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

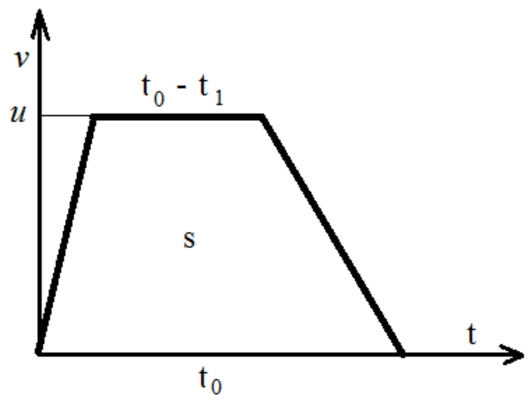
10 класс

Время выполнения - 3 часа 50 минут (230 минут)
Максимальное количество баллов – _50_

Задача 1. «Поезд» (10 баллов).

Поезд прошел расстояние 17 км между двумя станциями. При этом на разгон в начале движения и торможение перед остановкой ушло в общей сложности 4 мин, а остальное время поезд двигался с постоянной скоростью. Чему равна эта скорость, если средняя скорость поезда оказалась равной 60 км/ч?

Решение. График зависимости скорости от времени для движения поезда имеет вид, показанный на рисунке. Пройденный путь численно равен площади трапеции, т. е. $s = \frac{t_0 + (t_0 - t_1)}{2} \cdot u$, где $t_0 = \frac{s}{v_{ср}}$. После подстановки t_0, можно получить выражение для скорости равномерного движения $u = \frac{2sv_{ср}}{2s - v_{ср}t_1} = 68\ \left(\frac{км}{ч}\right)$.

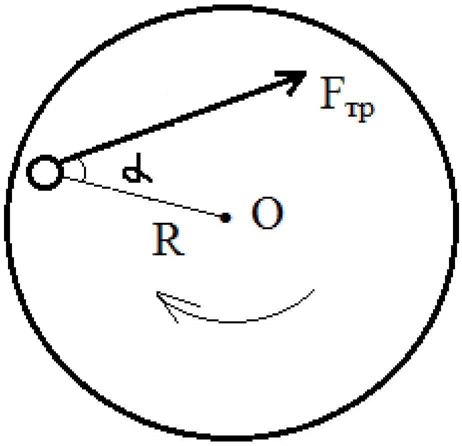


Критерии проверки:

1. Предложен графический способ решения и построен график зависимости скорости от времени – 3 балла
2. Записано уравнение для пройденного пути – 2 балла
3. Записано выражение для полного времени движения– 2 балла
4. Получено выражение для скорости равномерного движения – 2 балла
5. Проведено вычисление скорости равномерного движения – 1 балла

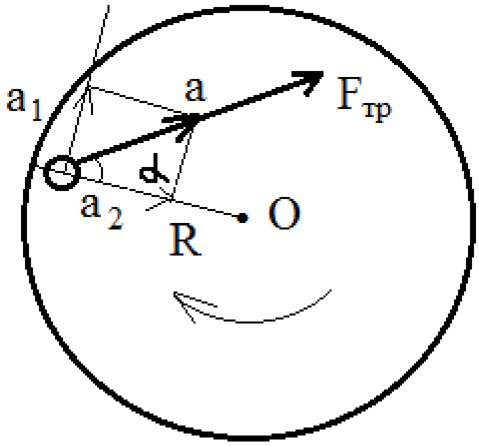
При правильном решении другим способом задача оценивается также в 10 баллов.

Задача 2. «Монета» (10 баллов).



У края диска радиусом R лежит монета, как показано на рисунке. Диск раскручивается так, что его угловая скорость линейно растет со временем: $\omega = \varepsilon t$. В какой момент времени монета слетит с диска, если коэффициент трения между диском и монетой μ? Какой угол с направлением к центру диска образует сила трения в этот момент?

Решение. Пока монета лежит на диске, её линейная скорость равна линейной скорости этой точки диска и линейно



растет со временем: $v = \omega R = \varepsilon R t = a_1 t$, где $a_1 = \varepsilon R$ – проекция ускорения a на касательную к окружности. Эта составляющая ускорения приводит к увеличению величины скорости. Кроме того, у монеты есть центростремительное ускорение a_2, поскольку она движется по окружности (проекция ускорения на радиальное направление): $a_2 = \frac{v^2}{R} = \varepsilon^2 R t^2$. Полное ускорение монеты равно $a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \varepsilon R\sqrt{1+\varepsilon^2 t^4}$. На монету действует сила трения, которая и сообщает это ускорение: $F_{\text{тр}} = \mu m g$; $F_{\text{тр}} = ma$. Монета будет находиться на диске пока $ma \leq F_{\text{тр}}$. Составляем уравнение $\mu m g = m\varepsilon R\sqrt{1+\varepsilon^2 t^4}$. Отсюда можно найти, что монета будет лежать на диске до момента времени $t = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\left(\frac{\mu^2 g^2}{\varepsilon^2 R^2} - 1\right)^{\frac{1}{4}}$. Направление силы трения совпадает с направлением ускорения монеты, поэтому $tg\alpha = \frac{a_1}{a_2} = \frac{\varepsilon R}{\varepsilon^2 R t^2} = \left(\frac{\mu^2 g^2}{\varepsilon^2 R^2} - 1\right)^{-\frac{1}{2}}$.

