

### Задание 1 (5 минут)

В сосуде с водой плавает опрокинутая вверх дном кастрюля. Будет ли изменяться уровень воды в кастрюле с изменением температуры окружающего воздуха? (Тепловым расширением воды, кастрюли и сосуда пренебречь.)

#### Решение

Согласно условию плавания тел  $F_A = mg$ . Масса системы тел кастрюля + воздух внутри кастрюли не зависит от температуры, т.е. не меняется с изменением температуры. Следовательно, выталкивающая силы так же меняться не будет. Т.к. объем погруженной части кастрюли меняться не будет, то не будет меняться и уровень воды в кастрюле.

#### Разбалловка

Записано условие плавания тел – 2б

Записано, что масса системы кастрюля + воздух в кастрюле не зависит от температуры – 2б

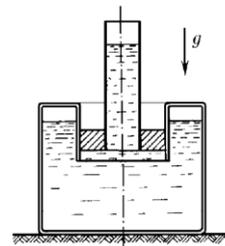
Записано, что выталкивающая сила не изменится – 2б

Записано, что глубина погружения кастрюли не изменится – 2б

Дан правильный ответ – 2б

### Задание 2 (7 минут)

В верхней части сосуда с водой имеется цилиндрическое отверстие, плотно закрытое подвижным поршнем. В поршень вделана вертикальная трубка. Радиус поршня 10 см, радиус трубки 5 см, масс поршня с трубкой 20 кг. Определите высоту столба воды в трубке при равновесии системы.



#### Решение

Сила давления жидкости на поршень  $F_D = \rho gh(\pi R^2 - \pi r^2)$ . Силы давления со стороны столба жидкости на поршень уравнивает вес поршня  $\rho gh(\pi R^2 - \pi r^2) = mg$ . Следовательно,  $h = \frac{mg}{\rho g\pi(R^2 - r^2)}$ .

$$h = \frac{20 \cdot 10}{100 \cdot 10 \cdot 3,14(0,1^2 - 0,05^2)} \approx 0,85 \text{ м.}$$

#### Разбалловка

Записано выражение  $P = \rho gh$  - 1б

Записано выражение  $F_D = \rho gh(\pi R^2 - \pi r^2)$  - 2б

Записано выражение  $\rho gh(\pi R^2 - \pi r^2) = mg - 3б$

Записано выражение  $h = \frac{mg}{\rho g \pi (R^2 - r^2)} - 3б$

Дан правильный ответ – 1б

### Задание 3 (7 минут)

В озере плавает вертикально цилиндрическая тонкостенная бочка с массивным дном. В бочку до уровня  $h$  налита вода. За  $N$  дней вода из бочки испарилась. Определите среднюю скорость всплытия бочки?

#### Решение

Согласно условию плавания  $\begin{cases} \rho gsh_1 = g(m_B + \rho sh) \\ \rho gsh_2 = gm_B \end{cases}$ .

Решая систему уравнений, получим  $\Delta h = -h$ . Знак «-» говорит об уменьшении глубины погружения бочки.

Т.к. площадь поверхности озера намного больше площади сечения бочки, изменением уровня воды в озере при всплытии бочки можно пренебречь.

Тогда  $v_{\text{ср}} = \frac{h}{N}$ .

#### Разбалловка

Записано условие плавания тел – 2б

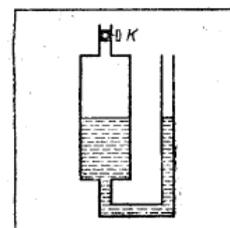
Доказано, что изменение глубины погружения бочки равно  $h$  – 4б

Указано, что изменением уровня воды в озере можно пренебречь – 2б

Записано выражение  $v_{\text{ср}} = \frac{h}{N}$  – 2б

### Задание 4 (5 минут)

Сообщающиеся сосуды (рис.) частично заполнили водой и кран  $K$  закрыли. Произойдет ли изменение уровней воды в сосудах через длительное время, если температура окружающего воздуха и атмосферное давление за это время останутся без изменений? Ответ поясните.



#### Решение

В узкой трубке уровень воды будет располагаться выше, чем в широкой. Поверхность однородной жидкости в сообщающихся сосудах располагается на одном уровне, если давление на свободную поверхность жидкости одинаковое. С течением времени вода в сосудах испаряется. Концентрация водяных паров в

широком сосуде возрастает, следовательно, возрастает и давление на свободную поверхность жидкости в широком сосуде. В узком сосуде концентрация водяных паров остается без изменения, т.к. молекулы водяного пара уходят в атмосферный воздух. Поэтому давление на свободную поверхность в узком сосуде не изменяется.

