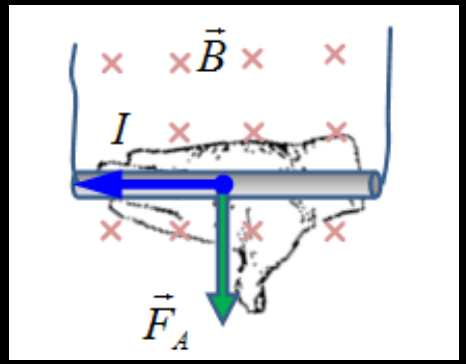
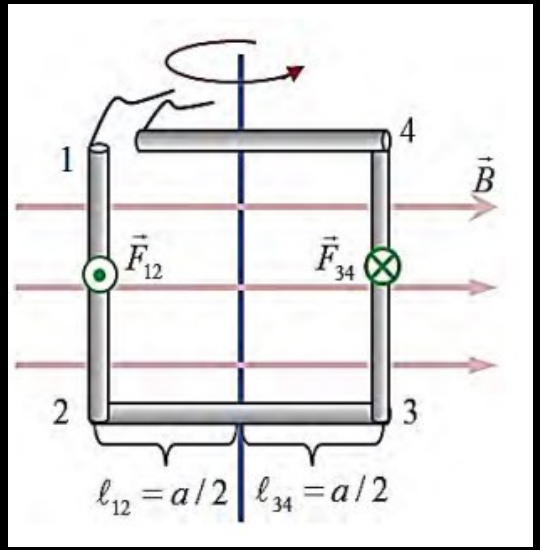
31.10.2017




# СЛОЖНЫЕ ТЕМЫ ЕГЭ: «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ».



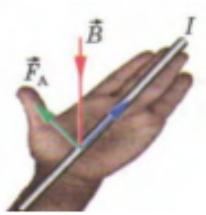

*Панченко Марина Николаевна,*
*учитель физики МБОУ «Гимназия №36»*
*методист по физике МКУ «Информационно-аналитический центра образования»*
*г. Ростова-на-Дону.*
*(u-235_u-238@mail.ru)*

# СИЛА АМПЕРА

***Сила Ампера*** – это сила, действующая на проводник тока, находящийся в магнитном поле

$$F_A = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin\alpha$$

***Правило левой руки***: Если расположить левую руку так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением электрического тока в проводнике, то отставленный на $90^0$ большой палей укажет направление силы Ампера, действующей на проводник с током в магнитном поле.



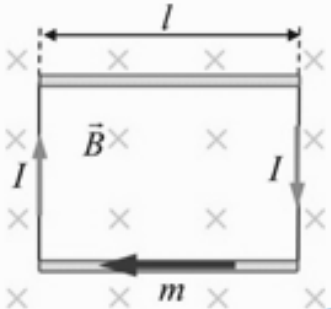

***Момент силы*** – физическая величина, равная произведению модуля силы на ее плечо

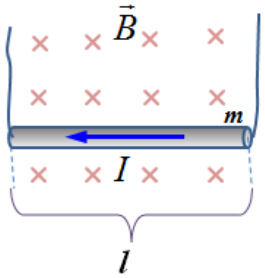
$$M = F \cdot \ell$$

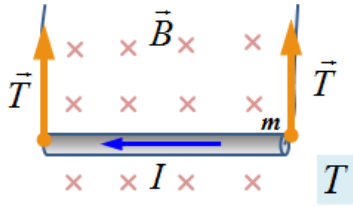
***Плечо силы*** – длина перпендикуляра, опущенного из оси вращения до линии действия силы.

# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ С КРАТКИМ ОТВЕТОМ.

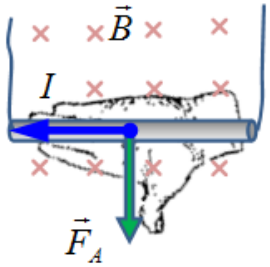
**Пример 1.** Прямой проводник, длина которого $l = 10$ см, масса $m = 10$ г, подвешен горизонтально на двух легких проводящих нитях в однородном магнитном поле (см. рис.). Линии индукции магнитного поля направлены горизонтально и перпендикулярно проводнику. Сила тока, протекающего по проводнику, $I = 4{,}2$ А, индукция магнитного поля $B = 0{,}1$ Тл. Найдите силу натяжения нитей.

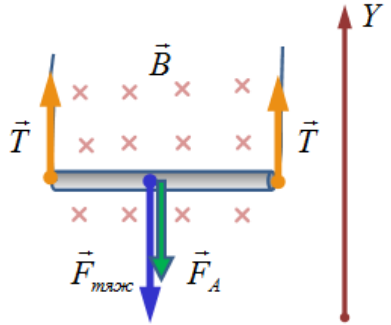


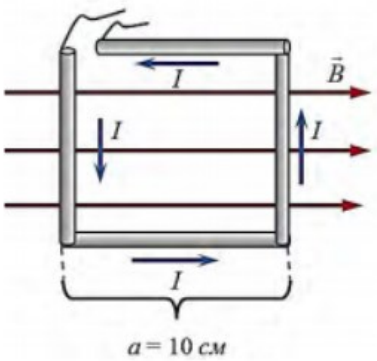



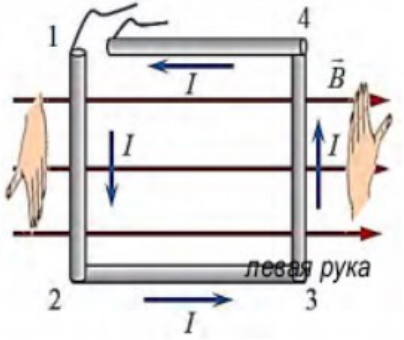

$T - ?$

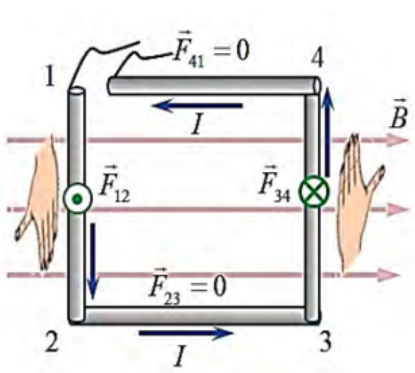


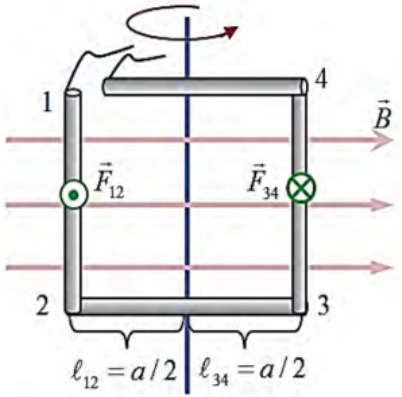



**Пример 2.** Квадратная рамка со стороной 10 см находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плоскость рамки параллельна вектору магнитной индукции. Сила тока, протекающего в рамке, равна 5 А. Чему равен вращающий момент сил, действующих на рамку?






***Дано:***

$a$ = 10 см = 0,1 м

$B = 0{,}1$ Тл

$\alpha = 90°$

$I = 5$ А.

