Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
2023-2024 учебный год

8 класс

Время выполнения - 3 часа (180 минут)
Максимальное количество баллов – _40_

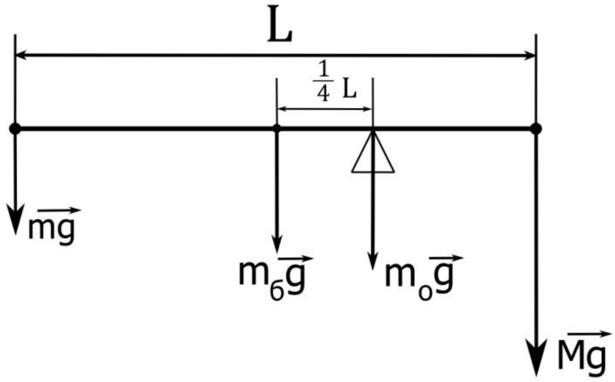
Задача 1. «Семейный отдых».

Отец с сыном Алешей и собакой собрались во дворе дома покачаться на качелях. Для этого они поместили тяжелое прямое бревно на опору, и расположились следующим образом: отец массой M=90 кг и сын m=15 кг уравновесились на концах бревна, собака массой m_0=10 кг села между ними точно над опорой. При этом равновесие достигается, когда точка опоры бревна смещена от середины на четверть его длины в сторону отца.

Во время качания на бревне мама позвала сына обедать, тот убежал в дом, за ним следом - собака. Считая бревно однородным по длине и опору - в виде катка, найдите, куда и насколько отец должен сместить точку опоры от предыдущего положения, чтобы находиться на бревне в равновесии.

Решение:

Бревно длиной L представляет собой вариант рычага первого рода – твердого тела, способного вращаться вокруг неподвижной опоры (ось вращения бревна находится между точками приложения сил $m\vec{g}$, $m_б\vec{g}$ и $M\vec{g}$. Здесь, m – масса сына, $m_б$ –масса тяжелого бревна, M – масса отца. Момент силы давления собаки с массой m_0 на бревно относительно опоры равен нулю, и ни в каких уравнениях, описывающих равновесие рычагов, момент силы давления собаки не учитывается.



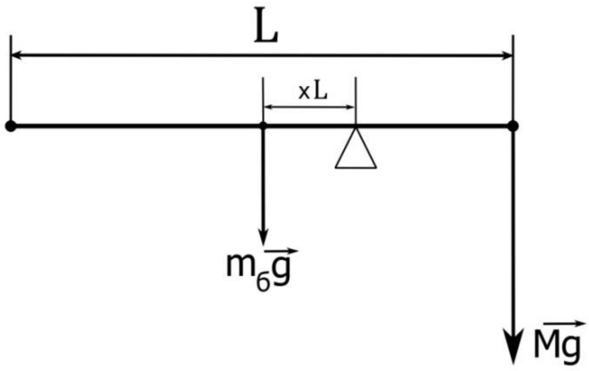
Сначала условие равновесия рычага имеет вид:

$$mg\frac{3}{4}L + m_б\, g\frac{1}{4}L = Mg\frac{1}{4}L \quad (1)$$

$$3m + m_б = M$$

Откуда масса бревна равна:

$$m_б = M - 3m = 45 \text{ кг} \quad (2)$$



Записывается условие равновесия рычага для случая, когда на бревне остается только отец.

