

Олимпиада школьников «Ломоносов 2013-2014»

ФИЗИКА

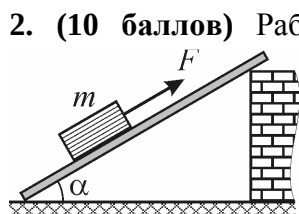
Отборочный этап

Задание для 7-х – 9-х классов

1. (5 баллов) Брусек в форме прямоугольного параллелепипеда имеет размеры $20 \times 10 \times 5$ см и плотность $\rho = \text{г/см}^3$. Найдите массу бруска. Ответ приведите в килограммах, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $m = l \times b \times h \times \rho$.

Варьируемый параметр ρ . Диапазон изменения от 1,1 до 2,0 г/см³, шаг 0,1 г/см³. Расчетная формула $m = \rho$.



2. (10 баллов) Рабочий затаскивает вверх по наклонному трапу ящик массой $m = 90$ кг, прикладывая к нему силу, направленную параллельно трапу и равную $F = H$. Трап образует с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, а движение ящика происходит с постоянной скоростью. Найдите коэффициент полезного действия η используемого рабочим трапа. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Ответ приведите в процентах, округлив до целого значения.

Ответ: $\eta = \frac{mg}{F} \sin \alpha \cdot 100\%$.

Варьируемый параметр F . Диапазон изменения от 500 до 900 Н, шаг 50 Н. Расчетная формула

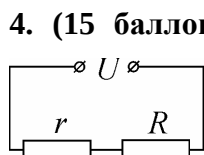
$$\eta = \frac{45000}{F}.$$

3. (15 баллов) На горизонтальном дне сосуда, заполненного водой, лежит тело, имеющее форму полушара радиуса $R = 10$ см, причем под нижнюю плоскую поверхность тела вода не подтекает. С какой силой N тело давит на дно сосуда, если масса тела $m = \text{кг}$, а глубина сосуда $h = 30$ см? Плотность воды считайте равной $\rho = 1$ г/см³, а ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Атмосферное давление не учитывайте. Ответ округлите до целого значения.

Указание. Объем шара радиуса R равен $V = \frac{4}{3} \pi R^3$, площадь круга того же радиуса равна $S = \pi R^2$.

Ответ: $N = mg + \rho g \cdot \pi R^2 \left(h - \frac{2}{3} R \right) \approx 93 \text{ Н}$.

Варьируемый параметр m . Диапазон изменения от 1 до 10 кг, шаг 1 кг. Расчетная формула $N = 10 \cdot m + 73$.



4. (15 баллов) Между свободными концами двух последовательно соединённых резисторов поддерживается постоянное напряжение $U = 10$ В. Сопротивление одного из резисторов равно $r = \text{Ом}$, а сопротивление R второго подобрано таким, что на нем выделяется мощность, максимально возможная при данном значении r .

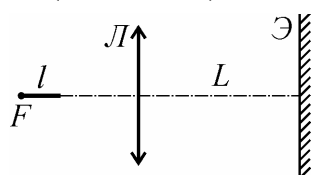
Определите мощность P , выделяющуюся при этом на резисторе с сопротивлением r . Ответ округлите до одного знака после запятой.

Ответ: $P = \frac{U^2}{4r}$.

Варьируемый параметр r . Диапазон изменения от 0,5 до 5 Ом, шаг 0,5 Ом. Расчетная формула

$$P = \frac{25}{r}.$$

5. (15 баллов) На главной оптической оси тонкой собирающей линзы L расположен отрезок



тонкой светящейся нити длиной $l = 2$ см (см. рисунок). Дальний от линзы конец нити совпадает с фокусом линзы. Фокусное расстояние линзы равно $F = 10$ см, а её радиус равен $r =$ мм. По другую сторону за линзой на расстоянии $L = 20$ см от нее перпендикулярно ее главной оптической оси расположен экран Э. Определите радиус R светлого пятна на экране. Ответ

выразите в миллиметрах, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $R = r \cdot \left\{ 1 + l \cdot L / [(F - l) \cdot F] \right\}$.

Варьируемый параметр r . Диапазон изменения от 2 до 4 мм, шаг 0,2 мм. Расчетная формула $R = 1,5 \cdot r$.

6. (20 баллов) Ветер донес до волка, затаившегося в точке A , запах зайца, лежка которого



расположена в точке B , находящейся от точки A на расстоянии $L = 1,3$ км. Проголодавшийся волк осторожно двинулся по направлению от точки A к точке B со скоростью $v_1 = 2$ м/с. Через $t_0 =$ мин после этого заяц, почуяв неладное, начал уходить от своей лежки в перпендикулярном направлении со скоростью

$v_2 = 1$ м/с. Считая, что направления движения и скорости волка и зайца неизменны, найдите, через какое время t_1 после начала движения волка расстояние между волком и зайцем будет минимальным. Ответ приведите в секундах, округлив до целого значения.

Ответ. $t_1 = t_0 + \frac{(L/v_1 - t_0)}{1 + (v_2/v_1)^2}$.

Варьируемый параметр t_0 . Диапазон изменения от 1 до 10 мин, шаг 1 мин. Расчетная формула $t_1 = 12 \cdot t_0 + 520$.

7. (20 баллов) Мальчик выстрелил из пневматического пистолета маленьким шариком, направив ствол пистолета вертикально вверх. Спустя время $\tau = 8,7$ с шарик вернулся в точку, откуда был произведен выстрел, имея в момент падения скорость $u_2 = 37$ м/с. Какова скорость u_1 , с которой шарик вылетел из ствола пистолета, если сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости шарика? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Ответ округлите до целого значения.

Ответ. $u_1 = g\tau - u_2 = 50$ м/с.

Критерии оценки

Максимальный балл за каждую задачу указан в условии

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **20% от максимального балла**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **50–70% от максимального балла**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **90% от максимального балла**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **100% от максимального балла**.

Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание равно 100.

Задание для 10-х – 11-х классов

Первый тур

1. (5 баллов) Пассажир поезда, идущего со скоростью $v = \text{м/с}$, видит в окне встречный поезд длиной $L = 200$ м в течение времени $t = 5$ с. Какова скорость u встречного поезда? Ответ приведите в м/с, округлив до целого значения.

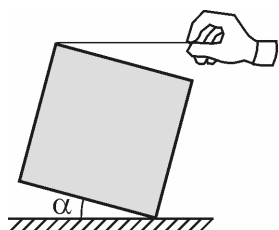
Ответ: $u = \frac{L}{t} - v$.

Варьируемый параметр v . Диапазон изменения от 10 до 20 м/с, шаг 1 м/с. Расчетная формула $u = 40 - v$.

2. (15 баллов) Стоящий на горизонтальном льду мальчик массой $M = 30$ кг бросает в горизонтальном направлении камень массой $m = 3$ кг. Определите коэффициент трения μ мальчика о лёд, если после броска мальчик откатился на расстояние $L = 0,5$ м, а модуль скорости камня относительно Земли в момент броска был равен $u = \text{м/с}$. Влиянием силы трения во время броска можно пренебречь. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ округлите до двух знаков после запятой.

Ответ: $\mu = m^2 u^2 / (2 M^2 g L)$.

Варьируемый параметр u . Диапазон изменения от 6 до 15 м/с, шаг 1 м/с. Расчетная формула $\mu = 0,001 \cdot u^2$.



3. (20 баллов) Железный кубик массой $m = \text{г}$ удерживают неподвижным на горизонтальной плоскости в показанном на рисунке положении с помощью натянутой горизонтально лёгкой нити, расположенной в вертикальной плоскости, проходящей через центр масс кубика. Определите модуль силы, действующей на кубик со стороны плоскости, если угол $\alpha = 15^\circ$. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ округлите до двух знаков после запятой.

Ответ: $F = mg\sqrt{1 + 0,25\operatorname{tg}^2(\pi/4 - \alpha)}$.

Варьируемый параметр m . Диапазон изменения от 50 до 100 г, шаг 5 г. Расчетная формула $F = 0,0104 \cdot m$.

4. (20 баллов) Находившийся в объёме $V_1 = 5$ л идеальный одноатомный газ массой $m = 0,8$ г под давлением $p_1 = 0,1$ МПа изохорно нагрели, а затем его объём изобарно уменьшили до величины $V_3 = 3$ л, совершив работу $A = \text{Дж}$. Определите разность температур газа в конечном и начальном состояниях. Молярная масса газа равна $\mu = 4$ г/моль, а универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Ответ округлите до целых.

Ответ: $\Delta T = [AV_3/(V_1 - V_3) - p_1V_1]\mu/(mR)$.

Варьируемый параметр A . Диапазон изменения от 350 до 450 Дж, шаг 10 Дж. Расчетная формула $\Delta T = (1,5 \cdot A - 500) \cdot 0,6$.

5. (20 баллов) Два одинаковых плоских конденсатора соединены последовательно и подключены к батарее. Между пластинами конденсаторов находится воздух. Емкость каждого конденсатора равна $C = 100$ пФ, ЭДС батареи равна $\mathcal{E} = \text{В}$, а её внутреннее сопротивление равно $r = 10$ Ом. Определите максимальное количество теплоты Q , которое может выделиться в батарее после заполнения одного из конденсаторов диэлектриком с проницаемостью $\epsilon = 2$. Ответ выразите в наноджоулях, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $Q = 0,25\mathcal{E}^2C \cdot (\epsilon - 1)/(\epsilon + 1)$.

Варьируемый параметр $\mathcal{E}$. Диапазон изменения от 10 до 30 В, шаг 2 В. Расчетная формула $Q = 0,0083 \cdot \mathcal{E}^2$.

6. (20 баллов) На переднюю грань находящейся в воздухе плоскопараллельной прозрачной пластинки с показателем преломления $n = 1,5$ падает сходящийся конический пучок с углом при вершине, равным $2\alpha = 60^\circ$. Ось пучка перпендикулярна плоскости пластины. Радиус освещённого пятна на передней грани пластинки равен $R = 4$ см. Определите минимальную толщину h пластинки, при которой радиус светлого пятна на задней её грани будет в $k =$ раз меньше R . Ответ приведите в сантиметрах, округлив до двух знаков после запятой.

Ответ: $h = R(k - 1)\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}/(k \sin \alpha)$.

Варьируемый параметр k . Диапазон изменения от 1,1 до 2,0, шаг 0,1. Расчетная формула $h = 11,3 \cdot \frac{k - 1}{k}$.

Второй тур

1. (5 баллов) Начиная движение из состояния покоя, санки скатились с горы длиной $S = 30$ м за время $t = \text{с}$. Какую скорость u приобрели санки в конце горы? Движение санок считайте равноускоренным. Ответ округлите до одного знака после запятой.

Ответ: $u = \frac{2S}{t}$.

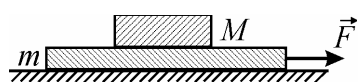
Варьируемый параметр t . Диапазон изменения от 5 до 15 с, шаг 1 с. Расчетная формула $u = \frac{60}{t}$.

2. (15 баллов) Человек массой $m = \text{кг}$ стоит в середине квадратного плота массой $M = 200$ кг и площадью $S = 4 \text{ м}^2$, неподвижно плавающего на поверхности воды. На какое расстояние x переместится плот, если человек медленно перейдет в угол плота? Сопротивлением воды можно пренебречь. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до целых.

Ответ: $x = \frac{m}{M + m} \sqrt{\frac{S}{2}}$.

Варьируемый параметр m . Диапазон изменения от 50 до 80 кг, шаг 3 кг. Расчетная формула $x = \frac{m}{200 + m} \cdot 141,4$.

3. (20 баллов) Доска массой $m = 10$ кг лежит на горизонтальном полу, а на ней стоит ящик массой $M = \text{кг}$. Коэффициент трения между доской и полом $\mu_1 = 0,2$, а между ящиком и доской – $\mu_2 = 0,6$. Доску и ящик приводят в движение, прикладывая к доске горизонтальную силу, направленную вдоль продольной оси доски. При каком максимальном значении модуля F этой силы ящик не будет скользить по доске? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.



Ответ: $F = (\mu_1 + \mu_2)(M + m)g$.

Варьируемый параметр M . Диапазон изменения от 50 до 100 кг, шаг 5 кг. Расчетная формула $F = 8 \cdot (M + 10)$.

4. (20 баллов) В прочном сосуде объемом $V = \text{л}$ находится смесь из $\nu_1 = 0,05$ моль водорода и $\nu_2 = 1$ моль сухого воздуха. С помощью электрической искры смесь поджигают. Найдите относительную влажность ϕ воздуха в сосуде после сгорания водорода и охлаждения содержимого сосуда до температуры $t = 20^\circ\text{C}$. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_{\text{н}} = 2,33 \text{ кПа}$. Массовая доля кислорода в воздухе составляет примерно 23%. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. Ответ приведите в процентах, округлив до целых.

Ответ. $\phi = \frac{\nu_1 RT}{p_{\text{н}} V} \cdot 100\%$.

Варьируемый параметр V . Диапазон изменения от 60 до 150 л, шаг 10 л, расчетная формула $\phi = \frac{5225}{V}$.

5. (20 баллов) Достаточно длинная гладкая пластмассовая трубка, закрытая с обоих концов, заполнена газом. В трубке находится маленький гладкий шарик, несущий электрический заряд $q = \text{нКл}$. Трубку поместили в барокамеру, из которой откачан воздух и в которой создано постоянное однородное магнитное поле с индукцией, направленной вертикально и равной по модулю $B = 1 \text{ Тл}$. Трубку расположили горизонтально и начали ее двигать поступательно, направив вектор ее скорости перпендикулярно и трубке, и вектору магнитной индукции. Какую

мощность N необходимо затрачивать, чтобы обеспечить движение трубки с постоянной скоростью $v_0 = 1$ м/с начиная с того момента, когда движение шарика относительно трубки станет установившимся? Считайте, что модуль силы вязкого трения, действующей на шарик со стороны газа, пропорционален скорости u шарика относительно трубки, т.е. $F_{\text{сопр}} = \alpha u$. Коэффициент α примите равным $\alpha = 10^{-3}$ Н·с/м. Ответ приведите в пиковаттах, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $N = \frac{(qv_0B)^2}{\alpha}$.

Варьируемый параметр q . Диапазон изменения от 40 до 130 нКл, шаг 10 нКл, расчетная формула

$$N = \frac{q^2}{1000}.$$

6. (20 баллов) Параллельный пучок света радиуса $r = 2$ см падает на собирающую линзу с фокусным расстоянием $f = 50$ см параллельно ее главной оптической оси. За линзой находится плоскопараллельная стеклянная пластина толщиной $h =$ мм, установленная перпендикулярно главной оптической оси линзы. Расстояние от линзы до ближайшей к ней грани пластины $l = 70$ см. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Найдите радиус R светового пучка на выходе из пластины. Ответ приведите в миллиметрах, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $R = \frac{(l-f)r}{f} + \frac{h}{\sqrt{(1+f^2/r^2)n^2-1}}$.

Варьируемый параметр h . Диапазон изменения от 5 до 50 мм, шаг 5 мм, расчетная формула $R = 8 + h \cdot 0,02665$.

Третий тур

1. (5 баллов) Небольшой шарик бросили вертикально вверх со скоростью $u =$ м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите, через какое время τ шарик вернется в точку бросания. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Ответ округлите до одного знака после запятой.

Ответ: $\tau = \frac{2u}{g}$.

