуре 27 °С равен 10 л. Каким станет объем этого газа, если его изобарно нагреть до 327 °С ?
2. Температура газа 51 °С, а объем 0,9 л. До какой температуры надо охладить газ при постоянном давлении, чтобы его объем стал 0,3 л ?
3. При температуре 27 °С газ занимает объем 3 л. Каким станет объем этого газа, если его изобарно нагреть на 100 °С ?
4. При температуре 47 °С газ занимает объем 3 л. На сколько надо поднять температуру при постоянном давлении, чтобы объем увеличился на 1,2 л ?

§ 12. ИЗОХОРИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Физический процесс, протекающий при неизменных массе *(m = const)* и объеме *(V = const)* , называется изохорическим процессом.

От греческого слово “хорос” – объем.

При изохорическим процессе давление *(p)* данной массы газа изменится в зависимости от температуры *(T)*. Зависимость давление газа от температуры для этого процесса, получим при помощи уравнения состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона). Запишем уравнение состояния газа для двух состояний газа, где его объем был постоянным $(V_1 = V_2)$:

$$p_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1 \ , \qquad p_2V_2 = \frac{m}{M}RT_2 \tag{1}$$

Разделив эти уравнения почленно, получим следующие равенства:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \tag{2}$$

Уравнению (2) также можно записать в следующим виде.

$$\frac{p}{T} = const. \tag{3}$$

Итак, **в изохорическим процессе для данной массе газа отношение давления газа к абсолютной температуре есть величина постоянная.** Этот закон был открыт в 1787 г. французским физиком Ж. Шарлем и в честь его назван законом Шарля.

Приведя к общему знаменателю равенство (3), запишем его в виде:

$$p = const \cdot T. \tag{4}$$

Согласно выражению (4), при неизменном объеме давление газа данной массы изменяется прямо пропорционально температуре. В изохорическим процессе линия, выражающая связь между давлением и температурой называется изохорой. Изохора представляет собой прямую линию, выходящую из начала координат (рис.18).

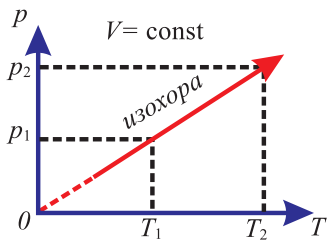


рис.18.

При неизменной объёме давление газа данной массы изменяется прямо пропорциально его температуре.

Увелечение давления газа, нагретого в любом герметическим сосуде или электрической лампочке является изохорическим процессом.

Образец решение задач

При изохорическим нагревании газа от 280 K до 540 K, его давление увеличился на 39 кПа. Каково было начальное давление газа ?

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$T_1 = 280$ K $T_2 = 540$ K $V = \text{const}$ $p_1 = p$ $p_2 = p + \Delta p$ $\Delta p = 39 \cdot 10^3$ Па.	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ или $\frac{p}{T_1} = \frac{p + \Delta p}{T_2}$; $p = \frac{\Delta p \cdot T_1}{T_2 - T_1}$. $[p] = \frac{\text{Па} \cdot \text{K}}{\text{K}} = \text{Па}.$	$p = \frac{39 \cdot 10^3 \cdot 280}{540 - 280}$ Па $= 42 \cdot 10^3$ Па. **Ответ:** $p = 42$ кПа.
Найти $p = ?$		



1. Какой процесс называется изохорическим ?
2. Запишите формулу закона Шарля и объясните ее.
3. Что называется изохорой ? Какую линию представляет собой изохора ?
4. Начертите изохоры для различных объемов газа и объясните их.



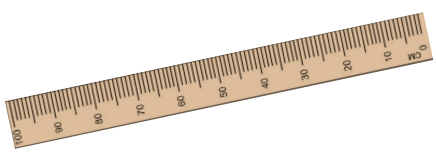
1. При какой температуре давление газа в баллоне будет равно $2 \cdot 10^5$ Па, если при 17 °C оно равно $1{,}45 \cdot 10^5$ Па ?
2. Во сколько раз увеличится давление газа в колбе лампы, если при этом температура лампы поднимается с 17 °C до 360 °C ?
3. При изохорическим нагревании газа от 300 K до 420 K, его давление увеличился на 50 кПа. Каково было начальное давление газа ?

§ 13. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ. ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ МОЛЕКУЛЫ.

Оценка размеров молекулы на механической модели

Цель: проверить гипотезу о том, что при растекании капли масла на поверхности воды по большой площади толщина слоя масла будет равна как раз размеру молекул масла.

Необходимые принадлежности: линейка, лист белой бумаги, горошинки, мензурка.





1. Нарисуйте на белом листе бумаги прямоугольник. Измерьте стороны прямоугольника с помощью линейки (длину и ширину) и вычислите его площадь (S).

2. Бумагу положите на стол и расположите горошинки ровными слоем (вплотную) на рисунке прямоугольника. Процесс выполните так, что бы горошинки не вышли за площадь прямогуольника, нарисованного вами на листе бумаги.

3. Горошинки с бумаги переложите в мензурку. Определите объем всех горошин (V).

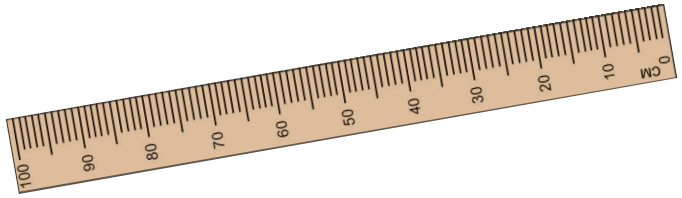
4. Используя выражение, $d = \frac{V}{S}$ найдите линейный размер одной горошинки.

5. Теперь положите вплотную 10 горошин в ряд. Измерьте длину ряда. Разделите эту длину на 10 и получите диаметр одной горошинки.

6. По полученным результатам запишите вывод, сравнивая результат, полученный в пункте 4 и пункте 5.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА. Определение плотность, концентрации и числа молекул воздуха в классной комнате (дополнительно).

Необходимые принадлежности. барометр-анероид и измерительная линейка (1 м).

барометр-анероид измерительная линейка

1. По показанию термометра, находящегося внутри барометра определите температуру воздуха в классной комнате.

2. При помощи барометра определите давление воздуха в классной комнате (нормальное атмосферное давление $p = 10^5$ Па).

3. При помощью линейки измерьте длину, ширину и высоту комнаты.

4. Переведите температуру по шкале Цельсия в абсолютную температуру по шкале Кельвина,

5. Вычислите объем классной комнаты ($V = a \cdot b \cdot c$).

6. Используя уравнение Менделеева-Клапейрона вычислите плотность воздуха в классной комнате по формуле $\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T}$.

Примечание. При вычислении молекулярную массу воздуха считайте равной 29 г/моль.

7. Концентрацию молекул газа вычислите по формуле $n = \frac{p}{k \cdot T}$

8. Число молекул в классной комнате вычислите по формуле: $N = n \cdot V$.

9. По полученным значениям вычисленных величии заполните таблицу и запишите вывод.

1.	Размеры комнаты	длина a =.....м, ширина b = ...м, высота c =.....м	
2.	Температура воздуха в комнате	..... °C	..... K
3.	Давление воздуха в комнате	..... мм.рт.столба	..... Па
4.	Объем комнаты	.....$м^3$	
5.	Плотность воздуха	.....$кг/м^3$	
6.	Концентрация молекул	.....$м^{-3}$	
7.	Число молекул в комнате	.....шт	
8.	Масса воздуха в комнате	..... кг	
Вывод:			

§ 14. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Газ сжат изотермически от объема 6 л до 4 л. При этом давление газа возросло на 0,6 части нормальной атмосферы. Найдите первоначальное давление газа. Нормальное атмосферное давление 100 кПа.

Дано:
T = const
$V_1 = 6$ л $= 6 \cdot 10^{-3}$ м^3
$V_2 = 4$ л $= 4 \cdot 10^{-3}$ м^3
$p_2 = p_1 + 0{,}6 \cdot p_{атм}$
$p_{атм} = 100$ кПа $= 10^5$ Па.

Найти:
p_1 = ?

Формула:
$p_1 V_1 = p_2 V_2$;
$p_1 V_1 = (p_1 + 0{,}6 p_{атм}) \cdot V_2$;
$p_1 = \frac{0{,}6 \cdot p_{атм} \cdot V_2}{V_1 - V_2}$.
$[p_1] = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^3} = \text{Па}$.

Вычисление:
$p_1 = \frac{0{,}6 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}}$ Па $=$
$= 1{,}2 \cdot 10^5$ Па.

Ответ: $p_1 =$ 120 кПа.

Задача 2. Идеальный газ массой 2,6 кг при температуре 27 °С находится под поршнем и занимает объем 1,3 м^3. Если при изобарическом расширении плотность газа стала 1,2 кг/м^3. Найдите температуру газа под поршнем ?

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$p = \text{const}$ $T_1 = 300$ К $m = 2{,}6$ кг $V_1 = 1{,}3$ м^3 $\rho_2 = 1{,}2$ кг/м^3.	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $m = \rho \cdot V$ и $\rho_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot V_2$; $T_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} T_1$. $[T_2] = \frac{\text{кг/м}^3}{\text{кг/м}^3}\text{К} = \text{К}$.	$\rho_1 = \frac{m}{V_1} = \frac{2{,}6\ \text{кг}}{1{,}3\text{м}^3} = 2\ \text{кг/м}^3$. $T_2 = \frac{2}{1{,}2} 300\,\text{К} = 500\,\text{К}$. **Ответ:** $T_2 = 500$ кПа.
Найти: $T_2 = ?$		

Задача 3. При изохорном нагреве идеального газа на 12 °С давление газа увеличилось на 1/75 часть от первоначального значения давления. Какова начальная температура газа ?

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$V = \text{const}$ $\Delta T = 12$ К $T_2 = T_1 + \Delta T$ $p_2 = p_1 + \frac{1}{75} p_1$.	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$; $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_1 + \frac{1}{75} \cdot p_1}{T_1 + \Delta T}$; $T_1 + \Delta T = T_1 \cdot (1 + \frac{1}{75})$ отсюда $T_1 = 75 \cdot \Delta T$	$T_1 = 75 \cdot 12$ К$= 900$ К. **Ответ:** $T_1 = 900$ К.
Найти: $T_1 = ?$		

Задача 4. Как увеличится объем пузырька воздуха при подъеме со дна на поверхность озера ? Глубина озера 30 м. Температуру считать одинаковой.

Дано:	**Решение**: $T = const$ – воспользуемся уравнением изотермического процесса $p_1V_1 = p_2V_2$, Где p_1 – давление внутри пузырька воздуха на дне озера и оно равно сумме атмосферного давления и давления столба жидкости: $p_1 = p_0 + \rho gh$, p_2 – на поверхности озера давление внутри пузырька рано атмосферному давлению, то есть $p_2 = p_0$. $(p_0 + \rho gh) \cdot V_1 = p_0\ V_2$. Отсюда получим: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_0 + \rho \cdot g \cdot h}{p_0} = \frac{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 30}{10^5} = 4$ **Ответ:** объем пузырька увеличился в 4 раза.
$h = 30$ м $p_0 = 10^5$ Па.	
Найти: $\frac{V_2}{V_1} = ?$	

У 11

1. Давление газа в закрытом сосуде при температуре 27 °С составляет 900 кПа. Каким будет давление газа при при нагревании до 227 °С ?

2. В баллоне находится газ при температуре 17 °С. Какое давление установится в баллоне при выпускании 0,4 части газа, если при этом температура газа понизится на 10 °С ?

3. Газ с начальной температурой 27 °С расширялся изобарически и его объем увеличился на 24 %. Какова стала конечная температура газа ?

4. На сколько процентов увеличится объем газа при изобарном нагревании от 27 °С до 117 °С ?

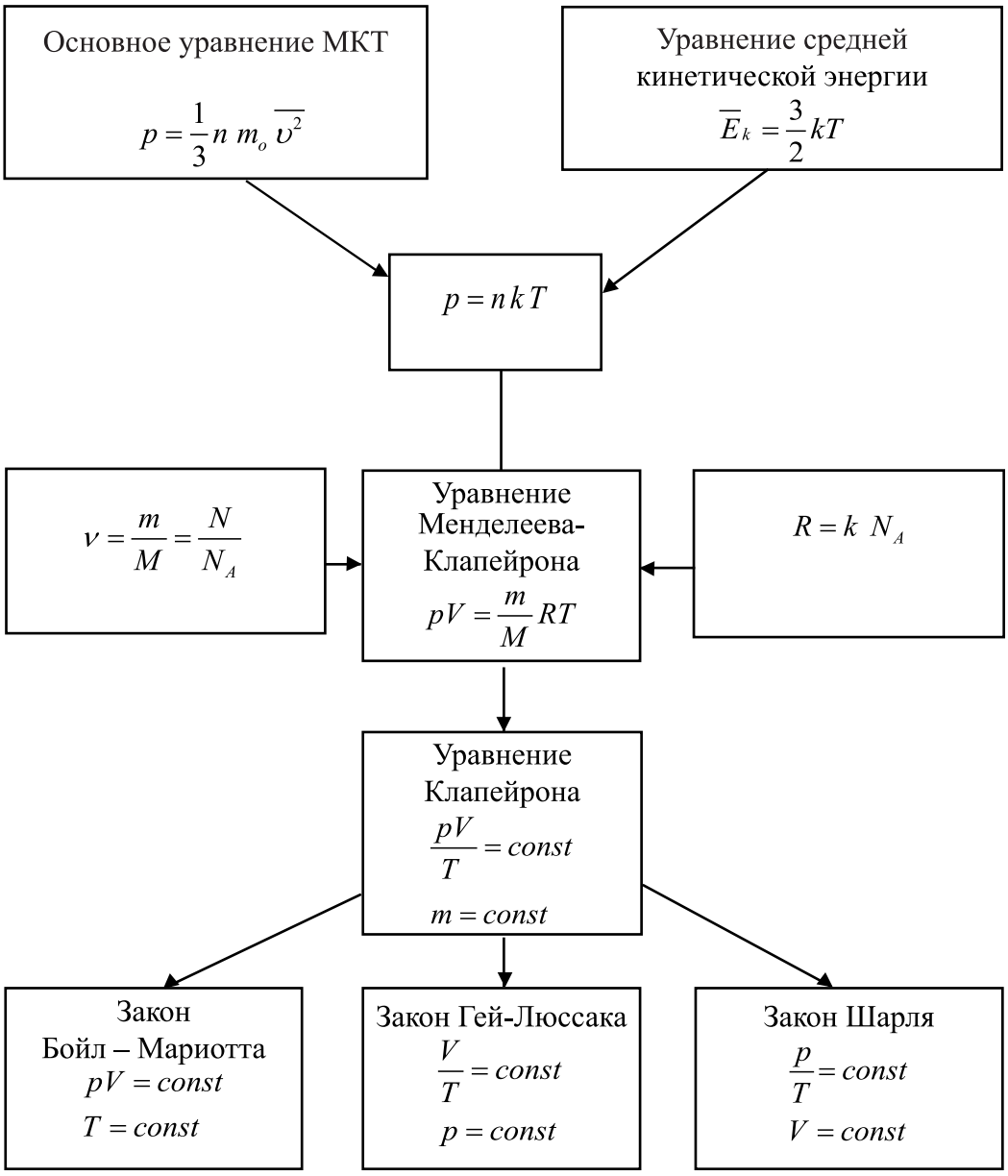
5. При подъеме со дна водоема пузырек воздуха увеличился в объеме в 3,5 раза. Какова глубина водоема ? Процесс считать изотермическим.

6*. При нагревании газа находаящегося в закрытом сосуде, до температуры 120 К, его давление увеличилось в 2 раза. Какова была начальная температура газа ?

7*. При изобарическом повышении температуры газа на 10 К, его объем увеличился на 1/20 часть от первоначального значения объёма. Определите начальную температуру газа.

8*. Идеальный газ массой 3 кг при температуре 127 °С находится под поршнем и занимает объем 2,5 м^3. Если при изобарическом расширении плотность газа стала 2 кг/м^3. Найдите температуру газа под поршнем ?

СООТНОШЕНИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ИЗ ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ МОЛКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА



ТЕСТЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ I

1. Постоянная Авогадро – это…..

A) число атомов в 12 г углерода; B) число частиц в 1 моле вещества;
C) число молекул в 18 г воде; D) все ответы верные.

2. Найдите массу 25 молей кислорода (г).

A) 144; B) 800; C) 270; D) 600.

3. Какое количество вещества содрежится в 27 г воды (моль) ?

A) 2; B) 1,8; C) 0,9; D) 1,5.

4. Каково количество вещества (моль) азота с числом молекул $2{,}4\cdot10^{24}$?

A) 2; B) 4; C) 1,5; D) 3.

5. Какой объем занимают 5 моль воды ($см^3$) ?

A) 2; B) 90; C) 64; D) 18.

6. Как изменится давление идеального газа, если объем увеличится в 2 раза, а среднеквадратическая скорость его молекул уменьшится во столько же раз ?

A) увеличится в 4 раза; B) уменьшится в 8 раза;
C) уменьшится в 4 раза; D) увеличится 8 раза.

7. В закрытом сосуде находится идеальный газ. На сколько % увеличится его давление, если среднеквадратичная скорость его молекул увеличится на 30 %.

A) на 25 %; B) на 69 % ; C) на 10 %; D) на 20 %.

8. Чему равна средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа при давлении $4\cdot10^5$ Па ? Объем газа равен на 2 $м^3$ (Дж).

A) $1{,}8\cdot10^5$; B) $1{,}2\cdot10^6$; C) $2{,}4\cdot10^5$; D) $4\cdot10^5$.

9. Как изменится плотность гелия в баллоне, если температура повысится от 27°C до 227 °C ?

A) увеличится в 4 раза; B) увеличится в 2 раза;
C) увеличится в 3 раза; D) Не изменится.

10. Как изменится концентрация молекул кислорода в баллоне, если температура понизится от 227 °C до 127 °C ? Изменением ебъёма баллона пренебречь ?

A) увеличится в 4 раза; B) увеличится в 2 раза;
C) уменьшится в 4 раза; D) не изменится.

11. Во сколько раз увеличится среднеквадратическая скорость молекул

идеального газа, если его абсолютную температуру увеличить в 4 раза ?

A) 2; B) $\sqrt{3}$; C) 4; D) 3.

12. Во сколько раз надо повысить абсолютную температуру идеального газа, чтобы скорость молекул увеличилась в 2 раза ?

A) в 2 раза; B) в 16 раза; C) в 8 раза; D) в 4 раза.

13. Какова концентрация молекул газа при температуре 400 К и давлении 138 кПа ($м^{-3}$) ?

A) $2{,}5\cdot10^{25}$; B) $5\cdot10^{25}$; C) $1{,}38\cdot10^{7}$; D) $2{,}76\cdot10^{6}$.

14. Какой объем занимает 50 молей газа при давлении 75 кПа и температурой 27 °С ?

A) 8,31; B) 1,662; C) 31; D) 6,2.

15. Каково давление газа при температуре 27 °С, если его объем и количество вещества равны 4 л и 2 моль, соответственно. (Па)

A) $6{,}12\cdot10^{5}$; B) $5{,}45\cdot10^{5}$; C) $12{,}46\cdot10^{5}$; D) $24{,}9\cdot10^{5}$.

16. Как изменится абсолютная температура идеального газа при увелечении его давления 12 раз и уменьшении его объема в 3 раза.

A) уменьшится в 3 раза; B) увеличится в 3 раза;
C) увеличится в 10 раза; D) увеличится в 4 раза.

17. Какую зависимость идеального газа при постоянной температуре открыли Бойль и Мариотт ?

A) $p \sim V$; B) $p \sim 1/V$; C) $p \sim T$; D) $V \sim T$.

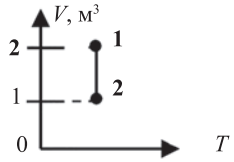
18. При изотермическом процессе давление некоторой массы идеального газа увеличилось в 2 раза. Как изменилась при этом среднеквадратическая скорость молекул ?

A) увеличится в 2 раза; B) уменьшится в 2 раза;
C) не изменится; D) уменьшится в 4 раза.

19. В изотермическом процессе давление газа увеличилось в 4 раза. Как изменилась концентрация иолекул газа ?

A) увеличилась в 2 раза; B) увеличилась в 4 раза;
C) уменьшилась в 4 раза; D) уменьшилась в 2 раза.

20. Как изменится давление газа при переходе из состояние 1 в 2 ?



A) увеличится в 4 раза; B) уменьшится в 4 раза;
C) не изменится; D)увеличится в 2 раза.

21. Кто экспериментально изучил зависимость объема газа от температуры при постоянном давлении ?

A) Гей-Люссак; B) Шарль; C) Бойль-Мариотт; D) Штерн.

22. Укажите уравнение изобарического процесса.

A) $p = nkT$; B) $pV = \text{const}$; C) $V/T = \text{const}$; D) $p/T = \text{const}$.

23. Дополните фразу: В изохорическом процессе...

A) p и T меняются, V постоянно; B) p и V меняются, T постоянно;
C) V и T меняются, p постоянно; D) меняются все параметры.

24. Во сколько раз увеличится давление идеального газа, находящегося в закрытом сосуде при температуре - 96 °C, если его нагреть до 81°C ?

A) 3; B) 2; C) 1,18; D) 2,21.

25. При какой температуре давление газа в баллоне будет равно $3 \cdot 10^5$ Па, если при 57°C оно равно $1 \cdot 10^5$ Па (°C) ?

A) 990; B) 171; C) 444; D) 717.

26. Какова была начальная температура идеального газа, находящегося в баллоне, если при повышении температуры на 300 К давление увеличивается в 3 раза ? (К).

A) 450; B) 900; C) 750; D) 600.

27. Во сколько раз увеличится давление газа в колбе лампы, если при этом температура лампы повышается от 7 °C до 287 °C ?

A) 3 раза; B) 4 раза; C) 1,5 раза; D) 2 раза.

28. Каков объем занимает 2 моль идеального газа, если он находится придавлении 400 кПа и температуре 400 К.

A) 831 *л*; B) 8,31 *л*; C) 16,62 *л*; D) 41,5 *л*.

29. Сосуд заполнен водородом, азотом и кислородом одинаковой массы и закрыт герметично. Парциальное давление какого газа наибольшее ?

A) водорода; B) кислорода; C) азота; D) одинаково у всех газов.

30. Давление газа 16,6 кПа, а плотность 0,02 кг/м^3, молярная масса 2 г/моль. Найдите его температуру (К).

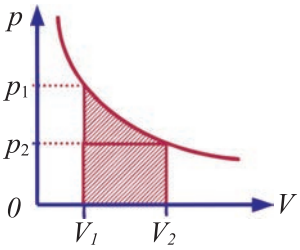
A) 2; B) 200; C) 275; D) 473.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I

Молекулярно-кинетическая теория основывается на три положения, доказанные в опытах	1. Вещества состоят из частиц – атомов и молекул. 2. Атомы и молекулы совершают беспрерывные и беспорядочные движения. 3. Между атомами и молекулами существуют силы взаимного притяжения и отталкивания.
Броуновское движение обладает следующими характеристиками	Броуновское движение состоит из непрерывных и беспорядочных движений взвешенных частиц в жидкостях или в газах. Траектория броуновского движения состоит из сложной ломаной линии. Броуновское движение зависит от линейных размеров частиц.
Количество вещества	1 моль – это такое количество вещества, которое содержит столько атомов (молекул), сколько атомов в 12 г углерода**.**
Постоянная Авогадро	Число молекул в 1 моле вещества называется постоянной Авогадро в честь итальянского ученого Амедео Авогадро. Число Авогадро является фундаментальной физической величиной, а числовое значение равно $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{-23}$ моль$^{-1}$.
Молярная масса	Масса одного моля любого вещества называется **молярной массой.**
Атомная масса единиц	Согласно Международному соглашению массы всех атомов и молекул сравнивают с 1/12 частью массы атома углерода, то есть: 1 u $\approx 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг.
Относительная атомная масса	Отношение массы атома любого вещества (m_0) к $^1/_{12}$ части массы атома углерода (m_{0C}), называется относительной атомной массой.
Концентрация молекул	Число молекул в единице объема называется концентрацией молекул. $n = \frac{N}{V}; \qquad [n] = \frac{1}{\text{m}^3}$

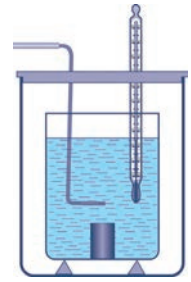
Идеальный газ	Газ, молекулы которого рассматриваются как материальные точки и силы взаимодействия между молекулами считаются весьма незначительными, называется идеальным.
Реальный газ	Газ, свойства которого зависят от взаимодействия его молекул.
Молекулярно-кинетическое толкование температуры	**Температура** – есть мера средней кинетической энергии поступательного движения молекул, то есть: $\overline{E}_{\text{к}} = \frac{3}{2} \cdot k\,T.$
Постоянная Больцмана	Постоянная Больцмана выражает коэффициент связи между средней кинетической энергией молекул газа и его температурой. Его значение равно: $k = 1{,}38 \cdot 10$–23Дж/К
Универсальная газовая постоянная	Произведение постоянной Больцмана k на постоянную Авогадро N_{A} принято называть универсальной (молярной) газовой постоянной. Значение универсальной газовой постоянной равно $R = 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot$
Давление идеального газа	Давление идеального газа прямо пропорционально концентрации молекул газа и температуре, то есть: $p = n\,k\,T.$
Температура абсолютного нуля	Температура абсолютного нуля является самой низкой температурой, при которой прекращается движение молекул вещества.
Связь между шкалой Цельсия и Кельвина	Формула перехода температуры из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина выражается в виде: $T = t + 273.$
Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул	$\overline{\upsilon} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$
Распределение молекул по скоростям	В 1859 г. английский физик ***Дж. Максвелл*** теоретическим путем установил, что молекулы газа движутся с различными скоростями при одинаковой температуре, то есть установил теорию распределения молекул по скоростям.

Опыт Штерна	Опыт Штерна подтвердил правильность молекулярно-кинетической теории, а также правильность теории Максвелла о распределении молекул в соответствии с их скоростями.
Уравнение Менделеева-Клапейрона	Уравнения состояния идеального газа выражают связь между массой, молярной массой, давлением, объемом и температурой газа, то есть: $pV = \frac{m}{M}RT.$
Закон Бойля-Мариотта. Изотермический процесс	Физический процесс, протекающий при неизменной массе (m = const) и температуре (T = const) , называется изотермическим процессом. При неизменной температуре давление газа заданной массы изменяется обратно пропорционально его объему, то есть: $p \sim 1/V$ или $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$.
Закон Гей-Люссака. Изобарический процесс	Физический процесс, протекающий при неизменной массе (m = const) и давлении (p = const), называется изобарическим процессом. При неизменном давлении объем газа заданной массы изменяется прямо пропорционально его температуре, то есть: $V \sim T$. $\frac{V}{T} = const$ или $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$
Закон Жака Шарля. Изохорический процесс	Физический процесс, протекающий при неизменной массе (m = const) и объеме (V = const), называется изохорическим процессом. При неизменном объеме давление газа заданной массы изменяется прямо пропорционально его температуре, то есть: $p \sim T$ $\frac{p}{T} = const$ или $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$



ГЛАВА II

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ



В процессах, происходящих в макроскопических системах, энергия переходит из одного вида в другой. Раздел молекулярной физики, который изучает отношения между физическими величинами, называется термодинамикой. В термодинамике свойства тел изучаются только с точки зрения обмена энергии, а их молекулярному строению не уделяют особого внимания.

§ 15. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

Из молекулярно-кинетической теории известно, что молекулы макроскопических тел движутся беспорядочно. Сумма кинетических и потенциальных энергий всех молекул равна внутренней энергии этого тела (вещества), то есть:

$$U = E_к + E_п . \qquad (1)$$

здесь $E_к$ и $E_п$ – соответственно кинетическая и потенциальная энергия всех молекул, из которых состоит тело (вещество).

Вычисления внутренней энергии идеального газа, не так сложны, как вычисления внутренних энергий твердых тел и жидкостей. Поскольку молекулы идеального газа не взаимодействуют друг с другом, то можно считать, что в идеальном газе потенциальная энергия взаимодействия молекул равна нулю. Значит, внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий беспорядочно движущихся молекул, то есть:

$$U = E_{к1} + E_{к2} + ... + E_{кN} \qquad (2)$$

Учитывая что средняя кинетическая энергия молекул идеального газа равна $\overline{E}_к = \frac{3}{2} k T$, выражение (2) можно записать:

$$U = N \cdot \overline{E}_к = \frac{3}{2} NkT. \qquad (3)$$

Если учесь что $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$ и $k \cdot N_A = R$, то выражение (3) принимает следующий вид:

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M} RT. \qquad (4)$$

Выражение (4) дает возможность вычислить внутреннюю энергию идеального газа. Итак, внутренняя энергия идеального газа прямо пропорциональна произведению массы и абсолютной температуры, и обратно пропорциональна молярной массе вещества.

Изменения внутренней энергии при переходе системы из одного состояния в другое в термодинамике считаются очень важными. Под изменением внутренней энергий системы, следует понимать разность между конечным и начальным значениями внутренней энергии, то есть:

$$\Delta U = U_2 - U_1. \qquad (5)$$

Если температура газа меняется от T_1 до T_2, то согласно выражению (4) изменение внутренней энергии можно записать:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}\frac{m}{M} R\Delta T = \frac{3}{2}\nu R\Delta T. \qquad (6)$$

Согласно уравнению состояния идеального газа $pV = \frac{m}{M} RT$ выражение (4) можно записать:

$$U = \frac{3}{2} p V. \qquad (7)$$

Из равенства (7) следует, что внутренняя энергия газа также зависит от его давления и объема. Если записывать уравнения (4) и (7) для одноатомных газов, то получим:

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} pV. \qquad (8)$$

Внутренняя энергия любых веществ зависит от их тепловых состояний. С изменением теплового состояния тела меняется его внутренняя энергия. При переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое, например: при переходе вещества из жидкого состояние в газообразное состояние или из твердого в жидкое, также происходит изменение внутренней энергии. При переходе вещества из твердого в жидкое состояния, кинетическая энергия увеличивается, в противном случае, кинетическая энергия уменьшается. Таким образом меняется внутренняя энергия вещество. Также, при переходе вещества из жидкого состояния в парообразное, внутренняя энергия увеличивается.

Образец решения задачи

Как изменится внутренняя энергия 12 молей аргона при понижении температуры от 12 °С до - 88 °С ?

Дано:	**Формула:**	**Решение:**
$\nu = 12$ моль $T_1 = 12\ °C + 273 = 285\ K$ $T_2 = -88\ °C + 273 = 185\ K$	$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1).$	$\Delta U = \frac{3}{2}\cdot 12 \cdot 8{,}31 \cdot (185 - 285) =$ $= -14958\ Дж \approx -15\ кДж.$
Найти: $\Delta U = ?$	$[U] = моль \cdot \frac{Дж \cdot K}{моль \cdot K} = Дж.$	**Ответ:** внутренняя энергия газа уменьшится на $\Delta U = 15$ кДж.

1. Что изучает термодинамика ?
2. Что вы понимаете под внутренней энергией идеального газа ?
3. Напишите формулу вычисления внутренней энергии и проанализируйте ее.
4. Как изменится внутренняя энергия газа при изобарическом расширении ?

У 12

1. Определите массу гелия обладающего температурой 47 °С и внутренней энергией 80 кДж.
2. Каково давление одноатомного идеального газа, если его объем равен 0,4 $м^3$, а внутренняя энергия 45 кДж ?
3. Как изменится внутренняя энергия 3 молей неона при понижении температуры от 40 °С до - 80 °С ?
4. Как изменится внутренняя энергия гелия массой 80 г при нагревании от 20 °С до 70 °С ?
5. На сколько джоулей увеличится внутренняя энергия одноатомного идеального газа, если его температура повысится на 72 К ? Количество молекул в сосуде $4 \cdot 10^{25}$.
6. Объем одноатомного идеального газа, находящегося под давлением 10^5 Па, изобарно увеличился от 300 $см^3$ до 500 $см^3$. Как изменилась внутренняя энергия газа ?
7. Во сколько раз увеличится внутренняя энергия газа внутри лампы накаливания, если температура газа поднялась от 17 °С до 307 °С ?

§ 16. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ РАБОТА

Причиной изменения внутренней энергии системы, является процесс выполнения работы и теплообмен. Во многих процессах протекающих в газах, изменяется их объем. Чтобы газ имел определенный объем, он должен быть заключен в сосуд под действием внешних сил. Предположим, что газ массой m находится в цилиндре с легкоподвижным поршнем (рис.19 *а*). Пусть в этом случае температура будет T_1, объем V_1 и давление газа p_1 соответственно. Если газ нагреть до температуры T_2 (поршень может двигаться свободно, и поэтому давление газа считается неизменным, то есть: $p_1 = p_2$), газ изобарически расширяется и занимает объем V_2 (рис.19 *б*). При изменении объема газа выполняется работа против внешних сил. Эта работа называется термодинамической работой. При нагревании газа, его молекулы, ударяясь о поршень, перемещают его на расстояние Δh, и газом выполняется работа. Из формулы механической работы следует, что работа газа, выполненная против внешних сил равна:

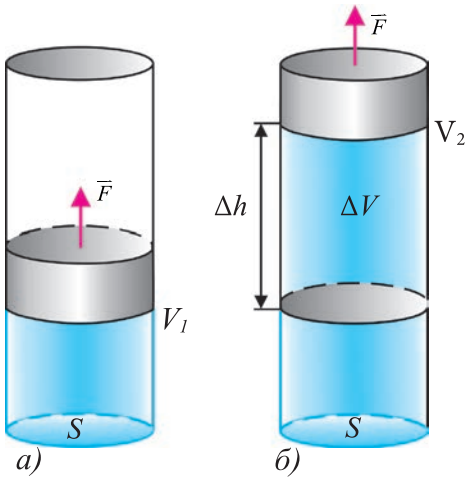


рис.19.

$$A = F \cdot \Delta h. \qquad (1)$$

Если учитывать, что $F = p \cdot S$ то выражение (1) примет вид:

$$A = p \cdot S \cdot \Delta h = p \cdot \Delta V \qquad (2)$$

Здесь $\Delta V = V_2 - V_1$ изменение объема газа. Итак, работа газа при изобарическом расширении равна произведению давления газа на изменение объема. В этом процессе газ расширяется и выполняет положительную работу, так как направления силы и перемещения поршня одинаковы. При сжатии внешние силы также выполняют работу над газом.

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для двух состояний, изображенных на рисунке.

$$pV_1 = \frac{m}{M} RT_1 \quad \text{и} \quad pV_2 = \frac{m}{M} RT_2 \qquad (3)$$

Вычитая их друг от друга получим:

$$pV_2 - pV_1 = \frac{m}{M} RT_2 - \frac{m}{M} RT_1 \quad \text{или} \quad p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) \qquad (4)$$

С учётом, что $T_2 - T_1 = \Delta T$ и $V_2 - V_1 = \Delta V$, выражение (4) примет следующий вид:

$$p\,\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T. \qquad (5)$$

Согласно формуле (5), при нагревании газа изобарически на температуру ΔT работа, выполненная над внешними силами определяется следующим образом:

$$A = p\,\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T. \qquad (6)$$

Если записать это выражение для 1 моля газа, то оно примет вид:

$$A = R\Delta T. \qquad (7)$$

Из этой формулы получим следующее соотношение для значения универсальной газовой постоянной: $R = \frac{A}{\Delta T}$.

Универсальная газовая постоянная численно равна работе, выполненной при изобарическим нагревании 1 моля вещества на 1 ^{0}C.

Геометрическое истолкование работы, выполняемой газом. Геометрическая интерпретация работы это есть объяснение смысла работы, выполняемой при каком-нибудь процессе, геометрическим путем. Для этого нарисуем график зависимости давления от его объема. Например: пусть газ расширяется изобарически (рис.20). Работа, выполняемая газом при расширении объема от V_1 до V_2 при постоянном давлении p, численно равна площади прямоугольника $abcd$, то есть:

$$A = p_1(V_2 - V_1) = |ab| \cdot |ac|.$$

В изотермическом процессе давление газа изменяется обратно пропорционально его объему (рис.21). И этом случае работа газа численно равна площади заштрихованной фигуры.

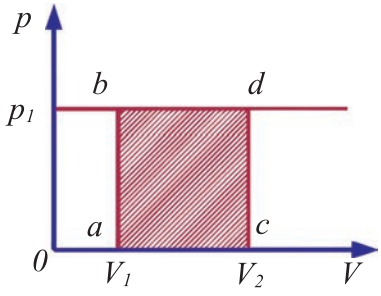


рис.20.

