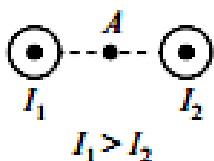


Темы: магнитное поле, его действие на заряды и токи, явление электромагнитной индукции.

Задача 1 (2 балла) [магнитное поле, магнитная индукция]

На рисунке показаны сечения двух параллельных длинных прямых проводников и направления токов в них. Сила тока I_1 в первом проводнике больше, чем сила тока I_2 во втором. Куда направлен относительно рисунка вектор индукции магнитного поля этих проводников $\vec{B}$ в точке А, расположенный точно посередине между этими проводниками? Выберите правильный вариант ответа и укажите его номер в качестве ответа.



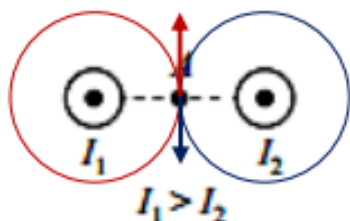
- 1) вправо;
- 2) влево;
- 3) вниз;
- 4) вверх;
- 5) на наблюдателя;
- 6) от наблюдателя.

Подсказка 1: При взгляде на рисунок линии магнитной индукции полей, создаваемых каждым из проводников – окружности с центром на оси проводника, которые обходятся против часовой стрелки.

Подсказка 2: Точка А находится точно посередине между проводниками, а сила тока I_1 в первом проводнике больше, чем сила тока I_2 во втором. Значит, величина индукции поля, создаваемого в точке А первым проводником, больше, чем у поля второго проводника в этой же точке: $|\vec{B}_1| > |\vec{B}_2|$.

Решение:

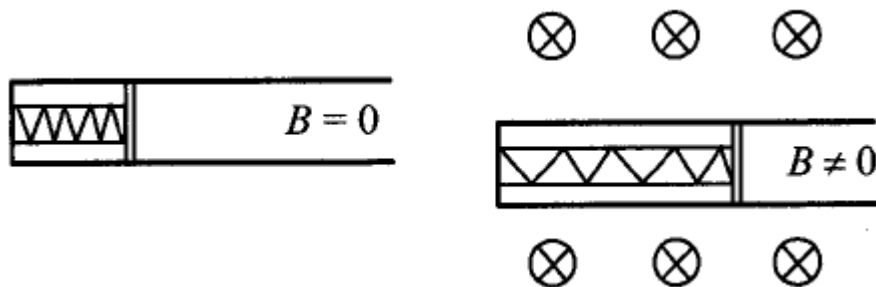
При взгляде на рисунок линии магнитной индукции полей, создаваемых каждым из проводников – окружности с центром на оси проводника, которые обходятся против часовой стрелки. Поэтому в точке А вектор индукции поля первого проводника $\vec{B}_1$ направлен вверх, а вектор индукции второго $\vec{B}_2$ – вниз. Точка А находится точно посередине между проводниками, а сила тока I_1 в первом проводнике больше, чем сила тока I_2 во втором. Значит, $|\vec{B}_1| > |\vec{B}_2|$. Согласно принципу суперпозиции, $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. Следовательно, результирующий вектор магнитной индукции направлен вверх относительно рисунка.



Ответ: 4.

Задача 2 (2 балла) [магнитное поле, сила Ампера, равновесие проводника]

Свободно перемещающийся по проводящей рамке проводник с током через изолятор прикреплен к пружине жесткостью 25 Н/м (см. рисунок). Длина проводника 40 см, и по нему течет ток с силой 5 А. При включении однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рамки, пружина растянулась. Определите величину деформации пружины, если величина индукции магнитного поля равна 0,5 Тл. Ответ приведите в сантиметрах.



Подсказка 1: На проводник действуют сила Ампера F_A и сила упругости пружины.

Подсказка 2: По закону Гука сила упругости пружины равна $F = -kx$ (где x – деформация пружины), а сила Ампера $F_A = IBl$.

Решение:

Пружина растягивается до тех пор, пока сила упругости, которая по закону Гука равна $F = -kx$ (где x – деформация пружины), не уравнивает действующую на проводник с током силу Ампера $F_A = IBl$. Следовательно, $x = \frac{IB}{k}l = 4$ см.

Ответ: 4.

Задача 3 (3 балла) [магнитное поле, сила Ампера, равновесие проводника]

Прямолинейный проводник подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле. Вектор магнитной индукции горизонтален и перпендикулярен проводнику. По проводнику течет ток силой $I = 4$ А. Какова величина индукции магнитного поля, если при изменении направления тока на противоположное сила натяжения нитей изменилась в три раза? Масса единицы длины проводника 0,04 кг/м, ускорение свободного падения 10 м/с². Ответ запишите в миллитесла.

Подсказка 1: На проводник действуют две одинаковые силы натяжения нитей T , сила Ампера F_A и сила тяжести mg .

Подсказка 2: При изменении направления тока изменяется и направление силы Ампера, поэтому из условия равновесия следует, что $T_{1,2} = \frac{1}{2}(mg \pm F_A)$.

