

ЕГЭ по физике

Часть 1

Задача 1. На графике приведена зависимость проекции скорости v_x от времени t . Найти перемещение материальной точки за 50 с. Ответ укажите в м и округлите до целого.

Решение. Легко заметить, что за первые 40 с перемещение равно нулю. За последние 10 с равномерного движения со скоростью 3 м/с материальная точка совершила перемещение $S = 3 \cdot 10 = 30$ м.

Ответ: 30.

Задача 2. На упругий цилиндрический стержень действуют с некоторой силой F , в результате чего он удлиняется на $\Delta l = 1$ см. На сколько удлинится стержень вдвое большей длины, если к нему приложить такую же силу? Ответ дайте в сантиметрах.

Решение. Согласно закону Гука $F = k\Delta x$. Отсюда следует, что вдвое большей силе соответствует вдвое большее удлинение.

Ответ: 2.

Задача 3. В открытом космосе астронавт массой $M = 90$ кг бросает гайку массой $m = 200$ г. Какое расстояние пролетит астронавт, когда гайка будет на расстоянии $l = 450$ м от него? Ответ дайте в м и округлите до целых

Решение. Импульс системы «астронавт-гайка» сохраняется, тогда по закону сохранения импульса $Mv_a = mv_g \Rightarrow M \cdot L = m \cdot (l - L)$, где L – искомое расстояние. Отсюда находим, что $L = \frac{ml}{M+m} = \frac{0,2 \cdot 450}{90+0,2} \approx 1$ м.

Ответ: 1.

Задача 4. Максимальная скорость пружинного маятника, колеблющегося с частотой $\omega = 0,1$ рад/с, равна $v_0 = 1$ м/с. Найти растяжение пружины, когда $v = \sqrt{3}v_0/2$. Ответ дайте в м и округлите до целых.

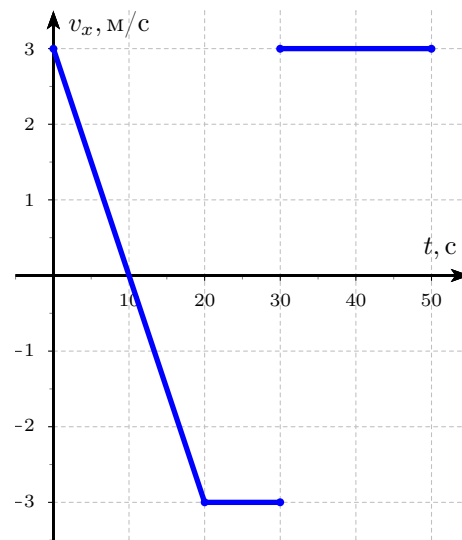
Решение. Пружинный маятник колеблется по гармоническому закону $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, где $A = \frac{v_0}{\omega} = 10$ м. Скорость также меняется по гармоническому закону $v = v_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$, так что в момент времени t_0 , когда $v = \frac{\sqrt{3}v_0}{2}$, получим, что $\cos(\omega t_0 + \varphi_0) = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \sin(\omega t_0 + \varphi_0) = \frac{1}{2}$, откуда $x(t_0) = A \cdot \sin(\omega t_0 + \varphi_0) = 5$.

Ответ: 5.

Задача 5. Четыре тела массой $m = 1$ кг двигались с постоянными по модулю скоростями по окружности единичного радиуса с центром в начале координат. Данные представлены в таблице. Какие два вывода, приведенные ниже, соответствуют результатам эксперимента?

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4
$x_1, \text{м}$	1	0	1	0	1
$x_2, \text{м}$	1	0	-1	0	1
$x_3, \text{м}$	1	1	1	1	1
$x_4, \text{м}$	1	0,7	0	-0,7	-1

1. 3-е тело двигалось равноускоренно.



2. Частота вращения 2-го тела равна 2 Гц.
3. 1-е тело совершало гармонические колебания.
4. Период вращения 2-го тела равен 4 с.
5. 4-е тело двигалось равноускоренно.