Варьируемый параметр u . Диапазон изменения от 5 до 15 м/с с шагом 1 м/с. Расчетная формула $\tau = 0,2 \cdot u$.

2. (15 баллов) Два бруска покоятся на гладкой горизонтальной плоскости. Между ними находится сжатая пружина, связанная нитью. После пережигания нити пружина полностью распрямляется, и бруски начинают двигаться поступательно со скоростями $v_1 = 4$ м/с и $v_2 = 2$ м/с. Вычислите энергию $E_{\text{п}}$, которая была запасена в пружине, если известно, что суммарная масса брусков $M =$ кг. Пружину считайте невесомой. Ответ округлите до одного знака после запятой.



Ответ: $E_{\text{п}} = \frac{1}{2} M v_1 v_2$.

Варьируемый параметр **M** . Диапазон изменения от 1 до 10 кг, шаг 1 кг. Расчетная формула $E_{\pi} = 4 \cdot M$.

3. (20 баллов) На гладкой горизонтальной поверхности дна тележки находится груз, прикрепленный к передней стенке тележки с помощью пружины. Тележку двигают с постоянным ускорением $a = 5 \text{ м/с}^2$, причем груз неподвижен относительно тележки. Достигнув скорости $v = \text{м/с}$, тележка резко останавливается, наткнувшись на препятствие, и остается неподвижной. При этом возникают гармонические колебания груза с периодом $T = 1 \text{ с}$. Найдите амплитуду A этих колебаний. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $A = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{a^2 T^2}{4\pi^2} + v^2}$.

Варьируемый параметр **v** . Диапазон изменения от 0,5 м до 1,5 м/с, шаг 0,1 м/с. Расчетная формула $A = 15,9 \cdot \sqrt{0,634 + v^2}$.

4. (20 баллов) В теплоизолированный сосуд с малой теплоемкостью, содержащий спирт при температуре $t = 45^\circ\text{C}$, опустили стальной кубик с длиной ребра $a = 1 \text{ см}$, имеющий температуру $t_0 = 15^\circ\text{C}$. Спустя некоторое время в сосуде установилось тепловое равновесие при температуре $t_1 = 35^\circ\text{C}$. Затем в сосуд положили второй стальной кубик с длиной ребра $b = 2 \text{ см}$. После этого в сосуде установилось тепловое равновесие при температуре $t_3 = ^\circ\text{C}$. Определите начальную температуру t_2 второго кубика. Ответ приведите по шкале Цельсия, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $t_2 = t_3 + \left(\frac{a}{b}\right)^3 \cdot \frac{(t_3 - t_1) \cdot (t - t_0)}{t - t_1}$.

Варьируемый параметр **t_3** . Диапазон изменения от 40 до 60 $^\circ\text{C}$ с шагом 2 $^\circ\text{C}$. Расчетная формула $t_2 = t_3 + 0,375 \cdot (t_3 - 35)$.

5. (20 баллов) Батарея, замкнутая на сопротивление $R_1 = 90 \text{ Ом}$, обеспечивает ток в цепи $I_1 = 0,1 \text{ А}$. Если батарею замкнуть на сопротивление $R_2 = 40 \text{ Ом}$, то в цепи потечет ток $I_2 = 0,2 \text{ А}$. Какой ток I_3 будет течь через сопротивление **$R_3 = \text{Ом}$** , если его подключить к двум таким же батареям, соединенным параллельно? Ответ округлите до двух знаков после запятой.

Ответ: $I_3 = \frac{2I_1I_2(R_1 - R_2)}{2R_3(I_2 - I_1) + I_1R_1 - I_2R_2}$.

Варьируемый параметр **R_3** . Диапазон изменения от 10 до 55 Ом, шаг 5 Ом. Расчетная формула $I_3 = \frac{2}{0,2 \cdot R_3 + 1}$.

6. (20 баллов) Оптическая система состоит из собирающей линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 20 \text{ см}$ и рассеивающей линзы с фокусным расстоянием, модуль которого $F_2 = 30 \text{ см}$. Главные оптические оси этих линз совмещены друг с другом, а расстояние между линзами **$l = \text{см}$** . На собирающую линзу падает параллельный пучок света, ось которого совпадает с главной

оптической осью линзы. Определите, на какое расстояние Δx сместится точка, в которую будет сфокусирован пучок после прохождения системы линз, если линзы поменять местами. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до одного знака после запятой.

Ответ: $\Delta x = \frac{l(F_1 + F_2)}{F_2 - F_1 + l}$.

Варьируемый параметр l . Диапазон изменения от 5 до 15 см, шаг 1 см. Расчетная формула

$$\Delta x = \frac{l \cdot 50}{10 + l}.$$

Критерии оценки

Максимальный балл за каждую задачу указан в условии

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **20% от максимального балла**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **50–70% от максимального балла**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **90% от максимального балла**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **100% от максимального балла**.

Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание равно 100.

Заключительный этап

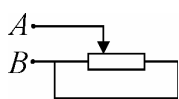
Задание для 7-х – 9-х классов

1. Снаряд, летевший со скоростью, модуль которой $v = 50$ м/с, разорвался на три осколка, два из которых имели одинаковые массы $m = 20$ кг каждый, а масса третьего осколка была в два раза больше. В результате взрыва суммарная кинетическая энергия осколков непосредственно после взрыва увеличилась на $\Delta E_k = 3,6$ МДж. Считая, что осколки после взрыва летят поступательно и модули скоростей легких осколков равны друг другу, определите модуль v_3 максимально возможной скорости тяжёлого осколка непосредственно после взрыва.

Ответ: $v_3 = v + \sqrt{\frac{\Delta E_k}{2m}} = 350$ м/с.

2. Стоявшую на столе в комнате длительное время открытую банку объёмом $V = 3$ л герметически закрыли и поместили в холодильник. Температура воздуха в комнате была равна $t_k = 20^\circ\text{C}$, а его относительная влажность $\phi = 60\%$. Определите массу m льда, который образуется в банке через достаточно большой промежуток времени после этого. В холодильнике поддерживается температура $t_x = -10^\circ\text{C}$. Плотность насыщенных паров воды при температуре t_k равна $\rho_k = 17,32$ г/м³, а при температуре t_x равна $\rho_x = 2,14$ г/м³.

Ответ: $m = \left(\frac{\varphi}{100\%} \rho_k - \rho_x \right) V \approx 25 \text{ мг.}$



3. Сопротивление обмотки реостата $r = 16 \text{ Ом}$, длина реостата $L = 20 \text{ см}$. Найдите сопротивление R цепи между точками A и B (см. рисунок), если движок реостата находится на расстоянии $x = 5 \text{ см}$ от его левого конца.

Ответ. $R = \frac{x(L-x)}{L^2} r = 3 \text{ Ом.}$

4. Высота Солнца над горизонтом составляет угол $\alpha = 32^\circ$. Под каким углом β к горизонту следует расположить плоское зеркало для того, чтобы осветить солнечными лучами дно глубокого вертикального колодца?

Ответ: $\beta = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} = 61^\circ.$

Критерии оценки

Каждая задача оценивается максимально в 25 баллов

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **2 – 10 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **11 – 20 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **21-24 балла**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **25 баллов**.

Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание равно 100.

Задание для 10-х – 11-х классов

Вариант № 1

1.10.1. Дайте определение механической работы. Какова связь между приращением кинетической энергии материальной точки и работой приложенных к этой точке сил?

Задача. Олимпийская трасса для соревнований по бобслею в Турине имеет перепад высот от старта до финиша $h = 114 \text{ м}$. На стартовом горизонтальном участке («полоса разгона») спортсмены разогнали боб до скорости $v_0 = 6 \text{ м/с}$, с которой пересекли линию старта. В конце спуска по ледяному жёлобу сразу после финиша используется специальное тормозное устройство для гашения скорости боба на горизонтальной поверхности. При этом коэффициент трения на участке торможения увеличивается пропорционально расстоянию x от линии финиша по закону $\mu(x) = \alpha \cdot x$, где α – некоторый постоянный коэффициент. Определите среднюю скорость



$v_{\text{ср}}$ боба на участке торможения. Примите, что на участке трассы от конца полосы разгона до финиша за счёт сил трения было потеряно $\eta = 20\%$ механической энергии боба. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ приведите в м/с с точностью до десятых.

Ответ: $v_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} \sqrt{(v_0^2 + 2gh)(1 - \eta/100\%)} \approx 27,4 \text{ м/с}.$

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

Задача. В цилиндре под поршнем при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ находится воздух с влажностью $\phi = 50\%$ под давлением $p_0 = 1,5 \text{ атм}$. Объём воздуха изотермически медленно уменьшили настолько, что $n = \frac{1}{2}$ массы имевшегося первоначально в цилиндре водяного пара сконденсировалась. Определите давление p_k , установившееся под поршнем.

Ответ: $p_k = \frac{p_0 - n\phi p_n}{\phi(1 - n)} = 5 \text{ атм}.$

3.1.1. Запишите формулу для напряжённости электростатического поля точечного заряда. Дайте определение диэлектрической проницаемости вещества.

Задача. Два одинаковых маленьких шарика заряжены одноименными зарядами и подвешены к неподвижной горизонтальной опоре на тонких непроводящих нитях одинаковой длины на некотором расстоянии друг от друга. При полном погружении шариков в непроводящую жидкость с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$ и плотностью $\rho_0 = 0,9 \text{ г/см}^3$ оказалось, что угол отклонения нитей от вертикали не изменился. Определите плотность ρ материала шариков.

Ответ: $\rho = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \rho_0 = 1,8 \text{ г/см}^3.$

4.10.1. Дайте определение светового луча. Сформулируйте закон прямолинейного распространения света.

Задача. Расстояние от предмета до экрана $L = 1 \text{ м}$. Какое максимальное увеличение Γ_{max} изображения предмета на экране можно получить с помощью тонкой линзы с фокусным расстоянием $F = 16 \text{ см}$?

Ответ: $\Gamma_{\text{max}} = \frac{1 + \sqrt{1 - 4F/L}}{1 - \sqrt{1 - 4F/L}} = 4.$

Вариант № 2

1.10.2. Дайте определение потенциальной энергии механической системы. Чему равна потенциальная энергия тела вблизи поверхности Земли и потенциальная энергия деформированной упругой пружины?



Задача. Олимпийская трасса для соревнований по бобслею в Ванкувере имеет перепад высот от старта до финиша $h = 136$ м. На стартовом горизонтальном участке («полоса разгона») спортсмены разогнали боб до скорости $v_0 = 6$ м/с, с которой пересекли линию старта. В конце спуска по ледяному жёлобу сразу после финиша используется специальное тормозное устройство для гашения скорости боба на горизонтальной поверхности. При этом коэффициент трения на участке торможения увеличивается пропорционально расстоянию x от линии финиша по закону $\mu(x) = \alpha \cdot x$, где α – постоянный коэффициент, равный $\alpha = 0,1 \text{ м}^{-1}$. Определите путь s , пройденный бобом от момента пересечения линии финиша до момента, когда скорость боба на участке торможения уменьшилась в два раза. Примите, что на участке трассы от конца полосы разгона до финиша за счёт сил трения было потеряно $\eta = 20\%$ механической энергии боба. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ приведите в метрах с точностью до десятых.

Ответ: $s = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3(v_0^2 + 2gh)(1 - \eta/100\%)}{\alpha g}} \approx 40,7 \text{ м.}$

2.8.2. Что такое температура кипения? Как зависит температура кипения от давления?

Задача. В цилиндре под поршнем при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ находится влажный воздух под давлением $p_0 = 1$ атм. Объём воздуха медленно изотермически уменьшили в $n = 3$ раза. При этом масса водяных паров уменьшилась в $k = 2$ раза. Определите давление p_k , установившееся под поршнем.

Ответ: $p_k = p_0 n - p_n(k - 1) = 2 \text{ атм.}$

3.1.2. Сформулируйте закон Кулона. Дайте определение напряженности электрического поля.

Задача. Маленький шарик, несущий некоторый положительный заряд, подвешен на тонкой непроводящей нити и находится в однородном электрическом поле, созданном протяженной заряженной плоскостью, расположенной вертикально. При полном погружении шарика в непроводящую жидкость с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$ и плотностью $\rho_0 = 0,8 \text{ г/см}^3$ оказалось, что угол отклонения нити от вертикали не изменился. Определите плотность ρ материала шарика.

Ответ: $\rho = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \rho_0 = 1,2 \text{ г/см}^3.$

4.10.2. Какие линзы называются тонкими? Что такое фокусное расстояние и оптическая сила линзы?

Задача. Расстояние от предмета до экрана $L = 1$ м. Найдите фокусное расстояние F тонкой линзы, которую следует поместить между предметом и экраном, чтобы получить на экране изображение предмета с увеличением $\Gamma = 9$.

Ответ: $F = \frac{\Gamma L}{(\Gamma + 1)^2} = 9 \text{ см.}$

Вариант № 3

1.10.3. Чему равны сила трения покоя и сила трения скольжения? Дайте определение коэффициента трения.



Задача. Олимпийская трасса для соревнований по бобслею в Сочи имеет перепад высот от старта до финиша $h = 132$ м. На стартовом горизонтальном участке («полоса разгона») спортсмены разогнали боб до скорости $v_0 = 6$ м/с, с которой пересекли линию старта. В конце спуска по ледяному жёлобу сразу после финиша используется специальное тормозное устройство для гашения скорости боба на горизонтальной поверхности. При этом коэффициент трения на участке торможения увеличивается пропорционально расстоянию x

от линии финиша по закону $\mu(x) = \alpha \cdot x$, где α – некоторый постоянный коэффициент. Определите скорость u боба в тот момент, когда он пройдет половину тормозного пути. Примите, что на участке трассы от конца полосы разгона до финиша за счёт сил трения было потеряно $\eta = 20\%$ механической энергии боба. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с². Ответ приведите в м/с с точностью до десятых.

Ответ: $u = \frac{1}{2} \sqrt{3(v_0^2 + 2gh)(1 - \eta/100\%)} \approx 40,1$ м/с.

2.8.3. Что такое насыщенный пар? Как зависят давление и плотность насыщенного пара от температуры?

Задача. В цилиндре под поршнем находится влажный воздух (смесь сухого воздуха и паров воды) с относительной влажностью $\varphi = 40\%$. Смесь медленно изотермически сжимали до тех пор, пока парциальное давление сухого воздуха не увеличилось в $n = 5$ раз. Определите отношение k массы сконденсировавшейся воды к массе оставшихся паров.

Ответ: $k = 1$.

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

Задача. Маленький шарик, несущий некоторый положительный заряд, подвешен на тонкой непроводящей нити и находится в однородном электрическом поле плоского воздушного конденсатора, пластины которого вертикальны. Заряд на пластинах конденсатора равен $q_1 = 30$ мкКл. Конденсатор заполняют непроводящей жидкостью с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$ и плотностью $\rho_0 = 0,9$ г/см³ и дозаряжают так, чтобы угол отклонения от вертикали нити, на которой подвешен шарик, остался прежним. Определите заряд q_2 на пластинах конденсатора, заполненного жидкостью. Плотность материала шарика $\rho = 2,7$ г/см³.

Ответ: $q_2 = \epsilon q_1 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) = 40$ мкКл.

4.10.3. Запишите формулу тонкой линзы. Чему равно увеличение, даваемое линзой?

