

### Ключи ответов

Решение каждой задачи оценивается целым числом баллов от 0 до 10.

В исключительных случаях допускаются оценки, кратные 0,5 балла.

Проверка работ осуществляется Жюри олимпиады согласно стандартной методике оценивания решений:

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
8-9	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение
6-7	Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические)
4-5	Найдено решение одного из двух возможных случаев
2-3	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений не полна и невозможно найти решение
0-1	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0	Решение неверное, или отсутствует

Максимальный балл за всю работу – 50.

### Задача 1. Невесомая пружина

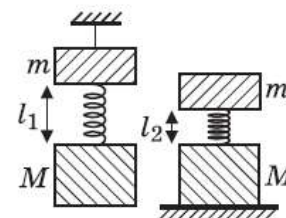
Невесомая пружина скрепляет два груза массами  $m = 1$  кг и  $M = 3$  кг. Когда эта система подвешена за верхний груз, длина пружины равна 20 см. Если систему поставить на подставку, длина пружины будет равна 10 см. Определите длину ненапряженной пружины.

Решение. Условия равновесия грузов в первом случае (когда пружина растянута) и во втором случае (когда пружина сжата) имеют вид соответственно:

$Mg = k(l_1 - l_0)$ ,  $mg = k(l_0 - l_2)$ . Выражая из этих соотно-

шений  $l_0$ , получаем:  $l_0 = \frac{ml_1 + Ml_2}{m + M} = 12,5$  см.

О т в е т.  $l_0 = 12,5$  см.

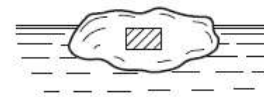


### Критерии оценивания

Записано условие равновесия грузов в первом случае	3
Записано условие равновесия грузов во втором случае	3
Получено выражение для $l_0$	2
Получен правильный числовой ответ	2

## Задача 2. Вмерзший брусок

Тело, состоящее из куска льда и вмерзшего в него алюминиевого бруска, плавает в воде так, что под водой находится  $\alpha = 95\%$  объема тела. Какой процент льда  $\beta$  должен растаять, чтобы тело полностью погрузилось в воду?



Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность алюминия  $2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность льда  $900 \text{ кг/м}^3$ .

**Решение.** Пусть  $V_a$  — объем алюминиевого бруска,  $V_0$  и  $V$  — начальный и конечный объемы льда. Выражая массы этих тел через их объемы и плотности, имеем:  $m_a = \rho_a V_a$ ,  $m_0 = \rho_l V_0$ ,  $m = \rho_l V$ , где  $m_a$  — масса алюминия,  $m_0$  и  $m$  — начальная и конечная массы льда. Условия плавания льда с вмерзшим в него бруском можно записать в виде:

$$(V_0 \rho_l + V_a \rho_a) g = \frac{\alpha}{100\%} (V_0 + V_a) \rho_v g \quad (\text{при частичном погружении в воду});$$

$$(V \rho_l + V_a \rho_a) g = (V + V_a) \rho_v g \quad (\text{при полном погружении в воду}).$$

По условию задачи, искомая величина  $\beta = 100\% \cdot \frac{V_0 - V}{V_0}$ . Отсюда  $V = V_0 \left(1 - \frac{\beta}{100\%}\right)$ . Подставляя это соотношение в условие плавания полностью погруженного тела,

$$\text{получаем: } \left(V_0 \left(1 - \frac{\beta}{100\%}\right) \rho_l + V_a \rho_a\right) g = \left(V_0 \left(1 - \frac{\beta}{100\%}\right) + V_a\right) \rho_v g.$$

Для того чтобы исключить неизвестные  $V_0$  и  $V_a$ , приведем условия плавания к виду:

$$\left(\rho_l - \frac{\alpha \rho_v}{100\%}\right) V_0 = \left(\frac{\alpha \rho_v}{100\%} - \rho_a\right) V_a, \quad \left(1 - \frac{\beta}{100\%}\right) (\rho_v - \rho_l) V_0 = (\rho_a - \rho_v) V_a.$$

Деля почленно эти выражения одно на другое, получаем:

$$\frac{\rho_l - \frac{\alpha \rho_v}{100\%}}{\left(1 - \frac{\beta}{100\%}\right) (\rho_v - \rho_l)} =$$

$$= \frac{\frac{\alpha \rho_v}{100\%} - \rho_a}{\rho_a - \rho_v}. \quad \text{Отсюда находим: } \beta = \frac{\left(1 - \frac{\alpha}{100\%}\right) \rho_v (\rho_a - \rho_l)}{\left(\rho_a - \frac{\alpha \rho_v}{100\%}\right) (\rho_v - \rho_l)} \cdot 100\% = 51\%.$$

О т в е т.  $\beta = 51\%$ .

### Критерии оценивания

Записано условие плавания льда с вмерзшим в него бруском (частичное погружение)	3
Записано условие плавания льда с вмерзшим в него бруском (полное погружение)	3
Получено выражение $\beta$	2
Получен правильный числовой ответ	2

### Задача 3. Летящая пуля

Пуля, летящая со скоростью 400 м/с, попадает в земляной вал и проникает в него на глубину 20 см. Какова скорость пули в тот момент времени, когда она находится на глубине 10 см? Силу сопротивления, действующую на пулю в толще земли считать постоянной.