Решение. Утверждение 1 неверно, т.к. третье тело покоилось, то есть двигалось с постоянным нулевым ускорением. Второе тело движется согласно закону $x(t) = \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right)$, т.е его частота $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{4}$ 1/с (не соотв. 2-му утверждению), а вот период $T = \frac{1}{\nu} = 4$ с. Также легко заметить, что 4-ое тело движется по гармоническому закону $x(t) = \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$, а это соответствует движению по окружности с постоянной по абсолютному значению скоростью, а значит с постоянным центростремительным ускорением. Итак, утверждения 4 и 5 верны.

Ответ: 45.

Задача 6. Шарик, находящийся в т. А, падает с нулевой начальной скоростью на наклонную плоскость с углом наклона $\alpha < 30^\circ$. Как изменится время между первым и вторым соударениями и максимальная кинетическая энергия в момент первого соударения, если угол наклона плоскости уменьшить в два раза (шарик по-прежнему падает из т. А)?

1. Увеличится.
2. Уменьшится.
3. Не изменится.

Решение. Очевидно, что максимальная кинетическая энергия увеличится, поскольку шарик в свободном падении будет находится дольше и перед соударением будет иметь большую скорость. Далее, пусть вектор скорости шарика сразу после первого удара о горку равен $\vec{v}_1$, а вектор перемещения из точки первого удара в точку второго удара есть $\vec{S}$. Рассмотрим векторное соотношение $\vec{S} = \vec{v}_1 t + \vec{g} \frac{t^2}{2}$. Подсчётом углов между этими векторами и наклонной плоскостью можно заметить, что треугольник, составленный из входящих в это соотношение векторов равнобедренный, откуда $v_1 t = g \frac{t^2}{2}$, и поэтому время между соударениями $t = \frac{2v_1}{g}$. Оно, как мы видим, увеличится.

Ответ: 11.

Задача 7. Водитель грузовика зазевался и поздно заметил кошку, перебегающую дорогу. Коэффициент трения скольжения грузовика $\mu = 0,2$. В начальный момент времени (когда водитель начал торможение) расстояние между машиной и кошкой составляло 7 метров, скорость грузовика 25 м/с. Масса грузовика вместе с водителем 7 тонн, ускорение свободного падения 10 м/с². К каждому вопросу подберите ответ.

Вопрос	Ответ
А) За какое время грузовик остановится?	1) 24 с
Б) Какую работу совершит сила трения, действующая на автобус?	2) 24 МДж
	3) 2,1875 МДж
	4) 12,5 с

Решение. Сила трения, действующая на грузовик, равна $F = \mu N = \mu mg = ma$, где a – ускорение грузовика. Тогда время торможения

$$t = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{25}{0,2 \cdot 10} = 12,5 \text{ с.}$$

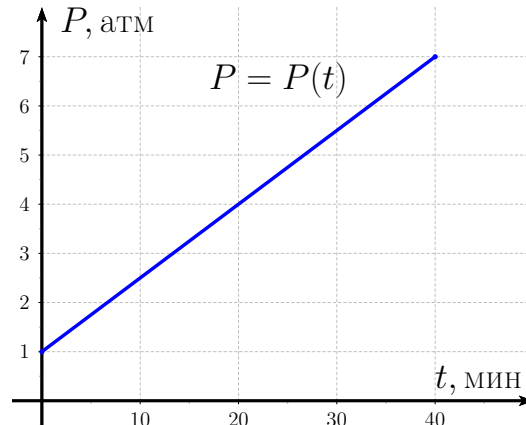
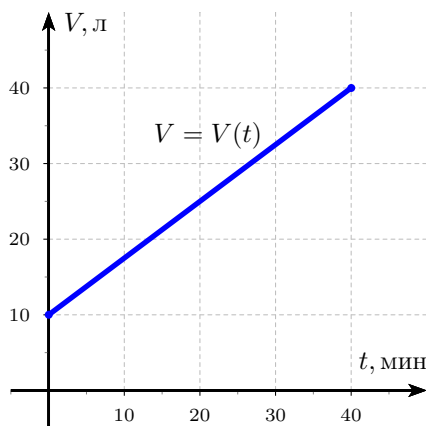
Грузовик проедет при торможении

$$S = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{25^2}{4} = 156,25 \text{ м,}$$

тогда работа силы трения $A = F \cdot S = \mu mg \cdot S = 14000 \cdot 156,25 = 2,1875 \text{ МДж.}$

Ответ: 43.

