Олимпиады школьников по физике, проводимые физическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова традиционно участвует в организации и проведении олимпиад школьников по физике «Ломоносов», «Покори Воробьевы горы!», Московской олимпиады школьников и олимпиады «Робофест».

В проекте Перечня олимпиад школьников на 2025-2026 учебный год этим олимпиадам присвоены следующие уровни:

- Московская олимпиада школьников по физике – уровень 1;
- «Ломоносов» по физике – уровень 1;
- «Покори Воробьевы горы!» – уровень 1;
- «Робофест» по физике – уровень 2.

Традиционно, при поступлении на физический факультет МГУ, победители олимпиад 1 и 2 уровней, а также призеры олимпиад 1 уровня зачисляются без вступительных испытаний. Призеры олимпиад 2-го уровня получают 100 баллов за дополнительное вступительное испытание по физике.

Особые права, предоставляемые победителям и призерам олимпиад школьников, включенных в Перечень олимпиад школьников на 2025/26 учебный год, поступающим на физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова в 2026 году будут объявлены в январе 2026 года.

В 2025 г. на физический факультет было зачислено 500 человек, 99 из них являются победителями и призерами олимпиад школьников, что составляет 19,8 % от общего числа зачисленных на 1-й курс абитуриентов. Из них пятая часть являются победителями и призерами олимпиад школьников, проводимых физическим факультетом.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ» 2024/2025 по ФИЗИКЕ

В 2024/2025 учебном году олимпиада «Ломоносов» по физике в МГУ проводилась в два этапа – отборочный и заключительный. Отборочный этап проходил в дистанционном формате. Победители и призеры отборочного этапа были допущены для участия в заключительном этапе, который проходил очно. Ниже приводятся примеры заданий для участников отборочного и заключительного туров олимпиады.

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП
олимпиады школьников «Ломоносов» 2024-2025 года по физике

Задание для 7–9 классов

1. Мальчик пошел ловить рыбу на речку. Он захватил принадлежности для ловли, в частности поплавок в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами $a = 1$ см, $b = 1$ см, $c = 10$ см, изготовленный из пластика без полостей. К нему со стороны меньшего основания привязана леска таким образом, что при закидывании в воду большее ребро находится всегда вертикально. Известно, что при закидывании поплавка с грузиком сила натяжения лески составляет $F = 0{,}01$ Н, а поплавок выступает над поверхностью воды на $l = 2$ см. Найти плотность пластика. Считайте, что леска вертикальна и ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

Решение. Объем поплавка: $V = abc$. Объем погруженной части поплавка $V_п =$ $= ab(c - l)$. Запишем второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось:

$$0 = F + mg - F_A,$$

где m – масса поплавка, F_A – сила Архимеда, действующая на поплавок. Данные величины определяются соотношениями:

$$m = \rho_п V,$$

$$F_A = \rho_в g V_п,$$

где $\rho_п$, $\rho_в$ – плотности пластика и воды соответственно. Подставив данные соотношения во второй закон Ньютона получим исходную плотность пластика:

$$\rho_п = \frac{\rho_в ab(c-l)g - F}{abcg} = 700 \text{ кг}/\text{м}^3 .$$

2. На соревнованиях по бегу спортсмен под стартовым номером 1 избрал следующую тактику забега. Первую половину дистанции он бежал со скоростью $v = 1{,}0$ м/с. В оставшейся части забега первую половину времени спортсмен бежал со скоростью $2v$, а последний участок дистанции – со скоростью $3v$. Спортсмен под стартовым номером 2 решил весь забег бежать с одной скоростью. С какой скоростью бежал спортсмен № 2, если оба бегуна прошли дистанцию за одинаковое время? Ответ дать в м/с и округлить до сотых.

Решение

Разобьем весь путь на участки, где скорость постоянна. На второй половине пути время движения со скоростью $2v$ и $3v$ одинаково, обозначим пути $2S$ и $3S$ соответственно. Тогда первую половину пути обозначим $5S$.

Найдем среднюю скорость движения первого бегуна как отношение пути на всей дистанции к общему времени забега:

$$v_{1\text{ср}} = \frac{5S+2S+3S}{t_1+t_2+t_3} = \frac{5S+2S+3S}{\frac{5S}{v}+\frac{2S}{2v}+\frac{3S}{3v}} = \frac{10v}{7}.$$

Второй бегун движется к финишу с постоянной скоростью. Чтобы спортсмены финишировали одновременно, второй спортсмен должен двигаться со скоростью

$$v_2 = v_{1\text{ср}} = \frac{10v}{7} = 1,43 \text{ м/с}$$

3. Дедушка в очень жаркий летний день решил сварить морс любимому внуку, затем поставил на стол кувшин с морсом, положив туда 5 одинаковых кусочков льда массой $m_1 = 10$ г каждый. Масса морса равна $m_2 = 500$ г, масса кувшина $m_3 = 600$ г, а лёд, кувшин и морс первоначально находились в состоянии теплового равновесия при температуре 0 °С. Сразу после того, как весь лёд растаял, масса морса в кувшине стала равна $m_4 = 541$ г. Какое количество теплоты было получено из окружающей среды всем содержимым кувшина? Удельная теплота кристаллизации морса при 0°С λ = 330 кДж/кг, удельная теплота парообразования морса при 0°С L = 2500 кДж/кг, удельные теплоемкости морса и кувшина равны $c_\text{м} = 4200$ Дж/(кг·°С) и $c_\text{к} = 900$ Дж/(кг·°С) соответственно. Ответ дать в кДж.

Решение

В кувшине с течением времени плавился лед, поэтому температура кувшина и его содержимого не менялась и была равна 0°С. Так как морс и кувшин имеют температуру 0°С, то они не получают из окружающей среды количество теплоты и не изменяют свою температуру.

Найдем количество теплоты, полученное кусочками льда от окружающей среды, при плавлении:

$$Q_1 = 5\lambda m_1.$$

Первоначальная масса содержимого кувшина была равна $m_2 + 5m_1 = 550$ г, а после того, как весь лед растаял, стала равна m_4. По закону сохранения массы можно сделать вывод, что масса $m_2 + 5m_1 - m_4$ содержимого кувшина испарилась при 0°С. При этом количество теплоты, полученное от окружающей среды при испарении содержимого кувшина, равно:

$$Q_2 = L(m_2 + 5m_1 - m_4).$$

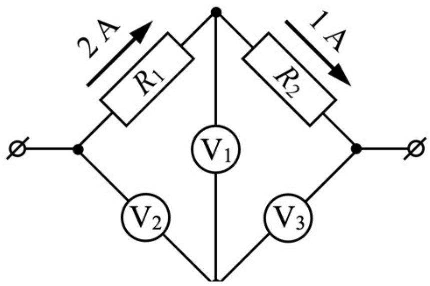
Тогда общее количество теплоты равно:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 5\lambda m_1 + L(m_2 + 5m_1 - m_4).$$

Искомое количество теплоты будет равно:

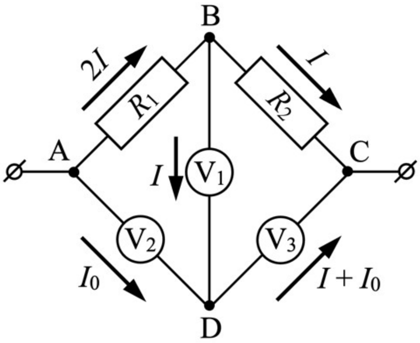
$$Q = 5\lambda m_1 + L(m_2 + 5m_1 - m_4) = 39 \text{ кДж}.$$

4. Участок цепи, показанный на рисунке, состоит из трех одинаковых вольтметров V_1, V_2 и V_3 и двух резисторов с сопротивлениями R1 = 1 Ом и $R_2 = 3R_1$. Известно, что через резистор R_1 и R_2 протекают токи 2 А и 1 А соответственно. Найти показания вольтметра V_3. Ответ дать в В с точностью до десятых.



Решение

Обозначим $I = 1$ А силу тока через резистор R_2 и $2I$ силу тока через резистор R_1. Вольтметры одинаковые, обозначим их внутреннее сопротивление R_0. Через вольтметр V_1 течет ток I вниз. Токи через вольтметры V_2 и V_3 обозначены на рисунке.



Напряжения на участках AD и BC:

$$U_{AD} = 2I\,R_1 + IR_0 = I_0 R_0,$$

$$U_{BC} = I\,R_2 = IR_0 + (I + I_0)R_0.$$

Подставим $I_0 R_0$ из первого уравнения во второе, учитывая, что $R_2 = 3R_1$:

$$3I\,R_1 = IR_0 + IR_0 + 2IR_1 + IR_0 \Rightarrow R_0 = \frac{R_1}{3}.$$

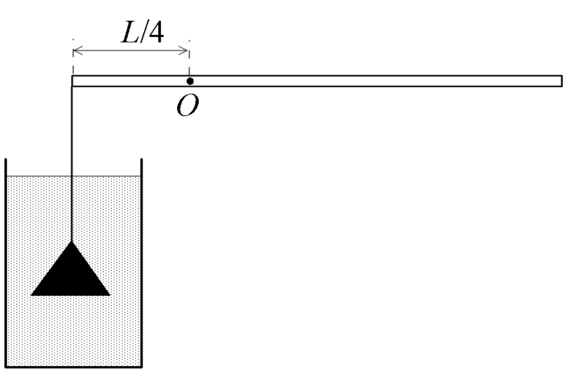
Тогда сила тока I_0 равна:

$$I_0 = \frac{I(2R_1 + R_0)}{R_0} = I\left(\frac{2R_1}{R_0} + 1\right) = 7I = 7 \text{ А}.$$

Напряжение на вольтметре V_3 равно:

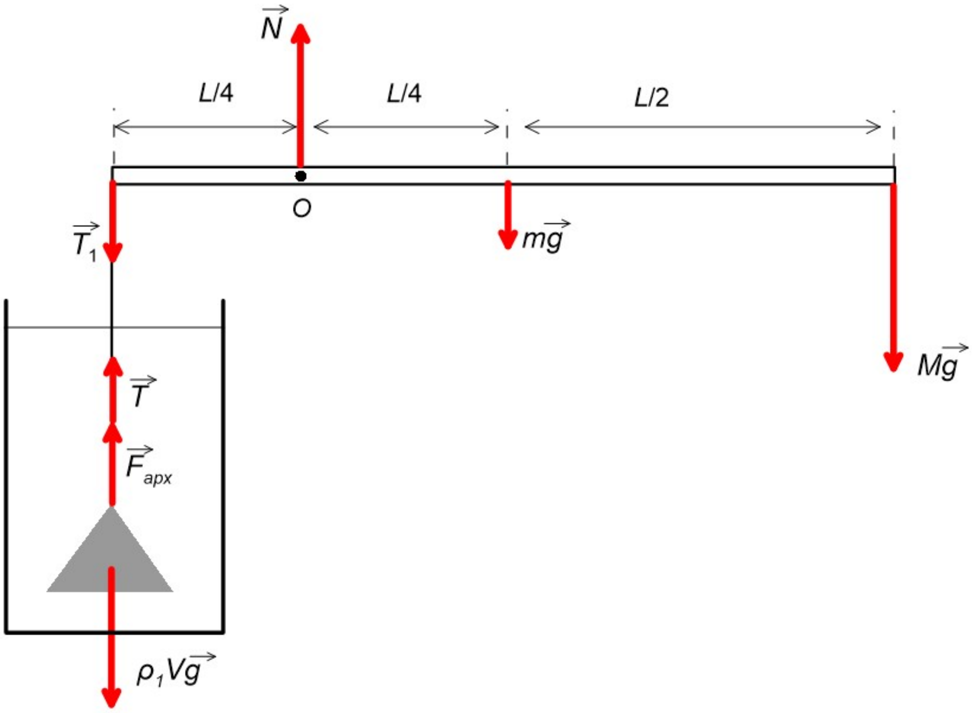
$$U_3 = (I + I_0)R_0 = \frac{8I\,R_1}{3} = 2{,}7 \text{ В}.$$

5. Однородное тело, имеющее форму правильного тетраэдра с ребром $a = 0{,}22$ м, подвешено за одну из своих вершин на невесомой и нерастяжимой нити к левому концу стержня длины L и массой $m = 0.5$ кг. При этом оно полностью погружено в воду, не касаясь стенок сосуда. Стержень может свободно вращаться вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку O, отстоящей на расстоянии $L/4$ от его левого края. Найти минимальную массу груза M, который необходимо подвесить к



стержню, чтобы он сохранял свое горизонтальное положение. Плотность воды принять равной $\rho = 1000$ кг/м^3, плотность тела – $\rho_1 = 7700$ кг/м^3. Стержень считать однородным. Ответ дать в килограммах, округлив до сотых.

Решение



Условие минимальности массы M груза, будет выполняться, если данный груз будет подвешен к правому концу стержня. На рисунке, представлены силы, действующие на тела, составляющие систему для данного случая. Объём правильного тетраэдра с ребром a определяется формулой $V = a^3\sqrt{2}/12$. Поэтому условие равновесия тела, погруженного в воду, в проекции на вертикальную ось, может быть записано в виде:

$$T = \rho_1 Vg - F_{apx};\Rightarrow T = (\rho_1 - \rho)g\frac{\sqrt{2}}{12}a^3;$$

Так как нить невесома, то $|\vec{T}_1| = |\vec{T}| = T$. Запишем уравнение моментов сил, действующих на стержень, относительно оси O:

$$T\frac{L}{4} = mg\frac{L}{4} + Mg\frac{3L}{4};\Leftrightarrow (\rho_1 - \rho)\frac{\sqrt{2}}{12}a^3 = m + 3M;$$

Откуда получаем выражение для минимальной массы M:

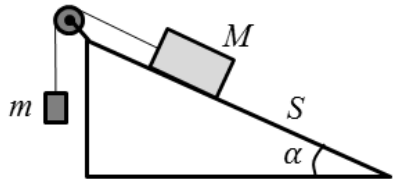
$$M = \frac{1}{3}\left[(\rho_1 - \rho)\frac{\sqrt{2}}{12}a^3 - m\right]$$

С учетом численных значений, имеем расчётную. формулу:

$$M = \frac{1}{3}\left[1675\cdot\frac{\sqrt{2}}{3}a^3 - 0,5\right] = 2,64 \text{ кг.}$$

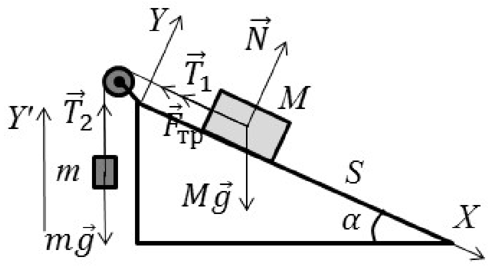
Задание для 10 класса

1 (20 баллов). Брусок массой M находится на неподвижной шероховатой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^o$ на расстоянии $S = 0,8$ м от её основания. Он удерживается от скольжения при помощи невесомой и нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок, трение в оси которого отсутствует. К другому концу нити подвешен груз массой m (см. рисунок). Экспериментально установлено, что брусок остаётся неподвижным при массах груза в диапазоне от $m_1 = 300$ г до $m_2 = 660$ г. В определённый момент времени нить пережигают. Определите, за какое время τ брусок достигнет основания наклонной плоскости. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с^2. Ответ представить в секундах, округлив до сотых долей.



Решение

Отметим все силы, действующие на брусок и груз, и введем координатные оси, как показано на рисунке. На покоящийся брусок, помимо силы тяжести и силы натяжения нити T, действует ещё сила реакции опоры. Её касательная составляющая – сила трения покоя. Модуль этой силы может меняться от 0 до максимального значения, равного силе трения скольжения $F_{тр.ск} = \mu N$, где μ – коэффициент трения бруска о наклонную плоскость, N – нормальная составляющая силы реакции опоры. Очевидно, что при массе подвешенного груза $m = m_1$ сила трения покоя направлена вдоль наклонной плоскости вверх (как отмечено на рисунке) и равна по модулю μN. Такая же по модулю сила, но направленная вдоль наклонной плоскости вниз, будет действовать при массе груза $m = m_2$. Модуль нормальной составляющей силы реакции опоры равен при этом $N = Mg\cos\alpha$, т.к. брусок не имеет ускорения вдоль оси Y. Учтём, что из условия невесомости блока и нити, отсутствия трения в оси блока, а также неподвижности подвешенного груза, следует, что $T_1 = T_2 = mg$. Исходя из этого, запишем второй закон Ньютона для бруска в проекции на ось X для случаев, когда массы грузов равны m_1 и m_2:



$$0 = Mg\sin\alpha - \mu Mg\cos\alpha - m_1 g\ ;$$

$$0 = Mg\sin\alpha + \mu Mg\cos\alpha - m_2 g\ .$$

Вычитая и складывая эти два уравнения, получим:

$$2Mg\sin\alpha = (m_1 + m_2)g\ ,$$

$$2\mu Mg\cos\alpha = (m_2 - m_1)g\ .$$

Поделив равенства друг на друга, найдём коэффициент трения μ:

$$\mu = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)\cdot \text{tg}\alpha\ .$$

После того как нить пережгли, уравнение движения бруска имеет вид:

$$Ma = Mg\sin\alpha - \mu Mg\cos\alpha .$$

Отсюда получим ускорение, с которым будет скользить брусок:

$$a = g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha = g\left(\sin\alpha - \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\cdot \mathrm{tg}\alpha \cdot \cos\alpha\right) = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}\cdot g\sin\alpha .$$

Расстояние S, которое преодолеет брусок, двигаясь с нулевой начальной скоростью, связано с ускорением и временем законом равнопеременного движения:

$$S = \frac{a\tau^2}{2} .$$

Отсюда получаем, что искомое время τравно:

$$\tau = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 g\sin\alpha} S} .$$

Ответ: $\tau = \sqrt{\dfrac{m_1 + m_2}{m_1 g\sin\alpha} S}$

2 (20 баллов). Шар массы $2M$ бросают вертикально вверх, сообщая ему скорость υ_0 = 2,0 м/с. К шару привязан груз массы M с помощью невесомой нерастяжимой нити длиной l = 0,1 м. В момент броска шар и груз находятся практически в одной точке. Через какое время τ после броска эти тела встретятся? Ускорение свободного падения принять равным g = 10 м/с^2.Ответ представить в миллисекундах, округлив до целых.

Решение

Взаимодействие тел в момент натяжения нити происходит по законам упругого удара.Скорость шара в начале этого взаимодействия v_1 определяется из известного соотношения для равнопеременного движения с начальной скоростью v_0:

$$\upsilon_1^2 = \upsilon_0^2 - 2gl . \tag{1}$$

Скоростьυ_1 отсюда равна, очевидно $\upsilon_1 = \sqrt{\upsilon_0^2 - 2gl}$.

Для абсолютно упругого удара из законов сохранения импульса и кинетической энергии следуют равенства:

$$2M\upsilon_1 = 2M\upsilon_2 + Mu, \tag{2}$$

$$2M\upsilon_1^2 = 2M\upsilon_2^2 + Mu^2 , \tag{3}$$

где υ_2 и u скорости шара и груза после взаимодействия. Решая уравнения (2) и (3), получаем для этих скоростей результаты $\upsilon_2 = v_1/3$ и $u = 4\upsilon_1/3$. Второе, формально существующее решение системы уравнений (2) и (3), соответствует отсутствию соударения шаров – больший шар не меняет скорости ($\upsilon_2 = \upsilon_1$), а меньший так и остаётся в покое ($u = 0$).

Если тела встречаются на расстоянии x от точки бросания спустя время τ после начала движения шара, то

$$\tau = \tau_1 + \tau_2, \tag{4}$$

где τ_1 – время движения шара до взаимодействия, τ_2 – время сближения шара и груза после него. При этом для равнопеременного движения шара из точки бросания с начальной скоростью v_0до момента взаимодействия можно записать:

$$l = \frac{v_0 + v_1}{2} \cdot \tau_1 . \qquad (5)$$

Закон движение шара с начальной скоростью v_2 после взаимодействия до встречи с грузом:

$$x = l + v_2\tau_2 - \frac{g\tau_2^2}{2} . \qquad (6)$$

Закон движения груза до момента встречи с шаром:

$$x = u\tau_2 - \frac{g\tau_2^2}{2} . \qquad (7)$$

Используя равенства (5) и (1), и избавляясь от иррациональности в знаменателе, для времени τ_1 получим:

$$\tau_1 = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gl}}{g} .$$

А приравнивая правые части равенств (6) и (7), и используя значения скоростей v_2и u, находим и время τ_2:

$$\tau_2 = \frac{l}{u - v_2} = \frac{l}{4v_1/3 - v_1/3} = \frac{l}{v_1} = \frac{l}{\sqrt{v_0^2 - 2gl}} .$$

В итоге, складывая эти результаты, окончательно получаем ответ задачи:

$$\tau = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gl}}{g} + \frac{l}{\sqrt{v_0^2 - 2gl}} .$$

Ответ: $\tau = \dfrac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gl}}{g} + \dfrac{l}{\sqrt{v_0^2 - 2gl}}$.

3 (20 баллов). Расположенная вертикально закрепленная U-образная трубка с открытыми коленами и постоянным сечением частично заполнена ртутью. Одно из колен герметично закрывают сверху, а в другое доливают слой ртути высотой l = 5 см. После установления равновесия воздушный столбик в закрытом колене имеет высоту L= 13 см. Найдите изменение уровня ртути в открытом колене относительно начального положения. Известно, что опыт проводился при постоянной температуре, а высота столбика ртутного барометра, показывающего атмосферное давление, во время его проведения также была неизменной и составляла H_0 = 74 см. Ответ выразите в мм и округлите до десятых долей.

Решение

Пусть x – искомое изменение, y – смещение уровня в закрытом колене (см. рисунок), ρ – плотность ртути, S – площадь поперечного сечения трубок. С учётом условия задачи атмосферное давление удобно записать так: $p_0 = \rho g H_0$, где H_0 = 74 см. По условию: $x + y = l$.

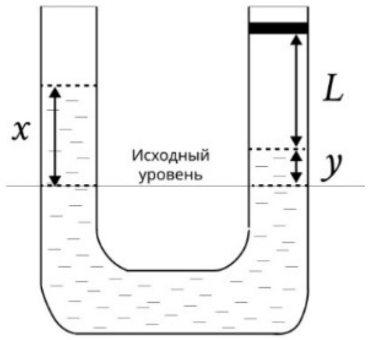
Запишем равенство давлений на исходном уровне после установления равновесия:

$$\rho g H_0 + \rho g x = p_1 + \rho g y,$$

где p_1 – конечное давление воздуха в закрытом колене.

Произведение давления и объёма постоянно для изотермического процесса сжатия порции воздуха в закрытом правом колене, т.е.

$$\rho g H_0 (L + y) S = p_1 L S .$$



Из записанных уравнений найдём искомое изменение положения уровня ртути:

$$x = \frac{H_0 + L}{2L + H_0} \cdot l .$$

Ответ: $x = \dfrac{H_0 + L}{2L + H_0} \cdot l$.

4 (20 баллов). В начале процесса зарядки смартфона часть мощности η_1 зарядного устройства расходуется на нагревание его аккумулятора. А при достижении аккумулятором номинального значения ЭДС $\varepsilon_{\text{ном}}$ = 4,0 В эта доля уменьшается до значения $\eta_2 = \eta_1/k$, где k=2. Определите по этим данным, насколько сильно разряжен аккумулятор, то есть отношение $\alpha = \varepsilon_1/\varepsilon_{\text{ном}}$, где ε_1 – ЭДС разряженного аккумулятора. Считать, что внутреннее сопротивление аккумулятора не меняется в процессе его зарядки, а напряжение на выходе зарядного устройства поддерживается постоянным и равным U = 5,0 В. Ответ приведите с точностью до тысячных долей.

Решение

Нагрев аккумулятора происходит в результате выделения тепла на его внутреннем сопротивлении r при протекании тока зарядки. По закону Джоуля Ленца мощность тепловыделения равна $P_r = I^2 r$. Силу протекающего через источник тока можно найти, используя закон Ома для неоднородного участка цепи. В процессе зарядки ток через аккумулятор протекает против его ЭДС, поэтому $U = \varepsilon + Ir$. При этом зарядное устройство развивает мощность $P = IU$. Доля тепловых потерь составляет, таким образом, $\eta_{1,2} = \dfrac{I_{1,2}^2 \cdot r}{I_{1,2} \cdot U} = 1 - \dfrac{\varepsilon_{1,2}}{U}$. Здесь индексами «1» и «2» обозначены силы токов и значения ЭДС аккумулятора в начале и в конце зарядке, при этом $\varepsilon_1 = \alpha \cdot \varepsilon_{\text{ном}}$ и $\varepsilon_2 = \varepsilon_{\text{ном}}$. Тогда отношение тепловых потерь k в начале и в конце процесса зарядки:

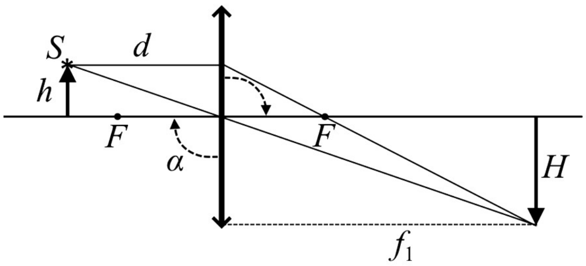
$$k = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{U - \varepsilon_1}{U - \varepsilon_2} = \frac{U - \alpha \cdot \varepsilon_{\text{ном}}}{U - \varepsilon_{\text{ном}}} .$$

Отсюда уже нетрудно найти искомую величину – отношение $\alpha = \varepsilon_1/\varepsilon_{\text{ном}}$:

$$\alpha = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{\text{ном}}} = k - (k-1) \cdot \frac{U}{\varepsilon_{\text{ном}}} .$$

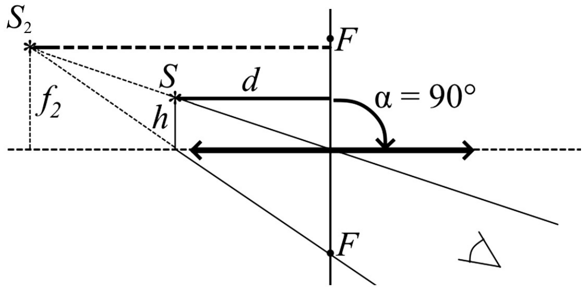
Ответ: $\alpha = k - (k-1) \cdot \dfrac{U}{\varepsilon_{\text{ном}}}$.

5 (20 баллов). Линза создает действительное изображение объекта в виде тонкой светящейся стрелки, конец которой находится в точке S (см. рисунок), с линейным увеличением $\Gamma = 2$. Изображение находится на расстоянии $f_1 = 7$ см от плоскости линзы, его длина $H = 2$ см. Линзу поворачивают на угол $\alpha = 90°$ относительно оси, проходящей через её оптический центр перпендикулярно плоскости рисунка. Источник изображения при этом остается на месте. Найдите k – отношение расстояния f_2 от нового изображения конца стрелки S_2 до плоскости линзы после её поворота к длине стрелки h($k = f_2/h$). Ответ округлить до сотых долей.



