

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки»
2018-2019уч.г.

г.Саров, Нижегородская область

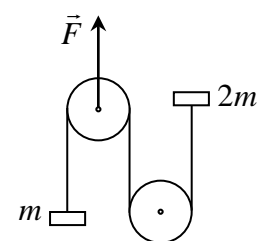
Физика
Финальный тур
9 класс

1. Имеется правильный n -угольник, изготовленный из проволоки. Источник напряжения с нулевым внутренним сопротивлением сначала присоединяют к двум соседним вершинам n -угольника, а затем к вершинам, расположенным через одну. При этом ток через источник уменьшается в полтора раза. Найти число сторон n -угольника. (25 баллов)

2. Имеются два пружинных динамометра со шкалой одинакового размера, но рассчитанных на измерение максимальной силы $F_1 = 10$ Н и $F_2 = 25$ Н (разные пружины). Пружины динамометров меняют местами, соединяют динамометры последовательно и растягивают. При этом динамометр со шкалой F_2 показывает силу $F_3 = 15$ Н. Какую силу показывает в этот момент другой динамометр? (25 баллов)

3. Между городами А и В ездят Мерседес и Жигули. Скорость Жигулей составляет $2/3$ от скорости Мерседеса. Жигули выезжают из города А, Мерседес через некоторое время выезжает из города В. Оказалось, что они встречаются ровно посередине отрезка АВ. В этот момент они разворачиваются и едут назад. Доехав до городов, из которых они выехали (Жигули – до города А, Мерседес – до В), они снова разворачиваются и едут навстречу друг другу. Затем опять встречаются, разворачиваются и т.д. На каком расстоянии от города А произойдет 2016 встреча Мерседеса и Жигулей, если они ездят с постоянными скоростями, а разворачиваются мгновенно? Расстояние между городами - L . (25 баллов)

4. На гладком горизонтальном столе находятся два тела с массой $m = 1$ кг и $2m = 2$ кг, связанные невесомой и нерастяжимой нитью, и два невесомых блока, один из которых (правый) закреплен, второй (левый) – нет. Нить переброшена через блоки так, как показано на рисунке. На ось левого блока действует внешняя сила $F = 10$ Н (см. рисунок, вид сверху). Найти ускорение блока. Ответ в метрах в секунду в квадрате ввести в поле ответа. (25 баллов)



Решения

1. Найдем сопротивление источника при первом и втором подключениях. Имеем в первом случае (подключение к соседним вершинам)

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{r} + \frac{1}{(n-1)r} = \frac{n}{(n-1)r} \quad \Rightarrow \quad R_1 = \frac{(n-1)r}{n}$$

где r - сопротивление одной стороны. Во втором случае (подключение через одну вершину)

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{(n-2)r} = \frac{n}{2(n-2)r} \quad \Rightarrow \quad R_2 = \frac{2(n-2)r}{n}$$

Поскольку ток во втором случае меньше в полтора раза, то в полтора раза больше второе сопротивление

$$\frac{2(n-2)}{(n-1)} = \frac{3}{2}$$

Отсюда $n = 5$.

2. Поскольку длины шкал динамометров одинаковые, при переставлении их пружин второй динамометр становится первым (но со шкалой второго), а первый – вторым (со шкалой первого). Поэтому то обстоятельство, что второй динамометр с первой пружиной показывает $F_3 = 15$ Н, при пределе шкалы $F_2 = 25$ Н, говорит о том, что растягивающая сила F составляет такую же долю от предела первой шкалы F_1 , какую составляет сила F_3 от предела второй шкалы F_2

$$F = \frac{F_1 F_3}{F_2} \quad (*)$$

Рассмотрим теперь первый динамометр со второй пружиной. Его растягивает точно такая же сила (*). Показания этого динамометра составят такую долю от предела его шкалы F_1 , какую сила (*) составляет от предела второй пружины F_2 . Т.е.

