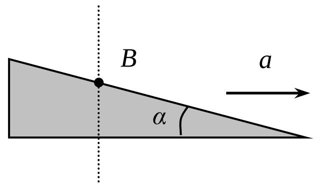
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ 2019–2020 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
10 класс

Решения и критерии оценивания

Задача 1

Клин с углом наклона α начинает движение с постоянным ускорением a в горизонтальном направлении (см. рисунок). Определите, с какой скоростью $\vec{v}$ и ускорением $\vec{A}$ будет двигаться точка B пересечения наклонной плоскости клина с неподвижной вертикальной прямой через время t после начала его движения.



Возможное решение

Для наглядности можно представить, что имеется неподвижный вертикальный стержень с нанизанным на него колечком B, которое движется без отрыва от поверхности клина. Так как колечко движется без отрыва от стержня, то скорость и ускорение колечка направлены вертикально вверх. Также колечко движется без отрыва от поверхности клина, значит, проекции скорости колечка и клина на нормаль к поверхности клина одинаковы:

$$v\cos\alpha = u\sin\alpha,$$

где v – скорость колечка, u – скорость клина. Так как клин движется равноускоренно, следовательно, скорость клина равна

$$u = at.$$

Значит, точка B пересечения наклонной плоскости клина с неподвижной вертикальной прямой через время t после начала его движения движется по вертикали со скоростью v и ускорением A, равными по модулю:

$$v = at\cdot\mathrm{tg}\alpha \implies A = a\cdot\mathrm{tg}\alpha.$$

Критерии оценивания

Скорость и ускорение точки B направлены вертикально вверх .... **3 балла**

$v\cos\alpha = u\sin\alpha$ .... **4 балла**

$u = at$ .... **1 балл**

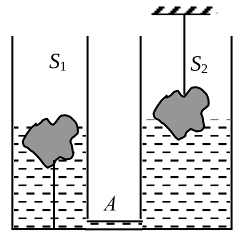
$v = at\cdot\mathrm{tg}\alpha$ .... **1 балл**

$A = a\cdot\mathrm{tg}\alpha$ .... **1 балл**

Баллы, полученные за верно выполненные действия, суммируются.
Максимум за задачу – **10 баллов**.

Задача 2

В два сообщающихся вертикальных цилиндрических сосуда с поперечными сечениями S_1 и S_2 помещены одинаковые льдинки, частично погружённые в воду. Одна из льдинок привязана тонкой нитью к дну сосуда, а другая подвешена на нити к неподвижной опоре (см. рисунок). Силы натяжения обеих нитей одинаковы по модулю и равны $T = 1$ Н. На сколько изменится уровень воды в сосудах после таяния обеих льдинок? Какой объём воды и в какую сторону протечёт при их таянии через трубку A? Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м^3.



Возможное решение

Перенесём (мысленно) одну из льдинок в другой сосуд (вместе с удерживающей льдинку нитью) и расположим обе льдинки рядышком. От такого перемещения уровень воды в сосудах не изменится. Мысленно объединим две льдинки в одну. К получившемуся куску льда прикреплены две нити, которые тянут его с одинаковыми по модулю и противоположными по направлению силами. Таким образом, суммарная сила, действующая со стороны двух ниток на лёд, равна нулю. Поэтому можно считать, что лёд просто свободно плавает в воде. Как известно, при таянии льда, плавающего в сосуде с водой, уровень воды в этом сосуде не изменяется.

Этот же результат можно получить и аналитически. Запишем условие равновесия содержимого сосудов до таяния льда: $mg = F_1 + T$, где m – масса всего содержимого (вода и две льдинки), а F_1 – сила, с которой дно действует на содержимое. Сила F_1 по третьему закону Ньютона равна силе, с которой содержимое действует на дно: $F_1 = \rho g h_1 (S_1 + S_2) - T$, где h_1 – начальная высота столба воды в сосудах.

После таяния льда аналогичные уравнения примут вид: $mg = F_2$, где F_2 – новая сила реакции дна и $F_2 = \rho g h_2 (S_1 + S_2)$.

Решая систему, получим $\Delta h = h_2 - h_1 = 0$. Уровень жидкости не изменится.

Для ответа на второй вопрос задачи предположим, что трубка A временно закрыта краном. Повторив вышеприведённые рассуждения для каждого сосуда в отдельности, получим, что в левом сосуде уровень воды понизится на $\Delta h_1 = \dfrac{T}{\rho g S_1}$, а в правом – повысится на $\Delta h_2 = \dfrac{T}{\rho g S_2}$.

