

Всероссийская олимпиада школьников II

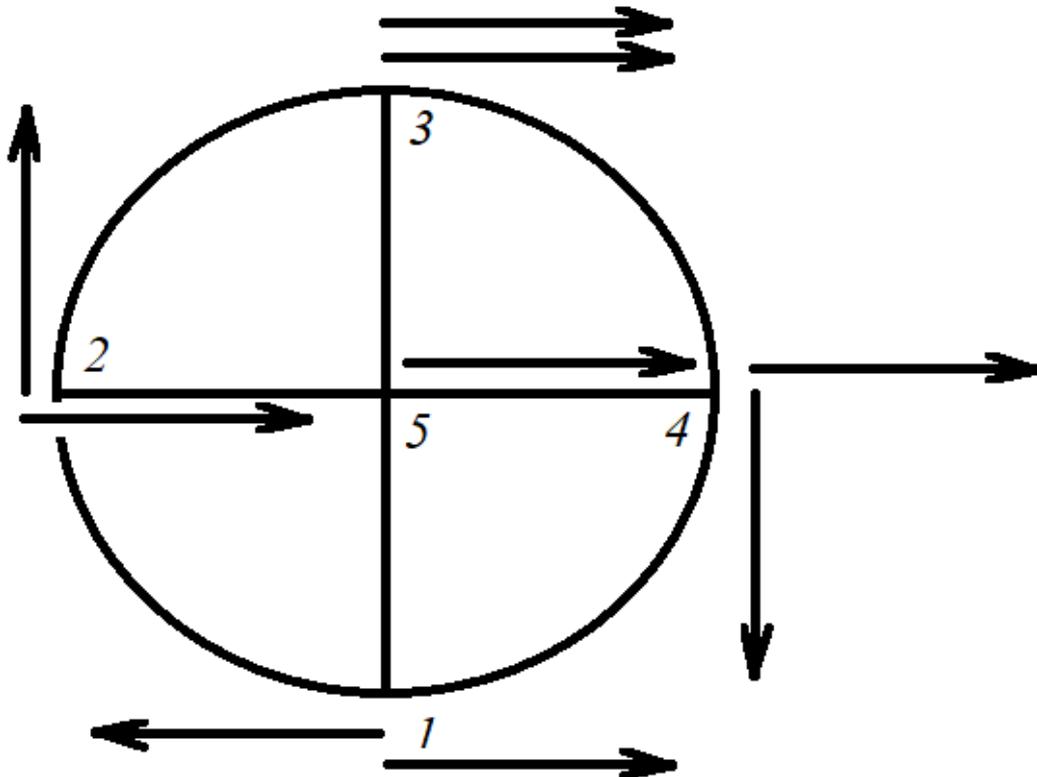
(муниципальный) этап Физика 11 класс

Общее время выполнения работы – 2 часа 30 минут.

Задача 1

Автомобиль движется со скоростью $v = 72$ км/ч. С какой скоростью относительно земли движется: а) нижняя точка колеса; б) верхняя точка колеса; в) точка колеса, движущаяся перпендикулярно земли; г) ось колеса?

Решение



Все точки колеса движутся поступательно вместе с автомобилем и вращательно относительно оси колеса. В отсутствие проскальзывания скорость нижней точки равна 0, которая складывается из поступательного движения автомобиля и вращательного движения колеса.

а) нижняя точка колеса (1) покоится ее скорость равна 0.

б) для верхней точки колеса (3 на рисунке) направления скорости поступательного и вращательного движения совпадают и складываются, следовательно, скорость движения верхней точки колеса $2v = 144$ км/ч или 40 м/с.

в) точек колеса, движущихся перпендикулярно земли две (2 и 4), направления скорости поступательного и вращательного движения перпендикулярны и при сложении образуют катеты прямоугольного равнобедренного треугольника, следовательно, скорость движения верхней точки колеса $2v = 101,8$ км/ч или 28,3 м/с.

г) ось колеса (5) не вращается, движение только поступательное со скоростью $v = 72$ км/ч или 20 м/с.

Критерии оценки

Рисунок с поступательным и вращательным движением – 2 балла.

Определение скорости 4 точек по 2 балла.

Мах – 10 баллов.

Задача 2

Кусок дерева (плотность 650 кг/м³) в форме усеченного конуса у которого малый радиус в 1.5 раза меньше большого, а высота равна 0.2 м. Усеченный конус плавает в перевернутом виде в воде (малый круг погружен, большой – над водой). На конус сверху встает мальчик массой 40 кг. При каком минимальном радиусе меньшего круга усеченного конуса мальчик не замочит ног?