$$m_б g x L = Mg\left(\frac{1}{2}L - xL\right) \quad (3)$$

$$x = \frac{M}{2(m_б + M)} = \frac{1}{3} \quad (4)$$

Следовательно, опора сместилась на величину:

$$\Delta L = \frac{1}{3}L - \frac{1}{4}L = \frac{1}{12}L \quad (5)$$

Критерии оценивания

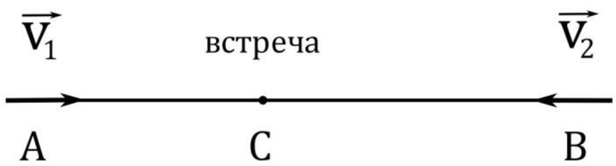
Записано условие равновесия рычага в первом случае (1)…..…2 балла
Записано числовое значение массы бревна (2)……………… 1 балл
Записано условие равновесия рычага во втором случае (3)… 2 балла
Записано уравнение (4) ……………………………………..… .1 балл
Правильно проделаны математические преобразования …… .3 балла
Получен правильный ответ (5)………………………………… .1 балл

Задача 2. «Мотоциклист и автомобилист».

Из города «А» выезжает мотоциклист со скоростью $\vartheta_1 = 50$ км/ч и следует в конечный пункт – город «В». Одновременно навстречу ему из города «В» в пункт «А» начинает двигаться автомобиль с некоторой скоростью ϑ_2. В промежуточном населенном пункте «С» произошла их встреча, после чего оба транспортных средства продолжили движение с теми же постоянными скоростями. Мотоциклист прибыл в город «В» спустя $t_1 = 4$ч после встречи, а автомобиль домчался из пункта «С» до города «А» за $t_2 = 60$ мин. С какой скоростью ϑ_2 автомобиль преодолел расстояние между городами?

Решение:

Обозначим расстояние между городами AB (см. рис.).



Пусть мотоциклист и автомобилист встретятся в пункте С через время $t_в$.

До встречи мотоциклист преодолеет расстояние $АС = \vartheta_1 \cdot t_в$, а автомобиль $СВ = \vartheta_2 \cdot t_в$.

Составим систему уравнений и решаем их:

$$\left.\begin{aligned} АС = \vartheta_1 \cdot t_в \\ СВ = \vartheta_2 \cdot t_в \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{СВ}{АС} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \quad (1)$$

После встречи в промежуточном пункте С транспортные средства движутся к пунктам назначения с такими же скоростями, проехав пути СВ и СА:

$$\left.\begin{aligned} СВ = \vartheta_1 \cdot t_1 \\ СА = \vartheta_2 \cdot t_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{СВ}{СА} = \frac{\vartheta_1 \cdot t_1}{\vartheta_2 \cdot t_2} \quad (2)$$

Преобразуя выражения (1) и (2), находим скорость автомобиля ϑ_2 на всем пути между городами А и В.

$$\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \frac{\vartheta_1 \cdot t_1}{\vartheta_2 \cdot t_2} \quad (3)$$

$$\vartheta_2^2 \cdot t_2 = \vartheta_1^2 \cdot t_1$$

$$\vartheta_2^2 \cdot 1 = \vartheta_1^2 \cdot 4$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 \cdot 2$$

Следовательно, числовое значение скорости автомобиля равно:

$$\vartheta_2 = 50 \frac{км}{ч} \cdot 2 = 100 \ \frac{км}{ч} \ (4)$$

Критерии оценивания

Записано уравнение движения для каждого тела к моменту их встречи (1). - . 2 балла

Записано уравнение движения для каждого тела после встречи (2) - 2 балла

Записано уравнение (3)…… 2 балла

Правильно проделаны математические преобразования ……….3 балла

Получен правильный ответ (4)……………………………………1 балл

Задача 3. «Равномерное движение шаров в воде»

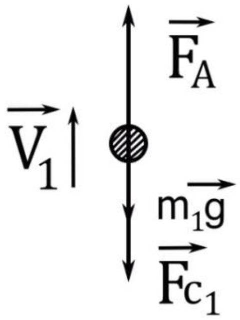
Два шара одинакового объема могут двигаться в воде с постоянной скоростью: шар 1 с меньшей, чем у воды, плотностью, всплывает со скоростью ϑ_1, а шар 2 с большей, чем у воды, плотностью, тонет со скоростью ϑ_2. Со стороны воды на шары действует сила сопротивления, пропорциональная скорости.