Задача 8. Давление и объем 5 моль идеального газа изменяются со временем по законам, представленным на графиках. Чему равна температура газа в момент времени $t = 20$ минут? Ответ выразите в К и округлите до целых.



Решение. В момент времени $t = 20$ мин объем равен $V_0 = 25$ л, а давление $p_0 = 4$ атм. Тогда температура газа в этот момент находится из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$T = \frac{pV}{\nu R} \approx 241 \text{ К.}$$

Ответ: 241.

Задача 9. Идеальный газ изотермически сжали, совершив над ним работу 5 Дж. Какое количество теплоты получил газ? Ответ выразите в Дж и округлите до целых.

Решение. Процесс изотермический, поэтому изменение внутренней энергии равно нулю, а тогда из 1-го начала термодинамики $Q = A_{\text{газа}} = -A_{\text{над газом}} = -5 \text{ Дж.}$

Ответ: -5.

Задача 10. Относительная влажность воздуха в цилиндре под поршнем равна 100%. После увеличения объема в 5 раз влажность упала до 50%. Каково было отношение массы воды к массе пара в начале? Ответ округлите до десятых.

Решение. В начале влажность равна 100%, под поршнем находится вода массой $m_{\text{в}}$ и пар массой $m_{\text{п}}$, объем цилиндра равен V , а давление равно давлению насыщенного пара:

$$p_{\text{н}} = \frac{m_{\text{п}}}{MV} RT.$$

В конце объем в пять раз больше исходного, а давление в два раза меньше исходного: $\varphi p_{\text{н}} = 0,5 p_{\text{н}}$. Тогда снова из уравнения состояния идеального газа:

$$\frac{5}{2} p_{\text{н}} V = \frac{m_{\text{п}} + m_{\text{в}}}{M} RT.$$

Из двух полученных уравнений получаем ответ.

Ответ: 1,5.

Задача 11. В сосуд с одним молем кислорода добавили один моль гелия, в результате чего давление увеличилось в 2 раза. Температура поддерживалась постоянной. Выберите два верных утверждения.

1. Среднеквадратичная скорость молекул увеличилась.
2. Над газом совершили работу.
3. Концентрация молекул не изменилась.
4. Внутренняя энергия газа увеличилась.
5. Парциальные давления кислорода и гелия различны.

Решение. Среднеквадратичная скорость может быть вычислена по формуле

$$v_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

Так как после добавления гелия, молярная масса смеси стала меньше, то среднеквадратичная скорость увеличилась. Из уравнений Менделеева-Клапейрона до и после добавления гелия следует, что объем сосуда не изменился. Поэтому работа равна нулю. Масса содержимого увеличилась, а объем остался неизменным, поэтому концентрация возрасла. Внутренняя энергия газа равна

$$U = \frac{i}{2} \nu RT,$$

а значит, U растёт при увеличении количества вещества и температуры. В данном случае внутренняя энергия увеличилась. Итак, правильные ответы 1 и 4.

Ответ: 14.

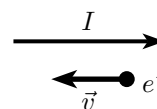
Задача 12. Лёд массой $m = 0,8$ кг поместили в сосуд при нормальном атмосферном давлении и температуре 0°C , после чего сосуд загерметизировали (нет обмена веществом) и сообщили ему 200 кДж тепла. Что случится с а) массой льда в сосуде, б) давлением воздуха в сосуде, в) объемом льда и воды в сосуде?

1. Уменьшится.
2. Увеличится.
3. Не изменится.

Решение. Подводимое тепло расходуется на плавление льда, поэтому его масса уменьшается. Удельная теплота плавления льда равна 333,5 кДж/кг при нормальном атмосферном давлении, и поэтому подведенного тепла не хватит на то, чтобы расплавить весь лёд. Суммарный объем льда и воды уменьшается, потому что плотность воды больше плотности льда. Как следствие, давление воздуха в сосуде уменьшается, поскольку объем, занимаемый воздухом, увеличивается.

Ответ: 121.

Задача 13. Электрон имеет скорость, направленную горизонтально вдоль прямого длинного проводника с током I (см. рисунок). Какие силы и в каком направлении действуют на электрон?



1. Сила Лоренца, вертикально вверх в плоскости рисунка.
2. Сила Лоренца, перпендикулярно плоскости рисунка, “на нас”.
3. Сила Ампера, перпендикулярно плоскости рисунка, “на нас”.
4. Сила Ампера, вертикально вниз в плоскости рисунка.

