

Семинар по школьной олимпиадной физике

10 КЛАСС



Организатор: Анатолий Найдин



г. Томск, ТФТЛ

2024

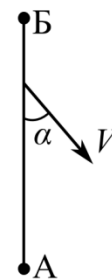
Занятие 1. Молекулы.

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 куса 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 .

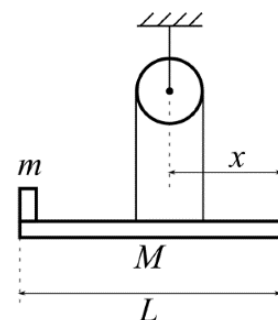
4. При сгорании углерода 12 г углерода соединились с 32 г кислорода. Изменилось ли при этом количество вещества?
5. Сравните число молекул N_1 в 1 г водорода и число молекул N_2 в 1 г кислорода.
6. Имеется 10 г одноатомного газа гелия – He. Сколько моль содержит это количество?
7. Что общего и в чем 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 ($R_z = 6370 \text{ км}$), 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: д) Солнца; б) верхних слоев атмосферы; в) крошечного насекомого; г) Луны; д) dna 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.

VIII. 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.

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

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 см^3 , 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? $2,4 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$
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 м^2 и скорость 10 км/с, попадает в облако микрометеоритов, концентрация которого 1 м^{-3} . Масса каждого микрометеора 0,02 г. Какой должна быть сила тяги двигателя, чтобы скорость корабля не изменилась? Удар микрометеоритов об обшивку корабля считайте абсолютно неупругим. 0,1МН

VI. Олимпиада.

1. К молекулярному пучку, со скоростью молекул $v = 1000$ м/с и концентрацией $n = 5,0 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, 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 $S = 4 \text{ м}^2$, 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 $\rightarrow \rho = \frac{pM_B}{RT}$.

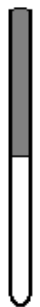
Применение уравнения состояния идеального газа к процессам, протекающим при одном неизменном параметре газа (изопрцессы).

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. $\Delta\rho = 256$ г/м³

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: $p^2 V = \text{const}$. 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

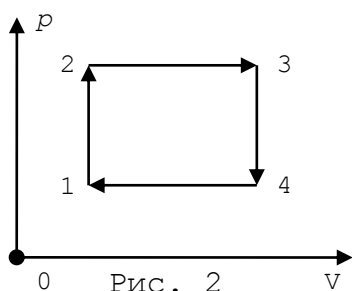


Рис. 2

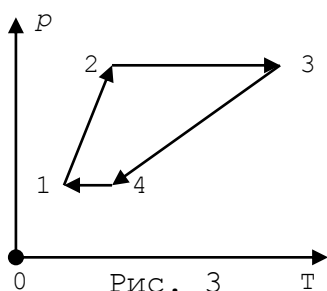


Рис. 3

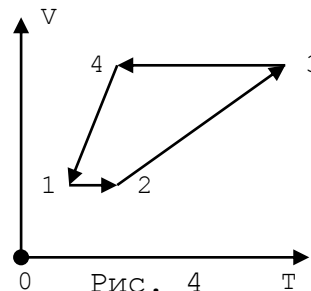


Рис. 4

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):

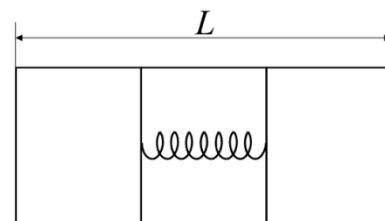
1. Идеальный газ изотермически расширяют, затем изохорно нагревают и изобарно возвращают в исходное состояние. Нарисовать графики этого равновесного процесса в координатах $p, V; V, T; p, T$.

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.

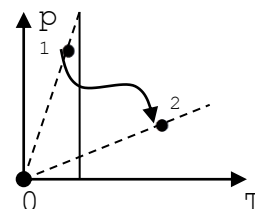


Рис. 1

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

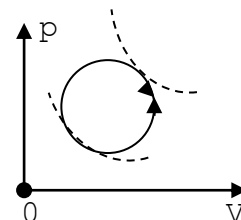
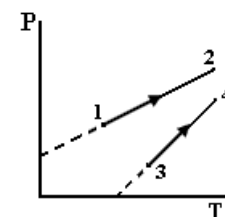


Рис. 2

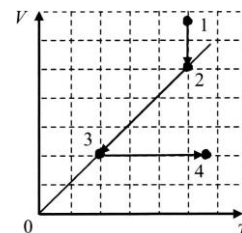
4. При нагревании газа получен график зависимости давления от абсолютной температуры в виде прямой, продолжение которой пересекает ось P в некоторой точке выше (ниже) начала координат,



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):

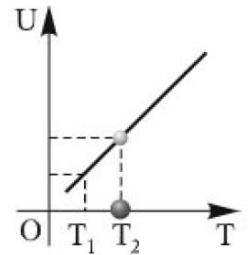
1. В сосуде находится гелий при температуре 300 К. Плотность газа такова, что длина свободного пробега в нем составляет 0,5 мкм. Какое среднее расстояние проходит молекула газа за 0,5 с. 18,5 см
2. Средняя квадратичная скорость молекул воздуха в комнате 500 м/с, длина их свободного пробега 0,02 мкм. 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

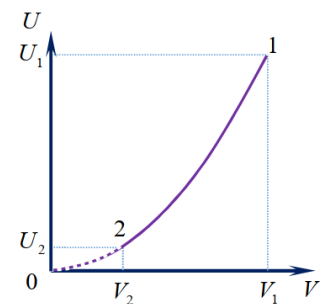
передавать энергию в виде тепла. **Закон Фурье:** $Q = k \frac{\Delta T}{\ell} S \cdot \tau$.

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.

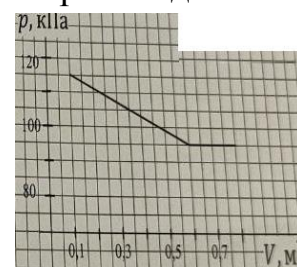
- Людей, купающихся зимой в проруби, называют «моржами». Оцените время, за которое температура воды продвинется до рецепторов кожи, удаленных от ее поверхности на расстояние около $4 \cdot 10^{-4}$ м. Поскольку живые ткани более чем на 90% состоят из воды, их тепловые свойства можно считать близкими 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:

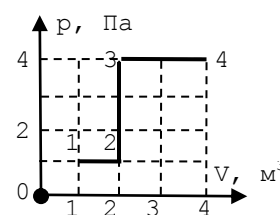
1. Внутренняя энергия замкнутой системы остается с течением времени неизменной. Если $Q = 0$ и $A = 0$, то $\Delta U = 0$.
2. Невозможно создать вечный двигатель. Если $Q = 0$, то $A' = -\Delta U$.

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

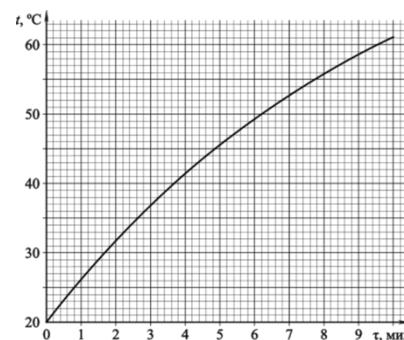


Олимпиада.

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/с

- 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):

- В процессе сжатия над газом совершена работа 60 МДж, при этом он передал окружающей среде 40 МДж тепла. Определите изменение внутренней энергии тела.
- Помешивая ложечкой горячий чай, мы вызываем его охлаждение. Почему?
- 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?
- 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?
- Объясните, почему и как трение между движущимися частями машины приводит к выделению тепла.
- 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.

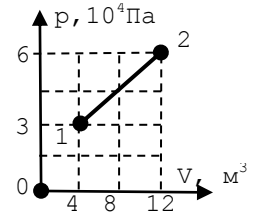
I. Вопросы (блиц):

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):

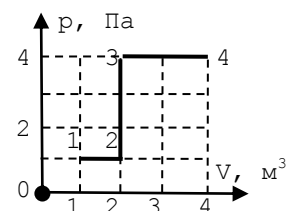
4. $8,64 \text{ г}$ азота, находящегося при нормальных условиях ($t = 0^\circ\text{C}$, $p = 10^5 \text{ Па}$) сжимается до объема $V_2 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Найти температуру азота после сжатия, если процесс происходит адиабатически. Какова при этом работа сжатия?

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. $v = \frac{N}{2,5mg}$

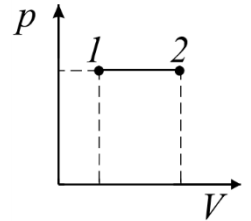


8. Чему равно отношение Q_{14}/A'_{14} при переходе одноатомного газа из состояния 1 в состояние 4. $3,5$

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. $\Delta T_2 = \frac{4Q}{15\nu R(\alpha + 1)}$

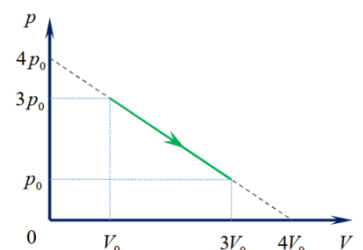


Вопросы (блиц):

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

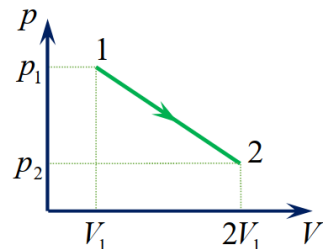


температура газа 300 К, давление 1 атм.

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).

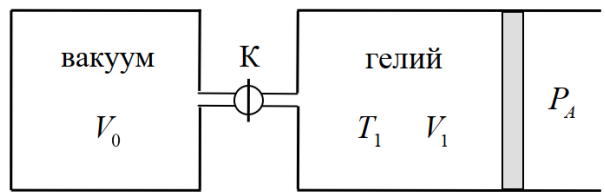
Олимпиада.

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 $p_0 = 5 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

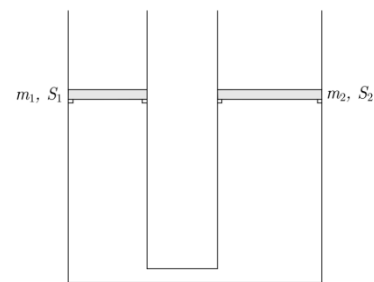


3. Один моль идеального одноатомного газа переводят из начального состояния 1 с давлением p_1 и объемом V_1 в конечное состояние 2 с давлением $p_2 < p_1$ и объемом $2V_1$. На диаграмме p - V процесс перехода изображается прямолинейным отрезком, соединяющим точки 1 и 2. Найдите минимальное значение конечного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

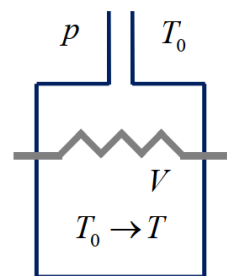


5. Два вертикальных цилиндрических сосуда соединены в нижней части трубкой пренебрежимо малого объема. Внутри цилиндров установлены поршни, которые могут перемещаться без трения. Пространство под поршнями заполнено гелием. В средней части цилиндров на высоте $h = 30 \text{ см}$ имеются упоры, ограничивающие 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):

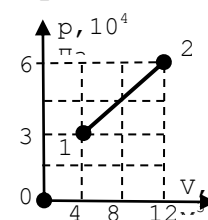
1. Почему ветер, дующий с гор, как правило, сухой и горячий, ведь в горах холодно и влажно?
2. Для покупки порции мороженого Пете не хватило 7 копеек, а Маше – 1 копейки. Тогда они сложили все свои деньги, но все равно не смогли купить даже одну порцию. Сколько стоит одна порция мороженого? $8 > M \geq 7$, 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?

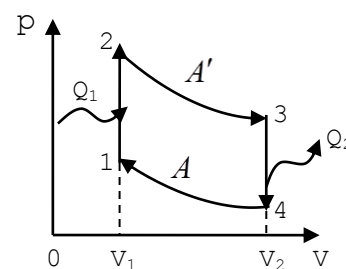
II. Задачи (блиц):

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?



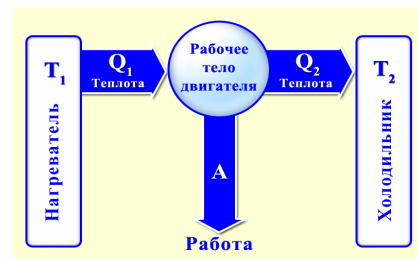
Формула для КПД теплового двигателя: $A_{\Pi} = A' - A = Q_1 - Q_2 = N \cdot t = F \cdot S$.

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

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).

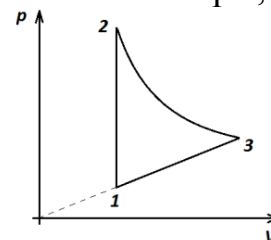


IV. Задачи (блиц):

- 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 объема (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):

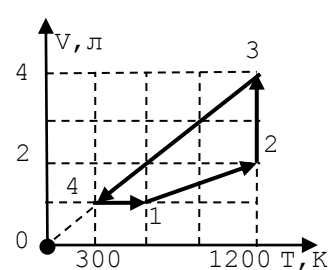
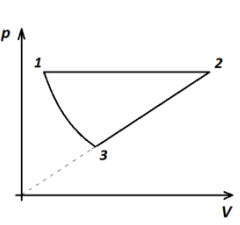
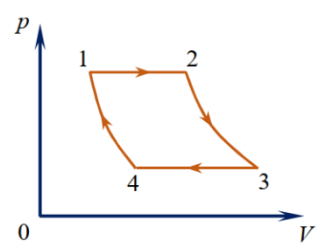
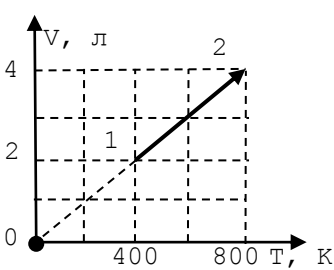
- Почему холодильник или кондиционер необходимо подключать к электрической сети?
- Для чего необходим холодильник тепловой машине?
- Можно ли использовать холодильную машину для охлаждения воздуха в квартире?
- Для обогрева помещений часто используют так называемые тепловые насосы. Допустим, коэффициент 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?

