

Решение задачи №29 ЕГЭ (электродинамика)

МБОУ СТШ

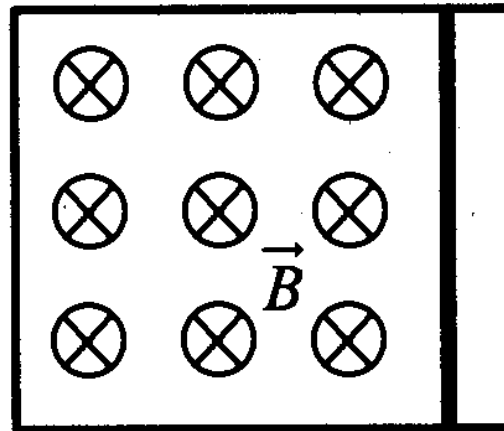
Учитель физики:

Мальгина Галина Васильевна

Декабрь 2022г.

Задача 1

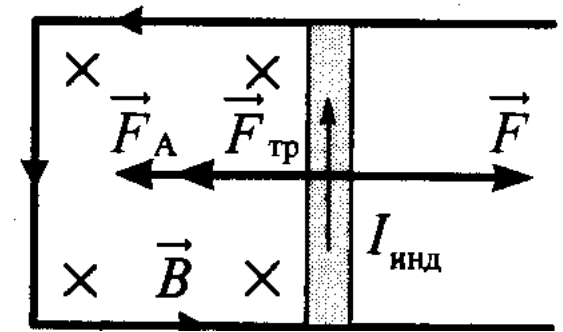
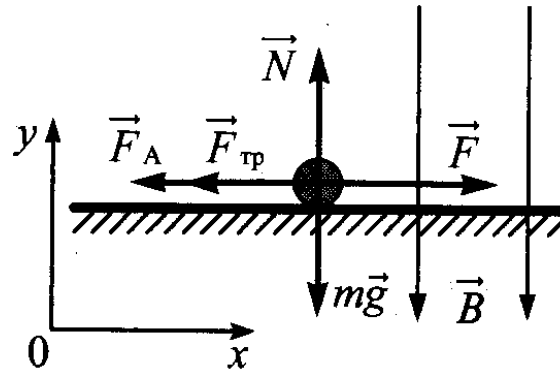
Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплен в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная переключка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление переключки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией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



Дано:
 $m=92\text{г}$
 $L=1\text{м}$
 $R=0,10\text{Ом}$
 $B=0,15\text{Тл}$
 $F=1,13\text{Н}$
 $\mu=0,25$

СИ:
 $92 \cdot 10^{-3}\text{кг}$

Решение:



Найти:
 V -?

При движении перемычки в однородном магнитном поле на ее концах возникает ЭДС электромагнитной индукции.

Согласно закону электромагнитной индукции:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -B \cdot v \cdot l \sin \alpha$$

$\Delta\Phi$ -изменение магнитного потока за время Δt

B -индукция магнитного поля

v, l -скорость и длина перемычки соответственно

$\alpha = 90^\circ$ -угол между индукцией и скоростью проводника

Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток:

$$I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{B \cdot v \cdot l}{R}$$

R -сопротивление перемычки

Поскольку скорость переключки постоянна, то ЭДС и индукционный ток тоже постоянны. Согласно правилу Ленца индукционный ток, возникающий в контуре, будет направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать увеличению магнитного потока при движении переключки (площадь поверхности, ограниченная контуром увеличивается). Вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля направлен к наблюдателю. Значит вектор магнитной индукции магнитного поля, созданного индукционным током направлен от наблюдателя. По правилу буравчика направление индукционного тока против часовой стрелки. По правилу левой руки сила Ампера влево. Согласно закону Ампера:

$$F_a = BIl \sin \beta \quad \beta \text{ - угол между индукцией и проводником}$$

$$\beta = 90^\circ$$

$$F_a = BIl \Rightarrow F_a = \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

На переключку действуют силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры \vec{N} , сила трения \vec{F}_{mp} , сила Ампера \vec{F}_a , сила приложенная к переключке \vec{F} .

