

МОШ, 2018/19, заключительный этап, 9 класс

Условия, ответы и решения

1 Из истории линий электропередач

В 1882 году на электротехнической выставке в Мюнхене была продемонстрирована работа первой в мире длинной (несколько десятков километров) линии электропередач. Линия соединяла город Мисбах, где находился приводимый в движение паровой машиной генератор постоянного тока, и город Мюнхен, где такой же генератор работал в качестве электродвигателя и был потребителем тока. Линия состояла из двух стальных телеграфных проводов диаметром $d = 4,5$ мм (удельное сопротивление стали $\rho = 1,3 \cdot 10^{-7}$ Ом·м), длина каждого провода L была приближённо равна расстоянию 57 км между Мисбахом и выставкой в Мюнхене. Когда генератор в Мисбахе выдавал напряжение $U = 2$ кВ, КПД линии составлял примерно $\eta \approx 25\%$. Несмотря на небольшой КПД, проведённый эксперимент продемонстрировал принципиальную возможность передачи электроэнергии на большие расстояния. Определите, какова была сила тока в этой линии при указанных параметрах.

Подсказка

Полезная мощность выделяется на потребителе, потери — на двух проводах. Выразите долю потерь через ток и сопротивление проводов.

Ответ

$I \approx 1,6$ А.

2 Balance board

Балансборд — тренажёр для тренировки чувства равновесия (рис. 1), представляет собой жёсткую доску, лежащую на цилиндрическом ролике. Базовое упражнение заключается в том, чтобы сохранять равновесие, перекатываясь на ролике, при этом желательно, чтобы доска располагалась практически горизонтально. Пусть взаимодействие ступней ног с доской происходит в т. A и B (см. рис. 2), и положение т. A и B относительно доски не меняется при выполнении упражнения. Ролик по полу и по доске не проскальзывает. В крайнем правом положении расстояния по горизонтали между точками A и B и вертикальной прямой, на которой лежит ось ролика C , равны L_1 и L_2 соответственно. Человек перекачивается в крайнее левое положение, в котором расстояние между точкой A и C по горизонтали становится равным L_2 .



Рис. 1

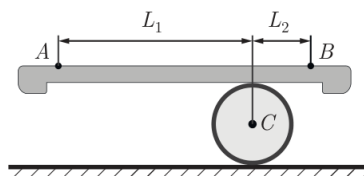


Рис. 2

1. На какое расстояние по горизонтали смещается центр масс человека: относительно доски; относительно земли?
2. На какое расстояние по горизонтали смещается т. A ?

Подсказка

Чтобы человек стоял неподвижно, где должен лежать его центр масс относительно оси ролика? Как связаны смещения оси и доски при качении без проскальзывания?

Ответ

1) Центр масс человека смещается относительно доски на расстояние $a = L_1 - L_2$ и на такое же расстояние смещается относительно земли. 2) Точка A смещается на расстояние $2(L_1 - L_2)$.

3 Улетающий шар

В цилиндрическую кастрюлю, радиус основания которой равен $R = 10$ см, налита вода и опущен кусок льда массой $m = 400$ г. В этот кусок заморожена нитка, привязанная к воздушному шару объёмом $V = 8$ л, заполненному гелием. При этом уровень воды в кастрюле равен $h = 30$ см. Кусок льда постепенно тает. В некоторый момент кусок льда уменьшается настолько, что воздушный шарик поднимает его над поверхностью воды. После этого шарик и лёд улетают. Чему в результате станет равен уровень воды в кастрюле? Плотность воды равна $\rho_1 = 1000$ кг/м³, льда — $\rho_2 = 900$ кг/м³, воздуха — $\rho_3 = 1,25$ кг/м³, гелия — $\rho_4 = 0,18$ кг/м³, массой оболочки шарика можно пренебречь. Считайте, что масса капель воды, образовавшихся при таянии льда и упавших в кастрюлю после отрыва льда от поверхности воды, пренебрежимо мала. Некоторые числовые данные не являются необходимыми для решения, но их можно использовать, если так вам будет проще.