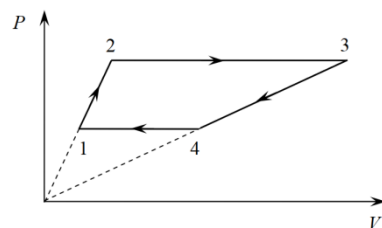
Разное

- 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.

Занятие 11. Поверхностное натяжение.

I. Вопросы (блиц):

1. Капли воды на раскаленной плите часто «живут» дольше, чем на просто горячей плите. Почему?
2. Магазин готовится к Черной пятнице. Персонал накануне переклеивает ценники на товарах. На сколько процентов надо повысить цену товаров накануне дня скидок, чтобы при скидке в 20% цена в Черную пятницу была на 20% выше первоначальной? 50%
3. Жидкость налита в два сообщающихся сосуда. Один из сосудов плотно закрывается. Изменится ли положение уровней жидкости в сосудах? Почему?
4. В сосуде находится ненасыщенный пар. В процессе его изотермического сжатия объем, занимаемый паром, уменьшается в $\beta = 4$ раза, а давление в сосуде возрастает в $\alpha = 3$ раза. Найдите долю пара, которая сконденсировалась в этом процессе. $\frac{1}{4}$
5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный пар при температуре T . При вдвигании поршня совершается работа A . Какая масса пара сконденсируется? $\Delta m = \mu A / RT$
6. Если верхняя часть грозового облака преодолет границу между тропосферой и стратосферой, то будет ливень! Почему это похоже на правду?
7. Мыльный пузырь на морозе внезапно сдувается и захлопывается. Почему?
8. Почему сохраняется очень низкой температура жидкого воздуха (81 К) в сосуде Дьюара?
9. Спирт кипит при 78°C , а вода – при 100°C . Почему же спиртовым термометром измеряют температуру кипящей воды?

10. В цилиндре под поршнем находится водяной пар при температуре 100°C и давлении 50 кПа. Каким станет давление пара в цилиндре, если объем его изотермически уменьшить в 4 раза?
11. Когда открываешь бутылку колы, то показывается туман. Почему?
12. Иней на деревьях иногда исчезает без ветра и оттепели. Объясните, как это происходит?
13. В запаянной трубке находится вода. Как определить, только ли насыщенный пар воды или еще и воздух находятся над водой в трубке?

II. Задачи (блиц):

1. Найти, какая часть затраченной на парообразование энергии идет на совершение работы против сил атмосферного давления при $t = 100^{\circ}\text{C}$, если удельный объем пара $V = 1,65 \text{ м}^3/\text{кг}$. 7,3%
2. В горизонтальном цилиндрическом сосуде под поршнем при температуре T находится насыщенный пар. В изотермическом процессе сжатия пара было отведено количество теплоты Q и совершена работа A . Теплота парообразования $\mu = \frac{QRT}{Ar}$. Определите молярную массу пара.
3. В здание зимой необходимо подать через систему кондиционирования 100000 м^3 воздуха так, чтобы он имел температуру 20°C и относительную влажность 70%. Воздух забирают с улицы, где он имеет температуру -5°C и относительную влажность 90%. Давление насыщенных водяных паров при -5°C равно 400 Па, а при $+20^{\circ}\text{C}$ оно равно 2,33 кПа. Сколько воды надо дополнительно испарить в данный объем подаваемого воздуха? ($m = 916 \text{ кг}$.)

III. Поверхностный слой жидкости. Поверхностная энергия (U_n) – избыточная потенциальная энергия всех молекул поверхностного слоя. $U_n = \sigma \cdot S$. Жидкость всегда стремится уменьшить свою поверхностную энергию. Свойство жидкости стремиться уменьшить свою поверхностную энергию называется поверхностным натяжением.

Давление внутри искривленной поверхности: $\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$ (Лаплас) $\rightarrow \Delta p$

$= 4\sigma/r$ - избыточное давление внутри мыльного пузыря.

«Паспорт» силы поверхностного натяжения:

- Природа (электромагнитная);
- Модуль ($F_n = \sigma \cdot \ell$);
- Точка приложения (точка приложения равнодействующей всех сил поверхностного натяжения, действующих на данный участок границы раздела);
- Направление (по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярно границе раздела).

Смачивание и не смачивание. Адгезия – свойство поверхностей двух разнородных тел противодействовать их разделению. Капля жидкости на поверхности твердого тела. **Краевой угол.** В случае смачивания поверхностей водой, если краевой угол меньше 90 градусов, то поверхность называют гидрофильной, если больше - гидрофобной.

Жидкость в капилляре. **Выпуклый и вогнутый мениск.** Вывод формулы для определения высоты подъема (опускания) жидкости в капилляре.

$$p_0 - \frac{2\sigma}{r} + \rho gh = p_0 \rightarrow h = \frac{2\sigma}{\rho gr}.$$

IV. Задачи (блиц):

1. Капиллярную трубку радиусом $r = 10$ мкм и длиной $l = 20$ см, запаянную с одного конца, опускают открытым концом в сосуд с водой. Поверхность жидкости горизонтальная. Определите высоту H , на которую поднимется вода в трубке. Смачивание полное. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, температура постоянная. 13,7 см
2. Мыльный пузырь надувают воздухом, температура которого выше комнатной температуры. При диаметре пузыря 0,3 мм он начинает всплывать. На сколько процентов температура воздуха в пузыре выше комнатной температуры? Атмосферное давление нормальное. Массой пленки пренебречь. 0,01

Олимпиада.

2. В закрытом сосуде при температуре 100°C находится влажный воздух с относительной влажностью 70% под давлением 100 кПа. Объём сосуда изотермически уменьшили в 3 раза. До какой абсолютной температуры надо вместо этого нагреть воздух без изменения объёма сосуда, чтобы получить такое же конечное давление? Объёмом сконденсировавшейся воды пренебречь. 709 К
3. В баллоне ёмкостью 1 литр находится азот. Азот из баллона медленно выпускают, всё время поддерживая температуру баллона постоянной. Когда в баллоне оставалось 1 моль азота, давление внутри баллона было равно 10^5 Па. Чему будет равно давление в баллоне, когда в нём останется 0,5 моль азота? Реальный газ. 10^5 Па.
4. Шарик массой $m = 10$ г, летящий горизонтально со скоростью $v_1 = 40$ м/с, сталкивается с бруском массой $M = 1$ кг, висящем на длинном шнуре. Определите, на какую высоту h поднимется брусок после удара, если: 1) шарик пробивает брусок и вылетает со скоростью $v_2 = 20$ м/с. 2) удар шарика о брусок абсолютно упругий. 2 мм, 3,2 см.

Вопросы (блиц):

1. В стакан с горячим чаем окунули кусок сахара, при этом растворяющая сахар вода не обжигает руки. Почему?
2. Почему волоски кисточки для рисования красками не слипаются в воде?
3. Почему слабый ветер поднимает тучи песка в пустыне, а сильнейший ураган на море вздымает гораздо меньше водяных брызг?
4. Поток воздуха из соломинки для коктейля, направленный на поверхность воды, создает в ней углубление. Как это объяснить?
5. Мыльный пузырь лопнул. Исчезла ли энергия, затраченная на выдувание пузыря?
6. Почему капли воды, которые разлетаются при падении массивных тел в воду, приобретают сферическую форму?
7. Почему из мокрого песка можно слепить фигурку, а из сухого нет?
8. Почему космонавты не могут плакать так, как мы на земле?
9. Почему так трудно разделить два стеклянных листа, смоченных водой?
10. Почему стог сена остается внутри сухим при дожде?
11. Куда будет перемещаться вода в горизонтальном капилляре при его нагреве с одной стороны?

12. Почему пища прилипает ко дну сковородок и пригорает?
13. Между двумя столбами натянута веревка. Как изменится прогиб веревки, если она намокнет от дождя?
14. Почему испарение по краям лужицы на столе интенсивнее, чем в середине?
15. Если положить в воду кусок мела, то из него начинают выходить пузырьки воздуха. Почему?
16. Известно, что в холодную погоду для растопки вместо дров используют обыкновенные красные кирпичи, вымоченные в бензине. На чем основан этот способ обогрева?
17. Почему волейбольная сетка сильно натягивается после дождя?
18. Почему волосы слипаются при намокании?
19. Почему вода мокрая?
20. Почему улитка не падает, ползая по потолку?

Разное

1. Водяной пар массой 3 г изотермически сжимают при температуре 81°C . Объем пара уменьшился в 3,5 раза, а давление возросло в 1,8 раза. Давление насыщенного водяного пара при 81°C равно $0,5 \cdot 10^5$ Па. Пар считать идеальным газом.
 - 1) Найти начальное давление пара. $0,28 \cdot 10^5$ Па
 - 2) Найти конечный объем пара. 5 л
2. При какой максимальной относительной влажности φ_0 воздуха в комнате бутылка молока, вынутая из холодильника, не будет запотевать? Температура в холодильнике $t_1 = +5^{\circ}\text{C}$, а в комнате $t_2 = +25^{\circ}\text{C}$. Давление насыщенных паров воды при $+5^{\circ}\text{C}$ равно $p_1 = 866$ Па, а при $+25^{\circ}\text{C}$ оно равно $p_2 = 3192$ Па. $\approx 29\%$.

Олимпиада.

Занятие 12. Механические свойства твердых тел.

I. Вопросы (блиц):

1. На чем основано выведение жирных пятен с тканей горячим утюгом?
2. Некто имеет трех коней да богатое седло за 55 рублей. Оседланный первый конь стоит столько, сколько стоят вместе неоседланный второй и третий кони. Оседланный же второй конь стоит столько, сколько стоят вместе неоседланные первый и третий кони, а оседланный третий конь стоит столько же, сколько стоят вместе неоседланные первый и второй кони. Найти цену каждого коня. 55
3. В закрытом откачанном сосуде находятся две капли одной и той же жидкости - большая и маленькая. Что будет происходить с каплями с течением времени?
4. Почему трудно разделить два смоченных водой листа бумаги?
5. Почему на поверхности керосина и многих других горючих жидкостей никогда не бывает пыли?
6. Почему когда две капли ртути сталкиваются, они не отскакивают, а сливаются в одну?
7. Почему некоторые ткани после стирки "салятся"?
8. Почему нижнее отверстие пипетки должно быть малым?
9. Почему волоски кисточки для рисования красками слиплись и образовали

заостренный кончик, после того как мы ее смочили в воду?

10. Почему почву после дождя обязательно надо рыхлить?
11. Почему при сушке дров на солнце на конце полена, обращенного в тень, выступают капельки воды?
12. Откуда, собственно, берется пот?
13. Каким образом полотенца отсасывают воду с вашего тела?
14. Почему намочивший узел на веревке развязать гораздо труднее, чем на сухой?
15. Почему в сухую погоду дорожка пылит, а в мокрую – колеса грязнит?
16. Почему сосиски при долгом кипячении разрываются вдоль, а не поперек?
17. Почему весь газ не выходит из налитого в стакан лимонада наружу?

II. Задачи (блиц):

1. Капля воды массой 0,1 г введена между двумя плоскими и параллельными между собой стеклянными пластинками, полностью смачиваемыми водой. Как велика сила притяжения между пластинами, если они находятся друг от друга на расстоянии 10^{-3} см (насекомые, выделяя на лапках капельки жидкости, могут ходить по потолку)? 1460 Н
2. Сферическая капля ртути радиусом R свободно падает с высоты H на стеклянную пластинку. Определите максимальное число одинаковых сферических капель, образованных при ударе о пластинку. Плотность ртути ρ , коэффициент поверхностного натяжения ртути σ . Теплоемкостью пластинки и окружающей среды пренебречь.
$$N = \left(\frac{\rho g H R}{3\sigma} \right)^3$$

III. Основные понятия:

Деформация – изменение взаимного положения множества частиц тела, приводящее к изменению его размеров и формы.

$F_{упр} = k \cdot \Delta l$. В пределах малых деформаций сила упругости прямо пропорциональна абсолютному удлинению образца.

Механическое напряжение (σ) – свойство тела противодействовать деформации, измеряемое отношением силы упругости к площади поперечного сечения

образца: $\sigma = \frac{F_{упр}}{S}$. Зависимость коэффициента жесткости от материала образца,

его длины и площади поперечного сечения: $k = E \cdot \frac{S}{l_0}$. E – модуль Юнга.

Последовательное и параллельное соединение пружин.

Закон Гука в дифференциальной форме: $\sigma = E \cdot \varepsilon$.