Переключка движется с постоянной скоростью, поэтому её ускорение равно 0. Запишем второй закон Ньютона в проекции на оси Ox и Oy:

$$Ox: 0 = F - F_{mp} - F_a$$

$$Oy: 0 = N - mg$$

Сила трения скольжения $F_{mp} = \mu N = \mu mg$

$$F_a = F - F_{mp} = F - \mu mg$$

$$F - \mu mg = \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

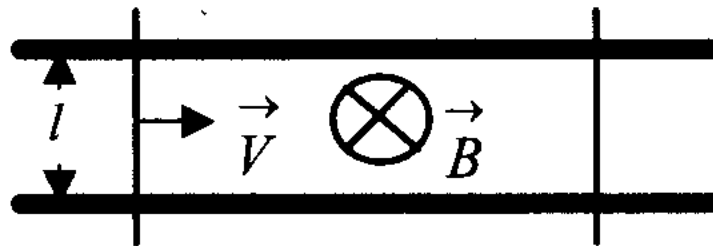
$$v = \frac{R(F - \mu mg)}{B^2 l^2}$$

$$v = \frac{0,10 \text{ М} (1,13 \text{ Н} - 0,25 \cdot 92 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2})}{(0,15 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м})^2} = 4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Ответ: $4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$

Задача 2

Два параллельных друг другу рельса, лежащих в горизонтальной плоскости, находятся в однородном магнитном поле, индукция \vec{B} которого направлена вертикально вниз (см. рис.). Левый проводник движется вправо со скоростью \vec{V} , а правый — покоится. С какой скоростью \vec{v} надо перемещать правый проводник (такой же), чтобы в три раза уменьшить силу Ампера, действующую на левый проводник? (Сопротивлением рельсов пренебречь.)



Дано:
V

$$F_{a2} = \frac{F_{a1}}{3}$$

Найти:
V

Решение:

Когда правый проводник покоится, на левый действует сила Ампера

$$F_a = BIl \sin \alpha$$

α -угол между проводником и индукцией магнитного поля \vec{B} , $\alpha = 90^\circ$

Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает

индукционный ток $I = \frac{\varepsilon}{R}$, ε – ЭДС индукции, R- сопротивление цепи,

l-расстояние между рельсами.

$$F_a = \frac{Bl\varepsilon}{R}$$

Согласно закону электромагнитной индукции $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

$\Delta\Phi$ -изменение магнитного потока за время Δt

Согласно определению

$\Delta\Phi = B\Delta S \cos \beta$, $\beta = 0^\circ$ -угол между \vec{B} и нормалью к поверхности

$$\varepsilon = -\frac{B\Delta S}{\Delta t}$$
$$F_a = -\frac{B^2 l}{R} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Силу Ампера надо уменьшить в 3 раза. Значит скорость изменения площади, ограниченной контуром, $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ так же должна уменьшится в 3 раза. Следовательно правый проводник, как и левый, должен двигаться вправо.

Сила Ампера прямо пропорциональна ЭДС. ЭДС движущегося проводника:

$$\varepsilon = B v_{отн} l \sin \alpha$$

ЭДС прямо пропорциональна $v_{отн}$

При уменьшении силы Ампера в 3 раза, относительная скорость $v_{отн}$ уменьшится в 3 раза

