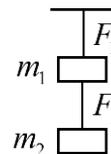


**Задания очного отборочного тура**  
**Отраслевой физико-математической олимпиады школьников «Росатом»**  
**Физика, 10 класс, комплект 1**  
**2017 г.**

1. Два груза подвешены на двух легких веревках, так, как показано на рисунке. Отношение сил натяжения верхней и нижней веревки известно:  $F_1 : F_2 = 3 : 1$ . Найти отношение масс верхнего и нижнего грузов  $m_1 : m_2$ .



**Решение.** Из условий равновесия грузов

$$F_1 = (m_1 + m_2)g$$

$$F_2 = m_2g$$

получим (деля первое уравнение на второе):

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{F_1}{F_2} - 1 = 2$$

### Критерии оценки задачи

1. использованы условия равновесия грузов – 0,5 балла
2. получена правильная система равновесия двух грузов – 1 балл
3. получен правильный окончательный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

2. В калориметре находится вода с температурой  $T = 20^\circ \text{C}$ . В калориметр опустили нагреватель, и через время  $\Delta t = 10$  мин из калориметра выкипела  $1/6$  часть воды. Через какое время выкипит еще такая же масса воды? Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·град), удельная теплота парообразования воды  $L = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг. Теплоемкостью калориметра пренебречь, считать, что вся энергия, сообщаемая калориметру, тратится только на нагрев воды и ее испарение.

**Решение.** Интенсивное испарение воды происходит при температуре кипения. Поэтому можно считать, что при сообщении воде тепла она сначала нагревается до температуры кипения, а затем начинает испаряться. Поэтому для времени выкипания шестой части воды условие теплового баланса дает

$$P\Delta t = cm(T_0 - T) + \frac{1}{6}mL \quad (1)$$

где  $P$  - мощность нагревателя,  $T_0 = 100^\circ \text{C}$  – температура кипения воды. Аналогично для выкипания еще одной шестой части воды (при том, что вода уже имеет температуру кипения) получаем из условия теплового баланса

$$P\Delta t_1 = \frac{1}{6}mL \quad (2)$$

Деля формулу (1) на формулу (2), получим

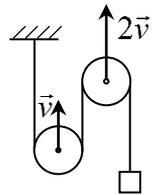
$$\Delta t_1 = \frac{L\Delta t}{6c(T_0 - T) + L} = 6,7 \text{ мин}$$

### Критерии оценки задачи

1. использовано правильное уравнение теплового баланса для первого процесса – 0,5 балла
2. правильно найдено (или формула или число) отношение масс воды и льда – 0,5 балла
3. использована правильная идея нахождения температуры воды и получена правильная конечная формула – 0,5 балла
4. получен правильный числовой ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

**3.** В системе, изображенной на рисунке, левый блок движется вверх со скоростью  $v$ , правый - вверх со скоростью  $2v$ . В каком направлении и с какой скоростью движется груз?



**Решение.** Очевидно, что груз перемещается потому, что перемещаются блоки. Поэтому для нахождения скорости груза свяжем перемещения блоков с перемещением груза. За некоторый интервал времени  $\Delta t$  левый блок переместится вверх на величину  $v\Delta t$ , правый – вверх на величину  $2v\Delta t$ . Тогда длина веревки слева от левого блока уменьшится на  $v\Delta t$ , между блоками увеличится на  $2v\Delta t - v\Delta t = v\Delta t$ . Поэтому длина куска веревки справа от правого блока не изменится, но точка правого блока, от которой этот кусок начинается, поднимется на величину  $2v\Delta t$ . Это и будет перемещение груза за время  $\Delta t$  -  $\Delta x_{gp} = 2v\Delta t$ . Отсюда заключаем, что скорость груза направлена вверх и равна

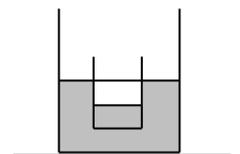
$$v_{gp} = \frac{\Delta x_{gp}}{\Delta t} = 2v$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея нахождения скорости груза – нахождение его перемещения за какой-то вспомогательный интервал времени – 0,5 балла
2. Попытка связать перемещение груза с перемещениями блоков – 0,5 балла
3. Правильное определение направления скорости груза – 0,5 балла
4. Правильная формула для скорости груза – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

**4.** В цилиндрическом стакане с водой, стоящим на столе, плавает другой цилиндрический стакан, в который также налито некоторое количество воды. Как изменится уровень воды в большом стакане, если в малый налить массу воды  $m$ ?