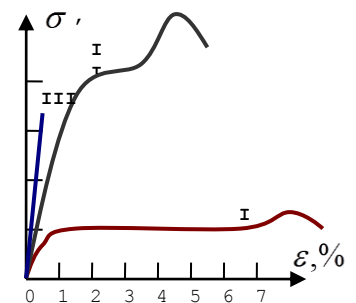
Упругость - свойство твердых тел восстанавливать свои размеры и форму после снятия нагрузки.

18000 раз в час. Границы применимости закона Гука.

Текущность материала. Остаточная деформация ("память" металлов дает сбой).

Пластичность - свойство твердых тел сохранять часть деформации после снятия нагрузки, которая ее вызвала.

Предел прочности. Определение предела прочности меди по диаграмме.



Прочность - свойство твердых тел сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы.

Коэффициент запаса прочности: $n = \frac{\sigma_{np}}{\sigma}$.

IV. Задачи (блиц):

1. На какую высоту поднимется камень массой 30 г, выпущенный вертикально вверх из рогатки, резиновый жгут которой сечением $0,2 \text{ см}^2$ и длиной 30 см был растянут на 20 см? Сопротивление воздуха не учитывать. Модуль Юнга для резины 7,8 МПа. 17,3 м
2. Какую силу надо приложить к медной проволоке сечением $S = 10 \text{ мм}^2$, чтобы растянуть ее на столько же, на сколько она удлиняется при нагревании на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$? Коэффициент линейного расширения меди $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$, модуль Юнга меди $E = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$. 408 Н
3. Оцените относительную деформацию ε импланта пяточной кости человека массой $m = 70 \text{ кг}$, когда он стоит на одной ноге, содержащей этот имплант. Модуль Юнга импланта $E = 2 \text{ ГПа}$, площадь его сечения $S = 4,9 \text{ см}^2$. Нагрузку считать приложенной только к импланту и распределённой равномерно. $0,71 \cdot 10^{-3}$
4. Легкая леска составлена из двух однородных участков одинаковой массы, изготовленных из одинакового пластика. Длина одного участка в три раза больше, чем другого. Эту леску перекинули через идеальный блок и уравнили двумя грузами, массы которых очень сильно превосходят массу лески. В состоянии равновесия общее растяжение лески равно 1 мм. Каково растяжение каждого из участков? Считайте, что леска подчиняется закону Гука. У левой $k_1 = (1/9)k_2$



Олимпиада.

1. Стальная балка наглухо закреплена между двумя стенами при 0°C . При повышении температуры, она производит на стены давление, равное 40 МПа. До какой температуры нагрелась балка? 18 К
2. Жёсткий титановый корпус подводной лодки имеет длину 150 м и диаметр 12 м. Толщина стенок корпуса порядка 10 см. Оцените изменение длины лодки при ее погружении на глубину 300 м. Модуль Юнга для титана 110 ГПа. 39 мм

Вопросы (блиц):

1. Объясните пословицу: "Где тонко, там и рвется".
2. При смачивании кристалла каменной соли (NaCl) водой его прочность возрастает в сотни раз. Почему?
3. Почему толстый лед весной менее прочен, чем тонкий лед в начале зимы?
4. Почему по росе косить траву легче?
5. Объясните пословицу: «Куй железо, пока горячо».
6. Почему заклёпки всегда разрушаются в местах резкого изменения сечения при переходе от стержня к головке?
7. Великан и лилипут устроили соревнование: кто больше подтянется на перекладине. Кто выиграет и почему?
8. Во время похода Петя наткнулся на овраг. Через него была перекинута доска шириной 20 см, а чуть поодаль — две доски шириной по 10 см, лежащие рядом расстоянии нескольких сантиметров. Какой из двух вариантов перехода через

овраг стоит выбрать Пете, чтобы доски с меньшей вероятностью сломались под его весом? Материал, из которого сделаны доски, и их толщину считайте одинаковыми.

9. Сокращения мышц не только дают нам возможность двигаться, но и снабжают нас теплом. Почему?

Разное

1. Определить модуль Юнга алюминия, если груз массой $m = 210$ кг, подвешенный к алюминиевому стрежню поперечного сечения $S = 150 \text{ мм}^2$, даёт относительную деформацию $\varepsilon = 0,020\%$.

Олимпиада.

1. Стальной цилиндрический баллон для газа имеет диаметр 0,5 м. Какой должна быть толщина его стенок, если он предназначен для давлений до 150 атм?

Занятие 13. Закон Кулона.

I. Вопросы (блиц):

1. Предположим, что все размеры стальной проволоки изменили в n раз. Во сколько раз изменится: а) объем? б) масса? в) площадь поверхности? г) коэффициент жесткости? д) разрывное напряжение?
2. Велосипедист погнул колесо, когда проехал две трети пути. На остальной путь пешком он затратил в два раза больше времени, чем на езду на велосипеде. Во сколько раз велосипедист быстрее ехал, чем шел? 4
3. Стальной канат, могущий выдержать вес неподвижной кабины лифта, имеет диаметр 9 мм. Какой диаметр должен иметь канат, если кабина лифта может иметь ускорение до 80 м/с^2 ? 12 мм
4. Почему рушатся при пожаре стальные конструкции, хотя сталь не горит и в огне пожара не плавится?

Объясните пословицу: «Металл - в огне, человек в труде познается».

5. Почему при закалке возрастают прочность и твердость стали?
6. Шнур диаметра 2 мм и длины 50 см удлиняется на 0,5 см под действием приложенной силы, равной 500 Н. Чему равна жесткость такого подвеса? Чему равен модуль Юнга материала?
7. Ледники текут, потому что лёд приобретает пластические свойства и текучесть. Как это объяснить?
8. Сокращения мышц не только дают нам возможность двигаться, но и снабжают нас теплом. Почему?
9. Если сила трения скольжения не зависит от площади контакта, то зачем коньки делают тонкими?
10. Почему глобальное потепление приводит к уменьшению размеров многих растений и животных?
11. Почему белый медведь крупнее бурого медведя?
12. Почему для любого мелкого животного сила тяжести не представляет никакой опасности?

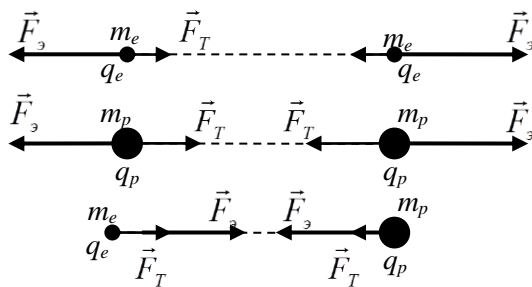
II. Задачи (блиц):

3. Сечение бедренной кости человека напоминает пустотелый цилиндр с внешним радиусом 11 мм и внутренним 5 мм. Предел прочности костной ткани на

сжатие 170 МПа. Какая сила, направленная вдоль кости, может её сломать? 51,2 кН

4. Стальная проволока диаметром 1 мм натянута в горизонтальном положении между двумя зажимами, находящимися на расстоянии 2 м друг от друга. К середине проволоки подвесили груз массой 0,25 кг. На сколько сантиметров опустится точка подвеса груза? 2,5 см

III. Электроны обладают массой и поэтому участвуют в гравитационном взаимодействии, но они обладают электрическим зарядом и поэтому участвуют в



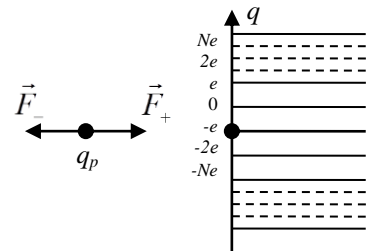
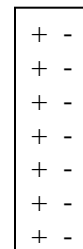
электромагнитном взаимодействии. Электрический заряд всех электронов (одинаков и равен: $q_e = -1$ эл. заряд = $-e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Единица электрического заряда в СИ: **1 Кулон (Кл)** – электрический заряд, который проходит через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в нем 1 А. Воображаемое взаимодействие двух

протонов.

$$q_p = 1 \text{ эл. заряд} = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Воображаемое взаимодействие электрона с протоном. Одноименно заряженные частицы отталкиваются, а разноименно заряженные частицы притягиваются друг к другу. Воображаемое взаимодействие двух нейтронов. Нейтроны не обладают электрическим зарядом.

Заряд тел. Избыток или недостаток электронов в куске вещества. Если тело имеет избыток электронов, то оно заряжено отрицательно, а если недостаток, то положительно: ($q = Ne$), где N – целое число.

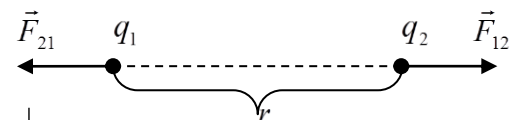


Электрический заряд (q) - свойство тела, определяющее его способность к электромагнитным взаимодействиям, измеряемое при постоянном электрическом токе произведением силы тока на время его протекания.

$$q = I \cdot t$$

Закон сохранения электрического заряда: $q_1 + q_2 + \dots + q_N = q'_1 + q'_2 + \dots + q'_N$

Основной закон электростатики – закон взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел в вакууме.



$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

IV. Задачи (блиц):

1. Два маленьких, проводящих, одинаковых по размеру заряженных шарика, находящиеся на расстоянии 0,2 м друг от друга, притягиваются с силой $F_1 = 4 \cdot 10^{-3}$ Н. Будучи приведены в соприкосновение, а затем разведены на прежнее расстояние, шарики стали отталкиваться с силой $F_2 = 2,25 \cdot 10^{-3}$ Н. Определить первоначальные заряды шариков. +0,27 мкКл. -0,12 мкКл.
2. В одной из моделей иона H^{2+} электрон движется по круговой орбите, лежащей в

плоскости, перпендикулярной к линии, соединяющей протоны. Скорость, с которой электрон движется по орбите, равна V . Найдите расстояние между протонами R . $R = (ke^2/mV^2)(24/3 - 1) = 1,52 ke^2/mV^2$

3. Два точечных заряда находятся на фиксированном расстоянии друг от друга, а их суммарный заряд равен q . Чему должен быть равен каждый заряд, чтобы действующая между ними сила была максимальной? $q/2$

Олимпиада.

1. На гладком столе лежит кольцо радиусом $R = 20$ см, изготовленное из тонкой проволоки. По кольцу равномерно распределен положительный заряд $q = 50$ нКл. В центр кольца помещают шарик с одноименным зарядом $Q = 1$ мКл. С какой силой T растягивается кольцо? Ответ: 1,79 Н

2. По гладкой горизонтальной направляющей длиной 2ℓ скользит бусинка массой m с положительным зарядом q_0 . На концах направляющей закреплены одинаковые положительные заряды q . Найдите период малых колебаний заряда q_0 .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m\ell^3}{4kqq_0}}$$

Вопросы (блиц):

1. Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в 5 раз больше заряда другого. Шарика привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Во сколько раз изменилась по модулю кулоновская сила, если шарика были заряжены одноименно, разноименно?
2. Чтобы выполнялся закон Кулона, необходимо три условия. Какие?
3. Во сколько раз отличаются силы кулоновского и гравитационного взаимодействия двух электронов в вакууме?
4. Как изменится сила электростатического взаимодействия между двумя точечными зарядами, если расстояние между ними уменьшить в 3 раза и один из зарядов увеличить в 3 раза?
5. Два точечных заряда взаимодействуют друг с другом с некоторой силой. Как изменится сила взаимодействия, если один из зарядов увеличить на 50%, а другой на 50% уменьшить?
6. Три точечных заряда q , $-q$ и $-q$ расположены вдоль одной прямой на одинаковом расстоянии друг от друга. На какой из зарядов действует большая сила?

Разное

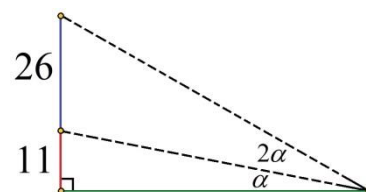
1. Три одинаковых заряженных шарика массами m и зарядом q связаны в треугольник нитями длиной L и лежат на гладком столе. Одну из нитей пережигают. Рассчитайте ускорение шариков в начальный момент.
2. Два точечных заряда находятся на расстоянии ℓ друг от друга. Если расстояние между ними уменьшается на 0,5 м, то сила взаимодействия увеличивается вдвое. Найдите расстояние ℓ .

Олимпиада.

Занятие 14. Напряженность электрического поля.

I. Вопросы (блиц):

1. Два металлических шарика с одноименными, но разными по величине зарядами привели в соприкосновение. При этом заряд одного из них увеличился на 60%, а заряд другого уменьшился на 40%. Найти отношение начальных зарядов шаров.
2. Если из первой стопки во вторую переложить 10 тетрадей, то тетрадей в стопках станет поровну. На сколько тетрадей в первой стопке больше чем во второй? 20
3. Предложите как можно больше способов, позволяющих очистить одежду от пыли.
4. По рисунку найдите x и α . 17,3, 32,5°.
5. Почему электризуются капли воды при её дроблении (водопады, душ)?
6. Есть несколько одинаковых металлических шарика, один из которых имеет заряд 16 нКл. Как получить шарик с зарядом 5 нКл?
7. Три точечных заряда q , $-q$ и $-q$ расположены вдоль одной прямой на одинаковом расстоянии друг от друга. На какой из зарядов действует большая сила?
8. Положительно заряженную частицу подносят близко к одноименно заряженному закрепленному точечному заряду. Как зависит ускорение частицы от расстояния между зарядами?
9. Во сколько раз уменьшится сила кулоновского отталкивания двух маленьких бусинок с равными зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с первой бусинки на вторую бусинку?
10. Как изменится период колебаний математического маятника, если в точку подвеса и на груз поместить одноименные заряды?



