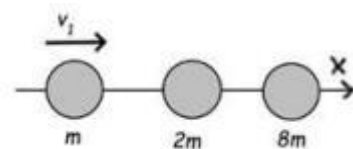


2024-3025 учебный год
Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по
физике

10 класс

Задача 1. Три маленьких шара могут без трения скользить по гладкой горизонтальной спице .

Массы шаров (слева направо): m , $2m$ и $8m$. Изначально первому шару сообщают скорость v_1 , направленную ко второму шару (вправо), остальные шары покоятся. Удары шаров друг о друга абсолютно упругие.



1. Какие скорости будут иметь шары после первого соударения?
2. Какие скорости будут иметь шары после второго соударения?
3. Сколько всего соударений произойдет?
4. Какие скорости будут иметь шары после всех соударений?

Решение

Рассмотрим удар первого шара о второй. Так как далее последует аналогичный удар второго шара о третий, то введем параметр k , равный отношению массы покоящегося шара к массе налетающего (для первого удара $k = 2$). При ударах выполняется ЗСИ, запишем его в проекции на ось x :

$$mv_1 = mv'_{1x} + kmv'_{2x}$$

При ударах выполняются ЗСЭ:

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv'^2_{1x}}{2} + \frac{kmv'^2_{2x}}{2}$$

Решая систему находим

$$v'_1 = \frac{1-k}{1+k} v_1 = -\frac{v_1}{3} \text{ (для } k = 2\text{)}$$

$$v'_2 = \frac{2}{1+k} v_1 = \frac{2v_1}{3} \text{ (для } k = 2\text{)}$$

Аналогично находим скорости после второго удара ($k=4$)

Для второго шара:

$$v''_{2x} = \frac{1-k}{1+k} v'_2 = -\frac{6}{15} v_1$$

Для третьего шара:

$$v''_3 = \frac{2}{1+k} v'_2 = \frac{4}{15} v_1$$

Заметим, что скорость первого шара после удара меньше скорости второго шара после двух ударов и обе направлены влево, поэтому произойдет 3 удара.

Законы сохранения для последнего удара:

$$\begin{aligned} mv'_{1x} + 2mv''_{2x} &= mv'''_{1x} + 2mv'''_{2x} \\ \frac{mv'^2_{1x}}{2} + \frac{2mv''^2_{2x}}{2} &= \frac{mv'''^2_{1x}}{2} + \frac{2mv'''^2_{2x}}{2} \end{aligned}$$

После решения системы получаем:

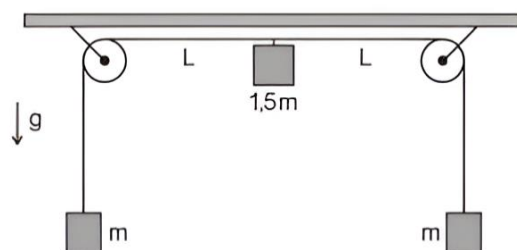
$$\begin{aligned} v'''_{1x} &= -\frac{19}{45}v_1 \\ v'''_{2x} &= -\frac{16}{45}v_1 \end{aligned}$$

Окончательный ответ: $v'''_{1x} = -\frac{19}{45}v_1$ (влево) $v'''_{2x} = -\frac{16}{45}v_1$ (влево) $v'''_3 = \frac{4}{15}v_1$ (вправо)

Критерии оценивания	баллы
Записаны выражения для законов сохранения импульса и энергии при первом ударе	2
Записаны выражения для законов сохранения импульса и энергии при втором ударе	2
Сделан вывод о том, что произойдет третий удар	2
Записаны выражения для законов сохранения импульса и энергии при третьем ударе	2
Проведены безошибочные вычисления и дан итоговый ответ	2
Итого	10

Задача 2. Длинная нить переброшена через два маленьких невесомых блока, оси которых жёстко закреплены. К концам нити привязаны одинаковые грузы массой m (см. рис.). К середине нити прикрепили ещё один груз массой $1,5m$ и без толчка

отпустили. На сколько сможет опуститься центральный груз в процессе своего движения. Расстояние между блоками равно $2L$. Сопротивлением воздуха и трением пренебречь



Решение.