Решение

Действительное изображение может быть получено только с помощью собирающей линзы, как показано на рисунке к условию задачи. Линейное увеличение линзы $\Gamma = f_1/d$, где d и f_1 – расстояние от источника и его изображения до плоскости линзы соответственно. С учётом этого, найдём фокусное расстояние, используя формулу тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_1}$, откуда $F = \frac{f_1}{\Gamma + 1}$. Зная Γ, также определим размер источника(длину стрелки) h: $h = H/\Gamma$.



После поворота в качестве расстояния от источника S, расположенного на конце стрелки, до линзы, как раз и будет использоваться величина h. При этом линза создаёт теперь мнимое изображение источника, так как $h < F$. Новое изображение расположено на расстоянии f_2, от новой плоскости линзы (см. рисунок к решению). Запишем формулу линзы для её нового положения: $\frac{1}{F} = \frac{1}{h} - \frac{1}{f_2}$, откуда с учётом результатов для F и h найдём расстояние $f_2 = \frac{f_1 H}{\Gamma f_1 - (\Gamma + 1)H}$. Отсюда, поделив на длину стрелки h, получим ответ задачи: $k = \frac{f_2}{h} = \frac{\Gamma f_1}{\Gamma f_1 - (\Gamma + 1)H}$.

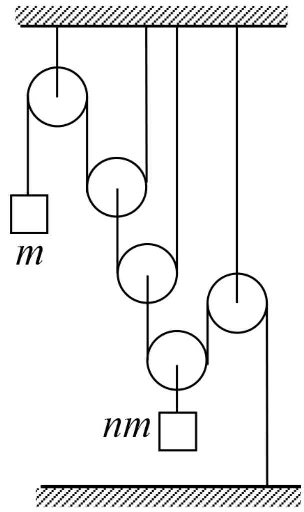
***Ответ*:** $k = \frac{f_2}{h} = \frac{\Gamma f_1}{\Gamma f_1 - (\Gamma + 1)H}$

Критерий оценивания:

Получен верный численный ответ	Полный балл
Нет верного численного ответа	0 баллов

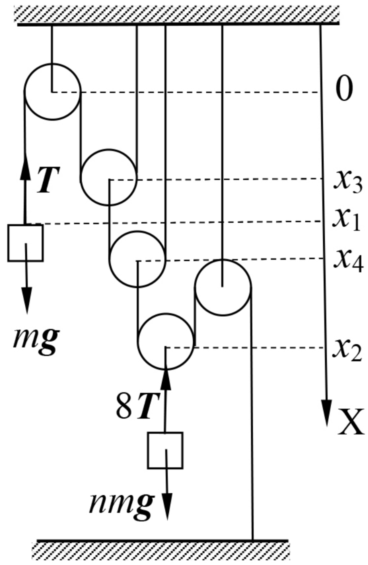
Задание для 11 класса

1 (20 баллов). Система, состоящая из двух неподвижных блоков, трех подвижных блоков и двух грузов массами *m* и *n·m*, связанных нерастяжимыми нитями, представлена на рисунке. Определите модуль ускорения груза массой *n·m,* если $n = 4$. Ответ приведите в м/с^2, округлив до тысячных долей. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с^2. Нити и блоки считайте невесомыми.



Решение

Координаты тел системы отмечены на рисунке. Уравнения кинематической связи для координат тел системы являются следствием нерастяжимости нитей:



$$x_1 + 2x_3 = const,$$
$$x_4 - x_3 + x_4 = const,$$
$$x_2 - x_4 + x_2 = const.$$

В результате двукратного дифференцирования записанных соотношений по времени, получаем уравнения кинематической связи для проекций ускорений:

$$a_1 + 2a_3 = 0,$$
$$2a_4 - a_3 = 0,$$
$$2a_2 - a_4 = 0.$$

Ускорение груза массой *nm* равно ускорению нижнего подвижного блока a_2 в силу нерастяжимости нижней нити. Исключая из последних соотношений ускорения a_3 и a_4, получаем уравнение кинематической связи для проекций ускорений грузов:

$$a_1 + 8a_2 = 0.$$

На грузы действуют силы тяжести и силы натяжения нитей. Поскольку блоки невесомы, то сила натяжения нити, прикрепленной к грузу массой *nm*, в 8 раз превышает силу натяжения нити, на которой подвешен левый груз. Запишем уравнения движения грузов в проекциях на ось X:

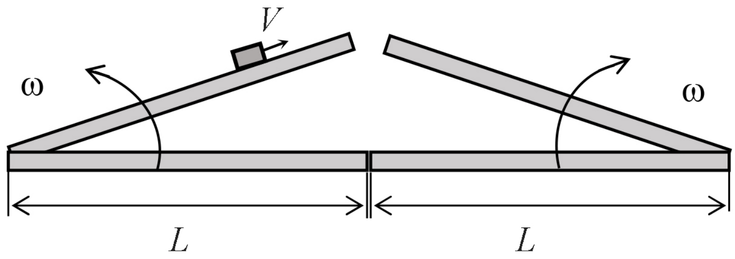
$$ma_1 = mg - T,$$
$$nma_2 = nmg - 8T.$$

Решая систему последних трех уравнений, получаем:

$$a_2 = \frac{(n-8)g}{n+64}.$$

Ответ: $a_2 = \dfrac{(n-8)g}{n+64}$.

2 (20 баллов). Мотоциклист-каскадёр придумал трюк под названием «разводной трамплин». Трамплин состоит из двух пролётов одинаковой длины, которые могут одновременно подниматься с постоянной угловой скоростью, образуя разрыв между пролётами (см. рисунок). Каскадёр рассчитал, что если пролёты трамплина начнут подниматься с угловой скоростью $\omega = 0{,}125$ рад/с в тот момент, когда он, двигаясь на мотоцикле с максимально возможной для мотоцикла скоростью, въезжает на разводную часть трамплина, и, что если далее он будет двигаться по поднимающемуся пролёту с этой скоростью, то, оказавшись у его края в тот момент, когда пролёт поднимется на угол $\alpha = 30°$, он сможет перепрыгнуть образовавшийся разрыв и приземлиться на край второго пролёта трамплина. Какова при этом должна быть длина пролёта L разводной части трамплина? Считать, что положение пролётов не меняется за время полёта мотоцикла над разрывом. Ускорение свободного падения g принять равным 10 м/с^2. Ответ выразить в метрах и округлить до десятых долей.



Решение

Учтём линейную скорость вращения края поднимающегося пролёта трамплина ωL в момент отрыва мотоциклиста от края пролёта. Введём декартову систему координат $X0Y$с началом в точке отрыва. Проекции вектора скорости мотоциклиста на оси выбранной системы координат имеют вид (здесь использованы соотношения (1) и (2)):

$$V_X = V\cos\alpha - \omega L\sin\alpha = \omega L\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha} - \sin\alpha\right),$$

$$V_Y = V\sin\alpha + \omega L\cos\alpha = \omega L\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha} + \cos\alpha\right).$$

Время полёта мотоциклиста между пролётами трамплина найдём из условия, что координата мотоциклиста $Y = V_Y t - \frac{gt^2}{2} = 0$. Откуда следует, что $t = \frac{2V_Y}{g}$.

Координата X мотоциклиста в этот момент времени, равная $X = V_X t = \frac{2V_X V_Y}{g}$, должна совпадать с координатой X края второго пролёта трамплина, т.е $X = S_2$. Таким образом, получаем следующее соотношение:

$$\frac{2}{g}\omega L\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha} - \sin\alpha\right)\omega L\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha} + \cos\alpha\right) = 2L(1-\cos\alpha).$$

Из последнего соотношения получаем итоговую расчётную формулу для искомой длины пролёта трамплина L:

$$L = \frac{g}{\omega^2}\frac{(1-\cos\alpha)}{\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha} - \sin\alpha\right)\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha} + \cos\alpha\right)}.$$

Ответ: $L=\dfrac{g}{\omega^2}\dfrac{(1-\cos\alpha)}{\left(\dfrac{\cos\alpha}{\alpha}-\sin\alpha\right)\left(\dfrac{\sin\alpha}{\alpha}+\cos\alpha\right)}=40,8\,\text{м}$

3 (20 баллов). В сосуде с теплоизолирующими стенками находится небольшое количество озона, который быстро превращается в кислород. Когда весь озон превратился в кислород, давление в сосуде возросло в $n=10$ раз. При образовании трёх молей кислорода из двух молей озона той же температуры выделяется энергия $Q=284$ кДж. Молярная теплоёмкость кислорода при постоянном объёме $c_V=21$ Дж/(моль·К). Найти начальную температуру озона в сосуде. Объём сосуда считать неизменным. Ответ выразить в кельвинах и округлить до десятых долей.

Решение

Пусть объём сосуда равен V, и в нём находится ν молей озона. В начальном состоянии, когда в сосуде находится только озон, его температура и давление равны T_1 и P_1. В конечном состоянии, когда весь озон превратился в кислород, и в сосуде находится только кислород, температура и давление последнего равны T_2 и P_2. Считая газы идеальными, запишем уравнения состояния озона и кислорода в указанные моменты времени. Поскольку из двух молей озона получается три моля кислорода, данные уравнения имеют вид:

$$P_1V=\nu RT_1, \tag{1}$$

$$P_2V=\frac{3}{2}\nu RT_2. \tag{2}$$

Из уравнений (1), (2) следует, что температуры и давления озона и кислорода в указанные моменты времени удовлетворяют следующему соотношению:

$$2T_1P_2=3T_2P_1. \tag{3}$$

Так как сосуд теплоизолированный, и при превращении озона в кислород работа не совершается, внутренняя энергия газов сохраняется. Поэтому за счёт выделившейся энергии температура образовавшегося кислорода должна увеличиться и стать равной такой температуре T_2, чтобы выполнялось соотношение:

$$3c_VT_1+Q=3c_VT_2. \tag{4}$$

Подставляя конечную температуру кислорода T_2, выраженную из уравнения (3) в уравнение (4), получим:

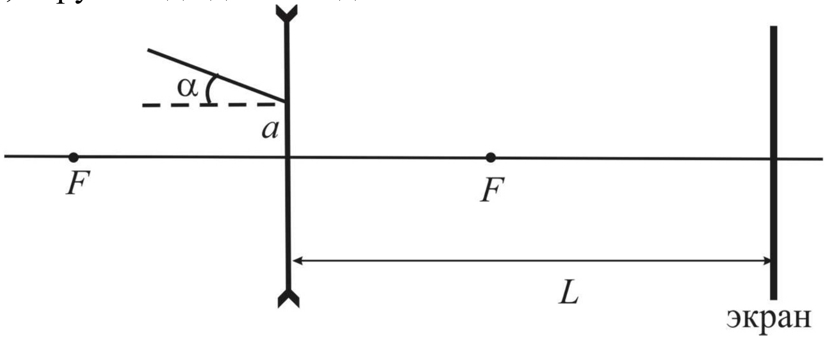
$$Q=3c_VT_1\left(\frac{2P_2}{3P_1}-1\right).$$

Учитывая, что отношение давлений по условию задачи равно n, для начальной температуры озона в сосуде получается следующее выражение:

$$T_1=\frac{Q}{c_V(2n-3)}.$$

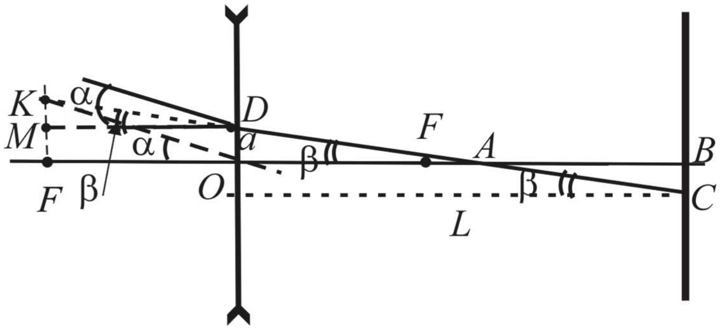
Ответ: $T_1=\dfrac{Q}{c_V(2n-3)}=795,5\,\text{K}$

4 (20 баллов). Тонкий световой пучок падает на тонкую рассеивающую линзу под углом $\alpha = 30°$ к её главной оптической оси на расстоянии $a = 2$ см от центра линзы (см. рисунок). За линзой расположен экран, перпендикулярный главной оптической оси линзы. На каком расстоянии l от главной оптической оси наблюдатель увидит на экране яркую точку, если фокусное расстояние линзы равно $f = 5$ см, а расстояние между линзой и экраном $L = 14$ см. Ответ дайте в миллиметрах, округлив до десятых долей.



Решение

Ход луча показан на рисунке. После линзы луч пойдёт под углом β к главной оптической оси линзы и пересечёт её в точке A.Светлое пятно на экране будет наблюдаться в точке C. Искомое расстояние $l = BC$.



Из рисунка видно, что

$$BC = L\,\mathrm{tg}\,\beta - a\,.$$

Угол $\angle KDM = \beta$, $MD = OF$ (по построению), тогда из треугольника KDM

$$\mathrm{tg}\,\beta = \frac{KM}{OF} = \frac{KF - a}{f}\,.$$

Из треугольника KOF:

$$KF = f\,\mathrm{tg}\,\alpha\,.$$

Получим:

$$\mathrm{tg}\,\beta = \mathrm{tg}\,\alpha - \frac{a}{f}\,.$$

Окончательно имеем:

$$l = BC = L\left(\mathrm{tg}\,\alpha - \frac{a}{f}\right) - a = L\left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{2}{5}\right) - 2\,(\text{см}).$$

$$l = (0{,}177L - 2)\cdot 10\,\text{мм}.$$

Замечание: Так как $\frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \approx 3{,}46\text{ см} < f = 5\text{ см}$, то если убрать линзу, луч пересечёт её главную оптическую ось до фокуса, потому после линзы луч наклонён в сторону главной оптической оси.

Ответ: $l = L\left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{a}{f}\right) - a$.

5 (20 баллов). Два резистора $R_1 = 40$ Ом и R_2 соединены параллельно и подключены к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом. Определите мощность N, развиваемую сторонними силами, если сопротивление резистора R_2 подобрано таким образом, что на нём выделяется наибольшая мощность. Ответ выразите в Вт, округлив до целого числа.

Решение

Сопротивление внешней части электрической цепи, заданной в условии, равно:

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

По закону Ома для полной цепи, сила тока, текущего через источник равна:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_0}.$$

Тогда разность потенциалов между полюсами источника равна напряжению на внешнем участке цепи

$$U = \mathcal{E} - Ir = \frac{\mathcal{E} R_0}{r + R_0} = \frac{\mathcal{E} R_1 R_2}{rR_1 + R_2(r + R_1)}.$$

Мощность, выделяемая на резисторе R_2равна:

$$N_2 = \frac{U^2}{R_2} = R_2\left(\frac{\mathcal{E} R_1}{rR_1 + R_2(r + R_1)}\right)^2,$$

она достигает максимума при таком R_2, при котором производная мощности по R_2 равна нулю. $R_2 = \frac{rR_1}{r + R_1}$, а сопротивление внешней цепи $R_0 = \frac{rR_1}{2r + R_1}$.

Мощность источника при этом равна:

$$N = \mathcal{E} I = \frac{\mathcal{E}^2}{r + R_0} = \frac{(2r + R_1)\cdot \mathcal{E}^2}{2r(r + R_1)}.$$

Ответ: $N = \frac{(2r + R_1)\cdot \mathcal{E}^2}{2r(r + R_1)}$

Красным выделен варьируемый параметр в задаче.

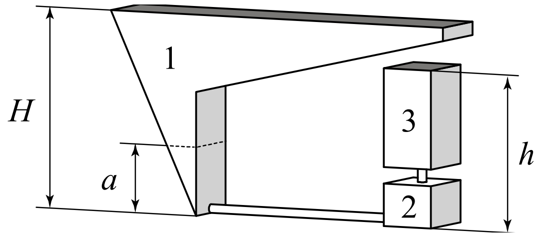
Критерий оценивания:

Получен верный численный ответ	Полный балл
Нет верного численного ответа	0 баллов

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП
олимпиады школьников «Ломоносов» 2024-2025 года по физике

7– 9 классы

1. Школьник напечатал фигуру сложной формы на 3D принтере из прозрачного пластика (см. рис.). Она состоит из трех полых сосудов с тонкими стенками, соединенных полыми трубками. По данным трубкам жидкость может свободно циркулировать из сосуда в сосуд. Сосуды 1 и 3 сверху открыты. Фигуру школьник заполнил двумя несмешивающимися жидкостями следующим образом. Сосуды 3 и 2 полностью, соединительные трубки, а также часть сосуда 1 (от нижнего края фигуры до уровня a) заполнены глицерином. Оставшаяся часть сосуда 1 (от уровня a до уровня H) заполнена водой с плотностью $\rho_1 = 1000$ кг/м^3 до верху. При этом система оказалась устойчивой: ни вода, ни глицерин не вытекали сверху из сосудов. Найдите высоту уровня a, если плотность глицерина $\rho_2 = 1260$ кг/м^3, высоты сосудов: h = 114 мм, H = 140 мм. Ответ выразите в миллиметрах.



Решение

Давление жидкости вблизи дна сосуда 2:

$$P_2 = \rho_2 gh.$$

Давление жидкости вблизи дна сосуда 1 складывается из давления столба глицерина и столба воды:

$$P_1 = \rho_2 ga + \rho_1 g(H - a),$$

где ρ_1 – плотность воды. Сосуды являются сообщающимися, следовательно на уровне дна давления должны быть равны:

$$P_1 = P_2,$$

$$\rho_2 gh = \rho_2 ga + \rho_1 g(H - a).$$

Решая это уравнение, получаем выражение для высоты уровня a:

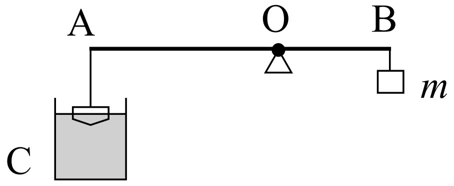
$$a = \frac{\rho_2 h - \rho_1 H}{\rho_2 - \rho_1}.$$

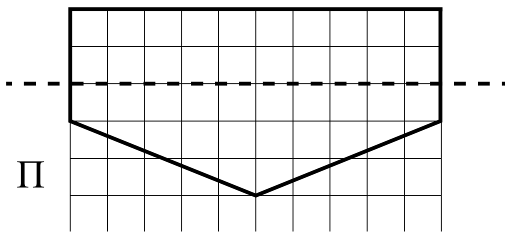
Подставляя известные числовые значения, получаем:

$$a = \frac{1260 \cdot 114 \cdot 10^{-3} - 1000 \cdot 140 \cdot 10^{-3}}{1260 - 1000} = 14 \cdot 10^{-3}\text{ м} = 14\text{ мм}.$$

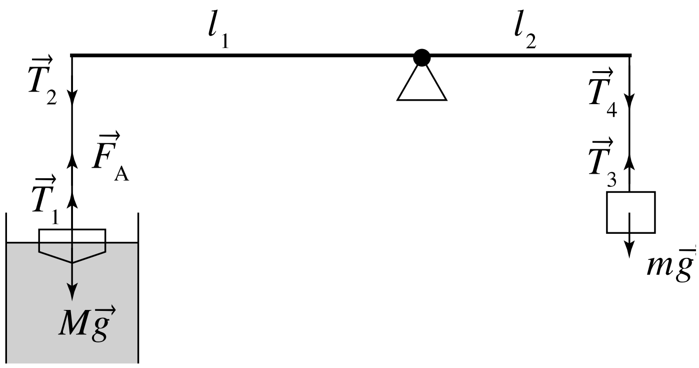
Ответ: a = 14 мм.

2. На концах невесомого жесткого стержня АВ подвешены на невесомых нитях поплавок и груз массой m = 700 г. Поплавок П находится в сосуде С с водой плотностью $\rho = 1000$ кг/м^3 и имеет профиль, изображенный на рисунке, где сторона одной клетки a = 1 см, пунктиром отмечен уровень воды. Профиль не изменяется в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка, в этом направлении длина поплавка равна $10a$. Стержень может вращаться вокруг неподвижной горизонтальной оси О и находится в равновесии. Найдите плотность поплавка, если плечи стержня АО = l_1 =50 см, ОВ = l_2 = 10 см. Ответ выразите в кг/м^3.





Решение



Согласно рисунку, общий объем поплавка равен:

$$V = 10\cdot 10\cdot 3a^3 + \frac{1}{2}\cdot 10\cdot 2\cdot 10\,a^3 = 400\,a^3 = 400\cdot 10^{-6}\text{м}^3 .$$

Объем погруженной в воду части поплавка согласно аналогичным расчетам с использованием рисунка составляет:

$$V_n = 200\,a^3 = 200\cdot 10^{-6}\text{м}^3 .$$

Масса поплавка $M = \rho_m V$, где ρ_m – его плотность. На поплавок действует направленная вертикально вверх сила Архимеда, равная: $F_A = \rho_в V_n g$, где $\rho_в$ – плотность воды, g – ускорение свободного падения. Модули сил натяжения нитей попарно равны: $T_1 = T_2$ и $T_3 = T_4$.

Запишем второй закон Ньютона для поплавка в проекции на вертикальную ось:

$$0 = T_1 + F_A - Mg,$$

Отсюда получаем, что $T_1 = \rho_m Vg - \rho_в V_n g$. Запишем второй закон Ньютона для груза в проекции на вертикальную ось:

$$0 = T_3 - mg.$$

Отсюда $T_3 = mg$. Момент силы, вращающей рычаг против часовой стрелки равен:

$$M_1 = T_2 l_1 = l_1 g(\rho_m V - \rho_в V_n) .$$

Момент силы, вращающей рычаг по часовой стрелке равен:

$$M_2 = T_4 l_2 = l_2 mg.$$

Условие равновесия:

$$M_1 = M_2.$$

Решая последнее уравнение с учетом выражений, записанных ранее получим, что искомая плотность поплавка будет равна:

$$\rho_m = \frac{l_2 m + l_1 \rho_в V_п}{l_1 V}.$$

Подставляя известные числовые значения, получим:

$$\rho_m = \frac{0,1 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 400 \cdot 10^{-6}} = 850\,кг/м^3.$$

Ответ: $\rho_m = 850$ кг/м^3.

3. Баба Зина в холодный зимний день решила попить чай с малиновым вареньем. Она налила в свой старый электрический чайник воду массой $m = 2$кг при комнатной температуре $t_0 = 20$ °С и начала нагревать его содержимое. Однако, нагрев воду до $t_1 = 60$ °С за время $\tau_1 = 2{,}5$ мин, ее старый чайник неожиданно сломался. Оставив воду остывать в старом чайнике, баба Зина за $\tau_2 = 10$ мин сбегала в ближайший магазин и купила новый электрический чайник с вдвое большей мощностью. Быстро перелив воду из старого чайника в новый чайник, она довела воду до кипения за $\tau_3 = 2$ мин и приготовила себе чай с малиновым вареньем. Пока баба Зина бегала в магазин вода в старом чайнике отдавала тепло в окружающую среду со средней скоростью $q = 400$ Дж/с. Найти КПД η_2 нового чайника, если КПД старого чайника равен $\eta_1 = 80\%$. Температура кипения воды равна $t_{100} = 100$ °С. Удельная теплоемкость воды равна $c = 4200$ Дж/(кг·°С). При расчетах теплоемкостями чайников пренебречь.

Решение

КПД чайника η можно определить как отношение количества теплоты, необходимого для нагревания воды, к затраченной работе A, где $A = N\tau$ (N – мощность чайника, τ – время его работы).

Запишем уравнение теплового баланса для нагревания воды в старом чайнике:

$$N\tau_1\eta_1 = cm(t_1 - t_0). \tag{1}$$

Запишем уравнение теплового баланса для нагревания воды в новом чайнике:

$$2N\tau_3\eta_2 = cm(t_{100} - t_1^*), \tag{2}$$

где t_1^* – температура воды в старом чайнике, до которой остыла вода, пока баба Зина бегала в магазин.

Во время отсутствия бабы Зины вода в старом чайнике отдавала количество теплоты в окружающую среду (при этом она охладилась до температуры t_1^*):

$$q\tau_2 = cm(t_1 - t_1^*). \tag{3}$$

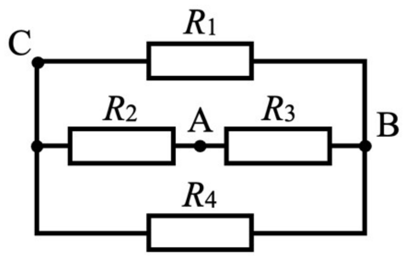
Из формул (1-3) получим:

$$\eta_2 = \frac{\tau_1\eta_1}{2\tau_3(t_1 - t_0)}\left[t_{100} - t_1 + \frac{q\tau_2}{cm}\right] =$$

$$= \frac{2,5 \cdot 60 \cdot 0,8}{2 \cdot 2 \cdot 60 \cdot (60-20)} \cdot \left[100 - 20 + \frac{400 \cdot 600}{4200 \cdot 2}\right] \approx 0,86\ (86\%).$$

Ответ: $\eta_2 \approx 0,86\ (86\%)$.

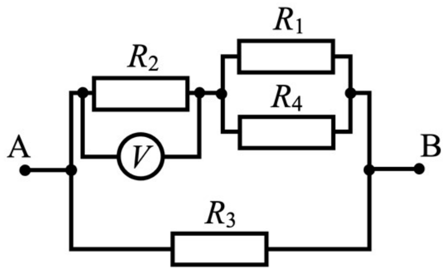
4. В электрической схеме, показанной на рисунке, сопротивления резисторов равны $R_1 = R$, $R_2 = 1{,}25R$ и $R_3 = R_4 = 3R$. К клеммам A и B подключили источник постоянного напряжения $U = 32$ В. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, подключенный между клеммами A и C?



Решение

Эквивалентная схема для цепи, данной в условии задачи, показана на рисунке. Резисторы R_1 и R_4 соединены параллельно, их общее сопротивление равно:

$$R_{14} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} = \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = 0{,}75R\,.$$



Суммарное напряжение на участке с резисторами R_2,R_1 и R_4и равно

$$U_2 + U_{14} = U = 32 \text{ В}\,.$$

Сила тока I_2, протекающего через резистор R_2 равна суммарной силе тока, протекающего через резисторы R_1 и R_4. Тогда в соответствии с законом Ома получаем:

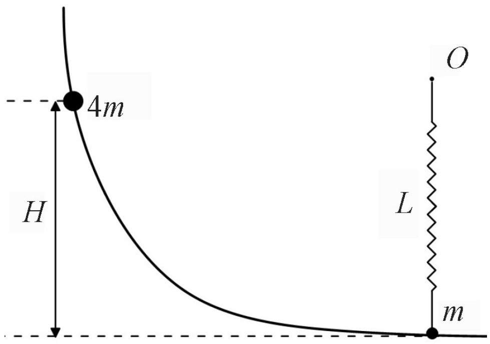
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_{14}}{R_{14}} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_2}{1{,}25\,R} = \frac{U_{14}}{0{,}75\,R} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_2}{U_{14}} = \frac{5}{3}.$$

Так как идеальный вольтметр подключен параллельно к резистору R_2, решая полученную систему уравнений окончательно получаем:

$$U_V = U_2 = \frac{5}{8}U = 20 \text{ В}\,.$$

Ответ: $U_V = \frac{5}{8}U = 20$ В

5. Бусинка массой $4m$, надетая на гладкий изогнутый стержень, начинает движение из состояния покоя. Стержень расположен в вертикальной плоскости так, как показано на рисунке. На горизонтальную часть стержня надета другая бусинка массой $m = 0{,}01$ кг, прикрепленная к невесомой, недеформированной пружине. Пружина расположена вертикально и может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку подвеса O. Жесткость пружины k =10 Н/м, ее длина $L = 0{,}1$ м. Найти наименьшую высоту H точки начала движения бусинки $4m$, при которой сила давления на стержень со стороны бусинок достигнет нулевого значения. Считать, что бусинки претерпевают абсолютно неупругое соударение, горизонтальную часть стержня – достаточно длинной, а деформацию пружины – упругой. Силой трения пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным g =10 м/с^2.