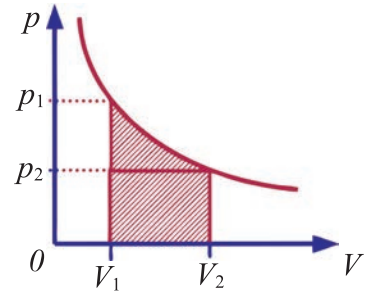


рис.21.

Образец решения задачи

При изобарном нагревании кислорода на 64 К совершена работа 16,6 кДж. Определите массу кислорода.

Дано:
$M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
$\Delta T = 64$ К
$p =$ const
$A = 16{,}6$ кДж
$= 16{,}6 \cdot 10^3$ Дж.

Найти:
$m = ?$

Формула:

$$A = \frac{m}{M} R \cdot \Delta T;$$

$$m = \frac{A \cdot M}{R \cdot \Delta T}.$$

$$[m] = \frac{\text{Дж} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К}} = \text{кг}$$

Вычисление:

$$m = \frac{16{,}6 \cdot 10^3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{8{,}31 \cdot 64} \text{ кг} = 1 \text{ кг}.$$

Ответ: $m = 1$ кг.

1. Выведите формулу работы, выполняемой газом при изобарическом расширении. Проанализируйте ее.
2. Выразите работу, выполняемую газом при изобарическом расширении через изменение температуры.
3. Каковы отличия между механической и термодинамической работами ?

У 13

1. Газ, находящийся в цилиндрическом сосуде под давлением 160 кПа, расширяясь изобарно, совершил работу 48 кДж. На сколько при этом увеличился объем газа ?
2. Воздух массой 400 г, находящийся под поршнем, был нагрет изобарически. На сколько градусов был нагрет воздух, если им была совершена работа 8 кДж ?
3. Объем газа, находящегося под давлением 100 кПа, изобарно увеличился от 100 см^3 до 300 см^3. Определите работу газа.

4*. В цилиндре с внутренним диаметром 5 см заключен газ. Под действием внешней силы 50 Н на поршень, его объем уменьшился на 10 см^3. После снятия внешней силы газ расширяется и возвращается в свое первоначальное состояние. Какую работу выполнил газ ?

§ 17. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Процеес теплообмена в веществах

Процесс передачи энергии от одного тела другому без совершения какой-либо работы, называется теплообменом или теплопередачей.

Энергия, переданная телу или отданная им в процессе теплообмена, называется количеством теплоты.

Единица измерения количества теплоты такая же, как и единица измерения работы: джоуль (1 Дж). Кроме того, для измерения количества теплоты

введена специальная единица, называемая калорией (кал). Количество теплоты принято обозначать буквой Q.

За 1 калорию принято количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г дистиллированной воды на 1 °С.

Используется также килокалория (ккал) (1 ккал = 1000 кал). Отношение между единицами измерения количества теплоты джоулем и калорией выражается следующим образом: 1 Дж ≈ 0,24 кал или 1 кал ≈ 4,19 Дж.

Если в процессе теплопередачи температура тела изменится от t_1 до t_2, то количество теплоты, отданное или полученное телом (веществом), можно определить:

$$Q = mc(t_2^\circ - t_1^\circ) \qquad (1)$$

Здесь m – масса вещества, c – коэффициент пропорциональности, его также называют удельной теплоемкостью вещества, t_1° – начальная температура вещества, t_2° – конечная температура вещества.

Исходя из формулы (1) удельная теплоемкость вещества вычисляется по формуле:

$$c = \frac{Q}{m(t_2^\circ - t_1^\circ)} \qquad (2)$$

Из выражения (2) следует, что основная единица измерения удельной теплоемкости – $[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$.

Количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 кг вещества на 1 °С, называется удельной теплоемкостью этого вещества.

Удельные теплоемкости некоторых веществ при температуре 25 °С и нормальном давлении (1 атм.) приведены в следующей таблице.

	Вещество	Удельная теплоемкость вещества, Дж/ (кг ·К)		Вещество	Удельная теплоемкость вещества, Дж/ (кг ·К)
1	Свинец	130	**6**	Стекло	830
2	Серебро	230	**7**	Алюминий	890
3	Олово	230	**8**	Лед	2100
4	Медь	390	**9**	Керосин	2140
5	Сталь	460	**10**	Вода	4200

Уравнение теплового баланса

Если система изучаемых тел достаточно изолирована от окружающих их тел, то ее называют замкнутой системой. Внутренняя энергия тел, находящихся в замкнутой системе с течением времени не изменяется. В качестве примера рассмотрим замкнутую систему, состоящую из калориметра, воды и нагретого тела. Между ними происходит теплообмен, горячее металлическое тело отдает тепло, а вода и сосуд - принимают.

Внутренняя энергия всех тел в процессе теплообмена изменяется до тех пор, пока их температуры не станут равными. Эта температура называется температурой равновесия системы тел. Если процесс теплообмена происходит без совершения работы, то изменение внутренней энергии осуществляется за счет нагревания или охлаждения тел. Для полной характеристики таких явлений составляют уравнения теплового баланса (от французского слово «la balance» - равновесие). Это уравнение выражается так:

Внутренняя энергия системы при тепловом равновесии не изменяется: количество теплоты, отданное системой равно количеству теплоты, полученному системой.

$$Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = Q_1' + Q_2' + \ldots + Q_n' \qquad (3)$$

здесь Q_1, Q_2, ... Q_n – количество теплоты, отданное системой.

Q_1', Q_2', ... Q_n' – количество теплоты, полученное системой.

Уравнение (3) называется уравнением теплового баланса. Оно является законом сохранение энергии для процесса теплопередачи и формулируется так:

В процессе теплообмена, количество теплоты не возникает из ничего и не исчезает, теплота только переходит из одного тела в другое.

Количество теплоты, отданное или полученное телом (веществом), можно определить с помощью калориметра (рис.22). Слово *“калориметр”* (от лат. *“calor”* – *теплота,* и греч. *“metreo”* – *измерять*) означает *“измерение теплоты”*.

Калориметр состоит из внутреннего металлического сосуда 1 с тонкими стенками, который установлен внутри металлического сосуда 3 на не проводящих тепло подставках 2. В калориметр опущены термометр 4 и смеситель 5.

Пусть масса сосуда калориметра вместе со смесителем будет m_1, его удельная теплоемкость – c_1. Нальем в калориметр воду массой m_2.

Пусть удельная теплоемкость воды будет c_2, а температура калориметра и воды до наступления теплового равновесия – t_1. Опустим в калориметр нагретый железный брус 6 массой m, температурой t_2 и удельной теплоемкостью с. Пусть после наступления теплового равновесия температура калориметра с водой и железного бруса будет t. При этом нагретый железный брус, охлаждаясь с t_2 до t, отдает калориметру и воде количество теплоты $Q = cm(t_2 - t)$. В результате температура калориметра и воды поднимается с t_1 до t. При этом калориметр получает количество теплоты $Q_1 = c_1m_1(t - t_1)$, а вода $Q_2 = c_2m_2(t - t_1)$.

Согласно закону сохранения энергии, количество теплоты, отданное телом, равно сумме количеств теплоты, полученных калориметром и водой:

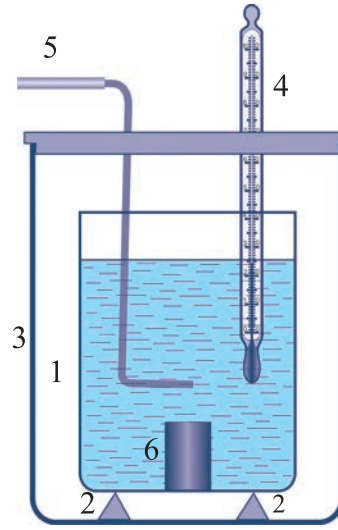


рис.22.

$$Q = Q_1 + Q_2 \qquad (4)$$

Зная удельную теплоемкость калориметра, воды, железного бруса и их массу и измеряя температуры t_1, t_2 и t, можно вычислить количество теплоты Q, отданное железным брусом, и количества теплоты Q_1 и Q_2, полученные калориметром и водой.

Подставляя в уравнение теплового баланса (4) выражения для Q, Q_1 и Q_2, получаем уравнение теплового баланса в следующем виде:

$$cm\,(t_2 - t) = c_1m_1(t - t_1) + c_2m_2(t - t_1). \qquad (5)$$

Если удельная теплоемкость тела, опущенного в калориметр, не известна, ее можно определить из формулы (5):

$$c = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(t - t_1)}{m(t_2 - t)}. \qquad (6)$$

Эту формулу используют для определения удельной теплоемкости любого тела, опущенного в калориметр.

Таким образом с помощью калориметра можно определить удельную теплоемкость любого тела.

Образец решения задачи

Вода падает с высоты 210 м. Как влияет работа силы тяжести на изменение температуры воды? Падение воды считайте свободным.

Дано:
$h = 210$ м
$g = 9{,}81$ м/с^2
$c = 4200$ Дж/ (кг·К).

Найти:
$\Delta T = ?$

Решение: Работа силы тяжести, изменяет внутреннюю энергию тела и тело нагревается. Предположим, что работа сила тяжести воды полностью превращается в теплоту то есть: $m \cdot g \cdot h = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$

Упростив выражение, получим, $\Delta t = t_2 - t_1 = \dfrac{g \cdot h}{c}$.

Изменение абсолютной температуры равно ΔT. Изменение температуры, выраженной в градусах Цельсия, равно Δt°. Так как $\Delta T = \Delta t^\circ$.

$$[\Delta T] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}} = \text{К}. \quad \Delta T = \frac{9{,}81 \cdot 210}{4200}\,\text{К} = 0{,}49\,\text{К}.$$

Ответ: $\Delta T = 0{,}49$ К.

1. Что называется количеством теплоты ? Назовите единицы измерения количества теплоты.
2. Что называется удельной теплоемкостью тела и как она обозначается ?
3. В чем состоит физическая сущность уравнения теплового баланса ?
4. Сформулируйте закон сохранения энергии для процесса теплообмена.
5. Алюминиевый, свинцовый и железный шарики одинаковой массы падают с одинаковой высоты. У какого шарика после удара о землю температура будет выше ?

У 14

1. Какое количество теплоты надо сообщить телу с удельной теплоемкостью 450 Дж/(кг·К) и массой 0,5 кг, чтобы нагреть его от 10 °С до 310 °С ?
2. Нагретое тело массой 3 кг при нагревании от температуры 20 °С до 500 °С получило 1281,6 кДж теплоты. Из какого материала изготовлено тело ?
3. Какое количество теплоты надо сообщить воде, с температурой 20 °С и объемом 1,5 л, в нормальных условиях, чтобы довести ее до кипения ?
4. В кипящей воде при нормальных условиях, находятся медное тело массой 200 г и свинцовое тело массой 150 г. Каким количеством теплоты будут обладать эти тела во время изъятия их из воды ?

§ 18. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Идеальный газ перешел из состояния 1 в состояние 3 двумя способами (рис.23). Каково будет изменение внутренней энергии в этих направлениях ?

Дано. Чертеж

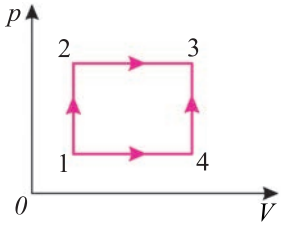


рис.23.

Решение: в направлении 1→2→3 газ нагрет изохорно, потом расширялся изобарно. Во втором направлении 1→4→3 газ расширяется изобарически, потом нагрет изохорически. Изменение внутренней энергии это есть разность конечных и начальных значений внутренних энергии:

$\Delta U_{1,2,3} = \Delta U_{1,4,3} = U_3 - U_1$.

Внутренняя энергия равна: $U = \frac{3}{2} p \cdot V$ Тогда изменение внутренней энергии

$$\Delta U_{1,2,3} = \Delta U_{1,4,3} = \frac{3}{2}(p_3 \cdot V_3 - p_1 \cdot V_1)$$

При переходе системы из одного состояния в другое, изменение внутренней энергии системы будет зависеть от параметров, характеризующих только эти состояния. **Ответ:** В каждом направлении внутренняя энергия изменится одинаково.

Задача 2. В цилиндре под поршнем находится газ объёмам 2 л под давлением 125 кПа. При нагревании газа от 7 °С до 77 °С, он расширяется изобарически. Какую работу над внешними силами совершает газ ? m = const.

Дано:
$T_1 = 7$ °С+273 = 280 К
$T_2 = 77$ °С+273 = 350 К
$p = 125$ кПа $= 125 \cdot 10^3$ Па
$V_1 = 2$ л $= 2 \cdot 10^{-3}$ м^3.

Найти:
A = ?

Решение: начальный объем газа нам известен. Конечной объем газа находим по уравнению изобарического процесса: $V_2 = \frac{T_2 \cdot V_1}{T_1}$.

При изобарическом расширении газа его работа вычисляется по формуле:
$A = p \cdot (V_2 - V_1)$. С учётом формулы конечного объема газа, формула работы примет следующий вид:

$$A = p \cdot (\frac{T_2}{T_1} - 1) \cdot V_1.$$

Подставляя числовые значения величин, вычислим термодинамическую работу: $A = 125 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{350}{280} - 1\right) \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ Дж = 62,5 Дж. **Ответ:** A = 62,5 Дж.

Задача 3. В сосуде имеется 85 л воды температурой 40 °С. Она получена путем смешивания холодной воды температурой 15 °С и горячей воды температурой 100 °С. Сколько литров холодной и горячей воды потребуется, чтобы приготовить такую смесь ?

Дано:
$t_1 = 15$ °C
$t_2 = 100$ °C
$t = 40$ °C
$V = 85$ *л.*

Найти:
$V_1 = ?$
$V_2 = ?$

Решение: согласно уравнению теплового баланса, количество теплоты, отданное холодной воде: $Q_1 = m_1 c(t - t_1)$ и полученное от горячей воды $Q_2 = m_2 c(t_2 - t)$ равны: $Q_1 = Q_2$.

Выразив массы через объемы: $m_1 = \rho V_1$, $m_2 = \rho V_2$, и получим следующую формулу:

$$\rho V_1 c(t - t_1) = \rho V_2 c(t_2 - t), \quad \text{или} \quad V_1 (t - t_1) = V_2 (t_2 - t).$$

Учитывая, что объем смеси $V = V_1 + V_2$ находим V_1: $V_1 = \dfrac{t_2 - t}{t_2 - t_1} \cdot V$. Согласно этой формуле вычислим объем холодной воды:

$$V_1 = \frac{100 - 40}{100 - 15} \cdot 85л = 60\,л.$$ А объем горячей воды $V_2 = V - V_1 = 85л - 60л = 25л.$

Ответ: $V_1 = 60\,л$ и $V_2 = 25л$.

Задача 4. Оцените, на сколько кельвин повысится температура стальной пули, летевшей со скоростью 800 м/с, после удара в песок, в результате которого она остановилась. Считать, что на нагревание песка ушло 60 % выделившегося тепла. Удельная теплоемкость стали 460 Дж/(кг·К)

Дано:

$\upsilon = 800$ м/с
$\eta = 0{,}6$
$c = 460$ Дж/кг·К.

Найти:
$\Delta T = ?$

Решение: при попадении пули в песок его кинетическая энергия полностью превращается во внутреннюю энергию. 1 - η = 0,4 части этой энергии переходит в песок.

Отсюда: $Q = (1 - \eta) E_к$; $\quad mc\Delta T = (1 - \eta) \cdot \dfrac{m\upsilon^2}{2}$.

Из этой формулы находим изменение температуры пули:

$$\Delta T = (1 - \eta) \cdot \frac{\upsilon^2}{2c}.$$

$$[\Delta T] = \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}} = \text{К}$$

$$\Delta T = \frac{0{,}4 \cdot 800^2}{2 \cdot 460}\,\text{К} = 278\,\text{К}.$$

Ответ: $\Delta T = 278$ К.

У 15

1. Определите массу гелия имеющего температуру 27 °С и внутреннюю энергию 50 кДж.

2. Как изменится внутренняя энергия одноатомного идеального газа, если уменьшить давление на 30 % и увеличить объем в 6 раза ?

3. Идеальный газ постоянной массой перешел из состояния 1 в состояние 2 (рис.24). Как изменится внутренняя энергия газа? Начальные давление газа p_0 =150 кПа и объем V_0 = 4 л .

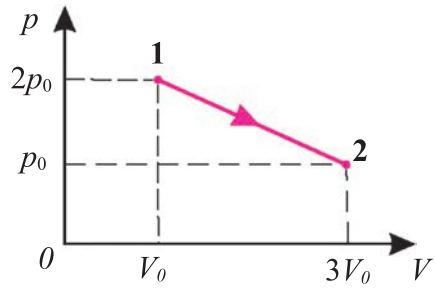


рис.24.

4. В цилиндре под поршнем находится газ массой 1,6 кг, и температурой 17 °С. При изобарном нагревании газ совершает работу 40 кДж. Найдите конечную температуру газа.

5. Под свободно движущимся поршнем находится идеальный газ температурой 27 °С, объемом 10 л и давлением 100 кПа. Газ нагрет изобарически на 60 К. Какую работу совершил газ над внешними силами ?

6. При изобарическом нагревании 25 молей газа на 20 К, объем газа увеличился на 20 %. Какова была начальная температура газа ? Чему равна работа, совершаемая газом при расширении ?

7. Сколько воды температурой 20 °С нужно добавить в воду массой 8 кг и температурой 90 °С, чтобы получить смесь воды с температурой 30 °С?

8. Водород и гелий одинаковыми массами нагрели при постоянном давлении на 60 К. Какой из газов при этом совершил большую работу ?

9. В сосуд налили 125 л воды температурой 15 °С и 25 л воды температурой 45 °С. Найдите конечную температуру смеси.

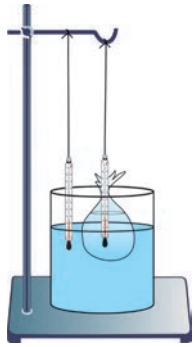
10. В ванну налили холодную воду температурой 10 °С и горячую воду температурой 90 °С. Найдите массы холодной и горячей воды, если температура смеси стала 50 °С. Объем смеси 80 л. Потерей теплоты пренебречь.

11*. Стальная пуля, летящая со скоростью 800 м/с вошла в песок. На сколько градусов нагревается пуля, если 54 % выделяемого количества теплоты передается пуле.

§ 19. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ. ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РАВНОВЕСИЯ В ВЕЩЕСТВАХ

Цель занятия: наблюдение протекания процесса теплового равновесия.

Необходимое оборудование: сосуд, горячая и холодная вода, два термометра, электронные часы, полиэтиленовый пакет, штатив и нить.



Порядок выполнения работы:

1. Нарисуем следующую таблицу:

Время наблюдения (минуты)	0	1	2	….	….	….	….	….
Температура горячей воды, °С								
Температура холодной воды, °С								

– наливаем в сосуд горячую воду. Для измерения температуры горячей воды опускаем термометр;

– наливаем холодную воду в полиэтиленовой пакет. Для измерения температуры холодной воды опускаем туда другой термометр;

– холодную воду вместе с термометром опускаем в сосуд с горячей водой.

– немного подождём. С течением каждой минуты наблюдаем показания термометров холодной и горячей воды, и записываем их в таблицу.

– определяем температуры равновесия воды и время наступления термодинамического равновесия. Полученные результаты занесем в таблицу.

– продолжаем наблюдать ещё несколько минут за процессом после наступления термодинамического равновесия.

– на координатной плоскости начертим графики зависимости охлаждения горячей и нагревания холодной воды от времени. Сделаем выводы.

1. Как изменяется внутренняя энергия холодной и горячей воды в процессе теплообмена ?
2. Как меняется внутренняя энергия воды после наступления термодинамического равновесия ?

§ 20. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

***Цель работы*:** изучение определения удельной теплоемкости твердых тел.

***Необходимое оборудование*:** калориметр и его смеситель, весы, гири, термометр, три тела, удельную теплоемкость которых предстоит определить, горячая вода.

Порядок выполнения работы

1. Калориметр, используемый в работе, представлен на рис. 22. Определите массу калориметра и его смесителя ($m_к$), взвесив вместе. Так как калориметр изготовлен из алюминия, поэтому $c_к = 890$ Дж/(кг °С)

2. Измерьте объем воды (V) с помощью мензурки, залейте ее во внутренний сосуд калориметра.

3. Вычислите с помощью формулы $m_в = \rho_в V$ массу воды, налитой в калориметр. Здесь $\rho_в$ – плотность воды.

4. Погрузите термометр в калориметр. Подождите немного. После наступления теплового равновесия измерьте температуру воды ($t_в$).

5. При помощи весов измерьте массу m_T тела, удельную теплоемкость которого предстоит выяснить.

6. Привяжите тело к нити и положив в кипящую воду и запишите его температуру $t_т$ после наступления теплового равновесия. Здесь можно принять $t_т = 100$ °С.

7. Извлеките тело из кипящей воды и быстро погрузите в калориметр с холодной водой. Смешайте воду в калориметре и запишите температуру смеси t_c.

8. Определите удельную теплоемкость тела:

$$c_т = \frac{(m_в \cdot c_в + m_к \cdot c_к) \cdot (t_с - t_в)}{m_т (t_т - t_в)}$$

9. Определите в таком же порядке удельную теплоемкость еще двух тел, имеющих различные массы, но изготовленных из того вещества, что и первое.

10. Вычислите среднюю удельную теплоемкость $c_т$ по значениям, определенным для первого, второго и третьего тела.

11. Результаты вычислений запишите в таблицу.

№	$m_к$, кг	$m_в$, кг	$m_т$, кг	$c_к$, Дж/кг·°С	$t_в$,°С	$t_т$,°С	t_c,°С	$c_т$, Дж/кг·°С	$c_{т\,ср}$, Дж/(кг·°С)
1									
2									
3									

1. Что называется удельной теплоемкостью и как она выражается?
2. Используя уравнение теплового баланса, выведите формулу удельной теплоемкости тела из пункта 8 и объясните ее.
3. Проанализируйте данные таблицы и сделайте выводы.

§ 21. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

При сгорании таких видов топлива, как дрова, каменный уголь, природный газ, бензин, выделяется теплота. Какая это теплота? Почему при горении таких веществ выделяется теплота?

Известно, что молекулы состоят из атомов. Например, молекула азота (N_2) состоит из двух атомов азота. Молекулу можно разделить на атомы. Разделение молекул на атомы называется химической реакцией расщепления. Атомы молекул притягиваются очень сильно. Для разделения атомов молекул друг от друга, должна быть совершена работа против сил притяжения, а значит израсходована энергия. И наоборот, при соединении атомов друг с другом и образовании молекулы, происходит выделение энергии.

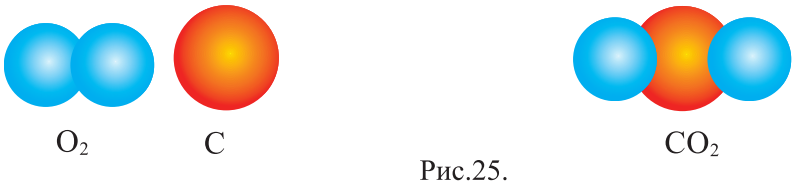


Рис.25.

В составе обычных видов топлива (уголь, природный газ, бензин и др.) содержится углерод. Во время горения атомы углерода соединяются с атомами кислорода содержаемися в воздухе. Каждый атом углерода (C), соединяясь с молекулой кислорода (O_2), образует молекулу углекислого газа (CO_2) (рис.25). Этот процесс сопровождается выделением энергии.

Физическая величина, показывающая количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании 1 кг топлива, называется удельной теплотой сгорания топлива.Удельная теплота сгорания топлива обозначается буквой *q*.

Количество теплоты Q, выделяющейся при сгорании топлива, определяется путем умножения удельной теплоты сгорания q на массу m полностью сгоревшего топлива:

$$Q = q \cdot m.$$

Из этой формулы видно, что удельная теплота сгорания топлива измеряется в $[q]=\left[\frac{Q}{m}\right]=\frac{1\text{ Дж}}{1\text{ кг}}=1\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. В таблице приведены значения удельной теплоты сгорания некоторых видов топлива:

	Топливо	Удельная теплота сгорания, (МДж/ кг)		Топливо	Удельная теплота сгорания, (МДж/ кг)
1	Бензин	46	**4**	Сухие дрова	10
2	Керосин	42	**5**	Природный газ	44
3	Каменный уголь	29	**6**	Спирт	29

Образец решения задачи

Какую массу сухих дров надо сжечь, чтобы получить такое же количество теплоты как при полном сгорании 20 кг каменного угля?

Дано:

$m_1 = 20$ кг
$q_1 = 29\cdot10^6$ Дж/кг
$q_2 = 10\cdot10^6$ Дж/кг

Найти:
$m_2 = ?$

Решение: по условию задачи $Q_1 = Q_2$.
Значит $m_1 q_1 = m_2 q_2$, отсюда

$$m_2=\frac{m_1\cdot q_1}{q_2}=\frac{20\text{ кг}\cdot29\cdot10^6\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}}{10\cdot10^6\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}}=58\text{ кг}.$$

Ответ: $m_2 = 58$ кг.



1. Что называется удельной теплотой сгорания топлива ?
2. Как определяется количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива ?
3. Что означает выражение: «Удельная теплота сгорания топлива равна $4{,}4\cdot10^7$ Дж/кг» ?



1. Сколько спирта следует сжечь, чтобы получить 5,8 МДж теплоты ? Удельная теплота сгорания спирта $2{,}9\cdot10^7$ Дж/кг.
2. Какую массу сухих дров надо сжечь, чтобы получить такое же количества теплоты, как при полном сгорании 25 кг каменного угля?
3. Автомашину «Нексия» заправили 40 л бензина. Сколько энергии выделится на каждом километре при среднем расходе бензина 10 л на 100 км ? Плотность бензина 700 кг/м^3.
4. Для приготовления пищи в очаге сожжено 12 кг сухих дров. Одна четверть теплоты, выделившейся при сгорании дров, расходуется на приготовление пищи, остальная часть – на нагревание очага, котла и воздуха. Какое количество теплоты потребовалось для того, чтобы довести пищу до готовности ?

§ 22. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Понятие о первом законе термодинамики

В результате обобщения фактов, полученных в процессе длительных наблюдений и экспериментов, был сформулирован ***закон сохранения энергии***:

В природе энергия не возникает из ничего и не исчезает, количество энергии не изменяется, энергия только переходит из одного вида в другой.

Закон сохранения энергии справедлив для всех явлений, происходящих в природе. ***Первый закон термодинамики*** является применением закона сохранения энергии к тепловым явлениям.

Допустим, что поршень цилиндра, в который закачан газ, удерживается силой тяжести и может свободно передвигается, вдоль стенок цилиндра без силы трения. Пусть газу передано количество теплоты Q. Это количество теплоты будет израсходовано на увеличение внутренней энергии газа на ΔU и перемещение поршня на высоту Δh (рис. 26). При этом газ, чтобы поднять поршень на высоту Δh, выполняет работу A против внешних сил, в частности, против силы тяжести поршня.

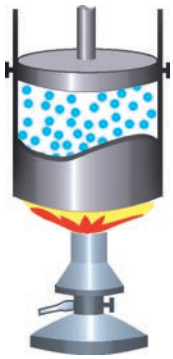


рис.26.

$$Q = \Delta U + A \qquad (1)$$

Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии системы и на выполнение работы против внешних сил.

Это определение выражает ***первый закон термодинамики***. Этот закон был сформулирован в середине XIX в. немецкими учеными ***Р.Майером***, ***Г.Гельмгольцем*** и английским ученым ***Д.Джоулем***.

Применение первого закона термодинамики к изопроцессам

1. Изотермический процесс (T = const). Если температура идеального газа не изменяется, его внутренняя энергия также не изменяется и в формуле (1) $\Delta U = 0$. Для этого случая первый закон термодинамики выражается в виде:

$$Q = A. \qquad (2)$$

В изотермическом процессе **теплота, передаваемая идеальному газу, расходуется на совершение работы самой системой.**

Если в изотермическом процессе газ получает теплоту *(Q > 0)*, он расширяется на объём ΔV и совершает положительную работу *(A > 0)*. На диаграмме (рис.27. *а*) выполненная работа равна площади, окрашенной в жёлтый цвет.

Если же газ отдает теплоту во внешнюю среду *(Q < 0)*, то выполняется отрицательная работа *(A < 0)*. При этом внешняя система выполняет работу над газом. Величина выполненной работы равна площади, показанной на диаграмме (рис.27 *б*).

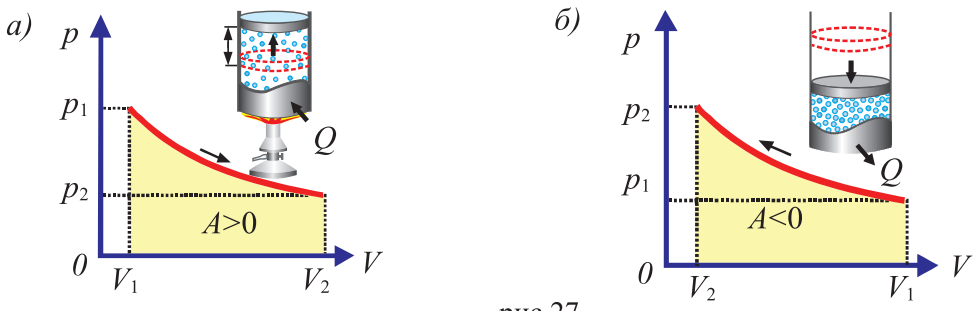


рис.27.

2. Изобарический процесс (p = const). Если в условиях постоянного давления газ получает теплоту, совершенная им работа будет $A = p\Delta V$. В этом случае первый закон термодинамики выражается в виде:

$$Q = \Delta U + p \cdot \Delta V. \qquad (3)$$

В изобарическом процессе **теплота, передаваемая системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии и совершение работы самой системой при постоянном давлении.**

Если газ нагревается ($Q > 0$) при постоянном давлении, то внутренняя энергия газа возрастает ($\Delta U > 0$) и он, расширяясь, совершает положительную работу ($A > 0$). Количество выполненной работы равно площади, отмеченной на диаграмме (рис.28 *а*).

Если же газ охлаждается ($Q < 0$) при постоянном давлении, его внутренняя энергия уменьшается ($\Delta U < 0$) и совершается отрицательная работа ($A < 0$). Величина выполненной работы равна площади, указанной на диаграмме (рис.28 б).

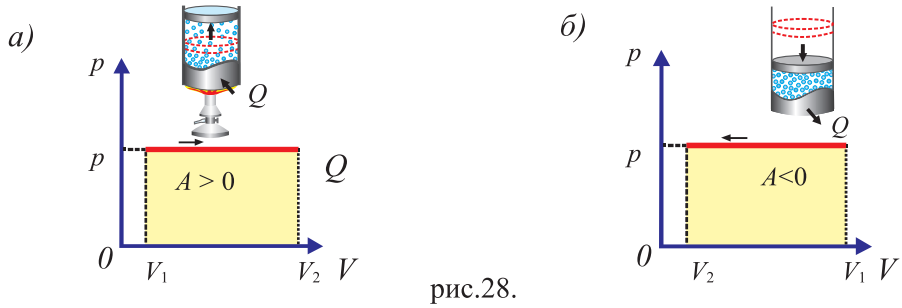


рис.28.

3. Изохорический процесс (V = const). В изохорическом процессе ($\Delta V = 0$) $A = p\Delta V = 0$, то есть работа не совершается. Для этого случая первый закон термодинамики выражается в виде:

$$Q = \Delta U. \qquad (4)$$

В изохорическом процессе **теплота, передаваемая системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии.**

При нагревании газа его внутренняя энергия возрастает ($\Delta U > 0$), а при охлаждении уменьшается ($\Delta U < 0$).

Адиабатический процесс

Во всех рассмотренных выше изопроцессах между системой и окружающей средой происходит теплообмен ($Q \neq 0$). Теперь рассмотрим процесс, который протекает без теплообмена с окружающей средой ($Q = 0$).

Процесс, протекающий в изолированной системе без теплообмена ($Q = 0$) с окружающей средой, называется адиабатическим.

Так как в адиабатическом процессе $Q = 0$, из уравнения (1) можно получить зависимость: $\Delta U + A = 0$ или

$$A = -\Delta U. \qquad (5)$$

При адиабатическом расширении внутренняя энергия газа уменьшается ($\Delta U < 0$), и совершается работа ($A > 0$), то есть работа выполняется за счет внутренней энергии газа. Количество работы соответствует площади, выделенной на диаграмме (рис. 29 *а*).

При адиабатическом сжатии внутренняя энергия возрастает ($\Delta U > 0$), и совершается работа над газом ($A < 0$), то есть внутренняя энергия увеличивается за счет работы, выполненной при сжатии газа внешними силами. Величина выполненной работы соответствует площади, выделенной на диаграмме (рис.29 *б*).

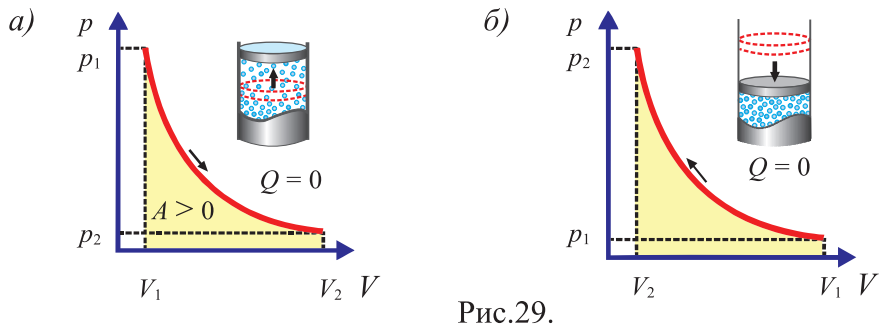


Рис.29.

В адиабатическом процессе изменяются все три макроскопических параметра газа *p, V* и *T*.

Для теплообмена газа с внешней средой требуется определенное время. Если процесс протекает очень быстро (если газ сжимается или расширяется поршнем очень быстро), то при этом теплообмен не успевает произойти и процесс можно считать адиабатическим. Охлаждение газа при адиабатическом расширении и нагревание газа при адиабатическом сжатии наблюдается повсюду. Например, атмосферный воздух, поднимаясь вверх, расширяется и охлаждается, так как с высотой атмосферное давление падает. В результате охлаждения воздуха водяные пары, находящиеся в нем, конденсируются, образуя облака.

1. Как формулируется и выражается первый закон термодинамики ?
2. На что расходуется энергия, переданная системе в изотермическом, в изобарическом и в изохорическом процессах ?
3. Какой процесс называется адиабатическим ? Приведите примеры.
4. Как изменяется внутренняя энергия при адиабатическом расширении газа ?

В природе нет идеальных веществ, абсолютно не проводящие тепло. Поэтому систему невозможно изолировать от окружающих их тел. Но примером адиабатично-изолированной системы может служить обычный термос (рис.30). Ознакомьтесь со строением термоса, изучайте из каких частей он состоят. Объясните причины того, почему в термосе долго сохраняется чай горячим.

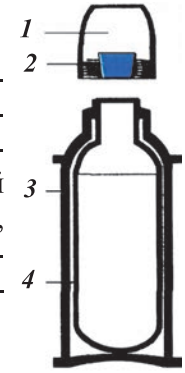


рис.30.

§ 23. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. В цилиндрическом сосуде со свободным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Какое количество теплоты надо сообщить, чтобы газ совершил работу 500 Дж ?

Дано:
p = const
A = 500 Дж.

Найти:
Q = ?

Формула

$Q = \Delta U + A$

$A = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T.$

$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}\frac{m}{M} \cdot R\Delta T.$

Решение

$Q = \frac{5}{2} \cdot 500\,\text{Дж} = 1250\,\text{Дж}.$

Ответ: Q = 1250 Дж.

Тогда количество теплоты в изобарическом процеесе:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}\cdot\frac{m}{M}R\Delta T + \frac{m}{M}R\Delta T = \frac{5}{2}\cdot\frac{m}{M}R\Delta T = \frac{5}{2}\cdot A.$$

Запомните: В изобарическом расширении одноатомного идеального газа 0,4 часть теплоты уходит на выполнение работы, а 0,6 часть-на изменение внутренней энергии: $A = 0{,}4\cdot Q$ и $\Delta U = 0{,}6\cdot Q$.

Задача 2. На сколько поднимается температура 20 г гелия, находящегося в металлическом баллоне, при сообщении ему 2500 Дж теплоты ?