Подсказка

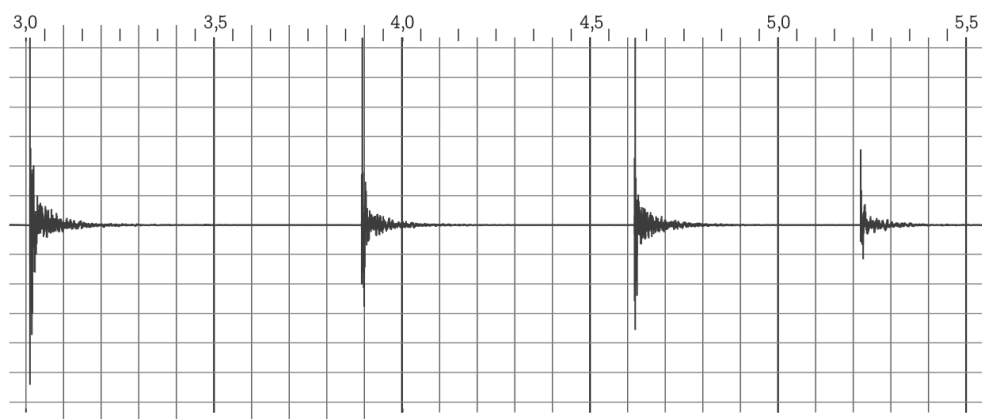
Давление на дно равно весу всего, что давит на дно, делённому на площадь. Изменится ли сила давления на дно в момент отрыва льда от воды?

Ответ

Уровень воды в сосуде будет таким же, как в начальный момент времени, то есть 30 см.

4 Запись ударов

На рис. 3 вы видите фрагмент амплитудно-временной характеристики звука ударов футбольного мяча о пол, записанного с помощью микрофона и программы Audacity при достаточно большой частоте дискретизации. Цифры над делениями горизонтальной шкалы — время в секундах. Мяч был отпущен без начальной скорости с некоторой высоты. Первый пик соответствует первому столкновению мяча с полом. Определите приблизительно:



1. с какой высоты был отпущен мяч;
2. сколько времени мяч находится в воздухе между пятым и шестым ударами;
3. сколько всего времени прыгал мяч.

Подсказка

Время между ударами пропорционально скорости после удара. По графику найдите, во сколько раз оно уменьшается от удара к удару, и примите это отношение постоянным.

Ответ

- 1) $H_0 = 1,4 \pm 0,2$ м; 2) $t_5 = 0,41 \pm 0,06$ с; 3) $t_S = 5,6 \pm 0,8$ с.

5 Вычисление скорости света

Первая оценка скорости света была дана Рёмером в 1675 году. Изучая движение Ио (спутника Юпитера), он получил значение близкое к 220000 км/с. Орбита Ио расположена в плоскости орбиты Земли, поэтому спутник периодически исчезает в тени Юпитера. Интервал между двумя последовательными появлениями Ио из тени Юпитера в среднем равен 42,5 ч. Однако, согласно современным исследованиям при различных положениях Солнца, Земли и Юпитера этот интервал может отклоняться от среднего значения не более, чем на 16 с в большую или меньшую сторону. По представленным данным определите скорость света, если расстояние от Земли до Солнца составляет $1,5 \cdot 10^8$ км. Можно считать, что орбитальная скорость Юпитера вокруг Солнца намного меньше, чем у Земли.

Подсказка

Интервал меняется потому, что расстояние от Земли до Юпитера за цикл Ио меняется. Когда это изменение наибольшее?

