

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

МОШ, 2011/12, отборочный этап, 11 класс

Условия, ответы и решения

1 Столкновение шайб

Цилиндрическая шайба, скользящая по гладкому льду со скоростью $v_0 = 2,2$ м/с, испытала лобовое упругое соударение с покоившейся цилиндрической шайбой другой массы. После соударения первая шайба продолжила движение в том же направлении со скоростью $v_1 = 1,1$ м/с. С какой скоростью стала двигаться после соударения вторая шайба? Ответ выразите в дм/с и округлите до целых.

Подсказка

Запишите законы сохранения импульса и энергии; после упругого удара скорость сближения шайб равна скорости их удаления.

Ответ

33 дм/с.

2 Два куска нихрома

В распоряжении одного любопытного школьника оказались два куска нихромовой проволоки разного сечения, источник ЭДС с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением и практически идеальный амперметр. Сравнение показало, что длина одного из кусков ровно в два раза больше, чем другого. Школьник подключил к источнику последовательно с амперметром более длинный кусок проволоки, и по показаниям амперметра определил, что сила тока в цепи $I_1 = 0,6$ А. Затем он параллельно длинному подключил более короткий кусок проволоки, и показания амперметра увеличились до $I_2 = 4,2$ А. Во сколько раз площадь поперечного сечения более короткого куска отличается от площади сечения более длинного? Ответ округлите до целых.

Подсказка

Источник идеальный, поэтому ток через длинный кусок не изменился; весь добавочный ток идёт через короткий кусок. Сопротивление куска пропорционально длине и обратно пропорционально сечению.

Ответ

3 (в 3 раза).

3 Порошок кристаллов в сосуде

При изучении порошка из мелких кристаллов неизвестной соли, имеющих неправильную форму, его поместили в сосуд с поршнем, заполненный воздухом и снабженный точным манометром для измерения давления внутри сосуда. Оказалось, что когда объем содержимого сосуда составлял $V_1 = 506 \text{ см}^3$, давление в нем равнялось $p_1 = 1000 \text{ гПа}$, а после изотермического уменьшения объема до $V_2 = 253 \text{ см}^3$ давление увеличилось до $p_2 = 2012 \text{ гПа}$. Масса порошка $m = 6,9 \text{ г}$. Найдите плотность этой соли. Ответ выразите в кг/м^3 и округлите до целых.

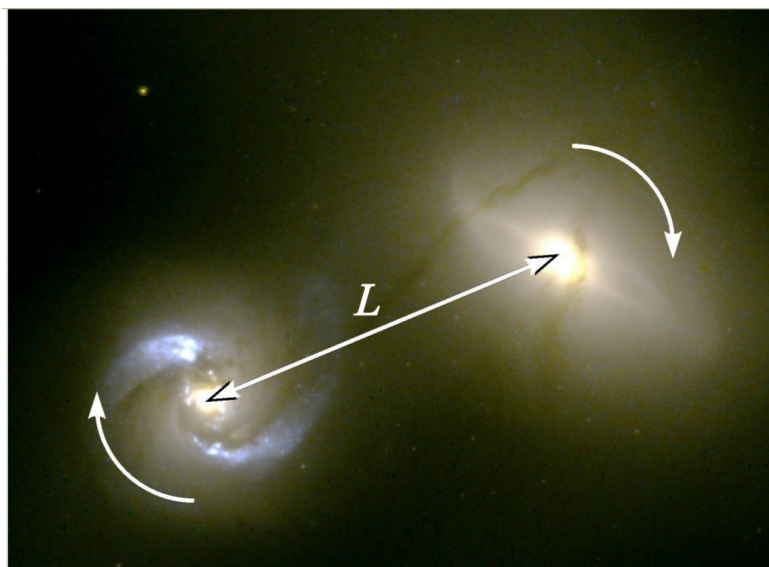
Подсказка

Объем сосуда складывается из объема воздуха и объема кристаллов; для воздуха при изотермическом сжатии справедлив закон Бойля — Мариотта.

Ответ

2300 кг/м^3 .

4 Двойная галактика



Астрономы обнаружили пару небольших галактик, вращающихся вокруг общего центра масс с периодом $T \approx 10^5$ лет (см. фотографию). Центры этих галактик находятся на расстоянии $L \approx 10^7$ а.е. друг от друга (1 а.е. — это астрономическая единица длины, равная среднему радиусу орбиты Земли). Оцените, на сколько порядков суммарная масса этих галактик превосходит массу Солнца? (Таким образом, необходимо представить результат в виде $\frac{M}{M_C} \approx 10^n$, и в ответе указать n , округлив его до целых.)

