

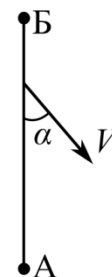
Занятие 1. Молекулы.

I. Вопросы:

1. Я иду от дома до школы 30 минут, а мой брат – 40 минут. Через сколько минут я догоню брата, если он вышел из дома на 5 минут раньше, чем я?
2. Известно, что в январе четыре пятницы и четыре понедельника. На какой день недели приходится 1 января? Вторник
3. Олег едет со скоростью 60 км/ч. Он хочет проезжать каждый километр на минуту быстрее. С какой скоростью ему надо ехать?
4. Петя и Вася соревновались в беге на 100 м. Когда Петя финишировал, Вася отставал от него на 10 м. Во время второго забега Петя встал ровно в 10 м. позади Васи. Кто финишировал первым во втором забеге и на сколько метров он опередил соперника? Петя. Вася отстанет от Пети на 1 метр.
5. После каждой стирки объем куска мыла уменьшается на 20%. После скольких стирок он уменьшится не менее чем вчетверо? 7
6. В каком случае мотоциклист сможет более уверенно проехать по скользкой дороге (льду) в момент заноса, если едет сидя или стоит на подножках?

II. Задачи:

1. Однородный стержень длиной $\ell = 0,6$ м может свободно вращаться относительно горизонтальной оси, проходящей через один из его концов. Какую наименьшую скорость надо сообщить нижнему концу стержня, находящемуся в положении равновесия, чтобы он сделал полный оборот вокруг оси? 8,83 м/с
2. Беспилотные летательные аппараты применяют для доставки полезных грузов. Продолжительность полета аппарата по маршруту $A \rightarrow B$ в безветренную погоду составляет $t_0 = 400$ с. Расстояние AB равно $S = 9,6$ км.
 - Найдите скорость U аппарата в спокойном воздухе. 24 м/с
 - Допустим, что в течение всего времени полета ветер дует с постоянной скоростью $V = 16$ м/с под углом α к прямой AB (см. рис.) таким, что $\sin \alpha = 0,6$.
 - Найдите продолжительность t_1 полета по маршруту $A \rightarrow B$ в этом случае. Скорость аппарата относительно воздуха постоянна и равна U . 500 с
 - При каком значении угла α продолжительность полета по маршруту $A \rightarrow B \rightarrow A$ максимальная? Движение аппарата прямолинейное.
 - Найдите максимальную продолжительность t_{\max} полета по маршруту $A \rightarrow B \rightarrow A$. Движение аппарата прямолинейное.



III. Сегодня начнём знакомиться с молекулярной физикой. Сто изучает молекулярная физика? **Тепловые явления**, поскольку обусловлены изменением температуры тел. В Древней Греции человек объяснял тепловые явления переходом «огня». **Физические объекты**, с которыми происходят тепловые явления: газ, жидкость, твёрдое тело.

Молекулярная физика изучает тепловые явления, а также свойства и поведение вещества на основе представлений о его молекулярном строении.

1. **Макроскопическое тело** – тело, состоящее из большого числа частиц.

2. **Атом** – мельчайшая часть химического элемента, носитель его свойств.

Вещество построено из атомов и молекул. Примеры: гелий, железо, вода, серная кислота.

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

4. **Молярная масса (M_B)** – масса одного моля данного вещества.

5. **Количество вещества (ν)** – свойство макроскопического тела, измеряемое отношением массы вещества к его молярной массе.

6. **Как узнать число частиц в теле?** $N = \nu \cdot N_A$

$$\nu = \frac{m}{M_B}$$

7. Как измерить массу атома или молекулы данного вещества? $m_0 = \frac{M_B}{N_A}$

Вывод. Зная количество вещества ($\nu = \frac{m}{M_B}$), можно определить число частиц

в теле ($N = \nu \cdot N_A$), а также определить массу одной частицы.

IV. Задачи (блиц):

1. Микроскопическая капля тумана имеет радиус 0,3 мкм. Из сколько миллиардов молекул воды состоит эта капля? $11,3 \cdot 10^9$

2. В озеро, имеющее среднюю глубину 10 м и площадь поверхности 20 км², бросили кристаллик поваренной соли массой 0,01 г. Сколько молекул этой соли оказалось бы в наперстке воды объемом 2 см³, зачерпнутой из озера, если полагать, что соль, растворившись, равномерно распределилась по всему объему воды озера? 10^6

V. Олимпиада.

1. Дрон летел по маршруту база – пункт А – пункт Б – база. При движении от базы до пункта А дрон летел с постоянной скоростью, превышающей среднюю. При движении от пункта А до пункта Б дрон двигался с постоянной скоростью, равной средней. При возвращении на базу из пункта Б, у дрона сели аккумуляторы, и его скорость стала в 3 раза меньше средней. При этом от базы до пункта А дрон пролетел за время в 3 раза меньшее, чем время его движения от пункта Б на базу. Во сколько раз скорость дрона при движении от базы до пункта А превышает скорость дрона при движении от пункта Б до базы? 3

2. Школьник поставил на одну чашу равноплечих весов сосуд, доверху наполненный жидкостью, и уравновесил весы, поставив на другую чашу гирю. Затем он аккуратно положил в сосуд небольшой камень, который утонул. Вылившуюся при этом жидкость школьник собрал в легкий стаканчик и поставил стаканчик на чашу с гирей. Весы снова оказались в равновесии. Какова плотность камня, если плотность жидкости равна 0,9 кг/литр? Массой стаканчика пренебречь. 1800 кг/м^3 $m_r = \rho_{ж} V$. $m_k + \rho_{ж}(V - V_k) = m_r + \rho_{ж} V_k$

Вопросы:

1. В чем различие между наукой и религией?

2. Почему массу нельзя определять как «количество вещества» в теле?

3. Сравнить число молекул N_1 в одном моле двухатомного газа – молекулярного кислорода O_2 и число молекул N_2 в одном моле трехатомного газа - озона O_3 .

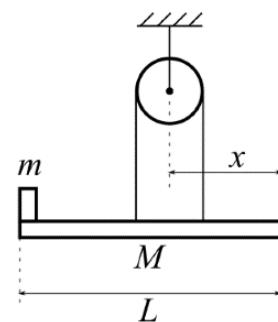
4. При сгорании углерода 12 г углерода соединились с 32 г кислорода. Изменилось ли при этом количество вещества?
5. Сравните число молекул N_1 в 1 г водорода и число молекул N_2 в 1 г кислорода.
6. Имеется 10 г одноатомного газа гелия – He. Сколько моль содержит это количество?
7. Что общего и в чем различие между молями разных веществ?
8. Имеется два сосуда. В одном находятся 1 г молекулярного водорода H_2 , в другом – 8 г молекулярного кислорода O_2 . В каком сосуде находится большее количество вещества?

Разное.

1. Машина едет четверть общего пути со скоростью $v = 25$ км/ч, четверть от общего времени со скоростью $v = 30$ км/ч и остальной участок дороги со скоростью $v = 10$ км/ч. Найти среднюю скорость в км/ч с точностью до десятых. Выразить третий путь и третье время. Ответ 17,6
2. Колена сообщающихся сосудов представляют собой три одинаковые вертикально расположенные трубки площадью сечения 1 см^2 каждая. Трубки частично заполнены водой. В одну из трубок заливают масло объемом 100 см^3 , при этом масло не перелилось в другие трубки. Насколько повысится уровень воды в остальных трубках? 30 см
3. В дне цилиндрической кастрюли площади 7 дм^2 просверлили отверстие площадью 2 дм^2 и вставили в нее пластмассовую трубку. Масса кастрюли с трубкой равна 2 кг, высота кастрюли 30 см. Кастрюля стоит на ровном листе резины вверх дном. Сверху в трубку осторожно наливают воду. До какого уровня H можно налить воду, чтобы она не вытекала снизу? 0.7 м. Без атм.

Разное

1. Система из небольшого груза массы $m = 2$ кг, однородной балки длиной $L = 1$ м и массой $M = 6$ кг, блока и невесомой, нерастяжимой нити находится в равновесии (см. рисунок). Найдите расстояние x по горизонтали от вертикальной линии, проходящей через ось блока, до правого края балки.



Занятие 2. Основные понятия молекулярно-кинетической теории

I. Вопросы (блиц):

1. Почему для проведения химической реакции вещество измеряют молями?
2. Над озерами летели гуси. На каждом садилось половина гусей и еще полгуся, остальные летели дальше. Все гуси сели на семи озерах. Сколько было гусей? На 7-ом 1, на 6 – 3. На 5 -7...на 1-ом - 127
3. Где содержится больше молекул: в комнате объемом 50 м^3 при нормальном атмосферном давлении и температуре 20°C или в стакане воды объемом 200 см^3 ? $N_1 = 1,25 \cdot 10^{27}$; $N_2 = 6,7 \cdot 10^{24}$.
4. Можно ли взвесить на весах 1000 000 молекул воды? Можно ли взвесить на весах 0,000001 кмоль воды? Ответ: а) нет; б) да.
5. Можно ли провести какую-либо химическую реакцию без остатка?

6. Молекулы можно разделить на атомы. Почему же тогда молекула – мельчайшая частица вещества?
7. Пусть имеется 1 г водорода и 1 г кислорода. Происходит реакция образования воды, которой образовалось максимально возможное количество. Какое вещество – или осталось, а какое прореагировало полностью?
8. Сколько молей воды образуется из шести молей атомарного кислорода и 6 молей молекулярного водорода?
9. Каково значение молярной массы для солнечного вещества? Состав Солнца (по массе): водород – 73%, гелий – 25%, тяжелые элементы – 2%. Почему она меньше единицы? 0,6 г/моль
10. Одна треть молекул азота массой 10 г распалась на атомы. Определить полное число N частиц, находящихся в газе.

IV. Задачи (блиц):

1. Кукуруза на площади 1 га в сутки потребляет около 1 т углекислого газа. Какое количество углерода усваивается при этом растениями? 273 кг
2. Считая, что объем молекулы воды равен $1,1 \cdot 10^{-23}$ см³, найти, какой процент от всего пространства, занятого водой, приходится на долю самих молекул. 36,7%
3. Молярная масса смеси кислорода и гелия равна 18 г/моль. Масса гелия 8 г. Определить массу кислорода в смеси. 64 г/моль

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

1. Термодинамическая система – тело или несколько тел, которые ограничены поверхностью (оболочкой) и могут обмениваться друг с другом или с внешней средой энергией или веществом. 3 типа систем:

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

Если система не изолирована, то ее состояние может изменяться.

2. Изменение состояния термодинамической системы называют термодинамическим процессом. процессы не протекают, то система находится в **равновесном состоянии.**

3. Тепловое равновесие – состояние термодинамической системы, в которое она самопроизвольно переходит в условиях изоляции от окружающей среды.

4. Величины, характеризующие равновесное состояние термодинамической системы, называются параметрами состояния.

- **Объем (V)** - свойство термодинамической системы занимать часть пространства, измеряемое в кубических метрах.
- **Концентрация (n)** – свойство вещества занимать определенный объем, измеряемое отношением числа молекул данного вещества в объеме, к этому объему.
- **Плотность (ρ)** – свойство вещества занимать определенный объем, измеряемое отношением массы вещества в данном объеме к этому объему.

- **Давление (p)** – свойство тел оказывать влияние на данное тело при соприкосновении с ним, измеряемое отношением силы, действующей перпендикулярно поверхности тела, к площади этой поверхности.
- **"Главный" параметр - температура. Равновесная термодинамическая система** обладает свойством иметь одинаковую температуру в каждой ее области. Каждому состоянию системы при данных P и V (воздух в комнате) соответствует своя температура. **Температура** указывает величину отклонения данного состояния системы от состояния, принятого за нулевое состояние, и определяет направление переноса тепловой энергии при контакте двух тел.

