

Задача 1

На легкой короткой нити к ветке сосны подвешена гирька массой $m = 1$ кг. К ней привязана другая легкая нить с длиной в недеформированном состоянии $L = 1$ м и жесткостью $k = 1$ кН/м, на конце которой висит еще одна гирька массой $m = 1$ кг. Система находилась в равновесии до момента, когда верхнюю нить перебил дятел. Гирьки упали на землю одновременно. Каково расстояние H от ветки до земли? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Ответ: $H \approx \frac{kL^2}{4mg} + \frac{L}{2} = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{kL}{2mg} \right) = 25,5$ м.

Критерии

Найдено начальное растяжение x_0 нижней нити (записана формула и вычислено значение) – 1 балл.

Найдено время Δt , в течение которого нижняя нить мешала гирькам падать свободно (записана формула и вычислено значение) – 1 балл.

Найдена скорость сближения гирек в полёте после завершения сжатия упругой нижней нити (или скорости гирек по отдельности в любой системе отсчета) – 1 балл.

Найдено время падения гирек (любым способом, с точностью до малой поправки Δt) – 1 балл.

Найдено расстояние от ветки до земли (любым способом, формула – приближенная или точная, возможно, с учетом малых поправок Δt и x_0) – 1 балл.

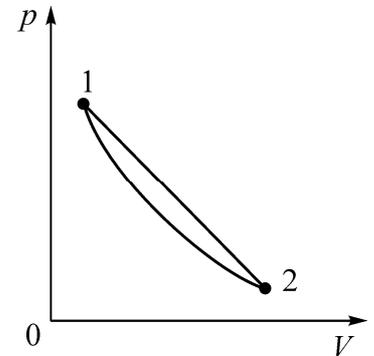
Получен правильный численный ответ для высоты ветки над землей – 1 балл

Всего: 6 баллов.

Задача 2

Рабочим телом теплового двигателя является $\nu = 1$ моль гелия. Цикл работы тепловой машины состоит из линейного в pV -координатах участка 1–2 и изотермы 2–1. Максимальный объем гелия в цикле в 7 раз больше минимального. Минимальная температура гелия в цикле составляет $T_0 = 280$ К. Какое количество теплоты было получено гелием в данном цикле от нагревателя? Универсальная газовая постоянная $R = 8,3$ Дж/(моль·К).

Ответ: $Q_+ = 32\nu RT_0/7 \approx 10,6$ кДж.



Критерии

Найдены максимальное давление и максимальный объем газа в цикле – 0,5 балла

Записана зависимость $p(V)$ для линейного участка цикла – 0,5 балла

Сформулирована идея о том, что необходимо искать на линейном участке точку, в которой тепловой эффект (т.е. приращение количества теплоты ΔQ) меняет знак – 0,5 балла

Правильно записано выражение для малого приращения внутренней энергии ΔU (выраженное через Δp и ΔV) – 0,5 балла.

Получена формула для малого приращения ΔQ – 1 балл

Найдены значения объема V_3 и давления p_3 (и, соответственно, точка 3 на линейном участке), при которых ΔQ меняет знак – 1 балл

Получена формула для изменения внутренней энергии гелия на участке 1–3 – 0,5 балла

Получена формула для работы, совершаемой гелием на участке 1–3 – 0,5 балла

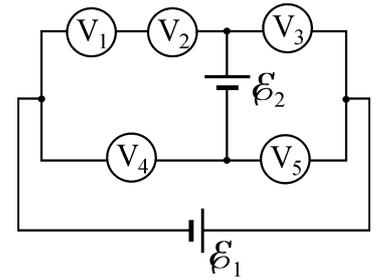
Получена формула для количества теплоты $Q_{13} = Q_+$ – 0,5 балла

Получен правильный численный ответ – 0,5 балла

Всего: 6 баллов.

Задача 3

Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, состоит из двух батареек с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 5 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 2 \text{ В}$ и пяти одинаковых вольтметров. Найдите показания каждого из вольтметров. Сопротивления батареек много меньше сопротивлений вольтметров.