II. Задачи (блиц):

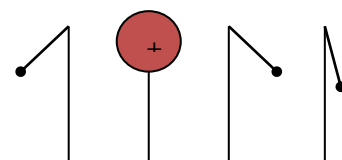
1. С какой силой взаимодействовали бы две одинаковые капли воды на расстоянии 1 км, если бы удалось передать одной из капель 1% всех электронов, содержащихся в другой капле массой 0,03 г? 2,3 МН
2. По тонкому кольцу радиуса R равномерно распределен малый заряд Q . Кольцо расположено горизонтально в вакууме, а в его центр помещен одноименный точечный заряд q . Найдите силу натяжения, возникающую в кольце. $T = \frac{kQq}{2\pi R^2}$

III. Два способа передачи действия на расстояние:

1. Посредством переноса вещества.
2. Посредством изменения состояния промежуточной среды.

Основные свойства электрического поля:

- Создается электрическими зарядами.
- Действует на электрические заряды, помещенные в него, с некоторой силой (демонстрация). Электрическая сила (\vec{F}_e) – сила, с которой электрическое поле действует на помещенный в это поле заряд.
- Поле неограниченно в пространстве, но убывает с расстоянием.
- Поле взаимно проницаемо (в одной и той же области пространства может находиться несколько полей).

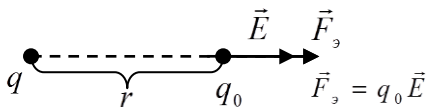
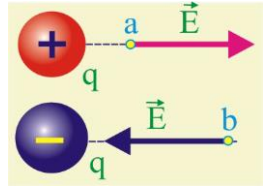


- Электрическое поле материально.

Измерение напряженности электрического поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$. $[E] = \left[\frac{H}{Kл} \right]$.

Напряженность электрического поля (\vec{E}) – свойство поля в данной точке действовать на электрический заряд с некоторой силой, измеряемое отношением этой силы к величине заряда.

Поле задано, если известна напряженность в каждой его точке. Формула напряженности поля точечного заряда:



$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Закон Гаусса: Полный поток, проходящий через поверхность, пропорционален электрическому заряду, находящемуся внутри поверхности (на примере точечного заряда):

$$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0}$$

IV. Задачи (блиц):

1. В точке А напряженность поля точечного заряда равна 36 В/м, а в точке В — 9 В/м. Определить напряженность поля в точке С, лежащей посередине между точками А и В. 16 В/м
2. «Опыт Милликена». Внутри плоского незаряженного конденсатора, пластины которого расположены горизонтально на расстоянии $d = 2$ см, падает положительно заряженная пылинка. Вследствие сопротивления воздуха пылинка движется равномерно, проходя некоторый путь за время $t_1 = 10$ с. Когда на пластины конденсатора подали напряжение $U = 980$ В, пылинка начала равномерно двигаться вверх, пройдя тот же путь за время $t_2 = 5$ с. Определить отношение заряда пылинки к ее массе. $\frac{q}{m} = \frac{gd}{U} \left(1 + \frac{t_1}{t_2}\right) = 6 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
3. Заряды по 0,1 мкКл расположены на расстоянии 6 см друг от друга. Найти напряженность электростатического поля в точке, удаленной на 5 см от каждого из зарядов. Решить задачу для случая, когда один заряд положительный, а другой отрицательный. 432 кВ/м

Олимпиада.

1. По тонкому кольцу радиуса R равномерно распределен заряд q . Определите напряженность электрического поля в точке на оси кольца на расстоянии a от его центра. Задачу решить самому. $E = \frac{kqh}{(R^2 + a^2)^{3/2}}$
2. Два точечных положительных заряда $q_1 = q_2 = q$ находятся в воздухе на расстоянии 5 см друг от друга. Найти на оси симметрии этих зарядов точку, в которой напряженность электрического поля максимальна (производная).
3. Дуга, центральный угол которой $\alpha = 30^\circ$, вырезана из окружности радиусом $R = 50$ см. По дуге равномерно распределён заряд $q = 2$ мкКл. Определите напряжённость E электрического поля в центре кривизны этой дуги. 71 кВ/м.
4. Перпендикулярно оси тонкого прямого равномерно заряженного стержня, на расстоянии 18 см от ближнего его конца, находится бесконечно длинная заряженная тонкая нить с линейной плотностью заряда 23 нКл/м. Длина стержня 30 см, заряд стержня 76,7 мкКл. Определите силу взаимодействия

между стержнем и нитью. 104 мН

Вопросы (блиц):

1. Как можно обнаружить электрическое поле?
2. Напряженность электрического поля точечного заряда на расстоянии r от него 400 В/м. Определите напряженность поля на расстоянии в два раза большем от заряда.
3. В каком случае напряженность электрического поля в какой-либо точке и сила, действующая на точечный заряд в той же точке, будут направлены в противоположные стороны?
4. Два одинаковых по величине точечных заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком случае напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине между ними, больше: если эти заряды разноименные или одноименные?
5. В чем заключается различие между полем и веществом?
6. Как изменится напряженность электрического поля в данной точке, если увеличить пробный заряд вдвое?
7. Объясните, почему диполь втягивается в область, где напряженность электрического поля больше.
8. Что первично: электрическое поле или напряженность электрического поля?

Разное

1. Результирующая напряженность поля двух точечных зарядов $6,25 \cdot 10^{-8}$ и -10^{-8} Кл в точке, находящейся на продолжении прямой, соединяющей заряды, на расстоянии 2 см за вторым из них, равна нулю. Найти расстояние между зарядами. Есть ли еще точка, в которой $\vec{E} = 0$?
2. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной 30 см находятся заряды 0,2 мкКл каждый. Найдите напряженность поля в двух других вершинах квадрата.
3. Заряд q равномерно распределен по объему шара радиуса R из непроводящего материала. Найти напряженность поля на расстоянии r от центра; построить график зависимости E от r .

Олимпиада.

1. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью 400 нКл/м², и бесконечной прямой нитью, заряженной с линейной плотностью 100 нКл/м. На расстоянии 10 см от нити находится точечный заряд 10 нКл. Определить силу, действующую на заряд, ее направление, если заряд и нить лежат в одной плоскости, параллельной заряженной плоскости.
2. Поверхность нагретой отрицательно заряженной нити электрон покидает со скоростью 20 м/с. Какую скорость он будет иметь на расстоянии $R = 2$ см от ее центра? Линейная плотность заряда нити $2 \cdot 10^{-9}$ Кл/м, радиус нити 0,5 мм.

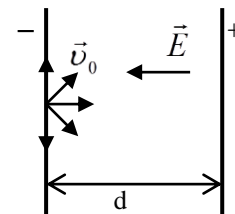
Занятие 15. Проводники в электростатическом поле.

I. Вопросы (блиц):

1. Чему равна напряженность поля в центре равномерно заряженного проволочного кольца, имеющего форму окружности?
2. Таня может купить 12 карандашей и 6 ручек. Но она решила купить ручек и карандашей поровну. Сколько ручек и сколько карандашей она купила? 9, 8 или 7
3. Будет ли устойчивым равновесие точечного заряда, находящегося посередине между двумя одинаковыми точечными зарядами?
4. Как расположить три точечных электрических заряда, чтобы они оставались неподвижными? Заряд одного из них в 4 раза больше любого, из двух других.
5. Электрическое поле – ветер, электрон – парусная лодка. В чем недостаток такой аналогии?
6. Каков характер движения заряженной пылинки в поле точечного заряда при условии отсутствия трения? Весом пылинки пренебречь.
7. Объясните, почему силовые линии электрического поля не пересекаются?
8. Правильно ли утверждение, что силовая линия электрического поля – это траектория движения положительного заряда в этом поле?

II. Задачи (блиц):

5. Из точки одной пластины вылетают во всех направлениях электроны с одинаковыми по величине начальными скоростями v_0 . Они разгоняются электрическим полем E в зазоре ширины d до второй пластины. Найдите на ней радиус круга R , в который попадают электроны. Заряд электрона - e , его масса m .



6. Протон и α -частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в плоский конденсатор параллельно пластинам и вылетают из него. Во сколько раз отклонение протона от первоначального направления на выходе из конденсатора будет больше отклонения α -частицы? 2

$$E = \frac{mv_0}{eE} \left(\sqrt{v_0^2 + 2 \frac{eEd}{m}} - v_0 \right)$$

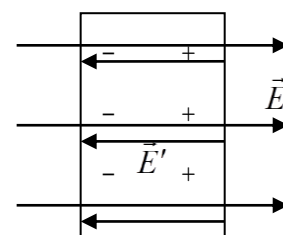
III. Металлический пар не проводит электрический ток! Объединение нейтральных атомов металла в кусок. Дополнительное взаимодействие атомов металла в конденсированном состоянии и образование свободных электронов. **Электронный газ:**

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}. \text{ Почему электронный газ не вылетает из металла наружу?}$$

Почему внешнее электростатическое поле не проникает внутрь проводника (объяснение по рисунку на доске)?

$$\vec{E} + \vec{E}' = 0$$

Электростатическое поле внутри уединенного проводника равно нулю!

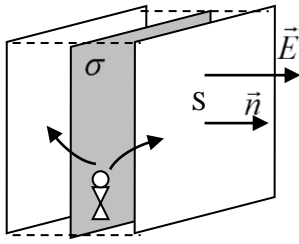


С какой целью клетка Фарадея используется в магнитно-резонансном томографе? А почему внутри проводника с током электрическое поле не равно нулю?

Электростатическая индукция – наведение электрических зарядов в проводнике, помещенном в электростатическое поле.

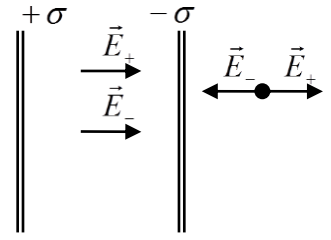
Электрическое поле внутри заряженного проводящего шара, на некотором расстоянии от его поверхности, на поверхности шара: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$. Электрическое поле

на поверхности и внутри тонкой **проводящей пластины**. Однородное электрическое поле бесконечной **равномерно заряженной плоскости**.



$$2 \cdot ES = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Поле двух плоскостей с равной поверхностной плотностью заряда, но с зарядами противоположного знака. Как направлено поле? Чему равна

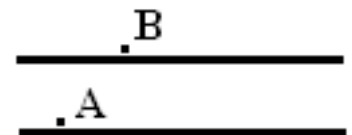


напряженность поля между пластинами $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ и за пределами пластин 0. Как быть, если

заряд распределен в пространстве произвольно?

IV. Задачи (блиц):

4. Заряд равномерно заряженной металлической пластины $q = 10^{-7}$ Кл. Пластина находится в однородном электрическом поле напряженностью $E = 3 \cdot 10^4$ В/м, которое перпендикулярно пластине. Определите силу, действующую на пластину, и результирующую напряженность поля с обеих сторон пластины. Площадь пластины $S = 1$ м². 3 мН, $3,56 \cdot 10^4$ В/м, $2,44 \cdot 10^4$ В/м
5. Расстояние между пластинами плоского конденсатора $d = 4$ см. Электрон начинает двигаться от отрицательно заряженной пластины в тот момент, когда от положительно заряженной пластины начинает двигаться протон. На каком расстоянии l от положительной пластины встретятся электрон и протон? 22 мкм
6. Полусфера радиусом R равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда σ . Найти модуль напряженности электрического поля E в центре полусферы. $E = \sigma/(4\epsilon_0)$
7. Бесконечно длинная тонкостенная металлическая труба радиусом 2 см равномерно заряжена с поверхностной плотностью 1 нКл/м². Определить напряженность поля в точках, отстоящих от оси трубы на расстояниях 1 см и 3 см. $E_1 = 0$, $E_2 = 151$ В/м.
8. Равномерно заряженные пластины находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Найти плотность заряда на каждой пластине, зная, что $E_A = 3000$ В/м и $E_B = 1000$ В/м. Точки А и В лежат вблизи пластин. $\sigma_1 = 3,6 \cdot 10^{-8}$ Кл/м²; $\sigma_2 = -1,8 \cdot 10^{-8}$ Кл/м²

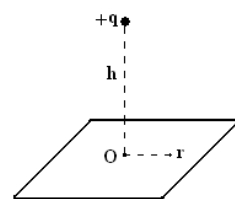


Олимпиада.

1. Две металлические пластинки расположены параллельно на близком расстоянии друг от друга. Первой пластинке сообщили заряд 2 мКл, а второй — заряд 4 мКл. Определить заряды на сторонах первой и второй пластинки. Внутри пластинок поле равно нулю. Так? У первой 3 и -1, у второй 1 и 3.
2. Сферическая оболочка радиуса R заряжена равномерно зарядом Q . Найти растягивающую силу, приходящуюся на единицу площади оболочки. $f = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0} = \frac{Q^2}{32\pi^2\epsilon_0 R^4}$

Давление внутри протона достигает значений порядка 10^{35} Па, что превышает давление внутри самого плотного объекта во Вселенной - нейтронной звезды!

3. На высоте h над бесконечной проводящей плоскостью находится точечный заряд $+q$. Найдите поверхностную плотность заряда, индуцированного на плоскости, в зависимости от расстояния до основания перпендикуляра, опущенного на плоскость из точки нахождения заряда.



