

Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
2023-2024 учебный год

9 класс

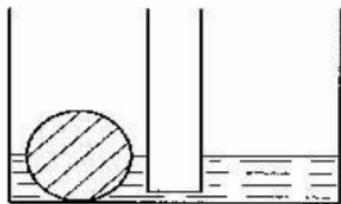
Время выполнения – 3 часа 50 минут (230 минут)
Максимальное количество баллов – 50

Задача №1. «Лед в сообщающихся сосудах».

Школьник решил изучить перетекание воды в сообщающихся сосудах при таянии льда. В один из сосудов он осторожно положил ледяной шарик объемом $V=100\text{ см}^3$. После того, как колебания воды в сосудах прекратились, шарик оказался погруженным в воду ровно наполовину. Какая масса воды перетекла во второй сосуд? Какая масса воды перетечет еще в процессе таяния льда? Плотность воды $\rho_в=1000\text{ кг/м}^3$, плотность льда $\rho_л=900\text{ кг/м}^3$.

Решение.

Шарик коснулся дна, т.к. он погрузился в воду ровно наполовину (см. рис.).



После погружения шарика он вытеснит объем воды $V/2 = 50\text{ см}^3$. Т.к. уровни воды в сосудах первоначально были одинаковы, то из левого сосуда в правый перетечет половина этого объема, т.е. $V/4 = 25\text{ см}^3$. Соответствующая масса воды равна $m_1 = \rho_в V/4 = 25\text{ г}$.

Когда лед растает, масса воды увеличится на $\rho_л V = 90\text{ г}$. Поэтому из левого сосуда в правый должно перетечь $\rho_л V/2 = 45\text{ г}$, из которых 25 г уже перетекло после погружения в левый сосуд ледяного шарика. Поэтому при таянии льда в правый сосуд дополнительно перетечет $m_2 = \rho_л V/2 - \rho_в V/4 = 20\text{ г}$.

Критерии проверки:

1. Указано, что шарик вытеснит в правый сосуд объем воды $V/4 = 25\text{ см}^3$ - 2 балла
2. Вычислена масса воды, перетекшая в правый сосуд: $m_1 = \rho_в V/4 = 25\text{ г}$. – 1 балл.

3. Вычислена дополнительная масса воды после таяния льда: $\rho_l V = 90$ г. – 1 балл

4. Вычислена масса воды, которая должна перетечь в правый сосуд: $m_1 = \rho_l V/2 = 45$ г. – 2 балла.

5. Указано, что 25 г уже перетекло после погружения шарика. – 2 балла.

6. Вычислено, что после таяния льда дополнительно перетечет масса воды $m_2 = \rho_l V/2 - \rho_v V/4 = 20$ г. – 2 балла.

При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача №2. «Неудачный кипятильник»

Школьник Петя решил вскипятить воду в тонкостенном стакане. В качестве нагревателя он взял резистор на 280 Ом и подключил его к сети 220 В. Однако его кипятильник не мог нагреть 600 г воды до кипения. Тогда Петя выключил нагреватель, и стал следить за изменением температуры воды. На сколько градусов понизилась температура за 30 секунд? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг*С.

Решение:

1. Причина неудачи эксперимента Пети в том, что стакан с водой отдавал в окружающую среду столько же тепла, сколько получал от нагревателя.

2. Количество теплоты, отдающееся в окружающую среду за время t , можно рассчитать по формуле $Q = (U^2/R)*t$

3. После выключения нагревателя эти теплотери приводят к изменению температуры воды в соответствии с условием теплового баланса. Изменение температуры можно рассчитать по формуле $Q = C*m*\Delta t$

4. Выводим формулу для изменения температуры $\Delta t = Q/(C*m) = U^2*t/(R*C*m)$

5. Проводим вычисления: $220^2*30/(280*4200*0,6) = 2$ °С.

Критерии проверки:

1. Сделано утверждение о причине неудачи с кипячением воды: теплотери равны теплоте, получаемой от нагревателя – 4 балла.

2. Записана формула для количества теплоты, выделяемой нагревателем – 1 балл.

3. Записана формула для количества теплоты, выделяемой стаканом с водой при охлаждении – 1 балл.

4. Сделаны преобразования для получения формулы для расчета изменения температуры- 3 балла.

5. Проведены вычисления, получен правильный ответ – 1 балл.

Примечание: при другой последовательности шагов в решении задачи предлагается придерживаться в оценке действий предлагаемыми баллами.

Задача №3. «Неидеальные вольтметры».

Школьник взял два одинаковых вольтметра и подключил их к источнику питания двумя способами, показанными на рисунках 1 и 2. К его удивлению, в обоих случаях вольтметры показали одинаковое напряжение, равное 10 В. Какое напряжение U_0 было у источника питания?