Задача. Расстояние от предмета до экрана $L = 1$ м. У экспериментатора имеются две тонкие линзы с фокусными расстояниями $F_1 = 20$ см и $F_2 = 80$ см. Прижав эти линзы вплотную друг к другу, он поместил их между предметом и экраном. Какое максимальное увеличение $\Gamma_{\max}$ изображения предмета на экране сможет получить экспериментатор с помощью этой системы линз?

Ответ: $\Gamma_{\max} = \frac{1 + \sqrt{1 - 4F_1F_2 / (L(F_1 + F_2))}}{1 - \sqrt{1 - 4F_1F_2 / (L(F_1 + F_2))}} = 4.$

Критерии оценки

Теоретические вопросы (каждый вопрос оценивается максимально в 10 баллов)

1. Ответ по существу обеих частей вопроса полностью отсутствует – **0 баллов**.
2. Ответ является неполным (дан ответ только на одну часть вопроса) – **1 – 5 баллов**.
3. Ответ является неполным (даны формально ответы на обе части вопроса, но отсутствуют или не полностью приведены необходимые пояснения) – **6 – 9 баллов**
4. Ответ является полным (содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия и величины с пояснением их смысла) – **10 баллов**.

Задачи (каждая задача оценивается максимально в 15 баллов)

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 5 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **6 – 10 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **11-14 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **15 баллов**.

Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание равно 100.



2013/2014 учебный год
КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ¹

олимпиады школьников «ЛОМОНОСОВ»
по ФИЗИКЕ для 5-9 классов

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ:

*От **85** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР:

*От **50** баллов до **84** баллов включительно.*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ (диплом I степени):

*От **90** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР (диплом II степени):

*От **81** балла до **89** баллов включительно.*

ПРИЗЁР (диплом III степени):

*От **74** баллов до **80** баллов включительно.*

¹ Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по физике.



2013/2014 учебный год
КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ²

олимпиады школьников «ЛОМОНОСОВ»
по ФИЗИКЕ для 10-11 классов

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ:

*От **85** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР:

*От **50** баллов до **84** баллов включительно.*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ (диплом I степени):

*От **90** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР (диплом II степени):

*От **81** балла до **89** баллов включительно.*

ПРИЗЁР (диплом III степени):

*От **74** баллов до **80** баллов включительно.*

² Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по физике.

Олимпиада «Ломоносов 2012 – 2013» по физике
Отборочный этап

Задание для 7-х – 9-х классов

Первый тур

Разминочное задание

Строительный кирпич имеет размеры $25 \times 12 \times 6$ см и плотность $1,8 \text{ г/см}^3$. Найдите массу кирпича. Ответ приведите в килограммах, округлив до двух знаков после запятой.

Решение. $m = 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,06 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 3,24 \text{ кг}$. **Ответ:** $m = 3,24 \text{ кг}$.

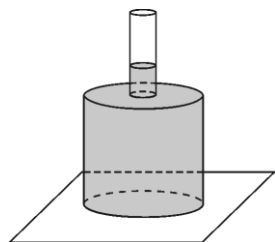
Основное задание

1. Эскалатор метро поднимает идущего по нему вверх пассажира за время $t_1 = 2$ мин, а стоящего на нём – за время $t_2 = 3$ мин. Сколько времени t спускался бы пассажир по неподвижному эскалатору, если бы шёл с той же по модулю скоростью, с какой он поднимался по движущемуся эскалатору? Ответ приведите в минутах, округлив до целых.

1. Решение. Пусть длина эскалатора равна L , модуль скорости эскалатора $v_э$, а модуль скорости пассажира относительно эскалатора $v_п$. Тогда $v_э t_2 = L$, $(v_э + v_п) t_1 = L$ и $v_п t = L$. Отсюда

$$t = \frac{t_1 t_2}{t_2 - t_1} = 6 \text{ мин.} \quad \text{Ответ: } t = \frac{t_1 t_2}{t_2 - t_1} = 6 \text{ мин.}$$

2. В дне цилиндрической открытой банки вместимостью $V_0 = 100 \text{ см}^3$ проделали отверстие и припаяли к дну трубку, расположив ее перпендикулярно дну. Затем банку поставили вверх дном на тонкий лист резины, лежащий на горизонтальном столе, как показано на рисунке. Потом через трубку в банку стали медленно наливать воду. Когда объем налитой воды превысил $V = 110 \text{ см}^3$, вода начала подтекать из-под края банки на резиновый лист. Найдите массу m банки с трубкой, если площади поперечного сечения банки и трубки равны соответственно $S = 10 \text{ см}^2$ и $s = 1 \text{ см}^2$. Плотность воды равна $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.



Ответ приведите в граммах, округлив до целых.

2. Решение. Вода начнёт вытекать из-под банки, когда сила давления воды на дно банки станет чуть больше силы тяжести, действующей на банку с трубкой, и силы атмосферного давления, т.е.

при условии $(\rho g h + p_a)(S - s) \geq mg + (S - s)p_a$. Здесь p_a – атмосферное давление, $h = \frac{V - V_0}{s}$ –

высота столба воды в трубке. Отсюда находим, что

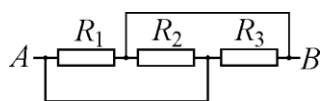
$$m \leq \frac{\rho(V - V_0)(S - s)}{s} = \frac{1 \cdot (110 - 100) \cdot (10 - 1)}{1} = 90 \text{ г.} \quad \text{Ответ. } m \leq \frac{\rho(V - V_0)(S - s)}{s} = 90 \text{ г.}$$

3. Туристы, собираясь в зимний поход, взяли с собой портативный примус и запас бензина. На привале им потребовалась вода для приготовления пищи. Они решили растапливать снег в железном котелке, поставив его примус. Стояла оттепель и температура снега была равна $t_0 = 0^\circ \text{C}$, причем снег был мокрым, т.е. его масса состояла на 80% из массы кристалликов льда и на 20% из массы воды. Какую массу $m_б$ бензина затратили туристы, чтобы получить $V = 2$ литра воды при

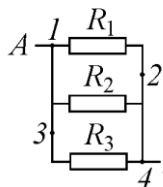
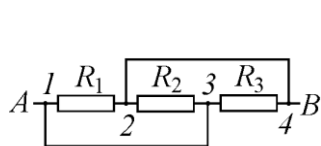
температуре $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$? Плотность воды $\rho = 1\text{ г/см}^3$, удельная теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$, масса котелка $M = 400\text{ г}$, удельная теплоемкость железа $c_{\text{ж}} = 0,46\text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$, удельная теплота сгорания бензина $q = 44\text{ МДж/кг}$. Считайте, что на нагрев воды и котелка идет $\eta = 40\%$ количества теплоты, выделяющейся при сгорании бензина. Ответ приведите в граммах, округлив до целого.

3. Решение. Масса воды, которую требуется получить, $m_{\text{в}} = \rho V = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2\text{ кг}$, масса льда, который нужно растопить, $m_{\text{л}} = m_{\text{в}} \cdot \frac{80}{100} = 2 \cdot 0,8 = 1,6\text{ кг}$. Количество теплоты, требующееся для растапливания льда при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, равно $Q_1 = m_{\text{л}} \lambda = 1,6 \cdot 330 = 528\text{ кДж}$. Количество теплоты, требующееся для нагревания котелка и воды до температуры $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Q_2 = (Mc_{\text{ж}} + m_{\text{в}}c_{\text{в}}) \cdot (t - t_0) = (0,4 \cdot 0,46 + 2 \cdot 4,2) \cdot 100 = 858,4\text{ кДж}$. Количество теплоты, выделяющееся при сгорании бензина, $Q_3 = \frac{(Q_1 + Q_2) \cdot 100\%}{\eta} = \frac{(528 + 858,4) \cdot 100}{40} = 3466\text{ кДж}$. Масса сгоревшего бензина $m_{\text{б}} = \frac{Q_3}{q} = \frac{3466}{44000} \approx 0,079\text{ кг} = 79\text{ г}$.

Ответ. $m_{\text{б}} = \frac{[0,8 \cdot \rho V \lambda + (Mc_{\text{ж}} + \rho V c_{\text{в}})(t - t_0)] \cdot 100\%}{\eta q} \approx 79\text{ г}$.



4. Три резистора соединены в цепь, схема которой изображена на рисунке. Чему равно сопротивление цепи между точками A и B? Сопротивления резисторов $R_1 = R$, $R_2 = 2R$, $R_3 = 3R$, где $R = 11\text{ Ом}$.



4. Решение. Исходная цепь и ее эквивалентная схема изображены на рисунке. Видно, что резисторы цепи соединены параллельно. Имеем

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R} = \frac{11}{6R}.$$

Отсюда $R_{AB} = \frac{6}{11}R = 6\text{ Ом}$. **Ответ.** $R_{AB} = \frac{6}{11}R = 6\text{ Ом}$.

5. Поезд начинает двигаться с постоянным ускорением и проходит начальный отрезок пути разгона, составляющий $1/9$ часть от полного пути разгона, со средней скоростью $v_{\text{ср}} = 10\text{ км/ч}$. Какова скорость v поезда в конце пути разгона? Ответ приведите в км/ч и округлите до целых.

5. Решение. Поскольку движение поезда является равноускоренным с нулевой начальной скоростью, справедливы равенства: $v_{\text{ср}} = \frac{v_1}{2}$, $\frac{L}{9} = \frac{v_1 t_1}{2}$, $L = \frac{vt}{2}$. Здесь v_1 – скорость поезда в конце девятой части пути разгона, t_1 – время его движения на $1/9$ пути разгона, t – полное время движения поезда на всем пути разгона, L – длина пути разгона. Из этих равенств следует, что $v = 18v_{\text{ср}} \frac{t_1}{t}$. По законам равноускоренного движения $\left(\frac{t_1}{t}\right)^2 = \frac{1}{9}$. **Ответ:** $v = 6v_{\text{ср}} = 60\text{ км/ч}$.

Второй тур

Разминочное задание.

Учебник физики лежит на горизонтальном столе. Обложка учебника имеет размеры 25×20 см, масса учебника 400 г. Какое давление оказывает учебник на поверхность стола? Ускорение свободного падения примите равным 10 м/с^2 . Ответ приведите в паскалях, округлив до целых.

Ответ. $p = \frac{0,4 \cdot 10}{0,25 \cdot 0,2} = 80 \text{ Па}.$

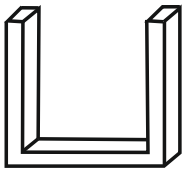
Основное задание

1. Из пункта A в момент времени $t_1 = 10$ часов утра выезжает мотоцикл, а навстречу ему из пункта B , находящегося на расстоянии $L = 600$ км, в момент времени $t_2 = 2$ часа дня выезжает грузовик. Зная, что мотоцикл до встречи с грузовиком двигался со средней скоростью $v_m = 80$ км/ч, а грузовик – со средней скоростью $v_{гр} = 60$ км/ч, определите, сколько времени t двигался грузовик до встречи с мотоциклом. Ответ приведите в часах, округлив до целых.

1. Решение. К моменту выезда грузовика мотоциклист проехал расстояние $l = v_m \cdot (t_2 + 12 - t_1) = 320$ км. После этого мотоциклист и грузовик сближались со скоростью $u = v_m + v_{гр} = 80 + 60 = 140$ км/ч. Искомое время $t = \frac{L - v_m \cdot (t_2 + 12 - t_1)}{v_m + v_{гр}} = \frac{600 - 320}{140} = 2$ ч.

Ответ: $t = \frac{L - v_m \cdot (t_2 + 12 - t_1)}{v_m + v_{гр}} = 2$ ч.

2. В одно из вертикальных колен трубки, форма которой показана на рисунке, налили столько ртути, что её уровень в коленях на 2 мм превысил уровень ртути в горизонтальной части трубки. Затем в то же колено медленно влили $m = 5$ г воды. Определите разность d верхних уровней жидкостей в коленях трубки. Площадь поперечного сечения каждого колена трубки равна $s = 1 \text{ см}^2$, плотность ртути $\rho_{рт} = 13,6 \text{ г/см}^3$, плотность воды $\rho_в = 1 \text{ г/см}^3$. Ответ приведите в миллиметрах, округлив до одного знака после запятой.



2. Решение. Пусть h – высота уровня ртути в коленях трубки над верхней поверхностью ее горизонтальной части. Поскольку плотность воды меньше плотности ртути, а масса налитой воды $m < 2h \cdot \rho_{рт} \cdot s = 5,44$ г, то вода не будет переливаться во второе колено. Обозначим через $H = \frac{m}{\rho_в s}$ высоту столба воды, а через x – расстояние, на которое сместится уровень ртути в первом колене. Условие равновесия жидкостей имеет вид: $\rho_в g H + \rho_{рт} g (h - x) + p_a = \rho_{рт} g (h + x) + p_a$, где p_a – атмосферное давление. Отсюда $x = \frac{\rho_в H}{2\rho_{рт}} = \frac{m}{2\rho_{рт} s}$. Искомая разность высот уровней $d = H - 2x =$

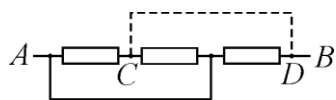
$$= \frac{m}{s} \cdot \frac{\rho_{рт} - \rho_в}{\rho_{рт} \rho_в} = \frac{5}{1} \cdot \frac{13,6 - 1}{13,6 \cdot 1} \approx 4,63 \text{ см} = 46,3 \text{ мм. Ответ. } d = \frac{m}{s} \cdot \frac{\rho_{рт} - \rho_в}{\rho_{рт} \rho_в} \approx 46,3 \text{ мм}.$$

3. Рассеянная хозяйка налила в чайник воды при температуре $t_0 = 10^\circ\text{C}$, поставила его на электроплитку и вышла из кухни, забыв про чайник. Через время $\tau_1 = 10$ минут вода закипела. Через какое время τ_2 вода полностью выкипит? Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота парообразования воды $r = 2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$. Теплоемкостью чайника можно пренебречь. Ответ приведите в минутах, округлив до целого.

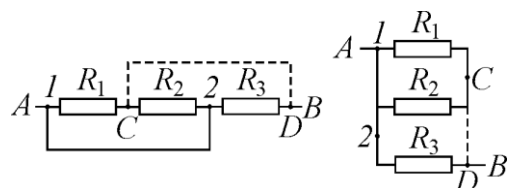
3. Решение: Пусть m – начальная масса воды в чайнике. Найдем количества теплоты Q_1 и Q_2 , требующиеся соответственно для нагревания воды до температуры кипения и для превращения ее в пар: $Q_1 = cm(t_k - t_0)$, $Q_2 = mr$. Здесь $t_k = 100^\circ\text{C}$ – температура кипения воды. Пусть q – доля мощности плитки, идущая на нагрев воды; тогда $Q_1 = q\tau_1$, $Q_2 = q\tau_2$, где τ_1 – время нагрева воды, τ_2 – время ее полного выкипания. Объединяя эти выражения, получаем ответ:

$$\tau_2 = \tau_1 \frac{r}{c(t_k - t_0)} = 10 \frac{2300}{4,2 \cdot (100 - 10)} \approx 61 \text{ мин. Ответ. } \tau_2 = \tau_1 \frac{r}{c(t_k - t_0)} \approx 61 \text{ мин.}$$

4. Три одинаковых резистора соединены в цепь, схема которой изображена на рисунке, причем сопротивление между точками A и B равно $R_{AB} = 3 \text{ Ом}$. Чему станет равным сопротивление R'_{AB} между точками A и B , если точки C и D соединить проводником, как показано на рисунке штриховой линией?



