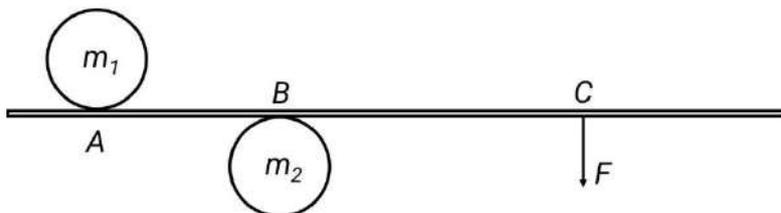


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2024 г.
ПРИГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС
ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 30.

Задание № 1

Два цилиндра массами m_1 и m_2 стоят на шероховатом горизонтальном столе.



Коэффициент трения цилиндров о стол $\mu = 0.2$. Между цилиндрами вставлена длинная деревянная линейка, касающаяся цилиндров в точках А и В (см. рисунок, вид сверху). К точке С прикладывается сила F в направлении, указанном на рисунке. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Массы цилиндров равны. Какой из цилиндров первым придёт в движение при постепенном увеличении силы F от нулевого значения?

Ответ:

- Цилиндр массой m_1
- Цилиндр массой m_2
- Оба цилиндра начнут двигаться одновременно
- Ответ зависит от отношения расстояний АВ и ВС

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Задание № 2

Массы цилиндров $m_1 = m_2 = 1 \text{ кг}$. Точке А соответствует деление 2 см на шкале линейки, точке В – 22 см, точке С – 52 см. При каком минимальном значении силы F хотя бы один из цилиндров придёт в движение? Ответ выразите в ньютонах, округлите до десятых.

Ответ: 0.8

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 3

Чему равна минимальная масса груза, который необходимо дополнительно поставить на цилиндр, приходящий в движение первым, чтобы при постепенном увеличении силы первым начинал двигаться другой цилиндр? Ответ выразите в килограммах, округлите до сотых. Если без дополнительного груза цилиндры приходят в движение одновременно, в ответ запишите 0.

Ответ: засчитывается в диапазоне [0.65; 0.68]

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Задание № 4

При каком соотношении масс $\frac{m_1}{m_2}$ цилиндры придут в движение практически одновременно при постепенном увеличении силы F ? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 0.6

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Решение заданий 1-4.

Запишем правило моментов для линейки вплоть до момента начала движения одного или обоих цилиндров относительно точки А:

$$F \cdot AC = N_2 \cdot AB.$$

Относительно точки В:

$$F \cdot BC = N_1 \cdot AB,$$

где N_1 и N_2 – силы, с которыми линейка действует на цилиндры, а цилиндры на линейку. Поскольку

$$N_2 = \frac{F \cdot AC}{AB} > N_1 = \frac{F \cdot BC}{AB},$$

при равных массах и силах трения скольжения для цилиндров сначала в движение всегда приходит второй цилиндр. Это ответ на первый вопрос задачи.

Для того, чтобы второй цилиндр пришёл в движение, сила N_2 должна достигнуть значения, равного силе трения скольжения:

$$N_2 = \frac{F \cdot AC}{AB} = \mu m_2 g.$$

Подставляя численные значения, получаем $F = \mu m_2 g \cdot \frac{AB}{AC} = 0.8 \text{ Н}$. Это ответ на второй вопрос задачи.

Для того, чтобы цилиндры приходили в движение одновременно, должны одновременно выполняться условия:

$$N_1 = \frac{F \cdot BC}{AB} = \mu m_1 g \text{ и } N_2 = \frac{F \cdot AC}{AB} = \mu m_2 g.$$

Это возможно при соотношении масс $\frac{m_1}{m_2} = \frac{BC}{AC} = 0.6$, что является ответом на четвёртый вопрос задачи.

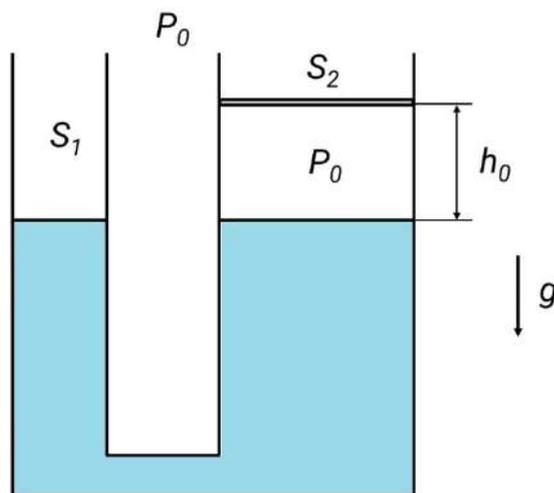
В случае, когда исходные массы цилиндров одинаковые и равны $m_1 = m_2 = 1$ кг, на второй цилиндр нужно поставить дополнительный груз массы Δm такой, чтобы выполнялось соотношение:

$$\frac{m_1}{m_2 + \Delta m} = \frac{BC}{AC} = 0.6.$$

Подставляя численные данные, находим, что $\Delta m \approx 0.67$ кг – это ответ на третий вопрос задачи.

