

1. Погоня (10 баллов). Расстояние между машиной бандитов и машиной полицейских составляет 600 м. Скорость машины бандитов постоянна и равна 25 м/с, скорость машины полиции тоже постоянна и равна 93 км/ч. Через сколько времени полицейские догнали бандитов, если у бандитов не было возможности никуда свернуть, у них закончились все боеприпасы?

1. Погоня. Возможное решение. Если выразить скорость машины бандитов в км/ч, то она равна 90 км/ч. Скорость, с которой полиция догоняла бандитов, равна $93-90=3$ (км/ч). Начальное расстояние между машинами 0,6 км.

Значит бандитов догонят через $0,6 \text{ км} : 3 \text{ км/ч} = 0,2 \text{ ч} = 12 \text{ мин} = 720 \text{ с}$.

1. Погоня. Рекомендуемые критерии оценки. Если сделана попытка выразить скорости в одинаковых единицах измерения, то добавить 1 балл. Если правильно выражены скорости в одинаковых единицах измерения, то добавить 2 балла. Если найдена скорость сближения, то добавить 3 балла. Если получен правильный ответ, добавить 4 балла. За решение без использования буквенных обозначений оценку не снижать.

2. Тепловое расширение (10 баллов).

Вспомните опыт со стальным шариком, который после нагрева перестал проходить сквозь нагретое стальное кольцо (см. рис. 1). Давайте представим теперь другую ситуацию: диаметр шарика совсем немного больше, чем диаметр отверстия в колечке. Сможет ли шарик пройти сквозь колечко, если колечко нагреть?

Выберите из приведённых выше высказываний, то которое считаете наиболее правильным. Это должно быть только одно высказывание. Обоснуйте свой выбор.

Высказывание 1. Если кольцо нагреть, то скорость молекул (атомов) увеличится, из-за этого увеличится среднее расстояние между соседними молекулами и кольцо расширится. Но расширяться кольцо будет во все стороны, поэтому диаметр отверстия уменьшится и шарик не пройдёт через отверстие.

Высказывание 2. Если кольцо нагреть, то размер молекул (атомов) увеличится, из-за этого увеличится среднее расстояние между центрами соседних молекул и кольцо расширится. Но расширяться кольцо будет во все стороны, поэтому диаметр отверстия уменьшится и шарик не пройдёт через отверстие.

Высказывание 3. Если кольцо нагреть, то скорость молекул (атомов) увеличится, из-за этого увеличится среднее расстояние между соседними молекулами, в том числе увеличится расстояние между молекулами, расположенными по краю отверстия, поэтому диаметр отверстия увеличится и шарик, возможно, пройдёт через отверстие.

Высказывание 4. Если кольцо нагреть, то размер молекул (атомов) увеличится, из-за этого увеличится среднее расстояние между центрами соседних молекул, в том числе увеличится расстояние между центрами молекул, расположенных по краю отверстия, поэтому диаметр отверстия увеличится и шарик, возможно, пройдёт через отверстие.

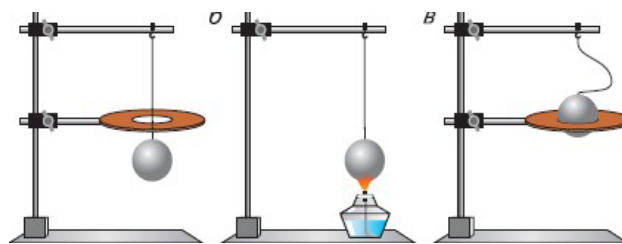


Рис. 1

2. Тепловое расширение *Возможное решение.* Наиболее правильный ответ отражает Высказывание 3. Температура связана со скоростью движения молекул. При увеличении скорости их движения расстояния между ними увеличиваются. А, если предположить, что отверстие уменьшится, значит должно уменьшиться и расстояние между молекулами, находящимися на краю отверстия.

2. Тепловое расширение *Рекомендуемые критерии оценки.* Если сделан правильный выбор и дано краткое обоснование, то ставить 10 баллов. Если дан правильный ответ, но совсем отсутствует обоснование, то ставить 5 баллов. Если дан неправильный ответ и не приведено обоснование, то ставить 1 балл. Если дан неправильный ответ, но имеется относительно разумное обоснование, то ставить 3 балла. Если даны два и более ответа, то ставить оценки, соответствующие оценке за наиболее неправильный из указанных участником ответов.

3. Грузики (10 баллов). Перед Вами результат измерения массы трёх стограммовых грузов (см. рис. 2) на электронных весах, точность показаний которых не превышает 0,01 г.



Рис. 2

Запишите результат этих измерений в виде интервала допустимых значений

$$\dots \leq m \leq \dots$$

$$\text{и в виде } m = \dots \pm \dots$$

Так, чтобы истинное значение массы любого из грузов попадало в указанный Вами интервал допустимых значений

3. Грузики *Возможное решение.* Результат следует записать в виде.

$$100,25 \text{ г} \leq m \leq 100,39 \text{ г}$$

$$\text{виде } m = 100,32 \text{ г} \pm 0,07 \text{ г}$$

Границы расширены на 1 г, т.к. в условии сказано, что точность весов не превышает 0,01 г. В таком случае истинное значение массы каждого грузика с учётом погрешности попадает в указанный интервал значений.

3. Грузики. *Рекомендуемые критерии оценки.*

Правильный ответ оценивается в 10 баллов.

Если указано, что $100,26 \text{ г} \leq m \leq 100,38 \text{ г}$ и $m = 100,32 \text{ г} \pm 0,06 \text{ г}$, то снизить оценку на 2 балла.

Если приведён только один, но правильный ответ, то ставить 6 баллов.

Если приведён только один и неправильный, но обоснованный ответ, то ставить 2 балла.

Если есть некоторые рассуждения, но ответ не записан, то ставить 1 балл

4. Перегонки (10 баллов). Три спортсмена стартовали одновременно. Первый спортсмен 0,4 всего времени своего движения бежал с постоянной скоростью $v_1 = 3 \text{ м/с}$, а оставшуюся часть пути – со скоростью $v_2 = 18 \text{ км/ч}$. Второй спортсмен 0,4 всего пути бежал с постоянной скоростью $v_1 = 3 \text{ м/с}$, а оставшуюся часть пути – со скоростью $v_2 = 18 \text{ км/ч}$. Третий спортсмен всю дистанцию пробежал с постоянной скоростью, равной среднему арифметическому v_1 и v_2 . В какой очередности прибежали спортсмены на финиш? Ответ подтвердите расчётами.

4. Перегонки. *Возможное решение.* Чтобы узнать, кто бежал быстрее, можно сравнить средние скорости спортсменов.

Для этого выразим скорости в одинаковых единицах: $v_2 = 18 \text{ км/ч} = 5 \text{ м/с}$

$$v_{\text{ср1}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t} = \frac{v_1 \cdot 0,4t + v_2 \cdot 0,6t}{t} = v_1 \cdot 0,4 + v_2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ м/с} + 3 \text{ м/с} = 4,2 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{ср2}} = \frac{s}{t} = \frac{s}{t_1 + t_2} = \frac{s}{\frac{0,4s}{v_1} + \frac{0,6s}{v_2}} = \frac{1}{\frac{0,4}{v_1} + \frac{0,6}{v_2}} = \frac{1}{\frac{0,4}{3 \text{ м/с}} + \frac{0,6}{5 \text{ м/с}}} = 3,947 \dots \text{ м/с} = 3,9 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{ср3}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = 4 \text{ м/с}$$

Следовательно, сначала прибежит первый спортсмен, затем – третий, затем – второй.

4. Перегонки. *Рекомендуемые критерии оценки.* Если скорости выражены в одинаковых единицах измерения, то добавить 1 балл. Если найдена скорость $v_{\text{ср1}}$, то добавить 3 балла. Если найдена скорость $v_{\text{ср2}}$, то добавить 3 балла. Если найдена скорость $v_{\text{ср3}}$, то добавить 1 балл. Если дан правильный ответ, то добавить 2 балла.

Если были приведены решения типа: «предположим, что всё время движения было 150 с ...», или «предположим, что всё время движения было 150 м ...» и затем сделано обобщение, в котором обосновывается, что при других числовых значениях всего пути (или времени) числовое значение средней скорости не изменится, то оценку не снижать. Если ответы найдены, но такого типа обобщения нет, то за нахождение $v_{\text{ср1}}$ и $v_{\text{ср2}}$ ставить по 1 баллу.

За решение без использования буквенных обозначений оценку не снижать

1. Перегонки (10 баллов). Три спортсмена стартовали одновременно. Первый спортсмен 0,6 всего времени своего движения бежал с постоянной скоростью $v_1 = 3$ м/с, а оставшуюся часть пути – со скоростью $v_2 = 18$ км/ч. Второй спортсмен 0,6 всего пути бежал с постоянной скоростью $v_1 = 3$ м/с, а оставшуюся часть пути – со скоростью $v_2 = 18$ км/ч. Третий спортсмен всю дистанцию пробежал с постоянной скоростью, равной среднему арифметическому v_1 и v_2 . В какой очередности прибежали спортсмены на финиш? Ответ подтвердите расчётами.

1. Перегонки. Возможное решение. Чтобы узнать, кто бежал быстрее, можно сравнить средние скорости спортсменов.

Для этого выразим скорости в одинаковых единицах: $v_2 = 18$ км/ч = 5 м/с

$$v_{\text{ср1}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t} = \frac{v_1 \cdot 0,6t + v_2 \cdot 0,4t}{t} = v_1 \cdot 0,6 + v_2 \cdot 0,4 = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 2 \text{ м/с} = 3,8 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{ср2}} = \frac{s}{t} = \frac{s}{t_1 + t_2} = \frac{s}{\frac{0,6s}{v_1} + \frac{0,4s}{v_2}} = \frac{1}{\frac{0,6}{v_1} + \frac{0,4}{v_2}} = \frac{1}{\frac{0,6}{3 \text{ м/с}} + \frac{0,4}{5 \text{ м/с}}} = 3,571 \dots \text{ м/с} = 3,6 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{ср3}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = 4 \text{ м/с}$$

Следовательно, сначала прибежит третий спортсмен, затем – первый, затем – второй.