Площадь сечения большого стакана  $3S$ , малого -  $S$ . Плотность воды  $\rho$ . При наливании воды в малый стакан он не опускается на дно большого. Стенки стаканов очень тонкие.

**Решение.** Условие равновесия плавающего стакана дает

$$Mg + mg = \rho g V_{н.ч.}$$

где  $M$  - масса плавающего стакана,  $m$  - масса воды в нем,  $V_{н.ч.}$  - объем погруженной в воду части стакана. Очевидно, для погруженной в воду части стакана можно записать  $V_{н.ч.} = Sh_1 + Sh_2$ , где  $h_1$  - высота слоя воды в стакане,  $h_2$  - разность уровней воды в большом и малом стакане. Отсюда получаем

$$Mg + mg = \rho g Sh_1 + \rho g Sh_2$$

А поскольку стенки плавающего стакана – тонкие, произведение  $\rho Sh_1$  равно массе воды налитой в плавающий стакан. Отсюда заключаем, что разность уровней воды в большом и малом стаканах определяется только массой плавающего стакана и не зависит от массы воды в нем  $M = \rho Sh_2$ . А поскольку слой воды в малом стакане увеличивается на величину

$$\Delta h = \frac{\Delta m}{\rho S}$$

то на эту величину увеличится расстояние от поверхности воды в большом стакане до дна малого стакана. Используя это условие, найдем подъем уровня воды в большом стакане.

Пусть малый стакан при наливании в него воды опустился на величину  $\Delta x_1$  (по отношению к своему первоначальному положению). Тогда он вытеснил дополнительно из большого стакана объем воды  $\Delta x_1 S$ . Это вытеснение приводит к поднятию уровня в большом стакане на величину  $\Delta x_2$ , которую можно найти из очевидного соотношения

$$(3S - S)\Delta x_2 = S\Delta x_1 \quad \Rightarrow \quad \Delta x_2 = \frac{\Delta x_1}{2}$$

А поскольку  $\Delta x_2 + \Delta x_1 = \Delta h$ , находим из предыдущей формулы

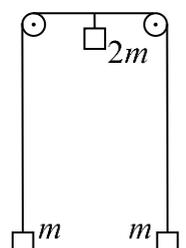
$$\Delta x_1 = \frac{2\Delta h}{3} = \frac{2\Delta m}{3\rho S}$$

### Критерии оценки задачи

1. использовано правильное условие равновесия стакана в воде – 0,5 балла
2. доказано, что разность уровней в стакане и в остальном сосуде определяется только массой стакана и не зависит от количества воды в нем – 0,5 балла
3. понята и правильно использовано условие повышения воды в сосуде при погружении стакана – 0,5 балла
4. получена правильная окончательная формула – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

5. Через два блока, находящихся на одной высоте на расстоянии  $2l$  друг от друга, переброшена очень длинная нить. К концам нити привязаны грузы массой  $m$ , к середине – груз массой  $2m$ . В начальный момент грузы удерживают так, что нить между блоками горизонтальна, а затем отпускают. Найти скорости грузов через достаточно большое



время. Боковые грузы за это время не успели подняться до блоков.

**Решение.** Очевидно, центральный груз начнет опускаться с ускорением (его силу тяжести не смогут компенсировать силы натяжения нити между блоками). Однако через достаточно большое время (при условии, что боковые грузы еще не успевают подняться к блокам) система тел будет двигаться с постоянной скоростью. Действительно, когда центральный груз опустится достаточно сильно, участки нити между блоками расположатся практически вертикально. Поэтому сила тяжести действующая на центральный груз -  $2m\vec{g}$ , будет компенсироваться силами тяжести крайних грузов – две силы по  $m\vec{g}$ . Следовательно, ускорение тел будет равно нулю, и тела будут двигаться с постоянными скоростями.

