

12.9. Индукционный ток

12.9.1. Магнитный поток, пронизывающий проводящий контур, равномерно изменяется на $\Delta\Phi = 0,6$ Вб так, что ЭДС индукции в контуре равна $\mathcal{E}_1 = 1,2$ В. Найдите время изменения магнитного потока и силу индукционного тока в контуре, если его сопротивление $R = 0,24$ Ом.

12.9.2. В однородном магнитном поле находится контур площадью $S = 60$ см². Силовые линии магнитного поля перпендикулярны плоскости контура. Найдите силу индукционного тока в контуре, если скорость изменения магнитной индукции $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,5$ Тл/с. Сопротивление контура $R = 1$ Ом.

12.9.3. Проводящий квадратный контур со стороной $a = 20$ см находится в однородном магнитном поле, силовые линии которого направлены перпендикулярно плоскости контура. Сопротивление контура $R = 0,5$ Ом. С какой скоростью $\Delta B/\Delta t$ должна изменяться магнитная индукция, чтобы ток в контуре был равен $I = 40$ мА?

12.9.4. Индукция магнитного поля, перпендикулярного контуру, изменяется по закону $B = 0,2t$. Контур состоит из трех резисторов сопротивлений: $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 0,5$ Ом, $R_3 = 0,2$ Ом (рис. 12.9.1). Площадь контура $S = 270$ см². Определите силу тока в контуре.

12.9.5. Проволочное кольцо радиусом $r = 4$ см и сопротивлением $R = 0,2$ Ом помещено в магнитное поле. Индукция магнитного поля изменяется по закону, график которого представлен на рисунке 12.9.2. Постройте график зависимости силы индукционного тока от времени.

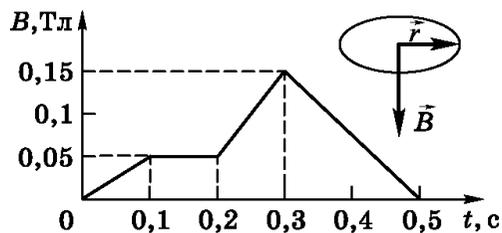


Рис. 12.9.2

12.9.6. Металлический стержень AC и провода, по которым он скользит, находятся в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен плоскости чертежа (рис. 12.9.3). Расстояние между проводами равно a , скорость стержня равна v . Найдите силу тока, индуцированного в цепи. Магнитное поле тока не учитывать.

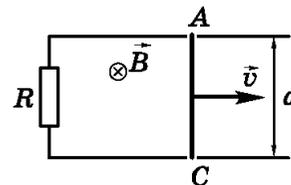


Рис. 12.9.3

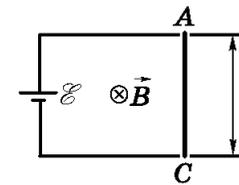


Рис. 12.9.4

12.9.7. Из двух одинаковых проводников изготовлены два контура в виде квадрата и кольца. Оба контура помещены в одной плоскости в однородное, равномерно изменяющееся со временем магнитное поле. Линии магнитной индукции поля перпендикулярны плоскости, в которой лежат контуры. В кольцевом контуре индуцируется ток $I_1 = 4$ А. Найдите силу тока в квадратном контуре.

12.9.8. Проводник AC длиной $l = 0,5$ м и сопротивлением $R = 2$ Ом лежит на двух горизонтальных проводящих стержнях, замкнутых источником ЭДС $\mathcal{E} = 1$ В (рис. 12.9.4, вид сверху). Вся система находится в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Определите силу тока в проводнике, если он движется со скоростью $v = 5$ м/с: а) вправо; б) влево. Внутренним сопротивлением источника и сопротивлениями стержней пренебречь. Проводник перпендикулярен стержням.

12.9.9. Эластичное проводящее кольцо помещено в однородное магнитное поле с индукцией $B = 20$ мТл, силовые линии которого перпендикулярны плоскости кольца. Радиус кольца увеличивается с постоянной скоростью $v = 2$ см/с. Определите силу тока в кольце в момент времени $t = 2$ с, если начальный радиус кольца $r_0 = 16$ см, а его сопротивление $R = 5$ Ом не изменяется при растяжении кольца.

