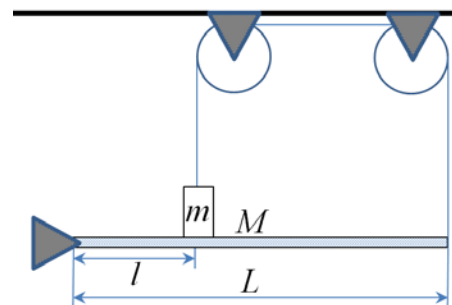


Межрегиональные предметные олимпиады КФУ
профиль «Физика»
заключительный этап
2021-2022 учебный год
10 класс

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.

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

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

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

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

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

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°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°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 3. (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 $\rho_{\Gamma} = 1260$ кг/м³, воды $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³, масла $\rho_{\text{м}} = 900$ кг/м³.

Возможное решение:

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

$$\begin{cases} (m_h + m_l)g = 2Vg\rho_{\Gamma} \\ (m_h + 2m_l)g = 3Vg\rho_{\text{м}} \\ \rho_h + \rho_l = 2\rho_{\Gamma} \\ \rho_h + 2\rho_l = 3\rho_{\text{м}} \end{cases}$$

$$\rho_l = 3\rho_M - 2\rho_\Gamma = 180 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_h = 4\rho_\Gamma - 3\rho_M = 2340 \text{ кг/м}^3$$

Запишем баланс сил для установившегося движения в воде

$$2kv_0 + 2Vg\rho_B = 2Vg\rho_\Gamma$$

$$\frac{kv_0}{Vg} + \rho_B = \rho_\Gamma$$

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

Баланс сил для тяжелого шарика в воде

$$kv_h + Vg\rho_B = Vg(4\rho_\Gamma - 3\rho_M)$$

$$\frac{kv_h}{Vg} = 4\rho_\Gamma - 3\rho_M - \rho_B$$

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

Для легкого

$$-kv_l + Vg\rho_B = Vg(3\rho_M - 2\rho_\Gamma)$$

$$\frac{kv_l}{Vg} = \rho_B - 3\rho_M + 2\rho_\Gamma$$

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

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