На будущее постулируем:

1. Все вещество состоит из частиц, атомов или молекул.
2. Частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении.
3. Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

VI. Задачи (блиц):

1. Оцените концентрацию свободных электронов в натрии, полагая, что на один атом приходится один свободный электрон. Плотность натрия 970 кг/м^3 , его молярная масса 23 г/моль . $2,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$
2. Концентрация молекул азота в сосуде $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. Определите плотность этого газа. $1,4 \text{ кг/м}^3$
3. Определите молярные объемы урана и золота. $12,5 \text{ см}^3/\text{моль}$; $10,2 \text{ см}^3/\text{моль}$
4. Считая высоту слоя атмосферы много меньшей радиуса Земли ($R_3 = 6370 \text{ км}$), оцените массу атмосферы. $5,3 \cdot 10^{18} \text{ кг}$

V. Олимпиада.

1. Мыльный пузырь, заполненный гелием, находится в равновесии в воздухе. Найти отношение массы гелия в пузыре m к массе оболочки M . Толщиной оболочки и ее упругостью пренебречь. Оболочка тяжелее гелия примерно в 6 раз.
2. Стреляя из автомата АК-47, солдат испытывает отдачу: на него действует средняя сила $F_{\text{ср}}$, эквивалентная весу массы $M = 6,4 \text{ кг}$. Учитывая, что масса пули $m = 7 \text{ г}$ и вылетает она с начальной скоростью $v_0 = 850 \text{ м/с}$, Определить скорострельность n автомата. $10,7 \text{ с}^{-1}$

Вопросы:

1. Что понимают под термодинамической системой?
2. Как связано понятие температуры с понятием теплового равновесия?
3. Выразите плотность вещества через массу его молекулы.
4. Вишня и ее косточка имеют форму шариков, причем слой мякоти вишни такой же толщины, как и косточка. Во сколько раз объем сочной части вишни больше, чем объем косточки?
5. Перечислите индикаторы температуры, которые вы используете в повседневной жизни, за исключением термометров и ваших органов осязания.
6. Какой физический смысл имеет величина, обратная концентрации?
7. Шкура коня, который имеет вдвое больший размер, испытывает вдвое большее давление со стороны внутренних органов. Так ли это?

8. Как бы вы поступали, чтобы измерить температуру: а) Солнца; б) верхних слоев атмосферы; в) крошечного насекомого; г) Луны; д) дна океана?

Разное

1. Определить массу капли воды, при составлении всех молекул которой вплотную друг к другу получилась бы нить, опоясывающая весь земной шар. Диаметр молекулы воды 0,17 нм.

Занятие 3. Основное уравнение МКТ

I. Вопросы (блиц):

1. Какова природа вязкого трения в жидкостях и газах?
2. Фермер Макар завел поросят, козлят и телят. Масса Макара равна средней массе поросят, на 50 кг больше средней массы козлят и на 50 кг меньше средней массы телят. Средняя масса поросят и телят (вместе взятых) на 20 кг больше массы Макара, а средняя масса козлят и телят на 25 кг меньше массы Макара. Что и насколько больше: масса Макара или средняя масса поросят и козлят? Ср. = М - 20
3. Сила тяжести на Луне меньше чем на Земле. Почему же на Земле пыль долго удерживается над ее поверхностью, а на Луне быстро оседает?
4. Чем объяснить возрастание скорости диффузии с повышением температуры?
5. Скользкость льда объяснили диффузией молекул в поверхностном слое. Как это понимать?
6. При ремонте дороги асфальт разогревают. Почему запах разогретого вещества ощущается издали?
7. Почему броуновские частицы должны быть относительно малыми?
8. Сливки на молоке быстрее отстаиваются в холодном помещении. Почему?
9. Почему облака не падают на землю?
10. Почему, когда чертят мелом на классной доске, то частички его остаются на ней?

VI. Задачи (блиц):

1. В озеро попала капелька масла массой $m = 0,1$ мг и покрыла поверхность воды сплошной пленкой толщиной в один молекулярный слой. Плотность масла $\rho = 900$ кг/м³, диаметр молекулы масла $d = 2$ нм. Оцените площадь S масляной пленки на поверхности воды. 556 см²
2. Определите среднее расстояние между центрами соседних молекул в куске льда ($V \approx d^3 \cdot N$). 0,32 нм
3. Какой объем имело бы твердое тело, «спрессованное» из молекул воздуха, находящегося в кабинете физики? Средний диаметр молекул воздуха 0,25 нм.

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

Средняя кинетическая энергия молекулы:

$$\bar{E}_k = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_N}{N} = \frac{m_0}{2} \left(\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} \right) = \frac{m_0}{2} \bar{v}^2.$$

Давление газа. Средняя сила давления газа. От каких параметров газа зависит его давление на стенки сосуда? **Метод размерностей:** $p \sim m_0^\alpha n^\beta v^\gamma$. Размерности подчиняются простым правилам. Нельзя складывать и вычитать разные размерности, но их можно умножать, делить и возводить в степени.

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

Формула давления газа для случая, когда молекулы $\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT$ газа движутся хаотически: $p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2 \rightarrow p = \frac{2}{3}n\bar{E}_k \rightarrow p = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2$. С

увеличением температуры газа увеличивается средняя кинетическая энергия поступательного движения его молекул!

1. Первое следствие – формула для средней квадратичной скорости молекул

газа: $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$. $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 = \frac{1}{3}\bar{v}^2 = \frac{RT}{M_B}$. $\bar{v}_x = \sqrt{\frac{RT}{M_B}}$. **2. $p = nkT$** (газовый закон).

IX. Задачи (блиц):

1. Найти среднеквадратичную скорость пылинки массой $1,77 \cdot 10^{-12}$ кг, взвешенной в воздухе при нормальных условиях: $p = 101325$ Па, $T = 273,15$ К. $0,08$ мм/с
2. В баллоне находилось 300 г гелия. Через некоторое время в результате утечки гелия и уменьшения абсолютной температуры на 10%, давление в баллоне уменьшилось на 20%. Какое число молекул гелия просочилось из баллона? $N = 5 \cdot 10^{24}$ молекул
3. В ампуле объемом 3 см³, из которой откачан воздух, в течение одного года содержится радий в количестве 5 мг. Известно, что из 1 грамма радия за 1 секунду вылетает в среднем $3,7 \cdot 10^{10}$ - частиц (ядер гелия). Найдите давление образовавшегося в ампуле гелия при температуре 300 К. $p = 8$ Па
4. Современная техника позволяет создавать вакуум до 1 пПа. Какова концентрация оставшихся молекул газа при температуре 300 К? $2,4 \cdot 10^8$ м⁻³
5. Струя воды, движущаяся со скоростью 20 м/с, ударяется о стену перпендикулярно поверхности. Вычислите давление на стену, если вода не отражается от стены. $4 \cdot 10^5$ Па
6. Космический корабль, имеющий лобовое сечение 50 м² и скорость 10 км/с, попадает в облако микрометеоритов, концентрация которого 1 м⁻³. Масса каждого микрометеора 0,02 г. Какой должна быть сила тяги двигателя, чтобы скорость корабля не изменилась? Удар микрометеоритов об обшивку корабля считайте абсолютно неупругим. 0,1МН

VI. Олимпиада.

1. К молекулярному пучку, со скоростью молекул $v = 1000$ м/с и концентрацией $n = 5,0 \cdot 10^{17}$ м⁻³, нормально движется «зеркальная» стенка со скоростью $u = 50$ м/с. Найти давление, оказываемое на стенку пучком молекул. Масса одной молекулы $m_0 = 3,3 \cdot 10^{-26}$ кг. $p = 2nm_0(v + u)^2$.
2. Космический корабль площадью поперечного сечения $S = 4$ м², приближаясь к Земле, снизил скорость до величины $v = 8$ км/с. Манометр за бортом фиксирует следы атмосферы - давление воздуха $p = 10^{-4}$ Па. Зонд определил среднюю

квадратичную скорость молекул воздуха за бортом $v_{\text{кв}} = 300$ м/с. Оценить, сколько молекул воздуха сталкиваются с кораблем за время $t = 1$ с. $2 \cdot 10^{21}$.

3. Атмосфера некоторой планеты состоит из плотного облака неподвижной, относительно планеты, звездной пыли. Для исследования данной планеты был отправлен надежный космический аппарат-«шарик», массой M и радиусом R . Опускаясь на поверхность планеты «шарик» двигался равномерно с выключенными двигателями со скоростью v . Забирая небольшие порции звездной пыли из атмосферы планеты, «шарик» установил, что плотность пыли зависит от расстояния до центра планеты r по закону $\rho = \alpha/r^2$, где α – известная константа. Найдите по этим данным массу планеты. Считать удары пылинок о космический аппарат абсолютно упругими. $m = \pi \alpha r^2 v^2 / (GM)$

Вопросы:

1. Зависит ли давление газа на стенку от ее температуры?
2. Если одна из стенок сосуда липкая (к ней прилипают молекулы), то изменится ли давление газа на эту стенку?
3. В результате некоторого процесса концентрация молекул идеального газа уменьшилась в 2 раза, а давление возросло в 4 раза. Во сколько раз изменилась средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения молекул идеального газа, если число молекул было неизменным? 8
4. Восходящие потоки теплого воздуха некоторые птицы используют для набора высоты и последующего парения. Каким образом им это удается?
5. Скорости молекул азота при комнатной температуре порядка 500 м/с. Почему же их удары не вызывают болезненных ощущений?
6. Среднеквадратичная скорость молекул кислорода при температуре 0°C равна 460 м/с. Какова среднеквадратичная скорость молекул водорода при температуре 100°C ? 2151 м/с
7. Почему на шоссе встречных автомобилей гораздо больше, чем обгоняющих?
8. Почему не нагревается стенка от ударов молекул?
9. В первом случае мяч неподвижен, во втором – скользит по земле со скоростью \vec{v} . В каком случае на мяч в единицу времени попадает дождевых капель больше и во сколько раз, если дождевые капли падают отвесно со скоростью \vec{v} ?
10. Сколько существует агрегатных состояний вещества?

Разное

1. При повышении температуры идеального газа на 150°C среднеквадратичная скорость его молекул увеличилась от 400 м/с до 500 м/с. На сколько градусов нужно нагреть этот газ, чтобы увеличить среднеквадратичную скорость его молекул от 500 м/с до 600 м/с? $\Delta T = 183^\circ\text{C}$
2. Из медицинского справочника известно, что предельно допустимая концентрация (ПДК) атомов ртути в воздухе равна $3 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$. Масса ртути в одной лампе дневного света 0,2 г. Возникнет ли опасность отравления при повреждении баллона одной из ламп в классе?
3. Какова толщина покрытия стенки золотом при напылении в течение 1 мин, если атомы золота, обладая энергией 10^{-17} Дж, производят на стенку давление 100 Па. Плотность золота 19300 кг/м^3 .

Занятие 4. Газовые законы.

