Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
2024/25 учебный год
Решение
8 класс

Задача 1. В распоряжении ученика есть четыре линейки одинаковой длины, но с различной ценой деления: 0,05 см/дел; 0,1 см/дел; 0,5 см/дел и 1 см/дел. Линейки с какой ценой деления ученику будет достаточно, чтобы проградуировать динамометр с точностью 5 Н, если он заметил, что в случае подвешивания к пружине груза массой 5 кг она удлиняется на 14,7 см? Ускорение свободного падения g = 9,8 м/с^2.

Решение. Для ответа на поставленный вопрос необходимо установить расстояние между двумя соседними штрихами шкалы, которое соответствует 5 Н. Для этого запишем закон Гука:

$$F = kd, \tag{1}$$

где d – искомое расстояние, k – жёсткость пружины, а F – заданная точность определения силы. Выразим величину d:

$$d = \frac{F}{k}. \tag{2}$$

Величину жёсткости найдём из баланса сил тяжести и упругости:

$$mg = kx, \tag{3}$$

где m – масса подвешенного тела, x – растяжение пружины. Отсюда

$$k = \frac{mg}{x}. \tag{4}$$

В итоге:

$$d = \frac{Fx}{mg}. \tag{5}$$

Подставляя в полученную формулу численные значения, находим, что

$$d = \frac{5 \cdot 14{,}7 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 9{,}8} = 1{,}5 \cdot 10^{-2}\ (\text{м}) \tag{6}$$

или

$$d = 1{,}5\ \text{см}. \tag{7}$$

Для точного нанесения отрезка длиной 1,5 см необходима линейка с ценой деления, для которой это значение является кратной величиной: 0,05 см/дел, 0,1 см/дел или 0,5 см/дел, но не 1 см/дел.

Таким образом, для градуировки динамометра достаточно иметь линейку с ценой деления 0,5 см/дел как наибольшей из всех допустимых вариантов.

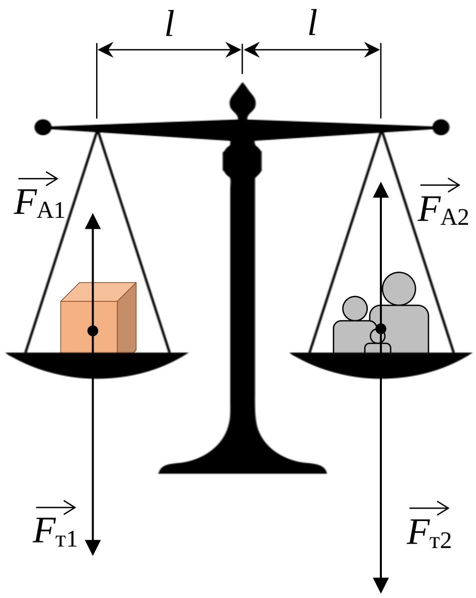
Ответ: 0,5 см/дел.

Критерии оценки (10 баллов):

№	Критерий	Баллы
1)	Показано, что для определения достаточной цены деления линейки необходимо установить расстояние d между двумя соседними штрихами шкалы, которое соответствует 5 Н	3

2)	Задействован закон Гука для определения d, а также жёсткости пружины	2
4)	Получено правильное выражение для d	2
5)	Найдено правильное численное значение d	1
5)	Верно установлена достаточная цена деления линейки	2

Задача 2. Чему равна истинная масса латунного тела, если она уравновешена на рычажных весах алюминиевыми гирями массой m? Плотность латуни – $\rho_л$, плотность алюминия – $\rho_{ал}$, плотность воздуха – $\rho_в$.



Решение. Рычажные весы находятся в равновесии, так как момент равнодействующей силы, приложенной к измеряемому телу, равен моменту равнодействующей, приложенной к гирям.

На все тела из условия задачи действует не только сила тяжести, но и сила Архимеда со стороны воздушной среды (см. рис.).

Равнодействующая сил для латунного тела определится как

$$\overrightarrow{F_{т1}} + \overrightarrow{F_{A1}} = F_{т1} - F_{A1} = Mg - \rho_в V_1 g, \qquad (1)$$

где M – искомая масса тела, $\rho_в$ – плотность воздуха, V_1 – объём тела, g – ускорение свободного падения. Объём V_1 может быть представлен как $M/\rho_л$, где $\rho_л$ – плотность латуни.

Равнодействующая сил для гирь определится как

$$\overrightarrow{F_{т2}} + \overrightarrow{F_{A2}} = F_{т2} - F_{A2} = mg - \rho_в V_2 g, \qquad (2)$$

где m – масса гирь, V_2 – объём гирь. Объём V_2 может быть представлен как $m/\rho_{ал}$, где $\rho_{ал}$ – плотность алюминия.