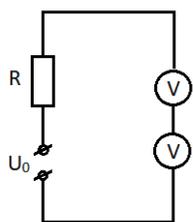


Рис.1

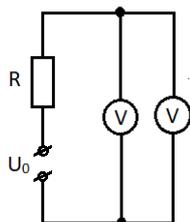


Рис.2

Решение:

1. Если обозначить сопротивление вольтметров через r , то токи через сопротивление R по закону Ома в схемах 1 и 2 будут определяться по формулам:

$$I_1 = U_0 / (R + 2r) \text{ и } I_2 = U_0 / (R + r/2)$$

2. Поскольку показания вольтметров одинаковы, то ток, протекающий по каждому из них в схеме 2, равен $I_2/2$.

3. По закону Ома напряжения на вольтметрах определяются по формулам:

$$\text{для схемы на рис.1: } U = I_1 r = U_0 r / (R + 2r)$$

$$\text{для схемы на рис.2: } U = (I_2/2) r = U_0 r / (2(R + r/2))$$

4. Отсюда следует, что $R + 2r = 2R + r$. Это дает равенство $R = r$.

5. Тогда напряжение источника $U_0 = 3U = 30 \text{ В}$.

Критерии проверки:

1. Правильно записан закон Ома для первой схемы – 1 балл.
2. Правильно записан закон Ома для второй схемы – 2 балла.
3. Указано, что ток через вольтметры в схеме 2 будет равен $I_2/2$ – 2 балла.
4. Правильно записаны формулы для напряжения на вольтметрах в схемах 1 и 2 – 2 балла.
5. Правильно выполнены преобразования для получения формулы для напряжения источника, получен числовой ответ – 3 балла.

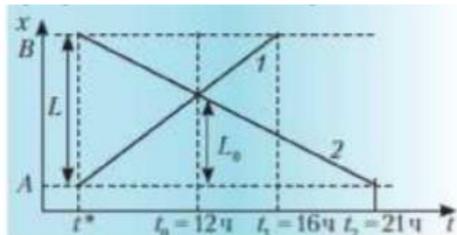
При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача 4. «Два путешественника».

Два путешественника на рассвете одновременно вышли навстречу друг другу по одной дороге. Один вышел из города A в город B , а другой - из города B в город A . Двигаясь равномерно, они встретились в полдень и, не останавливаясь, продолжили свой путь. Первый путешественник пришел в город B в 4 часа дня, а второй - в город A только в 9 вечера. Определите, в какое время был в этот день рассвет?

Примерные способы решения:

Способ 1 – графический:



Здесь L – расстояние между городами, L_0 – расстояние до места встречи от города A .

1. Выделим на графике движения для каждого путешественника по 2 подобных треугольника: большой, соответствующий всему движению, и малый – соответствующий движению до места встречи. Здесь введены следующие обозначения: t^* - время рассвета, $tв$ – время встречи, t_1 – время прихода в конечный пункт 1-го путешественника, t_2 - время прихода в конечный пункт 2-го путешественника.

2. Для каждого путешественника можно записать соотношения подобия в рассматриваемых треугольниках:

$$\text{для первого: } L_0/L = (t^* - tв) / (t^* - t_1) = (t^* - 12) / (t^* - 16)$$

$$\text{для второго: } L_0/L = (t_2 - tв) / (t_2 - t^*) = (t_2 - 12) / (21 - t^*)$$

3. Приравниваем эти соотношения и после преобразований приходим к квадратному уравнению $(t^*)^2 - 24t^* + 108 = 0$

4. Решение уравнения дает 2 положительных корня: 18 часов и 6 часов. За время восхода берем 6 часов.

Способ 2 - аналитический:

1. Введем следующие обозначения: скорости движения путешественников 1 и 2 V_1 и V_2 соответственно, t^* - время рассвета, $tв$ – время встречи, t_1 – время прихода в конечный пункт 1-го путешественника, t_2 - время прихода в конечный пункт 2-го путешественника, L – расстояние между пунктами A и B , l – расстояние от пункта A до места встречи в полдень.

2. Составляем уравнения движения:

во-первых, путешественники прошли один и тот же путь между городами $L = V_1(t_1 - t^*) = V_2(t_2 - t^*)$, или $L = V_1(16 - t^*) = V_2(21 - t^*)$;

во-вторых, 1-й путешественник прошел такое же расстояние до встречи, как и 2-й – после встречи, т.е. $l = V_1(t_1 - t^*) = V_2(t_2 - t^*)$, или $l = V_1(12 - t^*) = V_2(21 - 12)$.