Дано:
$V = \text{const}$
$m = 20$ г
$M = 4$ г/моль
$Q = 2500$ Дж.

Найти:
$\Delta T = ?$

Решение: В изохорическом процессе теплота, передаваемая системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии. Запишем уравнение первого закона термодинамики для этого процесса: $Q = \Delta U = \frac{3}{2}\cdot\frac{m}{M}R\Delta T$. Отсюда находим изменение температуры газа:

$$\Delta T = \frac{2Q\cdot M}{3\cdot m\cdot R}; \qquad [\Delta T] = \frac{\text{Дж}\cdot\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\text{кг}\cdot\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{K}}} = \text{K}.$$

$$\Delta T = \frac{2\cdot 2500\cdot 4\cdot 10^{-3}}{3\cdot 20\cdot 10^{-3}\cdot 8{,}31}\,\text{K} = 40\,\text{K}.$$

Ответ: $\Delta T = 40$ K.

У 17

1. Какая работа совершена над газом, если при изотермическом процессе ему передано количество теплоты, равное 5 кДж ?
2. Как изменяется внутренняя энергия газа, если при изохорическом процессе ему передано количество теплоты, равное 2,8 кДж ?
3. При передаче газу количества теплоты 3,5 кДж его внутренняя энергия увеличилась на 2,1 кДж. Какая работа совершена над газом ?
4. При нормальных условиях газу сообщено количество теплоты и объем газа увеличился на 0,05 м^3. Как изменится внутренняя энергия газа ? Процесс считать изобарическом.
5. Какое количество теплоты необходимо сообщить 25 молям одноатомного газа, находящегося в металличеком баллоне, чтобы поднять его температуру на 20 К ?
6. В цилиндре со свободным поршнем находится одноатомный газ. Давление газа 10^5 Па. Какое количество теплоты надо сообщить, чтобы его объем увеличился на 2 л ?
7. При сообщении одноатомному газу, находящемуся в баллоне, 500 Дж теплоты, его температура поднялась на 40 К. Определите количество вещества газа ?

§ 24. НЕОБРАТИМОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Обратимые и необратимые процессы

Все процессы в природе необратимы. Но существуют такие процессы, которые по своему роду являются очень близкими к обратным явлениям. Например: все механические процессы, которые происходят без трения и без упругих деформаций считаются примерами обратимого процесса. Колебания маятника, подвешенного на подвесе и колебания тела, подвешенного к пружине, являются обратимыми процессами (рис.31).

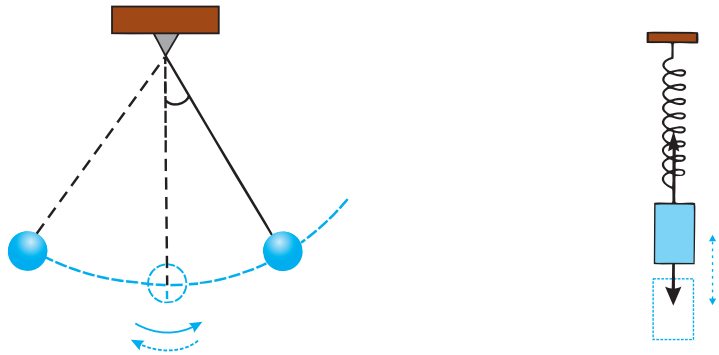


рис.31.

Обратимым термодинамическим процессом называется термодинамический процесс, допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без каких-либо изменений в окружающей среде.

Тепловые же явления отличаются от механических. Все они необратимы. Рассмотрим необратимость процессов на следующих примерах:

1. Нагретые тела постепенно охлаждаются, передавая свою энергию более холодным окружающим телам. Но обратный процесс передачи теплоты от холодного тела к горячему самопроизвольно никогда не происходит.

2. Возьмем два сосуда – один с газом, а второй без газа и соединим их между собой стеклянной трубочкой с краном. Если открыть кран между ними, то какая-то часть газа перейдет в пустой сосуд. В результате давление газа в обоих сосудах установится одинаковым. Газ никогда самопроизвольно не возвратится в первоначальное состояние.

3. Пуля, вылетевшая из ружья ударяясь о препятствие, нагревает и себя, и препятствие. При этом увеличивается их внутренняя энергия. Но обратный процесс превращения внутренней энергии пули и препятствия в механическую, обеспечивающую движение пули - не возможен.

Из этих примеров видно что, все процессы, происходящие в природе, протекают в определенном направлении. В обратном направлении они самопроизвольно протекать не могут.

Необратимым термодинамическим процессом называется процесс, не допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без каких-либо изменений в окружающей среде.

Второй закон термодинамики

Обобщив, представления о необратимых процессов, немецкий ученый Р.Клаузиус сформулировал второй закон термодинамики так:

Невозможно передать теплоту от более холодной системы к более нагретой при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах.

Из второго закона термодинамики можно вывести заключение о необратимости не только процесса теплопередачи, но и других процессов в природе. Важность этого закона заключается именно в этом. Например, невозможно получить процесс обратный старению организма человека.

1. Сформулируйте правило обратимого и необратимого процессов и объясните различия между тепловыми и механическими процессами.
2. Приведите примеры необратимых тепловых процессов.
3. Дайте определение второго закона термодинамики для необратимых процессов

§ 25. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. СРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ ПРИ СМЕШИВАНИИ ВОДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

Цель работы: проверка справедливости уравнения теплового баланса при смешивании воды с различными температурами.

Необходимое оборудование: два сосуда емкостью *1л*, термометр, мензурка, горячая и холодная вода.

Порядок выполнения работы

1. При помощи мензурки налейте в стакан горячую воду массой m_1 и измерьте ее температуру t_1.

2. При помощи мензурки налейте в другой стакан холодную воду массой m_2 и измерьте ее температуру t_2.

3. Налейте горячую воду из второго стакана в стакан с холодной водой и измерьте термометром температуру t смеси.

4. Вычислите по формуле $Q_1 = cm_1(t_1 - t)$ количество теплоты, отданное горячей водой; здесь c – удельная теплоемкость воды.

5. Вычислите по формуле $Q_2 = cm_2(t - t_2)$ количество теплоты, полученное холодной водой.

6. Измените массы, смешиваемой горячей и холодной воды и повторите работу три раза в соответствии в пунктами 1–5.

7. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.

№	m_1, кг	t_1, °C	m_2, кг	t_2,°C	t, °C	c, Дж/кг· K	Q_1, Дж	Q_2, Дж
1								
2								
3								



1. Сравните значения количества теплоты Q_1 и Q_2, полученные в результате измерений и расчетов. Почему должно выполняться условие $Q_1 = Q_2$?

2. Почему в формуле количества теплоты вместо разности абсолютных температур можно использовать разность температур, измеряемых по шкале Цельсия ?

ТЕСТЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ II

1. Как уменьшится внутренняя энергия 4 моль аргона при понижении температуры от 30 °C до −70 °C ?

A) на 5 кДж; B) на 2,5 кДж; C) в 1,5 раза; D) в 3 раза.

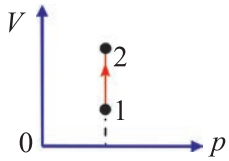
2. Объем одноатомного идеального газа 2 м^3, а внутренняя энергия 3000 Дж. Найдите давление газа (Па)?

A) 1000; B) 500; C) 800; D) 1500.

3. Определите массу гелия температурой 30 °C и внутренней энергией 3030 Дж (г).

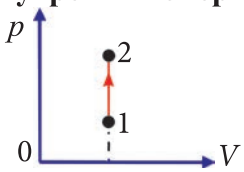
A) 2,2; B) 3,2; C) 10; D) 4,8.

4. Как изменится внутренняя энергия идеального газа в процессе, изображенном на графике ?



A) уменьшится;
B) увеличится;
C) не изменится;
D) в начале увеличится, затем уменьшится.

5. Газ перешел из состояния 1 в состояние 2. Как изменилась его внутренняя энергия ?



A) не изменилась;
B) уменьшилась;
C) увеличилась;
D) в начале уменьшилась, затем увеличилась.

6. Как изменится внутренняя энергия одноатомного газа, если уменьшить давление на 25 % и увеличить объем на 60 % ?

A) уменьшится в 1,4 раза; B) увеличится в 1,2 раза;
C) увеличится в 1,8 раза; D) уменьшится в 1,6 раза.

7. От чего зависит теплоемкость тела ?

A) от количества теплоты; B) от массы вещества;
C) от начальной температуры ; D) от рода вещества.

8. Смешали 1 кг воды при 10 °C и 200 г кипятка. Определите температуру смеси (°C).

A) 35; B) 45; C) 40; D) 25.

9. Сколько кг холодной воды температурой 20 °C потребуется добавить в горячую воду массой 8 кг и температурой 90 °C для приготовления смеси температурой 30 °C ?

A) 40; B) 24; C) 48; D) 16.

10. Вода падает с высоты 210 м. На сколько повысит температуру воды, если 70 % работы силы тяжести идёт на нагрев воды (K) ?

A) 4,2; B) 2,1; C) 0,6; D) 0,35.

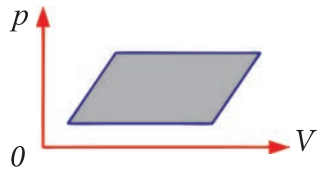
11. В каком процессе газ не выполняет работу ?

A) в изохорическом; B) в изобарическом;
C) в изотермическом; D) в адиабатическом.

12. Укажите единицу измерения произведения $p\,\Delta V$.

A) джоуль; B) паскаль ; C) литр; D) моль.

13. Какой физический смысл закрашенной площади на рисунке ?



A) равна выполненной работе;
B) равна изменению температуры;
C) равна изменению давления;
D) нет физического смысла.

14. Объем газа, находящегося под давлением 10^5 Па, изобарно увеличился от 300 см^3 до 500 см^3. Определите работу совершенную газом при расширении.

A) 10; B) 20; C) 50; D) 200.

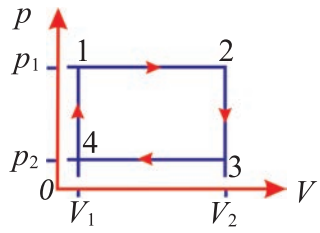
15. При изобарическом нагревании кислорода на 14 К совершается работа 8310 Дж. Найдите массу кислорода (кг).

A) 2; B) 3,2; C) 1,6; D) 0,32.

16. Какая работа совершается при изобарическом нагревании 5 молей газа на 20 К (Дж).

A) 830; B) 1000; C) 420; D) 560.

17. Найдите по графику работу идеального газа, совершенную за один цикл.



A) $(p_1 - p_2)\,(V_2 - V_1)$;
B) $p_1\,(V_2 - V_1)$;
C) $p_2\,(V_2 - V_1)$;
D) $(p_2 - p_1)\,V_2$.

18. При изобарическом нагревании газа его объем увеличился на 40 %. Какую работу совершает газ над внешними силами ?

A) 40 pV; B) 4 pV; C) 0,6 pV; D) 0,4 pV.

19. Что характеризует первый закон термодинамики ?

A) закон сохранения механической энергии;
B) энергию упругой деформации;
C) тепловое равновесие;
D) закон сохранения энергии.

20. Как изменится внутренняя энергия газа при изотермичеком сжатии ?

A) увеличится; C) не изменится;
B) уменьшится; D) внутренняя энергия может быть произвольной.

21. Как выражается первый закон термодинамики для адиабатического процесса? Выберите правильный ответ.

A) $Q = \Delta U + A$; B) $Q = \Delta U$; C) $A + \Delta U = 0$; D) $Q = \Delta U - A$.

22. В вертикальном цилиндре под поршнем находится одноатомный идеальный газ. Какая работа совершится при передаче газу 375 Дж теплоты (Дж) ?

A) 300; B) 240; C) 200; D) 150.

23. В вертикальном цилиндре под поршнем находится одноатомный идеальный газ. Как изменится внутренняя энергия при передаче газу 750 Дж теплоты (Дж) ?

A) 500; B) 450; C) 300; D) 250.

24. В цилиндре со свободном поршнем находится одноатомный газ. Давление газа $1{,}5 \cdot 10^5$ Па. Какое количество теплоты надо сообщить этому газу чтобы его объем увеличился на 2 л (Дж) ?

A) 1662; B) 500; C) 750; D) 150.

25. Продолжите фразу: в адиабатическом процессе ...

A) *V, T* и p переменные и отсутствует теплообмен с внешней средой;
B) *V* и *T* переменны, *p* постоянное;
C) *p* и *T* переменны, *V* постоянный;
D) *p* и *V* переменны, *T* постоянная.

26. При адиабатическом сжатии газ совершил работу 50 МДж. Как изменится внутренняя энергия газа при этом ?

A) равна 0; B) увеличится на 50 МДж;
C) уменьшится на 50 МДж; D) увеличится на 25 МДж..

27. При нагревании одноатомного газа его объем увеличился на 0,05 м^3. На сколько увеличилась его внутренняя энергия, если давление газа 10^5 Па (кДж) ?

A) 7,5; B) 5,5; C) 7; D) 12.

28. Какая работа совершается при изобарном нагревании 580 г воздуха на 40 К (Дж) ? Молярная масса воздуха равна 29 г/моль.

A) 6648; B) 4564; C) 2050; D)1518.

29. Как изменится внутренняя энергия гелия массой 100 г, при повышении его температуры на 8 К (Дж) ?

A) 3408; B) 4546; C) 4028; D) 2493.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ II

Внутренняя энергия	Сумма кинетических и потенциальных энергий всех молекул равна внутренней энергии этого тела (вещества), то есть: $U = E_K + E_n$
Внутренняя энергия идеального газа	Внутренняя энергия одноатомного идеального газа $U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}pV$
Термодинамическая работа	При изменения объема газом выполняется работа против внешних сил. Эта работа называется **термодинамической работой.** Работа, выполняемая при изобаричеком процессе определяется по формуле: $A = p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T$
Универсальная газовая постоянная	Универсальная газовая постоянная численно равна работе, выполненной при нагревании 1 моля вещества на 1 °C.
Теплопередача	Процесс изменения внутренней энергии вещества при теплообмене называется теплопередачей.
Количество теплоты	Энергия, переданная телу или отданная им в процессе теплообмена, называется количеством теплоты.
Вычисление количества теплоты, отданной или полученной телом	Если в процессе теплопередачи температура тела изменится от t_1 до t_2, то количество теплоты, отданное или полученное телом (веществом), можно определить: $Q = mc(t_2 - t_1)$
1 калория (1*кал*)	За 1 калорию принято количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г дистиллированной воды на 1 °C.
Удельная теплоемкость вещества	Количество теплоты, необходимое 1 кг вещества для изменения его температуры на 1 °C, называется удельной теплоемкостью этого вещества.

Уравнение теплового баланса	Количество теплоты, отданное системой равна количеству теплоты, полученной системой $Q_1 + Q_2 + ... + Q_n = Q'_1 + Q'_2 + ... + Q'_n$ здесь Q_1, Q_2, ... Q_n – количествотеплоты, отданноесистемой, Q'_1, Q'_2, ... Q'_n – количество теплоты, полученное системой.
Удельная теплота сгорания топлива	Физическая величина, показывающая какое количество теплоты, выделяется при полном сгорании 1 кг топлива, называется удельной теплотой сгорания топлива. Удельная теплота сгорания топлива обозначается буквой q.
Количество теплоты Q, выделяющееся при полном сгорании топлива	Количество теплоты Q, выделяющееся при полном сгорании топлива, определяется путем умножения удельной теплоты сгорания q на массу m полностью сгоревшего топлива: $Q = q \cdot m$
Первый закон термодинамики	Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии системы и на выполнение работы против внешних сил: $Q = \Delta U + A$
Первый закон термодинамики для изотермического процесса	Если температура идеального газа постоянна, то его внутренняя энергия также не изменяется и $\Delta U = 0$. Для этого случая первый закон термодинамики выражается в виде: $Q = A$. В изотермическом процессе теплота, передаваемая идеальному газу, расходуется на совершение работы самой системой.Если в изотермическом процессе газ получает теплоту $(Q > 0)$, он расширяется на объёма ΔV и совершает положительную работу $(A > 0)$. Если же газ отдает теплоту во внешнюю среду $(Q < 0)$, то выполняется отрицательная работа $(A < 0)$. При этом внешняя система выполняет работу над газом.

Первый закон термодинамики для изобарического процесса	При постоянном давлении газ совершает работу $A = p\Delta V$. В этом случае первый закон термодинамики выражается в виде: $Q = \Delta U + p\Delta V$. В изобарическом процессе теплота, передаваемая системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии и совершение работы при постоянном давлении самой системой.
Первый закон термодинамики для изохорического процесса	В изохорическом процессе ($\Delta V = 0$) $A = p\Delta V = 0$, то есть работа не совершается. Для этого случая первый закон термодинамики выражается в виде $Q = \Delta U$. В изохорическом процессе теплота, передаваемая системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии.
Адиабатический процесс	Процесс, протекающий в изолированной системе без теплообмена ($Q = 0$) с окружающей средой, называется адиабатическим. В адибатическом процессе изменяется все три параметры газа p, V и T.
Адиабатическое расширение газа	При адиабатическом расширении газа совершается положительная работа, то есть газ выполняет работу над внешними силами, внутренняя энергия и давление газа уменьшается.
Адиабатическое сжатие газа	При адиабатическом сжатии совершается отрицательная работа, то есть над газом выполняется работа внешних сил, внутренняя энергия и давление газа увеличивается.
Обратимый процесс	Обратимый термодинамическим процессом называется термодинамический процесс, допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без каких-либо изменений в окружающей среде.
Необратимый процесс	Необратимым термодинамическим процессом называется процесс, не допускающий возможность возвращения системы в первоначальное состояние без каких-либо изменений в окружающей среде.
Второй закон термодинамики	Невозможно передать теплоту от более холодной системы к более нагретой при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах.

ГЛАВА III
ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

§ 26. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Большинство двигателей, применяемых в промышленности и в быту, являются тепловыми двигателями. Имеются несколько видов тепловых двигателей: двигатели внутреннего сгорания, дизельные двигатели и реактивные двигатели.

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

Двигатель внутреннего сгорания

Двигатель внутреннего сгорания – это самый распространенный тепловой двигатель. В двигателе внутреннего сгорания топливо сжигается внутри цилиндра. Поэтому его называют двигателем внутреннего сгорания. Двигатели внутреннего сгорания работают с жидким горючим (бензин, керосин) и газообразным топливом (метан, пропан, октан). На рисунке 32 показан самый простой (одноцилиндровый) двигатель в разрезе. Находящийся внутри цилиндра (1) поршень (2), двигается вверх и вниз. Поршень внутри цилиндра крепится к шатуну (4), который соединяет его с коленчатым валом (3). В верхней части цилиндра установлена свеча зажигания (5). При движении поршня вверх, открывается клапан (6) и всасывается горючая смесь (бензин и воздух); свеча мгновенно воспламеняет горючую смесь от электрической искры. Воспламенение горючей смеси над поршнем образует газы температурой 1600 – 1800^{0}C. В результате давление над поршнем резко возрастает и газ перемещает поршень вниз. Газ разширяясь, совершает работу, открывает клапан (7), через который отработанные продукты сгорания выходят в атмосферу. Для того чтобы двигатели работали беспрерывно, необходимо обеспечить периодическое сгорание го-

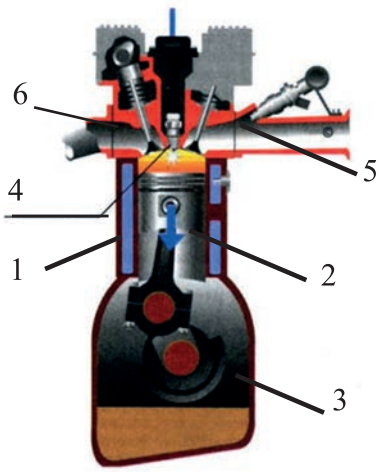


рис.32.

рючей смеси. Двигатели внутреннего сгорания с инжектором установлены в легковых автомобилях NEXIA, JENTRA, MATIZ выпускаемых в нашей стране (рис.33).





рис.33.

Дизельные двигатели

В 1893 году немецкий инженер ***Рудольф Дизель***, создал двигатель с относительно высоким коэффициентом полезного действия (КПД). В дизельных двигателях нет свечи зажигания. Степень сжатия воздуха, находящегося над поршнем намного больше, чем в инжекторных (карбюраторных) двигателях. Температура газа, находящегося внутри цилиндра, в результате быстрого сжатия резко повышается. В этот момент специальная форсунка впрыскивает в цилиндр жидкость, воспламеняющую горючее (рис.34). В грузовых машинах и микроавтобусах “MAN», выпускаемых в нашей стране, установлены дизельные двигатели (рис.35).

форсунка



рис.34.



рис.35.

Реактивные двигатели

Реактивные самолеты и космические ракеты движутся с помощью реактивных двигателей. Реактивные двигатели состоят из бака с горючим, камеры сгорания и сопла. На рисунке 36 показана схема устройство реактивного двигателя.



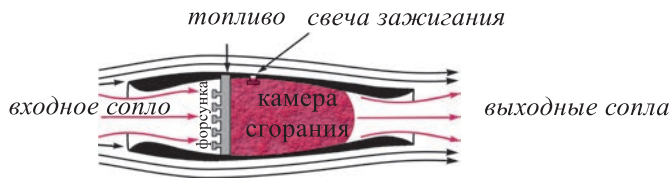


рис.36.

У реактивных двигателей космических кораблей горючее и рабочая смесь находятся внутри двигателя. Поэтому принцип его работы не зависит от окружающей среды.

1. Объясните принцип работы двигателя внутреннего сгорания.
2. Чем отличается принцип работы дизельных двигателей от принципа работы инжекторных двигателей ?
3. Объясните принцип работы реактивных двигателей.

§ 27. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Во всех тепловых двигателях рабочим телом (тело выполняющее работу) является газ, совершающий работу при расширении. Любые тепловые двигатели состоят из нагревателя, холодильника и рабочего тела (газ). Нагреватель температурой T_1 отдает теплоту Q_1, а холодильник температурой T_2 получает теплоту Q_2 (рис.37).

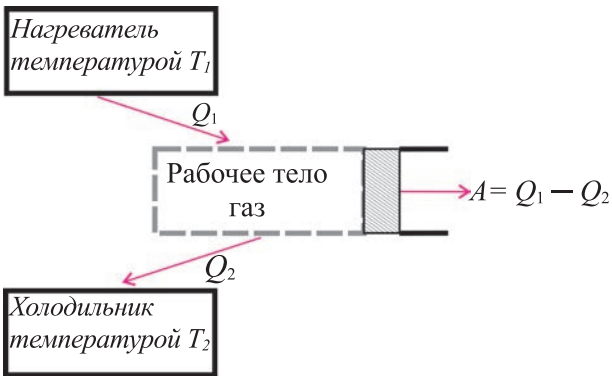


рис.37.

Принцип работы тепловых двигателей:

1. Во всех тепловых двигателях внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.
2. Для работы тепловых двигателей обязательно должна существовать разность температур нагревателя и холодильника.
3. Работа любого двигателя заключается в повторении циклов изменения состояния рабочего тела (например: газа).

Четырехтактный цикл работы идеального теплового двигателя, впервые описан французским инженером Сади Карно. Цикл работы этого двигателя состоит из двух изотерм и двух адиабат (рис.38).

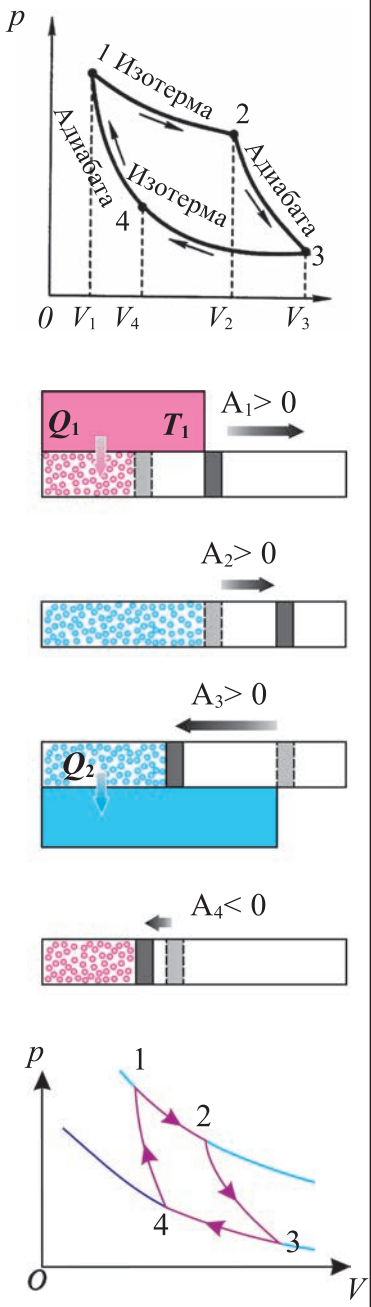


рис.38.

Обозначим через T_1 начальную температуру рабочего тела (газа), находящегося в состоянии 1. Газ, расширяясь изотермически, переходит в состояние 2. При этом газ получает от нагревателя теплоту Q_1 и выполняет работу A_1 против внешних сил.

В результате перехода в состояние 2 газ отсоединяется от контакта с нагревателеми появляется возможность адиабатического расширения газа, где рабочего тело переходит в состояние 3. При этом за счет своей внутренней энергии газ выполняет работу A_2 против внешних сил. Совершая работу, уменьшается внутренняя энергия газа и в результате его температура уменьшается от T_1 до T_2. Эта температура намного больше температуры окружающей среды.

После перехода газа в состояние 3 между газом и холодильником температуры T_2 возникает контакт. При переходе из состояния 3 в состояние 4, газ сжимается изотермически, вследствие чего, внешние силы сжимают газ и выполняют работу A_3, а рабочее тело отдаёт тепло Q_2 холодильнику.

Достигнув состояния 4, рабочее тело отсоединяется от холодильника и сжимается адиабатически под действием внешней силы без теплообмена с окружающей средой. При этом его температура увеличивается до температуры нагревателя, и над телом совершается работа.

Полезная работа теплового двигателя, работающего по циклу Карно, определяется по формуле: $A_{пол} = Q_1 - Q_2$. Здесь Q_1 – теплота, переданная нагревателем, Q_2 – теплота, полученная холодильником.

Коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя

Отношение полезной работы $A_{пол}$ двигателя к количеству теплоты Q_1 полученной от нагревателя, называется коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя

$$\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% \qquad (1)$$

Во всех двигателях определенная часть теплоты передаются холодильнику, так как КПД $\eta < 1$ (КПД выражается в %) современных тепловых машин составляет ~ 40%, а карбюраторных двигателей составляет 25–30 %.

Законы термодинамики дают возможность вычисления значений КПД тепловых двигателей, состоящих из нагревателя и холодильника температурами T_1 и T_2. Такие расчёты впервые провел французский инженер - Сади Карно. КПД теплового двигателя вычисляется по формуле:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% \qquad (2)$$

Итак, КПД идеальных тепловых машин прямо пропорционален разности температур нагревателя и холодильника. Для увеличения КПД тепловых машин, необходимо увеличить температуру нагревателя и уменьшить температуру холодильника. Если разность температур нагревателя и холодильника $T_1 - T_2 = 0$, то двигатель работать не может.

1. Каково значение нагревателя, холодильника и рабочего тела в тепловых двигателях ?
2. Из каких процессов состоит цикл Карно ?
3. Объясните принцип работы по циклу Карно.
4. Как определяется полезная работа тепловых машин ?
5. Как вычисляется коэффициент полезного действия двигателя ?

Внешний вид двигателя внутреннего сгорания, разработанный в компании «GENERAL MOTORS», действующей в нашей стране.



§ 28. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Тепловая машина за цикл получает от нагревателя количество теплоты 600 Дж и выполняет работу 600 Дж. Найдите КПД машины.

Дано:
$A = 600$ Дж
$Q_2 = 600$ Дж

Найти:
$\eta = ?$

Решение: Полезная работа теплового двигателя, работающего по циклу Карно, определяется по формуле: $A = Q_1 - Q_2$. Также, КПД теплового двигателя определяется отношением полезной работы $A_{пол}$ двигателя к количеству теплоты Q_1 полученное от нагревателя: $\eta = \frac{A}{Q_1}$.

Следовательно: $\eta = \frac{A}{A+Q_2} \cdot 100\ \% = \frac{600\text{Дж}}{600\text{Дж}+600\text{Дж}} \cdot 100\ \% = 50\ \%.$

Ответ: $\eta = 50\ \%$.

Задача 2. В паровую турбину поступает пар при температуре 480 °С и выходит из неё при температуре 130 °С. Определите КПД турбины.

Дано:
$t_1 = 480$ °С,
$T_1 = t_1 + 273 = 753$ К
$t_2 = 130$ °С,
$T_2 = t_2 + 273 = 403$ К

Найти:
$\eta = ?$

Решение: Вычислим КПД теплового двигателя (паровой турбины), температура нагревателя и охладителя соответственно равны T_2 и T_1 по формуле:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{753K - 403K}{753K} \cdot 100\ \% \approx 46{,}5\%$$ **Ответ:** $\eta \approx 46{,}5\ \%$.

Задача 3. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 237 °С, холодильника 67 °С. Определите работу, совершаемую за один цикл, если рабочее тело за цикл получает от нагревателя 1800 Дж энергии ?

Дано:
$t_1 = 237$ °С,
$T_1 = t_1 + 273 = 510$ К
$t_2 = 67$ °С,
$T_2 = t_2 + 273 = 340$ К
$Q_1 = 1800$ Дж

Найти: $A = ?$

Решение: запишем:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1) \qquad \eta = \frac{A}{Q_1}. \quad (2)$$

Из этих выражений получаем формулу работы, совершаемую двигателем: $A = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1$ $\qquad A = \frac{510K - 340K}{510K} \cdot \text{Дж} = 600\ \text{Дж}$

Ответ: $A = 600$ Дж.

У 18

1. Рабочее тело (газ) получил от нагревателя количество теплоты - 840 Дж. Какую работу совершает газ, если КПД теплового двигателя равен 30 % ?
2. Температура нагревателя 477 °С, холодильника 27 °С. Чему равен КПД теплового двигателя ?
3. Какой должна быть температура нагревателя, чтобы КПД был равен 62,5 %? Температура холодильника 300 К.
4. Какова полезная работа идеального теплового двигателя, если за цикл он получает от нагревателя 1300 Дж тепла ? Температура нагревателя 127 °С, а холодильника 7 °С.
5. Тепловая машина с КПД 40% за цикл отдает холодильнику 63 кДж теплоты. Какую работу совершает эта машина за один цикл ?
6. В идеальном тепловом двигателе температура холодилника 62 °С, а КПД теплового двигателя 50 %. Найдите разность температур нагревателя и холодильника ?
7*. Отношение температур нагревателя и холодильника в тепловой машине, работающий по циклу Карно, равно 5. Какое количество теплоты, получено от нагревателя за цикл, если холодильнику передано 180 кДж ?
8*. В идеальном тепловом двигателе температура нагревателя 327 °С, а холодильника 127 °С. На сколько необходимо повысить температуру нагревателя, для того чтобы КПД двигателя увеличился в 2 раза ?

§ 29. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ОХРАНА ПРИРОДЫ

Современную жизнь человека невозможно представить без тепловых машин. Легковые машины разных марок, автобусы, корабли, поезда, самолеты и другие транспортные средства, движутся с помощью тепловых двигателей.

Тепловые машины движутся за счет сгорания внутри них топлива. В тепловых машинах в качестве топлива используются бензин, керосин, жидкий пропан и метан. Наблюдая полет самолета, движение машины, можно увидеть выделение газов в виде дыма из двигателя. При сгорании топлива в двигателях внутреннего сгорания, часть ее выходит в виде дыма. Эти газы вредны для организма человека и сильно загрязняют природу. Кроме того, в настоящее время мощность, потребляемая двигателями во всем мире, достигла 10^{10} кВт. Когда значение потребляемой мощности достигнет $3 \cdot 10^{12}$ кВт, то средняя температура на Земле повысится примерно на 1 °С. Дальнейшее повышение температуры может создать угрозу таяния крупных ледников и повышения уровня воды в океанах. В результате появится опасность для городов и сел, для плодородных полей, которые находятся на берегах морей и океанов.

День за днем увеличивается число тепловых двигателей на нашей планете. По статистике в них сжигают до 2 миллиардов тонн угля и 1 миллиарда тонн нефти. В результате в атмосферу выбрасывается 120 миллионов тонн золы и 60 миллионов тонн ядовитых газов. Увеличение количества тепловых двигателей ставит серьезную проблему перед обществом – охрана окружающей среды.

Большая часть вырабатываемой энергии в нашей стране получается за счет топлива. Даже тепловые станции не могут работать без топлива. Ежедневно на этих станциях тоннами сжигается топливо, и ядовитые газы распространяются в окружающей нас среде. Наше Государство не безразлично к возникновению таких экологических проблем. Одним из правильных решений такой проблемы в нашей Республике является использование солнечной энергии. Число солнечных дней в нашей стране значительно больше, чем в других стран.

В сельских местностях на строющихся современных домах устанавливаются и используются солнечные батареи.

В повседневной жизни, помимо тепловых машин, мы пользуемся и холодильными машинами (морозильники, холодильники). Число их тоже растет. В этих устройствах в качестве рабочего тела используется специальная жидкость – фреон. Насколько не была бы герметичной система охладительных машин, все равно в атмосферу, хоть и в малом количестве, испаряется фреон. Ежегодно в атмосфере повышается концентрация паров фреона.

Из курса географии вам известно, что часть атмосферы на высоте 25-30 км над земной поверхностью составляет слой озона (O_3). Озоновый слой защищает живые существа на земле от воздействия излучений, сверхмалой длиной волны. При повышении в составе атмосферы количества паров фреона, разрушается озоновый слой и появляется дыра. Излучения сверхмалых длин волн, проходящих через озоновые дыры, разрушают живые организмы и негативно влияют на жизнь нашей Земли. В целях решения этой проблемы, ученые ведут научные исследования по поводу замены фреона другими жидкостями.

Итак, делая вывод, можно сказать, что тепловые двигатели дают огромные возможности человечеству, но они отрицательно влияют на земную атмосферу и окружающий нас мир.



1. Какая часть энергии в нашей стране вырабатывается на электростанциях с тепловыми двигателями ?
2. Какие меры принимаются в автомобильной промышленности в целях охраны окружающей среды ?
3. Каковы отрицательные последствия применения тепловых двигателей ?

§ 30. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Найдите КПД двигателя трактора, который достигает мощности 60 кВт и расходует в час 18 кг дизельного топлива. Удельная теплота сгорания дизельного топлива 42 МДж/кг.

Дано:

$P = 60$ кВ $= 60 \cdot 10^3$ Вт
$t = 1$ час $= 3{,}6 \cdot 10^3$ с
$m = 18$ кг
$q = 42 \cdot 10^6$ Дж/кг

Найти:
$\eta = ?$

Решение: Запишем формулу, полезной работы через мощность и время $A_{пол} = P \cdot t$. При сгорании топлива массой m выделяется количества теплоты равен $Q = mq$.
Количества теплоты можно принять как теплоту, отданную нагревателем $Q_1 = m \cdot q$ или как общую работу, выполняемую нагревателем:
$A_{об} = m \cdot q$.
Тогда КПД двигателя:

$$\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} \cdot 100\ \% = \frac{P \cdot t}{m \cdot q} \cdot 100\ \%. \qquad [\eta] = \left[\frac{A_{пол}}{Q_1}\right] = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}} = 1.$$

$$\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} \cdot 100\ \% = \frac{P \cdot t}{m \cdot q} \cdot 100\ \% = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 3{,}6 \cdot 10^3}{18 \cdot 42 \cdot 10^6} \cdot 100\ \% = 28{,}6\ \%.$$

Ответ: $\eta = 28{,}6$ %.

Задача 2. На сколько градусов повысится температура воды массой 3 кг во время сгорания в печи 42 грамм керосина ? КПД печи 30 %, удельная теплота сгорания керосина 46 МДж/кг.