Решение

Согласно закону сохранения полной механической энергии

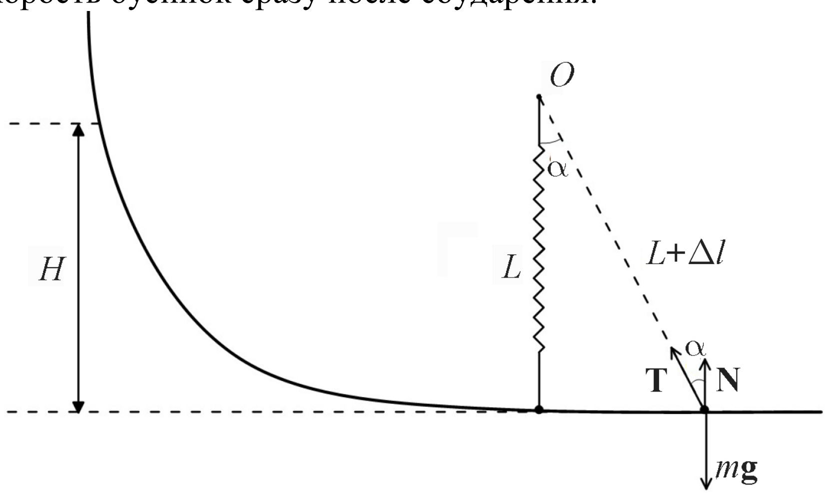
$$4mgH = \frac{4mV_1^2}{2} \quad \Rightarrow \quad V_1 = \sqrt{2gH}\ ,$$

где V_1 – скорость бусинки $4m$ непосредственно перед ударом о бусинку m.

При абсолютно неупругом соударении бусинок выполнятся закон сохранения импульса:

$$4mV_1 = (m+4m)V_2 \quad \Rightarrow \quad V_2 = \frac{4}{5}V_1 = \frac{4}{5}\sqrt{2gH}\ .$$

Здесь V_2 – скорость бусинок сразу после соударения.



В процессе движения по горизонтальному участку стержня на бусинки действует сила тяжести $5mg$, сила упругости пружины T и сила реакции опоры N, которая согласно третьему закону Ньютона равна по модулю силе давления P бусинок на стержень. Таким образом, равенство нулю силы P достигается при N=0. В этом случае, согласно второму закону Ньютона, имеем равенство:

$$T\cos\alpha = 5mg\,, \tag{1}$$

где

$$T = k\Delta l\,, \tag{2}$$

$$\cos\alpha = \frac{L}{L+\Delta l}\,. \tag{3}$$

Условие минимальности высоты H, приводит к требованию равенства нулю скорости V_3 в момент достижения силы P нулевого значения. Тогда из закона сохранения энергии получаем соотношение:

$$\frac{5mV_2^2}{2} = \frac{k\Delta l}{2} + \frac{5mV_3^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = \sqrt{\frac{5m}{k}(V_2^3 - V_3^2)} = \sqrt{\frac{5m}{k}}V_2 = 4\sqrt{\frac{2gHm}{5k}}\,. \tag{4}$$

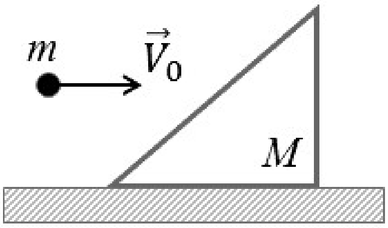
Решая систему уравнений (1)-(4), получаем окончательно:

$$H = \frac{125}{32}\frac{k}{mg}\left(\frac{mgL}{kL-5mg}\right)^2 = \frac{125}{32}\cdot\frac{10}{0{,}01\cdot 10}\left(\frac{0{,}01\cdot 10\cdot 0{,}1}{10\cdot 0{,}1 - 5\cdot 0{,}01\cdot 10}\right)^2 \approx 16\ \text{см}\,.$$

Ответ: $H \approx 16$ см.

10 класс

1. Маленький шарик массой m = 36 *г*, летящий горизонтально со скоростью V_0 = 5 м/с, ударяется о поверхность клина массой M = 100 *г*, покоящегося на гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). После абсолютно упругого соударения шарик движется вертикально вверх. На какое расстояниеS от своего начального положения сместится клин к тому моменту, когда шарик достигнет наивысшей точки траектории? Ускорение свободного падения принять равным g = 10 м/с^2.



Решение

Запишем закон сохранения полной механической энергии, а также закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + \frac{Mu^2}{2},$$

$$mV_0 = Mu.$$

Отсюда скорости клина и шарика после соударения равны соответственно $u = \frac{m}{M}V_0$, $V = \sqrt{\left(1-\frac{m}{M}\right)}V_0$. После соударения шарик движется с ускорением g, направленным вертикально вниз и достигнет наивысшей точки траектории за время $\tau = \frac{V}{g} = \sqrt{\left(1-\frac{m}{M}\right)}\frac{V_0}{g}$.

Клин после соударения движется равномерно и за время τ сместится на расстояние

$$S = u\cdot\tau = \frac{m}{M}\cdot\sqrt{\left(1-\frac{m}{M}\right)}\cdot\frac{V_0^2}{g}.$$

Ответ: $S = \frac{m}{M}\sqrt{\left(1-\frac{m}{M}\right)}\cdot\frac{V_0^2}{g} = 0{,}72$ м.

2. В процессе расширения азота его объём увеличился на n= 2%, а давление уменьшилось на k = 1%. Какая часть η количества теплоты, полученной азотом, была превращена в работу? Молекулярная масса азота равна $\mu(N_2)$ = = $28\cdot10^{-3}$ кг/моль. Удельная теплоёмкость азота при постоянном объёме c_V = = 745 Дж/(кг·град). Универсальную газовую постоянную примите равной R = 8,3 Дж/(моль·К). Ответ выразите в процентах, округлив до целых единиц.

Указание: при вычислении работы, совершаемой газом при расширении, незначительным изменением давления следует пренебречь.

Решение. Из равенства $\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{PV}{T} = \frac{(1-k/100\%)P_0\cdot(1+n/100\%)V_0}{T}$, где P_0 и V_0, P и V – начальные и конечные давление и объём, получаем: $T - T_0 = \left[(1-k/100\%)(1+n/100\%)-1\right]\cdot T_0$.

Следовательно, внутренняя энергия азота увеличилась на

$$\Delta U = c_v m(T - T_0) = c_v m T_0 \cdot \left[(1 - k/100\%)(1 + n/100\%) - 1\right].$$

Далее, еслипренебречь незначительным изменением давления,как рекомендовано в условии задачи,то работу, совершённую газом при расширении, можно считать равной

$$A = P_0(V - V_0) = P_0 V_0 n/100\% = \frac{n}{100\%} \cdot \frac{m}{\mu} R T_0 .$$

Здесь учтено, что в соответствии с уравнением Клапейрона – Менделеева $P_0 V_0 = (m/\mu) R T_0$. Количество теплоты, полученное азотом, равно $Q = \Delta U + A$. Используя полученные выше результаты для ΔU и A, приходим к искомому ответу:

$$\frac{A}{Q} = \eta = \frac{(n/100\%) \cdot (R/\mu)}{\left[(1 - k/100\%)(1 + n/100\%) - 1\right] c_v + (n/100\%) \cdot (R/\mu)} \cdot 100\%$$

или

$$\eta = \frac{nR}{c_v \mu \cdot \left[(1 - k/100\%)(1 + n/100\%) - 1\right] + nR/100\%} .$$

Ответ: $\eta = \dfrac{nR}{c_v \mu \cdot \left[(1 - k/100\%)(1 + n/100\%) - 1\right] + nR/100\%} \approx 45\%.$

3. В электрической цепи, представленной на рисунке 1, сопротивления всех резисторов одинаковы $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$. Мощность, выделяемая на резисторе R_4, составляет $P = 30$ Вт. После того как включение резистора R_4 в цепь изменили на последовательное с резистором R_3 (см. рис. 2), общая сила тока в цепи уменьшилась на $\Delta I = 2$ А. Определите ЭДС источника ε, считая его внутреннее сопротивление пренебрежимо малым.

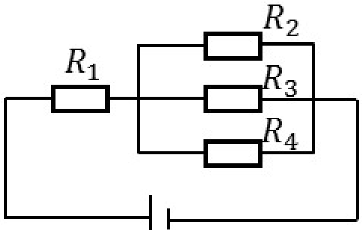


рис. 1

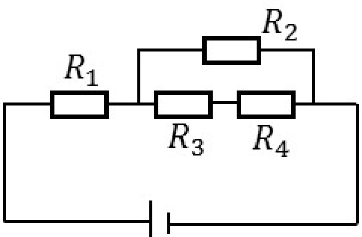


рис. 2

Решение

Учитывая, что первоначально резисторы R_2, R_3 и R_4 соединены параллельно и вместе они последовательно соединены с резистором R_1, общее сопротивление этой цепи равно $R^{(1)}_{общ} = \frac{4}{3}R$, а общая сила тока в ней равна $I_1 = \frac{3\varepsilon}{4R}$. Тогда мощность, выделяемая на резисторе R_4, с учётом равенства сопротивлений резисторов $R_2 = R_3 = R_4$ можно записать так: $P = \left(\frac{I_1}{3}\right)^2 \cdot R_4 = \frac{\varepsilon^2}{16R}$.

После того как электрическую цепь изменили, её общее сопротивление стало $R^{(2)}_{общ} = (5/3)R$, а общая сила тока уменьшилась до нового значения $I_2 = \frac{3\varepsilon}{5R} = I_1 - \Delta I$.

Решая систему уравнений:

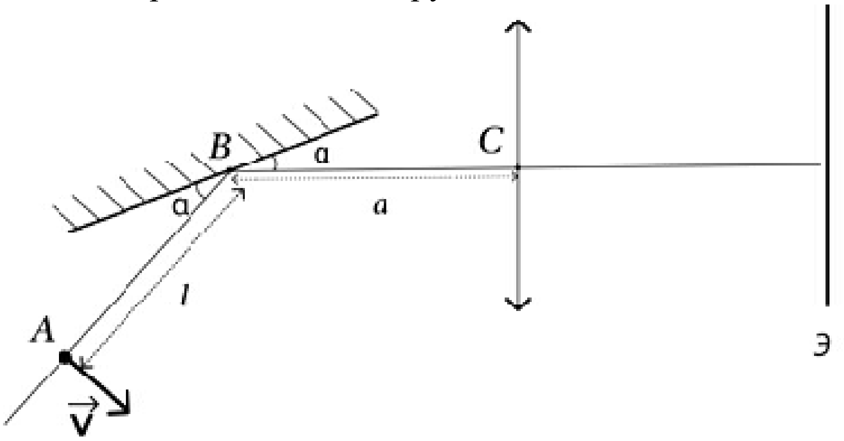
$$\frac{3\varepsilon}{4R} - \Delta I = \frac{3\varepsilon}{5R}\,, \tag{1}$$

$$P = \frac{\varepsilon^2}{16R}, \tag{2}$$

получаем ответ задачи: $\varepsilon = \dfrac{12P}{5\Delta I}$.

Ответ: $\varepsilon = \dfrac{12P}{5\Delta I} = 36$ В.

4. Оптическая система, представленная на рисунке, состоит из тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 30$ см, плоского зеркала и экрана Э. Плоскость зеркала составляет угол $\alpha = 30°$ с главной оптической осью линзы. Расстояние $BC = a = 10$ см. Точку A пролетает муха, движущаяся со скоростью $v = 2$ см/с перпендикулярно отрезку $AB = l = 25$ см. Угол между AB и плоскостью зеркала также составляет угол $\alpha = 30°$. Экран, установлен в положении, для которого резкость изображения мухи, полученного с помощью зеркала и линзы, наибольшая. Найти модуль скорости движения этого изображения. Ответ выразите в см/с и округлите до целых.



Решение

Изображение мухи, находящейся в точке A, в зеркале попадает на главную оптическую ось линзы и расположено на расстоянии $a + l$ от неё. Чтобы резкость изображения мухи на экране была наибольшая, экран необходимо расположить за линзой на расстоянии b, определяемом по формуле линзы:

$$\frac{1}{a+l} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow \quad b = \frac{(a+l)F}{a+l-F}.$$

Скорость изображения мухи в зеркале равна скорости мухи и перпендикулярна главной оптической оси линзы. Скорость изображения u мухи в линзе можно найти, определив предварительно линейное увеличение $Г$, даваемое линзой для протяжённых объектов, находящихся на данном расстоянии от линзы. В рассматриваемом случае получим:

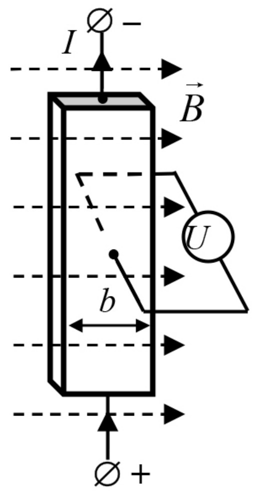
$$Г = \frac{b}{a+l} = \frac{F}{a+l-F}.$$

За малый интервал времени Δt муха пролетает расстояние $h = v \cdot \Delta t$, а её изображение смещается на $H = u \cdot \Delta t$. По определению $\Gamma = \frac{H}{h}$. Исходя из этого, получаем, что скорость изображения мухи равна:

$$u = \Gamma \cdot v = \frac{F \cdot v}{a + l - F}.$$

Ответ: $u = \dfrac{F \cdot v}{a + l - F} = 12 \text{ см/с}$.

5. Через тонкую пластинку кремния n–типа пропускают постоянный ток силой $I = 8$ мА. Пластинка помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, перпендикулярное длинным боковым граням пластинки и направлению тока (см. рисунок). Милливольтметр, подключенный между двумя другими противоположными большими гранями пластинки, фиксирует возникающую при этом разность потенциалов U = 4 мВ. Ширина пластинки равна b= 5 мм. Определить по этим данным концентрацию электронов проводимости n в пластинке. Модуль заряда электрона примите равным e = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$Кл. Возникающее поперечное электрическое поле внутри пластинки считайте приблизительно однородным. Ответ выразите в 10^{14} см$^{-3}$ и округлите до десятых долей.



Решение

На каждый электрон проводимости в пластинке перпендикулярно его скорости направленного движения (дрейфовой скорости), а значит и току, действует составляющая силы Лоренца, равная по модулю $F_Л = evB$. Стационарному состоянию потока зарядов соответствует ситуация, когда эта сила будет уравновешена силой со стороны поля электрического, возникающего из-за смещения электронной плотности межу большими гранями пластинки, модуль которой равен $F_e = eE$. Напряжённость электрического поля связана с разностью потенциалов между противоположными гранями пластинки (в некотором приближении, предложенном по условию задачи – аналог поля внутри конденсатора) соотношением: $E = \frac{U}{d}$, где d – толщина пластинки. Плотность тока определяется концентрацией носителей тока nи их дрейфовой скоростью v: $j = e \cdot n \cdot v$. Плотность тока, в свою очередь, равна отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника S: $j = \frac{I}{S}$ или $j = \frac{I}{d \cdot b}$, где d и b – толщина и ширина пластинки соответственно. Решая систему представленных уравнений, приходим к ответу задачи: $n = \frac{I \cdot B}{e \cdot U \cdot b}$.

Ответ: $n = \dfrac{I \cdot B}{e \cdot U \cdot b} \cong 2{,}5 \cdot 10^{20} \text{м}^{-3} = 2{,}5 \cdot 10^{14} \text{см}^{-3}$.

Критерии оценки

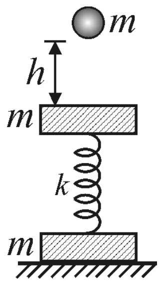
Задачи (каждая задача оценивается максимально в 20 баллов)

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 10 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **11 – 15 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **16-19 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **20 баллов**.

11 класс

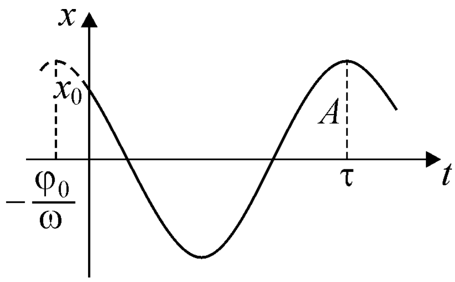
ВАРИАНТ 1.

1.1. Брусок массой m прикреплен к одному из концов пружины, другой конец которой закреплен на неподвижном столе, причем пружина располагается вертикально, а брусок – горизонтально (см. рисунок). С высоты $h = 20$ см на брусок падает из состояния покоя пластилиновый шарик массой m и прилипает к бруску, после чего брусок вместе с шариком начинают совершать гармонические колебания с круговой частотой $\nu = 5$ рад/с. Через какое время τ после удара брусок в первый раз поднимется на максимальную высоту? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с^2.



Решение

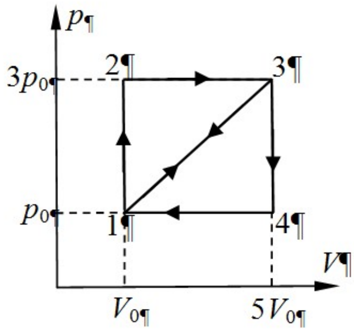
Совместим начало системы координат с положением равновесия бруска с прилипшим к нему пластилиновым шариком, координатную ось OX направим вертикально вверх. В положении равновесия бруска пружина сжата величину $\Delta x_1 = \frac{mg}{k}$, а в положении равновесия бруска с шариком – сжата на величину $\Delta x_2 = \frac{2mg}{k}$. Таким образом, в выбранной системе начальная координата бруска с шариком $x_0 = \Delta x_2 - \Delta x_1 = \frac{mg}{k}$, где k – жесткость пружины, g – ускорение свободного падения. По закону сохранения энергии модуль скорости шарика перед ударом о брусок $u_0 = \sqrt{2gh}$. По закону сохранения импульса модуль скорости бруска с шариком сразу после соударения $v_0 = \frac{u_0}{2}$. Уравнение свободных колебаний бруска с шариком на пружине и начальные условия имеют вид: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, $x(0) = x_0 = \frac{mg}{k}$, $\dot{x}(0) = -v_0 = -\sqrt{\frac{gh}{2}}$. Решение этого уравнения $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)$, где $A = \sqrt{x_0^2 + v_0^2/\omega^2}$ – амплитуда колебаний, $\omega = \sqrt{\frac{k}{2m}}$ –



круговая частота, $\varphi_0 = \operatorname{arctg}\left(-\dfrac{\dot{x}(0)}{\omega x(0)}\right) = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{v_0}{\omega x_0}\right) = \operatorname{arctg}\left(\omega\sqrt{\dfrac{2h}{g}}\right)$ – начальная фаза. Координата бруска с шариком принимает в первый раз максимальное значение при условии, что $\omega\tau + \varphi_0 = 2\pi$. Отсюда $\tau = \dfrac{1}{\omega}(2\pi - \varphi_0) = \dfrac{1}{\omega}\left(2\pi - \operatorname{arctg}\left(\omega\sqrt{\dfrac{2h}{g}}\right)\right)$.

Ответ: $\tau = \dfrac{1}{\omega}\left(2\pi - \operatorname{arctg}\left(\omega\sqrt{\dfrac{2h}{g}}\right)\right) = \dfrac{7}{20}\pi \approx 1{,}1$ с.

1.2. С одноатомным идеальным газом проводят два циклических процесса 1-2-3-1 и 1-3-4-1 (см. рис.). При этом в изохорных процессах давление газа изменяется в 3 раза, а в изобарных процессах объем изменяется в 5 раз. Определите отношение коэффициента полезного действия первого цикла к коэффициенту полезного действия второго цикла.



Решение

КПД тепловой машины равен отношению работы за цикл к количеству теплоты, полученному газом в этом цикле. Работа за цикл равна площади, ограниченной циклом на pV-диаграмме и одинакова для двух циклов. В первом цикле газ получает количество теплоты в процессах 1-2 и 2-3. Во втором цикле – в процессе 1-3. Следовательно, искомое отношение КПД циклов равно:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{Q_{12} + Q_{23}}{Q_{13}}. \quad (1)$$

Определим, используя уравнение Клапейрона – Менделеева, соотношения между температурами газа в состояниях 1, 2 и 3:

$$T_1 = \frac{p_0 V_0}{\nu R}, \quad T_2 = \frac{3p_0 V_0}{\nu R} = 3T_1, \quad T_3 = \frac{3p_0 5V_0}{\nu R} = 15T_1.$$

Здесь ν – число молей газа.

Учитывая, что молярные теплоемкости одноатомного идеального газа в изохорном и изобарном процессах равны соответственно $c_V = (3/2)R$ и $c_p = (5/2)R$, выражения для количеств теплоты принимают вид:

$$Q_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}\nu R(3T_1 - T_1) = 3\nu R T_1,$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{5}{2}\nu R(15T_1 - 3T_1) = 30\nu R T_1.$$

Количество теплоты, полученное газом во втором цикле, в соответствии с первым законом термодинамики, равно сумме изменения внутренней энергии и работы газа:

$$Q_{13} = \Delta U + A = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + \frac{1}{2}(5V_0 - V_0)(p_0 + 3p_0) = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + 8p_0V_0 =$$

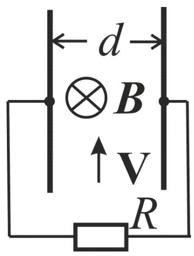
$$= \frac{3}{2}\nu R \cdot 14T_1 + 8\nu R T_1 = 29\nu R T_1.$$

Подставляя в соотношение (1) полученные выражения для количеств теплоты, получаем искомое отношение КПД:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{Q_{12}+Q_{23}}{Q_{13}} = \frac{33}{29}.$$

Ответ: $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{33}{29}$.

1.3. Между двумя параллельными металлическими пластинами, замкнутыми на резистор с сопротивлением R = 0,4 Ом и отстоящими друг от друга на расстояние d, создан поток проводящей жидкости, которая течёт со скоростью V = 10 см/с параллельно пластинам. Система находится в однородном магнитное поле с индукцией B = 1 Тл, направленной параллельно пластинам и перпендикулярно скорости потока. При этом на резисторе Rвыделяется максимальная возможная при данных условиях мощность P_m = 1 мВт. Определите расстояние d между пластинами.



Решение

Так как по условию задачи движущаяся между пластинами жидкость является проводящей, то на её частицы, находящейся в магнитном поле с индукцией B, будет действовать магнитная составляющая силы Лоренца, равная по модулю $F = qVB$, где q– заряд частицы жидкости. Эта сила направлена перпендикулярно пластинам, что приводит к появлению кулоновской составляющей силы Лоренца и созданию разности потенциалов между пластинами $U = Fd/q = VBd$. Поэтому сила тока через резистор R будет равна $I = U/(R+r)$, где r– внутреннее сопротивление источника. Выделяющаяся на резисторе мощность равна $P = I^2R$. По условию эта мощность должна быть максимальной, а потому должно выполняться уравнение $\frac{dP(R)}{dR} = U^2\left[\frac{(R+r)^2 - 2R(R+r)}{(R+r)^4}\right] = 0$. Следовательно,

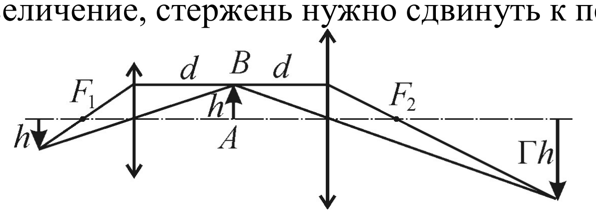
$R = r$, $P_m = \frac{V^2B^2d^2}{4R}$, а потому искомое расстояние $d = \frac{2\sqrt{P_mR}}{VB} = 40$ см.

Ответ: $d = \frac{2\sqrt{P_mR}}{VB} = 40$ см.

1.4. Две тонких собирающих линзы расположены так, что их главные оптические оси совпадают. Ровно посередине между ними перпендикулярно оптической оси линз помещён тонкий стержень. Расстояние от стержня до каждой линзы d = 25 см. Линзы создают действительные изображения стержня, причём первая линза даёт изображение без увеличения, а вторая – с увеличением Г = 3. На какое расстояние x нужно сместить стержень параллельно самому себе вдоль оптической оси линз, чтобы оба изображения имели одинаковое увеличение? Ответ приведите в сантиметрах.

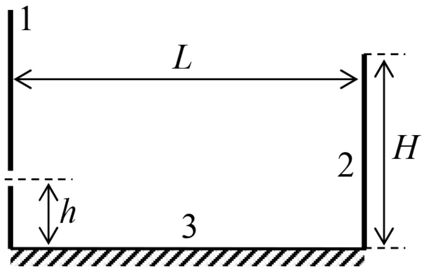
Решение

Построим изображения стержня в линзах (см. рисунок). Чтобы изображения имели одинаковое увеличение, стержень нужно сдвинуть к первой линзе (влево).



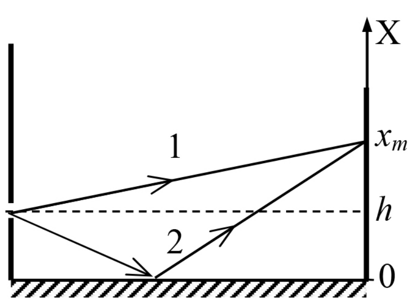
Пусть увеличение каждого изображения при этом стало равно K. Тогда для первой линзы получим: $\frac{1}{d-x}+\frac{1}{K(d-x)}=\frac{1}{F_1}$, а для второй: $\frac{1}{d+x}+\frac{1}{K(d+x)}=\frac{1}{F_2}$, где F_1 и F_2 – фокусное расстояние первой и второй линзы. Решая систему из двух уравнений, получим: $x=\frac{(F_2-F_1)d}{F_1+F_2}$. Найдём фокусные расстояния линз. Т.к. первая линза сначала даёт изображение без увеличения, то $d=2F_1$ и $F_1=d/2$. Фокусное расстояние второй линзы найдем из равенства $\frac{1}{d}+\frac{1}{\Gamma d}=\frac{1}{F_2}$, т.е. $F_2=\frac{\Gamma d}{\Gamma+1}$. Подставив эти выражения в формулу для x, окончательно получим, что $x=\frac{(\Gamma-1)d}{3\Gamma+1}$. **Ответ:** $x=\frac{(\Gamma-1)d}{3\Gamma+1}=5$ см.

1.5. В вертикально расположенном экране 1 сделана узкая горизонтальная щель, которая освещается монохроматическим источником света с длиной волны $\lambda=0{,}5$ мкм. На расстоянии $L=1$ м от экрана со щелью находится вертикальный экран 2. Между экранами помещено горизонтальное плоское зеркало 3 так, как показано на рисунке. Свет от щели попадает на второй экран непосредственно и после отражения от зеркала. При этом на экране наблюдается N интерференционных полос. Щель находится на расстоянии $h=1$ мм от плоскости зеркала. Высота второго экрана равна $H=5$ см. Найти число N интерференционных полос, наблюдаемых на экране.