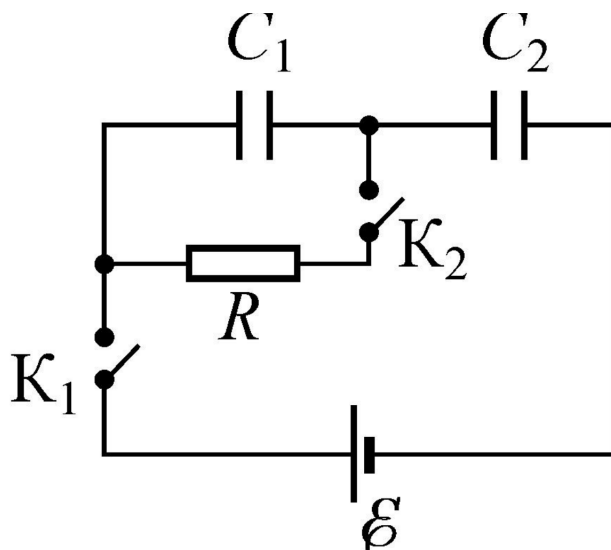
Подсказка

Сравните с системой Солнце — Земля: третий закон Кеплера для двух тел связывает T^2 , L^3 и суммарную массу; выразите всё в земных годах и а.е.

Ответ

$n = 11$.

5 Конденсаторы и ключи



Перед сборкой схемы, изображённой на рисунке, оба конденсатора были разряжены. После сборки сначала замкнули ключ K_1 , а затем, спустя некоторое время, — K_2 . Какое количество теплоты выделится в резисторе R ? Ёмкости конденсаторов $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 10$ мкФ, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 120$ В, её внутреннее сопротивление и сопротивление соединительных проводов пренебрежимо мало по сравнению с R . Ответ выразите в мДж и округлите до целых.

Подсказка

Тепло равно работе батареи минус изменение энергии конденсаторов. Найдите заряды и напряжения на конденсаторах до и после замыкания K_2 .

Ответ

48 мДж.

6 Колебания поршня

В вертикальном цилиндрическом сосуде с гладкими стенками может скользить тяжёлый поршень. Под поршнем находится гелий, сила давления наружного воздуха на поршень пренебрежимо мала по сравнению с его весом. Сначала поршень покоится на высоте $h_0 = 25$ см над дном сосуда. Затем на него аккуратно ставят небольшой груз, масса которого много меньше массы поршня. Найти период возникших после этого колебаний поршня. Ответ выразите в сотых долях секунды и округлите до целых. Считать, что теплообмен содержимого сосуда с окружающей средой — достаточно быстрый, и поэтому температура гелия в ходе колебаний остаётся практически неизменной.

Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с².

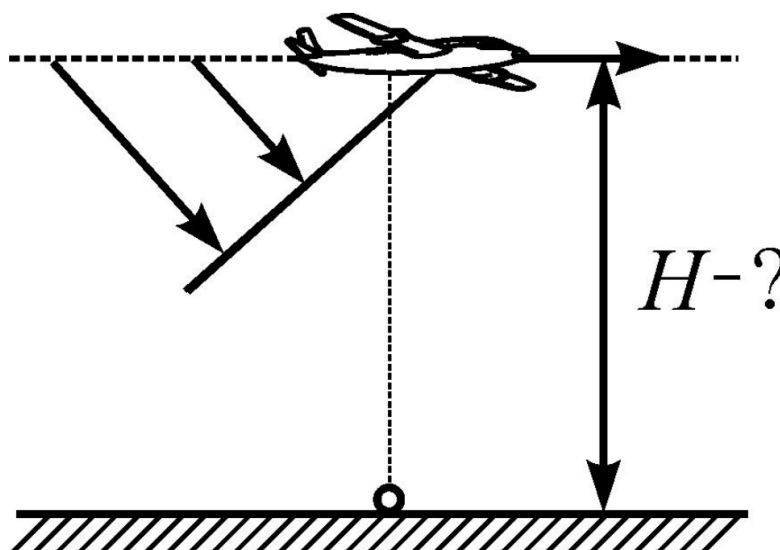
Подсказка

Процесс изотермический: найдите жёсткость «газовой пружины», линеаризовав зависимость силы давления от смещения поршня вблизи равновесия.