**Найти: *M*.**

Моменты сил $\vec{F}_{12}$ и $\vec{F}_{34}$ относительно вертикальной оси соответственно равны:

$$M_{12} = F_{12} \cdot \ell_{12} = I \cdot B \cdot a \cdot \frac{a}{2} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot B \cdot a^2;$$

$$M_{34} = F_{34} \cdot \ell_{34} = I \cdot B \cdot a \cdot \frac{a}{2} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot B \cdot a^2$$

Суммарный момент сил M, действующих на рамку:

$$M = M_{12} + M_{34}$$

$$M = IBS\sin\alpha.$$

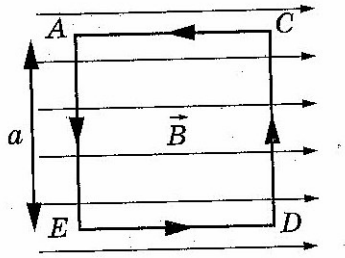
$$S = a^2; \quad M = IBa^2;$$

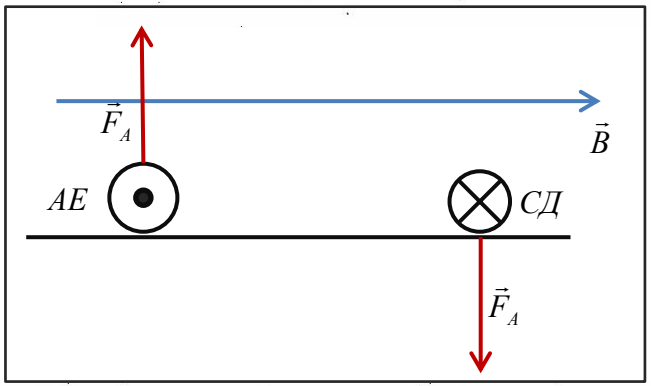
$$M = 5\ \text{А} \cdot 0{,}1\ \text{Тл} \cdot (0{,}1\ \text{м})^2 = 5\ \text{мН} \cdot \text{м}.$$

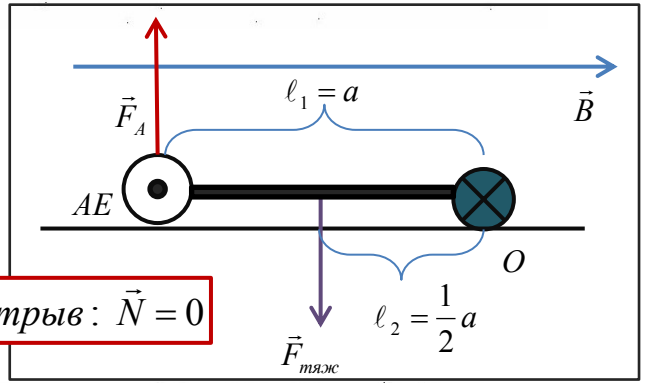
*Ответ*: 5мН · м

**Пример 3.**

На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит жёсткая рамка массой $m$ из однородной тонкой проволоки, согнутая в виде квадрата $ACDE$ со стороной $a$ (см. рисунок). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции $\vec{B}$ которого перпендикулярен сторонам $AE$ и $CD$ и равен по модулю $B$. По рамке течёт ток в направлении, указанном стрелками (см. рисунок). При какой минимальной силе тока рамка начнёт поворачиваться вокруг стороны $CD$?




Момент силы Ампера относительно оси, проходящей через сторону $CD$: $M_A = Ia^2B$.

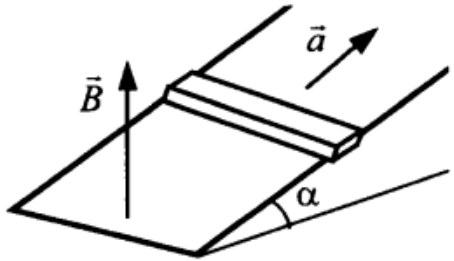
Момент силы тяжести относительно оси $CD$: $M_{mg} = -\frac{1}{2}mga$.

Условие отрыва: $M_A + M_{mg} > 0$, $Ia^2B > \frac{mga}{2}$. Отсюда: $I > \frac{mg}{2aB}$.

**Пример 4.**

**Механика + электромагнитные явления**

Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рис.). По стержню протекает ток $I = 4$ А. Угол наклона плоскости $\alpha = 30°$. Отношение массы стержня к его длине $m / L = 0{,}1$ кг/м. Модуль индукции магнитного поля $B = 0{,}2$ Тл. Определите ускорение, с которым движется стержень.



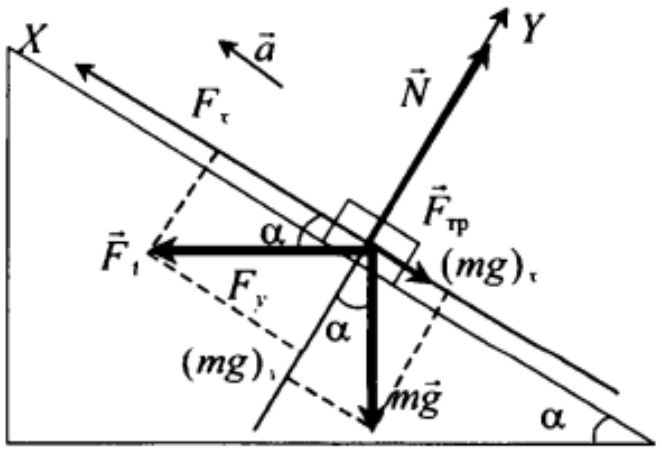
2. Равноускоренное движение вверх под действием горизонтальной силы Ампера

*Второй закон Ньютона в векторной форме:*

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_A + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$$

$$OX : F_A \cos\alpha - mg\sin\alpha - F_{тр} = ma$$

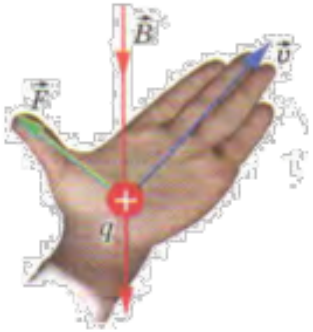
$$OY : N - F_A \sin\alpha - mg\cos\alpha = 0$$



# СИЛА ЛОРЕНЦА.

***Сила Лоренца*** – это сила, действующая на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле:

$$F_Л = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$$




***Правило левой руки***: Если расположить левую руку так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление скорости движения положительного заряда (или противоположное скорости отрицательного заряда), то отставленный на $90^0$ большой палец укажет направление силы Лоренца, действующей на движущийся заряд.

***Период обращения*** – время полного оборота по окружности

***Движение заряженной частицы в магнитном поле:*** *заряженная частица, влетевшая в однородное магнитное поле в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции, движется в этой плоскости по окружности:*

$$F_л = m\frac{\upsilon^2}{R}$$

# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ С КРАТКИМ ОТВЕТОМ.

**Пример 1.**

Протон и α-частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции на расстоянии $L$ друг от друга с одинаковыми скоростями $\upsilon$. Заряд протона в 2 раза меньше заряда α-частицы. Отношение модулей сил, действующих на них со стороны магнитного поля в этот момент времени, равно

**Пример 2.**

!