4. Решение. Исходная цепь и ее эквивалентная схема в первом и во втором случаях изображены на рисунке. В первом случае резисторы R_1 и R_2 замкнуты накоротко и сопротивление $R_{AB} = R$, где R – сопротивление отдельного резистора. Во втором случае, когда точки C и D замкнуты проводником, все три резистора оказываются соединенными параллельно. Следовательно,



$$\frac{1}{R'_{AB}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}, \text{ и } R'_{AB} = \frac{R}{3} = 1 \text{ Ом. Ответ. } R'_{AB} = \frac{R_{AB}}{3} = 1 \text{ Ом.}$$

5. С поверхности земли подброшен вертикально вверх небольшой шарик с начальной скоростью $v_0 = 5 \text{ м/с}$. В тот момент, когда он достиг верхней точки, снизу, с того же места подброшен точно такой же шарик с такой же начальной скоростью. При столкновении шарики слипаются и движутся далее как одно целое. Определите промежуток времени t , в течение которого первый шарик находился в полёте до соприкосновения с поверхностью земли. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ округлите до одного знака после запятой.

5. Решение. Выберем систему отсчета с началом на поверхности земли и координатной осью OY , направленной вертикально вверх. Уравнения движения шариков имеют вид: $y_1(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$,

$y_2(t) = v_0(t - t_0) - \frac{g(t - t_0)^2}{2}$, где $t_0 = \frac{v_0}{g}$ – время подъема первого шарика до верхней точки. Из равенства $y_1(t_1) = y_2(t_1)$ находим, что промежуток времени t_1 от момента подбрасывания первого шарика до столкновения шариков $t_1 = \frac{3v_0}{2g}$, а высота h , на которой произойдет столкновение,

$h = \frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g}$. Непосредственно перед столкновением скорости каждого из шариков по величине равны $v = \frac{v_0}{2}$, но направлены в противоположные стороны. По закону сохранения импульса сразу после столкновения скорость слипшихся шариков равна нулю. Время их свободного падения на землю с высоты h равно $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{v_0}{2g} \sqrt{3}$. Общее время полёта первого шарика (т.е. искомый промежуток времени) $t = t_1 + t_2 = \frac{v_0}{2g} (3 + \sqrt{3}) \approx 1,2$ с. **Ответ:** $t = \frac{v_0}{2g} (3 + \sqrt{3}) \approx 1,2$ с.

Третий тур

Разминочное задание.

Брусек массой 700 г имеет размеры $20 \times 10 \times 5$ см. Какова плотность бруска? Ответ выразите в кг/м^3 , округлив до целых.

Ответ. $\rho = \frac{0,7}{0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,05} = 700 \text{ кг/м}^3$.

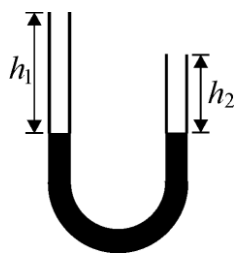
Основное задание

1. Из города A в момент времени $t_1 = 10$ часов утра выезжает мотоциклист, а навстречу ему из города B , находящегося на расстоянии $L = 600$ км, в момент времени $t_2 = 3$ часа дня выезжает грузовик. Зная, что мотоциклист до встречи с грузовиком двигался со средней скоростью $v_m = 60$ км/ч, а грузовик – со средней скоростью $v_{гр} = 40$ км/ч, определите расстояние x , которое грузовик проехал до встречи с мотоциклистом. Ответ приведите в километрах, округлив до целых.

1. Решение. К моменту выезда грузовика мотоциклист проехал расстояние $l = 60 \cdot (15 - 10) = 300$ км. После этого мотоциклист и грузовик сближались со скоростью $u = v_m + v_{гр} = 60 + 40 = 100$ км/ч в течение промежутка времени $t = \frac{L - l}{u} = \frac{600 - 300}{100} = 3$ ч. За это время грузовик проехал расстояние $x = v_{гр} t = 40 \cdot 3 = 120$ км.

Ответ: $x = \frac{L - v_m(t_2 + 12 - t_1)}{v_m + v_{гр}} v_{гр} = 120$ км.

2. Вертикально расположенная U -образная трубка с коленами разной высоты частично заполнена ртутью, причем левый конец трубки выше уровня ртути на $h_1 = 50,2$ см, а правый – на $h_2 = 25$ см. В оба колена трубки поочередно наливают воду так, что они оказываются заполненными доверху. На какую величину Δh переместится уровень ртути в левом колене трубки, если известно, что ртуть из его вертикальной части не вытесняется полностью? Плотность ртути $\rho_{рт} = 13,6 \text{ г/см}^3$, плотность воды $\rho_в = 1 \text{ г/см}^3$. Ответ приведите в миллиметрах, округлив до целых.



2. Решение: Пусть первоначальная высота столба ртути в каждом из колен трубки равна h_0 . Поскольку ртуть несжимаема и сечение трубки постоянно, после заполнения колен водой ртуть

опустится в левом колене на такую же величину Δh , на которую поднимется в правом колене. Поэтому высоты столбов воды в левом и правом коленях трубки будут, соответственно, равны $h_1 + \Delta h$ и $h_2 - \Delta h$. Жидкости будут находиться в равновесии при равенстве давлений ртути в левом и правом коленях в нижней точке трубки, т.е. при выполнении условия:

$$\rho_B g(h_1 + \Delta h) + \rho_{\text{рт}} g(h_0 - \Delta h) = \rho_B g(h_2 - \Delta h) + \rho_{\text{рт}} g(h_0 + \Delta h). \text{ Отсюда находим } \Delta h = \frac{\rho_B (h_1 - h_2)}{2(\rho_{\text{рт}} - \rho_B)} = 1 \text{ см.}$$

Ответ: $\Delta h = \frac{\rho_B (h_1 - h_2)}{2(\rho_{\text{рт}} - \rho_B)} = 10 \text{ мм.}$

3. Туристы на привале решили приготовить чай. Налив в котелок воды при температуре $t_0 = 10^\circ\text{C}$, они подвесили его над горящим костром и занялись обустройством лагеря. Через время $\tau_1 = 15$ минут вода закипела, но никто из туристов этого не заметил, и вода стала выкипать. Через какое время τ_2 выкипит четверть воды, первоначально находящейся в котелке? Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, удельная теплота парообразования воды $r = 2,3 \text{ МДж/кг}$. Теплоемкостью котелка можно пренебречь. Считайте, что подводимая к воде тепловая мощность остается постоянной. Ответ приведите в минутах, округлив до целых.

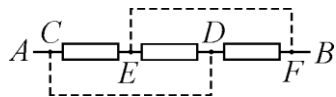
3. Решение: Обозначим через m начальную массу воды в котелке. Найдем количества теплоты Q_1 и Q_2 , требующиеся соответственно для нагревания воды до температуры кипения и для превращения $\frac{1}{4}$ части ее в пар: $Q_1 = cm(t_k - t_0)$, $Q_2 = \frac{m}{4}r$. Здесь $t_k = 100^\circ\text{C}$ – температура кипения

воды. Пусть q – доля тепловой мощности, идущая на нагрев воды; тогда $Q_1 = q\tau_1$, $Q_2 = q\tau_2$, где τ_1 – время нагрева воды, τ_2 – время ее частичного выкипания. Объединяя эти выражения, получаем

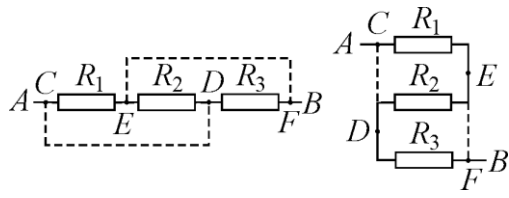
ответ: $\tau_2 = \tau_1 \frac{r}{4c(t_k - t_0)} = 15 \frac{2300}{4 \cdot 4,2 \cdot (100 - 10)} \approx 23 \text{ мин.}$

Ответ. $\tau_2 = \tau_1 \frac{r}{4c(100^\circ\text{C} - t_0)} \approx 23 \text{ мин.}$

4. Три одинаковых резистора соединены в цепь, схема которой изображена на рисунке, причем сопротивление между точками A и B равно $R_{AB} = 18 \text{ Ом}$. Чему станет равным сопротивление R'_{AB} между точками A и B , если точки C и D , а также E и F соединить проводниками, как показано на рисунке штриховыми линиями?



4. Решение. Исходная цепь и ее эквивалентная схема изображены на рисунке, причем $R_{AB} = 3R$,



где R – сопротивление одного резистора. Видно, что после замыкания точек C и D и точек E и F все три резистора оказываются соединенными параллельно. Следовательно,

$$\frac{1}{R'_{AB}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}, \text{ и } R'_{AB} = \frac{R_{AB}}{9} = 2 \text{ Ом.}$$

Ответ. $R'_{AB} = \frac{R_{AB}}{9} = 2 \text{ Ом.}$

5. Две планеты движутся по круговым орбитам вокруг массивной звезды. Радиус орбиты второй планеты больше радиуса орбиты первой планеты в $k = 4$ раза. Найдите период обращения второй планеты, если известно, что период обращения первой планеты $T_1 = 100$ суток. Гравитационным взаимодействием между планетами можно пренебречь. Ответ приведите в сутках, округлив до целых.

5. Решение. По второму закону Ньютона, используя выражение для центростремительного ускорения и силы всемирного тяготения, имеем $m \cdot \frac{v^2}{R} = G \frac{m \cdot M}{R^2}$. Период обращения по круговой орбите равен $T = \frac{2\pi R}{v}$. Таким образом, $\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3$, как это и следует из третьего закона Кеплера. Отсюда получаем, что $T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{3/2}$.

Ответ: $T_2 = T_1 \cdot k^{3/2} = 800$ суток.

Максимальные баллы за решения задач для 7-х – 9-х классов

Задача	Максимальный балл
Разминочная	5
1	15
2	20
3	20
4	20
5	20
Всего	100

Задание для 10-х – 11-х классов

Первый тур

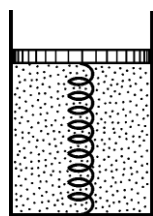
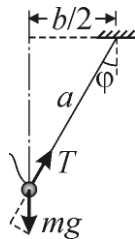
1. Поезд начинает двигаться с постоянным ускорением и проходит начальный отрезок пути разгона, составляющий $1/9$ часть от полного пути разгона, со средней скоростью $v_{\text{ср}} = 10$ км/ч. Какова скорость v поезда в конце пути разгона? Ответ приведите в км/ч и округлите до целых.

1. Решение. Поскольку движение поезда является равноускоренным с нулевой начальной скоростью, справедливы равенства: $v_{\text{ср}} = \frac{v_1}{2}$, $\frac{L}{9} = \frac{v_1 t_1}{2}$, $L = \frac{vt}{2}$. Здесь v_1 – скорость поезда в конце девятой части пути разгона, t_1 – время его движения на $1/9$ пути разгона, t – полное время движения поезда на всем пути разгона, L – длина пути разгона. Из этих равенств следует, что $v = 18v_{\text{ср}} \frac{t_1}{t}$. По законам равноускоренного движения $\left(\frac{t_1}{t}\right)^2 = \frac{1}{9}$. **Ответ:** $v = 6v_{\text{ср}} = 60$ км/ч.

2. Шарик массой $m = 100$ г подвешен на двух одинаковых нитях длиной $a = 1$ м каждая так, что точки подвеса нитей расположены на одной горизонтали. Расстояние между точками подвеса

нитей равно $b = 1$ м. Найдите силу натяжения T правой нити сразу после пережигания левой нити. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Нити считайте нерастяжимыми. Ответ округлите до двух знаков после запятой.

2. Решение. После того, как одну из нитей пережгут, шарик начнет двигаться по дуге окружности радиуса a . В начальный момент скорость шарика и его центростремительное ускорение будут равны нулю. Отсюда следует, что сумма сил, действующих на шарик в направлении нити, также равна нулю. Величина силы натяжения нити в этот момент определяется формулой $T = mg \cos \varphi$, где g – ускорение свободного падения, φ – начальный угол отклонения нити от вертикали. Косинус этого угла выражается формулой $\cos \varphi = \sqrt{1 - (b/2a)^2}$. Отсюда получаем $(T/mg)^2 = 1 - (b/2a)^2$ и $T = mg\sqrt{1 - (b/2a)^2} \approx 0,87$ Н. **Ответ:** $T = mg\sqrt{1 - (b/2a)^2} \approx 0,87$ Н.



3. В вертикально расположенном цилиндре находится кислород массой $m = 64$ г, отделенный от атмосферы поршнем, который соединен с дном цилиндра пружиной жесткостью $k = 8,3 \cdot 10^2$ Н/м. При температуре $T_1 = 300$ К поршень располагается на расстоянии $h = 1$ м от дна цилиндра. До какой температуры T_2 надо нагреть кислород, чтобы поршень расположился на высоте $H = 1,5$ м от дна цилиндра? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль·К), молярная масса кислорода $M = 32$ г/моль.

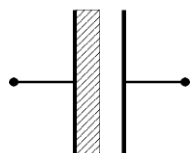
Ответ приведите по шкале Кельвина, округлив его до одного знака после запятой.

3. Решение. Обозначим через M_0 массу поршня, а через p_0 – атмосферное давление. На поршень действуют в общем случае четыре силы: сила тяжести M_0g , сила упругости пружины kx (x – удлинение пружины) и сила атмосферного давления p_0S , направленные вниз, и сила давления газа в цилиндре pS , направленная вверх. Условия равновесия поршня в начальном и конечном состояниях имеют вид: $M_0g + p_0S + kx_1 = p_1S$, $M_0g + p_0S + kx_2 = p_2S$. Здесь p_1 и p_2 – давления газа в начальном и конечном состояниях. Вычитая из второго уравнения первое, получаем: $p_2 - p_1 = \frac{k}{S}(x_2 - x_1) = \frac{k}{S}(H - h)$. С другой стороны, из уравнения Менделеева–Клапейрона,

записанного для начального и конечного состояний газа: $p_1hS = \frac{m}{M}RT_1$, $p_2HS = \frac{m}{M}RT_2$, вытекает,

что $p_2 - p_1 = \frac{mR}{MS} \left(\frac{T_2}{H} - \frac{T_1}{h} \right)$. Приравняв разности давлений газа, найденные этими способами,

получаем $T_2 = T_1 \frac{H}{h} + \frac{MkH(H - h)}{mR} = 487,5$ К. **Ответ:** $T_2 = T_1 \frac{H}{h} + \frac{MkH(H - h)}{mR} = 487,5$ К.



4. В плоский воздушный конденсатор вставили диэлектрическую пластину так, что она заняла половину пространства между обкладками конденсатора (см. рисунок). При этом емкость конденсатора увеличилась в $n = 1,6$ раз. Определите диэлектрическую проницаемость ϵ пластины. Ответ округлите до целых.

4. Решение. Емкость конденсатора с диэлектриком $C = \frac{q}{u}$, где $u = \frac{d}{2} \cdot (E + E_0)$, d – расстояние между пластинами конденсатора, $E = \frac{E_0}{\varepsilon}$ – напряженность поля в диэлектрике, E_0 – напряженность поля в пространстве, свободном от диэлектрика. Отсюда $C = \frac{2q\varepsilon}{dE_0(\varepsilon + 1)}$. Емкость пустого конденсатора $C_0 = \frac{q}{dE_0}$. Таким образом, $n = \frac{C}{C_0} = \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1}$. Отсюда $\varepsilon = \frac{n}{2 - n} = 4$.