Ответ

99 (сотых долей секунды).

7 Сверхзвуковой самолёт



Сверхзвуковой самолёт пролетел точно над наблюдателем, а спустя время $t = 5$ с наблюдатель услышал звук самолёта. Известно, что скорость самолёта в $n = 1,25$ раза превышает скорость звука в воздухе $v_{\text{зв}} = 330$ м/с. На какой высоте летел самолёт? Ответ выразите в метрах и округлите до целых.

Подсказка

Звук слышен, когда до наблюдателя доходит конус Маха; угол конуса задан отношением скорости звука к скорости самолёта.

Ответ

2750 м.

8 Гелий в колонне

В вертикальной герметичной колонне высотой $H = 8$ м с гладкими стенками находится в равновесии горизонтальный поршень. В пространстве над поршнем и под ним находится по одному молю гелия с температурой $T = 294$ К. Масса поршня $m \approx 83,1$ кг. На какой высоте (в метрах) над дном колонны располагается поршень? Ускорение свободного падения принять равным $g = 9,8$ м/с². Ответ выразите в метрах и округлите до целых.

Подсказка

Разность давлений под и над поршнем уравнивает его вес; выразите давления через уравнение состояния и высоту поршня.

Ответ

2 м.

9 Лампочка с вольфрамовой нитью

При измерении сопротивления вольфрамовой нити лампочки в «холодном» режиме (при температуре около 0°C) оно оказалось равным $R_0 = 31$ Ом. В «рабочем» режиме лампочку подключают к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 100$ В и внутренним сопротивлением $r = 19$ Ом, и при этом она потребляет мощность $N = 25$ Вт. Найдите температуру нити лампочки в «рабочем» режиме (в $^\circ\text{C}$, с округлением до целых). Температурный коэффициент сопротивления вольфрама $\alpha \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, изменением отношения длины нити к площади её сечения вследствие теплового расширения вольфрама можно пренебречь.

Подсказка

Мощность на нагрузке $N = I^2 R$ с $I = \mathcal{E}/(R + r)$ даёт квадратное уравнение на сопротивление нити (выбирайте физически разумный корень); затем используйте линейную зависимость $R(t)$.

Ответ

2129°C .

10 КПД цикла из изохор и адиабат

Найти КПД тепловой машины, рабочим телом которой является одноатомный идеальный газ, а цикл составлен из двух изохор и двух адиабат. Известно, что при адиабатическом расширении абсолютная температура газа уменьшается в $n = \frac{5}{3}$ раза, а при адиабатическом сжатии абсолютная температура увеличивается в такое же число раз. Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

Подсказка

Теплота подводится и отводится только на изохорах; выразите её через изменения температуры и свяжите температуры в вершинах цикла отношением n .

Ответ

40 %.

11 Заряженные шарики на орбите

Небольшое тело с зарядом $Q = +9$ мкКл закреплено неподвижно. Маленький заряженный шарик запустили таким образом, что он стал вращаться вокруг этого тела по круговой орбите. Когда два таких же шарика запустили так, что они стали вращаться по той же самой орбите, то период их обращения оказался на 20% больше, чем у одного шарика. Найдите заряд каждого из шариков, выразив его в мкКл и округлив до целых. Действием возникающих магнитных полей пренебречь.

Подсказка

Шарики вращаются по одной орбите и отталкиваются или притягиваются друг к другу, поэтому на каждый действует сила от закреплённого тела и от второго шарика; для двух шариков равнодействующая направлена к центру орбиты.

Ответ

−11 мкКл.

12 Брусок, доска и кубик

На гладкой горизонтальной поверхности покоится прямоугольный брусок массой $M = 1$ кг. На бруске лежит шероховатая доска массой $m_1 = 400$ г, а на ней — кубик массой $m_2 = 100$ г. Брусок и доска соединены натянутой невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок (см. рисунок). Блок невесомый и может вращаться без трения. Коэффициент трения между доской и бруском, так же как и между доской и кубиком, равен $\mu = 0,2$. Если брусок потянуть с силой $F_1 = 3,92$ Н, направленной горизонтально в сторону от блока, он будет двигаться с некоторым ускорением. Каков должен быть модуль силы F_2 , чтобы ускорение бруска было в три раза больше, чем в первом случае? Ускорение свободного падения считать равным $g = 9,8$ м/с². Ответ выразите в мН и округлите до целого числа.