I. Вопросы (блиц):

1. Почему реактивные самолеты могут летать с большими скоростями только в верхних слоях атмосферы?
2. Остап и Киса разделили между собой выручку. Остап подумал, что если бы он взял на 40% больше, то доля Кисы уменьшилась бы на 60%. Как изменилась бы доля Кисы, если бы Остап взял себе на 50% больше? Уменьшилась на 75
3. В баллоне смесь трех газов. Парциальное давление одного 0,3 атм, второго - 45 кПа, третьего - 190 мм рт.ст. Какое давление в баллоне в атмосферах?
4. Идеальный газ находится в закрытом сосуде при нормальном атмосферном давлении. При неизменной концентрации молекул средняя кинетическая энергия хаотического теплового движения молекул увеличивается на 2%. Определите конечное давление газа. 103351 Па
5. На весах уравновешен закрытый сосуд, на дне которого находится кусок твердой углекислоты. Нарушится ли равновесие весов, когда углекислота испарится?
6. Ведро выставлено на дождь. Изменится ли скорость наполнения ведра водой, если подует ветер? Решить задачу и в ИСО падающих капель.
7. Кубик из железа имеет температуру 10^0C . Какую температуру имеет другой кубик из железа, если он горячее в два раза?
8. При какой температуре молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратическую скорость, как молекулы водорода при температуре 100 К? 1600 К
9. В закрытом сосуде находится идеальный газ. При некоторой температуре среднеквадратичная скорость теплового хаотического движения молекул равна 526 м/с, а давление газа равно 101450 Па. Чему равна плотность этого газа? 0,91
10. В сосудах 1 и 2 находится один и тот же идеальный газ. Концентрации молекул газов в сосудах одинаковые, а среднеквадратичная скорость движения молекул газа в сосуде 1 в три раза меньше, чем в сосуде 2. Чему равно отношение давлений газов в сосудах 2 и 1? 9
11. В сосуде с газом относительно некоторой системы отсчета кинетическая энергия молекул газа больше, чем в случае, когда сосуд неподвижен. Почему же температуры газа одинаковы?
12. Почему невозможно охладить что-либо ниже $-273,15^0\text{C}$ (абсолютного нуля)?
13. Как зависит средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул от их массы?

II. Задачи (блиц):

1. Атомная бомба взрывается в подземной полости диаметром 200 м. Каким будет давление в полости, если при взрыве бомбы выделяется $4 \cdot 10^{15}$ Дж? Полость прорывается наружу, если давление в ней окажется выше давления окружающей породы. 0,64 ГПа.
2. Сосуд разделен на две части перегородкой с краном. В одной части сосуда находится смесь, состоящая из одного моля водорода и одного моля азота, в другой части сосуда вакуум. Она наполняется малым количеством газовой

смеси после открытия крана на короткое время. Определить отношение концентраций водорода и азота в обеих частях сосуда. 1. 3,74.

III. Газовые законы:

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

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

4. $p \cdot V = \frac{m}{M_B} RT \rightarrow p \cdot V = \nu \cdot RT$ - уравнение Менделеева – Клапейрона $\rightarrow \rho = \frac{pM_B}{RT}$.

Применение уравнения состояния идеального газа к процессам, протекающим при одном неизменном параметре газа (изопрцессы).

Задачи (блиц):

1. Определить химическую формулу молекулы некоторого соединения углерода с кислородом, если 1 г этого вещества в газообразном состоянии создает в сосуде объемом 1 л давление $0,56 \cdot 10^5$ Па при температуре 27°C . CO_2

2. Колокол для подводных работ объёмом $V = 10 \text{ м}^3$ опускается вверх дном с борта корабля на дно водоема глубиной $h = 20$ м. Зашедшая в колокол вода вытесняется из него с помощью баллонов со сжатым воздухом. Объём одного баллона $V_0 = 40$ л, давление воздуха в нём $p_0 = 200$ атм. Найти минимальное количество баллонов, которое нужно подсоединить к колоколу с помощью шланга, чтобы вытеснить из него воду? 3 баллона

3. Посередине откачанной и запаянной с обоих концов горизонтальной трубки длиной $L = 1$ м находится столбик ртути длиной $h = 20$ см. Если трубку поставить вертикально, столбик ртути сместится на $s = 10$ см. До какого давления была откачана трубка, если температура во время опыта не изменялась? $p_0 = 375$ мм рт.ст.

4. Нижний конец вертикальной узкой трубки длины $2L$ (в мм) запаян, а верхний открыт в атмосферу. В нижней половине трубки находится газ при температуре T , а верхняя ее половина заполнена ртутью. До какой минимальной температуры надо нагреть газ в трубке, чтобы он вытеснил всю ртуть? Внешнее давление в миллиметрах ртутного столба численно равно L . $T = (9/8)T_0$



VII. Олимпиада.

1. Теплоизолированный цилиндр объемом V разделен на две части перегородкой. В одной части находится водород в количестве ν при температуре T_1 , в другой азот — в количестве $1,5 \nu$ при температуре $5T_1/4$ и другом давлении. Перегородка прорывается.

1) Какая температура T_2 , установится в смеси? $T_2 = 1,5 \cdot T_1$

2) Найдите давление p в смеси. $p_2 = 2,875 \frac{\nu RT_1}{V}$

2. В большой сосуд с водой был опрокинут цилиндрический сосуд. Уровни воды внутри и вне цилиндрического сосуда находятся на одинаковой высоте. Расстояния от уровня воды до дна опрокинутого сосуда равно 40 см. На какую

высоту поднимется вода в цилиндрическом сосуде при понижении температуры от 310 К до 273 К. Атмосферное давление нормальное. 4,6 см

3. В вертикальном цилиндре высотой 2,00 м находится горизонтальный тонкий массивный поршень, который делит цилиндр на две части и может свободно скользить по нему вверх и вниз. В цилиндр, по обе стороны от поршня помещены одинаковые количества воздуха.

1) Определите отношение давлений в нижней и верхней частях цилиндра, если поршень располагается на высоте 50 см от дна цилиндра, а температура в обеих частях цилиндра одинакова. На этой высоте (50 см) поршень располагается при температуре содержимого цилиндра $T_1 = 315$ К. Чтобы поршень поднялся на 2 см от этого уровня, температуру нужно увеличить до $T_2 = 336,7$ К. 1,96

2) Какой должна стать температура содержимого цилиндра, чтобы поршень поднялся до высоты 60 см над дном цилиндра?

3) На каком расстоянии от дна будет располагаться поршень при температуре $T_1 = 315$ К, если цилиндр перевести в горизонтальное положение?

Вопросы:

1. Какой воздух тяжелее - сухой или влажный?

2. Обрисуйте график изохорного процесса для идеального газа. Известно, что при температуре -20°C он создает давление 80 кПа.

3. Чему равно соотношение давлений в сосудах с кислородом и водородом, если концентрации газов и среднеквадратичные скорости одинаковы? 8

4. Почему атмосферное давление на экваторе всегда меньше, чем в приполярных областях?

5. Почему мячик, наполненный воздухом, отскакивает при ударе о пол?

6. Объем газа уменьшился в 2 раза, а его температура увеличилась в 1,5 раза. Как изменилось давление газа?

7. Почему перед дождем атмосферное давление немного уменьшается? Если искусственно увлажнять воздух в одной области, то возникнет ветер, энергию которого можно использовать.

8. Какова разность давлений воздуха между полом и потолком комнаты высотой 2,55 м при нормальных условиях? 32 Па

9. При уменьшении объема газа в 2 раза давление увеличилось на 120 кПа и абсолютная температура возросла на 10%. Каким было начальное давление? 100 кПа

10. Давление и температура внутри гелиевого шарика почти такие, как и воздуха снаружи. Почему тогда шарик взлетает?

Разное

1. Воздушный шар диаметром 20 см вынесли из помещения с температурой воздуха 22°C на улицу, где температура воздуха 0°C . Каким станет диаметр шара? 19,5 см

2. На какую величину различаются значения плотности воздуха летом при температуре $+27^{\circ}\text{C}$ и зимой при температуре -27°C ? Давление нормальное. $\Delta\rho = 256 \text{ г/м}^3$

3. Атмосфера Венеры состоит в основном из двуокиси углерода, имеет у поверхности давление, равное девяти земным атмосферам и температуру $T_1 = 700$ К. Для атмосферы Земли температура у поверхности близка к значению $T = 300$ К. Найдите отношение плотностей атмосфер у поверхностей Венеры и Земли. 58,5

Олимпиада.

1. В тонкой длинной трубке длиной 114 см, запаянной с одного конца, а с другого конца плотно закрытой пробкой, находится азот при давлении, составляющем $\frac{2}{3}$ от атмосферного. Трубку закрытым концом вертикально погрузили в сосуд с ртутью на глубину 38 см. Определить разность уровней ртути в трубке и сосуде, после того как вынули пробку. Давление атмосферы нормальное. 0
2. Плотность газа, состоящего из смеси гелия и аргона, равна $\rho = 2$ кг/м³ при давлении $p = 150$ кПа и температуре 27°C . Сколько атомов гелия находится в 1 см³ газовой смеси?
$$n = \frac{N_A}{(\mu_2 - \mu_1)} \left(\frac{\mu_2 P}{RT} - \rho \right) = 6,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$$

Занятие 5. Применение газовых законов.

I. Вопросы (блиц):

1. Сколько термодинамических параметров задают состояние конкретного идеального газа определенной массы?
2. При сложении двух целых чисел Коля поставил лишний ноль на конце одного из слагаемых и получил в сумме 6641 вместо 2411. Какие числа складывал Коля? 470
3. Определите плотность азота при температуре 27°C и давлении $2 \cdot 10^5$ Па. 2,24 кг/м³.
4. Один кубический километр воздуха в нормальном состоянии сжали так, что он уместился в шарик диаметром 5 см. Могло ли быть такое? нет
5. При некотором процессе, проведенном с идеальным газом, между давлением и объемом газа выполняется соотношение: $p^2V = \text{const}$. Масса газа при этом не изменялась. Как изменилась температура этого газа, если его давление увеличилось в 2 раза?
6. Какой из газов, водород или азот, занимает больший объем, если их массы, давления и температуры одинаковы? Водород
7. Почему водород при равном весе занимает больше места, чем другие газы?
8. Почему воздушный шар с закрытым выпускным клапаном, поднявшись на большую высоту, может лопнуть?
9. Изобразите график изотермического процесса для идеального газа. Известно, что при давлении 0,2 МПа он занимает объем 3 л.
10. Сколько молекул воздуха при нормальных условиях находится в пустой бутылке?
11. Как, зная плотность вещества и его молярную массу, определить среднее расстояние между его молекулами?
12. Почему в холодную сырую погоду сила, действующая на парус яхты больше, при равных скоростях ветра?
13. Химические реакции протекают быстрее как при нагревании, так и при повышении давления. Почему?