Затем шары соединяют тонкой нитью и опускают в воду. Какова будет их общая скорость движения $\vartheta_{общ}$? На основе анализа выражения для общей скорости укажите, в каком направлении – вверх или вниз – будут двигаться в воде эти шары. Равнодействующая сил, приложенных к шарам, равна нулю для всех случаев. Сделайте пояснительные рисунки к задаче.

Решение:

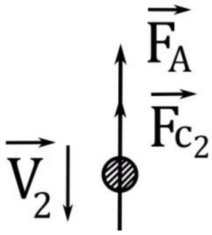
Рассмотрим движение каждого шара в воде с учетом действующих сил:

силы тяжести mg, выталкивающей силы – силы Архимеда $F_{\text{а}} = \rho_{\text{воды}} gV$ (одинакова для обоих шаров) и силы сопротивления воды, направленной противоположно движению шара и равной по величине $F_{\text{сопр}} = k\vartheta$, где k – коэффициент пропорциональности. На чертеже покажем тело и графически изобразим силы с учетом равенства нулю их равнодействующей силы.



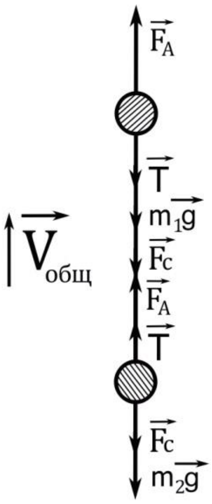
1.Рассмотрим движение наверх шара 1со скоростью ϑ_1 (его плотность меньше, чем у воды). С учетом приложенных сил и равенства нулю равнодействующей силы, запишем выражение:

$F_{\text{а}} = m_1 g + F_{\text{сопр}1}$ и $F_{\text{а}} = m_1 g + k\vartheta_1$ (1)



2. Затем учтем движение вниз шара 2 со скоростью ϑ_2 (его плотность больше, чем у воды). С учетом приложенных сил и равенства нулю равнодействующей силы, можно записать:

$F_{\text{а}} + F_{\text{сопр}2} = m_2 g$ и $F_{\text{а}} + k\vartheta_2 = m_2 g$ (2)



3.В случае, когда шары связаны нитью и опущены в воду, предполагаем, что шар 1находится наверху, а шар 2 – внизу. Связанные тонкой нитью шары движутся со скоростью $\vartheta_{\text{общ}}$. С учетом приложенных сил и равенства нулю равнодействующей силы, уравнение движения системы примет вид (T- сила упругости нити):

$$2F_{\text{а}} + T = T + m_1 g + 2F_{\text{сопр}} + m_2 g \quad (3)$$

Исключаем силу T, выражение примет вид:

$$2F_{\text{а}} = m_1 g + 2F_{\text{сопр}} + m_2 g$$

Из уравнений (1) и (2) выразим силы тяжести шаров и подставим в (3):

$$2F_{\text{а}} = F_{\text{а}} - k\vartheta_1 + F_{\text{арх}} + k\vartheta_2 + 2k\vartheta_{\text{общ}}$$

$$k\vartheta_1 = k\vartheta_2 + 2k\vartheta_{\text{общ}}$$

В установившемся режиме, искомая общая скорость связанных тонкой нитью шаров в воде равна:

$$\vartheta_{\text{общ}} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{2} \quad (4)$$

Проанализируем полученное выражение (4).

Если $\vartheta_1 = \vartheta_2$, то шары плавают в состоянии безразличного равновесия,

$\vartheta_{общ}$=0.

При $\vartheta_1 > \vartheta_2$ связанные нитью шары движутся в воде вверх со скоростью $\vartheta_{общ}$.

При $\vartheta_1 < \vartheta_2$ связанные нитью шары движутся в воде вниз со скоростью $\vartheta_{общ}$. (5).

