

## Задания, решения и критерии оценки работ очного отборочного тура

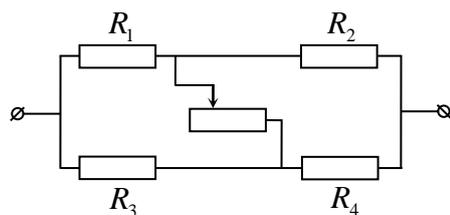
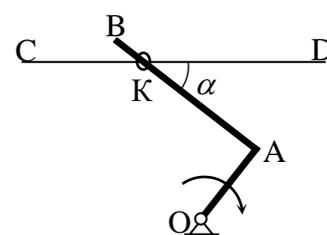
### Инженерной олимпиады школьников

11 класс, 2023-2024 учебный год

1. Имеется два одинаковых теплоизолированных калориметра, частично заполненных водой комнатной температуры. Один калориметр заполнен водой на одну треть своего объема, второй – наполовину. В калориметры до краев наливают горячую воду, и через некоторое время в них устанавливаются следующие температуры:  $t_1 = 67^\circ \text{C}$  в первом и  $t_2 = 56^\circ \text{C}$  – во втором. Найти комнатную температуру и температуру горячей воды. Теплоемкостью калориметра и потерями тепла пренебречь.

2. В технической характеристике электродвигателя RS-555PH-2670 12V / RUICHI для детских авто- и судомodelей написано, что двигатель питается от батареи с ЭДС  $\varepsilon = 12 \text{ В}$ , создает крутящий момент (момент силы)  $M = 170,5 \text{ гс} \cdot \text{см}$ , совершая  $n = 3800$  оборотов в минуту и потребляя ток  $I = 0,83 \text{ А}$ . Найти механическую мощность и КПД двигателя. **Указание.** 1 гс – это сила, с которой масса 1 грамм притягивается к Земле. Считать, что  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

3. Изогнутый под прямым углом жесткий стержень OAB вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг неподвижной оси O. Длина колена OA стержня равна  $l$ , колено AB стержня очень длинное. Стержень проходит через маленькое колечко K, которое может скользить по прямой CD, находящейся на расстоянии  $2l$  от оси O (см. рисунок). Найти скорость колечка в момент времени, когда угол AKD равен  $\alpha$ .



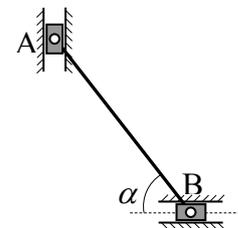
4. Электрическая цепь содержит три резистора с известными сопротивлениями  $R_1 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 60$ ,  $R_3 = 50 \text{ Ом}$ , неизвестного сопротивления  $R_4$  и реостата, соединенных так, как это показано на схеме на рисунке. При измерении сопротивления цепи выяснилось, что оно не зависит от положения ползунка реостата. Найти сопротивление  $R_4$  и сопротивление всей цепи.

5. Летом часто наблюдается следующая структура кучевых облаков: все облака имеют плоскую нижнюю (обращенную к земле) поверхность (причем находящуюся на одной высоте у разных облаков) и «клубящуюся» верхнюю поверхность (см.



фото). Объясните такую структуру облаков, опираясь на законы физики.

6. Два ползуна А и В массой  $m$  и  $2m$  соответственно (см. рисунок), связанные шарнирно прикрепленным к ним невесомым стержнем, могут двигаться без трения по вертикальным и горизонтальным направляющим. Ползуны удерживают так, что угол между стержнем и горизонтом равен  $\alpha$ , а потом отпускают. Найти их ускорения в момент начала движения. Ползуном называется точечное массивное тело, которое может двигаться по некоторой поверхности или в некоторых направляющих.



### Решения и критерии оценивания

1. Пусть масса воды, которая помещается в калориметр, равна  $m$ . Тогда уравнения теплового баланса для воды в калориметрах дают

$$c \frac{m}{3} (t_1 - t_0) = c \frac{2m}{3} (t_2 - t_1)$$

$$c \frac{m}{2} (t_2 - t_0) = c \frac{m}{2} (t_2 - t_2)$$

где  $t_0$  - комнатная температура,  $t_2$  - температура горячей воды. Решая эту систему уравнений, получим

$$t_0 = 4t_2 - 3t_1 = 23^\circ \text{C} \quad t_2 = 3t_1 - 2t_2 = 89^\circ \text{C}$$

**Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):**

1. Использование формулы  $cm\Delta t$  для количества полученной-отданной теплоты - 1 балл
  2. Правильное определение масс воды, налитых в калориметры – 1 балл
  3. Правильные уравнения теплового баланса для первого и второго калориметров – 1 балл
  4. Правильный ответ (формула и число) для комнатной температуры – 1 балл
  5. Правильный ответ (формула и число) для температуры горячей воды – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