II. Задачи (блиц):

1. В баллоне находится идеальный газ при температуре 32°C и давлении $7,1$ атм. В баллоне есть клапан, который открывается при давлении $8,3$ атм, при этом часть газа выходит. До какой температуры нужно нагреть баллон, чтобы через клапан вышло 3% массы газа? 95°C
2. Подопытный кролик дышит газовой смесью, состоящей на $1/3$ из молекул кислорода и на $2/3$ – из молекул гелия. Найти плотность этой смеси при температуре 50°C и давлении $1,2$ атм. $0,6$ кг/м³

III. Задачи:

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

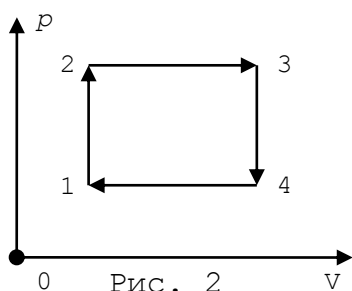


Рис. 2

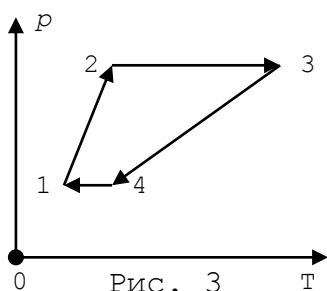


Рис. 3

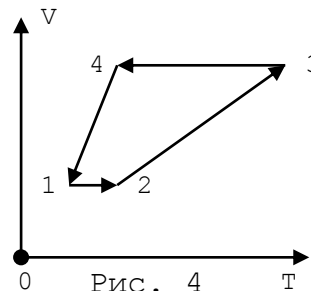


Рис. 4

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

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

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

Тогда: $r^2 = (S_{1x} + S_{2x} + \dots + S_{Nx})^2 + (S_{1y} + S_{2y} + \dots + S_{Ny})^2 = (S_{1x}^2 + S_{2x}^2 + \dots + S_{Nx}^2) + (S_{1y}^2 + S_{2y}^2 + \dots + S_{Ny}^2) = Nl^2$. Сумма парных произведений $2S_{1x}S_{2y} + 2S_{1y}S_{2x} + \dots$ при больших N дает 0. Положительные проекции будут встречаться столь же часто, что и отрицательные.

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

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

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

IV. Задачи (блиц):

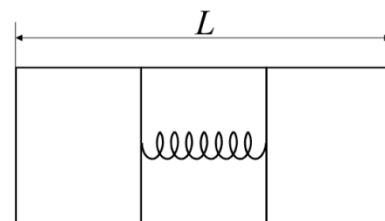
1. Идеальный газ изотермически расширяют, затем изохорно нагревают и изобарно возвращают в исходное состояние. Нарисовать графики этого равновесного процесса в координатах $p, V; V, T; p, T$.

2. На высоте 3 км над поверхностью Земли в 1 см^3 воздуха содержится примерно 10^2 пылинок, а у самой поверхности - примерно 10^5 . Определите среднюю массу пылинки и оцените ее размер, предполагая, что плотность пылинки $1,5 \text{ г/см}^3$. Температуру воздуха примите равной 27°C . $m = 10^{-21} \text{ г}$, $r = 10^{-7} \text{ см}$

VIII. Олимпиада.

1. Тонкостенный цилиндрический стакан массой 100 г и высотой 10 см ставят вверх дном на гладкое дно сосуда, который после этого медленно заполняют водой до высоты 20 см. На сколько градусов надо нагреть воду в сосуде, чтобы стакан начал всплывать? Диаметр стакана 4,0 см. Начальная температура всей системы 300 К, атмосферное давление 720 мм рт. ст. 5,5 К

2. В сосуде с газом находятся два поршня массы M каждый, скрепленные пружиной жесткости k (рис.66). В состоянии покоя пружина не деформирована, а объемы всех трех частей сосуда одинаковы. Определите частоту колебаний поршней. Процесс считать изотермическим. Трение между поршнями и стенками сосуда отсутствует. Полная длина сосуда L , площадь поперечного



сечения S . $\omega = \sqrt{(2k + 9p_0S/l)/M}$.

3. В бутылку с достаточно толстыми стенками вместимостью $V = 700 \text{ мл}$ наливают некоторое количество воды. Прикрыв горлышко пальцем, бутылку переворачивают вверх дном, погружают в ведро с водой и убирают руку. Бутылка плавает, сохраняя вертикальное положение. Над поверхностью воды выступает часть бутылки объёмом $\Delta V = 15 \text{ мл}$. Ведро с бутылкой выносят из комнаты, температура воздуха в которой равна $t_0 = 25^\circ\text{C}$, на мороз. Можно считать, что в процессе охлаждения воздух, находящийся внутри бутылки, сжимается, и его объём изменяется по закону $V = V_0(1 + \alpha(t - t_0))$, где V_0 — объём воздуха при температуре t_0 , α — коэффициент, равный $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1}^\circ\text{C}$. Найдите температуру воздуха внутри бутылки в тот момент, когда бутылка полностью погрузится в воду. Масса бутылки равна 300 г, плотность материала, из которого она изготовлена, $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$. $4,2^\circ\text{C}$

Вопросы:

1. Газ перешел из состояния 1 в состояние 2. Масса газа остается постоянной (Рис. 1). Как изменился объем газа?

2. Начертите графики изменения плотности идеального газа в зависимости от температуры при изобарном и изохорном процессах.

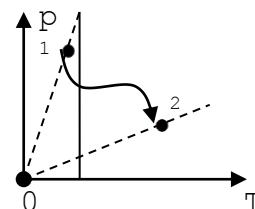


Рис. 1

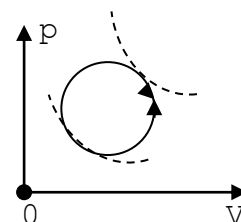
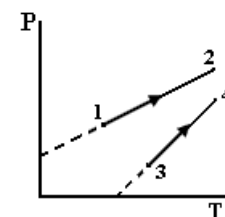


Рис. 2

3. С газом произведен замкнутый процесс (цикл). Масса газа остается постоянной. В какой точке температура газа наибольшая (Рис. 2)?

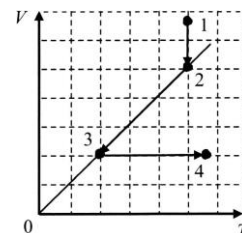
4. При нагревании газа получен график зависимости давления от абсолютной температуры в виде прямой, продолжение которой пересекает ось P в некоторой точке выше (ниже) начала координат,



как показано на рисунке. Определить, сжимался или расширялся газ во время нагревания. 1-2 расширялся.

5. Начертите график зависимости плотности газа от давления при изотермическом процессе, если масса газа остается постоянной.

6. На V/T -диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа p на каждом из трёх участков?



Разное

1. Для того чтобы совершить воздушный полет, бесстрашный изобретатель, масса которого 60 кг, решил использовать 5000 воздушных шаров, наполненных гелием. До какого объема необходимо надуть гелием каждый шар, чтобы изобретатель мог подняться в воздух? Атмосферное давление нормальное, температура окружающего воздуха равна 27°C .

2. Почему нельзя изготовить воздушный шар, наполняемый нагретым воздухом, подъемная сила которого равнялась бы подъемной же объема, наполненного водородом?

$$P_1 = \rho_0 g V \left(1 - \frac{\rho_{H_2}}{\rho_0}\right); P_2 = \rho_0 g V \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

3. Имеется 1 л азота (N_2) при температуре 300 К и давлении $p = 1$ атм. Оцените: 1) полное число молекул в сосуде; 2) число молекул в 1 см^3 ; 3) среднюю энергию поступательного движения одной молекулы; 4) среднюю квадратичную скорость одной молекулы; 5) длину свободного пробега молекулы $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot d \cdot n}$, (диаметр молекулы азота $d = 3,2 \cdot 10^{-8}$

см); 6) среднее время между столкновениями молекул друг с другом; 7) среднее число ударов молекул в 1 см^2 стенки за секунду. $N = 0,72 \cdot 10^{23}$; $n = 0,72 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; $\bar{E}_K = 6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$; $\bar{v}_{\text{кв}} = 517 \text{ м/с}$; $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}$; $1,9 \cdot 10^{-10} \text{ с}$; $6,2 \cdot 10^{18}$.

Олимпиада.

1. Число молекул, энергия которых выше некоторого значения ε_1 , составляет 10^{-4} от общего числа молекул. Определить величину ε_1 в долях kT , считая, что $\varepsilon \gg mkT$. 0/0157 kT

Занятие 6. Основные понятия термодинамики.

I. Вопросы (блиц):

1. Почему крошечные частицы могут плавать в воздухе по нескольку суток?
2. Петя купил две книги. Первая книга оказалась на 75% дешевле второй. На сколько процентов вторая книга дороже первой? 300%
3. Изобразить графически зависимость плотности данной массы идеального газа от температуры при постоянном давлении.
4. Одно из правил безопасности при погружении с аквалангом - перед тем как подниматься на поверхность, надо вдохнуть, а при всплытии правильно выдохнуть воздух. Зачем?
5. Почему, когда мы пытаемся ввести палочку в банку какими-нибудь зернами поглубже, требующееся для этого усилие быстро возрастает с глубиной погружения?
6. Давление в телевизионной трубке составляет около 10^{-9} атм. Каково число

молекул в 1 см^3 ?

7. Вы замерзаете от того, что молекулы вашего тела постепенно теряют энергию и замедляются. Так ли это?
8. Пламя свечи стремится удалиться от горячего жала электрического паяльника или другого нагревателя (эффект Людвига – Соре). Почему?

II. Задачи (блиц):

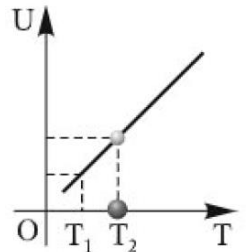
1. В сосуде находится гелий при температуре 300 К. Плотность газа такова, что длина свободного пробега в нем составляет 0,5 мкм. Какое среднее расстояние проходит молекула газа за 0,5 с. 18,5 см
2. Средняя квадратичная скорость молекул воздуха в комнате 500 м/с, длина их свободного пробега 0,02 мкм. В данный момент выбранная для наблюдения молекула находится посередине квадратной комнаты площадью 25 м^2 . Оцените среднее время, за которое она дойдет до стены. 174 ч

III. Объектом термодинамики является равновесная термодинамическая система. Одно из основных понятий термодинамики - **внутренняя энергия.** Внутренняя энергия тела с точки зрения молекулярно-кинетических представлений:

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

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа:

$$\bar{E}_K N = (E_{k1} + E_{k2} + \dots + E_{kN}) \rightarrow U = \frac{3}{2} \frac{m}{M_B} RT = U = \frac{3}{2} \nu \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} PV \quad \text{Энергия}$$



распределяется равномерно по степеням свободы. У двухатомных газов: $U = \frac{5}{2} \nu \cdot R \cdot T$. У твердых тел и многоатомных газов: $U = 3\nu \cdot R \cdot T$.

Как можно изменить внутреннюю энергию тела? Два способа: 1. Совершая работу. 2. Передавая системе некоторое количество теплоты.

$A' = p\Delta V$ - работа газа при изобарном процессе. Геометрическое истолкование работы. Работа численно равна площади фигуры под графиком давления в координатах p, V . $A' = \frac{m}{M} R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ (**работа газа в изотермическом процессе**).

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

Расчет количества теплоты (передаваемой тепловой энергии):

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

Теплота фазовых переходов. 1. Удельная теплота парообразования и конденсации (r): $Q = mr$ – формула для расчета количестве теплоты при парообразовании и конденсации.

2. Удельная теплота плавления и кристаллизации (λ): $Q = \lambda m$ – формула для расчета количества теплоты при плавлении.

3. Удельная теплота сгорания (q): $Q = mq$ - формула для расчета количества теплоты при сгорании топлива.

Теплопроводность - это свойство материала, определяющее его способность

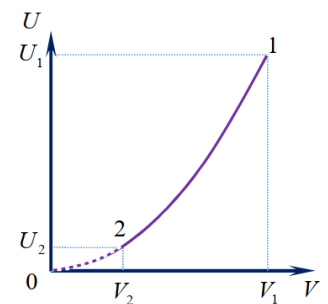
передавать энергию в виде тепла. **Закон Фурье:** $Q = k \frac{\Delta T}{\ell} S \cdot \tau$.