Нейтрон и протон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции на расстоянии $L$ друг от друга с одинаковыми скоростями $\upsilon$. Отношение модулей сил, действующих на них со стороны магнитного поля в этот момент времени, равно

**Пример 3.**

**Электромагнитные явления + механика (движение по окружности)**

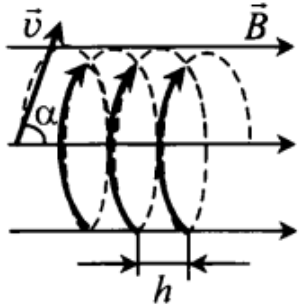
Две частицы с одинаковыми зарядами и отношением масс $\frac{m_2}{m_1} = 4$ влетели в однородные магнитные поля, векторы индукции которых перпендикулярны их скоростям: первая — в поле с индукцией $B_1$, вторая — в поле с индукцией $B_2$. Найдите отношение промежутков времени $\frac{T_2}{T_1}$, затраченных частицами на один оборот, если радиусы их траекторий одинаковы, отношение модулей индукций $\frac{B_2}{B_1} = 2$.




3. Если скорость заряженной частицы $\vec{\upsilon}$ направлена под углом $\alpha$ к вектору магнитной индукции $\vec{B}$, то заряженная частица движется по спирали.

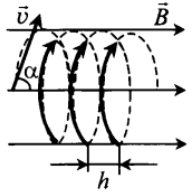
Радиус спирали: $R = \dfrac{m\upsilon \sin\alpha}{qB}$.

Шаг спирали $h = \dfrac{2\pi m\upsilon \cos\alpha}{qB}$.



Радиус спирали: $R = \frac{m\upsilon \sin\alpha}{qB}$.

Шаг спирали $h = \frac{2\pi m\upsilon \cos\alpha}{qB}$.




**Пример 4.**

*Дано:*

$\alpha$

$m$

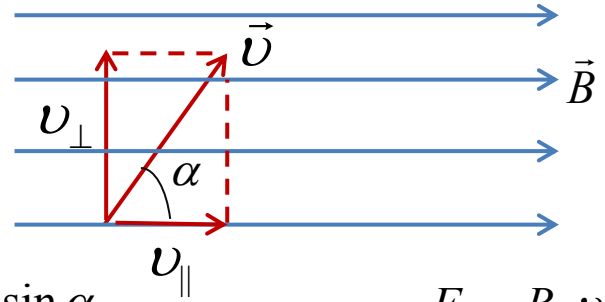
$\upsilon$

$B$

---

$R - ?$

$h - ?$




$\upsilon_\perp = \upsilon \cdot \sin\alpha$

$\upsilon_\parallel = \upsilon \cdot cos\alpha$

$F_л = B \cdot \upsilon \cdot q \sin\alpha$

$F_л = ma = \frac{m\upsilon^2}{R} = \frac{m \cdot \upsilon^2 \cdot q \sin^2\alpha}{R}$

$$R = \frac{m \cdot \upsilon \cdot \sin\alpha}{Bq}$$

$h = \upsilon_\parallel \cdot T$ $\quad T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\upsilon_\perp} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\upsilon \cdot \sin\alpha}$

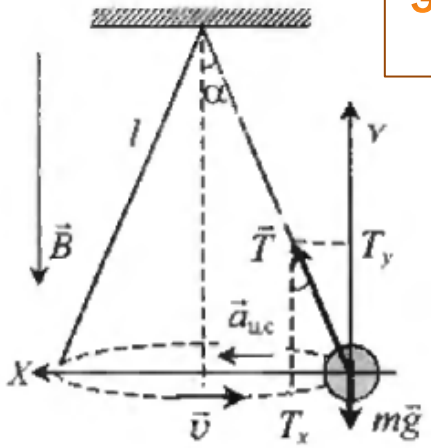
$$h = \upsilon \cdot \cos\alpha \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\upsilon \cdot \sin\alpha} = \upsilon \cdot \cos\alpha \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\upsilon \cdot \sin\alpha} \cdot \frac{m \cdot \upsilon \cdot \sin\alpha}{Bq}$$

$$h = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot \upsilon \cdot \cos\alpha}{Bq}$$

**Электромагнитные явления + механика (динамика)**

**Пример 5.** В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается в горизонтальной плоскости против часовой стрелки положительно заряженный шарик массой $m$, подвешенный на нити длиной $l$. Угол отклонения нити от вертикали $\alpha$, скорость движения шарика $\upsilon$. Найдите заряд шарика.

**Ответ:** $q = \dfrac{m}{B}\left(\dfrac{\upsilon}{l\sin\alpha} - \dfrac{g}{\upsilon}\operatorname{tg}\alpha\right)$




*Второй закон Ньютона в векторной форме:*

$$\vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_Л = m\vec{a}_{ц.с}$$

$$OX: T\sin\alpha \pm F_Л = ma_{ц.с.}$$

$$OY: T\cos\alpha - mg = 0$$

В данной задаче: $\vec{F}_Л \uparrow\uparrow OX$, т.е.

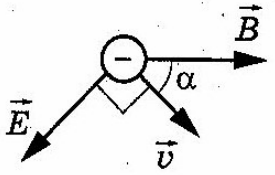
$$OX: T\sin\alpha + F_Л = ma_{ц.с.}$$

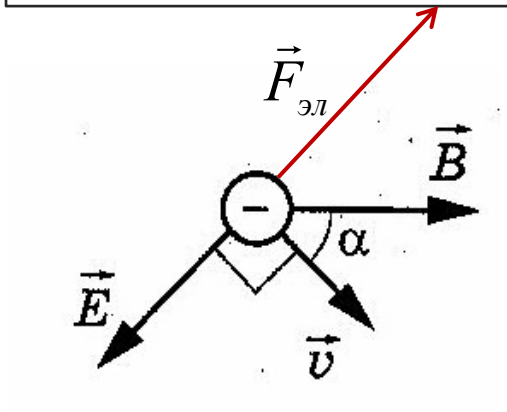
*Учтите:* $R = l\sin\alpha$

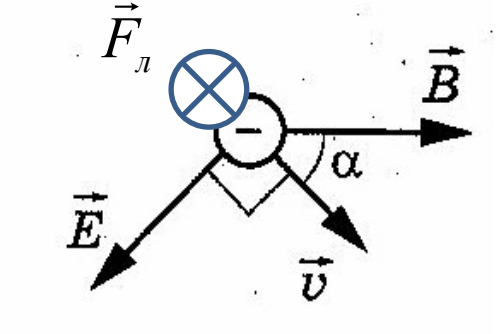
**Пример 6.**

**Электрические явления + магнитные явления**

Точечный отрицательный заряд $q = -1{,}5 \cdot 10^{-12}$ Кл движется в однородных электрическом и магнитном полях. Напряжённость электрического поля $E = 1200$ В/м; индукция магнитного поля $B = 0{,}03$ Тл. В некоторый момент времени скорость заряда равна по величине $v = 10^5$ м/с и лежит в плоскости векторов $\vec{B}$ и $\vec{E}$, при этом вектор $\vec{v}$ перпендикулярен вектору $\vec{E}$ и составляет с вектором $\vec{B}$ угол $\alpha = 45°$. Найдите величину результирующей силы, действующей на заряд со стороны электромагнитного поля в этот момент времени.



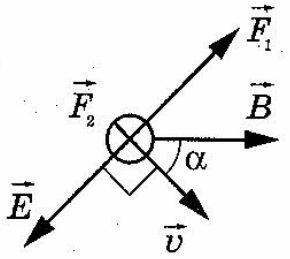



**Возможное решение**

Сила, действующая на заряд со стороны электрического поля, направлена противоположно вектору $\vec{E}$. Величина силы определяется формулой $F_1 = |q|E$.