### Разбалловка

Указано, что поверхность жидкости располагается на одном уровне при равенстве давлений на свободную поверхность жидкости – 2б

Указано, что концентрация водяных паров в широком сосуде возрастает – 2б

Записано, что в широком сосуде давление на свободную поверхность жидкости возрастает – 2б

Записано, что давление на свободную поверхность жидкость в узком сосуде не изменяется – 2б

Дан правильный ответ – 2б

### Задание 5 (10 минут)

Свинцовая пуля массой 9 г, летящая со скоростью 825 м/с, разогревается из-за трения о воздух до температуры 150 °С. Пуля попадает в сугроб с температурой 0 °С. Какое наибольшее количество снега может при этом растаять? Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг, удельная теплоемкость свинца 130 Дж/(кг·°С).

### Решение

Изменение кинетической энергии пули и изменение ее внутренней энергии идет на плавление льда. Опираясь на закон сохранения энергии, запишем  $\frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + c_{\text{св}}m_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t) = \frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + \lambda m_{\text{с}}$ . Максимальная масса льда расплавится, если пуля остановится и остынет до температуры снега. Тогда  $\frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + c_{\text{св}}m_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t_{\text{л}}) = \lambda m_{\text{с}}$ .

Максимальная масса растаявшего снега

$$m_{\text{с}} = \frac{\frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + c_{\text{св}}m_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t_{\text{л}})}{\lambda} = \frac{0,009 \cdot \left( \frac{825^2}{2} + 130 \cdot (150 - 0) \right)}{330 \cdot 10^3} = 9,81 \text{ г.}$$

### Разбалловка

Записано, что изменение кинетической энергии пули и изменение ее внутренней энергии идет на плавление льда – 2б

Записано выражение  $\frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + c_{\text{св}}m_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t) = \frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + \lambda m_{\text{с}}$  – 3б

Записано выражение  $\frac{m_{\text{п}}v_0^2}{2} + c_{\text{св}}m_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t_{\text{л}}) = \lambda m_{\text{с}}$  – 2б

Записано выражение  $m_c = \frac{\frac{m_{\text{п}} \vartheta_0^2}{2} + c_{\text{св}} m_{\text{п}} (t_{\text{п}} - t_{\text{л}})}{\lambda} - 26$

Найдена максимальная масса снега – 16

### Задание 6 (7 минут)

На зимней дороге при температуре снега  $-10^\circ\text{C}$  автомобиль в течение 1 мин 6 сек буксует, развивая мощность  $12\text{ кВт}$ . Сколько снега может растаять при буксовании автомобиля? Удельная теплоемкость льда  $2100\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , удельная теплота плавления –  $330\text{ кДж}/\text{кг}$ .

#### Решение

Работа, совершаемая автомобилем  $A = Pt$ .

Работа идет на нагревание снега и его плавление, а так же на выделение тепла в окружающую среду  $A = cm\Delta t + \lambda m + Q_{\text{ср}}$ .

Пренебрегая теплотерями, можно оценить массу растаявшего снега  $m = \frac{Pt}{c\Delta t + \lambda} = \frac{12000 \cdot 66}{2100 \cdot 10 + 330000} = 2,256\text{ кг}$ .

#### Разбалловка

Записано выражение  $A = Pt - 26$

Записано, что работа идет на нагревание снега и его плавление, а так же на выделение тепла в окружающую среду – 26

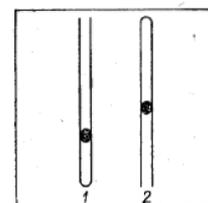
Записано выражение  $A = cm\Delta t + \lambda m + Q_{\text{ср}} - 26$

Записано выражение  $m = \frac{Pt}{c\Delta t + \lambda} - 26$

Найдена масса растаявшего снега – 26

### Задание 7 (5 минут)

В запаянную с одного конца трубку поместили капельку ртути. Между запаянным концом трубки и капелькой ртути находится некоторая масса воздуха. В каком случае для нагревания этого воздуха до температуры  $t$  потребуется больше энергии: если трубка находится в положении 1 или в положении 2 (рис.)? Начальная температура воздуха в обоих случаях одинакова.



#### Решение

В положении 1.

Воздух при нагревании расширяется. Когда трубка находится в положении 1, то воздух в ней, расширяясь, совершает работу по подъему ртути. Эта работа совершается за счет сообщаемой воздуху энергии. Следовательно, на

увеличение температуры будет расходоваться только часть энергии. Поэтому, чтобы воздух нагреть до такой же температуры, как и в случае 2, потребуется дополнительная энергия.

### Разбалловка

Записано, что воздух при нагревании расширяется – 2б

Записано, что воздух совершает работу по подъему ртути (против силы тяжести) – 3б

Записано, что часть энергии сообщаемой воздуху в положении 1 идет на совершении работы против силы тяжести – 3б

Дан правильный ответ – 2б

### Задание 8 (10 минут)

В цилиндре под поршнем площадью  $300 \text{ см}^2$  находится лед при температуре  $0^\circ \text{C}$ . В поршне находится нагреватель мощностью  $1 \text{ кВт}$ . После включения нагревателя поршень начал равномерно опускаться. Определите его скорость. Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность льда  $900 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплота плавления льда  $330 \text{ кДж/кг}$ . Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью поршня пренебречь. Считайте, что в каждый момент времени содержимое сосуда находится в термодинамическом равновесии.