Задание № 5

Два высоких вертикальных цилиндрических сообщающихся сосуда наполовину заполнены водой.



Площади сечений сосудов $S_1 = 50 \text{ см}^2$ и $S_2 = 150 \text{ см}^2$. В сосуд с большей площадью сечения вставлен невесомый тонкий поршень, который герметично перекрывает сосуд и может без трения скользить внутри него. Первоначальное давление воздуха под поршнем равно атмосферному давлению $P_0 = 10^5$ Па, температура воды и воздуха внутри и снаружи сосудов $T_0 = 280$ К. Начальное расстояние между поршнем и поверхностью воды $h_0 = 30$ см. Плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$, ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Заполните пропуски.

Если температура воздуха под поршнем увеличится до $T = 320$ К, а температура воды и воздуха снаружи при этом останется прежней, то уровень жидкости в сосуде с поршнем _____,

Ответ:

- опустится
- поднимется
- не изменится

Точное совпадение ответа – 2 балла.

а сам поршень _____ .

Ответ:

- опустится
- поднимется
- останется на месте

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 6

Определите расстояние между поршнем и поверхностью жидкости после повышения температуры воздуха под поршнем до $T = 320$ К. Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: 34

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 7

Температура в течение всего процесса равна первоначальной. На поршень аккуратно ставят гирю массой $m = 3$ кг. На сколько сместится при этом уровень жидкости в сосуде с площадью S_1 ? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: 15

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 8

На сколько сместится при этом уровень жидкости в сосуде с площадью S_2 ? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: 5

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Решение заданий 5-8.

Поршень невесомый, давление под поршнем всё время равно атмосферному. Таким образом, давление над поверхностью жидкости в обоих сосудах одинаковое и равно атмосферному. Поэтому и уровень жидкости в обоих сосудах одинаковый. А вот объём воздуха между жидкостью и поршнем при увеличении температуры должен увеличиться, и, следовательно, поршень смещается вверх при неизменном уровне жидкости.

Таким образом, ответами на первый вопрос задачи являются формулировки:
уровень жидкости не изменится и поршень поднимется.

При постоянном давлении, равном атмосферному, для воздуха между поршнем и жидкостью в правом сосуде выполняется соотношение:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{h}{h_0} = \frac{T}{T_0}.$$

Здесь V_0 и V – объёмы воздуха до и после повышения температуры, h – расстояние между поршнем и жидкостью после повышения температуры.

Отсюда находим $h = \frac{T}{T_0} h_0 = 34$ см – ответ на второй вопрос задачи.

При установке на поршень гири давление под поршнем превышает атмосферное на величину $\Delta P = \frac{mg}{S_2}$. Разность давлений над жидкостью в левом и правом сосудах должна компенсироваться разностью уровней жидкости – в левом сосуде уровень поднимается на Δh_1 , в правом – опускается на Δh_2 . При этом

$$\rho g(\Delta h_1 + \Delta h_2) = \frac{mg}{S_2}.$$

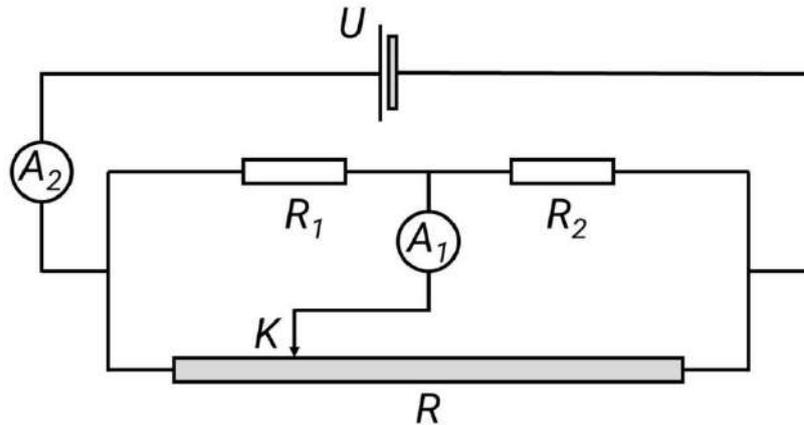
Объём жидкости сохраняется, отсюда $S_1 \Delta h_1 = S_2 \Delta h_2$. Подставляя $\Delta h_2 = \frac{S_1}{S_2} \Delta h_1$ в предыдущее уравнение для разности давлений, получаем:

$$\begin{aligned} \rho g \Delta h_1 \left(\frac{S_1}{S_2} + 1 \right) &= \frac{mg}{S_2}, \\ \Delta h_1 &= \frac{m}{\rho g(S_1 + S_2)} = 15 \text{ см.} \\ \Delta h_2 &= \frac{S_1}{S_2} \Delta h_1 = 5 \text{ см.} \end{aligned}$$

Это ответы на третий и четвёртый вопросы задачи.