Критерии оценивания

1.Записано уравнение движения (1) для шара 1 в воде, вверх, и показано графическое изображение всех приложенных к нему сил - 2 балла

2.Записано уравнение движения (2) для шара 2 в воде, вниз, и показано графическое изображение всех приложенных к нему сил…- 2 балла

3.Записано уравнение движения (3) в воде для обоих шаров (или для каждого шара по-отдельности), связанных нитью, и показано графическое изображение всех приложенных к ним сил - 3 балла

4.Правильно проделаны математические преобразования - 2 балла

5.Получен правильный ответ с анализом выражения (4) - 1 балл

Задача 4. «Тепловой баланс в бумажном стаканчике».

Работник кафе приготовил кофе, залив кофейный порошок водой при температуре $t_1 = 100^0C$. Получившийся раствор налил в бумажный стаканчик с крышкой и добавил туда кубики льда, имеющие температуру $t_2 = 0^0C$. После того, как лед растаял и установилось тепловое равновесие, температура в стаканчике стала равна $t_3 = 50^0C$. На сколько процентов уменьшилась массовая доля чистого кофе в растворе? Теплоемкостью бумажного стаканчика с крышкой и теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Удельные теплоемкости кофейного раствора и воды одинаковы, они составляют $c = 4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^0\text{C}}$, удельная теплоемкость плавления льда равна $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Указание: массовая доля – это отношение массы растворенного вещества к общей массе раствора (выражается в долях от единицы, или, если умножить на 100%, то в %).

Решение:

Обозначим массовую долю кофе в растворе через ω. Пусть ω_1- начальная массовая доля кофе в растворе, ω_2- массовая доля кофе в растворе после установления теплового равновесия, $m_л$- масса льда, $m_р$- масса кофейного раствора, $m_к$- масса чистого кофе, тогда $\frac{\Delta\omega}{\omega_1} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}$ – на столько уменьшилась массовая доля чистого кофе в растворе.

Начальная массовая доля кофе в растворе: $\omega_1 = \frac{m_к}{m_р}$ (1)

Массовая доля кофе в растворе после установления теплового равновесия:
$\omega_2 = \frac{m_к}{m_р + m_л}$ (2)

Отношение массовых долей через отношение масс записываем в виде:
$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{m_р}{m_р + m_л}$ (3)

Для нахождения масс кофейного раствора и массы смеси раствора со льдом запишем уравнение теплового баланса для нашего случая:

$cm_р(t_3 - t_1) + \lambda m_л + cm_л(t_3 - t_2) = 0$ (4)

После раскрытия скобок находим отношение массы льда к массе раствора:

$$\frac{m_л}{m_р} = \frac{c(t_1 - t_3)}{\lambda + c(t_3 - t_2)}$$

С учетом (3), уменьшение массовой доли чистого кофе в растворе (в частях, долях) равно:

$\frac{\Delta\omega}{\omega_1} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{\lambda + c(t_3 - t_2)}{\lambda + c(t_1 - t_2)}$

После подстановки числовых значений получаем окончательный ответ:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_1} = 1 - \frac{3{,}3 \cdot 10^5 \frac{Дж}{кг} + 4200 \frac{Дж}{кг \cdot {}^0C}(50^0C - 0^0C)}{3{,}3 \cdot 10^5 \frac{Дж}{кг} + 4200 \frac{Дж}{кг \cdot {}^0C}(100^0C - 0^0C)} = \frac{7}{25} = 0{,}28 \text{ или } 28\%.$$

(5)

Критерии оценивания

Записано условие для начальной массовой доли кофе в растворе (1) - 1 балл

Записано условие для массовой доли кофе в растворе после установления теплового равновесия (2) - 1 балл

Записано уравнение (3) - 2 балла

Записано уравнение теплового баланса (4) - 2 балла

Правильно проделаны математические преобразования – 3 балла

Получен правильный ответ с подстановкой чисел (5) - 1 балл