



Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Физический факультет

Олимпиады

МГУ им. М.В. Ломоносова для школьников

ФИЗИКА



Олимпиада школьников
“Ломоносов”



Олимпиада школьников
“Робофест”



Я верю: и сейчас в российской глубинке много талантливой молодежи, стремящейся к знаниям. Отбор, поиск талантливых ребят – стратегическая задача Московского университета. Россия всегда славилась своими талантами. Даже сегодня 60 % студентов МГУ – иностранцы. И это во многом благодаря нашему стремлению искать таланты по всей России. Ждем вас в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова!

*Председатель оргкомитета олимпиады
школьников "Ломоносов"*

*Ректор МГУ имени М.В. Ломоносова
академик В.А. Садовничий*



Наша олимпиада не случайно носит имя великого ученого Михаила Васильевича Ломоносова. Он пришел в Москву совсем молодым человеком и благодаря своей целеустремленности и глубокому разностороннему уму стал одним из самых выдающихся людей в истории России, прежде всего, блестящим физиком.

С той поры прошло почти три столетия. Но и сейчас наша страна богата талантливой молодежью. Я убежден, что олимпиада "Ломоносов" поможет нам найти самых достойных и самых талантливых учащихся. Успехов Вам, будущие физики - надежда и опора нашей Родины!

*Декан физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
профессор Н.Н. Сысоев*

**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», «Робофест».

В 2021-2022 учебном году в соответствии с Перечнем олимпиад школьников этим олимпиадам присвоены следующие уровни:

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

Победители олимпиад 1 и 2 уровней, а также призеры олимпиад 1 зачислялись в 2022 году на физический факультет МГУ без вступительных испытаний, а призеры олимпиад 2 уровня получали 100 баллов за дополнительное вступительное испытание по физике. Всего в 2022 году на физический факультет было зачислено 123 человека, являющихся победителями и призерами олимпиад школьников, что составляет 34% от общего числа зачисленных на 1 курс абитуриентов. Из них четверть являются победителями и призерами олимпиад школьников, проводимых физическим факультетом.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ 2021/2022» ПО ФИЗИКЕ

В 2021/2022 учебном году олимпиада «Ломоносов» по физике в МГУ проводилась в два этапа- отборочный и заключительный. Оба этапа проходили в дистанционном формате. Победители и призеры отборочного этапа были допущены для участия в заключительном этапе олимпиады. Ниже приводятся примеры заданий для участников отборочного и заключительного туров олимпиады «Ломоносов».

Задания и решения отборочного этапа олимпиады школьников «Ломоносов» по физике. 7-9 классы 2021/2022 учебный год.

1. Автомобиль двигался из пункта А в пункт Б. Первую треть своего пути он ехал со скоростью $v_1 = 60$ км/ч. Далее треть всего времени автомобиль двигался со скоростью v_2 (км/ч). Оставшийся путь он ехал со скоростью $v_3 = 50$ км/ч. Определите среднюю скорость $v_{\text{ср}}$ автомобиля на всем пути для различных значений v_2 . Ответ приведите в км/ч, округлив до десятых.

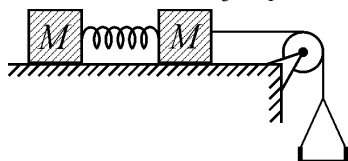
Решение. Пусть τ – все время движения автомобиля, S – весь пройденный им путь. Тогда из условия задачи вытекают следующие равенства: $\tau = t_1 + t_2 + t_3$, $S = S_1 + S_2 + S_3$, $S_1 = \frac{S}{3}$, $t_2 = \frac{\tau}{3}$, $S_2 + S_3 = \frac{2S}{3}$ и

$t_1 + t_3 = \frac{2\tau}{3}$. Учитывая, что $S_2 = \frac{v_2 \tau}{3}$, имеем $S_3 = \frac{2S}{3} - \frac{v_2 \tau}{3}$. Поскольку

$t_1 = \frac{S}{3v_1}$ и $t_3 = \frac{S_3}{v_3}$, получим, что $t_1 + t_2 + t_3 = \frac{S}{3v_1} + \frac{\tau}{3} + \frac{2S}{3v_3} - \frac{v_2 \tau}{3v_3} = \tau$, а потому

$$v_{\text{ср}} = \frac{S}{\tau} = \frac{2v_3 + v_2}{2 + v_3 / v_1}.$$

Ответ: $v_{\text{ср}} = \frac{2v_3 + v_2}{2 + v_3 / v_1}$. Варьируемый параметр v_2 .



2. На горизонтальном столе лежат два одинаковых кубика, связанных пружинкой (см. рисунок). Масса каждого кубика M (г). Правый кубик соединен с легкой чашей

нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Коэффициент трения между кубиками и столом $\mu = 0,1$. В исходном состоянии нить слегка натянута, а пружина не деформирована. Грузик какой минимальной массы m нужно осторожно (без толчка) положить на чашу, чтобы левый кубик сдвинулся с места? Нить, пружину и блок считайте невесомыми. Ответ для различных значений M приведите в граммах, округлив до десятых.

Решение. Левый кубик сдвинется с места, когда сила упругости растянутой пружины станет равной по модулю максимальному значению силы трения покоя, удерживающей его на месте, т.е. при условии, что $kx = \mu Mg$, где k – коэффициент жесткости пружины, x – ее растяжение.

До тех пор, пока левый кубик остается неподвижным, растяжение пружины совпадает с модулем перемещения правого кубика и чаши. Масса m грузика, лежащего на чаше, минимальна, если левый кубик начнет сдвигаться в момент, когда правый кубик остановится. В этом случае изменение потенциальной энергии грузика mgx расходуется только на работу против сил трения при движении правого кубика и потенциальную энергию деформации пружины. Имеем

$$mgx = \mu Mg x + \frac{kx^2}{2}.$$

Учитывая, что жесткость пружины может быть

выражена через x как $k = \frac{\mu Mg}{x}$, в итоге получаем величину

$$\text{минимальной массы } m = \frac{3}{2} \mu M.$$

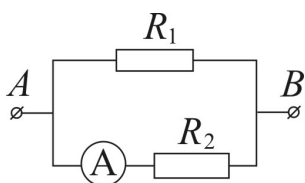
Ответ: $m = \frac{3}{2} \mu M$. Варьируемый параметр M .

3. В калориметре находится смесь воды и льда в состоянии термодинамического равновесия. Через время $\tau_1 = 30$ мин после включения спирали, подключённой к источнику постоянного напряжения, весь лёд растаял, а ещё через время τ_2 (мин) вода нагрелась на $\Delta t = 5^\circ\text{C}$. Пренебрегая теплоёмкостью калориметра, определите отношение n массы воды $m_{\text{в}}$ к массе льда $m_{\text{л}}$ в момент включения спирали. Удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ Дж/(г·°C), удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ Дж/г. Ответ для различных значений τ_2 округлите до десятых.

Решение. Пусть мощность, передаваемая спиралью содержимому калориметра, равна N . Поскольку в момент включения спирали смесь воды и льда находилась в состоянии термодинамического равновесия, т. е. при температуре таяния льда, то $m_{\text{л}}\lambda = N\tau_1$. По условию на нагрев образовавшейся и имевшейся в калориметре воды потребовалось время

$$\tau_2. \text{ Следовательно, } (m_{\text{л}} + m_{\text{в}})c\Delta t = N\tau_2 \text{ и } n = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{л}}} = \frac{\tau_2\lambda}{\tau_1 c\Delta t} - 1.$$

Ответ: $n = \frac{\tau_2\lambda}{\tau_1 c\Delta t} - 1$. Варьируемый параметр τ_2 .



4. Два резистора сопротивлениями $R_1 = 25$ Ом и $R_2 = 100$ Ом соединены параллельно и включены в цепь постоянного тока. Какая мощность N выделяется на участке между точками A и B, если идеальный амперметр, включенный последовательно с резистором R_2 ,

показывает силу тока I_2 (A)? Ответ для различных значений I_2 округлите до целых.

Решение. Поскольку резисторы соединены параллельно, справедливо равенство $I_1 R_1 = I_2 R_2$. Кроме того, ток в неразветвленной цепи

$$I = I_1 + I_2. \text{ Из этой системы уравнений находим, что } I = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot I_2. \text{ По}$$

закону Джоуля–Ленца $N = R_{\text{общ}} I^2$, где $R_{\text{общ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. Из записанных

выражений находим, что $N = \frac{(R_1 + R_2) R_2}{R_1} I_2^2$.

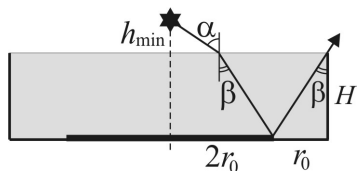
Ответ: $N = \frac{(R_1 + R_2) R_2}{R_1} I_2^2$. Варьируемый параметр I_2 .

5. Непрозрачный цилиндрический сосуд высотой H (см) и радиусом $3r_0$ до краев наполнен водой. В центре сосуда на дне расположено круглое зеркало радиусом $2r_0$. Точечный источник света находится над поверхностью воды точно над серединой зеркала. На какое минимальное расстояние h_{min} от поверхности воды можно приблизить источник света, чтобы при этом все световые лучи, отраженные от зеркала, вышли из

сосуда. Показатель преломления воды примите равным $n = 1,33$, а $r_0 = 10$ см. Ответ для различных значений H приведите в сантиметрах, округлив до десятых.

Решение. Построим ход луча, падающего на край зеркала (см. рисунок). По закону преломления света $\sin \alpha = n \sin \beta$, где

$$\sin \alpha = \frac{r_0}{\sqrt{r_0^2 + h_{\min}^2}} \quad (\text{здесь учтено равенство}$$



треугольников, из которого следует, что точка преломления находится на расстоянии r_0 от центра), а $\sin \beta = \frac{r_0}{\sqrt{r_0^2 + H^2}}$. Подставляя эти выражения

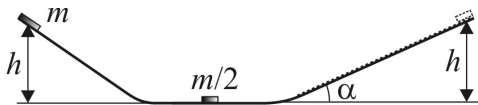
в первое равенство и решая относительно $h_{\min}$, получим, что

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{r_0^2 + H^2}{n^2} - r_0^2}.$$

Ответ: $h_{\min} = \sqrt{\frac{r_0^2 + H^2}{n^2} - r_0^2}$. Варьируемый параметр H .

Задания и решения отборочного этапа олимпиады школьников «Ломоносов» по физике. 10 и 11 классы 2021/2022 учебный год

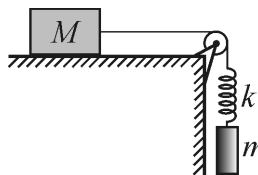
1. Маленькая шайба соскальзывает с некоторой высоты h по гладкой наклонной плоскости, плавно переходящей на горизонтальный участок гладкой поверхности, и испытывает центральное абсолютно упругое соударение с шайбой вдвое меньшей массы. Вторая шайба после соударения попадает на наклонную шероховатую поверхность, плавно сопряжённую с горизонтальной поверхностью посредством гладкого участка. Определите угол α , который образует с горизонтом шероховатая наклонная поверхность, если эта шайба поднимается по ней на такую же высоту h . Коэффициент трения между шайбой и шероховатой поверхностью равен μ . Ответ приведите в градусах для различных значений μ , округлив до целых.



Решение. Скорость первой шайбы перед ударом определяем из закона сохранения механической энергии $mgh = \frac{mv_0^2}{2}$. Из закона сохранения импульса и механической энергии при упругом ударе определяем скорость второй шайбы $v_1 = 4v_0/3$. Далее записываем закон изменения механической энергии второй шайбы: $\frac{mv_1^2}{4} - \mu \cdot \frac{m}{2} g \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \frac{m}{2} \cdot gh$. С учётом первого равенства и найденного выше значения скорости v_1 получаем, что $\operatorname{tg} \alpha = 9\mu/7$.

Ответ: $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{9\mu}{7}\right)$. Варьируемый параметр μ .

2. На шероховатом горизонтальном столе находится брусок массой $M = \gamma$ с прикрепленной к нему легкой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый неподвижный блок. Ко второму концу нити привязана легкая пружина жесткостью $k = 10$ Н/м с подвешенным на ней грузом массой $m = 100$ г. В начальном состоянии груз удерживают в таком положении, что нить слегка натянута, а пружина не деформирована, причем правый конец нити и пружина занимают вертикальное положение. В некоторый момент груз отпускают из состояния покоя. Спустя время $\tau = \pi/30$ с $\approx 0,105$ с после этого брусок сдвигается с места. Найдите коэффициент трения μ между бруском и столом. Ответ округлите до сотых.



Решение. Брусок сдвинется с места, когда сила натяжения нити T превысит максимальное значение силы трения покоя между бруском и столом, т.е. при $T > \mu Mg$, где g – ускорение свободного падения. В свою очередь по закону Гука $T = ky$, где y – удлинение пружины. Найдем величину $y(\tau) = y_0$ в момент времени τ . Совместим начало отсчета с нижним концом недеформированной пружины, координатную ось OY направим вертикально вниз. По второму закону Ньютона для груза имеем уравнение движения $m\ddot{y} = mg - ky$ с начальными условиями $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$, где точками обозначены производные по времени.

Заменой переменных $\eta = y - \frac{mg}{k}$ уравнение движения груза приводится

к уравнению $\ddot{\eta} + \frac{k}{m}\eta = 0$, описывающему гармонические колебания с круговой частотой $\omega = \sqrt{k/m}$. С учетом начальных условий

$\eta(0) = -\frac{mg}{k}$, $\dot{\eta}(0) = 0$ решение этого уравнения имеет вид

$\eta(t) = -\frac{mg}{k} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$. Переходя вновь к переменной y , находим, что

$y_0 = \frac{mg}{k} \left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right]$. Подставляя это значение в уравнение

$\mu Mg = ky_0$, получаем, что искомый коэффициент трения

$$\mu = \frac{m}{M} \left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right].$$

Ответ: $\mu = \frac{m}{M} \left[1 - \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right]$. Варьируемый параметр M .

3. В теплоизолированном вертикальном цилиндре под тяжелым теплоизолирующим поршнем находится идеальный одноатомный газ. Расстояние между поршнем и дном сосуда $H = 1$ м. Сверху на поршень медленно насыпали малую порцию песка, масса которой $m = \gamma$ значительно меньше массы поршня. На какую величину ΔU изменится в результате этого внутренняя энергия газа? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Ответ приведите в миллиджоулях, округлив до целых.

Решение. Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа

равно $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$, где ν – количество молей газа, R –

универсальная газовая постоянная. Уравнения Менделеева–Клапейрона

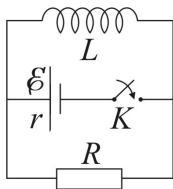
для начального и конечного состояний газа имеют вид: $pV = \nu RT$,

$(p + \Delta p)(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T)$. Здесь p , V и T – начальные давление, объем и температура газа; Δp , ΔV и ΔT – их приращения.

Пренебрегая произведением малых величин $\Delta p \Delta V$, из этих уравнений находим $\nu R \Delta T = V \Delta p - p \Delta V$. Поскольку газ теплоизолирован, из первого закона термодинамики следует, что $p \Delta V = \Delta U$. Условия равновесия поршня массой M в начальном и конечном состояниях имеют вид: $pS = Mg + p_0 S$, $(p + \Delta p)S = (M + m)g + p_0 S$, где S – площадь поршня, p_0 – атмосферное давление. Отсюда $\Delta p = mg/S = mgH/V$. Объединяя записанные выражения, получаем, что $\Delta U = \frac{3}{5}mgH$.

Ответ: $\Delta U = \frac{3}{5}mgH$. Варьируемый параметр m .

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, в некоторый момент замыкают ключ K . Найдите напряжение U на катушке к тому моменту, когда через резистор протечет заряд $q = 1$ мКл. Индуктивность катушки $L = 1$ мГн, сопротивление резистора $R = 4$ Ом, ЭДС источника $\mathcal{E} = \text{В}$, а его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Ответ приведите в вольтах, округлив до десятых.



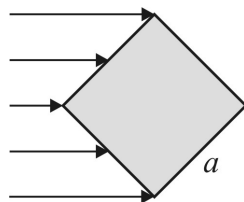
Решение. Рассмотрим момент времени, когда напряжение на катушке равно U . Обозначим через I_L , I_R , и I_r силы токов, текущих в этот момент через катушку, резистор и источник, соответственно. По закону электромагнитной индукции $U = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t}$, где ΔI_L – изменение за малое время Δt силы тока, текущего через катушку. По закону Ома для однородного участка цепи напряжение на резисторе $U = I_R R$. По закону Ома для участка цепи, содержащего ЭДС, $U = \mathcal{E} - I_r r$. Поскольку согласно первому правилу Кирхгофа $I_r = I_L + I_R$, из последнего равенства можно исключить переменную I_r , переписав это равенство в виде: $U = \mathcal{E} - \left(I_L + \frac{U}{R} \right) r$. Кроме того, из записанных выше уравнений следует, что $L \Delta I_L = R I_R \Delta t = R \Delta q$, где $\Delta q = I_R \Delta t$ – заряд, протекший через резистор R за время Δt . Так как до замыкания ключа ток через

катушку отсутствовал, а к рассматриваемому моменту времени стал равным I_L , то $LI_L = Rq$. Выражая отсюда величину I_L и подставляя ее в записанное выше соотношение для U , получим уравнение:

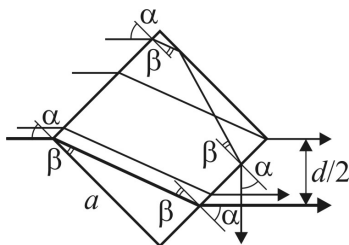
$$U = \mathbf{E} - \left(\frac{Rq}{L} + \frac{U}{R} \right) r, \text{ из которого следует, что } U = \frac{R}{R+r} \left(\mathbf{E} - \frac{Rr q}{L} \right).$$

Ответ: $U = \frac{R}{R+r} \left(\mathbf{E} - \frac{Rr q}{L} \right)$. Варьируемый параметр $\mathbf{E}$.

5. Стекланный кубик освещается широким пучком параллельных световых лучей, параллельных одной из его граней, как показано на рисунке. Определите ширину d параллельного пучка лучей, выходящего из кубика в направлении падающего пучка. Длина ребра кубика $a = \text{см}$, коэффициент преломления стекла $n = 1,5$. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до десятых.



Решение. Ход лучей, падающих на верхнюю половину кубика, изображен на рисунке. Видно, что параллельный пучок лучей, выходящих из кубика в направлении падающего пучка, ограничен лучами, попадающими на ребро кубика и преломленными на нем. Отметим, что лучи, падающие изнутри на грань кубика под углом $90^\circ - \beta \approx 62^\circ$, испытывают на этой грани полное внутреннее отражение (критический угол $\alpha_{\text{кр}} \approx 42^\circ$) и наружу не выходят. Как видно из рисунка, $d/2 = a(1 - \operatorname{tg} \beta) \cdot \sin \alpha$. Учитывая, что по



закону преломления $\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$, а $\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}$, получаем, что

$$\frac{d}{2} = a \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cdot \sin \alpha. \text{ Поскольку } \alpha = 45^\circ, \text{ то } \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ и}$$

$$d = 2a \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{n^2 - 0,5}} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

Ответ: $d = 2a \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{n^2 - 0,5}} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$. Варьируемый параметр a .