Сила Лоренца, действующая на заряд со стороны магнитного поля, направлена по правилу левой руки перпендикулярно плоскости чертежа «от нас». Величина силы определяется формулой $F_2 = |q|vB\sin\alpha$. Величина результирующей силы $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$.




$$F = |q|\sqrt{E^2 + (vB\sin\alpha)^2} = 1{,}5 \cdot 10^{-12} \cdot \sqrt{1200^2 + \left(10^5 \cdot 0{,}03 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} \approx 3{,}7 \cdot 10^{-9} \text{ Н}.$$

**Ответ:** $F \approx 3{,}7 \cdot 10^{-9}$ Н.

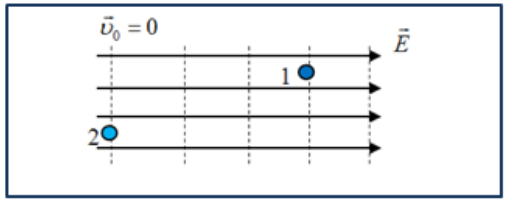
Электрические явления + магнитные явления

**Пример 7.**

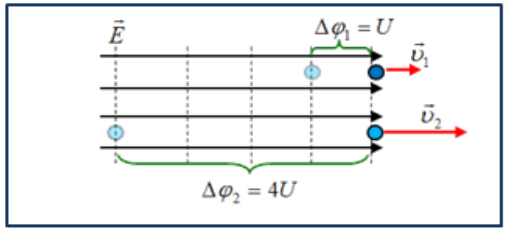
Два протона из состояния покоя начинают двигаться в электрическом поле: первый с разностью потенциалов $\Delta\varphi_1 = U$, второй - $\Delta\varphi_2 = 4U$. Движущиеся протоны попадают в однородное магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен скорости протонов. Во сколько раз различаются радиусы кривизны $\frac{R_2}{R_1}$ траекторий протонов в магнитном поле?

# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ С РАЗВЕРНУТЫМ РЕШЕНИЕМ.

Два протона из состояния покоя начинают двигаться в электрическом поле

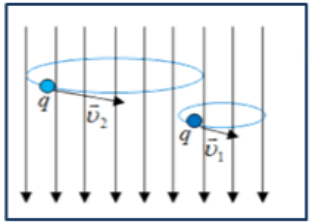


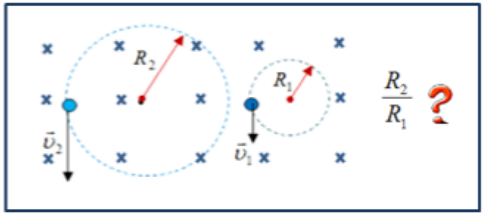

Два протона из состояния покоя начинают двигаться в электрическом поле: первый с разностью потенциалов $\Delta\varphi_1 = U$, второй - $\Delta\varphi_2 = 4U$.



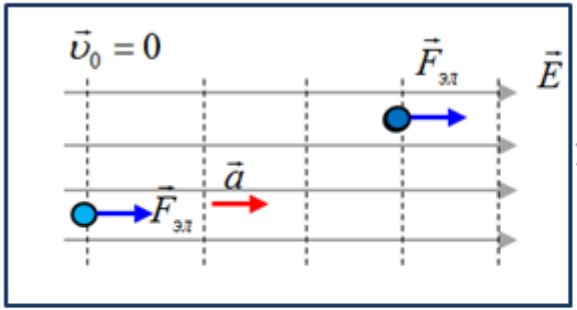

Движущиеся протоны попадают в однородное магнитное поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен скорости протонов.

Во сколько раз различаются радиусы кривизны траекторий протонов в магнитном поле?



# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ С РАЗВЕРНУТЫМ РЕШЕНИЕМ.

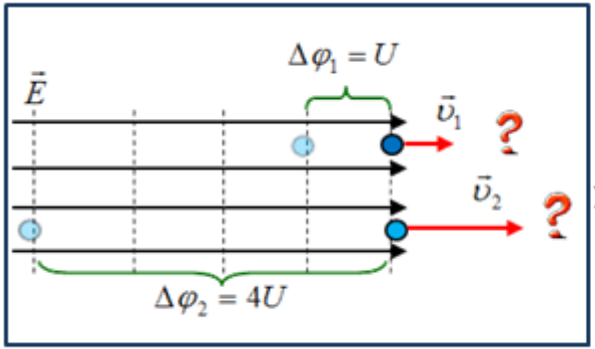



*1) Два протона из состояния покоя начинают двигаться в электрическом поле. Работа электрического поля по перемещению зарядов*

$A = \Delta\varphi \cdot q$ (1) $\quad A = \Delta W_{кин} = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$ (2)

*Приравняем (1) и (2)*

$$\Delta\varphi \cdot q = \frac{m\upsilon^2}{2} \longrightarrow \upsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta\varphi \cdot q}{m}}$$

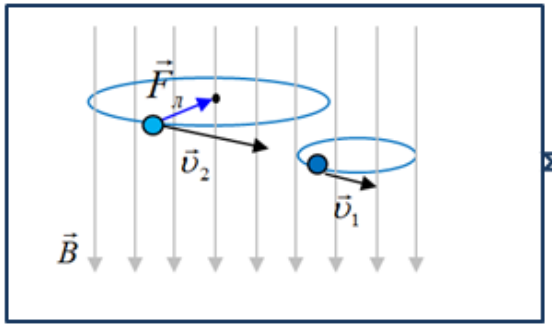



*Для 1 и 2 протона*

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot q}{m}} \qquad \upsilon_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 4U \cdot q}{m}}$$

*Найдем отношение* $\dfrac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = 2$

# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ С РАЗВЕРНУТЫМ РЕШЕНИЕМ.

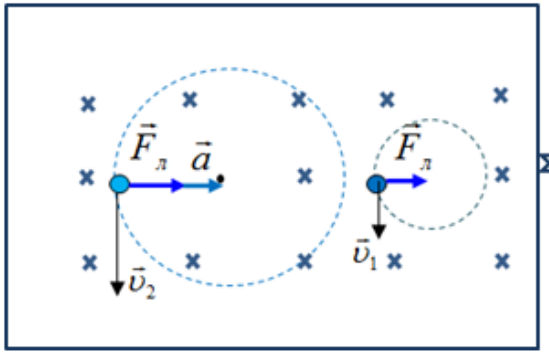



*На движущуюся заряженную частицу в магнитном поле действует сила Лоренца*

$F_л = Bq\upsilon$ (3) .