Решение. Действует сила Лоренца, а не сила Ампера, поскольку речь идёт о заряженной частице, а не о проводнике с током. Магнитное поле в области, где находится электрон, направлено перпендикулярно плоскости рисунка в направлении «от нас». По правилу правой руки устанавливаем,

что сила, действующая на электрон, направлена вверх.

Ответ: 1.

Задача 14. Идеальный вольтметр и три резистора сопротивлениями 5, 10, 12 Ом и включены последовательно в электрическую цепь, содержащую источник с напряжением 5 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом. Каковы показания вольтметра? Ответ дайте в В и округлите до целых.

Решение. Идеальный вольтметр имеет бесконечное сопротивление. Ток в цепи не будет, а вольтметр покажет 0 В.

Ответ: 0.

Задача 15. Луч света падает в прозрачный сосуд с водой из болота под углом 32° к вертикали. Затем сосуд с болотной водой заменяют на такой же со сладким чаем. Показатель преломления болотной воды 1,45, чая 1,34. Найти угол между лучом, отраженным от болотной воды, и лучом, преломленным в чае. Ответ выразить в градусах, округлив до целых.

Решение. Угол отражения равен углу падения, поэтому угол между отраженным от болотной воды лучом и горизонталью, равен $90^\circ - 32^\circ = 58^\circ$. По закону Снеллиуса находим угол β между вертикалью и преломленным в чае лучом: $1 \cdot \sin(32^\circ) = 1,34 \cdot \sin \beta$, откуда $\beta \approx 23,3^\circ$. Тогда искомый угол равен $90^\circ - \beta + 58^\circ \approx 125^\circ$.

Ответ: 125.

Задача 16. Дарья, страдающая близорукостью, за завтраком случайно уронила линзу в мёд с показателем преломления 1,63. Не потеряв самообладания и достав линзу, она снова уронила ее в минеральную воду с показателем преломления 1,31. Показатель преломления линзы 1,54. Выберите три неверных утверждения о характере изменений в системе “линза-окружающая среда” (состояние 1 — “линза-мёд”, состояние 2 — “линза-вода”).

1. F линзы в воду больше, чем в мёде;
2. F линзы в мёде больше, чем в воде;
3. Линза была собирающей в воздухе и стала рассеивающей в воде;
4. Линза была рассеивающей в воздухе и осталась рассеивающей в воде;
5. Линза была рассеивающей в воздухе и осталась рассеивающей в мёде.

Решение. Используем формулу

$$D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

и найдем (считая радиусы неизменными), что для меда

$$(n - 1) = \left(\frac{n_{\text{линзы}}}{n_{\text{мёда}}} - 1 \right) = -0,0552.$$

Для воды аналогичное выражение равно 0,1755. Так как фокусное расстояние $F = \frac{1}{D}$, имеет место неравенство $F_{\text{мед}} > F_{\text{вода}}$. Утверждение 2, очевидно верно. Утверждение 3 неверно, так как линза не была собирающей в воздухе, при близорукости используют рассеивающие линзы. Утверждение 4 верно, так как в случае с водой относительный показатель преломления $n > 1$, как и в случае с воздухом, поэтому знак F для линзы в воздухе и для линзы в воде один и тот же. Утверждение 5 неверно: для линзы в мёде относительный показатель преломления n станет меньше единицы, значит, и знак F поменяется.

Ответ: 135.

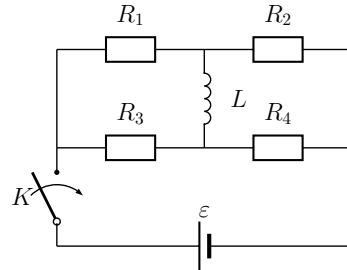
Задача 17. Луч света падает на границу раздела “вода-стекло”. Показатель преломления воды равен 1,33, стекла 1,5. Как изменятся при увеличении показателя преломления стекла следующие три величины: а) длина волны света в стекле, б) угол преломления, в) скорость света в воде?

1. Уменьшится.
2. Увеличится.
3. Не изменится.

Решение. Длина волны в среде выражается формулой $\lambda = \frac{c}{n\nu}$. С ростом n уменьшается длина волны. Из закона Снеллиуса $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$ следует, что с ростом n_2 угол преломления β уменьшается. Конечно, от показателя преломления стекла скорость света в воде никак не зависит.