**Задания и решения заключительного этапа олимпиады
школьников «Ломоносов» по физике. 7-9 классы
2021/2022 учебный год**

1. По гладкой наклонной доске ударом запустили снизу вверх маленький шарик. На расстоянии $l = 0,6$ м от начальной точки шарик побывал дважды: через $t_1 = 1$ с и $t_2 = 2$ с после начала движения. Определите начальную скорость v_0 шарика. Трение и сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малыми.

Решение. Совместим начало отсчета с точкой запуска шарика, координатную ось OX направим вдоль доски вверх. Кинематическое уравнение движения шарика в выбранной системе имеет вид:

$$x(t) = v_0 t - at^2/2. \text{ Отсюда следуют равенства: } l = v_0 t_1 - at_1^2/2 \text{ и}$$

$$l = v_0 t_2 - \frac{at_2^2}{2}. \text{ Из первого уравнения находим } a = 2 \left(\frac{v_0}{t_1} - \frac{l}{t_1^2} \right) \text{ и}$$

$$\text{подставляем его во второе уравнение } l = v_0 t_2 - \left(\frac{v_0}{t_1} - \frac{l}{t_1^2} \right) \cdot t_2^2. \text{ После}$$

$$\text{несложных преобразований получаем, что } v_0 = l \cdot \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2} = \frac{l}{t_1} + \frac{l}{t_2}.$$

Ответ: $v_0 = l \cdot \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2} = 0,9$ м/с.

2. В сосуде с водой, имеющей температуру 0°C , плавает кусок льда массой $m_{\text{л}} = 100$ г, в который вмерзла дробинка массой $m_{\text{д}} = 5$ г. Какое минимальное количество теплоты Q нужно сообщить воде, чтобы кусок льда с дробинкой начал тонуть? Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1$ г/см³, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9$ г/см³, удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ Дж/г. Объемом дробинки по сравнению с объемом льда можно пренебречь.

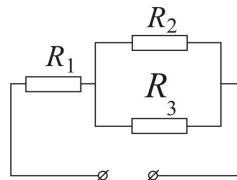
Решение. Пусть m – максимальная масса куска льда, при которой он еще плавает. Тогда объем этого куска $V = m/\rho_{\text{л}}$. Пренебрегая объемом

дробинки по сравнению с V , запишем условие плавания льда с дробинкой в предельном случае $(m + m_d)g = \rho_v Vg$, или $\frac{m}{\rho_v} + \frac{m_d}{\rho_v} = \frac{m}{\rho_l}$.

Отсюда $m = \frac{m_d \rho_l}{\rho_v - \rho_l}$. Таким образом, чтобы кусок льда с дробинкой начал тонуть, нужно растопить лед массой $\Delta m = m_0 - m$, затратив количество теплоты $Q = \lambda \cdot \Delta m$.

Ответ: $Q = \lambda \cdot \left(m_0 - \frac{m_d \rho_l}{\rho_v - \rho_l} \right) = 18,7 \text{ кДж}$.

3. В схеме, показанной на рисунке, $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$. Известно, что на сопротивлении R_1 выделяется мощность $N_1 = 25 \text{ Вт}$. Какая мощность N_2 выделяется на сопротивлении R_2 ?

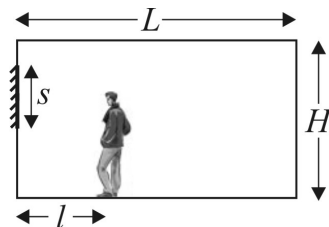


Решение. Обозначим через I_1 , I_2 и I_3 токи, текущие через резисторы R_1 , R_2 и R_3 , соответственно. Для этих токов справедливы равенства: $I_1 = I_2 + I_3$, $I_2 R_2 = I_3 R_3$, откуда $I_2 = \frac{I_1 R_3}{R_2 + R_3}$. С

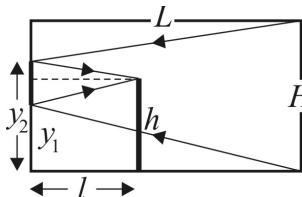
другой стороны, $N_1 = I_1^2 R_1$, $N_2 = I_2^2 R_2$. Объединяя записанные выражения, находим, что $N_2 = N_1 \frac{R_2 R_3^2}{R_1 (R_2 + R_3)^2}$.

Ответ: $N_2 = N_1 \frac{R_2 R_3^2}{R_1 (R_2 + R_3)^2} = 18 \text{ Вт}$.

4. В комнате длиной $L = 5 \text{ м}$ и высотой $H = 3 \text{ м}$ на стене висит плоское зеркало. Человек смотрит в него с расстояния $l = 2 \text{ м}$. Какова минимальная высота s зеркала, если человек видит в нем противоположную стену от пола до потолка?



Решение. Вертикальный размер зеркала ограничен световыми лучами, исходящими из точек, лежащих на нижнем и верхнем ребрах комнаты, и



попадающими в глаз человека (см. рисунок, где h – расстояние от пола до уровня глаз человека). Из подобия треугольников следуют равенства: $\frac{H - y_2}{L} = \frac{y_2 - h}{l}$ и $\frac{y_1}{L} = \frac{h - y_1}{l}$. Из

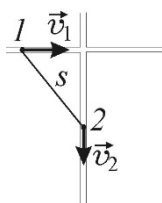
этих равенств находим, что $y_2 = \frac{lH + Lh}{L + l}$,

$$y_1 = \frac{Lh}{L + l}. \text{ Учитывая, что } s = y_2 - y_1, \text{ получаем, что } s = \frac{lH}{L + l}.$$

Ответ: $s = \frac{lH}{L + l} = \frac{6}{7} \text{ м} \approx 0,86 \text{ м}.$

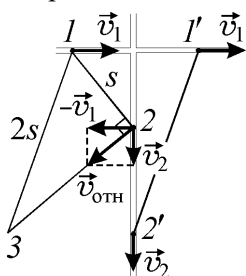
Задания и решения заключительного этапа олимпиады школьников «Ломоносов» по физике. 10 и 11 классы 2021/2022 учебный год.

Вариант 1



1.2.1. Задача. По двум прямым дорогам, перпендикулярным друг другу, едут с постоянными скоростями два автомобиля. В некоторый момент времени расстояние между автомобилями стало минимальным и равным $s = 100 \text{ м}$, а через $\tau = 10 \text{ с}$ удвоилось. Найдите скорость v_1 первого автомобиля, если скорость второго автомобиля $v_2 = 36 \text{ км/ч}$. Ответ приведите в км/ч.

Вопросы. Дайте определение скорости. Сформулируйте закон сложение скоростей.



1.2.1. Решение. На рисунке изображено положение автомобилей в момент времени, когда расстояние между ними минимально и равно s (точки 1 и 2), а также в момент, когда расстояние между ними равно $2s$ (точки 1' и 2'). По закону сложения скоростей относительная скорость автомобилей $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, а ее модуль $v_{\text{отн}} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$. В момент, когда расстояние между автомобилями минимально,

вектор их относительной скорости $\vec{v}_{\text{отн}}$ перпендикулярен отрезку прямой, соединяющей автомобили (отрезку 1-2 на рисунке). Модуль относительного перемещения автомобилей за время τ (длина отрезка 2-3) равен $v_{\text{отн}}\tau = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \cdot \tau$. По теореме Пифагора расстояние между автомобилями (длина отрезка 1-3), равное по условию $2s$, удовлетворяет соотношению $(2s)^2 = s^2 + (v_1^2 + v_2^2) \cdot \tau^2$. Отсюда $v_1 = \sqrt{\frac{3s^2}{\tau^2} - v_2^2}$.

Ответ: $v_1 = \sqrt{\frac{3s^2}{\tau^2} - v_2^2} \approx 14,1 \text{ м/с} \approx 50,9 \text{ км/ч}$.

2.8.1. Задача. В прочном сосуде объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ находится смесь из $\nu_1 = 0,05$ моль водорода и $\nu_2 = 1$ моль сухого воздуха. Найдите относительную влажность f воздуха в сосуде после сгорания водорода и охлаждения содержимого сосуда до температуры $t = 20^\circ\text{C}$. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_{\text{н}} = 2330 \text{ Па}$. Массовая доля кислорода в воздухе составляет примерно 23%. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

Вопросы. Какие виды парообразования вы знаете? Дайте определение удельной теплоты парообразования.

2.8.1. Решение. Уравнение реакции горения водорода в кислороде имеет вид: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$. Отсюда следует, что количество молей сгоревшего водорода равно количеству молей образовавшегося водяного пара и вдвое превышает количество молей требующегося для горения кислорода. Поскольку $0,23\nu_2 > \frac{\nu_1}{2}$, имеющегося в сосуде воздуха с избытком хватит для полного сгорания водорода. Следовательно, в воздухе образуется ν_1 молей водяного пара. Используя уравнение Менделеева–Клапейрона, находим парциальное давление водяного пара:

$p = \frac{\nu_1 RT}{V}$, где $T = t + 273^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$. Относительная влажность воздуха $f = \frac{p}{p_{\text{н}}} = \frac{\nu_1 RT}{p_{\text{н}} V} \approx 0,52$.

Ответ. $f = \frac{\nu_1 RT}{p_{\text{н}} V} \approx 0,52$ или 52%.

3.8.2. Задача. Маленький шарик массой $m = 10$ г, несущий заряд $q = 10^{-6}$ Кл, надет на гладкую непроводящую спицу, расположенную горизонтально. С помощью легкой непроводящей пружины шарик связан с неподвижной опорой. На одном горизонтальном уровне с этим шариком и в той же вертикальной плоскости закреплен второй маленький шарик, несущий заряд $-q$ (см. рисунок). В положении равновесия расстояние между шариками равно $L = 50$ см. Когда подвижный шарик сместили от положения равновесия на малое расстояние и отпустили, он стал совершать гармонические колебания с частотой $f = 1,47$ Гц. Найдите жесткость пружины k . Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Указание. При расчетах воспользуйтесь приближенной формулой $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$, справедливой при $\alpha x \ll 1$.

Вопросы. Дайте определение напряжённости электрического поля. Сформулируйте принцип суперпозиции электрических полей.

3.8.2. Решение. В положении равновесия шарика пружина растянута на величину Δl , которую можно найти, используя закон Гука и закон Кулона, а именно $k\Delta l = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}$. Совместим начало координат с

положением шарика в состоянии равновесия и направим координатную ось OX вправо. По второму закону Ньютона имеем:

$$m\ddot{x} = -k(x + \Delta l) + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(L-x)^2}, \text{ где } x - \text{смещение шарика от положения}$$

равновесия, а точками обозначена вторая производная по времени. Учитывая, что $x \ll L$, преобразуем последнее слагаемое следующим

образом: $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{-2} \approx \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \left(1 + \frac{2x}{L}\right)$. В итоге уравнение движения

шарика принимает вид: $\ddot{x} + \left(\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 m L^2}\right)x = 0$. Следовательно, шарик

совершает гармонические колебания с круговой частотой

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 m L^2}}. \text{ Отсюда } k = (2\pi f)^2 m + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^2}.$$

Ответ: $k = (2\pi f)^2 m + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^2} \approx 1$ Н/м.

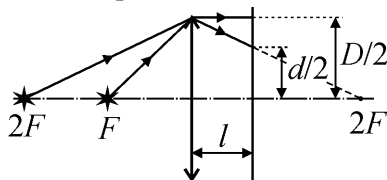
4.1.1. Задача. Тонкая собирающая линза плотно вставлена в круглое отверстие в непрозрачной ширме. На расстоянии $l = 8$ см от линзы расположен экран, перпендикулярный ее главной оптической оси. По другую сторону от линзы в ее главном фокусе находится точечный источник света. При этом на экране наблюдается светлое пятно диаметром $D = 5$ см. Когда источник переместили в точку, находящуюся на главной оптической оси линзы на удвоенном фокусном расстоянии от линзы, диаметр светлого пятна на экране стал равным $d = 3$ см. Найдите фокусное расстояние линзы F .

Вопросы. Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

4.1.1. Решение. Ход одного из лучей, ограничивающих размер светового пятна на экране, изображен на рисунке при двух положениях источника. Когда источник помещен в фокус линзы, диаметр светлого пятна на экране совпадает с диаметром линзы.

Если источник расположен на расстоянии $a > F$ от линзы, то расстояние b от линзы до его действительного изображения определяется по формуле тонкой линзы

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ и равно $b = \frac{aF}{a-F}$. В частности, при $a = 2F$ имеем $b = 2F$.



Из подобия треугольников (см. рисунок) следует, что $\frac{d}{D} = \frac{2F-l}{2F}$.

Отсюда находим $F = \frac{Dl}{2(D-d)} = 10$ см.

Ответ: $F = \frac{Dl}{2(D-d)} = 10$ см.

Вариант 2

1.3.1. Задача. На гладком льду озера лежит достаточно длинная доска массой $M = 1$ кг. На край доски ставят модель автомобиля с включённым двигателем, развивающим постоянную мощность $N = 2$ Вт. Все колёса автомобиля являются ведущими, а его масса в $n = 3$ раза меньше массы

доски. Автомобиль начинает движение вдоль оси доски с проскальзыванием колёс. Коэффициент трения колёс о доску равен $\mu = 0,3$. Считая колёса автомобиля лёгкими, определите расстояние x , на которое сместится автомобиль относительно доски к моменту, когда колёса перестанут проскальзывать. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Вопросы. Как определяется импульс системы материальных точек? Сформулируйте закон сохранения импульса.

1.3.1. Решение. Будем решать задачу в системе отсчёта, связанной со льдом. Пусть к интересующему моменту автомобиль разогнался до скорости, модуль которой равен v , а доска приобрела скорость по модулю равную V . Согласно закону сохранения импульса $mv - MV = 0$, где $m = M/n$ – масса автомобиля. При этом доска сместилась на расстояние L , а автомобиль проехал расстояние $l = nL$ в противоположную сторону. При проскальзывании колёс мощность двигателя затрачивалась на разгон автомобиля и доски под действием сил трения скольжения между колёсами и доской и увеличение внутренней энергии взаимодействующих тел. Проскальзывание колёс прекратилось в тот момент, когда модули скоростей автомобиля и доски стали удовлетворять соотношению: $(v + V) \cdot \mu mg = N$, где g – модуль ускорения свободного падения. В дальнейшем модули скоростей увеличивались, а силы трения перестали быть силами трения скольжения и уменьшились по модулю. За время проскальзывания колёс кинетическая энергия автомобиля стала равной $mv^2/2 = \mu mgl$, а доски – $MV^2/2 = \mu mgL$. Из составленных уравнений получаем, что

$$x = L + l = \frac{N^2 n^3}{2\mu^3 g^3 M^2 (1+n)}.$$

Ответ: $x = \frac{N^2 n^3}{2\mu^3 g^3 M^2 (1+n)} = 0,5 \text{ м.}$

2.2.1. Задача. Горизонтально расположенный цилиндр разделен подвижным поршнем массой $m = 5 \text{ кг}$ на две равные части объемом $V = 1 \text{ л}$ каждая. С одной стороны от поршня находится насыщенный водяной пар при температуре $t = 100^\circ \text{C}$, с другой – воздух при той же температуре. Цилиндр поставили вертикально так, что снизу оказался

пар. На какое расстояние x опустится поршень, если температуру в обеих частях цилиндра поддерживают неизменной? Площадь основания цилиндра $S = 0,01 \text{ м}^2$. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$, а нормальное атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

Вопросы. Дайте определения влажности и относительной влажности воздуха.

2.2.1. Решение. Когда цилиндр расположен горизонтально, давление воздуха равно давлению насыщенного водяного пара p_n , которое при $t = 100^\circ\text{С}$ равно нормальному атмосферному давлению p_0 . Записывая уравнение состояния воздуха, имеем $p_0 V = \nu_B RT$, откуда количество

молей воздуха $\nu_B = \frac{p_0 V}{RT}$. Когда цилиндр поставили вертикально,

давление водяного пара осталось прежним, а давление воздуха, как это следует из уравнения равновесия поршня, стало равным $p_0 - mg/S$.

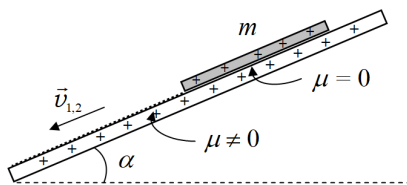
При перемещении поршня на расстояние x объем воздуха увеличился на xS и уравнение состояния воздуха приняло вид:

$\left(p_0 - \frac{mg}{S}\right)(V + xS) = \nu_B RT = p_0 V$. Из последнего соотношения легко найти

величину x , а именно: $x = \frac{mgV}{S(p_0 S - mg)}$.

Ответ: $x = \frac{mgV}{S(p_0 S - mg)} \approx 5,3 \text{ мм}$.

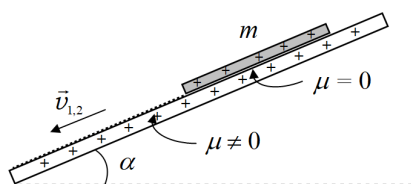
3.5.1. Задача. Длинная диэлектрическая плита наклонена под углом к горизонту и имеет две части поверхности – гладкую верхнюю и шероховатую нижнюю. Прямоугольная пластмассовая пластинка массой $m = 100 \text{ г}$ покоится, располагаясь целиком на шероховатой части, если угол наклона плиты не превышает $\alpha_{\text{пр}} = 30^\circ$. Пластинку смещают вдоль плиты так, что её нижний край совпадает с границей шероховатой части, и отпускают без начальной скорости. Скорость пластинки к моменту, когда она целиком окажется на шероховатой части плиты равна v_1 . Если же по плите равномерно



распределён заряд с поверхностной плотностью $\sigma = +3 \text{ мкКл/м}^2$, а по пластинке заряд $q = +3 \text{ мкКл}$, скорость пластинки в том же положении окажется равной v_2 . Во сколько раз v_1 меньше v_2 ? Электрическую постоянную примите равной $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, а ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Поляризационными эффектами можно пренебречь.

Вопросы. Дайте определение емкости. Запишите формулу для емкости плоского конденсатора.