Решение

Объем усеченного конуса равен $V = \frac{\pi}{3}h(r_1^2 + r_1r_2 + r_2^2) = \frac{\pi}{3}4.75 \cdot hr_1^2$

На конус действуют силы тяжести и Архимедова сила. Если условие – не замочить ноги, то усеченный конус должен быть погружен в воду целиком:

$$m_b g + \frac{\pi}{3}4.75 \cdot hr_1^2 \rho g = \frac{\pi}{3}4.75 \cdot hr_1^2 \rho_w g$$

Откуда $r_1 = \sqrt{\frac{3m_b}{4.75\pi \cdot h(\rho_w - \rho)}}$, подставляя данные получим $0.339 \approx 0.3$ (м).

Критерии оценки

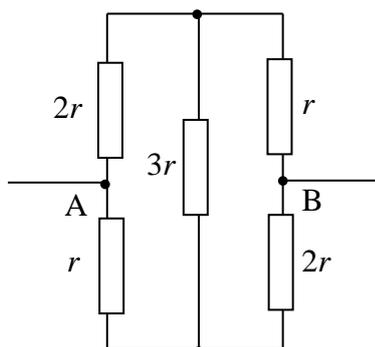
Запись равновесия – 5

Определение радиуса - 5

Мах 10

Задача 3

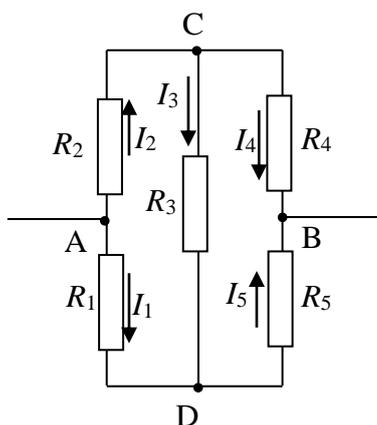
Электрическая схема состоит из набора резисторов, соединенных следующим образом:



К точкам А и В приложено постоянное напряжение U . Чему равно сопротивление между точками А и В, если $r=1$ Ом?

Решение

Добавим к чертежу следующие детали.



Полное падение напряжение должно не зависеть от порядка, в котором проходится контур по крайним путям:

$$U = U_{AC} + U_{CB} = U_{AD} + U_{DB}$$

Для среднего пути получим:

$$U_{AC} + U_{CD} + U_{DB} = U_{AD} + U_{DC} + U_{CB}, \text{ но } U_{DC} = -U_{CD}, \text{ поэтому}$$

$$U_{AC} + U_{DB} + 2U_{CB} = U_{AD} + U_{CD}$$

$$\text{Полный ток через контур: } I = I_1 + I_2 = I_4 + I_5$$

$$\text{Сохранение токов в каждом узле (1-й закон Кирхгофа): } I_2 = I_3 + I_4;$$

$$I_1 = I_5 - I_3.$$

Применим закон Ома:

$$U = U_{AC} + U_{CB} = R_2 I_2 + R_4 I_4 = U_{AD} + U_{DB} = R_1 I_1 + R_5 I_5$$

$$R_2 I_2 + R_5 I_5 + 2R_3 I_3 = R_1 I_1 + R_4 I_4$$

$$\text{Выразим } I_3 = I_2 - I_4.$$

Подставив значения сопротивлений, получим (в случае отсутствия напряжения в уравнении r сокращаются сразу):

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2 \\ I = I_4 + I_5 \\ 2I_2 + I_4 = \frac{U}{r} \\ I_1 + 2I_5 = \frac{U}{r} \\ I_1 + 3I_4 - 4I_2 - 2I_5 = 0 \end{cases}$$

Решаем систему уравнений, относительно I , исключая все отдельные токи:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2 \\ 2I_2 + I_4 = \frac{U}{r} \\ I_1 + 2I - 2I_4 = \frac{U}{r} \\ I_1 + 5I_4 - 4I_2 - 2I = 0 \end{cases} ; \begin{cases} 2I_2 + I_4 = \frac{U}{r} \\ 3I - I_2 - 2I_4 = \frac{U}{r} \\ 5I_4 - 5I_2 - I = 0 \end{cases} ; \begin{cases} I_4 = 2I - \frac{U}{r} \\ -16I + 15I_4 + 5\frac{U}{r} \end{cases}$$

$$I = \frac{5}{7} \cdot \frac{U}{r}. \text{ То есть сопротивление составляет } 7r/5 = 7/5 = 0.7143 \text{ (Ом).}$$

Критерии оценки

Запись закона Кирхгофа - 3

Запись закона Ома для участка цепи - 3

Определение сопротивление - 4

Max 10

Задача 4

В современных экспериментальных установках для фиксирования элементарных частиц используются специальные детекторы, генерирующие импульс тока (или напряжения) при попадании частицы на них. Обычно их компонуют в матрицы (как светочувствительная матрица в фотоаппарате). Установка представляет собой вакуумную камеру в которую влетает электрон с энергией 0.1 кэВ. под углом 45° к магнитному полю (действует только внутри камеры). Ширина камеры 1 м. непосредственно напротив входного отверстия на матрице один из детекторов «отгорел». При каких значениях индукции магнитного поля установка не зафиксирует электрон, попадающий на матрицу?