3. Из этих равенств можно составить отношения скоростей :

$$V_1/V_2 = (21 - t^*)/(16 - t^*) \text{ и } V_1/V_2 = (21 - 12)/(12 - t^*).$$

4. Приравняв эти отношения и сделав преобразования, получаем квадратное уравнение $(t^*)^2 - 24t^* + 108 = 0$.

5. Решение уравнения дает 2 положительных корня: 18 часов и 6 часов. За время восхода берем 6 часов.

Критерии проверки:

1. Моменты времени в задаче приведены к единой шкале (полдень – 12 часов, 4 часа дня – 16 часов, 9 вечера – 21 час) – 1 балл.

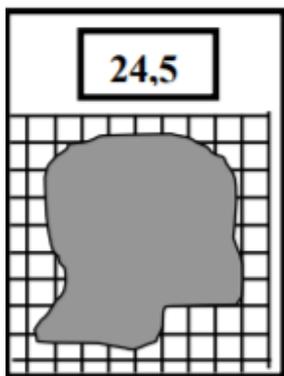
2. Записана правильная система уравнений движения – 4 балла

3. После преобразований получено правильное квадратное уравнение – 4 балла

4. Из двух корней уравнения выбран верный – 1 балл.

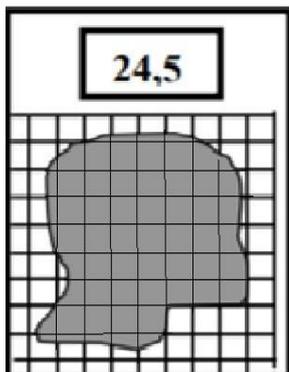
Задача 5. «Давление пластины неправильной формы»

Плоскую металлическую пластину неправильной формы положили на весы. Между пластиной и весами положили тетрадный листок в клеточку. При этом показания весов не изменились. Показания весов в граммах и форма пластины показаны на рисунке. Определите давление пластины на весы и укажите погрешность измерения. Ускорение свободного падения принять равным $9,8 \text{ м/с}^2$.



Решение:

1. Для определения давления пластины нам необходимо знать площадь пластины. Проведем на рисунке линии сетки, закрытые пластиной (см.рис)



2. Подсчитаем количество клеточек, закрытых пластиной. Полностью закрытых клеточек – 37, частично закрытых – 24.

3. Примем, что площадь частично закрытых клеточек в среднем равна половине площади клеточки.

4. Таким образом, площадь пластины равна $(37+24/2) \cdot 5 \cdot 5 \text{ мм}^2 = 1225 \text{ мм}^2 = 1225 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

5. Давление пластины равно $P = mg/S = 24,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 / 1225 \cdot 10^{-6} = 196 \text{ Па}$.

6. Так как давление рассчитывается по формуле, содержащей только умножение и деление, то будем рассчитывать относительную погрешность давления как сумму относительных погрешностей входящих в формулу величин.

7. Относительная погрешность массы равна цене деления весов на величину массы, т.е. $0,1 \text{ г} / 24,5 \text{ г} = 0,004$.

8. Абсолютную погрешность площади примем равной площади одной частично закрытой клеточки. Относительная погрешность площади будет равна $12,5 \text{ мм}^2 / 1225 \text{ мм}^2 = 0,010$.

9. Относительную погрешность ускорения свободного падения рассчитаем из условия $0,05 / 9,8 = 0,005$

10. Таким образом, суммарная относительная погрешность измерения давления будет равна $0,019 \approx 0,02$.

11. Абсолютная погрешность измерения давления будет равна $196 \cdot 0,02 \approx 4 \text{ Па}$.

12. Следовательно, результаты расчета давления лежат в интервале от 192 до 200 Па.

Критерии проверки:

1. Записана формула для расчета давления – 1 балл

2. Рисунок пластины расчерчен на клеточки и подсчитано число клеточек, полностью и частично закрытых пластиной – 1 балл
3. Предложено считать среднюю площадь частично закрытых клеточек равной половине площади клеточки -1 балл
4. Вычислена площадь, закрытая пластиной – 1 балл.
5. Вычислена величина давления в Па – 2 балла.
6. Предложена формула для расчета относительной погрешности давления – 1 балл.
7. Вычислены относительные погрешности массы, ускорения свободного падения и площади – 1 балл.
8. Подсчитана суммарная относительная погрешность для давления – 1 балл.
9. Определена величина абсолютной погрешности давления – 1 балл.

Рекомендации:

а) результат вычисления давления считать верным, если он лежит в интервале от 192 до 200 Па.

б) результат вычисления погрешности можно считать верным, если не учтена погрешность ускорения свободного падения.