3.5.1. Решение. Незаряженная пластинка покоится на шероховатой части наклонной плоскости при условии $0 = mg \cdot \sin \alpha_{\text{пр}} - \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha_{\text{пр}}$. При



соскальзывании из нового положения сила трения скольжения между пластинкой и плитой изменяется по линейному закону от нуля до значения μN , поэтому работа силы трения

$$A_{\text{тр}} = -\frac{1}{2} \mu N \cdot b. \text{ Скорость движения}$$

пластинки удобно находить, используя закон изменения механической энергии: $mg \cdot b \sin \alpha + A_{\text{тр}} = \frac{mv_{1,2}^2}{2}$. В отсутствии электрического заряда

нормальная составляющая силы реакции опоры равна $N_1 = mg \cdot \cos \alpha_{\text{пр}}$. Напряжённость электрического поля, созданного заряженной плитой

равна $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, поэтому нормальная составляющая уменьшается до

значения $N_2 = mg \cdot \cos \alpha_{\text{пр}} - qE$ (в случае одинаковых знаков зарядов). Решая систему приведённых уравнений, находим искомое отношение

$$\text{скоростей } \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{q\sigma \cdot \text{tg } \alpha_{\text{пр}}}{2\epsilon_0 mg \cdot \sin \alpha_{\text{пр}}}}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{q\sigma \cdot \text{tg } \alpha_{\text{пр}}}{2\epsilon_0 mg \cdot \sin \alpha_{\text{пр}}}} \approx 1,26.$$

4.3.1. Задача. Узкий световой пучок падает на тонкую собирающую линзу параллельно ее главной оптической оси и образует светлое пятно на экране, параллельном плоскости линзы и расположенном за ней на

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «РОБОФЕСТ».

На обоих этапах (отборочном и заключительном) участники олимпиады «Робофест» выполняют задания по робототехнике («практический тур») и решают олимпиадные задачи по физике («теоретический тур»). В 2022 году оба этапа проводились дистанционно.

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

На отборочном этапе вклад обоих туров в общую оценку участника одинаков – максимальная сумма баллов и за теоретической, и за практический тур равна 50 баллов.

Примеры задач из заданий теоретического тура для 7, 8 и 9 классов

Вариант 1 (7 класс)

1. Катер плыл против течения от пристани А до пристани В 24 минуты. Деревянный брусок плыл от пристани В до пристани А 60 минут. За какое время катер доплывет от пристани В до пристани А, если его скорость относительно воды будет в 1,5 раза меньше, чем при плавании от А до В, о котором говорилось выше? Ответ запишите в минутах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

Возможное решение: Пусть v – скорость катера относительно воды при плавании от А до В, а u – скорость течения реки, L – расстояние

между А и В. Тогда время плавания катера в первый раз $t_1 = \frac{L}{v-u}$, а

время плавания бруска $t_2 = \frac{L}{u}$. Из этих соотношений можно выразить

$u = \frac{L}{t_2}$ и $v = \frac{L}{t_1} + \frac{L}{t_2} = L \frac{t_1 + t_2}{t_1 t_2}$. Значит, время обратного плавания

катера $t = \frac{L}{(2v/3) + u} = \frac{3t_1 t_2}{5t_1 + 2t_2} = 18$ мин.

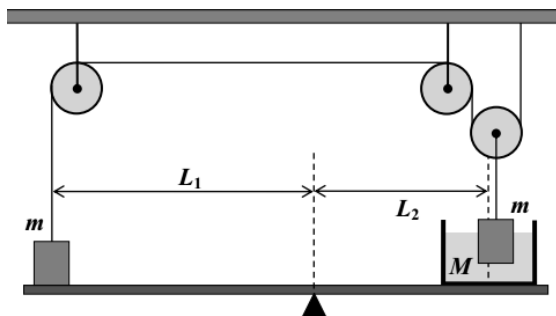
ОТВЕТ: 18.

2. Два одинаковых пластиковых цилиндра массой по $m = 800$ г прикреплены к концам легкой нерастяжимой нити и подвешены к потолку с помощью трех идеальных блоков (см. рисунок). Первый цилиндр стоит на одной из сторон легкого рычага, а второй – опущен в сосуд с водой, который помещен на другую сторону того же рычага. Массы сосуда с водой $M = 500$ г. Расстояния от точки опоры рычага до центров площадей опоры первого груза и сосуда с водой относятся как $L_1:L_2=3:2$. Плотность пластика, из которого изготовлены цилиндры, в 1,5 раза больше плотности воды. Система находится в равновесии.

2.1. Найдите отношение величин сил давления сосуда с водой и первого груза на рычаг $N_2:N_1$. Ответ запишите с точностью до десятых.

2.2. Считая ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², найдите величину силы натяжения нити. Ответ запишите в ньютонах с точностью до целого значения.

2.3. Какая часть объема второго цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.



Возможное решение: Условие равновесия рычага позволяет ответить на

первый вопрос: $L_1 N_1 = L_2 N_2 \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} = \frac{3}{2} = 1,5$.

Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны груза, равна по величине силе, действующей на этот груз со стороны рычага, и ее можно найти из условия равновесия груза: $N_1 = mg - T$, где T – сила натяжения нити. Аналогично находим величину силы, действующей на правую сторону рычага со стороны дна сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом):

$N_2 = (M + m)g - 2T$. С учетом найденного ранее соотношения сил давления из этих уравнений находим силу натяжения нити:
 $T = (2M - m)g \approx 2 \text{ Н}$.

Запишем теперь условие равновесия груза, частично погруженного в воду $F_A + 2T = mg$, и найдем из него величину действующей на него силы Архимеда $F_A = (3m - 4M)g$. Так как по закону Архимеда $F_A = \rho_B V_{\text{погр}} g$, а $mg = \rho_{\text{пл}} V g$, то $\frac{V_{\text{погр}}}{V} = \frac{\rho_{\text{пл}}}{\rho_B} \frac{3m - 4M}{m} = 0,75$. Итак, под водой находится 75% объема груза.

ОТВЕТЫ: 2.1. 1,5. 2.2. 2. 2.3. 75.

3. В трех одинаковых термосах находятся одинаковые количества жидкой воды с одинаковой температурой. В первый бросили кубик замороженного льда массой 54 г, во второй два точно таких же (по массе и температуре) кубика, а в третий – четыре. В первом термосе до установления равновесия растаяло 39 г льда, во втором – 28 г льда.

3.1. Какая масса льда растаяла в третьем термосе? Теплоемкостью колбы термоса пренебречь. Ни один термос не переполняется. Ответ дайте в граммах, с точностью до целого значения.

3.2. Пусть все массы из условия известны с ошибкой не более 0,4 г. Оцените максимальную возможную ошибку полученного ответа на первый вопрос этого задания. В ответе поставьте:

- 1, если Вы считаете, что эта ошибка не более 0,2 г;
- 2, если Вы считаете что она более 0,2 г, но не более 0,4 г;
- 3, если Вы считаете что она более 0,4 г, но не более 1 г;
- 4, если Вы считаете что она более 1 г, но не более 2г;
- 5, если Вы считаете что она более 2 г.

Возможное решение: Из данных задачи видно (масса растаявшего льда меньше массы брошенного), что в конечном состоянии в термосе лед и вода находятся в равновесии, то есть конечная температура содержимого термоса равна 0°C (вода остыла до этой температуры, а лед до начала таяния прогрелся до нее). Учитывая это, запишем уравнение теплового

баланса для установления равновесия в первом термосе (обозначив M массу воды в термосе, m – массу кубика, $t_1 > 0^\circ\text{C}$ и $t_2 < 0^\circ\text{C}$ – начальные температуры воды и льда, m_1 – масса растаявшего льда): $c_B M t_1 = c_L m(-t_2) + \lambda m_1$, а также аналогичное уравнение для второго термоса: $c_B M t_1 = c_L 2m(-t_2) + \lambda m_2$. Из этих уравнений находим, что $c_L m(-t_2) = \lambda(m_1 - m_2)$. Из первого уравнения и уравнения теплового баланса для установления равновесия в третьем термосе $c_B M t_1 = c_L 4m(-t_2) + \lambda m_3$ аналогично получим $3c_L m(-t_2) = \lambda(m_1 - m_3)$. Из двух полученных соотношений находим массу льда, растаявшего в третьем термосе $m_3 = 3m_2 - 2m_1 = 6$ г. Видно, что лед все же начал таять, так что конечная температура действительно равна 0°C .

При подстановке числовых значений масс в полученную формулу максимальная допустимая (при указанной ошибке измерения) величина $m_{2\max} = m_2 + \Delta m = 28,4$ г, а минимальная возможная величина $m_{1\min} = m_1 - \Delta m = 38,6$ г. Значит, максимальная возможная величина $m_{3\max} = 3m_2 - 2m_1 + 5\Delta m = 8$ г. Аналогичное рассуждение показывает, что $m_{3\min} = 3m_2 - 2m_1 - 5\Delta m = 4$ г. То есть ошибка в определении m_3 не превышает 2 г, что отвечает предложению 4.

ОТВЕТЫ: 3.1. 6. 3.2 4.

4. Световое излучение – это разновидность электромагнитных волн, причем разные цвета отличаются друг от друга длиной волны λ (это расстояние между двумя «гребнями» волны). В таблице ниже приведена связь между длиной волны в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9}\text{м}$) и видимым цветом:

5.

Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
625–740 нм	590-625 нм	565-590 нм	500-565 нм	485-500 нм	440-485 нм	380-440 нм
78%	75%	72%	70%	65%	60%	50%

«Белый цвет» – это равномерная смесь всех этих цветов, то есть в «белом» световом пучке во всем диапазоне длин волн от 380 нм до 740

нм на одинаковые интервалы ее значений $\Delta\lambda$ приходится одинаковые доли от общей интенсивности пучка I (так называют энергию светового излучения, проходящую за единицу времени через единицу площади поперечного сечения пучка). Пусть белый свет падает на поверхность зеркала, которую мы разглядываем через «желтый» светофильтр (то есть этот светофильтр пропускает «желтые» световые лучи практически без потери энергии, а все остальные поглощает или отражает). В нижней строке таблицы указано, какую долю падающей энергии (в процентах) отражает зеркало для диапазона длин волн, соответствующему каждому из цветов. Определите, какую часть от интенсивности падающего на зеркало света составляет интенсивность света, прошедшего светофильтр. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

Возможное решение: Обратим внимание, что определения интенсивности света после светофильтра мы можем не рассматривать никакие лучи, кроме «желтых», так как все остальные лучи не пройдут светофильтр. Поэтому сразу заметим, что, если интенсивность исходного белого светового пучка принять равной I_0 , то интенсивность «желтого»

света в этом пучке $I' = \frac{25\text{ нм}}{360\text{ нм}} I_0 = \frac{5}{72} I_0$. Здесь $25\text{ нм} = 590\text{ нм} - 565\text{ нм}$

соответствуют ширине диапазона длин волн желтого цвета, а $360\text{ нм} = 740\text{ нм} - 380\text{ нм}$ есть полная ширина диапазона длин волн видимого света (то есть всех цветов, составляющих белый цвет). При отражении от зеркала эта интенсивность понизится (в соответствии с таблицей) до $I'' = 0,72 \cdot I' = 0,05 \cdot I_0$. Итак, интенсивность света, прошедшего светофильтр, составляет 5 % от интенсивности света, падающего на зеркало.

ОТВЕТ: 5.

Вариант 3 (9 класс)

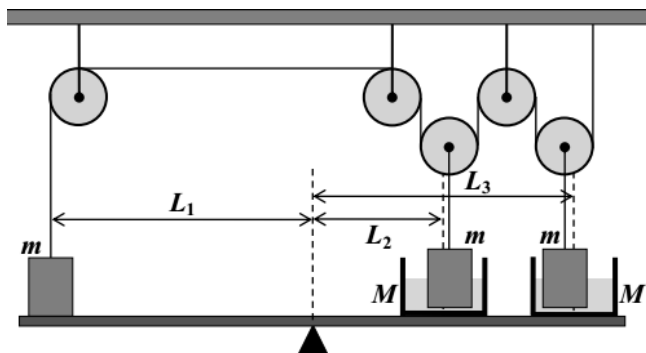
1. Три одинаковых пластиковых цилиндра прикреплены к концам легкой нерастяжимой нити и подвешены к потолку с помощью пяти идеальных блоков (см. рисунок). Первый цилиндр стоит на одной из сторон легкого рычага, а второй и третий – опущены в одинаковые сосуды с водой, помещенные на другую сторону того же рычага. Масса одного сосуда с водой равна двенадцатой части массы одного цилиндра

($M=m/12$). Расстояния от точки опоры рычага до центров площадей опоры первого груза и сосудов связаны соотношениями $L_1=L_3=2\cdot L_2$. Плотность пластика, из которого изготовлены цилиндры, в $4/3$ раза больше плотности воды. Система находится в равновесии.

1.1. Найдите отношение величины силы тяжести, действующей на один груз, к величине силы натяжения нити $(mg):T$. Ответ запишите с точностью до десятых.

1.2. Какая часть объема второго цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

1.3. Какая часть объема третьего цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.



Возможное решение: Сначала рассмотрим силы, приложенные к рычагу. Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны первого цилиндра, равна по величине силе, действующей на этот цилиндр со стороны рычага, и ее можно найти из условия равновесия цилиндра: $N_1 = mg - T$. Аналогично находим величины сил, действующей на правую сторону рычага со стороны дна каждого сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом): $N_2 = N_3 = (M + m)g - 2T$. Условие равновесия рычага $L_1 N_1 = L_2 N_2 + L_3 N_3$ дает нам еще одно уравнение $2N_1 = N_2 + 2N_3$, из которого можно определить силу натяжения нити:

$$2mg - 2T = 3(M + m)g - 6T, \quad \text{то есть} \quad T = \frac{3M + m}{4}g = \frac{5}{16}mg \quad \text{и}$$

$$\frac{mg}{T} = 3,2.$$

Сразу заметим, что второй и третий цилиндры одинаковы, они помещены в одинаковые сосуды с водой и подвешены одинаковым образом к одной и той же легкой нерастяжимой нити, сила натяжения которой во всех точках одинакова. Ясно, что силы Архимеда, действующие на эти грузы, в состоянии равновесия должны быть одинаковы и равны $F_A = mg - 2T$, где T – сила натяжения нити. Следовательно, объем погруженной части у этих цилиндров одинаков. С учетом полученного выражения для силы натяжения найдем, что величины сил Архимеда $F_A = \frac{3}{8}mg$. По закону Архимеда эта величина связана с объемом погруженной части цилиндра $F_A = \rho_B V_{\text{погр}} g$, а масса цилиндра $m = \rho_{\text{нл}} V$. Поэтому полученное равенство дает нам соотношение $\rho_B V_{\text{погр}} g = \frac{3}{8} \rho_{\text{нл}} V g \Rightarrow \frac{V_{\text{погр}}}{V} = \frac{3}{8} \frac{\rho_{\text{нл}}}{\rho_B} = \frac{1}{2}$. Таким образом, второй и третий цилиндры погружены в воду на 50 %.

ОТВЕТЫ: 1.1. 3,2. 1.2. 50. 1.3. 50.

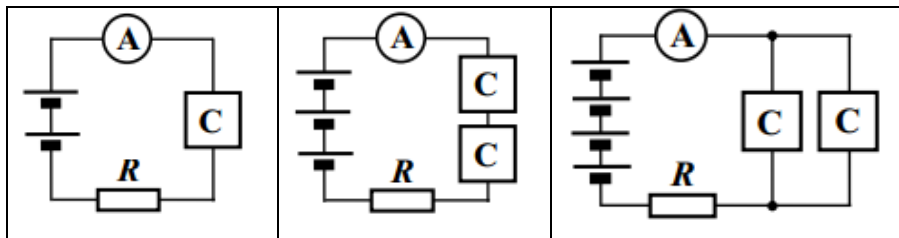
2. Стабилизатор тока – нелинейный элемент электрических цепей, то есть он не всегда подчиняется закону Ома. Пусть у нас есть два одинаковых стабилизатора, ВАХ (вольт-амперная характеристика)

которых описывается выражением
$$I(U) = \begin{cases} I_0 \frac{U}{U_0} \left(2 - \frac{U}{U_0} \right), & U < U_0, \\ I_0, & U \geq U_0 \end{cases}, \text{ в}$$

котором $I_0 = 2 \text{ А}$, $U_0 = 3 \text{ В}$.

Из этих стабилизаторов, одинаковых батареек с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}$ и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, резистора с сопротивлением $R = 1 \text{ Ом}$ и амперметра собирали три различные цепи по

схемам, представленным в таблице ниже (стабилизаторы обозначены квадратом с буквой «С»).



Считая амперметр идеальным, ответьте на вопросы:

- 2.1. Чему равна сила тока через амперметр в схеме 1 из левого столбца таблицы? Ответ запишите в амперах, с точностью до десятых.
- 2.2. Чему равна сила тока через амперметр в схеме 2 из среднего столбца таблицы? Ответ запишите в амперах, с точностью до десятых.
- 2.3. Чему равна сила тока через амперметр в схеме 3 из правого столбца таблицы? Ответ запишите в амперах, округлив до десятых.

Возможное решение: Рассмотрим сначала первую схему. Так как напряжение на двух батарейках равно 3 В, то напряжение на стабилизаторе точно меньше 3 В, и связь тока с напряжением для него дается уравнением $I(U) = I_0 \frac{U}{U_0} \left(2 - \frac{U}{U_0} \right)$. Тогда (с учетом совпадения

$2\mathcal{E}_1 = U_0$) уравнение баланса напряжений имеет вид

$$U_0 = U + R \cdot I_0 \frac{U}{U_0} \left(2 - \frac{U}{U_0} \right). \text{ Учтем также, что } RI_0 = \frac{2}{3}U_0, \text{ и}$$

приходим к уравнению для напряжения на стабилизаторе:

$$\left(\frac{U}{U_0} \right)^2 - \frac{7}{2} \frac{U}{U_0} + \frac{3}{2} = 0. \text{ Так как нам нужно решение с } U < U_0, \text{ то}$$

выбираем меньший корень $\frac{U}{U_0} = \frac{1}{2}$. Значит, сила тока через амперметр

$$I(U) = \frac{3}{4}I_0 = 1,5 \text{ A.}$$

Для второй схемы напряжение на двух последовательно соединенных стабилизаторах явно меньше 4,5 В, то есть на каждом из них – снова меньше «порога»! Снова используем нелинейную связь тока с напряжением. Теперь $3\mathcal{E}_1 = \frac{3}{2}U_0 = 2U + R \cdot I_0 \frac{U}{U_0} \left(2 - \frac{U}{U_0}\right)$ (где U – напряжение на одном стабилизаторе). Теперь приходим к другому уравнению $\left(\frac{U}{U_0}\right)^2 - 5\frac{U}{U_0} + \frac{9}{4} = 0$, но его меньший корень снова $\frac{U}{U_0} = \frac{1}{2}$.

Поэтому и сила тока через амперметр прежняя $I(U) = \frac{3}{4}I_0 = 1,5$ А.

Для третьей схемы начнем с того, что проверим, может ли напряжение на параллельно соединенных стабилизаторах быть не ниже «порога»: если $U \geq U_0$, то ток через каждый стабилизатор равен $I_0 = 2$ А, ток через резистор $2I_0 = 4$ А, и напряжение на стабилизаторах $U = 4\mathcal{E}_1 - 2I_0R = 2$ В, то есть на самом деле опять меньше U_0 . Поэтому действуем по все той же схеме: уравнение баланса напряжений теперь имеет вид $2U_0 = U + R \cdot 2I_0 \frac{U}{U_0} \left(2 - \frac{U}{U_0}\right)$, то есть $\left(\frac{U}{U_0}\right)^2 - \frac{11}{4}\frac{U}{U_0} + \frac{3}{2} = 0$.