Подсказка 3: По условию $\frac{T_1}{T_2} = \frac{mg + F_A}{mg - F_A} = 3 \Rightarrow F_A = \frac{1}{2}mg$.

Решение:

На проводник действуют две одинаковые силы натяжения нитей T , сила Ампера F_A и сила тяжести mg , причем все эти силы направлены вертикально. По условию равновесия, сумма проекций этих сил вертикальную ось x равна нулю: $2T + F_{Ax} - mg = 0$. При изменении направления тока изменяется и направление силы Ампера, поэтому из условия равновесия следует, что $T_{1,2} = \frac{1}{2}(mg \pm F_A)$. По условию $\frac{T_1}{T_2} = \frac{mg + F_A}{mg - F_A} = 3 \Rightarrow F_A = \frac{1}{2}mg$. Таким образом,

$IBl = \frac{1}{2}mg$ (здесь l – длина провода). Поэтому $B = \frac{mg}{2Il} = 0,05$ Тл.

Ответ: 50.

Задача 4 (2 балла) [магнитное поле, сила Лоренца, ларморовское вращение]

Протон и α -частица движутся по окружностям в однородном магнитном поле. Величина скорости α -частицы в 2 раза больше величины скорости протона. Найдите отношение радиусов траекторий частиц $\frac{R_\alpha}{R_p} = ?$. Ответ запишите в виде целого числа.

Подсказка 1: Поскольку движение частиц происходит по окружностям, то они движутся в плоскости, перпендикулярной магнитному полю.

Подсказка 2: Центробежное ускорение частицы с зарядом q и массой m при движении по окружности радиуса R со скоростью v создается силой Лоренца: $m \frac{v^2}{R} = qvB$.

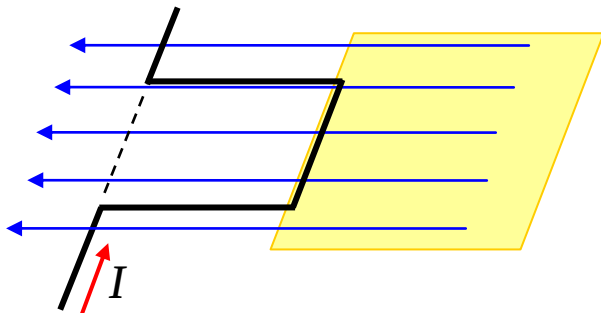
Решение:

Поскольку движение частиц происходит по окружностям, то они движутся в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Центробежное ускорение частицы с зарядом q и массой m при движении по окружности радиуса R со скоростью v создается силой Лоренца: $m \frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$. Поэтому $\frac{R_\alpha}{R_p} = \frac{m_\alpha q_p v_\alpha}{m_p q_\alpha v_p} \approx 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = 4$.

Ответ: 4.

Задача 5 (4 балла) [магнитное поле, сила Ампера, равновесие контура]

Контур в виде разомкнутого квадрата со стороной $l = 22$ см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через его «недостающую» сторону. В области пространства, в которой находится контур, создано магнитное поле, линии индукции которого горизонтальны, а ее величина равна $B = 0,2$ Тл. Изначально контур располагается горизонтально, опираясь дальней от оси стороной на подставку (см. рисунок). Затем в контуре создают ток I , величина которого плавно возрастает. При какой минимальной величине I треугольник оторвется от подставки? Сечение жесткого проводника, из которого сделан контур, равно $S = 1 \text{ мм}^2$, плотность его материала $\rho = 5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Ответ выразить в Амперах.



Подсказка 1: сила Ампера, действующая на «боковые» стороны контура, равны нулю, а сила Ампера, действующая на сторону, лежащую на опоре, направлена вверх.

Подсказка 2: отрыв произойдет в том случае, если момент силы Ампера станет больше момента сил тяжести, действующих на все три стороны контура.

Подсказка 3: это означает, что $M_A = BIl \cdot l > M_g = 2mg \frac{l}{2} + mgl = 2mgl$.

Решение:

Используя правило определения силы Ампера, нетрудно убедиться, что эта сила, действующая на «боковые» стороны контура, равны нулю, а сила, действующая на сторону, лежащую на опоре, направлена вверх. Значит, суммарный момент сил Ампера будет стремиться повернуть контур так, чтобы оторвать его от подставки. Отрыв произойдет в том случае, если этот момент станет больше момента сил тяжести, то есть:

$$M_A = BIl \cdot l > M_g = 2mg \frac{l}{2} + mgl = 2mgl.$$

Здесь учтено, что силу Ампера, действующую на прямолинейный участок проводника с током в однородном магнитном поле можно считать приложенной к середине участка, а как и силу тяжести, действующую на каждую из сторон (здесь m - масса одной стороны). Кроме того, $m = \rho l S$. В результате находим, что для отрыва контура от опоры должно выполняться требование $I > \frac{2\rho Sg}{B}$. Значит, $I_{\min} = \frac{2\rho Sg}{B} \approx 0,5 \text{ А}$.

ОТВЕТ: 0,5.