Пусть l – плечо силы. Ввиду симметрии рычажных весов плечи обеих равнодействующих сил равны. Запишем правило моментов:

$$\left(Mg - \rho_в g \frac{M}{\rho_л}\right) l = \left(mg - \rho_в g \frac{m}{\rho_{ал}}\right) l, \qquad (3)$$

$$M - \rho_в \frac{M}{\rho_л} = m - \rho_в \frac{m}{\rho_{ал}}, \qquad (4)$$

$$M\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_л}\right) = m\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_{ал}}\right), \qquad (5)$$

$$M \cdot \frac{\rho_л - \rho_в}{\rho_л} = m \cdot \frac{\rho_{ал} - \rho_в}{\rho_{ал}}, \qquad (6)$$

откуда

$$M = m \cdot \frac{\rho_л(\rho_{ал} - \rho_в)}{\rho_{ал}(\rho_л - \rho_в)}. \qquad (7)$$

Ответ: $M = m \cdot \frac{\rho_л(\rho_{ал} - \rho_в)}{\rho_{ал}(\rho_л - \rho_в)}$.

Критерии оценки (10 баллов):

№	Критерий	Баллы
1)	Показано, что рычажные весы находятся в равновесии виду равенства моментов равнодействующих сил на каждой их чаше	2
2)	Учтён вклад в равнодействующую силу сил тяжести и Архимеда	3
3)	Правильно записано правило моментов	2
4)	Получена верная формула для искомой массы	3

Задача 3. Ёмкость объёмом 240 мл доверху наполнена водой с температурой t_1 = 20ºС. Без притока тепла вода остывает на 1ºС за время τ = 4 мин. Для поддержания температуры воды постоянной в сосуд капают горячую воду (t_2 = 100ºС) с определённым интервалом времени. Найдите этот интервал. Объём капли принять равным 25 мкл. Считать, что температура воды в сосуде выравнивается мгновенно.

Решение. За искомый интервал времени система теряет столько теплоты, сколько приобретает. То есть

$$-\Delta Q_1 = \Delta Q_2. \tag{1}$$

Количество теплоты, теряемое системой за 4 минуты, определим как

$$\Delta Q_1 = cm\Delta t_2, \tag{2}$$

где c – удельная теплоёмкость воды; $m = \rho V$ – масса воды, определяемая её плотностью ρ и вместимостью сосуда V; Δt_2 – изменение температуры воды за 4 минуты (её необходимо взять со знаком «минус», так как начальная температура воды превосходит конечную).

Если за это же время в сосуд поступает n капель горячей воды, то система приобретает количество теплоты, равное

$$\Delta Q_2 = nm_к c(t_2 - t_1), \tag{3}$$

где $m_к = \rho V_к$ – масса капли.

Перепишем уравнение теплового баланса (1) с учётом (2) и (3):

$$-c\rho V\Delta t_2 = n\rho V_к c(t_2 - t_1) \tag{4}$$

и выразим из него n:

$$n = \frac{-V\Delta t_2}{V_к(t_2 - t_1)}. \tag{5}$$

Важно отметить, что объём воды в сосуде остаётся постоянным, так как, по условию задачи, сосуд изначально наполнен доверху. Это значит, что вместе с поступлением воды в сосуд происходит такая же убыль воды через его края.

Таким образом, за 4 минуты (240 с) в сосуд поступает

$$n = \frac{240 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{25 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 20)} = 120 \text{ (капель)} \tag{6}$$

или 1 капля каждые 2 секунды.

Ответ: 2 с.

Критерии оценки (10 баллов):

№	Критерий	Баллы
1)	Составлено уравнение теплового баланса	2

2)	Получено правильное выражение для поступающего в ёмкость количества капель	3
3)	Показано постоянство объёма воды в сосуде	3
4)	Получено верное значение временно́го интервала	2

Задача 4. Для определения удельной теплоты парообразования воды Миша налил в лабораторный стакан определённое количество воды (рисунок 1) и поставил его на электроплитку. Включив её, он довёл воду до кипения (рисунок 2), а затем, не выключая, наблюдал уменьшение объёма воды за счёт испарения (рисунок 3). Воспроизведите дальнейшие вычисления Миши и по результатам проведённого эксперимента найдите удельную теплоту парообразования воды. Часы, использованные Мишей в эксперименте, показывали время в формате «чч:мм». Значение удельной теплоёмкости воды принять равным 4,19 кДж/(кг·°C). Считать, что электроплитка нагрелась моментально. Парообразованием во время нагревания пренебречь.