Задание № 9

Электрическая цепь, схема которой приведена на рисунке, состоит из двух резисторов R_1 и R_2 , реостата со скользящим контактом K , двух идеальных амперметров и источника постоянного напряжения $U = 5$ В, внутреннее сопротивление которого равно нулю.



Полное сопротивление не включённого в схему реостата, измеренное между его крайними точками, равно $R = 1$ кОм.

Как соотносятся силы токов, измеренные амперметрами, при крайнем левом положении скользящего контакта реостата?

Ответ:

- Сила тока, измеренная амперметром A_1 , при любых ненулевых значениях R_1 и R_2 , больше измеренной амперметром A_2
- Сила тока, измеренная амперметром A_1 , при любых ненулевых значениях R_1 и R_2 , меньше измеренной амперметром A_2
- Сила тока, измеренная амперметром A_1 , при любых ненулевых значениях R_1 и R_2 , равна измеренной амперметром A_2
- Сила тока, измеренная амперметром A_1 , при любых ненулевых значениях R_1 и R_2 может быть как больше, так и меньше измеренной амперметром A_2 , в зависимости от величины сопротивлений R_1 и R_2

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 10

Сила тока, измеренная амперметром A_2 при крайнем левом положении контакта, равна 7.5 мА, а при крайнем правом положении контакта – 10 мА. Чему равно значение сопротивления R_1 ? Ответ выразите в омах, округлите до целых.

Ответ: 1000

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 11

Чему равно значение сопротивления R_2 ? Ответ выразите в омах, округлите до целых.

Ответ: 2000

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 12

Чему равна сила тока, измеренная амперметром A_1 при крайнем левом положении контакта? Ответ выразите в миллиамперах, округлите до десятых.

Ответ: 2.5

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Задание № 13

Чему равна сила тока, измеренная амперметром A_1 при крайнем правом положении контакта? Ответ выразите в миллиамперах, округлите до десятых.

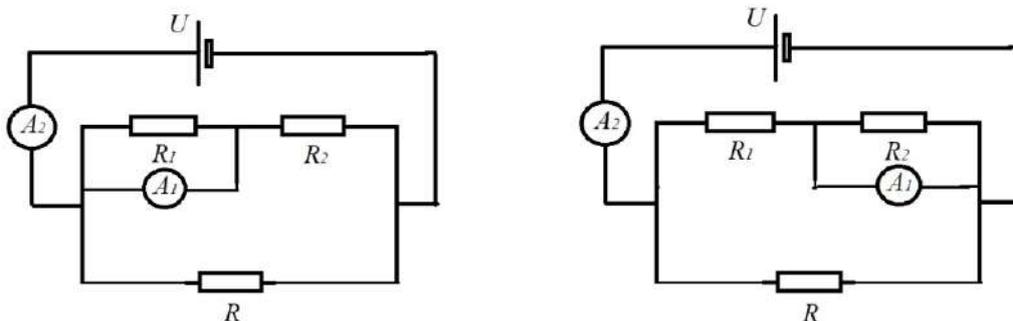
Ответ: 5.0

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Решение заданий 9-13.

Для ответа на первый вопрос достаточно понять, что через амперметр A_2 проходит весь ток от источника. Далее этот ток делится между двумя ветвями цепи, часть его идёт через R_1 , оставшаяся часть – через реостат. Ток через амперметр A_1 в свою очередь составляет лишь часть одного из этих токов и, таким образом, при любом положении контакта сила тока через A_1 меньше силы тока через A_2 .

Для ответа на следующие вопросы перерисуем схему для двух крайних положений контакта, изобразив реостат как сопротивление R (слева на рисунке при крайнем левом положении, справа – при крайнем правом).



Очевидно, что в обоих случаях ток через сопротивление, параллельно которому подключен A_1 , равен нулю, так как амперметры идеальные, а другое сопротивление и реостат подключены параллельно источнику. Сила тока через реостат в обоих случаях одинаковая и равна $I_R = \frac{U}{R} = 5\text{mA}$. Сила же тока через A_2 равна сумме сил токов через реостат и амперметр A_1 . Тогда при левом положении контакта сила тока через A_1 – $I_{1\text{лев.}} = I_{2\text{лев.}} - I_R = 2.5\text{mA}$ (ответ

на четвёртый вопрос задачи), при правом положении – $I_{1\text{пр.}} = I_{2\text{пр.}} - I_R = 5\text{мА}$ (ответ на пятый вопрос задачи).

Ток через A_1 зависит от напряжения источника и величины последовательно включенного с ним сопротивления. Отсюда

$$R_1 = \frac{U}{I_{1\text{пр.}}} = 1000 \text{ Ом},$$

$$R_2 = \frac{U}{I_{1\text{лев.}}} = 2000 \text{ Ом}.$$

Это ответы на второй и третий вопросы задачи.

Максимальный балл за работу – 30.