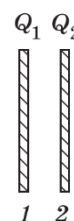
Вопросы (блиц):

1. Всегда ли поверхностная плотность заряда у поверхности $\sigma(r) = \frac{q}{2\pi} \frac{h}{\sqrt{(r^2 + h^2)^3}}$ проводящего шара во всех точках одинакова?
2. Почему сближаются листочки заряженного электроскопа, если к его шарiku поднести руку?
3. На расстоянии d от большой проводящей плоскости находится точечный заряд q . С какой силой на него действует пластина?
4. Заряженный проводник, взятый в виде листа, свернули в цилиндр. Изменилась ли напряженность электрического поля у поверхности проводника?
5. Как известно, заряженный шарик притягивает бумажку. Как изменится сила притяжения, если окружить металлической сферой заряженный шарик; бумажку?
6. На столе, на изоляторе, стоит заряженный электромметр. Чтобы разрядить прибор, ученик коснулся рукой его шарика и увидел, что стрелка отклонилась на больший угол, вместо того, чтобы приблизиться к стрелке. Объясните явление.
7. Известно, что внесение незаряженного проводника в электростатическое поле, искажает его. Объясните явление.
8. Как изменится напряженность электростатического поля внутри заряженного проводника, если его поместить во внешнее электростатическое поле?
9. Напряженность электрического поля у поверхности Земли около 100 Н/Кл . Какому суммарному заряду планеты это соответствует?

Разное

1. Плоский конденсатор находится в однородном внешнем электрическом поле с напряженностью 10^4 Н/Кл , перпендикулярном пластинам. Площадь пластин конденсатора 1000 см^2 . Какие заряды окажутся на каждой из пластин, если их замкнуть накоротко?
2. Какая доля электронов должна уйти из приповерхностного слоя меди толщиной $5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, чтобы экранировать перпендикулярное поверхности внешнее электрическое поле напряженностью $3 \cdot 10^6 \text{ Н/Кл}$?
3. Металлическим пластинам 1 и 2 сообщили положительные заряды $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ и $Q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ соответственно. Какие заряды Q_1', Q_1'', Q_2', Q_2'' расположатся на боковых сторонах пластин?

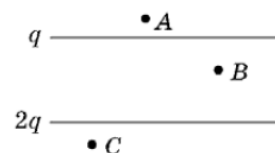
Ответ. $Q_1'' = -Q_2' = \frac{Q_1 - Q_2}{2} = -10^{-6} \text{ Кл}$, $Q_1' = Q_2'' = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.



4. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно плоскости пластин со скоростью $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Найдите напряженность поля в конденсаторе, если электрон вылетает под углом 30° к пластинам. Длина пластин 20 см .
5. На невесомом стержне длиной ℓ висит маленький шарик массой m с зарядом q . На короткое время t включается постоянное однородное горизонтальное электрическое поле с напряженностью E . Найти максимальный угол отклонения стержня от вертикали.

Олимпиада.

1. Две тонкие металлические пластины, имеющие заряды q и $2q$, расположены параллельно друг другу. Сила взаимодействия пластин друг с другом равна F . Найдите напряженность электрического поля в точках А, В и С. Поле, создаваемое каждой из пластин, считать однородным. $E_A=3F/2q$. $E_B=F/2q$. $E_C=3F/2q$.



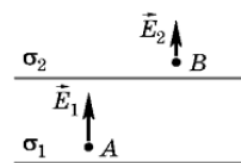
Занятие 16. Диэлектрики в электростатическом поле.

I. Вопросы (блиц):

1. Два заряженных металлических шара одинакового диаметра приводят в соприкосновение. Один из шаров полый. Поровну ли распределятся заряды на шарах?
2. Сколько понадобится пятаков, чтобы разменять 59 копеек пятнадцать монетами по 3 и 5 копеек? 7
3. Два одноименно заряженных металлических шара на некотором небольшом расстоянии друг от друга взаимодействуют с меньшей силой, чем если бы они были заряжены разноименно. Нет ли здесь противоречия с законом Кулона?
4. Внутри металлической незаряженной сферы находится точечный заряд q , смещенный от центра сферы. Как будет выглядеть картина силовых линий электрического поля внутри и вне сферы?
5. Два бесконечных длинных параллельных стержня, находящиеся на расстоянии 2 м в вакууме, заряжены равномерно с линейной плотностью 15 нКл/м. Определить силу, действующую на единицу длины стержня.
6. Человек, стоя на изолирующей подставке, прикасается к заряженному изолированному проводнику. Полностью ли разрядится при этом проводник?
7. Одной из характеристик писчей бумаги является ее плотность σ , для измерения которой используют внесистемную единицу $г/м^2$. Какое давление оказывает на стол лист бумаги плотностью σ ?
8. Как защитить работников лаборатории, в которой экспериментируют с большими электростатическими зарядами, от действия электрического поля этих зарядов?

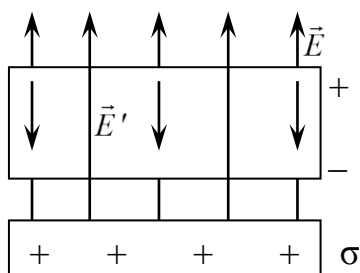
II. Задачи (блиц):

1. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью 10 мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии 20 см от его конца находится точечный заряд, равный 10 нКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда. 4,5 мН
2. Оцените среднюю плотность электрических зарядов в земной атмосфере, если известно, что напряженность электрического поля на поверхности Земли равна 100 В/м, а на высоте 1,5 км – 25 В/м. $\rho = -4,4 \cdot 10^{-13}$ Кл/м³
3. Равномерно заряженные тонкие бесконечно большие пластины находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Найдите поверхностные плотности их зарядов σ_1 и σ_2 , если напряженность поля в точке А равна $E_1 = 3000$ В/м, а в точке В равна $E_2 = 1000$ В/м. 35,4 мКл/м². -17,7 мКл/м².



III. Диэлектрики – вещества, плохо проводящие электрический ток.

Примеры диэлектриков: дистиллированная вода, инертные газы, слюда, парафин, бумага. Познакомимся с некоторыми из электрических свойств диэлектриков. Опыты с электрометром (ослабление внешнего поля диэлектриком). Объяснение по рисунку:



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}; E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0}; E_{\text{д}} = E - E'. \quad \vec{E}_{\text{д}} = \frac{\vec{E}}{\epsilon}$$

Электростатическое поле внутри диэлектрика

(термин введен Фарадеем для обозначения веществ, в которые проникает электрическое поле). **Диэлектрическая проницаемость среды** (реакция на электрическое поле). Примеры: $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 81$, $\epsilon_{\text{кер}} = 2$. Частичная поляризация диэлектрика. Можно ли, как в опыте с проводниками, "снять" электрический заряд с поверхности диэлектрика, прикоснувшись к нему рукой?

Диэлектрики во внешнем электростатическом поле (демонстрация модели электрического диполя). Силы, действующие на диполь в однородном электрическом поле: $M = qE\ell \sin \alpha$.

Поляризация диэлектриков. Поляризацией диэлектрика называется процесс ориентации диполей или появления под воздействием внешнего электрического поля ориентированных по полю диполей.

IV. Задачи (блиц):

1. В однородное электростатическое поле напряженностью $E = 700$ В/м перпендикулярно полю поместили стеклянную пластинку ($\epsilon = 7$). Найти напряженность поля в пластинке, а также плотность связанных зарядов, возникающих на поверхностях пластинки. 100 В/м. 5,31 нКл/м²
2. Металлический шар диаметром 4 см погружен в парафин. Поверхностная плотность заряда на шаре $0,8 \cdot 10^{-5}$ Кл/м². Какова напряженность поля в парафине на расстоянии 20 см от поверхности шара? 25120 Н/Кл
3. Сферический слой, ограниченный радиусами $R_1 = 3$ см и $R_2 = 5$ см, равномерно заряжен зарядом плотностью $\rho = 3$ мкКл/м³. Диэлектрическая проницаемость слоя $\epsilon_1 = 5$, а окружающей среды $\epsilon_2 = 2,5$. Найти напряженность электрического поля: а) в центре слоя; б) между поверхностями на расстоянии $r_1 = 4$ см от центра; в) на расстоянии $r = 4$ см от наружной поверхности шарового слоя. 0; 0,523 кН/Кл; 0,396 кН/Кл

Олимпиада.

1. Определить радиус равномерно заряженного по объёму диэлектрического шара ($\epsilon = 2$), если на расстояниях 2,5 см и 10 см от центра шара напряжённости электрического поля одинаковы. 5 см
2. Алюминиевый шарик массой $m = 5,4$ г и плотностью $\rho = 2,7$ г/см³, несущий заряд $q = 0,1$ мкКл помещён в стеклянный сосуд с керосином, диэлектрическая проницаемость которого $\epsilon = 2$ и плотностью $\rho = 800$ кг/м³. Определить значение внешнего вертикального электрического поля, при котором шарик будет оставаться в покое. $7,6 \cdot 10^5$ Н/Кл
3. Между пластинами плоского конденсатора вложена тонкая пластинка из

диэлектрика ($\varepsilon = 6$). Какое давление испытывает эта пластинка, если напряженность электрического поля $E = 1$ МВ/м? Ответ: $p = 7,4$ Па

Вопросы (блиц):

1. Почему крупички манки (диэлектрические стрелки) ориентируются вдоль силовых линий электрического поля?
2. Опишите качественно, каким образом благодаря индукции заряженный надувной шар удерживается на электрически нейтральной стене.
3. Какой должна быть структура молекулы двуокиси углерода, если известно, что она является неполярной?
4. Чем объяснить, что легкий бузиновый шарик, вначале приставший к наэлектризованной палочке, затем отталкивается от нее?
5. Наэлектризованный металлический шарик опустили на дно сухой стеклянной пробирки и поднесли ее к электроскопу. Разойдутся ли листочки электроскопа?
6. В результате пробоя твердого диэлектрика он оказывается непригодным к дальнейшему применению, а жидкие и газообразные диэлектрики могут подвергаться многократному испытанию на прочность. Почему?
7. Можно ли с помощью электризации через влияние получить два куса диэлектрика, наэлектризованных разноименно, если диэлектрик разрезать пополам?
8. Как ведет себя электрический диполь в неоднородном электрическом поле или почему заряженное тело притягивает мелкие кусочки бумаги?
9. Как изменится сила, действующая на разноименные заряды, если между ними поместить незаряженный 1) проводящий шар; 2) шар из диэлектрика?
10. Чем объяснить удаление пыли из воздуха с помощью постоянного электрического поля?
11. Одним из основных недостатков люстры Чижевского заключается в собирании большого количества пыли (копоти) на потолке и стенах вблизи люстры. Почему это происходит?
12. Когда обкладки плоского конденсатора не параллельны друг другу, то диэлектрик между ними будет перемещаться, если конденсатор зарядить? В какую сторону?
13. Как зависит диэлектрическая проницаемость газа от его давления?
14. Как именно происходит разделение электрических зарядов в грозовой туче?

Олимпиада.

Занятие 17. Потенциал.

I. Вопросы (блиц):

1. Чем объясняется уменьшение напряженности электрического поля в диэлектрике (проводнике)?
2. В семье четыре взрослых человека. Если Маше удвоят стипендию, то общий доход семьи возрастет на 5%, если вместо этого дедушке удвоят пенсию – то на 15%, если же зарплату удвоят маме, то на 25%. Как возрастет доход всей семьи, если зарплату удвоят папе? 55%
3. В правительстве страны Липутандии 20 министров. По крайней мере один из

них честен. Из любых двух министров хотя бы один продажен. Сколько всего честных министров в правительстве Липутандии? 1

4. При каком угле между вектором дипольного момента (направлен от $-$ к $+$) и направлением однородного электрического поля потенциальная энергия диполя максимальна? π
5. Почему заряженное тело притягивает мелкие кусочки бумаги?
6. Положительный и отрицательный точечные заряды притягиваются друг к другу с силой F . Уменьшится ли эта сила, если поместить между зарядами стеклянный шар?
7. Напишите выражение для момента пары сил, действующих на диполь в однородном поле.
8. Почему электроны в изоляторах не могут легко перемещаться?
9. На что расходует энергию движущаяся в диэлектрической среде заряженная частица (аналогия с шариком, который катится по резиновой пленке)?

II. Задачи (блиц):

1. Заряженный проводник окружен однородным диэлектриком. В некоторой точке их границы раздела поверхностные плотности σ стороннего и связанного σ' зарядов равны соответственно $\sigma = 1,00$ мкКл/м² и $\sigma' = -0,80$ мкКл/м². Чему равна диэлектрическая проницаемость ϵ диэлектрика? 5
2. Определить диэлектрическую проницаемость трансформаторного масла, если два одинаковых электрических заряда в вакууме взаимодействуют на расстоянии 0,2 м с той же силой, что и в масле на расстоянии 0,14 м. 2

III. Понятие потенциального поля на примере гравитационного поля.

Гравитационное поле – потенциально, а сила тяжести - консервативная сила:

$A' = E_{П_1} - E_{П_2}$. **Электростатическое поле.** Положительно заряженное тело в

однородном электростатическом поле у положительно заряженной **обкладки.**

Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела (аналогия с

гравитационным полем): $A' = qE(d_1 - d_2)$. Работа не зависит от вида траектории, а

по замкнутому пути равна нулю. **Электростатическое поле потенциально, а**

электрическая сила – консервативная сила. Тогда $A' = E_{П_1} - E_{П_2}$.