Критерии проверки:

1. Записано выражение для ускорения a_1 – 1 балл
2. Записано выражение для ускорения a_2 – 1 балл
3. Записано выражение для полного ускорения a – 2 балла
4. Указано условие, при котором монета еще остается на диске – 2 балла

5. Получено уравнение и найдено время, когда монета слетит с диска – 2 балла

6. Найден угол, который образует сила трения с радиальным направлением – 2 балла

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

Задача 3. «Горение» (10 баллов).

В закрытом сосуде происходит полное сгорание кусочка угля с образованием углекислого газа. После этого сосуд охлаждают до начальной температуры. Сравните конечное давление в сосуде с начальным давлением. Объем кусочка угля мал по сравнению с объемом сосуда.

Решение. Уравнение реакции горения имеет вид $C + O_2 \rightarrow CO_2$, т.е. на одну вступившую в реакцию молекулу кислорода приходится одна образовавшаяся молекула углекислого газа. Следовательно, при сгорании угля общее число молекул газа в сосуде не изменится. А согласно уравнению $p = nkT$ давление газа при данных температуре и объеме зависит только от количества молекул газа. Таким образом, давление в сосуде не изменится.

Критерии проверки:

1. Записано уравнение горения угля – 3 балла

2. Обосновано, что общее число молекул газа в сосуде не изменится – 3 балла

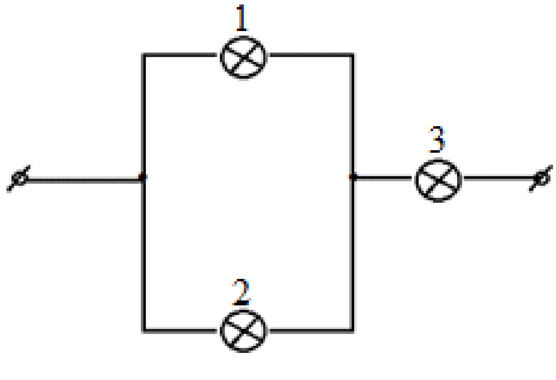
3. Показано, что давление газа в данном случае зависит только от количества молекул – 3 балл

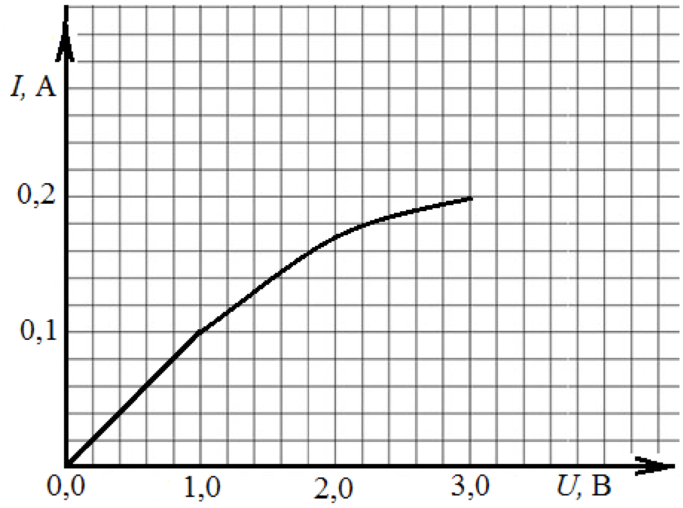
4. Дан правильный ответ, что давление в сосуде не изменится – 1 балл

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

Задача 4. «ВАХ» (10 баллов).

Изучая тему «Постоянный ток», ученик решил провести эксперимент.





Для этого он собрал электрическую цепь из одинаковых лампочек, предварительно сняв вольт-амперную характеристику (ВАХ) для одной лампочки. График оказался не прямой линией. Электрическая схема и ВАХ показаны на рисунках. Используя ВАХ ученик смог найти силу тока в цепи для различных подаваемых на схему напряжений. Определите силу тока в цепи для напряжений: 1) U_0 = 0,15 В; 2) U_0 = 3,0 В.

Решение. Сила тока в цепи равна силе тока, проходящего через лампочку 3. На схему подается напряжение U_0 , необходимо найти какая часть напряжения приходится на лампочки 1-2, соединенные между собой параллельно, и какая на лампочку 3. Пусть сопротивление одной лампочки $R_3 = R$, тогда сопротивление параллельно соединенных лампочек $R_{1-2} = \frac{R}{2}$. Напряжение распределится пропорционально сопротивлениям, т.к. R_{1-2} и $R_{\ 3}$ соединены последовательно: $U_{1-2} = 0{,}05\ B$ и $U_3 = 0{,}10\ B$. Используя график находим силу тока через лампочку 3: $I = 0{,}01\ A = 10$ мA. Проведя аналогичные рассуждения для второго случая, получим силу тока $I = 0{,}17\ A$