Для того чтобы уровни воды в сосудах остались прежними, через трубку A из правого сосуда в левый должен протечь объём воды:

$$\Delta V = \Delta h_1 S_1 = \Delta h_2 S_2 = \frac{T}{\rho g} = 100 \text{ мл.}$$

Критерии оценивания

Записаны условия равновесия льдинок
(или содержимого сосудов).. **2 балла**

Связь сил реакции дна с высотой уровней воды
до и после таяния льдинок .... **2 балла**

Доказано, что уровни воды в сосудах не изменятся .... **2 балла**

Найдены «добавленный» и «недостающий» объёмы
в сосудах после таяния .... **2 балла**

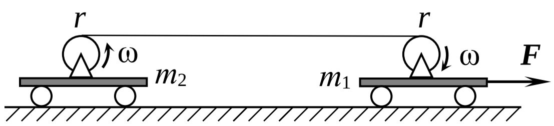
Найден объём воды, протекший через трубку.. **1 балл**

Получено численное значение объёма .... **1 балл**

Баллы, полученные за верно выполненные действия, суммируются.
Максимум за задачу **– 10 баллов**.

Задача 3

Две тележки массами m_1 и m_2 с установленными на них лёгкими катушками радиусами r соединены невесомой и нерастяжимой нитью, намотанной концами на эти катушки.



В какой-то момент времени катушки начинают вращаться с постоянными угловыми скоростями ω (см. рисунок), а одну из тележек начинают тянуть с горизонтально направленной силой F. Найдите величину силы натяжения T нити. Трение отсутствует.

Возможное решение

Запишем второй закон Ньютона для тележек в проекциях на горизонтальную ось x (направлена вправо):

$$F - T = m_1 a_{1x},$$
$$T = m_2 a_{2x}.$$

Вращение катушек приводит к укорачиванию нити с *постоянной* скоростью. Это вызовет различие величин *скоростей* тел m_1 и m_2. Но связь между *ускорениями* останется такой же, как и в случае нити постоянной длины, то есть:

$$a_{1x} - a_{2x} = 0.$$

Решая полученную систему уравнений, получаем:

$$T = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F.$$

Критерии оценивания

$F - T = m_1 a_{1x}$ .... **2,5 балла**

$T = m_2 a_{2x}$.. **2,5 балла**

$a_{1x} - a_{2x} = 0$.. **4 балла**

$T = \frac{m_2}{m_1+m_2} F$ .... **1 балл**

Баллы, полученные за верно выполненные действия, суммируются.
Максимум за задачу – **10 баллов**.

Задача 4

В сосуд, наполненный до краёв водой при температуре $t_1 = 36$ °C, аккуратно опустили кубик льда. После установления теплового равновесия температура воды в сосуде понизилась на $\Delta t_1 = 11$ °C. При аккуратном погружении в сосуд ещё одного такого же кубика льда температура понизилась ещё на $\Delta t_2 = 10$ °C. На какую величину Δt_3 ещё понизится температура воды в сосуде, если аккуратно опустить в него третий точно такой же кубик льда? Ледяные кубики перед погружением имеют одинаковую температуру и при плавании не касаются дна сосуда. Теплоёмкостью сосуда и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг · °C), удельная теплоёмкость льда $c_л = 2100$ Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда $\lambda = 336$ Дж/кг. Плотности воды и льда равны 1 г/см^3 и 0,9 г/см^3.

Возможное решение

Найдём объём воды, вытесненной ледяным кубиком $V_{куб}$ при плавании. Этот объём воды $V_{выт}$ выльется из сосуда при погружении кубика и не будет участвовать в теплообмене. Поскольку плотности льда и воды отличаются в $\rho_л/\rho_в = 0{,}9$ раз, то

$$\rho_в V_{выт} g = \rho_л V_{куб} g = 0{,}9 \rho_в V_{куб} g.$$

Отсюда $V_{выт} = 0{,}9\, V_{куб}$.

Когда кубик растает, уровень воды в нём не изменится, то есть сосуд опять окажется наполненным водой до краёв (т.к. по закону Архимеда масса вытесненной плавающим телом жидкости равна массе этого тела). Аналогичные рассуждения справедливы и для процессов, происходящих после погружения второго и третьего кубиков. Пусть объём сосуда равен $V_с$. Запишем уравнения теплового баланса для первого и для второго процессов теплообмена:

$$c_в \rho_в \left(V_с - 0{,}9\, V_{куб}\right) \Delta t_1 = \rho_л V_{куб} (c_л (0 - t) + \lambda + c_в (t_1 - \Delta t_1)),$$

$$c_в \rho_в \left(V_с - 0{,}9\, V_{куб}\right) \Delta t_2 = \rho_л V_{куб} (c_л (0 - t) + \lambda + c_в (t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2)),$$

где t – начальная температура кубиков льда.