$$\frac{V}{3} = V - v$$

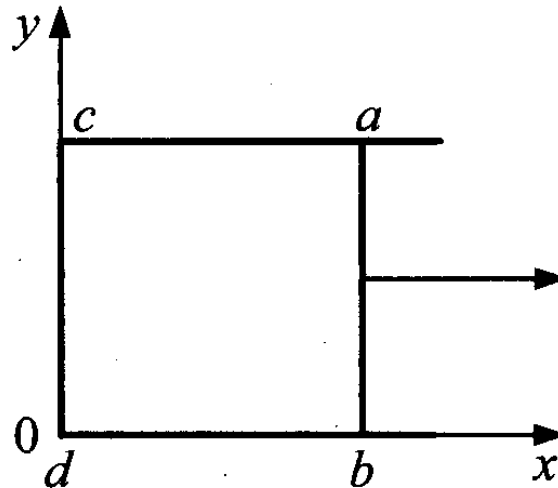
$$v = V - \frac{V}{3}$$

$$v = \frac{2}{3}V$$

$$\text{Ответ: } \frac{2}{3}V$$

Задача 3

По П-образному проводнику $acdb$ постоянного сечения скользит со скоростью \vec{v} медная перемычка ab длиной l из того же материала и такого же сечения. Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников (см. рис.). Какова индукция магнитного поля B , если в тот момент, когда $ab = ac$, разность потенциалов между точками a и b равна U ? Сопротивление между проводниками в точках контакта пренебрежимо мало, а сопротивление проводов велико.



Дано:

Решение:

v

$$ab = ac = l$$

U

При движении перемычки в магнитном поле на ее концах возникает ЭДС электромагнитной индукции. Согласно закону электромагнитной индукции:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv \sin \alpha$$

Найти:

B -?

B -индукция магнитного поля

$\Delta\Phi$ - изменение магнитного потока за время Δt

Угол α между \vec{B} и \vec{v} ; $\alpha=90^\circ$, $\sin 90^\circ=1$

Запишем закон Ома для замкнутой цепи $abcd$:

$$I = \frac{|\varepsilon|}{4R}$$

Где R - сопротивление перемычки ab и каждой стороны P образного проводника так как из одинакового материала и сечения. I - сила тока в цепи.

$$I = \frac{\varepsilon}{3R + R}; \quad \varepsilon = I3R + IR$$

Напряжение во внешней цепи:

$$U = I3R \Rightarrow IR = \frac{U}{3}$$

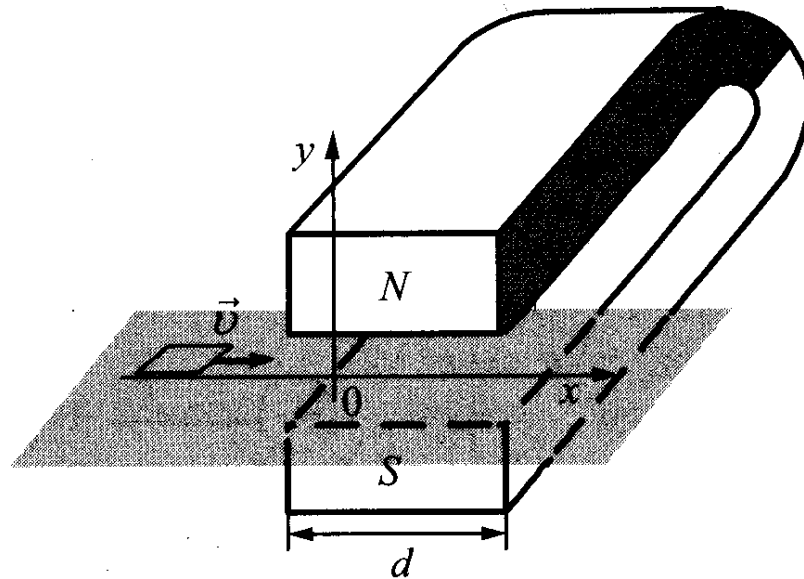
$$\varepsilon = U + IR; \quad U = \varepsilon - IR; \quad U = \varepsilon - \frac{U}{3};$$

$$\varepsilon = \frac{4}{3}U; \quad Blv = \frac{4}{3}U; \quad B = \frac{4U}{3lv}.$$

$$\text{Ответ: } B = \frac{4U}{3lv}.$$

Задача 4

Квадратную рамку из медной проволоки со стороной $b = 5$ см перемещают вдоль оси Ox по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу F , направленную вдоль оси Ox . Чему равно сопротивление проволоки рамки, если суммарная работа внешней силы за время движения $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж? Ширина полюсов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция $B = 1$ Тл.