Потенциал (ϕ) –измеряется отношением потенциальной энергии

взаимодействия пробного заряда с полем к величине этого заряда

(измеряется отношением работы, совершаемой внешними силами по

переносу пробного заряда из бесконечности в данную точку поля, к

величине этого заряда). $\phi = W/q$.

Поле задано, если известен потенциал каждой его точки!

Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела: $W_1 = q\phi_1$,

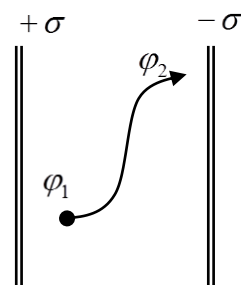
$W_2 = q\phi_2$. $A' = W_1 - W_2 = q(\phi_1 - \phi_2) = qU$

Работа электрического поля показывает, какую энергию передает электрическое поле зарядам, перемещая их из одной точки в другую.

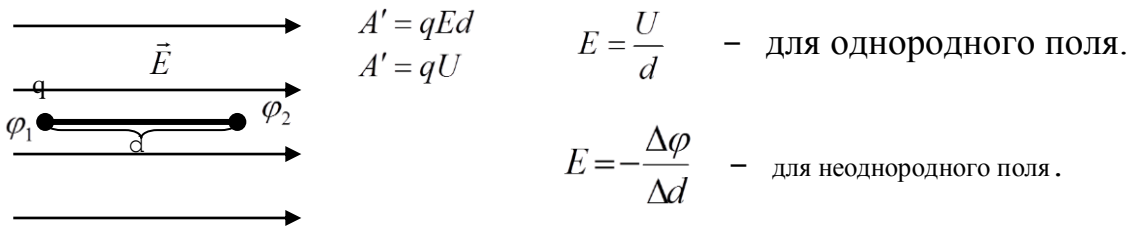
Энергию можно **запасать**, перемещая заряд против действия электрической силы.

Работа внешних сил при перемещении заряженного тела в электростатическом

поле: $A = q \cdot \Delta\phi$. Связь между разностью потенциалов и напряжением: $U = -\Delta\phi$.



$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$ – потенциал поля точечного заряда.



Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических зарядов:

$E_{п} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$. Энергия уединенного проводника: $E_s = \frac{1}{2} q\varphi$. Энергия уединенного

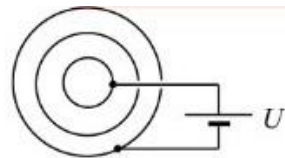
проводящего шара (равномерно заряженной сферы): $E_s = \frac{1}{2} k \frac{q^2}{R}$.

IV. Задачи (блиц):

1. На расстоянии a от центра заземленного шара радиуса R ($R \ll a$) находится точечный заряд q . Определить заряд шара. У проводника появляется потенциал, если он приобретает заряд.
2. Металлический шар радиусом R_1 , заряженный до потенциала, окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом R_2 . Внешнюю оболочку заземляют с помощью тонкого проводника. Сколько тепла выделится при этом в проводнике? $\Delta W = 2\pi\epsilon_0 \frac{\varphi^2 R_1^2}{R_2}$
3. Точечный положительный заряд $q = 10$ мкКл закреплен на высоте $h = 5$ м над землей. На одной вертикали с ним на земле находится шарик массой $m = 9$ г с отрицательным зарядом $Q = -4$ мкКл. Какую минимальную скорость v_{\min} надо сообщить шарика, чтобы он долетел до заряда наверху? Ответ: 6 м/с.

Олимпиада.

1. Тонкий диск радиусом R равномерно заряжен зарядом q . Найдите, во сколько раз уменьшится потенциал в центре диска, если из него изъять среднюю часть радиусом $R/2$. Ответ: $\varphi_2 = 0,75 \varphi_1$
2. Тонкое кольцо радиусом 10 см равномерно заряжено зарядом 10 нКл. Найдите потенциал на оси кольца в той точке, где напряженность электрического поля максимальна. Потенциал в бесконечности примите равным нулю. 735 В
3. Имеются три концентрические металлические сферы с радиусами R , $2R$ и $3R$. Среднюю сферу заряжают некоторым зарядом Q ($Q > 0$), а к внутренней и внешней сферам подключают источник электрического напряжения U . При каком заряде Q внутренняя и внешняя сферы останутся незаряженными? $Q = 6Ur/k$



Вопросы (блиц):

1. Два шара, большой и маленький, равномерно заряжены с одинаковой поверхностной плотностью. Будут ли одинаковы потенциалы этих шаров?
2. Полый шар равномерно заряжен электричеством. В центре шара потенциал равен 100 В, а на расстоянии 30 см от центра шара потенциал равен 50 В. Каков радиус шара? 15 см
3. Если известно, что напряженность электрического поля в какой-то точке равна

нулю, значит ли это, что и потенциал в этой точке равен нулю?

4. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя заряда?
5. Две частицы с одинаковыми массами, заряженные равными по величине разноименными зарядами, движутся по окружности вокруг общего центра масс. Пренебрегая гравитационным взаимодействием между частицами, найти отношение α величин потенциальной и кинетической энергий частиц. 2
6. Потенциал электростатического поля возрастает в направлении снизу вверх. Куда направлен вектор напряженности поля?
7. Найти потенциал проводящего шара радиуса 1 м, если на расстоянии 2 м от его поверхности потенциал электрического поля равен 20 В. Ответ. 60 В.
8. Заряженная частица, помещенная в электрическое поле, увеличивает свою кинетическую энергию. Какая энергия при этом уменьшается? Объясните.
9. Объясните, почему в диэлектрической среде заряженная частица находится в устойчивом положении равновесия?
10. Почему в опытах по электростатике человека устанавливают на изолирующуюставку?
11. Внутри проводящей заряженной сферы через небольшое отверстие вносится (без соприкосновения) металлический шарик, заряд которого равен по величине, но противоположен по знаку заряду сферы. Как изменится потенциал сферы?
12. Какова разность потенциалов гравитационного поля между токами, находящимися на высоте 2 и 5 м от поверхности Земли?
13. На расстоянии ℓ снаружи от поверхности незаряженного металлического шара радиусом R находится точечный заряд q . Определите потенциал шара.
14. Определить напряженность электрического поля в мембране эритроцита, толщиной 25 мкм, если мембранная разность потенциалов равна 100 мВ.
15. Если металлическим шарам, имеющим разные диаметры, сообщить равные отрицательные заряды, то будет ли ток в проводе, которым соединяют после этого шары?

Разное

1. Три проводящие концентрические сферы радиуса r , $2r$ и $3r$ имеют заряд соответственно q , $2q$, $-3q$. Определить потенциал на каждой сфере.
2. Свободные заряды равномерно распределены с объемной плотностью $\rho = 5$ нКл/м³ по шару радиусом $R = 10$ см из однородного изотропного диэлектрика с проницаемостью ϵ . Определить напряженность электростатического поля на расстояниях $r_1 = 5$ см и $r_2 = 15$ см от центра шара. $E_1 = 1,88$ В/м; $E_2 = 8,37$ В/м.
3. Два маленьких шарика массами $m_1 = 6$ г и $m_2 = 4$ г находятся на гладком столе и несут заряды $q_1 = 10^{-6}$ Кл и $q_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл соответственно. В начальный момент они движутся навстречу друг другу по прямой, соединяющей их центры. При этом расстояние между шариками составляет $\ell = 2$ м и их скорости равны $v_1 = 1$ м/с и $v_2 = 2$ м/с соответственно. На какое минимальное расстояние L приблизятся шары друг к другу? 1,32 м
4. Найти скорость, с которой разлетятся четыре электрона, вначале

удерживаемых в состоянии покоя в вершинах квадрата.

5. Два проводящих шара радиусами 15 мм и 45 мм, заряжены до потенциалов 90 В и 20 В соответственно. Каким станет потенциал шаров, если их соединить проводником? Какой заряд протечет по проводнику? Электроёмкостью проводника пренебречь.
6. Внутри плоского незаряженного конденсатора, пластины которого расположены горизонтально на расстоянии $d = 2$ см, падает положительно заряженная пылинка. Вследствие сопротивления воздуха пылинка движется равномерно, проходя некоторый путь за время $t_0 = 10$ с. Когда на конденсатор подали напряжение $U = 980$ В, пылинка начала двигаться равномерно вверх, пройдя тот же путь за время $t_1 = 5$ с. Определить отношение γ заряда пылинки к ее массе. Силу сопротивления воздуха считать пропорциональной скорости пылинки, ускорение свободного падения принять $g = 9,8$ м/с². $\gamma = 6 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.
7. Тонкому проводящему кольцу, радиус которого R , сообщен заряд q . В центре кольца покоится частица массой m и зарядом q_0 . При освобождении частицы вследствие отталкивания она движется, удаляясь от неподвижного кольца. Какую наибольшую величину скорости может иметь частица?
8. Металлический шарик радиусом 1 см, заряженный до потенциала 270 В, вносят внутрь полого металлического шара радиусом 10 см, заряженного до потенциала 450 В. Определите заряды и потенциалы шаров после их соприкосновения.
9. На координатной плоскости $xу$ в точке с координатами $[0; 0]$ находится точечный заряд 220 нКл, а в точке с координатами $[50; 0]$ см заряд - 180 нКл. Изобразите все на чертеже и определите:
 - 1) направление суммарного вектора напряженности в точках «Б» и «Г» с координатами соответственно $[25; 0]$ см и $[25; 43,3]$ см, и величину напряженностей в этих точках. 25,92 кН/м, 7,643 кН/м.
 - 2) потенциал в точках «Б» и «Г». 720 В, 1440 В.
 - 3) работу электростатического поля при перенесении положительного заряда 4 нКл из т. «Б» в т. «Г». 2,88 мкДж
10. Два небольших шарика массой m , несущие одинаковые заряды q каждый, соединены непроводящей нитью длины 2ℓ . В некоторый момент времени середина нити начинает двигаться с постоянной скоростью v , перпендикулярной направлению нити в начальный момент времени. Определите, на какое минимальное расстояние d сблизятся шарики.

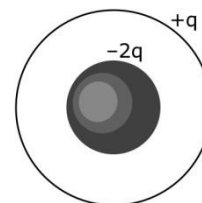
Олимпиада.

1. Найдите напряжённость электрического поля между тремя пластинами в случае, если средняя пластина заземлена. Расстояние между средней пластиной и крайними равно a и b . Потенциал крайних пластин φ .
2. Три полых металлических шарика разместили в вакууме так, что их центры оказались в вершинах правильного треугольника со стороной 1 м. Радиус первого шарика равен 1 см, второго – 1 см и третьего – 1/3 см. Первому шарика сообщают заряд 100 нКл. После этого первый и третий шарика соединяют проводящей проволокой пренебрежимо малой электроёмкости, и через

некоторое время её убирают. Затем такой же проволочкой соединяют первый и второй шарики.

- 1) Какой заряд протёк по проволочке, когда соединили первый и второй шарики? Ответ выразите в нКл, округлите до десятых долей.
- 2) Чему равен потенциал второго шарика, после соединения первого и второго шариков? Ответ выразите в кВ, округлите до целого числа.
- 3) Чему равен модуль напряжённости поля, создаваемого шариками в центре треугольника, после соединения первого и второго шариков? Ответ выразите в кВ/м, округлите до сотых долей.

3. Металлический шарик радиуса R с отрицательным зарядом $-2q$ находится внутри тонкостенной металлической сферы радиуса $2R$. Центры шарика и металлической сферы совпадают. Сфере сообщили положительный заряд $+q$. Шарик и сферу соединили тонким проводником ничтожной ёмкости и затем разъединили. Найдите разность потенциальных энергий ΔW конечного и начального состояний системы.



Занятие 18. Конденсаторы.

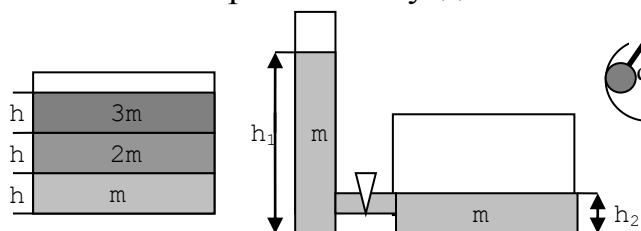
I. Вопросы (блиц):

1. Проводящий стержень на изолирующей ручке поместили радиально в поле точечного заряда. Будет ли поверхность стержня эквипотенциальной?
2. В турнире по волейболу, прошедшем в один круг, 20% всех команд не выиграли ни одной игры. Сколько было команд? 5
3. Как расположите три одинаковых заряда, чтобы в заданной точке напряженность электрического поля была равна нулю? Какой будет потенциал этой точки?
4. Можно ли рассчитать потенциал проводника? Каков будет потенциал проводника, если его заземлить?
5. Могут ли пересекаться линии вектора напряженности? Эквипотенциальные поверхности?
6. Тонкий диск радиусом R равномерно заряжен зарядом q . Найдите, во сколько раз уменьшится потенциал в центре диска, если из него изъять среднюю часть радиусом $R/2$, но заряд q оставить тем же. Не изменится
7. Почему к оборванному трамвайному проводу, лежащему на земле, следует подходить все более мелкими шажками?
8. Изолированный заряженный проводник поднесли к другому изолированному проводнику острием, обращенным к заряженному проводнику. Что при этом произойдет?
9. Электростатическое поле создано равномерно заряженной сферой. Напряженность в точке, отстоящей от поверхности сферы на расстоянии, равном ее радиусу, равна 120 В/м. Потенциал этой же точке 48 В. Определить радиус сферы. 20 см
10. Можно ли утверждать, что в однородном поле свободный заряд всегда движется прямолинейно?