**Решение.** Из кинематического уравнения, связывающего начальную и конечную скорости пули, ее ускорение и перемещение, следует, что:

$$l = \frac{v_0^2}{2a}, \quad l_1 = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2a}. \text{ Исключая из этих соотношений ускорение пули } a, \text{ полу-}$$

$$\text{чаем: } v_1 = v_0 \sqrt{1 - \frac{l_1}{l}} \approx 280 \text{ м/с.}$$

**Ответ.**  $v_1 \approx 280$  м/с.

### Критерии оценивания

Записано кинематическое уравнения для полной остановки	3
Записано кинематическое уравнения для данного момента времени	3
Получено выражение для искомой скорости	2
Получен правильный числовой ответ	2

### Задача 4. Лед в калориметре

В калориметре находится 400 г воды при температуре 5°C. К ней долили еще 200г воды при температуре 10°C и положили 400 г льда при температуре -60°C. Какая масса льда оказалась в калориметре после установления теплового равновесия?

Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг\*°C), Удельная теплоемкость льда 2100 Дж/(кг\*°C), удельная теплота плавления льда 330000 Дж/кг. Теплоемкостью калориметра пренебречь.

**Решение.** Решение задач такого типа необходимо начинать с числовых оценок количеств теплоты, которыми обмениваются различные компоненты системы при установлении теплового равновесия. Определим вначале количество теплоты, которое может отдать вода при остывании до температуры плавления льда (0 °C):  $Q_1 = m_1 c_v t_1 + m_2 c_v t_2 = 16,8$  кДж. Количество тепло-

ты, требующееся для нагревания льда до температуры плавления, равно  $Q_2 = m_3 c_{л} |t_3| = 50,4$  кДж. Сравнивая эти величины, видим, что теплоты, отдаваемой водой при остывании, недостаточно для нагревания льда до  $0^\circ\text{C}$ . В то же время количество теплоты, которое может отдать вся вода при замерзании,  $Q_3 = (m_1 + m_2)\lambda = 198$  кДж явно превышает количество теплоты, требующееся для нагревания льда до температуры плавления. Следовательно, при установлении теплового равновесия в калориметре вода остынет до  $0^\circ\text{C}$ , часть ее замерзнет, и весь лед будет иметь температуру плавления. Обозначив через  $m_x$  массу замерзшей воды, запишем уравнение теплового баланса:  $m_x \lambda = Q_2 - Q_1$ , откуда  $m_x = \frac{Q_2 - Q_1}{\lambda} \approx 102$  г. Таким образом, после установления теплового равновесия в калориметре образуется смесь воды и льда при нулевой температуре, причем масса льда  $m \approx 502$  г.

Ответ.  $m \approx 502$  г.

### Критерии оценивания

Проведена оценка количеств теплоты, которым обмениваются вещества при установлении теплового равновесия	3
Записаны формулы для расчета количеств теплоты	3
Записано уравнение теплового баланса	2
Получен правильный числовой ответ	2

### Задача 5. Электрическая схема.

Четыре резистора сопротивлениями  $R_1 = 3$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 7$  Ом,  $R_4 = 6$  Ом соединены с батареей (рис 11), напряжение на которой  $U_{01} = 9,1$  В.

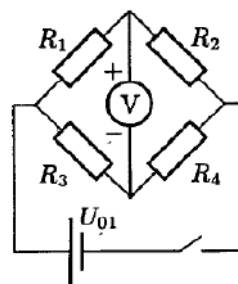


Рис. 11

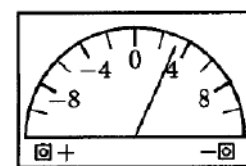


Рис. 12

Между резисторами подключен идеальный вольтметр. Найдите его показания.

В какую сторону отклонится стрелка вольтметра?

При подключении «+» клеммы вольтметра к положительному выводу батареи, а «-» клеммы к отрицательному выводу, стрелка отклоняется вправо. (рис. 12)

**Решение:**

1. Введём обозначения:  $U_i$  — падение напряжения, а  $I_i$  — сила тока, проходящего через соответствующий резистор. Поскольку вольтметр идеальный, то:

$$I_1 = I_2, \quad (8)$$

$$U_1 + U_2 = U_3 + U_4 = U_{01}. \quad (9)$$

Отсюда следует:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = I_2 = \frac{U_2}{R_2},$$

или

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2} U_2. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получим:

$$U_2 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} U_{01}, \quad U_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{01} = 3,9 \text{ В}. \quad (11)$$

Аналогичным образом:

$$U_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_4} U_{01} = 4,9 \text{ В}, \quad U_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{01} = 4,2 \text{ В}.$$

Отсюда найдём показания вольтметра:

$$U_V = U_1 - U_3 = 3,9 \text{ В} - 4,9 \text{ В} = -1 \text{ В}.$$

Знак минус означает, что стрелка отклонится влево.

### Критерии оценивания

Установилась связь между $U_1$ и $U_2$ и $U_3$ и $U_4$	3
Найдены напряжения $U_1$ и $U_3$	4
Найдено показание вольтметра	2
Определено направление отклонения стрелки вольтметра	1