1. Перегонки. Рекомендуемые критерии оценки. Если скорости выражены в одинаковых единицах измерения, то добавить 1 балл. Если найдена скорость $v_{\text{ср1}}$, то добавить 3 балла. Если найдена скорость $v_{\text{ср2}}$, то добавить 3 балла. Если найдена скорость $v_{\text{ср3}}$, то добавить 1 балл. Если дан правильный ответ, то добавить 2 балла.

Если были приведены решения типа: «предположим, что всё время движения было 150 с ...», или «предположим, что всё время движения было 150 м ...» и затем сделано обобщение, в котором обосновывается, что при других числовых значениях всего пути (или времени) числовое значение средней скорости не изменится, то оценку не снижать. Если ответы найдены, но такого типа обобщения нет, то за нахождение $v_{\text{ср1}}$ и $v_{\text{ср2}}$ ставить по 1 баллу.

За решение без использования буквенных обозначений оценку не снижать.

2. Метеорит (10 баллов). Когда был найден метеорит, то оказалась, что его масса равна 57 г, при этом на 70 % по массе он состоит из железа, а на 30 % по массе – из никеля. Определите удельную теплоёмкость этого метеорита, если удельная теплоёмкость железа $c_{\text{ж}} = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, удельная теплоёмкость никеля $c_{\text{н}} = 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, плотность железа $\rho_{\text{ж}} = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, плотность никеля $\rho_{\text{н}} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, постоянную силы тяжести считать равной $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

2. Метеорит. Возможное решение.

$$\begin{aligned} c_{\text{ж}} \cdot m_{\text{ж}} \cdot \Delta t + c_{\text{н}} \cdot m_{\text{н}} \cdot \Delta t &= c \cdot m \cdot \Delta t \\ c &= \frac{c_{\text{ж}} \cdot m_{\text{ж}} \cdot \Delta t + c_{\text{н}} \cdot m_{\text{н}} \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta t} = \frac{c_{\text{ж}} \cdot 0,7m + c_{\text{н}} \cdot 0,3m}{m} = c_{\text{ж}} \cdot 0,7 + c_{\text{н}} \cdot 0,3 \\ c &= 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,7 + 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,3 = 472 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \end{aligned} \quad (1)$$

2. Метеорит. Рекомендуемые критерии оценки. Если используется формула типа $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$, то добавить 2 балла, если массы железа и никеля выражены через массу метеорита или вычислены, то добавить 2 балла. Если получено соотношение типа (1), то добавить 4 балла. Если найден числовой ответ, то добавить 2 балла, но если ответ отличается от 472 из-за вычисления массы железа и никеля с последующим округлением, то добавлять только 1 балл.

3. Сравнения (10 баллов). Дайте обоснованные ответы на каждый вопрос.

Сравнение 1. Кто с большей силой давит на снег, близнец, который стоит на снегу на лыжах или его брат, который стоит на снегу, но держит лыжи в руках? Считать массы близнецов, их одежду и лыж одинаковыми.

Сравнение 2. В сосуде с пресной водой плавает деревянный брусок. Как изменится действующая на брусок сила Архимеда, если брусок переложить в сосуд с солёной водой?

Сравнение 3. На весы положили тонну железа. Затем вместо железа положили тонну сена. Будут ли отличаться показания весов, если массы железа и сена одинаковы?

3. Сравнения. Возможное решение.

Сравнение 1. Силы давления одинаковы, т.к. массы экипированных близнецов равны.

Сравнение 2. Сила Архимеда не изменится, она по-прежнему будет равна силе тяжести, действующей на брусок.

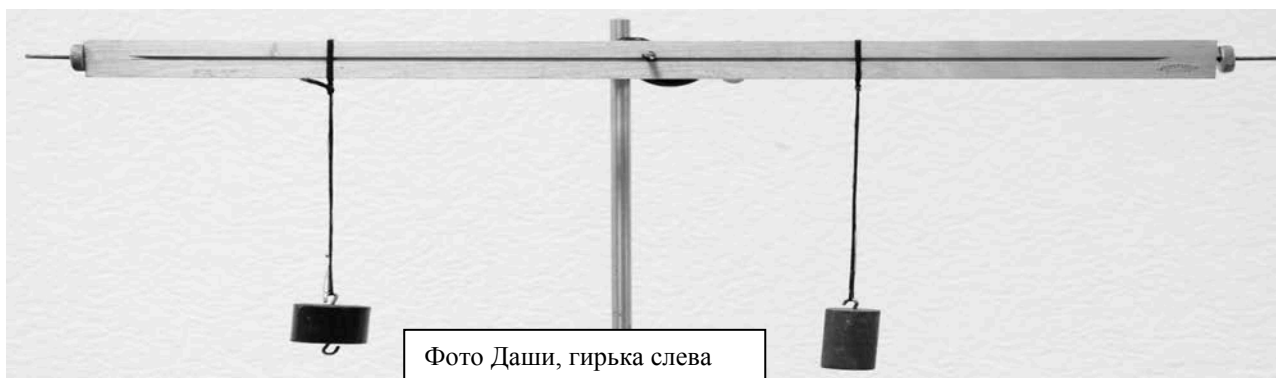
Сравнение 3. Если учесть силу Архимеда, то показания весов будут больше, когда на них положат тонну железа.

3. Сравнения. Рекомендуемые критерии оценки. За один правильный и обоснованный ответ ставить 5 баллов. За два правильных обоснованных ответа ставить 8 баллов. За три правильных обоснованных ответа ставить 10 баллов. За каждый правильный, но необоснованный ответ ставить 1 балл. За каждый неправильный ответ, в котором приводится обоснование с некоторыми правильными утверждениями ставить 1 балл.

5. Рычаги (10 баллов). Одноклассницы Маша и Даша определяли массу груза с помощью рычага. Но они забыли линейки. Поэтому они сфотографировали свои установки и гирьку на весах, и решили провести вычисления дома, используя полученные фотографии. Какие результаты они получили? Кто из них провёл более точный эксперимент? Во сколько раз ответ одной из девочек был более точен, чем ответ другой? В домашних условиях обе девочки использовали одинаковые линейки с миллиметровыми делениями. Весы позволяют измерять массу с точностью до 0,01 г



Фото гирьки



5. Рычаги. Возможное решение. Решение в общем виде: учитывая равенство моментов сил можно записать, что $m = m_r \frac{l_r}{l}$.

Учитывая погрешность весов, получаем, что масса гирьки равна $m_r = 100,28 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}$.

С помощью линейки, находим по фотографии плечи сил, с которыми каждый груз действует на рычаг. Будем считать, что погрешность измерения длины равна 1 мм. Поэтому по фотографии Маши получаем $l_{r1} = 68 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$, $l_1 = 44 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$

По фотографии Даши получаем $l_{r2} = 40 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$, $l_2 = 26 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$

Можно заметить, что относительная погрешность измерения массы много меньше относительной погрешности измерения длины:

$$\varepsilon(m_r) = \frac{0,01}{100,28} \cdot 100 \% = 0,01 \%, \quad \varepsilon(l_{r1}) = \frac{1}{68} \cdot 100 \% = 1,5 \%$$

Поэтому погрешностью измерения массы груза можно пренебречь.

Наибольшее возможное значение массы груза (верхняя граница) в опыте Маши равна

$$m_{1\text{ВГ}} = 100,28 \text{ г} \cdot \frac{45}{67}$$

Наименьшее возможное значение массы груза (нижняя граница) в опыте Маши равна

$$m_{1\text{НГ}} = 100,28 \text{ г} \cdot \frac{43}{69}$$

Погрешность измерения массы груза равна

$$\Delta m_1 = 0,5 \cdot (m_{1\text{ВГ}} - m_{1\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \cdot \left(\frac{45}{67} - \frac{43}{69} \right) = 2,42 \dots \text{ г} = 2,4 \text{ г}$$

(Округлили с учётом правила одной-двух значащих цифр в погрешности.)

Измеренное значение массы груза принимаем равным

$$m_1 = 0,5(m_{1\text{ВГ}} + m_{1\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \cdot \left(\frac{45}{67} + \frac{43}{69} \right) = 64,74 \dots \text{ г} = 64,7 \text{ г}$$

(Округлили с учётом правила равенства минимальных разрядов в записи результата измерения и его погрешности.)

Относительная погрешность измерения массы груза Машей равна

$$\varepsilon(m_1) = \frac{2,4}{64,7} \cdot 100 \% = 3,70 \dots \% = 4 \%$$

(Округлили с учётом правила одной-двух значащих цифр в погрешности.)

Итоговый результат измерений Маши

$$m_1 = 64,7 \text{ г} \pm 2,4 \text{ г}, \quad \varepsilon(m_1) = 4 \%$$

Аналогичные расчёты показывают, что по результатам измерения Даши

$$\Delta m_2 = 0,5(m_{2\text{ВГ}} - m_{2\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \cdot \left(\frac{27}{39} - \frac{25}{41} \right) = 4,12 \dots \text{ г} = 4 \text{ г}$$

$$m_2 = 0,5(m_{2\text{ВГ}} + m_{2\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \cdot \left(\frac{27}{39} + \frac{25}{41} \right) = 65,10 \dots \text{ г} = 65 \text{ г}$$

$$\varepsilon(m_2) = \frac{4}{65} \cdot 100 \% = 6,15 \dots \% = 6 \%$$

$$\text{Итоговый результат измерений Даши} \quad m_2 = 65 \text{ г} \pm 4 \text{ г}, \quad \varepsilon(m_2) = 6 \%$$

Видим, что точность измерений Маши в полтора раза больше, чем у Даши.

5. Рычаги. Рекомендуемые критерии оценки. За правильное решение с учётом оценки границ погрешности ставить 10 баллов. При этом следует учитывать, что результаты измерения плеч школьниками могут отличаться от приведённых в решении на 1-2 мм. При условии неизменности масштаба фотографии. Поэтому желательно проверить размеры по тем листам, которые были розданы участникам. За это оценку не снижать, но надо учесть, что различия могут быть обусловлены и вычислительной ошибкой.

Если оценка погрешности идет не методом верхней-нижней границы, а сложением относительных погрешностей, то оценку не снижать при правильных рассуждениях. Если

попытка расчётов с учётом погрешностей имеется, но используемые формулы ошибочны, то добавить за попытку не более 1 балла.

Если найдены значения грузов без учёта погрешности измерений, то за каждый ответ добавить по 2 балла.

