ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)

возрастная группа (**8** класс)

ЗАДАНИЕ 1

В теплоизолированный сосуд, содержащий 1,5 литра воды при температуре 18 ^{0}С, положили мокрый снег массой 375 г. Когда весь снег растаял, температура воды в сосуде стала равной 3 ^{0}С. Определите, массу воды, которая содержалась в снегу. Потери теплоты не учитывать. Удельная теплоёмкость воды c = 4,2 кДж/(кг·^{0}С), плотность воды $\rho = 1$ г/см^3, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Ответ выразить в граммах и округлить до целых.

Решение

Мокрый снег это смесь льда и воды, эти две фазы находятся в равновесии и имеют одинаковую температуру t_0 = 0 ^{0}С.

Введём обозначения: $V -$ объём воды, $t_1 -$ температура воды, $m_{\text{сн}} -$ масса мокрого снега, $m_{\text{в}} -$ масса воды в снеге, $m_{\text{л}} -$ масса льда в снеге, t_0 – температура снега, равная 0 ^{0}С, $t_{\text{см}} -$ температура воды (смеси), когда весь снег растает.

Решение задачи основано на уравнении теплового баланса:

$Q_{\text{отдан}} = Q_{\text{получ}}$.(1),

$Q_{\text{отдан}}$ **—** количество теплоты, которое отдает вода, находящаяся в сосуде, массой $m = \rho V$, при остывании до температуры $t_{\text{см}}$.

$Q_{\text{отдан}} = cm(t_1 - t_{\text{см}})$ или $Q_{\text{отдан}} = c\rho V\,(t_1 - t_{\text{см}})$. (2)

Полученное количество теплоты идёт на таяние льда

$Q_1 = \lambda\, m_{\text{л}}$ (3) , когда лёд превратиться в воду, эта вода и вода, содержащая в снеге, будет нагреваться и получит

$Q_2 =$ c $m_{\text{сн}}(t_{\text{см}} - t_0)$. (4)

$m_{\text{сн}} = m_{\text{в}} + m_{\text{л}}$ (5)

$$Q_{получ} = Q_1 + Q_2 = \lambda\, m_л + c\, m_{сн}(\, t_{см} - \, t_0). \ (6)$$

$$c\rho V\ (\, t_1 - \, t_{см}) = \lambda\, m_л + c\, m_{сн}(\, t_{см} - \, t_0). \ (7)$$

$$m_л = \frac{c[\rho V\ (\, t_1 - t_{см}) - m_{сн}(\, t_{см} - t_0)]}{\lambda}. \ (8)$$

Подставив числовые значения, получим $m_л \approx 0,272$ кг $= 272$ г

Искомая величина $m_в = \ m_{сн} - \ m_л$ и $m_в = 103$ г

Ответ: в мокром снеге содержалось 103 г воды

Критерии оценивания

1. Обосновано, что мокрый снег имеет температуру 0 ^{0}С	2 балла
2. Записано уравнение теплового баланса	1 балла
3. Обосновано, записано уравнение (2)	2 балла
4. Обосновано, записано уравнение (6)	2 балла
5 Обосновано, записано уравнение (7) и(8)	2 балла
6. Правильно рассчитана искомая величина и выражена в граммах	1 балл
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 2.

В теплоизолированный сосуд, заполненный до краёв водой при температуре t_0 = 20 ^{0}С, опускают деталь плотностью ρ = 7 г/см^3, нагретую до температуры t = 150 ^{0}С. Через некоторое время температура воды в сосуде увеличивается до t_1 = 40,0 ^{0}С. Затем такой же опыт повторяют с двумя такими же деталями, в результате чего вода нагревается до температуры t_2 = = 60,6 ^{0}С. Определите удельную теплоёмкость c материала, из которого сделана деталь. Удельная теплоёмкость воды $c_в$ = 4,2 кДж/(кг·^{0}С), плотность воды $\rho_в = 1$ г/см^3. Ответ округлить до целых.

Решение

1-й эксперимент можно описать следующим образом: при опускании детали в воду объёмом V часть воды, выливается из сосуда. Объём вылившейся воды равен объёму детали, обозначим его V_0.