12.9.10. Плоский виток площадью $S = 20$ см² расположен перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля. Индукция магнитного поля возрастает по закону $B = 1 - 10^{-4}t^2$. Сопротивление витка $R = 0,5$ Ом. Чему будет равна сила тока в витке в момент времени $t = 10$ с?

• **12.9.11.** Из проволоки сопротивлением $R = 20$ Ом и длиной $l = 0,5$ м сделали кольцо и поместили в магнитное поле, индукция которого изменяется по закону $B = \alpha t$, где $\alpha = 10^{-4}$ Тл/с, t — время в секундах. Определите, какая мощность выделяется в проволоке, если плоскость кольца перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.

12.9.12. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл находится прямоугольная проводящая рамка. Плоскость рамки перпендикулярна линиям индукции. Сопротивление рамки $R = 0,25$ Ом. Какая мощность затрачивается при выдвига-

нии рамки из магнитного поля с постоянной скоростью $v = 5$ м/с перпендикулярно направлению поля? Поле имеет резкую границу, а сторона рамки длиной $l = 20$ см параллельна этой границе (рис. 12.9.5).

12.9.13. Квадратный контур со стороной $a = 50$ см, изготовленный из алюминиевой проволоки, помещен в магнитное поле, индукция которого изменяется по закону $B = \alpha t$, где $\alpha = 0,02$ Тл/с, t — время в секундах. Определите изменение температуры контура за время $\Delta t = 100$ с, полагая, что выделяющееся в проволоке тепло целиком идет на ее нагрев. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.

• **12.9.14.** Проводящий квадратный контур со стороной $a = 10$ см вводят с постоянной скоростью $v = 70$ см/с в зазор электромагнита (рис. 12.9.6). Индукция магнитного поля в зазоре $B = 0,1$ Тл. Считая поле внутри зазора однородным, а вне зазора равным нулю,

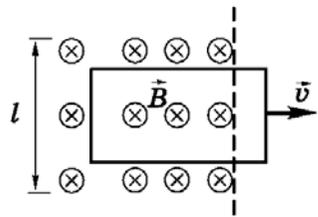


Рис. 12.9.5

определите количество теплоты Q , выделившееся в контуре при полном введении его в зазор, если протяженность зазора $b > a$, а сопротивление контура равно $R = 2$ Ом. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.

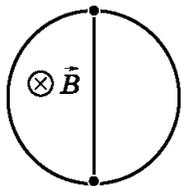


Рис. 12.9.7

12.9.16. Замкнутая катушка, содержащая $N = 500$ витков изолированного провода, помещена в магнитное поле, направленное вдоль оси катушки. Площадь ее поперечного сечения $S = 5$ см², сопротивление $R = 125$ Ом. Найдите мощность потерь на нагревание провода, если скорость изменения магнитной индукции постоянна

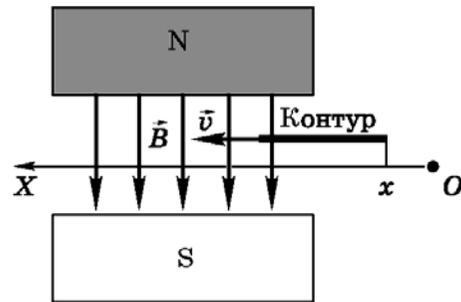


Рис. 12.9.6

12.9.15. Проволоку длиной $l = 1$ м согнули в виде кольца, затем замкнули по диаметру прямым проводником (рис. 12.9.7). Сопротивление проволоки $R = 200$ Ом. Перпендикулярно плоскости кольца создано магнитное поле, индукция которого зависит от времени по закону $B = \alpha t$, где $\alpha = 0,02$ Тл/с, t — время в секундах. Найдите тепловую мощность, выделяющуюся в проволоке.

и равна $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 10^{-5}$ Тл/с.

12.9.17. Квадратная рамка, содержащая $N = 10$ витков провода, находится в однородном магнитном поле. Направление вектора магнитной индукции совпадает с осью рамки. За время $\Delta t = 0,1$ с магнитная индукция поля равномерно увеличилась на $\Delta B = 0,01$ Тл. Определите: а) силу тока, индуцированного в рамке; б) количество теплоты, выделившееся в рамке за это время. Сопротивление рамки $R = 1$ мОм, сторона рамки $a = 5$ см.