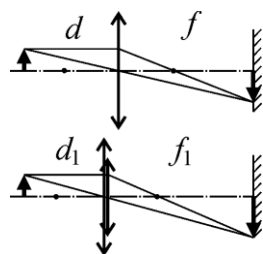
Ответ: $\varepsilon = \frac{n}{2 - n} = 4$.

5. На расстоянии $f = 15$ м от объектива проекционного аппарата расположен экран с размерами 2×3 м. На экране получено четкое изображение диапозитива, имеющего размеры 24×36 мм. При этом изображение занимает половину площади экрана. Рассчитайте оптическую силу D тонкой линзы, которую следует вплотную приставить к объективу проекционного аппарата, чтобы четкое изображение точно уложилось в размеры экрана. Объектив проекционного аппарата считайте тонкой линзой. Ответ приведите в диоптриях, округлив до одного знака после запятой

5. Решение. Условие задачи допускает два равноценных подхода к решению. В первом подходе естественно предположить, что объектив проекционного аппарата остается неподвижным, а формирование резкого изображения на экране достигается путем перемещения диапозитива. Как известно, линейное увеличение Γ , даваемое линзой, может быть рассчитано по формуле $\Gamma = \frac{f}{d}$, где d – расстояние от диапозитива до линзы (объектива), а f – расстояние от линзы до экрана, которое не изменяется. Из формулы тонкой линзы следует, что оптическая сила линзы $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{f}(\Gamma + 1)$. При сдвинутых вплотную тонких линзах их оптические силы складываются. Обозначив через D_0 оптическую силу объектива диапроектора, а через D – оптическую силу добавочной линзы, имеем: $D_0 = \frac{1}{f}(\Gamma_0 + 1)$, $D + D_0 = \frac{1}{f}(\Gamma + 1)$, откуда $D = \frac{1}{f}(\Gamma - \Gamma_0)$. Учитывая, что конечное увеличение $\Gamma = \frac{2000}{24} = \frac{3000}{36} \approx 83,3$, а начальное $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9$, находим, что $D \approx 1,6$ дптр.

Второй подход предполагает, что диапозитив остается неподвижным, а после прижатия к объективу дополнительной линзы, для фокусировки изображения на экран перемещают объектив. В этом случае расстояние между диапозитивом и экраном не изменяется, поэтому

Ответ: $D = \frac{1}{f}(\Gamma - \Gamma_0) \approx 1,6$ дптр, где $\Gamma = \frac{2000}{24} \approx 83,3$; $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9$.



В рамках второго подхода можно считать, что диапозитив остается неподвижным, а после прижатия к объективу дополнительной линзы, для фокусировки изображения на экран перемещают объектив. В этом случае расстояние между диапозитивом и экраном не изменяется, поэтому

$d + f = d_1 + f_1$, где d – первоначальное расстояние от диапозитива до объектива, а f – первоначальное расстояние от объектива до экрана, d_1 и f_1 – те же расстояния после прижимания дополнительной линзы (см. рисунок). По формуле линзы имеем $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D_0$, $\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = D_0 + D$, где

D_0 – оптическая сила объектива диапроектора, а D – оптическая сила добавочной линзы. Отсюда

$$D = \frac{f_1 + d_1}{d_1 f_1} - \frac{f + d}{df} = (f + d) \left(\frac{1}{d_1 f_1} - \frac{1}{df} \right). \text{ Увеличение, даваемое объективом, } \Gamma_0 = \frac{f}{d}, \text{ увеличение,}$$

даваемое объективом с добавочной линзой, $\Gamma = \frac{f_1}{d_1}$, причем $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}}$. Приведем промежуточные

$$\text{преобразования: } d_1 = \frac{f_1}{\Gamma}, \quad d_1 + f_1 = f_1 \frac{\Gamma + 1}{\Gamma}, \quad d = f \frac{\sqrt{2}}{\Gamma}, \quad d + f = f \frac{\Gamma + \sqrt{2}}{\Gamma}, \quad f_1 = f \frac{\Gamma + \sqrt{2}}{\Gamma + 1},$$

$d_1 = f \frac{\Gamma + \sqrt{2}}{\Gamma(\Gamma + 1)}$. Подставляя записанные выражения в формулу для D , находим, что

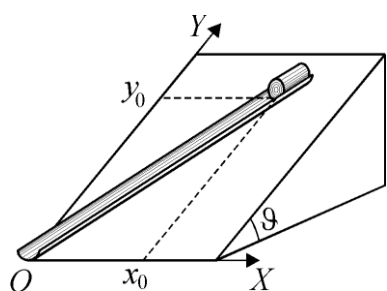
$$D = \frac{(\sqrt{2} - 1)(\Gamma^2 - \sqrt{2})}{\sqrt{2}(\Gamma + \sqrt{2})f}. \text{ По условию } \Gamma = \frac{2000}{24} = \frac{3000}{36} \approx 83,3. \text{ Учитывая, что } \Gamma \gg 1, \text{ это выражение}$$

можно упростить и привести к виду $D \approx \frac{1}{f}(\Gamma - \Gamma_0)$, где $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9$.

$$\text{Ответ: } D = \frac{(\sqrt{2} - 1)(\Gamma^2 - \sqrt{2})}{\sqrt{2}(\Gamma + \sqrt{2})f} \approx \frac{1}{f}(\Gamma - \Gamma_0) \approx 1,6 \text{ дптр, где } \Gamma = \frac{2000}{24} \approx 83,3; \Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9.$$

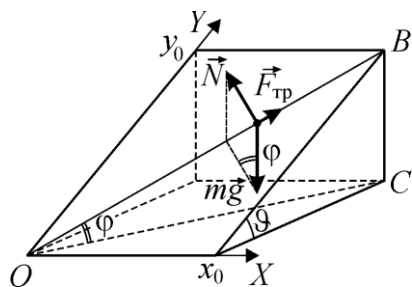
Примечание: Поскольку увеличение изображения достаточно велико ($\Gamma, \Gamma_0 \gg 1$), ответы при обоих подходах практически совпадают. Поэтому оба подхода следует считать правильными.

6. На наклонной плоскости, образующей с горизонтальной поверхностью угол $\vartheta = 30^\circ$, закреплен



желоб, как показано на рисунке. С плоскостью связана координатная система XOY , начало которой совмещено с нижней точкой желоба. По желобу из состояния покоя начинает соскальзывать маленькая гирька. Найдите скорость v гирьки в нижней точке желоба, если начальные координаты гирьки $x_0 = 0,5$ м, $y_0 = 1$ м, а коэффициент трения между гирькой и желобом $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Ответ округлите до одного знака после запятой.

6. **Решение.** Гирька движется по желобу вдоль прямой OB , образующей с горизонталью угол φ , под действием сил, изображенных на рисунке. Здесь m – масса



гирьки, $m\vec{g}$ – сила тяжести, $\vec{N}$ – нормальная составляющая силы реакции желоба, $\vec{F}_{\text{тр}}$ – сила трения скольжения, причем $F_{\text{тр}} = \mu N$ и

$$N = mg \cos \varphi. \text{ Из рисунка видно, что } \cos \varphi = \frac{OC}{OB}, \text{ где}$$

$$OC = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 \cos^2 \vartheta}, \quad OB = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}. \quad \text{Следовательно,}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu mg \frac{\sqrt{x_0^2 + y_0^2 \cos^2 \vartheta}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}. \text{ Работа силы трения при перемещении гирьки из точки } B \text{ в точку } O$$

равна по модулю $A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot OB = \mu mg \sqrt{x_0^2 + y_0^2 \cos^2 \vartheta}$. По закону изменения механической энергии

$$mgy_0 \sin \vartheta = \frac{mv^2}{2} + \mu mg \sqrt{x_0^2 + y_0^2 \cos^2 \vartheta}. \text{ Выражая из этого равенства } v, \text{ получаем, что}$$

$$v = \sqrt{2g(y_0 \sin \vartheta - \mu \sqrt{x_0^2 + y_0^2 \cos^2 \vartheta})} = 2,0 \text{ м/с.}$$

$$\text{Ответ. } v = \sqrt{2g(y_0 \sin \vartheta - \mu \sqrt{x_0^2 + y_0^2 \cos^2 \vartheta})} = 2,0 \text{ м/с.}$$

Второй тур

1. С поверхности земли подброшен вертикально вверх небольшой шарик с начальной скоростью $v_0 = 5 \text{ м/с}$. В тот момент, когда он достиг верхней точки, снизу, с того же места подброшен точно такой же шарик с такой же начальной скоростью. При столкновении шарики слипаются и движутся далее как одно целое. Определите промежуток времени t , в течение которого первый шарик находился в полёте до соприкосновения с поверхностью земли. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ округлите до одного знака после запятой.

1. Решение. Выберем систему отсчета с началом на поверхности земли и координатной осью OY , направленной вертикально вверх. Уравнения движения шариков имеют вид: $y_1(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$,

$y_2(t) = v_0(t - t_0) - \frac{g(t - t_0)^2}{2}$, где $t_0 = \frac{v_0}{g}$ – время подъема первого шарика до верхней точки. Из равенства $y_1(t_1) = y_2(t_1)$ находим, что промежуток времени t_1 от момента подбрасывания первого шарика до столкновения шариков $t_1 = \frac{3}{2} \frac{v_0}{g}$, а высота h , на которой произойдет столкновение,

$$h = \frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g}. \text{ Непосредственно перед столкновением скорости каждого из шариков по величине равны}$$

$$v = \frac{v_0}{2}, \text{ но направлены в противоположные стороны. По закону сохранения импульса сразу после}$$

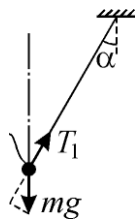
столкновения скорость слипшихся шариков равна нулю. Время их свободного падения на землю с высоты h равно $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{v_0}{2g} \sqrt{3}$. Общее время полёта первого шарика (т.е. искомый

$$\text{промежуток времени) } t = t_1 + t_2 = \frac{v_0}{2g} (3 + \sqrt{3}) \approx 1,2 \text{ с. Ответ: } t = \frac{v_0}{2g} (3 + \sqrt{3}) \approx 1,2 \text{ с.}$$

2. При испытании парашютной системы груз подвесили на двух одинаковых стропах так, что стропы составили с вертикалью одинаковые углы. При этом натяжение каждой стропы составило величину $T = 1000 \text{ Н}$. Затем одну из строп перерезали. В этот момент сила натяжения другой

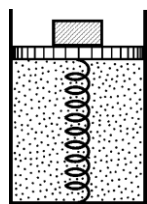
стропы возросла до величины $T_1 = 1200 \text{ Н}$. Пренебрегая размерами груза, определите его массу m . Стропы считайте невесомыми и нерастяжимыми. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ округлите до целых.

2. Решение. Условие равновесия груза, подвешенного на двух стропях, имеет вид $mg = 2T \cos \alpha$, где α – угол, который составляет стропа с вертикалью. В момент, когда одну из строп перерезают, ускорение груза в проекции на направление второй стропы равно нулю. Отсюда $T_1 = mg \cos \alpha$. Решая эту систему уравнений, находим $m = \frac{1}{g} \sqrt{2TT_1} \approx 155 \text{ кг}$.



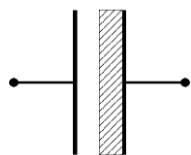
Ответ: $m = \frac{1}{g} \sqrt{2TT_1} \approx 155 \text{ кг}$.

3. Один моль кислорода находится в гладком вертикальном цилиндре под поршнем с грузом. Поршень связан с дном цилиндра пружиной, коэффициент упругости которой $k = 10^4 \text{ Н/м}$. Расстояние от поршня до дна цилиндра $h_1 = 0,3 \text{ м}$. После нагрева кислорода до температуры $T_2 = 450 \text{ К}$ расстояние от поршня до дна цилиндра стало равным $h_2 = 0,4 \text{ м}$. Какой была температура кислорода T_1 перед его нагревом? Универсальную газовую постоянную примите равной $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Ответ приведите по шкале Кельвина, округлив его до целых.



3. Решение. В исходном состоянии условие равновесия поршня имеет вид: $Mg + p_0S + k\Delta x_1 = p_1S$. Здесь M – масса поршня с грузом, S – площадь поршня, Δx_1 – начальное растяжение пружины, p_0 – атмосферное давление, p_1 – начальное давление кислорода под поршнем. После нагрева кислорода условие равновесия поршня примет вид: $Mg + p_0S + k\Delta x_2 = p_2S$. Здесь Δx_2 – конечное растяжение пружины, p_2 – конечное давление под поршнем. Из уравнения состояния кислорода следует, что $p_1V_1 = RT_1$, $p_2V_2 = RT_2$, откуда $p_2 - p_1 = R \left(\frac{T_2}{V_2} - \frac{T_1}{V_1} \right)$. С другой стороны $p_2 - p_1 = \frac{k(h_2 - h_1)}{S}$. Из записанных выражений получаем, что $T_1 = T_2 \frac{h_1}{h_2} - \frac{k h_1 (h_2 - h_1)}{R} \approx 301 \text{ К}$.

Ответ: $T_1 = T_2 \frac{h_1}{h_2} - \frac{k h_1 (h_2 - h_1)}{R} \approx 301 \text{ К}$.



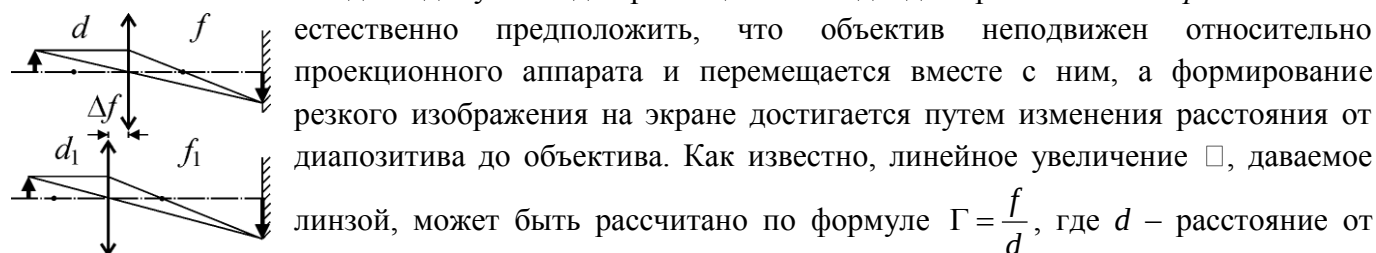
4. Пространство между обкладками плоского конденсатора наполовину заполнено диэлектриком, как показано на рисунке. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\epsilon = 7$. Найдите разность потенциалов между обкладками конденсатора, если напряженность электрического поля в диэлектрике $E = 500 \text{ В/м}$. Расстояние между обкладками $d = 1 \text{ см}$. Ответ округлите до целых.

4. Решение. Обозначим через E_1 напряженность поля в воздушном зазоре конденсатора. По определению диэлектрической проницаемости $E = \frac{E_1}{\epsilon}$ (диэлектрическая проницаемость воздуха

≈ 1). Учитывая связь между напряженностью поля и разностью потенциалов, получаем $U = E_1 \frac{d}{2} + E \frac{d}{2} = E \frac{d}{2} (\varepsilon + 1)$. **Ответ:** $U = E \frac{d}{2} (\varepsilon + 1) = 20$ В.