$$F_4 = \frac{F}{F_2} F_1 = \frac{F_3 F_1^2}{F_2^2} = 2,4 \text{ Н}$$

3. Поскольку сумма расстояний, пройденных машинами от одной встречи до другой, равна удвоенному расстоянию между городами, то между двумя последовательными встречами Мерседеса и Жигулей проходят одинаковые интервалы времени, равные

$$\Delta t = \frac{2L}{v_1 + v_2} = \frac{4L}{5v_1}$$

Где L - расстояние между городами, v_1 и $v_2 = 3v_1/2$ - скорости Жигулей и Мерседеса. Поэтому до второй встречи Жигули пройдут расстояние

$$S_1 = v_1 \Delta t = \frac{4L}{5}$$

Поэтому вторая встреча машин произойдет на расстоянии

$$L_1 = S_1 - \frac{L}{2} = \frac{4L}{5} - \frac{L}{2} = \frac{3L}{10}$$

от города А, третья – посередине между городами, четвертая – снова на расстоянии $3L/10$, пятая – снова посередине и т.д. Таким образом, 2016 встреча между машинами произойдет на расстоянии $3L/10$ от города А.

4. Поскольку подвижный блок не имеет массы, сила натяжения нити равна $F/2$. Поэтому ускорение груза $2m$ равно $F/4m$. Ускорение груза массой m - $F/2m$. Найдем ускорение левого блока. Пусть, начиная с того момента, когда грузы покоились, прошел интервал времени Δt .

Тогда справа освободился кусок веревки длиной

$$\Delta l_{np} = \frac{F \Delta t^2}{8m}$$

Левый груз переместился на

$$\Delta l_{лев} = \frac{F \Delta t^2}{4m}$$

Тогда легко сообразить, что левый блок переместится

$$\Delta l_{\text{бл}} = \frac{3F \Delta t^2}{16m}$$

и, следовательно, его ускорение

$$a_{\text{бл}} = \frac{3F}{8m} = 3,75 \text{ м/с}^2$$

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки»
2018-2019уч.г.

г.Саров, Нижегородская область

Физика
Финальный тур

10 класс

1. Три точечных тела, заряженные разными зарядами, но имеющие одинаковые массы, представляют собой замкнутую систему. В некоторый момент времени тела находятся на одной прямой, при этом ускорение одного из них (неизвестно какого – крайнего или среднего) равно a , второго (тоже неизвестно какого) - $3a$. Найти ускорение третьего тела в этот момент. Между телами действуют только кулоновские силы. (25 баллов)
2. Имеются два пружинных динамометра со шкалой одинакового размера, но рассчитанных на измерение максимальной силы $F_1 = 10$ Н и $F_2 = 25$ Н (разные пружины). Пружины динамометров меняют местами, соединяют динамометры последовательно и растягивают. При этом динамометр со шкалой F_2 показывает силу $F_3 = 15$ Н. Какую силу показывает другой динамометр? (25 баллов)
3. Между городами А и В ездят Мерседес и Жигули. Скорость Жигулей составляет $2/3$ от скорости Мерседеса. Жигули выезжают из города А, Мерседес через некоторое время выезжает из города В. Оказалось, что они встречаются ровно посередине отрезка АВ. В этот момент они разворачиваются и едут назад. Доехав до городов, из которых они выехали (Жигули – до города А, Мерседес – до В), они снова разворачиваются и едут навстречу друг другу. Затем опять встречаются, разворачиваются и т.д. На каком расстоянии от города А произойдет 2016 встреча Мерседеса и Жигулей, если они ездят с постоянными скоростями, а разворачиваются мгновенно? Расстояние между городами - L . (25 баллов)
4. На столе стоит открытый сверху цилиндрический сосуд высотой h . В сосуд опускают поршень массой m , создающий избыточное давление, равное атмосферному (т.е. $mg = p_0 S$, p_0 - атмосферное давление, S - площадь сосуда). После того как поршень остановится, а температура воздуха под ним сравняется с окружающей температурой, в сосуд опускают второй поршень, затем третий и т.д. Найти расстояние между вторым и третьим поршнем после того, как в сосуд опустили десять таких же поршней. Поршни закрывают сосуд герметично. (25 баллов)

Решения

1. Ускорения зарядов не зависят от их скоростей, поэтому без ограничения общности можно считать, что в рассматриваемый момент заряды покоятся. В этом случае суммарный импульс системы зарядов равен нулю, а поскольку она замкнута, он будет равен нулю и в дальнейшем.