Если есть обоснование, что у Маши результат более точный, чем у Даши, поскольку длины плеч в её эксперименте больше, то добавить 1 балл, а если сравнение точности измерения проводится через отношение длин плеч в опытах Даши и Маши, то добавить 2 балла

1. «Одинаковые» графики (10 баллов). На рисунке 1 представлены графики движения двухточечных тел в одной системе отсчета. На графике (а) показано, как изменялась координата первого тела в зависимости от времени, а на графике (б) – как изменялась проекция скорости второго тела на ту же координатную ось. Известно, что в начальный момент времени $t=0$ с оба тела находились в одной точке. Найдите:

- 1) средние скорости каждого из тел;
- 2) расстояние между телами через 10 секунд после начала движения.

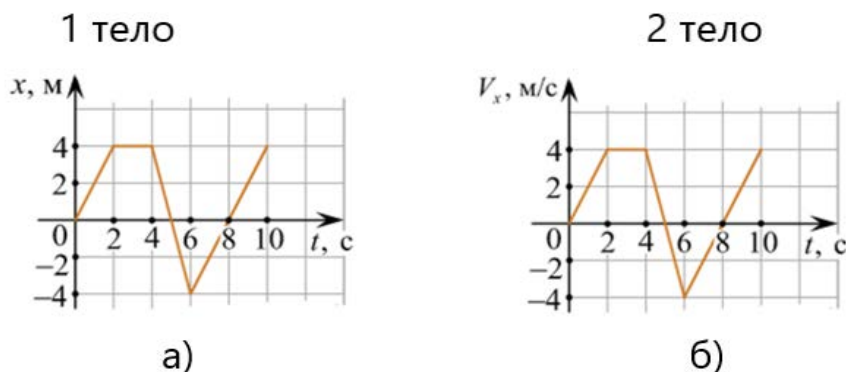


Рис. 1

1. «Одинаковые» графики. Возможное решение

1. Найдем средние скорости тел. По графику на рисунке 1(а) найдем путь, пройденный телом за $\Delta t = 10$ с, для чего сложим модули изменения координаты первого тела на промежутках времени Δt_1 - от 0 до 2 с, Δt_2 - от 2 до 4 с, Δt_3 - от 4 до 6 с, Δt_4 - от 6 до 10 с:

$$s_1 = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + |\Delta x_4| \quad (1)$$

$$s_1 = 4 + 0 + 8 + 8 = 20 \text{ (м)}$$

$$\text{Средняя скорость первого тела: } v_{cp1} = \frac{s_1}{\Delta t} \quad (2)$$

$$v_{cp1} = \frac{20}{10} = 2 \text{ (м/с)}$$

Путь, пройденный вторым телом, можно найти как площадь под графиком 1 (б) за те же промежутки времени Δt_1 - от 0 до 2 с, Δt_2 - от 2 до 4 с, Δt_3 - от 4 до 6 с, Δt_4 - от 6 до 10 с (или через формулы кинематики):

$$s_2 = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 2 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 2 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 2 = 28 \text{ (м)} \quad (3)$$

$$v_{cp2} = \frac{s_2}{\Delta t}; \quad (4)$$

$$v_{cp2} = \frac{28}{10} = 2,8 \text{ (м/с)}$$

2. Рассмотрим изменение координаты второго тела в процессе движения.

От 0 до 2 с второе тело движется равноускорено из начала координат без начальной скорости, проекция ускорения из графика $a_x = 2$ м/с:

$$x_2 = t^2 \quad (5)$$

В конце второй секунды проекция скорости станет равной 4 м/с, координата станет равна 4 м. От 2 до 4 с тело 2 движется равномерно, координата

$$x_2 = 4 + 4t \quad (6)$$

В конце четвертой секунды проекция скорости равна 4 м/с, координата станет равна 12 м.

От 4 до 6 с проекция ускорения $a_x = -4$ м/с, изменение координаты:

$$x_2 = 12 + 4t - 2t^2. \quad (7)$$

К концу этого периода проекция скорости равна $v_x = -4$ м/с, координата снова будет 12 м. Посредине этого этапа (5 с после начала движения) проекция скорости изменяет знак, то есть тело начинает двигаться против оси, координата уменьшается. В момент времени 5 с координата второго тела равна 14 м.

От 6 до 10 с проекция ускорения $a_x = 2$ м/с, изменение координаты:

$$x_2 = 14 - 4t + t^2. \quad (8)$$

От 6 до 8 с тело 2 движется против оси, в момент 8 с останавливается и меняет направление скорости. Координата в этот момент станет равной 10 м, в конце движения она составит 14 м.

В конце движения координаты тел равны

$$x_1 = 4 \text{ м}, \quad x_2 = 14 \text{ м}.$$

$$\text{Расстояние между телами} \quad \Delta x = x_2 - x_1. \quad \Delta x = 10 \text{ м}.$$

1. «Одинаковые» графики. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов, складывается из оценок за каждую из частей задачи. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

1. За решение первой части задачи (определение средних скоростей) максимальная оценка составляет 5 баллов. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – соотношения для средней скорости (1) - (4), пройденного пути или эквивалентные им) записаны или использованы верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из каждого графика, произведены необходимые преобразования и вычисления, получены верные числовые ответы с наименованием единиц измерения – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из каждого графика, произведены необходимые преобразования и вычисления, но правильный ответ получен только в одном из двух случаев, в другом имеются арифметические ошибки в вычислениях или они не доведены до конца – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из каждого графика, но в вычислениях для каждого из двух случаев имеются арифметические ошибки в вычислениях или они не доведены до конца – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения (например, только для одного из тел), или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, неверно интерпретирована и использована информация из графиков – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) – **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. За решение второй части задачи (определение расстояния между телами в конце движения) максимальная оценка составляет 5 баллов. При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны и использованы верно (в данном случае – кинематические уравнения для прямолинейного движения на каждом этапе (5)-(8) или эквивалентные им), правильно интерпретирована и использована информация, полученная из каждого графика, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **5 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из каждого графика,

произведены необходимые вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **4 балла**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из каждого графика, но вычисления отсутствуют, числовой ответ не получен – **3 балла**;

- есть понимание физики явлений, но записаны не все соотношения, или в записанных соотношениях имеются физические ошибки, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **2 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) – **1 балл**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

2. Плавание в соленой воде (10 баллов).

рисунке 2 приведен график зависимости плотности воды в сосуде от массы растворенной в ней соли. После того, в воде растворили 7 г соли, в сосуд поместили деревянный брусок. В равновесии он стал плавать, частично погруженным в жидкость. Если в воде растворить дополнительно еще 21 г соли, то объем, выступающий над поверхностью, увеличится на 10%. Найдите плотность дерева, из которого изготовлен брусок.

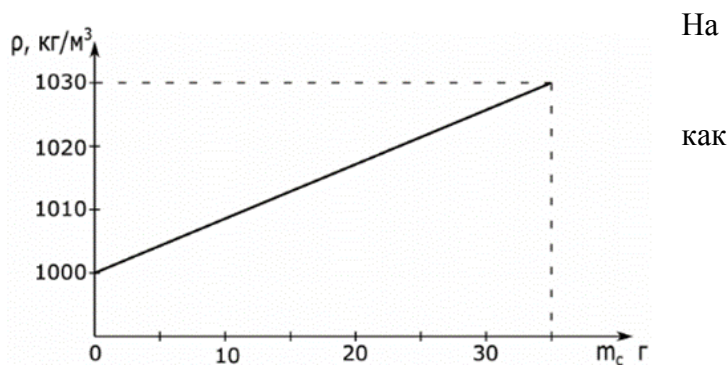


Рис. 2

2. Плавание в соленой воде (10 баллов) *Возможное решение.* Составим уравнение для зависимости плотности воды от массы растворенной соли. По рисунку видно, что при $m_c = 35$ г плотность $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$, а при $m_c = 0$ $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Угловой коэффициент прямой } k = \frac{30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{35 \text{ г}} = \frac{6}{7} \frac{\text{кг}}{\text{г} \cdot \text{м}^3}.$$

$$\text{Уравнение прямой на графике } \rho = 1000 + \frac{6}{7} m_c. \quad (1)$$

Из него найдем плотность воды после растворения 7 г соли:

$$\rho_1 = 1000 + \frac{6}{7} \cdot 7 = 1006 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Из условия плавания бруска в первом состоянии

$$mg = F_{\text{арх}} \quad (2)$$

$$F_{\text{арх}} = \rho_1 g V_{\text{п1}} \quad (3)$$

$V_{\text{п1}}$ – объем погруженной части в первом растворе. Тогда

$$mg = \rho_1 g V_{\text{п1}},$$

Объем, выступающий над поверхностью

$$V_1 = V - V_{\text{п1}}.$$

Массу бруска можно выразить через его плотность и объем:

$$m = \rho V. \quad (4)$$

$$\rho V g = \rho_1 g V_{\text{п1}}$$

$$\rho V = \rho_1 (V - V_1).$$

$$\text{Выразим } V_1: V_1 = \frac{\rho_1 - \rho}{\rho_1} V.$$

После добавления еще 21 г масса растворенной в воде соли составит 28 г, что соответствует плотности

$$\rho_2 = 1000 + \frac{6}{7} \cdot 28 = 1024 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Объем, выступающий в этом случае над поверхностью $V_2 = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2} V$.

$$\text{Отношение объемов } \frac{V_2}{V_1} = \frac{\rho_1 (\rho_2 - \rho)}{\rho_2 (\rho_1 - \rho)}.$$

$$\text{Обозначим } \frac{V_2}{V_1} = \alpha.$$

С учетом, что объем, выступающий над поверхностью, увеличится на 10%

$$V_2 = V_1 + 0,1V_1$$

$$\alpha = 1,1.$$

$$\text{Тогда } \rho = \frac{(\alpha - 1)\rho_1\rho_2}{\alpha\rho_2 - \rho_1}.$$

$$\text{Вычисления: } \rho = \frac{(1,1 - 1)1006 \cdot 1024}{1,1 \cdot 1024 - 1006} \approx 856 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

2. Плавание в соленой воде. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов.
Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – условия плавания тел (2), формула архимедовой силы (3), связь массы, плотности, объема (4) или эквивалентные им соотношения) записаны или учтены другим способом верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графика (линейная зависимость плотности от массы соли), произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

Примечание: допускается определение плотности раствора непосредственно из графика без составления уравнения прямой, но ошибка при определении плотности по графику по абсолютной величине не должна превышать 1 кг/м³.