5. Объектив проекционного аппарата находится на расстоянии $f = 10$ м от экрана, ширина которого 3 м, а высота 2 м. На экране получено четкое изображение диапозитива, занимающее половину площади экрана, причем центр изображения совпадает с центром экрана. На какое расстояние Δf и в какую сторону следует переместить проекционный аппарат, чтобы четкое изображение диапозитива заняло всю площадь экрана? Размеры диапозитива 24×36 мм. Объектив проекционного аппарата считайте тонкой линзой. Ответ округлите до целых. Поставьте перед полученным числом знак «+», если проектор нужно удалить от экрана, или знак «-», если проектор нужно приблизить к экрану.

5. Решение. Условие задачи допускает два равноценных подхода к решению. В первом подходе



естественно предположить, что объектив неподвижен относительно проекционного аппарата и перемещается вместе с ним, а формирование резкого изображения на экране достигается путем изменения расстояния от диапозитива до объектива. Как известно, линейное увеличение Γ , даваемое линзой, может быть рассчитано по формуле $\Gamma = \frac{f}{d}$, где d – расстояние от диапозитива до линзы (объектива), а f – расстояние от линзы до экрана. Из формулы тонкой линзы следует, что оптическая сила линзы $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{f} (\Gamma + 1)$. Оптическая сила остается неизменной,

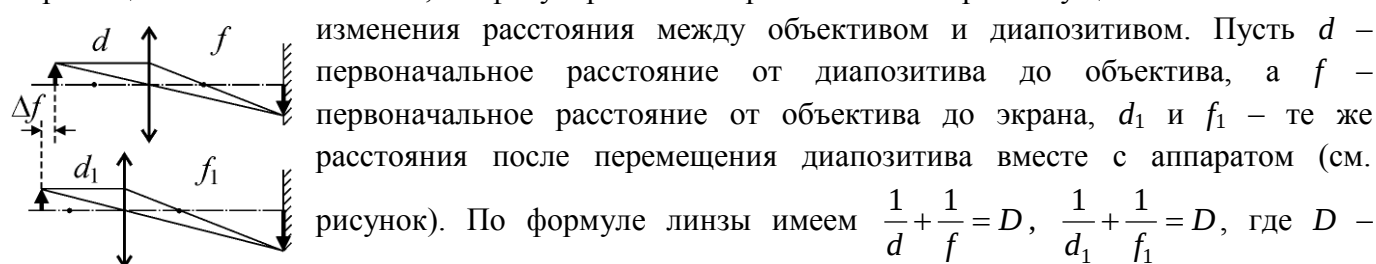
но изменяется расстояние между линзой и экраном. Поэтому справедливо равенство $\frac{1}{f} (\Gamma_0 + 1) = \frac{1}{f_1} (\Gamma + 1)$. Отсюда $\Delta f = f_1 - f = f \frac{\Gamma - \Gamma_0}{\Gamma_0 + 1}$. Учитывая, что конечное увеличение

$\Gamma = \frac{2000}{24} = \frac{3000}{36} \approx 83,3$, а начальное $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9$, находим, что $\Delta f \approx 4$ м, причем проектор

следует удалить от экрана. Поскольку $\Gamma, \Gamma_0 \gg 1$, выражение для Δf можно упростить и привести к виду $\Delta f \approx f(\sqrt{2} - 1)$.

Ответ: $\Delta f = +f \frac{\Gamma - \Gamma_0}{\Gamma_0 + 1} \approx f(\sqrt{2} - 1) \approx +4$ м, где $\Gamma = \frac{2000}{24} \approx 83,3$; $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9$.

В рамках второго подхода можно считать, что диапозитив жестко связан с проектором и перемещается вместе с ним, а фокусировка изображения на экран осуществляется за счет



изменения расстояния между объективом и диапозитивом. Пусть d – первоначальное расстояние от диапозитива до объектива, а f – первоначальное расстояние от объектива до экрана, d_1 и f_1 – те же расстояния после перемещения диапозитива вместе с аппаратом (см. рисунок). По формуле линзы имеем $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D$, $\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = D$, где D – оптическая сила объектива диапроектора. Искомое смещение аппарата вместе с диапозитивом

$\Delta f = d_1 + f_1 - (d + f)$. Увеличение, даваемое объективом несмещенного аппарата, $\Gamma_0 = \frac{f}{d}$, увеличение, даваемое объективом смещенного аппарата, $\Gamma = \frac{f_1}{d_1}$, причем $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}}$. Приведем

промежуточные преобразования: $d_1 = \frac{f_1}{\Gamma}$, $d_1 + f_1 = f_1 \frac{\Gamma + 1}{\Gamma}$, $d = f \frac{\sqrt{2}}{\Gamma}$, $d + f = f \frac{\Gamma + \sqrt{2}}{\Gamma}$,

$\frac{f_1 + d_1}{d_1 f_1} = \frac{f + d}{df}$, $f_1 = f \frac{\sqrt{2}(\Gamma + 1)}{\Gamma + \sqrt{2}}$. Из записанных выражений, получаем, что

$\Delta f = \frac{(\sqrt{2} - 1)(\Gamma^2 - \sqrt{2})}{\Gamma(\Gamma + \sqrt{2})} f$, причем проектор следует удалить от экрана. По условию

$\Gamma = \frac{2000}{24} = \frac{3000}{36} \approx 83,3$. Поскольку $\Gamma \gg 1$, последнее выражение можно упростить и привести к

виду $\Delta f \approx f \frac{\Gamma - \Gamma_0}{\Gamma_0 + 1} \approx f(\sqrt{2} - 1) \approx 4,14$ м.

Ответ: $\Delta f = \frac{(\sqrt{2} - 1)(\Gamma^2 - \sqrt{2})}{\sqrt{2}\Gamma(\Gamma_0 + 1)} f \approx f \frac{\Gamma - \Gamma_0}{(\Gamma_0 + 1)} \approx f(\sqrt{2} - 1) \approx 4$ м, где $\Gamma = \frac{2000}{24} \approx 83,3$; $\Gamma_0 = \frac{\Gamma}{\sqrt{2}} \approx 58,9$.

Поскольку увеличение изображения достаточно велико ($\Gamma, \Gamma_0 \gg 1$), ответы при обоих подходах практически совпадают. Поэтому оба подхода следует считать правильными.

6. Груз массой $M = 1$ кг подвешен к неподвижной опоре на легкой пружине. Удерживая груз в положении равновесия, на него кладут брусок массой $m = 0,2$ кг, а затем отпускают. С какой максимальной силой $F_{\max}$ брусок будет действовать на груз в процессе движения? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ответ округлите до двух знаков после запятой.

6. Решение. Из условия равновесия неподвижно висящего груза $kx_0 = Mg$ следует, что удлинение

пружины при этом равно $x_0 = \frac{Mg}{k}$, где k – жесткость пружины. Выберем начало отсчета

потенциальной энергии в точке, совпадающей с концом недеформированной пружины. Учитывая, что при максимальном растяжении пружины ($x = x_{\max}$) скорость груза с бруском обращается в

нуль, запишем закон сохранения энергии: $\frac{kx_0^2}{2} - (M + m)gx_0 = \frac{kx_{\max}^2}{2} - (M + m)gx_{\max}$. Подставляя

сюда x_0 , находим, что $x_{\max} = \frac{(M + 2m)g}{k}$. Запишем далее уравнения движения для груза с бруском

и отдельно для бруска: $(M + m)a = (M + m)g - kx$, $ma = mg - F$. Отсюда сила, с которой груз

действует на брусок, $F = \frac{mkx}{M + m}$. Максимальное значение эта сила принимает при $x = x_{\max}$.

Объединяя записанные выражения, получаем, что $F_{\max} = mg \frac{M + 2m}{M + m} \approx 2,33 \text{ Н}$. **Ответ.**

$$F_{\max} = mg \frac{M + 2m}{M + m} \approx 2,33 \text{ Н}.$$

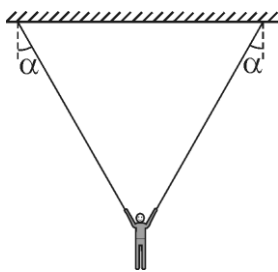
Третий тур

1. Две планеты движутся по круговым орбитам вокруг массивной звезды. Радиус орбиты второй планеты больше радиуса орбиты первой планеты в $k = 4$ раза. Найдите период обращения второй планеты, если известно, что период обращения первой планеты $T_1 = 100$ суток. Гравитационным взаимодействием между планетами можно пренебречь. Ответ приведите в сутках, округлив до целых.

1 Решение. По второму закону Ньютона, используя выражение для центростремительного ускорения и силы всемирного тяготения, имеем $m \cdot \frac{v^2}{R} = G \frac{m \cdot M}{R^2}$. Период обращения по круговой

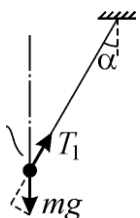
орбите равен $T = \frac{2\pi R}{v}$. Таким образом, $\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3$, как это и следует из третьего закона

Кеплера. Отсюда получаем, что $T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{3/2}$. **Ответ:** $T_2 = T_1 \cdot k^{3/2} = 800$ суток.



2. Перед выполнением упражнения гимнаст массой 60 кг висит неподвижно, держась за два кольца. При этом канаты, на которых подвешены кольца, образуют с вертикалью одинаковые углы $\alpha = 30^\circ$. На какую величину ΔF увеличится нагрузка на правую руку гимнаста в тот момент, когда он резко отпустит левое кольцо? Размером тела гимнаста по сравнению с длиной канатов можно пренебречь. Канаты считайте невесомыми и нерастяжимыми. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ

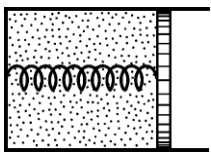
округлите до целых.



2. Решение. В начальном положении сумма сил, действующих на гимнаста, равна нулю. Отсюда $mg = 2T \cos \alpha$, где m – масса гимнаста, g – ускорение свободного падения, T – сила натяжения каната, равная нагрузке на каждую руку спортсмена. В момент, когда гимнаст отпускает левое кольцо, нагрузка на его правую руку выражается формулой $T_1 = mg \cos \alpha$. Это уравнение выражает тот факт, что ускорение спортсмена в направлении каната, а также сумма сил, действующих на него в этом направлении,

равны нулю. Отсюда $\Delta F = T_1 - T = mg \left(\cos \alpha - \frac{1}{2 \cos \alpha} \right) = \frac{mg}{2\sqrt{3}} \approx 173 \text{ Н}$.

Ответ: $\Delta F = mg \left(\cos \alpha - \frac{1}{2 \cos \alpha} \right) = \frac{mg}{2\sqrt{3}} \approx 173 \text{ Н}$.

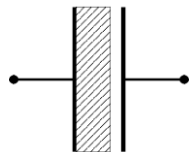


3. В цилиндрическом сосуде, расположенном горизонтально, находится смесь газов, стоящая из $\nu_1 = 0,5$ моль азота и $\nu_2 = 0,5$ моль аргона при температуре $T_1 = 300$ К. Гладкий подвижный поршень связан с дном сосуда пружиной. Расстояние от поршня до дна цилиндра $h = 0,5$ м. После нагрева смеси газов до температуры $T_2 = 420$ К поршень сдвинулся на $\Delta h = 0,1$ м. Каков коэффициент жесткости пружины k ? Универсальную газовую постоянную примите равной $R = 8,3$ Дж/(моль·К). Ответ приведите в килоньютонах на метр, округлив до одного знака после запятой.

3. Решение. В исходном состоянии смеси газов условие равновесия поршня имеет вид $p_0 S + k \Delta x_1 = p_1 S$. Здесь S – площадь поршня, Δx_1 – начальное растяжение пружины, p_0 – атмосферное давление, p_1 – начальное давление газа. После нагрева смеси газов условие равновесия поршня примет вид: $p_0 S + k \Delta x_2 = p_2 S$. Здесь Δx_2 – растяжение пружины, а p_2 – давление смеси газов после нагрева. Вычитая из второго уравнения первое, получаем: $p_2 - p_1 = \frac{k}{S} (\Delta x_2 - \Delta x_1) = \frac{k}{S} \Delta h$. С другой стороны, из уравнения Менделеева–Клапейрона, записанного для начального и конечного состояний смеси газов: $p_1 h S = (\nu_1 + \nu_2) R T_1$, $p_2 (h + \Delta h) S = (\nu_1 + \nu_2) R T_2$, вытекает, что $p_2 - p_1 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R}{S} \left(\frac{T_2}{h + \Delta h} - \frac{T_1}{h} \right)$. Приравнявая разности давлений смеси, найденные этими способами, получаем, что $k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R [T_2 - T_1 (1 + \Delta h / h)]}{\Delta h (h + \Delta h)}$.

Ответ: $k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R [T_2 - T_1 (1 + \Delta h / h)]}{\Delta h (h + \Delta h)} = 8,3$ кН/м.

4. Расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора $d = 2$ см. Пространство между пластинами частично заполнено диэлектриком, как показано на рисунке. Толщина слоя диэлектрика $d_1 = 1,5$ см. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика $\varepsilon = 5$. Найдите напряженность E электрического поля в воздушном зазоре, если разность потенциалов между пластинами конденсатора $U = 3,2$ В. Ответ округлите до целых.



4. Решение. По определению диэлектрической проницаемости, напряженность поля в диэлектрике равна $\frac{E}{\varepsilon}$. Учитывая связь между разностью потенциалов и напряженностью однородного поля, получаем, что $U = E(d - d_1) + \frac{E}{\varepsilon} d_1$. Отсюда $E = \frac{\varepsilon U}{\varepsilon(d - d_1) + d_1}$. **Ответ:** $E = \frac{\varepsilon U}{\varepsilon(d - d_1) + d_1} = 400$ В/м.

5. Объектив проекционного аппарата находится на расстоянии $f = 4,0$ м от экрана. При этом резкое изображение диапозитива занимает $k = 0,25$ площади экрана. Для того чтобы резкое изображение заняло весь экран, проекционный аппарат пришлось дополнительно отодвинуть от экрана так, что его объектив переместился от своего первоначального положения на $l = 3,9$ м. Найдите фокусное расстояние F объектива проекционного аппарата, считая, что он является тонкой линзой, а диапозитив неподвижен относительно корпуса аппарата. Отношение сторон прямоугольного

экрана совпадает с отношением сторон диапозитива. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до целых.

5. Решение. Обозначим через d_1 и d_2 расстояния от диапозитива до объектива проектора в первом и во втором случаях. Увеличения изображения диапозитива в первом и во втором случаях равны соответственно $\Gamma_1 = \frac{f}{d_1}$, $\Gamma_2 = \frac{f+l}{d_2}$, причем по условию $\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} = \sqrt{k}$. Используя формулу линзы для двух положений проектора, а также записанные выше выражения, получаем систему уравнений:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f+l} = \frac{1}{F}, \quad \frac{f}{d_1} = \sqrt{k} \frac{f+l}{d_2}.$$

Исключая из этих уравнений d_1 и d_2 , находим $F = \frac{f(1-\sqrt{k})-l\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}}$.

Ответ: $F = \frac{f(1-\sqrt{k})-l\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} = 10$ см.

6. Для полива садового участка используется подсоединенная к водопроводу короткая тонкая труба, установленная у поверхности земли под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В некоторый момент времени садовод начал плавно открывать кран, подающий воду в трубу, в результате чего скорость v струи, вытекающей из трубы, стала возрастать со временем t по закону $v = kt$, где $k = 2$ м/с². Найдите ускорение a , с которым двигалась по горизонтальной поверхности земли точка падения водяной струи. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с². Ответ округлите до двух знаков после запятой.