Ответ

$$c = (2,86 \pm 0,1) \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

6 Делитель Кельвина-Варлея

На рис. 1 изображена схема делителя напряжения Кельвина-Варлея. Сопротивления резисторов одного столбца (столбцы показаны пунктиром) — одинаковые, в разных столбцах — разные сопротивления. Если на выводы A и B подать постоянное напряжение U_0 , то на выводах C и D напряжение будет равно $U_1 = \alpha U_0$, где значение коэффициента α ($0 < \alpha < 1$) зависит от положения контактов, обозначенных чёрными стрелками. Изменяя положение контактов, значение коэффициента α можно подобрать с точностью до одной десятичной. Между соседними контактами (во всех столбцах кроме последнего) всегда должна быть одна свободная клемма. Для положения контактов, показанного на рисунке чёрными стрелками, $\alpha = 0,2073$. Если изменить положение контактов во втором столбце так, как показано светло-серыми стрелками, коэффициент умножения станет равен $\alpha = 0,2573$. Положение контактов в первом столбце определяет цифру в разряде десятых в значении коэффициента α , во втором — цифру в разряде сотых и так далее. Считая известным сопротивление R резисторов в последнем столбце, определите сопротивления резисторов в остальных столбцах. При каком положении контактов коэффициент α будет равен $\alpha_0 = 0,2019$?

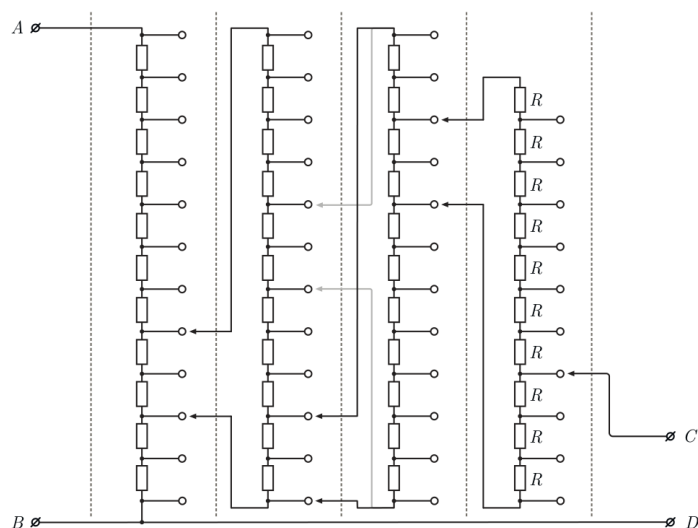


Рис. 1

Подсказка

Начните с двух последних столбцов: что должно получаться при их подключении, чтобы последний столбец давал следующую цифру? Сопротивление параллельного соединения двух плеч должно равняться сопротивлению резистора предыдущего столбца.

Ответ

Сопротивление резисторов предпоследнего столбца равно $R_1 = 5R$, сопротивление резисторов во втором столбце равно $R_2 = 25R$, сопротивление резисторов в первом столбце равно $R_3 = 125R$. Чтобы получить $\alpha_0 = 0,2019$ следует контакты в предпоследнем столбце сместить вниз на 6 клемм, а контакт в последнем столбце сместить вверх на 5 клемм относительно положения, обозначенного на рисунке чёрными стрелками. Контакты в первом и втором столбце остаются на своих местах.