Для решения задачи используем уравнение теплового баланса:

$Q_{\text{отдан}} = Q_{\text{получ}}$.(1), $Q_{\text{отдан}} = c\rho V_0(t - t_1)$, (2)

где с – удельная теплоёмкость детали.

$Q_{\text{получ}} = c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}(V - V_0)(t_1 - t_0)$, (3) где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды.

$c\rho V_0(t - t_1) = c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}(V - V_0)(t_1 - t_0)$. (4)

Для второго эксперимента получим уравнение аналогичное уравнению (4): $c\rho 2V_0(t - t_2) = c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}(V - 2V_0)(t_2 - t_0)$. (5)

Перепишем уравнения (4) и (5):

$c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}(V - V_0) = c\rho V_0 \frac{(t-t_1)}{(t_1-t_0)}$ (6)

$c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}(V - 2V_0) = c\rho 2V_0 \frac{(t-t_2)}{(t_2-t_0)}$ (7)

Из уравнения (6) вычтем уравнение (7):

$c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}V_0 = c\rho V_0\left(\frac{t-t_1}{t_1-t_0} - 2\,\frac{t-t_2}{t_2-t_0}\right)$ (8)

$c = \frac{c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}}{\rho}\cdot\frac{1}{\frac{t-t_1}{t_1-t_0}-2\frac{t-t_2}{t_2-t_0}}$ или $c = \frac{c_{\text{в}}\,\rho_{\text{в}}}{\rho}\cdot\frac{(t_1-t_0)(t_2-t_0)}{(t-t_1)(t_2-t_0)-2(t-t_2)(t_1-t_0)}$ (9)

Подставив в (9) числовые значения величин получим искомый ответ, округлённый до целых: $c = 547\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}$

Критерии оценивания

1. Обосновано, получено уравнение (2) и (3)	2 балла
2. Записаны уравнения теплового баланса (4) и (5)	2 балла
3. Составлены уравнения (6) и (7)	2 балла
4. Обосновано, записано уравнение (8)	2 балла
5 Представлено решение в общем виде (9)	1 балл
6. Правильно рассчитана искомая величина и выражена в единицах СИ	1 балл
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 3.

Однородная балка массой 70 кг лежит на платформе, свешиваясь с нее на 1/8 своей длины, как показано на рисунке 1. Какую минимальную вертикальную силу надо приложить в точке A, чтобы приподнять балку от платформы? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2.

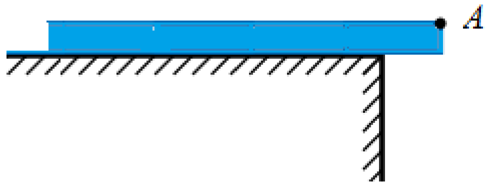


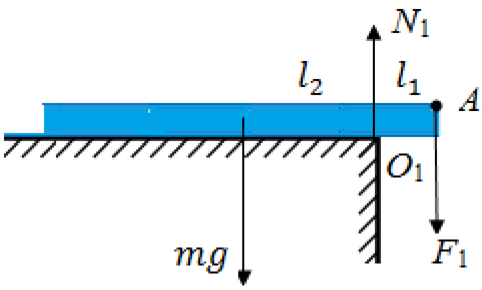
Рис. 1

Максимальный балл – 10

Решение

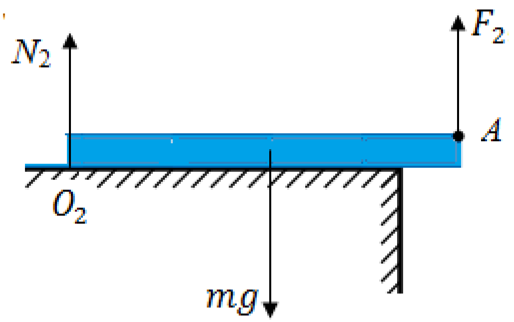
Оторвать балку от платформы можно двумя способами: нажать на неё вниз или поднимать вверх.