Дано:

СИ:

Решение:

$$b = 5 \text{ см}$$

$$0,05 \text{ м}$$

$$v = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$A = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$d = 20 \text{ см}$$

$$0,2 \text{ м}$$

$$B = 1 \text{ Тл}$$

Найти:

R-?

При пересечении рамкой границы области поля со скоростью v изменяющийся магнитный поток создает ЭДС индукции согласно закону электромагнитной индукции:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Bvl \sin \alpha$$

B -индукция магнитного поля

$\Delta\Phi$ - изменение магнитного потока за время Δt

Угол α между \vec{B} и \vec{v} ; $\alpha=90^\circ$, $\sin 90^\circ=1$

Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток

$$I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{Bvl}{R} \quad R\text{-сопротивление проволоки рамки}$$

Со стороны магнитного поля на рамку с током действует сила Ампера.

Согласно закону Ампера: $F_a = Blb \sin \alpha$

$\alpha = 90^\circ$ между \vec{B} и проводником

$$F_a = \frac{B^2 b^2 v}{R}$$

Так как скорость рамки постоянная, то согласно второму закону Ньютона внешняя сила $F = F_a$

Ток течет в рамке только во время изменения магнитного потока, т.е при входе в пространство между полюсами и при выходе. За это время рамка перемещается на расстояние $x=2b$, а приложенная внешняя сила совершает работу:

$$A = Fx = 2bF.$$

$$A = 2b \frac{vb^3 B^2}{R};$$

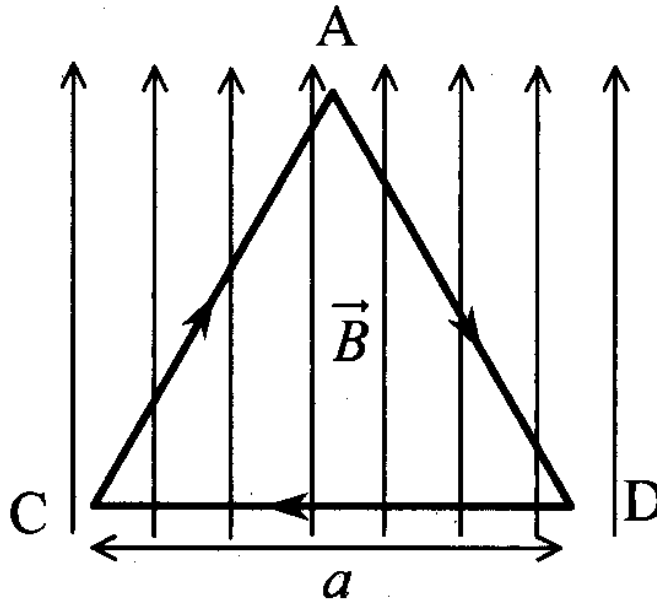
$$R = \frac{2vb^3 B^2}{A}$$

$$R = \frac{2 \cdot 1 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot (5 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2 \cdot (1 \text{ Тл})^2}{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}} = 0,1 \text{ Ом}$$

Ответ : 0,1 Ом

Задача 5

На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жесткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в виде равностороннего треугольника ADC со стороной, равной a (см. рис.). Рамка, по которой течет ток I , находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции которого \vec{B} перпендикулярен стороне CD . Каким должен быть модуль индукции магнитного поля, чтобы рамка начала поворачиваться вокруг стороны CD , если масса рамки m ?



Дано: Решение:

l
a
m

По рамке течет ток. Со стороны магнитного поля на стороны рамки действует сила Ампера.

На сторону AC: $F_{a1} = B l a \sin \alpha$

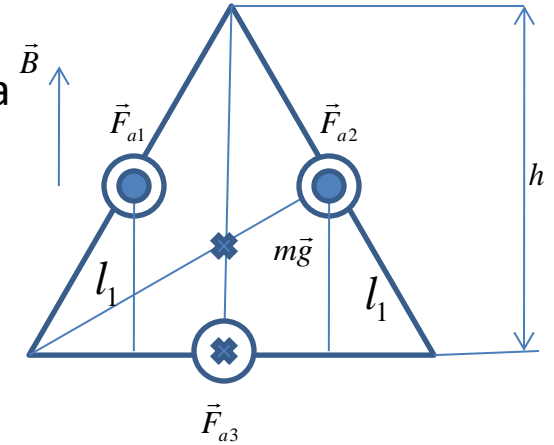
Найти:
B-?