IV. Задачи (блиц):

1. В длинной горизонтальной трубе между двумя одинаковыми поршнями массой m каждый находится один моль одноатомного газа. При температуре газа T_0 скорости поршней направлены в одну сторону, и равны v и $3v$. Какова максимальная температура газа? Труба теплоизолированная, трения нет, массу газа и теплоемкость поршней не учитывать. $T = T_0 + \frac{2mv_0^2}{3vR}$
2. Рассчитайте количество теплоты, теряемое за сутки, через оконный проём со стеклопакетом, если известно, что сторона квадратного окна 1 м, толщина стеклопакета 0,5 см, температура в комнате 21°C , на улице 0°C . k – удельная теплопроводность вещества, равная для стекла $0,84 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. 305 МДж

V. Олимпиада.

1. Какую работу A надо совершить для сжатия некоторого количества идеального одноатомного газа в $k = 3$ раза, если внутренняя энергия газа U меняется при этом так, как показано на рисунке? Участок 1-2 отрезок параболы с вершиной в начале координат. Исходное значение внутренней энергии газа равно $U_1 = 135 \text{ Дж}$. 40 кДж
2. В 5 термосах находилось одинаковое количество мокрого снега (смеси ледяных кристаллов и воды, находящихся в равновесии). В первый термос вылили 100 г кипятка, во второй – 200 г, в третий – 300 г, а в четвертый – 400 г, в пятый – неизвестное количество кипятка. После установления равновесия температура содержимого первого термоса оказалась равна $t_1 = 8^\circ\text{C}$, второго – $t_2 = 31^\circ\text{C}$, а пятого – $t_5 = 0^\circ\text{C}$. Какая температура установилась в третьем и четвертом термосах? Какова максимально возможная масса кипятка, вылитого в пятый термос? Опыт происходил при нормальном атмосферном давлении, теплообменом содержимого термоса с внешними телами можно пренебречь. Ответ: $t_3 = 44,8^\circ\text{C}$, $t_4 = 54^\circ\text{C}$, максимально возможная масса кипятка, вылитого в пятый термос, равна 76 г.
3. Экспериментатор запустил секундомер в момент времени, когда в чайнике закипела вода. Вся вода выкипела через 1781 секунду. Экспериментатор заполнил чайник льдом той же массы при нулевой температуре, зажег газ и одновременно запустил секундомер. Экспериментатор записал в журнал, что во втором случае чайник выкипел через 2075 секунд. Цифра θ изображена неразборчиво, это может быть 0, 3 или 6. Какая цифра стоит в журнале? $t_2 = 2076 \text{ с}$



Вопросы (блиц):

1. Почему выскакивают искры при ударе кремния о сталь?
2. Увеличивает ли сильный ветер температуру переносимого им воздуха?
3. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа определяется формулой $U = \frac{3}{2} pV$. Объясните тогда, зачем мы топим печь, ведь давление и объем газа в комнате не изменяются, а, следовательно, не меняется внутренняя энергия газа.

- С какой высоты должны упасть на Землю молекулы азота, чтобы их средняя квадратичная скорость оказалась равной 500 м/с?
- Начальное состояние газа характеризуется параметрами P_0 и V_0 . При изотермическом или изобарном расширении до некоторого объема газ произведет большую работу?
- Что общего между сжатой пружиной и сжатым газом?
- Со дна водоема поднимается пузырек воздуха. Совершает ли газ работу?
- Кедровые орешки помещают в герметичный объем и выдерживают под большим давлением. Затем резко сбрасывают давление, и скорлупа разлетается. Почему и как это происходит?
- Что происходит, когда изменяется температура, а что – когда сообщается тепло?

Разное.

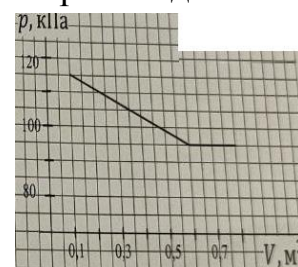
- Людей, купающихся зимой в проруби, называют «моржами». Оцените время, за которое температура воды продвинется до рецепторов кожи, удаленных от ее поверхности на расстояние около $4 \cdot 10^{-4}$ м. Поскольку живые ткани более чем на 90% состоят из воды, их тепловые свойства можно считать близкими к свойствам воды. 1 с
- Для движения торпеды используется двигатель, работающий на сжатом воздухе. Определите полезную максимальную работу, производимую двигателем, если объем сжатого воздуха $0,2 \text{ м}^3$, давление сжатого воздуха $2 \cdot 10^7$ Па. Торпеда отрегулирована на движение в воде на глубине 3 м. Процесс изотермический. Считая движение торпеды равномерным, определите силу тяги двигателя, если радиус действия торпеды 2 км.

Олимпиада.

Занятие 7. Первый закон термодинамики.

I. Вопросы (блиц):

- Правда ли, что нагревание в микроволновке пищи на самом деле происходит из-за трения?
- Одно из двух положительных чисел увеличилось на 1%, а другое – на 4%. Могла ли сумма этих чисел увеличиться на 3%?
- Почему в горных районах выпадает значительно больше снега и дождя, чем на равнинах?
- По графику определите работу газа.
- Известно, что на высотах порядка 1000 км средние квадратичные скорости молекул газов, входящих в состав атмосферного воздуха, соответствуют температуре примерно 2000°C . Почему же не плавятся оболочки искусственных спутников Земли, летающих на такой высоте?
- Какой газ, идеальный или реальный, при данной температуре имеют большую внутреннюю энергию?
- Одинаковые массы водорода и кислорода изобарно нагревают на одинаковое число градусов. Во сколько раз работа, совершаемая водородом, больше чем кислородом?
- Верно ли, что при теплообмене тепло всегда передается от тела с большей



внутренней энергией к телу с меньшей внутренней энергией?

9. Можно ли довести воду до кипения, подогревая ее стоградусным паром при нормальном атмосферном давлении?
10. Если на тебя одеты металлические предметы, то ожог в парилке обеспечен. Почему?
11. Почему алмазы всегда холодные?
12. Что охлаждается быстрее – ванна, наполненная горячей водой, или стакан с горячим чаем? Почему?

II. Задачи (блиц):

1. Два моля трехатомного идеального газа изобарически расширяется из состояния с температурой 150°C и объемом 2 л до объема 5 л. Определить внутреннюю энергию газа в конечном состоянии. 31,6 кДж.
2. При изотермическом расширении от $0,1 \text{ м}^3$ трех молей газа его давление меняется от 4,48 атм до 1 атм. Найти совершаемую при этом работу и температуру, при которой протекает процесс. 1797 К. 67,2 кДж.
3. Вертикально стоящий цилиндр перекрыт поршнем площадью S и массой M . Между поршнем и цилиндром есть трение. Поршень начнет опускаться, если на него надавить силой F_1 , и подниматься, если его потянуть вверх силой F_2 . Найдите давление в цилиндре, если атмосферное давление равно p_0 .

III. Механический эквивалент теплоты (Джоуль): $4,1858 \text{ Дж/кал} \approx 4,19 \text{ Дж/кал}$.
Первый закон термодинамики - это закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления (1842 г).

Закон гласит, что энергию нельзя ни создать, ни уничтожить, а только преобразовать из одного вида в другой или передать от одного тела к другому. Независимо от преобразований между различными видами энергии суммарные количества «начальной» и «конечной» энергии в любой физической системе в сумме всегда должны давать одно и то же.

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

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

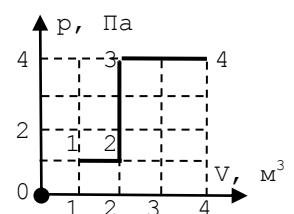
Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме C_v и при постоянном давлении C_p . $C_v = \frac{i}{2}R$. $C_p = \frac{i}{2}R + R$. Связь с удельной теплоемкостью: $v \cdot C = m \cdot c$.

Следствия:

1. Внутренняя энергия замкнутой системы остается с течением времени неизменной. Если $Q = 0$ и $A = 0$, то $\Delta U = 0$.
2. Невозможно создать вечный двигатель. Если $Q = 0$, то $A' = -\Delta U$.

IV. Задачи (блиц):

1. При сообщении идеальному газу количества теплоты Q газ совершает работу A' . Какой была внутренняя энергия газа U_1 , если его температура возросла в 4 раза? $U_1 = \frac{Q - A'}{3}$
2. Теплоизолированный цилиндр разделён подвижным



теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой – аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона – 900 К, объёмы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объём, занимаемый гелием, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоёмкостью цилиндра и поршня пренебречь. 1,5

3. Насколько изменяется внутренняя энергия двухатомного идеального газа при его переходе из состояния 1 в состояние 4? 37,5 Дж

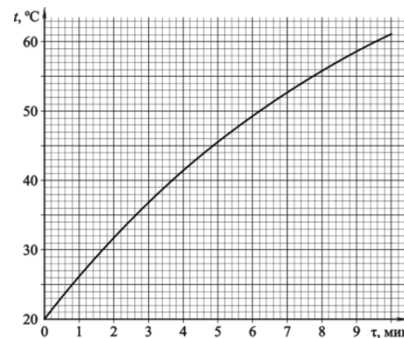
Олимпиада.

1. Один кмоль воздуха при давлении $p_1 = 10^6$ Па и температуре $T_1 = 390$ К изохорически изменяет давление так, что его внутренняя энергия изменяется на $\Delta U = -71,7$ кДж, затем изобарически расширяется и совершает работу $A' = 745$ кДж. Определить параметры воздуха (считать $C_v = 721$ Дж/(кг·К) в конечном состоянии. Ответ: 4,24 м³; 380К; 0.745 МПа

2. В сосуд с водой комнатной температуры поместили кипятильник постоянной мощности и включили его. На рисунке показана измеренная зависимость температуры воды t от времени τ .

- а) На сколько градусов остынет вода в сосуде за 10 с, если выключить кипятильник при температуре 50°C? Около 0,5°C/c

- б) До какой максимальной температуры нагреется вода за большое время, если кипятильник не выключать? Будем считать, что закон теплоотдачи воды окружающему воздуху остается неизменным и при таких температурах. Мощность нагревателя по касательной в $\tau = 0$.



Вопросы (блиц):

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

Разное.

1. В калориметр, где находится 1 кг льда при температуре 0°C, впускают 500 г водяного пара при температуре 100°C. Какая температура установится после

того, как произойдет теплообмен? Теплоемкостью калориметра можно пренебречь.

2. Порция азота занимает объем 20 л при давлении 0,5 атм и температуре 300 К. С газом производят следующий процесс: ему медленно сообщают количество теплоты 300 Дж, при этом температура газа увеличивается на 10 К. Сжимается газ или расширяется?

Олимпиада.

В цилиндре под поршнем находится водород массой 0,02 кг при температуре 300 К. Водород сначала расширился адиабатно, увеличив свой объем в 5 раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в 5 раз. Найти температуру в конце адиабатного расширения и полную работу, совершенную газом. 158 К. 8368 Дж

Занятие 8. Применения первого закона термодинамики.