Ответ: 113.

Задача 18. Электрическая цепь (см. рисунок) состоит из источника напряжения ε , резисторов сопротивлением R_1, R_2, R_3, R_4 и катушки с индуктивностью L . В начале ключ K разомкнут. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.



Физическая величина	Формула
А) Максимальный ток через катушку после замыкания ключа	1) $\frac{\varepsilon}{R_3 + R_1}$
Б) Ток через R_1 сразу после замыкания ключа	2) $\frac{ R_2 R_3 - R_1 R_4 }{R_1 R_3 (R_2 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_3)} \varepsilon$
	3) $\frac{\varepsilon}{R_3 + R_4}$
	4) $\frac{ R_2 R_3 - R_1 R_4 }{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)} \varepsilon$

Решение. Сразу после замыкания ключа ток через катушку не течет. Из закона Ома для участка цепи получим, что

$$I_{R_1} = \frac{\varepsilon}{R_3 + R_4}.$$

Ток через катушку максимален в установившемся режиме. Тогда цепь можно представить, как последовательное соединение параллельно соединенных резисторов, и ток по внешней цепи равен

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_0}, \text{ где } R_0 = (R_1 || R_3) + (R_2 || R_4).$$

Обозначим ток через катушку I_5 , а ток через i -ый резистор I_i . Тогда $I_5 = I_1 - I_2$. Выразим I_1 и I_2 , учитывая, что $I_1 + I_3 = I_0$ и $I_1 R_1 = I_3 R_3$:

$$I_1 = \frac{R_3 I_0}{R_1 + R_3}.$$

Аналогично,

$$I_2 = \frac{R_4 I_0}{R_4 + R_2}.$$

Тогда

$$I_5 = \frac{R_3 I_0}{R_1 + R_3} - \frac{R_4 I_0}{R_4 + R_2}.$$

Подставив I_0 , получим искомый ответ.

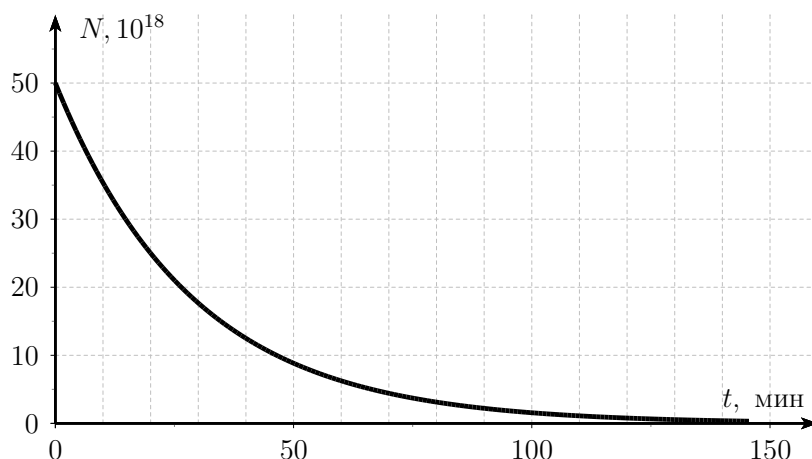
Ответ: 23.

Задача 19. Ядро ${}_{92}^{235}\text{U}$ образовалось после того, как элемент X поглотил нейтрон и испытал два последовательных бета-распада и альфа-распад. Найдите число протонов и нейтронов элемента X . Запишите их в качестве ответа друг за другом без пробелов и запятых — сначала число протонов, затем число нейтронов.

Решение. ${}_Z^AX + {}_0^1n = {}_{92}^{235}\text{U} + 2e^- + {}_2^4\text{He}$, то есть $Z = 92 + 2 - 2 = 92$, а $A = 235 - 1 + 4 = 238$.

Ответ: 92238.

Задача 20. График зависимости количества частиц от времени в процессе распада ядер некоторого элемента представлен на рисунке. Найти постоянную распада. Ответ выразите в 10^{-5} с^{-1} и округлите до целых.



Решение. Постоянная распада равна $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, где $T_{1/2} = 20$ мин, откуда находим $\lambda \approx 58 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Ответ: 58.