B- индукция магнитного поля. Угол $\alpha = 30^\circ$ между \vec{B} и направлением тока I.

$$F_{a1} = \frac{B l a}{2}$$

На сторону AD: $F_{a2} = B l a \sin 150^\circ = \frac{B l a}{2}$

На сторону CD: $F_{a3} = B l a \sin 90^\circ = B l a$



Чтобы рамка начала поворачиваться, надо чтобы суммарный момент сил относительно оси CD: $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \geq 0$

Момент силы F_{a1} $M_1 = F_{a1} l_1$ l_1 — плечо силы F_{a1}

$$l_1 = \frac{a}{2} \sin 60^\circ = \frac{a}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{a\sqrt{3}}{4}$$

$$M_1 = \frac{B l a}{2} \frac{a\sqrt{3}}{4} = \frac{B l a^2 \sqrt{3}}{8}$$

Момент силы F_{a2}

$$M_2 = F_{a2} l_1 = \frac{B l a^2 \sqrt{3}}{8}$$

Момент силы F_{a3}

$M_3 = -mg \frac{1}{3} h$ $\frac{1}{3} h$ - плечо силы тяжести согласно теоремы Пифагора

$$h = \sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{3}{4}a^2} = \frac{a\sqrt{3}}{2}$$

$$M_3 = -mg \frac{1}{3} \frac{a\sqrt{3}}{2} = -mg \frac{a}{2\sqrt{3}}$$

$$\frac{BIa^2 \sqrt{3}}{8} - mg \frac{a}{2\sqrt{3}} \geq 0$$

$$\frac{BIa\sqrt{3}}{2} - \frac{mg}{\sqrt{3}} \geq 0$$

$$\frac{\sqrt{3}BIa}{2} \geq \frac{mg}{\sqrt{3}}$$

$$B \geq \frac{2mg}{3Ia}$$

Допускается ответ в виде равенства

$$\text{Ответ : } B \geq \frac{2mg}{3Ia}$$

Задача 6

Замкнутый контур площадью S из тонкой проволоки помещен в магнитное поле. Плоскость контура перпендикулярна вектору магнитной индукции поля. В контуре возникают колебания тока с амплитудой $i_M = 35$ мА, если магнитная индукция поля меняется с течением времени в соответствии с формулой $B = a \cos(bt)$, где $a = 6 \cdot 10^{-3}$ Тл, $b = 3500$ с⁻¹. Электрическое сопротивление контура $R = 1,2$ Ом. Чему равна площадь контура?

Дано:

$$i_m = 5 \text{ мА}$$

$$B = a \cos(bt)$$

$$a = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$b = 3500 \text{ с}^{-1}$$

$$R = 1,2 \text{ Ом}$$

Найти:

S-?

СИ:

$$35 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Решение:

При изменении пронизывающего контур магнитного поля в проводящем контуре возникает ЭДС электромагнитной индукции, а соответственно, и индукционный ток.

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока сквозь контур: $\mathcal{E} = -\Phi'$

Магнитный поток согласно определению:

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad \alpha = 0^\circ - \text{угол между } \vec{B} \text{ и нормалью к поверхности}$$

$$\Phi = BS, S - \text{площадь контура}$$

$$\mathcal{E} = -(BS)' = -SB'$$

Согласно закону Ома для полной цепи сила тока

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{SB'}{R} = -\frac{S}{R} (a \cos(bt))'$$

$$i = \frac{S}{R} ab \sin(bt)$$

Амплитуда колебаний силы тока

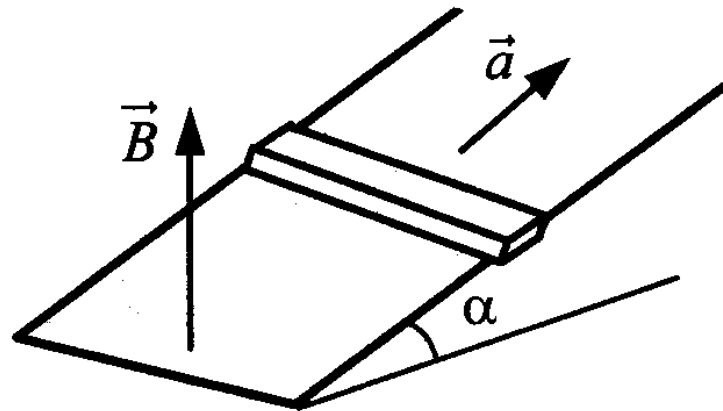
$$i_m = \frac{S_{ab}}{R}; \quad S = \frac{i_m R}{ab}$$

$$S = \frac{35 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 1,2 \text{ Ом}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 3500 \text{ с}^{-1}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Ответ: $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$

Задача 7

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 . Угол наклона плоскости $\alpha = 30^\circ$. Отношение массы стержня к его длине $\frac{m}{L} = 0,1$ кг/м. Модуль индукции магнитного поля $B = 0,2$ Тл. Ускорение стержня $a = 1,9$ м /с². Чему равна сила тока в стержне?



Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\frac{m}{L} = 0,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$a = 1,9 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Найти:

I - ?

Решение:

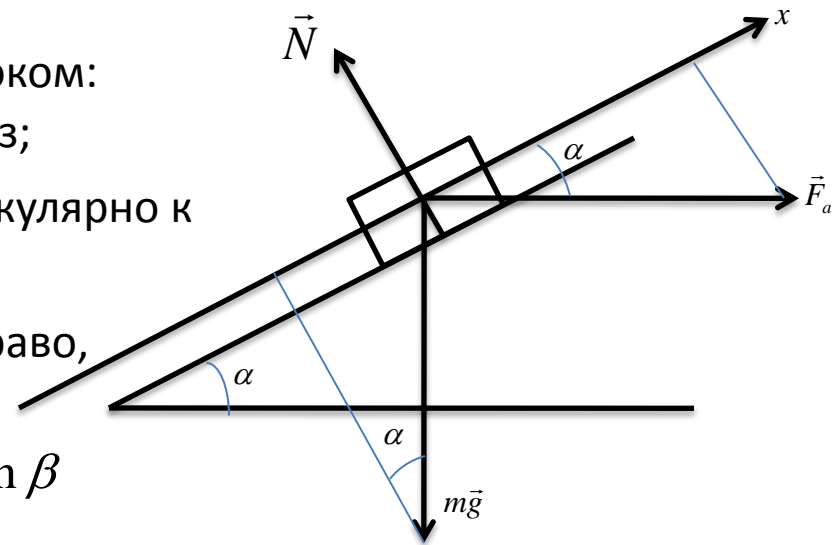
Силы действующие на стержень с током:

$m\vec{g}$ - сила тяжести, вертикально вниз;

\vec{N} - сила реакции опоры, перпендикулярно к наклонной плоскости ;

\vec{F}_a - сила Ампера, горизонтально вправо, что вытекает из условия задачи.

Согласно закону Ампера $F_a = BIL \sin \beta$



L - длина стержня, угол $\beta = 90^\circ$ между \vec{B} и проводником, I - сила индукционного тока. $F_a = BIL$

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на ось Ox :

$$Ox: \quad ma = F_a \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

m - масса стержня

$$ma + mg \sin \alpha = BIL \cos \alpha$$

$$I = \frac{m (a + g \sin \alpha)}{L B \cos \alpha}$$

$$I = 0,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}} \frac{\left(1,9 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \frac{1}{2} \right)}{0,2 \text{ Тл} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 4 \text{ А}$$

Ответ: $\approx 4 \text{ А}$