### Решение

Масса расплавляющегося льда  $m = \frac{P\tau}{\lambda}$ , где  $\tau$  – время,  $\tau = \frac{m\lambda}{P}$ .

Изменение объема под поршнем  $\Delta V = \frac{m}{\rho_{\text{л}}} - \frac{m}{\rho_{\text{в}}}$ .

Расстояние, проходимое поршнем, при таянии льда  $h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{m}{S} \left( \frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right)$ .

Скорость движения поршня  $v = \frac{h}{\tau} = \frac{\frac{m}{S} \left( \frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right)}{\frac{m\lambda}{P}} = \frac{P \left( \frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right)}{S\lambda}$ .

$$v = \frac{1000 \cdot \left( \frac{1}{900} - \frac{1}{1000} \right)}{0,03 \cdot 330000} = 1,12 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 0,01 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$$

### Разбалловка

Записано выражение  $m = \frac{P\tau}{\lambda}$  – 1б

Записано выражение  $\Delta V = \frac{m}{\rho_{\text{л}}} - \frac{m}{\rho_{\text{в}}}$  – 2б

Записано выражение  $h = \frac{m}{S} \left( \frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right)$  – 2б

Записано выражение  $\vartheta = \frac{P\left(\frac{1}{\rho_L} - \frac{1}{\rho_B}\right)}{S\lambda} - 36$

Найдена скорость движения поршня – 26

### Задание 9 (10 минут)

Имеются два теплоизолированных сосуда. В первом из них находится 5 л воды при температуре 60 °С, во втором 1 л воды при температуре 20 °С. Часть воды перелили из первого сосуда во второй. После установления теплового равновесия во втором сосуде из него в первый сосуд отлили столько воды, чтобы ее объемы в сосудах стали равными первоначальному. После этих операций температура воды в первом сосуде стала 59°С. Сколько воды переливали из первого сосуда во второй и обратно?

#### Решение

Запишем уравнение теплового баланса для первого переливания  $c\rho\Delta V(t - t_1) + c\rho V_2(t - t_2) = 0 \Rightarrow \Delta V(t - t_1) + V_2(t - t_2) = 0$ .

Запишем уравнение теплового баланса для второго переливания  $c\rho\Delta V(t_3 - t) + c\rho(V_1 - \Delta V)(t_3 - t_1) = 0 \Rightarrow \Delta V(t_3 - t) + (V_1 - \Delta V)(t_3 - t_1) = 0$ .

Решая систему уравнений, получим  $\Delta V = \frac{V_1 V_2 (t_1 - t_3)}{V_2 (t_1 - t_2) - V_1 (t_1 - t_3)} = \frac{5 \cdot 1 \cdot (60 - 59)}{1 \cdot (60 - 20) - 5 \cdot (60 - 59)} \approx 0,143$  л.

#### Разбалловка

Записано выражение  $c\rho\Delta V(t - t_1) + c\rho V_2(t - t_2) = 0 - 26$

Записано выражение  $c\rho\Delta V(t_3 - t) + c\rho(V_1 - \Delta V)(t_3 - t_1) = 0 - 26$

Записано выражение  $\Delta V = \frac{V_1 V_2 (t_1 - t_3)}{V_2 (t_1 - t_2) - V_1 (t_1 - t_3)} - 46$

Найден объем переливаемой воды – 26

### Задание 10 (7 минут)

При изготовлении льда в домашнем холодильнике потребовалось 5 мин, для того чтобы охладить воду от 4 до 0 °С, и еще 1 ч 40 мин, для того чтобы она превратилась в лед при 0 °С. Чему равна удельная теплота плавления льда?

#### Решение

При одинаковой разнице температур мощность теплопередачи не меняется. Поэтому энергия, выделяющаяся в единицу времени при охлаждении воды и кристаллизации практически одинаковая. Тогда  $\frac{cm\Delta t}{\tau_1} = \frac{\lambda m}{\tau_2} \Rightarrow \lambda = \frac{c\Delta t\tau_2}{\tau_1} = \frac{4200 \cdot 4 \cdot 100}{5} = 336 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

### Разбалловка

Записано, что мощность энергии, выделяемая водой, постоянна – 2б

Записано выражение  $\frac{cm\Delta t}{\tau_1} = \frac{\lambda m}{\tau_2}$  – 3б

Записано выражение  $\lambda = \frac{c\Delta t\tau_2}{\tau_1}$  – 3б

Дан правильный ответ – 2б