Задача 21. Как изменяются при одном α -распаде и трех β -распадах ядра следующие три его характеристики: а) число нуклонов, б) число протонов, в) число нейтронов?

1. Не изменится.
2. Увеличится.
3. Уменьшится.

Решение. При α -распаде число протонов уменьшается на 2, число нейтронов тоже уменьшается на 2, а при β -распаде число протонов увеличивается на 1, а число нейтронов остается неизменным, так что суммарно число протонов увеличится на 1, число нейтронов уменьшится на 2, число нуклонов уменьшится на 1.

Ответ: 323.

Задача 22. В столовой неизвестного института буфетчицу заподозрили в жульничестве. В меню написано что каждый пирожок с мясом должен весить 105 г. Купив 12 пирожков, студенты заподозрили неладное и взвесили пакет с ними на весах с погрешностью 1 г. Масса пакета оказалась 1249 г. Правдиво ли описание в меню в пределах погрешности? Выписать подряд полученную массу пирожка с погрешностью в граммах.

Решение. Масса одного пирожка 105 ± 1 , тогда масса 12-ти пирожков (1260 ± 12) . Поскольку значение 1249 лежит в пределах погрешности, описание правдиво.

Ответ: 105 ± 1 .

Задача 23. Ленивый студент хочет определить коэффициент трения скольжения тетради по деревянной парте. Для этого он прикрепил к тетради крючок. Какие три предмета из приведённого

ниже перечня оборудования не нужно дополнительно использовать для проведения этого эксперимента:

1. деревянная парта;
2. динамометр;
3. мензурка;
4. весы;
5. линейка?

Решение. Для определения коэффициента трения нужно знать значение силы, при которой происходит скольжение, а для этого используется динамометр. Разумеется, нужна и парта. Остальные предметы не требуются.

Ответ: 345.

Задача 24. Выберите одно или несколько утверждений, которые соответствуют характеристикам звёзд.

1. Температура звезды Сириус А соответствует температуре звёзд спектрального класса О.
2. Звезда Альдебаран является сверхгигантом.
3. Средняя плотность Ригеля на порядок меньше, чем у звезды Сириус В.
4. α Центавра А принадлежит спектральному классу G.
5. Солнце имеет спектральный класс М.

Наименование звезды	Температура поверхности, K	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Средняя плотность по отношению к плотности воды
Альдебаран	3600	5,0	45,0	$7,7 \cdot 10^{-5}$
ϵ Возничего В	11000	10,2	3,5	0,33
Ригель	11200	40,0	138,0	$2 \cdot 10^{-5}$
Сириус А	9250	2,1	2,0	0,36
Сириус В	8200	1,0	0,01	$1,75 \cdot 10^6$
Солнце	6000	1,0	1,0	1,4
α Центавра А	5730	1,02	1,2	0,80

Решение. Утверждение 1 неверно, поскольку температура звезды Сириус А соответствует диапазону класса А. Утверждение 2 неверно: масса Альдебарана достаточно мала, чтобы быть сверхгигантом. Утверждение 3, очевидно, неверно. Утверждение 4 истинно. Утверждение 5 неверно, так как температура Солнца выше.

Ответ: 4.

Часть 2

Задача 25. Бутылку с водой массой $m = 2$ кг отпускают с некоторой высоты с нулевой начальной скоростью. После $t = 0,5$ секунд свободного падения она упала в тележку с гравием массой $M = 10$ кг, скользящую со скоростью $v = 5$ м/с. Какое количество теплоты выделилось при соударении?

Решение. Непосредственно перед ударом о гравий скорость бутылки равнялась $v_1 = gt = 5$ м/с. Согласно закону сохранения импульса,

$$Mv = (M + m)u, \quad \text{откуда} \quad u = \frac{M}{M + m}v = \frac{5}{6}v = \frac{25}{6} \text{ м/с},$$

где u – скорость тележки с бутылкой. Из закона сохранения энергии

$$\frac{Mv^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} = \frac{(M+m)u^2}{2} + Q$$

выражаем количество выделившегося тепла:

$$Q = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} - \frac{(M+m)u^2}{2} \approx 145,8 \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q = 45,8$ Дж.

Задача 26. Идеальный одноатомный газ в количестве $\nu = 2$ моль расширяется в процессе с постоянной молярной теплоёмкостью $c = R$, в результате чего нагревается на 10°C . Какую работу совершил газ?

