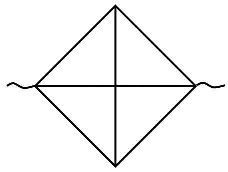
**Решения и критерии оценивания решений**
**Задач заключительного тура олимпиады «Росатом», 2020-2021 учебный год,**
**физика, 8 класс**

**Задание**

**1.** Если два тела будут двигаться навстречу друг другу, то расстояние между ними будет уменьшаться на величину $\Delta l$ за каждые $\Delta t$ секунд. Если тела будут двигаться друг за другом, то расстояние между ними будет увеличиваться на величину $2\Delta l$ за каждые $6\Delta t$ секунд. Найти скорости тел.

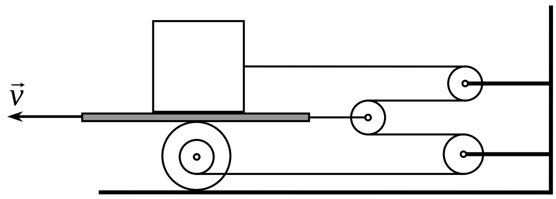
**2.** Деревянный брусок плавает в одной жидкости, погрузившись на 2/3 своего объема. Тот же брусок плавает в другой жидкости, погрузившись на 1/3 своего объема. Смешивают массу $M$ первой жидкости и массу $M/2$ второй жидкостей. На какую часть своего объема погрузится в эту смесь тот же брусок? Объем смеси жидкости равен сумме объемов ее компонент.

**3.** Из проволоки, сопротивление единицы длины которой равно $\lambda$, изготовили квадрат со стороной $a$ с двумя диагоналями. Найти его сопротивление, если он включается в цепь между двумя противоположными вершинами (см. рисунок). В точке пересечения диагоналей между ними есть электрический контакт.



**4.** При смешении воды с некоторой положительной температурой и льда с некоторой отрицательной температурой были получены следующие результаты. Если масса льда превышает массу воды более чем в $n$ раз, то после установления равновесия в калориметре будет один лед. Если масса воды превышает массу льда более чем в $2n$ раз, то после установления равновесия в калориметре будет только вода. При каком соотношении масс льда и воды $m_л / m_в$ (с теми же начальными температурами) после установления равновесия в калориметре останется такое же количество воды и льда.

**5.** Намотанную на катушку нитку пропустили через систему трех блоков – двух неподвижных и одного подвижного - и привязали к кубу, который находится на доске, лежащей на катушке и привязанной к оси подвижного блока (см. рисунок). Внешний радиус катушки вдвое больше радиуса намотки нитки. Доску тянут со скоростью $v$. Найти скорость куба. Проскальзывания между катушкой и доской, а также катушкой и полом – нет.



**Решения**

**1.** При движении навстречу формулы расстояние-время-скорость для каждого тела дают

$$\frac{\Delta l}{\Delta t} = v_1 + v_2$$

А при движении друг за другом

$$\frac{2\Delta l}{6\Delta t} = v_1 - v_2$$

(здесь мы считаем, что $v_1 > v_2$). Складывая и вычитая эти уравнения, найдем

$$v_1 = \frac{2}{3}\frac{\Delta l}{\Delta t},\ v_2 = \frac{1}{3}\frac{\Delta l}{\Delta t}$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)**
**1. Использование правильных формул «расстояние-время-скорость» – 0,5 балла**
**2. Правильное уравнение для движения навстречу – 0,5 балла**
**3. Правильное уравнение для движения друг за другом – 0,5 балла**
**4. Правильный ответ – 0,5 балла**

**2.** Условия плавания бруска в первой и второй жидкостях дают

$$\rho_0 Vg = \rho_1 g\frac{2}{3}V, \qquad \rho_0 Vg = \rho_2 g\frac{1}{3}V$$

где $\rho_0$, $\rho_1$ и $\rho_2$ - плотности бруска, первой и второй жидкостей соответственно, $V$ - объем бруска.

Отсюда следует, что $\rho_0 = (2/3)\rho_1$ и $\rho_2 = 2\rho_1$. Найдем теперь среднюю плотность смеси жидкостей.