*По 2 закону Ньютона* $F_л = ma$ , *где* $a$ - *центростремительное ускорение*

$$F_л = m\frac{\upsilon^2}{R}(4)$$




*Приравняем (3) и (4)*

$$Bq\upsilon = m\frac{\upsilon^2}{R} \longrightarrow R = \frac{m\upsilon}{Bq}(5)$$

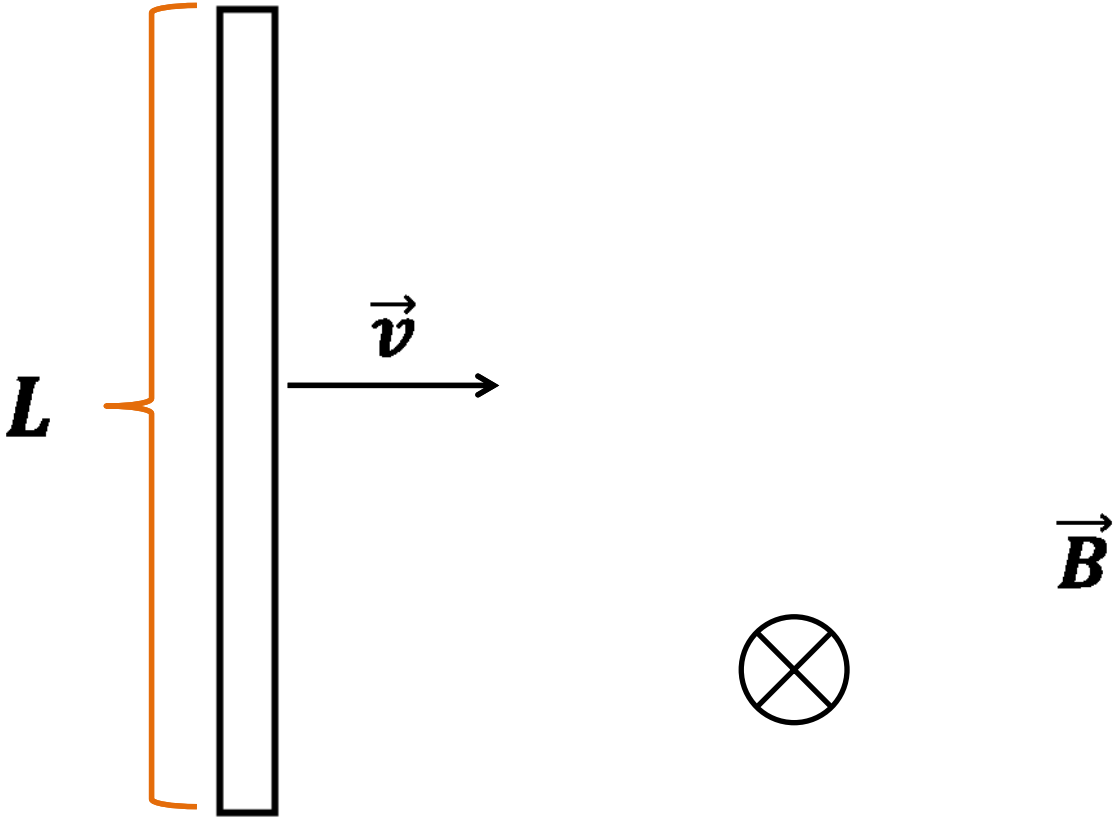
*Для 1 и 2-го протона*

$$R_1 = \frac{m\upsilon_1}{Bq} \qquad R_2 = \frac{m\upsilon_2}{Bq}$$

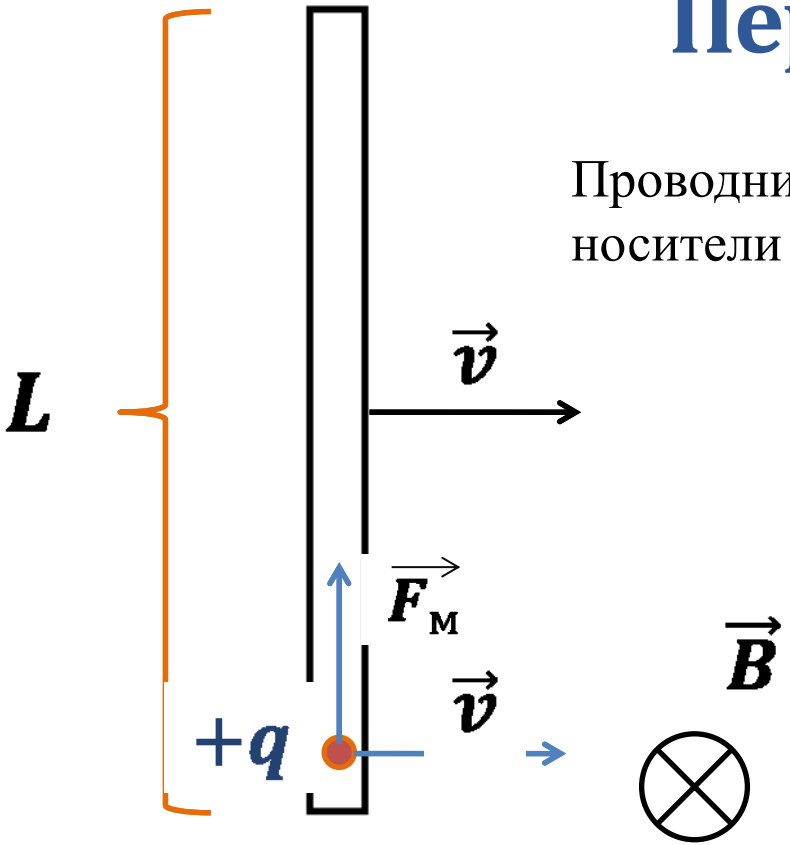
*Найдем отношение* $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{1}{2}$