Дано:

$m_1 = 42$ г $= 42 \cdot 10^{-3}$ кг
$m = 3$ кг
$q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг
$\eta = 0{,}3$
$c = 4200 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$

Найти:
$\Delta t = ?$

Решение: $A_{пол} = Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. Также, при сгорании топлива массой m_1 выделятся количества теплоты:
$Q_1 = m_1 \cdot q$.
Коэффициент полезного действия устройства равен:

$$\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t}{m_1 \cdot q}.$$

$$\Delta t = \frac{\eta \cdot m_1 \cdot q}{m \cdot c} \qquad [\Delta t] = \frac{1 \cdot \text{кг} \cdot \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}}}{\text{кг} \cdot \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}} = {}^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t = \frac{\eta \cdot m_1 \cdot q}{m \cdot c} = \frac{0{,}3 \cdot 42 \cdot 10^{-3} \cdot 46 \cdot 10^6}{3 \cdot 4{,}2 \cdot 10^3} = 46\ {}^\circ\text{C}.$$

Ответ: $\Delta t = 46\ {}^\circ$C.

Задача 3. При прохождении автомобилем 100 км пути израсходовано 10 л бензина. Определите механическую мощность автомобиля при скорости 90 км/ч. КПД двигателя 30 %, плотность бензина ρ = 0,7 г/см^3, удельная теплота сгорания бензина q = 46 МДж/кг.

Дано:
s = 100 км = 10^5 м
υ = 90 км/ч = 25 м /с
V = 10 л = $10 \cdot 10^{-3}$ м^3
ρ_b = 0,7 г/см^3 = 700 кг/м^3
$q = 46 \cdot 10^6$ Дж/кг
η = 0,3

Найти:
P = ?

Решение: При решении этой задачи выполним последовательно следующие действия.
1) найдем время движения t автомобиля, если он двигался со скоростью υ на пути s: $t = \frac{s}{\upsilon}$.
2) Определим массу топлива $m = \rho \cdot V$.
3) Вычислим количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива $Q_1 = m_1 \cdot q$.
Коэффициент полезного действия устройства равен: $\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} = \frac{P \cdot t}{m \cdot q} = \frac{P \cdot s}{\rho \cdot V \cdot q \cdot \upsilon}$. Отсюда:

$$P = \frac{\eta \cdot \rho \cdot V \cdot q \cdot \upsilon}{s}.$$

$$[P] = \frac{1 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot m^3 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \frac{m}{\text{с}}}{m} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

$$P = \frac{\eta \cdot \rho \cdot V \cdot q \cdot \upsilon}{s} = \frac{0{,}3 \cdot 7 \cdot 10^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 46 \cdot 10^6 \cdot 25}{10^5} = 24150 \text{ Вт}.$$

Ответ: P = 24150 Вт = 24,15 кВт

У 19

1. При нагревании в печи 60 кг стали до 1400 °С,было израсходовано 4,6 кг специального топлива. Найдите КПД печи. Удельная теплоемкость стали 460 Дж/кг·К, удельная теплота сгорания топлива 30 МДж/кг.
2. Через какое время закипят 2 л воды температурой 31 °С в нагревателе, потребляющем в минуту 4 г керосина? КПД нагревателя 35 %, удельная теплота сгорания керосина 46 МДж/кг.
3. Сколько кг бензина расходуется автомобилем при прохождении 2 км пути со скоростью 72 км/ч ? Мощность автомобиля 23 кВт, КПД 25 % , удельная теплота сгорания бензина 46 МДж/кг.
4. Сколько топлива расходуется дизельным двигателем мощностью 50 кВт за 3 часа, если его КПД равен 34 % ? Удельная теплота сгорания дизельного топлива 42 МДж/кг.
5. В идеальной тепловой машине газ отдает холодильнику 60 % теплоты, полученной от нагревателя. Какова температура холодильника, если температура нагревателя 227 °С ?

6. Абсолютная температура нагревателя идеальной тепловой машины в три раза выше температуры ее холодильника. Какую работу совершает газ при получении от нагревателя 30 кДж теплоты ?

7*. Двигатель мотороллера при скорости 60 км/ч достигает мощности 3,5 кВт. Какой путь пройдет мотороллер, расходуя 3,6 л бензина при КПД двигателя равным 25 % ? Удельная теплота сгорания бензина 46 МДж/кг, плотность бензина 0,7 г/см^3.

8*. При прохождении автомобилем 46 км пути со скоростью 108 км/ч. За время движения израсходовано 5 кг бензина. Определите полезную мощность двигателя, если КПД 24 %, удельная теплота сгорания бензина равна $4{,}6 \cdot 10^7$ Дж/кг.

ТЕСТЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ III

1. Кто теоретически рассчитал КПД идеальной тепловой машины ?

A) Больцман; B) Цельсий; C) Кельвин; D) Карно.

2. Какую работу совершает тепловой двигатель с коэффициентом полезного действия η, получая от нагревателя количество теплоты Q_1 ?

A) $(1-\eta)Q_1$; B) $(1+\eta)Q_1$; C) ηQ_1; D) Q_1/η.

3. Идеальный тепловой двигатель получает от нагревателя теплоту 0,8 МДж и отдает холодильнику 0,3 МДж теплоты. Вычислите максимальный КПД теплового двигателя (%).

A) 50; B) 62,5; C) 83,5; D) 30.

4. Тепловая машина, отдавая холодильнику 29 кДж теплоты, совершает за цикл работу 21 кДж. Определите КПД тепловой машины.

A) 30 %; B) 40 %; C) 42 %; D) 52 %.

5. Во сколько раз температура нагревателя должна быть больше температуры холодильника, чтобы КПД идеальной тепловой машины составлял 75 % ?

A) 4; B) 3; C) 5; D) 2.

6. Тепловая машина с КПД 40 % выполняет за цикл работу 34 кДж. Какое количество теплоты она отдает холодильнику (кДж) ?

A) 28; B) 42; C) 51; D) 63.

7. КПД тепловой машины - 25 %. Чему равна ее полезная работа, если она получает от нагревателя 400 Дж теплоты (Дж) ?

A) 200; B) 100; C) 300; D) 400.

8. Тепловой двигатель отдает холодильнику одну третью часть количества теплоты, полученного от нагревателя. Определите КПД двигателя (%).

A) 33; B) 54; C) 67; D) 60.

9. Каков КПД идеальной тепловой машины, если температура холодильника равна одной четвертой части температуры нагревателя ? (%).

A) 25; B) 30; C) 75; D) 54.

10. Чему равен КПД идеальной тепловой машины, если температура нагревателя в 2 раза больше температуры холодильника ?

A) 30 %; B) 40 %; C) 50 %; D)67 %.

11. Температура нагревателя тепловой машины 500 K, холодильника 250 K. За один цикл рабочее тело получает от нагревателя 6000 Дж теплоты. Определите работу, совершаемую за цикл (Дж).

A) 1200; B) 1500; C) 300; D) 3000.

12. Идеальный тепловой двигатель с КПД 40 % получает от нагревателя 10 кДж теплоты. Чему равно количество теплоты, принимаемого холодильником (кДж) ?

A) 7; B) 6; C) 3; D) 3,5.

13. Сколько топлива (кг) расходует дизельный двигатель мощностью 42 кВт за 3 часа, при КПД равным 20 % ? Удельная теплота сгорания дизельного топлива 42 МДж/кг.

A) 20; B) 21; C) 28; D) 54.

14. Для нагревания в котле 3600 л воды сожгли 42 кг угля. До какой температуры нагрелась вода, если ее начальная температура была 10 °C, а тепловая отдача топки 30 % ? Удельная теплоёмкость 4200 Дж/кг·K, удельная теплота сгорания угля 30 МДж/кг.

A) 35 °C; B) 50 °C; C) 60 °C; D) 70 °C.

15. При сгорании сухих дров (m_2) и природного газа (m_1) выделяется одинаковое количество теплоты. Каково соотношение между их массами ? Удельная теплота сгорания сухих дров 10^7 Дж/кг, а природного газа $4 \cdot 10^7$ Дж/кг.

A) $m_2 = 2\, m_1$; B) $m_1 = m_2$; C) $m_1 = 4\, m_2$; D) $m_2 = 2\, m_1$.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III

Тепловой двигатель	Тепловым двигателем называют устройство, превращающее тепловую энергию в механическую.
Виды тепловых двигателей	Двигатели внутреннего сгорания, дизельные двигатели и реактивные двигатели.
Принцип работы тепловых двигателей	1. Во всех тепловых двигателях внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию. 2. Для работы тепловых двигателей обязательно должна существовать разность температур нагревателя и холодильника. 3. Работа любого двигателя заключается в повторении циклов изменений состояния рабочего тела (например: газа).
Превращения энергии в тепловых двигателях	Во всех тепловых двигателях внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию
Цикл Карно	Цикл Карно для идеальных тепловых двигателей состоит из двух изотерм и двух адиабат.
Полезная работа, совершаемая в тепловых машинах	Полезная работа теплового двигателя, работающего по циклу Карно, вычисляется по формуле: $A_{пол} = Q_1 - Q_2$. Здесь Q_1 – количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику.
Коэффициент полезного действия тепловых машин (КПД)	Отношение полезной работы $A_{пол}$ двигателя к количеству теплоты Q_1, полученное от нагревателя, называется коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя: $\eta = \frac{A_{пол}}{Q_1} 100\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} 100\%.$
Коэффициент полезного действия идеальных тепловых машин (КПД)	$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%.$

ГЛАВА IV
СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

§ 31. СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

Текучесть жидкости

Молекулы газа находятся на очень большом расстоянии друг от друга по сравнению с их размерами, и силой взаимного притяжения молекул газа можно пренебречь. Так как силы взаимного притяжения молекул газа малы, молекулы газа могут удаляться друг от друга, то есть газ расширяется. Именно поэтому газы не имеют свободную поверхность.

В отличие от газов, в жидкостях молекулы располагаются очень близко друг к другу, и силы притяжения между ними намного больше. Эта сила удерживает молекулы друг около друга. Именно поэтому жидкости, в отличие от газов, сохраняют свой объем.

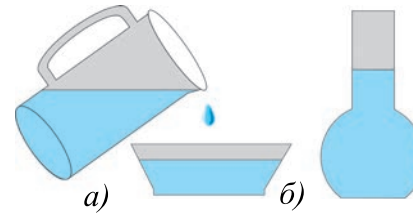


рис.39.

На жидкость, находящуюся в сосуде, действует сила тяжести, направленная вниз. Поскольку жидкость снизу и сбоку ограждена стенками и дном сосуда, она находится в состоянии равновесия.

Если сосуд с жидкостью наклонить в одну сторону, то под действием силы тяжести молекулы будут перемещаться преимущественно в одном направлении (рис.39 *а*). В результате чего жидкость потечет в сторону наклона сосуда. Однако притяжение молекула жидкостей не настолько велико, чтобы жидкость сохраняла свою форму. Этим обьясняется, что жидкости принимают форму сосуда в котором она находится (рис.39 *б*).

Жидкости легко меняют форму, но сохраняют свой объём.

Явление поверхностного натяжения

Разберем, почему жидкость, находящаяся в любом сосуде, имеет горизонтальную плоскую поверхность. Согласно молекулярно-кинетической теории, между молекулами вещества всегда существуют силы взаимодействия.

Рассмотрим, действия молекул на молекулу, находящуюся внутри жидкости в точке А, и на молекулу, находящуюся на поверхности жидкости в точке В (рис.40 *а*). Силы притяжения, действующие на молекулу в точке А, со всех сторон уравновешиваются (рис.40 *б*). В результате равнодействующая сила будет равна нулю.

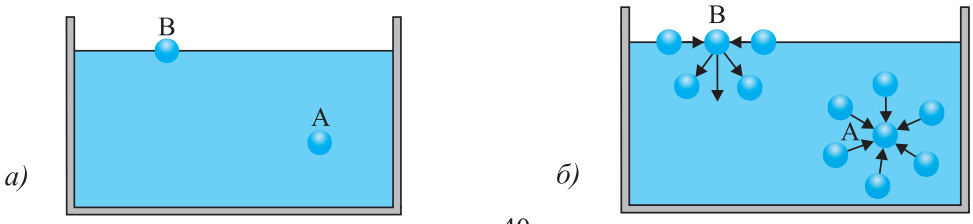


рис.40.

Рассмотрим, что происходит с молекулой, которая находится в точке B, так как она находится на поверхности жидкостей, то силы притяжения со стороны молекул воздуха много меньше сил притяжения со стороны соседних молекул жидкости. Возникает результирующая сила, которая направлена внутрь жидкости. Поэтому молекулы находящиеся на поверхности жидкости, стремятся попасть внутрь жидкости (рис.40 *б*). Это приводит к возникновению поверхностного натяжение жидкости.

Поместите иглу на бумагу, лежащую на поверхности воды, затем постепенно опустите бумагу в воду. При этом бумага погрузится в воду, а игла останется на ее поверхности (рис.41). Иглу удерживает поверхностное натяжение.



рис.41.

Сила поверхностного натяжения

В повседневной жизни вы видели, как образуются капли в кране. Образовавшуюся в отверстии крана каплю можно сравнить с эластичным мешочком. С увеличением капли прочность мешочка, удерживающего ее, оказывается недостаточной, и капля отрывается (рис. 42).



рис.42.

В действительности никакого мешочка нет. На каждую молекулу поверхностного слоя капли действуют силы, направленные в центр капли и удерживающие ее – силы поверхностного натяжения. Сила поверхностного натяжения, действующая на линию ограничивающую поверхность, прямо пропорционально длине этой линии и зависит от рода жидкости:

$$F = \sigma\, l\,. \qquad (1)$$

Здесь σ – физическая величина, характеризующая поверхностные свойства жидкости и зависящая от рода жидкости, называется коэффициентом поверхностного натяжения. Из формулы (1) получается

$$\sigma = \frac{F}{l}. \qquad (2)$$

Из выражения (2) видно, что единицей измерения σ является - Н/м. Отсюда следует и физический смысл коэффициента поверхностного натяжения: коэффициентом поверхностного натяжением называется физическая величина, численно равная силе поверхностного натяжения, действующую на единицу длины линии, ограничивающую эту поверхность.



рис. 43.

Сила поверхностного натяжения стремится уменьшить свободную поверхность жидкости. Свободно падающие капли дождя, имеют шарообразную форму. В условиях невесомости в космическом корабле вода, даже достаточно большой массы будет иметь форму шара (рис.43).

Определение коэффициента поверхностного натяжения

Имеется несколько методов определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Одним из простых методов определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости является метод отрыва капель (рис.44). При вытекании жидкости из узкой вертикально расположенной трубки образуется капля. Капли малого размера не отрываются от трубочки, так как их удерживает сила поверхностного натяжения. Отрыв капли происходит в тот момент, когда ее сила тяжести ($m_0\, g$) численно будет равна силе поверхностного натяжения ($\sigma\, l$)

$$m_0 g = \sigma\, l. \qquad (3)$$

здесь m_0 – масса одной капли жидкости. Согласно выражению (3), коэффициент поверхностного натяжения вычисляется следующим образом:

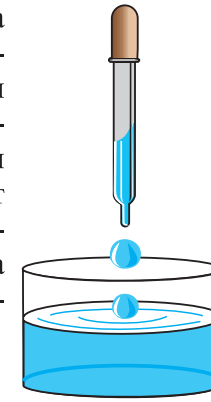


рис.44.

$$\sigma = \frac{m_0 g}{l}. \qquad (4)$$

Коэффициент поверхностного натяжения для некоторых жидкостей приведен в следующей таблице (при 20 °C).

№	Жидкость	σ, Н/м	№	Жидкость	σ, Н/м
1	Ртуть	0,47	4	Растительное масло	0,033
2	Вода	0,073	5	Керосин	0,024
3	Мыльный раствор	0,04	6	Этиловый спирт	0,022

Поверхностная энергия

Вследствие силы поверхностного натяжения, молекулы поверхностного слоя обладают избыточной потенциальной энергией по сравнению с энергией молекул внутри жидкости.

Каждая молекула, находящаяся на поверхности жидкости обладает избыточной потенциальной энергии по сравнению с молекулами, находящимися внутри жидкости.

Поверхностная энергия прямо пропорциональна площади поверхности (S):

$$W = \sigma S. \qquad (5)$$

Согласно выражению (5), коэффициент поверхностного натяжения равен:

$$\sigma = \frac{W}{S}. \qquad (6)$$

Из равенства (6) следует физический смысл коэффициента поверхностного натяжения: коэффициент поверхностного натяжения численно равен значению поверхностной энергии, приходящейся на единицу площади поверхности. Исходя из этого, единица измерения σ в СИ может быть также Дж/м^2.

1. Почему возникает сила поверхностного натяжения?
2. Почему возникает поверхностная энергия?
3. Почему капля воды отрывается от крана?
4. Можно ли в космическом корабле пить чай, наливая его в пиалу?
5. Почему маленькие капли росы принимают форму шара?
6. Какую форму принимают капли жидкости в невесомости?

Скатайте из кусочка пластилина шарик диаметром 3 мм. Осторожно положите его на поверхность воды при помощи проволочной петли. Почему шарик удерживается на поверхности воды? Напишите свои выводы.

§ 32. СМАЧИВАНИЕ. КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Явления смачивания и несмачивания

Ручка (или карандаш), смоченная в воде, оставляет на своей поверхности капельки воды, то есть становится «мокрой». Тогда возникает вопрос: почему тело стало «мокрым»?

Известно что, твердое тело и жидкость состоят из молекул. Смачивание и не смачивание зависит от взаимодействия молекул жидкости и твердого тела.

Жидкость смачивает поверхность твердого тела, если силы притяжения между молекулами жидкости и твердого тела, больше сил взаимного притяжения молекул жидкости.

Итак, карандаш отделяет частицы жидкости друг от друга и притягивает их себе. Причина смачивания карандаша – притяжение им молекул жидкости.

Жидкость не смачивает поверхность твердого тела, если силы притяжения между молекулами жидкости и твердого тела, меньше сил взаимного притяжения молекул жидкости.

Стекло не может отделить молекулы ртути друг от друга. Поэтому ртуть, помещенная в стеклянный сосуд, не смачивает его стенки. Определенная жидкость, смачивая поверхность одного тела, может не смачивать поверхность другого.

Искривление поверхности жидкости

Искривление поверхности жидкости около поверхности твердого тела, зависит от явлений смачивания и несмачивания.

По форме жидкости около границы твердого тела можно узнать, смачивает или не смачивает она поверхность твердого тела. Если жидкость смачивает сосуд, ее поверхность будет вогнутой (рис.45 *а*), а если наоборот, то поверхность жидкости будет выпуклой (рис.45 *б*).

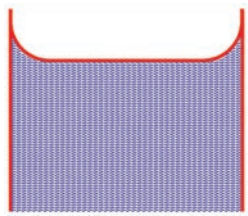
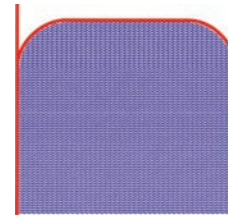
а)  *б)* 

рис. 45.

Явления смачивания и несмачивания играют значительную роль в быту и технике. Мыльный раствор смачивает нашу кожу, поэтому мы моемся мылом. Перья гусей и уток при выходе из воды остаются сухими, так как их перья жирные и вода их почти не смачивает.

Явление смачивания имеет практическое значение. Оно используется при склеивании, паянии, окрашивании предметов, смазывании деталей и в других целях.

Капиллярные явления

Трубочки, внутренний диаметр которых не больше 1 мм, называются капиллярами. Уровень смачивающей жидкости в капиллярах поднимается (рис.46 *а*), а несмачивающей - понижается (рис.46 *б*). На поверхностный слой смачивающей жидкости налитой в капилляр действует сила поверхностного натяжения, направленная вверх, то есть:

$$F = \sigma\, l = \sigma\, 2\, \pi\, r. \qquad (1)$$

Поднятие жидкости в капилляре прекращается тогда, когда сила тяжести жидкости ($m\, g$), становится равной силе поверхностного натяжения:

$$\sigma\, 2\, \pi\, r = m\, g. \qquad (2)$$

Так как вес жидкости равен $mg = \rho Vg = \rho Shg = \rho\pi r^2 hg$, то согласно выражению (2) высота жидкости поднявшейся по капилляру вычисляется следующим образом:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho_{ж} r\, g}. \qquad (3)$$

Эта формула выражает высоту поднятия по капилляру смачивающей жидкости и глубину опускания несмачивающей жидкости. И так, высота поднятия или глубина опускания в капиллярах прямо пропорциональна коэффициенту поверхностного натяжения, и обратно пропорциональна плотности жидкости и радиусу капилляра.

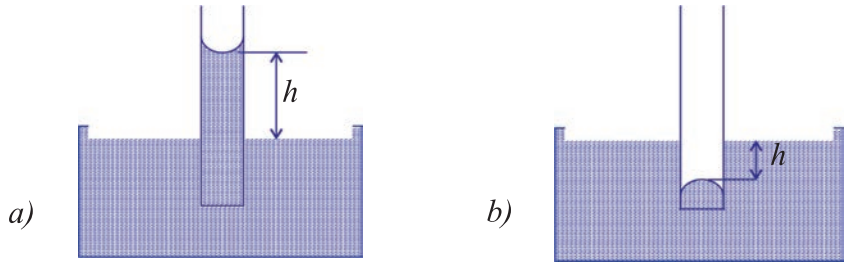


рис. 46.

Капиллярные явления играют важную роль в природе и технике. По капиллярам хорошо поднимаются вверх питательные вещества. Капилляры растений образуются на стенках клеток. Благодаря капиллярному явлению влага поднимается из глубоких слоев земли в верхние слои. В результате вода в почве быстро испаряется и почва высыхает. Чтобы сохранить влажность внутри почвы, ее верхняя часть смягчается, разрушая в ней капилляры. При строительстве домов фундамент отделяют от стен рубероидом или битумом (черным воском), чтобы избежать капиллярного подъёма воды из почвы.

1. Почему жидкость смачивает поверхность твердого тела?
2. Почему жидкость не смачивает поверхность твердого тела?
3. Почему гуси и утки выходят из воды «сухими»?
4. Какое значение имеет явление смачивания в повседневной жизни?
5. Какое явление называются капиллярностью?
6. Объясните причину поднятия воды и опускания ртути в стеклянных капиллярах.
7. От чего зависит высота поднятия жидкости в капиллярах?
8. Почему трудно надеть мокрую одежду?
9. Для чего одежду с пятнами масла стирают в мыльном растворе?

1. Пронаблюдайте поднятие воды или масла в капиллярных трубках разного диаметра. На основании своих наблюдений напишите вывод.

§ 33. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. На какую высоту поднимается керосин по капилляру радиусом 0,5 мм? Коэффициент поверхностного натяжения керосина 24 мН/м, плотность 800 кг/м^3.

Дано:

$r = 5 \cdot 10^{-4}$ м
$\sigma = 24 \cdot 10^{-3}$ Н/м
$\rho = 800$ кг/м^3
$g = 9{,}81$ м/с^2.

Найти:
$h = ?$

Формула:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho\, r\, g};$$

$$[h] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{Н}}{\frac{\text{кг}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{с}^2}} = \text{м}.$$

Вычисление:

$$h = \frac{2 \cdot 24 \cdot 10^{-3}\,\text{м}}{800 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 9{,}81} =$$

$$= 12{,}2 \cdot 10^{-3}\,\text{м} = 12{,}2\,\text{мм}.$$

Ответ: $h = 12{,}2$ мм.

Задача 2. Игла длиной 6 см находится на поверхности воды. Каково значение силы поверхностного натяжения, действующую на нее?

Дано:

$l = 6$ см $= 6 \cdot 10^{-2}$ м
$\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Найти:
$F = ?$

Формула:

$$F = 2\sigma \cdot l$$

$$[F] = [\sigma \cdot l] = \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \text{м} = \text{Н}.$$

Вычисление:

$$F = 2 \cdot 73 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-2}\,\text{Н} =$$

$$= 8{,}76 \cdot 10^{-3}\,\text{Н}.$$

Ответ: $F = 8{,}76 \cdot 10^{-3}$ Н.

Задача 3. Сколько капель образуется из 73 см^3 воды, если она капает из трубки диаметром 3 мм? Коэффициент поверхностного натяжения воды равен 73 мН/м.

Дано:
$d = 3$ мм $= 3 \cdot 10^{-3}$ м
$V = 73$ см^3 $= 73 \cdot 10^{-6}$ м^3
$\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м
$\rho = 1000$ кг/м^3
$g = 9{,}81$ м/с^2

Найти:

$N = ?$

Формула:

$$m_0 = \frac{\sigma \cdot l}{g} = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot d}{g}$$

$$m = \rho\, V;$$

$$N = \frac{m}{m_0} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{\sigma \cdot \pi \cdot d}$$

$$[N] = \left[\frac{m}{m_0}\right] = \frac{\text{кг}}{\text{кг}} = 1.$$

Вычисление:

$$N = \frac{10^3 \cdot 73 \cdot 10^{-6} \cdot 9{,}81}{73 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}$$

$= 1040.$

Ответ: $N = 1040$ шт.

Задача 4. Радиус мыльного пузыря увеличился от 2 см до 3 см. Как при этом изменилась его поверхностная энергия? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора 0,04 Н/м.

Дано:
$R_1 = 2$ см $= 2 \cdot 10^{-2}$ м
$R_2 = 3$ см $= 3 \cdot 10^{-2}$ м
$\sigma = 4 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

Найти:

$\Delta W = ?$

Формула:

$W = 2\,\sigma\, S;$

$S = 4\pi\, R^2;$

$$\Delta W = 2\sigma S_2 - 2\sigma S_1 =$$

$$= 2\sigma \cdot 4\pi (R_2^2 - R_1^2)$$

$$[\Delta W] = \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

Вычисление:

$W = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 3,\ 14$х

х$(9 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4}) = 5 \cdot 10^{-4}$ Дж

Ответ: Увеличится на $\Delta W = 5 \cdot 10^{-4}$ Дж.

У 20

1. В капиллярной трубке вода поднимателся на высоту 14 мм. Найдите диаметр капиллярной трубки.
2. В капилляре спирт поднялся на высоту 22 мм. Найдите радиус капилляра. Плотность спирта 800 кг/м^3.
3. На какую высоту поднимается керосин по капилляру радиусом 0,6 мм? Плотность керосина 800 кг/м^3.
4. Диаметр отверстия капельницы 2 мм. Какова масса капли воды, вытекающей из капельницы, в момент ее отрывания?
5. Масса жидкости, отрывающейся от капельницы диаметром 2 мм, равна 15 мг. Определите коэффициент поверхностного натяжения данной жидкости.
6. Каков коэффициент поверхностного натяжения жидкости с плотностью 0,9 г/см^3, если она поднимается по капилляру диаметром 1,5 мм на высоту 10 мм?
7. Сколько капель образуются из 20 см^3 воды, если она капает из капельницы диаметром 3 мм. Коэффициент поверхностного натяжения воды 73 мН/м.
8. Вода по капиллярной трубке, расположенной на Земле, поднимается на 15мм. На какую высоту поднимается вода по этой же трубке на Луне? На Луне ускорение свободного падения в 6 раз меньше, чем на Земле.
9. Как изменится поверхностная энергия мыльного пузыря при увеличении ее площади поверхности на 12 см^2?
10. Радиус мыльного пузыря увеличился от 2 см до 3 см. Как изменился ее поверхностная энергия? Коэффициент поверхностного натяжения мылного раствора 0,04 Н/м.
11. Почему руки смоченные маслом трудно мыть водой, а легче керосином?
12. Из крана самовара падают капли. В каком случае эти капли более тяжелые: когда вода горячая или когда она остыла? Почему?
13. Почему тесто в нагревателе не смягчается, а наоборот отвердевает?
14. Отличаются ли молекулы холодной воды от: *а*) молекулы горячей воды, *б*) от молекул льда?

§ 34. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы: изучение определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

Необходимые оборудования: чувствительный динамометр, штатив, проволочки в форме треугольника, квадрата и круга, сосуд с водой, линейка, штангенциркуль.

Порядок выполнения работы

1. Прикрепите динамометр к штативу верхним кольцом (рис.47).
2. Измерьте линейкой периметр l проволочной рамки в форме треугольника.
3. Подвесьте проволоку к нижнему кольцу динамометра и измерьте ее силу тяжести F_1.
4. Поднимите сосуд с водой и прикоснитесь к проволоке, подвешенной к динамометру.
5. Медленно отпустите сосуд вниз и запишите показание динамометра F_2 в момент отделения рамки от воды.
6. Найдите по формуле $F = F_1 - F_2$ силу поверхностного натяжения.
7. С помощью формулы $\sigma = \frac{F}{2l}$ вычислите коэффициент поверхностного натяжения жидкости.
8. Повторите опыт для проволочной рамки в форме квадрата и круга. С помощью формулы. $\sigma_{ср} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ найдите среднее значение коэффициента поверхностного натяжения.
9. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.

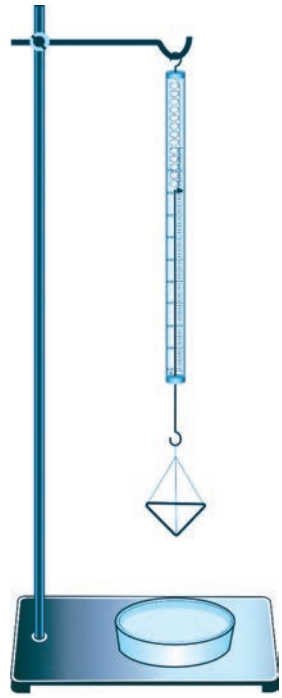


рис. 47.

№	F, Н	l, м	σ, Н/м	$\sigma_{ср}$, Н/м
1				
2				
3				

1. Объясните, что такое сила поверхностного натяжения.
2. Почему, чтобы отделить рамку от воды, нужно приложить силу?
3. Проанализируйте результаты опыта и сделайте выводы.

§ 35. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И АМОРФНЫЕ ТЕЛА

Кристаллические тела

В отличие от жидкостей, атомы (молекулы) твердых тел очень сильно связаны друг с другом. Находясь в состоянии равновесия, они совершают непрерывные колебательные движения. Сила тяжести не способна преодолеть силу притяжения между атомами. Поэтому твердые тела сохраняют свой объем и имеют форму. По своему строению твердые тела делятся на кристаллические и аморфные.

Твердые тела, атомы или молекулы которых образуют в пространстве определенную упорядоченную периодическую структуру (систему), называются кристаллическими телами.

Слово «кристалл» в переводе с греческого означает «лед». Если соединить друг с другом места расположения атомов(молекул) твердых тел, образуется кристаллическая решетка. Точки, в которых находятся атомы(молекулы), называются узлами. Кристаллические решетки поваренной соли и алмаза изображены на рис. 48 и 49.

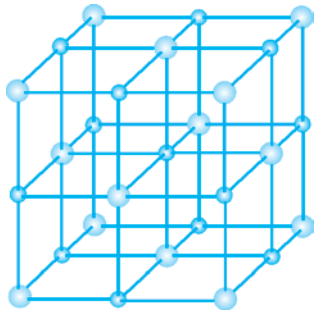


рис. 48.



рис. 49.

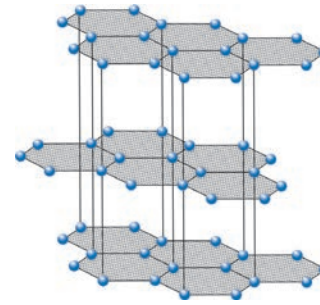


рис. 50.

Расстояние между атомами (молекулами) в кристаллической решетке в различных направлениях разное. В различных направлениях кристаллы поразному проводят тепло, электрический ток и свет.

Зависимость физических свойств от выбранных направлений внутри тела называется анизотропией. Кристаллические тела обладают анизотропным свойством.

Слово «анизотропия» происходит от греческих слов «анизос» – «неодинаковый» и «тропос» — «направление»

Физические свойства кристаллов зависят от выбранных направлений внутри тела. Например, кристалл графита по определенному направлению

можно легко разделить по слоям. Это вы видите при черчении карандашом, там графит разделяется по частям. Потому что кристалл графита расположен послойно и соединения между ними слабо (рис.50).

Кусок металла состоит из многочисленных мелких кристалликов, которые при литье располагаются беспорядочно относительно друг друга. Поэтому во всех направлениях они проявляют одинаковые свойства.

Тело, состоящее из многочисленных мелких кристалликов, беспорядочно расположенных относительно друг друга, называется поликристаллом.

Слово *«поли»* в переводе с латинского означает *«много»*. Так, затвердевшие куски поваренной соли и сахара-рафинада – поликристаллы. Они состоят из мелких кристалликов. В промышленности, строительстве, энергетике, связи и в других отраслях используются в основном поликристаллы.

Тело, состоящее из одного кристалла, называется монокристаллом.

Слово *«моно»* в переводе с латинского означает *«один»*.

Так, отдельные частицы мелкой поваренной соли и сахара — монокристаллы. В некоторых отраслях, например в области электроники, широко применяются монокристаллы, которые получают с помощью особых способов выращивания. Куски наввата, изготовленного из сахарного сиропа, также представляют собой монокристаллы.

Монокристаллы обладают анизотропным свойством

Аморфные тела

В аморфных телах, в отличие от кристаллов, расположение атомов (молекул) неупорядоченное (рис.51). В качестве примеров аморфных тел можно привести стекло, смолу, пластмассу.

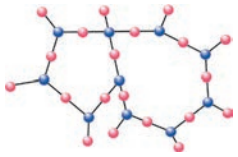


рис.51.

Аморфные тела проявляют одинаковые физические свойства во всех направлениях. Явление, при котором физические свойства не зависят от выбранных внутри тела направлений, называется изотропией. Аморфные тела обладают изотропным свойством.

Слово *«изос»* в переводе с греческого означает *«одинаковый»*.

При внешнем воздействии аморфные тела бывают одновременно ломкими, как твердые тела, и текучими, как жидкости. При ударе по аморфному телу оно раскалывается, однако при длительном силовом воздействии аморфное тело начинает растекаться. Например, кусок смолы на твердой поверхности начинает медленно растекаться. Даже стекло течет при определенной температуре. Так, нижняя часть оконного стекла, находившегося длительное время в вертикальном положении, при измерении оказалась толще верхней.

Кристаллические тела в отличие от аморфных, имеют определенную температуру плавления. При нагревании аморфные тела сначала размягчаются, а затем медленно переходят в жидкое состояние.

Беруни — ученый-минералог

Люди издавна проявляли интерес к свойствам твердых тел, в частности, драгоценных камней и различных металлов. Наш великий соотечественник ***Абу Райхан Беруни***, живший в X–XI вв., внес неоценимый вклад в изучение свойств драгоценных камней и различных металлов. Он описал окраску и блеск, твердость, магнитные и электрические свойства драгоценных камней. С помощью изобретенных им самим приборов он определил удельный вес более 50 веществ и изучил другие их свойства. Результаты исследований он описал в своем труде «Минералогия». Работы Беруни в области минералогии были продолжены его учеником ***Абдурахманом Хазином***.

1. Какие тела называются кристаллическими? Приведите примеры.
2. Почему кристаллические тела обладают анизотропными свойствами?
3. Какие кристаллы называют монокристаллами? Что такое поликристалл?
4. Почему все аморфные тела обладают изотропными свойствами?
5. Какими свойствами обладают аморфные тела?
6. Какие исследования проводил Беруни в области минералогии?

§ 36. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Деформация

Твердые тела самопроизвольно не меняют свою форму. Форма меняется только в результате внешнего воздействия. Например: если растянуть резиновый шнур, удерживая его за концы, его части перемещаются относительно друг друга и шнур становится длинным и тонким. После прекращения воздействия внешних сил резиновый шнур возвращается в свое начальное состояние.

Изменение формы и линейных размеров твердого тела под воздействием внешней силы называется деформацией.

Деформация может быть: сжатия, растяжения, кручения, изгиба, упругой, пластической, остаточной и хрупкой.

Если после прекращения действия внешней силы тело возвращается в начальное состояние, то такая деформация называется упругой деформацией.

Размятый пластилин не возвращается в начальное состояние после воздействия пальцев на него.

Если после прекращения действия внешней силы тело не возвращается в начальное состояние, то такая деформация называется пластической деформацией.

Такое же свойство присуще воску, жевательной резинке, тесту, глине и другим подобным веществам. Данные вещества подвергаются пластической деформации. При штамповке стальных предметов с помощью пресса большой силой, пользуются пластическими свойствами стали.

Деформация растяжения

Возьмем стержень из твердой резины длиной l_0 и площадью поперечного сечения S. Верхним концом стержень прикреплен к штативу, а на нижний конец действует сила F, направленная вниз. При этом длина стержня увеличится на Δl (рис.52). Здесь сила F называется деформирующей силой, Δl – абсолютным удлинением. Если в результате деформации длина стержня равняется l, то ее абсолютное удлинение определяется по формуле:

$$\Delta l = l - l_0 . \qquad (1)$$

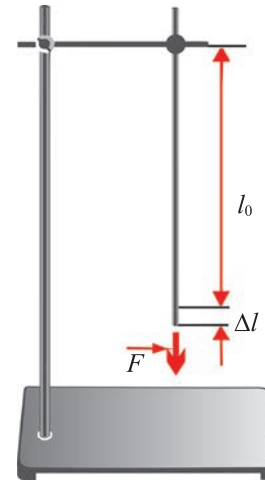


рис.52.