Рассмотрим первый способ: в момент отрыва балки на неё действуют три силы: вертикальная сил F_1 , сила тяжести mg и сила реакции опоры N_1,



балка будет проворачиваться вокруг точки O_1. Запишем правило моментов сил относительно точки O_1: $F_1 l_1 = mgl_2$ (1), момент силы N_1 равен нулю , т. к. её плечо равно нулю. Обозначим длину балки l, тогда плечо $l_1 = \frac{1}{8} l$, плечо $l_2 = \frac{1}{2} l - \frac{1}{8} l = \frac{3}{8} l$, тогда имеем $F_1 \frac{1}{8} l = mg \frac{3}{8} l$ (2) и $F_1 = 3mg$ (3).

Рассмотрим второй способ: растановка сил указана на рисунке,в этом случае балка проворачивается относительно точки O_2. Правило моментов относитально этой точки $F_2 l_1 = mgl_2$, (4) плечи в этом случае $l_1 = l$, $l_2 = \frac{1}{2} l$. Тогда, имеем $F_2 l = mg \frac{1}{2} l$ (5) и $F_2 = \frac{mg}{2}$ (6).



Очевидно, что $F_1 > F_2$, поэтому расчёт минимальной силы по формуле (6): $F_{min} = \frac{mg}{2}$ (7). Подставив числовые значения получим, что $F_{min} = 350$ Н.

Критерии оценивания

1.Указаны два способа отрыва балки	1 балл
2. Представлены два рисунка с обоснованным указанием сил, действующих на балку	2 балла
3. Обоснованно записано правило моментов (1) и правильно определены плечи сил для первого способа	2 балла
4. Обосновано получена формула (3)	1 балл
5 Обоснованно записано уравнение (5) и правильно определены плечи сил для второго способа	2 балла
6. Обоснованно получена формула (6)	1 балл
7. Обоснованно выбрана формула (6) , по которой правильно рассчитана минимальная сила	1балл
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 4. Псевдоэксперимент

Будет ли меняться жесткость пружины, если её длину уменьшить, например, отрезать от нее какою-то часть? Ответить на этот вопрос можно экспериментальным путем. При исследовании зависимости жёсткости пружины k от её длины l_0 были проведены три группы опытов: в первой группе использовалась пружина длиной l_{01}, во второй группе использовалась та же пружина, но от неё отрезали некоторую часть, и её длина стала равна l_{02}. В третьей – от предыдущей длины пружины отрезали ещё часть, и её длина стала l_{03}. В каждой группе опытов к пружинам подвешивались грузы разной массы m и измерялись соответственно длины l_1, l_2, l_3, растянутых пружин под действием этих грузов. Результаты опытов представлены в Таблице 1. На основании данных опытов необходимо вывести формулу, по которой можно рассчитать коэффициент жёсткости пружины для разных значений её длины.

Таблица 1

Первая группа, $l_0 = l_{01}$					
m, г	100	150	200	250	300
l_1, см	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0
Втора группа, $l_0 = l_{02}$					
m, г	100	150	200	250	300
l_2, см	11,3	12,0	12,7	13,3	14,0
Третья группа, $l_0 = l_{03}$					
m, г	100	150	200	250	300
l_3, см	5,7	6,0	6,3	6,6	7,0

Вам предстоит сделать следующее:

а) построить графики зависимости l_1 от m, l_2 от m и l_3 от m в одних и тех же координатных осях l и m;

б) по графикам определить длины пружин l_{01}, l_{02}, и l_{03} в сантиметрах, округлив до десятых;

в) по графикам определить коэффициенты жёсткости k_1, k_2 и k_3, соответствующие длинам пружин l_{01}, l_{02}, и l_{03}.; ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2, результаты вычислений выразить в единицах Н/м и округлить до целых;

г) построить график зависимости k от l_0, где l_0 принимает значения, равные l_{01}, l_{02}, и l_{03}; и на основании этого графика высказать гипотезу о том, какой математической зависимостью связаны k и l_0;