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графика (линейная зависимость плотности от массы соли), получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **9 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но значения величин, необходимые для расчетов по графику определены неверно – **8 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеются ошибки в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **7 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но преобразования не завершены – **6 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной физической ошибки – **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1-2 балла**;
- нет попыток решения – **0 баллов**.

3. Два калориметра (10 баллов). В первый калориметр поместили образец некоторого вещества в жидком состоянии, а во второй – образец другого вещества той же массы в твердом состоянии, после чего первый калориметр начали охлаждать, а второй нагревать. На рисунке 3 изображены графики зависимостей температур содержимого калориметров от времени. Мощности охлаждающего и нагревательного элементов одинаковы, теплопотерями можно пренебречь.

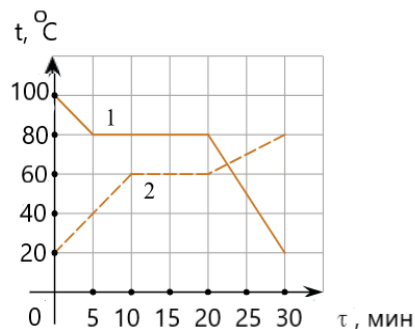


Рис. 3

Какая температура установится после достижения теплового равновесия, если смешать жидкость из первого калориметра в начальном состоянии ($\tau = 0$) и содержимое второго калориметра в конце процесса нагревания ($\tau = 30$ минут)? Нагрев и охлаждение после смешивания не производятся, химических реакций при соединении веществ не происходит.

3. Два калориметра. Возможное решение. Содержимое первого калориметра в начальный момент времени было жидкостью при температуре $t_{01} = 100^\circ\text{C}$, которая остыла за 5 минут до температуры кристаллизации $t_{\text{крист1}} = 80^\circ\text{C}$, процесс кристаллизации длился еще 15 минут. Затем оно остывает еще 10 минут до температуры $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Во втором калориметре было твердое вещество при температуре $t_{02} = 20^\circ\text{C}$, которое нагрелось за 10 минут до температуры плавления $t_{\text{пл2}} = 60^\circ\text{C}$, еще 10 минут плавилось, еще 10 минут нагревалась жидкость от температуры плавления до температуры $t_2 = 80^\circ\text{C}$.

Таким образом, в жидкость 2 из второго калориметра при $t_2 = 80^\circ\text{C}$ смешивается с жидкостью 1 из первого калориметра при $t_{01} = 100^\circ\text{C}$. Обозначим удельные теплоемкости жидкостей c_1 и c_2 . Искомая температура в состоянии равновесия t . Уравнение теплового баланса

$$c_1 m(t - t_{01}) = c_2 m(t_2 - t) \quad (1)$$

$$c_1(t - t_{01}) = c_2(t_2 - t) \quad (2)$$

Отношение удельных теплоемкостей можно найти из графиков. Так как мощность P нагревания и охлаждения одинакова, то для интервала времени от $\Delta\tau_1$ от 0 до 5 минут для первого вещества:

$$P\Delta\tau_1 = c_1 m(t_{01} - t_{\text{крист1}}) \quad (3)$$

Для интервала времени от $\Delta\tau_2$ от 20 до 30 минут для второго вещества:

$$P\Delta\tau_2 = c_2 m(t_2 - t_{\text{пл2}}). \quad (4)$$

$$\frac{\Delta\tau_1}{\Delta\tau_2} = \frac{c_1 m(t_{01} - t_{\text{крист1}})}{c_2 m(t_2 - t_{\text{пл2}})}.$$

$$c_1 m(t_{01} - t_{\text{крист1}})\Delta\tau_2 = c_2 m(t_2 - t_{\text{пл2}})\Delta\tau_1,$$

Поскольку $\Delta\tau_2 = 2\Delta\tau_1$, $t_{01} = 100^\circ\text{C}$, $t_{\text{крист1}} = 80^\circ\text{C}$, $t_2 = 80^\circ\text{C}$, $t_{\text{пл2}} = 60^\circ\text{C}$

$$2c_1 = c_2.$$

$$\text{Тогда из (2)} \quad t - t_{01} = 2(t_2 - t)$$

$$t = \frac{2t_2 + t_{01}}{3} \quad t \approx 87^\circ\text{C}.$$

3. Два калориметра. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – уравнения теплового баланса (1), (3), (4)) записаны или учтены другим способом верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графиков, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях – **9 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу или имеется математическая ошибка (при правильной физической интерпретации) при использовании информации из графиков – **8 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется более одной ошибки в математических преобразованиях, или более одной математической ошибки при использовании информации из графиков (при правильной физической интерпретации) – **7 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования, но преобразования не завершены – **6 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

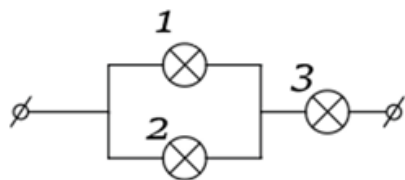
- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной физической ошибки – **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1-2 балла**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

4. Три лампы (10 баллов). На рисунке 4 изображена зависимость силы тока через лампу накаливания от приложенного к ней напряжения. таких лампы соединили параллельно, а третью включили с ними последовательно (см. рисунок Каково напряжение на клеммах источника, если сила тока через третью лампу равна 2,0 А?



4. Три лампы. ⁵ *Возможное решение.* Поскольку сила тока через третью лампу $I_3 = 2,0$ А, то по графику напряжение на ней $U_3 \approx 12,0$ В. Силы тока через первую и вторую лампы в сумме равны силе тока через лампу 3:

$$I_1 + I_2 = I_3. \quad (1)$$

Лампы 1 и 2 соединены параллельно, напряжение на них при любой силе тока одинаковое

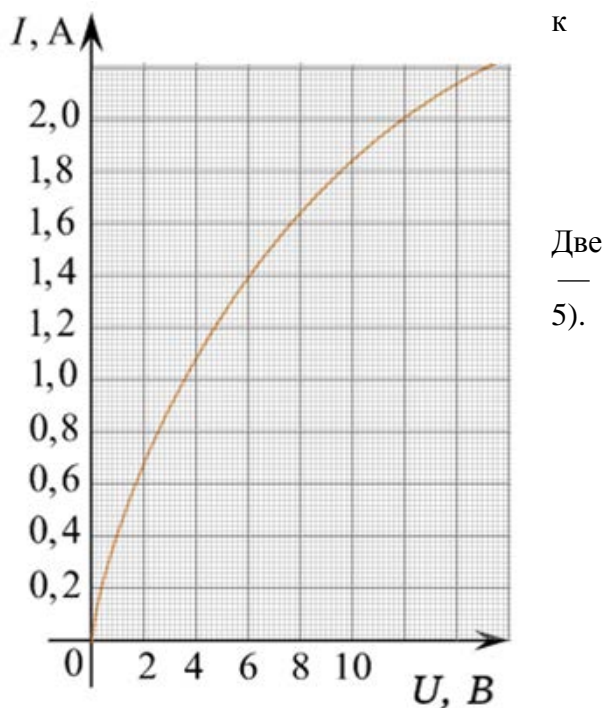


Рис. 4

к

Две
—
5).

$$U_1 = U_2, \quad (2)$$

поэтому $I_1 = I_2$.

Из (1) $2I_1 = I_3$. $I_1 = \frac{I_3}{2} = 1,0 \text{ A}$.

По графику при силе тока 1,0 А напряжение на лампах $U_1 = U_2 \approx 3,6 \text{ В}$.

$$\begin{aligned} \text{Напряжение на клеммах} \quad U &= U_1 + U_3 \\ U &\approx 15,6 \text{ В}. \end{aligned} \quad (3)$$

4. Три лампы. Рекомендуемые критерии оценивания

Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи– 10 баллов. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям».

При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае –соотношения для сил токов и напряжений при последовательном и параллельном соединении (1)-(3)) записаны или учтены другим способом верно, правильно интерпретирована и использована информация, полученная из графика, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

Примечание: при определении значений величин по графику допустима погрешность по силе тока 0,2 А, по напряжению 0,2 В.

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, но имеются арифметические ошибки в вычислениях, числовой ответ неверный– **9 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, но значения величин по графику определены неверно, поэтому числовой ответ неверный - **8 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования, но значения величин по графику не определены, вычисления и числовой ответ отсутствуют - **7 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но в преобразованиях есть математическая ошибка или преобразования не завершены – **6 баллов**;

- Соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной физической ошибки– **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1–2 балла**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

5. Рычаги (10 баллов). Одноклассницы Маша и Даша определяли массу груза с помощью рычага. Но они забыли линейки. Поэтому они сфотографировали свои установки и гирьку на весах, и решили провести вычисления дома, используя полученные фотографии. Какие результаты они получили? Кто из них провёл более точный эксперимент? Во сколько раз ответ одной из девочек был более точен, чем ответ



Фото гирьки

другой? В домашних условиях обе девочки использовали одинаковые линейки с миллиметровыми делениями. Весы позволяют измерять массу с точностью до 0,01 г



5. Рычаги. Возможное решение. Решение в общем виде: учитывая равенство моментов сил можно записать, что $m = m_{\text{г}} \frac{l_{\text{г}}}{l}$.

Учитывая погрешность весов, получаем, что масса гирьки равна $m_{\text{г}} = 100,28 \text{ г} \pm 0,01 \text{ г}$.

С помощью линейки, находим по фотографии плечи сил, с которыми каждый груз действует на рычаг. Будем считать, что погрешность измерения длины равна 1 мм. Поэтому по фотографии Маши получаем $l_{\text{г1}} = 68 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$, $l_1 = 44 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$

По фотографии Даши получаем $l_{\text{г2}} = 40 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$, $l_2 = 26 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$

Можно заметить, что относительная погрешность измерения массы много меньше относительной погрешности измерения длины:

$$\varepsilon(m_{\text{г}}) = \frac{0,01}{100,28} \cdot 100 \% = 0,01 \%, \quad \varepsilon(l_{\text{г1}}) = \frac{1}{68} \cdot 100 \% = 1,5 \%$$

Поэтому погрешностью измерения массы груза можно пренебречь.