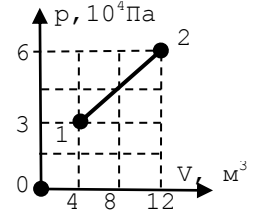
I. Вопросы (блиц):

1. Почему при слабом морозе снежок слепить легко, а при сильном это сделать невозможно?
2. Есть три разные цифры: а, б, с. Если составить из них все возможные трехзначные цифры и сложить, то сумма будет равна 5328. Найдите а, б, с. 7,8,9
3. При быстром сжатии газа температура его повысилась. Можно ли сказать, что:
 - 1) газу сообщено некоторое количество теплоты;
 - 2) внутренняя энергия газа увеличилась. Ответ: а) нет; б) да.
4. Можно ли передать газу некоторое количество теплоты, не вызывая при этом повышения его температуры? Ответ: можно в изотермическом процессе.
5. Газ совершает работу 2 кДж при передаче ему количества теплоты 7 кДж. Чему равно изменение внутренней энергии газа?
6. Может ли увеличение объема газа сопровождаться увеличением его давления?
7. Считая, что сопротивление воздуха отсутствует, оцените, с какой высоты должна упасть капля воды, чтобы "от нее не осталось мокрого места". Можно ли на самом деле пренебречь сопротивлением воздуха при решении этой задачи? 272 км
8. При изобарном сжатии водорода была совершена работа 10 кДж. Определить затраченное количество теплоты и изменение внутренней энергии газа. -35 кДж. – 25 кДж.
9. Идеальный газ занимает половину теплоизолированного сосуда, в другой половине которого вакуум. Что произойдет с температурой газа, если мгновенно убрать разделительную перегородку?

II. Задачи (блиц):

1. Внутренняя энергия одного моля газообразного метана в 2,5 раза больше внутренней энергии такого же количества идеального одноатомного газа при той же температуре. Какое количество теплоты необходимо затратить для того, чтобы изобарически нагреть 0,1 моля газообразного метана на 100 К? 395 Дж

2. Водород занимает объем $10,0 \text{ м}^3$ при давлении $0,1 \text{ МПа}$. Его нагрели при постоянном объеме до давления $0,3 \text{ МПа}$, затем, изотермически увеличив объем, довели давление газа до первоначального. Определите изменение внутренней энергии газа, работу, совершенную им, и количество теплоты, сообщенное газу. 5 МДж , $3,3 \text{ МДж}$, $8,3 \text{ МДж}$



3. Определите молярную массу трехатомного газа, имеющего удельную теплоемкость при постоянном давлении $c_p = 725 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. 46 г/моль

4. Насколько изменяется внутренняя энергия одноатомного идеального газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2? $0,9 \text{ МДж}$

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

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

Что нужно, чтобы изучить какую-либо термодинамическую систему?

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

IV. Задачи (блиц):

4. $8,64 \text{ г}$ азота, находящегося при нормальных условиях ($t = 0^\circ\text{C}$, $p = 10^5 \text{ Па}$) сжимается до объема $V_2 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Найти температуру азота после сжатия, если процесс происходит адиабатически. Какова при этом работа сжатия?

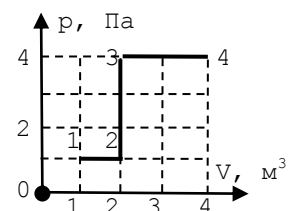
Ответ: $T_2 = 519,7 \text{ К}$, $A = -1,58 \text{ кДж}$

5. Определите молярную массу трехатомного газа, имеющего удельную теплоемкость при постоянном давлении $c_p = 725 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. 46 г/моль

6. Чему равен показатель адиабаты смеси газов, состоящей из азота и неона? Известно, что массы газов в смеси равны. На сколько градусов нагрелись 4 кг такой смеси, помещенные в сосуд постоянного объема, если им сообщили $0,5 \text{ кДж}$ теплоты? На какую величину при этом изменилась энтропия смеси, если начальная температура 27°C ? $1,56$. $0,13 \text{ К}$. $2,39 \text{ Дж/К}$.

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

Найдите эту скорость. Трением пренебречь. $v = \frac{N}{2,5mg}$

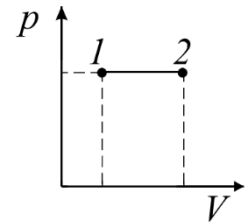


8. Чему равно отношение Q_{14}/A'_{14} при переходе одноатомного газа из состояния 1 в состояние 4. $3,5$

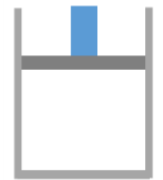
Олимпиада.

1. При проведении процесса, изображенного на pV диаграмме, газ водород совершил работу 5 МДж при постоянном давлении и температуре. Определите

величину изменения массы газа в этом процессе, если температура - нулевая по Цельсию. Газ можно считать идеальным. 2,2 г. $\Delta m = \frac{A'M}{2RT}$



2. Гелий в количестве ν молей находится в теплоизолированном вертикальном сосуде под поршнем, на котором стоит гиря, масса которой в α раз больше массы поршня (рис.). Над поршнем вакуум. Если к гелию медленно подводить теплоту Q , объем гелия увеличивается на такую же величину, как если бы вместо подведения тепла гирю быстро сняли. Найдите изменение ΔT_2 температуры гелия во втором процессе. Гелий можно считать идеальным газом. $\Delta T_2 = \frac{4Q}{15\nu R(\alpha + 1)}$

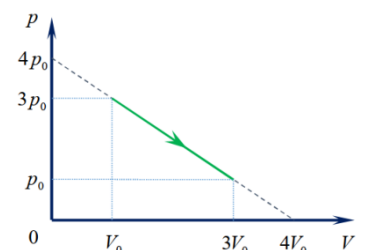


Вопросы (блиц):

1. Почему нагревается обшивка летательного аппарата при его движении в атмосфере Земли (разогрев атмосферного столба до 33000°C при падении астероида)?
2. Чем отличается процесс изотермического расширения газа от процесса его изобарного нагревания и что между ними общего?
3. При работе пневматического молота, работающего сжатым воздухом, наблюдается обмерзание молота снаружи. Как объяснить охлаждение молота?
4. Какую работу произвел газ, если он получил количество теплоты 300 Дж, а его внутренняя энергия увеличилась на 200 Дж?
5. Газ в адиабатном процессе совершает отрицательную работу. Что при этом происходит с его внутренней энергией?
6. В вертикальном теплоизолированном сосуде, поршень которого удерживается в неподвижном состоянии двумя одинаковыми гирями, находится 1 моль одноатомного газа. Начальная температура газа T_0 . Давление воздуха вне цилиндра равно нулю. Как изменится температура газа, если одну из гирь снять, а затем через некоторое время поставить обратно? Поршень скользит в цилиндре без трения.
7. Быстрое расширение пороховых газов можно считать адиабатным процессом. Почему же ствол автомата нагревается?
8. Почему любая вещь, предоставленная самой себе, когда-нибудь разрушится?
9. Объясните, почему кусок резины нагревается, если его растянуть?
10. У одинаковых количеств одно- и двухатомного газа одинаково изменили температуру. Одинаковое ли количество теплоты потребовалось?

Разное

1. В теплоизолированном герметичном сосуде находится два моля идеального одноатомного газа при температуре 300 К и нормальном атмосферном давлении. Найти давление газа после включения на три минуты небольшого электронагревателя мощностью 16,6 Вт, помещенного в сосуд.
2. Оцените верхний предел температуры аргона, подвергающегося сжатию поршнем-пулей в цилиндре-стволе, если пуля массой 100 г влетает в ствол, имеющий объем 200 см^3 , с начальной скоростью 250 м/с. Начальная

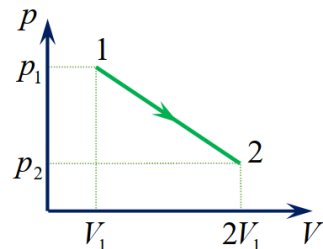


температура газа 300 К, давление 1 атм.

3. Один моль идеального газа находится при температуре 300 К. Его объем увеличивают в 5 раз так, что теплоемкость газа в этом процессе остается постоянной и равной 5000 Дж/К. Оцените, насколько изменится температура газа (процесс расширения близок к изотермическому процессу).

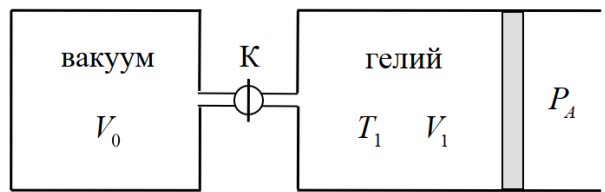
Олимпиада.

1. При расширении одного моля аргона его давление уменьшается так, как показано на pV -диаграмме (см. рисунок). Определите максимальное значение внутренней энергии U газа в процессе 1-2. Начальные значения объема и давления газа равны соответственно $V_0 = 0,1 \text{ м}^3$ и $p_0 = 5 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

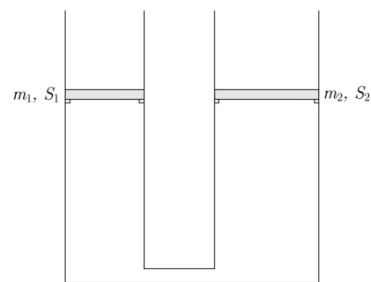


3. Один моль идеального одноатомного газа переводят из начального состояния 1 с давлением p_1 и объемом V_1 в конечное состояние 2 с давлением $p_2 < p_1$ и объемом $2V_1$. На диаграмме p - V процесс перехода изображается прямолинейным отрезком, соединяющим точки 1 и 2. Найдите минимальное значение конечного давления p_2 , при котором в рассматриваемом процессе газ не будет отдавать тепло.

4. Два цилиндра соединены короткой трубкой с краном К. Объем левого цилиндра $V_0 = 4 \text{ л}$. Правый цилиндр закрыт поршнем, который может двигаться без трения. Справа от поршня цилиндр открыт в атмосферу. В начальном состоянии кран закрыт и левый цилиндр откачан до глубокого вакуума. В правом цилиндре находится гелий при температуре $T_1 = 300 \text{ К}$ и атмосферном давлении P_A . Объем гелия $V_1 = 5,5 \text{ л}$. Кран открывают, гелий начинает перетекать в левый цилиндр, поршень перемещается, и вся система переходит в новое равновесное состояние. Найдите температуру гелия T_2 в этом состоянии, считая, что стенки цилиндров и поршень не проводят тепло. Объем трубки с краном не учитывайте, атмосферное давление считайте постоянным. Ответ выразите в кельвинах и округлите до целого значения. 387 К

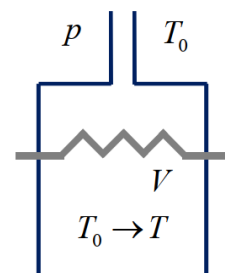


5. Два вертикальных цилиндрических сосуда соединены в нижней части трубкой пренебрежимо малого объема. Внутри цилиндров установлены поршни, которые могут перемещаться без трения. Пространство под поршнями заполнено гелием. В средней части цилиндров на высоте $h = 30 \text{ см}$ имеются упоры, ограничивающие движение поршней вниз. Площади поперечного сечения цилиндров $S_1 = 120 \text{ см}^2$, $S_2 = 180 \text{ см}^2$, массы поршней $m_1 = 18 \text{ кг}$, $m_2 = 24 \text{ кг}$. Цилиндры теплоизолированы. Теплообменом между газом и цилиндрами с поршнями в условиях задачи можно пренебречь. Внешнее давление равно атмосферному $P_0 = 10^5 \text{ Па}$, внутри цилиндров давление гелия изначально равно атмосферному. Начальная температура газа под поршнями равна $27 \text{ }^\circ\text{С}$. Внутри одного из цилиндров



установлен нагреватель мощностью $N = 15$ Вт, включая который, можно изменять температуру газа в цилиндрах. Через некоторое время после включения нагревателя объём газа под поршнями начинает увеличиваться. Универсальная газовая постоянная $R = 8.31$ Дж/(моль·К), ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Цилиндры высокие, и за время эксперимента поршни остаются внутри них (не «выскакивают»). Параметры газа (давление и температуру) можно считать одинаковыми в обоих цилиндрах при любых процессах.