12.9.18. Плоская квадратная рамка из медной проволоки со стороной $a = 62,8$ см помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл так, что линии индукции перпендикулярны плоскости рамки. Определите количество теплоты, которое выделится в рамке, если ее преобразовать в кольцо. Площадь сечения проволоки $S = 2$ мм². Считать, что во время преобразования рамки $\Delta t = 2$ с количество теплоты выделялось равномерно.

12.9.19. Катушка, содержащая $N = 200$ витков изолированного провода, помещена в однородное магнитное поле, направленное вдоль оси катушки. Индукция магнитного поля изменяется со скоростью $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,2$ Тл/с. Концы катушки подсоединяют к резистору

сопротивлением $R = 20$ Ом, значительно большим сопротивления катушки. Определите мощность тепловых потерь на резисторе. Радиус витка катушки $r = 5$ см.

12.9.20. Между двумя проводящими параллельными шинами включена лампочка Л сопротивлением $R = 100$ Ом. По шинам скользит проводящая перемычка со скоростью $v = 2$ м/с. Расстояние между шинами $l = 20$ см. Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Линии индукции перпендикулярны плоскости, в которой лежат шины (рис. 12.9.8). Определите мощность лампочки. Сопротивления остальных элементов цепи не учитывать.

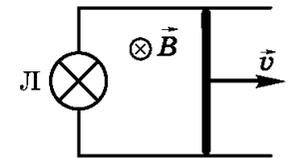


Рис. 12.9.8

12.9.21. Металлический стержень AC, сопротивление единицы длины которого r , движется с постоянной скоростью \vec{v} , перпендикулярной AC, замыкая проводники OD и OE, образующие друг с другом угол α . Длина OE равна l , а стержень AC перпендикулярен OE (рис. 12.9.9). Вся система помещена в однородное постоянное магнитное поле с индукцией B , силовые линии которого перпендикулярны плоскости системы. Найдите полное ко-

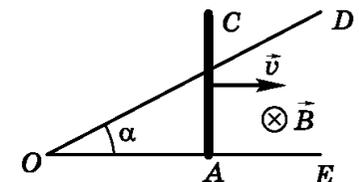


Рис. 12.9.9

личество теплоты, которое выделится в цепи при движении стержня AC от точки O до точки E . Сопротивления проводников OD и OE пренебречь.

12.9.22. Длинный проводник согнут в виде буквы П. На параллельных сторонах проводника лежит проводящая перемычка (рис. 12.9.10). Проводник находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} , силовые линии которого направлены перпендикулярно плоскости проводника. Длина перемычки равна l , ее сопротивление R . Какую силу \vec{F} нужно приложить к перемычке, чтобы двигать ее с постоянной скоростью \vec{v} ?

12.9.23. В однородном горизонтальном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,05$ Тл по вертикально расположенным шинам, замкнутым перемычкой сопротивлением $R = 1$ Ом, скользит без нарушения контакта проводник длиной $l = 50$ см и массой $m = 1$ г (рис. 12.9.11). Определите установившуюся скорость проводника. Сопротивления остальных элементов цепи не учитывать.

12.9.24. На двух гладких параллельных проводящих стержнях, образующих угол α с горизонтом, находится горизонтальная проводящая перемычка массой m и длиной l . В верхней части стержней замкнуты резистором сопротивлением R (рис. 12.9.12). Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} ,

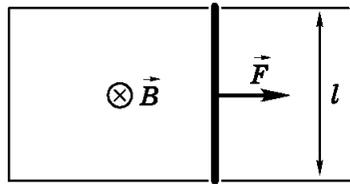


Рис. 12.9.10

силовые линии которого направлены вертикально вверх. Перемычку тянут вдоль стержней вверх с силой \vec{F} . Определите максимальную скорость движения перемычки. Сопротивления стержней пренебречь.