Наибольшее возможное значение массы груза (верхняя граница) в опыте Маши равна

$$m_{1\text{ВГ}} = 100,28 \text{ г} \cdot \frac{45}{67}$$

Наименьшее возможное значение массы груза (нижняя граница) в опыте Маши равна

$$m_{1\text{НГ}} = 100,28 \text{ г} \cdot \frac{43}{69}$$

Погрешность измерения массы груза равна

$$\Delta m_1 = 0,5 \cdot (m_{1\text{ВГ}} - m_{1\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \cdot \left(\frac{45}{67} - \frac{43}{69} \right) = 2,42 \dots \text{ г} = 2,4 \text{ г}$$

(Округлили с учётом правила одной-двух значащих цифр в погрешности.)

Измеренное значение массы груза принимаем равным

$$m_1 = 0,5(m_{1\text{ВГ}} + m_{1\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \cdot \left(\frac{45}{67} + \frac{43}{69} \right) = 64,74 \dots \text{ г} = 64,7 \text{ г}$$

(Округлили с учётом правила равенства минимальных разрядов в записи результата измерения и его погрешности.)

Относительная погрешность измерения массы груза Машей равна

$$\varepsilon(m_1) = \frac{2,4}{64,7} \cdot 100 \% = 3,70 \dots \% = 4 \%$$

(Округлили с учётом правила одной-двух значащих цифр в погрешности.)

Итоговый результат измерений Маши

$$m_1 = 64,7 \text{ г} \pm 2,4 \text{ г}, \quad \varepsilon(m_1) = 4 \%$$

Аналогичные расчёты показывают, что по результатам измерения Даши

$$\Delta m_2 = 0,5(m_{2\text{ВГ}} - m_{2\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \left(\frac{27}{39} - \frac{25}{41} \right) = 4,12 \dots \text{ г} = 4 \text{ г}$$

$$m_2 = 0,5(m_{2\text{ВГ}} + m_{2\text{НГ}}) = 0,5 \cdot 100,28 \text{ г} \left(\frac{27}{39} + \frac{25}{41} \right) = 65,10 \dots \text{ г} = 65 \text{ г}$$

$$\varepsilon(m_2) = \frac{4}{65} \cdot 100 \% = 6,15 \dots \% = 6 \%$$

$$\text{Итоговый результат измерений Даши} \quad m_2 = 65 \text{ г} \pm 4 \text{ г}, \quad \varepsilon(m_2) = 6 \%$$

Видим, что точность измерений Маши в полтора раза больше, чем у Даши.

5. Рычаги. Рекомендуемые критерии оценки. За правильное решение с учётом оценки границ погрешности ставить 10 баллов. При этом следует учитывать, что результаты измерения плеч школьниками могут отличаться от приведённых в решении на 1-2 мм. При условии неизменности масштаба фотографии. Поэтому желательно проверить размеры по тем листам, которые были розданы участникам. За это оценку не снижать, но надо учесть. Что различия могут быть обусловлены и вычислительной ошибкой.

Если оценка погрешности идет не методом верхней-нижней границы, а сложением относительных погрешностей, то оценку не снижать при правильных рассуждениях. Если попытка расчётов с учётом погрешностей имеется, но используемые формулы ошибочны, то добавить за попытку не более 1 балла.

Если найдены значения грузов без учёта погрешности измерений, то за каждый ответ добавить по 2 балла.

Если есть обоснование, что у Маши результат более точный, чем у Даши, поскольку длины плеч в её эксперименте больше, то добавить 1 балл, а если сравнение точности измерения проводится через отношение длин плеч в опытах Даши и Маши, то добавить 2 балла

1. Теплообмен (10 баллов). В калориметре находится некоторое количество воды при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Когда в воду положили кусочек льда при температуре $t_2 = 0^\circ\text{C}$, то в состоянии теплового равновесия температура в калориметре стала равна $t_3 = 10^\circ\text{C}$. Какой бы оказалась температура в состоянии теплового равновесия, если бы вместо льда в воду положили мокрый снег при температуре $t_2 = 0^\circ\text{C}$, такой же массы, как и лёд, но при этом четверть его массы составляла вода? Считать, что удельная теплоёмкость воды равна $c_B = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, льда – $c_L = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, удельная теплота плавления воды $\lambda = 340000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями можно пренебречь. Ответ округлить до целых.

1. Теплообмен. Возможное решение. Уравнение теплового баланса в первом случае можно записать в виде $\lambda m_1 + c_B m_1 (t_3 - t_2) = c_B m_2 (t_1 - t_3)$ (1)

Уравнение теплового баланса во втором случае можно записать в виде

$$\lambda \cdot 0,75 m_1 + c_B m_1 (t_y - t_2) = c_B m_2 (t_1 - t_y) \quad (2)$$

Если разделить второе уравнение на первое, получаем

$$\frac{\lambda \cdot 0,75 + c_B (t_y - t_2)}{\lambda + c_B (t_3 - t_2)} = \frac{(t_1 - t_y)}{(t_1 - t_3)}$$

Если подставить числовые данные, то

$$\frac{255000 + 4200 t_y}{382000} = \frac{20 - t_y}{10}$$

Откуда $2550000 + 42000 t_y = 7640000 - 382000 t_y$ (3)
 $t_y = 12^\circ\text{C}$

1. Теплообмен. Рекомендованные критерии оценки. Если есть формула для расчёта количества теплоты, необходимого для нагрева вещества, то добавить 1 балл.

Если есть формула для расчёта количества теплоты, необходимого плавления воды, то добавить 1 балл.

Если в расчётах учтено, что во втором случае масса льда 0,75 от первоначальной, то добавить 1 балл.

Если получено соотношение типа (1) то добавить 2 балла

Если получено соотношение типа (2) то добавить 2 балла

Если получено соотношение типа (3) то добавить 2 балла

Если приведён правильный ответ, то добавить 1 балл

2. Средняя скорость (10 баллов). Автомобиль стартовал с постоянным ускорением. Проехав $\frac{1}{6}$ всего пути, он стал двигаться с постоянной скоростью u . Затем он стал тормозить с ускорением в два раза меньшим ускорения на старте, и остановился. Определите среднюю скорость автомобиля, если его траектория была прямой.

2. Средняя скорость. Возможное решение. $v_{cp} = \frac{s}{t}$ (1)

$$v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{s}{t_1 + t_2 + t_3} \quad (2)$$

Для первого участка, учитывая, что начальная скорость равнялась нулю, можно записать $v = a \cdot t_1$ и

$$s_1 = \frac{v^2}{2a} \quad (3), \quad t_1 = \frac{2s_1}{v} = \frac{s}{3v} \quad (4)$$

Для последнего участка, учитывая, что конечная скорость стала равной нулю, можно записать $v = 0,5a \cdot t_3$, $s_3 = \frac{v^2}{a}$ Следовательно, $t_3 = 2t_1$, и

$$s_3 = 2s_1 = \frac{1}{3}s \quad (5),$$

$$t_3 = \frac{2s}{3v} \quad (6)$$

Для среднего участка $t_2 = \frac{s_2}{v}$, $s_2 = s - s_1 - s_3 = \frac{1}{2}s$ (7)

$$t_2 = \frac{s}{2v} \quad (8)$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{\frac{s}{3v} + \frac{s}{2v} + \frac{2s}{3v}} = \frac{1}{\frac{1}{3v} + \frac{1}{2v} + \frac{2}{3v}} \quad (9)$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{2}{3}v \quad (10)$$

2. Средняя скорость. Рекомендованные критерии оценки.

За запись или учёт каждой из формул (1)-(10) добавлять по 1 баллу

3. Удары (10 баллов). По гладкой горизонтальной поверхности скользит шайба массой $5m$ со скоростью v и налетает на конструкцию из двух кубиков и одной шайбы. Кубики и шайба не скреплены. Их массы одинаковы и равны m у каждого. Диаметр и высота каждой шайбы равны длине стороны каждого кубика. Определите скорости каждой шайбы и каждого кубика после абсолютно упругого столкновения. Учтите, что скорость движущейся шайбы направлена точно на точку касания кубиков и центр покоящейся шайбы.

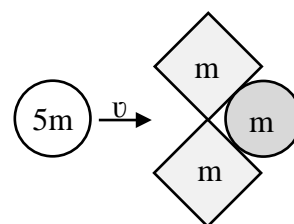


Рис. 1

3. Удары *Возможное решение.* Анализ геометрии конструкции указывает, что будет два столкновения. Сначала шайба сталкивается с кубиками, затем с шайбой.

Поскольку диаметры шайб равны сторонам кубиков, то стороны кубиков расположены под углом 45° к линии движения шайбы. Когда шайба подъезжает к кубикам, она толкает их перпендикулярно их поверхностям, поэтому кубики разлетаются со скоростями, направленными под углом к 45° к направлению движения шайбы. При этом они не толкают покоящуюся шайбу. (1)

Столкновение шайбы и кубиков абсолютно упругое, поэтому выполняются законы сохранения импульса и механической энергии.

$$5mv = 2mv_{\text{к}} \cos 45^\circ + 5mv_{1x} \quad (2)$$

$$\frac{5mv^2}{2} = 2 \frac{mv_{\text{к}}^2}{2} + \frac{5mv_{1x}^2}{2} \quad (3)$$

$$\text{Совместное решение этих уравнений дает } v_{1x} = \frac{2}{3}v, \quad (4)$$

$$v_{\text{к}} = \frac{5\sqrt{2}}{6}v \quad (5)$$

Далее следует столкновение шайб, оно также абсолютно упругое. Законы сохранения импульса и энергии можно записать в виде

$$5mv_1 = 5mv_{2x} + mv_{\text{ш}} \quad (6)$$

$$\frac{5mv_1^2}{2} = \frac{5mv_{2x}^2}{2} + \frac{mv_{\text{ш}}^2}{2} \quad (7)$$

$$\text{Совместное решение этих уравнений дает } v_{2x} = \frac{2}{3}v_1 = \frac{4}{9}v, \quad (8)$$

$$v_{\text{ш}} = 5v_1 = \frac{10}{6}v \quad (9)$$

3. Удары. *Рекомендованные критерии оценки.* Если учтена ситуация (1) добавить 2 балла, за каждый из пунктов (2) – (9) добавлять по 1 баллу.