Нужный корень $\frac{U}{U_0} = \frac{3}{4}$, и сила тока через каждый стабилизатор

$$I(U) = \frac{15}{16}I_0. \text{ Ток через амперметр } I_A = 2I(U) = \frac{15}{8}I_0 = 3,75 \text{ А.}$$

ОТВЕТЫ: 2.1. 1,5. 2.2. 1,5. 2.3. 3,8.

3. В трех одинаковых термосах находятся по 200 г жидкой воды с одинаковой температурой. В первый бросили нагретую выше температуры кипения металлическую пластину, во второй – две таких же пластины, а в третий – четыре. В первом термосе до установления равновесия испарилось 8 г воды, во втором – 18 г.

- 3.1. Какая масса воды испарилась в третьем термосе? Теплоемкостью колбы термоса пренебречь. Ни один термос не переполняется. Можно считать, что вода интенсивно испаряется только во время остывания пластин до температуры кипения. Ответ дайте в граммах, с точностью до целого значения.
- 3.2. Пусть все массы из условия известны с ошибкой не более 0,5 г. Оцените максимальную возможную ошибку полученного ответа на первый вопрос этого задания. В ответе поставьте:
- 1, если Вы считаете, что эта ошибка не более 0,25 г;
 - 2, если Вы считаете что она более 0,25 г, но не более 0,5 г;
 - 3, если Вы считаете что она более 0,5 г, но не более 1 г;
 - 4, если Вы считаете что она более 1 г, но не более 2,5 г;
 - 5, если Вы считаете что она более 2,5 г.

Возможное решение: Запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия в первом термосе (обозначив M массу воды в термосе, m – массу пластины, $t_1 < 100^\circ\text{C} \equiv t_0$ и $t_2 > 100^\circ\text{C}$ – начальные температуры воды и пластин, c_B и c_n – удельные теплоемкости воды и материала пластин). С учетом того, что пластина остывает до температуры кипения t_0 (после этого интенсивное испарение воды, согласно условию, прекращается и оставшаяся вода и пластина «очень медленно» остывают только за счет теплообмена): $c_B M(t_0 - t_1) + rM_1 = c_n m(t_2 - t_0)$, а также аналогичное уравнение для второго термоса: $c_B M(t_0 - t_1) + rM_2 = c_n 2m(t_2 - t_0)$. Умножив первое уравнение на 2 и вычитая из него второе, получаем: $c_B M(t_0 - t_1) = r(M_2 - 2M_1)$. Уравнение теплового баланса для установления равновесия в третьем термосе: $c_B M(t_0 - t_1) + rM_3 = c_n 4m(t_2 - t_0)$, и из него вместе с первым уравнением находим, что $3c_B M(t_0 - t_1) = r(M_3 - 4M_1)$. Из двух полученных соотношений выражаем искомую массу испарившейся воды в третьем термосе: $M_3 = 3M_2 - 2M_1 = 38$ г.

Для оценки точности найдем максимальное (при максимальном M_2 и минимальном M_1) и минимальное (наоборот) значение найденной

массы: $M_{3\max} = 3(18 + 0,5) \text{ г} - 2(8 - 0,5) \text{ г} = (38 + 2,5) \text{ г}$ и $M_{3\min} = (38 - 2,5) \text{ г}$. Как видно, максимальная возможная ошибка полученного ответа около 2,5 г, что отвечает предложению номер 4.

ОТВЕТЫ: 3.1. 38. 3.2 4.

4. Световое излучение – это разновидность электромагнитных волн, причем разные цвета отличаются друг от друга длиной волны λ (это расстояние между двумя «гребнями» волны). В таблице ниже приведена связь между длиной волны в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) и видимым цветом:

Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
625–740 нм	590–625 нм	565–590 нм	500–565 нм	485–500 нм	440–485 нм	380–440 нм

«Белый цвет» – это равномерная смесь всех этих цветов, то есть в «белом» световом пучке во всем диапазоне длин волн от 380 нм до 740 нм на одинаковые интервалы ее значений $\Delta\lambda$ приходится одинаковые доли от общей интенсивности пучка I (так называют энергию светового излучения, проходящую за единицу времени через единицу площади поперечного сечения пучка). Пусть белый свет падает на поверхность зеркала, которую мы разглядываем через «синий» светофильтр (то есть этот светофильтр пропускает «синие» световые лучи с эффективностью, описываемой коэффициентом прохождения $T(\lambda) = \frac{320 \text{ нм}}{\lambda}$, а все остальные полностью поглощает или отражает). Известно, что коэффициент отражения зеркала (показывающий, какую долю падающей энергии отражает зеркало для данной длины волны) $R(\lambda) = \frac{\lambda}{800 \text{ нм}}$.

Определите, какую часть от интенсивности падающего на зеркало света составляет интенсивность света, прошедшего светофильтр. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

Возможное решение: Пусть интенсивность падающего «белого» света равна I_0 . Тогда на каждый «малый» интервал длин волн $\Delta\lambda$ приходится

часть общей интенсивности $\Delta I = \frac{\Delta\lambda}{360\text{ нм}} I_0$ (здесь 360 нм – ширина

диапазона «видимого» света 740 нм – 380 нм). После отражения от зеркала эта часть еще уменьшается и становится равной

$$\Delta I' = R(\lambda) \cdot \Delta I = \frac{\lambda}{800\text{ нм}} \frac{\Delta\lambda}{360\text{ нм}} I_0.$$

Интенсивность после прохождения

светофильтра еще уменьшается:

$$\Delta I'' = T(\lambda) \Delta I' = \frac{320\text{ нм}}{\lambda} \frac{\lambda}{800\text{ нм}} \frac{\Delta\lambda}{360\text{ нм}} I_0 = \frac{\Delta\lambda}{900\text{ нм}} I_0, \quad \text{причем это}$$

выражение теперь относится только к «синим» лучам в диапазоне от 440 нм до 485 нм (шириной 45 нм), так как остальные лучи через светофильтр совсем не проходят. Значит, общая интенсивность пучка на

выходе из светофильтра $I'' = \frac{45\text{ нм}}{900\text{ нм}} I_0 = \frac{1}{20} I_0$. Итак, его

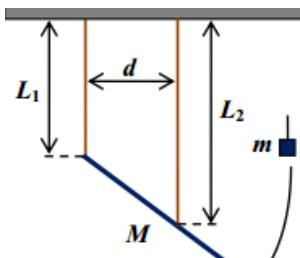
интенсивность составляет 5% от первоначальной.

ОТВЕТ: 5.

Примеры задач для 10–11 классов

Вариант 4

1. Недеформируемый тонкий прямой стержень массой $M = 1,5$ кг подвешен к недеформируемому горизонтальному потолку на двух отрезках легкой практически нерастяжимой нити (см. рисунок). Длина стержня $L = 80$ см, длины нитей $L_1 = 60$ см и $L_2 = 90$ см. В состоянии равновесия обе нити вертикальны и находятся на расстоянии $d = 40$ см друг от друга.



1.1. Найдите отношение величин малых деформаций нитей $\Delta L_2 : \Delta L_1$.

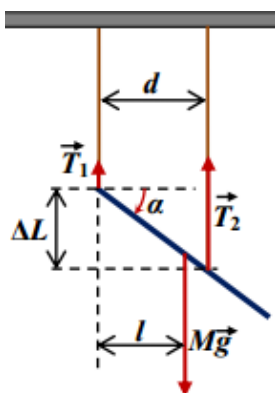
Ответ запишите с точностью до целого значения.

К нижнему концу стержню на еще одном небольшом отрезке той же нити подвесили маленький груз.

1.2. Во сколько раз увеличилась величина деформации нити 2 при массе груза $m = 300$ г (по сравнению с ее деформацией в отсутствие груза)? Ответ запишите с точностью до десятых.

1.3. Во сколько раз увеличится величина деформации нити 2, если взять более тяжелый груз, с массой $m' = 600$ г (по сравнению с ее деформацией в отсутствие груза)? Ответ запишите с точностью до сотых.

Возможное решение: В первую очередь изучим геометрию системы: можно отметить, что угол наклона стержня к горизонтали при обеих



натянутых нитях определяется соотношением

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{L_2 - L_1}{d} = \frac{3}{4}.$$

Далее удобно записать правило моментов относительно верхнего конца стержня (точки подвеса верхней нити):

$$T_2 \cdot d - Mg \cdot l = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{l}{d} Mg.$$

С учетом того, что плечо силы тяжести $l = \frac{L}{2} \cos(\alpha) = \frac{2}{5} L = 32$ см, получаем

$$T_2 = \frac{4}{5} Mg.$$

Условие равновесия сил $T_1 + T_2 = Mg$ позволяет найти и другую силу натяжения: $T_1 = \frac{1}{5} Mg$. Следовательно, $T_2/T_1 = 4$. Каждая

из сил натяжения пропорциональна удлинению нити, а коэффициент жесткости обратно пропорционален длине нити (см. вопрос). Значит,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{k_2 \Delta L_2}{k_1 \Delta L_1} = \frac{L_1 \Delta L_2}{L_2 \Delta L_1} \Rightarrow \frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} = \frac{L_2}{L_1} \frac{T_2}{T_1} = 6.$$

При подвешивании груза к силам, действующим на стержень, добавляется приложенная к его нижнему концу сила, равная силе тяжести этого груза. Так что теперь правило моментов приведет к новому результату:

$$T_2 \cdot d - Mg \cdot l - mg \cdot 2l = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{l}{d}(M + 2m)g = \frac{4}{5}(M + 2m)g.$$

Важно понимать, что нам необходимо проверить, действительно ли после подвешивания груза обе нити остались натянутыми – ведь мы использовали такое предположение в решении. Для это нужно найти и T_1 : как видно, эта сила остается положительной $T_1 = (M + m)g - \frac{4}{5}(M + 2m)g = \frac{1}{5}(M - 3m)g > 0$, то есть первая нить остается натянутой. Следовательно, сила натяжения нити 2 увеличилась из-за подвешивания груза в $\frac{M + 2m}{M} = 1,4$ раза. Ясно, что во столько же раз увеличилась и ее деформация.

В случае более тяжелого груза, повторив такие же вычисления, мы бы обнаружили, что $T_1 = \frac{1}{5}(M - 3m')g < 0$! Это означает, что на самом деле первая нить провисает, и предыдущее решение (в котором мы предполагали, что обе нити натянуты) становится неверным. Надо произвести расчет заново, понимая, что теперь стержень с грузом висят только на одной второй нити (первая висит свободно). Поэтому теперь $T_2 = (M + m')g$, и сила натяжения нити 2 (и вместе с ней деформация этой нити) по сравнению со случаем, когда груза не было, возросла в $\frac{5}{4} \frac{M + m'}{M} = 1,75$ раза.

ОТВЕТЫ: 1.1. 6. 1.2. 1,4. 1.3. 1,75.

2. Постоянное количество одноатомного идеального газа нагревают несколько раз. Каждый раз нагревание состоит из двух последовательных процессов – изохоры и изобары. Каждый раз отношение конечного давления к начальному – это одно и то же число, а отношение конечной абсолютной температуры к начальной $n \equiv T_k / T_n$ принимает различные значения. Известно, что при $n_1 = 1,6$ газу в процессе

нагрева было передано количество теплоты $Q_1 \approx 5,2$ кДж, а при $n_2 = 1,8$ – количество теплоты $Q_2 \approx 7,8$ кДж.

2.1. Какое количество теплоты Q_3 получил газ в процессе нагревания, в котором $n_3 = 2,2$? Ответ дайте в кДж, с точностью до целого значения.

2.2. Пусть теперь Вам стало известно, что в процессе участвовало два моля газа. Найдите его начальную абсолютную температуру. Универсальную газовую постоянную считайте равной $R \approx 8,31$ Дж/(моль·К). Ответ запишите в К, с точностью до целого значения.

Возможное решение: Пусть начальная температура газа равна T_0 , а постоянное отношение конечного давления к начальному равно x . Ясно, что в изохорном процессе газ изменяет свою температуру в x раз, поэтому в изобарном – в n/x раз, то есть в изохорном процессе он нагревается от T_0 до xT_0 , а в изобарном изменяет температуру от xT_0 до nT_0 . С учетом известных молярных теплоемкостей одноатомного идеального газа вычисляем переданное газу количество теплоты:

$$Q = \frac{3}{2} \nu R T_0 (x - 1) + \frac{5}{2} \nu R T_0 (n - x) = \frac{1}{2} \nu R T_0 [5n - 2x - 3] \equiv a \cdot n - b. \quad \text{то}$$

есть оно является линейной функцией n . Значит:

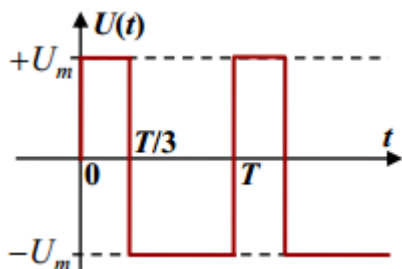
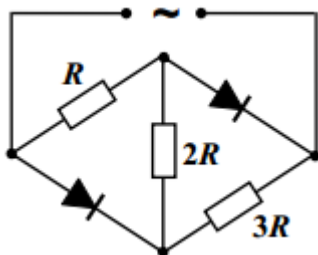
$$\begin{cases} Q_1 = a \cdot n_1 - b \\ Q_2 = a \cdot n_2 - b \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \frac{Q_2 - Q_1}{n_2 - n_1} \approx 13,0 \text{ кДж} \\ b = \frac{n_1 Q_2 - n_2 Q_1}{n_2 - n_1} \approx 15,6 \text{ кДж} \end{cases}.$$

Для третьего значения находим, что $Q_3 = a \cdot n_3 - b \approx 13,0$ кДж.

Кроме того, как видно из выражения для $a = \frac{5}{2} \nu R T_0$, $T_0 = \frac{2}{5} \frac{a}{\nu R} \approx 313$ К.

ОТВЕТЫ: 2.1. 13. 2.2. 313.

3. «Мост» из двух идеальных диодов и трех резисторов, номиналы которых выражаются через величину $R = 100 \text{ Ом}$, собран по схеме, показанной на рисунке слева, и подключен к источнику переменного напряжения.



3.1. Для случая, когда источник подает синусоидальное напряжение с амплитудой $U_m = 220 \text{ В}$, рассчитайте действующее значение силы тока в резисторе $2R$. Ответ запишите в амперах, с точностью до сотых.

3.2. Рассчитайте действующее значение силы тока в резисторе $2R$ для случая, когда периодическое напряжение источника зависит от времени так, как показано на графике справа, с тем же значением U_m . Ответ запишите в амперах, с точностью до сотых.

В ту половину периода изменения синусоидального напряжения, когда потенциал «левой» клеммы выше потенциала «правой», оба диода открыты, и в результате все три резистора оказываются соединены параллельно. Тогда через резистор $2R$ течет синусоидальный ток с амплитудой $\frac{U_m}{2R}$, поэтому в нем выделяется количество теплоты

$$Q_I = \frac{1}{2} \left(\frac{U_m}{2R} \right)^2 2R \frac{T}{2} = \frac{1}{8} \frac{U_m^2 T}{R} \quad (\text{здесь множитель } 1/2 \text{ появляется из-за}$$

усреднения квадрата гармонической функции). В другую половину периода оба диода заперты, и резисторы соединены последовательно.

Теперь амплитуда силы тока через наш резистор $\frac{U_m}{6R}$, и в нем

выделяется количество теплоты
$$Q_{II} = \frac{1}{2} \left(\frac{U_m}{6R} \right)^2 2R \frac{T}{2} = \frac{1}{72} \frac{U_m^2 T}{R}.$$

Полное количество теплоты, выделившееся за период в резисторе $2R$

равно $Q = Q_I + Q_{II} = \frac{5}{36} \frac{U_m^2 T}{R}$, и по определению действующего

значения силы тока $I_a^2 2RT = \frac{5}{36} \frac{U_m^2 T}{R}$, то есть $I_a = \frac{\sqrt{5}}{6\sqrt{2}} \frac{U_m}{R} \approx 0,58 \text{ A}$.

Теперь рассмотрим «прямоугольное» напряжение. В первую треть периода изменения напряжения, через резистор $2R$ течет ток с силой $\frac{U_m}{2R}$, поэтому в нем выделяется количество теплоты

$$Q_I = \left(\frac{U_m}{2R} \right)^2 2R \frac{T}{3} = \frac{1}{6} \frac{U_m^2 T}{R}. \text{ В другую часть периода через наш}$$

резистор течет ток с силой $\frac{U_m}{6R}$, и в нем выделяется количество теплоты

$$Q_{II} = \left(\frac{U_m}{6R} \right)^2 2R \frac{2T}{3} = \frac{1}{27} \frac{U_m^2 T}{R}. \text{ Полное количество теплоты, выделив-}$$

шееся за период в резисторе $2R$ равно $Q = Q_I + Q_{II} = \frac{11}{54} \frac{U_m^2 T}{R}$, и по

определению действующего значения силы тока $I_a^2 2RT = \frac{11}{54} \frac{U_m^2 T}{R}$, то

есть $I_a = \frac{\sqrt{11}}{6\sqrt{3}} \frac{U_m}{R} \approx 0,70 \text{ A}$. У данного условия в принципе возможно

другое понимание, если считать, что потенциал «левой» клеммы выше потенциала «правой» при отрицательном напряжении на графике (то есть «+» и «-» на схеме расставлены справа налево), и ток $\frac{U_m}{2R}$ теперь

течет через $2R$ две трети период, а ток $\frac{U_m}{6R}$ – одну треть. Ясно, что сами

вычисления проводятся так же, как и в рассмотренном случае, но ответ другой – теперь $I_a \approx 0,92 \text{ A}$.

ОТВЕТЫ: 3.1. 0,58. 3.2 0,70 или 0,92.

4. Двигатели звездолета, управляемые в автоматическом режиме, поддерживают его движение с постоянной скоростью $v = 27000$ км/с по прямой. Обзорные фотодатчики расположены так, что оси их входных отверстий ориентированы перпендикулярно курсу звездолета (размеры отверстий неизменны). Ток фотодатчика пропорционален мощности световой энергии, поступающей во входное отверстие датчика. При превышении тока 13,6 мА показания датчика каждые 10^3 с записываются в память компьютера, пока ток не упадет ниже 1 мА. Звездолет пролетел мимо одиночной яркой звезды. В таблице показаны записанные значения тока фотодатчика, для которого эта звезда оказалась в плоскости движения оси его входного отверстия (время отсчитывается от момента первой записи, ошибки измерения времени не превышают 0,1 с, а силы тока – 0,01 мА).