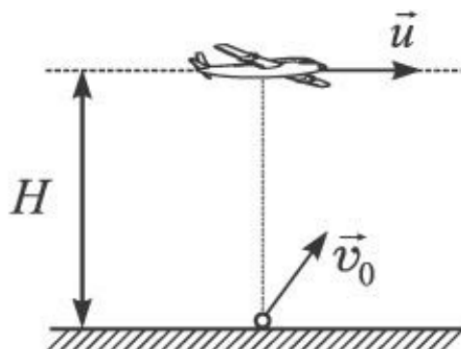
Подсказка

Из-за нити доска движется в сторону, противоположную бруску; проверьте, при каком ускорении кубик начинает проскальзывать по доске, и выберите нужный режим.

Ответ

7644 мН.

13 Ядро и снаряд



С самолёта, летевшего на высоте $H = 4800$ м со скоростью $u = 500$ м/с, сбросили ядро. Одновременно с этим из точки, расположенной прямо под самолётом, орудие произвело выстрел снарядом в направлении под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Начальная скорость снаряда $v_0 = 500$ м/с. На каком минимальном расстоянии друг от друга пролетят ядро и снаряд?

Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ выразите в метрах и округлите до целого значения.

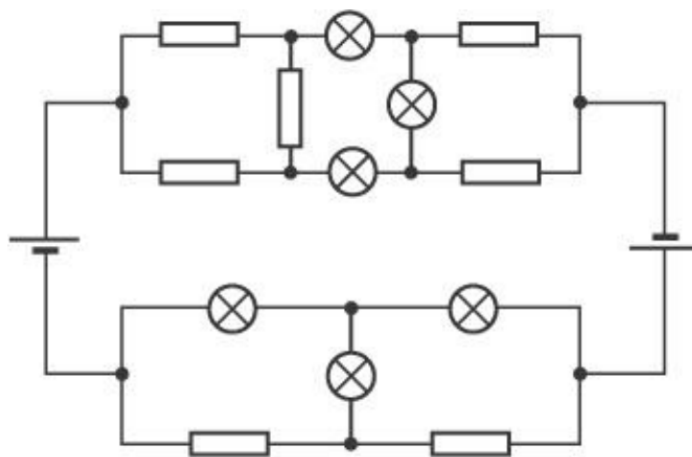
Подсказка

Перейдите в систему отсчёта ядра: в ней оба тела движутся равномерно, и задача сводится к расстоянию от точки до прямой.

Ответ

2400 м.

14 Схема с лампочками



Из нескольких одинаковых резисторов сопротивлением $R = 27$ Ом, двух источников тока с общей ЭДС $\mathcal{E} = 48$ В и одинаковых лампочек собрали схему, показанную на рисунке. Сопротивление лампочек можно считать постоянным и равным $R_{\text{л}} = 81$ Ом. Найти суммарную мощность, выделяемую на всех лампочках. Внутреннее сопротивление источников пренебрежимо мало. Ответ выразите в Ваттах и округлите до целого значения.

Подсказка

Обе половины схемы симметричны; воспользуйтесь равенством потенциалов симметричных точек и найдите ток в каждой половине.

Ответ

10 Вт.

15 Поворот рамки в поле

Квадратная рамка со стороной $a = 10$ см изготовлена из медной проволоки с площадью поперечного сечения $S = 0,34$ мм². Она помещена в магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, перпендикулярной плоскости рамки. Какой заряд протечёт через сечение проволоки, если рамку повернуть на 180° вокруг одной из сторон? Ответ выразите в мкКл и округлите до целого значения. Удельное сопротивление меди считать равным $\rho \approx 0,017$ Ом · мм²/м.