Имеем

$$\rho_{cp} = \frac{M + \frac{M}{2}}{\frac{M}{\rho_1} + \frac{M}{2\rho_2}} = \frac{M + \frac{M}{2}}{\frac{M}{\rho_1} + \frac{M}{4\rho_1}} = \frac{6}{5}\rho_1$$

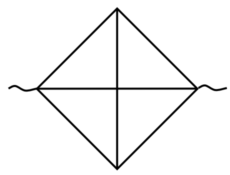
Поэтому условие плавания бруска в смеси жидкостей дает

$$\rho_0 Vg = \rho_{cp} gkV$$

где $k$ - доля объема бруска, погруженная в смесь жидкостей. Отсюда получаем

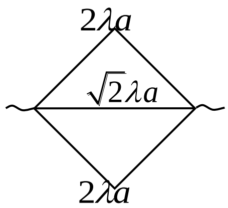
$$k = \frac{5}{9}.$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)**
**1. Правильная идея решения – найти среднюю плотность смеси, для плотности каждой жидкости использовать закон плавания тела – 0,5 балла**
**2. Правильные условия плавания в первой и второй жидкостях и верное нахождение отношение плотностей жидкости к плотности тела – 0,5 балла**
**3. Правильное нахождение средней плотности жидкости – 0,5 балла**
**4. Правильный ответ – 0,5 балла**



**3.** Поскольку данная в условии электрическая цепь симметрична относительно направления «верх-низ» (см. рисунок) по поперечной диагонали квадрата не течет электрический ток. Действительно, с точки зрения протекания электрического тока «верх» цепи ничем не отличается от ее «низа», а «право» от «лева». Поэтому токи в продольной диагонали квадрата до и после центрального узла будут одинаковы. А если бы в поперечной диагонали текли токи, они были бы одинаковы по величине и направлению, а это привело бы к изменению тока в продольной диагонали «до» и «после» центрального узла.

А это означает, что если мы удалим центральный поперечный проводник из цепи (см. рисунок), с точки зрения протекания электрического тока она никак не изменится, и, следовательно, ее сопротивление останется точно таким же. Но ее сопротивление совсем легко вычислить, поскольку эта цепь представляет собой три параллельных проводника, сопротивления которых таковы (сверху вниз): $2\lambda a$, $\sqrt{2}\lambda a$ и $2\lambda a$ (длина диагонали квадрата в $\sqrt{2}$ раз больше длины стороны). Находя общее сопротивление параллельно соединенных проводников, получим




$$\frac{1}{R}=\frac{1}{2\lambda a}+\frac{1}{\sqrt{2}\lambda a}+\frac{1}{2\lambda a}=\frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}\lambda a}$$

Отсюда

$$R=\frac{\sqrt{2}\lambda a}{\sqrt{2}+1}$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)**
**1. Правильные формулы для сложения последовательно и параллельно соединенных резисторов – 0,5 балла**
**2. Доказательство, что можно выбросить поперечную диагональ – 0,5 балла**
**3. Правильные сопротивления сторон и диагонали квадрата – 0,5 балла**
**4. Правильный ответ – 0,5 балла**

**4.** Из условия следует, что если

$$m_л = nm_в$$

то в калориметре будет лед с температурой $T=0°$С. Это значит, что при таком соотношении масс, при установлении равновесия лед нагрелся до температуры $T=0°$С, вода остыла до температуры $T=0°$С и вся превратилась в лед. Поэтому уравнение теплового баланса для таких масс воды и льда дает

$$c_л nm_в\left(T-T_л\right)=\lambda m_в+c_в m_в\left(T_в-T\right)\qquad\Rightarrow\qquad -c_л nT_л=\lambda+c_в T_в \qquad (*)$$

где $c_л$ и $c_в$ - удельные теплоемкости льда и воды, $\lambda$ - удельная теплота кристаллизации воды, $T_л$ и $T_в$ - начальные температуры льда и воды (в последней формуле использовано, что температура плавления льда $T=0°$С, и температуры необходимо задавать в градусах Цельсия).