Решение

Рассмотрим два луча, выходящие из одной точки щели и идущие в плоскости, перпендикулярной щели, как показано на рисунке. Введём систему координат в плоскости экрана 2. Луч 1 попадает в точку экрана с координатой x непосредственно от щели, а луч 2 попадает в эту же точку после отражения от зеркала. Если в указанной точке наблюдается интерференционный максимум, то оптическая разность хода лучей 1 и 2 должна быть кратна целому числу длин волн излучения источника λ. Будем считать, что оптическая разность хода лучей равна их геометрической разности хода (абсолютный показатель преломления среды



между экранами равен единице). Тогда путь, пройденный лучом 1 от щели до экрана, равен: $S_1 = \sqrt{L^2 + (x-h)^2}$. Аналогично, путь, пройденный лучом 2, равен: $S_2 = \sqrt{L^2 + (x+h)^2}$. Геометрическая разность хода лучей $\Delta S = S_2 - S_1$. Последнее равенство можно записать по-другому: $\Delta S = \dfrac{S_2^2 - S_1^2}{S_2 + S_1}$. По условию задачи $h << L$. Полагая, что наблюдаемые порядки интерференции не слишком велики, можно считать, что и $x << L$. Тогда последнее равенство можно записать в виде:

$$\Delta S = \frac{S_2^2 - S_1^2}{2L} = \frac{(x+h)^2 - (x-h)^2}{2L} = \frac{2xh}{L}.$$

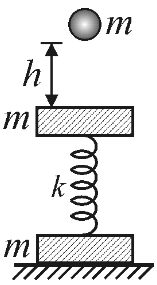
Пусть в точке с координатой x_m наблюдается интерференционный максимум m-го порядка, тогда $\Delta S_m = 2x_m h/L = m\lambda$. Пусть максимум $(m+1)$-го порядка наблюдается в точке с координатой x_{m+1}, тогда $\Delta S_{m+1} = 2x_{m+1}h/L = (m+1)\lambda$. Ширина интерференционной полосы равна $\Delta x = x_{m+1} - x_m$. Таким образом, получаем: $\Delta x = \lambda L/(2h)$. Искомое число интерференционных полос, наблюдаемых на экране высотой H, равно целой части от отношения $H/\Delta x$, то есть:

$$N = \left[\frac{H}{\Delta x}\right] = \left[\frac{2Hh}{\lambda L}\right].$$

Ответ: $N = \left[\dfrac{2Hh}{\lambda L}\right] = \left[\dfrac{2\cdot 5\cdot 10^{-2}\cdot 10^{-3}}{0{,}5\cdot 10^{-6}\cdot 1}\right] = 200.$

ВАРИАНТ 2.

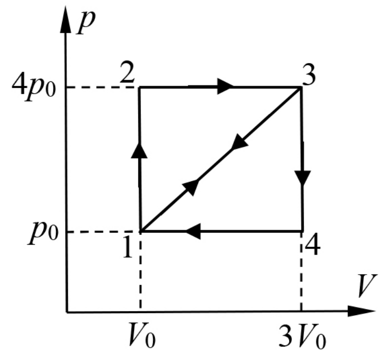
2.1. Два одинаковых бруска массой $m = 100$ г каждый, скрепленные пружиной жесткостью $k = 100$ Н/м, поместили на неподвижный горизонтальный стол так, что бруски оказались друг под другом, а пружина расположилась вертикально (см. рисунок). С какой максимальной высоты h_{max} можно уронить на верхний брусок пластилиновый шарик массой m, чтобы колебания бруска с прилипшим к нему пластилином были гармоническими? Считайте, что пружина при колебаниях бруска не сжимается полностью и во всем диапазоне деформаций подчиняется закону Гука. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с^2.



Решение

Колебания верхнего бруска будут оставаться гармоническими до тех пор, пока нижний брусок не начнет отрываться от стола. Для описания движения брусков совместим начало системы координат с положением равновесия верхнего бруска с прилипшим к нему пластилиновым шариком, координатную ось OX направим вертикально вверх. В положении равновесия верхнего бруска пружина сжата на величину $\Delta x_1 = mg/k$, а в положении равновесия этого бруска с шариком – сжата на величину $\Delta x_2 = 2mg/k$. Таким образом, в выбранной системе начальная координата бруска с шариком $x_0 = \Delta x_2 - \Delta x_1 = mg/k$, где k – жесткость пружины, g – ускорение свободного падения. По закону сохранения энергии модуль скорости шарика перед ударом о брусок $u_0 = \sqrt{2gh}$. По закону сохранения импульса модуль скорости бруска с шариком сразу послу соударения $v_0 = \dfrac{u_0}{2}$. Уравнение свободных колебаний бруска с шариком на пружине и начальные условия имеют вид: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, $x(0) = x_0 = \dfrac{mg}{k}$, $\dot{x}(0) = -v_0 = -\sqrt{\dfrac{gh}{2}}$. Решение этого уравнения $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)$, где $A = \sqrt{x_0^2 + v_0^2/\omega^2}$ – амплитуда колебаний, $\omega = \sqrt{k/2m}$ – круговая частота, $\varphi_0 = \operatorname{arctg}\left(-\dfrac{\dot{x}(0)}{\omega x(0)}\right) = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{v_0}{\omega x_0}\right)$ – начальная фаза. Нижний брусок начнет отрываться от стола, когда сила упругости растянутой пружины, направленная вверх, превысит силу тяжести, действующую на брусок, т.е. при выполнении условия $k\Delta x \geq mg$, где $\Delta x = A - \Delta x_2$ – растяжение пружины. С учетом записанных выше соотношений это условие принимает вид: $A \geq \dfrac{3mg}{k}$, или $h \geq \dfrac{8mg}{k}$. **Ответ:** $h_{\max} = \dfrac{8mg}{k} = 8$ см.

2.2 (**ОФ 2.2.**) С одноатомным идеальным газом проводят два циклических процесса 1-2-3-1 и 1-3-4-1 (см. рис.). В изохорных процессах давление газа изменяется в 4 раза, а в изобарных процессах объем изменяется в 3 раза. Определите отношение коэффициента полезного действия второго цикла к коэффициенту полезного действия первого цикла.



Решение

КПД тепловой машины равен отношению работы за цикл к количеству теплоты, полученному в этом цикле. Работа за цикл равна площади, ограниченной циклом на pV-диаграмме и одинакова для двух циклов. В первом цикле газ получает количество теплоты в процессах 1-2 и 2-3. Во втором цикле – в процессе 1-3. Следовательно, искомое отношение КПД циклов равно:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{Q_{12} + Q_{23}}{Q_{13}}. \qquad (1)$$

Определим, используя уравнение Клапейрона – Менделеева, соотношения между температурами газа в состояниях 1, 2 и 3:

$$T_1 = \frac{p_0 V_0}{\nu R}, \quad T_2 = \frac{4p_0 V_0}{\nu R} = 4T_1, \quad T_3 = \frac{4p_0 \cdot 3V_0}{\nu R} = 12T_1.$$

Здесь ν – число молей газа.

Учитывая, что молярные теплоемкости одноатомного идеального газа в изохорном и изобарном процессах равны соответственно $c_V = \frac{3}{2}R$ и $c_p = \frac{5}{2}R$, выражения для количеств теплоты принимают вид:

$$Q_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}\nu R(4T_1 - T_1) = \frac{9}{2}\nu RT_1,$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{5}{2}\nu R(12T_1 - 4T_1) = 20\nu RT_1.$$

Количество теплоты, полученное газом во втором цикле, в соответствии с первым законом термодинамики, равно сумме изменения внутренней энергии и работы газа:

$$Q_{13} = \Delta U + A = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + \frac{1}{2}(3V_0 - V_0)(p_0 + 4p_0) = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + 5p_0V_0 =$$

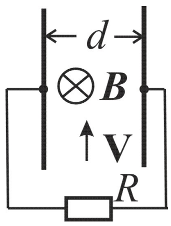
$$= \frac{33}{2}\nu RT_1 + 5\nu RT_1 = \frac{43}{2}\nu RT_1.$$

Подставляя в соотношение (1) полученные выражения для количеств теплоты, получаем искомое отношение КПД:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{Q_{12} + Q_{23}}{Q_{13}} = \frac{49}{43}.$$

Ответ: $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{49}{43}$.

2.3. Между двумя параллельными металлическими пластинами, замкнутыми на резистор с сопротивлением R = 0,4 Ом и отстоящими друг от друга на расстояние d = 40 см, создан поток проводящей жидкости, которая течёт со скоростью V = 10см/с параллельно пластинам. Система находится в однородном магнитное поле с индукцией B, направленной параллельно пластинам и перпендикулярно скорости потока. При этом на резисторе Rвыделяется максимальная возможная при данных условиях мощность P_m = = 1 мВт. Определите модуль индукции B.



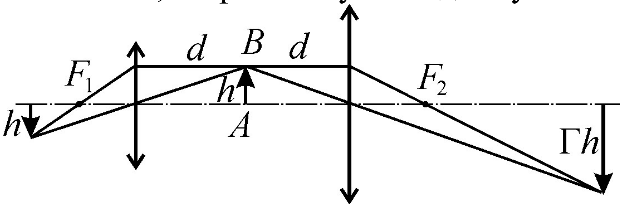
Решение

Так как по условию задачи движущаяся между пластинами жидкость является проводящей, то на её частицы, находящейся в магнитном поле с индукцией B, будет действовать магнитная составляющая силы Лоренца, равная по модулю $F = qVB$, где q – заряд частицы жидкости. Эта сила направлена перпендикулярно пластинам, что приводит к появлению кулоновской составляющей силы Лоренца и созданию разности потенциалов между пластинами $U = Fd / q = VBd$. Поэтому сила тока через резистор R будет равна $I = U / (R + r)$, где r – внутреннее сопротивление источника. Выделяющаяся на резисторе мощность равна $P = I^2R$. По условию эта мощность должна быть максимальной, а потому должно выполняться уравнение $\frac{dP(R)}{dR}=U^2\left[\frac{(R+r)^2-2R(R+r)}{(R+r)^4}\right]=0$. Следовательно, $R=r$, $P_m=\frac{V^2B^2d^2}{4R}$, а потому B = 1 Тл.

2.4. Две тонких собирающих линзы расположены так, что их главные оптические оси совпадают. Ровно посередине между ними перпендикулярно оптической оси линз помещён тонкий стержень. Линзы создают действительные изображения стержня, причём первая линза даёт изображение без увеличения, а вторая – с увеличением Г = 3. Каковы расстояния d от стержня до каждой линзы, если, после того, как сместят стержень параллельно самому себе вдоль оптической оси линз на расстояние x = 5 см, увеличения обоих изображений становятся одинаковыми? Ответ приведите в сантиметрах.

Решение

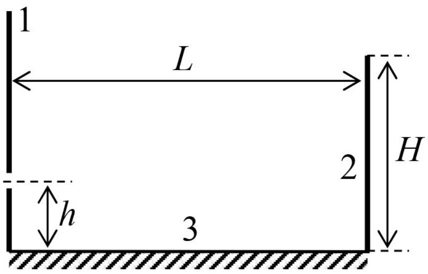
Построим изображения стержня в линзах (см. рисунок). Чтобы изображения имели одинаковое увеличение, стержень нужно сдвинуть к первой линзе (влево).



Пусть увеличение каждого изображения при этом стало равно K. Тогда для первой линзы получим: $\frac{1}{d-x}+\frac{1}{K(d-x)}=\frac{1}{F_1}$, а для второй: $\frac{1}{d+x}+\frac{1}{K(d+x)}=\frac{1}{F_2}$, где F_1 и F_2 – фокусное расстояние первой и второй линзы.

Решая систему из двух уравнений, получим: $x=\frac{(F_2-F_1)d}{F_1+F_2}$. Найдём фокусные расстояния линз. Т.к. первая линза сначала даёт изображение без увеличения, то $d=2F_1$ и $F_1=d/2$. Фокусное расстояние второй линзы найдем из равенства $\frac{1}{d}+\frac{1}{\Gamma d}=\frac{1}{F_2}$, т.е. $F_2=\frac{\Gamma d}{\Gamma+1}$. Подставив эти выражения в формулу для x, получим, что $x=\frac{(\Gamma-1)d}{3\Gamma+1}$. Отсюда $d=\frac{(3\Gamma+1)x}{(\Gamma-1)}$. **Ответ:** $d=\frac{(3\Gamma+1)x}{(\Gamma-1)}=25$ см.

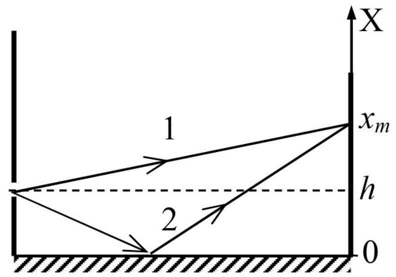
2.5. В вертикально расположенном экране 1 сделана узкая горизонтальная щель, которая освещается монохроматическим источником света с длиной волны λ = 0,5 мкм. На некотором расстоянии L от экрана со щелью находится вертикальный экран 2. Между экранами помещено горизонтальное плоское зеркало 3 так, как показано на рисунке. Свет от щели попадает



на второй экран непосредственно и после отражения от зеркала. При этом на экране наблюдаются интерференционные полосы. Щель находится на расстоянии $h = 1$ мм от плоскости зеркала. Высота второго экрана равна $H = 5$ см. Число интерференционных полос на экране $N = 200$. Найти расстояние L между экранами при условии, что $h << L$. Ответ получить в метрах.

Решение

Рассмотрим два луча, выходящие из одной точки щели и идущие в плоскости, перпендикулярной щели, как показано на рисунке. Введём систему координат в плоскости экрана 2. Луч 1 попадает в точку экрана с координатой x непосредственно от щели, а луч 2 попадает в эту же точку после отражения от зеркала. Если в указанной точке наблюдается интерференционный максимум, то оптическая разность хода лучей 1 и 2 должна быть кратна целому числу длин волн излучения источника λ. Будем считать, что оптическая разность хода лучей равна их геометрической разности хода (абсолютный показатель преломления среды между экранами равен единице). Тогда путь, пройденный лучом 1 от щели до экрана, равен: $S_1 = \sqrt{L^2 + (x-h)^2}$. Аналогично, путь, пройденный лучом 2, равен: $S_2 = \sqrt{L^2 + (x+h)^2}$. Геометрическая разность хода лучей $\Delta S = S_2 - S_1$.



Последнее равенство можно записать по-другому: $\Delta S = \dfrac{S_2^2 - S_1^2}{S_2 + S_1}$. По условию задачи $h << L$. Полагая, что наблюдаемые порядки интерференции не слишком велики, можно считать, что и $x << L$. Тогда последнее равенство можно записать в виде:

$$\Delta S = \frac{S_2^2 - S_1^2}{2L} = \frac{(x+h)^2 - (x-h)^2}{2L} = \frac{2xh}{L}.$$

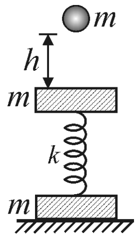
Пусть в точке с координатой x_m наблюдается интерференционный максимум m-того порядка, тогда $\Delta S_m = \dfrac{2x_m h}{L} = m\lambda$. Пусть максимум $(m+1)$-го порядка наблюдается в точке с координатой x_{m+1}, тогда $\Delta S_{m+1} = 2x_{m+1}h/L = (m+1)\lambda$. Ширина интерференционной полосы равна $\Delta x = x_{m+1} - x_m$. Таким образом, получаем: $\Delta x = \dfrac{\lambda L}{2h}$. Число интерференционных полос, наблюдаемых на экране высотой H, равно целой части от отношения $\dfrac{H}{\Delta x}$, т.е. $N = \left[\dfrac{H}{\Delta x}\right]$. По условию задачи $N = 200$. Таким образом, искомое расстояние L между экранами равно:

$$L = \frac{2Hh}{\lambda N}.$$

Ответ: $L = \dfrac{2Hh}{\lambda N} = \dfrac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}}{0{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 200} = 1$ м.

ВАРИАНТ 3.

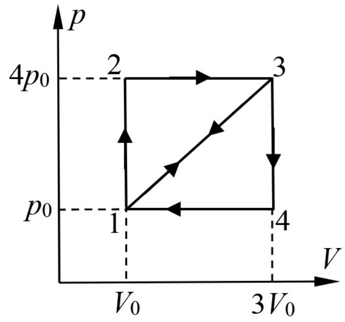
3.1. Два одинаковых бруска массой m = 100 г каждый, скрепленные пружиной, поместили на неподвижный горизонтальный стол так, что бруски оказались друг под другом, а пружина расположилась вертикально (см. рисунок). Чему равна жесткость пружины k, если максимальная высота, с которой можно уронить на верхний брусок пластилиновый шарик массой m, при которой колебания бруска с прилипшим к нему пластилином будут гармоническими, равна $h_{\max}$ = 8 см? Считайте, что пружина при колебаниях бруска не сжимается полностью и во всем диапазоне деформаций подчиняется закону Гука. Ускорение свободного падения примите равным g = 10 м/с^2.



Решение

Колебания верхнего бруска будут оставаться гармоническими до тех пор, пока нижний брусок не начнет отрываться от стола. Для описания движения брусков совместим начало системы координат с положением равновесия верхнего бруска с прилипшим к нему пластилиновым шариком, координатную ось OX направим вертикально вверх. В положении равновесия верхнего бруска пружина сжата величину $\Delta x_1 = \dfrac{mg}{k}$, а в положении равновесия этого бруска с шариком – сжата на величину $\Delta x_2 = \dfrac{2mg}{k}$. Таким образом, в выбранной системе начальная координата бруска с шариком $x_0 = \Delta x_2 - \Delta x_1 = \dfrac{mg}{k}$, где k – жесткость пружины, g – ускорение свободного падения. По закону сохранения энергии модуль скорости шарика перед ударом о брусок $u_0 = \sqrt{2gh}$. По закону сохранения импульса модуль скорости бруска с шариком сразу послу соударения $v_0 = \dfrac{u_0}{2}$. Уравнение свободных колебаний бруска с шариком на пружине и начальные условия имеют вид: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, $x(0) = x_0 = \dfrac{mg}{k}$, $\dot{x}(0) = -v_0 = -\sqrt{\dfrac{gh}{2}}$. Решение этого уравнения $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)$, где $A = \sqrt{x_0^2 + v_0^2/\omega^2}$ – амплитуда колебаний, $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{2m}}$ – круговая частота, $\varphi_0 = \operatorname{arctg}\left(-\dfrac{\dot{x}(0)}{\omega x(0)}\right) = \operatorname{arctg}\left(\dfrac{v_0}{\omega x_0}\right)$ – начальная фаза. Нижний брусок начнет отрываться от стола, когда сила упругости растянутой пружины, направленная вверх, превысит силу тяжести, действующую на брусок, т.е. при выполнении условия $k\Delta x \ge mg$, где $\Delta x = A - \Delta x_2$ – растяжение пружины. С учетом записанных выше соотношений это условие принимает вид: $A \ge \dfrac{3mg}{k}$, или $h \ge \dfrac{8mg}{k}$. **Ответ:** $k = \dfrac{8mg}{h_{\max}} = 100$ Н/м.

2.2. (**ОФ 2.3.**) С одноатомным идеальным газом проводят два циклических процесса 1-2-3-1 и 1-3-4-1 (см. рис.). В изохорных процессах давление газа изменяется в 5 раз, а в изобарных процессах объем изменяется в 4 раза. Определите отношение коэффициента полезного действия второго цикла к коэффициенту полезного действия первого цикла.



Решение

КПД тепловой машины равен отношению работы за цикл к количеству теплоты, полученному в этом цикле. Работа за цикл равна площади, ограниченной циклом на pV-диаграмме и одинакова для двух циклов. В первом цикле газ получает количество теплоты в процессах 1-2 и 2-3. Во втором цикле – в процессе 1-3. Следовательно, искомое отношение КПД циклов равно:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{Q_{12} + Q_{23}}{Q_{13}}. \qquad (1)$$

Определим, используя уравнение Клапейрона – Менделеева, соотношения между температурами газа в состояниях 1, 2 и 3:

$$T_1 = \frac{p_0 V_0}{\nu R}, \quad T_2 = \frac{5 p_0 V_0}{\nu R} = 5T_1, \quad T_3 = \frac{5 p_0 \cdot 4V_0}{\nu R} = 20T_1.$$

Здесь ν – число молей газа.

Учитывая, что молярные теплоемкости одноатомного идеального газа в изохорном и изобарном процессах равны соответственно $c_V = \frac{3}{2}R$ и $c_p = \frac{5}{2}R$, выражения для количеств теплоты принимают вид:

$$Q_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}\nu R(5T_1 - T_1) = 6\nu R T_1,$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{5}{2}\nu R(20T_1 - 5T_1) = \frac{75}{2}\nu R T_1.$$

Количество теплоты, полученное газом во втором цикле, в соответствии с первым законом термодинамики, равно сумме изменения внутренней энергии и работы газа:

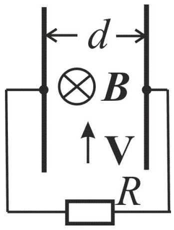
$$Q_{13} = \Delta U + A = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + \frac{1}{2}(4V_0 - V_0)(p_0 + 5p_0) = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + 9p_0V_0 =$$

$$= \frac{57}{2}\nu R T_1 + 9\nu R T_1 = \frac{75}{2}\nu R T_1.$$

Подставляя в соотношение (1) полученные выражения для количеств теплоты, получаем искомое отношение КПД:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{Q_{12} + Q_{23}}{Q_{13}} = \frac{87}{75}.$$

Ответ: $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{87}{75}$.



3.3. Между двумя параллельными металлическими пластинами, замкнутыми на резистор с сопротивлением R = 0,4 Ом и отстоящими друг от друга на расстояние d = 40 см, создан поток проводящей жидкости, которая течёт со скоростью V параллельно пластинам. Система находится в однородном магнитное поле с индукцией B = 1 Тл, направленной параллельно пластинам и перпендикулярно скорости потока. При этом на резисторе Rвыделяется максимальная возможная при данных условиях мощность P_m = 1 мВт. Определите модуль скорости потока.

Решение

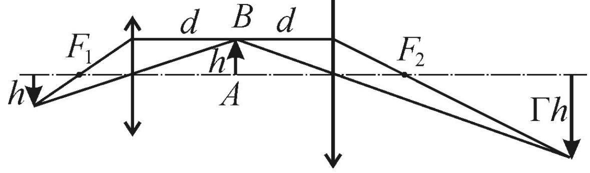
Так как по условию задачи движущаяся между пластинами жидкость является проводящей, то на её частицы, находящейся в магнитном поле с индукцией B, будет действовать магнитная составляющая силы Лоренца, равная по модулю $F = qVB$, где q– заряд частицы жидкости. Эта сила направлена перпендикулярно пластинам, что приводит к появлению кулоновской составляющей силы Лоренца и созданию разности потенциалов между пластинами $U = Fd / q = VBd$. Поэтому сила тока через резистор R будет равна $I = U/(R+r)$, где r– внутреннее сопротивление источника. Выделяющаяся на резисторе мощность равна $P = I^2R$. По условию эта мощность должна быть максимальной, а потому должно выполняться уравнение $\frac{dP(R)}{dR} = U^2\left[\frac{(R+r)^2 - 2R(R+r)}{(R+r)^4}\right] = 0$. Следовательно,

$R = r$, $P_m = \frac{V^2B^2d^2}{4R}$, а потому V = 10 см/с.

3.4. Две тонких собирающих линзы расположены так, что их главные оптические оси совпадают. Ровно посередине между ними перпендикулярно оптической оси линз помещён тонкий стержень. Расстояние от стержня до каждой линзы d = 25 см. Линзы создают действительные изображения стержня, причём первая линза даёт изображение без увеличения, а вторая – с некоторым увеличением Г. Каково Г, если, после того, как сместят стержень параллельно самому себе вдоль оптической оси линз на расстояние x = 5 см, увеличения обоих изображений становятся одинаковыми? Ответ приведите в сантиметрах.

Решение

Построим изображения стержня в линзах (см. рисунок). Чтобы изображения имели одинаковое увеличение, стержень нужно сдвинуть к первой линзе (влево).



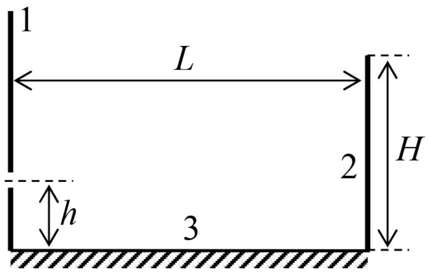
Пусть увеличение каждого изображения при этом стало равно K. Тогда для первой линзы получим: $\frac{1}{d-x} + \frac{1}{K(d-x)} = \frac{1}{F_1}$, а для второй:

$\dfrac{1}{d+x}+\dfrac{1}{K(d+x)}=\dfrac{1}{F_2}$, где F_1 и F_2 – фокусное расстояние первой и второй линзы.

Решая систему из двух уравнений, получим: $x=\dfrac{(F_2-F_1)d}{F_1+F_2}$. Найдём фокусные расстояния линз. Т.к. первая линза сначала даёт изображение без увеличения, то $d=2F_1$ и $F_1=d/2$. Фокусное расстояние второй линзы найдем из равенства $\dfrac{1}{d}+\dfrac{1}{\Gamma d}=\dfrac{1}{F_2}$, т.е. $F_2=\dfrac{\Gamma d}{\Gamma+1}$. Подставив эти выражения в формулу для x, получим, что $x=\dfrac{(\Gamma-1)d}{3\Gamma+1}$. Отсюда $\Gamma=\dfrac{x+d}{d-3x}$.

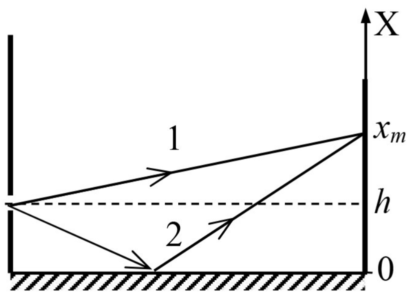
Ответ: $\Gamma=\dfrac{x+d}{d-3x}=3$.

3.5. В вертикально расположенном экране 1 сделана узкая горизонтальная щель, которая освещается монохроматическим источником света с длиной волны λ = 0,5 мкм. На расстоянии L = 1 м от экрана со щелью находится вертикальный экран 2. Между экранами помещено горизонтальное плоское зеркало 3 так, как показано на рисунке. Свет от щели попадает на второй экран непосредственно и после отражения от зеркала. При этом на экране наблюдаются интерференционные полосы. Щель находится на некотором расстоянии h от плоскости зеркала. Высота второго экрана равна H = 5 см. Число интерференционных полос на экране N = 200. Найти расстояние h от щели до плоскости зеркала при условии, что h << L. Ответ получить в миллиметрах.



Решение

Рассмотрим два луча, выходящие из одной точки щели и идущие в плоскости, перпендикулярной щели, как показано на рисунке. Введём систему координат в плоскости экрана 2. Луч 1 попадает в точку экрана с координатой x непосредственно от щели, а луч 2 попадает в эту же точку после отражения от зеркала. Если в указанной точке наблюдается интерференционный максимум, то оптическая разность хода лучей 1 и 2 должна быть кратна целому числу длин волн излучения источника λ. Будем считать, что оптическая разность хода лучей равна их геометрической разности хода (абсолютный показатель преломления среды между экранами равен единице).