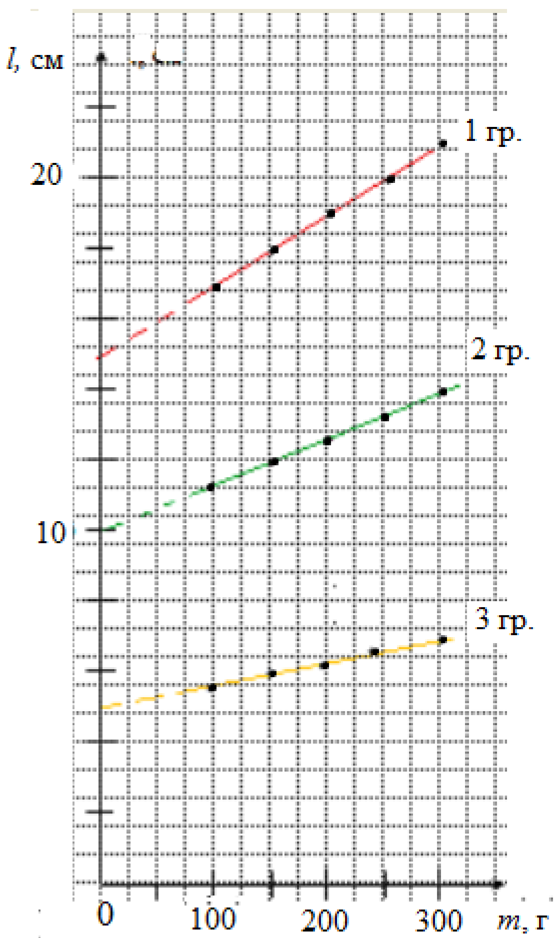
д) определить в каких координатных осях надо построить график для k, чтобы проверить свою гипотезу; постройте этот график;

е) выведите формулу, по которой можно рассчитать k для любых значений l_0;

ж) рассчитать k для $l_0 = 25$ см и $l_0 = 30$ см.

Решение

а) пример построенных графиков



б) Продолжив графики до пересечения с осью l, определим

$l_{01} = 15{,}0$ см, $l_{02} = 10{,}0$ см и $l_{03} = 5{,}0$ см.

в) Для нахождения жёсткости пружин применяем закон Гука

$F_{упр} = k\Delta l$, (1)

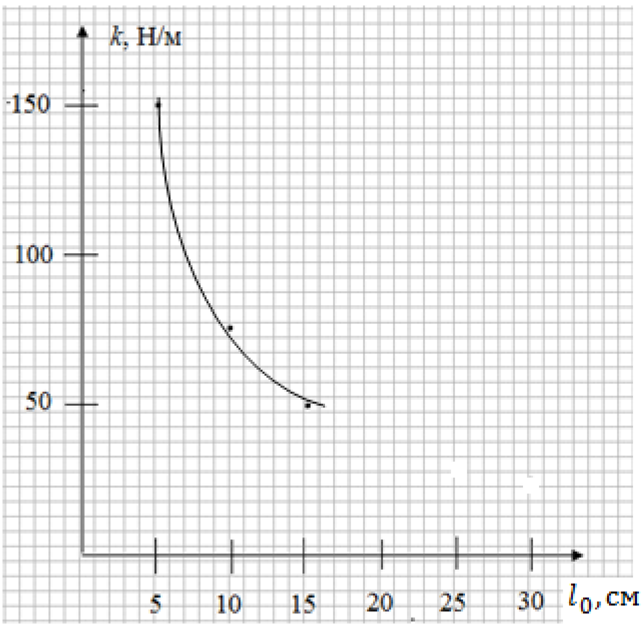
в опытах сила упругости уравновешивается силой тяжести, подвешенного груза, $F_{упр} = mg$. Тогда $k = \frac{mg}{\Delta l}$ или $k = \frac{mg}{l - l_0}$ (2).

По формуле (2) рассчитаем для пружины, длиной l_{01} = 15,0 см жесткость $k_1 = \frac{0{,}100 \text{ кг} \cdot 10 \text{м/с}^2}{0{,}17\text{м} - 0{,}15} = 50 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, аналогично, найдём $k_2 = 75 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ и $k_3 = 150 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

г) составим таблицу

l_0, см	15,0	10,0	5,0
k, Н/м	50	75	150

Пример графика



Из графика можно предположить, что жёсткость пружины обратно пропорциональна длине пружины: $k \sim \frac{1}{l_0}$.