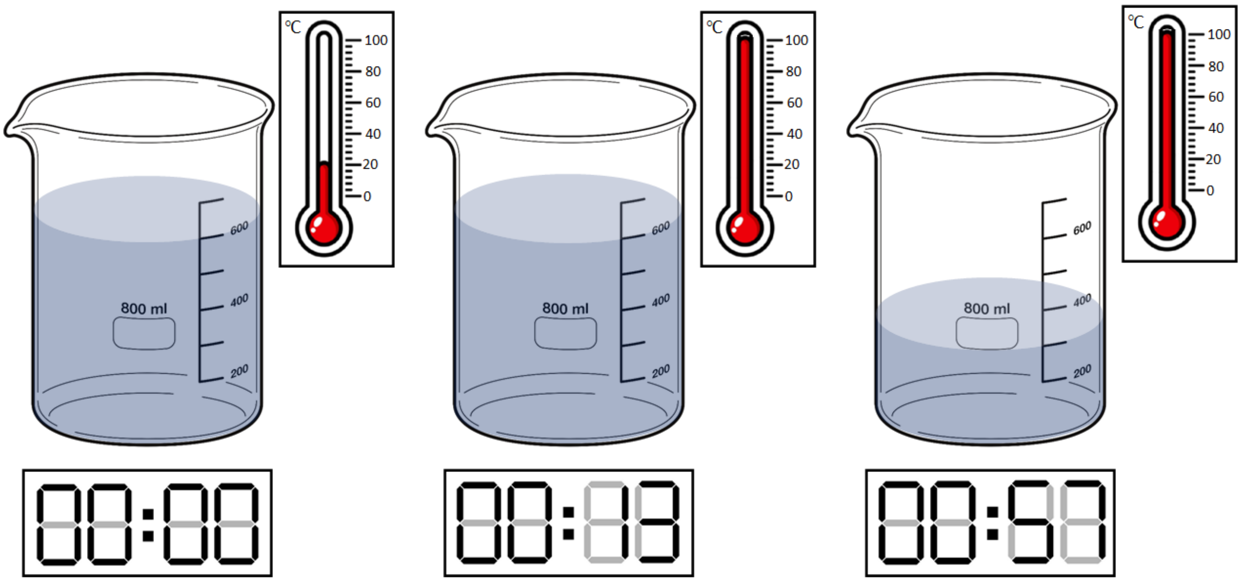


Рисунок 1 *Рисунок 2* *Рисунок 3*

Решение. В течение эксперимента мощность электроплитки остается постоянной. Для случая нагревания воды мощность может быть выражена как

$$P = \frac{cm(t_2 - t_1)}{\Delta\tau_1}, \qquad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость воды, m – масса воды, t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры воды соответственно, $\Delta\tau_1$ – время нагревания воды.

Для случая испарения воды мощность электроплитки определится как

$$P = \frac{L\Delta m}{\Delta\tau_2}, \qquad (2)$$

где L – удельная теплота парообразования воды, Δm – масса воды, обращённая в пар, $\Delta\tau_2$ – время испарения воды.

Приравнивая правые части выражений (1) и (2), запишем:

$$\frac{cm(t_2 - t_1)}{\tau_1} = \frac{L\Delta m}{\tau_2}, \qquad (3)$$

откуда находим, что

$$L = \frac{cm(t_2 - t_1)\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1 \Delta m}. \qquad (4)$$

Принимая во внимание, что $m = \rho V$ и $\Delta m = \rho \Delta V$ (ρ – плотность воды, V – её объём), запишем окончательно:

$$L = \frac{cV(t_2 - t_1)\Delta\tau_2}{\Delta\tau_1 \Delta V}. \qquad (5)$$

Экспериментально полученные значения занесём в следующую таблицу:

Величина	Значение	Значение в СИ
V	600 мл	$6 \cdot 10^{-4}$ м^3
t_1	20°C	
t_2	100°C	
$\Delta\tau_1$	13 мин	780 с
ΔV	300 мл	$3 \cdot 10^{-4}$ м^3
$\Delta\tau_2$	44 мин	2640 с

Подставляя значения в формулу (5), находим, что удельная теплоёмкость воды

$$L = \frac{4190\ \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot (100 - 20) \cdot 2640}{780 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} \approx 2{,}269 \cdot 10^6\ (\text{Дж/кг}) \qquad (6)$$

или

$$L \approx 2{,}269\ \text{МДж/кг}. \qquad (7)$$

Ответ: 2,269 МДж/кг.

Критерии оценки (10 баллов):

№	Критерий	Баллы
1)	Установлено, что удельную теплоту парообразования можно определить на основе постоянства мощности электроплитки	2
2)	Записаны выражения для мощности электроплитки	2
3)	Получена формула для удельной теплоты парообразования	2
4)	Правильно установлены экспериментальные значения объёма, температуры и времени	2
5)	Получено правильное значение удельной теплоты парообразования воды	2