Скорости тел найдем по закону сохранения энергии. Пусть крайние тела поднялись на величину  $x$ . Это приведет к увеличению потенциальной энергии системы на величину  $2mgx$ . Но центральные участки нити, которые будут практически вертикальны будут иметь длину  $x+l$  (длина  $x$  «пришла» от боковых участков нити, куски нити длиной  $l$  были в начальный момент слева и справа от центрального груза). Поэтому убыль потенциальной энергии за счет опускания центрального груза равна

$$2mg(x+l)$$

Поэтому потенциальная энергия системы тел уменьшилась на величину  $2mgl$ . Поэтому закон сохранения энергии (с учетом того, что при практически вертикальном расположении нитей скорости всех грузов одинаковы) дает

$$2mgl = 2\frac{mv^2}{2} + \frac{2mv^2}{2}$$

Отсюда получаем

$$v = \sqrt{gl}$$

### Критерии оценки задачи

1. понято, что через большой интервал времени тела будут двигаться с постоянными скоростями – 0,5 балла
  2. использован закон сохранения энергии для нахождения скоростей – 0,5 балла
  3. правильно найдена убыль потенциальной энергии через большое время – 0,5 балла
  4. получен правильный ответ – 0,5 балла
- Максимальная оценка за задачу– 2 балла

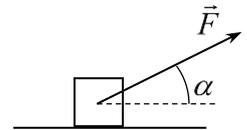
**Задания очного отборочного тура**  
**Отраслевой физико-математической олимпиады школьников «Росатом»**  
**Физика, 10 класс, комплект 2**  
**2017 г.**

**Задания**

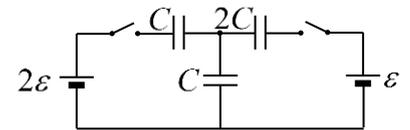
1. Сосуд разделен на две части закрепленной перегородкой. В одну часть сосуда помещают  $\nu$  молей кислорода, в другую  $2\nu$  молей гелия. В некоторый момент времени перегородка становится проницаемой для гелия (но непроницаемой для кислорода). Найти отношение объемов частей сосуда, если давление газа в той части, где первоначально был кислород, увеличилось в  $n = 1,5$  раза. Температуры газов одинаковы и не меняются в течение процесса.

2. На часах 16:00. Через какое время после этого часовая минутная стрелки часов встретятся во второй раз?

3. Тело массой  $m = 2$  кг аккуратно положили на горизонтальную поверхность и подействовали на него силой  $F = 6$  Н, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Коэффициент трения между телом и поверхностью равен  $k = 0,4$ . Найти силу трения, действующую на тело.  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>,  $\cos 30^\circ = 0,87$ ,  $\sin 30^\circ = 0,5$ .



4. В цепи, схема которой изображена на рисунке, проводят следующий процесс: замыкают правый ключ, а после установления равновесия его размыкают и замыкают левый ключ. Найти напряжение на «среднем» конденсаторе после этого. Чему будет равно напряжение на среднем конденсаторе через очень большое число переключений ключей? Изначально конденсаторы не заряжены. ЭДС источников и емкости конденсаторов приведены на рисунке.



5. В вертикальном цилиндрическом сосуде под массивным поршнем находится одноатомный идеальный газ при температуре  $T_0$ , при этом поршень находится в равновесии. Температуру газа в сосуде мгновенно увеличивают в два раза. Какая температура установится в сосуде после того, как поршень перестанет двигаться? Теплоемкостью поршня и сосуда пренебречь, теплотери отсутствуют.