Под влиянием постоянной силы абсолютное удлинение стержня зависит от его первоначальной длины l_0. Поэтому вводится понятие относительного удлинения. Относительное удлинение стержня выражается формулой:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%. \qquad (2)$$

Механическое напряжение

Под выражением механические свойства твердых тел, необходимо понимать деформацию твердых тел под воздействием внешних сил и их устойчивость к поломке или разрыву.

Величина, измеряемая отношением модуля силы, действующей на тело, к площади поперечного сечения этого тела, называется механическим напряжением и обозначается буквой σ.

Из определения следует: $$\sigma = \frac{F}{S}. \qquad (3)$$

Здесь σ – механическое напряжение. Голландский ученый Гук на опытах определил, что при упругих деформациях механическое напряжение прямо пропорционально его относительному удлинению, то есть:

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon|. \qquad (4)$$

Здесь коэффициент пропорциональности Е называется модулем упругости или модулем Юнга. В Международной Системе Единиц (СИ) механическое напряжение и модуль Юнга принято измерять как и давление в паскалях.

Чем больше значение модуля Юнга - Е, тем меньше деформируется материал. В таблице приведены модули упругости некоторых веществ.

№	Вещество	E, Па	№	Вещество	E, Па
1	Свинец	$1{,}1 \cdot 10^{10}$	4	Медь	$1{,}1 \cdot 10^{11}$
2	Бетон	$1{,}6 \cdot 10^{10}$	5	Сталь	$1{,}9 \cdot 10^{11}$
3	Алюминий	$7 \cdot 10^{10}$	6	Никель	$2{,}1 \cdot 10^{11}$

Приравняем формулы (3) и (4), и с учетом $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, получаем следующую формулу:

$$\frac{F}{S} = E\frac{|\Delta l|}{l_0}. \qquad (5)$$

Тогда запищем формулу для нахождение силы: $F = E \cdot S\frac{|\Delta l|}{l_0}$ (6). Если обозначить $\frac{E \cdot S}{l_0} = k$, то получим формулу закона, Гука: $F = k \cdot |\Delta l|$.

Предел прочности

Если закрепить один конец стальной проволоки, а к другому концу подвесив чашу положить в неё груз, натяжение проволоки увеличится. Увеличивая груз, при каком-то определённом значении проволока обрывается.

Такое значение механического напряжения принято называть пределом прочности. Пределы прочности некоторых веществ, приведены в таблице. Предел прочности вещества зависит от рода и от технологии изготовления вещества.

	Вещества	σ, МПа
1	Бетон	48
2	Алюминий	50 ÷115
3	Капрон	55 ÷ 80
4	Мрамор	100
5	Сталь	170 ÷ 700

Упругость. При малых деформациях все тела, изготовленные из различных веществ, ведут себя как упругие тела. После снятия внешнего воздействия, их форма и размеры возвращаются в свое первоначальное положение.

Хрупкость. Большое значение на практике имеет свойство твердых тел, называемое хрупкостью. Материал называют хрупким, если он разрушается при небольшой деформации. Изделия из стекла и фарфора являются хрупкими. Чугун, мрамор также обладают повышенной хрупкостью. Пластичные свойства у хрупких материалов практически не проявляются.



1. Что называется деформацией? Какие виды деформации вы знаете?
2. Напишите формулы абсолютного и относительного удлинений и объясните их.
3. Что называется механическим напряжением и в чем оно измеряется?
4. Что называется модулем Юнга? Объясните его физический смысл.

§ 37 . РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Какова длина стержня, если абсолютной деформации 3 мм соответствует относительное удлинение 0,15 %.

Дано:
$\Delta l = 3$ мм $= 3 \cdot 10^{-3}$ м
$\varepsilon = 0{,}15$ %.

Найти:
$l_0 = ?$

Формула:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\ \%.$$

отсюда

$$l_0 = \frac{\Delta l}{\varepsilon} \cdot 100\ \%.$$

Вычисление:

$$l_0 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0{,}15\ \%} \cdot 100\ \% = 2\text{м}.$$

Ответ: $l_0 = 2$ м.

Задача 2. К стальной проволоке диаметром 2 мм подвешен груз массой 6 кг. Определите механическое напряжение в проволоке.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$d = 2$ мм $= 2\cdot10^{-3}$ м $m = 4$ кг.	$F = m\cdot g$ и $S = \pi d^2/4$ $\sigma = \frac{F}{S} = \frac{mg}{\frac{\pi\cdot d^2}{4}} = \frac{4mg}{\pi\cdot d^2}.$ $[\sigma] = \left[\frac{F}{S}\right] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$	$\sigma = \frac{4\cdot4\cdot10}{3{,}14\cdot4\cdot10^{-6}}\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} =$ $= 1{,}27\cdot10^7 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$ **Ответ:** $\sigma = 1{,}27\cdot10^7$ Н / м^2.
Найти: $\sigma = ?$		

Задача 3. Какую силу надо приложить, чтобы стальную проволоку длиной 4 м и поперечным сечением 10 мм^2 удлинить на 2 мм? Модуль упругости для стали 190 ГПа.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$l_0 = 4$ м $S = 10$ мм$^2 = 10^{-5}$ м^2 $\Delta l = 2$ мм $= 2\cdot10^{-3}$ м $E = 190$ ГПа $= 1{,}9\cdot10^{11}$ Па.	$\sigma = \frac{F}{S};$ $\sigma = E\lvert\varepsilon\rvert = E\frac{\Delta l}{l_0};$ $F = E\frac{\Delta l}{l_0}S.$ $[F] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\cdot\frac{\text{м}}{\text{м}}\cdot\text{м}^2 = \text{Н}.$	$F = \frac{1{,}9\cdot10^{11}\cdot10^{-5}\cdot2\cdot10^{-3}}{4}\text{Н} =$ $= 950 \ \text{Н}.$ **Ответ:** $F = 950$ Н.
Найти: $F = ?$		

Задача 4. Какой должна быть наименьшая длина стального троса, подвешенного к вертолету за один конец, чтобы он не разорвался под действием собственного веса? Предел прочности стали $1{,}7\cdot10^8$ Па, а плотность 7800 кг/м^3.

Дано:	**Формула:**	**Вычисление:**
$\sigma = 1{,}7\cdot10^8$ Па $\rho = 7800$ кг/м^3 $g = 10$ м/с^2.	$\sigma = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Slg}{S} = \rho lg;$ $l = \frac{\sigma}{\rho g}.$ $\quad [l] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\cdot\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \text{м}.$	$l = \frac{1{,}7\cdot10^8}{7800\cdot10}\ \text{м} = 2180\,\text{м}.$ **Ответ:** $l = 2180$ м.
Найти: $l = ?$		

У 21

1. Каково механическое напряжение стального троса диаметром 2 см, к которому подвешен груз весом 30 кН?
2. Какое поперечное сечение должен иметь стальной стержень, чтобы под нагрузкой 18 кН в нем возникло механическое напряжение $6 \cdot 10^7$ Н/м^2?
3. Какой может быть наибольшая высота кирпичной стены, если плотность кирпича равна 4000 кг/м^3, а предел прочности 0,5 МПа?
4. Провод длиной 80 см и площадью поперечного сечения 0,5 мм^2, подвешен груз массой 25 кг, при этом провод удлинился на 2 мм. Определите модуль Юнга провода.
5. Когда к одному концу стального стержня приложили силу 7,85 кН, он разорвался. Найдите диаметр этого стержня. Предел прочности стали 170 МПа.
6*. Стальная проволока, подвешенная за один конец, опускается в воду. Какой должна быть длина проволоки, чтобы она не разорвалась под действием собственного веса? Предел прочности стали 170 МПа, а плотность 7800 кг/м^3.

§ 38. ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

Твердое тело можно перевести в жидкое состояние путем передачи ему теплоты.

Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое, называется плавлением.

Для того, чтобы расплавить кристаллическое тело, ему нужно передать теплоту и постепенно повышать температуру. С достижением определенной температуры тело начнет плавиться.

Температура, при которой кристаллическое тело плавится, называется температурой плавления этого тела.

Рассмотрим процесс плавления и кристаллизации кристаллического тела на примере свинца. Изобразим этот процесс на графике. Для этого на оси абсцисс отложим количество теплоты, передаваемое свинцу, а на оси ординат – изменение температуры кристалла (рис. 53).

Возьмем свинец массой 0,1 кг, температурой 27 °С (300 К), и поместив на огонь, нагреем его. Получаемая свинцом теплота будет расходоваться на повышение его температуры.

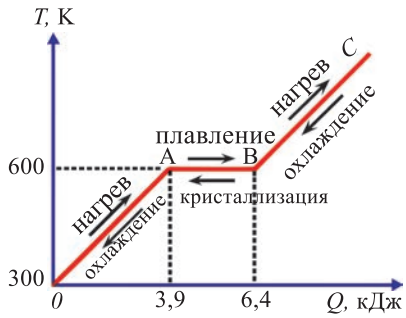


рис.53.

При этом начнет увеличиваться его внутренняя энергия. С достижением температуры 327 °С (600 К) свинец начнет плавиться, и его температура перестанет изменяться. Эта температура является температурой ***плавления свинца***.

Количество теплоты, расходуемое на полное плавление твердого кристаллического тела при температуре плавления, называется теплотой плавления.

Для того, чтобы увеличить температуру свинца в твердом состоянии массой 0,1 кг с 27 °С до 327 °С, требуется количество теплоты, равное $Q = cm\,(T_2 - T_1) = 130$ Дж/кг · К · 0,1 кг· (600 – 300) К = 3900 Дж = 3,9 кДж (участок графика О - А на рис. 53).

Количество теплоты, переданное свинцу после достижения температуры 327 °С (600 К), разрушает кристаллическую решетку кристалла, и он начинает плавиться. Температура свинца не изменяется до тех пор, пока он полностью не расплавится (участок графика А–В). С момента начала плавления свинца до его полного плавления расходуется (6,4 – 3,9) кДж = 2,5 кДж теплоты. Эта энергия идет на разрушение кристаллической решетки свинца и уменьшение взаимодействия его атомов, то есть переход его из твердого в жидкое состояние.

До тех пор, пока кристалл при плавлении полностью не перейдет в жидкое состояние, его температура остается неизменной. После полного перехода свинца в жидкое состояние его температура начинает увеличиваться (участок графика В—С). При этом переданная теплота идет на повышение скорости движения атомов жидкого свинца, то есть на увеличение кинетической энергии.

При прекращении подачи энергии свинцу, находящемуся в жидком состоянии, он начинает охлаждаться (участок графика С–В). Кинетическая энергия атомов свинца, а следовательно, внутренняя энергия тела начинает уменьшаться. Свинец начинает отдавать теплоту.

В процессе охлаждения температура жидкого свинца с достижением 327 °С (600 К) перестает изменяться (участок графика В–А). Эта температура является температурой кристаллизации свинца. Однако свинец продолжает отдавать теплоту. При этом уменьшается кинетическая энергия атомов свинца, и они начинают располагаться упорядоченно. Этот процесс называется отвердеванием или кристаллизацией.

После перехода свинца в твердое состояние его температура опять начинает понижаться (участок графика А–О). За счет снижения кинетической энергии атомов уменьшается его внутренняя энергия. При этом до тех пор, пока температура не достигнет начальной отметки 27 °С, свинец будет продолжать выделять в окружающую среду теплоту. До полного возвращения свинца в начальное состояние, то есть до охлаждения его с 327 °С до 27 °С, из него выделяется 3,9 кДж теплоты.

Процесс плавления и кристаллизации всех других кристаллических тел протекает так же, как и у свинца. На основании рассмотренного процесса плавления и кристаллизации можно сделать следующие выводы:

1. Температура плавления и кристаллизации кристаллического тела одинакова.

2. Количество теплоты, переданное кристаллу при повышении его температуры и плавлении, равно количеству теплоты, отданной им при охлаждении и кристаллизации.

3. Графики теплоты, отражающие процессы плавления и кристаллизации, симметричны.

Как и свинец, другие кристаллические тела также имеют температуру плавления (кристаллизации). В следующим таблице приведена температура $t_{пл}$ плавления некоторых веществ.

№	**Вещество**	$t_{пл}$, °C	№	**Вещество**	$t_{пл}$, °C	№	**Вещество**	$t_{пл}$, °C
1	Ртуть	-39	5	Цинк	420	9	Чугун	1220
2	Лед	0	6	Алюминий	660	10	Железо	1539
3	Олово	232	7	Золото	1064	11	Платина	1769
4	Свинец	327	8	Медь	1083	12	Волфьрам	3410

1. Какой процесс называется плавлением?
2. Какую температуру называют температурой плавления?
3. Что называется теплотой плавления?
4. Проанализируйте график, приведенный на рис. 53, и сделайте выводы.

§ 39. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА. ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ АМОРФНЫХ ТЕЛ

Удельная теплота плавления вещества

Количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления из твердого состояния в жидкое, называется удельной теплотой плавления и обозначается буквой λ.

По определению удельная теплота плавления вещества массой m выражается формулой:

$$\lambda = \frac{Q_{пл}}{m} \qquad (1)$$

где $Q_{пл}$– количество теплоты, необходимое для превращения вещества при температуре плавления из твердого состояния в жидкое. Удельная теплота плавления измеряется в Дж/кг.

Исходя из формулы (1), количество теплоты, необходимое для плавления тела массой m и удельной теплотой плавления λ при температуре плавления, можно выразить в следующем виде:

$$Q_{пл}=\lambda \cdot m. \qquad (2)$$

На превращение кристаллического тела заданной массы при температуре плавления из твердого состояния в жидкое расходуется такое же количество теплоты, какое выделяется при превращении тела при этой температуре из жидкого состояния в твердое.

Удельная теплота плавления некоторых кристаллических веществ, приводится в таблице.

№	**Вещество**	λ, кДж / кг	№	**Вещество**	λ, кДж / кг
1	Ртуть	12	6	Серебро	105
2	Свинец	25	7	Медь	205
3	Олово	60	8	Железо	266
4	Золото	64	9	Лед	334
5	Сталь	84	10	Алюминий	385

Плавление и отвердевание аморфных тел

При передаче теплоты аморфным телам их температура постепенно повышается (участок графика О – А на рис.54). Здесь переданная теплота идет на увеличение амплитуды колебаний молекул тела на своем месте, то есть на увеличение их кинетической энергии.

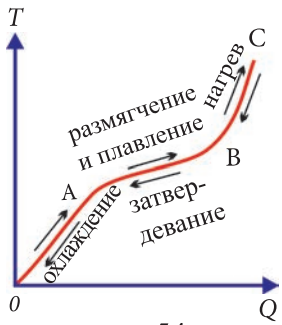


рис.54.

Начиная с точки А рост температуры замедляется (участок графика А – В). На этом участке переданная телу теплота расходуется на увеличение кинетической энергии молекул и потенциальной энергии их взаимодействия. При этом в результате снижения прочности межмолекулярных связей тело размягчается и начинает плавиться.

Количество теплоты, полученное аморфным телом после того, как оно перешло в жидкое состояние, расходуется на увеличение скорости движения молекул, то есть на увеличение кинетической энергии (участок В – С графика).

Аморфные тела **не имеют температуры плавления. При передаче им теплоты они сначала постепенно размягчаются, а затем начинают плавиться.**

Процесс отвердевания жидкого аморфного тела при охлаждении происходит обратно процессу плавления. У аморфных тел, как и у кристаллических, график зависимости температуры от количества теплоты в процессе плавления совпадает с графиком этой зависимости в процессе отвердевания.

Изучение процесса плавления - имеет важное значение в природе (например, таяние снега и льда), в науке и технике (при получении чистых металлов и сплавов, при ковке).

Образец решения задачи

В воду массой 4 кг положили лед, температура которого 0 °С. Начальная температура воды 20 °С. Какую максимальную массу льда нужно взять, чтобы он полностью растаял? Удельная теплота плавления льда 336 кДж/кг.

Дано:
$t_1 = 20$ °С
$m_1 = 4$ кг
$t_2 = 0$ °С
$\lambda = 336$ кДж/кг.

Найти:
$m_2 = ?$

Формула: $Q_1 = Q_2$

$Q_1 = m_1 c(t_1 - t_2)$ и $Q_2 = \lambda m_2$

$$m_2 = \frac{m_1 c(t_1 - t_2)}{\lambda}.$$

$$[m_2] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \text{К}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \text{кг}.$$

Вычисление:

$$m_2 = \frac{4 \cdot 4200 \cdot 20}{336 \cdot 10^3}\ \text{кг} = 1\text{кг}.$$

Ответ: $m_2 = 1$ кг.

1. Что называется удельной теплотой плавления вещества?
2. Как выражается формула удельной теплоты плавления вещества? Назовите единицу ее измерения.
3. Объясните процесс плавления и отвердевания аморфных тел.
4. Чем отличаются друг от друга процессы плавления и отвердевания аморфных и кристаллических тел?

У 22

1. Какое количество теплоты необходимо затратить для превращения в воду 3 кг льда, находящегося при температуре плавления?
2. На полное плавление олова массой m, находящегося при температуре плавления, израсходовано 10 кДж теплоты. Найдите массу расплавленного олова.
3. Сколько теплоты выделится из 0,5 л воды температурой 0 °С, поставленной в холодильник, до того, как она полностью замерзает?
4. Для плавления тела массой 5 кг, находящегося при температуре плавления, израсходовано 420 кДж теплоты. Из какого вещества состоит тело?
5. Сколько льда температурой 0 °С можно расплавить энергией, необходимой для доведения до кипения 1 л воды такой же температуры?
6. Поверхность воды водоема площадью 250 м^2 при 0 °С покрылась льдом толщиной 1 мм. Какое количество теплоты выделилось при этом? Плотность льда 900 кг/м^3.

§ 40. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

При нахождении жидкости (например, духов) в плотно закрытом сосуде, ее количество с течением времени не изменится. Если же сосуд оставить открытым, то с течением времени количество жидкости уменьшается, а через какое-то время можем увидеть, что сосуд опустеет. Причиной этого является процесс испарения.

Переход вещества из жидкого или твердого состояния в парообразное состояние называется испарением.

Переход вещества в газообразное состояние сопровождается образованием пара над его свободной поверхностью. Рассмотрим процесс перехода жидкости в парообразное состояние.

При любой температуре среди молекул жидкости встречаются молекулы с большей кинетической энергией. Преодолевая силы притяжения других молекул, они вылетают с поверхностного слоя жидкости и переходят в газообразное состояние.

С увеличением температуры возрастает и скорость испарения. Скорость испарение зависит и от наличия ветра. При ветре молекулы, находящейся на поверхности жидкости получают дополнительную энергию, и жидкость быстро испаряется.

Нальем одинаковое количество воды в тарелку и стакан. Через несколько часов вода в тарелке испаряется, а в стакане вода останется. Итак, испарение зависит и от площади свободной поверхности жидкости. Также скорость испарения зависит и от давления, действующего на свободную поверхность жидкости. Интенсивнее испарение там, где атмосферное давление меньше.

Удельная теплота испарения

В процессе испарения молекулы с большей кинетической энергией, преодолевая силу притяжения других молекул, вылетают наружу благодаря кинетической энергии. При этом они совершают работу. В результате выхода наружу молекул с большей кинетической энергией уменьшается внутренняя энергия жидкости. Поэтому при испарении жидкость охлаждается.

Для поддержания неизменной температуры жидкости при испарении необходимо подавать теплоту из внешней среды. Это количество теплоты, которое подается из внешней среды, называется теплотой испарения.

Количество теплоты, необходимое для полного испарения 1 кг жидкости при постоянной температуре, называется удельной теплотой испарения и обозначается буквой *r* .

Согласно определению, удельная теплота испарения вещества массой m выражается в виде:

$$r = \frac{Q_{исп}}{m}. \qquad (1)$$

Удельная теплота испарения в основном измеряется в Дж/кг. Из выражения (1) получаем формулу вычисления количества теплоты, необходимого для полного испарения жидкости массой m

$$Q_{исп} = r \cdot m. \qquad (2)$$

Для полного испарения 1 кг воды при нормальных условиях необходимо $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж энергии. Итак, удельная теплота испарения воды $r = 2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Конденсация

Существует процесс обратный испарению, то есть в процесс превращения пара в жидкость. Конденсация пара и является причиной того, что количество жидкости в плотно закрытом сосуде не меняется.

Процесс превращения пара в жидкое состояние называется *конденсацией*.

Слово «*конденсация*» в переводе с латинского означает «*уплотнение*», «*сгущение*».

Обычно жидкость одновременно и испаряется, и конденсируется. Если преобладает процесс испарения, говорят, что жидкость испаряется (рис.55 *а*). Если же преобладает процесс конденсации, говорят, что она конденсируется (рис.55 *б*).

а)

б)

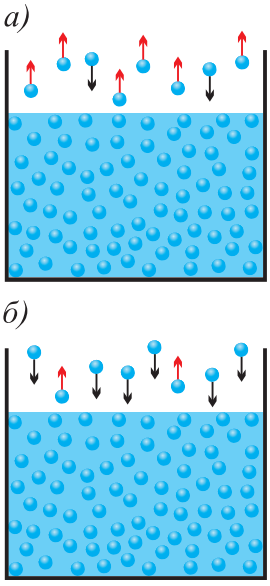


рис.55.

В результате конденсации водяных паров в атмосфере образуются дождь, снег, а на земле роса и иней.

По закону сохранения энергии количество теплоты, расходуемое на испарение жидкости, равно теплоте выделяемой при конденсации. Это теплота называется теплотой конденсации.

$$Q_{исп} = - Q_{кон} = - r \cdot m. \qquad (3)$$

Насыщенный и ненасыщенный пар

Если закрыть испаряющуюся жидкость крышкой, пар будет собираться над ее поверхностью. При этом, если число испаряющихся молекул будет больше количества конденсирующихся, то в этом случае пар на поверхности жидкости называется ненасыщенным паром.

С увеличением числа молекул пара над жидкостью, находящейся в закрытом сосуде, возрастает и их конденсация. Через некоторое время скорости испарения и конденсации становятся одинаковыми. Это состояние называется динамическим равновесием.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным паром.

С повышением температуры жидкости возрастает и давление насыщенного пара. Давление насыщенного пара вычисляется по формуле: $p = n\,k\,T$.

Кипение

При любых условиях внутри жидкости присутствуют невидимые глазу мелкие воздушные пузырьки. Внутри этих пузырьков, образуются пары жидкости. С повышением температуры жидкости, например, воды, возрастает давление пара в пузырьках и они увеличиваются в объеме. Под действием силы Архимеда, увеличенные в объеме пузырьки, стремятся вверх.

Определенная часть пара в пузырьках конденсируется, так как верхние слои воды не успевают нагреться по сравнению с нижними (рис.56 *а*). В результате объем пузырьков уменьшается, и они начинают лопаться, издавая характерный звук. Через некоторое время температура во всем объеме жидкости уравнивается. Теперь поднимающиеся пузырьки уже не уменьшаются. Выходя на поверхность жидкости, они лопаются, распространяя пар в воздухе (рис.56 *б*).

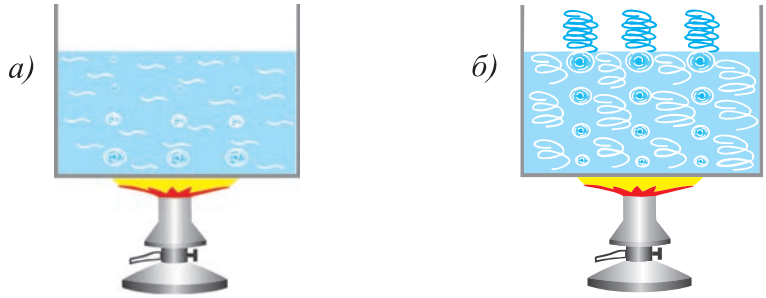


рис.56.

Кипение – процесс интенсивного парообразования по всему объему жидкости, при неизменной температуре, температуре кипения.

Во время кипения температура по всему объему жидкости выравнивается, и она интенсивно испаряется. При кипении жидкости ее температура перестает повышаться. Эта температура называется температурой кипения жидкости.

Для разных жидкостей температура кипения различна. Например, при нормальных условиях спирт кипит при 78 °С, а вода при 100 °С.

Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения. Например, в паровом котле, где внутреннее давление составляет $16 \cdot 10^5$ Па, вода не кипит даже при 200 °С. В медицинских учреждениях хирургические инструменты, перевязочные материалы и другие приспособления стерилизуют путем кипячения под давлением.

С понижением внешнего давления температура кипения жидкости начинает уменьшаться. Например, в горах на высоте 5 км над уровнем моря атмосферное давление сравнительно низкое, поэтому вода закипает при 84 °С. Однако сколько бы ни кипела вода при этой температуре, мясо в такой воде не сварится. Чтобы мясо сварилось, его нужно варить в герметически закрытом сосуде.

1. Что называется испарением? Как оно происходит?
2. Почему трава быстрее сохнет при ветре?
3. Как протекает процесс конденсации?
4. Какой пар называется ненасыщенным?
5. Какой пар называется насыщенным?
6. Можно ли вскипятить воду не нагревая ее?
7. Будет ли вода находиться в жидком состоянии при 250 °С?
8. Отличается ли температура кипения воды на первом и на последнем этажах многоэтажных зданий?

§ 41. ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Влажность воздуха

2/3 часть Земного шара составляет вода. Из-за испарения, в воздухе всегда присутствует водяной пар. Наличие водяного пара в воздухе, называется влажным воздухом или влажностью. Чем больше в воздухе паров воды, тем больше его влажность.

Масса водяного пара в 1 м^3 воздуха, называется абсолютной влажностью воздуха.

Абсолютная влажность показывает, сколько граммов водяного пара содержится в 1 м^3 воздуха. Если известна масса водяного пара в данном объеме, то абсолютная влажность вычисляется таким образом:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

Когда абсолютная влажность достигает определенного значения ρ_0, воздух насыщается водяными парами. При этом плотность водяного пара в воздухе можно назвать плотностью насыщенного пара. Чем выше температура воздуха, тем больше предел его насыщения.

Для выяснения степени насыщения водяных паров в воздухе вводится понятие относительной влажности. Относительной влажностью воздуха (φ) называют отношение плотности водяного пара, содержащегося в воздухе температурой t, к плотности насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\ \% \qquad (2)$$

Следовательно, относительная влажность воздуха равна отношению его абсолютной влажности к плотности насыщенного (при этой температуре) пара. Относительная влажность показывает, насколько воздух насыщен водяными парами. Если относительная влажность достигает 100 %, это означает, что водяной пар в воздухе насыщен, и испарение не происходит.

Иногда давление водяного пара в воздухе также называют абсолютной влажностью. Поэтому абсолютную влажность можно также выразить через давление водяного пара. Относительной влажностью воздуха называют отношение парциального давления водяного пара p, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного пара p_0 при данной температуре t, выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\ \% \qquad (3)$$

здесь p – парциальное давление водяного пара в воздухе, p_0 – давление насыщенного пара.

Значения плотностей и давлений насыщенного пара при различных температурах приведены в следующей таблице.

t, °C	ρ_0, г/м^3	p_0, кПа	t, °C	ρ_0, г/м^3	p_0, кПа	t, °C	ρ_0, г/м^3	p_0, кПа
1	5,2	0,653	11	10,0	1,31	21	18,3	2,49
2	5,6	0,706	12	10,7	1,39	22	19,4	2,64
3	6,0	0,759	13	11,4	1,49	23	20,6	2,81
4	6,4	0,813	14	12,1	1,59	24	21,8	2,98
5	6,8	0,880	15	12,8	1,71	25	23,0	3,17
6	7,3	0,933	16	13,6	1,81	26	24,4	3,36
7	7,8	0,999	17	14,5	1,93	27	25,5	3,56
8	8,3	1,07	18	15,4	2,07	28	27,2	3,78
9	8,8	1,15	19	16,3	2,19	29	28,7	3,99
10	9,4	1,23	20	17,3	2,33	30	30,3	4,24

Измерение относительной влажности воздуха

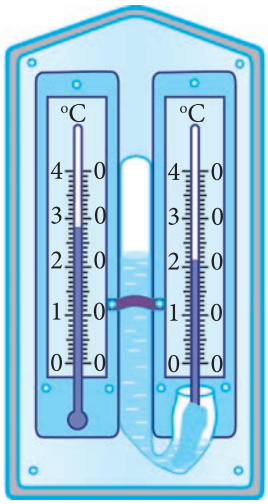


рис.57.

Для измерения влажности воздуха используется простой по строению прибор – психрометр Августа (от греч. слова «психрос» – «холодный»). Он состоит из сухого и влажного термометров (рис.57).

Первый термометр измеряет температуру окружающего воздуха. Конец второго термометра обмотан тканью, нижний конец которой опущен в сосуд с дистиллированной водой. Чем суше воздух, тем быстрее испаряется вода из ткани и тем ниже ее температура. Вычисляя разность температур в показаниях сухого и влажного термометров, определяют относительную влажность по специальной психрометрической таблице. Часть психрометрической таблицы, охватывающая диапазон температур от 15 до 28 °C приведена в таблице.

Например, сухой термометр психрометра (рис.57), показывает 28 °C, а влажный термометр 21 °C. Разность температур составляет 7 °C. Отсюда по психрометрической таблице можно определить относительную влажность воздуха. Она оказалась равной 53%.

Психрометрическая таблица

Показание сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометра, °C										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	75	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	29
	Относительная влажность, %										

Как правило, при влажности менее 50 % воздух считается сухим, при влажности 50–80 % – нормальным, а при 80 % – влажным. Увеличение влажности воздуха приводит к коррозии металлических и разбуханию деревянных предметов. При низкой влажности воздуха деревянные предметы теряют влажность, искривляются и трескаются.

Образование осадков

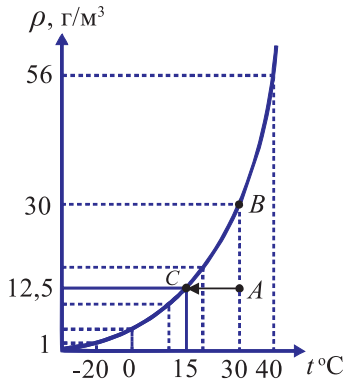


рис.58.

При повышенной влажности воздуха часть водяных паров конденсируется, образуя мелкие частицы воды. Скопление этих мелких частиц называется туманом.

Ненасыщенные водяные пары при охлаждении переходят в насыщенное состояние. Допустим, днем абсолютная влажность воздуха при температуре 30 °C составляет ρ =12,5 г/м^3 (точка А на рис.58). При такой температуре воздуха водяные пары находятся в ненасыщенном состоянии. Для их насыщения необходимо, чтобы влажность равнялась ρ_0 =30 г/м^3 (точка В). Однако ночью температура может упасть до 15 °C. При этой температуре водяные пары (12,5 г/м^3), присутствующие в воздухе, переходят в насыщенное состояние (точка С на рис.58) и, конденсируясь, падают на землю в виде росы. В этом случае температура $t_р$, соответствующая точке С – есть точка росы.

Температура, при которой пар становится насыщенным, называется точкой росы.

Прибор, определяющий относительную влажность воздуха через точку росы, называется гигрометром.

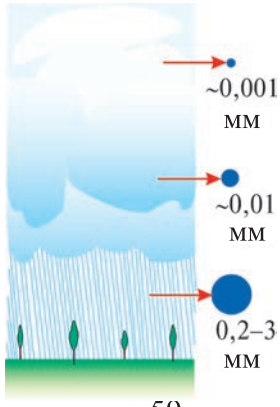


рис.59.

Ночью и утром, когда температура воздуха бывает ниже 0 °C, конденсированные водяные пары образуют частицы льда, которые выпадают на землю в виде инея.

Большая часть паров, поднимающихся с поверхности океанов и суши, располагается на высоте нескольких километров от земли. Температура на такой высоте бывает намного ниже температуры земной поверхности. В таких условиях водяные пары быстро насыщаются. При высокой влажности и дальнейшем понижении температуры насыщенные пары конденсируются и образуют мелкие водяные частицы. Так образуются облака. При дальнейшем понижении температуры в облаках водяные частицы, соединяясь, превращаются

в крупные капли, которые, утяжеляясь, падают на землю в виде дождя (рис. 59).

Если температура в облаках очень низкая, водяные пары конденсируются и образуют мельчайшие частицы льда. Соединяясь друг с другом, частицы льда превращаются в снежинки и в таком виде падают на землю (рис. 60).

Частицы льда, возникшие в облаках при низкой температуре, под влиянием воздушных течений могут неоднократно перемещаться вверх и вниз. При каждом подъеме вверх они покрываются ледяной оболочкой, причем с каждым разом они становятся крупнее и падают на землю в виде града.

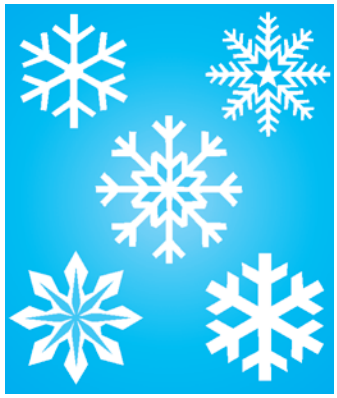


рис.60.

Погода

Состояние погоды определяют такие факторы как температура, влажность, давление воздуха, ветер, облачность или отсутствие облаков, осадки, туман, роса, иней и другие атмосферные явления.

Состояние воздуха в определенное время и в определенном месте называется погодой. Температура, влажность и давление воздуха называются основными элементами погоды.

Ветер, облака и осадки возникают в зависимости от этих основных элементов погоды. Например, понижение температуры воздуха обуславливает падение атмосферного давления и увеличение влажности. Изменение давления приводит к образованию ветра, а повышение влажности к возникновению осадков. Под воздействием ветра воздушные потоки и облака перемещаются из одного места в другое. В результате изменяется температура воздуха, и выпадают осадки.

Предсказание погоды имеет важное значение. Изучение погоды проводится в метеорологических центрах. В Узбекистане прогнозированием погоды занимается Центры гидрометеорологической службы в Ташкенте и в областях нашей Республики.

1. Какая величина называется абсолютной влажностью?
2. Что называют относительной влажностью и как она обозначается?
3. Как с помощью психрометра Августа измеряют относительную влажность воздуха?
4. Что называется точкой росы?
5. Как образуются туман, роса и иней?
6. Как образуются облака, дождь, снег и град?
7. Что называют погодой?
8. Что вы знаете о службе изучения погоды?

§ 42. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Цель работы : научиться на опыте определять влажность воздуха.

Необходимые оборудования: Психрометр Августа (или два одинаковых термометра), сосуд для воды , марля.

Перед тем, как выполнить лабораторную работу начертите эту таблицу.

№	t, °C	$t_в$, °C	Δt, °C	φ, %	ρ, г/м^3
1					
2					
3					

Порядок выполнение работы

1. Налейте воду в сосуд психрометра и подождите 4-5 минут.
2. Запишите показания сухого и влажного термометров t и $t_в$.
3. Вычислите разность показаний сухого и влажного термометров: $\Delta t = t - t_в$.
4. По психрометрической таблице определите относительную влажность воздуха, для соответствующих значений t и Δt (на странице 121 дана психрометрическая таблица).
5. При помощи таблицы на странице 120 определите абсолютную влажность воздуха в комнате.
6. Результаты опытов пишите в таблицу.

Примечание. Если среди лабораторных приборов нет психрометра Августа, то его можно собрать из двух термометров. Если у вас имеется только один термометр, то сначала измерьте температуру воздуха в комнате. Затем резервуар термометра заверните влажной марлей, а часть марли опустите в воду. Через 5-6 минут запишите показание термометра. По полученным результатам вычислите относительную влажность воздуха.



1. Расскажите о способе определения относительной влажности воздуха.
2. Как определить абсолютную влажность воздуха в комнате?

§ 43. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Какова абсолютная влажность воздуха, если относительная влажность при температуре 16 °С равна 70 %? Плотность насыщенного пара при 16 °С равна 13,6 г/м^3.

Дано:
$t = 16$ °С
$\varphi = 70$ %
$\rho_t = 13{,}6$ г/м^3.