*Ответ:* $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{2}$

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУЦИЯ



# Первый подход



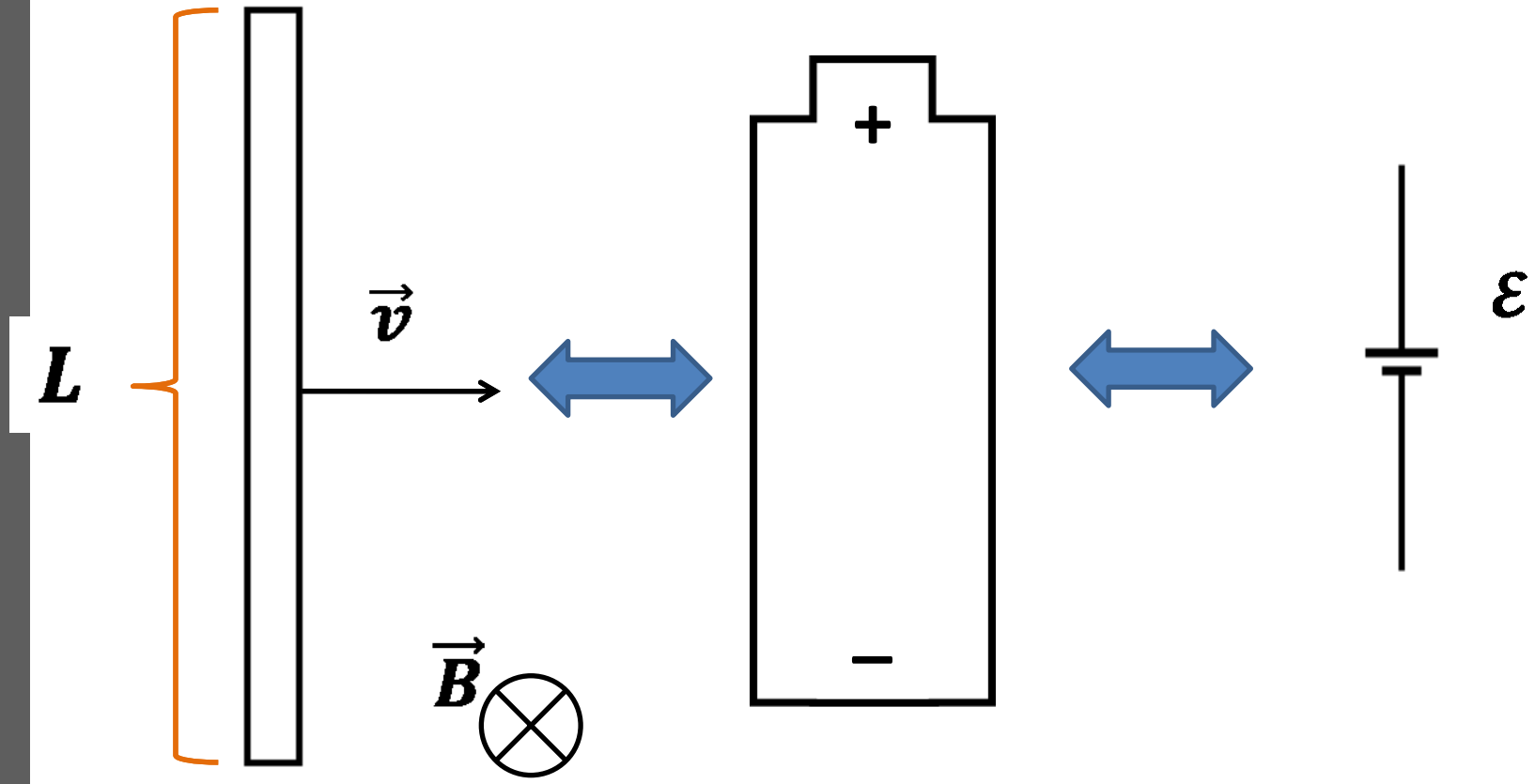

Проводник движется => Есть свободные носители заряда

$$F_м = qvB$$

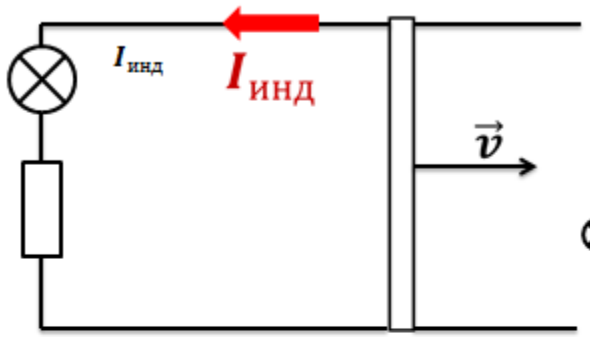
$$A_{ст} = F_м L$$

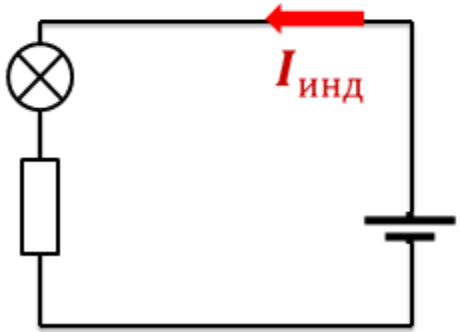
$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q} = vBL$$

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУЦИЯ



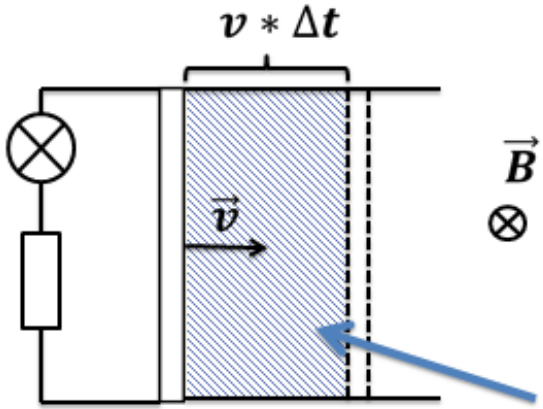
# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУЦИЯ




$$I_{инд} = \frac{\mathcal{E}}{R_{общ}} = \frac{vBL}{R_{общ}}$$

## Второй подход
## Закон электромагнитной индукции

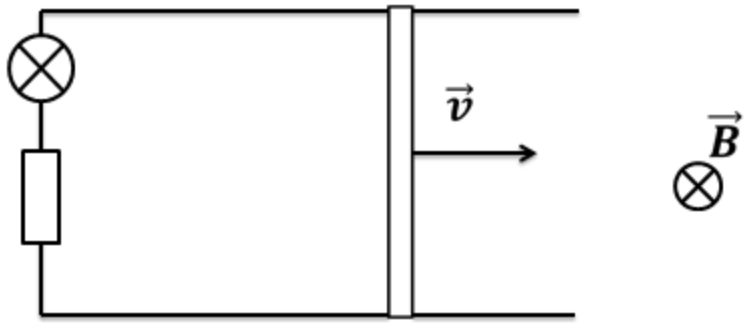



$$\Delta S = v * \Delta t * L$$

$$\Delta \Phi = B * \Delta S$$

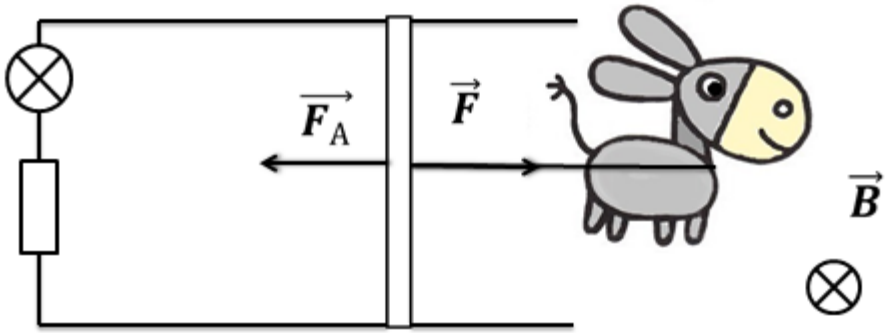
$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -v * B * L$$

# Что с энергией?




$$\frac{mv^2}{2} = Q_{\text{Дж}}$$

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУЦИЯ




**Электростанция**

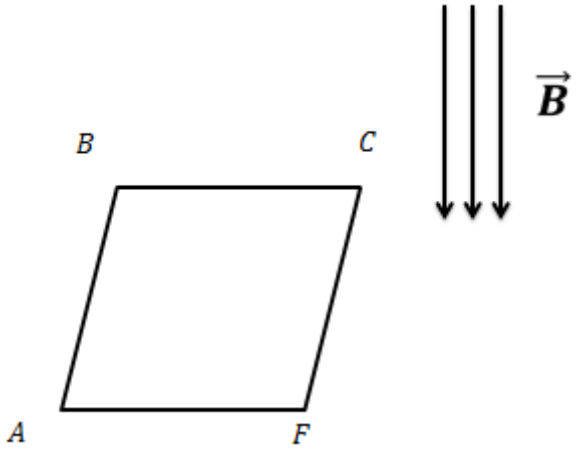
# Возможно применение обоих методов!

