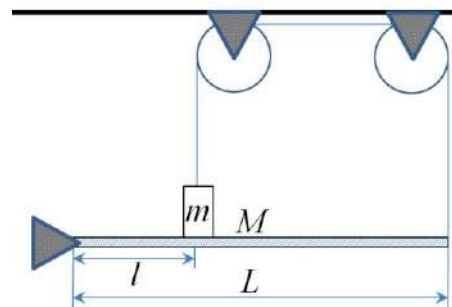


**Межрегиональные предметные олимпиады КФУ  
профиль «Физика»**

**2021-2022 учебный год  
8 класс**

**Задача 1. (20 б.)**

Однородная доска массы  $M$  и длины  $L$  закреплена на шарнире и может свободно поворачиваться в плоскости рисунка. На доске лежит небольшой груз массой  $m$  на расстоянии  $l$  от левого конца (шарнира). Конец доски и груз соединены невесомой нерастяжимой нитью через систему идеальных блоков, как показано на рисунке. При какой минимальной массе  $m$  это возможно? Определите силу натяжения нити ( $m$  считается известной).



**Возможное решение:**

Для решения достаточно записать баланс моментов относительно шарнира. Однако нужно учесть условие, что сила натяжения нити  $T$  не должна превышать  $mg$ . Сила тяжести, действующая на доску, приложена к ее центру.

$$\begin{cases} -mgl - \frac{MgL}{2} + Tl + TL = 0 \\ T \leq mg \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = \frac{mgl + \frac{MgL}{2}}{L + l} \\ \frac{ml + \frac{ML}{2}}{L + l} \leq m \end{cases}$$

$$m \geq \frac{ML}{2(L + l) \left(1 - \frac{l}{L + l}\right)};$$

$$m \geq \frac{M}{2};$$

$$T = \frac{g(2ml + ML)}{2(L + l)}$$

**Критерии оценивания: (20б)**

Записано условие баланса моментов сил относительно шарнира либо аналогичное уравнения.	5
Записано условие равновесия массы $m$ .	4
Найдена сила натяжения.	6
Найдена минимально возможная масса $m$ .	5

**Задача 2. (20 б.)**

Если оставить на зиму ведро или кастрюлю с водой - в помещении на полу, или на земле, то довольно часто у полностью промёрзшей ёмкости лёд выдавливает дно посередине. Объясните это явление, опишите поэтапно процесс замерзания воды и почему так происходит.

**Возможное решение:**

Вода остывает и замерзает за счёт теплопотерь из-за контакта (и через стенки) с окружающим холодным воздухом. Сначала, как правило, замерзает поверхность воды по периметру (как затягивание полыньи) за счёт большей площади теплообмена (теплообмен и вверх и вбок), при этом - что очень важно!, лёд примерзает к стенкам ёмкости. Теплопотери через днище не так велики, поскольку земля (пол) обладают небольшой теплопроводностью и накрыты сверху самой ёмкостью с водой. В дальнейшем происходит постепенное обмерзание стенок и увеличение толщины льда. На последнем этапе замерзает вода около центра дна, а поскольку вода расширяется при охлаждении ниже температуры  $+4^{\circ}\text{C}$ , а лёд примерз к стенкам, то расширение воды (и льда, т.к. вода, превращаясь в лёд, увеличивает свой объём примерно на 9%, плотность льда  $916,7 \text{ кг/м}^3$  при  $0^{\circ}\text{C}$ , т.е. меньше плотности воды) и приводит в выдавливанию дна, преимущественно в центре.

**Критерии оценивания: (20б)**

Указано и объяснено, что вода сначала замерзает по периметру и затем на всей поверхности.	4
Указано, что лёд примерзает к стенкам.	4
Отмечено и объяснено, что теплопотери через днище невелики.	3
Указано, что в дальнейшем происходит постепенное обмерзание стенок и увеличение толщины льда, в том числе у поверхности.	3
Отмечено, что вода расширяется при охлаждении ниже $+4^{\circ}\text{C}$ и/или плотность льда меньше плотности воды.	3
Отмечено, что все вышеперечисленные последовательно факторы приводят в выдавливанию дна, и преимущественно в центре.	3

**Задача 3. (30 б.)**

Некоторое количество алюминия залито в тонкостенную стальную форму, подвешенную за тонкую ручку. В алюминий вплавлен термостойкий электрический нагревательный элемент постоянной мощности. Было замечено, что с момента достижения температуры плавления алюминия ( $T_0 = 660^{\circ}\text{C}$ ) до полного перехода алюминия в жидкую фазу прошло  $t_1 = 40$  минут. Еще  $t_2 = 3$  минуты потребовалось для нагревания жидкого алюминия до  $T_1 = 690^{\circ}\text{C}$ , после чего нагревательный элемент был отключен. Через  $t_3 = 12$  минут алюминий снова начал кристаллизоваться. Сколько приблизительно времени потребуется для кристаллизации всей массы алюминия в данных условиях. Теплоемкостью формы и нагревательного элемента можно пренебречь. Окружающая температура  $20^{\circ}\text{C}$ . Температура плавления стали значительно выше  $T_0$ .