Поделим второе выражение системы на первое:

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{c_л(0-t) + \lambda + c_в(t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2)}{c_л(0-t) + \lambda + c_в(t_1 - \Delta t_1)},$$

или

$$\frac{10}{11} = \frac{-t + 160 + 2(36-11-10)}{-t + 160 + 2(36-11)},$$

откуда

$$t = -10\ ℃.$$

Аналогично для второго и третьего процессов теплообмена запишем:

$$\frac{\Delta t_3}{\Delta t_2} = \frac{\Delta t_3}{10} = \frac{c_л(0-t) + \lambda + c_в(t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2 - \Delta t_3)}{c_л(0-t) + \lambda + c_в(t_1 - \Delta t_1 - \Delta t_2)} = \frac{10 + 160 + 2(36-11-10-\Delta t_3)}{10 + 160 + 2(36-11-10)}.$$

Отсюда

$$\Delta t_3 = \frac{100}{11} \approx 9{,}1\ ℃.$$

Критерии оценивания

Записано выражение для объёма воды,
вытесненной плавающим кубиком, ... **1 балл**

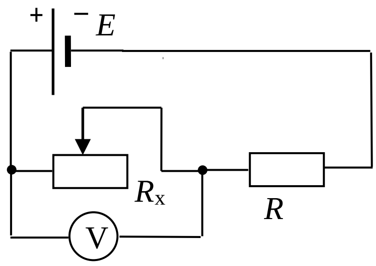
Указано, что после таяния кубика уровень воды
в сосуде не меняется, ... **2 балла**

Уравнение теплового баланса для трёх случаев
теплообмена (по **2 балла** за каждое уравнение) .... **6 баллов**

Численный ответ .... **1 балл**

Баллы, полученные за верно выполненные действия, суммируются.
Максимум за задачу – **10 баллов**.

Задача 5



Как зависят показания вольтметра U_V в цепи, схема которой приведена на рисунке, от значения сопротивления реостата R_x? Сопротивление вольтметра совпадает с сопротивлением резистора и равно R. Сопротивление реостата R_x может изменяться в диапазоне от 0 до $4R$. Постройте качественно график зависимости $U_V(R_x)$. Определите, вблизи какого значения R_x показания вольтметра изменяются быстрее всего. Напряжение идеального источника равно E.

Возможное решение

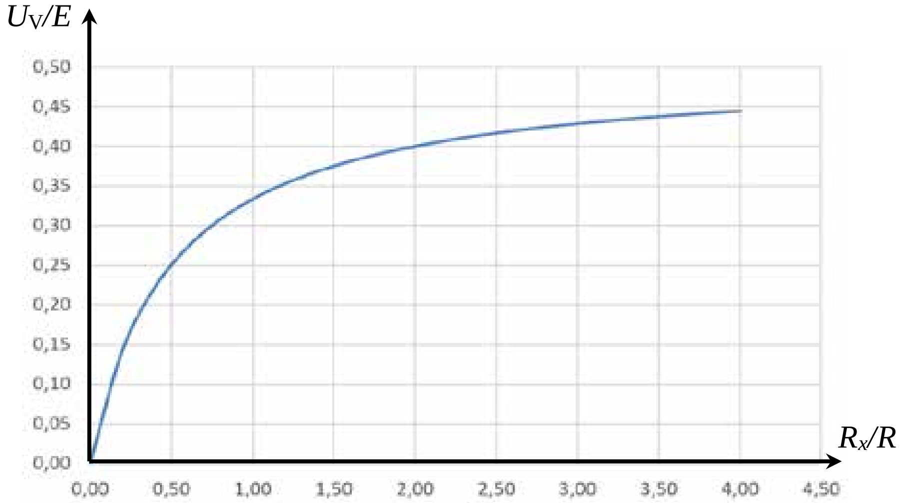
Сопротивление цепи равно $r = R + \frac{R_x R}{R + R_x}$.

Сила тока, текущего через источник, равна

$$I = \frac{E}{r} = \frac{E}{R + \dfrac{R_x R}{R + R_x}}.$$

Показания вольтметра:

$$U_V = E - IR = E - \frac{ER}{R + \dfrac{R_x R}{R + R_x}} = E\frac{R_x}{R + 2R_x} = E\frac{R_x/R}{1 + 2(R_x/R)}.$$



На рисунке приведён график зависимости отношения U_V/E от отношения R_x/R (по виду он совпадает с графиком зависимости $U_V(R_x)$ при $E = 1$ В и $R = 1$ Ом). Из этого графика видно, что вблизи $R_x = 0$ Ом показания вольтметра изменяются быстрее всего.

Критерии оценивания

$r = R + \frac{R_x R}{R+R_x}$ .... **1 балл**

$I = \frac{E}{r} = \frac{E}{R+\frac{R_x R}{R+R_x}}$ .... **1 балл**

$U_V = E - \frac{ER}{R+\frac{R_x R}{R+R_x}} = E\frac{R_x}{R+2R_x}$ .... **2 балла**

График – качественный или количественный в относительных единицах (всего **4 балла)**:

- подпись осей……………………………………………………..…..**1 балл**
- выбор масштаба……………………………………………………**0,5 балла**
- правильный график…………………………………………………**2,5 балла**

Вблизи $R_x = 0$ Ом показания вольтметра изменяются быстрее всего ... **2 балла**

Баллы, полученные за верно выполненные действия, суммируются.
Максимум за задачу **– 10 баллов**.

Всего за работу – 50 баллов.