Задача 6 (3 балла) [магнитное поле, сила Лоренца, равномерное вращение]

Два электрона влетели в область пространства, в которой создано однородное магнитное поле: первый – перпендикулярно линиям индукции, второй – под углом $\alpha = 30^\circ$ к ним.

Величины их начальных скоростей отличались в два раза: $\frac{v_2}{v_1} = 2$. Во сколько раз

отличаются радиусы описываемых (в проекции на плоскость, перпендикулярную $\vec{B}$) окружностей, периоды их обращения (в плоскости, перпендикулярной $\vec{B}$) и величины путей, пройденных в этой области за одну секунду? В качестве ответа напишите подряд номера ответов для случаев А, Б, В и Г (не разделяя знаками препинания, например: 132).

ОТНОШЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	ЗНАЧЕНИЕ
А) отношение радиусов $\frac{R_1}{R_2}$	1) 1 2) 2
Б) отношение периодов $\frac{T_1}{T_2}$	3) $\frac{1}{2}$ 4) $\sqrt{2}$
В) отношение путей $\frac{s_1}{s_2}$	

Таблица для ответа:

А	Б	В

Подсказка 1: связь радиуса с поперечной составляющей скорости заряда находится из уравнения движения заряда в магнитном поле: $m \frac{v_{\perp}^2}{R} = qv_{\perp} B$.

Подсказка 2: величина скорости заряда в магнитном поле неизменна.

Решение:

Из уравнения движения заряда в магнитном поле: $m \frac{v_{\perp}^2}{R} = qv_{\perp} B$ (здесь $v_{\perp} = v \sin \alpha$ -

поперечная составляющая скорости заряда) найдем: радиус окружности $R = \frac{mv_{\perp}}{qB}$, период

обращения $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = 2\pi \frac{m}{qB}$. Отсюда легко найти, что $\frac{R_1}{R_2} = \frac{T_1}{T_2} = 1$. Поскольку величина

скорости заряда в магнитном поле неизменна, то пройденные за одно время пути пропорциональны величине скорости (несмотря на то, что траектория криволинейна),

поэтому $\frac{s_1}{s_2} = \frac{1}{2}$.

Ответ: 113.

Задача 7 (5 баллов) [магнитное поле, сила Ампера, импульс силы]

Металлический стержень массы $m = 300\text{ г}$ и длиной $L = 60\text{ см}$ подвешен горизонтально на двух невесомых гибких проводниках длиной $l = 50\text{ см}$ каждый. В этой области пространства создано однородное магнитное поле, индукция $\vec{B}$ которого направлена вертикально, а ее величина $B = 2\text{ Тл}$. По стержню пропускают короткий импульс тока со средней силой I длительностью $\tau = 0,1\text{ с}$. При каком минимальном значении I стержень совершит на повесах полный оборот, двигаясь по окружности вокруг оси, проходящей через точки подвеса? Ускорение свободного падения $g \approx 10\text{ м/с}^2$. Ответ записать в Амперах.

Подсказка 1: так как период колебаний маятника с длиной l очевидно много больше τ , то можно пренебречь смещением стержня за время пропускания тока, и рассматривать разгон стержня силой Ампера в горизонтальном направлении.

Подсказка 2: импульс стержня после разгона определяется импульсом силы Ампера: $mv_0 = F_A \cdot \tau = IBL\tau$.

Подсказка 3: для совершения полного оборота необходимо, чтобы нити были натянуты вплоть до самой верхней точки окружности, скорость стержня в которой находится из закона сохранения энергии $v^2 = v_0^2 - 4gl$ и должна обеспечивать натянутость нитей.

Решение:

Так как период колебаний маятника с длиной l очевидно много больше τ , то можно пренебречь смещением стержня за время пропускания тока. В течение этого времени на стержень действовала сила Ампера $F_A = IBL$, и стержень разгонится до скорости $v_0 = \frac{F_A \cdot \tau}{m} = \frac{IBL\tau}{m}$. Для совершения полного оборота необходимо, чтобы нити были натянуты вплоть до самой верхней точки окружности, где уравнение для центростремительной компоненты ускорения позволяет установить, какой должна быть скорость в этой точке:

$$m \frac{v^2}{l} = T + mg \Rightarrow T = m \left(\frac{v^2}{l} - g \right) \geq 0 \Leftrightarrow v^2 \geq gl.$$

С другой стороны, по закону сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - mg2l \Rightarrow v^2 = \left(\frac{IBL\tau}{m} \right)^2 - 4gl.$$

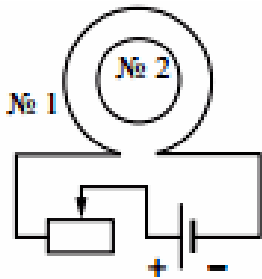
Поэтому $\left(\frac{IBL\tau}{m} \right)^2 \geq 5gl \Rightarrow I \geq \frac{m\sqrt{5gl}}{BL\tau}$, то есть минимальный ток $I_{\min} = \frac{m\sqrt{5gl}}{BL\tau} \approx 12,5\text{ А}$.

Ответ: 12,5.