$t, 10^3$ с	0	1	2	3	4	5
$I, \text{мА}$	13,78	31,42	75,70	121,97	78,15	32,55

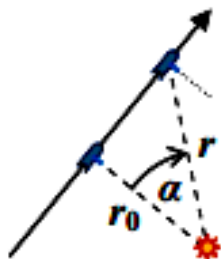
6	7	8	9	10	11
14,20	7,03	3,89	2,36	1,54	1,04

4.1. Определите на основании этих данных минимальное расстояние от траектории корабля до центра этой звезды. Излучение звезды считать сферически-симметричным (то есть считать, что мощность светового излучения, приходящаяся на единицу площади концентрически окружающей ее сферы, не зависит от направления), поглощением и рассеянием света в космическом пространстве в окрестности звезды пренебречь. Ответ запишите в миллионах км, с точностью до целого значения.

4.2. Оцените максимальную возможную ошибку в определении этого расстояния. Ответ запишите в процентах, с точностью до первого ненулевого разряда.

Возможное решение: Начнем с того, что разберемся, как показания фотодатчика должны зависеть от времени. Ясно, что максимальная мощность световой энергии (P_0) поступает в окно датчика, когда корабль проходит ближайшую к звезде точку своей траектории – в этот момент расстояние между звездой и кораблем минимально и окно датчика «смотрит» точно на звезду (так как датчик ориентирован перпендикулярно курсу корабля и именно перпендикуляр – кратчайший отрезок от прямой до точки). Так как изучение звезды сферически

симметрично, а площадь сферы растет пропорционально квадрату ее радиуса, то мощность ее излучения на расстоянии r от звезды



$P(r) = P_0 r_0^2 / r^2$, где r_0 – кратчайшее расстояние от звезды до траектории корабля (см. рисунок). Однако нужно еще учесть, что при смещении корабля от точки наибольшего сближения окно фотодатчика «смотрит» не на звезду. Можно догадаться, что при повороте окна датчика на угол α от направления на звезду площадь, с которой в окно попадают лучи, уменьшается по закону $S = S_0 \cos(\alpha)$. С другой

стороны, $\cos(\alpha) = r_0 / r$. Поэтому ток фотодатчика должен зависеть от расстояния от корабля до звезды по закону $I(r) = I_0 r_0^3 / r^3$.

Зависимость расстояния от времени, в соответствии с теоремой Пифагора и законом равномерного движения $r(t) = \sqrt{r_0^2 + V^2(t - t_0)^2}$, где t_0 соответствует моменту прохождения точки наибольшего

сближения. Итак, $I(t) = I_0 \left[\frac{r_0^2}{r_0^2 + V^2(t - t_0)^2} \right]^{3/2}$. Его можно переписать

в виде $\frac{V^2}{r_0^2} = \left[\left(\frac{I_0}{I(t)} \right)^{2/3} - 1 \right] \frac{1}{(t - t_0)^2}$. Далее можно действовать двумя

путями. Можно по таблице заметить, что точка наибольшего сближения находится вблизи момента $3 \cdot 10^3$ с, и посчитать величину

$X \equiv \left[\left(\frac{I_0}{I(t)} \right)^{2/3} - 1 \right] \frac{1}{(t - t_0)^2}$ для всех точек, считая в ней $I_0 \approx 121,97$ мА и

$t_0 \approx 3 \cdot 10^3$ с. В нашей модели эта величина должна быть постоянна, и для ее действительного значения можно взять среднее значение, а разброс ее значений относительно среднего укажет нам погрешность используемой модели.

$t, 10^3 \text{ с}$	0	1	2	3	4	5
$X, 10^{-6} \text{ с}^{-2}$	0,3643	0,3675	0,3744	–	0,3455	0,3531

6	7	8	9	10	11
0,3549	0,3564	0,3577	0,3576	0,3560	0,3587

(В точке $3 \cdot 10^3$ с эта величина не вычисляется – получается 0/0.) Среднее значение 0,3587, максимальное отклонение от среднего 0,0157, то есть около 4% (всего в одной точке), хотя в большей части точек отклонение не превышает 1%. Точность данных лучше 1%, так что можно считать, что ошибка определения величины X около 1-2 %. Тогда ясно, что

$$r_0 = \frac{V}{\sqrt{X}} \approx (45,1 \pm 0,9) \text{ млн. км.}$$

Можно пойти более сложным путем и улучшить результат, изменяя величины I_0 и t_0 , чтобы добиться наименьшего разброса X от среднего. Например, можно заметить, что реально I_0 чуть больше данного значения, и попробовать $I_0 \approx 122$ мА, и при этом значении определить t_0 до двум «симметричным» точкам. Для точек вблизи (значение $3 \cdot 10^3$ с лучше не брать, так как там из-за малости отклонения относительная ошибка будет большой, а у других точек выше относительная ошибка данных из-за малых I) получаем:

$$\frac{t_0 - 2 \cdot 10^3 \text{ с}}{4 \cdot 10^3 \text{ с} - t_0} = \sqrt{\frac{(I_0 / I_2)^{2/3} - 1}{(I_0 / I_4)^{2/3} - 1}} \approx 1,04, \text{ откуда } t_0 \approx 3,02 \cdot 10^3 \text{ с. При этом}$$

значении по любой из точек вычисляем I_0 и обнаруживаем, что $I_0 \approx 122,0$ мА с таким t_0 дает существенно меньшие колебания X , чем раньше. В этом случае $X \approx 0,3600 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-2}$ с характерной погрешностью

порядка 0,1%! Тогда мы получим $r_0 = \frac{V}{\sqrt{X}} \approx (45,00 \pm 0,05) \text{ млн. км.}$

Для участника отборочного этапа хватало и более простого подхода, но второй путь – демонстрация возможностей последовательного анализа. Есть и другие пути – например, линеаризация формулы

$$\left[\left(\frac{I_0}{I(t)} \right)^{2/3} - 1 \right] = \frac{V^2}{r_0^2} (t - t_0)^2 \text{ и подбор } I_0 \text{ и } t_0 \text{ для обеспечения}$$

линейности графика, с извлечением из него коэффициента наклона, но этот путь во многом будет аналогичен нашему «сложному».

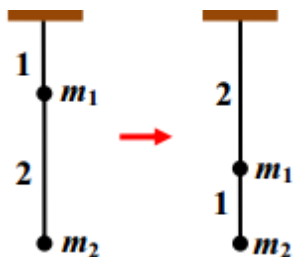
ОТВЕТЫ: 4.1. 45. 4.2. 0,1.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2022 года, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

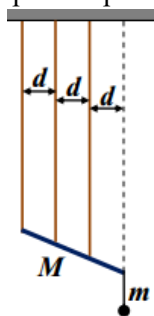
БИЛЕТ № 01 (10-11 классы): возможные решения и критерии

Задание 1:

Вопрос: Два легких и прочных отрезка проволоки изготовлены из одного материала и имеют одинаковое поперечное сечение, но длина отрезка 2 в два раза больше, чем у отрезка 1. Когда на них подвесили два тяжелых груза так, как показано на левом рисунке, отрезок 1 растянулся на 2 мм, а отрезок 2 – на 3 мм. Затем отрезки поменяли местами (см. рисунок справа). Каковы теперь величины их деформаций?



Задача: Массивный жесткий стержень подвешен к жесткому горизонтальному потолку на трех легких почти нерастяжимых длинных тросах разной длины, но из одинакового материала и с одинаковым сечением. Их длины подобраны так, чтобы при опускании стержня они натягивались одновременно. В состоянии равновесия все три троса натянуты и вертикальны, причем первый трос прикреплен к левому концу стержня, второй – к точке на расстоянии трети длины стержня от этого конца, а третий – на расстоянии трети длины стержня от правого конца. В этом состоянии первый трос растянут на $\Delta l_0 = 3,0$ мм. Когда к правому концу стержня на отрезке



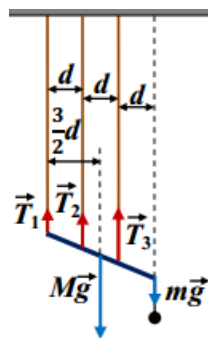
легкой нити подвесили маленький груз массой $m_1 = 100$ г (см. рисунок), величина деформации первого троса стала равна $\Delta l_1 = 1,8$ мм. Какой станет величина деформации этого троса, если массу груза увеличить до $m_2 = 200$ г? А при массе груза, равной $m_3 = 300$ г? Деформации стержня и потолка считать пренебрежимо малыми по сравнению с деформациями тросов.

Ответ на вопрос: При одинаковом материале и поперечном сечении коэффициент жесткости отрезка проволоки обратно пропорционален его

длине, поэтому, если коэффициент жесткости отрезка 2 обозначить k , то коэффициент жесткости отрезка 1 равен $2k$. В первом случае отрезок 2 растягивается весом второго груза, и его деформация $\Delta L_2 = \frac{m_2 g}{k}$, а деформация отрезка 1, который растягивается суммарным весом обоих грузов, $\Delta L_1 = \frac{(m_1 + m_2)g}{2k}$. После того, как отрезки поменяли местами, $\Delta L'_1 = \frac{m_2 g}{2k} = \frac{\Delta L_2}{2} = 1,5 \text{ мм}$ и $\Delta L'_2 = \frac{(m_1 + m_2)g}{k} = 2\Delta L_1 = 4 \text{ мм}$.

Правильно определено соотношение коэффициентов жесткости отрезков	2
Правильно определены силы, растягивающие оба отрезка в первом случае	1+1=2
Получены правильные ответы для деформаций обоих отрезков во втором случае (достаточно чисел)	3+3=6
ВСЕГО	10

Решение задачи: Предположим, что все три троса натянуты, то есть силы натяжения не равны нулю и направлены вверх. Рассмотрим равновесие стержня под действием приложенных к нему сил (показаны на рисунке – ясно, что сила натяжения нити, на которой подвешен груз, равна силе тяжести, действующей на этот груз). Условие равновесия сил приводит к уравнению $T_1 + T_2 + T_3 = Mg + mg$ (1), правило моментов (запишем его относительно точки прикрепления первого троса) – к $T_2 \cdot d + T_3 \cdot 2d = Mg \cdot \frac{3}{2}d + mg \cdot 3d$,



то есть $T_2 + 2T_3 = \frac{3}{2}Mg + 3mg$ (2). Этих уравнений не хватает для

определения сил натяжения. Но у нас есть возможность пренебрегать деформациями стержня и потолка, то есть считать их прямыми. Поэтому величины деформаций тросов прямо пропорционально расстоянию по горизонтали от вершины образованного этими прямыми угла до троса. Поскольку трос 2 находится точно между тросами 1 и 3, величина его деформации есть полусумма деформаций этих тросов:

$\Delta L_2 = (\Delta L_1 + \Delta L_3)/2$. Коэффициенты жесткости тросов обратно пропорциональны их длинам, так что из этого соотношения получаем еще одно уравнение на силы натяжения: $2L_2T_2 = L_1T_1 + L_3T_3$ (3). Ясно, что из этой системы можно найти любую из сил натяжения, но в ответ войдут неизвестные нам соотношения длин тросов. На самом деле для решения данной задачи нам достаточно заметить, что все три уравнения линейны, и массы стержня и груза входят в эти уравнения также линейно. Поэтому, если выразить силы натяжения T_2 и T_3 из (1) и (2), а затем подставить полученные выражения в (3), то мы получим линейную связь T_1 с M и m . Более того, очевидно, что эта связь будет и однородной – ясно, что при $M = m = 0$ мы должны получить $T_1 = 0$. Итак, для данной задачи существуют такие постоянные (не зависящие от масс) величины A и B , что $T_1 = AM + Bm$. Но это означает, что и деформация первого троса есть линейная функция масс: $\Delta L_1 = aM + bm$, где a и b – постоянные. С учетом двух известных ее значений находим общее выражение:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta l_0 = aM \\ \Delta l_1 = aM + bm_1 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} aM = \Delta l_0 \\ b = -\frac{\Delta l_0 - \Delta l_1}{m_1} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta L_1 = \Delta l_0 - \frac{\Delta l_0 - \Delta l_1}{m_1} m.$$

Например, при $m = m_2$ получаем $\Delta l_2 = \Delta l_0 - \frac{\Delta l_0 - \Delta l_1}{m_1} m_2 = 0,6 \text{ мм}$.

Для третьего значения массы $m = m_3$ мы получим по данной формуле отрицательное значение, но на самом деле наша формула говорит о том,

что при $m = \frac{\Delta l_0}{\Delta l_0 - \Delta l_1} m_1 = 250 \text{ г}$ сила натяжения первого троса обращается в ноль, то есть он провисает. Ясно, что при дальнейшем увеличении массы груза трос останется провисшим, и при $m = m_3 = 300 \text{ г}$ $\Delta l_3 = 0$.

Ответ: $\Delta l_2 = \Delta l_0 - \frac{\Delta l_0 - \Delta l_1}{m_1} m_2 = 0,6 \text{ мм}$, $\Delta l_3 = 0$.

Есть рисунок с указанием всех сил действующих на стержень (или их перечисление)	1
Правильно записано уравнение баланса сил	1
Правильно записано уравнение моментов	2

Получено третье независимое уравнение на силы натяжения, эквивалентное (3)	2
Сделан вывод, что связь ΔL_1 с M и m – линейная и однородная*	2
Получено общее выражение, эквивалентное $\Delta L_1 = \Delta l_0 - \frac{\Delta l_0 - \Delta l_1}{m_1} m *$	3
Получен правильный ответ при $m = m_2$	2
Получен правильный ответ при $m = m_3$	2
ВСЕГО	15

*Участник может заменить общие рассуждения о линейности «честным» решением системы (1-3). В этом случае нужно заметить, что из геометрии $L_3 - L_2 = L_2 - L_1 \equiv H$. Поэтому (3) можно переписать в виде

$$2(1 + \varepsilon)T_2 = T_1 + (1 + 2\varepsilon)T_3, \quad \text{где } \varepsilon \equiv \frac{H}{L_1}. \quad \text{Тогда из системы (1-3)}$$

находим, что $T_1 = \frac{g}{12(1 + \varepsilon)} M - \frac{(2 + 3\varepsilon)g}{3(1 + \varepsilon)} m$. Таким образом, здесь

линейная однородная зависимость получена в явном виде. Кроме того, явно обнаружено существование «критической» массы груза

$m_c = \frac{M}{4(2 + 3\varepsilon)}$, при превышении которой первый трос провисает. Для

деформации $\Delta L_1 = \frac{T_1}{k_1} = \frac{g}{12k_1(1 + \varepsilon)} M - \frac{(2 + 3\varepsilon)g}{3k_1(1 + \varepsilon)} m \equiv aM + bm$, и мы

снова можем подобрать значения появившихся констант по двум точкам и получить те же ответы.

Задание 2:

Вопрос: Как связаны между собой изменение внутренней энергии идеального газа и полученное им количество теплоты в изобарном процессе?

Задача: Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела на графике в координатах давление-объем имеет вид прямоугольника и состоит из двух изобар и двух изохор. Минимальное давление,

максимальное давление и минимальный объем газа в этом цикле зафиксированы, а максимальный объем можно изменять. Оказалось, что при $V_{\max}/V_{\min} = 1,2$ КПД цикла равно 8%. Каким станет КПД цикла при $V_{\max}/V_{\min} = 1,5$?

Ответ на вопрос: Согласно I Началу термодинамики, подведенное количество теплоты есть сумма работы и изменения внутренней энергии: $Q = A + \Delta U$. Внутренняя энергия ν молей идеального газа при

температуре T может быть вычислена по формуле $U = \frac{i}{2} \nu R T$, где число

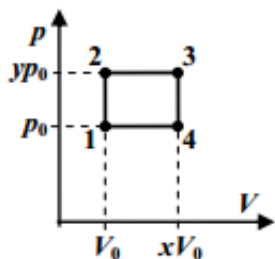
степеней свободы молекулы $i = 3$ для одноатомного газа, $i = 5$ для двухатомного и $i = 6$ для многоатомного. В изобарном процессе работа $A = p \cdot \Delta V = \Delta(pV)$, и с учетом уравнения Менделеева-Клапейрона

$pV = \nu R T$ видно, что $A = \nu R \Delta T$. Таким образом, $\Delta U = \frac{i}{2} A$, и в

результате $Q = \frac{i+2}{2} A = \frac{i+2}{i} \Delta U$.

Есть ссылка на I Начало термодинамики	1
Записано выражение для внутренней энергии идеального газа*	2
Записано выражение для работы в изобарном процессе	2
Использовано уравнение Менделеева-Клапейрона	1
Получена правильная связь $Q = \frac{i+2}{i} \Delta U$ *	4
ВСЕГО	10

*Если все выражения записаны только для одноатомного газа, за эти пункты выставляется половина баллов (1 и 2 соответственно).



Решение задачи: Пусть минимальный объем газа в цикле – это V_0 , а минимальное давление p_0 . Максимальный объем обозначим $x \cdot V_0$, а максимальное давление $y \cdot p_0$. Тогда работа газа в цикле равна его площади

$$A = (p_{\max} - p_{\min})(V_{\max} - V_{\min}) = p_0 V_0 (x-1)(y-1).$$

Теплота поступает к газу от нагревателя в процессах 1-2 (изохора) и 2-3 (изобара). В изохорном процессе работа не совершается, и

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} V_0 (p_2 - p_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0 (y - 1). \text{ В изобарном процессе,}$$

$$\text{как видно из ответа на вопрос, } Q_{23} = \frac{5}{3} \Delta U_{23} = \frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_2) = \\ = \frac{5}{2} p_0 V_0 y (x - 1). \text{ Следовательно, количество теплоты, полученное газом}$$

$$\text{от нагревателя в этом цикле } Q_H = \frac{p_0 V_0}{2} [3(y - 1) + 5y(x - 1)]. \text{ Значит,}$$

$$\text{КПД цикла определяется выражением } \eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{2(y - 1)(x - 1)}{3(y - 1) + 5y(x - 1)}.$$

Полезно обратить внимание, что это соотношение можно переписать в

$$\text{виде } \frac{1}{\eta} = \frac{5y}{2(y - 1)} + \frac{3}{2(x - 1)}. \text{ Как видно, здесь величина}$$

$$a \equiv \frac{5y}{2(y - 1)} = \frac{5p_{\max}}{2(p_{\max} - p_{\min})} \text{ постоянна для всех циклов. Используем}$$

известное значение КПД при $x = 1,2$: $12,5 = a + 7,5 \Rightarrow a = 5$ (это соответствует $y = 2$). В результате приходим к выражению

$$\frac{1}{\eta} = 5 + \frac{3}{2(x - 1)}. \text{ Тогда при } x = 1,5 \text{ КПД определяется из соотношения}$$

$$1/\eta = 5 + 3 = 8 \Rightarrow \eta = 0,125, \text{ то есть } 12,5\%.$$

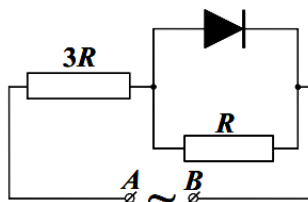
Ответ: 12,5 %.