Найти:
$\rho = ?$

Формула:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_t}\cdot 100\%; \quad \rho = \frac{\varphi\cdot\rho_t}{100\,\%}.$$

$$[\rho] = \frac{\varphi\cdot\rho_t}{100\%} = \frac{\%}{\%}\cdot\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Вычисление:

$\rho = 0{,}7\cdot 13{,}6$ г/м^3 = 9,52 г/м^3.

Ответ: $\rho = 9{,}52$ г/м^3.

Задача 2. При температуре 24 °С парциальное давление водяного пара равно 2 кПа. Чему равна при этом абсолютная влажность воздуха?

Дано:
$t = 17$ °С
$T = 290$ К
$p = 2\cdot 10^3$ Па
$M = 18\cdot 10^{-3}$ кг/моль

Найти:
$\rho = ?$

Формула:

$$pV = \frac{m}{M}RT; \qquad \frac{m}{V} = \frac{M\,p}{RT};$$

$$\rho = \frac{m}{V}; \qquad \rho = \frac{M\,p}{RT}.$$

$$[\rho] = \frac{\dfrac{\text{кг}}{\text{моль}}\cdot\dfrac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\dfrac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}\cdot\text{К}} = \frac{\text{кг}\cdot\dfrac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\text{Н}\cdot\text{м}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Вычисление:

$$\rho = \frac{18\cdot 10^{-3}\cdot 2\cdot 10^3}{8{,}31\cdot 290}\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} =$$

$$= 14{,}9\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ: $\rho = 14{,}9$ г/м^3.

Задача 3. Чему равна относительная влажность воздуха при температуре 20 °С, если точка росы равна 8 °С? Давление насыщенного пара при 8 °С равно 1,06 кПа, а при 20 °С равно 2,33 кПа.

Дано:
$t_1 = 20$ °С
$t_2 = 8$ °С
$p = 1{,}06$ кПа =1060 Па
$p_{нп} = 2{,}33$ кПа =2330 Па

Найти:
$\varphi = ?$

Формула:

$$\varphi = \frac{p}{p_{нп}}\cdot 100\,\%.$$

$$[\rho] = \frac{\text{Па}}{\text{Па}}\cdot\% = \%.$$

Вычисление:

$$\varphi = \frac{1060}{2330}\cdot 100\,\% = 45{,}5\,\%.$$

Ответ: $\varphi = 45{,}5$ %.

У 23

1. Какое количество теплоты необходимо затратить для превращения в пар 5 кг воды, находящейся при температуре кипения? Удельная теплота парообразования воды равна $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг.
2. Какое количество теплоты выделяется при конденсации пара массой 50 г?
3. Какова относительная влажность воздуха при температуре 20 °С, если в 4 $м^3$ воздуха содержится 40 г водяных паров? Плотность насыщенных водяных паров при 20 °С равна 17,3 $г/м^3$.
4. Давление водяного пара при температуре 20 °С равно 1,54 кПа. Найдите относительную влажность воздуха, если давление насыщенных водяных паров при 20 °С равно 2,43 кПа.
5. Плотность водяного пара при температуре 20 °С равна 17 $г/м^3$. Найдите относительную влажность воздуха, если абсолютная влажность воздуха равна 11 $г/м^3$.
6. Какова абсолютная влажность воздуха, если относительная влажность при температуре 24 °С равна 50 %? Плотность насыщенного пара при 24 °С равна 21,8 $г/м^3$.
7. Сухой термометр психрометра показывает 24 °С, а влажный показывает 19 °С. Определите относительную влажность воздуха, используя психрометрическую таблицу на стр.121.

ТЕСТЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ IV

1. В каких единицах выражается коэффициент поверхностного натяжения?

A) Дж·с; B) Дж/м; C) $Дж/м^3$; D) Н/м.

2. На какую высоту (см) поднимается вода по капилляру диаметром 1,46 мм? Коэффициент поверхностного натяжения воды равен 73 мН/м.

A) 4; B) 2; C) 1; D) 8.

3. В капилляре вода поднялась на высоту 2,8 см. Найдите диаметр капилляра (мм). Коэффициент поверхностного натяжения воды $7 \cdot 10^{-2}$ Н/м.

A) 1; B) 2; C) 0,2; D) 0,7.

4. Капиллярные трубки с диаметрами 2 мм и 1 мм опущены в воду. Определите разность уровней воды в трубках (м).

A) $14{,}6 \cdot 10^{-3}$; B) $28{,}8 \cdot 10^{-3}$; C) $43{,}2 \cdot 10^{-3}$; D) $57{,}6 \cdot 10^{-3}$.

5. Из вертикальной стеклянной трубки диаметром 1 мм, вытекает капля воды. Определите вес капли (мН). r = 73 мН/м.

A) 0,11; B) 0,32; C) 0,50; D) 0,23.

6. Вода по капиллярной трубке, расположенной на Земле, поднимается на 12 мм. На сколько мм поднимается вода по той же трубке на Луне? На Луне ускорение свободного падения в 6 раз меньше, чем на Земле?

A) 134; B) 36; C) 72; D) 24.

7. В каких единицах выражается модуль упругости (Юнга)?

A) Н/м; B) Н·м; C) Па·м; D) Па.

8. При подвешивании груза провод удлинился на 1,5 мм. На сколько (мм) удлинится такой же провод, но длиннее в 3 раза, при подвешивании этого же груза?

A) 4; B) 2,25; C) 3; D) 4,5.

9. Какую силу надо приложить, чтобы проволоку длиной 1.2 м и поперечным сечением 1,5 мм^2 удлинить на 2 мм? Модуль Юнга для проволоки 180 ГПа.

A) 260; B) 225; C) 130; D) 450.

10. Каким будет относительное удлинение стальной проволоки, если к её концам приложить механическое напряжение $8\cdot10^7$ Па? Модуль Юнга для стали 200 ГПа.

A) $4\cdot10^{-4}$; B) $4\cdot10^{-2}$; C) $2\cdot10^{-3}$; D) $5\cdot10^{-3}$.

11. Как меняется температура плавления кристалла от начала плавления до конца плавления?

A) поднимается; B) уменьшается;
C) не изменяется; D) сначала увеличивается, затем понижается..

12. Лед тает при 0 °C. Поглощается или выделяется при этом энергия?

A) поглощается; B) выделяется;
C) и не поглощается, и не выделяется; D) зависит от массы льда.

13. Вода при температуре 0 °C превращается в лед. Поглощается или выделяется при этом энергия?

A) поглощается; B) выделяется;
C) и не поглощается, и не выделяется; D) при образовании первых кристаллов льда выделяется, потом поглощается.

14. Как меняется внутренняя энергия кристалла при плавлении?

A) не меняется; B) увеличивается;
C) уменьшается; D) может увеличеться, и уменьшется.

15. В каких единицах выражается удельная теплота отвердевания?

A) Дж/кг; B) Дж/кг·K; C) Дж/K; D) Дж.

16. Какое количество теплоты (кДж) расходуется при полном плавлении 300 г чугуна, находящегося при температуре плавления? Удельная теплота плавления чугуна 130 кДж/кг.

A) 39; B) 43; C) 10; D) 26.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ IV

Свойства жидкости	Жидкость сохраняет свой объем, но не имеет формы. Жидкость принимает форму сосуда, в котором она находится. Жидкость обладает текучестью.
Поверхностное натяжение	Поверхностное натяжение возникает вследствие действия на молекулы поверхностного слоя жидкости сил, направленных внутрь жидкости.
Сила поверхностного натяжения	Сила поверхностного натяжения, действующая на линию на границе одной из поверхностей, прямо пропорционально длине этой линии и зависит от рода жидкости: $F = \sigma l$. Здесь σ – коэффициент поверхностного натяжения.
Поверхностная энергия	Из-за силы поверхностного натяжения молекулы поверхностного слоя обладают избыточной потенциальной энергией по сравнению с энергией молекул внутри жидкости. Поверхностная энергия прямо пропорциональна площади поверхности (S): $W = \sigma \cdot S$.
Смачивание твердых тел	Жидкость смачивает поверхность твердого тела, если силы притяжения между молекулами жидкости и твердого тела больше сил взаимного притяжения молекул жидкости.
Несмачивание твердых тел	Жидкость не смачивает поверхность твердого тела, если силы притяжения между молекулами жидкости и твердого тела меньше сил взаимного притяжения молекул жидкости.
Капиллярные явления	Поднятие или опускание поверхности жидкости в узкой капиллярной трубке относительно ее поверхности в широком сосуде называется капиллярными явлениями.
Высота поднятия (или опускания) жидкости в капиллярах	Высоту поднятия в капилляре полностью смачивающей жидкости и глубину опускания полностью несмачивающей жидкости можно определить по формуле: $h = \frac{2\sigma}{\rho_{ж} r g}$.
Кристаллические тела	Твердые тела, атомы или молекулы которых образуют в пространстве определенную упорядоченную периодическую структуру (систему), называются кристаллическими телами.
Анизотропия	Зависимость физических свойств от выбранных направлений внутри тела, называется анизотропией. Кристаллические тела обладают анизотропным свойством.
Поликристалл	Тело, состоящее из многочисленных мелких кристалликов, называется поликристаллом
Монокристалл	Тело, состоящее из одного кристалла, называется монокристаллом.

Изотропия	Аморфные тела проявляют одинаковые физические свойства во всех направлениях. Явление, при котором физические свойства не зависят от выбранных внутри тела направлений, называется изотропией. Аморфные тела обладают изотропным свойством.
Деформация	Изменение формы и линейных размеров твердого тела под воздействием внешней силы называется деформацией.
Упругая деформация	Деформация называется упругой, если тело возвращается в свое прежнее состояние, после прекращения действия внешней силы.
Пластическая деформация	Деформация называется пластической, если после прекращения действия внешней силы, тело не возвращается в свое прежнее состояние.
Механическое напряжение	Величина, измеряемая отношением модуля силы действующей на тело, к площади поперечного сечения этого тела, называется механическим напряжением и обозначается с буквой σ
Плавление кристаллических тел	Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое, называется плавлением. Температура, при которой кристаллическое тело плавится, называется температурой плавления этого тела
Испарение	Переход вещества из жидкого или твердого агрегатного состояния в газообразное состояние называется испарением.
Конденсация	Процесс превращения пара в жидкое состояние называется конденсацией
Кипение	Процесс образования пара по всему объему жидкости называется кипением.
Насыщенный пар	Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным паром
Абсолютная влажность воздуха	Количество водяного пара в 1 м^3 воздуха, называется абсолютной влажностью воздуха. По массе водяного пара, приходящегося на объём, можно вычеслить абсолютную влажность: $\rho = \frac{m}{V}$.
Относительная влажность воздуха	Относительной влажностью воздуха (φ) называют выраженное в процентах отношение плотность водяного пара, содержащейся в воздухе с температурой t, к плотностью насыщенного пара при данной температуре: $\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\ \%$.
Точка росы	Температура, при которой пар становится насыщенным.
Измерение относительную влажности	Относительная влажность воздуха измеряется с помощью психрометра.

ОПТИКА

В разделе ***«Оптика»*** курса физики изучаются природа света, закономерности световых явлений, взаимодействие света и вещества. Слово «оптика» (οπτικοζ) в переводе с греческого означает «наука о зрительных восприятиях»

Прямолинейное распространение света было известно еще в Древней Месопотамии и в Древнем Египте и использовалось при строительных работах. Древнегреческие ученые ***Платон, Аристотель, Евклид***, жившие в III в. до нашей эры, занимались изучением возникновения отражения в зеркалах.

Средне азиатские ученые ***Беруни, Ибн Сина, Улугбек, Али Кушчи*** и другие оставили в свих трудах ценные сведения о прямолинейном распространении света, затмении Солнца и Луны, образовании радуги, природе зрения и внесли свой вклад в развитие оптики.

В 1620–1630 гг. голландский ученый В.Снеллиус и французский ученый Р.Декарт определили закономерности преломления света. В 1672 году Роберт Гук на Заседании Английского Королевского общества вышел со своим докладом и высказал свои мысли (гипотезу) о том, что свет распростяранятеся как поперечные волны. В1690 году голландский физик Христиан Гюйгенс разработал продольную теорию световых волн и обосновал сходства акустичеких и оптических явлений и объяснил волновую теорию света по его отражению и преломлению на гарнице двух сред.

В результате широкомасштабных исследований в различных направлениях оптики в XX в. были созданы проекционные аппараты, микроскоп, фотоаппарат, телескоп, бинокль и другие оптические приборы. Возникли и получили развитие такие отрасли оптики, как фотография, телевидение, рентгенография, лазерная физика, световолоконная оптика, гелиотехника.

Исследования в современных направлениях оптики, проводимые учеными Узбекистана, имеют большое практическое значение и являются достойным вкладом в развитие науки и техники. В частности, в НПО “Физика–Солнце” АН РУз проводятся широкомасштабные исследования в области использования солнечной энергии, и результаты исследований внедряются в практику.





ГЛАВА V
ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

§ 44.ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СВЕТА

Если ночью включить свет в комнате, то комната многовенно будет освещена. Хотя мы имеем необходимые приборы (измерительная лента и секундомер), но из-за огромного значения, скорость света мы определить не сможем. Но учёные нашли несколько способов определения скорости света.

Астрономический метод измерения скорости света

Впервые скорость света была измерена в 1676 г. **О. Ремером**. Он измерил скорость света по вхождению в тень Юпитера и выхода из нее, самого крупного его спутника Ио. Как показали астрономические наблюдения, когда Земля подходила к Юпитеру на самое близкое расстояние (положение 1 на рис.61), затмение спутника Ио началось примерно на 11 минут раньше относительно среднего времени повторяемости. А когда Земля удалилась от Юпитера на самое дальнее расстояние (положение2), затмение спутника началось на 11 минут позже.

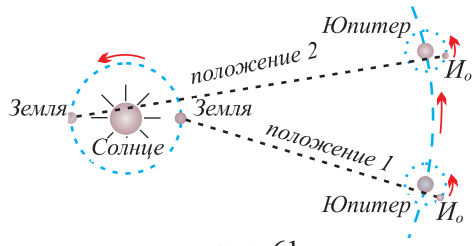


рис. 61.

О. Ремер пришел к выводу, что t = 11 мин.+ 11 мин. = 22 мин. – есть время, в течение которого свет пересекает орбиту Земли. Приняв диаметр орбиты вращения Земли вокруг Солнца равным D = 284 000 000 км, он определил скорость света по формуле $c = D/t$.

Впервые скорость света была измерена О. Ремером в1676 г. Она оказалась равной приблизительно 215 000 000 м/с.

Хотя значение скорости света, измеренное Ремером, значительно отличается от современного точного значения, этот результат в те времена был большим достижением. Во-первых, Ремер на опыте доказал, что свет имеет ограниченную скорость. Во-вторых, он установил, что скорость света очень велика.

Опыт Физо

Через 173 года– в 1849 г. французскому физику Арману Физо удалось точнее измерить скорость света опытным путем. Сущность опыта Физо состояла в следующем. Световой луч от источника S, проходя через линзу $Л_1$, отражается от плоской стеклянной пластины П и собирается в точке О, где установлено вращающееся колесо (рис.62). Проходя между зубцами колеса, луч с помощью линзы $Л_2$ параллельно направляется на установленную дальше линзу $Л_3$, которая собирает его и направляет на зеркало З. Отраженный от зеркала луч снова проходит между зубцами колеса и, проходя через стеклянную пластинку $П$ и линзу $Л_4$, попадает в глаз наблюдателя.

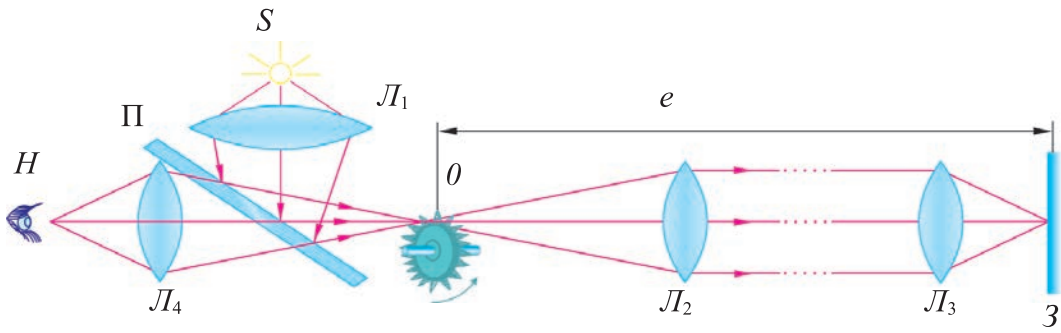


рис. 62.

При медленном вращения колеса отраженный луч виден наблюдателю. С увеличением вращения скорости отраженный луч перестает быть виден наблюдателю. Это объясняется тем, что пока луч, прошедший между зубцами, идет обратно, зубцы поворачиваются на определенный угол и заслоняют его.

При определенной угловой скорости вращения колеса ω луч опять становится видимым. При дальнейшем вращении колеса с такой же скоростью отраженный луч также виден. Причина в том, что пока луч, прошедший между первым и вторым зубцами, идет обратно, колесо успевает повернуться так, что место первого зубца занимает второй, а место второго зубца – третий. В результате отраженный луч проходит между вторым и третьим зубцами.

Измерив частоту вращения колеса v (v =12,67 $с^{-1}$), числа зубцы на колесе N (N = 720), расстояние от колеса до зеркала l (l = 8,6 км), Физо определил скорость света по формуле: $c = 4Nlv$.

В опыте Физо скорость света оказалась равной 313 300 000 м/с.

После опыта Физо учеными были предприняты дальнейшие попытки более точного измерения скорости света. Так, французский физик ***Жан Фуко*** (1819—1868) в 1862 г. в своем опыте вместо зубчатого колеса использовал вращающиеся зеркала и измерил скорость света, равную 298 000 000 м/с.

В1927 г. американский ученый ***Альберт Майкельсон*** (1852–1931) усовершенствовал метод вращающихся зеркал и измерил скорость света. Значение скорости, определенное А. Майкельсоном, составило 299 796 000 м/с.

По современным данным, скорость света в вакууме равна 299 792 458 м/с.

На основании точного значения скорости света в 1983 г. Главная ассамблея международных мер и весов приняла следующее определение метра: «***Метр*** равен длине пути света, пройденного им в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 *с*».

Определение скорости света позволило познать природу света. Ни одно тело в природе не может передвигаться со скоростью большей, чем скорость света.

Скорость света в вакууме принято обозачать с латинской буквой с (по латинский celeritas – скорость). Во многих случаях скорость света округленно можно считать равной $3 \cdot 10^8$ м/с.

1. Объясните, как была определена скорость света астрономическим методом.
2. Какое значение имеют работы Ремера в определении скорости света?
3. В чем состоит смысл опыта Физо по определению скорости света?
4. Чем отличаются опыты Фуко и Майкельсона от опыта Физо?
5. Чему равно современное уточненное значение скорости света?

У 24

1. Среднее расстояние от Земли до Солнца 149,6 млн км, от Юпитера до Солнца – 778,3 млн км. Допустим, что Земля находится между Солнцем и Юпитером. За какое время дойдет до Земли солнечный луч, отраженный от Юпитера?
2. За какое время солнечный луч достигает Земли? За какое время световой луч, отраженный от Луны, достигнет Земли, если среднее расстояние от Земли до Луны 384 тыс. км, от Солнца до Земли 149,6 млн. км.
3. При определение скорости света методом Физо зубчатое колесо располагали от зеркала на 8633 м. Число зубцов на колесе 720. Значение скорости света 313000 км/с. Какова частота вращения колеса?

§ 45. ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Световые лучи

Если на пути световых лучей расположить маленькую щель, то образуется маленький тонкий пучок световых лучей. При наблюдении за этим пучком можно увидеть, что свет распространяется прямолинейно. Энергия света также перемещается по направлению света.

Геометрическая линия направление которой в любой точке пространства совпадает с направлением распространения световой энергии называется световым лучом.

Итак, световой луч – есть геометрическое понятие. Геометрической оптикой называется раздел оптики, в котором изучаются законы распространения света с использованием понятия светового луча. Следующие четыре законы геометрической оптики были установлены экспериментально:

закон прямолинейного распространение света;
закон независимости света;
закон отражения света;
закон преломления света.

Прямолинейное распространение света

Между источником света S и экраном поместим предмет A (рис. 63). Из-за прямолинейного распространения света предмет A препятсвует ходу лучей, в результате за телом образуется тень в форме усеченного конуса. Ни в одну точку этого конуса не падают световые лучи. Поэтому на экране Э преобразуется тень A′ предмета A. Здесь наблюдается прямолинейное распространения света. В солнечный день из-за прямолинейного распространения света, образуются тень от деревьев, зданий и т. д.

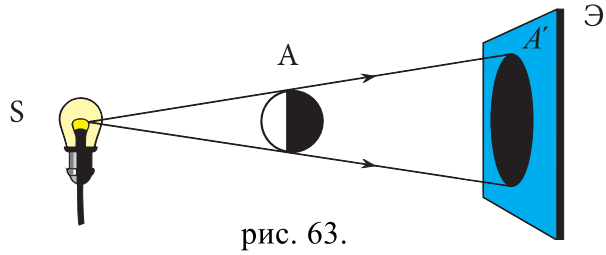


рис. 63.

Независимость света

В целях нормального освещения, в помещение устанавливают несколько источников света. Каждый из них распространяет световые лучи во всех направлениях. При пересечении световые лучи в геометрической оптике не влияют друг на друга. Это означает, что световые лучи имеют принцип независимости.

Отражение света

Свет, идущий от Солнца, лампы и других источников, отражается землей, стенами и предметами, на которые он падает. Свет, отражается от поверхности предметов, попадает нам в глаза, и мы ощущаем форму и цвет предметов.

Если поверхность шероховатая, свет от нее рассеивается. Свет, отраженный от такой поверхности распространяется по разным направлениям. Такого тип отражение называется рассеянным или диффузным отражением (рис.64).

От негладких, шероховатых поверхностей свет отражается рассеянно (диффузно).

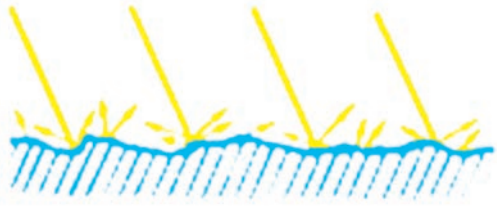


рис. 64.



рис. 65.

Гладкая поверхность, которая отражает почти весь падающий на неё свет, называется зеркалом. Зеркало, поверхность которого представляет собой плоскость, называется плоским зеркалом. Параллелный пучок света после отражения от плоского зеркала остаётся параллельным (рис.65). Такое отражение света называется плоским или зеркальным отражением.

Если поверхность ровная (плоская), то свет от неё отражается зеркально.

Отражение лучей от поверхности подчиняется следующим законам отражения света (рис.66):

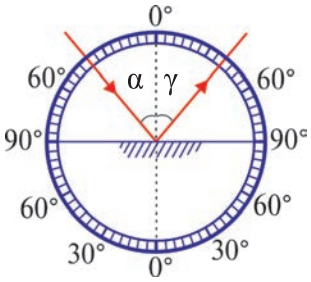


рис. 66.

1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча на границе двух сред, лежат в одной плоскости.

2. Угол отражения γ равен углу падения α.

То есть:

$$\angle \alpha = \angle \gamma. \qquad (1)$$

Отражение предмета в плоском зеркале подчиняется закону отражения света (рис.67).

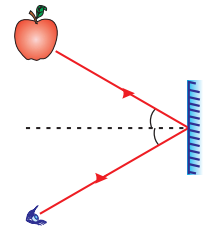


рис. 67.

Закон преломления света

Проходя через стекло, воду и другие прозрачные вещества, световой пучок отражается и преломляется. Преломление луча при прохождении через границу двух сред подчиняется следующим законам (рис. 68):

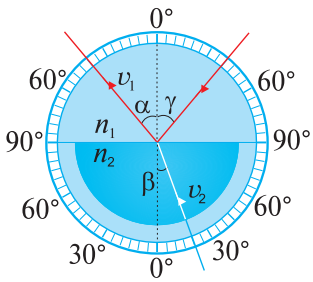


рис. 68.

1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча на границе двух сред, лежат в одной плоскости.

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для двух сред является постоянной величиной:

$$n_{21} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}. \qquad (2)$$

Величина n_{21} называется относительным показателем преломления луча второй среды относительно первой, $\angle\,\alpha$ – угол падения, $\angle\,\beta$ – угол преломления света.

Во многих случаях вместо относительного показателя преломления используется абсолютный показатель преломления. Абсолютный показатель преломления n вещества выражается формулой:

$$n = \frac{c}{\upsilon}. \qquad (3)$$

здесь $c = 3 \cdot 10^8$ м/с– скорость света в вакууме, υ – скорость света в данной среде.

Значения скорости света(υ) в некоторых веществах и абсолютного показателя преломления(n) представлены в таблице.

№	Вещество	υ, 10^8 м/с	n	№	Вещество	υ, 10^8 m/s	n
1	Лёд	2,29	1,31	4	Кварц	1,95	1,54
2	Вода (20^0 C)	2,25	1,33	5	Рубин	1,70	1,76
3	Стекло	2,0	1,5	6	Алмаз	1,24	2,42

Можно считать, что скорость света в воздухе приблизительно равна скорости света в вакууме. Поэтому на практике показатель преломления веществ рассматривается не относительно вакуума, а относительно воздуха.

Если в среде, из которой падает луч, скорость света υ_1, показатель преломления n_1, а в среде, в которой луч преломляется, скорость света υ_2, а показатель преломления n_2, то можно записать следующую зависимость:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}. \qquad (4)$$

Если учесть, что показатель преломления среды, из которой падает луч n_1, а показатель преломления преломляющей среды n_2, то, $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$. Тогда формулу (2) можно записать в виде:

$$\boxed{\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}.} \qquad (5)$$

При переходе светового пучка из среды с малым показателем преломления в среду с большим показателем преломления угол преломления будет меньше угла падения и наоборот. Это условие можно выразить следующим образом: $\angle\beta < \angle\alpha$ при $n_2 > n_1$; $\angle\beta > \angle\alpha$ при $n_2 < n_1$.

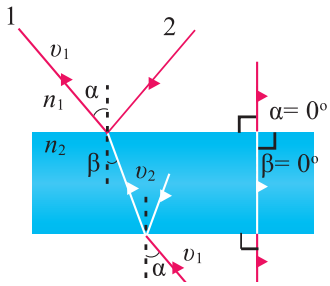


рис.69.

Пусть световой луч переходит из воздуха ($n_1 = 1$) в стекло ($n_2 = 1{,}5$) под углом α, а затем, после второго преломления, в воздух (рис.69, луч 1). В этом случае угол преломления при переходе луча из стекла в воздух также будет равен α.

Луч, падающий перпендикулярно к границе раздела двух сред, не преломляется, так как угол падения $\angle\alpha = 0°$ и угол преломления $\angle\beta = 0°$ (рис.69, луч 2).

1. Что называют световым лучом?
2. В чем заключается причина рассеянного отражения света?
3. Какому закону подчиняется распространение света в однородной прозрачной среде?
4. В чем состоит смысл закона отражения света?
5. Какова причина преломления света на границе двух сред?
6. Объясните закон преломления света.
7. В чем заключается физический смысл абсолютного показателя преломления луча?
8. Почему днем не видно звезд?
9. Сколько раз преломляется свет в стекле до попадения нам в глаза при наблюдении света через стекло?
10. Как зависит показатель преломления от скорости распространения луча в среде?

1. Положите в стакан монету и налейте воду. С увеличением высоты подъема воды, нам кажется поднимается и монета. Объясните причину.

§ 46. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Световой луч переходит из первой среды во вторую под углом 60°, и угол преломления при этом равен 30°. Найдите относительный показатель преломления второй среды относительно к первой ?

Дано:

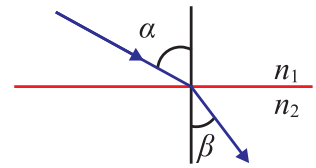
$\alpha = 60°$

$\beta = 30°.$

Найти:

$n_{21} = \dfrac{n_2}{n_1} = ?$

Чертеж:



Формула:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}.$$

Вычисление:

$$n_{21} = \frac{\sin 60^0}{\sin 30^0} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{3}.$$

Ответ: $n_{21} = \sqrt{3}.$

Задача2. Луч света за одинаковое время в вакууме проходит 45 см, а в жидкости 30 см. Найдите показатель преломления этой жидкости?

Дано:

$n_1 = 1$

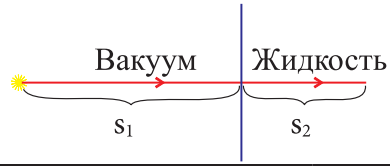
$s_1 = 45$ см

$s_2 = 30$ см.

Найти:

$n_2 = ?$

Чертеж:



Формула:

$$\upsilon_1 = \frac{c}{n_1} \qquad \upsilon_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$\upsilon_1 \cdot n_1 = \upsilon_2 \cdot n_2 \qquad \upsilon_1 = \frac{s_1}{t} \qquad \upsilon_2 = \frac{s_2}{t}$$

$$\frac{s_1}{t} \cdot n_1 = \frac{s_2}{t} \cdot n_2 \qquad n_2 = \frac{s_1 \cdot n_1}{s_2}.$$

Вычисление:

$$n_2 = \frac{45\,\text{см} \cdot 1}{30\ \text{см}} = 1{,}5.$$

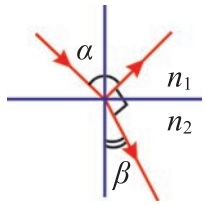
Ответ: $n_2 = 1{,}5.$

Задача 3. Световой луч падает из первый среды на вторую под углом 45°, угол преломления равен 30° . Если абсолютная показатель преломления первой среды равен $\sqrt{2}$, найдите скорость света во второй среде?

Дано:
$\alpha = 45°$
$\beta = 30°$
$n_1 = \sqrt{2}$.

Найти:
$\upsilon_2 = ?$

Чертеж:



Формула:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}; \quad n_2 = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\cdot n_1.$$

$$\upsilon_2 = \frac{c}{n_2}.$$

Вычисление:

$$n_2 = \frac{\sin 45^o}{\sin 30^o}\cdot\sqrt{2} = \frac{\sqrt{2}/2}{1/2}\cdot\sqrt{2} = 2$$

$$\upsilon_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3\cdot 10^8}{2}\frac{\text{м}}{\text{с}} = 1{,}5\cdot 10^8\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $\upsilon_2 = 1{,}5\cdot 10^8$ м/с.

У 25

1. Каким должен быть угол падения светового луча, чтобы отраженный луч составлял с падающим угол 70°?
2. Изображение предмета в плоском зеркале находится на расстоянии 60 см от зеркала. Найдите расстояние между предметом и его изображением.
3. С какой скоростью распространяется свет в среде показатель преломления которой равен $\sqrt{2}$?
4. Угол между падающим и отраженным лучами равен 60°. Если абсолютный показатель преломления стекла равен 1,5, то найдите угол преломления луча?
5. Световой луч переходит из воды в стекло. Найдите отношение путей, пройденными лучами за равные промежутки времени. Абсолютные показатели преломления воды и стекла соответсвенно равны 1,33 и 1,5?

§ 47. ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

При падении светового луча из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления можно наблюдать интересное явление. Например, направим световой пучок под углом α так, чтобы он проходил в воздух через стекло. При этом часть света отражается от границы двух сред, а остальная часть под углом β проходит во вторую среду – в воздух (рис.70 *а*).

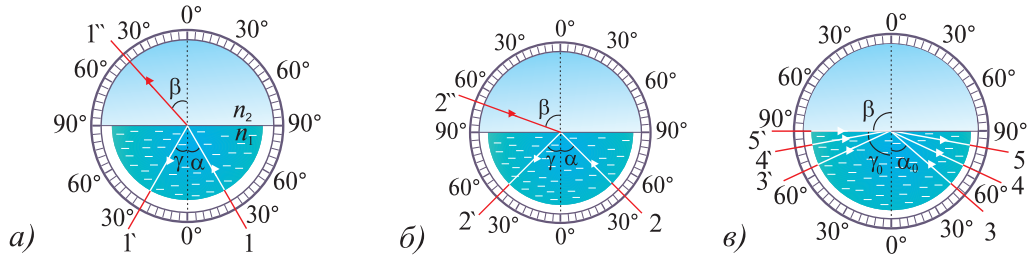


рис. 70.

Так как показатель преломления стекла ($n_1 = 1{,}5$) больше, чем у воздуха ($n_2 = 1$), угол преломления луча $\angle\,\beta$ больше угла падения $\angle\,\alpha$.

Угол преломления можно определить по формуле:

$$\sin\beta = \frac{n_1}{n_2}\cdot\sin\alpha. \qquad (1)$$

С увеличением угла падения луча угол преломления приближается к 90°. Например, $\angle\,\beta \approx 42°$ при $\angle\,\alpha = 30°$ (рис.70 *а*), $\angle\,\beta \approx 75°$ при $\angle\,\alpha = 40°$ (рис.70 *б*). При увеличении угла падения до предельного значения $\angle\,\alpha = \angle\,\alpha_0$ угол преломления будет $\angle\,\beta = 90°$ (рис.70 в). Предельное значение угла падения α_0 определяется по формуле:

$$\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}. \qquad (2)$$

Определим предельное значение угла преломления $\angle\alpha_0$ при переходе луча из стекла в воздух:

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{1{,}5} \approx 0{,}667 \quad \text{отсюда} \quad \angle\alpha_0 \approx 42°.$$

При любых значениях угла падения, больших предельного угла падения $\angle\,\alpha_0$, луч полностью без потерь отражается от границы раздела двух сред, то есть происходит полное внутреннее отражение.

При распространении света из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления при угле падения, большем предельного угла падения, луч полностью отражается от границы двух сред.

Явление полного внутреннего отражения используется для изменение направления луча света (рис.71 *а*) или для изменения его места расположения (рис.71 *б*).

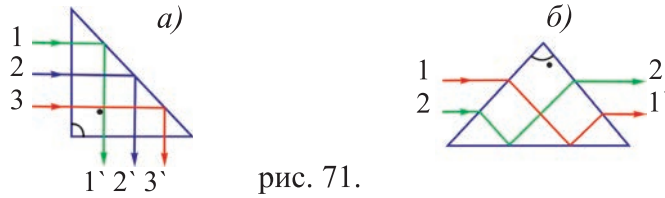


рис. 71.

Явление полного внутреннего отражения широко используется в информационных технологиях. Поэтому данное явление усиленно исследуется специалистами в области оптики, называемой волоконной оптикой. Оптическое изображение передается через уложенный в определенном порядке световолоконный кабель.

Прохождение луча по волокнам показано на рис.72. Волокна представляют собой покрытые оболочкой стеклянные или пластиковые стержни цилиндрической формы с различными показателями преломления. Показатель преломления стержня больше, чем у оболочки, поэтому на границе стержня и оболочки происходит явление полного внутреннего отражения света. Луч, направленный внутрь стержня, не выходя наружу, выходит через второй конец волокна.



рис. 72.

Диаметр волоконных стержней составляет до нескольких сотен микрометров, а толщина оболочки от десятков до сотен микрометров. При передаче сигнала (изображения) с одного конца такого кабеля на другом его конце можно получить точно этот же сигнал. По световолоконному кабелю сигнал передается без потерь на очень большие расстояния.

Световолоконные кабели связи проведены через Тихий и Атлантический океаны. В настоящее время они связывают Азию и Европу с американским континентом, а Европу через Узбекистан с Китаем.

Световолоконная оптика широко применяется и в медицине. С помощью световолоконных кабелей можно наблюдать за внутренними органами и получать их изображение.

1. Как происходит явление полного внутреннего отражения?
2. Как передается изображение по световолоконному кабелю?
3. Что вы знаете об использовании полного внутреннего отражения?
4. С повышением температуры показатель преломления воды немного уменьшается. Как изменяется предельный угол полного отражения воды?
5. Относительный показатель преломления дистиллированной воды, стекла и алмаза соответственно равны 1,33; 1,5 и 2,42. В каком из них предельный угол полного отражения имеет наименьшое значения?
6. Луч света падает из воздуха в воду. Можно ли наблюдать явление полного внутренного отражения?

§ 48. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Угол падения световых лучей при границе двух сред равен 30°, а угол преломления 45°. Найдите предельный угол полного отражения.

Дано:

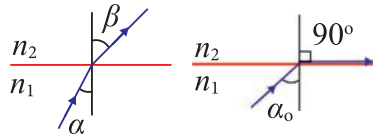
$\angle \alpha = 30°$

$\angle \beta = 45°.$

Найти:

$\angle \alpha_0 = ?$

Чертеж:



Формула:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}; \qquad \sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}.$$

Вычисление:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 30^0}{\sin 45^0} = \frac{1/2}{\sqrt{2}/2} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

$$\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Ответ: $\angle \alpha_0 = 45^o$.