Задача 8 (3 балла) [магнитное поле, индукция, катушка индуктивности, правило Ленца]

Катушка № 1 включена в электрическую цепь, состоящую из источника постоянного напряжения и реостата. Катушка № 2 помещена внутрь катушки № 1 (так, что их оси совпадают), и ее обмотка замкнута. Сопротивления катушек намного меньше сопротивления реостата. Вид с торца катушек представлен на рисунке. Из приведенного ниже списка выберите **все** верные утверждения, характеризующие процессы в цепи и катушках при перемещении ползунка реостата **влево**. В ответе укажите номера верных утверждений в порядке возрастания, не разделяя их пробелами или какими-либо знаками.

- 1) Сила тока в катушке №1 увеличивается.
- 2) Модуль магнитного потока через катушку № 2 уменьшается.
- 3) Модуль вектора индукции магнитного поля, создаваемого катушкой № 1, уменьшается.
- 4) Вектор индукции магнитного поля, создаваемого катушкой № 2 внутри нее, направлен к наблюдателю.
- 5) В катушке № 2 индукционный ток направлен по часовой стрелке.



Подсказка 1: Нужно начинать с наиболее простых утверждений: например, понятно, что при движении ползунка реостата влево сопротивление контура обмотки катушки №1 уменьшается, и поэтому с утверждением № 1 все ясно.

Подсказка 2: Модуль индукции поля катушки должен расти при увеличении тока в ней (утверждение № 3).

Подсказка 3: Правило Ленца показывает, что из утверждений № 4 и № 5 одно верно, а одно - нет.

Подсказка 4: При нулевом сопротивлении обмотки катушки № 2 магнитный поток через нее вовсе бы не менялся (иначе в ней возник бы бесконечный индукционный ток при любой, сколь угодно малой ЭДС индукции), то есть поток поля индукционного тока точно компенсировал бы увеличение магнитного потока от поля катушки № 1. Ясно, что при наличии сопротивления индукционный ток растет медленнее, то есть его поток не полностью компенсирует увеличение «внешнего» магнитного потока.

Решение:

В первую очередь нужно проверить наиболее простые утверждения:

№ 1 – очевидно **верное**, так как при движении ползунка реостата влево сопротивление контура обмотки катушки №1 уменьшается.

№ 2 не такое простое, так как магнитный поток через катушку № 2 создается полем катушки № 1 и полем индукционного тока в катушке № 2, причем магнитный поток индукционного тока по правилу Ленца будет противодействовать изменению суммарного магнитного потока. Перейдем пока к следующим утверждениям:

№ 3 – **неверное**, так как модуль индукции поля катушки должен расти при увеличении тока в ней.

№ 4 – не очень простое, но можно достаточно быстро понять, что оно **верное**: из правила Ленца следует, что вектор индукции поля, создаваемого индукционным током в катушке № 2, должен быть направлен против направления индукции поля, создаваемого катушкой № 1. На рисунке ток в катушке № 1 течет по часовой стрелке, и индукция его поля направлена от наблюдателя. Значит, вектор индукции магнитного поля, создаваемого катушкой № 2 внутри нее, направлен к наблюдателю. Итак, найдено второе правильное утверждение.

Ясно, что утверждение № 5 **неверное** – мы это фактически установили при анализе № 4, так как мы поняли, что индукционный ток должен течь в направлении, противоположном направлению тока в катушке № 1, а там он течет по часовой стрелке.

Что касается «сложного» утверждения № 2 – отметим, что при нулевом сопротивлении обмотки катушки № 2 магнитный поток через нее вовсе бы не менялся (иначе в ней возник бы бесконечный индукционный ток при любой, сколь угодно малой ЭДС индукции), то есть поток поля индукционного тока точно компенсировал бы увеличение магнитного потока от поля катушки № 1. Ясно, что при наличии сопротивления индукционный ток растет медленнее, то есть его поток не полностью компенсирует увеличение «внешнего» магнитного потока, и поэтому модуль полного потока через катушку № 2 все-таки растет. Значит, утверждение 2 – **неверное**. В этом случае важно правильно выстроить свои действия тактически: чаще всего правильных утверждений в заданиях с выбором всех правильных утверждений **два или три**, причем по статистике два – даже немного чаще. Кроме того, если участник не включает правильное утверждение в список, он теряет один балл, а если включает неправильное утверждение в список выбранных, то при наличии уже полученных за это задание баллов ему снимают один балл из оценки, и в этом смысле «штраф» за

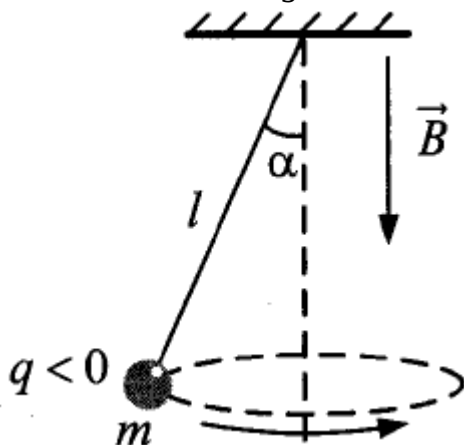
невыбор правильного ответа меньше, чем за выбор неправильного. Поэтому, если бы не смогли провести анализ утверждения 2 так, чтобы быть уверенным в ответе, все равно – при уже найденных с уверенностью двух верных утверждений – разумнее (уже не из физических, но из тактических соображений) не выбирать его. Впрочем, физические соображения (при наличии) всегда должны быть главнее – в отдельно взятом задании количество правильных утверждений может быть любым!

