

### 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/с<sup>2</sup>.

**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  $\Delta t$ , 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  $\Delta t$ ) – 1 балл.

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

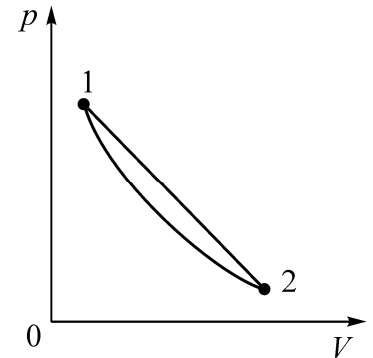
Получен правильный численный ответ для высоты ветки над землей – 1 балл

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  $\Delta Q$ ) меняет знак – 0,5 балла

Правильно записано выражение для малого приращения внутренней энергии  $\Delta U$  (выраженное через  $\Delta p$  и  $\Delta V$ ) – 0,5 балла.

Получена формула для малого приращения  $\Delta Q$  – 1 балл

Найдены значения объема  $V_3$  и давления  $p_3$  (и, соответственно, точка 3 на линейном участке), при которых  $\Delta Q$  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

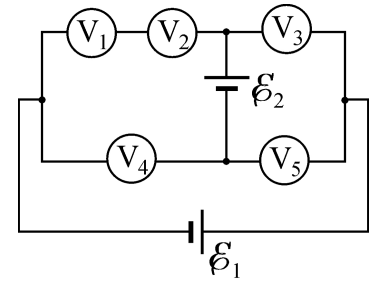
Получена формула для количества теплоты  $Q_{13} = Q_+$  – 0,5 балла

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

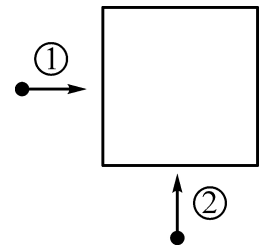
Правильно найдены выражения для показаний вольтметров  $U_3$ ,  $U_4$  и  $U_5$  – по 0,5 балла за каждое выражение (всего 1,5 балла)

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  $45^\circ$  к скорости первого электрона и  $135^\circ$  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

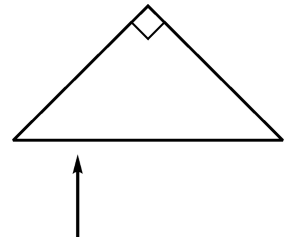
Из равенства модулей электрической и магнитной сил найдено отношение  $E/B$  – 1 балл

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  $0^\circ$  и ПВО наблюдаться не будет – 1 балл

Всего: 6 баллов.