- В каком порядке поршни начинают двигаться?
 - При каком давлении гелия под поршнями объём гелия начнёт увеличиваться? Ответ выразите в килопаскалях, округлите до целых. Ответ: 113
 - На сколько градусов необходимо увеличить температуру гелия под поршнями, чтобы его объём начал увеличиваться? Ответ: 40
 - Через какое время после включения нагревателя объём гелия начнёт увеличиваться? Ответ выразите в секундах, округлите до целых. Ответ: 12С
 - какой скоростью будет изменяться объём гелия под поршнями с момента, когда один или оба поршня придут в движение? Ответ: 53 см³/с
6. Сосуд объёмом V с теплообменником внутри сообщается с атмосферой через тонкую длинную трубку. Исходно температура в нем T_0 равна температуре атмосферного воздуха. По теплообменнику прокачивают охлаждающую жидкость до тех пор, пока температура воздуха во всем сосуде не уменьшится до T ($T < T_0$). Сколько тепла от воздуха будет передано теплообменнику? Атмосферное давление p_0 . Поток тепла через стенки сосуда и трубку можно пренебречь. Внутренняя энергия воздуха $U = 5\nu RT/2$, где ν — число молей, T — температура, R — универсальная газовая постоянная. Искомое тепло $Q = (7/2)PV(T_0/T - 1)$.



Занятие 9. Тепловые двигатели.

I. Вопросы (блиц):

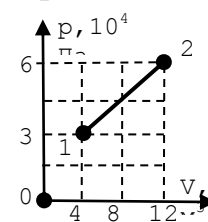
1. Почему ветер, дующий с гор, как правило, сухой и горячий, ведь в горах холодно и влажно?
2. Для покупки порции мороженого Пете не хватило 7 копеек, а Маше – 1 копейки. Тогда они сложили все свои деньги, но все равно не смогли купить даже одну порцию. Сколько стоит одна порция мороженого? $8 > M \geq 7$, т.е. 7
3. В одном баллоне 40 г неона, в другом 20 г аргона. Баллоны нагревают на одинаковых нагревателях. Неон нагрелся на 20 градусов. Насколько нагрелся аргон? Потерями пренебречь. 80 К
4. В каком случае теплоемкость системы (например, газа):
1) равна нулю; 2) равна ∞ ; 3) может быть отрицательной?
5. Прогретый у земной поверхности влажный воздух поднимается вверх. Совершает ли он при этом работу? Как изменяется его внутренняя энергия? Каковы последствия этого процесса?
6. В каком случае при сжатии газа в цилиндре до одного и того же конечного

объема совершается большая работа: при медленном перемещении поршня или при быстром? Цилиндр не теплоизолированный.

7. Можно ли указать процесс, в котором газ нагревается, отдавая тепло?
8. Почему человек чувствует озноб после того, как сильно чихнет?
9. Два одинаковых объема газа, находившихся при одинаковых условиях, сжимают до одинаковых конечных объемов - один быстро, другой медленно. В каком случае совершенная работа больше?
10. За счет чего нагреваются шины автомобиля при длительной езде?
11. Сжимая газ адиабатно, мы совершаем работу. Увеличивается ли при этом потенциальная энергия молекул газа?
12. Всегда ли подведение тепла к системе приводит к увеличению её внутренней энергии?
13. Иногда газ при охлаждении отдает меньшее количество теплоты, чем было затрачено на его нагревание. Разве это не противоречит закону сохранения энергии?

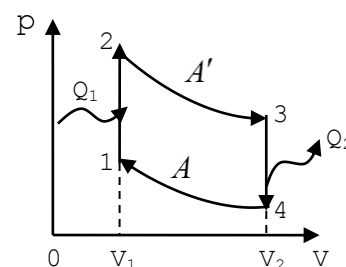
II. Задачи (блиц):

1. Азот массой $m = 5,6$ г при давлении $P_1 = 10^5$ Па имел объем $V_1 = 5$ л, а в конечном состоянии при давлении $P_3 = 3 \cdot 10^5$ Па объем $V_3 = 2$ л. Переход от первого состояния ко второму произведен в два этапа: сначала по изохоре, а затем по адиабате. Постройте график процесса в координатах $P - V$ и определите приращение внутренней энергии ΔU_{1-2-3} газа за весь процесс. 249 Дж
2. Какое количество теплоты получает двухатомный идеальный газ при его переходе из состояния 1 в состояние 2? 1,86 МДж
3. В длинном горизонтальном цилиндре между двумя одинаковыми поршнями находится 0,1 моль гелия. В начальный момент один поршень покоится, а другой приближается к нему со скоростью 12 м/с. На сколько градусов максимальная температура газа больше начальной? Массы поршней 415 г. Трением и теплообменом пренебречь, за поршнями вакуум. 12 К



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

Работа пара. Работу может совершать и газ. Устройство теплового двигателя (объяснение на модели). В нагревателе порция пара получает количество теплоты Q_1 , и ее температура становится T_1 . Работа пара (A') при расширении. Как процесс сделать циклическим? Какую работу необходимо совершить нам (A) для возвращения порции пара в нагреватель? Каков КПД этого цикла (цикл нерадивого ученика)? Холодильник. Порция пара отдает холодильнику количество теплоты Q_2 и ее температура становится T_2 . Какую теперь работу необходимо произвести для возвращения порции пара в нагреватель? Меньшую! Почему?



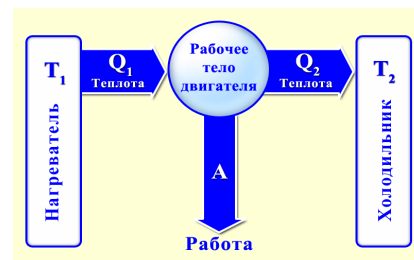
Формула для КПД теплового двигателя: $A_{\Pi} = A' - A = Q_1 - Q_2 = N \cdot t = F \cdot S$.

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

Прямой цикл Карно. $Q_1 - Q_2 = A$. КПД цикла Карно:

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%, \quad \eta < \eta_{max}.$$

Обратный цикл Карно. $Q_2 = A + Q_1$. **Коэффициент преобразования (использование) энергии (η_Q)** – отношение количества теплоты, переданной горячему теплоносителю к работе, затраченной на сжатие: $\eta_Q = Q_1/A$ (обратен КПД машины).

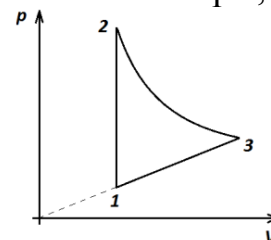


IV. Задачи (блиц):

- Газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя равна 220°C , температура холодильника равна 17°C . При изотермическом расширении газ совершает работу 120 Дж. Определите количество теплоты, которое газ отдает холодильнику при изотермическом сжатии. 71 Дж
- В холодильник, потребляющий мощность 200 Вт, поместили 2 кг воды при температуре 20°C . Через 30 мин вся вода превратилась в лед. Какое количество теплоты выделилось при этом в комнате? 1208 кДж

IX. Олимпиада.

- Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества $\nu = 1$ моль и находящийся под давлением $p_1 = 0,1$ МПа при температуре $T_1 = 300$ К, нагревают при постоянном объеме до давления $p_2 = 0,2$ МПа. После этого газ изотермически расширился до начального давления и затем изобарно был сжат до начального объема V_1 . Построить график цикла. Определите температуру газа T для характерных точек цикла и его термический КПД η . $T_2 = 600$ К, 9,94%
- В основе работы тепловой машины лежит цикл, состоящий из изохоры, изотермы и процесса с прямо пропорциональной зависимостью давления от объёма (см. рисунок). В качестве рабочего тела используется идеальный одноатомный газ. Известно, что максимальная и минимальная температуры отличаются в два раза. Определите КПД данной тепловой машины. Ответ: 8,8 %.



Вопросы (блиц):

- Почему холодильник или кондиционер необходимо подключать к электрической сети?
- Для чего необходим холодильник тепловой машине?
- Можно ли использовать холодильную машину для охлаждения воздуха в квартире?
- Для обогрева помещений часто используют так называемые тепловые насосы. Допустим, коэффициент использования энергии такого теплового насоса равен $\eta_Q = 10$, а потребляемая им мощность равна $N = 150$ Вт. Сколько тепловой энергии в минуту способен подать он в помещение? $P_1 = \eta_Q N = 1,5$ кВт.
- Откуда получает энергию замерзающая вода, разрывая трубы парового отопления?
- Не нарушает ли работа холодильной машины законы термодинамики?
- Правда ли, что подводные лодки в холодной воде должны двигаться быстрее (возрастание КПД, меньше пузырьков с паром)?

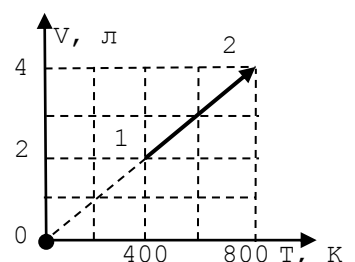
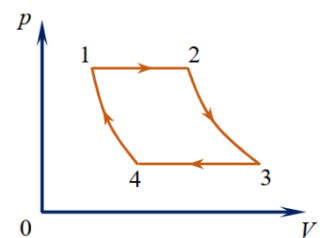
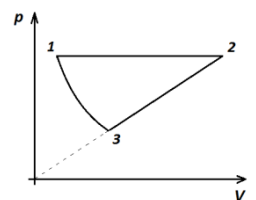
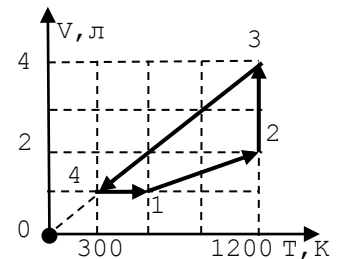
- Каково отношение абсолютных температур холодильника и нагревателя у идеального теплового двигателя мощностью 15 кВт, если он отдает холодильнику 35 кДж каждую секунду? Ответ. 0,7.
- Увеличим степень расширения газа в цикле Карно. Как изменится работа? КПД?

Разное

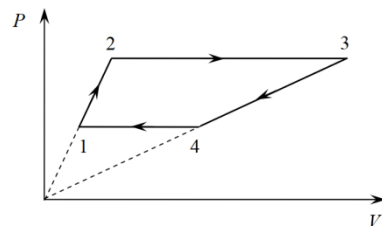
- Два моля идеального одноатомного газа находятся в равновесном состоянии при температуре 250 К. Газ сначала нагревают изобарно, а затем – изохорно. В результате давление газа увеличивается на 20%, а объем увеличивается в 1,5 раза. Какова работа газа? Какое количество теплоты он получил в этих двух процессах?
- Температура нагревателя идеальной тепловой машины 400 К, температура холодильника 300 К, количество, теплоты, получаемое от нагревателя за цикл, 400 Дж, число циклов в секунду 2. С какой скоростью будет перемещаться по горизонтальной дороге тележка, приводимая в движение такой машиной, если сила сопротивления 100 Н? Скорость тележки считать постоянной.

Олимпиада.