Ответ: 14.

Задача 9 (4 балла) [магнитное поле, сила Лоренца, равномерное вращение]

В однородном магнитном поле с индукцией $B = 1,5 \text{ Тл}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается против часовой стрелки по окружности в горизонтальной плоскости маленький отрицательно заряженный шарик, подвешенный на нити длиной $l = 1,25 \text{ м}$ (конический маятник – см. рисунок). Угол отклонения нити от вертикали $\alpha = 60^\circ$, удельный заряд шарика равен $\frac{|q|}{m} = 4 \text{ Кл/кг}$. Найдите угловую скорость вращения шарика.

Ответ выразить в радианах в секунду, при необходимости округлив до целого значения. В ходе решения сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарик. Ускорение свободного падения $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.



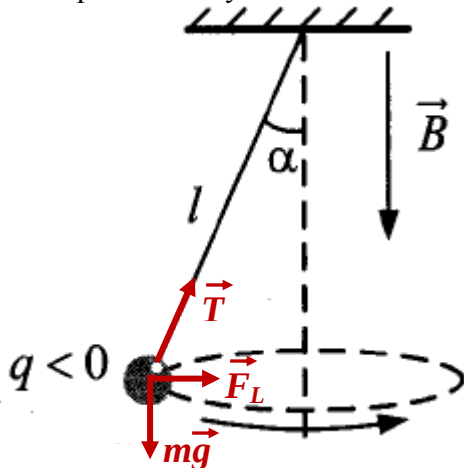
Подсказка 1: На шарик действуют сила натяжения нити, сила тяжести и сила Лоренца.

Подсказка 2: Вертикальная составляющая силы натяжения нити уравнивает силу тяжести, то есть $T \cos(\alpha) = mg$.

Подсказка 3: Сила Лоренца вместе с горизонтальной составляющей силы натяжения создают центростремительное ускорение $m\omega^2 l \sin(\alpha) = T \sin(\alpha) + |q| v B$.

Решение:

На шарик действуют сила натяжения нити, сила тяжести и сила Лоренца (см. рисунок).



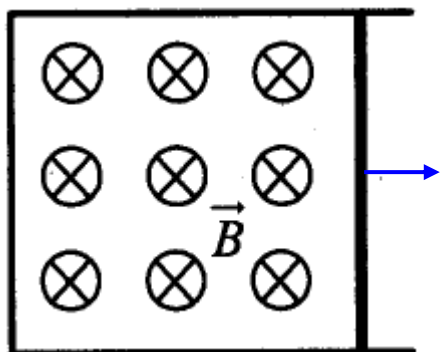
Поскольку траектория шарика лежит в горизонтальной плоскости, то вертикальная составляющая силы натяжения нити уравнивает силу тяжести, то есть $T \cos(\alpha) = mg$. Сила Лоренца вместе с горизонтальной составляющей силы натяжения создают центростремительное ускорение $m\omega^2 l \sin(\alpha) = T \sin(\alpha) + |q| v B$. Так как $v = \omega l \sin(\alpha)$, то из этих уравнений следует, что $\omega^2 - \frac{|q|}{m} B \omega - \frac{g}{l \cos(\alpha)} = 0$. Выбрав положительный корень,

$$\text{найдем, что } \omega = \frac{|q|}{2m} B + \sqrt{\left(\frac{|q|}{2m} B\right)^2 + \frac{g}{l \cos(\alpha)}} = 8 \text{ рад/с.}$$

Ответ: 8.

Задача 10 (4 балла) [магнитное поле, электромагнитная индукция, равномерное движение]

Длинный металлический стержень, изогнутый в форме буквы «П», закреплен в горизонтальной плоскости. На противоположные стороны стержня опирается перемычка длиной $L = 50 \text{ см}$ и массой $m = 80 \text{ г}$. Вся система находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,4 \text{ Тл}$. С какой установившейся скоростью будет двигаться перемычка, если приложить к ней постоянную горизонтальную силу $F = 0,24 \text{ Н}$. Сила направлена перпендикулярно перемычке, которая движется поступательно. Сопротивление перемычки $R = 0,2 \text{ Ом}$, сопротивление стержня пренебрежимо мало. Коэффициент трения между перемычкой и стержнем $\mu = 0,2$. Ответ запишите в см/с, с точностью до целого значения. Ускорение свободного падения $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.



Подсказка 1: Поскольку заданная величина силы превышает максимальную величину силы трения покоя $\mu mg = 0,16 \text{ Н}$, то перемычка начнет скользить по стержню.