Так как тела находятся на одной прямой, то силы могут действовать только вдоль этой прямой, ускорения могут быть направлены только вдоль этой прямой. Условию задачи не противоречат два случая направления ускорений: два данных ускорения тел направлены одинаково (первый случай), или противоположно (второй случай).

В первом случае за некоторый малый интервал времени Δt два заряда, ускорения которых нам даны, приобрели скорости $a\Delta t$ и $3a\Delta t$, направленные одинаково. Значит третий заряд должен приобрести скорость $4a\Delta t$, направленную противоположно. Значит, его ускорение равно $4a$.

Аналогично, если данные ускорения направлены противоположно, ускорение третьего заряда равно $2a$ и направлено так же как меньшее ускорение. Обратим внимание, что полученный результат не зависит от знаков зарядов и расстояний между ними.

2. Поскольку длины шкал динамометров одинаковые, при переставлении их пружин второй динамометр становится первым (но со шкалой второго), а первый – вторым (со шкалой первого). Поэтому то обстоятельство, что второй динамометр с первой пружиной показывает $F_3 = 15$ Н, при пределе шкалы $F_2 = 25$ Н, говорит о том, что растягивающая сила F составляет такую же долю от предела первой шкалы F_1 , какую составляет сила F_3 от предела второй шкалы F_2

$$F = \frac{F_1 F_3}{F_2} \quad (*)$$

Рассмотрим теперь первый динамометр со второй пружиной. Его растягивает точно такая же сила (*). Показания этого динамометра составят такую долю от предела его шкалы F_1 , какую сила (*) составляет от предела второй пружины F_2 . Т.е.

$$F_4 = \frac{F}{F_2} F_1 = \frac{F_3 F_1^2}{F_2^2} = 2,4 \text{ Н}$$

3. Поскольку сумма расстояний, пройденных машинами от одной встречи до другой, равна удвоенному расстоянию между городами, то между двумя последовательными встречами Мерседеса и Жигулей проходят одинаковые интервалы времени, равные

$$\Delta t = \frac{2L}{v_1 + v_2} = \frac{4L}{5v_1}$$

Где L - расстояние между городами, v_1 и $v_2 = 3v_1/2$ - скорости Жигулей и Мерседеса. Поэтому до второй встречи Жигули пройдут расстояние

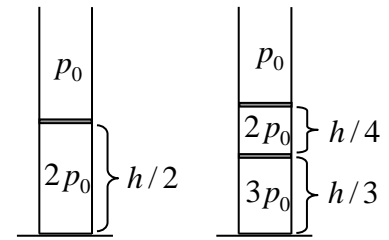
$$S_1 = v_1 \Delta t = \frac{4L}{5}$$

Поэтому вторая встреча машин произойдет на расстоянии

$$L_1 = S_1 - \frac{L}{2} = \frac{4L}{5} - \frac{L}{2} = \frac{3L}{10}$$

от города А, третья – посередине между городами, четвертая – снова на расстоянии $3L/10$, пятая – снова посередине и т.д. Таким образом, 2016 встреча между машинами произойдет на расстоянии $3L/10$ от города А.

4. Когда в сосуд опускают первый поршень, он закрывает в сосуде такое количество воздуха при атмосферном давлении, которое занимало весь сосуд. После остановки первого поршня давление этого воздуха вырастает вдвое ($2p_0$), что означает, что первый поршень останавливается первый раз посередине сосуда (на расстоянии $h/2$ от его верха).