Решение. Запишем первое начало термодинамики

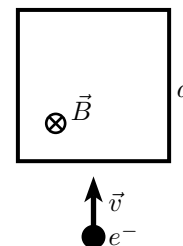
$$Q = A + \Delta U,$$

где Q — тепло, сообщённое газу, A — работа, совершённая газом, ΔU — изменение внутренней энергии газа. Пусть ΔT — изменение температуры газа. Так как $Q = \nu c \Delta T$, а $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$, то работа газа равна

$$A = Q - \Delta U = \left(1 - \frac{3}{2}\right) \nu R \Delta T = -R \Delta T \approx -83,1 \text{ Дж.}$$

Ответ: $-83,11$ Дж.

Задача 27. Электрон из состояния покоя проходит через ускоряющую разность потенциалов U , после чего попадает в однородное магнитное поле $B = 1$ мТл, как показано на рисунке (влетает ровно посередине квадрата). Сторона квадрата $d = 1$ см. При какой минимальной разности потенциалов электрон пересечет дальнюю сторону квадрата?



Решение. Пусть v — скорость, которую электрон приобретает, пройдя через разность потенциалов U , m — его масса. При попадании в область квадрата электрон начнет двигаться по окружности некоторого радиуса, который определяется из второго закона Ньютона:

$$Bve = \frac{mv^2}{R}.$$

Отсюда видим, что с увеличением скорости растет радиус. Тогда минимальной ускоряющей разности потенциалов будет соответствовать окружность, пересекающая середину нижней стороны и одну из верхних вершин квадрата. По теореме Пифагора

$$R^2 = \left(R - \frac{d}{2}\right)^2 + d^2,$$

откуда $R = 5d/4$. Тогда

$$v = \frac{BeR}{m} = \frac{5Bed}{4m}.$$

Из закона сохранения энергии $mv^2/2 = eU$ найдём искомую разность потенциалов:

$$U = \frac{25B^2e}{32m}d^2 = 13,6 \text{ В}$$

Ответ: 13,6 В.

Задача 28. Спичку обмотали медной проволокой настолько, чтобы она плавала, полностью погрузившись в воду. Такую спичку поместили в заполненную водой пластиковую бутылку и закрыли крышкой. После сжатия бутылки спичка начала тонуть. Объяснить явление, опираясь на известные вам законы физики.

Решение. Пусть ρ_v — плотность воды, а ρ_c — плотность обмотанной медной проволокой спички. Спичка плавает, пока выполняется условие $\rho_v > \rho_c$. При нажатии на бутылку спичка начала тонуть, а значит либо уменьшилась плотность воды ρ_v , либо увеличилась плотность спички ρ_c . Первое не может произойти. Значит, произошло второе: воздушная древесная прослойка частично заполнилась водой под действием внешнего давления по закону Паскаля, сам же воздух сжался. В результате плотность спичка возросла, и она начала тонуть.

Задача 29. Тормозная колодка $ABDE$ прижата силой $F = 30$ Н к шкиву, вращающемуся против часовой стрелки. Пусть $AB = 10$ см, $AE = 20$ см, $BC = 5$ см. Найдите силу трения f между колодкой и шкивом в случае, когда $\mu = 0,3$.

Решение. Запишем теорему об изменении кинетического момента относительно неподвижной точки A для колодки. В равновесии главный момент всех сил равен нулю, поэтому сумма моментов сил, стремящихся повернуть колодку в одну сторону, равна сумме моментов, стремящихся повернуть колодку в другую сторону, тогда

$$F \cdot AE + f \cdot AB = N \cdot BC.$$

В случае проскальзывания сила трения по закону Кулона–Амонтона достигает своего максимального значения и равняется силе трения скольжения

$$f_{\text{ск}} = \mu N.$$

Из предыдущих равенств получаем выражение для силы трения

$$f_{\text{ск}} = \frac{F \cdot AE}{BC/\mu - AB}$$

В случае $\mu = 0,3$ получаем $f = 3F = 90$ Н.

Ответ: 90 Н.