II. Задачи (блиц):

1. Два одинаковых шара удалены на очень большое расстояние друг от друга. Поле первого шара обладает энергией $W_1 = 1,6 \cdot 10^{-3}$ Дж, а поле второго - энергией $W_2 = 3,6 \cdot 10^{-3}$ Дж. Какое количество тепла выделится при соединении этих шаров проволокой? $W = 2 \cdot 10^{-4}$ Дж
2. Вычислите потенциал, создаваемый тонким равномерно заряженным стержнем с линейной плотностью заряда 10 нКл/м, расположенной на оси стержня и удаленной от ближайшего конца стержня на расстояние, равное длине стержня. 62 В.

III. Электроемкость уединенного проводника. Электроемкость (С) - свойство



проводника накапливать электрический заряд, измеряемое отношением электрического заряда уединенного проводника к его потенциалу. Единица электроемкости в СИ: $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$. Электроемкость шара: $C = 4 \cdot \pi \epsilon_0 \epsilon R$.

Электрическая постоянная: $[\epsilon_0] = [\text{Ф/м}]$. **Конденсатор. Заряд конденсатора.**

Напряжение между обкладками конденсатора: $U = Ed = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} d = \frac{q}{S \epsilon \epsilon_0} d \rightarrow U \sim q$.

Электроемкость конденсатора:

Энергия заряженного конденсатора.

$$C = \frac{q}{U} \quad C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} = \epsilon \cdot C_0$$

Плотность энергии электрического поля:

$$A = \frac{qU}{2} = E_s = \frac{q^2}{(2 \cdot C)} = \frac{CU^2}{2}$$

$$W_0 = \frac{CU^2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_0 S}{d} \right) (E^2 \cdot d^2) = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 S d$$

$$U = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

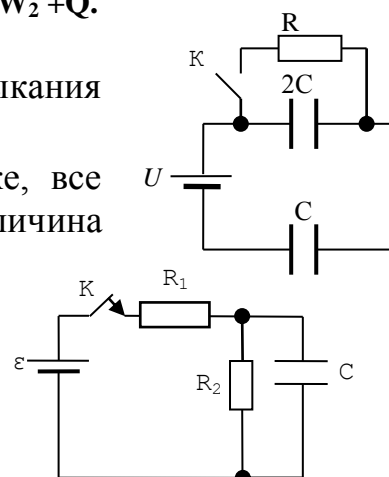
IV. Задачи (блиц):

1. Площадь обкладки плоского воздушного конденсатора равна 250 см^2 , расстояние между ними 2 мм . Конденсатор заряжается от батареи с напряжением 150 В . Определите емкость конденсатора, его заряд и напряженность электрического поля между его обкладками. $110,6 \text{ пФ}$. $16,6 \text{ нКл}$.
2. После этого конденсатор отключили от батареи (заряд на обкладках при этом не изменяется) и между обкладками ввели диэлектрическую пластинку ($\epsilon = 5$) такой же площади и толщиной 1 мм . Определите: а) напряженность электрического поля в диэлектрике; б) напряжение между обкладками после введения диэлектрика; в) емкость конденсатора с диэлектриком. 90 В . 184 пФ .
3. Если бы мы не отключали конденсатор от батареи и ввели диэлектрическую пластину, то каким бы стал после этого заряд конденсатора и напряженность электрического поля в воздушном зазоре и в диэлектрике? $27,6 \text{ нКл}$. 125 кН/Кл .
4. Конденсатор емкости C подключен к батарее. Какое количество теплоты выделится в цепи, если его заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью ϵ ? Батарея поддерживает на конденсаторе постоянное напряжение U . $Q = \frac{CU^2}{2} (\epsilon - 1)$

Если заряд внутри источника тока переносится от минуса к плюсу (конденсатор заряжается), то работа источника положительная, в противном случае (конденсатор разряжается) – работа источника тока отрицательная! $W_1 + A_{ист} + A = W_2 + Q$.

Олимпиада.

1. Какое количество теплоты выделится на резисторе после замыкания ключа K ? $Q = CU^2 / 2$
2. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные: ЭДС источника равна 24 В, величина сопротивления каждого резистора равна 10 Ом. Ключ K замыкают на длительное время, за которое конденсатор успевает полностью зарядиться, а затем размыкают. Какой ток будет течь через сопротивление, подключенное параллельно конденсатору в момент времени, когда на конденсаторе энергия уменьшится в 9 раз? 0,4 А



3. Между пластинами плоского конденсатора расположена диэлектрическая пластина ($\epsilon = 3$), заполняющая весь объем конденсатора. Конденсатор через сопротивление подключен к аккумулятору с ЭДС $\epsilon = 100$ В. Пластину быстро выдергивают, так что заряд на конденсаторе не успевает измениться. Какая энергия выделится в цепи в виде тепла? Емкость конденсатора без диэлектрика равна $C_0 = 100$ мкФ. $W = \frac{C_0 E^2}{2} (\epsilon - 1)^2 = 2$ Дж

Вопросы (блиц):

1. Если к шарiku заряженного электроскопа поднести (не касаясь шарика) руку, листочки немного спадут. Почему?
2. Почему у конденсатора с диэлектриком электрическая емкость больше?
3. Определите массу воды, которую можно нагреть от комнатной температуры до кипения, полностью затратив энергию заряженного до напряжения 10 кВ конденсатора емкостью 100 мкФ. 15 г.
4. Каким должен быть радиус шара, чтобы его емкость (в вакууме) равнялась 1Ф?
5. Как изменится электроемкость шара, если его радиус увеличить в 4 раза? Увеличится в 4 раза
6. Какова емкость керамического конденсатора с площадью пластин в 1 см², расстоянием между ними в 0,1 мм и диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 10000$?
7. Как изменится электроемкость проводника, если его заряд уменьшить в 100 раз? Не измениться
8. Почему маленькие кусочки бумаги притягиваются к заряженной пластмассовой расческе, но не притягиваются ни к одной из параллельных пластин заряженного конденсатора?
9. В двух одинаковых плоских конденсаторах пространство между обкладками заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$, в одном наполовину, в другом полностью. Найти отношение емкостей α этих конденсаторов. 2/3
10. Как изменится сила взаимодействия пластин плоского конденсатора, если

расстояние между ними уменьшить, не изменяя заряда конденсатора?

11. Плоский конденсатор имеет емкость C . На одну из пластин конденсатора поместили заряд $+q$, а на другую – заряд $+4q$. Определите напряжение на конденсаторе.
12. Четыре одинаковых конденсатора, соединяются один раз параллельно, другой – последовательно. В каком случае и во сколько раз емкость батареи будет больше?
13. Пластины заряженного и отключенного от батареи конденсатора притягиваются с силой F . Изменится ли та сила, если ввести в конденсатор пластину из диэлектрика, не касаясь пластин?
14. Плоский конденсатор зарядили до разности потенциалов, немного не достигающей пробойного значения, и отсоединили от источника напряжения. Произойдет ли пробой, если пластины начать сближать?
15. Как изменится емкость плоского конденсатора, если между его обкладками поместить металлическую пластину пренебрежимо малой толщины в случаях:
а) пластина электрически изолирована; б) пластина соединена с одной из обкладок?

Разное.

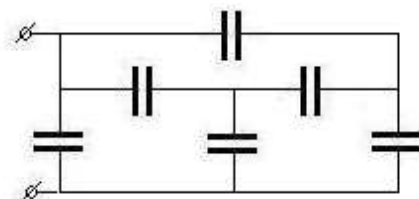
1. Тонкое кольцо радиуса $0,3$ м равномерно заряжено с линейной плотностью заряда $0,03$ мкКл/м. Найти работу по перемещению точечного заряда 20 нКл из центра кольца вдоль оси кольца на расстояние $0,4$ м от плоскости кольца.
2. Тонкой сферической оболочке радиусом R_1 и массой m сообщают заряд до тех пор, пока при достижении потенциала ϕ оболочка не разлетается на мелкие куски вследствие электростатического отталкивания ее частей. Найдите скорость осколков к моменту, когда они окажутся на сферической поверхности радиусом R_2 .
3. Одну пластину незаряженного конденсатора, обладающего емкостью 1 нФ, заземляют, а другую присоединяют длинным тонким проводом к удаленному проводящему шару радиусом 20 см, имеющему заряд 92 мкКл. Какой заряд останется на шаре?
4. Два плоских воздушных конденсатора одинаковой емкости соединены параллельно и заряжены до разности потенциалов $U = 300$ В. Определить разность потенциалов этой системы, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить слюдой $\epsilon = 7$. Ответ: 75 В.
3. Какой минимальной скоростью должен обладать протон, находящийся далеко от заряженного кольца, чтобы беспрепятственно преодолеть плоскость кольца, двигаясь вдоль его оси? Заряд кольца равен 100 мкКл, радиус 2 см.
5. Какая энергия выделится при ударе электрона о положительно заряженный шар радиуса R , если на бесконечном расстоянии от шара скорость электрона была направлена к центру шара и равна \vec{v} ? Заряд шара q , электрона $-e$, масса его m . Удар считать неупругим.

Олимпиада.

1. С какой силой втягивается диэлектрическая пластина в плоский конденсатор с зарядом $q = 1$ мкКл, когда она входит в пространство между обкладками на длину $x = 6$ см? Диэлектрическая проницаемость пластины $\epsilon = 3$, а толщина её

немного меньше расстояния между обкладками $d = 1$ мм. Размеры обкладок, как и пластины, $a \times b = 10 \text{ см} \times 8 \text{ см}$.

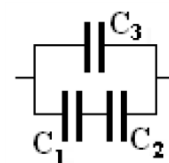
- Конденсатор емкостью C присоединен к источнику тока с напряжением U . Какую работу нужно совершить, чтобы медленно увеличить расстояние между обкладками конденсатора в 3 раза?
- Найти емкость батареи конденсаторов. Каждый конденсатор имеет емкость C .
- Из 6 одинаковых по размерам конденсаторов часть – воздушные, а часть заполнена диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 3. Известно, что если все эти конденсаторы соединить параллельно, то емкость этой системы окажется в 48 раз больше, чем при их последовательном соединении. Найдите, сколько конденсаторов имеют диэлектрик. Ответ: 3



Занятие 19. Сила тока.

I. Вопросы (блиц):

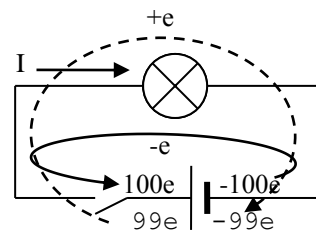
- Плоский воздушный конденсатор после зарядки отключают от источника напряжения и погружают в керосин. Как изменится энергия, накопленная в конденсаторе?
- Шахматист сыграл в турнире 20 партий и набрал 12,5 очков. На сколько партий больше он выиграл, чем проиграл? 5
- На какую высоту можно поднять тело массой в 1 кг, полностью затратив энергию заряженного до напряжения 10 кВ конденсатора емкостью 100 мкФ? Около 0,5 км.
- К заряженному конденсатору, обладающему энергией E_0 , присоединяют такой же, но незаряженный конденсатор. Какое количество теплоты выделилось в этом процессе?
- Если вы зарядите себя до потенциала в 15000 В, волоча ноги по ковру, то сколько энергии вы запасете?
- Найдите емкость батареи конденсаторов. $C_1 = 0,1$ мкФ, $C_2 = 0,4$ мкФ, $C_3 = 0,52$ мкФ. $C_{об} = 0,6$ мкФ
- Пластины плоского конденсатора один раз раздвигают, оставляя их все время подключенными к источнику напряжения, другой раз – отключенными после первоначальной зарядки. В каком из этих двух случаев нужно совершить большую работу по раздвиганию пластин?
- Конденсатор подключили к аккумулятору. Расстояние между пластинами конденсатора уменьшили в два раза. Как изменилась разность потенциалов между пластинами, а также напряженность поля между пластинами и заряд конденсатора?
- Конденсатор отключили от аккумулятора, после чего расстояние между пластинами уменьшили в два раза. Как изменится заряд, напряженность поля и разность потенциалов между пластинами?
- Заряженный конденсатор подключили параллельно к такому же незаряженному. Во сколько раз изменилась энергия поля первого конденсатора?



11. Конденсатор подключен к аккумулятору. Раздвигая пластины конденсатора, мы преодолеваем силы электростатического притяжения между пластинами и, следовательно, совершаем работу. На что идет эта работа? Как изменится энергия конденсатора?
12. Два одинаковых плоских конденсатора емкости C соединены параллельно и заряжены до напряжения U . Пластины одного из конденсаторов разводят на большое расстояние. Найти напряжение на втором конденсаторе и его энергию.