Тогда путь, пройденный лучом 1 от щели до экрана, равен: $S_1=\sqrt{L^2+\left(x-h\right)^2}$. Аналогично, путь, пройденный лучом 2, равен: $S_2=\sqrt{L^2+\left(x+h\right)^2}$. Геометрическая разность хода лучей $\Delta S=S_2-S_1$. Последнее равенство можно записать по-другому: $\Delta S = \dfrac{S_2^2 - S_1^2}{S_2 + S_1}$. По условию задачи $h << L$. Полагая, что наблюдаемые порядки интерференции не слишком велики, можно считать, что и $x << L$. Тогда последнее равенство можно записать в виде:

$$\Delta S = \frac{S_2^2 - S_1^2}{2L} = \frac{(x+h)^2 - (x-h)^2}{2L} = \frac{2xh}{L}.$$

Пусть в точке с координатой x_m наблюдается интерференционный максимум m-го порядка, тогда $\Delta S_m = \dfrac{2x_m h}{L} = m\lambda$. Пусть максимум ($m$+1)-го порядка наблюдается в точке с координатой x_{m+1}, тогда $\Delta S_{m+1} = \dfrac{2x_{m+1}h}{L} = (m+1)\lambda$. Ширина интерференционной полосы равна $\Delta x = x_{m+1} - x_m$. Таким образом, получаем: $\Delta x = \dfrac{\lambda L}{2h}$. Число интерференционных полос, наблюдаемых на экране высотой H, равно целой части от отношения $\dfrac{H}{\Delta x}$, т.е. $N = \left[\dfrac{H}{\Delta x}\right]$. По условию задачи $N = 200$. Таким образом, искомое расстояние h от щели до плоскости зеркала равно:

$$h = \frac{\lambda LN}{2H}.$$

Ответ: $h = \dfrac{\lambda LN}{2H} = \dfrac{0,5\cdot 10^{-6}\cdot 1\cdot 200}{2\cdot 5\cdot 10^{-2}}$ = 1 мм.

Критерии оценки

Задачи (каждая задача оценивается максимально в 20 баллов)

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 10 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **11 – 15 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **16-19 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **20 баллов**.

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «РОБОФЕСТ» по ФИЗИКЕ

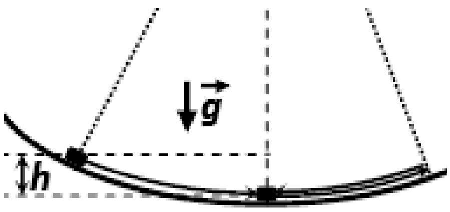
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2024-2025 ГОДА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

Отборочный этап состоял из практического тура (участие в робототехнических соревнованиях или выполнение инженерного либо научного проекта) **с максимальной оценкой 40 баллов** и теоретического тура (выполнение заданий по физике **с максимальной оценкой 50 баллов**. Еще **до 10 баллов** начислялись за выполнение заданий по физике на пригласительном этапе олимпиады.
Таким образом, **максимальная оценка участника на отборочном этапе равнялась 100 баллам**.

На теоретическом туре отборочного этапа участники выполняли задания в онлайн-режиме, проводилась автоматическая проверка ответов.

ПРИМЕР ЗАДАНИЙ ТЕОРТУРА ДЛЯ 11 КЛАССА:

1. В нижней точке гладкой внутренней поверхности полусферы с радиусом R = 40 см покоилась маленькая шайба. Вторую (точно такую же) шайбу положили на эту поверхность на высоте h = 8 мм над первой, и отпустили без начальной скорости. Она скользит вниз и сталкивается с первой шайбой. Происходит лобовой удар. Боковая поверхность шайб обработана так, что при ударе они мгновенно слипаются.

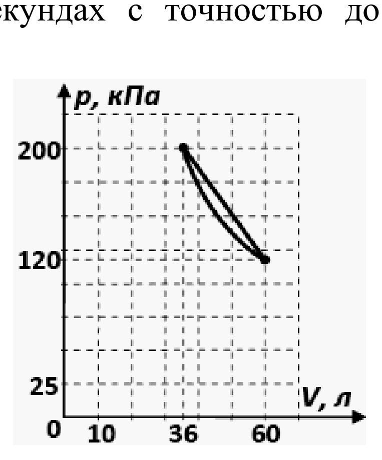


1.1. Найдите величину скорости второй шайбы непосредственно перед ударом о первую. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых. Ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2.

1.2. Через какое время t_1 после удара получившаяся «составная» шайба впервые остановится? Ответ запишите в секундах с точностью до десятых.

1.3. Через какое время t_2 после удара «составная» шайба впервые вернется в нижнюю точку полусферы? Ответ запишите в секундах с точностью до десятых.

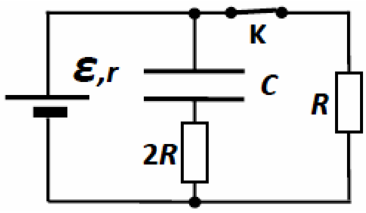
2. В некоторой тепловой машине в качестве рабочего тела используют 3 моля гелия. Цикл рабочего тела (диаграмма показана на рисунке в координатах давление-объем) состоит всего из двух процессов: при расширении давление гелия падает по линейному закону, при сжатии растет обратно пропорционально объему. Используя диаграмму, ответьте на следующие вопросы:



2.1. Чему равна **минимальная** абсолютная температура гелия в этом цикле? Универсальная газовая постоянная $R \approx 8{,}31$ Дж/(моль·К). Ответ запишите в кельвинах с точностью до целого значения.

2.2. Чему равен максимально возможный КПД тепловой машины с таким циклом рабочего тела? Ответ запишите в процентах с точностью до целого значения.

3. В схеме, показанной на рисунке, ключ сначала замкнули, выждали несколько секунд, затем снова разомкнули. Известно, что ЭДС источника постоянного тока $\mathcal{E} = 50$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, величина $R = 4$ Ом, а емкость конденсатора $C = 360$ мкФ. Изучите процесс «дозарядки» конденсатора **после** размыкания ключа и ответьте на вопросы.



3.1. Определите увеличение заряда конденсатора после размыкания ключа. Ответ запишите в мКл с точностью до десятых.

3.2. Чему равна работа, произведенная источником после размыкания ключа? Ответ запишите в мДж с точностью до целого значения.

3.3. Найдите количество теплоты, выделившееся в резисторе с сопротивлением $2R$ после размыкания ключа. Ответ запишите в мДж с точностью до целого значения. Сопротивление подводящих проводов намного меньше внутреннего сопротивления источника.

4. Ось пучка света от небольшого светодиода направлена вдоль главной оптической оси (ГОО) тонкой линзы. За линзой устанавливают экран, выбирая его положение таким образом, чтобы на экране было видно четкое изображение «глазка» светодиода. Когда светодиод находился на расстоянии $a = 70$ см от линзы, изображение на экране имело поперечное увеличение $|\Gamma| = 2{,}5$ (поперечное увеличение — отношение поперечного по отношении к ГОО линзы размера изображения к поперечному размеру предмета).

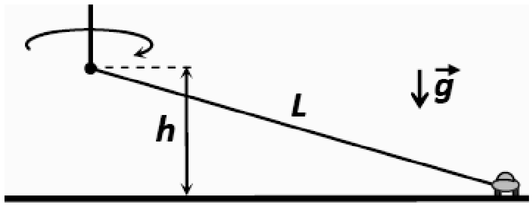
4.1. Найдите оптическую силу линзы. Ответ запишите в диоптриях, с точностью до целого значения.

4.2. Светодиод придвинули к линзе, и теперь он находится на расстоянии $a' = 62$ см от линзы. После подбора положения экрана на нем снова видно четкое изображение «глазка» светодиода. Определите поперечное увеличение нового изображения. Ответ запишите с точностью до десятых.

ОТВЕТЫ: 1.1. **0,4**. 1.2 **0,3**. 1.3 **0,6**. 2.1. **289**. 2.2. **4**. 3.1. **3,6**. 3.2. **180**. 3.3. **16**. 4.1 **2**. 4.2 **4,2**.

ПРИМЕР ЗАДАНИЙ ТЕОРТУРА ДЛЯ 10 КЛАССА:

1. Представим себе испытательный стенд для небольших автомоделей, устроенный следующим образом: верхний конец легкого жесткого стержня длиной L = 3 м закреплен шарнирно (стержень может свободно вращаться в любую сторону) на высоте h = 84 см. Нижний конец прикрепляется к корпусу модели, которая разгоняется по кругу на шероховатой горизонтальной поверхности. Управление модели запрограммировано таким образом, что при проскальзывании колес равнодействующая сил трения всегда направлена перпендикулярно радиусу траектории. В одном из испытаний модель массой m = 8 кг, у которой все 4 колеса были ведущими, разогналась таким образом до скорости v = 7,2 м/с, при этом все колеса проскальзывали, а сила натяжения стержня всегда была направлена вдоль стержня.

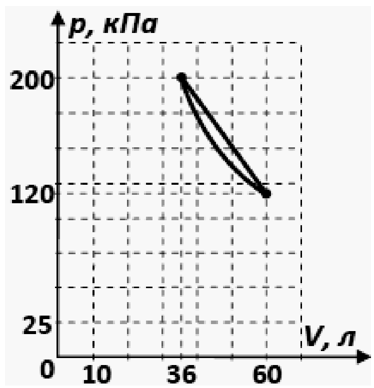


1.1 Найдите величину силы натяжения стержня в этом испытании. Ответ запишите в ньютонах с точностью до целого значения.

1.2 Чему равна при этом сила давления подели на горизонтальную поверхность? Ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Ответ запишите в ньютонах с точностью до целого значения.

1.3 Пусть во время этого испытания двигатель модели потребляет мощность P_0 = 500 Вт. Найдите его КПД. Ответ запишите в процентах с точностью до целого значения. Полезной мощностью в этом случае следует считать мощность силы трения скольжения. Коэффициент трения колес о дорогу равен μ = 0,95.

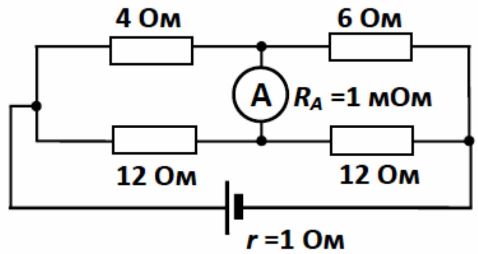
2. В некоторой тепловой машине в качестве рабочего тела используют 3 моля гелия. Цикл рабочего тела (диаграмма показана на рисунке координатах давление-объем) состоит всего из двух процессов: при расширении давление гелия падает по линейному закону, при сжатии растет обратно пропорционально объему. Используя диаграмму, ответьте на следующие вопросы:



2.1. Чему равна минимальная абсолютная температура гелия в этом цикле? Универсальная газовая постоянная $R \approx$ 8,31 Дж/(моль·К). Ответ запишите в кельвинах с точностью до целого значения.

2.2. Чему равна максимальная абсолютная температура гелия в этом цикле? Ответ запишите в кельвинах с точностью до целого значения.

3. В схеме, показанной на рисунке, ЭДС источника постоянного тока $\mathcal{E}$ = 2,4 В. Сопротивления всех элементов схемы, включая внутренние сопротивления источника и амперметра, показаны на рисунке, а сопротивление всех соединительных проводов намного меньше внутреннего сопротивления амперметра.



3.1. Определите силу тока в ветви с источником. Ответ запишите в А с точностью до десятых.

3.2. Во сколько раз сила тока через резистор с сопротивлением 4 Ом больше, чем сила тока в «левом» (по схеме) резисторе с сопротивлением 12 Ом? Ответ запишите с точностью до целого значения.

3.3. Каковы показания амперметра? Ответ запишите в мА с точностью до целого значения.

4. Ось пучка света от небольшого светодиода направлена вдоль главной оптической оси (ГОО) тонкой линзы. За линзой устанавливают экран, выбирая его положение таким образом, чтобы на экране было видно четкое изображение «глазка» светодиода. Когда светодиод находился на расстоянии a = 72 см от линзы, экран нужно было разместить на расстоянии b = 90 см от линзы.

4.1. Найдите оптическую силу линзы. Ответ запишите в диоптриях, с точностью до десятых.

4.2. Светодиод придвинули к линзе, и теперь он находится на расстоянии a' = 60 см от линзы. После подбора положения экрана на нем снова видно четкое изображение «глазка» светодиода. Определите новое расстояние между линзой и экраном. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

ОТВЕТЫ: 1.1. **150**. 1.2 **38**. 1.3 **52**. 2.1. **289**. 2.2. **308**. 3.1. **0,3**. 3.2. **3**. 3.3. **25**. 4.1 **2,5**. 4.2 **120**.

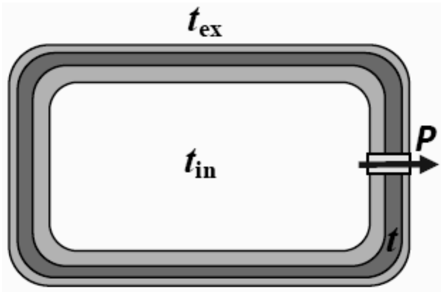
ПРИМЕР ЗАДАНИЙ ТЕОРТУРА ДЛЯ 9 КЛАССА:

1. Два катера одновременно отплыли от одного причала на берегу прямолинейного канала с быстрым течением (в момент отплытия расстояние между ними было меньше метра). Рулевой первого катера держал курс строго перпендикулярно берегам канала, а рулевой второго катера держал курс под углом 60° к берегам. Катера двигались с постоянными относительно воды скоростями, и к противоположному берегу причалили одновременно. Ширина канала 300 м.

1.1. Во сколько раз скорость второго катера относительно воды больше, чем у первого? Ответ запишите с точностью до сотых.

1.2. На каком расстоянии друг от друга катера причалили к другому берегу? Ответ запишите в метрах, округлив **до десятков**.

2. Специальный контейнер обеспечивает хранение содержимого при неизменной температуре t_{in} = 2ºC. Стенки контейнера состоят из двух слоев теплоизоляции и металлического каркаса между ними. Слои теплоизоляции изготовлены из одного материала (плохо проводящего тепло), но внутренний имеет в два раза большую толщину, а его площадь составляет 80% от площади внешнего. Металл, из которого сделан каркас, очень хорошо подводит тепло. Пусть этот контейнер с содержимым долго находится в помещении, температура в котором t_{ex} = 23ºC постоянна.



2.1. Какова при этом температура t металлического каркаса? Ответ запишите в ºC с точностью до целого значения.

На самом деле температура внутри поддерживается постоянной за счет теплового насоса, который через небольшой канал отводит тепло от содержимого. При описанных условий полная мощность отвода тепла составляла 0,9 Вт.

2.2. Контейнер вынесли на улицу (в тень), где в это время температура была равна t'_{ex} = 30ºC. Чему теперь должна равняться мощность отвода тепла от содержимого для поддержания той же внутренней температуры? Ответ запишите в Вт с точностью до десятых.

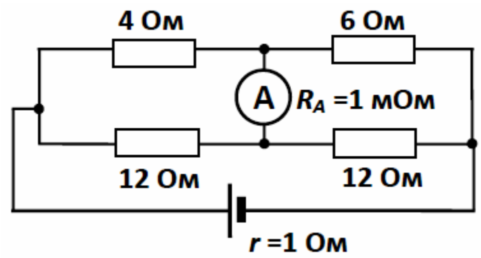
3. У тела, брошенного с плоского участка поверхности Земли под углом к горизонту, в течении первых t = 1,5 с полета величина скорости уменьшалась до значения v_{min} = 20 м/с, а затем росла. Пренебрегая сопротивлением воздуха, изучите движение тела. Ускорение свободного падения считайте равным $g \approx 10$ м/с^2.

3.1. Определите начальную скорость тела. Ответ запишите в м/с с точностью до целого значения.

3.2. Под каким углом α к горизонту был совершен бросок? В ответе укажите $\sin(\alpha)$ с точностью до десятых.

3.3. Найдите дальность полета тела. Ответ запишите в метрах с точностью до целого значения.

4. В схеме, показанной на рисунке, ЭДС источника постоянного тока $\mathcal{E}$=2,4 В. Сопротивления всех элементов схемы, включая внутренние сопротивления источника и амперметра, показаны на рисунке, а сопротивление всех соединительных проводов намного меньше внутреннего сопротивления амперметра.



4.1. Определите силу тока в ветви с источником. Ответ запишите в А с точностью до десятых.

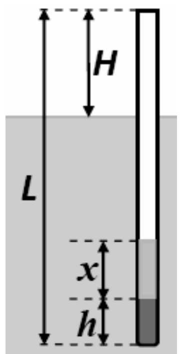
4.2. Во сколько раз сила тока через резистор с сопротивлением 4 Ом больше, чем сила тока в «левом» (по схеме) резисторе с сопротивлением 12 Ом? Ответ запишите с точностью до целого значения.

4.3. Каковы показания амперметра? Ответ запишите в мА с точностью до целого значения.

ОТВЕТЫ: 1.1. **1,15**. 1.2 **170**. 2.1. **17**. 2.2. **308**. 3.1. **25**. 3.2. **0,6**. 3.3. **60**. 4.1 **0,3**. 4.2 **3**. 4.3 **25**.

ПРИМЕР ЗАДАНИЙ ТЕОРТУРА ДЛЯ 7 И 8 КЛАССОВ:

1. По набережной реки проложена дорога, точно повторяющая все ее плавные изгибы. По этой дороге (по направлению течения реки) во время праздника следовала колонна старинных автомобилей, в которой все автомобили ехали с постоянной скоростью v_1 = 5 м/с на расстоянии L = 6 м друг от друга. Катер организаторов, двигавшийся по реке со скоростью v_2 = 9 м/с относительно воды, обогнал колонну за время t = 10 с, развернулся, и теперь прошел мимо колонны навстречу ей за время t' = 5 с.



1.1. Чему равна скорость течения реки (можно считать, что она постоянна по фарватеру, по которому плыл катер, и что длины соответствующих участков дороги и фарватера реки одинаковы)? Ответ запишите в м/с с точностью до целого значения.

1.2. Сколько автомобилей было в колонне? Ответ запишите целым числом.

2. В достаточно большом резервуаре с водой плавает в вертикальном положении легкая тонкостенная пробирка постоянного сечения длиной L = 50

см. На дно пробирки налито немного ртути, и при этом вначале часть пробирки высотой
H_0 = 16 см находилась над водой. Известно, что плотность воды в резервуаре ρ_0 = 1 г/см^3, а плотность ртути ρ = 13,6 г/см^3. Затем в пробирку стали аккуратно доливать маслянистую жидкость неизвестной плотности, которая не смешивается с ртутью (см. рисунок). Когда высота столба этой жидкости в пробирке равнялась x_1 = 4 см, высота верхнего среза пробирки над водой стала равна H_1 = 10 см.

2.1. Найдите высоту столба ртути в пробирке h. Ответ запишите в см с точностью до десятых.

2.2. На какой высоте H_2 над водой будет находиться верхний срез пробирки, когда высота столба маслянистой жидкости в пробирке увеличится до x_2 = 9 см? Ответ запишите в см с точностью до десятых.

3. Над широкой раковиной открыты два крана: из крана горячей воды вытекает 0,3 л воды с температурой t_1 = 42ºC за каждую секунду, из крана холодной воды – 0,9 л воды с температурой t_2 = 18ºC за каждую секунду. Вода вытекает из раковины через сливное отверстие площадью S = 8 см^2. Когда уровень воды в раковине достиг h, он перестал расти. Будем считать, что скорость вытекания жидкости (в область с атмосферным давлением) через отверстие, расположенное на глубине h под поверхностью воды, с достаточной точностью описывается формулой, следующей из закона Бернулли: $V \approx \sqrt{2gh}$. Ускорение свободного падения в ней можно считать равным $g \approx 10$ м/с^2.

3.1. Определите скорость вытекания воды из слива V для этой раковины при описанных условиях (когда уровень воды перестал изменяться). Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

3.2. Определите h для данной раковины при описанных условиях. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

3.3. Пренебрегая теплообменом воды в раковине с окружающими телами, найдите температуру воды, вытекающей из раковины. Считайте, что вода в раковине хорошо перемешивается, и разные порции воды успевают прийти к тепловому равновесию. Ответ запишите в ºC точностью до целого значения.

4. Автомобиль с заблокированными колесами тормозится силой трения скольжения, которая на горизонтальной дороге пропорциональна его весу. Если пренебречь силой сопротивления воздуха, то его скорость в процессе торможения будет убывать со временем по линейному закону $\upsilon(t) = \upsilon_0 \cdot (1 - t/T)$, , где T — время полной остановки, а υ_0 — начальная скорость автомобиля. Пусть автомобиль в ходе испытаний двигался по прямой горизонтальной дороге со скоростью υ_0 = 108 км/ч, и водитель резко заблокировал колеса автомобиля. Трение таково, что он полностью остановился за время T = 4 с.

4.1. Пренебрегая силой сопротивления воздуха, найдите тормозной путь автомобиля (расстояние, которое он проедет до полной остановки). Ответ запишите в метрах с точностью до целого значения.

4.2. Определите коэффициент трения колес автомобиля о поверхность дороги. Ответ запишите с точностью до сотых. При расчете ускорение свободного падения считайте равным $g \approx 10$ м/с^2.

Пусть в другом испытании водитель автомобиля при той же скорости заблокировал колеса только до тех пор, пока скорость автомобиля не уменьшилась в два раза, а потом отключил тормоз, и автомобиль катился по инерции с постоянной скоростью.

4.3. Какое расстояние в этом случае проедет автомобиль за время $T = 4$ с после начала торможения? Ответ запишите в м с точностью до целого значения.

ОТВЕТЫ: 1.1. **2**. 1.2 **11**. 2.1. **2,5**. 2.2. **2,5**. 3.1. **1,5**. 3.2. **11**. 3.3. **24**. 4.1 **60**. 4.2 **0,75**. 4.3 **75**.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2025 года

В 2025 году финальный этап состоял из практического тура (участие в робототехнических соревнованиях или выполнение инженерного либо научного проекта) **с максимальной оценкой 40 баллов** и теоретического тура (выполнение заданий по физике) **с максимальной оценкой 60 баллов**. Ввиду большого разнообразия направлений робототехнических соревнований и выполняемых участниками проектов собеседование с экспертами-членами жюри олимпиады было включено в состав практического тура. Задания теоретического тура состояли из 4 заданий, каждое из которых было посвящено одному из разделов школьного курса физики, при этом каждое задание состояло из вопроса и задачи. Работы теоретического тура жюри при технической проверке оценивались по 100-балльной шкале (максимальная оценка за ответ на вопрос – 10 баллов, максимальная оценка за решение задачи – 15 баллов), а вклад теоретического тура в итоговую оценку финального этапа пересчитывался пропорционально (с округлением вверх до ближайшего целого) к 60-балльной шкале.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР:
ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

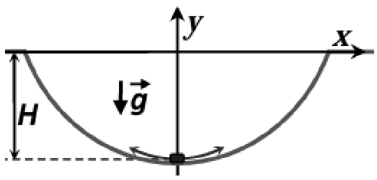
11 класс

БИЛЕТ № 06, возможные решения и критерии

Задание 1: «Гармоничная форма»

Вопрос: Поверхность гладкой осесимметричной лунки в вертикальном сечении описывается формулой $y(x) = H\cdot\cos(x / H)$ (см. рисунок). По этой поверхности скользит маленькая шайба, совершающая малые гармонические колебания. Найдите их период. Ускорение свободного падения g.

Ответ на вопрос: При отклонении шайбы от положения равновесия ее возвращает назад горизонтальная составляющая силы нормальной реакции лунки, то есть уравнение движения шайбы в проекции на горизонтальную ось имеет вид $m \cdot a_x = -N \cdot \sin(\alpha)$, где α — угол отклонения силы нормальной реакции от вертикали. При малых отклонениях этот угол тоже мал, и поэтому в линейном по x (гармоническом) приближении $N \approx mg$, а $\sin(\alpha) \approx \mathrm{tg}(\alpha) = y'_x(x) = \sin(x/H) \approx x/H$. Таким образом, уравнение движения для малых колебаний сводится к уравнению гармонических колебаний $x''_t + \dfrac{g}{H}x = 0$ с циклической частотой $\omega = \sqrt{g/H}$.



Период этих колебаний $T = 2\pi\sqrt{H/g}$.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Правильно указана возвращающая сила, обеспечивающая колебания шайбы.	1
2	Правильно записано уравнение движения.	1

3	В уравнении малых колебаний использовано $N \approx mg$.	2
4	В уравнении малых колебаний использовано, что $\sin(\alpha) \approx x/H$.	3
5	Уравнение движения приведено к виду уравнения гармонических колебаний.	1
6	Получена правильная формула для периода.	2
Всего		**10**

Задача: У лунки с точно таким же профилем, как в вопросе, половина поверхности гладкая, а на половине коэффициент трения $\mu = 0{,}1$, причем граница раздела перпендикулярна плоскости движения шайбы. Шайбу отпускают без начальной скорости из положения на высоте $h = 0{,}005 \cdot H$ над нижней точкой лунки на гладкой ее половине, и она доезжает до этой нижней точки за время $t_0 = 0{,}6$ с. Через какое после прохождения нижней точки лунки шайба впервые остановится? Какой будет скорость шайбы спустя время t_0 после начала движения по шероховатой части лунки?

Решение задачи: Понятно, что на ладком участке шайба наберет скорость $\upsilon_0 = \sqrt{2gh} = 0{,}1 \cdot \sqrt{gH}$. Время ее движения от максимального отклонения до положения равновесия отвечает четверти периода колебаний (в отсутствие трения) $t_0 = \frac{1}{4}T = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{H}{g}}$. При описании движения на шероховатой части поверхности лунки нужно учесть силу трения. Рассмотрим движение от «старта» шайбы на этом участке. В этом случае в уравнении малых колебаний по горизонтальной оси дополнительно появляется проекция силы трения скольжения $F_{mp\,x} = -\mu \cdot mg$. Следовательно, уравнение колебаний теперь принимает вид $x_t'' + (g/H)\,x = -\mu g$. Если записать закон движения в виде $x(t) = -\mu H + \tilde{x}(t)$, то для $\tilde{x}(t)$ мы получаем «обычное» уравнение гармонических колебаний $\tilde{x}_t'' + (g/H)\,\tilde{x} = 0$. Значит, эту функцию можно записать как комбинацию гармонических функций (синуса и косинуса), то есть $x(t) = -\mu H + A \cdot \cos(\omega t) + B \cdot \sin(\omega t)$. Мы знаем, что при $t = 0$ $x(0) = 0$ и $\upsilon_x(0) = \upsilon_0 = 0{,}1 \cdot \sqrt{gH}$. Сравнивая эти значения с теми, что дает наш закон колебаний, определяем коэффициенты: $-\mu H + A = 0 \Rightarrow A = \mu H = 0.1 \cdot H$ и $\omega B = \upsilon_0 \Rightarrow B = \frac{\upsilon_0}{\omega} = 0{,}1 \cdot H$. Таким образом, закон движения шайбы до первой остановки

$$x(t) = 0{,}1 \cdot H \cdot [-1 + \cos(\omega t) + \sin(\omega t)] \Rightarrow \upsilon_x(t) = 0{,}1 \cdot \sqrt{gH}\,[\cos(\omega t) - \sin(\omega t)].$$

Как видно, первая остановка отвечает $\cos(\omega t_1) = \sin(\omega t_1) \Rightarrow t_1 = \frac{\pi}{4\omega} = \frac{1}{2}t_0 = 0{,}3$ с.