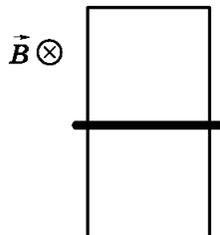


Рис. 12.9.11

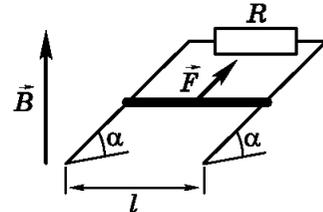


Рис. 12.9.12

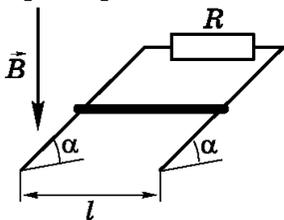


Рис. 12.9.13

Определите максимальную скорость движения перемычки, если коэффициент трения между поверхностями стержней и перемычкой равен

12.9.25. По двум параллельным проводящим стержням, образующим угол α с горизонтом, соскальзывает горизонтальная проводящая перемычка массой m и длиной l (рис. 12.9.13). В верхней части стержней замкнуты резистором сопротивлением R . Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} , силовые линии которого направлены вертикально вниз. Определите максимальную скорость движения перемычки, если коэффициент трения между поверхностями стержней и перемычкой равен

μ . Сопротивления стержней и перемычки пренебречь.

12.9.26. Длинный провод, расположенный в горизонтальной плоскости, согнут под углом $\alpha = 30^\circ$. В вершине угла расположен металлический стержень, перпендикулярный биссектрисе угла. Стержень может без трения скользить по проводу. Система помещена в вертикальное внешнее однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,05$ Тл. К стержню прикладывают горизонтальную силу $F = kx$, направленную вдоль биссектрисы угла, которая растет линейно с расстоянием x , отсчитываемым от вершины угла (рис. 12.9.14, вид сверху). Определите максимальную скорость стержня, если сопротивление единицы его длины равно $\rho = 0,2$ Ом/м, а коэффициент пропорциональности $k = 0,1$ Н/м. Сопротивлением провода пренебречь.

12.9.27. Медное кольцо радиусом $r = 80$ см соединено проводящими спицами с центром. Через скользящие контакты к кольцу подключен резистор сопротивлением $R = 0,2$ Ом так, как показано на рисунке 12.9.15.

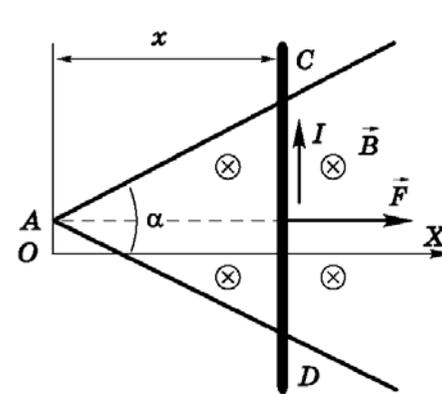


Рис. 12.9.14

На кольцо намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 0,15$ кг. Пренебрегая трением, определите установившуюся скорость груза, если поверхность, ограниченную кольцом, пронизывает внешнее однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,5$ Тл, силовые линии которого перпендикулярны плоскости кольца. Массами и сопротивлениями кольца и спиц пренебречь.

12.9.28. Стержень OA сопротивлением $R = 4$ Ом и длиной $L = 0,5$ м скользит по полукольцу, сопротивление которого ничтожно мало. Между стержнем и полукольцом подключен источник тока с ЭДС $\mathcal{E} = 0,3$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,05$ Тл, направ-

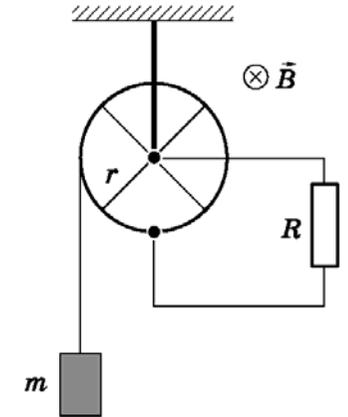


Рис. 12.9.15

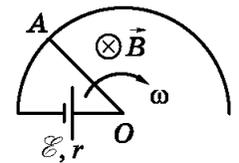


Рис. 12.9.16

ление силовых линий которого перпендикулярно плоскости кольца (рис. 12.9.16). Угловая скорость вращения стержня $\omega = 20$ рад/с. Найдите: а) разность потенциалов $\Delta\phi$ на концах стержня; б) мощность P тепловых потерь.