II. Задачи (блиц):

1. Конденсаторы емкостями 3 и 1 мкФ соединены последовательно и подключены к источнику тока с ЭДС 200 В. Сколько тепла выделится при пробое конденсатора меньшей емкости? 45 мДж
2. Батарею последовательно соединенных конденсаторов $C_1 = 4$ мкФ, $C_2 = 5$ мкФ, $C_3 = 20$ мкФ присоединили сначала к аккумулятору с ЭДС $\varepsilon = 12$ В, а затем к незаряженному конденсатору $C_4 = 8$ мкФ. Какое напряжение установилось на конденсаторе C_4 и на сколько изменилась энергия всей батареи конденсаторов. 2,4 В. 0,12 мДж
3. Два одинаковых металлических заряженных шара радиуса $r = 2$ см находятся на большом расстоянии друг от друга. Один из шаров расположен при этом внутри сферической проводящей заземлённой оболочки радиуса R так, что их центры совпадают. Через небольшое изолированное отверстие в этой оболочке шары соединяют тонкой длинной проволокой. В результате на шарах устанавливаются заряды $q_1 = 6 \cdot 10^{-10}$ Кл, $q_2 = 2 \cdot 10^{-10}$ Кл. Чему равен радиус оболочки R ? 3 см



III. Простейшая электрическая цепь. Если за время t через

спираль лампочки прошло N электронов, то $q = Ne$ и $I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t}$. Чтобы измерить

силу тока, необходимо измерить N и t . Можно ли это сделать? Нет! Почему?

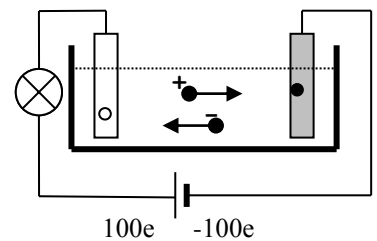
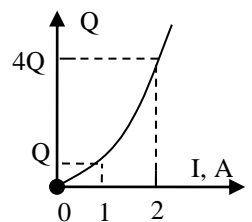
Можно ли измерить силу тока в проводнике по его тепловому действию? Да, но метод не оперативен и очень неточен!

Зависит ли химическое действие электрического тока от его направления? Да! Масса выделившегося на катоде металла $m = N \cdot m_0$, перенесенный заряд $q = N \cdot q_0$. Объединяя, получим: $m =$

$\frac{m_0}{q_0} q = kq = kIt$. Можно ли измерить силу тока в проводнике по

его химическому действию? Да, но метод не оперативен!

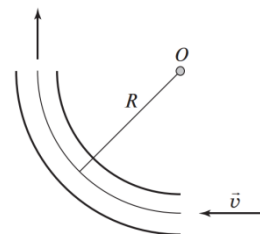
Силу тока измеряют по его магнитному действию. Формула для силы электрического тока в проводнике: $I = q_0 n \bar{v} S$.



IV. Задачи (блиц):

1. На цоколе электрической лампочки написано (60 В, 200 мА). Сколько электронов проходит через поперечное сечение спирали лампочки за 30 с?

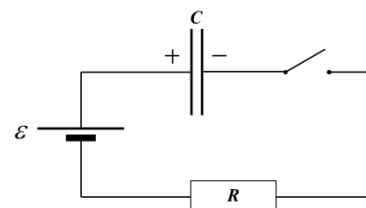
2. Селектор частиц по кинетической энергии представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты так, что в сечении получаются дуги с радиусами $R_1 = 60$ см и $R_2 = 61$ см. В конденсаторе создается поле напряженностью $E = 100$ кВ/м. Считая, что селектор отбирает частицы, двигающиеся по средней линии конденсатора (не попадающие на пластины), определить их кинетическую энергию, зная, что заряд частиц равен $2e$. Ответ: 10^{-14} Дж



Олимпиада.

1. Заряженный конденсатор емкостью C подключили к резистору сопротивлением R . Найти время, за которое энергия конденсатора уменьшится вдвое. $t = 0,35RC$

2. Электрическая цепь состоит из последовательно соединённых идеального источника напряжения с ЭДС $\varepsilon = 18$ В, резистора сопротивлением $R = 10$ Ом, разомкнутого ключа и конденсатора, заряженного до напряжения $\varepsilon/3$ (полярность указана на схеме). Ёмкость конденсатора $C = 1$ мФ. Сопротивление проводов и ключа очень мало. Ключ замыкают.



- 1) Найдите силу тока в этой цепи сразу после замыкания ключа. 1,2 А
- 1) Найдите максимальную скорость изменения энергии конденсатора в этой цепи. 8,1 Дж/с, $\varepsilon I = P + I^2 R$
- 2) Найдите силу тока в цепи в тот момент, когда достигается максимальная скорость изменения энергии конденсатора. 0,9 А
- 3) Найдите напряжение на конденсаторе в момент, когда достигается максимальная скорость изменения энергии конденсатора. 9 В
- 4) Определите количество теплоты Q_1 , выделившееся в этой цепи к моменту достижения максимальной скорости изменения энергии конденсатора. 31,5 мкДж
- 5) Найдите общее количество теплоты Q_2 , выделившееся в резисторе в течение очень большого промежутка времени после замыкания ключа. 162 мкДж

Вопросы (блиц):

1. Если пространство между обкладками плоского воздушного конденсатора заполнить изолятором с диэлектрической проницаемостью ε , то что произойдет с напряженностью поля, напряжением на обкладках конденсатора и энергией магнитного поля?
2. В течение 20 с сила тока в проводнике равномерно возросла от 1 А до 5 А. Какой заряд прошел по проводнику? 60 Кл
3. Утверждается, что, бродя в квартире по полу с пластиковым покрытием, мы заряжаемся до потенциала в сотни тысяч вольт. Оцените, почему мы не погибаем от таких разрядов?

Разное

1. Конденсатор емкостью в 100 пФ заряжен до разности потенциалов в 90 В. После отключения батареи, конденсатор соединяют параллельно с незаряженным конденсатором неизвестной емкости. Определить емкость этого конденсатора, если конечное напряжение оказалось равным 30 В? Какое

количество теплоты выделилось?

2. Заряженный конденсатор подключили к источнику тока с напряжением 10 В. После перезарядки конденсатора его энергия оказалась равной первоначальной, а в цепи во время перезарядки выделилось количество теплоты 0,4 мДж. Определите ёмкость конденсатора.
3. Плоский воздушный конденсатор объемом $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ с закороченными пластинами поместили в однородное электрическое поле так, что вектор напряженности этого поля перпендикулярен пластинам. Чему равна напряженность поля, если для увеличения расстояния между пластинами в три раза была совершена работа $15,93 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$. 300 В/м
4. Между пластинами конденсатора находится диэлектрик с диэлектрической проницаемостью 1,8. После зарядки конденсатора его отключили от источника тока. Какова емкость конденсатора с диэлектриком, если минимальная работа, которую нужно совершить, чтобы вынуть диэлектрик из конденсатора, равна 2,3 Дж, а установившееся напряжение на пластинах конденсатора без диэлектрика – 860 В. 25,2 мкФ

Олимпиада.

Занятие 20. Закон Ома.

I. Вопросы (блиц):

1. Почему единицу силы тока устанавливают по его магнитному действию?
2. Тане не хватает 2 рублей для покупки 8 воздушных шариков. Если она купит 5 шариков, то у нее останется 10 рублей. Сколько стоит один воздушный шарик?
4
3. Напряжение на участке цепи 2 В. Объясните, что это означает?
4. В металлической трубе переменного сечения движется электрон. Изменится ли его скорость при прохождении сужения?
5. Где больше средняя скорость упорядоченного движения электронов: в нити лампы или в проводах, подводящих к ней ток?
6. Есть ли внутри проводника с током электрическое поле?
7. Коль электрический заряд переносится свободными заряженными частицами, то нельзя ли его измерять в граммах?
8. Два одинаковых плоских конденсатора, соединенные параллельно, заряжены до напряжения $U = 50 \text{ В}$. Пластины одного из конденсаторов начинают двигать, уменьшая зазор между ними втрое. Чему равно установившееся напряжение U_1 на этом конденсаторе? Ответ: 25 В.
9. Два металлических одноименно заряженных шара соединены проводником. Может ли электрический заряд перетекать от шара, имеющего меньший заряд, к шару, имеющему больший заряд? При каком условии?

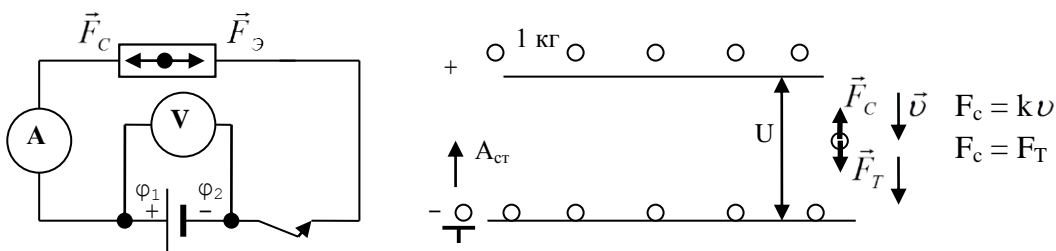
II. Задачи (блиц):

1. Ток в проводнике меняется со временем по закону $I = 4 + 2t$. Какой заряд пройдет через поперечное сечение проводника за время от $t_1 = 2 \text{ с}$ до $t_2 = 12 \text{ с}$?
2. Предположим, что в атоме водорода электрон движется вокруг протона по круговой орбите радиуса $5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$. Чему равен ток, обусловленный движением электрона вокруг протона? 1,05 мА

3. Ширина ленты генератора Ван де Граафа $d = 20$ см. Заряженный участок ленты движется вертикально вверх со скоростью, модуль которой $v = 10$ см/с. Поверхностная плотность избыточных зарядов на ленте $\sigma = 40$ мкКл/м². Определите направление и силу электрического тока, обусловленного движением ленты. 0,8 мкА

4. Максимально допустимая плотность тока в медном проводнике 10 А/мм². Чему равна скорость дрейфа электронов? Концентрация электронов $8,5 \cdot 10^{28}$. 0,07 см/с

III. Простейшая электрическая цепь (схема на доске). Переход электрона с клеммы "-" на клемму "+" источника тока эквивалентен переносу элементарного заряда e с клеммы "+" на Простейшая электрическая цепь (рисунок на доске). Механическая аналогия простейшей электрической цепи (шарики массой 1 кг в поле



тяжести). На каком участке электрической цепи скорость движения свободных заряженных частиц должна быть больше? Почему она на всех участках проводника постоянного сечения одинакова? Когда такое может быть? Аналогия: падение шариков в вязкой среде (парашютист).

Электрическая цепь оказывает сопротивление току. Зависит ли сила тока на участке электрической цепи от приложенного напряжения и сопротивления этого участка? Объяснение справедливости закона Ома на основе аналогии (если необходимо, то экспериментальная проверка): $I \sim v \sim \mathbf{F}_e \sim \mathbf{E} \sim U$.

Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.

$$I = \frac{U}{R}$$

Измерение сопротивления проводника: $R = U/I \rightarrow 1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/1 \text{ А}$.

Проводник, в котором сила тока прямо пропорциональна напряжению, называется **резистором**. Способы соединения резисторов друг с другом. Существует три способа соединения резисторов: **последовательное, параллельное и смешанное**.

IV. Задачи (блиц):

1. По медному проводу сечением $0,17 \text{ мм}^2$ течет ток $0,15 \text{ А}$. Определить, какая сила действует на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля. Удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. $2,4 \cdot 10^{-21} \text{ Н}$
2. Сколько витков проволоки следует вплотную намотать на фарфоровую трубку радиусом 10 см , чтобы изготовить реостат сопротивлением 50 Ом ? Удельное сопротивление проволоки $5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, ее диаметр 2 мм . 50
3. Два изолированных металлических шарика с радиусами 2 см и 1 см находятся достаточно далеко один от другого. Шарика заряжены положительными одноименными зарядами $q_1 = q_2 = 4 \text{ мкКл}$ и соединены прямой медной

проволокой длиной 3 м. Оценить скорость направленного движения электронов в первый момент после соединения. 30 м/с

4. Плоский конденсатор заполнен веществом с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$ и удельным сопротивлением $\rho = 10^8$ Ом·м. Найти сопротивление R между обкладками конденсатора, если его емкость равна $C = 100$ пФ. $R = 26,6$ МОм.

Олимпиада.

1. Равнобедренный треугольник ABC, у которого стороны AB и BC равны, сделан из однородной проволоки. Если измерить сопротивление между точками A и B, то оно окажется в k раз больше, чем сопротивление, измеренное между точками A и C. Найти, во сколько раз отличаются длины сторон AB и AC. $\frac{a}{b} = 2k - 1$.
2. Имеется два материала с плотностями $\rho_1 = 1500$ кг/м³ и $\rho_2 = 6000$ кг/м³. Из этих материалов было изготовлено два одинаковых по размерам цилиндрических провода. Радиусы проводов $R = R_1 = R_2 = 1$ см. При этом внутренняя часть одного провода радиусом $r = 0,25$ см сделана из менее плотного материала, а внешняя - из более плотного материала. У второго провода - наоборот, при таком же размере внутренней части. Определите отношения масс m_1/m_2 этих проводов. Ответ: 3,2.

Вопросы (блиц):

1. Объясните, почему сопротивление проволоки зависит от его материала, длины и площади поперечного сечения.
2. Изменится ли сопротивление вольфрамового волоска электрической лампы, рассчитанной на 220 В, если присоединить ее к источнику тока с напряжением 4 В?
3. Имеются два мотка медной проволоки одинаковой массы, но сопротивление одного из них в 16 раз больше сопротивления другого. Во сколько раз различаются их диаметры?
4. Почему сопротивление кожи человека зависит от ее состояния, площади контакта, приложенного напряжения, длительности протекания тока?
5. Допустим, что мы проложили провода до Луны и собрали простейшую цепь с лампочкой. Через какое время загорится лампочка после замыкания цепи?

Олимпиада.

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., Сияков 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>