После остановки шайба оказывается в точке с координатой $x_1 = 0{,}1 \cdot H(\sqrt{2} - 1) < 0{,}1 \cdot H$. Последнее неравенство означает, что в этой точке возвращающая сила меньше максимальной величины силы трения покоя, то есть шайба больше не придет в движение, и дальше ее скорость равна нулю, в том числе и спустя время t_0 после начала движения по шероховатой части лунки.

Ответ: $t_1 = \frac{1}{2} t_0 = 0{,}3$ с, $v_x(t_0) = 0$.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Правильно определена скорость шайбы после скатывания	2
2	Указано (используется в решении), что $t_0 = \frac{1}{4}T = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{H}{g}}$	2
3	Записано уравнение движения по шероховатой части лунки с учетом силы трения скольжения.	2
4	Это уравнение приведено к виду $x_t'' + \frac{g}{H}x = -\mu g$ (или получено уравнение колебаний для скорости).	2
5	Правильно найдено решение записанного уравнения для $x(t)$ или $v_x(t)$	2
6	Получена правильная формула для t_1.	2
7	Получено правильное численное значение для t_1.	1
8	Указано, что после первой остановки шайба не будет двигаться.	1
9	Дан ответ $v_x(t_0) = 0$.	1
Всего		**15**

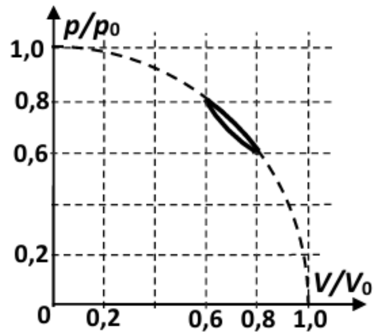
Задание 2: «Вот это трансформация!»

Вопрос: Тепловой насос — устройство, которое за счет совершения работы передает тепло от более холодного тела к более нагретому. Назовем коэффициентом трансформации K теплового насоса отношение количества теплоты, переданного к более нагретому телу к работе, произведенной над его рабочим телом. Как связаны между собой K теплового насоса и КПД тепловой машины с тем же циклом рабочего тела?

Ответ на вопрос: По определению КПД тепловой машины выражается через произведенную рабочим телом работу A и подведенного к рабочему телу количества теплоты нагревателя Q_H: $\eta \equiv \frac{A}{Q_H}$, а коэффициент трансформации теплового насоса есть отношение переданного нагреваемому телу количества теплоты к произведенной рабочим телом работе: $K \equiv \frac{Q_H}{A}$. Если они работают по одному циклу (с разным направлением обхода, но одинаковыми соотношениями работы и количеств теплоты) , то $K = \frac{1}{\eta}$.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Дано корректное определение КПД тепловой машины.	2
2	Дано корректное определение коэффициента трансформации теплового насоса.	3
3	Указано (используется в решении), что для заданного цикла отношения работы и количеств теплоты не завися от направления обхода.	2
4	Дан правильный ответ.	3
Всего		**10**



Задача: На рисунке показана диаграмма цикла рабочего тела теплового насоса в координатах давление-объем (в относительных единицах). Рабочим телом является постоянное количество одноатомного идеального газа, а цикл состоит из изотермы и процесса, диаграмма которого является участком окружности (показанной пунктиром). На сколько % в этом процессе максимальная абсолютная температура больше минимальной? Пренебрегая потерями, найдите коэффициент трансформации этого теплового насоса с ошибкой не более 10%.

Решение задачи: Ясно, что минимальная температура в цикле — это температура изотермы, а максимальная — в «круговом» процессе на биссектрисе квадранта pV, где $\frac{p}{p_0} = \frac{V}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Из уравнения Менделеева-Клапейрона мы понимаем, что температура пропорциональна произведению давления на объем, то есть $\frac{T_{\max}}{T_{\min}} = \frac{0,5}{0,48} = \frac{25}{24} \approx 1,04$.

Обе граничные точки процессов в цикле отвечают одинаковой температуре (они связаны изотермой), и изменение внутренней энергии равно нулю. Значит, в этих процессах количества теплоты совпадают (и по величине, и по знаку) с работой. Например, в процессе изотермического сжатия (это цикл рабочего тела теплового насоса, и он «обращенный», то есть положительной является работа внешних тел над газом) над газом совершается работа $A = \nu RT \cdot \ln\left(\frac{V_H}{V_K}\right) = 0,48 \cdot p_0 V_0 \cdot \ln\left(\frac{4}{3}\right)$, и она равна количеству теплоты Q_X, поступившему от «холодильника» (внешней среды). В процессе, диаграмма которого представлена на рисунке, связь давления и объема можно записать в виде $p(V) = p_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2}$. Значит, количество теплоты, которым газ обменялся с окружающими телами при малом изменении объема dV в этом процессе равно

$$\delta Q = p \cdot dV + \frac{3}{2} d(pV) = \frac{dV}{2}\left(5p + 3V\frac{dp}{dV}\right) = \frac{p_0 dV}{2\sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2}} \cdot \left[5 - 8\left(\frac{V}{V_0}\right)^2\right].$$

Мы видим, что в этом процессе происходит изменение направления теплообмена – при значении объема, равном $V_K = \sqrt{\frac{5}{8}} V_0 \approx 0,791 \cdot V_0$. Это значение попадает в интервал, отвечающий нашему процессу, но на «самый край», и при заданной точности (10 %) этим можно пренебречь, и считать, что во все этом процессе газ передает теплоту нагреваемому телу, то есть

$$Q_H \approx p_0V_0 \cdot \int_{0,6}^{0,8} \sqrt{1-x^2}\,dx = \frac{p_0V_0}{2}\left[\arcsin(0,8)-\arcsin(0,6)\right].$$

Таким образом, коэффициент трансформации

$$K = \frac{Q_H}{Q_H - Q_X} \approx \frac{\arcsin(0,8)-\arcsin(0,6)}{\arcsin(0,8)-\arcsin(0,6)-0,96\cdot\ln(4/3)} \approx 37.$$

Если записывать в процентах, то примерно 3700 %!

Ответ: $\dfrac{T_{\max}}{T_{\min}} = \dfrac{25}{24} \approx 1,04$, $K \approx \dfrac{\arcsin(0,8)-\arcsin(0,6)}{\arcsin(0,8)-\arcsin(0,6)-0,96\cdot\ln(4/3)} \approx 37$.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано, что минимальная температура отвечает изотерме.	1
2	Указано, что максимальная температура достигается в «круговом» процессе на биссектрисе квадранта *pV*.	2
3	Правильно найдено отношение максимальной и минимальной температур.	2
4	Указано (используется в решении), что изменения внутренней энергии в обоих процессах равно нулю.	1
5	Правильно вычислено Q_X.	2
6	Найдена точка изменения направления теплообмена.	1
7	Указано, что учетом изменения характеристик цикла из-за ее появления можно пренебречь.	1
8	Правильно вычислено Q_H.	3
9	Правильно определен К.	2
Всего		**15**

Задание 3: «Диоды-потребители»

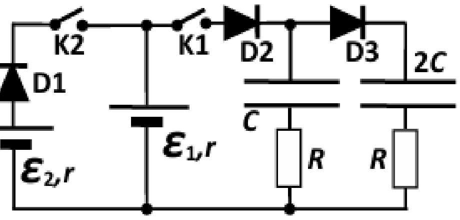
Вопрос: Конденсатор с емкостью C = 50 мкФ был заряжен до напряжения 5 В. Его разрядили через соединительные провода и слабонеидеальный диод, который при положительном напряжении ниже 2 В полностью «запирается» (ток через него не течет), а при напряжении 2 В может пропускать любой ток без увеличения напряжения. Какое количество теплоты выделилось в процессе разрядки в соединительных проводах? Излучением пренебречь.

Ответ на вопрос: В процессе разрядки напряжение на конденсаторе упадет от 5 В до 2 В (потом диод запрется). Уменьшение энергии конденсатора $\Delta E_C = CU_0^2/2 - CU^2/2 = 0,525$ мДж, и (поскольку излучением пренебрегаем) вся эта энергия выделится в виде тепла в диоде а в соединительных проводах. Количество теплоты, выделившееся в диоде $Q_D = U\cdot\Delta q = CU(U_0 - U) = 0,3$ мДж. Следовательно, в проводах выделилось количество теплоты $Q_R = C(U_0-U)^2/2 = 0,225$ мДж.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что все уменьшение энергии конденсатора обеспечивает выделение тепла в диоде и проводах.	2

2	Указано, что напряжение на конденсаторе упадет от 5 В до 2 В.	2
3	Правильно вычислено ΔE_C (аналитически или численно).	2
4	Правильно вычислено Q_D (аналитически или численно).	2
5	Правильно вычислено численное значение Q_R.	2
Всего		**10**



Задача: В схеме, показанной на рисунке, все три диода — слабонеидеальные (точно такие же, как в вопросе). Изначально оба конденсатора были разряжены. В некоторый момент времени ключ К1 замкнули, а затем, спустя некоторое время, замкнули и ключ К2. Известно, что ЭДС батарей в схеме $\mathcal{E}_1$ = 3 В и $\mathcal{E}_2$ = 9 В, их внутренние сопротивления одинаковы и много меньше 0,1 Ом, R = 8 Ом. Найдите количество теплоты, выделившееся в резисторах после замыкания К1 до замыкания К2. Найдите количество теплоты, которое дополнительно выделится в резисторах после замыкания К2.

Решение задачи: После замыкания К1 конденсаторы заряжаются от источника: первый (емкость C) — до заряда $q_1 = C(\mathcal{E}_1 - U)$. При этом максимальное напряжение на нем равно $\mathcal{E}_1 - U = 1\,\text{В}$, и это меньше порогового напряжения диода. Поэтому второй конденсатор (емкость $2C$) заряжаться не будет. Работа источника $A = \mathcal{E}_1 \cdot q_1 = C\mathcal{E}_1(\mathcal{E}_1 - U)$. Количество теплоты, выделившееся в диоде D2, равно $Q_D = U \cdot q_1 = CU(\mathcal{E}_1 - U)$. В D3 тепло выделяться не будет. Увеличение энергии конденсаторов $\Delta E_C = \dfrac{q_1^2}{2C} = \dfrac{C}{2}\left(\mathcal{E}_1 - U\right)^2$. Поэтому (выделением тепла на малом внутреннем сопротивлении источника пренебрегаем) количество теплоты, выделившееся в резисторах, равно $Q_R = A - Q_D - \Delta E_C = \dfrac{C}{2}\left(\mathcal{E}_1 - U\right)^2 = 0{,}025$ мДж.

Отметим, что все это тепло выделилось в «левом» (по схеме) резисторе. При замыкании К2 источник изменяет свои характеристики. Так как сопротивления в образовавшемся контуре с источниками очень малы, и в нем нет конденсаторов или катушек, а при этом разность ЭДС источников больше порогового напряжения диода, то в этом контуре быстро установится постоянный ток I, текущий через D1. Записав условие баланса напряжений на ветвях с источниками, находим его силу:

$$\mathcal{E}_2 - Ir - U = Ir + \mathcal{E}_1 \quad \Rightarrow \quad I = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 - U}{2r} \Rightarrow Ir = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 - U}{2} = 2\,\text{В}.$$

Таким образом, ЭДС «нового источника» $\mathcal{E} = Ir + \mathcal{E}_1 = 5\,\text{В}$, и теперь диод D3 открывается. В новом установившемся состоянии заряды конденсаторов $q_1' = C(\mathcal{E} - U)$ и $q_2' = 2C(\mathcal{E} - 2U)$. Значит, увеличение энергии конденсаторов после замыкания К2

$$\Delta E'_C = \frac{q_1'^2}{2C} + \frac{q_2'^2}{4C} - \frac{C}{2}(\mathcal{E}_1 - U)^2 = \frac{C}{2}\left[3\mathcal{E}^2 - 10U\mathcal{E} + 9U^2 - (\mathcal{E}_1 - U)^2\right] = 0{,}25\,\text{мДж}.$$

Работа источника (по дозарядке конденсаторов)

$$A' = \mathcal{E}\cdot(q_1' + q_2' - q_1) = C\mathcal{E}(3\mathcal{E} - \mathcal{E}_1 - 4U) = 1\,\text{мДж}.$$

Количество теплоты, выделившееся в диодах в процессе дозарядки

$$Q'_D = U\cdot(q_1' + 2q_2' - q_1) = CU(5\mathcal{E} - \mathcal{E}_1 - 8U) = 0{,}6\,\text{мДж}.$$

В результате получаем, что

$$Q'_R = A' - Q'_D - \Delta E'_C = 0{,}15\,\text{мДж}.$$

На сей раз тепло выделяется в обоих резисторах. Обратим внимание, что в контуре с источниками постоянно выделяется тепло (на D1 и внутренних сопротивлениях источников) за счет совершения источниками работы, но мы его не считаем — нас интересовало только количество теплоты, выделяющееся в резисторах в «правой» части схемы, по отношению к которой этот контур ведет себя как источник постоянного напряжения.

Ответ: $Q_R = 0{,}025$ мДж, $Q'_R = 0{,}15$ мДж.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Правильно определены установившиеся заряды конденсаторов после замыкания К1	1
2	Правильно определена работа источника.	2
3	Правильно определено изменение энергии конденсаторов.	2
4	Правильно определено количество теплоты, выделившееся в диодах.	1
5	Получен верный ответ для Q_R.	2
6	Определен ток в контуре с источниками после замыкания К2.	1
7	Определено значение ЭДС «нового» источника.	1
8	Правильно определена работа источника на второй стадии.	1
9	Правильно определено изменение энергии конденсаторов на второй стадии.	1
10	Правильно определено количество теплоты, выделившееся в диодах на второй стадии.	2
11	Найдено, что $Q'_R = 0{,}15$ мДж.	1
Всего		**15**

Задание 4: «Ползущий зайчик»

Вопрос: На расстоянии 72 см от пламени маленькой свечи расположили плоский вертикальный экран. У нас есть тонкая линза с оптической силой 10 дптр. На каких расстояниях от пламени свечи можно поставить эту линзу между пламенем и экраном, чтобы наблюдать на экране четкое изображение пламени?

Ответ на вопрос: Для создания изображения, которое можно наблюдать на экране, линза должна быть собирающей. Это требование выполнено —

оптическая сила линзы положительна. В соответствии с формулой линзы $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=D$, и по условию $a+b=L$. Здесь мы воспользовались тем, что изображение обязательно должно быть действительным, то есть a и b положительны. Комбинируя эти уравнения, получаем:

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{L-a}=D \;\Rightarrow\; a^2-La+\frac{L}{D}=0 \;\Rightarrow\; a=\frac{L}{2}\pm\sqrt{\frac{L^2}{4}-\frac{L}{D}}=36\ \text{см}\pm 24\,\text{см}.$$

Итак, a может принимать два значения: 60 см (при этом b = 12 см), и 12 см (при этом b = 60 см).

Критерии проверки:

№	**Действие**	**Балл**
1	Правильно записана формула линзы.	2
2	Записано уравнение, эквивалентное $a+b=L$.	2
3	Получено правильное уравнение для a.	2
4	Найдены оба возможных значения a.	2+2=4
Всего		**10**

Задача: Небольшой светодиод установили так, чтобы ось пучка испускаемого им света была перпендикулярна плоскому экрану. Затем на этой оси разместили тонкую линзу таким образом, чтобы она давала на экране четкое изображение «глазка» светодиода. Когда линзу начали плавно перемещать вдоль ее плоскости (и параллельно экрану), то центр изображения стал двигаться с постоянной скоростью V_1 = 2,5 мм/с. Тогда линзу перенесли в другое положение, в котором она тоже давала на этом экране четкое изображение глазка светодиода, и из нового положения начали плавно перемещать точно так же, как и в первом опыте. Центр изображения начал двигаться с меньшей скоростью $V_2 < V_1$. Найдите ее величину.

Решение задачи: Поскольку изображение наблюдалось на экране, то оно было действительным, а линза была собирающей. Понятно, что при смещении линзы параллельно экрану изображение тоже смещается, причем ход луча, идущий от центра источника в центр изображения без преломления (через оптический центр линзы), показывает нам, что отношение скоростей изображения и линзы $\frac{V}{u}=1+\frac{b}{a}=\frac{a}{a-F}$. Мы знаем, что светодиод и экран остались на месте, то есть два положения линзы — те ее положения, при которых на экране наблюдается четкое изображение светодиода. Так как во втором случае скорость оказалась меньшей, то в первом случае линза была ближе к источнику, чем к экрану ($b > a$), а во втором наоборот. Таким образом, если расстояние между светодиодом и экраном обозначить L, то $a_{1,2}=\frac{L}{2}\mp\sqrt{\frac{L^2}{4}-LF}$. Значит,

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{a_2}{a_1}\frac{a_1-F}{a_2-F}=\frac{L-\sqrt{L^2-4LF}}{L+\sqrt{L^2-4LF}}=\frac{1-\sqrt{1-x}}{1+\sqrt{1-x}},$$

где $x \equiv \frac{4F}{L} < 1$. Последнее условие означает, что при $L < 4F$ выполнить условие не получится. Таким образом, $V_2 = \frac{1-\sqrt{1-x}}{1+\sqrt{1-x}} \cdot 2{,}5$ м/с. Отметим, что для системы из примера $x = \frac{5}{9}$, и в этом случае $V_2 = 0{,}5$ м/с.

Ответ: $V_2 = \frac{1-\sqrt{1-x}}{1+\sqrt{1-x}} \cdot 2{,}5$ м/с, и для системы из примера $V_2 = 0{,}5$ м/с.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что два положения линзы в задаче связаны так же, как и в вопросе.	2
2	Указано, что линзу отодвигали от светодиода (a увеличилось, а b уменьшилось)	2
3	Используется соотношение $a_{1,2} = \frac{L}{2} \mp \sqrt{\frac{L^2}{4} - LF}$.	2
4	Указано (используется в решении), что при поперечном смещении линзы смещение центра изображения определяется ходом луча, идущего без преломления.	2
5	Получено соотношение, эквивалентное $\frac{V}{u} = \frac{a}{a-F}$.	2
6	Записано правильное уравнение для отношения скоростей изображений.	2
7	Получен ответ в виде, эквивалентном авторскому.	3
Всего		**15**

10 класс

БИЛЕТ № 03, возможные решения и критерии.

Задание 1: «Полярная орбита»

Вопрос: Согласно *уравнению Мещерского*, сила тяги реактивного двигателя, выбрасывающего продукты сгорания топлива массой Δm за малое время Δt со *скоростью истечения u* (относительно себя), равна $\vec{\mathbf{F}} = -\frac{\Delta m}{\Delta t}\vec{\mathbf{u}}$. Величину $q \equiv \frac{\Delta m}{\Delta t}$ обычно называют *расходом* массы (топлива и окислителя). Допустим, что летательный аппарат, снабженный реактивным двигателем, расходует 1% от собственной массы за 10 с. При какой величине скорости истечения он может «зависнуть» неподвижно в поле тяжести у поверхности Земли, где ускорение свободного падения g ≈ 10 м/с^2.

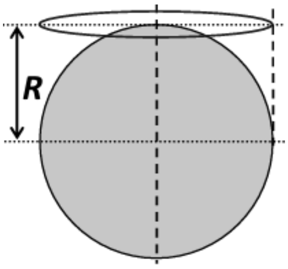
Ответ на вопрос: Для того, чтобы ЛА был неподвижен, сила реактивной тяги должна уравновешивать силу тяжести, то есть должно выполняться равенство

$$mg = -\frac{\Delta m}{\Delta t}u \quad \Rightarrow \quad u = \frac{m}{\Delta m}g\Delta t = 100g\Delta t \approx 10\frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что сила реактивной тяги должна уравновешивать силу тяжести.	3
2	Записано правильное уравнение для определения u.	4
3	Получен правильный численный ответ.	3
Всего		**10**

Задача: Пусть нам необходим спутник, работающий на «полярной орбите». Это круговая орбита с радиусом, равным радиусу Земли R, центр которой совпадает с одним из полюсов Земли, а плоскость перпендикулярна оси вращения Земли. Для вращения по этой орбите спутник использует реактивный двигатель, направление силы тяги которого выбрано так, чтобы расход массы топлива и окислителя был минимален. Найдите период обращения этого спутника. Считайте известным, что период обращения спутника без двигателя по низковысотной круговой орбите $T_0 \approx 5000$ с. Пусть также известно, что в момент начала работы спутника на этой орбите запасы топлива и окислителя составляли половину общей массы спутника, а скорость истечения продуктов сгорания u = 10 км/с. Оцените время работы такого спутника на этой орбите. Ускорение свободного падения на поверхности Земли g ≈ 10 м/с^2.



Решение задачи: Пусть R — радиус Земли. На спутник действуют две силы: сила тяжести и сила реактивной тяги. При движении по круговой орбите вектор ускорения лежит в плоскости орбиты, поэтому перпендикулярные ей компоненты сил должны компенсировать друг друга, то есть

$$\frac{1}{2}mg\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\Delta m}{\Delta t}\cdot u\cdot\cos(\beta),$$

где β — угол между направлением вектора силы тяги и перпендикуляром к плоскости орбиты. Здесь мы учли, что спутник находится на расстоянии $R\sqrt{2}$ от центра Земли, и по закону всемирного тяготения Ньютона сила тяжести для него в два раза меньше, чем на поверхности Земли, и она направлена к центру Земли. Как видно, расход топлива минимален при $\beta = 0$, то есть сила реактивной тяги должна быть перпендикулярно плоскости орбиты. Тогда центростремительное ускорение спутника на орбите создается только проекцией силы тяжести на плоскость орбиты и постоянна, и скорость спутника находится из уравнения

$$m\frac{v^2}{R} = \frac{1}{2}mg\frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{gR}{2\sqrt{2}}} \Rightarrow T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi\sqrt{2\sqrt{2}\frac{R}{g}} = T_0\sqrt{2\sqrt{2}} \approx 8409 \text{ с.}$$

При этом относительная скорость расхода массы

$$\frac{1}{m}\frac{\Delta m}{\Delta t}=\frac{1}{2\sqrt{2}}\frac{g}{u} \quad\Rightarrow\quad \Delta t\approx 2\sqrt{2}\frac{\Delta m}{m}\frac{u}{g}\approx 1400 \text{ с.}$$

Это, конечно же, оценка (на самом деле масса убывает экспоненциально, а не линейно), но для данной задачи этого достаточно. Но, как видно, запасов топлива и окислителя в таком режиме не хватит даже на один оборот.

Ответ: , . $T=T_0\sqrt{2\sqrt{2}}\approx 8409$ с, $\Delta t\approx 2\sqrt{2}\frac{\Delta m}{m}\frac{u}{g}\approx 1400$ с.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что на спутник действуют две силы: сила тяжести и сила реактивной тяги.	1
2	Указано (используется в решении), что перпендикулярные плоскости орбиты компоненты сил должны компенсировать друг друга.	2
3	Записано правильное уравнение для расхода топлива и окислителя.	2
4	Установлено, что сила реактивной тяги должна быть перпендикулярно плоскости орбиты	3
5	Записано правильное уравнение для центростремительной компоненты ускорения.	2
6	Получен правильный аналитический ответ для периода вращения.	2
7	Получен правильный численный ответ для периода вращения.	1
8	Получен правильный аналитический ответ для времени работы.	1
9	Получен правильный численный ответ для времени работы.	1
Всего		**15**

Задание 2: «Уменьшение давления при сжатии»

Вопрос: В двух одинаковых баллонах неизменного объема находятся разные количества одного и того же газа, который можно считать идеальным. В первом баллоне находятся 20 г газа при температуре 27ºС, а во втором — 25 г газа при температуре 57ºС. На сколько % давление во втором баллоне выше, чем в первом?

Ответ на вопрос: Давление идеального газа определяется из уравнения Менделеева-Клапейрона: $p=\frac{m}{\mu}\frac{RT}{V}$. Поскольку объемы и молярные массы одинаковы, то $\frac{p'}{p}=\frac{m'T'}{mT}=\frac{55}{40}=1{,}375$. Таким образом, во втором баллоне давление на 37,5 % выше, чем в первом.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Записано уравнение Менделеева – Клапейрона.	3
2	Отмечено (используется в расчете), что объемы одинаковы.	1
3	Отмечено (используется в расчете), что молярные массы одинаковы.	1
4	Записан верный аналитический ответ для отношения давлений.	2
5	Получен правильный численный ответ для отношения давлений.	3
Всего		**10**

Задача: В жесткий баллон закачивают воздух, одновременно охлаждая его. В результате температура газа в баллоне в зависимости от массы газа изменяется по закону

$$T(m)=\frac{T_0}{4}\left(1+3\frac{m_0^2}{m^2}\right),$$

где T_0 — начальная температура. Начальное давление воздуха в баллоне равнялось p_0 = 200 кПа. В ходе такого процесса масса газа в баллоне была увеличена от m_0 = 1 кг до m_1 = 3 кг. Найдите минимальную величину давления газа за все время закачивания. При какой массе газа в баллоне давление было минимальным? Воздух можно считать идеальным газом.

Решение задачи: В соответствии с уравнением Менделеева – Клапейрона, $p=\frac{m}{\mu}\frac{RT}{V}$. Подставим в это соотношение уравнения процесса и получим давление как функцию массы газа в баллоне:

$$p(m)=\frac{RT_0m_0}{4\mu V}\frac{m}{m_0}\left(1+3\frac{m_0^2}{m^2}\right)=\frac{RT_0m_0}{4\mu V}\sqrt{3}\left(\frac{m}{m_0\sqrt{3}}+\frac{m_0\sqrt{3}}{m}\right).$$

Как известно, функция $y(x)=x+\frac{1}{x}$ минимальна при x = 1, и давление будет минимальным при $m=m_0\sqrt{3}\approx 1{,}73$ кг, поскольку это значение принадлежит заданному интервалу изменения массы. Минимальное давление $p_{\min}=\sqrt{3}\frac{RT_0m_0}{2\mu V}=\frac{\sqrt{3}}{2}p_0\approx 173$ кПа.

Ответ: минимальное давление $p_{\min}=\frac{\sqrt{3}}{2}p_0\approx 173$ кПа достигается при $m=m_0\sqrt{3}\approx 1{,}73$ кг.

Критерии проверки:

№	**Действие**	**Балл**
1	Записано (используется в решении) выражение для давления, следующее из уравнения Менделеева – Клапейрона.	2
2	Получено уравнение для $p(m)$	3
3	Указано, что минимум $x+1/x$ отвечает $x = 1$	2
4	Получен аналитический и численный ответы для m	2+1=3
5	Получен аналитический ответ для $p_{\min}$	3
6	Получен численный ответ для $p_{\min}$	2
Всего		**15**

Задание 3: «Почти идеальные приборы».

