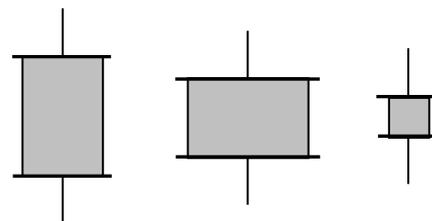


**Задания, решения и критерии оценки работ очного отборочного тура
Инженерной олимпиады школьников
10 класс, 2023-2024 учебный год**

1. У инженера есть два пружинных динамометра, имеющих шкалу одинакового размера, но рассчитанных на измерение разных сил: максимальные силы, которые могут измерить динамометры, составляют $F_1 = 10$ Н и $F_2 = 25$ Н. Пружины динамометров меняют местами, соединяют их последовательно и растягивают. При этом показания второго динамометра (со шкалой на максимальную силу F_2) составляют $f_2 = 15$ Н. Каковы в этом случае показания f_1 первого динамометра (со шкалой на максимальную силу F_1)?

2. Если тонкую металлическую фольгу в форме прямоугольника включить между двумя длинными электродами короткой стороной к электродам (левый рисунок), ее сопротивление будет равно r_1 . Если ту же фольгу включить между электродами длинной стороной к электродам (средний рисунок), ее сопротивление будет равно r_2 . Каким будет сопротивление такой же фольги в форме квадрата со стороной, вдвое меньшей короткой стороны прямоугольника, включенной в цепь так, как это показано на правом рисунке?



3. 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: $t_1 = 67^\circ$ С в первом и $t_2 = 56^\circ$ С – во втором. Найти комнатную температуру и температуру горячей воды. Теплоемкостью калориметра и потерями тепла пренебречь.

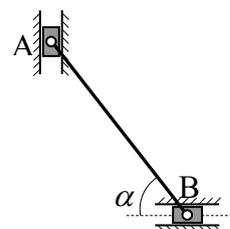
4. Найти расстояние до видимого горизонта в открытом море, если точка его наблюдения находится на высоте $h = 10$ метров над уровнем моря. Видимым горизонтом называется линия, по которой небо кажется граничащим с поверхностью Земли. Из-за кривизны поверхности Земли расстояние до видимого горизонта конечно. Радиус Земли $R = 6400$ км.

5. Имеется два сосуда, герметично соединенных жесткой трубкой: один объемом $V_1 = 5$ л с жесткими стенками, второй объемом $V_2 = 1$ л - пластиковая бутылка. В сосуде и бутылке находится горячий воздух. Воздух медленно охлаждают, измеряя его давление. До температуры воздуха, равной $t_0 = 50^\circ$ С, давление в сосудах убывало, а начиная с этой температуры перестало изменяться. Однако, начиная с некоторой температуры, давление снова стало убывать. Объяснить этот опыт и найти температуру, начиная с которой давление снова



стало убывать. Количество воздуха в сосуде и его химический состав не менялись в течение всего процесса.

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 α , а потом отпускают. Найти их ускорения в момент начала движения. Ползун называется точечное массивное тело, которое может двигаться по некоторой поверхности или в некоторых направляющих.



Решения и критерии оценивания

1. Поскольку размеры шкал одинаковы, то коэффициенты жесткости пружин относятся так же, как пределы шкал

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{F_1}{F_2} \quad \Rightarrow \quad k_1 = \frac{F_1}{F_2} k_2$$

При последовательном соединении динамометров сила упругости будет одинакова. Эта сила по показаниям второго динамометра (который имеет сейчас пружину с жесткостью k_1) будет равна

$$F = k_1 \Delta x_2$$

где Δx_2 - удлинение пружины второго динамометра при последовательном соединении динамометров и их растяжении. Подставляя сюда коэффициент жесткости из (1), получим

$$F = \frac{F_1}{F_2} k_2 \Delta x_2$$

Но $k_2 \Delta x_2$ - это показания второго динамометра, которые по условию составляют значение f_2 . Поэтому

$$F = \frac{F_1}{F_2} f_2$$

Рассматривая аналогично удлинение первого динамометра, получим

$$F = \frac{F_2}{F_1} f_1$$

Приравняв эти значения, получим

$$f_1 = \frac{F_1^2}{F_2^2} f_2 = 2,4 \text{ Н}$$

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

1. Правильное соотношение коэффициентов жесткости пружин (как пределов шкал) - 1 балл
2. Равенство сил натяжения пружин динамометров при их последовательном соединении – 1 балл

3. Правильно найдена сила натяжения пружин динамометра – 1 балл

4. Правильное соотношение силы натяжения пружин и показаний первого динамометра – 1 балл

5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

2. Пусть удельное сопротивление материала фольги равно ρ , толщина d , длина короткой стороны прямоугольника из фольги - a , длиной - b . Тогда сопротивление фольги, подключенной к электродам короткой стороной, равно

$$r_1 = \frac{\rho b}{ad}$$

длинной –

$$r_2 = \frac{\rho a}{bd}$$

Умножая эти формулы друг на друга, найдем

$$\rho = d\sqrt{r_1 r_2},$$

Когда из той же фольги вырезается квадрат со стороной x и подключается своими сторонами к электродам, его сопротивление будет равно

$$r = \frac{\rho x}{xd} = \frac{\rho}{d} = \sqrt{r_1 r_2}$$

От размера квадрата это сопротивление не зависит.

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

1. Использование правильной формулы, связывающей сопротивление проводника с его длиной и площадью поперечного сечения - 1 балл

2. Правильное соотношение для сопротивления фольги при первом включении – 1 балл

3. Правильное соотношение для сопротивления фольги при втором включении – 1 балл

4. Правильно найдено удельное сопротивление фольги – 1 балл

5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.