4. Сопротивление (10 баллов). Предположим, что Вам потребовалось измерить удельное электрическое сопротивление неизвестной жидкости. В Вашем распоряжении имеются:

- 1) источник постоянного напряжения, величина которого была известна только приблизительно (около 12 В, плюс-минус 1 В), который при коротком замыкании создаёт довольно большую силу тока (около 6 А, плюс-минус 1 А),
- 2) пять одинаковых школьных вольтметров, рассчитанных на измерение напряжения до 6 В,
- 3) пять одинаковых школьных амперметров, рассчитанных на измерение тока до 2 А,
- 4) двадцать соединительных проводов,
- 5) ключ для замыкания и размыкания цепи,
- 6) сосуд в виде узкого параллелепипеда, заполненный жидкостью,
- 7) две небольшие алюминиевые ложки, ширина ручек у которых лишь чуть меньше ширины и чуть больше глубины узкого сосуда с жидкой смесью.
- 8) стальная рулетка.

Сможете ли Вы провести свои измерения, не испортив при этом измерительные приборы?

Если «НЕТ», то объясните, почему?

Если «ДА», то начертите электрическую схему, изобразив сосуд с жидкой смесью в виде узкого прямоугольника, а источник тока – в виде квадрата с кружками-клеммами «+» и «-». Дайте дополнительные пояснения к своей схеме. Напишите расчётную формулу для вычисления удельного сопротивления, включив в неё только те величины, которые Вы могли бы измерить, используя предложенное оборудование.

4. Сопротивление. Возможное решение. Они могут использовать ложки в качестве электродов, опустив их в жидкую смесь с противоположных узких сторон сосуда. Для измерения силы тока можно подключить четыре амперметра параллельно друг другу, чтобы ток через каждый из них не превысил 2 А, для измерения напряжения можно использовать три вольтметра, включенных последовательно. Электрическая схема может иметь вид, изображенный на рисунке 444 (или вольтметры могут быть подключены параллельно участку с последовательным соединением четырёх амперметров и сосуда с жидкостью). Жидкость в сосуде представляет собой проводник. Его сопротивление связано с удельным сопротивлением и геометрическими размерами по формуле

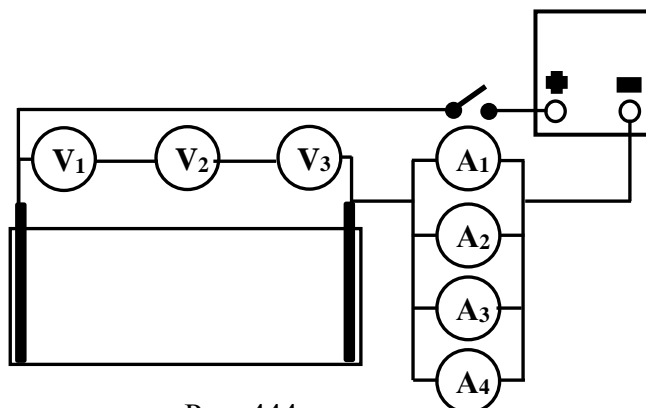


Рис. 444

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Если обозначить, что l - длина сосуда (длина проводника), a - ширина сосуда, h - глубина жидкости в сосуде, то

$$\rho = R \cdot \frac{a \cdot h}{l}$$

Сопротивление находим по закону Ома $R = \frac{U}{I}$

Учитывая, что $U = U_1 + U_2 + U_3$ и $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

Расчётная формула будет иметь вид $\rho = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \cdot \frac{a \cdot h}{l}$

4. Сопротивление. Рекомендованные критерии оценки.

За идею использования ложек в качестве электродов добавить 2 балла

За идею параллельного соединения амперметров добавить 2 балла, но если предложено подключать пять амперметров, то добавить только 1 балл, т.к. излишнее добавление амперметров приведёт к уменьшению их показаний и возрастанию погрешности измерений.

За идею последовательного соединения вольтметров добавить 2 балла, но если было предложено последовательно соединить 4 или 5 вольтметров, то добавить только 1 балл.
 За учёт закона Ома добавить 1 балл.
 За учёт формулы связи сопротивления и удельного сопротивления добавить 1 балл.
 За корректное изображение электрической схемы добавить 1 балл.
 За вывод итоговой формулы добавить 1 балл.

5. Горизонтальные силы (10 баллов). На наклонной плоскости с углом $\alpha = 45^\circ$ находится тело (см. рисунок. 2). Коэффициент трения между плоскостью и телом $\mu=0,5$. Сначала к телу прикладывают горизонтальную силу \vec{F}_1 , направленную влево, при этом тело движется вверх с постоянной скоростью. С каким ускорением будет двигаться тело, если вместо \vec{F}_1 , приложить к нему силу \vec{F}_2 такую же по модулю, но направленную вправо? Ускорение свободного падения считать равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

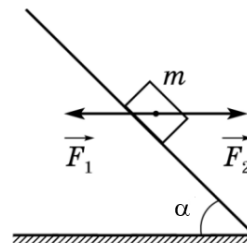


Рис. 2

5. Горизонтальные силы.

Возможное решение. На тело действуют сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения и горизонтальная сила. Запишем для первого случая второй закон Ньютона в проекции на ось X , направленную вдоль наклонной плоскости вверх (рисунок 3):

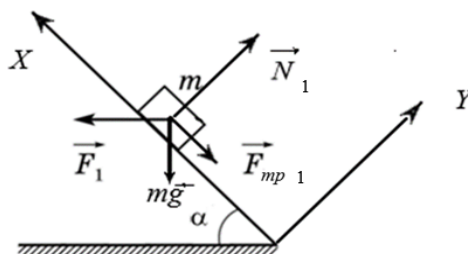


Рис.3.

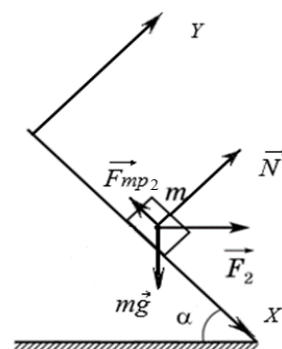


Рис.4.

$$F_1 \cos \alpha - F_{\text{тр}1} - mg \sin \alpha = 0. \quad (1)$$

проекции на ось Y , направленную перпендикулярно плоскости

$$N_1 - F_1 \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

так как сила трения скольжения $F_{\text{тр}1} = \mu N_1$,

$$F_1 \cos \alpha - \mu F_1 \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

$$\text{Отсюда } F_1 = \frac{mg \cos \alpha + \mu mg \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}.$$

Подставляя $\alpha = 45^\circ$ и $\mu=0,5$, получим $F_1 = 3mg$.

При движении тела вниз (рис. 4)

$$F_2 \cos \alpha - F_{\text{тр}2} + mg \sin \alpha = ma. \quad (4)$$

$$N_2 + F_2 \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \quad (5)$$

$$N_2 = mg \cos \alpha - F_2 \sin \alpha.$$

$$\text{С учётом, что } F_{\text{тр}2} = \mu N_2, \quad (6)$$

$$F_2 \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha + \mu F_2 \sin \alpha + mg \sin \alpha = ma.$$

$$ma = F_2 \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha + \mu F_2 \sin \alpha + mg \sin \alpha.$$

Так как $F_1 = F_2$ (по условию), то $F_2 = 3mg$

$$ma = 3mg \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha + 3\mu mg \sin \alpha + mg \sin \alpha.$$

$$\text{Искомое ускорение } a = 3g \cos \alpha - \mu g \cos \alpha + 3\mu g \sin \alpha + g \sin \alpha.$$

$$a = g(3 \cos \alpha - \mu \cos \alpha + 3\mu \sin \alpha + \sin \alpha).$$

$$\text{Вычисления } a = 9,8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} (3 - 0,5 - 1,5 + 1) \approx 13,9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right).$$

5. Горизонтальные силы. Рекомендуемые критерии оценивания Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям». При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – второй закон Ньютона с учетом всех действующих сил, формула для силы трения скольжения для первого (1)-(3) и второго (4)-(6) случаев или эквивалентные им соотношения) записаны или учтены другим способом верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях (либо ответ получен в общем виде, вычисления не произведены) – **9 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **8 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется более одной ошибки в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **7 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но преобразования не завершены – **6 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной физической ошибки – **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1–2 балла**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2022-2023 уч. год.

Муниципальный этап. Калужская область

11 класс. Условия, решения, критерии, методические рекомендации

Задание разработано доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского

М.С Красиным. В подготовке задания 5 принимали участие А.И. Осипов, Е.А. Осипова

(КГУ им. К.Э. Циолковского)

1. Газы (10 баллов). Теплоизолированный сосуд разделён на две части тонкой металлической легкоподвижной непроницаемой перегородкой. В одну часть сосуда впускают 3 моля неона при температуре 7°C , а в другой – пять молей молекулярного водорода при температуре 27°C . Какую часть сосуда будет занимать водород после установления теплового равновесия (4 балла)? Какой будет установившаяся температура в сосуде (6 баллов)? Объём сосуда не изменялся.

1. Газы. Возможное решение. Поскольку сосуд теплоизолированный (количество теплоты не поступало в систему и не уходило) и его объём не менялся (работа внешних сил равнялась нулю), то суммарная внутренняя энергия газов в сосуде не изменилась. (1)

Неон инертный газ, значит одноатомный и его внутренняя энергия связана с температурой соотношением $U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$. (2)

Молекулярный водород является двухатомным газом, поэтому его внутренняя энергия связана с температурой формулой $U_2 = \frac{5}{2} \nu_2 R T_2$. (3)

Согласно закону сохранения энергии $\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{5}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_y + \frac{5}{2} \nu_2 R T_y$ (4)

Откуда $T_y = \frac{3\nu_1 T_1 + 5\nu_2 T_2}{3\nu_1 + 5\nu_2}$ (5)

Подставив числовые значения в СИ получаем $T_y = 288 \text{ K}$ (6)

Поскольку поршень легкоподвижный, то он займёт положение, при котором давление газов будет одинаковым. (7)

Из уравнения Менделеева-Клапейрона получаем $p = \frac{\nu}{V} RT$ (8)

Тогда $\frac{\nu_1}{V_1} = \frac{\nu_2}{V_2}$ и $\frac{V_2}{V_1} = \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{5}{3}$. (9)

Водород будет занимать $\frac{5}{8}$ объёма сосуда (10)

1. Газы. Рекомендованные критерии оценки за каждый пункт ставить 1 балл, не снижая оценку за краткость обоснований.