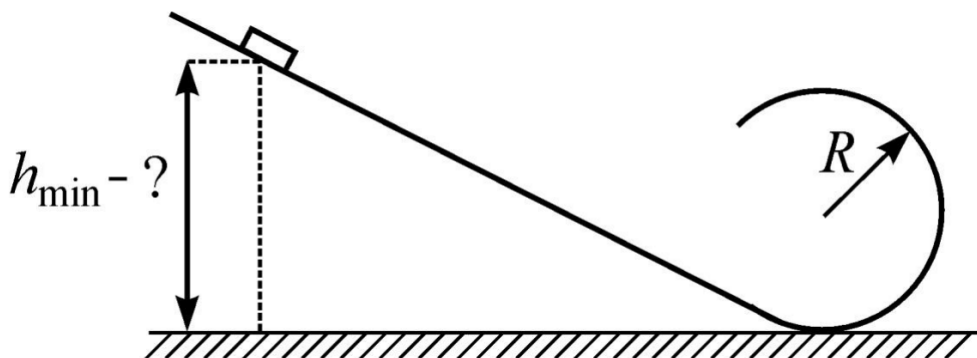
Подсказка

Заряд равен изменению потока, делённому на сопротивление рамки; не забудьте, что при повороте на 180° поток меняет знак.

Ответ

100 мкКл.

16 Шайба в желобе



Шероховатая плоская полоса, наклонённая под углом $\alpha = \arccos(0,8) \approx 36,87^\circ$ к горизонту, без перегиба переходит в гладкий желоб в форме окружности радиусом $R = 30$ см (см. рисунок). С какой минимальной высоты (над нижней точкой желоба) надо отпустить соскальзывать по полосе без начальной скорости небольшую шайбу, чтобы она проехала по желобу, не отрываясь от него? Коэффициент трения между шайбой и плоской полосой $\mu = 0,375$. Ответ выразите в сантиметрах и округлите до целого значения.

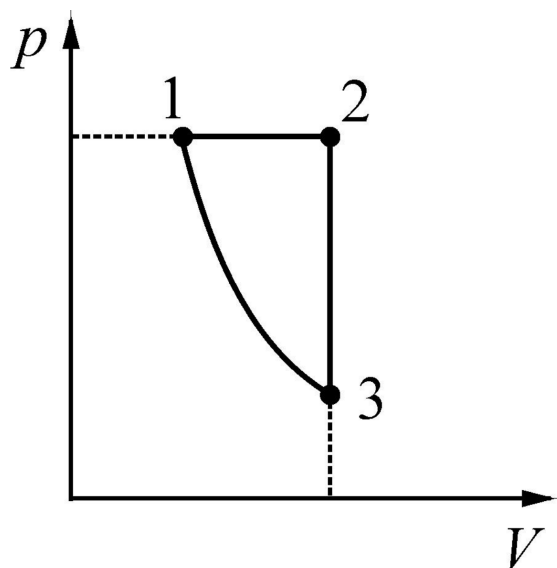
Подсказка

В верхней точке желоба сила реакции опоры должна быть не меньше нуля; работа трения на полосе зависит от длины спуска, а значит, от высоты.

Ответ

144 см.

17 Цикл с адиабатой



На рисунке представлена pV -диаграмма циклического процесса над идеальным одноатомным газом, некоторое количество которого является рабочим телом тепловой машины. В этом цикле сжатие газа происходит адиабатически. Объем газа в точке 1 на $n\%$ меньше его объема в точке 2, а давление в точке 3 на $k\%$ меньше давления в точке 2. Известно, что $n/k = 4/5$. Найти КПД цикла. Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

Подсказка

Цикл состоит из изобары 1–2, изохоры 2–3 и адиабаты 3–1; запишите уравнение адиабаты для точек 3 и 1 и найдите n и k из условия.

Ответ

25 %.

18 Брусок на шероховатой области

Однородный прямоугольный брусок скользит со скоростью $v_0 = 1,4$ м/с, направленной вдоль его более длинных сторон (длиной $L = 20$ см), по гладкой горизонтальной поверхности. В некоторый момент времени он встречает границу очень обширной шероховатой области, перпендикулярную направлению его движения. За какое время после этого он остановится? Считайте, что сила трения для части бруска, находящейся на шероховатой поверхности, пропорциональна площади этой части, а коэффициент трения для бруска, полностью находящегося в шероховатой области, $\mu = 0,25$. Ускорение свободного падения следует принять равным $g \approx 9,8$ м/с². Ответ выразите в сотых долях секунды (сантисекундах) и округлите до целого значения.

Подсказка

Пока брусок въезжает, сила трения растёт линейно с координатой, как у пружины; после полного въезда ускорение постоянно. Склейте два участка движения.

Ответ

64 сантисекунды.

Источник: Московская олимпиада школьников по физике, 2011/12, отборочный этап, 11 класс — условия, решения. Задачи перенабраны на botay.pro, решения — по официальным.