Записаны правильные выражения для любых двух величин (из списка: работа, теплота нагревателя, теплота холодильника) для данного цикла через давления и объемы либо их соотношения	2+2=4
Получено правильное выражение для КПД цикла, записанное через две независимые переменные, одной из которых является $V_{\max} / V_{\min}$	3
По заданному значению КПД определено значение второй переменной	3
Получено общее выражение для КПД как функции переменной $V_{\max} / V_{\min}$	2

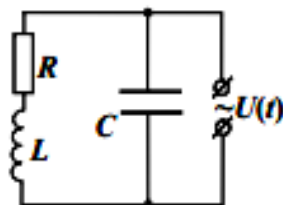
Получен правильный ответ для КПД при втором значении этой переменной	3
ВСЕГО	15

Задание 3:

Вопрос:. Найдите действующее значение силы тока в резисторе с сопротивлением $R = 150$ Ом в схеме, показанной на рисунке, если на ее вход АВ подается синусоидальное напряжение с амплитудой $U_m = 300$ В. Диод считайте идеальным.



Задача: Схема из конденсатора с емкостью C , катушки с индуктивностью L и омическим сопротивлением $R = 48$ Ом подключена к источнику синусоидального напряжения с амплитудой $U_m = 300$ В. Известно, что циклическая частота внешнего напряжения в точности равна $\omega = \frac{3}{5\sqrt{LC}}$. Кроме того,



параметры схемы связаны соотношением $\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{5}{4}R$. Найдите амплитуду силы общего тока (в ветви с источником) и сдвиг фаз между этим током и внешним напряжением.

Ответ на вопрос: В ту половину периода T синусоидального напряжения, когда потенциал А выше потенциала В, диода открыт, и резистор с сопротивлением R закорочен, ток через него не идет и тепло не выделяется, так что $Q_I = 0$. При запертом диоде (вторая «половинка синусоиды») через этот резистор течет ток с амплитудой $\frac{U_m}{4R}$, и в резисторе R выделяется количество теплоты

$Q_{II} = \frac{1}{2} \left(\frac{U_m}{4R} \right)^2 R \frac{T}{2} = \frac{1}{64} \frac{U_m^2 T}{R}$ (здесь множитель $\frac{1}{2}$ появляется из-за усреднения квадрата гармонической функции). Полное количество

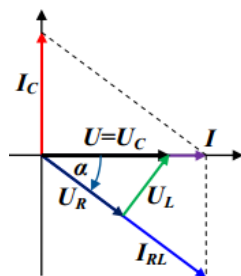
теплоты, выделившееся за период в резисторе R равно

$$Q = Q_I + Q_{II} = \frac{1}{64} \frac{U_m^2 T}{R}, \text{ и по определению действующего значения}$$

$$\text{силы тока } I_a^2 R T = \frac{1}{64} \frac{U_m^2 T}{R}, \text{ то есть } I_a = \frac{1}{8} \frac{U_m}{R} = 0,25 \text{ A.}$$

Указано, что в одну половину периода ток через резистор R не течет	1
Указано, что теплота в эту половину периода в нем не выделяется	1
Определено, что во вторую половину периода через резистор R течет синусоидальный ток с амплитудой $\frac{U_m}{4R}$	2
Правильно найдено $Q_{II} = \frac{1}{64} \frac{U_m^2 T}{R}$	3
Правильно найдено действующее значение силы тока (достаточно числа)	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: В данной схеме неидеальную катушку можно рассматривать как последовательно соединенные идеальную индуктивность и резистор. Ток через них – общий, причем напряжение на резисторе колеблется синфазно с током, а напряжение на индуктивности опережает ток по фазе на $\pi/2$. Поэтому на фазовой диаграмме вектора, отвечающие колебаниям этих напряжений, взаимно перпендикулярны. Однако сумма этих напряжений в любой момент равна напряжению источника, а амплитуды их колебаний относятся как 3:4. В самом деле, если I_{RLm} – амплитуда колебаний их общего тока, то $U_{Rm} = R \cdot I_{RLm}$, а



$$U_{Lm} = \omega L \cdot I_{RLm} = \frac{3}{5} \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot I_{RLm} = \frac{3}{4} R \cdot I_{RLm}, \text{ в соответствии с заданными значениями частоты и параметров схемы. Из фазовой диаграммы (см. рисунок) понятно, что}$$

$$U_m^2 = U_{Rm}^2 + U_{Lm}^2 = \frac{25}{16} U_{Rm}^2 \Rightarrow U_{Rm} = \frac{4}{5} U_m \text{ и поэтому } I_{RLm} = \frac{4}{5} \frac{U_m}{R}.$$

При этом ток I_{RL} отстает от входного напряжения по фазе на $\alpha = \arcsin\left(\frac{3}{5}\right)$. С другой стороны, напряжение на конденсаторе равно напряжению источника. Ток через конденсатор с амплитудой

$$I_{Cm} = \omega C \cdot U_m = \frac{3}{5} \sqrt{\frac{C}{L}} U_m = \frac{12}{25} \frac{U_m}{R} \text{ опережает напряжение по фазе на}$$

$\frac{\pi}{2}$. Складывая колебания токов через ветви, получаем колебания

общего тока схемы. Можно определить проекции вектора, отвечающего колебаниям общего тока, на оси диаграммы: $I_x = I_{RLm} \cos(\alpha) = \frac{16}{25} \frac{U_m}{R}$

и $I_y = I_{Cm} - I_{RLm} \sin(\alpha) = 0$. Таким образом, амплитуда колебаний силы общего тока равна $I_m = \frac{16}{25} \frac{U_m}{R} = 4 \text{ А}$, а сдвиг фаз между этим током и входным напряжением $\varphi = 0$.

Ответ: $I_m = \frac{16}{25} \frac{U_m}{R} = 4 \text{ А}$, $\varphi = 0$.

Указано (используется в решении), что колебания напряжения на индуктивности катушки опережают по фазе колебания напряжения на ее сопротивлении на $\pi/2$	1
Правильно построен (прямоугольный) треугольник для напряжений $U_R + U_L = U = U_C$ на фазовой диаграмме	2
Правильно найдена амплитуда силы тока через катушку $I_{RLm} = \frac{4}{5} \frac{U_m}{R}$	2
Правильно найдено смещение по фазе тока через катушку от входного напряжения ($-\alpha$)	1
Правильно найдена амплитуда силы тока через конденсатор $I_{Cm} = \frac{12}{25} \frac{U_m}{R}$	2
Правильно построена треугольник токов $I_{RL} + I_C = I$ на фазовой диаграмме	2
Правильно найдена амплитуда общего тока (число)	3

Определено, что сдвиг фаз между общим током и входным напряжением отсутствует	2
ВСЕГО	15

Примечание: Участники имеют право использовать метод комплексных амплитуд. В этом случае комплексное сопротивление схемы Z определяется из соотношения

$$\frac{1}{Z} = i\omega C + \frac{1}{R + i\omega L} = \frac{1}{R} \left[\frac{12}{25}i + \frac{4}{4 + 3i} \right] = \frac{1}{25R} [12i + 4(4 - 3i)] = \frac{16}{25R}.$$

Следовательно, фазовый сдвиг между током и напряжением отсутствует,

$$\text{а } I_m = \frac{16}{25} \frac{U_m}{R} = 4 \text{ А.}$$

Задание 4:

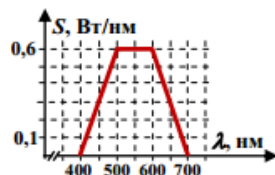
Вопрос: Световое излучение – это разновидность *электромагнитных волн*, причем разные цвета отличаются друг от друга *длиной волны* λ . В таблице ниже приведена связь между длиной волны в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) и видимым цветом:

Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
625–740 нм	590-625 нм	565-590 нм	500-565 нм	485-500 нм	440-485 нм	380-440 нм

На графике показан *спектр* источника света с мощностью излучения 120

Вт, то есть зависимость величины $S \equiv \frac{\Delta P}{\Delta \lambda} \Big|_{\Delta \lambda \rightarrow 0}$

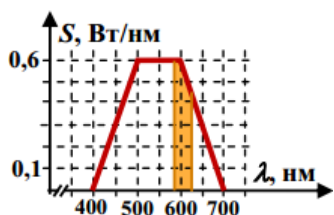
(где ΔP – мощность излучения, приходящаяся на интервал длин волн $\Delta \lambda$), от длины волны. Весь свет от этого источника проходит через оранжевый светофильтр, который практически полностью пропускает излучение длин волн из этого диапазона, и практически не пропускает излучение других длин волн. Найдите мощность прошедшего света.



Задача: Сила тока фотодатчика прямо пропорциональна мощности светового излучения, поступающего в его «входное окно». Этот датчик разместили на небольшом роботе так, что он всегда «смотрит» вперед по ходу движения робота. Робот едет по прямой трассе с постоянной

скоростью $v = 2$ м/с на полигоне, на котором единственным источником освещения является небольшая яркая лампа, светящая равномерно во всех направлениях. В некоторый момент времени ($t_1 \equiv 0$) сила тока фотодатчика оказалась равна $I_1 = 39$ мА, к моменту $t_2 = 3,5$ с она увеличилась до $I_2 = 52$ мА, а в момент $t_3 = 8$ с впервые обратилась в ноль. На каком расстоянии от трассы установлена лампа? Воздух между лампой и фотодатчиком считать полностью прозрачным.

Ответ на вопрос: По смыслу величины S понятно, что площадь под



графиком этой величины – это мощность (нетрудно, например, заметить, что площадь под всем графиком в точности равна 120 Вт). Оранжевый светофильтр пропустит из всего излучения только то, для которого длины волн лежат в полосе от 590 нм до 625 нм. Значит, мощность прошедшего света соответствует площади под графиком в этой полосе (выделенная фигура на рисунке). Эта фигура состоит из прямоугольника и трапеции, так что

$$P' = 0,6(\text{Вт/нм}) \times 10 \text{ нм} + \frac{0,6(\text{Вт/нм}) + 0,45(\text{Вт/нм})}{2} \times 25 \text{ нм} \approx 19 \text{ Вт}.$$

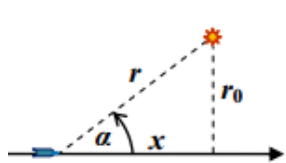
Указано, что площадь под графиком введенной величины – это мощность	4
Указано, что мощность прошедшего через светофильтр света – площадь под графиком в полосе диапазона от 590 нм до 625 нм	3
Получен правильный ответ (число – зачетный диапазон от 18,8 до 19,4 Вт*)	3
ВСЕГО	10

При попадании в только диапазон от 18,3 до 20 Вт ставится 2 балла, в диапазон от 18 до 20,4 Вт – 1 балл.

Решение задачи: Начнем с того, что разберемся, как показания фотодатчика должны зависеть от времени. Так как излучение лампы сферически симметрично, а площадь сферы растет пропорционально квадрату ее радиуса, то приходящаяся на заданную площадь мощность

излучения на расстоянии r от лампы $P(r) = \frac{P_0 r_0^2}{r^2}$, где r_0 – минимальное

расстояние от трассы до лампы, на котором мощность равна P_0 . Однако



нужно еще учесть, что входное окно датчика не направлено на лампу, а «смотрит» вперед по ходу движения. При повороте окна датчика на угол α от направления на лампу площадь, с которой в окно попадают лучи, уменьшается по

закону $S = S_0 \cos(\alpha)$. С другой стороны (см. рисунок), $\cos(\alpha) = x/r$, где x – расстояние от робота до точки наибольшего сближения с лампой. Таким образом, сила тока фотодатчика изменяется по закону

$$I(t) = C \frac{x}{r^3} = C \frac{x}{(r_0^2 + x^2)^{3/2}}, \text{ где } C - \text{некоторая постоянная. Как видно,}$$

момент обращения силы тока в ноль соответствует прохождению точки наибольшего сближения ($x = 0$), и с учетом закона движения робота можно записать $x(t) = v(t_3 - t)$. В результате мы можем записать два независимых соотношения для известных значений силы тока фотодатчика, и найти из них искомую величину r_0 :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = C \frac{v(t_3 - t_1)}{[r_0^2 + v^2(t_3 - t_1)^2]^{3/2}} \\ I_2 = C \frac{v(t_3 - t_2)}{[r_0^2 + v^2(t_3 - t_2)^2]^{3/2}} \end{array} \right\} \Rightarrow z \equiv \left[\frac{I_2(t_3 - t_1)}{I_1(t_3 - t_2)} \right]^{2/3} = \frac{r_0^2 + v^2(t_3 - t_1)^2}{r_0^2 + v^2(t_3 - t_2)^2},$$

откуда $r_0 = v \sqrt{\frac{(t_3 - t_1)^2 - z(t_3 - t_2)^2}{z - 1}}$. Подставляя числовые данные,

обнаруживаем, что $z = 16/9$ и $r_0 = 12$ м.

Ответ: $r_0 = v \sqrt{\frac{(t_3 - t_1)^2 - z(t_3 - t_2)^2}{z - 1}} = 12$ м, где $z \equiv \left[\frac{I_2(t_3 - t_1)}{I_1(t_3 - t_2)} \right]^{2/3}$.

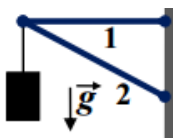
Указано (используется в решении), что приходящаяся на заданную площадь мощность излучения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от лампы	2
Указано (используется в решении), что при повороте окна датчика от направления на лампу площадь, с которой в окно попадают лучи, уменьшается по закону $S = S_0 \cos(\alpha)$	2

Обнаружено, что сила тока фотодатчика изменяется по закону $I(t) = C \frac{x(t)}{(r_0^2 + x^2(t))^{3/2}}$	3
Указано (используется в решении), что момент t_3 отвечает $x = 0$	1
Правильно записана полная система уравнений, из которой можно найти r_0	3
Получена правильное аналитическое выражение для r_0	2
Получен правильный численный ответ для r_0	2
ВСЕГО	15

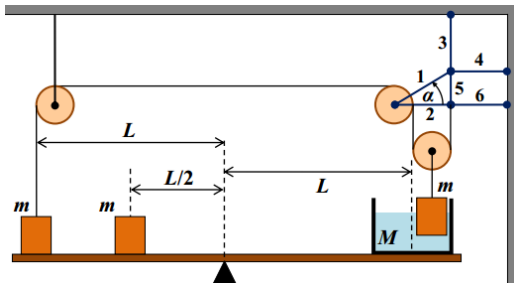
БИЛЕТ № 03 (9 класс): возможные решения и критерии

Задание 1:

Вопрос: Из двух легких жестких стержней, соединенных легкими шарнирами друг с другом и с вертикальной стенкой, собрали кронштейн для подвески массивного груза (см. рисунок) на невесомой нити. Стержни изготовлены из одного материала, имеют одинаковый профиль и поперечные размеры, при этом длина стержня 1 в недеформированном состоянии равна 60 см, а длина недеформированного стержня 2 – 68 см. В состоянии равновесия стержень 1 горизонтален, и величина его продольной деформации равна 2,25 мм. Найдите величину продольной деформации стержня 2 в состоянии равновесия.



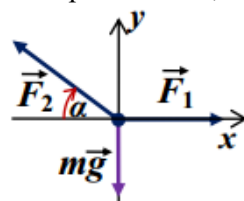
Задача: В системе, изображенной на рисунке, использованы кронштейн



из 6 легких жестких стержней, соединенных легкими шарнирами друг с другом, с вертикальной стенкой и горизонтальным потолком, три легких цилиндрических блока, вращающиеся без трения, невесомая нерастяжимая нить и легкий твердый рычаг. Один

конец нити прикреплен к грузу массой $m = 600$ г, а другой прикреплен к одному из шарниров кронштейна. Второй такой же груз подвешен к оси подвижного блока и частично опущен в сосуд с водой, масса которого $M = 500$ г. Первый груз, сосуд с водой и еще один – третий – груз покоятся на рычаге, причем расстояния от точки опоры рычага до центров площадей опоры первого груза и сосуда равны, а третий груз в два раза ближе к точке опоры. Все тела находятся в равновесии, причем стержни кронштейна 2, 4 и 6 горизонтальны, 3 и 5 – вертикальны, а 1 составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом. Величина деформации стержня 1 равна 1 мм. Найдите силу натяжения нити и величину деформации стержня 3, длина которого равна длине стержня 2. Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с².

Ответ на вопрос: Прежде всего заметим, что каждый из стержней находится в равновесии под действием двух сил, действующих на него со стороны соседних шарниров (силу тяжести для «невесомого» стержня считаем равной нулю). Сумма этих сил равна нулю, поэтому силы реакций двух шарниров всегда направлены в противоположные стороны и равны по величине. Если бы линии их действия не совпадали, то такая пара сил создавала бы ненулевой момент, чего не может быть в состоянии равновесия. Поэтому эти силы направлены вдоль одной прямой, и, поскольку они приложены к разным концам стержня, то они обязательно направлены вдоль стержня. Ясно, что так же направлены и силы упругости каждого стержня, действующие на соседние с ним шарниры. Рассмотрим равновесие шарнира, соединяющего стержни между собой (к нему же подвешен груз). Он находится в равновесии, и сумма приложенных к нему сил (силы упругости шарниров и силы тяжести груза, переданной через нить подвеса) равна нулю. Горизонтальные проекции сил упругости стержней должны уравновесить друг друга, и поэтому один из них должен быть растянут, а другой сжат. При этом сумма их вертикальных проекций должна уравновесить силу тяжести, так что стержень 1 растянут, а стержень 2 сжат. Записывая условие равновесия сил в проекции на горизонтальную ось x (см. рисунок)



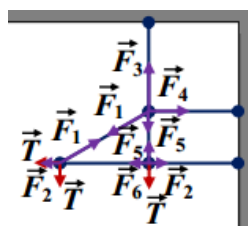
$F_1 = F_2 \cos(\alpha)$, находим, что $\frac{F_2}{F_1} = \cos^{-1}(\alpha) = \frac{L_2}{L_1}$. С учетом закона Гука

отношение величин деформаций стержней $\frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} = \frac{F_2}{F_1} \frac{k_1}{k_2}$. С другой

стороны, отношение коэффициентов жесткости стержней при одинаковом материале и одинаковых поперечных размерах обратно пропорциональны их длинам, так что $\Delta L_2 = (L_2/L_1)^2 \Delta L_1 = 2,89 \text{ мм}$.