## Решения

1. Закон Клапейрона-Менделеева для той части сосуда, где находился кислород, и закон Дальтона для смеси газов в этой части сосуда дают

$$p_1 V_1 = \nu RT, \quad p_1' V_1 = (\nu + \Delta \nu) RT,$$

где  $p_1$  и  $p_1'$  - давление кислорода и давление смеси газов в этой части сосуда,  $V_1$  - ее объем,  $\Delta \nu$  - количество вещества гелия, перешедшее в эту часть сосуда после того как перегородка стала прозрачной для него,  $T$  - температура газов. Деля эти два равенства друг на друга и учитывая, что гелий распределится по сосуду равномерно и, следовательно,

$$\Delta \nu = \frac{2\nu V_1}{V_1 + V_2}$$

( $V_2$  - объем той части сосуда, где гелий), получим уравнение для отношения объемов  $x = V_1 / V_2$

$$1 + \frac{2x}{x+1} = n$$

Отсюда находим

$$x = \frac{n-1}{3-n} = \frac{1}{3}$$

## Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использовать законы Клапейрона-Менделеева и Дальтона для той части сосуда, где первоначально был один кислород – 0,5 балла
2. Правильное уравнение для отношения объемов – 0,5 балла
5. Получена правильная окончательная формула – 0,5 балла
4. Правильные вычисления – 0,5 балла

**Максимальная оценка за задачу – 2 балла**

2. Поскольку минутная стрелка делает полный оборот за 60 минут, а часовая – за 12 часов, угловые скорости минутной и часовой стрелок часов равны

$$\omega_q = \frac{2\pi}{12 \cdot 60} (\text{м}^{-1}) \quad \omega_m = \frac{2\pi}{60} (\text{м}^{-1})$$

Очевидно, к моменту второй «встречи» часовой и минутной стрелок минутная стрелка повернется на угол, больший угла поворота часовой стрелки на величину первоначального угла между стрелками плюс угол полного оборота

$$120^\circ + 360^\circ = \frac{8\pi}{3}$$

Поэтому уравнение для времени второй встречи стрелок имеет вид

$$(\omega_m - \omega_q)t = \frac{8\pi}{3}$$

Отсюда с использованием угловых скоростей стрелок, находим

$$t = 87,3 \text{ м}$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использовать законы движения стрелок с известными их угловыми скоростями (причем может быть даже без введения понятия угловой скорости, а через пропорциональные соотношения для времени полного оборота) – 0,5 балла
2. Правильно понято, что к моменту второй встречи стрелок, часовая повернется на угол, на  $480^\circ$  меньший, чем угол поворота минутной – 0,5 балла
3. Правильно уравнение для времени – 0,5 балла
4. Получена правильная окончательная формула и проведены вычисления – 0,5 балла

### Максимальная оценка за задачу – 2 балла

3. Проверим, движется ли тело в данных условиях, или нет. Для этого сравним проекцию внешней силы на горизонтальное направление и максимальную силу трения покоя

$$F \cos \alpha \quad \vee \quad kN = k(mg - F \sin \alpha)$$

Если левая часть больше правой части, тело движется, если нет – покоится. Подставляя в это сравнение данные в условии значения, получим

$$5,2(H) < 6,8(H)$$

Поэтому тело в данных условиях покоится, а сила трения равна проекции внешней силы на горизонтальное направление

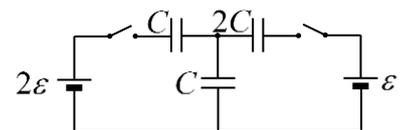
$$F_{mp} = F \cos \alpha = 5,2(H)$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – понять, движется тело или покоится в данных условиях – 0,5 балла
2. Правильные формулы для максимальной силы трения покоя и сравнения – 0,5 балла
3. Правильный вывод относительно покоя тела – 0,5 балла
4. Правильный ответ и вычисления – 0,5 балла