12.9.29. Проволочный контур площадью $S = 10 \text{ см}^2$ подключен к конденсатору емкостью $C = 10^{-6} \text{ Ф}$ и помещен в однородное магнитное поле, индукция которого изменяется со временем по закону $B = at$, где $a = 1 \text{ Тл/с}$, t — время в секундах. Определите заряд конденсатора. Силовые линии магнитного поля перпендикулярны плоскости контура.

12.9.30. По двум параллельным проводящим шинам, расположенным в горизонтальной плоскости на расстоянии $l = 60 \text{ см}$ друг от друга, может скользить без трения металлический стержень массой $m = 100 \text{ г}$. С одного конца шины замкнуты на конденсатор емкостью $C = 10 \text{ мкФ}$. Система помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 10^{-2} \text{ Тл}$, направленное перпендикулярно плоскости, в которой расположены шины и стержень. В некоторый момент времени на стержень начинает действовать постоянная горизонтальная сила $F = 0,5 \text{ Н}$, направленная перпендикулярно стержню. Определите ускорение стержня и энергию конденсатора к моменту, когда стержень пройдет путь $s = 40 \text{ см}$. Сопротивлениями шин и стержня пренебречь. Первоначально конденсатор не заряжен.

12.9.31. По двум параллельным проводящим стержням, образующим угол α с горизонтом, соскальзывает горизонтальная проводящая перемычка массой m и длиной l (рис. 12.9.17). В верхней части стержня замкнуты конденсатором емкостью C . Система находится в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} , силовые линии которого направлены перпендикулярно плоскости, в которой движется перемычка. Найдите ускорение перемычки. Сопротивлением стержней и перемычки, а также трением пренебречь.

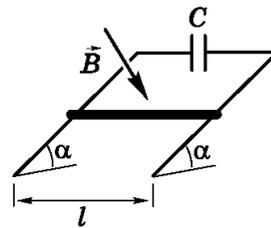


Рис. 12.9.17

12.9.32. По двум гладким металлическим стержням, установленным параллельно друг другу на расстоянии $l = 0,4 \text{ м}$ и под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, может скользить под действием силы тяжести проводящая перемычка массой $m = 0,4 \text{ кг}$ (рис. 12.9.18). Стержни замкнуты конденсатором емкостью $C = 50 \text{ мкФ}$. Система находится

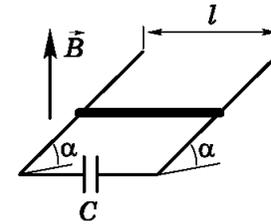


Рис. 12.9.18

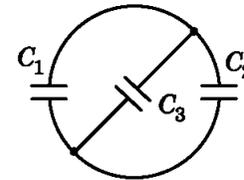


Рис. 12.9.19

в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$, силовые линии которого вертикальны. Первоначально перемычку удерживают на расстоянии $b = 50 \text{ см}$ от основания стержней. Определите скорость перемычки у основания стержней, если ее отпустить. Сопротивлением стержней и перемычки пренебречь.

12.9.33. В контур, имеющий вид окружности и находящийся в однородном магнитном поле, включены два конденсатора емкости которых равны $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 2 \text{ мкФ}$ (рис. 12.9.19). Контур соединяют по диаметру перемычкой с конденсатором емкостью $C_3 = 3 \text{ мкФ}$. Определите заряд на обкладках конденсатора C_3 , если скорость изменения магнитного потока через контур постоянна и равна $\Phi' = 5 \text{ Вб/с}$.

Ответы:

12.9.1. $\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{\mathcal{E}_i} = 0,5 \text{ с}; I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = 5 \text{ А}.$

12.9.2. $I = \frac{S \Delta B}{R \Delta t} = 3 \text{ мА}.$

12.9.3. $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{IR}{a^2} \approx 0,5 \text{ Тл/с}.$

12.9.4. $I = \frac{0,2S}{R_1 + R_2 + R_3} = 2 \text{ мА}.$

12.9.5. Рис. 48:

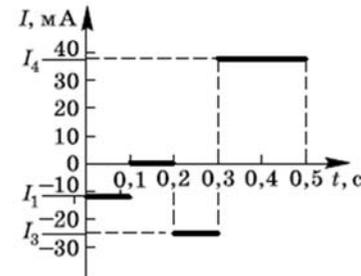


Рис. 48

$0 \leq t \leq 0,1 \text{ с}; I_1 = -\frac{B\pi r^2}{R\Delta t} = -12,56 \text{ мА};$ 12.9.10. $I = \frac{2 \cdot 10^{-4} tS}{R} = 8 \text{ мкА}.$