6. Решение. Рассмотрим частицу струи, вылетевшую из трубы в момент времени t и имеющую скорость $v = kt$. Длительность полета этой частицы $\tau = \beta t$, ее приземление происходит в момент времени $T = t + \tau = (1 + \beta)t$, где для краткости введено обозначение $\beta = \frac{2k \sin \alpha}{g}$. Координата точки

падения выделенной частицы $x = \frac{(kt)^2}{g} \sin 2\alpha$. Искомое ускорение $a = \frac{d^2 x}{dT^2} = \frac{1}{(1 + \beta)^2} \frac{d^2 x}{dt^2}$. Из

записанных выражений следует, что $a = \frac{2g k^2 \sin 2\alpha}{(g + 2k \sin \alpha)^2} \approx 0,48$ м/с².

Ответ. $a = \frac{2g k^2 \sin 2\alpha}{(g + 2k \sin \alpha)^2} \approx 0,48$ м/с².

Максимальные баллы за решения задач для 10-х – 11-х классов

Задача	Максимальный балл
Разминочная	5
1	15
2	15
3	15
4	15
5	15
6	20
Всего	100

Олимпиада «Ломоносов 2012 – 2013» по физике
Заключительный этап

Задание для учащихся 7-х – 9-х классов

В 2012/13 году на финальном (заключительном) этапе для 7-9 классов каждое из 4 заданий оценивалось в 25 баллов.

1. Два автобуса выехали с автостанции друг за другом с интервалом $\tau_1 = 10$ мин и, набрав за одно и тоже время скорость $v = 60$ км/ч, отправились в другой город. По дороге они обогнали движущегося в том же направлении велосипедиста. Какова скорость велосипедиста u , если автобусы проехали мимо него с интервалом $\tau_2 = 15$ мин? Ответ приведите в км/ч, округлив до целых.

1. Решение. Расстояние между автобусами равно $l = v\tau_1$. Интервал времени $\tau_2 = \frac{l}{v-u}$. Отсюда $u = \frac{v(\tau_2 - \tau_1)}{\tau_2} = 20$ км/ч.

Ответ: $u = \frac{v(\tau_2 - \tau_1)}{\tau_2} = 20$ км/ч.



2. Античные монеты часто чеканились из электра – сплава золота и серебра. Археолог, найдя такую монету, взвесил её. Оказалось, что вес монеты в воде отличается от её веса в воздухе на $k = 8\%$. Какова массовая доля X золота в этой монете? Считайте, что плотности золота и серебра больше плотности воды в $n_1 = 20$ и $n_2 = 10$ раз соответственно. Ответ приведите в процентах, округлив до целых.

2. Решение. Вес монеты на воздухе $P = (m_1 + m_2)g$, в воде вес уменьшается на величину архимедовой силы и $\Delta P = \rho_0(m_1/\rho_1 + m_2/\rho_2)g$. Здесь m_1 и ρ_1 – масса и плотность золота; m_2 и ρ_2 – масса и плотность серебра, ρ_0 – плотность воды, g – ускорение свободного падения.

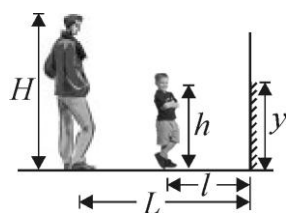
Относительное уменьшение веса монеты в воде $k = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\rho_0}{\rho_2} - X \left(\frac{\rho_0}{\rho_2} - \frac{\rho_0}{\rho_1} \right) = \frac{1}{n_2} - X \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) = 0,08$; где $X = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$. Отсюда следует, что $X = \frac{n_1(1 - n_2k/100\%)}{n_1 - n_2}$. **Ответ:** $X = \frac{n_1(1 - n_2k/100\%)}{n_1 - n_2} = 0,4$, или 40%.

3. В калориметр с водой влили одну ложку тёплой воды. В результате установившаяся в калориметре температура превысила на $\Delta t_1 = 5^\circ\text{C}$ первоначальную температуру. После вливания ещё одной ложки той же тёплой воды установившаяся температура увеличилась ещё на $\Delta t_2 = 3^\circ\text{C}$. Пренебрегая теплообменом калориметра и его содержимого с окружающими телами, определите, на какую величину Δt температура наливаемой в калориметр тёплой воды превышает первоначальную температуру калориметра с водой. Ответ приведите в градусах Цельсия, округлив до целых.

3. Решение. Пусть C_k – теплоёмкость калориметра и содержащейся в нём первоначально воды, C_b – теплоёмкость порции тёплой воды, содержащейся в ложке, t_0 – первоначальная температура калориметра и содержащейся в нём воды, $t_{тв}$ – температура теплой воды, t_1 – установившаяся в калориметре температура после вливания одной ложки тёплой воды, t_2 – установившаяся в калориметре температура после вливания двух ложек тёплой воды. Уравнения теплового баланса имеют вид: $C_k(t_1 - t_0) = C_b(t_{тв} - t_1)$, $C_k(t_2 - t_0) = 2C_b(t_{тв} - t_2)$. Учитывая, что по условию $t_{тв} - t_0 = \Delta t$, $t_1 - t_0 = \Delta t_1$, $t_2 - t_0 = \Delta t_1 + \Delta t_2$, из записанных уравнений находим, что $\Delta t = \frac{(\Delta t_1 + \Delta t_2)\Delta t_1}{\Delta t_1 - \Delta t_2} = 20^\circ\text{C}$.

Ответ: $\Delta t = \frac{(\Delta t_1 + \Delta t_2)\Delta t_1}{\Delta t_1 - \Delta t_2} = 20^\circ\text{C}$.

4. Отец с сыном стоят напротив плоского зеркала, закрепленного на вертикальной стене, причем нижний край зеркала находится у пола. Расстояние от зеркала до сына $l = 3$ м, а расстояние от зеркала до его отца $L = 6$ м. На каком минимальном расстоянии y от пола должен находиться верхний край зеркала, чтобы сын мог видеть в зеркале отца в полный рост? Расстояние от пола до уровня глаз сына $h = 1,2$ м, рост отца $H = 1,8$ м. Ответ приведите в метрах, округлив до одного знака после запятой.



4. Решение. Ход луча света, идущего от верхней части головы отца и попадающего в глаз сыну, показан на рисунке. С учетом закона отражения, из подобия изображенных на рисунке треугольников следует равенство $\frac{X}{L} = \frac{x}{l}$. Кроме того, справедливы соотношения $H - X = h + x = y$. Решая записанную систему уравнений, находим $y = \frac{Hl + hL}{l + L} = 1,4$ м. **Ответ:** $y = \frac{Hl + hL}{l + L} = 1,4$ м.

Максимальная оценка за полностью выполненное задание - 100 баллов.

Задание для учащихся 10-х -11-х классов.

В 2012/13 году на финальном (заключительном) этапе каждое из 4 заданий оценивалось в 25 баллов, из которых 10 - максимальная оценка за теоретическую часть, 15 - максимальная оценка за задачу.

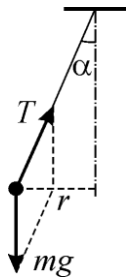
Вариант № 1

1.4.1. Дайте определение угловой скорости точки при ее равномерном движении по окружности. Запишите формулу для вычисления ускорения точки при таком движении.

Задача. Свинцовый шар массой $m = 1$ кг, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длиной $L = 1$ м в камере, из которой откачан воздух, движется по окружности в горизонтальной плоскости, совершая $n = 60$ оборотов в минуту. При этом нить всё время натянута. В некоторый момент времени в камеру впустили воздух. Какую работу A совершит сила сопротивления воздуха за время, в течение которого угловая скорость движения шара уменьшится в 2 раза? Считайте, что

сила сопротивления достаточно мала. Размерами шара можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение. Пусть нить, на которой подвешен шар, образует с вертикалью угол α (см. рисунок). По второму закону Ньютона имеем: $m\omega^2 r = T \sin \alpha$, $mg = T \cos \alpha$, где m – масса шара, $\omega = 2\pi n$ – угловая скорость движения шара по окружности, $r = L \sin \alpha$ – радиус этой окружности,



T – натяжение нити, g – модуль ускорения свободного падения. Из этих уравнений находим, что $\cos \alpha = \frac{g}{(2\pi n)^2 L}$. Потенциальная энергия шара относительно его нижнего

положения $E_{\text{п}} = mgL(1 - \cos \alpha)$. Кинетическая энергия шара

$E_{\text{к}} = \frac{m(\omega r)^2}{2} = \frac{m}{2}(2\pi n L \sin \alpha)^2$. Полная механическая энергия шара $E(n) = E_{\text{п}}(n) + E_{\text{к}}(n)$. Искомая работа $A = E(n) - E(n/2)$. С учётом уменьшения угла отклонения нити от вертикали находим, что

$$A = \frac{3}{2} m \left((\pi n L)^2 + \frac{3g^2}{4(\pi n)^2} \right) \approx 25,7 \text{ Дж. Ответ: } A = \frac{3}{2} m \left((\pi n L)^2 + \frac{3g^2}{4(\pi n)^2} \right) \approx 25,7 \text{ Дж.}$$

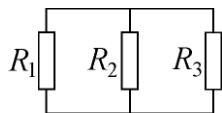
2.9.1. Какие виды парообразования вы знаете? Что такое удельная теплота парообразования?

Задача. В сосуде находится влажный воздух. При изотермическом сжатии его объем уменьшился в 5 раз, а давление увеличилось в 3 раза. При дальнейшем изотермическом сжатии в 3 раза давление в итоге стало в 7 раз больше первоначального. Какую относительную влажность φ имел воздух до начала сжатия?

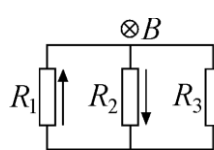
Решение. При первом сжатии давление смеси сухого воздуха и водяного пара в сосуде возросло менее чем в пять раз, поэтому пар стал насыщенным и частично сконденсировался. При дальнейшем сжатии давление пара $p_{\text{н}}$ уже не менялось. Пренебрежем объемом сконденсировавшейся воды. Парциальное давление сухого воздуха при первом сжатии возросло в 5 раз, а при втором – еще в 3 раза. Полное давление влажного воздуха до начала сжатия равнялось $p_{\text{п}} + p_{\text{в}}$, где $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{в}}$ – парциальные давления пара и сухого воздуха соответственно. По условию задачи получаем: $p_{\text{н}} + 5p_{\text{в}} = 3(p_{\text{п}} + p_{\text{в}})$, $p_{\text{н}} + 15p_{\text{в}} = 7(p_{\text{п}} + p_{\text{в}})$. Отсюда $3p_{\text{н}} = 5p_{\text{п}}$. Следовательно, первоначальная влажность равна $\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}} \cdot 100\% = 60\%$. **Ответ:** $\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}} \cdot 100\% = 60\%$.

3.3.1. Как определяется модуль и направление вектора магнитной индукции? Что такое линии магнитной индукции?

Задача. Изображенный на рисунке электрический контур находится в магнитном поле с индукцией $B_0 = 1 \text{ Тл}$, направленной по нормали к контуру. Площадь каждой половины контура $S = 0,1 \text{ м}^2$, сопротивления резисторов равны: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 2,5 \text{ Ом}$. Индукция магнитного поля уменьшается до нуля по закону $B = B_0 - \alpha t$, где $\alpha = 1 \text{ Тл/с}$. Какое количество теплоты выделилось при этом на сопротивлении R_2 ?



Решение. Пусть магнитная индукция B направлена так, как показано рисунке. Согласно правилу



Ленца, возникающие при выключении магнитного поля ЭДС индукции, вызывают в каждом из малых контуров индукционные токи, текущие по часовой стрелке. Обозначим направления токов через резисторы стрелками на рисунке.

По правилам Кирхгофа имеем: $\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_2 R_2$; $\mathcal{E} = I_3 R_3 - I_2 R_2$; $I_1 = I_2 + I_3$.

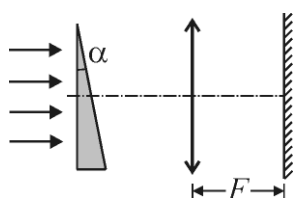
Учитывая, что величина ЭДС индукции в каждом малом контуре равна $\mathcal{E} = \alpha S$, получаем, что

$$I_2 = \frac{\alpha S (R_3 - R_1)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}. \text{ По закону Джоуля–Ленца } Q_2 = I_2^2 R_2 t_0, \text{ где } t_0 = \frac{B_0}{\alpha}.$$

Ответ: $Q_2 = \alpha B_0 R_2 \left[\frac{S(R_3 - R_1)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \right]^2 = 0,5 \text{ мДж}.$

4.5.1. Дайте определение светового луча. Сформулируйте законы отражения света.

Задача. Параллельный пучок света падает на оптическую систему, состоящую из призмы с малым



преломляющим углом $\alpha = 0,05$ рад. и линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см, в фокальной плоскости которой расположен экран (см. рисунок).

Пучок собирается на экране в точке, находящейся на расстоянии $d = 0,5$ см от главной оптической оси линзы. Определите показатель преломления призмы n . При вычислениях используйте приближенные равенства

$\sin \vartheta \approx \tan \vartheta \approx \vartheta$, где ϑ – малый угол, выраженный в радианах.

Решение. По закону преломления для луча, выходящего из призмы,

имеем $n \sin \alpha = \sin \beta$, где α – угол преломления. Поскольку углы α и β

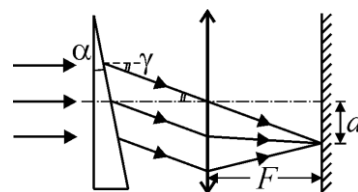
малые, то $n\alpha \approx \beta$. Поэтому угол отклонения падающего на призму луча

от первоначального направления $\gamma = \beta - \alpha = (n - 1)\alpha$. Угол между

главной оптической осью линзы и побочной осью, параллельной

падающим на линзу лучам, также равен γ . Отсюда $d = F \cdot \tan \gamma \approx F\gamma = F(n - 1)\alpha$. Следовательно,

$$n = 1 + \frac{d}{F\alpha} = 1,5. \text{ Ответ: } n = 1 + \frac{d}{F\alpha} = 1,5.$$



Вариант № 2

1.4.2. Дайте определение кинетической энергии материальной точки и определение потенциальной энергии механической системы.

Задача. Тело пренебрежимо малых размеров массой $m = 1$ кг, подвешенное на невесомой

нерастяжимой нити длиной $L = 1$ м в вакуумной камере, движется по окружности в

горизонтальной плоскости, совершая $n = 60$ оборотов в минуту. При этом нить всё время натянута.