- На рисунке показана $V - T$ -диаграмма цикла, совершаемого O_2 . Давление газа в точке 1 составляет 200 кПа. Определить давление газа в точках 2, 3, 4. Построить остальные термодинамические диаграммы. Найти: изменение внутренней энергии газа, работу, совершаемую газом, теплоту, подведенную к газу, и изменение энтропии газа в каждом из процессов 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 и во всем цикле. Рассчитать КПД цикла и сравнить его с КПД цикла Карно при тех же максимальной и минимальной температурах.
- В основе работы тепловой машины лежит цикл, состоящий из изобары, изотермы и процесса с прямо пропорциональной зависимостью давления от объёма (см. рисунок). В качестве рабочего тела используется идеальный одноатомный газ. Известно, что максимальная и минимальная температуры отличаются в два раза. Определите КПД данной тепловой машины. Ответ: 6,1 %.
- Над идеальным газом проводится циклический процесс, состоящий из двух изобар 1-2 и 3-4, и двух адиабат 2-3 и 4-1. Известно, что изменение температуры газа при изобарном расширении на участке 1-2 в $k = 2$ раза больше, чем модуль изменения температуры при изобарном сжатии на участке 3-4. Найдите коэффициент полезного действия цикла η .
- При нагревании 8 г аргона его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Определить изменение энтропии при изохорическом и изобарическом нагревании. Ответ: 1.7; 2.9 Дж/К
- Тепловой двигатель работает по замкнутому циклу, состоящему из четырех участков. Участки 1–2 и 3–4 —



отрезки прямых, проходящих через начало координат на диаграмме P, V . Участки 2–3 и 4–1 — изобары. Рабочим веществом является идеальный одноатомный газ. Температуры газа в точках 2 и 4 одинаковы: $T_2 = T_4$. КПД двигателя $\eta = 2,5\%$. Найдите отношение $x = T_{\max}/T_{\min}$, где T_{\max} и T_{\min} — максимальная и минимальная температуры газа в цикле. Ответ округлите до десятых.



6. При помощи поршневого насоса доводят давление воздуха в 10-литровом баллоне до десяти атмосфер. Какая работа при этом совершается, если за один цикл насос прокачивает 1 л воздуха? Температура остается неизменной. Первоначальное давление газа в баллоне одна атмосфера. 23 кДж

Занятие 10. Влажность.

I. Вопросы (блиц):

- Каковы причины того, что абсолютный нуль температуры недостижим?
- Двое рабочих за день могут напилить 3 поленицы дров, а наколоть — 6 полениц. Сколько полениц дров они должны напилить, чтобы успеть наколоть их в тот же день? 2
- Почему холодильник не работает, если он не включен в розетку?
- В результате изобарного процесса объем одноатомного идеального газа увеличился в 3 раза. Определить коэффициент полезного действия этого процесса. Ответ: 40%.
- Как доказать, что абсолютный нуль температуры недостижим?
- На что расходуется энергия, потребляемая домашним холодильником?
- Можно ли охладить комнату в жаркий день, оставив открытой дверцу холодильника?
- Газ, состоящий из атомов рубидия, был охлажден до одной шестимиллионной градуса выше абсолютного нуля, а не нуля по Цельсию. Почему это важно?
- Какой из законов термодинамики необходимо применить для объяснения явления образование облаков при подъеме теплого влажного воздуха вверх?
- Газ переходит из одного и того же начального состояния 1 в одно и то же конечное состояние 2 в результате следующих процессов: а) изобарного процесса; б) последовательных изохорного и изотермического процессов. Рассмотрите эти переходы графически. Одинаковы или различны в обоих случаях: 1) изменение внутренней энергии; 2) затраченное количество теплоты?
- Температура атмосферного воздуха, играющего для автомобильного двигателя роль холодильника, зимой заметно ниже, чем летом. Ведет ли это к увеличению КПД двигателя зимой?

II. Задачи (блиц):

- Кислород массой 3 кг при температуре 320 К охладили изохорно. При этом давление кислорода уменьшилось в 3 раза. Затем газ изобарно расширили так, что его температура стала равна первоначальной температуре. Какую работу совершил газ? Как изменится его внутренняя энергия? 16,62 кДж; 0.

- Один моль гелия совершает цикл: участок 1-2 — адиабата, 2-3 — изотерма, 3-1 — изобара. Работа, совершенная газом за цикл, равна 250 Дж. На участке 2-3 газ отдает количество теплоты $Q = 15$ кДж. Какова разность температур между состояниями 1 и 2? 734 К
- Для кондиционера, работающего по циклу Карно, коэффициент использования энергии равен 16. До какой температуры охладится воздух в комнате, если температура наружного воздуха равна 37°C ? $T_2 = T_1\eta_Q / (1 + \eta_Q) = 291$ К или 18°C .

III. Основные понятия:

1. Фаза - равновесное состояние вещества, отличающееся по физическим свойствам от других возможных равновесных состояний данного вещества.

2. Фазовый переход - переход вещества из одной фазы в другую при изменении внешних условий (температуры, давления и т.д.).

Парообразование - переход вещества из конденсированной фазы в газообразную фазу (испарение, сублимация, кипение).

3. Фазовое равновесие - одновременное существование равновесных фаз в многофазной системе.

Упругость (p) - парциальное давление водяного пара в атмосфере.

$t, ^\circ\text{C}$	-20	-10	0	+10	+20	+30	+50	+70	+90	+100	120
p_n , мм рт.ст.	0,77	1,95	4,58	9,2	17,54	31,8	92,5	233,7	525,8	760	1520

Относительная влажность воздуха (r) – мера насыщенности водяного пара в атмосфере, измеряемая отношением упругости водяного пара к давлению насыщенного водяного пара при данной температуре, выраженная в процентах: $r = \frac{P}{p} \cdot 100\%$.

Как можно увеличить относительную влажность воздуха?

- Испарение. Существует предельная масса воды, которую при данной температуре можно испарить в помещении.
- Уменьшение объём сосуда, содержащего влажный воздух, при неизменной температуре.
- Понижение температуры воздуха. **Точка росы (t_p)** – температура, при которой водяной пар в воздухе становится насыщенным.

IV. Задачи (блиц):

- В закрытом сосуде объемом $V = 10$ л находится влажный воздух массой $m = 18$ г при температуре $t = 80^\circ\text{C}$ и давлении $2 \cdot 10^5$ Па. Определите массу паров воды в сосуде. 2,8 г
- В замкнутом сосуде объемом $V = 1$ м³ находятся вода массой $m = 12$ г и насыщенный пар. Плотность и давление пара при данной температуре равны соответственно $\rho = 8 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ и $p = 1,1$ кПа. Какое давление установится при увеличении объема в $k = 5$ раз? Процесс изотермический. 550 Па.
- В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной 100 мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность воздуха в ней равна 60%. Какой станет относительная влажность воздуха, если трубку поставить вертикально открытым концом вверх? Атмосферное давление равно 760 мм рт.ст. Температуру считать постоянной. 68%

V. Олимпиада.

9. В теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем находится $m_1 = 1$ г насыщенного водяного пара. Наружное давление нормальное. В цилиндр ввели $m_2 = 1$ г воды при температуре $T_2 = 295$ К. Пренебрегая теплоемкостью цилиндра и трением, найти работу сил атмосферного давления при опускании поршня. Пар считать идеальным газом. Молярная масса воды $\mu = 0,018$ кг/моль, удельная теплота парообразования воды $q = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг·К). 24,5 кДж
10. Старшеклассник Петя выполнял эксперимент с водяным паром. Он взял пар при температуре $t = 100^\circ\text{C}$, поместил его в вертикальный цилиндрический сосуд под невесомый поршень. Поршень Петя установил на высоте $h_0 = 30$ см от дна сосуда и отпустил. После установления равновесия поршень оказался на высоте $h = 10$ см, при этом давление пара выросло в 2 раза. Определите массу пара, которую Петя взял для работы. Площадь дна сосуда $S = 100$ см². Ответ: 0,048 кг.
11. Взрывная камера заполняется смесью метана и кислорода при комнатной температуре до давления $p_0 = 760$ Тор. Парциальные давления метана и кислорода одинаковы. После герметизации камеры в ней происходит взрыв. Найти установившееся давление в камере после охлаждения продуктов сгорания до первоначальной температуры, при которой давление насыщенных паров воды $p_H = 17$ Тор. 397 Тор

Вопросы (блиц):

1. Если подуть на чистое холодное стекло, то возникает туманное пятнышко, которое затем достаточно быстро уменьшается в размерах и пропадает. Почему?
2. Почему эпидемия гриппа регулярно происходит в зимнее время года (воздушно-капельный путь передачи инфекции)?
3. Почему зимой в теплой комнате низкая влажность воздуха?
4. Ненасыщенный пар охлаждают до появления росы: один раз – изобарически, второй раз – изохорически. В каком случае роса появится при большей температуре? Почему?
5. Влажный воздух в герметичном сосуде при 100°C имеет относительную влажность 60% и давление 1 атм. Каким станет его давление после изотермического уменьшения объема сосуда в два раза?
6. Почему кучевое облако имеет форму «кучи»?
7. При изотермическом сжатии $m = 9$ г водяного пара при температуре $T = 373$ К его объем уменьшился в 3 раза, а давление возросло вдвое. Найдите начальный объем пара. $V \approx 31$ л
8. Почему при увеличении абсолютной влажности воздуха (плотности водяного пара в воздухе) атмосферное давление уменьшается?

Разное

1. В закрытой теплице объемом $33,2$ м³ относительная влажность в дневное время при температуре 27°C была равна 75%. Какая масса росы выпадет в теплице ночью, когда температура понизится до 15°C ?
2. Плотность насыщенного водяного пара при температуре $t_0 = 27^\circ\text{C}$ равна $\rho_H = 25,8$ г/м³, относительная влажность воздуха при этой температуре $\phi = 80\%$.

Какова плотность ρ влажного воздуха при давлении $p_0 = 10^5$ Па и температуре t_0 ?

Олимпиада.

1. Герметичный сосуд при $t = 27^\circ\text{C}$ разделён на две части плотной непроницаемой заслонкой и пористой мембраной площадью $S = 10 \text{ см}^2$ и толщиной $h = 200 \text{ мкм}$ со сквозными цилиндрическими порами радиусом $r = 40 \text{ нм}$, расположенными перпендикулярно поверхности мембраны. Верхняя часть сосуда имеет объём $V_1 = 2 \text{ л}$ и заполнена чистым газообразным бутаном под давлением $p_1 = 0,1 \text{ атм}$. Нижняя часть сосуда имеет объём $V_2 = 1 \text{ л}$ и содержит $V = 12 \text{ мл}$ жидкого бутана, находящегося в равновесии со своим паром, и газообразный метан с парциальным давлением $p_2 = 3 \text{ атм}$. Кроме того, в результате адсорбции и капиллярной конденсации поры мембраны целиком заполнены конденсатом бутана. Справочные данные: Плотность жидкого бутана $\rho = 601,3 \text{ кг/м}^3$, коэффициент поверхностного натяжения бутана $\sigma = 11,3 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, молярная масса бутана $M_1 = 5,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$, молярная масса метана $M_2 = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$, при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара бутана $p_0 = 2,53 \text{ атм}$, метан при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ не конденсируется. Почему жидкий бутан не вытекает из поры? Определите массу жидкого бутана, сконденсировавшегося в порах мембраны, если поры занимают $\omega = 20\%$ от её объёма. Определите количество бутана в сосуде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
2. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
3. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. – М.: Дрофа, 2002.
4. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. – М.: Просвещение, 1972.
5. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. – М.: Просвещение, 1972.
6. Д. Джанколи. Физика. – М.: Мир, 1989.
7. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
8. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
9. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
10. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981.
11. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
12. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
13. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
14. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
15. А.А. Найдин. Система задач из одной задачи?! //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 8, 2011 г.
16. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
17. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
18. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ,

КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016

19. Физика. 10—11 кл.: Сборник задач и заданий с ответами и решениями. Пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / С.М. Козел, В. А. Коровин, В. А. Орлов. — М.: Мнемозина, 2001. — 254 с.: ил.
20. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. <https://naidin.ru>