Поэтому второй поршень закрывает в сосуде такое количество воздуха при атмосферном давлении, которое занимает половину сосуда. А так как давление воздуха между первым и вторым поршнем после остановки второго поршня должно стать равным $2p_0$, расстояние между первым и вторым поршнем в этот момент будет равно $h/4$. Давление воздуха под первым поршнем в этот момент будет равно $3p_0$. Это значит, что расстояние между дном сосуда и первым поршнем в этот момент будет равно $h/3$. Отсюда следует, что третий поршень закрывает в сосуде столб воздуха высотой

$$h - \frac{h}{3} - \frac{h}{4} = \frac{5h}{12}.$$

После того как в сосуд опустят 10 поршней, давление воздуха под третьим поршнем будет равно $9p_0$, т.е. увеличится в 9 раз по сравнению с атмосферным. Поэтому объем этого воздуха уменьшится в 9 раз. Следовательно расстояние между вторым и третьим поршнем будет равно

$$h_{2-3} = \frac{5h}{108}$$

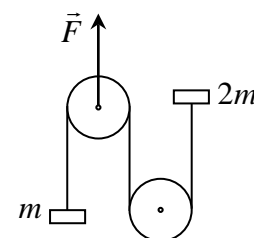
Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки»
2018-2019уч.г.

г.Саров, Нижегородская область

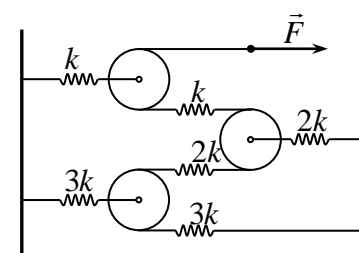
Физика
Финальный тур
11 класс

1. Три точечных тела, заряженные разными зарядами, но имеющие одинаковые массы, представляют собой замкнутую систему. В некоторый момент времени тела находятся на одной прямой, при этом ускорение одного из них (неизвестно какого – крайнего или среднего) равно a , второго (тоже неизвестно какого) - $3a$. Найти ускорение третьего тела в этот момент. Между телами действуют только кулоновские силы. (25 баллов)

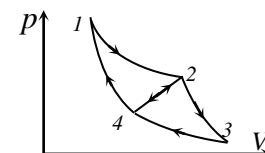
2. На гладком горизонтальном столе находятся два тела с массой $m = 1$ кг и $2m = 2$ кг, связанные невесомой и нерастяжимой нитью, и два невесомых блока, один из которых (правый) закреплен, второй (левый) – нет. Нить переброшена через блоки так, как показано на рисунке. На ось левого блока действует внешняя сила $F = 10$ Н (см. рисунок, вид сверху). Найти ускорение блока. Ответ в метрах в секунду в квадрате ввести в поле ответа. (25 баллов)



3. Три пружины с коэффициентами жесткости k , $2k$ и $3k$ связаны кусками невесомой нерастяжимой нити. Полученная нить переброшена через три невесомых блока, привязанных к вертикальным стенам с помощью пружин с коэффициентами жесткости k , $2k$ и $3k$ (см. рисунок). На конец нити действуют силой F . Насколько переместится при этом конец нити? Считать, что пружины блоков касаться не будут. (25 баллов)



4. С одноатомным идеальным газом проводят цикл Карно 1-2-3-4-1, причем абсолютные температуры газа в изотермических процессах 1-2 и 3-4 отличаются вдвое. Известно, что КПД процесса 1-2-4-1 равен 0,25. Найти КПД процесса 4-2-3-4. (25 баллов)



Решения

1. Ускорения зарядов не зависят от их скоростей, поэтому без ограничения общности можно считать, что в рассматриваемый момент заряды покоятся. В этом случае суммарный импульс системы зарядов равен нулю, а поскольку она замкнута, он будет равен нулю и в дальнейшем.

Так как тела находятся на одной прямой, то силы могут действовать только вдоль этой прямой, ускорения могут быть направлены только вдоль этой прямой. Условию задачи не противоречат два случая направления ускорений: два данных ускорения тел направлены одинаково (первый случай), или противоположно (второй случай).