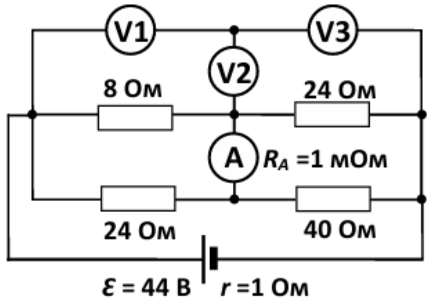
Вопрос: Амперметры с сопротивлениями 2 мОм и 3 мОм соединили параллельно, и эту пару соединили последовательно с другой, в которой параллельно были соединены еще один амперметр с сопротивлением 1 мОм и резистор с сопротивлением 100 Ом. На эту цепь подали напряжение от источника с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Каковы показания амперметров? Известно, что они измеряют силу тока с ошибкой менее 0,05 А.

Ответ на вопрос: Сопротивление пары параллельно соединенных амперметров $R_I = \frac{2\,\text{мОм} \cdot 3\,\text{мОм}}{5\,\text{мОм}} = 1,2\ \text{мОм}$. Сопротивление второй параллельной пары $R_{II} = \frac{1\,\text{мОм} \cdot 100\,\text{Ом}}{100,001\,\text{Ом}} \approx 1\ \text{мОм}$, но сразу было ясно, что оно практически равно сопротивлению амперметра (сопротивление резистора в 100000 раз больше, и ток через него практически не течет). Полное сопротивление цепи примерно равно 1,0022 Ом, и ток через источник с указанной точностью примерно равен 5 А. Как мы поняли, через амперметр, подключенный параллельно резистору, этот ток течет практически весь, и его показания 5,00 А (прямое вычисление с точностью до сотых дает 4,99 А, но при заданной точности эти результаты «неразличимы»). В параллельной паре амперметров токи делятся обратно пропорционально сопротивлениям, так что амперметр с меньшим сопротивлением должен показывать примерно 3,00 А, а с большим — примерно 2,00 А.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что резистор практически не влияет на показания амперметров.	1
2	Установлено (используется в решении), что полное сопротивление схемы с ошибкой около 0,2 % совпадает с внутренним сопротивлением источника.	1
3	Определена сила тока в цепи, попадающая в интервал (5,00 ± 0,02)А	2
4	Определены показания А1 (2 мОм), попадающие в интервал (3,00 ± ± 0,02)А	2
5	Определены показания А2 (3 мОм), попадающие в интервал (2,00 ± ± 0,02)А	2
6	Определены показания А3 (1 мОм), попадающие в интервал (5,00 ± ± 0,02)А	2
Всего		**10**

Задача: В схеме, показанной на рисунке, суммарное сопротивление соединительных проводов менее 1 мОм, все три вольтметра одинаковы, и их внутренние сопротивления более 1 МОм. Характеристики остальных элементов схемы показаны на рисунке. Найдите силу тока, текущего в ветви с источником. Определите показания всех приборов (амперметра и трех вольтметров) с ошибкой менее 5 %.



Решение задачи: Понятно, что вольтметры, благодаря огромным сопротивлениям, практически не влияют на токи через резисторы и амперметр (силы токов в вольтметрах порядка сотых долей процента от сил токов в резисторах и амперметре). Поэтому при расчете токов в резисторах пренебрежем наличием вольтметров в схеме. С другой стороны, сила тока через амперметр одного порядка с силами токов в резисторах, но его сопротивление в несколько тысяч раз меньше, так что при расчете напряжений в схеме напряжением на амперметре можно пренебречь — мы можем его мысленно закоротить. Тогда вся наша схема — это просто две параллельные пары резисторов, подключенные последовательно к источнику. Таким образом, при расчете сил токов через резисторы мы можем считать, что полное сопротивление цепи, подключенной к источнику $R = 1\,\text{Ом} + \frac{8 \cdot 24}{32}\,\text{Ом} + \frac{40 \cdot 24}{64}\,\text{Ом} = 22\,\text{Ом}.$. Следовательно, сила тока в ветви с источником равна 2 А. В первой параллельной паре этот ток делится в соотношении 3:1, то есть сила тока, текущего через резистор 8 Ом, равна 1,5 А, а через резистор 24 Ом 0,5 А. Во второй паре — в отношении 5:3, и сила тока через резистор 24 Ом равна 1,25 А, а через резистор 40 Ом — 0,75 А. Из непрерывности тока ясно, что разность сил токов в резисторах 8 Ом и 24 Ом (из второй пары) равна силе тока через амперметр. Значит, показания амперметра I_A = 0,25 А, с ошибкой не более десятых долей процента (явно заметно менее 5%).

Теперь мы можем определить напряжения на выводах от вольтметров. Напряжение на выводах от V1 и V2 равно напряжению на резисторе 8 Ом, то есть (поскольку сила тока через него 1,5 А) 12 В. Аналогично напряжение на выводах от V2 и V3 равно напряжению на резисторе 24 Ом, то есть 30 В. Выбрав положительную полярность подключения (например, у V1 и V3 «плюс» слева по схеме, а у V2 сверху), запишем для показаний вольтметров уравнения $U_1 + U_2 = 12$ В и $U_1 + U_3 = 42$ В. Чтобы записать третье уравнение для этих трех неизвестных вспомним, что токи через вольтметры все-таки текут (пусть и очень малые), и для них тоже справедлив принцип непрерывности тока, согласно которому $\frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R} + \frac{U_3}{R} \Rightarrow U_1 = U_2 + U_3$. Решая совместно эту систему, находим, что U_1 = 18 В, U_2 = – 6 В, U_3 = 24 В. Мы «не угадали» полярность напряжения на V1, но все значения напряжения успешно нашли.

Ответ: показания приборов (по величине) I_A = 0,25 А, U_1 = 18 В, U_2 = 6 В, U_3 = 24 В.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что вольтметры не влияют на силы токов через резисторы и амперметр.	2
2	Указано, что при расчете напряжений на резисторах амперметр можно «закоротить».	2
3	Правильно определена сила тока в ветви с источником.	3
4	Правильно определены напряжения на двух парах выводов от вольтметров.	1×2=2
5	Для вольтметров записан принцип непрерывности тока.	2
6	Правильно определены показания амперметра (число).	1
7	Правильно определены показания вольтметра V1 (число).	1
8	Правильно определены показания вольтметра V2 (число).	1
9	Правильно определены показания вольтметра V3 (число).	1
Всего		**15**

Задание 4: «Ползущий зайчик»

Вопрос: С помощью тонкой линзы с модулем фокусного расстояния 50 см создано изображение пламени маленькой свечи. Это изображение оказалось перевернутым и увеличенным. Какая это линза — рассеивающая или собирающая? Какое это изображение — действительное или мнимое? На каком расстоянии от пламени свечи мог при этом находиться оптический центр линзы?

Ответ на вопрос: Перевернутые изображения действительных предметов создают только собирающие линзы, так что наша линза собирающая. При этом мнимые изображения в собирающих линзах всегда прямые, так что это изображение действительное. Модуль поперечного увеличения такого изображения равен отношению расстояний от линзы до изображения и источника, которое можно найти из формулы линзы: $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F}\Rightarrow b=\frac{aF}{a-F}\Rightarrow|\Gamma_{\perp}|=\frac{b}{a}=\frac{F}{|a-F|}$. Значит, $|\Gamma_{\perp}|>1$ для действительных перевернутых изображений в собирающей линзе при $F<a<2F$. Таким образом, оптический центр линзы мог находиться на расстоянии из диапазона $50\text{ см}<a<100\text{ см}$ от пламени свечи.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано, что линза является собирающей.	1
2	Это утверждение обосновано.	2
3	Указано, что изображение действительное.	1
4	Это утверждение обосновано.	2
5	Записана (используется в решении) связь $\Gamma_{\perp}$ с расстоянием от линзы до источника.	2
6	Получен правильный допустимый интервал значений *a*.	2
Всего		**10**

Задача: Небольшой светодиод установили так, чтобы ось пучка испускаемого им света была перпендикулярна плоскому экрану. Когда на этой оси на расстоянии a_1 = 60 см от светодиода разместили тонкую линзу, то на экране наблюдалось четкое изображение «глазка» светодиода. Когда линзу начали плавно перемещать вдоль ее плоскости (и параллельно экрану) со скоростью u = 2 мм/с, то центр изображения стал двигаться с постоянной скоростью V_1 = 4 мм/с. Тогда линзу придвинули к светодиоду на новое расстояние a_2 = 30 см и сдвинули экран так, чтобы на нем снова было видно четкое изображение «глазка» светодиода, и из нового положения начали плавно перемещать линзу точно так же, как и в первом опыте. Найдите скорость движения центра изображения по экрану V_2 во втором опыте.

Решение задачи: Поскольку изображение наблюдалось на экране, то оно было действительным, а линза была собирающей. Понятно, что при смещении линзы параллельно экрану изображение тоже смещается, причем ход луча, идущий от центра источника в центр изображения без преломления (через оптический центр линзы), показывает нам, что отношение скоростей изображения и линзы $\frac{V}{u}=1+\frac{b}{a}=\frac{a}{a-F}\Rightarrow F=\left(1-\frac{u}{V}\right)a$. Применяя эту формулу для первого опыта,

находим, что $F = \left(1 - u/V_1\right) a_1 = 30\,\text{см}$. Тогда для второго опыта мы обнаруживаем, что после перемещения линзы «глазок» светодиода оказался в ближней фокальной плоскости линзы, и его четкое изображение получить на экране нельзя – каждая его точка порождает параллельный пучок лучей.
Ответ: во втором опыте «глазок» светодиода находится в ближней фокальной плоскости линзы, и его четкого изображения не существует.

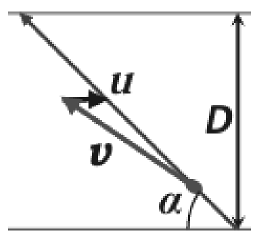
Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что линза является собирающей.	2
2	Указано и обосновано, что изображение является действительным.	2+2=4
3	Указано (используется в решении), что при поперечном смещении линзы смещение центра изображения определяется ходом луча, идущего без преломления	2
4	Правильно записано уравнение связи скорости центра изображения с a и F.	2
5	Правильно найдено фокусное расстояние линзы.	2
6	Указано и обосновано, что четкого изображения на экране во втором опыте наблюдать нельзя.	1+2=3
Всего		**15**

9 класс

БИЛЕТ № 02, возможные решения и критерии

Задание 1: «Наперегонки через реку».
Вопрос: За какое время катер, движущийся со скоростью 10 м/с относительно воды, пересечет прямой канал шириной 120 м, двигаясь под углом 45° к линии берега (навстречу течению)? Вода в канале течет вдоль берегов со скоростью 2 м/с, постоянной по всей его ширине.



Ответ на вопрос: Чтобы удержаться на заданном курсе относительно берега (под углом α), катер должен направлять свою скорость под некоторым углом упреждения β к курсу. В нашем случае, при встречном течении:

$$\left\{\begin{matrix} v \cdot \sin(\beta) = u \cdot \sin(\alpha) \\ v' = v \cdot \cos(\beta) - u \cdot \cos(\alpha) \end{matrix}\right\} \Rightarrow v' = \sqrt{v^2 - u^2 \sin^2(\alpha)} - u \cdot \cos(\alpha).$$

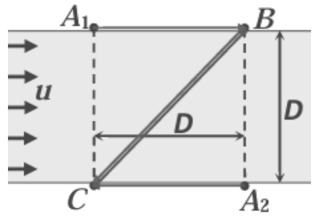
Эту величину иногда называют «курсовой скоростью». Скорость перемещения «поперек» течения $v_\perp = v' \cdot \sin(\alpha) = \left[\sqrt{v^2 - u^2 \sin^2(\alpha)} - u \cdot \cos(\alpha)\right] \sin(\alpha)$. При $\alpha = 45^\circ$ $v_\perp = \dfrac{\sqrt{2v^2 - u^2} - u}{2}$, и поэтому время переправы

$$t = \frac{2D}{\sqrt{2v^2 - u^2} - u} = 20\ \text{с}.$$

Критерии проверки:

№	**Действие**	**Балл**
1	Указано (используется в решении), что скорости складываются как вектора.	2
2	Получено правильная формула для курсовой (или поперечной) скорости.	3
3	Получена правильная формула (уравнение) для времени переправы.	3
4	Получен правильный численный ответ.	2
Всего		**10**

Задача: Два спортсмена («первый» и «второй»), находившиеся на разных берегах широкого прямолинейного участка реки с быстрым течением, договорились провести соревнование. Они стартовали одновременно из точек A_1 и A_2, расположенных точно напротив двух причалов B и C, расстояние между которыми по течению равнялось ширине реки. На причалах есть одинаковые гидроциклы, двигающиеся в неподвижной воде со скоростью v = 12 км/час.



У «первого» есть электросамокат, способный развивать скорость $3v$ при поездке по дороге A_1B. Второй бежит по песчаному берегу A_2C со скоростью v/3. «Первому» нужно попасть на причал C, а «второму» — на B, и для переправы они используют гидроциклы, двигаясь по прямым. Чему равна скорость течения, если спортсмены финишируют одновременно?

Решение задачи: Время движения первого спортсмена складывается из времени движения на электросамокате и времени переправы, которое вычисляется точно также, как и в примере. Таким образом, $t_1 = \frac{D}{3v} + \frac{2D}{\sqrt{2v^2 - u^2} - u}$. Аналогично будет и у второго спортсмена, только теперь при вычислении курсовой скорости нужно учесть, что попутное течение ускоряет переправу. Поэтому $t_2 = \frac{3D}{v} + \frac{2D}{\sqrt{2v^2 - u^2} + u}$. По условию эти времена равны, причем ширина реки в этом уравнении сокращается, и мы получаем уравнение на скорость течения:

$$\frac{8}{3v} + \frac{2D}{v^2 - u^2} \Rightarrow u^2 + \frac{3}{4}vu - v^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad u = \frac{\sqrt{73} - 3}{8} v \approx 8{,}316 \text{ км/ч}.$$

Ответ: скорость течения $u = \frac{\sqrt{73} - 3}{8} v \approx$ км/ч.

Критерии проверки:

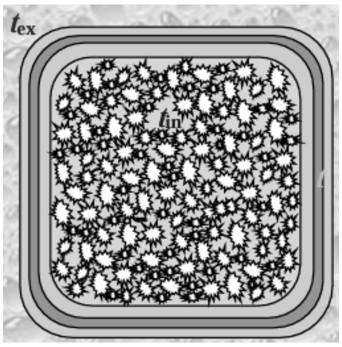
№	**Действие**	**Балл**
1	Записаны правильные соотношения, связывающие скорости и времена движения спортсменов по берегам (3D/v и D/(3v))	2×2=4
2	Записаны правильные соотношения, связывающие скорости и времена переправ спортсменов	2×2=4
3	Выведено правильное уравнение для *u*.	3
4	Получен правильный аналитической ответ.	2
5	Получен правильный числовой ответ.	2
Всего		**15**

Задание 2: «Лед и кипяток».
Вопрос: Опишите построение температурной шкалы Цельсия.
Ответ на вопрос: Шкала Цельсия — шкала измерения температур, построенная по двум реперным точкам: 0ºС — температура таяния льда при нормальном атмосферном давлении, 100ºС — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Измерения температуры производятся при установлении теплового равновесия (при прекращении теплообмена) между телом с измеряемой температурой и стандартным телом — термометром. Шкала термометра между реперными точками и в обе стороны от них градуируется равномерно. В соответствии с законами молекулярной физики, получить при таком измерении температуры ниже абсолютного нуля температуры, примерно соответствующего $t_0 \approx -273$ºС, невозможно.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указана реперная точка 0ºС.	2
2	Дано ее верное физическое определение.	2
3	Указана реперная точка 100ºС.	1
4	Дано ее верное физическое определение.	2
5	Указано, что шкала является равномерной.	2
6	Любым способом упомянуто существование абсолютного нуля как границы допустимых значений температуры (например, упомянута шкала Кельвина).	1
Всего		**10**

Задача: Бокс-термос имеет почти кубическую форму и внутренний объем примерно 1 л, а его стенки состоят из двух слоев теплоизолирующего материала и металлического каркаса (теплопроводность металла значительно выше, чем у теплоизолирующего материала). Внутренний слой теплоизоляции имеет толщину d_1 = 3 мм и площадь «срединной поверхности» S_1 = 600 см^2, в внешний — толщину d_2 = 2 мм и площадь S_2 = 680 см^2. В этот бокс поместили мокрый снег, состоящий на 50% (по объему) из ледяных кристаллов и на 50% из жидкой воды, находящихся в равновесии, и опустили бокс в чан с кипящей при нормальном давлении водой. Найдите температуру t каркаса во время таяния снега. Известно, что весь снег растаял за T = 3600 с. Найдите время, за которое после окончания таяния снега температура содержимого бокса увеличится на 2ºС. За какое примерно время впоследствии температура содержимого увеличится с 88 ºС до 90 ºС? Используйте следующие данные: плотность льда составляет 90 % от плотности жидкой воды, удельная теплоемкость воды равна c = 4,2 кДж/(кг·ºС), удельная теплота плавления льда в этой смеси $\lambda \approx 336$ кДж/кг.



Решение задачи: Из ответа на вопрос ясно, что температура мокрого снега равна t_0 = 0ºС, а температура кипятка t_1 = 100ºС. Температура металла практически постоянна по его объему (благодаря очень хорошей теплопроводности). Поскольку мощность потока тепла через оба слоя теплоизоляции одинакова, то температура каркаса t удовлетворяет уравнению

$$\frac{S_1}{d_1}\left(t-t_0\right)=\frac{S_2}{d_2}\left(t_1-t\right)\Rightarrow\left(S_1d_2+S_2d_1\right)t=S_1d_2t_0+S_2d_1t_1\Rightarrow t=\frac{S_1d_2t_0+S_2d_1t_1}{S_1d_2+S_2d_1}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$t=\frac{17}{27}t_1=62\frac{26}{27}\,^\circ\text{C}\approx 62{,}96^\circ\text{C}$$

Отметим, что в процессе таяния льда разность температур кипятка и содержимого термоса остается постоянной, а поэтому (по информации из условия) остается неизменной мощность поступления в бокс теплоты P. Таким образом, $P\cdot T=\lambda\cdot\rho_1\cdot 0{,}5\cdot V_0=0{,}45\lambda\rho V_0$, где V_0 — начальный объем мокрого снега в боксе, ρ_1 — плотность льда, а ρ – плотность жидкой воды.

После окончания таяния льда нагревается вся масса воды, образовавшейся при таянии, то есть $m=\rho_1\cdot 0{,}5\cdot V_0+\rho\cdot 0{,}5\cdot V_0=0{,}95\rho V_0$. При изменении температуры воды от 0ºC до 2ºC средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 99ºC, то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0{,}99\cdot P$. Значит, уравнение теплового баланса для этого нагрева $0{,}99\cdot P\ \Delta T_1=c\cdot 0{,}95\rho V_0\cdot\Delta t$ (Δt=2ºC). Сравнивая полученные соотношения, находим:

$$\Delta T_1=\frac{0{,}95\cdot c\Delta t}{0{,}99\cdot 0{,}45\cdot\lambda}T=\frac{1900}{891}\frac{c\Delta t}{\lambda}T=191\frac{91}{99}\text{ c}\approx 192\text{ c.}$$

Обратим внимание, что ответ не зависит от V_0. При нагревании той же воды от 88 ºC до 90 ºC средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 11ºC, то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0{,}11\cdot P$ — в 9 раз меньше, чем для первого интервала. Соответственно

$$\Delta T_2=9\Delta T_1=\frac{1900}{99}\frac{c\Delta t}{\lambda}T=1727\frac{3}{11}\text{ c}\approx 1727{,}3\text{ c.}$$

Это почти 29 минут.

Ответ: $t=\frac{17}{27}t_1\approx 62{,}96^\circ\text{C}$, $\Delta T_1=\frac{1900}{891}\frac{c\Delta t}{\lambda}T\approx 192$ с, $\Delta T_2=\frac{1900}{99}\frac{c\Delta t}{\lambda}T\approx 1727{,}3$ с.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что температура мокрого снега равна t_0 = 0ºC, а температура кипятка t_1 = 100ºC.	2×1=2
2	Правильно записано уравнение для температуры каркаса.	1
3	Получен правильный (с точностью до градуса) численный ответ для температуры каркаса	1
4	Записано соотношение, эквивалентное $P\cdot T=0{,}\cdot 72\lambda\rho V_0$.	2
5	Указано (используется в решении), что мощность поступления в бокс тепла постоянна в процессе таяния льда.	1
6	В решении расчет мощности поступления в процессах нагревания считается по средней разности температур (если по крайней – **2 балла**).	3
7	Получен правильный (с точностью до минуты) числовой ответ для ΔT_1.	2

8	Указано (используется в решении), что $\Delta T_2 = 9\Delta T_1$.	2
9	Получен правильный (с точностью до минуты) числовой ответ для ΔT_2.	1
Всего		**15**

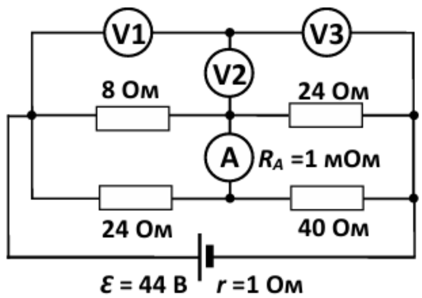
Задание 3: «Почти идеальные приборы».

Вопрос: Амперметры с сопротивлениями 2 мОм и 3 мОм соединили параллельно, и эту пару соединили последовательно с другой, в которой параллельно были соединены еще один амперметр с сопротивлением 1 мОм и резистор с сопротивлением 100 Ом. На эту цепь подали напряжение от источника с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Каковы показания амперметров? Известно, что они измеряют силу тока с ошибкой менее 0,05 А.

Ответ на вопрос: Сопротивление пары параллельно соединенных амперметров $R_I = \dfrac{2\,\text{мОм} \cdot 3\,\text{мОм}}{5\,\text{мОм}} = 1{,}2\,\text{мОм}$. Сопротивление второй параллельной пары $R_{II} = \dfrac{1\,\text{мОм} \cdot 100\,\text{Ом}}{100{,}001\,\text{Ом}} \approx 1\,\text{мОм},$, но сразу было ясно, что оно практически равно сопротивлению амперметра (сопротивление резистора в 100000 раз больше, и ток через него практически не течет). Полное сопротивление цепи примерно равно 1,0022 Ом, и ток через источник с указанной точностью примерно равен 5 А. Как мы поняли, через амперметр, подключенный параллельно резистору, этот ток течет практически весь, и его показания 5,00 А (прямое вычисление с точностью до сотых дает 4,99 А, но при заданной точности эти результаты «неразличимы»). В параллельной паре амперметров токи делятся обратно пропорционально сопротивлениям, так что амперметр с меньшим сопротивлением должен показывать примерно 3,00 А, а с большим — примерно 2,00 А.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что резистор практически не влияет на показания амперметров.	1
2	Установлено (используется в решении), что полное сопротивление схемы с ошибкой около 0,2 % совпадает с внутренним сопротивлением источника.	1
3	Определена сила тока в цепи, попадающая в интервал (5,00 ± 0,02)А	2
4	Определены показания А1 (2 мОм), попадающие в интервал (3,00 ± 0,02)А	2
5	Определены показания А2 (3 мОм), попадающие в интервал (2,00 ± 0,02)А	2
6	Определены показания А3 (1 мОм), попадающие в интервал (5,00 ± 0,02)А	2
Всего		**10**



Задача: В схеме, показанной на рисунке, суммарное сопротивление соединительных проводов менее 1 мОм, все три вольтметра одинаковы, и их внутренние сопротивления более 1 МОм. Характеристики остальных элементов схемы показаны на рисунке. Найдите силу тока, текущего в ветви с источником. Определите показания всех приборов (амперметра и трех вольтметров) с ошибкой менее 5 %.

Решение задачи: Понятно, что вольтметры, благодаря огромным сопротивлениям, практически не влияют на токи через резисторы и амперметр (силы токов в вольтметрах порядка сотых долей процента от сил токов в резисторах и амперметре). Поэтому при расчете токов в резисторах пренебрежем наличием вольтметров в схеме. С другой стороны, сила тока через амперметр одного порядка с силами токов в резисторах, но его сопротивление в несколько тысяч раз меньше, так что при расчете напряжений в схеме напряжением на амперметре можно пренебречь — мы можем его мысленно закоротить. Тогда вся наша схема — это просто две параллельные пары резисторов, подключенные последовательно к источнику. Таким образом, при расчете сил токов через резисторы мы можем считать, что полное сопротивление цепи, подключенной к источнику $R = 1\text{ Ом} + \frac{8\cdot 24}{32}\text{ Ом} + \frac{40\cdot 24}{64}\text{ Ом} = 22\text{ Ом}$. Следовательно, сила тока в ветви с источником равна 2 А. В первой параллельной паре этот ток делится в соотношении 3:1, то есть сила тока, текущего через резистор 8 Ом, равна 1,5 А, а через резистор 24 Ом 0,5 А. Во второй паре — в отношении 5:3, и сила тока через резистор 24 Ом равна 1,25 А, а через резистор 40 Ом — 0,75 А. Из непрерывности тока ясно, что разность сил токов в резисторах 8 Ом и 24 Ом (из второй пары) равна силе тока через амперметр. Значит, показания амперметра I_A = 0,25 А, с ошибкой не более десятых долей процента (явно заметно менее 5%).

Теперь мы можем определить напряжения на выводах от вольтметров. Напряжение на выводах от V1 и V2 равно напряжению на резисторе 8 ом, то есть (поскольку сила тока через него 1,5 А) 12 В. Аналогично напряжение на выводах от V2 и V3 равно напряжению на резисторе 24 ом, то есть 30 В. Выбрав положительную полярность подключения (например, у V1 и V3 «плюс» слева по схеме, а у V2 сверху), запишем для показаний вольтметров уравнения $U_1 + U_2$ = 12 В и $U_1 + U_3$ = 42 В. Чтобы записать третье уравнение для этих трех неизвестных вспомним, что токи через вольтметры все-таки текут (пусть и очень малые), и для них тоже справедлив принцип непрерывности тока, согласно которому $\frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R} + \frac{U_3}{R} \Rightarrow U_1 = U_2 + U_3$. Решая совместно эту систему, находим, что U_1 = 18 В, U_2 = – 6 В, U_3 = 24 В. Мы «не угадали» полярность напряжения на V2, но все значения напряжения успешно нашли.

Ответ: показания приборов (по величине) I_A = 0,25 А, U_1 = 18 В, U_2 = 6 В, U_3 = 24 В.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что вольтметры не влияют на силы токов через резисторы и амперметр.	2
2	Указано, что при расчете напряжений на резисторах амперметр можно «закоротить».	2
3	Правильно определена сила тока в ветви с источником.	3
4	Правильно определены напряжения на двух парах выводов от вольтметров.	1×2=2

5	Для вольтметров записан принцип непрерывности тока.	2
6	Правильно определены показания амперметра (число).	1
7	Правильно определены показания вольтметра V1 (число).	1
8	Правильно определены показания вольтметра V2 (число).	1
9	Правильно определены показания вольтметра V3 (число).	1
Всего		**15**

Задание 4: «Столкновение в поле тяжести».

