

Задание 32 № 9297

По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 100$ г и сопротивлением $R = 0,1$ Ом. Расстояние между рельсами $l = 10$ см, а коэффициент трения $\mu = 0,1$. Рельсы со стержнями находятся в однородном магнитном поле с $B = 1$ Тл. Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.

Задание 32 № 9297 (исправленный текст)

На параллельных рельсах, расположенных в горизонтальной плоскости на расстоянии $l = 10$ см друг от друга, перпендикулярно рельсам лежат два одинаковых однородных стержня массой $m = 100$ г, сделанных из диамагнитного материала. Стержни могут скользить по рельсам, испытывая трение скольжения. Коэффициент трения скольжения $\mu = 0,1$. Электрическое сопротивление стержней $R = 0,1$ Ом. Электрическое сопротивление рельсов пренебрежимо мало. Рельсы со стержнями находятся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл, направленной по вертикали. В некоторый момент времени к центру масс стержня 1 прикладывается постоянная сила \vec{F} , направленная параллельно рельсам. По истечении переходного процесса в установившемся режиме стержни движутся поступательно и равномерно. Какова скорость движения стержня 1 относительно стержня 2 в установившемся режиме? Влиянием самоиндукции на процесс движения стержней можно пренебречь.

Дано:

РЕШЕНИЕ

$m = 0,1$ кг;
 $R = 0,1$ Ом;
 $l = 0,1$ м;
 $\mu = 0,1$;
 $B = 1,0$ Тл

Стержни с рельсами образуют проводящий контур, плоскость которого пронизывает магнитный поток:

$$\Phi = BS = B(S_0 + lV_1t - lV_2t) = B[S_0 + l(V_1 - V_2)t].$$

$u - ?$

Здесь S_0 - первоначальная площадь контура; V_1, V_2 - скорости, стержней 1 и 2, соответственно; t - время.

Приращение магнитного потока за время t :

$$\Delta\Phi = Bl(V_1 - V_2)t = Blut, \quad (1)$$

Где $u = V_1 - V_2$ - искомая относительная скорость.

При изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в контуре возникает э.д.с. индукции:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{t} = -Blu. \quad (2)$$

Знак минус отражает правило Ленца: индукционный ток направлен так, чтобы противодействовать изменению магнитного потока. Если магнитная индукция направлена вертикально вверх, то индукционный ток направлен по часовой стрелке, если смотреть вертикально вниз (рис. 1).

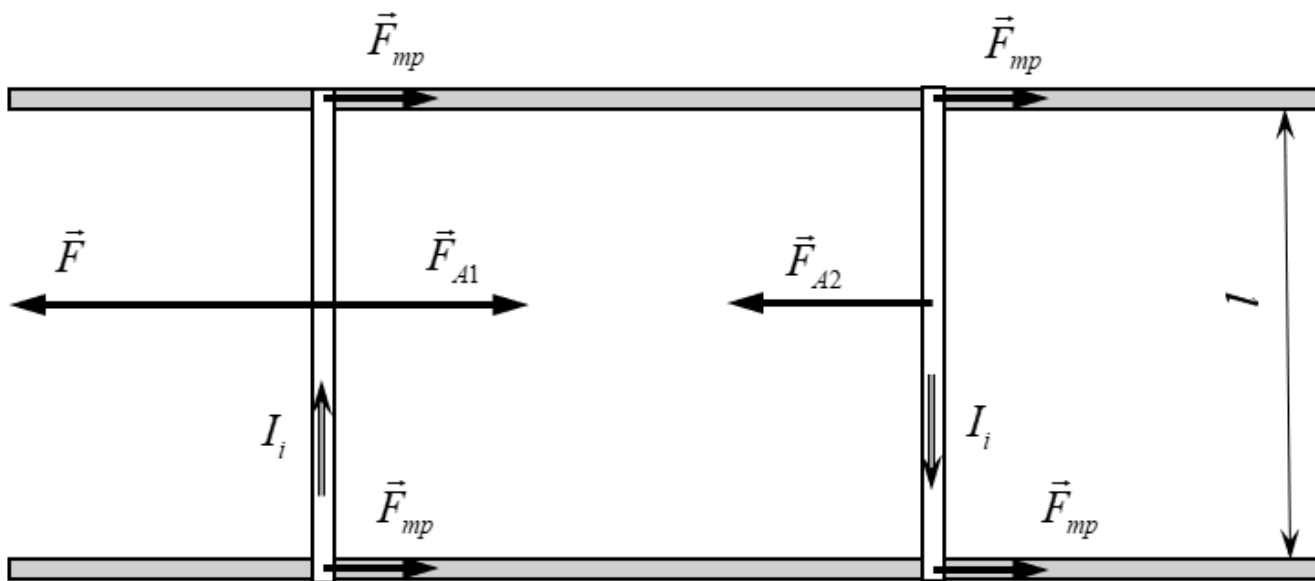


Рис. 1.

Сила тока индукции:

$$I_i = \frac{|\varepsilon_i|}{2R} = \frac{Blu}{2R}. \quad (3)$$

В знаменателе формулы (3) – полное электрическое сопротивление всего контура, равное сумме сопротивлений обеих стержней, т.к. электрическое сопротивление рельсов не учитывается по условию задачи.

При движении проводника с током в магнитном поле на него действует сила Ампера:

$$F_A = BI_i l \sin \alpha.$$

По условию задачи $\alpha = 90^\circ$ (α - угол между направлениями индукционного тока и направлением магнитной индукции), поэтому $\sin \alpha = 1$ и, учитывая (3), получим:

$$F_{A1} = F_{A2} = \frac{B^2 l^2 u}{2R}. \quad (4)$$

В местах контакта стержней с рельсами на стержни действуют силы трения скольжения, равные по модулю произведению коэффициента трения скольжения на величину силы нормального давления стержня на рельс. Диамагнетики слабо взаимодействуют с магнитным полем, поэтому давление стержней на рельсы обусловлено преимущественно силой тяжести. Вследствие симметрии сила нормального давления в каждом месте контакта равна половине силы тяжести соответствующего стержня. Следовательно, модули возникающих в местах контакта сил трения равны:

$$F_{mp} = \mu \frac{mg}{2}. \quad (5)$$

Т.к. стержни движутся равномерно, векторная сумма сил, приложенных к каждому стержню, равна нулю. Рассмотрим стержень 2. Спроектируем векторную сумму сил, приложенных к данному стержню, на направление его движения (см. рис.1):

$$F_{A2} - 2F_{mp} = 0. \quad (6)$$

Учитывая (4) и (5), получим уравнение:

$$\frac{B^2 l^2 u}{2R} - \mu mg = 0. \quad (7)$$

Отсюда:

$$u = \frac{2\mu mgR}{B^2 l^2}. \quad (8)$$

Выполним расчет:

$$u = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 9,81 \cdot 0,1}{1,0^2 \cdot 0,1^2} = 1,962 \approx 2,0 \text{ м/с.}$$

Ответ: скорость движения стержня 1 относительно стержня 2 равна 2,0 м/с.