Задача 2. На границе стекло-воздух предельный угол полного отражения равен 37^0. Найдите скорость света в стекле.

Дано:

$\angle \alpha = 37°$

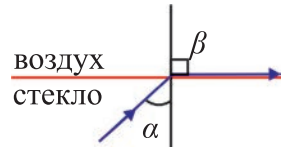
$n_2 = 1$

$\angle \beta = 90°.$

Найти:

$\upsilon_1 = ?$

Чертеж:



Формула:

$$\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}; \qquad n_1 = \frac{n_2}{\sin\alpha_0};$$

$$\upsilon_1 = \frac{c}{n_1} = \frac{c}{n_2}\cdot\sin\alpha_0.$$

Вычисление:

считаем, $\sin 37° \approx 0{,}6$

$$\upsilon_1 = \frac{3\cdot 10^8}{1}\cdot\sin 37^o \approx$$

$$\approx 3\cdot 10^8\cdot 0{,}6 \approx 1{,}8\cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\upsilon_1 = 1{,}8\cdot 10^8$ м/с .

У 26

1. Световой луч проходит в воздух через воду (n = 1,33). Каким должен быть угол падения луча, чтобы произошло полное внутреннее отражение?
2. Предельный угол полного отражения для рубина 34°. Найдите показатель преломления рубина.
3. Найдите предельный угол полного отражения для среды, если абсолютный показатель преломления этой среды равен 2.
4. При падении светового луча из одной среды в другую среду, имеющую показатель преломления 1,5, под углом 53° начинает наблюдаться полное

внутреннее отражение. Найдите показатель преломления второй среды.
5. При падении светового луча из одной среды в другую среду, имеющую показатель преломления 1,2, под углом 47° начинает наблюдаться полное внутреннее отражение. Найдите показатель преломления первой среды?

§ 49. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА

Цель работы: изучение определения показателя преломления стекла.

Необходимое оборудование: электролампа, преграда с отверстием, стеклянная треугольная призма, иголки, транспортир.

Порядок выполнения работы

1. Установите на пути светового пучка стеклянную треугольную призму так, как показано на рис. 73. Запишите значение угла ∠ α на вершине призмы (этот угол отмечен на самой призме).

2. Проходя через призму, световой пучок преломляется в точке О и, изменяя свой ход, поворачивается на угол ∠ γ. Отметьте иголками ход преломленного луча и измерьте транспортиром угол ∠ γ.

3. Закон преломления света для луча, проходящего в воздух через стеклянную призму с показателем преломления n, можно выразить следующим образом:

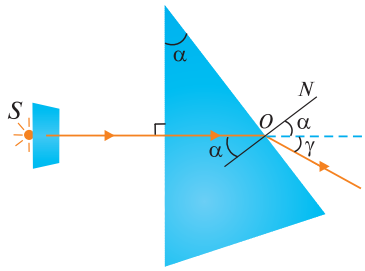


рис.73.

$$\frac{1}{n}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha+\gamma)} \quad (1) \quad \text{или} \quad n=\frac{\sin(\alpha+\gamma)}{\sin\alpha} \quad (2)$$

где α– угол падения луча на границу стекла и воздуха, который по величине равен верхнему углу призмы. Подставив измеренные значения углов α и γ в формулу(2), определите показатель преломления луча данной призмы.

4. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.

№	∠ α	sin α	∠ γ	sin (α+γ)	n	$n_{ср}$
1						
2						

1. Проанализируйте путь светового пучка, покажите углы падения и преломления.

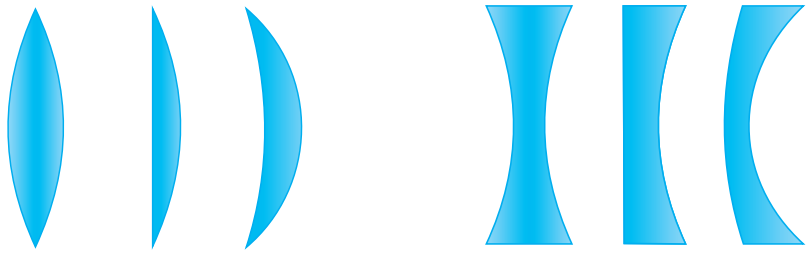
2. Проанализируйте процесс и результаты опыта.

§ 50. ЛИНЗЫ

Выпуклые и вогнутые линзы

Прозрачное тело, одна или обе стороны которого ограничены сферическими поверхностями, называется *линзой*.

Линзы бывают выпуклыми и вогнутыми. Если средняя часть линзы толще краев, то *линза выпуклая*, если тоньше, то *линза вогнутая*.Каждая из выпуклых и вогнутых линз делится на три основных вида (рис.74).



а) *б)*

рис. 74.

Поверхность выпуклой линзы можно рассматривать как поверхность, образованную от взаимного пересечения сфер радиусом R_1 и R_2 (рис. 75). Здесь R_1 и R_2 – радиусы кривизны линзы. Прямая линия O_1O_2, проходящая через центры сфер O_1 и O_2, называется главной оптической осью линзы. Точка O, расположенная в середине линзы, называется ее оптическим центром.

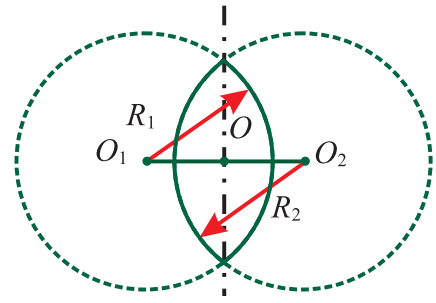
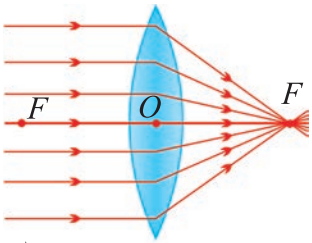


рис.75.

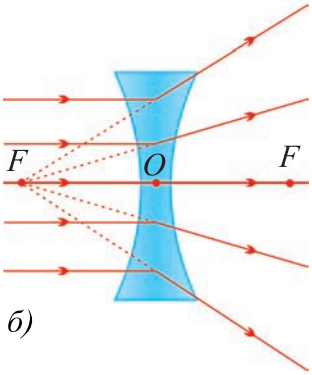
Направим лучи параллельно главной оптической оси выпуклой линзы. Тогда лучи, проходящие через линзу, соберутся в одной точке на главной оптической оси (рис.76 *а*). Эта собирающая точка F называется главным фокусом линзы. Так как выпуклая линза обладает свойством собирать лучи в одной точке, ее называют собирающей линзой.

Если направить точно такие же параллельные лучи на вогнутую линзу, лучи, проходящие через нее, равномерно рассеятся (рис.76 *б)*. Поэтому вогнутую линзу также называют рассеивающей линзой. Если продолжить лучи, прошедшие через рассеивающую линзу, в обратном направлении, то они пересекутся в одной точке, лежащей на главной оптической оси. Эта точка *F* называется мнимым фокусом вогнутой линзы.

Линза имеет два фокуса, которые лежат по обеим сторонам линзы на одинаковом расстоянии от ее центра. Расстояние от оптического центра до



а)



б)

рис. 76.

фокуса называется фокусным расстоянием линзы и обозначается буквой F.

Величина, обратная фокусному расстоянию, называется *оптической силой* линзы и обозначается буквой *D*

Оптическая сила линзы: $D = \frac{1}{F}$, (1)

За основную единицу оптической силы принята диоптрия (1 дптр). Оптическая сила линзы с фокусным расстоянием, равным 1 м, составляет 1 диоптрию: 1 дптр = 1/м.

У собирающей линзы оптическая сила положительная, у рассеивающей отрицательная.

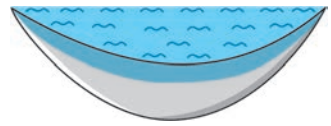
Фокусное расстояние линзы, имеющей радиусы кривизны R_1 и R_2, а также показатель преломления n, можно определить по формуле:

$$F = \frac{1}{(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}. \quad (2)$$

Здесь луч проходит через линзу, расположенную в воздухе, и показатель преломления воздуха принимается равным 1.

1. Какое тело называется линзой?
2. Чем отличаются друг от друга выпуклая и вогнутая линзы?
3. Какие существуют виды выпуклых и вогнутых линз?
4. Что называется главной оптической осью, главным фокусом, мнимым фокусом, фокусным расстоянием? Покажите их из рис.76.
5. Какая величина называется оптической силой линзы? В каких единицах она измеряется?

1. Положите выпукло-вогнутую линзу горизонтально, как показано на рисунке. Как изменится ее оптическая сила, если в неё налить жидкость? Проверьте это на опыте и запишите вывод.



2. Если даны рассеивающие и собирающие линзы с различными оптическими силами, как определить какая из них имеет большую оптическую силу?

§ 51. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ТОНКОЙ ЛИНЗЫ

Построение изображения в линзах

Каково будет изображение предмета AB в собирающей линзе (рис.77), если его поместить на расстояние d от линзы? Для построения изображения предмета в линзе, удобно использовать следующие лучи:

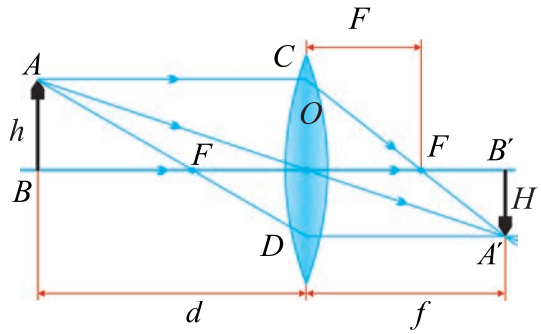


рис. 77.

1. Начертим луч AC, параллельный главной оптической оси линзы. После прохождения линзы луч преломляется и проходит через фокус линзы (CA^1).

2. Начертим луч AD, проходящий через фокус линзы. После прохождения линзы, луч идёт параллельно главной оптической оси (DA).

3. Начертим луч AO проходящий через оптический центр линзы, который не преломлясь, не меняет своего направления в точке AO. Эти лучи пересекаются в точке A'. Тогда $A'B'$ и есть изображение предмета AB. Оно является обратным (перевёрнутым) и действительным (пересекаются сами лучи, а не их продолжения).

Формула тонкой линзы

Формула тонкой линзы выражает связь между расстоянием d от предмета до линзы, расстоянием f от линзы до изображения и фокусным расстоянием F линзы:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f} \quad \text{или} \quad D=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}. \qquad (1)$$

Для собирающих линзы F, d, f берутся с положительным знаком. Если предмет расположен между линзой и ее фокусом, то есть $d < F$, то f будет отрицательным. В этом случае получается мнимое изображение.

Линейное увеличение линзы

Линейным увеличением линзы называют отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета.

По определению: $K = \frac{H}{h} = \frac{A'B'}{AB}$ Линейное увеличение линзы можно определить отношением расстояния от изображения до линзы (f) к расстоянию от линзы до предмета (d): $K = \frac{f}{d}$.

При $K > 1$ изображение предмета будет увеличенным, при $K < 1$ – уменьшенным.

Построение изображения в рассеивающей линзах

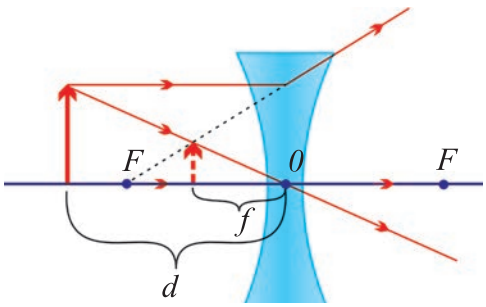


рис.78.

Построение изображения в рассеивающей линзе показано на рис.78. Из рисунка видно, что лучи в рассеивающей линзе не пересекаются, а пересекаютя их продолжения, (в фокусе собираются продолжения этих лучей). Поэтому полученное изображение мнимое и прямое.

В рассеивающих линзах f и F всегда берется отрицательным, и изображение будет мнимым. Формула рассеивающей линзы: $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$. (2)

1. Какие лучи удобно использовать для построения изображения в линзе?
2. Что выражает формула тонкой линзы?
3. Каким выражением определяются линейное увеличение линзы?
4. Какие изображения можно получить в собирающих линзах?
5. Когда в собирающей линзе можно получить мнимое изображение?
6. Какое изображение дает рассеивающая линза?

Заполните таблицу.

Собирающая линза			
d	f	K	Форма изображения
$d=\infty$	$f = F$	$K<1$ (уменьшенное)	Изображение действительное, точечное и находится на фокусе линзы
d > 2F	$F < f < 2F$	$K<1$ (уменьшенное)	Изображение действительное, обратное
$d = 2F$			
$F < d < 2F$			
$d < F$			

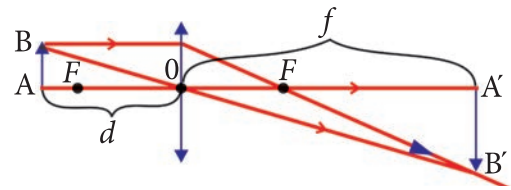
§ 52. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Предмет расположен на расстоянии 10 см от собирающей линзы с фокусным расстоянием 7,5 см. Найдите расстояние от линзы до изображения? Каково линейное увеличение линзы?

Дано:
$F = 7{,}5$ см
$d = 10$ см.

Найти:
$f = ?$ $K = ?$

Чертеж:



Формула:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f};$$

$$f = \frac{d \cdot F}{d - F}.$$

$$K = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F}.$$

Вычисление:

$$f = \frac{d \cdot F}{d - F} = \frac{10 \cdot 7{,}5}{10 - 7{,}5}\text{см} = 30\,\text{см}.$$

$$K = \frac{f}{d} = \frac{30\,\text{см}}{10\,\text{см}} = 3.$$

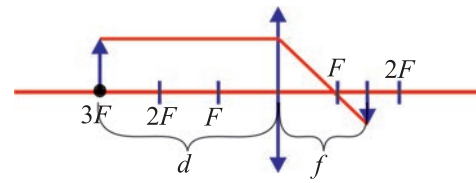
Ответ: $f = 30\,\text{см}$, $K = 3$.

Задача 2. Каково увеличение собирающей линзы, если расстояние от нее до предмета равно тройному фокусному расстоянию?

Дано:
$d = 3F$

Найти:
$K = ?$

Чертеж:



Формула:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \qquad f = \frac{d \cdot F}{d - F}$$

$$K = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F}$$

Вычисление:

$$K = \frac{F}{d - F} = \frac{F}{3F - F} = \frac{1}{2}.$$

Ответ: $K = \frac{1}{2}$.

Задача 3. С помощью линзы образовано мнимое, уменьшенное в 2 раза изображение предмета, расположенного на расстоянии 50 см от линзы. Определите оптическую силы линзы.

Дано:

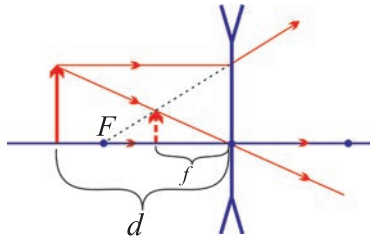
$d = 50$ см $= 0{,}5$ м

$K = 1/2$.

Найти:

$D = ?$

Чертеж:



Формула:

$$K = \frac{f}{d} \qquad f = d \cdot K$$

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{d} - \frac{1}{d \cdot K} = \frac{K-1}{d \cdot K}.$$

Вычисление:

$$D = \frac{0{,}5 - 1}{0{,}5 \cdot 0{,}5}\ \text{дптр} = -2\ \text{дптр}.$$

Ответ: D = – 2 дптр.

У 27

1. Определите оптическую силу линзы с фокусными расстояниями 40 см, 25 см, 10 см, -10 см, -25 см, -40 см.
2. Найдите оптическую силу двояковыпуклой линзы с радиусами кривизны поверхности 20 см и 25 см, изготовленной из стекла с показателем преломления относительно воздуха, равным 1,5.
3. Предмет расположен на расстоянии 15 см от линзы с фокусным расстоянием 10 см. Найдите расстояние от линзы до изображения. Каково линейное увеличение линзы?
4. Выполняя лабораторную работу, ученик получил четкое изображение горящей свечи на экране. Каковы фокусное расстояние и оптическая сила линзы, если расстояние от свечи до линзы 15 см, а расстояние от линзы до экрана 60 см?
5. На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием 50 см следует расположить предмет, чтобы получить четырехкратное увеличение?
6. С помощью линзы образовано мнимое изображение предмета, расположенного на расстоянии 50 см от линзы. Найдите оптическую силу линзы, если расстояние от предмета до линзы 20 см.
7. Изображение предмета, расположенного на расстоянии 1 м от рассеивающей линзы, находится в 25 см от линзы. Какова оптическая сила линзы?
8. На экране возникает увеличенное в 2 раза изображение предмета, расположенного на расстояние 1 м от линзы. Какова оптическая сила линзы?

§ 53. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЛИНЗЫ

Цель работы: изучение определения фокусного расстояния и оптической силы линзы.

Необходимые оборудования: выпуклая линза, электрическая лампа, экран и масштабная линейка.

Порядок выполнения работы

1. Расположите на стол лампу, линзу и экран, как показано на рис. 79.

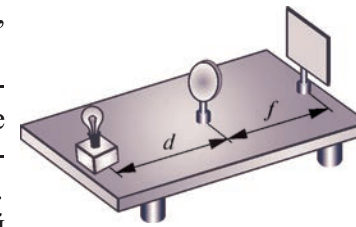


рис. 79.

2. Зажгите лампу. Передвигая экран, найдите расстояние, при котором получается четкое изображение нити лампы. Измерьте расстояние d_1 от лампы до линзы и расстояние f_1 от линзы до изображения (экрана).

3. Измените расстояние между лампой и линзой на d_2 и d_3 и повторите опыт. Измерьте расстояние f_2 и f_3, при которых получается четкое изображение нити лампы на экране.

4. Используя формулу линзы, вычислите фокусные расстояния линзы F_1, F_2, F_3 для полученных в опыте значений d_1 и f_1, d_2 и f_2, d_3 и f_3.

5. Подставьте результаты расчетов в формулу $F_{ср} = (F_1 + F_2 + F_3)/3$ и вычислите среднее значение фокусного расстояния линзы.

6. По формуле $D = 1/F_{ср}$ вычислите среднюю оптическую силу линзы.

7. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.

№	*d*, м	*f*, м	*F*, м	$F_{ср}$, м	*D*, дптр
1					
2					
3					

8. Поставьте линзу на расстояние $d = 2F$ от лампы. Передвигая экран, получите изображение нити лампы.

9. Поставьте линзу перед лампой так, чтобы выполнялось условие $F < d < 2F$. Передвигая экран, получите изображение нити лампы.

10. Поставьте линзу на расстояние $d < F$ от лампы. Передвигая экран, попытайтесь отыскать изображение нити лампы. Убедитесь в том, что за линзой не возникает изображение.

1. Чем отличаются друг от друга изображения, полученные на экране описанные в пунктах 8-9?
2. Почему при проведении опыта, описанного в пункте 10, изображение на экране не получается?
3. Проанализируйте результаты опыта и сделайте выводы.

§ 54. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Лупа

Лупа — это двояковыпуклая линза, которая увеличивает угол зрения предметов.

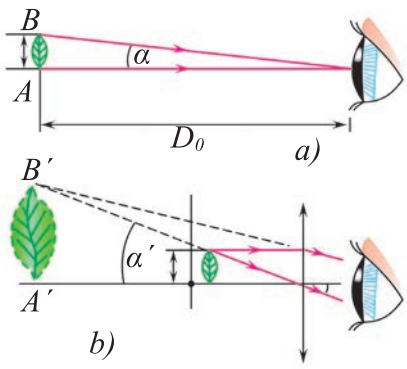


рис. 80.

Расстояние наилучшего зрения для нормального глаза составляет около $D_0 = 25$ *см*. Допустим, мы рассматриваем мельчайшие детали на поверхности предмета *AB*. На расстоянии, меньшем D_0, наши глаза не различают мелких деталей.

При этом угол зрения нашего глаза равен $\angle\,\alpha$ (рис.80 *а*). При помещении между глазом и предметом лупы на расстоянии D_0 появится увеличенное изображение предмета *A′B′* (рис.80 *б*). Мелкие детали на поверхности предмета также будут увеличенными. Для этого случая увеличение лупы будет иметь вид: $K = A'B'/AB = \angle\,\alpha'/\angle\,\alpha$.

Увеличение лупы определяется по формуле $K = D_0/F$. Фокусные расстояния луп обычно составляют 1–10 см. Учитывая, что $D_0 = 25$ *см*, можно сказать, что лупа увеличивает предметы в 2,5–25 раз.

Фотоаппарат

Фотоаппарат **— это прибор, который позволяет воспроизводить и хранить изображение на фотопленке, фотопластине или фотобумаге.**

Фотоаппарат состоит из объектива *O* и камеры *K* (рис.81). Линза Л воспроизводит на экране камеры обратное, действительное и уменьшенное изображение *A′B′* предмета *AB*. Сохранение изображения в фотоаппарате имеет очень важное значение. Для этого на экране камеры располагают воспроизводящую и сохраняющую изображение фотопластинку или фотопленку, покрытую специальной фотоэмульсией.

С развитием науки и техники место пленочных фотоаппаратов заняли цифровые фотокамеры (рис.82), в которых вместо пленки установлен специальный чувствительный элемент. Внутри элемента формируется точки изображения. Такие точки изображения называются пикселями. Слово *pixel* – из английского слова (*picture element*), что означает элемент изобра-

жения. Пиксель является качественной характеристикой фотоаппарата. Чем больше пикселей в фотоаппарате , тем лучше качество изображения. Самые лучшие фотоаппараты имеют несколько десятков мегапикселей.

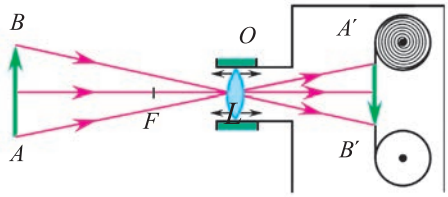


рис. 81.



рис. 82.

Микроскоп

Микроскоп — это оптический прибор, показывающий в увеличенном виде очень мелкие, не видимые глазу, близко расположенные объекты.

Микроскоп используется для наблюдения за такими мельчайшими объектами, как бактерии и клетки (рис.83).



рис. 83

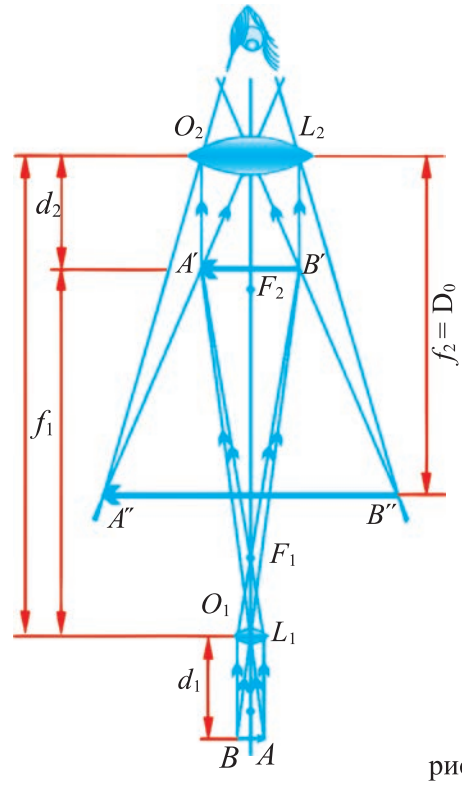


рис. 84.

С помощью линзы $Л_1$, находящейся в окуляре O_1, создается обратное, действительное и увеличенное изображение $A'B'$ предмета AB (рис.84). Линза $Л_2$ в окуляре O_2 микроскопа увеличивает угол зрения подобно лупе. B объективе микроскопа изображение $A'B'$, созданное линзой $Л_1$ на расстоянии наилучшего зрения D_0, можно увидеть в еще более увеличенном виде $A''B''$.

Увеличение микроскопа определяется по формуле

$$K = \frac{l \cdot D_0}{F_1 \cdot F_2}$$

где l – расстояние между линзами; F_1 и F_2 – фокусные расстояния линз.

При помощи усовершенствованных микроскопов можно наблюдать за мельчайшими объектами, увеличенными в 3000 раз. Коэффициент увеличения специальных микроскопов, созданных в последние годы, равен 100 000.



1. Как получается изображение в лупе? Как определяется ее увеличение?
2. Объясните устройство и работу фотоаппарата.
3. Как воспроизводится изображение в микроскопе? Как определяется его увеличение?
4. Что вы знаете об оптических микроскопах?



1. Какое увеличение можно получить, пользуясь лупой с фокусным расстоянием 2,5 см? Расстояние наилучшего зрения равно $D_0 = 25$ см.
2. Определите фокусное расстояние лупы, которая увеличивает изображение предмета в 20 раз?
3. Фокусные расстояния линз микроскопа равны 1,5 см и 2,5 см соответственно, расстояние между линзами 30 см. Во сколько раз увеличивает изображение объекта такой микроскоп?
4. Линза с фокусным расстоянием 30 см, даёт изображение предмета уменьшенное в 3 раза. Найдите расстояние от предмета до линзы.
5. Фокусное расстояние объектива первого фотоаппарата равно 5 см, а второго аппарата – 4 см. Какой из этих аппаратов дает более крупное изображение объекта, фотографируемого с одного и того же расстояния?
6. Предмет расположен на расстоянии 50 см от выпуклой линзы с фокусным расстоянием 40 см. Каково линейное увелечение линзы?
7. Когда предмет находится на расстоянии 60 см от выпуклой линзы с фокусным расстоянием 20 см на экране образовалось увеличенное, действительное изображение предмета. Найдите расстояние от предмета до экрана?

§ 55. ГЛАЗ И ЗРЕНИЕ

Строение глаз

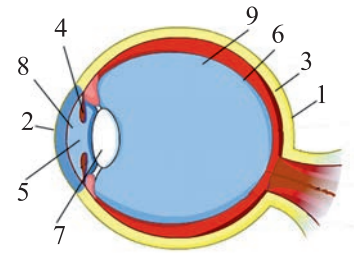


рис. 85.

Вид человеческого глаза в разрезе приводится на рис. 85. Внешняя оболочка глазного яблока называется склерой (1), ее прозрачная передняя часть роговой оболочкой (роговицей) (2). Изнутри склера покрыта сосудистой оболочкой (3), которая состоит из кровеносных сосудов.

Передняя часть сосудистой оболочки примыкает к радужной оболочке (4), в середине которой имеется круглое отверстие – зрачок (5). Под сосудистой оболочкой находится сетчатая оболочка (сетчатка) (6), которая состоит из плотно расположенных нервных окончаний. За радужной оболочкой находится прозрачное тело– хрусталик (7). Примыкающие к нему специальные мышцы изменяют радиус кривизны хрусталика. Поверхность сетчатой оболочки напротив хрусталика покрыта светочувствительным желтым веществом. Промежуток между роговой оболочкой и хрусталиком заполнен водянистой жидкостью (8). Промежуток между хрусталиком и сетчатой оболочкой составляет стекловидное тело (9). Показатель преломления хрусталика, расположенного между водянистой жидкостью и стекловидным телом равен 1,5. Хрусталик выполняет функцию двояковыпуклой линзы.

Зрение

Лучи света, отраженные от предмета, на который смотрит человек, попадают в глаз, и на сетчатой оболочке образуется действительное, уменьшенное и обратное изображение предмета. Нервные окончания сетчатой оболочки передают в мозг информацию о форме и цвете предмета. Таким образом человек воспринимает форму и цвет данного предмета.

Несмотря на то, что окружающие предметы расположены на различном расстоянии от глаза, на сетчатой оболочке всегда возникает точное изображение. Это объясняется изменчивостью радиуса кривизны, а следовательно, фокусного расстояния хрусталика.

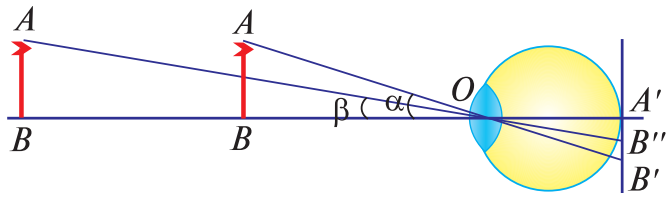


рис. 86.

Человек не может различать предметы на очень далеком расстоянии. Допустим, что оптический центр хрусталика глаза находится в точке O. Когда

мы смотрим на близко расположенный предмет величиной AB под углом зрения α, то на сетчатой оболочке нашего глаза возникает изображение величиной A′B′ (рис.86). Посмотрим теперь на предмет издалека. В этом случае возникает изображение величиной A′B″, но оно, а также угол зрения β, будут меньше. Изображение воспринимается меньшим числом нервных окончаний, поэтому мы получаем меньше информации о внешнем виде предмета.

Чем дальше от глаз находится предмет AB, тем меньше изображение и угол зрения, и тем меньше информации о предмете мы получаем. Если предмет AB находится очень далеко, изображение его в сетчатке оказывается настолько малым, что его воспринимает только одно нервное окончание, которое дает информацию только об одной точке.

Человек видит обоими глазами одиновременно. Приблизим палец к носу, при этом мы увидим его раздвоенное изображение. Отведем палец на расстояние 15–20 см. Раздвоение исчезнет. Начиная с этого расстояния наши глаза помогают друг другу. Восприятие мира двумя глазами позволяет чувствовать трехмерность пространства, отдаленность предметов, неровности дороги и др.

Дефекты зрения. Очки

У нормального глаза изображение предмета возникает на сетчатке глаза (рис.87 *а*). Однако некоторые люди хорошо видят вблизи, но плохо видят вдаль. Изображение дальних предметов у них собирается не на сетчатой оболочке, а перед ней, и предметы сливаются (рис.87 *б*). Этот дефект называется ***близорукостью***.

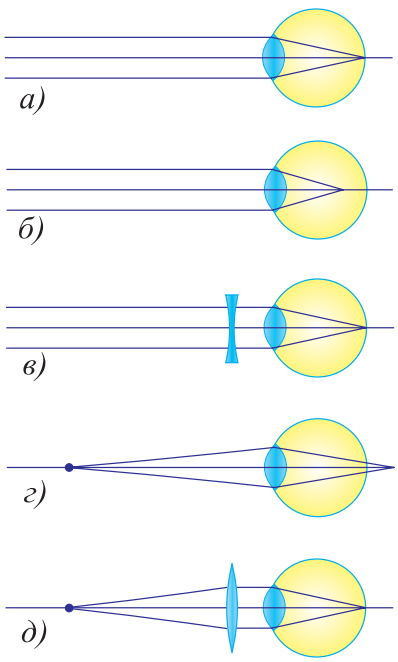


рис. 87.

При близорукости одна сторона хрусталика менее выпуклая, фокусное расстояние меньше нормы, то есть больше его оптичес кая сила. Для улучшения зрения при близорукости носят очки с вогнутыми линзами. Вогнутые линзы соответствующей величины с отрицательной оптичекой силой перемещают изображение на сетчатую оболочку (рис.87 *в*). В результате человек видит предметы так же, как и человек с нормальным зрением.

Некоторые люди, особенно пожилые, хорошо видят вдаль, но затрудняются писать и читать. У таких людей изображение предмета собирается за сетчатой оболочкой и сливается (рис.87 *г*). Этот дефект называется дальнозоркостью.

При дальнозоркости одна сторона хрусталика более выпуклая, фокусное расстояние

больше нормы, то есть меньше его оптическая сила. Для улучшения зрения при дальнозоркости носят очки с выпуклыми линзами. Выпуклые линзы соответствующей величины с положительной оптической силой обеспечивают перемещение изображения в сторону сетчатой оболочки (рис.87 *д*). В результате человек видит предметы так же, как и человек с нормальным зрением.



1. Как возникает изображение в глазе?
2. Чем отличается зрение двумя глазами от зрения одним глазом?
3. Чем объясняются близорукость и дальнозоркость? Как исправляются эти дефекты?

§ 56. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Человек, сфотографированный с расстояния 4,5 м, получился напленке размером 40 мм. Каков рост человека, если фокусное расстояние объектива равно 10 см?

Дано:
$d = 4{,}5$ м
$h = 40$ мм $= 0{,}04$ м
$F = 10$ см $= 0{,}1$ м.

Найти:
$H = ?$

Формула:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \qquad \frac{h}{H} = \frac{f}{d};$$

$$H = \frac{d}{f} \cdot h = \frac{d}{\frac{F \cdot d}{d - F}} \cdot h = \frac{d - F}{F} \cdot h.$$

Вычисление:

$$H = \frac{4{,}5\,\text{м} - 0{,}1\,\text{м}}{0{,}1\,\text{м}} \cdot 0{,}04\,\text{м} = 1{,}76\,\text{м}$$

Ответ: $H = 176$ см.

Задача 2. Фокусные расстояния линз микроскопа равны 0,5 см и 2,5 см соответственно, расстояние между линзами 40 см. Во сколько раз увеличивает изображение объекта такой микроскоп?

Дано:
$F_1 = 0{,}5$ см $= 0{,}005$ м
$F_2 = 2{,}5$ см $= 0{,}025$ м
$D_0 = 25$ см $= 0{,}25$ м
$l = 40$ см $= 0{,}4$ м.

Найти:
$K = ?$

Формула:

$$K = \frac{l \cdot D_0}{F_1 \cdot F_2}.$$

Вычисление:

$$K = \frac{0{,}4\,\text{м} \cdot 0{,}25\,\text{м}}{0{,}005\,\text{м} \cdot 0{,}025\,\text{м}} = 800$$

Ответ: $K = 800$.

Задача 3. Близорукий человек может читать книгу с расстояния 12,5 см. Очки какой оптической силы требуется этому человеку?

Дано:
$a = 0{,}125$ м
$D_0 = 0{,}25$ м.

Найти
$D_{очки} = ?$

Вычисление:

$$D_н = \frac{1}{D_0} = \frac{1}{0{,}25\text{м}} = 4 \text{ дптр.}$$

$$D_н = \frac{1}{a} + D_{очки}$$

$$D_{очки} = D_н - \frac{1}{a} = 4\,\text{дптр} - \frac{1}{0{,}125м} = 4\,\text{дптр} - 8\,\text{дптр} = -4 \text{ дптр.}$$

Ответ: Ему требуется очки оптической силой -4 дптр.

У 29

1. При фотографировании дерева высотой 3 м его изображение на пленке получилось высотой 12 мм. Фокусное расстояние объектива фотоаппарата равно 20 см. С какого расстояния произведена фотосъемка?
2. Фокусные расстояния линз микроскопа равны 2 мм и 30 мм соответственно, расстояние между линзами 20 см. Во сколько раз увеличивает изображение объекта такой микроскоп?
3. Чему равна оптическая сила очков с вогнутой линзы, если фокусное расстояние ее составляет 50 см? Для чего носят такие очки?
4. Мальчик носят очки с оптической силой – 4 диоптрии. Каково расстояние наилучшего зрения у этого мальчика без очков?
5. Мальчик читает книгу без очков с расстоянием 16 см. Какова оптическая сила его очков?
6. Мальчик носит очки с оптической силой – 2 дптр и читает книгу. Каково расстояние наилучшего зрения у этого мальчика?
7. Найдите оптическую силу двояковыпуклой линзы с радиусами кривизны поверхности 25 см и 40 см, изготовленной из стекла с показателем преломления луча относительно воздуха, равным 1,5.

§ 57. ГЕЛИОТЕХНИКА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В УЗБЕКИСТАНЕ

Солнечную энергию можно использовать в различных целях путем превращения ее в другие виды энергии– тепловую и электрическую.

Установки, позволяющие превращать солнечную энергию в другие виды энергии, называются гелиотехническими установками, а отрасль физической науки, занимающаяся перспективами использования солнечной энергии – гелиотехникой.

Слово *«Гелиос»* в переводе с греческого означает *«Солнце»*.

Солнечные лучи, достигающие земной поверхности, считаются очень большим источником тепла. Поиск эффективных способов использования этой энергии, создание различных установок, энергетических источников является главной задачей гелиотехники.

Как известно, Солнце освещает земную поверхность на разных географических широтах по-разному. Энергия Солнца, приходящаяся на 1 м^2 земной поверхности в течение года, изменяется в пределах от 300 Вт/м^2 до 1340 Вт/м^2. Природные условия стран Центральной Азии удобны для использования солнечной энергии как в географическом, так и в оптическом и энергетическом отношениях. Так, продолжительность светового дня в июне составляет 16 ч, а в декабре 8–10 ч. Летом солнечное излучение приходится на 320–400 ч в месяц. Использование гелиотехнических установок позволит сэкономить значительное количество топлива и энергии из других источников. Узбекистан обладает большими возможностями для эффективного использования гелиотехники.