Ответ: показания вольтметров составляют $U_1 = 2(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)/7 = 2 \text{ В}$, $U_2 = 2(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)/7 = 2 \text{ В}$, $U_3 = (3\mathcal{E}_1 - 4\mathcal{E}_2)/7 = 1 \text{ В}$, $U_4 = (4\mathcal{E}_1 - 3\mathcal{E}_2)/7 = 2 \text{ В}$, $U_5 = 3(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)/7 = 3 \text{ В}$.

Критерии

Указано, что показания первого и второго вольтметров одинаковы – 0,5 балла

Показания вольтметров V_3 , V_4 и V_5 правильно выражены через показания вольтметра V_1 (или V_2) – по 0,5 балла за каждое выражение (всего 1,5 балла)

Записаны правила Кирхгофа для разветвленной цепи (или эквивалентные им соотношения), приводящие к уравнению для определения показаний вольтметра V_1 – 1,5 балла

С помощью полученного уравнения правильно найдено показание первого (и второго) вольтметра – 0,5 балла

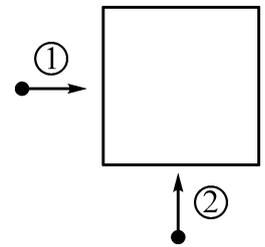
Правильно найдены выражения для показаний вольтметров U_3 , U_4 и U_5 – по 0,5 балла за каждое выражение (всего 1,5 балла)

Правильно вычислены показания всех вольтметров – 0,5 балла

Всего: 6 баллов.

Задача 4

В некоторой области пространства созданы однородное электрическое и магнитное поля. Когда электрон влетает в эту область со скоростью v в направлении, показанном стрелкой 1, он движется в этой области прямолинейно и равномерно. Когда электрон с такой же по модулю скоростью влетает в электромагнитное поле вдоль стрелки 2, перпендикулярной направлению 1, он тоже движется в поле прямолинейно и равномерно. Определите направления векторов напряженности электрического поля \vec{E} и магнитной индукции \vec{B} . Найдите отношение модулей E/B .



Ответ: вектор напряженности электрического поля направлен перпендикулярно плоскости рисунка («на нас» либо «от нас»); вектор магнитной индукции направлен в плоскости рисунка под углом 45° к скорости первого электрона и 135° к скорости второго электрона (либо наоборот); отношение модулей напряженности электрического поля и магнитной индукции равно $E/B = v/\sqrt{2}$.

Критерии

Доказано, что напряженность электрического поля \vec{E} перпендикулярна плоскости рисунка – 1 балл

Доказано, что индукция магнитного поля \vec{B} лежит в плоскости рисунка – 1 балл

Доказано, что вектор \vec{B} направлен параллельно прямой $y = -x$ (ось Ox направлена вдоль стрелки 1, а ось Oy – вдоль стрелки 2) или любым другим способом правильно указана линия, вдоль которой может быть направлен вектор \vec{B} – 2 балла

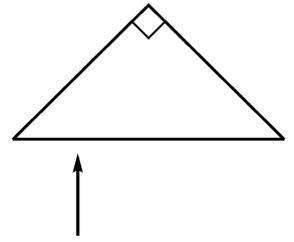
Из равенства модулей электрической и магнитной сил найдено отношение E/B – 1 балл

Замечено, что существуют два возможных направления векторов \vec{E} и \vec{B} , и правильно указаны эти направления – 1 балл

Всего: 6 баллов.

Задача 5

На призму, сечение которой имеет вид равнобедренного прямоугольного треугольника, перпендикулярно нижней грани падает луч от лазерной указки. Каким должен быть показатель преломления n материала, из которого сделана призма, чтобы свет от указки вышел из призмы наружу только через эту же грань?



Ответ: показатель преломления призмы должен удовлетворять неравенству $n > \sqrt{2} \approx 1,41$.

Критерии

Указано, что на левой наклонной грани призмы должно наблюдаться полное внутреннее отражение (ПВО) – 1 балл

Найден угол падения света на левую наклонную грань – 1 балл

Вычислено, при каких значениях показателя преломления будет наблюдаться ПВО на левой наклонной грани – 2 балла

Указано, что угол падения света на правую наклонную грань такой же, как и на левую наклонную грань, и поэтому на правой грани также будет наблюдаться ПВО – 1 балл

Указано, что при выходе свет через нижнюю грань угол падения будет составлять 0° и ПВО наблюдаться не будет – 1 балл

Всего: 6 баллов.