2. Переключение (10 баллов). Электрическая схема изображена на рисунке 1. В начальный момент ключ разомкнут, заряд на конденсаторе отсутствует. Какими будут показания амперметра сразу после замыкания ключа (5 баллов) и спустя длительный интервал времени (5 баллов)? Сопротивлением амперметра можно пренебречь. $R_1=2 \text{ Ом}$, $R_2=8 \text{ Ом}$, $R_3=12 \text{ Ом}$, $C=30 \text{ мкФ}$, $L=2 \text{ Гн}$, $\mathcal{E}=9 \text{ В}$, $r=0,2 \text{ Ом}$.

2. Переключение. Возможное решение. Сразу после замыкания ключа ток через участок с катушкой индуктивности не идёт из-за возникновения явления самоиндукции. (1)

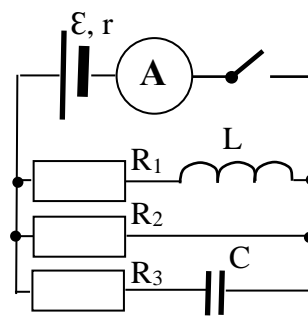
При этом ток на участке с конденсатором идёт такой, как если бы не было конденсатора, т.к. на конденсаторе зарядов нет. (2)

Поэтому сопротивление внешней цепи сразу после замыкания ключа равно

$$R_I = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 4,8 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Сила тока через амперметр в этом случае равна $I_I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_I} = 1,8 \text{ А}$ (4)

Через длительный интервал времени сила тока перестанет изменяться, самоиндукция в катушке не будет возникать, поэтому через участок с катушкой индуктивности ток идёт и сопротивление этого участка равно R_1 . (5)



При этом ток на участке с конденсатором не идёт. (6)

Поэтому сопротивление внешней цепи сразу после замыкания ключа равно

$$R_{II} = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} = 1,6 \text{ Ом.} \quad (7)$$

$$\text{Сила тока через амперметр в этом случае равна } I_I = \frac{\varepsilon}{r + R_{II}} = 5 \text{ А} \quad (8)$$

2. Переключение. Рекомендованные критерии оценки за пункты 1-3 и 5-7 ставить по 1 баллу, за пункты 4 и 8 ставить по 2 балла. Если в пунктах 4 и 8 закон Ома для замкнутой цепи применяется, но с ошибками, то можно ставить по 1 баллу за эти пункты.

3. Колебания (10 баллов). Груз массой $m = 25$ г подвесили на нити длиной $l = 882$ мм. Затем груз отклонили так, что угол между нитью и отвесной линией оказался равен $\alpha = 3^\circ$, и отпустили. Определите период колебаний груза (4 балла). Напишите уравнение движения груза, считая, что сопротивление воздуха при колебаниях груза пренебрежимо мало (2 балла). Определите, через сколько времени после начала движения угол нити с вертикалью составит $\beta = 1^\circ$ (2 балла). Во сколько раз ускорение груза в верхней точке траектории больше, чем в нижней (2 балла).

3. Колебания. Возможное решение. Период колебаний груза $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (1)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,882\text{м}}{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = 0,6\pi \text{ с} \approx 1,9 \text{ с} \quad (2)$$

Поскольку в начальный момент смещение груза от положения равновесия было максимальным, то уравнение движения удобно записать в виде $x = x_m \cos \omega t$ (3)

$$\text{Циклическая частота колебаний равна } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = \frac{2\pi}{0,6\pi} = \frac{10}{3} \text{ с}^{-1}$$

$$x_m = l \cdot \sin \alpha$$

$$\alpha = 3^\circ = \frac{\pi}{60} \text{ рад,} \quad x_m = l \cdot \sin \frac{\pi}{60} \quad x_m = l \cdot \frac{\pi}{60}, \quad x = l \frac{\pi}{60} \cos \frac{10}{3} t \quad (4)$$

Когда угол равен $\beta = 1^\circ$, координата груза будет равна $x_\beta = l \cdot \sin \beta = l \cdot \frac{\pi}{180}$

$$l \cdot \frac{\pi}{180} = l \frac{\pi}{60} \cos \left(\frac{10}{3} t_\beta \right) \quad (5)$$

$$t_\beta = 0,3 \arccos \frac{1}{3} \approx 0,37 \text{ с} \quad (6)$$

$$a_v = \omega^2 x_m = \frac{100}{9} l \cdot \frac{\pi}{60} = \frac{5l\pi}{27} \quad (7)$$

$$a_n = \frac{v_m^2}{l} = \frac{\omega^2 x_m^2}{l} = \frac{100}{9l} \cdot l^2 \frac{\pi^2}{3600} = \frac{l}{9} \cdot \frac{\pi^2}{36} \quad (8)$$

$$\frac{a_v}{a_n} = \frac{5l\pi}{27} \cdot \frac{9 \cdot 36}{l\pi^2} = \frac{60}{\pi} \approx 19 \quad (9)$$

3. Колебания. Рекомендованные критерии оценки: за пункт 2 ставить 2 балла, за остальные пункты ставить 1 балл. Если уравнение движения записано через синус, но учтена ненулевая начальная фаза, то оценку не снижать

4. Теплообмен (10 баллов). В калориметре находится некоторое количество воды при температуре $t_1 = 20^\circ \text{C}$. Когда в воду положили кусочек льда при температуре $t_2 = 0^\circ \text{C}$ в состоянии теплового равновесия температура в калориметре стала равна $t_3 = 10^\circ \text{C}$. Какой бы оказалась температура в состоянии теплового равновесия, если бы вместо льда в воду положили мокрый снег при температуре $t_2 = 0^\circ \text{C}$, такой же массы, как и лёд, но при этом четверть его массы составляла вода? Считать, что удельная теплоёмкость воды $c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ \text{C}}$, льда $c_l = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ \text{C}}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 340000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, удельная теплота парообразования воды $r = 2300000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, атмосферное давление $p = 756 \text{ мм рт.ст.}$ Теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями можно пренебречь. Ответ округлить до целых.

4. Теплообмен. Возможное решение. Уравнение теплового баланса в первом случае можно записать в виде $\lambda m_1 + c_B m_1 (t_3 - t_2) = c_B m_2 (t_1 - t_3)$ (1)

Уравнение теплового баланса во втором случае можно записать в виде

$$\lambda \cdot 0,75 m_1 + c_B m_1 (t_y - t_2) = c_B m_2 (t_1 - t_y) \quad (2)$$

Если разделить второе уравнение на первое, получаем

$$\frac{\lambda \cdot 0,75 + c_B (t_y - t_2)}{\lambda + c_B (t_3 - t_2)} = \frac{(t_1 - t_y)}{(t_1 - t_3)}$$

Если подставить числовые данные, то

$$\frac{255000 + 4200 t_y}{382000} = \frac{20 - t_y}{10}$$

Откуда $2550000 + 42000 t_y = 7640000 - 382000 t_y$ (3)

$$t_y = 12^\circ \text{C}$$

4. Теплообмен. Рекомендованные критерии оценки. Если есть формула для расчёта количества теплоты, необходимого для нагрева вещества, то добавить 1 балл.

Если есть формула для расчёта количества теплоты, необходимого плавления воды, то добавить 1 балл.

Если в расчётах учтено, что во втором случае масса льда 0,75 от первоначальной, то добавить 1 балл.

Если получено соотношение типа (1) то добавить 2 балла

Если получено соотношение типа (2) то добавить 2 балла

Если получено соотношение типа (3) то добавить 2 балла

Если приведён правильный ответ, то добавить 1 балл

5. Петля (10 баллов). Маленький стальной шарик положили на наклонный желоб в нижней части изогнутый в форме окружности. Шарик, скатавшись по желобу вниз, стал подниматься по участку окружности, но не смог сделать полный оборот и оторвался от желоба в некоторой точке. Данный процесс фиксировался фотоаппаратом, успевшим сделать фотоснимок в начальный момент движения шарика (рисунок 2.1.), а также ещё несколько фотоснимков, изображённых (см. рисунки 2.2.–2.4.). Оцените, какая доля энергии была потеряна шариком при скатывании по желобу (6 баллов). Оцените точность полученного Вами результата (4 баллов).

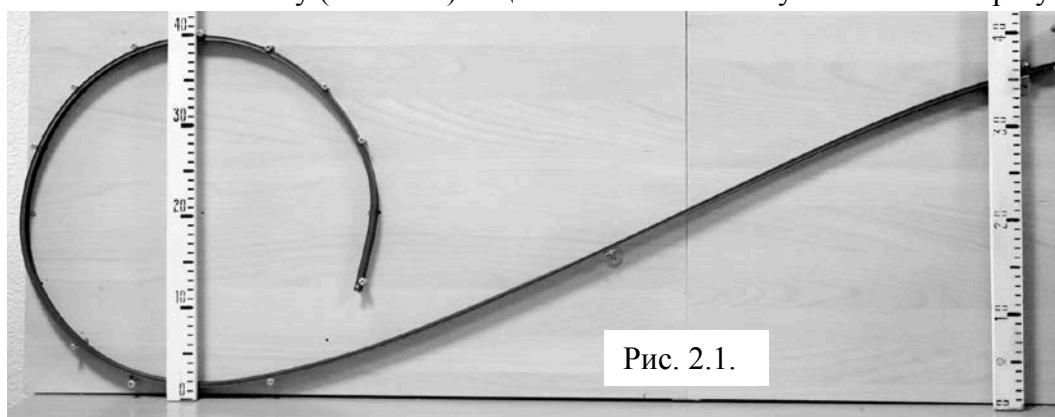


Рис. 2.1.