2. Очевидно, коэффициентом полезного действия электродвигателя следует назвать отношение механической работы двигателя к затраченной электрической энергии. Энергию затрачивает источник, совершая в единицу времени работу

$$W = \varepsilon I$$

Очевидно, механическая мощность двигателя может быть найдена как

$$N_{\text{мех}} = M \omega = 2\pi M n$$

где  $M$  - момент силы, развиваемый двигателем,  $\omega$  - угловая скорость вращения двигателя,  $n$  - число оборотов двигателя в секунду. Действительно, пусть сила, вращающая маховик двигателя, приложена на расстоянии  $r$  от оси его вращения и направлена по касательной к радиусу. Тогда в единицу времени эта сила совершает работу (численно равную механической мощности, развиваемой этой силой)

$$A = N_{\text{мех}} = Fv$$

Умножая и деля это равенство на  $r$ , мы и получим формулу для механической мощности. Подставляя в эту формулу данные в условии значения, получим

$$N_{\text{мех}} = 2\pi Mn = 2 \cdot 3,14 \cdot 170,5 \cdot 10^{-5} (\text{кг} \cdot \text{м}) \cdot 9,81 (\text{м} / \text{с}^2) \cdot \frac{3800}{60} (1/\text{с}) = 6,65 (\text{Вт})$$

Деля эту мощность на работу источника, найдем КПД электродвигателя

$$\eta = \frac{2\pi Mn}{\varepsilon I} = \frac{6,65 (\text{Вт})}{12 (\text{В}) \cdot 0,83 (\text{А})} = 0,67$$

**Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):**

1. Правильная формула для работы источника напряжения - 1 балл
  2. Правильная связь мощности двигателя с моментом и угловой скоростью вращения вала – 1 балл
  3. Правильное определение КПД двигателя – 1 балл
  4. Правильная формула для КПД двигателя – 1 балл
  5. Правильное число для КПД двигателя – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

3. Чтобы найти скорость колечка в рассматриваемый момент времени рассмотрим малое перемещение колечка за некоторый малый интервал времени  $\Delta t$  около того момента времени, когда часть стержня АВ составляет угол  $\alpha$  с прямой CD. За этот интервал времени часть стержня АВ повернется на малый угол  $\Delta\alpha$  по сравнению со своим первоначальным положением, изменится также и положение точки А (см. рисунок; первоначальное положение стержня и колечка показано бледным). Очевидно, перемещением колечка является отрезок  $KK'$  на рисунке, который можно найти как

$$KK' = \frac{AK \cdot \Delta\alpha}{\sin \alpha}$$

где  $AK$  - длина участка стержня от точки А до колечка (поскольку перемещение точки А является малым, то вклад изменения положения точки А в перемещение колечка будет очень малой величиной и его учитывать не нужно). А так как

$$\Delta\alpha = \omega\Delta t,$$

то для скорости колечка получаем

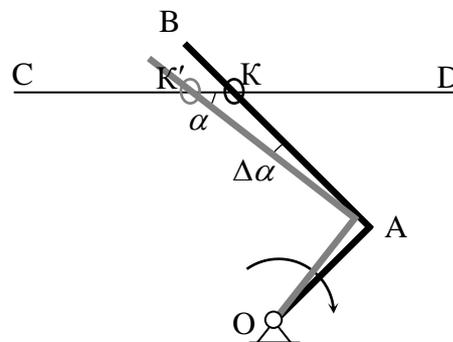
$$v = \frac{KK'}{\Delta t} = \frac{AK \cdot \omega}{\sin \alpha}$$

Найдем теперь длину  $AK$ . Геометрически находим

$$OA \cos \alpha + AK \sin \alpha = 2l$$

Отсюда находим

$$AK = \frac{l(2 - \cos \alpha)}{\sin \alpha}$$



В результате для скорости колечка получаем

$$v = \frac{(2 - \cos \alpha) l \omega}{\sin^2 \alpha}$$

**Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)**

1. **Правильная идея решения – найти перемещение колечка за произвольный малый интервал времени – 1 балл.**
2. **Правильная геометрия поворота стержня и движения колечка. Правильный чертеж – 1 балл.**
3. **Геометрически правильное нахождение перемещение колечка – 1 балл**
4. **Учет малости взятого интервала времени – 1 балл**
5. **Правильный ответ для скорости колечка – 1 балл**

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

Если участник находит скорость через производную по времени от перемещения колечка ставить полный балл при условии получения правильного ответа.