Обосновано, что силы упругости стержней в стоянии равновесия направлены вниз	1
Есть рисунок с указанием сил, действующих на шарнир, соединяющий стержни	1
Записано уравнение, эквивалентное $F_1 = F_2 \cos(\alpha)$	2
Используется закон Гука для стержней	1
Указано (используется в решении), что коэффициенты жесткости обратно пропорциональны длинам стержней	2
Получен правильный ответ для ΔL_2 (достаточно числа)	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны первого груза, равна по величине силе, действующей на этот груз со стороны рычага, и ее можно найти из условия равновесия груза: $N_1 = mg - T$, где T – сила натяжения нити. Аналогично находим величину силы, действующей на правую сторону рычага со стороны дна сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом): $N_2 = (M + m)g - 2T$ и на левую сторону рычага со стороны



третьего груза $N_3 = mg$. Условие равновесия

$$\text{рычага} \quad LN_1 + \frac{L}{2} N_3 = LN_2 \Rightarrow 2N_1 + N_3 = 2N_2$$

позволяет нам найти силу натяжения нити:

$$T = \left(M - \frac{m}{2} \right) g \approx 2 \text{ Н}.$$

На кронштейн действуют три силы, равные этой силе: горизонтальная и вертикальная – приложены к шарниру А, соединяющему стержни 1 и 2, и вертикальная – приложена к шарниру В, соединяющему стержни 2, 5 и 6 (на рисунке показаны силы, действующие на эти шарниры, а также на шарнир В, соединяющий стержни 1, 3, 4 и 5). Так как вертикальная сила натяжения, действующая на шарнир А со стороны блока, уравнивается вертикальной составляющей силы упругости стержня 1, то $F_1 = 2T$. Аналогично сила упругости стержня 5 уравнивает силу натяжения нити, приложенную к шарниру В: $F_5 = T$. Тогда из условия равновесия шарнира В в проекции

на вертикальную ось находим, что $F_3 = 2T$. Итак, $F_3 = F_1$, а отношение коэффициентов жесткости стержней 3 и 1 обратно пропорционально отношению их длин, то есть $k_3 = (2/\sqrt{3})k_1$. Следовательно, $\Delta L_3 = (\sqrt{3}/2)\Delta L_1 \approx 0,87$ мм. Из полного набора условий равновесия шарниров можно найти все силы упругости стержней ($F_2 = F_6 = (\sqrt{3} - 1)T$, $F_4 = \sqrt{3}T$) и их деформации, но для ответа на вопрос задачи в этом нет необходимости.

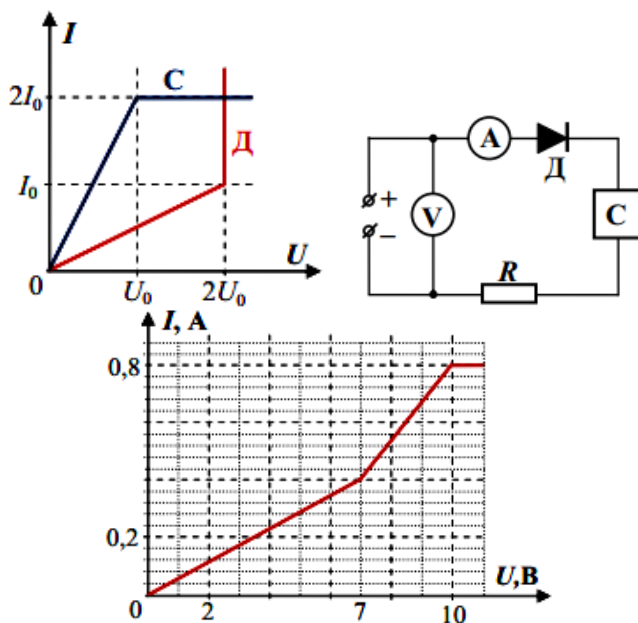
Ответ: $T = (M - m/2)g \approx 2$ Н и $\Delta L_3 = (\sqrt{3}/2)\Delta L_1 \approx 0,87$ мм.

Записаны правильные выражение для сил, действующих на рычаг (N_1 и N_2)	2×2=4
Правильно записано условие равновесия рычага	1
Получен правильный ответ для силы натяжения нити (формула + число)	2+1=3
Есть рисунок (рисунки) с указанием сил, действующих на нужные шарниры кронштейна	1
Найдено, что сила упругости первого стержня $F_1 = \sqrt{2}T$	2
Найдено, что сила упругости третьего стержня $F_3 = 2T$	2
Получен правильный ответ для величины деформации третьего стержня (достаточно числа)	2
ВСЕГО	15

Задание 2:

Вопрос: Какие мощности потребляют нелинейные элементы С и Д, вольт-амперные характеристики которых показаны на рисунке слева, при напряжении, равном U_0 ?

Задача: Ученики 9 класса нашли в лаборатории два нелинейных элемента – стабилизатор тока (С) и диод (Д), вид ВАХ которых они узнали (они показаны на рисунке слева), но им не удалось выяснить значения величин U_0 и I_0 . Тогда они собрали схему, показанную на среднем рисунке, используя регулируемый источник напряжения с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением и резистор (величина сопротивления которого, как оказалось, в точности равнялась $R = U_0 / I_0$), и сняли зависимость силы тока в цепи от напряжения



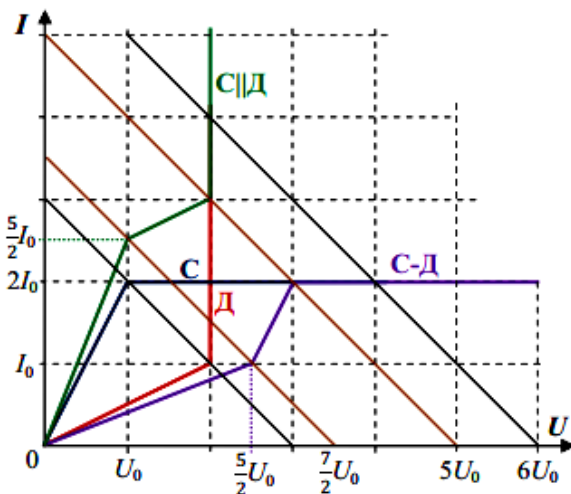
источника. Полученный график показан на рисунке справа. Определите U_0 и I_0 , а также рассчитайте величину силы тока в аналогичной цепи, отличающейся только тем, что там стабилизатор и диод соединены параллельно, при значениях напряжения источника 6 В, 10 В и 12 В.

Ответ на вопрос: Согласно закону Джоуля-Ленца, мощность, потребляемая любым элементом цепи постоянного тока, равна произведению силы тока через этот элемент на напряжение на этом элементе. Определяя по ВАХ величину силы тока для каждого элемента при заданном напряжении, находим, что $I_C = 2I_0 \Rightarrow P_C = 2I_0 U_0$ и

$$I_D = \frac{1}{2} I_0 \Rightarrow P_D = \frac{1}{2} I_0 U_0.$$

Сформулирован (использован в решении) закон Джоуля–Ленца	2
Правильно определены величины сил тока при заданном напряжении для обоих элементов	$2 \times 2 = 4$
Правильно вычислены величины потребляемых мощностей для обоих элементов	$2 \times 2 = 4$
ВСЕГО	10

Решение задачи: Для начала воспользуемся законами последовательного соединения и построим ВАХ участка цепи, состоящего из последовательно соединенных диода и стабилизатора: для этого при каждом значении силы тока нужно просуммировать напряжения на элементах (характеристика С-Д на рисунке). Значения силы тока в нашей цепи при заданном напряжении источника U определяются точками



пересечения этой характеристики с «нагрузочной прямой» источника, соединяющей точки $(U, 0)$ и $(0, U/R)$ на осях изображенной диаграммы. Для удобства можно сразу отметить, что, поскольку $R = U_0 / I_0$, то при любом x точку $(xU_0, 0)$ такие прямые соединяют с $(0, xI_0)$. Изломы на графике отвечают переходам точки пересечения с одного прямолинейного участка характеристики С-Д на другой, то есть $\frac{7}{2}U_0 = 7\text{ В}$ и $5U_0 = 10\text{ В}$. Значит, $U_0 = 2\text{ В}$. Максимальная сила тока в нашей схеме, как видно из характеристики, $2I_0 = 0,8\text{ А}$. Поэтому $I_0 = 0,4\text{ А}$. Для определения силы тока в цепи при параллельном соединении диода и стабилизатора нужно воспользоваться законами параллельного соединения: при каждом значении общего напряжения нужно просуммировать силы тока через эти элементы (характеристика С||Д на рисунке). Напряжению источника 6 В отвечает прямая, соединяющая точки $(3U_0, 0)$ и $(0, 3I_0)$. Можно найти силу тока графически, но в данном случае будет точнее заметить, что оба элемента находятся на краю начальных наклонных участков своих характеристик, то есть диод можно заменить на резистор с сопротивлением

$\frac{2U_0}{I_0} = 2R = 10 \text{ Ом}$, а стабилизатор – на резистор с сопротивлением

$\frac{U_0}{2I_0} = \frac{R}{2} = 2,5 \text{ Ом}$, и тогда полное сопротивление цепи из резистора и

параллельно соединенных диода и стабилизатора

$R + \frac{2R \cdot (R/2)}{2R + R/2} = \frac{7}{5}R = 7 \text{ Ом}$. Значит, ток в цепи $I_6 = \frac{6}{7} \text{ А} \approx 0,86 \text{ А}$. Для

двух других значений напряжения источника сила тока легко определяется непосредственно из графика: $I_{10} = 3I_0 = 1,2 \text{ А}$ и

$I_{12} = 4I_0 = 1,6 \text{ А}$.

Ответ: $U_0 = 2 \text{ В}$, $I_0 = 0,4 \text{ А}$, $I_6 = \frac{6}{7} \text{ А} \approx 0,86 \text{ А}$, $I_{10} = 1,2 \text{ А}$, $I_{12} = 1,6 \text{ А}$.

Построена ВАХ С-Д (получены формулы для $I(U)$ через U_0 и I_0 для всех трех участков этой ВАХ при аналитическом решении) – по 1 баллу за каждый правильный участок	3
Правильно найдены U_0 и I_0 (числа)	2+2=4
Построена ВАХ С Д (получены формулы для $I(U)$ через U_0 и I_0 для всех трех участков этой ВАХ при аналитическом решении) – по 1 баллу за каждый правильный участок	3
Правильно найдено численное значение I_6	2
Правильно найдено численное значение I_{10}	1
Правильно найдено численное значение I_{12}	2
ВСЕГО	15

Задание 3:

Вопрос: Почему при температуре немного ниже нуля лепить снежки из снега проще, чем в сильный мороз?

Задача: В калориметр, в котором находился кипяток, добавляют ложками мокрый снег. После добавления 5 ложек и установления равновесия температура содержимого калориметра стала равна $t_5 = 68^\circ\text{С}$, а после добавления 12 ложек и установления равновесия

температура упала до $t_{12} = 40^{\circ}\text{C}$. Каков процент содержания льда (по массе) в мокром снеге? Какая по счету ложка будет первой, растаявшей не полностью? Считайте, что все ложки одинаковые, калориметр не переполняется, удельная теплоемкость воды $c \approx 4,2 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot^{\circ}\text{C})$, удельная теплота плавления льда $\lambda \approx 336 \text{ Дж/г}$, теплоемкость калориметра пренебрежимо мала.

Ответ на вопрос: При увеличении давления температура плавления льда падает (можно вспомнить, как тает лед под коньком, обеспечивая лучшее скольжение). Поэтому при температуре немного ниже нуля сдвливания снега руками достаточно, чтобы внутри снежка часть ледяных кристаллов растаяла. Вода обеспечивает лучшее сцепление кристаллов между собой. Кроме того, при прекращении сдвливания эта вода, имеющая температуру ниже нуля, быстро замерзает обратно, и образовавшийся лед еще лучше скрепляет снежок. В сильный мороз снег остается сухим даже при сдвливании, и ледяные кристаллы не связываются друг с другом.

Указано, что при увеличении давления температура плавления льда понижается	2
Указано, что при температуре около нуля ледяные кристаллы внутри снежка будут плавиться	3
Указано, что после снятия давления вода замерзает обратно, «скрепляя» снежок	2
Указано, что в сильный мороз снег остается сухим даже при сдвливании	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: С самого начала ясно, что начальная температура кипятка $t_0 = 100^{\circ}\text{C}$, а температура мокрого снега равна 0°C . Введем обозначения: M – начальная масса кипятка в калориметре, m – масса одной ложки мокрого снега, n – массовая доля льда в мокром снеге. Запишем уравнение теплового баланса для определения температуры t_5 после засыпания 5 ложек: $cM(t_0 - t_5) = 5cmt_5 + 5\lambda nm$, и аналогичное для t_{12} : $cM(t_0 - t_{12}) = 12cmt_{12} + 12\lambda nm$. Разделив эти два уравнения друг на друга, получаем уравнение на искомую величину n :

$$\frac{t_0 - t_5}{t_0 - t_{12}} = \frac{5}{12} \frac{t_5 + (\lambda/c)n}{t_{12} + (\lambda/c)n} \Rightarrow n = \frac{c}{\lambda} \frac{t_0(5t_5 - 12t_{12}) + 7t_5t_{12}}{7t_0 + 5t_{12} - 12t_5} = 0,75.$$

Таким образом, $n = 75\%$. Умножив первое уравнение на 12 и вычитая из полученного равенства второе, умноженное на 5, находим:

$$M = \frac{60(t_5 - t_{12})}{7t_0 + 5t_{12} - 12t_5} m = 20m. \text{ Подставим полученные данные в}$$

уравнение теплового баланса для определения установившейся температуры после добавления k ложек:

$$cM(t_0 - t_k) = 20cm(t_0 - t_k) = kcm t_k + 0,75k\lambda m \Rightarrow \\ \Rightarrow t_k = t_0 \frac{20 - k(3\lambda / 4ct_0)}{20 + k} = t_0 \frac{20 - 0,6k}{20 + k}.$$

Как видно, условие $t_k > 0$ приводит к $k < 33\frac{1}{3}$. Значит, первой ложкой, которая растает не полностью, будет 34-я.

Ответ: 75%, 34-я ложка.

Указано (используется в решении), что начальная температура кипятка 100°C , а температура мокрого снега равна 0°C	1+1=2
Правильно записаны УТБ для добавления 5 и 12 ложек	2+2=4
Из этих уравнений правильно получен ответ $n = 75\%$	3
Правильно найдено соотношение масс воды в калориметре и массы ложки снега	2
Правильно найден номер ложки, растаявшей не полностью	4
ВСЕГО	15

Задание 4:

Вопрос: Солнечный свет состоит из разных цветов (то есть из излучений с разными длинами волн), но максимальная интенсивность отвечает желтой и зеленой части видимого спектра. Лучи какого цвета сильнее рассеиваются в чистом воздухе – желтого или синего? Ответ объясните, основываясь на общеизвестных фактах.

Задача: Сила тока фотодатчика прямо пропорциональна мощности светового излучения, поступающего в его «входное окно». Этот датчик разместили на небольшом роботе и настроили так, что его окно все время

направлено на небольшую лампу, установленную рядом с прямой трассой, по которой робот едет с постоянной скоростью $v = 3 \text{ м/с}$. В некоторый момент времени сила тока фотодатчика достигла максимального значения $I_m = 125 \text{ мА}$, а 8 с спустя она уменьшилась до $I = 9,8 \text{ мА}$. На каком расстоянии от трассы установлена лампа? Воздух между лампой и фотодатчиком считать полностью прозрачным. Свет лампы идет равномерно во всех направлениях.

Ответ на вопрос: Важный для данного вопроса «общеизвестный» факт – то, что при чистом воздухе мы видим дневное небо сине-голубым. Ясно, что при взгляде «мимо» Солнца наши глаза все равно воспринимают солнечный свет, но рассеянный в чистом воздухе. Поскольку Солнце излучает больше желтого цвета, чем синего, а в рассеянном свете синего цвета больше, чем желтого, то ясно, что синие лучи сильнее рассеиваются в чистом воздухе, чем желтые.

В ответе есть ссылка на синий цвет чистого неба	2
Указано, что при чистом воздухе видимый цвет неба определяется рассеянными лучами	3
Обращено внимание на изменение соотношения желтого и синего цвета в процессе рассеяния	2
Сделан вывод, что синие лучи рассеиваются сильнее, чем желтые	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: По мере удаления от лампы площадь поверхности сферы, по которой распределена энергия излучения, растет пропорционально квадрату ее радиуса. Поэтому мощность излучения лампочки, попадающего в окно фотодатчика, расположенного на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2 , и точно так же убывает сила тока фотодатчика. Ясно, что сила тока фотодатчика достигла максимального значения, когда робот был на минимальном расстоянии от лампы (а это и есть искомое расстояние a между трассой и лампой). За 8 с робот отъехал от точки наибольшего сближения с лампой на расстояние $x = vt$, а квадрат расстояния от него до лампы

стал равен $(I_0/I)a^2$. Значит, по теореме Пифагора

$$v^2 t^2 + a^2 = \frac{I_0}{I} a^2 \Rightarrow a = \frac{vt}{\sqrt{(I_0/I) - 1}} = 7 \text{ м.}$$

Ответ: $a = \frac{vt}{\sqrt{(I_0/I) - 1}} = 7 \text{ м.}$

Указано (используется в решении), что мощность излучения лампочки, попадающего в окно фотодатчика, расположенного на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2	3
Указано (используется в решении), что точно так же убывает сила тока фотодатчика	2
Записано правильное уравнение, связывающее отношение сил тока и изменение расстояния (квадрата расстояния)	2
Записано уравнение, эквивалентное $v^2 t^2 + a^2 = \frac{I_0}{I} a^2$	3
Получен правильный аналитический ответ для расстояния	3
Получен правильный численный ответ для расстояния	2
ВСЕГО	15

БИЛЕТ № 05 (7 и 8 классы): возможные решения и критерии

Задание 1:

Вопрос: Робот проезжает трассу, имеющую форму равностороннего треугольника с разными покрытиями на сторонах. Первую сторону он проезжает со скоростью 3,5 м/с, вторую – в два раза быстрее, третью – в два раза медленнее, чем первую. Найдите среднюю скорость движения робота по трассе.

Задача: Три школьника бегают по кругу легкоатлетического стадиона. Самый медленный из них (далее – «первый») обычно пробегает круг за время $t_1 = 90$ с. Однажды он и второй школьник одновременно побежали по кругу в разные стороны от линии старта, причем первый побегал со своей «обычной» постоянной скоростью, а скорость второго была на 25% выше. Подождав $t = 8$ с, от той же линии по кругу побегал и третий школьник с некоторой постоянной скоростью. Известно, что все три школьника встретились одновременно, причем каждый из них пробежал до встречи менее одного круга. На сколько процентов скорость третьего школьника может отличаться от скорости второго?

Ответ на вопрос: Путь работа на трассе $s = 3L$, где L – сторона треугольника. Потраченное им время $t = \frac{L}{v} + \frac{L}{2v} + \frac{2L}{v} = \frac{7L}{2v}$ (v – скорость движения по первой стороне). Следовательно, средняя скорость $v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{6}{7}v = 3 \text{ м/с}$.