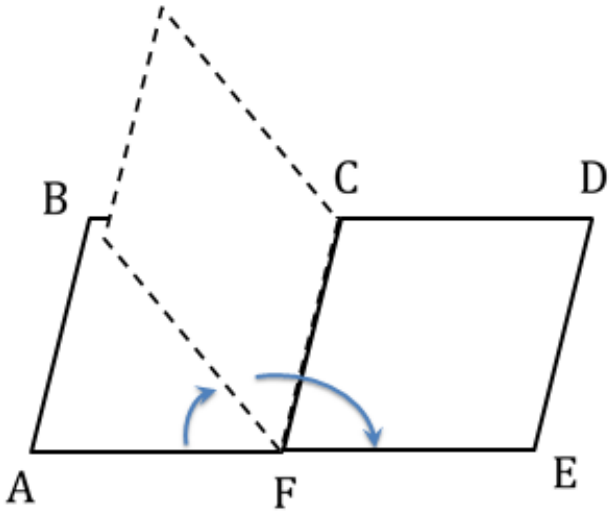
ЭДС индукции возникает при относительном движении проводника относительно магнитного поля (или поля относительно проводника)

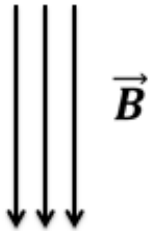
=> Выбор метода (первый или второй) зависит от нашего знания этого относительного движения.

**Пример 1.**

Плоская прямоугольная рамка из тонкого провода расположена в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. В начальный момент времени плоскость рамки перпендикулярна магнитным линиям. Площадь поверхности, ограниченной рамкой, равна $S$. Общее сопротивление провода рамки равно $R$. Рамку медленно поворачивают вокруг одной из её сторон на 180°. Определите заряд $q$, который протечёт через поперечное сечение провода рамки в результате её поворота.

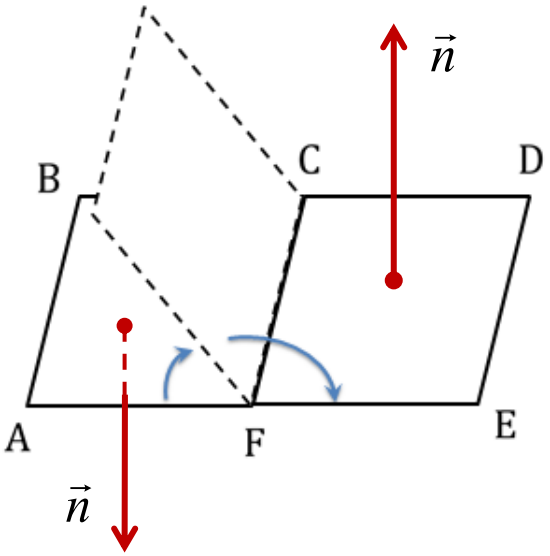


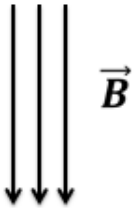



$$R_{AB} = R_{BC} = R_{CD} = R_{DE} = R_{EF} = R_{FA} = R_{CF} = R$$

$$q_{CF} = ?$$




$$\Phi_н = B * S$$

$$\Phi_к = -B * S$$

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{общ}}$$

$$\Delta q = I * \Delta t = \frac{\mathcal{E}}{R_{общ}} * \Delta t = -\frac{\Delta\Phi}{R_{общ}}$$

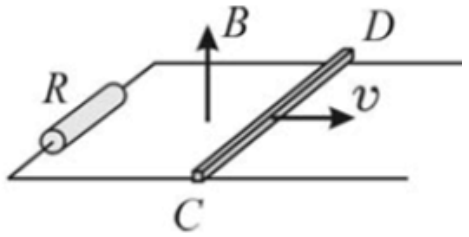
$$q = -\frac{\Phi_к - \Phi_н}{R_{общ}} = \frac{2BS}{R_{общ}}$$

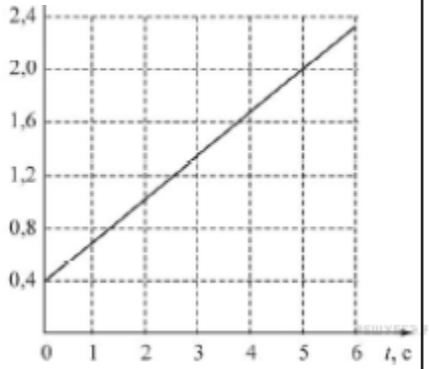
$$q_{CF} = \frac{3}{4}q = \frac{3BS}{2R_{общ}}$$

# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ НА ВЫБОР ДВУХ УТВЕРЖДЕНИЙ ИЗ ПЯТИ.

**Пример 2.**

Медная перемычка в момент времени $t_0 = 0$ с начинает двигаться со скоростью 2 м/с по параллельным горизонтальным проводящим рельсам, к концам которых подсоединён резистор сопротивлением 10 Ом (см. рисунок). Вся система находится в вертикальном однородном магнитном поле. Сопротивление перемычки и рельсов пренебрежимо мало, перемычка всё время расположена перпендикулярно рельсам. Поток Ф вектора магнитной индукции через контур, образованный перемычкой, рельсами и резистором, изменяется с течением времени $t$ так, как показано на графике.




Используя график, выберите два верных утверждения и укажите в ответе их номера.

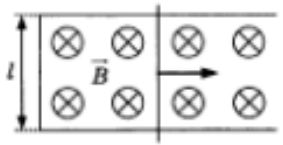
1) К моменту времени t = 5 с изменение магнитного потока через контур равно 1,6 Вб.
2) Модуль ЭДС индукции, возникающей в контуре, равен 0,32 В.
3) Индукционный ток в перемычке течёт в направлении от точки $C$ к точке $D$.
4) Сила индукционного тока, текущего в перемычке, равна 64 мА.
5) Для поддержания движения перемычки к ней прикладывают силу, проекция которой на направление рельсов равна 0,2 мН.

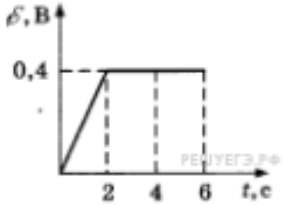
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha \qquad \varepsilon = \left|\frac{\Delta\Phi}{t}\right| \qquad I = \frac{\varepsilon}{R}$$

# ЕГЭ. ЗАДАНИЯ НА ВЫБОР ДВУХ УТВЕРЖДЕНИЙ ИЗ ПЯТИ.

## Пример 3.

По П-образному проводнику, находящемуся в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости проводника, скользит проводящая перемычка (см. рисунок). На графике приведена зависимость ЭДС индукции, возникающей в перемычке при ее движении в магнитном поле. Пренебрегая сопротивлением проводника, выберите два верных утверждения о результатах этого опыта. Известно, что модуль индукции магнитного поля равен $B = 0{,}4$ Тл, длина проводника $l = 0{,}1$ м.



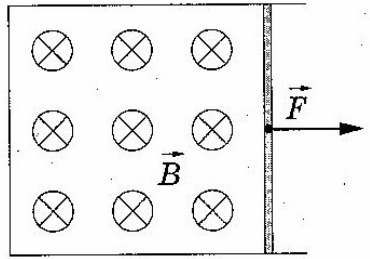

1) Проводник все время двигался с одинаковой скоростью.
2) Через 2 с проводник остановился.
3) В момент времени 4 с скорость проводника была равна 10 м/с.
4) Первые 2 с сила тока в проводнике увеличивалась.
5) Через 2 с проводник начал двигаться в противоположную сторону.