Пусть до остановки средний груз прошёл расстояние h . Тогда крайние грузы поднялись на высоту $H = \sqrt{L^2 + h^2} - L$ каждый. По закону сохранения энергии суммарное увеличение потенциальной энергии крайних грузов должно равняться уменьшению потенциальной энергии среднего:

$$2mg(\sqrt{L^2 + h^2} - L) = 1,5mgh$$

Отсюда получаем, что

$$\begin{aligned}\sqrt{L^2 + h^2} - L &= \frac{3h}{4} \\ L^2 + h^2 &= \left(L + \frac{3h}{4}\right)^2 \\ h &= \frac{24L}{7}\end{aligned}$$

Ответ: $h = \frac{24L}{7}$

Критерии оценивания	баллы
Записаны выражения для пройденных телами путей	3
Записано выражение для закона сохранения энергии	3
Проведены безошибочные расчеты	3
Дан итоговый ответ	1
Итого	10

Задача 3.

Наблюдатель следит за движением двух искусственных спутников Земли, летающих на одной и той же высоте $h = 300$ км над экватором по круговым орбитам. Спутники пролетают точно над наблюдателем. Он измеряет периоды движения этих спутников (промежутки времени между последовательными «пролётами» над ним). Оказалось, что эти периоды заметно отличаются. Какова разница этих периодов? Модуль ускорения свободного падения у поверхности Земли $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ радиус Земли $R_0 = 6,4 \cdot 10^6$ м.

Решение.

Высота спутников постоянна, значит, их орбиты круговые. Радиусы орбит одинаковы, значит, времена оборотов спутников вокруг Земли также

одинаковы. Разница наблюдаемых периодов возникает из-за суточного вращения Земли (спутники летят в разные стороны). Пусть ω — угловая скорость вращения спутников, ω_0 — угловая скорость вращения Земли. За сутки Земля делает один оборот, поэтому

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{24\text{ч}} = 7,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Спутники движутся по орбитам с постоянным по модулю ускорением которое можно найти из закона всемирного тяготения. Это же ускорение является для них центростремительным

$$\omega_0^2 (R_0 + h) = g \frac{R_0^2}{(R_0 + h)^2}$$

$$\omega = \sqrt{g \frac{R_0^2}{(R_0 + h)^3}} = 1,16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Относительно наблюдателя один спутник вращается с угловой скоростью $\omega - \omega_0$, а другой с угловой скоростью $\omega + \omega_0$. Разность наблюдаемых периодов равна

$$\frac{2\pi}{\omega - \omega_0} - \frac{2\pi}{\omega + \omega_0} = \frac{4\pi\omega_0}{\omega^2 - \omega_0^2} \approx 12 \text{ мин}$$

Ответ: 12 мин.

Критерии оценивания	баллы
Сделан вывод о том, что спутники движутся навстречу друг другу (по вращению Земли и против)	2
Приведены выражения для ускорения спутников	3
Приведены выражения для угловых скоростей спутников	3
Найдена разность наблюдаемых периодов	1
Дан итоговый ответ	1
Итого	10

Задача 4. Электрическая цепь, схема которой показана на рисунке, содержит два идеальных диода, шесть резисторов $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 60 \text{ Ом}$,

$R_4 = 40 \text{ Ом}$, $R_5 = 16 \text{ Ом}$, $R_6 = 20 \text{ Ом}$, источник питания с ЭДС $\mathcal{E} = 8.4 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 2 \text{ Ом}$. Найти мощность P , потребляемую резистором R_3 .

Решение. Так как диоды идеальные, то ток через резистор R_1 отсутствует и этот участок цепи можно исключить из схемы. Также можно исключить и второй диод, так как его сопротивление в "прямом" направлении равно нулю. Тогда эквивалентная схема будет выглядеть так, как показано на рисунке.

Мощность, потребляемая резистором R_3

$P = \frac{U_3^2}{R_3}$ где U_3 - разность потенциалов на этом резисторе. Полный ток через источник питания

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_6 + R_{4523} + r}$$

Сопротивление R_{4523} можно найти, используя схему последовательных и параллельных соединений между точками 1 и 2

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 24 \text{ Ом}$$

$$R_{523} = R_5 + R_{23} = 40 \text{ Ом}$$

$$R_{4523} = \frac{R_4 R_{523}}{R_4 + R_{523}} = 20 \text{ Ом}$$

Тогда полный ток

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_6 + R_{4523} + r} = \frac{8.4}{20 + 20 + 2} = 0.2 \text{ А}$$