4. Очевидно, сопротивление цепи не будет меняться при перемещении ползунка реостата только в том случае, когда через реостат не течет электрический ток. А это значит, что напряжение на реостате равно нулю. Или

$$I_1 R_1 = I_2 R_3$$

где  $I_1$  и  $I_2$  - токи, текущие через верхнюю и нижнюю ветви цепи соответственно. Поскольку

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} \text{ и } I_2 = \frac{U}{R_3 + R_4}$$

получаем

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \Rightarrow R_1 R_4 = R_2 R_3$$

Отсюда находим сопротивление  $R_4$  и сопротивление  $R$  всей цепи

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = 75 \text{ Ом}, R = \frac{(R_1 + R_2)^2 R_3}{R_1^2 + R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = 55,6 \text{ Ом}$$

**Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):**

1. **Правильная идея решения – поскольку от положения ползунка сопротивление цепи не зависит, то ток по мостовой части цепи не течет - 1 балл**
  2. **Правильная формула для сопротивлений проводов, прилегающих к сбалансированному мосту – 1 балл**
  3. **Правильный ответ (формула и число) для сопротивления  $R_4$  – 1 балл**
  4. **Правильные формулы для нахождения сопротивления цепи, содержащих последовательные и параллельные резисторы – 1 балл**
  5. **Правильный ответ (формула и число) для сопротивления всей цепи – 1 балл**
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

5. Поскольку воздух прозрачен для солнечного излучения, он нагревается только от поверхности земли, которая нагревается, поглощая солнечное излучение. В результате воздух вблизи поверхности земли расширяется, у него уменьшается плотность, и он «всплывает» (по закону Архимеда)

в окружающем более холодном воздухе. Рассмотрим такую «всплывающую» порцию воздуха. Поскольку давление воздуха уменьшается с увеличением высоты над поверхностью земли, то уменьшается и давление рассматриваемой порции воздуха. А так как обмениваться теплом с окружающим воздухом она не успевает, с ней происходит адиабатическое расширение с уменьшением температуры. В результате при определенной высоте над поверхностью земли температура «всплывающего» воздуха достигает точки росы и происходит конденсация пара в маленькие капельки воды – образуются облака. Таким образом, конденсация пара происходит при строго определенной высоте, а потому нижняя поверхность облаков – плоская. Естественно, граница конденсации зависит от влажности воздуха и температуры, поэтому в разные дни граница облаков может оказаться на разной высоте над землей.

При конденсации пара выделяется тепло, что приводит к небольшому повышению температуры окружающего воздуха, и, следовательно, внутри облака возникают восходящие потоки, которые поднимают сконденсировавшиеся капельки воды на разные высоты. Именно поэтому верхняя граница облаков – не резкая, а похожа на восходящие клубы тумана.

**Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):**

- 1. Правильное утверждение, что облака – взвесь капелек воды в воздухе (туман) – 1 балл**
  - 2. Правильная идея решения – охлаждение влажного воздуха за счет адиабатического расширения - 1 балл**
  - 3. Правильное утверждение о достижении температурой воздуха точки росы на определенной высоте, которая зависит от его влажности – 1 балл**
  - 4. Правильное утверждение о выделении тепла при конденсации воздуха – 1 балл**
  - 5. Правильное утверждение о нагреве окружающего воздуха при конденсации воды и формировании восходящих потоков воздуха, который поднимает капли тумана – 1 балл**
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.**

**6.** Силы, действующие на ползуны, показаны на рисунке. Это силы тяжести  $m\vec{g}$  и  $2m\vec{g}$ , силы реакции направляющих  $\vec{N}_A$  и  $\vec{N}_B$ , направленные перпендикулярно направляющим, поскольку они гладкие, и силы  $\vec{T}_A$  и  $\vec{T}_B$  со стороны стержня, которые могут быть направлены только вдоль стержня (так как стержень не имеет массы). Поэтому второй закон Ньютона для ползунов дает

$$\begin{aligned} m\vec{a}_A &= m\vec{g} + \vec{N}_A + \vec{T}_A \\ 2m\vec{a}_B &= 2m\vec{g} + \vec{N}_B + \vec{T}_B \end{aligned}$$

или в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси

$$\begin{aligned} ma_A &= mg - T \sin \alpha \\ 2ma_B &= T \cos \alpha \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь учтено, что модули сил натяжения стержня, действующих на ползуны одинаковы. Найдем связь ускорений ползунов. Поскольку стержень нерастяжим, проекции скоростей концов на стержень равны друг другу. Поэтому

$$v_A \sin \alpha = v_B \cos \alpha$$

Таким образом, в любой момент времени скорости концов связаны соотношением

$$v_B = v_A \operatorname{tg} \alpha$$

А, значит, такой же является и связь ускорений в самый первый момент времени после отпускания ползунунов

$$a_B = a_A \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1)-(2), получим

$$a_A = \frac{g \cos^2 \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}, \quad a_B = \frac{g \sin \alpha \cos \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$$

**Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов):**

1. Правильная расстановка сил, действующих на ползуны - 1 балл
2. Правильный 2 закон Ньютона для ползунунов – 1 балл
3. Правильные условия связи сил натяжения и ускорений – 1 балл
4. Правильный ответ для ускорения ползуна А – 1 балл
5. Правильный ответ для ускорения ползуна В – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

**Оценка работы**

Оценка работы складывается из оценок задач. Максимальная оценка работы – 30 баллов.

Допустимыми являются все целые оценки от 0 до 30.

2 вариант (критерии оценки задач такие же как в варианте 1)