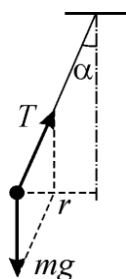
В некоторый момент времени в камеру впустили воздух. К тому моменту, когда сила

сопротивления воздуха совершила работу $A = 25,7$ Дж, угловая скорость движения тела

уменьшилась в k раз. Определите значение k , считая силу сопротивления воздуха достаточно

малой. Ускорение свободного падения примите равным $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение. Пусть нить, на которой подвешено тело, образует с вертикалью угол α (см. рисунок). По второму закону Ньютона имеем: $m\omega^2 r = T \sin \alpha$, $mg = T \cos \alpha$, где m – масса тела, $\omega = 2\pi n$ – угловая скорость движения тела по окружности, $r = L \sin \alpha$ – радиус этой окружности,



T – натяжение нити, g – модуль ускорения свободного падения. Из этих уравнений находим, что $\cos \alpha = \frac{g}{(2\pi n)^2 L}$. Потенциальная энергия тела относительно его нижнего

положения $E_{\text{п}} = mgL(1 - \cos \alpha)$. Кинетическая энергия тела

$E_{\text{к}} = \frac{m(\omega r)^2}{2} = \frac{m}{2}(2\pi n L \sin \alpha)^2$. Полная механическая энергия тела $E(n) = E_{\text{п}}(n) + E_{\text{к}}(n)$. Работа

силы сопротивления воздуха $A = E(n) - E(n/k) = \left[2m \cdot \left(\frac{\pi n L}{k} \right)^2 + \frac{3m}{2} \cdot \left(\frac{g}{2\pi n} \right)^2 \right] (k^2 - 1)$. Подставляя

числовые данные, последнее соотношение можно привести к виду $k^4 - 2,6k^2 - 5,4 = 0$. Отсюда $k \approx 2$. **Ответ:** $k \approx 2$.

2.9.2. Что такое насыщенный пар? Как зависят давление и плотность насыщенного пара от температуры?

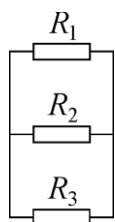
Задача. При изотермическом сжатии влажного воздуха его объем уменьшился в 5 раз, а давление увеличилось в 3 раза. При дальнейшем изотермическом сжатии в 3 раза его давление в итоге стало в 7 раз больше первоначального. Пренебрегая объемом образовавшейся из пара воды, определите, какая часть α водяного пара сконденсировалась в результате этих процессов?

Решение. При первом сжатии давление смеси сухого воздуха и водяного пара в сосуде возросло менее чем в пять раз, поэтому пар стал насыщенным и частично сконденсировался. При дальнейшем сжатии давление пара $p_{\text{н}}$ уже не менялось. Парциальное давление сухого воздуха при первом сжатии возросло в 5 раз, а при втором – еще в 3 раза. Полное давление влажного воздуха до начала сжатия равнялось $p_{\text{п}} + p_{\text{в}}$, где $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{в}}$ – парциальные давления пара и сухого воздуха соответственно. По условию задачи имеем: $p_{\text{н}} + 5p_{\text{в}} = 3(p_{\text{п}} + p_{\text{в}})$, $p_{\text{н}} + 15p_{\text{в}} = 7(p_{\text{п}} + p_{\text{в}})$.

Отсюда $3p_{\text{н}} = 5p_{\text{п}}$. Масса водяного пара до сжатия $m = \frac{p_{\text{п}} V \mu}{RT}$, после сжатия $m_{\text{к}} = \frac{p_{\text{н}} V \mu}{15RT}$.

Следовательно, $\alpha = \frac{m - m_{\text{к}}}{m} = 1 - \frac{p_{\text{н}}}{15p_{\text{п}}} = \frac{8}{9}$. **Ответ:** $\alpha = \frac{8}{9}$.

3.3.2. Дайте определение магнитного потока. В чем состоит явление электромагнитной индукции?



Задача. Электрический контур, состоящий из трех параллельно включенных сопротивлений, находится в магнитном поле с индукцией B_0 , направленной по нормали к контуру. Площадь каждой половины контура $S = 0,1 \text{ м}^2$, сопротивления резисторов равны: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$. Индукция магнитного поля уменьшается до нуля по закону $B = B_0 - \alpha t$, где $\alpha = 1 \text{ Тл/с}$. Какова величина B_0 , если при выключении

магнитного поля на сопротивлении R_2 выделилось количество теплоты $Q_2 = 10^{-3}$ Дж?

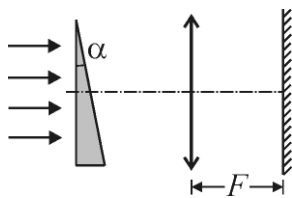
Решение. Пусть магнитная индукция B направлена так, как показано на рисунке. Согласно правилу Ленца, возникающие при выключении магнитного поля ЭДС индукции, вызывают в каждом из малых контуров индукционные токи, текущие по часовой стрелке. Обозначим направления токов через резисторы стрелками на рисунке. По правилам Кирхгофа имеем: $\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_2 R_2$; $\mathcal{E} = I_3 R_3 - I_2 R_2$; $I_1 = I_2 + I_3$. Учитывая, что величина ЭДС индукции в каждом малом контуре равна $\mathcal{E} = \alpha S$, получаем, что

$$I_2 = \frac{\alpha S (R_3 - R_1)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}. \text{ По закону Джоуля-Ленца } Q_2 = I_2^2 R_2 t_0, \text{ где } t_0 = \frac{B_0}{\alpha}. \text{ Отсюда}$$

$$B_0 = \frac{Q_2 (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3)^2}{\alpha R_2 (R_3 - R_1)^2 S^2}. \text{ Ответ: } B_0 = \frac{Q_2 (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3)^2}{\alpha R_2 (R_3 - R_1)^2 S^2} = 0,8 \text{ Тл.}$$

4.5.2. Сформулируйте законы преломления света. Что такое полное внутреннее отражение?

Задача. На оптическую систему, состоящую из призмы с малым преломляющим углом $\alpha = 0,05$ рад. и показателем преломления $n = 1,5$, а также линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см (см. рисунок), падает параллельный пучок света. Определите, на каком расстоянии d от главной оптической оси линзы находится точка, в которой собираются лучи этого пучка. При вычислениях используйте приближенные равенства $\sin \vartheta \approx \tan \vartheta \approx \vartheta$, где ϑ – малый угол, выраженный в радианах.



Решение. По закону преломления для луча, выходящего из призмы, имеем $n \sin \alpha = \sin \beta$, где β – угол преломления. Поскольку углы α и β малые, то $n\alpha \approx \beta$. Поэтому угол отклонения падающего на призму луча от первоначального направления $\gamma = \beta - \alpha = (n - 1)\alpha$. Угол между главной оптической осью линзы и побочной осью, параллельной падающим на линзу лучам, также равен γ . Отсюда $d = F \cdot \tan \gamma \approx F\gamma = F(n - 1)\alpha$.

Ответ: $d \approx F(n - 1)\alpha = 0,5$ см.

Вариант № 3

1.4.3. Сформулируйте закон сохранения механической энергии системы материальных точек. Поясните смысл входящих в этот закон величин.

Задача. Свинцовый шар массой $m = 1$ кг, подвешенный на невесомой нерастяжимой нити длиной $L = 1$ м в камере, из которой откачан воздух, движется по окружности в горизонтальной плоскости, совершая $n = 60$ оборотов в минуту. При этом нить всё время натянута. В некоторый момент времени в камеру впустили воздух. Под действием силы сопротивления воздуха угловая частота движения шара стала уменьшаться. Определите отношение изменения кинетической энергии шара к изменению потенциальной энергии системы «шар – Земля» за промежуток времени, в течение которого угловая частота движения шара уменьшается в 2 раза. Считайте, что

сила сопротивления воздуха достаточно мала. Размерами шара можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение. Пусть нить, на которой подвешен шар, образует с вертикалью угол α (см. рисунок). По

второму закону Ньютона имеем: $m\omega^2 r = T \sin \alpha$, $mg = T \cos \alpha$, где m – масса шара, $\omega = 2\pi n$ – угловая скорость движения шара по окружности, $r = L \sin \alpha$ – радиус этой окружности,

T – натяжение нити, g – модуль ускорения свободного падения. Из этих уравнений

находим, что $\cos \alpha = \frac{g}{(2\pi n)^2 L}$. Потенциальная энергия шара относительно его нижнего

положения $E_{\text{п}} = mgL(1 - \cos \alpha)$. Кинетическая энергия шара

$$E_{\text{к}} = \frac{m(\omega r)^2}{2} = \frac{m}{2} (2\pi n L \sin \alpha)^2. \quad \text{Так как} \quad \Delta E_{\text{п}} = E_{\text{п}}(n) - E_{\text{п}}(n/2) = \frac{3mg^2}{4(\pi n)^2}, \quad \text{а}$$

$$\Delta E_{\text{к}} = E_{\text{к}}(n) - E_{\text{к}}(n/2) = \frac{3}{2} m \left((\pi n L)^2 + \frac{g^2}{(2\pi n)^2} \right), \quad \text{то искомое отношение} \quad \frac{\Delta E_{\text{к}}}{\Delta E_{\text{п}}} = 2 \left(\frac{\pi^2 n^2 L}{g} \right)^2 + \frac{1}{2} \approx 2,5.$$

Ответ: $\frac{\Delta E_{\text{к}}}{\Delta E_{\text{п}}} = 2 \left(\frac{\pi^2 n^2 L}{g} \right)^2 + \frac{1}{2} \approx 2,5.$

2.9.3. Какой процесс называется кипением? Как зависит температура кипения от давлений?

Задача. В сосуде находится воздух с влажностью $\phi = 60\%$. При его изотермическом сжатии объем уменьшился в 5 раз, а давление увеличилось в 3 раза. Пренебрегая объемом образовавшейся из пара воды, найдите отношение β парциального давления сухого воздуха к давлению паров воды до начала сжатия.

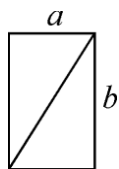
Решение. При сжатии давление смеси сухого воздуха и водяного пара в сосуде возросло менее чем в пять раз, поэтому пар стал насыщенным и частично сконденсировался. Его давление стало равным давлению насыщенного пара $p_{\text{н}}$. Парциальное давление сухого воздуха при сжатии возросло в 5 раз. Полное давление влажного воздуха до начала сжатия равнялось $p_{\text{п}} + p_{\text{в}}$, где $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{в}}$ – парциальные давления пара и сухого воздуха соответственно. По условию задачи имеем:

$$p_{\text{н}} + 5p_{\text{в}} = 3(p_{\text{п}} + p_{\text{в}}). \quad \text{Отсюда} \quad \frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{п}}} + 2 \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{п}}} = 3. \quad \text{Поскольку} \quad \phi = \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{п}}} \cdot 100\%, \quad \text{получаем, что}$$

$$\frac{100\%}{\phi} + 2\beta = 3. \quad \text{Отсюда следует, что} \quad \beta = \frac{2}{3}. \quad \text{Ответ: } \beta = \frac{2}{3}.$$

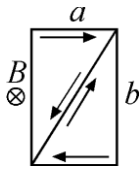
3.3.3. Сформулируйте закон Ампера. Какова по модулю и направлению сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле (сила Лоренца)?

Задача. Изображенный на рисунке электрический контур ($a = 0,1 \text{ м}$; $b = 0,2 \text{ м}$) находится в магнитном поле с индукцией $B_0 = 0,6 \text{ Тл}$, направленной по нормали к контуру. Весь контур, включая диагональ, сделан из одинакового провода, сопротивление одного метра которого составляет $r = 1 \text{ Ом}$. Индукция магнитного поля уменьшается до нуля по закону $B = B_0 - \alpha t$. Какова величина α , если полное количество теплоты, выделившейся в



контуре при выключении магнитного поля, $Q = 4 \cdot 10^{-4}$ Дж?

Решение. Пусть магнитная индукция B направлена так, как показано на рисунке. Согласно правилу Ленца, возникающие при выключении магнитного поля ЭДС индукции, вызывают в



каждом из малых контуров индукционные токи, текущие по часовой стрелке. В силу симметрии сила тока протекающего по диагонали прямоугольника равна нулю, поэтому ток потечет только по периметру контура. Величина ЭДС индукции в контуре

$\mathcal{E} = \alpha S = \alpha ab$, а сила тока, текущего по периметру контура, $I = \frac{\alpha ab}{2r(a+b)}$. По закону

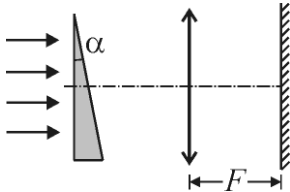
Джоуля–Ленца количество теплоты, выделившееся за время выключения поля, $Q = I^2 R t_0$, где

$t_0 = \frac{B_0}{\alpha}$. Таким образом, $Q = \alpha B_0 \frac{(ab)^2}{2r(a+b)}$.

Ответ: $\alpha = \frac{2Qr(a+b)}{B_0(ab)^2} = 1$ Тл/с.

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

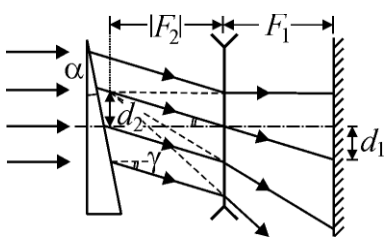
Задача. Параллельный пучок света падает на, призму с малым преломляющим углом $\alpha = 0,05$ рад.



и показателем преломления $n = 1,5$, а затем на собирающую линзу с оптической силой $D_1 = 5$ дптр (см. рисунок). Пучок собирается в точке, находящейся в фокальной плоскости линзы на некотором расстоянии d от ее главной оптической оси. Определите, насколько сместится изображение пучка в направлении, перпендикулярном главной оптической оси, если

собирающую линзу заменить рассеивающей линзой с оптической силой $D_2 = -5$ дптр. При вычислениях используйте приближенные равенства $\sin \vartheta \approx \tan \vartheta \approx \vartheta$, где ϑ – малый угол, выраженный в радианах.

Решение. По закону преломления для луча, выходящего из призмы, имеем $n \sin \alpha = \sin \beta$, где β –



угол преломления. Поскольку углы α и β малые, то $n\alpha \approx \beta$. Поэтому угол отклонения падающего на призму луча от первоначального направления $\gamma = \beta - \alpha = (n-1)\alpha$. Угол между главной оптической осью линзы и побочной осью, параллельной падающим на линзу лучам, также равен γ . Отсюда $d_1 = F_1 \cdot \tan \gamma \approx F_1 \gamma = F_1(n-1)\alpha$, где

$F_1 = \frac{1}{D_1}$ – фокусное расстояние собирающей линзы. Если заменить

собирающую линзу на рассеивающую (см. рисунок), то мнимое изображение пучка будет

располагаться на расстоянии $d_2 \approx |F_2| \gamma = |F_2| (n-1)\alpha$ от главной оптической оси, где $F_2 = \frac{1}{D_2}$.

Искомое смещение изображения пучка по вертикали равно $\Delta y = (F_1 + |F_2|)(n-1)\alpha$.

Ответ: $\Delta y = \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{|D_2|} \right) (n-1)\alpha = 1$ см.

Максимальная оценка за полностью выполненное задание – 100 баллов.



2012/2013 учебный год
КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ¹

олимпиады школьников «ЛОМОНОСОВ»
по ФИЗИКЕ

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ:

Отсутствует.

ПРИЗЁР:

От 61 балла до 100 баллов включительно.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ среди учащихся 7-9 классов:

100 баллов включительно и выше.

ПРИЗЁР (диплом I степени) среди учащихся 7-9 классов:

От 98 баллов до 99 баллов включительно.

ПРИЗЁР (диплом II степени) среди учащихся 7-9 классов:

От 92 баллов до 97 баллов включительно.

ПОБЕДИТЕЛЬ среди учащихся 10-11 классов:

От 81 балла до 100 баллов включительно и выше.

ПРИЗЁР (диплом I степени) среди учащихся 10-11 классов:

От 70 баллов до 80 баллов включительно.

ПРИЗЁР (диплом II степени) среди учащихся 10-11 классов:

От 60 баллов до 69 баллов включительно.

¹ Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по физике.