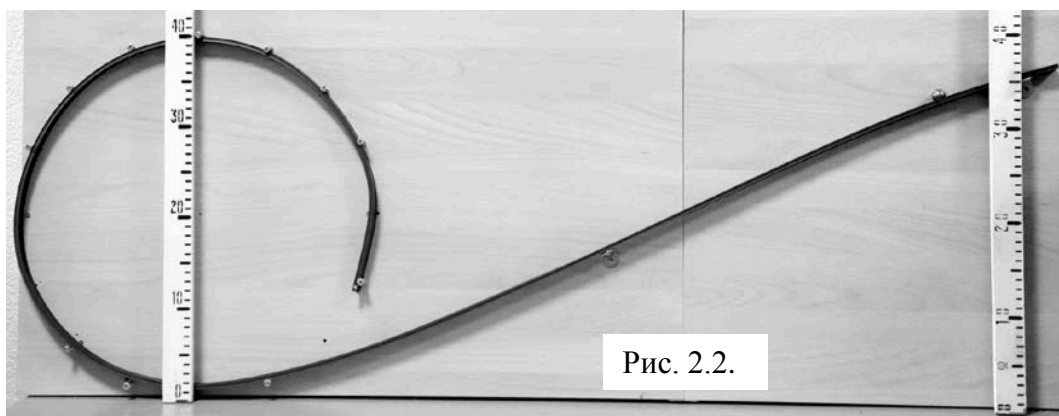


Рис. 2.2.

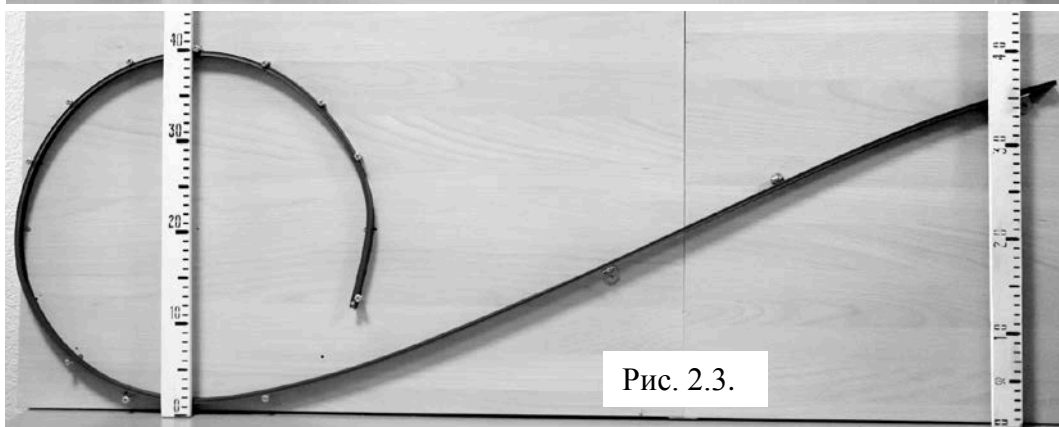


Рис. 2.3.

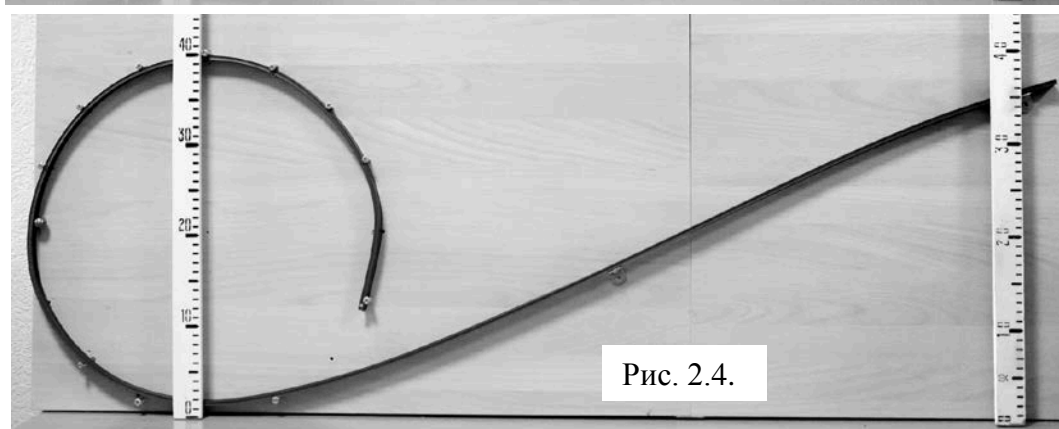


Рис. 2.4.

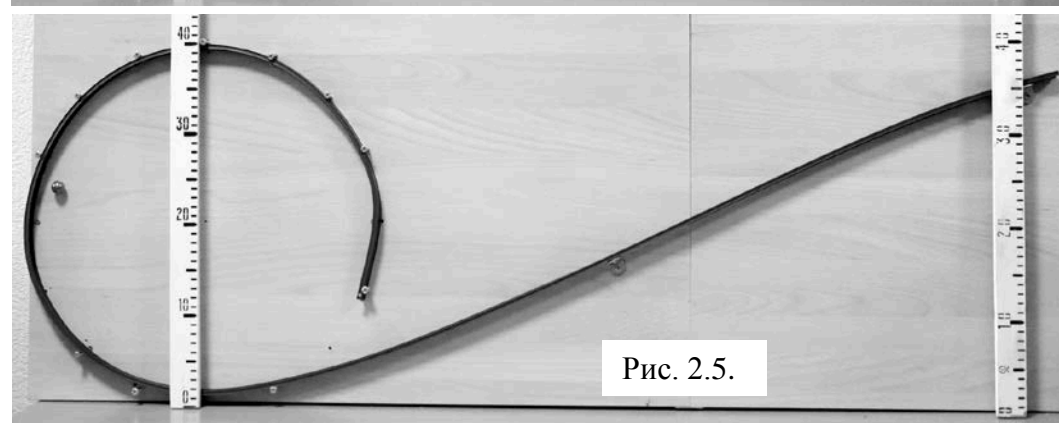


Рис. 2.5.

5. Петля. *Возможное решение.* Закон сохранения энергии для моментов начала и конца движения шарика по желобу можно записать в виде $mgh_0 = mgh + \frac{mv^2}{2} + Q$ (1)

В момент отрыва шарик перестаёт давить на опору и начинает двигаться только под действием силы тяжести (с ускорением g). Но это ещё последнее мгновение движения по окружности радиуса R , поэтому можно записать соотношение $a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R}$.

Из геометрических соображений (см. рис. 2) $a_{ц.с.} = g \cdot \cos\alpha$, $\cos\alpha = \frac{h-R}{R}$, $\frac{v^2}{R} = g \frac{h-R}{R}$.

Получаем $v^2 = g(h - R)$. (2)

С учётом (1) $mgh_0 = mgh + 0,5mg(h - R) + Q$, откуда $Q = mg(h_0 - 1,5h + 0,5R)$

$$\frac{Q}{mgh_0} = \left(1 - \frac{3h - R}{2h_0}\right) \quad (3)$$

Поскольку на фотографии легче измерить диаметр и ошибка при измерении будет в два раза меньше, то удобнее формула

$$\frac{Q}{mgh_0} = \left(1 - \frac{6h - D}{4h_0}\right)$$

По фотографии 2.1. находим, что $h_0 = (36 \pm 1)$ см.

По фотографии 2.4. находим $h = (21 \pm 1)$ см, $D = (39 \pm 1)$ см

Без учёта погрешностей получаем $\frac{Q}{mgh_0} = 0,4$ (4)

Для оценки погрешности можно использовать метод «верхней-нижней границы»

$$\begin{aligned} \text{ВГ}\left(\frac{Q}{mgh_0}\right) &= \left(1 - \frac{6(h - \Delta l) - (D + \Delta l)}{4(h_0 + \Delta l)}\right) = \left(1 - \frac{6h - D - 7\Delta l}{4h_0 + 4\Delta l}\right) = 1 - \frac{6 \cdot 21 - 39 - 7 \cdot 1}{4 \cdot 36 + 4 \cdot 1} \\ &= 1 - \frac{20}{37} = \frac{17}{37} = 0,459459 \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{НГ}\left(\frac{Q}{mgh_0}\right) &= \left(1 - \frac{6(h + \Delta l) - (D - \Delta l)}{4(h_0 - \Delta l)}\right) = \left(1 - \frac{6h - D + 7\Delta l}{4h_0 - 4\Delta l}\right) = 1 - \frac{6 \cdot 21 - 39 + 7 \cdot 1}{4 \cdot 36 - 4 \cdot 1} \\ &= 1 - \frac{47}{70} = \frac{23}{70} = 0,328571 \dots \end{aligned}$$

$$\Delta\left(\frac{Q}{mgh_0}\right) = 0,5 \left(\frac{17}{37} - \frac{23}{70}\right) = 0,065444 \dots = 0,065$$

(погрешность записана с учётом «правила одной-двух значащих цифр»)

Измеренное значение находим по формуле

$$\frac{Q}{mgh_0} = 0,5 \left(\frac{17}{37} + \frac{23}{70}\right) = 0,394015 \dots = 0,394$$

(значение записано с учётом «правила равенства минимальных разрядов в записи измеренного значения и его погрешности»)

Относительная погрешность измерения равна $\varepsilon\left(\frac{Q}{mgh_0}\right) = \frac{0,065}{0,394} = 0,164974 \dots = 0,16$

(погрешность записана с учётом «правила одной-двух значащих цифр»)

Выразив ответ в процентах, получаем $\frac{Q}{mgh_0} = (39,4 \pm 6,5) \%$, $\varepsilon = 16 \%$

ОБРАЩАЕМ ВНИМАНИЕ, ЧТО ПРИ УЧАЩИЕСЯ МОГУТ ВЗЯТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ, ОТЛИЧАЮЩИЕСЯ ОТ ПРИВЕДЁННЫХ В ОБРАЗЦЕ РЕШЕНИЯ, НА 1-2 см. ИХ НАДО СЧИТАТЬ ПРАВИЛЬНЫМИ, А ИХ ЧИСЛОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЕРЕПРОВЕРИТЬ. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ МОГУТ БЫТЬ ДРУГИМИ, НО НАДО УЧИТЫВАТЬ ИХ КОРРЕКТНОСТЬ

5. Петля. Рекомендованные критерии оценки. Вывод соотношения (1), добавить 1 балл.

Вывод соотношения (2), добавить 2 балла. Вывод соотношения (3), добавить 2 балла.

Вычисление (4), добавить 1 балл.

Оценка погрешности каждого результата прямых измерений 1 балл.

Корректная оценка абсолютной погрешности добавить 1 балл.

Запись результата измерений с учётом погрешности 1 балл.

Нахождение относительной погрешности 1 балл.