Подсказка 2: При этом в контуре, образованном стержнем и перемычкой, наводится ЭДС индукции, величину которой можно вычислить по закону электромагнитной индукции

$$\text{Фарадея } E_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|.$$

Подсказка 3: В соответствии с правилом Ленца, сила Ампера, действующая на индукционный ток, должна быть направлена против силы, вызвавшей появление ЭДС индукции – силы $\vec{F}$.

Решение:

Поскольку заданная величина силы превышает максимальную величину силы трения покоя $\mu mg = 0,16 \text{ Н}$, то перемычка начнет скользить по стержню. При этом в контуре, образованном стержнем и перемычкой, наводится ЭДС индукции, величину которой можно

вычислить по закону электромагнитной индукции Фарадея $E_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$. Изменение магнитного потока Φ связано с изменением площади контура $|\Delta \Phi| = B \Delta S = BLv \Delta t$, поэтому

$E_i = vBL$. В контуре возникнет индукционный ток $I = \frac{E_i}{R} = \frac{BL}{R} v$, и со стороны магнитного

поля на перемычку будет действовать сила Ампера $F_A = IBL = \frac{B^2 L^2}{R} v$. Изучать направление тока нет необходимости, поскольку, в соответствии с правилом Ленца, сила, действующая на индукционный ток, должна быть направлена против силы, вызвавшей появление ЭДС индукции – силы $\vec{F}$. Таким образом, перемычка будет разгоняться, пока растущая сила Ампера вместе с силой трения скольжения не уравновесят силу $\vec{F}$: $F = \mu mg + \frac{B^2 L^2}{R} v \Rightarrow v = \frac{(F - \mu mg)R}{B^2 L^2} \approx 0,4 \text{ м/с}$.

Ответ: 40.

Задача 11 (4 балла) [магнитное поле, электромагнитная индукция, равноускоренное движение]

Тонкий алюминиевый брусок прямоугольного сечения, имеющий длину $L = 50 \text{ см}$, соскальзывает из состояния покоя по гладкой наклонной плоскости из диэлектрика в вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,2 \text{ Тл}$. Плоскость наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30^\circ$. Продольная ось бруска при движении сохраняет горизонтальное направление. Найдите величину ЭДС индукции на концах бруска в момент, когда брусок пройдет по наклонной плоскости расстояние $s = 1,6 \text{ м}$. Ответ выразить в Вольтах.

Подсказка 1: на электроны проводимости в движущемся проводящем бруске действует сила Лоренца, модуль которой равен $F = evB \sin \alpha$.

Подсказка 2: электроны переместятся так, что возникшее электрическое поле уравнивает действие этой силы: $E = \frac{U}{L} = VB \sin \alpha$.

Подсказка 3: скорость бруска в конечном положении находится, например, из закона сохранения энергии: $\frac{mv^2}{2} = mgs \sin \alpha$.

Решение:

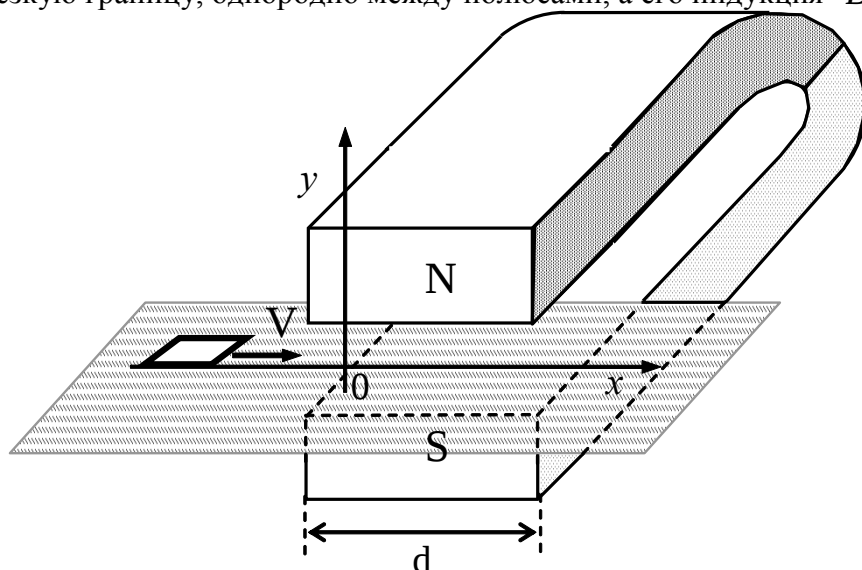
Скорость бруска будет направлена вдоль плоскости, поэтому угол между этой скоростью и $\vec{B}$ будет равен α или $\frac{\pi}{2} + \alpha$. На электроны проводимости в проводящем бруске действует сила Лоренца, модуль которой равен $F = evB \sin \alpha$, где v - мгновенная скорость бруска. Электроны переместятся так, что возникшее электрическое поле уравнивает действие этой силы: $E = \frac{U}{L} = VB \sin \alpha$. Следовательно, разность потенциалов (это и есть «ЭДС индукции на концах бруска») $U = vBL \sin \alpha$. Можно заметить, что эту величину можно посчитать как ЭДС индукции, наводимую в воображаемом «контуре», замыкаемом брусом. Скорость бруска в конечном положении находится, например, из закона сохранения энергии: $\frac{mv^2}{2} = mgh = mgs \sin \alpha$, откуда $v = \sqrt{2gs \sin \alpha}$. Подставляя это в формулу для ЭДС, получаем: $U = BL \sin \alpha \sqrt{2gs \sin \alpha} = 0,2 \text{ В}$.