Вопрос: Два маленьких шарика брошены одновременно в большой камере с откачанным воздухом из одной точки с одинаковыми скоростями в одну сторону (от вертикали): первый — под углом 15º к горизонту, второй — под углом 75º к горизонту. На каком расстоянии друг от друга окажутся шарики через 0,5 с после броска?

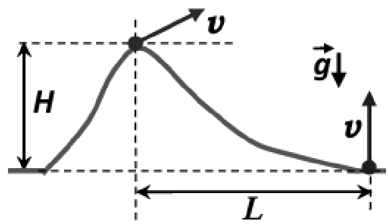
Ответ на вопрос: Перейдем в Систему Отсчета, связанную с первым шариком. Поскольку в описанной ситуации оба шарика движутся с одинаковым ускорением (свободного падения), то шарик 2 в этой СО движется равномерно и прямолинейно, то есть величина относительной скорости шариков равна ее начальному значению. При построении векторного треугольника скоростей заметно, что две стороны в нем одинаковы, и угол между ними равен 60º. Значит, этот треугольник — правильный, и скорость удаления шариков друг от друга равна по величине их (одинаковой) начальной скорости *v*. Значит, расстояние между шариками

$$r(t) = \upsilon \cdot t \Rightarrow r(0{,}5\text{ с}) = \upsilon \cdot 0{,}5\text{ с}$$

Критерии проверки:

№	**Действие**	**Балл**
1	Для решения используется переход в «сопутствующую» (свободно падающую) СО	2
2	Указано (используется в решении), что угол между векторами начальных скоростей равен 60º.	2
3	Установлено, что относительная скорость постоянна.	2
4	Установлено, что относительная скорость равна начальной скорости шариков.	2
5	Дан ответ $r(0{,}5\text{ с}) = \upsilon \cdot 0{,}5\text{ с}$	2
Всего		**10**

Задача: Два одинаковых орудия одновременно производят выстрелы снарядами с одинаковой начальной скоростью: первое — с возвышенности, второе — из точки у подножия этой возвышенности, которая находилась на H = 390 м ниже и на L = 675,5 м правее по горизонтали точки «старта» снаряда первого орудия. Второе орудие стреляет вертикально вверх, а направление выстрела первого подбирается так, чтобы снаряды столкнулись на участке подъёма второго снаряда. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите необходимое направление выстрела первого орудия. Как изменится это направление, если второе орудие перенести в точку с той же H, но со смещением L' = 225,2 м?



Решение задачи: Пусть v — величина начальной скорости снарядов, а первое орудие производит выстрел в сторону второго орудия под углом α, отсчитываемом вверх от горизонта. Тогда за время полета до столкновения снаряд первого орудия пролетел по горизонтали в точности расстояние $L = \upsilon \cdot \cos(\alpha)t$. С другой стороны, снаряды в конце полета должны оказаться на одинаковой высоте. Значит, $H + \upsilon \cdot \sin(\alpha)t = \upsilon \cdot t$. Подставляя сюда из первого уравнения, получаем уравнение на угол выстрела:

$$H + \upsilon \cdot \sin(\alpha)t = \upsilon \cdot t, \quad H = \frac{L}{\cos(\alpha)}(1 - \sin(\alpha)) \Rightarrow H\cos(\alpha) + L\sin(\alpha) = L$$

Если ввести вспомогательный угол φ:

$$\sin(\varphi) \equiv \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}} \Rightarrow \sin(\alpha + \varphi) = \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right) - \arcsin\left(\frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right).$$

Например, для первых выстрелов $\alpha \approx +30^\circ$. Во втором случае $\alpha \approx -13^\circ$, то есть нужно будет стрелять ниже линии горизонта.

Ответ: в первом случае нужно стрелять выше горизонта $\alpha \approx +30^\circ$, а во втором — ниже $\alpha \approx -13^\circ$.

Критерии проверки:

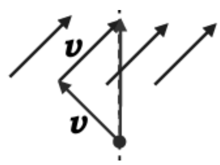
№	Действие	Балл
1	Правильно записано условия совпадения конечных положений в проекции на горизонтальную ось.	2
2	Правильно записано условия совпадения конечных положений в проекции на горизонтальную ось.	2
3	Получено верное уравнение на угол вылета первого снаряда.	3
4	Найдена необходимое значение угла вылета первого снаряда для первого случая.	3
5	Указано, что во втором случае необходим вылет первого снаряда ниже уровня горизонта.	2
6	Найдена необходимое значение угла вылета первого снаряда для второго случая.	3
Всего		**15**

7 и 8 классы

БИЛЕТ № 01, возможные решения и критерии

Задание 1: «Южный ветер, дальний путь».

Вопрос: Пусть некий летательный аппарат (ЛА) летит относительно Земли по заданному курсу при «частично попутном» ветре, дующем под углом 45° к курсу. Известно, что величины скоростей ЛА относительно воздуха и ветра относительно Земли одинаковы и равны v. С какой скоростью движется при этом ЛА относительно Земли?



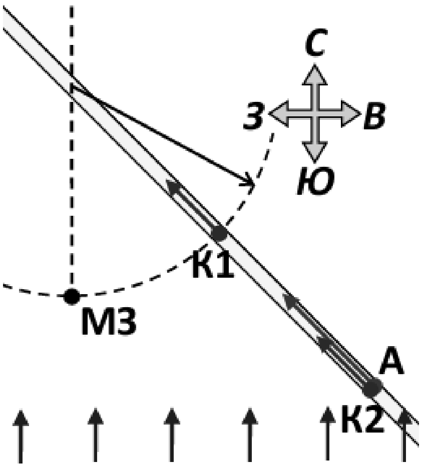
Ответ на вопрос: Как видно из рисунка, треугольник из скоростей ЛА относительно воздуха, ветра относительно Земли и ЛА относительно Земли – равнобедренный с углом при основании 45º. Значит, он прямоугольный, и можно воспользоваться теоремой Пифагора:

$$v^2 + v^2 = 2v^2 = v'^2 \quad \Rightarrow \quad v' = \sqrt{2} \cdot v$$

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в решении), что скорости складываются как вектора (направленные отрезки)	2
2	Указано (используется в решении), что треугольник скоростей равнобедренный.	1
3	Сделан вывод, что он прямоугольный.	3
4	Получен правильный ответ.	4
Всего		**10**

Задача: По дороге на северо-запад едет с постоянной скоростью автомобиль, а над ней летят друг за другом с одинаковыми скоростями два квадрокоптера. Дует южный ветер, который несет метеозонд. В момент времени, когда автомобиль проезжал под вторым квадрокоптером, первый квадрокоптер и метеозонд оказались точно на одинаковом расстоянии от точки пересечения их курсов. Спустя время $t_1 = 700$ с автомобиль проехал под метеозондом, а еще через время $t_2 = t_1 / \sqrt{2} \approx 495$ с с автомобиль проехал под первым квадрокоптером. После этого он резко развернулся и поехал по той же дороге на юго-восток. Через какое время он снова проедет под вторым квадрокоптером? Известно, что величины скоростей квадрокоптеров относительно воздуха и ветра относительно Земли одинаковы.



Примечание: $\sqrt{2} \approx 1{,}414$ — это число, квадрат которого равен 2.

Решение задачи: Пусть u — скорость ветра, а r — расстояние (одинаковое) от МЗ и К1 до точки пересечения их курсов. Тогда $r = u \cdot t_1$. Обозначим также скорость автомобиля v и расстояние между квадрокоптерами l, и придем к еще одному соотношению $r + l = v \cdot t_1$. Из этих соотношений получаем, что $l = (v - u) \cdot t_1$. Как понятно из ответа на вопрос, скорость К1 относительно Земли равна $\sqrt{2} \cdot u$, и поэтому время, за которое автомобиль догоняет К1, равно

$$t_1 = \sqrt{2} \cdot t_2 = \frac{l}{v - \sqrt{2} \cdot u} = \frac{v - u}{v - \sqrt{2} \cdot u} t_1 \quad \Rightarrow \quad t_1(\sqrt{2} \cdot u - u) = t_2(v - \sqrt{2} \cdot u).$$

С учетом заданного в условии соотношения $t_1 = \sqrt{2} \cdot t_2$ находим: $v = 2u$. Понятно, что расстояние между квадрокоптерами остается постоянным, так что сразу после разворота автомобиля К2 и автомобилю до встречи нужно пройти навстречу друг другу расстояние l, и на это потребуется время

$$t_3 = \frac{l}{\upsilon + \sqrt{2} \cdot u} = \frac{\upsilon - u}{\upsilon + \sqrt{2} \cdot u} t_1 = \frac{1}{2 + \sqrt{2}} t_3 = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) t_1 = t_1 - t_2 \approx 205 \text{ с.}$$

Ответ: через время $t_3 = t_1 - t_2 \approx 205$ с.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Записаны (используются в решении) соотношения, связывающие скорости, расстояния и t_1 (эквивалентные $r = u \cdot t_1$ и $r + l = \upsilon \cdot t_1$).	2×2=4
2	Записано правильное соотношение, связывающего скорости и t_2 $\left(t_2 = \frac{l}{\upsilon - \sqrt{2} \cdot u}\right)$.	2
3	Правильно найдено соотношение скоростей $(\upsilon = 2 \cdot u)$.	3
4	Записано (используется в решении) правильная связь t_3 и t_1 или t_2 .	2
5	Получен правильный аналитической ответ.	2
6	Получен правильный числовой ответ.	2
Всего		**15**

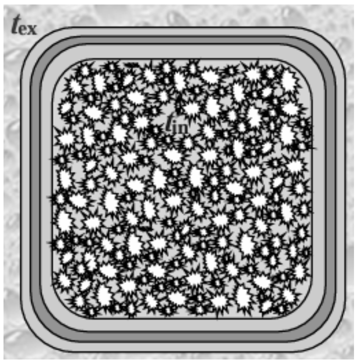
Задание 2: «Лед и кипяток».

Вопрос: Опишите построение температурной шкалы Цельсия.

Ответ на вопрос: Шкала Цельсия — шкала измерения температур, построенная по двум реперным точкам: 0ºС — температура таяния льда при нормальном атмосферном давлении, 100ºС — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Измерения температуры производятся при установлении теплового равновесия (при прекращении теплообмена) между телом с измеряемой температурой и стандартным телом — термометром. Шкала термометра между реперными точками и в обе стороны от них градуируется равномерно. В соответствии с законами молекулярной физики, получить при таком измерении температуры ниже абсолютного нуля температуры, примерно соответствующего $t_0 \approx -273$ºС, невозможно.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указана реперная точка 0ºС.	2
2	Дано ее верное физическое определение.	2
3	Указана реперная точка 100ºС.	1
4	Дано ее верное физическое определение.	2
5	Указано, что шкала является равномерной.	2
6	Любым способом упомянуто существование абсолютного нуля как границы допустимых значений температуры (например, упомянута шкала Кельвина).	1
Всего		**10**



Задача: Бокс-термос имеет почти кубическую форму и внутренний объем 1 л, а его стенки состоят из двух слоев теплоизолирующего материала и металлического каркаса. В этот бокс поместили мокрый снег, состоящий на 80% (по объему) из ледяных кристаллов и на 20% из жидкой воды, находящихся в равновесии, и опустили бокс в чан с кипящей при нормальном атмосферном давлении водой. Известно, что весь снег растаял примерно за T = 72 минуты. Найдите время, за которое после окончания таяния снега температура содержимого бокса увеличится на 2ºC. За какое примерно время впоследствии температура содержимого увеличится с 88 ºC до 90 ºC? Учтите, что мощность поступления теплоты в бокс прямо пропорциональна разности температур окружающей среды и его содержимого. Используйте следующие данные: плотность льда составляет 90 % от плотности жидкой воды, удельная теплоемкость воды равна c = 4,2 кДж/(кг·ºC), удельная теплота плавления льда в этой смеси $\lambda \approx 336$ кДж/кг.

Решение задачи: Из ответа на вопрос ясно, что температура мокрого снега равна t_0 = 0ºC, а температура кипятка t_1 = 100ºC. Поэтому в процессе таяния льда разность температур кипятка и содержимого термоса остается постоянной, а поэтому (по информации из условия) остается неизменной мощность поступления в бокс теплоты P. Таким образом, $P{\cdot}T{=}\lambda{\cdot}\rho_1{\cdot}0{,}8{\cdot}V_0{=}0{,}{\cdot}72\lambda\rho V_0$, где V_0 – начальный объем мокрого снега в боксе, ρ_1 – плотность льда, а ρ – плотность жидкой воды. После окончания таяния льда нагревается вся масса воды, образовавшейся при таянии, то есть $m = \rho_1{\cdot}0{,}8{\cdot}V_0{+}\rho{\cdot}0{,}2{\cdot}V_0 = 0{,}92\rho V_0$. При изменении температуры воды от 0ºC до 2ºC средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 99ºC, то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0{,}99{\cdot}P$. Значит, уравнение теплового баланса для этого нагрева $0{,}99{\cdot}P\ \Delta T_1 = c{\cdot}0{,}92\rho V_0{\cdot}\Delta t$ ($\Delta t \equiv 2$ºC). Сравнивая полученные соотношения, находим:

$$\Delta T_1 = \frac{0{,}92\cdot c\Delta t}{0{,}99\cdot 0{,}72\cdot\lambda}T = \frac{1150}{891}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 2\frac{32}{99}\text{ мин} \approx 2{,}32\text{ мин}.$$

Обратим внимание, что ответ не зависит от V_0. При нагревании той же воды от 88 ºC до 90 ºC средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 11ºC, то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0{,}11{\cdot}P$ — в 9 раз меньше, чем для первого интервала. Соответственно

$$\Delta T_2 = 9\Delta T_1 = \frac{1150}{99}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 20\frac{10}{11}\text{ мин} \approx 20{,}9\text{ мин}$$

Ответ:

$$\Delta T_1 = \frac{1150}{891}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 2\frac{32}{99}\text{ мин} \approx 2{,}32\text{ мин},\ \Delta T_2 = \frac{1150}{99}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 20\frac{10}{11}\text{ мин} \approx 20{,}9\text{ мин}$$

Критерии проверки:

№	**Действие**	**Балл**
1	Указано (используется в решении), что температура мокрого снега равна t_0 = 0ºC, а температура кипятка t_1 = 100ºC.	2×1=2

2	Указано (используется в решении), что мощность поступления в бокс тепла постоянна в процессе таяния льда.	1
3	Записано соотношение, эквивалентное $P\cdot T=0,\cdot 72\lambda\rho V_0$.	3
4	В решении расчет мощности поступления в процессах нагревания считается по средней разности температур (если по крайней – **2 балла**).	3
5	Получен правильный (с точностью до минуты) числовой ответ для ΔT_1.	3
6	Указано (используется в решении), что $\Delta T_2 = 9\Delta T_1$.	2
7	Получен правильный (с точностью до минуты) числовой ответ для ΔT_2.	1
Всего		**15**

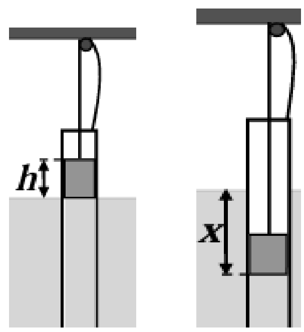
Задание 3: «Когда же нить провиснет?»

Вопрос: Цилиндрический груз высотой h = 4 см опустили на тонкой нити в сосуд с водой так, что его нижнее основание горизонтально и находится на глубине 12 см под поверхностью воды. Во сколько раз величина силы давления воды на это основание больше величины действующей на груз силы Архимеда?

Ответ на вопрос: Давление воды плотностью ρ, покоящейся в поле тяжести g на глубине H = 12 см, равно p = ρgH. Поэтому величина силы давления на основание цилиндра $F_д$ = $\rho gH\cdot S$. Величина силы Архимеда $F_А$ = $\rho gV = \rho gh\cdot S$. Таким образом, их отношение $F_д/F_A = H/h = 3$. В этом рассуждении не учитывалась сила давления со стороны атмосферы, передаваемая водой. Включение ее в ответ для $F_д$ не является ошибкой и не влияет на выставляемые баллы (хотя в данной постановке вопроса естественнее ее не учитывать).

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Указано (используется в расчете), что $p = \rho gH$.	2
2	Записана верная формула для силы давления, эквивалентная $F_д = \rho gH\cdot S$.	3
3	Записана верная формула для силы Архимеда, эквивалентная $F_А = \rho gh\cdot S$.	3
4	Получен правильный численный ответ.	2
Всего		**10**



Задача: Вертикальная гладкая трубка круглого сечения, открытая с обоих концов, установлена так, что она уходит под воду в широком и глубоком резервуаре. Цилиндрический груз высотой h = 4 см сначала подвешен на легкой и нерастяжимой нити так, что касается поверхности воды внутри трубки. Его диаметр подобран так, что он не застревает в трубке, но при этом вода не просачивается мимо него в часть трубки над ним. Длину нити плавно увеличивают, и следят за величиной силы ее натяжения. Оказалось, что при увеличении длины на x_1 = 4 см величина T_1 = 7,5 Н, а при x_2 = 12 см она уменьшается до T_2 = 5,5 Н. Какой станет сила натяжения нити при x_3 = 16 см? Какой должна стать длина нити, чтобы при ее дальнейшем увеличении груз перестал опускаться по трубке?

Решение задачи: Исследуем, как зависит сила натяжения нити T от удлинения нити x. Груз находится в равновесии под действием сил тяжести, силы давления воды на нижнее основание и силы натяжения нити. Поэтому величины этих сил связаны соотношением $T + F_д = mg$. С учетом закона Паскаля и формулы для силы давления из ответа на вопрос получим, что

$$T(x) = mg - \rho g S \cdot x\,,$$

то есть эти величины связаны <u>линейно</u>. Знание двух значений линейной функции позволяет вычислить ее коэффициенты и находить новые значения:

$$\left\{\begin{array}{l} T(4\text{ см}) = 7{,}5H = mg - \rho g S\cdot 4\text{ см} \\ T(12\text{ см}) = 5{,}5H = mg - \rho g S\cdot 12\text{ см}\end{array}\right\} \Rightarrow\quad T(x) = 8{,}5\text{ Н} - x\frac{\text{Н}}{4\text{ см}}.$$

Значит, T(16 см) = 4,5 Н. Сила натяжения обратится в ноль при x_0 = 34 см. Поэтому дальнейшее увеличение длины нити на груз влиять не будет, и он больше опускаться не будет.

Ответ: T(16 см) = 4,5 Н, груз перестает опускаться по трубке при $x \geq x_0$ = 34 см.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Используется условие равновесия груза при произвольной длине нити.	2
2	Названы (присутствуют в условии равновесия) все три действующие силы.	3×1=3
3	Правильно записано условие равновесия.	2
4	Получено правильное уравнение для $T(x)$.	2
5	Получен правильный числовой ответ для T(16 см).	3
6	Получен правильный (с точностью до см) числовой ответ для x_0.	3
Всего		**15**

Задание 4: «Разгон и торможение».

Вопрос: Если тело, движущееся со скоростью v_0, попадает на шероховатую горизонтальную поверхность, где тормозится одной только силой трения скольжения (то есть если остальными горизонтальными силами можно пренебречь), то закон изменения его скорости имеет вид $v(t) = v_0 - \mu g t$, в котором g — ускорение свободного падения, а величина μ — коэффициент трения между телом и этой поверхностью. Какой путь пройдет это тело до остановки?

Ответ на вопрос: Скорость тела убывает <u>линейно</u> от начального значения v_0 до нуля. Поэтому ясно, что среднее значение скорости в ходе такого движения равно $v_0/2$. Время движения определяется из уравнения $v(t_0) = v_0 - \mu g t_0 = 0 \;\Rightarrow\; t_0 = v_0/(\mu g)$. Следовательно, тормозной путь тела равен $S_0 = \dfrac{v_0}{2}\dfrac{v_0}{\mu g} = \dfrac{v_0^2}{2\mu g}$.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Из любых соображений выведено, что средняя скорость равна $v_0/2$ (если указано без обоснования – **2 балла**).	3
2	Время движения определяется из требования $v(t_0) = 0$.	1
3	Получено правильное выражение для времени движения.	3
4	Получен правильный ответ.	3
Всего		**10**

Задача: Если человек разгоняется по горизонтальной поверхности, отталкиваясь от нее, то он использует силу трения, и поэтому его максимальное *ускорение* (скорость изменения скорости) равно μg, как и при торможении. Пусть ему нужно преодолеть горизонтальную полосу шириной L = 16 м, на которой μ = 0,1, причем в конце пути ему обязательно нужно остановиться. В первый раз он стартует с нулевой скоростью, и поэтому сначала разгоняется, а потом тормозит. За какое время он пересечет полосу? Во второй раз он решает до этой полосы разогнаться, а на полосе только тормозить. До какой скорости ему необходимо предварительно разогнаться? За какое время он пересечет полосу в этот раз? Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.

Решение задачи: Человек использует силу трения и при разгоне, и при торможении. Так как он стартует и финиширует с нулевой скоростью, то время разгона должно быть равно времени торможения, из симметрии движения пути одинаковы и равны по $L/2$. При разгоне величина скорости растет от нуля до $\mu g t_1/2$ в течении времени $t_1/2$. Поэтому время преодоления полосы в первом случае $\frac{L}{2} = \frac{1}{2}\mu g \frac{t_1}{2}\frac{t_1}{2} \Rightarrow t_1 = 2\sqrt{\frac{L}{mg}}$. Подставляя числовые значения, находим $t_1 \approx 8$ с. Во втором случае его тормозной путь должен быть точно равен L. Значит (с учетом формулы, полученной при ответе на вопрос) его скорость в начале полосы должна быть равна $\upsilon_0 = \sqrt{2\mu g L} \approx 5{,}66$ м/с. Время в этом случае равно времени торможения $t_2 = \upsilon_0/(\mu g) = \sqrt{2L/(\mu g)} \approx 5{,}66$ с.

Ответ: $t_1 = 2\sqrt{\frac{L}{mg}} \approx 8$ с, $\upsilon_0 = \sqrt{2\mu g L} \approx 5{,}66$ м/с, $t_2 = \frac{\upsilon_0}{\mu g} = \sqrt{\frac{2L}{\mu g}} \approx 5{,}66$ с.

Критерии проверки:

№	Действие	Балл
1	Сделан вывод, что в первом случае время разгона равно времени торможения.	2
2	Записано правильное уравнение, связывающее L с t_1.	2
3	Получен правильный аналитический ответ для t_1..	3
3	Получен правильный числовой ответ для t_1.	1
4	Получен правильный аналитический ответ для υ_0.	3
5	Получен правильный числовой ответ для υ_0.	1
6	Получен правильный аналитический ответ для t_2.	2
7	Получен правильный числовой ответ для t_2.	1
Всего		**15**

Список рекомендуемой литературы

Ниже приведен список пособий и ресурсов сети «Интернет», которые могут быть полезны при подготовке к олимпиадам по физике. Также очень полезно познакомиться с публикациями в журнале «Квант», в особенности – со статьями и задачами, опубликованными в рубриках «Задачник "Кванта"», «Физический факультатив», «Практикум абитуриента», «Варианты вступительных испытаний» и «Олимпиады».

1. Зубов В. Г., Шальнов В. П. Задачи по физике. – М.: Гостехиздат, 1952. – 320 с. (и все последующие издания до 11-го, М.: Новая волна, 2000).

2. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я. Задачи по физике для поступающих в вузы. – М.: Наука, 1980. – 384 с. (и все последующие издания до 10-го, М.: Физматлит, 2003).

3. Буховцев Б. Б., Кривченков В. Д., Мякишев Г. Я., Сараева И. М. Сборник задач по элементарной физике: Пособие для самообразования. – М.: Наука, 1964. – 440 с. (и все последующие издания до 7-го, М.: УНЦ ДО МГУ, 2004).

4. Буздин А. И., Ильин В. А., Кривченков И. В., Кротов С. С., Свешников Н. А. Задачи московских физических олимпиад / Под ред. С. С. Кротова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 192 с. – (Библиотечка «Квант». Вып. 60.) % 1968-1985 гг.

5. Варламов С.Д., Зинковский В.И., Семёнов М.В., Старокуров Ю.В., Шведов О.Ю., Якута А.А. Задачи Московских городских олимпиад по физике. 1986 – 2005. Приложение: олимпиады 2006 и 2007. (изд. 2-е, испр. и доп.) / Под ред. Семёнова М.В. , Якуты А.А. – М.: Изд-во МЦНМО, 2007. – 696 с.

6. Буздин А. И., Зильберман А. Р., Кротов С. С. Раз задача, два задача... – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 240 с. – (Библиотечка «Квант». Вып. 81.)

7. Слободецкий И. Ш., Асламазов Л. Г. Задачи по физике. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 176 с. – (Библиотечка «Квант». Вып. 5). А также 2-е изд. – М.: Бюро Квантум, 2001. – 160 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 86).

8. Балаш В. А. Задачи по физике и методы их решения. – М.: Просвещение, 1964 (и все последующие издания до 4-го, М.:, Просвещение, 1983).

9. Задачи по физике: Учебное пособие / Под ред. О. Я. Савченко. – 4-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2001. – 368 с.

10. Лукашик В. И. Физическая олимпиада в 6--7 классах средней школы: Пособие для учащихся. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Просвещение, 1987. – 192 с.

11. Гольдфарб Н. И. Физика. Задачник. 10--11 кл.: пособие для общеобразовательных учреждений. – М.: Дрофа, 2006. – 398 с. (и все предыдущие издания).

12. Страница Московской физической олимпиады на сервере Кафедры общей физики Физического факультета МГУ: http://genphys.phys.msu.ru/ol/

13. Веб-сайт «Олимпиады для школьников»: http://info.olimpiada.ru/

14. Материалы журнала «Квант» в интернете: http://kvant.mccme.ru/

15. Архив материалов газеты «Физика» (Издательский дом «Первое сентября»): http://fiz.1september.ru

16. Интернет-библиотека МЦНМО: http://ilib.mccme.ru/

17. IPhO – International Physics Olympiads. Материалы международных физических олимпиад (на английском языке). http://ipho.phy.ntnu.edu.tw/ /

18. Задачи вступительных испытаний и олимпиад по физике в МГУ (сборники за 2001–2017 гг.). – М.: Физический ф-т МГУ.

19. Драбович К.Н., Макаров В.А., Чесноков С.С. Физика. Практический курс для поступающих в университеты. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.

20. Драбович К.Н., Макаров В.А., Чесноков С.С. Подготовка к вступительным испытаниям в МГУ. Физика. 770 задач с подробными решениями. – М.: «Макс пресс», 2009. – 456 с.

21. Вишнякова Е.А., Макаров В.А., Семенов М.В., Черепецкая Е.Б., Чесноков С.С., Якута А.А. Отличник ЕГЭ. Физика. Решение сложных задач. / Под ред. В.А. Макарова, М.В. Семёнова, А.А. Якуты; ФИПИ. – М.: Интеллект–Центр, 2010. – 368 с.

22. Всероссийские олимпиады по физике. 1992--2004 / Под ред. С. М. Козела, В. П. Слободянина. – 2-е изд., доп. – М.: Вербум-М, 2005. – 534 с.

Содержание

ОЛИМПИАДЫ «Ломоносов» и «Робофест»
МГУ имени М.В. Ломоносова для школьников
ФИЗИКА
2025

Подписано в печать 19.09.2025 г.
Обьем 5 п.л. Тираж 1000 экз
Заказ

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Отпечатано в отделе оперативной печати
физического факультета МГУ