д) Для проверки данной гипотезы построим график зависимости k от $\frac{1}{l_0}$.

Составим таблицу

$\frac{1}{l_0}$, $см^{-1}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$
k, Н/м	50	75	150

Пример графика

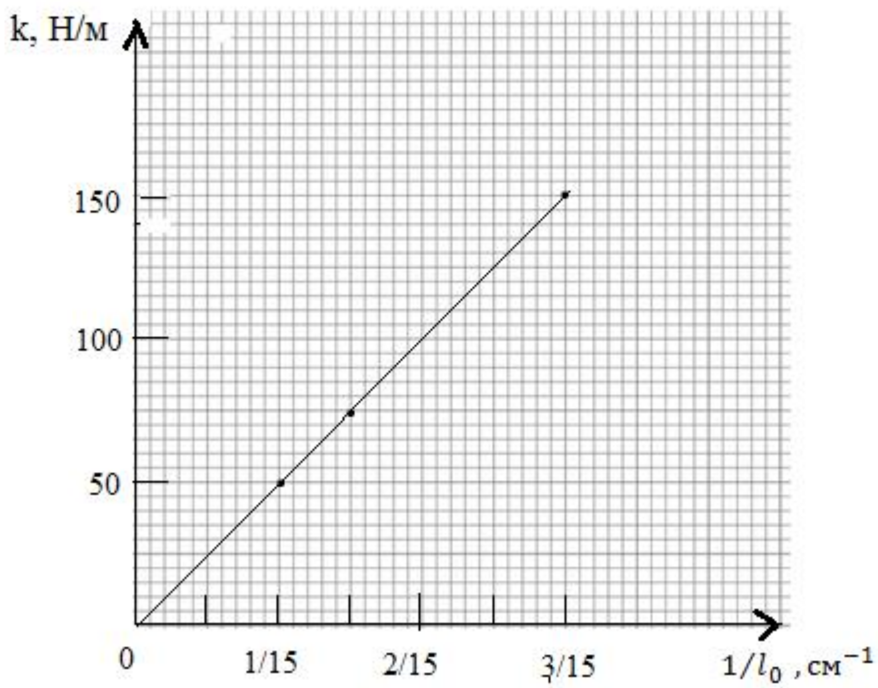


График подтверждает нашу гипотезу и проходит через 0.

е) Уравнение прямой, изображённой на предыдущем графике:

$k = a\frac{1}{l_0}$ (3), коэффициент пропорциональности найдём из графика:

$$a = \frac{75-50}{\frac{1}{10}-\frac{1}{15}} = 750\ \left(\frac{Н\cdot см}{м}\right) \text{ или } a = 7{,}5\ Н.$$

Значение a у участников олимпиады могут отличаться на $\pm 0{,}3$ Н. Для любых значений l_0 жёсткость определяется по формуле:

$k = 7{,}5\frac{1}{l_0}$ (Н/м) (4)

ж) Для l_0 = 25 см = 0,25 м $\quad k = 30$ Н/м .

Для l_0 = 30 см = 0,30 м $k = 25$ Н/м .

Критерии оценивания

а) Построены три графика, отражающие прямо пропорциональную зависимость k от m	2 балла
б) Графически определены l_{01}, l_{02}, и l_{03}	1 балл
в) Записан закон Гука, получена формула (2) и рассчитаны k_1, k_2 и k_3	2 балла
г) Построен график k от l_0 и высказана гипотеза, что $k \sim \frac{1}{l_0}$	1 балл
д) Построен график k от 1/ l_0	1 балла
е) Обоснованно получена формула (4)	2 балл
ж) Правильно рассчитаны жёсткости для l_0 = 25 см и l_0 = 30 см.	1балл
Всего	10 баллов

Примечание: результаты вычислений участников олимпиады могут отличаться от наших на $\pm 5\%$