Ответ: 0,2.

Задача 12 (5 баллов) [электромагнитная индукция, механическая работа]

Квадратная рамка со стороной $a = 5 \text{ см}$ изготовлена из медной проволоки сопротивлением $R = 0,1 \text{ Ом}$. Рамку перемещают по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью v вдоль оси x . Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка проходит между полюсами магнита и вновь оказывается в области, где магнитное поле отсутствует. Рамка все время движется с постоянной скоростью благодаря внешней силе F , направленной вдоль оси x и действующей в нужные моменты времени. С какой скоростью движется рамка, если суммарная работа внешней силы за время движения

равна $A = 2,5 \text{ мДж}$? Ширина полюсов магнита $d = 20 \text{ см}$. Считать, что магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция $B = 1 \text{ Тл}$. Ответ выразить в м/с.



Подсказка 1: при пересечении рамкой границы области поля со скоростью v изменяющийся магнитный поток создает ЭДС индукции $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = vBa$.

Подсказка 2: в рамке возникает индукционный ток $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{vBa}{R}$, и на ее сторону, находящуюся в магнитном поле, действует сила Ампера $F_A = IBa$, направленная против скорости.

Подсказка 3: ток течет в рамке только во время изменения магнитного потока, т.е. при входе в пространство между полюсами и при выходе, поэтому внешнюю силу, уравнивающую силу Ампера, надо прикладывать к рамке только в это время.

Решение:

При пересечении рамкой границы области поля со скоростью v изменяющийся магнитный поток создает ЭДС индукции $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = vBa$. В рамке возникает индукционный ток $I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{vBa}{R}$. При этом возникает тормозящая сила – это сила Ампера, действующая на сторону рамки, находящуюся в поле $F_A = IBa = \frac{B^2 a^2}{R} v$, и для поддержания равномерного движения ее должна уравнивать включающаяся на время пересечения границы внешняя сила $F = F_A = \frac{B^2 a^2}{R} v$. Ясно, что 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 $s = 2a$, и поэтому работа внешней силы $A = Fs = \frac{2B^2 a^3}{R} v$.

Выражая скорость, получим $v = \frac{RA}{2B^2 a^3} = 1 \text{ м/с}$.

ОТВЕТ: 1.

Задача 13 (4 балла) [электромагнитная индукция, постоянный ток, сопротивление]

Длинный металлический стержень, изогнутый в форме буквы «П», закреплен в горизонтальной плоскости. На противоположные стороны стержня опирается лежащая неподвижно перемычка длиной $L = 50 \text{ см}$. Вся система находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,4 \text{ Тл}$. Перемычку плавно передвигают вдоль парных сторон стержня на расстояние $s = 40 \text{ см}$ и оставляют неподвижной. Какой заряд

протек по перемычке за время перемещения? Сопротивление перемычки $R = 0,1 \text{ Ом}$, сопротивление стержня пренебрежимо мало. Ответ запишите в Кулонах.

Подсказка 1: Ток в перемычке будет создаваться ЭДС индукции, возникающая при перемещении перемычки: $E = \frac{d\Phi}{dt}$.

Подсказка 2: Протекший за время dt заряд $dq = Idt$, где величина тока в контуре $I = \frac{E}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$.

Подсказка 3: Изменение магнитного потока через контур $\Delta\Phi = +B\Delta S = BLs$.

Решение:

Можно обратить внимание, что ток в перемычке будет создаваться ЭДС индукции, возникающая при перемещении перемычки: $E = \frac{d\Phi}{dt}$. Считая ток «практически постоянным»

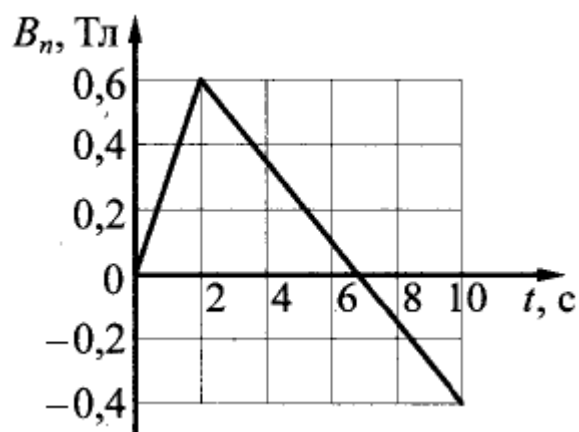
(точнее, медленно меняющимся), найдем, что величина тока в контуре $I = \frac{E}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$ (мы не следим за полярностью, так как нам не нужно искать направление движения заряда. Поэтому протекший за время dt заряд $dq = Idt = \frac{d\Phi}{R}$. Суммируя такие величины за все время поворота, получаем:

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{B\Delta S}{R} = \frac{BLs}{R} = 1 \text{ Кл.}$$

Ответ: 1.