Решение

В магнитном поле электрон будет лететь по спирали. Радиус спирали определяется равенством центробежной силы и силы Лоренца с учетом угла:

$$eBv \sin \alpha = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{R}$$

Один шаг спирали электрон преодолет за $\tau = \frac{R}{v \sin \alpha}$. Чтобы попасть в

«отгоревший» детектор на ширине камеры должно уложиться целое число

периодов $n = \frac{l}{\tau v \cos \alpha}$.

Тогда $\tau = \frac{l}{nv \cos \alpha} = \frac{R}{v \sin \alpha}$, $eBv \sin \alpha = \frac{mnv^2 \sin \alpha \cos \alpha}{l}$,

$$eB = \frac{mnv \cos \alpha}{l}$$

$$B = \frac{mnv \cos \alpha}{el} = \frac{n \cos \alpha}{el} \sqrt{2mE}$$

Энергия электрона составляет $1.9 \cdot 10^{-17}$ Дж. Значения индукции магнитного поля $1.52 \cdot 10^{-5} n$ (Тл) $n=1, 2, 3$ и т.д.

Критерии оценки

Запись баланса сил - 3

Определение времени витка - 3

Определение значений индукции магнитного поля - 4

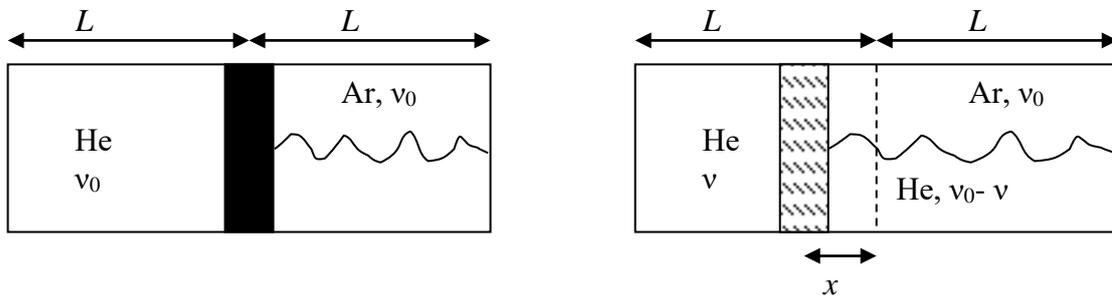
Max 10

Задача 5

Цилиндр, разделен поршнем, движущимся без трения на два отсека, шириной $L = 0.5$ м каждый. В левом отсеке содержится гелий, в правом – ксенон. Количество каждого газа – $\nu_0 = 0.1$ моль. Поршень закреплен к стенке пружинной с коэффициентом упругости 10 кН/м. Цилиндр находится в тепловом равновесии с термостатом при температуре 300 К. В некоторый момент времени в поршне приоткрывается заслонка со свойством молекулярного сита: она пропускает только гелий, ксенон не проходит. В какую сторону и на какое расстояние сместится заслонка после достижения диффузионного равновесия?

Решение

Схема задачи приведена на рисунке до открытия заслонки (слева) и после (справа).



Для удобства обозначим S площадь сечения цилиндра. Установление диффузионного равновесия приводит к равенству парциальных давлений гелия в обеих частях цилиндра:

$$\frac{vRT}{S(L-x)} = \frac{v_0 - v}{S(L+x)}, \text{ получим } v = v_0 \cdot \frac{L-x}{2L}.$$

Условие равенства давлений (справа давление дается аргонном и гелием):

$$\frac{vRT}{S(L-x)} + \frac{Kx}{S} = \frac{2v_0 - v}{S(L+x)}$$

После преобразований получаем квадратное уравнение:

$$x^2 + Lx - \frac{v_0RT}{K}, \quad x = \frac{L}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{4v_0RT}{KL}} - 1 \right). \text{ Подставляя, получаем } 0.095 \text{ м.}$$

Критерии оценки

Запись равенства парциальных давлений гелия в обеих частях цилиндра - 3

Условие равенства давлений - 3

Определение направления и расстояния смещения заслонки - 4

Max 10