В первом случае за некоторый малый интервал времени Δt два заряда, ускорения которых нам даны, приобрели скорости $a\Delta t$ и $3a\Delta t$, направленные одинаково. Значит третий заряд должен приобрести скорость $4a\Delta t$, направленную противоположно. Значит, его ускорение равно $4a$.

Аналогично, если данные ускорения направлены противоположно, ускорение третьего заряда равно $2a$ и направлено так же как меньшее ускорение.

Обратим внимание, что полученный результат не зависит от знаков зарядов и расстояний между ними.

2. Поскольку подвижный блок не имеет массы, сила натяжения нити равна $F/2$. Поэтому ускорение груза $2m$ равно $F/4m$. Ускорение груза массой m - $F/2m$. Найдем ускорение левого блока. Пусть, начиная с того момента, когда грузы покоились, прошел интервал времени Δt . Тогда справа освободился кусок веревки длиной

$$\Delta l_{\text{пр}} = \frac{F\Delta t^2}{8m}$$

Левый груз переместился на

$$\Delta l_{\text{лев}} = \frac{F\Delta t^2}{4m}$$

Тогда легко сообразить, что левый блок переместится

$$\Delta l_{\text{ол}} = \frac{3F\Delta t^2}{16m}$$

и, следовательно, его ускорение

$$a_{\text{ол}} = \frac{3F}{8m} = 3,75 \text{ м/с}^2$$

3. Сила натяжения нити, охватывающей блоки, одинакова во всех точках. Поэтому пружина с коэффициентом жесткости k будет растянута на величину

$$\Delta x_1 = \frac{F}{k}$$

пружина с коэффициентом жесткости $2k$ - на

$$\Delta x_2 = \frac{\Delta x_1}{2}$$

пружина с коэффициентом жесткости $3k$ - на

$$\Delta x_3 = \frac{\Delta x_1}{3}$$

Таким образом, нить, охватывающая блоки, удлинится на величину

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 = \frac{11\Delta x_1}{6}$$

На блоки со стороны этой нити действует сила $2F$. Поэтому пружины, связывающие блоки со стенами, удлинятся на следующую величину:

$$\Delta y_1 = 2\Delta x_1, \quad \Delta y_2 = \frac{\Delta y_1}{2} = \frac{2\Delta x_1}{2}, \quad \Delta y_3 = \frac{\Delta y_1}{3} = \frac{2\Delta x_1}{3}$$

и за счет перемещения каждого из них освободится кусок нити, переброшенной через блоки, длиной $2\Delta y_1 + 2\Delta y_2 + 2\Delta y_3$ (двойка, поскольку при перемещении самого блока освобождается кусочек переброшенной через него нити, равный удвоенному перемещению блока). Поэтому перемещение конца нити будет равно

$$\Delta l = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + 2\Delta y_1 + 2\Delta y_2 + 2\Delta y_3 = 5(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3) = \frac{55F}{6k}$$

4. КПД заданного в условии цикла Карно равен

$$\eta = 1 - \frac{T_{3-4}}{T_{1-2}} = 0,5$$

Свяжем это значение с КПД циклов 1-2-4-1 и 4-2-3-4. Пусть количество теплоты, полученное газом на участке 1-2, равно Q_1 , отданное на участке 3-4 - Q_2 , на участке 4-2 (2-4) газ получил (отдал) Q_3 . Тогда

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad \eta_{1241} = \frac{Q_1 - Q_3}{Q_1}, \quad \eta_{4234} = \frac{Q_3 - Q_2}{Q_3}$$

Выражая из второй формулы Q_1 , из третьей Q_2 (и то и другое через Q_3), и подставляя эти выражения в первую формулу, получим

$$1 - \eta = (1 - \eta_{1241})(1 - \eta_{4234})$$

Или

$$\eta_{4234} = \frac{\eta - \eta_{1241}}{1 - \eta_{1241}} = 0,333$$