Задача 14 (4 балла) [электромагнитная индукция, постоянный ток, сопротивление, закон Джоуля-Ленца]

Квадратная рамка со стороной $L = 40 \text{ см}$ находится в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. На рисунке показано изменение проекции вектора $\vec{B}$ на перпендикуляр к плоскости рамки с течением времени. За время $t = 10 \text{ с}$ в рамке выделилось количество теплоты $Q = 244 \text{ мДж}$. Каково сопротивление проволоки, из которой сделана рамка? Ответ дайте в мОм.



Подсказка 1: Ток в перемычке будет создаваться ЭДС индукции, возникающая при перемещении перемычки: $E = \frac{d\Phi}{dt}$.

Подсказка 2: Протекший за время dt заряд $dq = Idt$, где величина тока в контуре $I = \frac{E}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$.

Подсказка 3: Изменение магнитного потока через контур $\Delta\Phi = +B\Delta S = BLs$.

Решение:

Ток в рамке будет создаваться ЭДС индукции с величиной $E = \frac{d\Phi}{dt} = L^2 \frac{dB_n}{dt}$. Поэтому в ней

возникнет ток $I = \frac{E}{R} = \frac{L^2}{R} \frac{dB_n}{dt}$, и мощность тепловыделения, согласно закону

Джоуля-Ленца, равна $P = \frac{E^2}{R} = \frac{L^4}{R} \left(\frac{dB_n}{dt} \right)^2$. Из графика определяем, что в течении времени

$t_1 = 2$ с скорость изменения проекции вектора $\vec{B}$ на перпендикуляр к плоскости рамки $\left(\frac{dB_n}{dt} \right)_1 = +0,3$ Тл/с, а затем в течении времени $t_2 = 8$ с скорость изменения

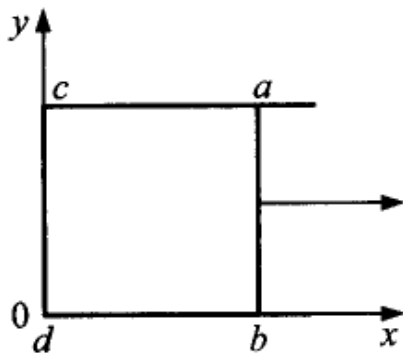
$\left(\frac{dB_n}{dt} \right)_2 = -0,125$ Тл/с. Поэтому полное тепловыделение

$$Q = \frac{L^4}{R} \left\{ \left(\frac{dB_n}{dt} \right)_1^2 \cdot t_1 + \left(\frac{dB_n}{dt} \right)_2^2 \cdot t_2 \right\} \Rightarrow R = \frac{L^4}{Q} \left\{ \left(\frac{dB_n}{dt} \right)_1^2 \cdot t_1 + \left(\frac{dB_n}{dt} \right)_2^2 \cdot t_2 \right\} = 32 \text{ мОм.}$$

Ответ: 32.

Задача 15 (4 балла) [электромагнитная индукция, постоянный ток, сопротивление]

По медному П-образному проводнику постоянного сечения $abcd$ скользит, двигаясь поступательно с постоянной скоростью, медная перемычка ab длиной $L = 50$ см и такого же сечения. Проводники помещены в однородное магнитное поле индукцией $B = 0,4$ Тл, вектор которой перпендикулярен плоскости контура $abcd$. В тот момент, когда перемычка проходила положение, в котором $|ac| = |ab|$, разность потенциалов между точками a и b равнялась $U_{ab} = 20$ мВ. Найдите скорость движения перемычки. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.



Подсказка 1: Ток в контуре $acdb$ будет создаваться ЭДС индукции, возникающая при перемещении перемычки: $E = \frac{d\Phi}{dt} = BL \frac{dx}{dt} = BLv$.

Подсказка 2: Протекший за время dt заряд $dq = Idt$, где величина тока в контуре $I = \frac{E}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$.

Подсказка 3: Изменение магнитного потока через контур $\Delta\Phi = +B\Delta S = BLs$.

Решение:

Ток в контуре $acdb$ будет создаваться ЭДС индукции, возникающая при перемещении перемычки: $E = \frac{d\Phi}{dt} = BL \frac{dx}{dt} = BLv$. Поэтому сила тока $I = \frac{E}{R} = \frac{1}{R} BLv$, где R – полное сопротивление контура. В указанный момент времени контур является квадратом, и сопротивление каждой из сторон равно четверти общего сопротивления, то есть $R_{ab} = \frac{R}{4}$.

Значит, $U_{ab} = I \cdot R_{ab} = \frac{1}{4}BLv$, откуда легко выражается скорость перемычки:

$$v = \frac{4U_{ab}}{BL} = 0,4 \text{ м/с}.$$

Ответ: 0,4.