### Максимальная оценка за задачу – 2 балла

4. После установления равновесия в правой части цепи заряды на конденсаторах  $C$  и  $2C$  будут одинаковы, а сумма напряжений равна ЭДС правого источника. Поэтому заряд «среднего» конденсатора будет равен



$$q = \frac{\varepsilon C}{3}$$

Пусть заряды, которые приобретут левый и средний конденсатор при размыкании правого ключа и замыкании левого, равны  $q_1$  и  $q_2$  соответственно. Тогда для  $q_1$  и  $q_2$  справедливы следующие соотношения

$$q_2 - q_1 = q$$

$$\frac{q_1}{C} + \frac{q_2}{C} = 2\varepsilon$$

Отсюда находим заряд среднего конденсатора, а затем и напряжение на нем

$$q_2 = \frac{7}{6} \varepsilon C \quad U = \frac{7}{6} \varepsilon$$

После большого числа переключений на конденсаторах установятся такие заряды, которые не будут меняться при переключении (ясно, что такие заряды найдутся, поскольку на заряды трех конденсаторов накладываются три условия – сумма напряжений в одном контуре равна  $\varepsilon$ , в другом –  $2\varepsilon$ , и сумма зарядов соединенных друг с другом пластин конденсаторов равна нулю). Пусть заряды положительно заряженных пластин конденсаторов равны: левого –  $q_1$ , среднего –  $q_2$ , правого –  $q_3$ .

Для них выполнены следующие условия

$$\frac{q_1}{C} + \frac{q_2}{C} = 2\varepsilon$$

$$\frac{q_3}{2C} + \frac{q_2}{C} = \varepsilon$$

$$q_2 = q_1 + q_3$$

Решая эту систему уравнений, получим для заряда среднего конденсатора

$$q_1 = \varepsilon C$$

а напряжение после большого числа переключений –  $U_\infty = \varepsilon$ . Обратим внимание, что конденсатор  $2C$  через много переключений ключа окажется незаряженным.

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использовать условия равновесия зарядов в цепи и правила последовательного соединения конденсаторов (заряды одинаковы, напряжения складываются) – 0,5 балла
2. Правильно найден заряд среднего конденсатора после первого включения – 0,5 балла
3. Правильно найден заряд среднего конденсатора после размыкания правого и замыкания левого ключа – 0,5 балла
4. Правильно найден заряд среднего конденсатора после многих переключений ключей – 0,5 балла

### Максимальная оценка за задачу – 2 балла

5. Условие равновесия поршня и закон Клапейрона-Менделеева до нагревания газа дают

$$\begin{aligned} mg &= pS \\ pV &= \nu RT_0 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad mgh = \nu RT_0 \quad (*)$$

где  $p$  – давление газа,  $S$  и  $V$  – площадь сечения и объем сосуда (до нагревания газа),  $\nu$  – количество вещества газа,  $h$  – высота поршня над дном сосуда до нагревания.

При нагревании мы сообщаем газу такую же энергию, какая у него была (так его температура увеличится вдвое), но газ теряет энергию, израсходованную на увеличение потенциальной энергии поршня. Поэтому если поршень поднимется на высоту  $h_1$  (по сравнению со своим первоначальным уровнем), то закон сохранения энергии даст

$$\frac{3}{2}\nu RT_1 = \frac{3}{2}\nu RT_0 + \frac{3}{2}\nu RT_0 - mgh_1 \quad (**)$$

С другой стороны, условие равновесия поршня в конечном состоянии позволяет связать температуру газа и высоту расположения поршня над дном сосуда (аналогично второй формуле (\*))

$$mg(h + h_1) = \nu RT_1 \quad \Rightarrow \quad mgh_1 = \nu RT_1 - \nu RT_0$$

(при переходе ко второй формуле здесь использовано соотношение (\*)). Подставляя это соотношение в формулу (\*\*), решая полученное уравнение, получим

$$T_1 = \frac{8}{5}T_0$$

### **Критерии оценки задачи**

1. Правильная идея решения – использование закона сохранения энергии, в котором учтен «приход» энергии за счет нагревания, и потеря за счет увеличения потенциальной энергии поршня – 0,5 балла
2. Правильно написано условие равновесия поршня до нагревания - 0,5 балла
3. Написано правильное уравнение закона сохранения энергии для системы газ-поршень – 0,5 балла
4. Правильный ответ – 0,5 балла

**Максимальная оценка за задачу – 2 балла**