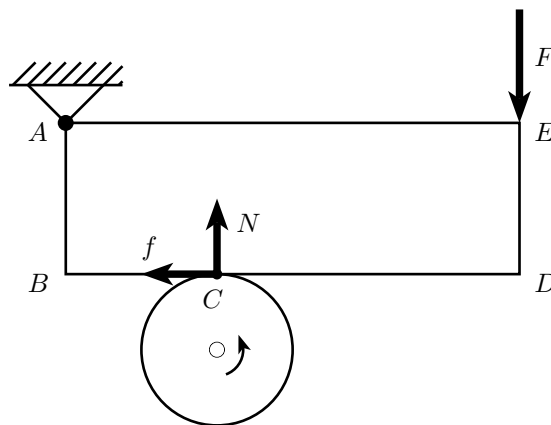
Задача 30. Двухатомный идеальный газ в количестве $\nu = 1$ моль совершает цикл $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, где $1 \rightarrow 2$ — изохора, $2 \rightarrow 3$ — адиабата, $3 \rightarrow 1$ — изотерма. В процессе $3 \rightarrow 1$ к газу подвели тепло $Q = 3$ кДж. Известно, что $p_2 = 2p_1$ и $T_1 = 400$ К. Какую работу совершил газ за цикл?

Решение. Пусть A_{12} , A_{23} , A_{31} — работа, совершённая газом в процессах $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$ и $3 \rightarrow 1$ соответственно. В силу аддитивности работы суммарная работа газа за цикл равна

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31}.$$

Процесс $1 \rightarrow 2$ изохорный, тогда $A_{12} = 0$. Из первого начала термодинамики легко установить, что $A_{31} = Q$ и

$$A_{23} = -\Delta U_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_3),$$



где ΔU_{23} — изменение внутренней энергии газа в процессе $2 \rightarrow 3$. Остается найти $T_2 - T_3$. Так как $3 \rightarrow 1$ — изотерма, то $T_3 = T_1$. Так как $1 \rightarrow 2$ — изохора, то

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 2.$$

Окончательно имеем

$$A = Q - \Delta U_{23} = Q + \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_3) = 3 + \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot 0,4 \text{ кДж} = 11,31 \text{ Дж}.$$

Ответ: 11,31 Дж.

Задача 31. Цилиндрический медный проводник длиной $l_1 = 10$ м последовательно соединён с цилиндрическим алюминиевым проводником длиной $l_2 = 20$ м. К получившейся системе приложили разность потенциалов $U = 35$ В. Площадь сечения каждого провода равна $S = 10 \text{ мм}^2$. Какова мощность потерь в алюминиевом проводнике? Удельные плотности меди и алюминия равны $\rho_1 = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ и $\rho_2 = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ соответственно.

Решение. Пусть R_1 и R_2 — сопротивления медного и цилиндрического проводников соответственно. Выразим сопротивление проводников через их длины и площадь сечения: $R_1 = \rho_1 l_1 / S$ и $R_2 = \rho_2 l_2 / S$. Пользуясь законом Ома, найдём выделяемую на алюминиевом проводнике мощность:

$$P = I^2 R_2 = \frac{U^2}{(R_1 + R_2)^2} R_2 = U^2 \frac{S \rho_2 l_2}{(\rho_1 l_1 + \rho_2 l_2)^2} = 12,7 \text{ кДж/с}.$$

Ответ: 12,7 кДж/с.

Задача 32. Телега с водой движется с ускорением $a = 0,2 \text{ м/с}^2$. Луч света падает под углом 45° к горизонтالي (по направлению движения телеги). Каким будет угол между горизонталью и преломленным лучем?

Решение. Угол между горизонталью и поверхностью воды равен

$$\alpha = \arctg \frac{a}{g} \approx \frac{a}{g} = 11,5^\circ.$$

Тогда угол падения между перпендикуляром к поверхности воды и падающим лучом равен

$$\beta = 45^\circ + \alpha \approx 56,5^\circ.$$

Из закона Снеллиуса находим угол γ между преломленным лучом и перпендикуляром к поверхности воды:

$$1 \cdot \sin \beta = n \cdot \sin \gamma \implies \gamma = \arcsin \frac{\sin \beta}{n} \approx 38,7^\circ.$$

Угол преломленного луча с горизонталью равен

$$\phi = 90^\circ - (\gamma - \alpha) \approx 62,8^\circ$$

Ответ: $62,8^\circ$.