Записано (используется в расчетах) связь полного пути и длины одной стороны	2
Записано выражение для полного времени движения	2
Полное время выражено через длину одной стороны и скорость движения по первой стороне	2
Получен правильный ответ для v_{cp} (достаточно числа)	4
ВСЕГО	10

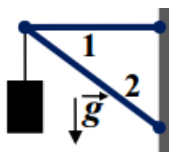
Решение задачи: Пусть v_1 – «обычная» скорость первого школьника. Тогда длина круга на стадионе $L = v_1 t_1$. Время от момента старта первого и второго школьников до их встречи на первом круге $T = \frac{L}{v_1 + v_2} = \frac{v_1 t_1}{2,25v_1} = \frac{4t_1}{9}$ (здесь учтено, что по условию скорость второго школьника $v_2 = 1,25v_1$). Третий школьник мог побежать как вслед за первым школьником, так и вслед за вторым. Поэтому у нас возникает два варианта решения. В первом случае $v_3(T - t) = v_1 T$, и тогда $\frac{v_3}{v_1} = \frac{4t_1}{4t_1 - 9t} = 1,25$. Значит, $\frac{v_3}{v_2} = \frac{16t_1}{5(4t_1 - 9t)} = 1$ – скорости второго и третьего школьника не отличаются (отличие 0%). Во втором случае $v_3(T - t) = v_2 T$, и теперь $\frac{v_3}{v_2} = \frac{4t_1}{4t_1 - 9t} = 1,25$ (скорость третьего школьника на 25% больше скорости второго).
Ответ: 0% или на 25% больше.

Есть связь длины круга с t_1	1
Записано выражение для времени встречи 1 и 2 школьников $T = L/(v_1 + v_2)$	1
Получено правильное выражение для времени встречи (эквивалентное $T = 4t_1/9$)	3

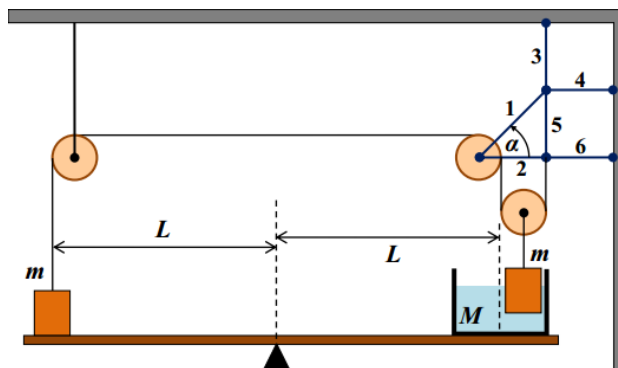
Отмечено, что существуют два варианта выбора направления движения третьего школьника	2
Записаны правильные уравнения для v_3 в обоих случаях	$2 \times 2 = 4$
Получены правильные ответы (0% и 25%) для обоих случаев	$2 \times 2 = 4$
ВСЕГО	15

Задание 2:

Вопрос: Из двух легких жестких стержней, соединенных легкими шарнирами друг с другом и с вертикальной стенкой, собрали кронштейн для подвески массивного груза (см. рисунок) на невесомой нити. Стержни изготовлены из одного материала, имеют одинаковый профиль и поперечные размеры, при этом длина стержня 1 в недеформированном состоянии равна 80 см, а длина недеформированного стержня 2 – 1 м. В состоянии равновесия стержень 1 горизонтален, и величина его продольной деформации равна 1,6 мм. Найдите величину продольной деформации стержня 2 в состоянии равновесия.

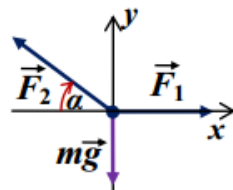


Задача: В системе, изображенной на рисунке, использованы кронштейн из 6 легких жестких стержней, соединенных легкими шарнирами друг с другом, с вертикальной стенкой и горизонтальным потолком, три легких цилиндрических блока, вращающиеся без трения, невесомая нерастяжимая нить и легкий твердый рычаг. Один конец нити прикреплен к грузу массой $m = 900$ г, а другой прикреплен к одному из шарниров кронштейна. Еще один такой же груз подвешен к оси подвижного блока и частично опущен в сосуд с водой, масса которого $M = 400$ г. Первый груз и сосуд с водой покоятся на рычаге, причем расстояния от точки



опоры рычага до центров площадей опоры этого груза и сосуда равны. Все тела находятся в равновесии, причем стержни кронштейна 2, 4 и 6 горизонтальны, 3 и 5 – вертикальны, а 1 составляет угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтом. Величина деформации стержня 1 равна 0,5 мм. Найдите силу натяжения нити и величину деформации стержня 3, длина которого равна длине стержня 2. Ускорение свободного падения $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.

Ответ на вопрос: Прежде всего заметим, что каждый из стержней находится в равновесии под действием двух сил, действующих на него со стороны соседних шарниров (силу тяжести для «невесомого» стержня считаем равной нулю). Сумма этих сил равна нулю, поэтому силы реакций двух шарниров всегда направлены в противоположные стороны и равны по величине. Если бы линии их действия не совпадали, то такая пара сил создавала бы ненулевой момент, чего не может быть в состоянии равновесия. Поэтому эти силы направлены вдоль одной прямой, и, поскольку они приложены к разным концам стержня, то они обязательно направлены вдоль стержня.



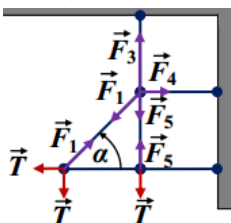
Ясно, что так же направлены и силы упругости каждого стержня, действующие на соседние с ним шарниры. Рассмотрим равновесие шарнира, соединяющего стержни между собой (к нему же подвешен груз). Он находится в равновесии, и сумма приложенных к нему сил (силы упругости шарниров и силы тяжести груза, переданной через нить подвеса) равна нулю. Горизонтальные проекции сил упругости стержней должны уравновесить друг друга, и поэтому один из них должен быть растянут, а другой сжат. При этом сумма их вертикальных проекций должна уравновесить силу тяжести, так что стержень 1 растянут, а стержень 2 сжат. Записывая условие равновесия сил в проекции на горизонтальную ось x (см. рисунок) $F_1 = F_2 \cos(\alpha)$, находим, что $F_2/F_1 = \cos^{-1}(\alpha) = L_2/L_1$. С учетом закона Гука отношение величин деформаций стержней $\frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} = \frac{F_2 k_1}{F_1 k_2}$. С другой стороны,

отношение коэффициентов жесткости стержней при одинаковом материале и одинаковых поперечных размерах обратно пропорциональны их длинам, так что $\Delta L_2 = (L_2/L_1)^2 \Delta L_1 = 2,5 \text{ мм}$.

Обосновано, что силы упругости стержней в стоянии равновесия направлены них	1
Есть рисунок с указанием сил, действующих на шарнир, соединяющий стержни	1

Записано уравнение, эквивалентное $F_1 = F_2 \cos(\alpha)$	2
Используется закон Гука для стержней	1
Указано (используется в решении), что коэффициенты жесткости обратно пропорциональны длинам стержней	2
Получен правильный ответ для ΔL_2 (достаточно числа)	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны груза, равна по величине силе, действующей на этот груз со стороны рычага, и ее можно найти из условия равновесия груза: $= mg - T$, где T – сила натяжения нити. Аналогично находим величину



силы, действующей на правую сторону рычага со стороны дна сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом): $N_2 = (M + m)g - 2T$. Условие равновесия рычага $L_1 N_1 = L_2 N_2 \Rightarrow N_1 = N_2$ позволяет нам найти силу натяжения нити: $T = Mg \approx 4 \text{ Н}$.

На кронштейн действуют три силы, равные этой силе: горизонтальная и вертикальная – приложены к шарниру А, соединяющему стержни 1 и 2, и вертикальная – приложена к шарниру В, соединяющему стержни 2, 5 и 6 (на рисунке показаны силы, действующие на эти шарниры, а также на шарнир В, соединяющий стержни 1, 3, 4 и 5). Так как результирующая сила, действующая на шарнир А со стороны блока, направлена точно вдоль стержня 1, то именно его сила упругости $F_1 = \sqrt{2}T$ уравнивает эту силу, а стержень 2 останется недеформирован. Аналогично сила упругости стержня 5 уравнивает силу натяжения нити, приложенную к шарниру Б: $F_5 = T$. Тогда из условия равновесия шарнира В в проекции на вертикальную ось находим, что $F_3 = 2T$. Итак, $F_3 = \sqrt{2}F_1$, а отношение коэффициентов жесткости стержней 3 и 1 обратно пропорционально отношению их длин, то есть $k_3 = \sqrt{2}k_1$. Следовательно, $\Delta L_3 = \Delta L_1 = 0,5 \text{ мм}$.

Ответ: $T = Mg \approx 4 \text{ Н}$ и $\Delta L_3 = \Delta L_1 = 0,5 \text{ мм}$.

Записаны правильные выражение для сил, действующих на рычаг (N_1 и N_2)	2×2=4
Правильно записано условие равновесия рычага	1

Получен правильный ответ для силы натяжения нити (формула + число)	2+1=3
Есть рисунок (рисунки) с указанием сил, действующих на нужные шарниры кронштейна	1
Найдено, что сила упругости первого стержня $F_1 = \sqrt{2}T$	2
Найдено, что сила упругости третьего стержня $F_3 = 2T$	2
Получен правильный ответ для величины деформации третьего стержня (достаточно числа)	2
ВСЕГО	15

Задание 3:

Вопрос: Мокрый снег – это смесь ледяных кристаллов и жидкой воды, находящихся в равновесии. Как изменится температура мокрого снега, если его посолить и перемешать? Почему?

Задача: В калориметр, в котором находился кипяток, добавляют ложками мокрый снег. После добавления 10 ложек и установления равновесия температура содержимого калориметра стала равна $t_{10} = 60^\circ\text{C}$, а после добавления 25 ложек и установления равновесия температура упала до $t_{25} = 30^\circ\text{C}$. Каков процент содержания льда (по массе) в мокром снеге? Какая по счету ложка будет первой, растаявшей не полностью? Считайте, что все ложки одинаковые, калориметр не переполняется, удельная теплоемкость воды $c \approx 4,2 \text{ Дж}/(\text{г}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда $\lambda \approx 336 \text{ Дж}/\text{г}$, теплоемкость калориметра пренебрежимо мала.

Ответ на вопрос: Температура резко уменьшится. Мокрый снег при температуре около 0°C представляет собой смесь воды и ледяных кристалликов, а при растворении соли в воде температура плавления льда понижается (взаимодействие молекул воды с ионами, образующимися из молекул соли, разрушает решетку льда), и ледяные кристаллы плавятся, забирая у окружающих веществ теплоту плавления.

Указано, что при растворении соли в воде температура плавления льда понижается	2
Указано, что в результате лед в составе мокрого снега будет плавиться	2
Указано, что на плавление льда будет уходить теплота, забираемая у окружающих веществ	2

Сделан вывод, что температура заметно уменьшится	4
ВСЕГО	10

Решение задачи: С самого начала ясно, что начальная температура кипятка $t_0 = 100^\circ\text{C}$, а температура мокрого снега равна 0°C . Введем обозначения: M – начальная масса кипятка в калориметре, m – масса одной ложки мокрого снега, n – массовая доля льда в мокром снеге. Запишем уравнение теплового баланса для определения температуры t_{10} после засыпания 10 ложек: $cM(t_0 - t_{10}) = 10cmt_{10} + 10\lambda nm$, и аналогичное для t_{25} : $cM(t_0 - t_{25}) = 25cmt_{25} + 25\lambda nm$. Разделив эти два уравнения друг на друга, получаем уравнение на искомую величину n :

$$\frac{t_0 - t_{10}}{t_0 - t_{25}} = \frac{2t_{10} + (\lambda/c)n}{5t_{25} + (\lambda/c)n} \Rightarrow n = \frac{c}{\lambda} \frac{t_0(2t_{10} - 5t_{25}) + 3t_{10}t_{25}}{3t_0 + 2t_{25} - 5t_{10}} = 0,5.$$

Таким образом, $n = 50\%$. Умножив первое уравнение на 5 и вычитая из полученного равенства второе, умноженное на 2, находим:

$$M = \frac{50(t_{10} - t_{25})}{3t_0 + 2t_{25} - 5t_{10}} m = 25m.$$

Подставим полученные данные в уравнение теплового баланса для определения установившейся температуры после добавления k ложек:

$$\begin{aligned} cM(t_0 - t_k) &= 25cm(t_0 - t_k) = kcm t_k + 0,5k\lambda m \Rightarrow \\ \Rightarrow t_k &= t_0 \frac{25 - k(\lambda / 2ct_0)}{25 + k} = t_0 \frac{25 - 0,4k}{25 + k} \end{aligned}$$

Как видно, условие $t_k > 0$ приводит к $k < 62,5$. Значит, первой ложкой, которая растает не полностью, будет 63-я.

Ответ: 50%, 63-я ложка.

Указано (используется в решении), что начальная температура кипятка 100°C , а температура мокрого снега равна 0°C	1+1=2
Правильно записаны УТБ для добавления 10 и 25 ложек	2+2=4
Из этих уравнений правильно получен ответ $n = 50\%$	3
Правильно найдено соотношение масс воды в калориметре и массы ложки снега	2
Правильно найден номер ложки, растаявшей не полностью	4
ВСЕГО	15

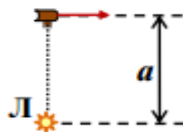
Задание 4:

Вопрос: Световое излучение – это разновидность *электромагнитных волн*, причем разные цвета отличаются друг от друга *длиной волны λ* . В таблице ниже приведена связь между длиной волны в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) и видимым цветом:

Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
625–740 нм	590–625 нм	565–590 нм	500–565 нм	485–500 нм	440–485 нм	380–440 нм

«Белый свет» – это равномерная смесь всех этих цветов – в нем на одинаковые интервалы значений $\Delta\lambda$ приходятся одинаковые доли от общей мощности пучка. Допустим, что узкий пучок белого света направляется на пару стеклянных пластин так, что проходит через первую и отражается от второй. Известно, что эти пластины полностью отражают красный и оранжевый свет, для желтого, зеленого и голубого цветов – отражают 60% и пропускают 40% мощности, а для синего и фиолетового – отражают 20% и пропускают 80%. Найдите (в процентах от начальной) долю мощности пучка на выходе.

Задача: Сила тока фотодатчика прямо пропорциональна мощности светового излучения, поступающего в его «входное окно». Этот датчик разместили на небольшом роботе. Изначально робот находился на расстоянии $a = 4 \text{ м}$ от маленькой лампы, излучающей свет одинаково во всех направлениях. Окно фотодатчика поворачивается так, что оно все время направлено прямо на эту лампу, и при этом сила тока датчика равнялась $I_0 = 58 \text{ мА}$. Робот поехал вдоль прямой, перпендикулярной к направлению на лампу, и через 4 с ток фотодатчика оказался равен $I = 8 \text{ мА}$. Найдите среднюю скорость движения робота за это время. Воздух между лампой и фотодатчиком считать полностью прозрачным.



Ответ на вопрос: Так как в белом свете доля мощности, приходящаяся на каждый диапазон длин волн, пропорциональна ширине этого диапазона, то на долю желтого, зеленого и голубого цветов приходится $\frac{590 \text{ нм} - 485 \text{ нм}}{740 \text{ нм} - 380 \text{ нм}} = \frac{105}{360} = \frac{7}{24}$ от начальной мощности пучка, и на долю

синего и фиолетового – такая же доля, так как $\frac{485\text{ нм} - 380\text{ нм}}{740\text{ нм} - 380\text{ нм}} = \frac{7}{24}$.

Красный и оранжевый цвета не дают вклада в мощность на выходе, так как полностью отражаются уже на первой пластине. После прохождения через одну пластину и отражения от другой от желто-зелено-голубой части излучения останется $0,6 \cdot 0,4 = 0,24$ ее начальной мощности, а от сине-фиолетовой $0,8 \cdot 0,2 = 0,16$. Итак, мощность пучка на выходе составляет от начальной мощности долю, равную $\frac{7}{24} \cdot (0,24 + 0,16) = \frac{7}{60}$, то есть примерно 11,7%.

Указано (используется в решении), что свете доля мощности, приходящаяся на каждый диапазон длин волн, пропорциональна ширине этого диапазона	2
Указано (используется в решении), что красный и оранжевый цвета не дают вклада в мощность на выходе	1
Правильно найдена доля начальной мощности, приходящаяся на оба оставшихся диапазона	1+1=2
Указано (используется в решении), что для каждого диапазона доля выходной мощности определяется произведением коэффициентов пропускания и прохождения	2
Получен правильный ответ	3
ВСЕГО	10

Решение задачи: По мере удаления от лампы площадь поверхности сферы, по которой распределена энергия излучения, растет пропорционально квадрату ее радиуса. Поэтому мощность излучения лампочки, попадающего в окно фотодатчика, расположенного на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2 , и точно так же убывает сила тока фотодатчика. Значит, за 4 с квадрат расстояния от лампы до робота увеличился в $\frac{I_0}{I} = 7,25$ раза. Так как робот проехал вдоль прямой, перпендикулярной к начальному направлению на лампу, расстояние $x = vt$, то по теореме Пифагора

$$v^2 t^2 + a^2 = \frac{I_0}{I} a^2 \Rightarrow v = \frac{a}{t} \sqrt{\frac{I_0}{I} - 1} = 2,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = \frac{a}{t} \sqrt{\frac{I_0}{I} - 1} = 2,5 \text{ м/с.}$

Указано (используется в решении), что мощность излучения лампочки, попадающего в окно фотодатчика, расположенного на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2	3
Указано (используется в решении), что точно так же убывает сила тока фотодатчика	2
Записано правильное уравнение, связывающее отношение сил тока и изменение расстояния (квадрата расстояния)	2
Записано уравнение, эквивалентное $v^2 t^2 + a^2 = (I_0/I) a^2$	3
Получен правильный аналитический ответ для скорости	3
Получен правильный численный ответ для скорости	2
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. Слободетский 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

Олимпиада «Ломоносов 2021/2022» по физике	2
Задания и решения отборочного этапа олимпиады. 7-9 классы.....	2
Задания и решения отборочного этапа олимпиады. 10 и 11 классы	7
Задания и решения заключительного этапа олимпиады. 7-9 классы.....	10
Задания и решения заключительного этапа олимпиады. 10 и 11 классы.....	12
Олимпиада школьников «Робофест»	20
Отборочный этап.....	20
Заключительный этап	40
Список рекомендуемой литературы	71

Подписано в печать 25.10.2022 г.
Объем 4,75 п.л. Тираж 300 экз
Заказ 96

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

Отпечатано в отделе оперативной печати
физического факультета МГУ

Вниманию старшеклассников и абитуриентов предлагается серия пособий, подготовленных преподавателями физического факультета МГУ



Эти пособия издаются ежегодно и содержат задания олимпиад и профильных экзаменов по физике с подробными решениями и указаниями.

Приобрести пособия можно в книжном киоске, расположенном в вестибюле физического факультета МГУ.

Режим работы киоска: с 10 до 19 часов ежедневно, кроме выходных.

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы,
<http://www.phys.msu.ru>

Отдел нового приема и работы со школьниками
физического факультета МГУ
8 (495) 939 12 41, welcome@physics.msu.ru
vk.com/msuphys