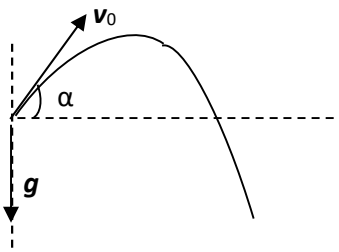
10 класс

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
8	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение.
5-6	Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические).
5	Найдено решение одного из двух возможных случаев.
2-3	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений не полна и невозможно найти решение.
0-1	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении).
0	Решение неверное, или отсутствует.

Задача 1.

Тело брошено с достаточно большой высоты со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Через какое время вектор скорости тела повернется на угол 90^0 по отношению к первоначальному направлению?

Решение:



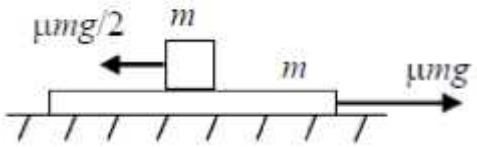
В данном случае имеет место равноускоренное движение тела с ускорением свободного падения ***g*.** Поэтому скорость тела меняется по закону $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{g}t$. Когда вектор $\boldsymbol{v}$ станет перпендикулярен вектору $\boldsymbol{v}_0$, их скалярное произведение должно равняться нулю:

$$(\boldsymbol{v},\boldsymbol{v}_0) = (\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{g}t,\boldsymbol{v}_0) = (\boldsymbol{v}_0,\boldsymbol{v}_0) + (\boldsymbol{g}t,\boldsymbol{v}_0) = v_0^2 + gtv_0\cos\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right) = v_0^2 - gtv_0\sin\alpha = 0.$$

Откуда $t = \dfrac{v_0}{g\sin\sim}$.

Задача 2.

На гладком горизонтальном столе находится дощечка массы m, на которую положен брусок той же массы. Коэффициент трения бруска о дощечку равен μ. В момент t=0 к бруску и дощечке прикладывают противоположно направленные силы μmg/2 и μmg. Найти работу силы μmg/2 и силы μmg за время t.



Решение.

Предположим, что проскальзывание бруска по дощечке отсутствует. Тогда брусок и дощечку можно рассматривать как одно тело массы 2*m*. Запишем для этого тела 2-й закон Ньютона в проекции на направленную вправо ось *x*

$$2ma = \mu mg - \frac{\mu mg}{2}.$$

Отсюда находим ускорение

$$a = \frac{\mu g}{4}.$$

Теперь проверим правильность предположения о совместном движении бруска и дощечки. Для этого из уравнения 2-го закона Ньютона для бруска (или дощечки) необходимо найти силу трения *F*тр и проверить, не превосходит ли она максимально возможное значение μ*mg*. Если значение *F*тр, которая обеспечивает совместность движения бруска и дощечки, окажется меньше максимального значения μ*mg*, то брусок и дощечка действительно движутся вместе, и ускорение

тел найдено верно. В противном случае, сделанное предположение неверно. Из 2-го закона Ньютона, например, для бруска в проекции ось *x* имеем

$$ma = F_{\text{тр}} - \frac{\mu mg}{2},$$

где, как найдено выше, ускорение равно μg/4. Отсюда получаем, что Fтр =3μmg/4 < μmg, что свидетельствует о справедливости сделанного предположения об отсутствии проскальзывания. Значит, правильно и найденное значение ускорения. Таким образом, дощечка и брусок движутся вместе вправо с ускорением μg/4. За время t каждое из тел пройдет путь, равный $\mu gt^2/8$.

Работа силы μmg, которая сонаправлена с перемещением, будет равна $\mu(mgt)^2/8$, а работа силы μmg/2, которая противоположна перемещению, ока-
жется отрицательной и равной $-\mu(mgt)^2/16$.

Задача 3.

Три тела одинаковой массы и одинаковой удельной теплоемкости нагреты до разных температур. Если первое тело привести в тепловой контакт со вторым телом, то устанавливается температура T_1. Если первое тело привести в контакт не со вторым, а с третьим телом, то установится температура T_2. Если же в контакт привести второе и третье тела с их первоначальными температурами, то устанавливается температура T_3. Какой будет установившаяся температура, если в тепловой контакт привести все три тела с их первоначальными температурами?

Решение.

Обозначим начальные температуры первого, второго и третьего тел как T_{10}, T_{20} и T_{30}. Тогда уравнения теплового баланса для трех указанных в условии опытов можно записать в виде

$$cm(T_{10} - T_1) + cm(T_{20} - T_1) = 0,$$
$$cm(T_{10} - T_2) + cm(T_{30} - T_2) = 0,$$
$$cm(T_{20} - T_3) + cm(T_{30} - T_3) = 0.$$

Здесь *c* и *m* – удельная теплоемкость и масса любого из тел. Уравнения теплового баланса записаны в общем виде, не требующем предварительной информации о том, какое из приведенных в контакт тел отдает тепло, а какое получает. Складывая три уравнения, приходим к соотношению

$$T_{10} + T_{20} + T_{30} = T_1 + T_2 + T_3.$$

Уравнение теплового баланса для случая, когда в тепловой контакт приводят все три тела, можно записать в виде