На территории Узбекистана солнечная энергия использовалась издавна. Люди сушили на солнце фрукты и овощи. Например, высушивая на солнце виноград, они изготовляли самый качественный изюм, производили сухофрукты из урюка, дыни, яблок, персика, томатов и др.

Знаменитые мыслители Востока высказывали свои соображения о зависимости происходящих на земной поверхности явлений от солнечного тепла. Так, ***Абу Али ибн Сина*** в своем труде «Донишнама» писал, что причиной воспламенения, вызываемого линзой, является то, что линза собирает в одной точке лучи, падающие на нее с одной стороны. Эта точка сильно освещается и нагревается, вызывая возгорание.

Создание гелиотехнических установок, работающих на солнечной энергии, началось с XX в. В это время в Узбекистане была разработана установка для испарения на солнце экстракта махорки, построены экспериментальные теплицы, работающие на солнечной энергии.

В этот же период были развернуты исследования в области гелиотехники. В1934 г. в Ташкенте начала действовать ***гелиотехническая лаборатория***.

В 1943 г. лаборатория гелиотехники была создана при физико-техническом институте Академии наук Узбекистана. На основе исследований, проводимых лабораторией, были созданы солнечные установки для нагрева воды, солнечные сушилки для фруктов, солнечные увлажнители и сушилки для коконов.

В 1946 г. в Физико-техническом институте был построен зеркальный параболоид диаметром 10 м, концентрирующий солнечную энергию. Эта установка использовалась для получения пара и льда.

В 1963 г. в Академии наук Узбекистана был организован отдел геофизики, что дало возможность создавать на основе научных исследований различные установки для концентрации и использования солнечных лучей. Например, были разработаны медицинские установки для лечения больных солнечными лучами, установки для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений.

В республике достигнуты большие успехи в области использования солнечной энергии. Уже в 1960—1970 гг. в Узбекистане сформировалась гелиотехническая школа, основы которой были заложены нашими учеными У. А. Ариповым и С. А. Азимовым.

В 1976 г. в Академии наук под руководством академика С.А.Азимова было создано Научно-производственное объединение (НПО) «Физика–Солнце». Исследования, проводимые в этом объединении, имели большое практическое значение. Были внедрены в практику солнечные установки по обеспечению зданий горячей водой, водяные насосы, работающие на солнечной энергии, медицинское оборудование, установки для опреснения воды, гелиотеплицы, гелиосушилки и холодильники.

С целью более эффективного использования солнечной энергии 1987 г. в Паркентском районе Ташкентской области был введен в строй большой солнечный концентратор мощностью 1 МВт, находящийся в ведении НПО «Физика– Солнце». Подобная установка до этого времени была только в городе Одейо (Франция). Концентратор установки представляет собой зеркальный параболоид с фокусным расстоянием 18 м, размерами 54м×42м. Сконцентрированная в солнечном концентраторе энергия используется для синтеза термостойких, обладающих электроизоляционными свойствами и устойчивых к трению материалов. Кроме того, проводятся научно-технические разработки с целью создания технологий получения термостойких материалов из местного сырья и промышленных отходов и производства из них изделий, необходимых в медицине, энергетике, нефтяной и газовой, а также в легкой промышленности. С помощью солнечного концентратора проводится плавка чистых металлов, лишенных примесей.

Солнечная энергия успешно используется на высокомощных установках космических станций. Маломощные электронные технические средства (микрокалькуляторы, часы, мобильные телефонные аппараты) также работают на основе фотоэлементов.

Использование солнечной энергии весьма перспективно. Солнечная энергетика экологически чиста, удобна, бесшумна, ее возможности безграничны.

1. Какие установки называются гелиотехническими? Что изучает гелиотехника?
2. Почему использование солнечной энергии в Узбекистане считается экономически целесообразным?
3. Как в нашем крае издавна люди использовали солнечную энергию?
4. Какие работы осуществлены в Узбекистане по развитию и практическому использованию гелиотехники?

ТЕСТЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ V

1. Световой луч переходит из воздуха в воду. Какое соотношение верно между углом падения α и углом преломления β ?

A) $\angle\beta > \angle\alpha$; B) $\angle\beta = 2\cdot\angle\alpha$; C) $\angle\beta = \angle\alpha$; D) $\angle\beta < \angle\alpha$.

2. Световой луч переходит из стекла в воздух. Угол падения 30°, и луч меняет свое направление на 30° . Найдите показатель преломления стекла?

A) 1,5; B) 2; C) $\sqrt{2}$; D) $\sqrt{3}$.

3. Световой луч падает из первой среды во вторую под углом 60°. Угол преломления при этом 30° . Найдите относительный показатель преломления второй среды.

A) 0,5; B) 2; C) $\sqrt{3}/3$; D) $\sqrt{3}$.

4. 5,5 кратное уменьшенное мнимое изображение предмета образовалось на расстоянии 50 см от линзы . Определите оптическую силу линзы (дптр).

A) -9; B) -5; C) -8; D) -2.

5. Предмет расположен на растоянии 16 см от линзы с фокусным расстоянием 12 см. Каково линейное увеличение линзы?

A) 2; B) 3; C) 4; D) 5.

6. Предмет находится на расстоянии 20 см от выпуклой линзы с оптической силой 10 дптр. Найдите увелечение линзы.

A) 0,5; B) 1; C) 0,8; D) 1,5.

7. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 36 см возникает увеличенное, мнимое изображение предмета, если предмет расположен на расстоянии 18 см от линзы (см)?

A) 9; B) 18; C) 36; D) 12.

8. Изображение предмета, расположенного на растоянии 10 см от линзы, получилось в 5 раз уменьшенным и мнимым. Какова оптическая сила линзы (дптр).

A) 5; B) 10; C) -10; D) -5.

9. С какого расстояния сфотографировано здание длиной 8 м, если его изображение на негативе получилось длиной 4 см? Фокусное расстояние объектива фотоаппарата 5 см?

A) 4; B) 10; C) 41; D) 13;

10. Каково увеличение лупы с фокусным расстоянием 2 см.

A) 9; B) 9,5; C) 10; D) 12,5.

11. Определите оптическую силу (дптр) лупы, дающий пятикратное увеличение.

A) 150; B) 15; C) 25; D) 20.

12. Какое изображение возникает в лупе?

A) действительное, обратное, увеличенное;
B) мнимое, обратное, увеличенное;
C) действительное, прямое, увеличенное;
D) мнимое, прямое, увеличенное.

13. Расстояние наилучшего зрения человека 60 см. На каком расстоянии от зеркала ему нужно находиться для того, чтобы лучше рассмотреть свое изображение в зеркале?

A) 25; B) 15; C) 30; D) 60.

14. Школьник носит очки с оптической силой - 2,25 диоптрии и читает книгу. Каково расстояние наилучшего зрения (см) у этого школьника.

A) 10; B) 16; C) 15; D) 12,5.

15. Мальчик читает книгу без очков с расстояния 20 см. Какова оптическая сила (дптр) его очков.

A) -1,5; B) -1; C) -2; D) +2.

16. На каком расстоянии (см) от собирающей линзы с фокусным расстоянием 12 см следует расположить предмет, чтобы получить трехкратное увеличение?

A) 16; B) 18; C) 20; D)15.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ V

Опыт Олафа Ремера	Впервые скорость света была измерена О. Ремером астрономическим методом.
Опыт А. Физо	Физо измерил скорость света опытным путем.
Скорость света. Новое определение метра	На основании точного значения скорости света (с=299 792 458 м/с) в 1983 г. Главная ассамблея международных мер и весов приняла новое определение метра: «Метр равен длине пути света, пройденного им в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 с».
Рассеянное отражения света	От неровных поверхностей свет отражается рассеянно.
Зеркальное отражения света	Если поверхность в достаточной степени ровная (гладкая), то свет отражается зеркально.
Законы отражения света	1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча на границе двух сред, лежат в одной плоскости. 2. Угол отражения $\angle \gamma$ равен углу падения $\angle \alpha$.
Законы преломления света	1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча на границе двух сред, лежат в одной плоскости. 2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для двух сред является постоянной величиной, то есть: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$.
Полное внутреннее отражение	При распространении света из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления ($n_1 > n_2$) при угле падения, большем предельного угла падения, луч полностью отражается от границы двух сред. Предельное значение угла падения α_0 определяется по формуле: $\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$ где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй среды.

Линзы	Прозрачное тело, одна или обе стороны которого ограничены сферическими поверхностями, называется линзой. Линзы бывают выпуклыми и вогнутыми.
Оптическая сила линзы	Величина, обратная фокусному расстоянию, называется оптической силой линзы. $D = \frac{1}{F}$.
Формула тонкой линзы	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ d – расстояние от предмета до линзы, f- расстояние от линзы до изображения.
Линейное увеличение линзы	Линейным увеличением линзы называют отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета. По определению: $K = \frac{f}{d} = \frac{A'B'}{AB}$ Линейное увеличение линзы можно определить отношением расстояние от изображения до линзы (f) к расстоянию от линзы до предмета (d): $K = \frac{f}{d}$.
Лупа	Лупа— это двояковыпуклая линза, которая увеличивает угол зрения предметов. Увеличение лупы определяется по формуле $K = \frac{D_0}{F}$ где D_0 – расстояние наилучшего зрение. $D_0 = 25$ cm.
Фотоаппарат	Фотоаппарат — это прибор, который позволяет вос производить и хранить изображение на фотопленке, фотопластинке или фотобумаге
Микроскоп	Микроскоп— это оптический прибор, показывающий в увеличенном виде очень мелкие, не видимые глазу, близко расположенные объекты Увеличение микроскопа определяется по формуле $K = lD_0/F_1F_2$, где l – расстояние между линзами; F_1 и F_2 – фокусные расстояния линз.
Близорукость	Для улучшения зрения при близорукости используются очки, имеющие линзы с отрицательным значением оптической силы
Дальнозоркость	Для улучшения зрения при дальнозоркости используются очки, имеющие линзы с положительным значением оптической силы.

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА. РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

§ 58. ЕДИНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Механическая картина мира

С древних времен ученые размышляли о картине мира. Однако они опирались только на мышление, упуская из виду обобщения на основе опытов и наблюдений.

Первым, кто начал основываться на результатах опытов при изучении природных явлений, был Г. Галилей. Поэтому считается, что формирование физики как науки началось с Галилея. Выдвигая идеи об инерции и относительности, он получал их подтверждение на опыте. Работы в этой области были продолжены И. Ньютоном. Таким образом в XVII в. от естествознания отделилась механика и была построена механическая картина мира.

Механическая картина мира слагается из таких элементов, как материя, движение, пространство, время, взаимодействие, причинно-следственная закономерность. Все природные процессы объясняются на основе законов механики.

Под материей понималось вещество, состоящее из частиц. Мир состоит из движущейся материи, и движение всех видов переходит в механическое движение. Пространство и время рассматриваются как абсолютная сущность и не зависят от материи и движения (Ньютон). В XX в. такой взгляд на пространство и время был опровергнут (Эйнштейн); взаимодействие основано на универсальном законе тяготения и происходит мгновенно. Следствие, безусловно, зависит от причины. События имеют причинную связь. Если известно одно состояние, следующее состояние можно определить на основе причинно-следственного принципа. Согласно представлению классической механики, созданному Ньютоном, раздельные события, процессы и доказательства сначала систематизируются и, связываясь между собой на основе механических закономерностей, образуют общую единую картину.

Электромагнитная картина мира

В XIX в. началось исследование электромагнитных явлений, раскрытие их закономерностей. Однако эти явления пытались объяснить с механической точки зрения на основе каких-то флюидов (предполагаемая особая жидкость или среда). Эти взгляды были подвергнуты критике и отвергну-

ты. Введение М. Фарадеем понятия электромагнитного поля явилось в науке важным шагом вперед. Развив идею электромагнитного поля, Дж. Максвелл создал теорию электромагнитного поля. Электрические и магнитные явления, рассматривавшиеся по отдельности, были упорядочены. При этом считалось, что электромагнитное поле постоянно изменяется в пространстве.

Если, согласно механической картине мира, материя состоит из вещества, то, согласно электромагнитной картине мира, — она может существовать в виде поля. Движение состоит не только из движения вещества и его частиц, но и из движения поля и его электромагнитных волн. Взаимодействие может происходить не только мгновенно через гравитационное поле, но и через электромагнитное поле, распространяющееся с ограниченной скоростью. Таким образом сформировалась электромагнитная картина мира.

Вместе с тем было установлено, что в природе существуют два вида фундаментального взаимодействия– гравитационное и электромагнитное.

Современная физическая картина мира

В конце XIX и начале XX вв. исследования в области атомной физики показали, что теория о квантовом происхождении электромагнитного поля, учение о волновой природе частиц, законы классической физики справедливы не для всех физических явлений. Разделение материи на вещество, имеющее прерывное строение, и на беспрерывное поле потеряло свой абсолютный смысл.

Было установлено, что корпускулярно-волновой дуализм («дуализм» означает «двойственность») присущ всем формам материи– веществу и полю. В результате этого были открыты квантовые свойства материи.

С возникновением квантовой физики, описывающей движение микрочастиц, в единой физической картине мира стали просматриваться новые элементы. Будучи абсолютно общими, принципы квантовой теории применялись для характеристики всех частиц, их взаимодействий и взаимопревращений.

1. Из каких элементов состоит механическая картина мира?
2. Чем отличаются друг от друга механическая и электромагнитная картины мира?
3. Что вы знаете о единой физической картине мира?

§59. РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ. ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ В УЗБЕКИСТАНЕ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ

Развитие физики и техники

В первобытнообщинном строе сначала появились каменные орудия, затем лук и стрелы, глиняная посуда, каменные топоры и медные орудия. В 4–3 тысячелетиях до нашей эры возникли медные орудия труда, а позднее стало использоваться железо. С развитием земледелия появились устройства для извлечения воды и орудия для обработки земли. В строительстве были изобретены различные грузоподъемные рычаги. Люди научились строить лодки из дерева и плавать на них. Позднее появились парусные суда. Были созданы ткацкие станки, начали развиваться кустарные промыслы.

В XV–XVI вв. были построены доменные печи. В военной технике появились огнестрельные орудия, машины и механизмы. В XVIII в. были созданы паровая и ткацкие машины, а в XIX в. – печатная машина, телеграфный аппарат, фотография, двигатель внутреннего сгорания, радио, телефон, кинематография, автомобиль, получили дальнейшее развитие военная техника и железнодорожный транспорт.

Благодаря развитию физики и других наук в XX в. технический прогресс достиг невиданного размаха во всех направлениях. В широких масштабах осуществлялось производство электроэнергиии ее использование. Электричество стало использоваться во всех областях. Высокого уровня развития достигли машиностроение, авиация, атомная техника, кибернетика и вычислительная техника, электроника, телевидение, ракетостроение, автоматика, космонавтика, информационные технологии и другие отрасли. Технические достижения внедрены в промышленность, сельское хозяйство, бытовое обслуживание, науку, просвещение, культуру, спорт, строительство, транспорт, связь, энергетику и другие отрасли.

В XXI в. ожидаются великие открытия в области информационных технологий, биофизики и нанотехнологий.

Исследования, проводимые в Узбекистане в области физики

На нашей земле, взрастившей таких великих ученых, как Фароби, Беруни, Ибн Сина, Улугбек, всегда уделялось большое внимание развитию науки. В настоящее время в высших учебных заведениях, а также в научных учреждениях Академии наук проводятся широкомасштабные исследования почти во всех направлениях физической науки.

В 1920–1930 гг. в Узбекистане научно-исследовательские работы в области физики осуществлялись в лабораториях высших учебных заведений. В1932 г. был учрежден Комитет по науке Узбекистана. В 1943 г. была создана Академия наук Узбекистана. В этом же году был организован Физико-технический институт Академии наук. На основе лабораторий этого института были созданы: 1956 г. Институт ядерной физики, 1966 г. – Астрономический институт, 1967 г.

– Институт электроники, 1976 г. – Научно-производственное объединение «Физика–Солнце». 1977 г. Отдел теплофизики АН РУз, в1992 г. – Научно-производственное объединение «Космос», в 1993 г. – Институт материаловедения. В этих научно-исследовательских учреждениях, а также в Ташкентском государственном университете (ныне Национальный университет Узбекистана), Самаркандском и Нукусском государственных университетах, и других вузах проводятся исследования которые вносят достойный вклад в развитие физики во всем мире.

Вы уже знакомы с исследовательскими работами, проводимыми в Узбекистане в области гелиотехники (см.§ 57). Достижения ученых нашей страны в других отраслях физики также весьма значительны. В частности, открыты электронно-ядерные ливни в атмосфере, впервые в мире определено явление когерентной дифракционной диссоциации протонов в ядре. Создан ряд видов твердых растворов, обладающих полупроводниковыми свойствами, и изучены их свойства. На основе результатов исследований созданы сверхвысокочастотные диоды, приборы для изучения быстропротекающих в полупроводниках электронных процессов, передающие изображение фотодиодные матрицы, кремниевые и литиевые детекторы и другие приборы.

В научно-исследовательских учреждениях и лабораториях высших учебных заведений Узбекистана проводятся исследования по современным фундаментальным направлениям физики твердых тел, теплофизики и молекулярной физики, оптики и акустики, которые имеют важное прикладное значение. В частности, разработаны новые способы регулирования с помощью лазерного луча высокотемпературного синтеза веществ, их структуры и свойств. Создан пирометр, работающий в интервалах температур 5–1000 °С и 80–2000 °С, новый вид приемника, способного улавливать излучение тел, испускающих инфракрасные лучи.

В области оптики конденсированных сред изучены оптические явления, связанные с рассеянием лазерных лучей в сверхчистых прозрачных средах. В результате обнаружено новое явление – скоростная широкополосная люминесценция. В области лазерной спектроскопии открыты явления аномального отклонения и самопроизвольного фокусирования лазерного луча в нелинейных средах. Создана оптика нелинейных модуляционных световых волокон.

Наши ученые создали различные диоды с высокоэффективными излучениями (академик М.С.Саидов), и также в сотрудничестве с учеными России созданы различные материалы для космических исследований.

Проводимые в нашей стране исследования в области физики послужат вкладом в дальнейшее развитие физики во всем мире и повышение благосостояния жизни людей.



1. Докажите, что физика является основой технического прогресса.
2. Расскажите о физико-техническом прогрессе с древних времен до наших дней.
3. Что вы знаете об исследованиях в области физики, проводимых в Узбекистане?

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

Упр 1. **1.** $N = 1{,}2\cdot10^{26}$. **2.** $d = 2{,}5\cdot10^{-10}$м. **3.** $N \approx 1{,}67\cdot10^{23}$. **4.** $V = 27$ см^3. **5.** $N \approx 2\cdot10^{24}$.

Упр 2. **1.** $\nu = 15$ моль. **2.** $m = 352$ г. **3.** $N = 1{,}5\cdot10^{23}$. **4.** $m_0 = 6\cdot10^{-26}$ кг. **6.** $M = 44$ г/моль (углекислый газ).

Упр 3. **1.** $N = 1{,}8\cdot10^{24}$. **2.** $m = 373$ г. **3.** углекислый газ. **4.** $n = 3{,}33\cdot10^{28}$ м$^{-3}$. **5.** $N = 1{,}05\cdot10^{24}$. **6.** $S \approx 0{,}72$ м^2. **7.** $m = 40$ г. **8.** $V = 0{,}5$ *л*. **9.** $n = 3\cdot10^{27}$ м$^{-3}$. **10*.** $l = 3\cdot10^{13}$ м. Для этой нити была бы в ≈78125 раза больше чем расстоянии от Земли до Луны. **11*.** $V = 81$ см^3. **12*.** $N \approx 3\cdot10^{24}$. **13*.** $d = 2{,}5\cdot10^{-9}$ м.

Упр 4. **1.** $p = 800$ Па. **2.** $p = 108$ кПа. **3.** $\overline{\upsilon} = 120$ м/с. **4.** $\overline{E}_к = 4\cdot10^{-21}$Дж. **5.** $\rho = 0{,}75$ кг/м^3. **6.** $\overline{\upsilon} = 2000$ м/с. 7. $\overline{E}_к = 1{,}125\cdot10^{-21}$Дж

Упр 5. **3.** Увеличивается в 3 раза. **4.** $p \approx 13{,}8$ кПа. **5.** $n = 5\cdot10^{25}$м$^{-3}$. **6.** $N \approx 2{,}65\cdot10^{25}$. **7.** $N \approx 265$.

Упр 6. **1.** $\overline{\upsilon} \approx 1765$ м/с. **2.** $T \approx 321$ K. **3.** $T \approx 460$ K. **4.** $\overline{E}_к = 6\cdot10^{-22}$Дж. **5.** $n = 3\cdot10^{26}$ м$^{-3}$. **6.** $V \approx 0{,}5$ м^3. **7.** $T = 700$ *K*. **8.** $T_0 = 50$ K.

Упр 7. **1.** $V = 3$ м^3. **2.** $\nu = 3$ моль. **3.** $M = 32$ г/моль, кислород (O_2). **4.** $\rho = 2{,}5$ кг/м^3. **5.** $T \approx 318$ K. **6.** $\nu = 2{,}4$ моль. **7.** $\nu \approx 2490$ моль. **8.** $T = 700$ K.

Упр 8. **1.** $V = 0{,}5$ *л*. **2.** $p = 1{,}2\cdot10^6$ Па. **3.** $V = 12{,}5$ *л*. **4.** $p = 80$ кПа.

Упр 9. **1.** $V_2 = 20$ *л*. **2.** $\Delta T = 216$ K. **3.** $V = 4$ *л*. **4.** $\Delta T = 128$ K.

Упр 10. **1.** $T = 400$ K. **2.** Давление увеличивается ≈ 2,2. **3.** $p_1 = 125$ кПа.

Упр 11. **1.** $p_2 = 1{,}5\cdot10^6$ Па. **2.** Давление уменьшается в ≈1,72. **3.** $t_2 = 99$ °C. **4.** Объем газа увеличивается на 30%. **5.** $h \approx 25$ м. **6.** $T_1 = 120$K. **7.** $T_1 = 200$ K **8.** $T_2 = 240$ K

Упр 12. **1.** $m = 0{,}8$ кг. **2.** $p = 75$ кПа. **3.** Уменьшается на $\Delta U = 4487$ Дж. **4.** Увеличивается на $\Delta U = 12465$ Дж. **5.** Увеличивается $\Delta U = 59{,}6$ кДж. **6.** Увеличивается на $\Delta U = 30$ Дж. **7.** Увеличивается на 2 раза.

Упр13. **1.** $\Delta V = 0{,}3$ м^3. **2.** $\Delta t \approx 70$ °C. **3.** $A = 20$ J. **4.** $A = 0{,}25$ Дж.

Упр 14. **1.** $Q = 67{,}5$ кДж. **2.** $c = 890$ Дж/(кг·K) алюминий. **3.** $Q = 504$ кДж. **4.** $Q_1 = 7{,}8$ кДж; $Q_2 = 1{,}95$ кДж.

Упр15. **1.** $m \approx 53{,}5$г. **2.** Увеличивается в 4,2раза. **3.** Увеличивается на $\Delta U = 900$Дж. **4.** $t_2 = 113$ °C. **5.** $A = 200$ Дж. **6.** $T_0 = 100$ *K*; $A = 4155$ Дж. **7.** $m_2 = 48$ кг. **8.** Водород 2 раза больше. **9.** $t = 20$ °C. **10.** $V_1 = 40$ *л*; $V_2 = 40$ *л*. **11.** $\Delta t = 320$ °C.

Упр 16. **1.** $m = 200$ г. **2.** $m = 72{,}5$ кг. **3.** $Q = 3{,}22$ МДж. **4.** $Q = 3\cdot10^7$ Дж.

Упр 17. **1.** $A = 5$ кДж. **2.** $\Delta U = 2{,}8$ кДж. **3.** $A = 1{,}4$ кДж. **4.** $\Delta U \approx 7{,}5$ кДж. **5.** $Q = 6232$ Дж. **6.** $Q = 500$ Дж. **7.** $\nu \approx 1$ моль

Упр 18. **1.** $A = 252$ Дж. **2.** $\eta = 60\%$. **3.** $T_1 = 800$ K. **4.** $A = 390$ Дж. **5.** $A = 42$ кДж. **6.** $\Delta T = 335$ K. **7*.** $Q_1 = 900$ кДж. **8*.** $\Delta T = 600$ K.

Упр 19. **1.** $\eta = 28$ %. **2.** $t = 9$ минут. **3.** $m = 0{,}2$ кг. **4.** $m = 37{,}8$ кг. **5.** $T_2 = 300$ *K*. **6.** $A = 20$ кДж. **7*.** $s = 138$ км. **8*.** $N = 36$ кВт.

Упр 20. **1.** $d \approx 2{,}1$ мм. **2.** $r = 0{,}25$ мм. **3.** $h = 10{,}2$ мм. **4.** $m \approx 46{,}7$ мг. **5.** $\sigma \approx 23{,}4$ мН/м. **6.** $\sigma = 33$ м*H*/м. **7.** $N \approx 285$. **8.** $h = 90$ мм. **9.** $\Delta W = 96$ мкДж.

10. $\Delta W \approx 0{,}5$ мДж.

Упр 21. **1.** $\sigma = 95{,}5$ МПа. **2.** $S = 3$ см^2. **3.** $h \approx 12{,}7$ м. **4.** $E \approx 196$ ГПа. **5.** $d \approx 7{,}7$ мм. **6.** $l = 2548$ м.

Упр 22. **1.** $Q = 1008$ кДж. **2.** $m \approx 0{,}17$ кг. **3.** $Q = 167$ кДж. **4.** Из стали. **5.** $m = 1{,}25$ кг **6.** $Q \approx 75$ МДж.

Упр 23. **1.** $Q = 11{,}5$ МДж. **2.** $Q = -115$ кДж. **3.** $\varphi \approx 58$ %. **4.** $\varphi \approx 63$ %. **5.** $\varphi \approx 65$ %. **6.** $\rho = 10{,}9$ г/м^3 **7.** $\varphi = 62$ %.

Упр 24. **1.** $t \approx 2095$с . **2.** $t_1 \approx 500$ с, $t_2 \approx 1{,}3$ с. **3.** $\nu \approx 12{,}6$ с$^{-1}$.

Упр 25. **1.** $\angle \alpha = 35°$, **2.** $d = 1{,}2$ м. **3.** $\upsilon = 1{,}5 \cdot 10^8$ м/с. **4.** $\angle \beta \approx 19°$.

5. $\frac{s_1}{s_2} = \frac{n_2}{n_1} \approx 1{,}13$.

Упр 26. **1.** $\angle \alpha_0 = 49°$. **2.** $n = 1{,}79$. **3.** $\angle \alpha_0 = 30°$. **4.** $n = 1{,}2$. **5.** $n = 1{,}64$.

Упр 27. **1.** $D_1 = 2{,}5$ дптр, $D_2 = 4$ дптр, $D_3 = 10$ дптр, $D_4 = -10$ дптр, $D_5 = -4$ дптр, $D_6 = -2{,}5$ дптр. **2.** $D = 4{,}5$ дптр, **3.** $f = 30$ см, $K = 2$. **4.** $F = 12$ см, $D = 8{,}3$ дптр. **5.** $d = 62{,}5$ см. **6.** $D = 3$ дптр. **7.** $D = -3$ дптр. **8.** $D = 4{,}5$ дптр.

Упр 28. **1.** $K = 10$. **2.** $F = 1{,}25$ см. **3.** $K = 200$. **4.** $D = 1{,}2$ м. **5.** В первом **6.** $K = 4$. **7.** $l = 90$ см.

Упр 29. **1.** $d \approx 50$ м. **2.** $K \approx 833$. **3.** $D = +2$ дптр. для дали. **4.** $a = 12{,}5$ см. **5.** $D = -2{,}25$ дптр. **6.** $a = 17$ см.

Ответы к тестам I главы

1.D	2.B	3.D	4.B	5.B	6.B	7.B	8.B	9.D	10.D
11.A	12.D	13.A	14.B	15.C	16.D	17.B	18.C	19.B	20.D
21.A	22.C	23.A	24.B	25.D	26.D	27.D	28.C	29.A	30.B

Ответы к тестам II главы

1.A	2.A	3.B	4.B	5.C	6.B	7.D	8.D	9.C	10.D
11.A	12.A	13.A	14.B	15.A	16.A	17.A	18.D	19.D	20.C
21.C	22.D	23.B	24.C	25.A	26.B	27.A	28.A	29.D	

Ответы к тестам III главы

1.D	2. C	3. B	4.C	5.A	6.C	7.B	8.A	9.C	10.C
11.D	12.B	13.D	14.A	15.C					

Ответы к тестам IV главы

1.D	2.B	3.A	4.A	5.D	6.C	7.D	8.D	9.D	10.A
11.C	12.A	13.B	14.B	15.A	16.A				

Ответы к тестам V главы

1.D	2.D	3.D	4.A	5.B	6.B	7.C	8.C	9.B	10.D
11.D	12.D	13.C	14.B	15.B	16.A				

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. П.Хабибуллаев, А.Бойдедаев, А.Бахромов, М.Юлдашева. ФИЗИКА. Учебник 9 го класса. Ташкент, «Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма”, 2014 г.

2. Н.Ш.Турдиев. ФИЗИКА. Учебник 9 го класса. Ташкент, «Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма”, 2016 г.

3. В.А.Касьянов, ФИЗИКА 10 класс, Москва, «Дрофа», 2015 г.

4. Е.В.Громыко, В.И. Зенкович, А.А.Луцевич, И.Э.Слесарь, ФИЗИКА, 10 класс, Минск, «Адукацыя и выхаванне», 2013 г.

5. К.Т.Суяров, А.Хусанов, Л.Худайберидиев. ФИЗИКА. Механика и молекулярная физика. Учебное пособие для учащихся академическихлитцеев. Ташкент. «Укитувчи», 2002 г.

6. К.Т.Суяров, Ш.Н.Усманов, Дж.Э.Усаров. Молекулярная физика, книга II. Ташкент. «Янги нашр», 2016 г.

7. К.А.Турсунметов и другие. Повторяйте физику. Ташкент. «Укитувчи», 2007 г

8. В.И.Лукашик. Занимательная физика. Сборник задач и вопросов«Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма”, 2016 г.

9. Тестовые вопросы для поступающих в ВУЗ ы. Государственный центр тестирования при Кабинете Министров Республики Узбекистан, «Вестник», Ташкент, 1996–2003 гг.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ ТЕРМОДИНАМИКИ
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

ГЛАВА I ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

§ 1. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества.....4
§ 2. Масса и размер молекул.....7
§ 3. Количество вещества.....12
§ 4. Решение задач.....16
§ 5. Идельный газ.....18
§ 6. Температура.....21
§ 7. Скорость движения молекул газа.....25
§ 8. Решение задач.....28
§ 9. Уравнение состояния идеального газа.....30
§ 10. Изотермический процесс.....33
§ 11. Изобарический процесс.....35
§ 12. Изохорический процесс.....37
§ 13. Практическое занятие. Оценка размеров молекул.....38
§ 14. Решение задач.....40
Тесты для повторения главы I.....44
Основные выводы по главе I.....47

ГЛАВА II ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

§ 15. Внутреняя энергия.....50
§ 16. Работа в термодинамике.....53
§ 17. Количество теплоты.....55
§ 18. Решение задач.....60
§ 19. Практическая занятие. Изучение теплового равновесие в веществах.....63
§ 20. Лабораторная работа. Определение удельной теплоемкости твердых тел....64

§ 21. Удельная теплота сгорания топлива....65
§ 22. Первый закон термодинамики....67
§ 23. Решение задач....70
§ 24. Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики....72
§ 25. Лабораторная работа. Сравнение количества теплоты при смешивании воды с различными температурами....73
Тесты для повторения главы II....74
Основные выводы по главе II....78

ГЛАВА III ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

§ 26. Двигатели внутреннего сгорания....81
§ 27. Принцип работы тепловых двигателей....83
§ 28. Решение задач....86
§ 29. Тепловые машины и экология....87
§ 30. Решение задач....89
Тесты для повторения главы III....91
Основные выводы по главе III....93

ГЛАВА IV СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

§ 31. Свойства жидкости....94
§ 32. Смачивание. Капиллярные явления....97
§ 33. Решение задач....100
§ 34. Лабораторная работа. Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости....103
§ 35. Кристаллические и аморфные тела....104
§ 36. Механические свойства твердых тел....106
§ 37. Решение задач....109
§ 38. Плавление и кристаллизация твёрдых тел....111
§ 39. Удельная теплота плавления вещества. Плавление и отвердевание аморфных тел....113
§ 40. Испарение и конденсация....116
§ 41. Явления в атмосфере....119
§ 42. Лабораторная работа. Определение относительной влажности воздуха....124
§ 43. Решение задач....125
Тесты для повторения главы IV....126
Основные выводы по главе IV....128

ГЛАВАV ОПТИКА

§ 44. Определение скорости света.....131
§ 45. Законы отражения и преломления света.....134
§ 46. Решение задач.....138
§ 47. Полное внутреннее отражение.....139
§ 48. Решение задач.....142
§ 49. Лабораторная работа. Определение показателя преломления стекла....143
§ 50. Линзы.....144
§ 51. Построение изображения при помощи тонкой линзы.....146
§ 52. Решение задач.....148
§ 53. Лабораторная работа. Определение оптической силы линзы.....150
§ 54. Оптические приборы.....151
§ 55. Глаз и зрение.....154
§ 56. Решение задач.....156
§ 57. Гелиотехника. Использование солнечной энергии в Узбекистане.....158
Тесты для повторения главы V.....160
Основные выводы по главе V.....162

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА. РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

§ 58. Единая физическая картина мира.....164
§ 59. Развития физики и техники. Исследования, проводимые в Узбекистане в области физики.....166
Ответы к упражнениям.....166
Ответы к тестам.....166
Использованная литература.....166

ХАБИБУЛЛАЕВ ПУЛАТ КИРГЫЗБАЕВИЧ,
БОЙДЕДАЕВ АХМАДЖОН ,
БАХРОМОВ АКБАР ДАЛАБАЕВИЧ,
СУЯРОВ КУШАРБАЙ ТАШБАЕВИЧ,
УСАРОВ ДЖАББОР ЭШБЕКОВИЧ,
ЮЛДАШЕВА МОХИДИЛХАН КАМАЛДЖАНОВНА.

ФИЗИКА

Учебник для 9 класса школ общего средного образования

Переработанное и дополненное третье издание

Перевод с узбекского *Н.Б.Бердирасулов, Г Джумаева*
Редактор *З.Габдуллина*
Художественный редактор *К.Нурманов*
Технический редактор *Х. Хасанова*
Корректор *З.Габдуллина*
Компьютерная верстка *К. Наджимиддинов*

Лицензия издательского дома AI.№ 290. 04.11.2016.
Подписано в печать 19 июля 2019 года.
Формат 70x1001/16. Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Усл.п.л 14,3 Уч.-изд.л 12,5
Тираж 69733 Заказ №.

Издательско-полиграфический творческий дом имени Гафура Гуляма
Узбекского агенства по информации и массовых коммуникаций при
Администрации Президента Республики Узбекистан
г. Ташкент, 100129. Улица Лабзака, 86.

www. gglit.uz. E-mail:info@gglit.uz

СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ АРЕНДНОГО УЧЕБНИКА

№	Имя, фамилия ученика	Учеб-ный год	Состоя-ние учеб-ника при получении	Подпись классного руководи-теля	Состоя-ние учеб-ника при сдаче	Подпись классного руководи-теля
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Таблица заполняется классным руководителем при передаче учебника в аренду и возвращении назад в конце учебного года. При заполнении таблицы используются следующие оценочные критерии

Новый учебник	Состояние учебника при первой передаче в аренду
Хорошо	Обложка цела, не оторвана от блока книги. Все страницы в наличии, не порваны, не выпадают из блока, на страницах нет записей и помарок.
Удовлетворительно	Обложка несколько отходит от блока, слегка помята, испачкана, края потёрты; удовлетворительно восстановлена пользователем. Некоторые страницы исчерчены, выпавшие страницы приклеены. Учебник реставрирован
Неудовлетворительно	Обложка испачкана, порвана, оторвана от блока книги или совсем отсутствует. Страницы порваны, исчерчены, в помарках, некоторых страниц не хватает. Учебник непригоден к восстановлению.