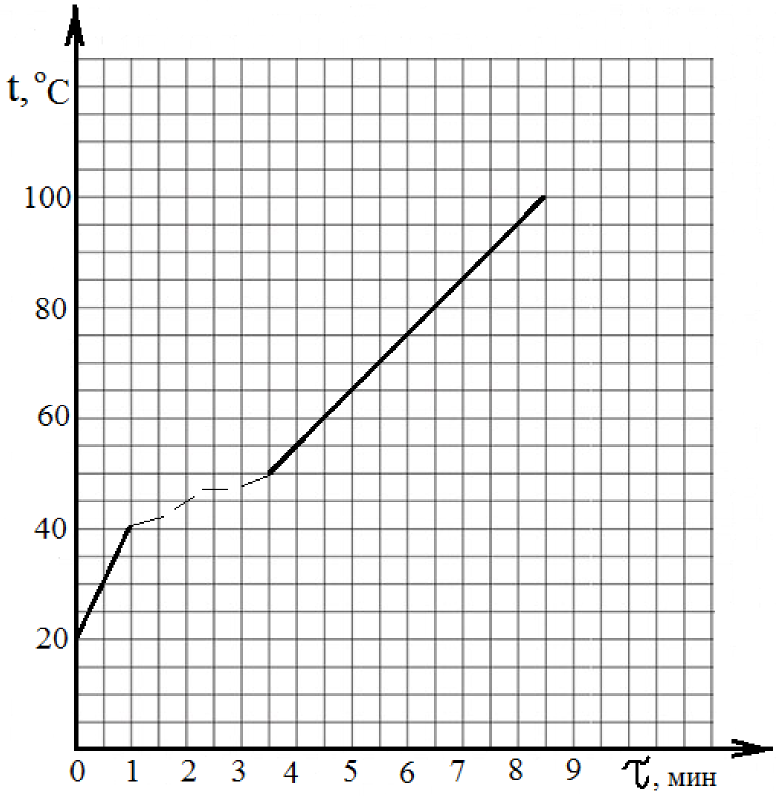
Критерии проверки:

1. Указано, что сила тока в цепи равна силе тока, проходящего через лампочку 3 – 2 балла
2. Найдено соотношение между сопротивлением параллельно соединенных лампочек R_{1-2} и сопротивлением R_3 – 2 балла
3. Указано, что напряжение распределится пропорционально сопротивлениям и найдено напряжение на лампочке 3 – 2 балла
4. Используя график, найдена сила тока в случае 1) – 2 балла
5. Используя график, найдена сила тока в случае 2) – 2 балла

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

Задача 5. «Экспериментальная задача» (10 баллов).

Учитель физики на уроке по тепловым явлениям предложил ученикам решить экспериментальную задачу. Он взял теплоизолированный сосуд с



водой, снабженный нагревательным элементом и термометром, включил его в электрическую сеть и одновременно включил секундомер. Когда вода нагрелась до температуры 40^0С, учитель стал доливать воду и прекратил, когда температура воды достигла 50^0 С. В этот промежуток зависимость температуры от времени носила хаотичный характер и не являлась линейной. Через 5 мин (после прекращения добавления воды) вода в сосуде закипела. Наблюдая за изменением температуры ученики построили график зависимости температуры от времени, который показан на рисунке. Задание: определите начальную температуру доливаемой воды, используя этот график.

Решение. Определим массу долитой воды. Учитывая, что подводимая мощность идет только на нагревание, можно записать $P\Delta\tau = cm\Delta t,$ откуда $m = \frac{P\Delta\tau}{c\Delta t}$. Можно найти из наклона графика отношение масс воды до m_1 и после доливания m_2. $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\left(\frac{\Delta\tau}{\Delta t}\right)_{\text{до}}}{\left(\frac{\Delta\tau}{\Delta t}\right)_{\text{после}}} = \frac{\frac{(1-0)\text{мин}}{(40-20)°\text{C}}}{\frac{(8{,}5-3{,}5)\text{мин}}{(100-50)°\text{C}}} = \frac{1}{2}$. Таким образом, масса долитой воды равна исходной массе воды. Запишем уравнения теплового баланса для нагревания: до добавления воды (данные берем из графика) $cm_1(40-20) = P(1-0)$ и после добавления воды до момента, когда температура всей воды стала одинаковой $cm_1(50-40) + c(m_2 - m_1)(50-t_x) = P(3{,}5-1)$. Разделим второе уравнение на первое, учитывая, что $m_2 = 2m_1$, неизвестные величины сократятся $\frac{cm_1 10 + c(2m_1 - m_1)(50-t_x)}{cm_1 20} = \frac{P2{,}5}{P}$. Найдем из этого уравнения начальную температуру доливаемой воды $t_x = 10°\text{C}$.

Критерии проверки:

1. Найдено соотношение массы воды до и после доливания – 2 балла
2. Правильно найдены из графика необходимые величины – 2 балла
3. Записаны два уравнения теплового баланса для нагревания воды до и после добавления воды – 4 балла
4. Решена система уравнений и найдена начальная температура доливаемой воды – 2 балла

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