Разность потенциалов между точками 1 и 2

$$U_{12} = I \cdot R_{4523} = 4 \text{ В}$$

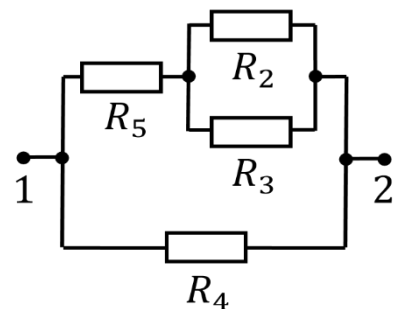
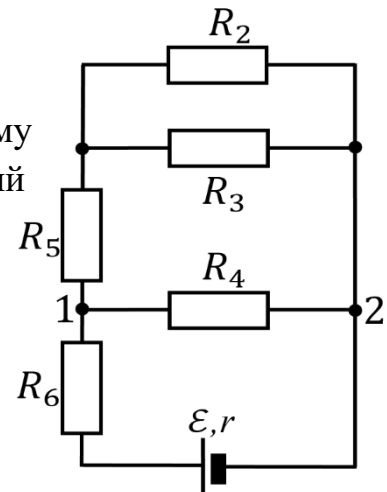
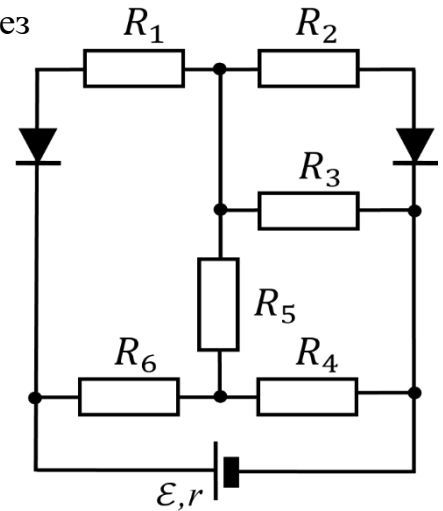
Ток через резистор R_5 можно найти из закона Ома для участка цепи

$$I = \frac{U_{12}}{R_{523}} = 0.1 \text{ А}$$

Напряжение на резисторе R_3

$$U_3 = I_5 \cdot R_{23} = 2.4 \text{ В}$$

Тогда, потребляемая мощность



$$P = \frac{U_3^2}{R_3} = 0,096 \text{ Вт}$$

Ответ: $P = 0,096 \text{ Вт}$

Критерии оценивания	баллы
Приведены аргументы для изменения схемы, то есть представлена эквивалентная цепь	2
Рассчитано полное сопротивление эквивалентной электрической цепи	2
Рассчитано значение полного тока в цепи	2
Рассчитано значение напряжения и тока в элементах цепи	2
Дан итоговый ответ	2
Итого	10

10 класс

Задача 5. В сосуд с некоторым количеством жидкости опустили работающий нагреватель мощности $P = 1000 \text{ Вт}$. При этом температура жидкости повысилась на $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ за время $t_1 = 10 \text{ с}$. Когда в этот же сосуд опустили работающий нагреватель мощности $P/2$, то температура жидкости повысилась на ΔT за время $t_2 = 24 \text{ с}$. За какое время температура жидкости в сосуде повысится на ту же величину ΔT , если в сосуд опустить работающий нагреватель мощности $2P$?

Решение.

Очевидно, что в задаче нужно учитывать потери. Действительно, если бы потерь не было, то при двукратном уменьшении мощности нагревателя время нагрева жидкости на ту же величину ΔT возросло бы вдвое. А оно по условию больше. Поэтому уравнение теплового баланса для первого случая дает

$$cm\Delta T = Pt_1 - wt_1$$

где w — мощность теплопотерь. Для второго нагревателя (мощность теплопотерь такая же, поскольку разность температур жидкости и окружающей среды изменилась мало) имеем

$$cm\Delta T = \frac{P}{2}t_2 - wt_2$$

Решая эту систему уравнений, получим для мощности теплопотерь (поскольку дальнейшие вычисления проще сделать «в числах», сразу вычислим значение мощности теплопотерь)

$$w = \frac{P(t_2 - 2t_1)}{2(t_2 - t_1)} = 143 \text{ Вт}$$

Для третьего случая уравнение теплового баланса с учётом потерь дает

$$cm\Delta T = 2Pt_3 - wt_3$$

Отсюда

$$2Pt_3 - wt_3 = Pt_1 - wt_1$$

$$t_3 = \frac{P - w}{2P - w} t_1 = 4,6 \text{ с}$$

Ответ: 4,6 сек.

Критерии оценивания	баллы
Сделан вывод о том, что надо учитывать тепловые потери	2
Записано уравнение теплового баланса для первого случая	2
Записано уравнение теплового баланса для второго случая	2
Найдено значение мощности тепловых потерь	2
Записано уравнение теплового баланса для третьего случая и дан итоговый ответ	2
Итого	10