$0,1 \text{ с} \leq t \leq 0,2 \text{ с}; I_2 = 0;$

$0,2 \text{ с} \leq t \leq 0,3 \text{ с}; I_3 = -\frac{\pi r^2 (B_2 - B_1)}{R\Delta t} = -25,12 \text{ мА};$

$0,3 \text{ с} \leq t \leq 0,5 \text{ с}; I_4 = \frac{\pi r^2 B}{R\Delta t} = 37,68 \text{ мА};$

12.9.6. $I = \frac{Bva}{R}.$

12.9.7. $I_2 = \frac{\pi I_1}{4} = 3,1 \text{ А}.$

12.9.8. а) $I = \frac{\mathcal{E} + Blv}{R} = 0,75 \text{ А};$

б) $I = \frac{\mathcal{E} - Blv}{R} = 0,25 \text{ А}.$

12.9.9. $I = \frac{2\pi v(r_0 + vt)B}{R} \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$

$$12.9.12. P = \frac{(Blv)^2}{R} = 0,16 \text{ Вт.}$$

$$12.9.13. \Delta T = 9 \cdot 10^{-3} \text{ К.}$$

$$12.9.15. P = \frac{\alpha^2 l^4}{16\pi^2 R} = 1,27 \cdot 10^{-8} \text{ Вт.}$$

12.9.16.

$$P = \frac{N^2 S^2}{R} \left(\frac{\Delta B}{\Delta t} \right)^2 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Вт.}$$

$$12.9.17. \text{ а) } I = \frac{Na^2 \Delta B}{R \Delta t} = 2,5 \text{ А;}$$

$$\text{ б) } Q = \frac{(Na^2 \Delta B)^2}{R \Delta t} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

12.9.18.

$$Q = \frac{aS^2 B^2 (4 - \pi)^2}{4\pi^2 \rho \Delta t} = 27,7 \text{ мДж.}$$

$$12.9.19. P = \frac{(\pi r^2 N)^2}{R} \left(\frac{\Delta B}{\Delta t} \right)^2 = 24,6 \text{ мВт.}$$

$$12.9.20. P = \frac{(Blv)^2}{R} = 1,6 \text{ мВт.}$$

$$12.9.21. Q = \frac{B^2 l^2 v \operatorname{tg} \alpha}{2r}.$$

$$12.9.22. F = \frac{B^2 l^2 v}{R}.$$

$$12.9.23. v = \frac{mgR}{B^2 l^2} = 15,7 \text{ м/с.}$$

$$12.9.24. v = \frac{(F - mg \sin \alpha) R}{B^2 l^2 \cos \alpha}.$$

$$12.9.27. v = \frac{4mgR}{B^2 r^2} = 7,5 \text{ м/с.}$$

У к а з а н и е. При вращении кольца в магнитном поле на концах каждой из спиц возникает разность потенциалов $U = \frac{Brv}{2}$.

12.9.28.

$$\text{ а) } \Delta \varphi = \frac{2\mathcal{E}R - BL^2 r \omega}{2(R+r)} = 0,215 \text{ В;}$$

$$\text{ б) } P = \frac{(2\mathcal{E} + BL^2 \omega)^2}{4(R+r)^2} R = 0,029 \text{ Вт.}$$

$$12.9.29. q = C \alpha S = 10^{-9} \text{ Кл.}$$

$$12.9.30. a = \frac{F}{m + Cl^2 B^2} \approx 5 \text{ м/с}^2,$$

$$W = \frac{Cl^2 B^2 F s}{m + Cl^2 B^2} = 7,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж.}$$

$$12.9.31. a = \frac{mg \sin \alpha}{m + CB^2 l^2 \cos \alpha}.$$

$$12.9.32. v = \frac{2mgb \sin \alpha}{m + Cl^2 B^2 \cos \alpha} \approx 0,75 \text{ м/с.}$$

12.9.33.

$$q_3 = \frac{(C_2 - C_1) C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \frac{\Phi'}{2} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$