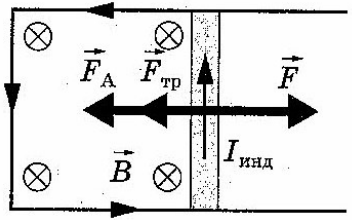
$$F_л = B \cdot \upsilon \cdot q \sin\alpha \qquad \Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha \qquad \varepsilon = \left|\frac{\Delta\Phi}{t}\right| \qquad I = \frac{\varepsilon}{R}$$

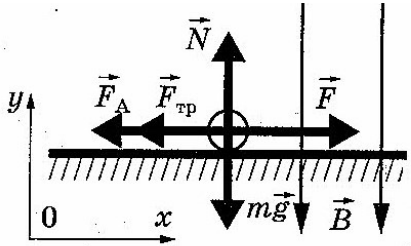
**Пример 4.**

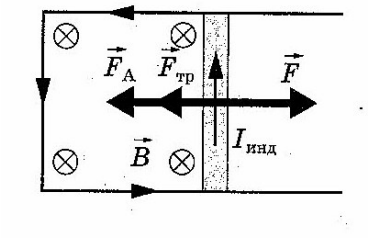
**Электромагнитные явления + механика (динамика)**

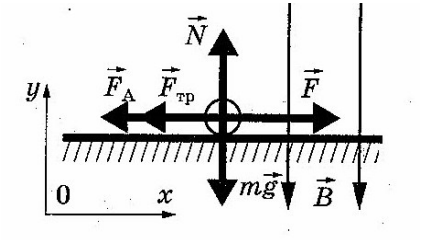
Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплён в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. С какой установившейся скоростью будет двигаться перемычка, если к ней приложить постоянную горизонтальную силу $F$ = 1,13 Н? Коэффициент трения между стержнем и перемычкой равен 0,25. Сопротивлением стержня пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на перемычку.






При движении перемычки в однородном магнитном поле на её концах возникает ЭДС электромагнитной индукции: $\mathscr{E} = BVl$, где $B$ — индукция магнитного поля; $V$ и $l$ – соответственно скорость и длина перемычки.

Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток: $I_{инд} = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{BVl}{R}$, где $R$ — сопротивление перемычки. Поскольку скорость перемычки постоянна, то ЭДС и индукционный ток также будут постоянными. Согласно правилу Ленца индукционный ток, возникающий в контуре, будет направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать увеличению магнитного потока при движении перемычки, т.е. против часовой стрелки (см. рисунок). Благодаря появлению индукционного тока на перемычку со стороны магнитного поля начнёт действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону: $F_A = I_{инд} Bl = \frac{B^2 l^2 V}{R}$.

На перемычку действуют пять сил: сила тяжести $m\vec{g}$, нормальная составляющая силы реакции опоры $\vec{N}$, сила трения $\vec{F}_{тр}$, сила Ампера $\vec{F}_A$ и сила $\vec{F}$, приложенная к перемычке (см. рисунок). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому её ускорение равно нулю.

Второй закон Ньютона в проекциях на оси системы координат, показанной на рисунке, имеет вид: $Ox$: $0 = F - F_{тр} - F_A$; $Oy$: $0 = N - mg$.

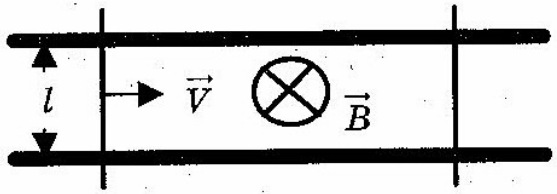
Сила трения скольжения $F_{тр} = \mu N = \mu mg$. В итоге получаем:

$$V = \frac{(F - \mu mg)R}{(Bl)^2} = \frac{(1{,}13 - 0{,}25 \cdot 0{,}092 \cdot 10) \cdot 0{,}1}{(0{,}15 \cdot 1)^2} = 4 \text{ м/с}.$$

**Ответ:** $V = 4$ м/с.

**Пример 5.**

Два параллельных друг другу рельса, лежащих в горизонтальной плоскости, находятся в однородном магнитном поле, индукция $\vec{B}$ которого направлена вертикально вниз (см. рисунок, вид сверху). На рельсах находятся два одинаковых проводника. Левый проводник движется вправо со скоростью $\vec{V}$, а правый — покоится. С какой скоростью $\vec{v}$ надо перемещать правый проводник направо, чтобы в два раза увеличить силу Ампера, действующую на левый проводник? (Сопротивлением рельсов пренебречь.)



Когда правый проводник покоится, на левый действует сила Ампера $F = IBl$, где $I = \frac{\mathscr{E}}{R}$ — индукционный ток, $R$ — сопротивление цепи, $l$ — расстояние между рельсами.

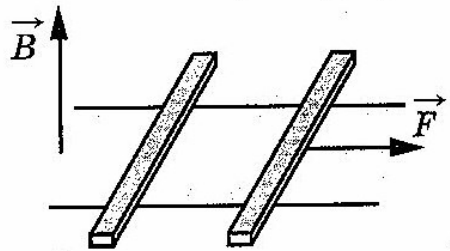
ЭДС индукции $\mathscr{E} = -B\frac{\Delta S}{\Delta t} = -B\upsilon_{\text{отн}}l$, где $\upsilon_{\text{отн}}$ — относительная скорость движения проводников.

Поскольку силу Ампера надо увеличить в два раза, ЭДС индукции в контуре надо тоже увеличить в два раза. Отсюда следует, что скорость правого проводника должна быть равна $\upsilon = 3V$.

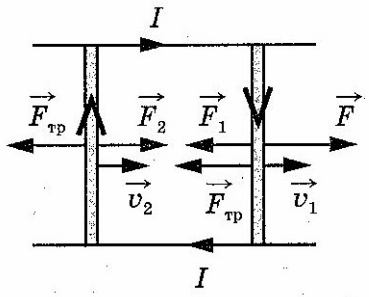
*Ответ:* $\upsilon = 3V$.

**Пример 6.**

По горизонтально расположенным проводящим шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 50$ г и сопротивлением $R = 0{,}3$ Ом каждый. Расстояние между рельсами $l = 15$ см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами $\mu = 0{,}15$. Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.



При движении стержней с разными скоростями изменение потока вектора магнитной индукции, пронизывающего контур, за промежуток времени $\Delta t$ определяется по формуле $\Delta\Phi = Bl(v_1 - v_2)\Delta t = Blv_{отн}\Delta t$, что приводит к возникновению в контуре ЭДС индукции. Согласно закону Фарадея $\mathscr{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv_{отн}$.




Здесь мы пренебрегли самоиндукцией контура.

В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи в контуре появился ток

$$I = \frac{|\mathscr{E}|}{2R} = \frac{Blv_{отн}}{2R}.$$

На проводники с током в магнитном поле действуют силы Ампера $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, $F_1 = F_2 = IBl$, как показано на рисунке. Кроме этих сил, на каждый стержень действует тормозящая сила трения, $F_{тр} = \mu mg$.

Так как стержни движутся равномерно, сумма сил, приложенных к каждому стержню, равна нулю. На второй стержень действуют только сила Ампера $F_2$ и сила трения, поэтому $\dfrac{(Bl)^2 v_{отн}}{2R} = \mu mg$. Отсюда относительная скорость:

$$v_{отн} = \frac{2\mu mgR}{(Bl)^2} = \frac{2 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}05 \cdot 10 \cdot 0{,}3}{(1 \cdot 0{,}15)^2} = 2 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{отн} = 2$ м/с.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

*Панченко Марина Николаевна,*
*учитель физики МБОУ «Гимназия №36»*
*методист по физике МКУ «Информационно-аналитический центра образования» г. Ростова-на-Дону.*
*(u-235_u-238@mail.ru)*