**Возможное решение:**

Обозначим мощность нагревательного элемента  $P_1$ , мощность теплового обмена с окружающей средой обозначим  $P_2$ .  $P_2$  пропорциональна разности температур сосуда с алюминием и окружающей среды. Эту мощность можно считать постоянной, так как разность температур варьируется слабо.

Этап плавления

$$(P_1 - P_2)t_1 = m\lambda; \quad (1)$$

этап нагревания расплава

$$(P_1 - P_2)t_2 = mc(T_1 - T_0); \quad (2)$$

этап охлаждения расплава

$$P_2 t_3 = mc(T_1 - T_0); \quad (3)$$

этап кристаллизации

$$P_2 t_4 = m\lambda; \quad (4)$$

Подстановка (3) в (2) дает

$$(P_1 - P_2) = \frac{P_2}{t_2} t_3$$

Подстановка (1) в (2) дает

$$\left(\frac{m\lambda}{t_1} + P_2 - P_2\right) = \frac{P_2}{t_2} t_3$$

Подстановка  $m\lambda$  в (4) дает окончательно

$$t_4 = \frac{t_1 t_3}{t_2} = 160 \text{ мин};$$

Задача 4. (30 б.)

**Критерии оценивания: (30б)**

Учен теплообмен с окружающей средой.	8
Тепловой баланс различных этапов.	12
Время кристаллизации.	10

**Задача 4. (30 б.)**

В распоряжении экспериментатора есть два типа шариков: легкие и тяжелые. Оба типа шариков имеют одинаковый объем и покрыты одинаковой оболочкой. Если связать один легкий и один тяжелый шарик тонкой невесомой нитью и поместить в глицерин, они будут находиться в равновесии, полностью погрузившись в жидкость. Если взять два легких и один тяжелый шарик и поместить в масло, система также будет в равновесии, полностью погрузившись в жидкость. При погружении связанного одного легкого и одного тяжелого шарика в воду, система начнет тонуть с установившейся скоростью  $v_0 = 0.1$  м/с. Найти среднюю плотность каждого шарика. Какая установившаяся скорость будет у легкого и тяжелого шарика в воде, если нить между ними перерезать? Силу вязкого трения считать прямо пропорциональной скорости тела относительно среды. Силой трения, действующей на нить, пренебречь. Плотность глицерина  $\rho_r = 1260$  кг/м<sup>3</sup>, воды  $\rho_v = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, масла  $\rho_m = 900$  кг/м<sup>3</sup>.

**Возможное решение:**

Найдем среднюю плотность легкого и тяжелого шарика. Для этого рассмотрим погружение в керосин и глицерин

$$\begin{cases} (m_h + m_l)g = 2Vg\rho_r \\ (m_h + 2m_l)g = 3Vg\rho_m \\ \rho_h + \rho_l = 2\rho_r \\ \rho_h + 2\rho_l = 3\rho_m \end{cases}$$

$$\rho_l = 3\rho_m - 2\rho_r = 180 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_h = 4\rho_r - 3\rho_m = 2340 \text{ кг/м}^3$$

Запишем баланс сил для установившегося движения в воде

$$2kv_0 + 2Vg\rho_B = 2Vg\rho_r$$

$$\frac{kv_0}{Vg} + \rho_B = \rho_r$$

$$\frac{k}{Vg} = \frac{(\rho_r - \rho_B)}{v_0}$$

Баланс сил для тяжелого шарика в воде

$$kv_h + Vg\rho_B = Vg(4\rho_r - 3\rho_m)$$

$$\frac{kv_h}{Vg} = 4\rho_r - 3\rho_m - \rho_B$$

$$v_h = \frac{(4\rho_r - 3\rho_m - \rho_B)v_0}{(\rho_r - \rho_B)} \approx 0.52 \text{ м/с}$$

Для легкого

$$-kv_l + Vg\rho_B = Vg(3\rho_m - 2\rho_r)$$

$$\frac{kv_l}{Vg} = \rho_B - 3\rho_m + 2\rho_r$$

$$v_l = \frac{(\rho_B - 3\rho_m + 2\rho_r)v_0}{(\rho_r - \rho_B)} \approx 0.32 \text{ м/с}$$

**Критерии оценивания:**

Баланс сил в масле и глицерине.	5
Плотности шаров.	10
Баланс сил для установившегося движения в воде.	4
Найдено отношение коэффициента трения к объему.	3
Баланс сил для установившегося движения в воде для легкого и тяжёлого шарика.	4
Скорости шариков.	4