Аналогично, если

$$m_в = 2nm_л$$

то после установления равновесия в калориметре будет вода с температурой $T=0°$С. Т.е. при таком соотношении масс лед нагреется до температуры плавления и превратится в воду при этой же температуре, а вода охладится до температуры плавления льда. Поэтому

$$c_л m_л\left(T-T_л\right)+\lambda m_л=c_в 2nm_л\left(T_в-T\right)\qquad\Rightarrow\qquad -c_л T_л+\lambda=2c_в nT_в \qquad (**)$$

(аналогично (*) в последней формуле использовано, что температура плавления льда $T = 0°\text{C}$, и температуры необходимо задавать в градусах Цельсия). Решая систему уравнений

$$c_л n T_л + c_в T_в = -\lambda$$
$$c_л T_л + 2c_в n T_в = \lambda$$

относительно величин $c_л T_л$ и $c_в T_в$, получим

$$c_л T_л = -\frac{\lambda(2n+1)}{2n^2-1}, \ c_в T_в = \frac{\lambda(n+1)}{2n^2-1} \qquad (***)$$

(здесь температуры льда и воды заданы в градусах Цельсия).

Рассмотрим теперь процесс установления льда и воды с теми же начальными температурами и такими массами, что после установления равновесия в сосуде останутся лед и вода с такими же массами. Такое возможно только в случае, когда температуры льда и воды равны температуре плавления льда $T = 0°\text{C}$. Поэтому в этом случае при установлении равновесия лед нагревается до температуры $T = 0°\text{C}$, но не плавится, а вода остывает до температуры $T = 0°\text{C}$, но не кристаллизуется. Поэтому уравнение теплового баланса имеет вид

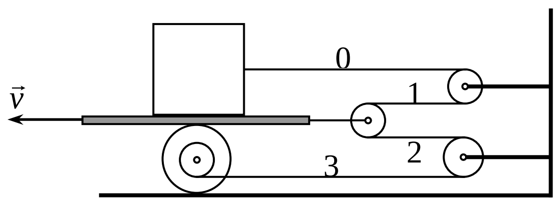
$$c_л m_л (T - T_л) = c_в m_в (T_в - T) \qquad \Rightarrow \qquad -c_л m_л T_л = c_в m_в T_в$$

(аналогично (*) в последней формуле использовано, что температура плавления льда $T = 0°\text{C}$, и температуры необходимо задавать в градусах Цельсия). Отсюда с учетом (***) находим

$$\frac{m_л}{m_в} = \frac{n+1}{2n+1}$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)**
**1. Правильные формулы для количеств теплоты, необходимых для нагревания льда/воды и для плавления льда – 0,5 балла**
**2. Правильное уравнение теплового баланса для первого случая – 0,5 балла**
**3. Правильное уравнение теплового баланса для второго случая – 0,5 балла**
**4. Правильный ответ для отношения масс льда и воды в калориметре – 0,5 балла**

**5.** За малое время $\Delta t$ доска переместилась на расстояние $v\Delta t$. Тогда участки нити 1 и 2 (см. рисунок) удлинились на $v\Delta t$. При этом скорость верхней точки катушки равна скорости доски (из-за отсутствия проскальзывания). А




поскольку нижняя точка катушки не проскальзывает относительно земли, центр катушки переместился влево на $v\Delta t/2$. При этом скорость точек внутренней части катушки (на которую намотана нить) относительно центра катушки равна $v/4$ и направлена вправо. Поэтому с катушки смотается кусочек нитки длиной $v\Delta t/4$, но из-за перемещения катушки на $v\Delta t/2$ влево, для участка нити 3 потребуется дополнительный кусочек нити длиной $v\Delta t/4$, на который укоротится остальные участки нити. Таким образом, участок нити 0 за время $\Delta t$ сократится на величину

$$2v\Delta t + \frac{v\Delta t}{4} = 2,25 v\Delta t$$

что приведет к перемещению куба на эту величину. Поэтому его скорость будет равна

$$v_{куба} = 2,25v$$

и направлена вправо.

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла)**
**1. Правильная идея решения – подсчет перемещений доски и блоков и, соответственно, куба – 0,5 балла**
**2. Правильная связь перемещений верхней точки и центра катушки, а также точек ее внутренней части – 0,5 балла**
**3. Правильный подсчет длины вытянутого участка нити – 0,5 балла**
**4. Правильный ответ для скорости куба – 0,5 балла**

**Оценка работы**
**Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 10 баллов. Допустимыми являются все целые или «полуцелые» оценки от 0 до 10.**