7 Паровая плёнка и пузырьковое кипение

Стальной шарик ($m = 110$ г, $R = 1,5$ см, $c = 500$ Дж/кг·°C), нагретый до температуры $T_1 = 500$ °C, лежит на теплоизолирующей подставке в прозрачном сосуде, который заполняют дистиллированной водой ($m_0 = 0,4$ кг, $T_0 = 20$ °C), так что шарик оказывается примерно в середине столба воды. Наблюдается интересное явление. Вокруг шарика очень быстро образуется тонкая паровая плёнка, после этого некоторое время толщина плёнки остаётся постоянной, равной $d = 0,5$ мм, образование пузырьков пара (как при кипении) не наблюдается, теплообмен между водой и шариком происходит через плёнку. В момент, когда температура шарика уменьшается до $T_2 = 250$ °C, плёнка «срывается» — и в жидкости вблизи шарика начинается бурное кипение, которое продолжается до тех пор, пока температура шарика не уменьшится до $T_k = 100$ °C. Можно считать, что в процессах образования плёнки и пузырькового кипения всё количество теплоты, отданное шариком, идёт на испарение воды, но треть пара во всплывающих пузырьках (образовавшихся при кипении) конденсируется. Теплообменом с окружающей средой и теплоизолирующей подставкой, а также нагревом пара можно пренебречь. Определите температуру воды к моменту окончания теплообмена между шариком и водой. Удельная теплоёмкость и теплота испарения воды равны $c_0 = 4200$ Дж/кг·°C и $L = 2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг. Средняя плотность пара равна $\rho \approx 0,6$ кг/м³. Объём шара радиусом R определяется по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Подсказка

Какая часть тепла шарика уходит на испарение, а какая — на нагрев воды после конденсации трети пара? Масса пара в плёнке мала.

Ответ

32,1 °C.

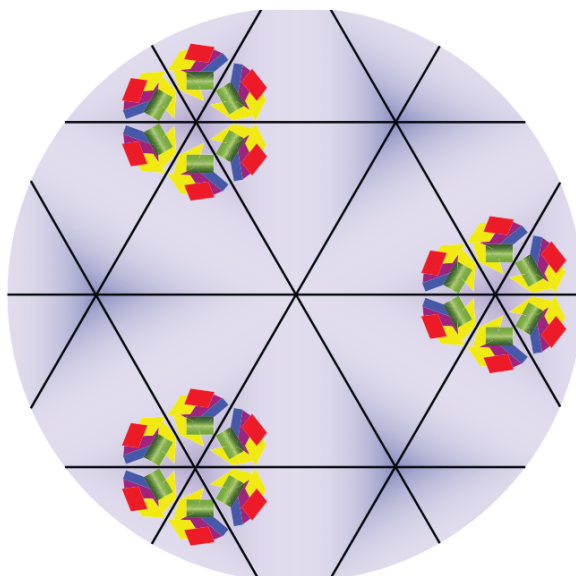
8 Калейдоскоп

Три плоских зеркала внутри трубки калейдоскопа образуют призму с равносторонним треугольником в сечении, перпендикулярном оси трубки. Через маленькое отверстие в заглушке, закрывающей торец трубки, можно наблюдать цветные стёклышки, находящиеся на другом торце, а также множественные отражения этих стёклышек в зеркалах (рис. 2). На рис. 3 вы видите фрагмент фотографии картины, наблюдаемой в калейдоскопе. При фотографировании объектив фронтальной камеры смартфона был прижат к глазку калейдоскопа. Белые линии, совпадающие с плоскостями зеркал или параллельные им, проведены позднее в графическом редакторе. Известно, что внутри чёрного треугольника видны непосредственно цветные стёклышки, которые можно назвать предметом. Внутри остальных треугольников — их изображения в зеркалах (изображения предмета).



Рис. 2

Какое максимальное количество отражений от зеркал калейдоскопа испытывают лучи, формирующие изображения на рис. 3? Рис. 4 имитирует картину, наблюдаемую в калейдоскопе. Чему равно максимальное количество отражений в этом случае? Обратите внимание, что положение предмета на рис. 4 неизвестно.



Подсказка

Картина — развёртка треугольной области с предметом на плоскость: каждый соседний через сторону треугольник добавляет одно отражение. Считайте, сколько сторон нужно пересечь от предмета до самого дальнего треугольника.

Ответ

5 отражений; 7 отражений.

Источник: Московская олимпиада школьников по физике, 2018/19, заключительный этап, 9 класс — условия (1), условия (2), решения (1), решения (2). Задачи перенабраны на botay.pro, решения — по официальным.