3. 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.

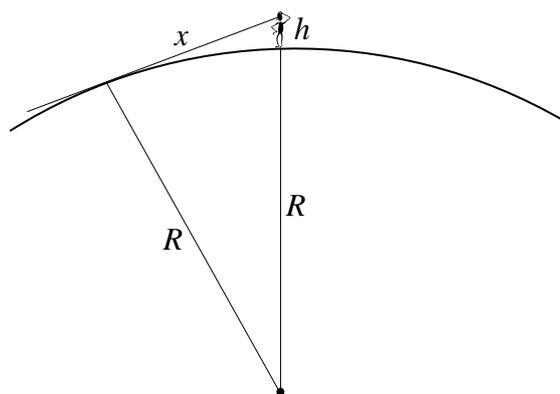
4. Построение хода лучей, идущих от горизонта к наблюдателю, выполнено на рисунке. Из рисунка находим, что расстояние x от наблюдателя до горизонта определяется следующим образом по теореме Пифагора

$$x = \sqrt{(R+h)^2 - R^2} = \sqrt{R^2 + 2Rh + h^2 - R^2} \approx \sqrt{2Rh}$$

где h - высота наблюдателя над уровнем моря (здесь мы пренебрегли малым слагаемым h^2 по сравнению с величиной $2Rh$). Таким образом, расстояние до видимого горизонта пропорционально квадратному корню из высоты,

на которой находится наблюдатель над уровнем моря. Для высоты $h = 10$ метров (высота палубы барка Крузенштерн плюс рост человека) это расстояние равно

$$x = \sqrt{2Rh} = 11,3 \text{ км}$$



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

- 1. Правильный чертеж расположения человека, поверхности Земли, расстояния до горизонта - 1 балл**
 - 2. Правильное использование теоремы Пифагора для нахождения расстояния до горизонта – 1 балл**
 - 3. Пренебрежение квадратичным по высоте человека слагаемым – 1 балл**
 - 4. Правильный ответ – 1 балла**
 - 5. Правильный числовой ответ – 1 балл**
- Оценка за задачу находится как сумма оценок по перечисленным критериям.**

4. Чтобы объяснить данный в условии эксперимент нужно учесть, что сосуд имеет жесткие стенки и не может ни сжиматься, ни расширяться при изменении давления. А бутылка изготовлена из мягкого, но нерастяжимого пластика, т.е. способна сминаться, если давление воздуха внутри меньше атмосферного, но не может расширяться, если давление воздуха внутри больше атмосферного (но, конечно, не превосходит предела прочности пластика, из которого изготовлена бутылка). Далее нужно предположить, что первоначальное давление в сосудах превосходит атмосферное. Действительно, при охлаждении воздуха его давление падает, но пока оно больше атмосферного, объем бутылки и сосуда меняться не будет, поскольку атмосферное давление не сможет сжать бутылку. Следовательно, до температуры $t = 50^\circ \text{C}$ с воздухом в сосуде и в бутылке происходит изохорическое охлаждение с уменьшением давления. Начиная с температуры $t = 50^\circ \text{C}$ при охлаждении воздуха по условию его давление перестает меняться, значит, должен уменьшаться объем воздуха. Это можно объяснить, если допустить, что давление газа в сосудах достигло при этой температуре атмосферного давления, и бутылка начинает сминаться под действием атмосферного давления. И давление будет оставаться равным атмосферному, пока бутылка полностью не сомнется. После этого объем воздуха уменьшаться уже не может, поэтому снова начнет умень-

шаться давление воздуха. Это значит, что при той температуре, которую нужно найти бутылка полностью смялась, т.е. суммарный объем сосудов стал равен 5 л. Напишем газовые законы, отвечающие этой схеме охлаждения воздуха в сосуде и в бутылке.

От температуры $t = 50^\circ$ до неизвестной температуры t_1 с газом происходит изобарический процесс. Поэтому

$$\frac{V_1 + V_2}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$$

где $V_1 = 5$ л - объем сосуда, $V_2 = 1$ л - объем бутылки, $T_0 = 273 + 50$ К и T_1 - абсолютные температуры, отвечающие началу и концу изобарического процесс. Отсюда находим, что $T_1 = 269$ К или $t_1 = -4^\circ$ С.

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

1. Правильная идея решения – сминание бутылки, когда давление в системе станет равно атмосферному - 1 балл
2. Правильное разделение процесса на изохорический, изобарический, а затем снова изохорический – 1 балл
3. Правильное использование закона Гей-Люссака для изобарического процесса – 1 балл
4. Правильная формула для температуры окончания изобарического процесса – 1 балл
5. Правильный числовой ответ – 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

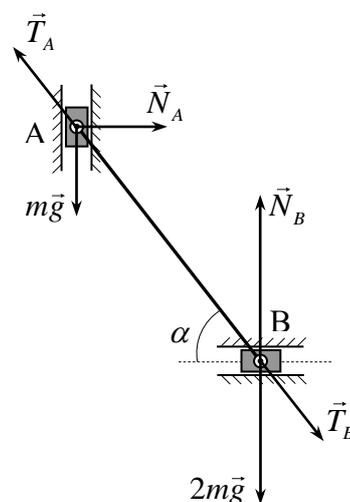
$$\begin{aligned} ma_A &= mg - T \sin \alpha \\ 2ma_B &= T \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

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 отпущания ползунков

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

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 ползунки - 1 балл**
- 2. Правильный 2 закон Ньютона для ползунков – 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.