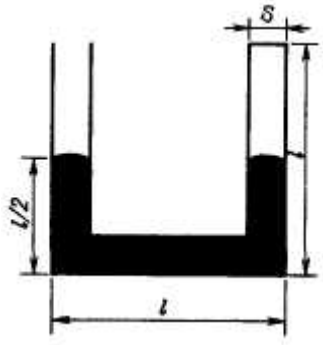
$$cm(T_{10} - \Theta) + cm(T_{20} - \Theta) + cm(T_{30} - \Theta) = 0,$$

где Θ – искомая установившаяся температура. Из этого уравнения находим, что

$$\Theta = \frac{T_{10} + T_{20} + T_{30}}{3} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}.$$

Задача 4.

Трубка запаяна с одного конца (см.рис) состоит из трех одинаковых по длине колен, согнутых под прямыми углами. Вертикальные части трубки заполнены ртутью до половины. Медленно нагревая в запаянной трубке газ, отделенный ртутью от атмосферы, можно вытеснить всю ртуть из трубки. Определите, какую работу совершит при этом газ в трубке, полностью вытеснив ртуть. Атмосферное давление 10^5 Па, плотность ртути $13{,}6*10^3$ кг/м^3, длина каждого колена 250 мм, площадь сечения трубки 1 см^2.



Решение.

Работа газа складывается из работы A_1 против атмосферного давления и работы A_2 – против силы тяжести.

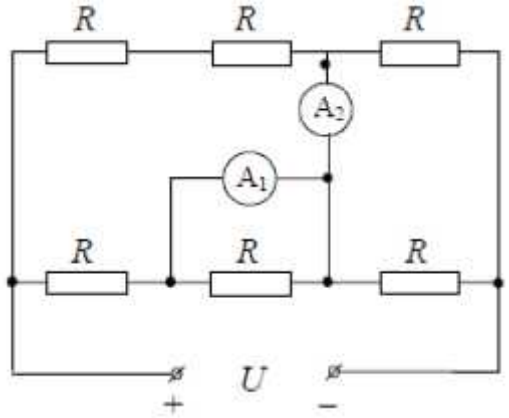
Граница раздела газ-ртуть до полного вытеснения ртути перемещается на 2l+l/2=(5/2)l, поэтому $A_1= p_aS(5/2)l$.

Работа A_2 равна изменению потенциальной энергии ртути при ее вытеснении. Начальное положение центра масс ртути $h_0=l/8$. Конечная высота центра масс ртути l. Поэтому $A_2=Mg(l-l/8)= (7/8)Mgl$, $M=2lS\rho$ – масса ртути.

$A= A_1+ A_2= p_aS(5/2)l+(7/8)Mgl= p_aS(5/2)l+(7/4)\, l^2\, S\rho g= 7{,}7$ Дж

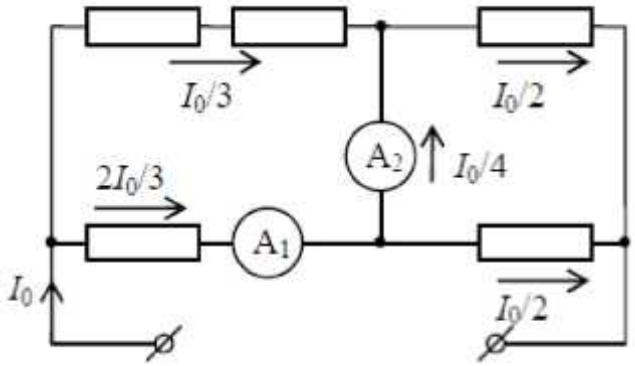
Задача 5

В цепи, представленной на рисунке, сопротивления R одинаковы и равны 1 кОм, сопротивления амперметров пренебрежимо малы, напряжение U на зажимах 140 В. Найти показания амперметров.



Решение.

Найдем токи через резисторы. При расчете этих токов амперметры можно заменить проводниками с нулевым сопротивлением. Средний резистор нижней ветви шунтируется амперметром A_1, т.е. ток через него не идет. Поэтому электрическую схему удобно перерисовать так, как показано на рисунке.



Выразим токи через резисторы через ток I_0, идущий от источника. Поскольку напряжения на двух резисторах в левом верхнем участке цепи и на левом нижнем резисторе одинаковы, ток через нижний левый резистор составит $2I_0/3$, а через левые верхние резисторы будет $I_0/3$. Рассуждая аналогично для правой части цепи, находим, что ток через правый верхний и правый нижний резисторы равны I0/2. Подводимое напряжение U = 140 В можно представить как сумму напряжений, например, на двух последовательных верхних участках

$$140 = \frac{I_0}{3} \cdot 2R + \frac{I_0}{2} \cdot R,$$

откуда I_0 = 120 мА и, следовательно, определяются токи через все резисторы. Рассматривая баланс токов для узлов цепи, находим теперь токи через амперметры. Как ясно из рисунка, амперметр A_1 покажет ток $2I_0/3$ = 80 мА, а амперметр A_2 покажет ток $2I_0/3 – I_0/2$ = 20 мА.