

Департамент образования города Москвы
Южное окружное управление образования
Окружной методический центр

ФИЗИКА

**Систематизация физических ситуаций для
решения тестов ЕГЭ по теме**

**“Магнитное поле.
Электромагнитная
индукция”**

**Москва
2011**

Департамент образования города Москвы
Южное окружное управление образования
Окружной методический центр

ФИЗИКА

**Систематизация физических ситуаций для
решения тестов ЕГЭ по теме**

**“Магнитное поле.
Электромагнитная
индукция”**

**Москва
2011**

Физика: систематизация физических ситуаций для решения тестов ЕГЭ по теме
“Магнитное поле. Электромагнитная индукция”

Общая редакция: Константинова А.М. - директор методического центра
Южного округа г. Москвы, заслуженный учитель РФ

Автор: Рожкова Г.И., методист лаборатории ОМЦ ЮОУО по работе с молодыми
специалистами, учитель высшей категории, член Международной
педагогической академии

Компьютерная верстка: Зыков К.Б., Зыкова О.Б.

С 2010 года в России стартовала Национальная образовательная инициатива «Наша новая школа», одним из направлений которой стало развитие учительского потенциала в плане совершенствования преподавательского корпуса через постоянное повышение квалификации педагогов. В настоящий момент проводится работа по внедрению в школьное образование института наставничества.

Автор пособия является методистом лаборатории ОМЦ ЮОУО по работе с молодыми специалистами с 2009 года. Опыт работы позволил выявить основные профессиональные проблемы молодых педагогов и акцентировать внимание в своей деятельности на подготовке рекомендаций по совершенствованию методики подготовки к экзаменам в форме ЕГЭ. В пособии учитывается, что большая часть времени учителя уходит на подготовку к уроку, подбор и систематизацию материалов для учебного процесса, поэтому пособие содержит необходимый теоретический и практический материал, упорядоченный согласно Кодификатору элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения в ЕГЭ по физике в 2011 году, соответствующего обязательным образовательным стандартам.

Пособие, адресованное молодым учителям физики, может быть использовано преподавателями и обучающимися 9-11 классов учреждений общего и среднего образования при изучении соответствующих тем школьного курса физики.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	4
1. Кодификатор элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения в 2011 году Единого государственного экзамена по физике	5
2. Методические рекомендации по решению задач темы «Магнитное поле»	8
2.1 Методические рекомендации для решения задач по теме «Движение и равновесие проводника с током в магнитном поле»	11
2.2 Методика решения задач о движении заряженных частиц в электрических и магнитных полях	15
3. Методические рекомендации по решению задач темы «Электромагнитная индукция»	25
3.1 Задачи на движение в пространстве постоянного магнита	27
3.2 Изменение магнитной индукции внешнего магнитного поля	29
3.3 Задачи на электромагнитную индукцию (высокий уровень сложности)	31
3.4 Изменение площади проводящего контура, расположенного во внешнем однородном магнитном поле	34
3.5 Возникновение ЭДС индукции в проводнике при его движении в постоянном магнитном поле под действием внешней силы	35
3.6 Задачи на изменение положения контура во внешнем магнитном поле	42
3.7 Задачи на движение контура в магнитном поле	43
3.8 Задачи на вращение рамки во внешнем магнитном поле	47
3.9 Методические рекомендации для решения задач по теме «Самоиндукция»	49
4. Тесты для подготовки к ЕГЭ и ответы к ним	52
5. Вопросы для контроля знаний учащихся по темам «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»	61
6. Основные понятия, законы и формулы из школьного курса физики по темам «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»	67
7. Теоретическая часть по темам «Магнитное поле. Электромагнитная индукция»	73
Список использованной литературы	97

ПРЕДИСЛОВИЕ

В пособии содержится систематизация физических ситуаций, встречающихся в тестах и задачах по теме «Магнитное поле. Электромагнитная индукция» на экзаменах в форме ЕГЭ. Данное пособие адресовано молодым учителям физики и может быть использовано преподавателями и обучающимися 9-11 классов учреждений общего и среднего образования при изучении соответствующих тем школьного курса физики, т.к. содержит разделы с необходимыми теоретической и практической составляющей.

Предлагаемый блочно-модульный подход к решению типовых задач на магнитные явления должен обеспечить целостное восприятие сложного материала: дана физическая ситуация, установлена связь между физическими величинами, описывающими эту ситуацию, приводятся варианты развития ситуации, возникающие при изменении начальных условий, а также содержатся тренировочные задания с методическими указаниями по их выполнению и правильными ответами, что сокращает время изучения и закрепления материала по теме.

Молодой педагог должен помнить, что зрительная память – наиболее важная составляющая процесса усвоения материала, поэтому очень важно на уроках уделять время для запоминания формул, так как умение решать по-настоящему сложные задачи базируется на способности разглядеть в условии задачи возможность применения нужной формулы. Способность увидеть возможность применения необходимой формулы, появляется тогда, когда внешний вид и суть множества формул надежно закреплены в памяти. Это дает возможность оперативно перебрать множество вариантов и найти верный путь. Способность решать сложные нестандартные задачи основана на использовании ранее полученного опыта и накопленной информации. Запоминание формул – это и есть первоначальное накопление информации по теме, решение множества разнообразных задач (в том числе, и в рамках домашнего задания) – получение необходимого опыта, основанного на запоминании основных физических понятий и законов.

Можно сопоставить ситуацию, предложенную в конкретной задаче, с ситуациями на соответствующей блок-схеме, что значительно экономит время выполнения задания, положительно влияя на качество усвоения материала. Умение решать типовые задачи позволяет перейти к решению сложных, оригинальных и нестандартных задач, предлагаемых на экзаменах в заданиях уровня «С».

В пособии использована систематизация материала, согласно Кодификатору элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения ЕГЭ по физике, с пометками «КР» (код раздела Кодификатора) и «ККЭ» (код контролируемого элемента).

Рекомендую начинать работу с пособием с ознакомления с разделами 1 и 2 Кодификатора, далее изучить общие методические рекомендации для решения задач по теме, рассмотреть блок-схемы, решение сложных задач, затем перейти к тестам по соответствующей теме.

Желаю успеха!

Автор

Кодификатор элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения в 2011 году единого государственного экзамена по ФИЗИКЕ

Кодификатор составлен на основе Федерального компонента государственных стандартов основного общего и среднего (полного) общего образования по физике, базовый и профильный уровни (приказ Минобрнауки России № 1089 от 05.03.2004 г.).

Раздел 1. Перечень элементов содержания, проверяемых на едином государственном экзамене по физике по теме “Магнитное поле. Электромагнитная индукция”

В первом столбце указан код раздела, которому соответствуют крупные блоки содержания. Во втором столбце приводится код элемента содержания, для которого создаются проверочные задания.

Код раздела	Код контролируемого элемента	Элементы содержания, проверяемые заданиями КИМ
3	<i>ЭЛЕКТРОДИНАМИКА</i>	
3.3	<i>МАГНИТНОЕ ПОЛЕ</i>	
	3.3.1	Взаимодействие магнитов
	3.3.2	Магнитное поле проводника с током
	3.3.3	Сила Ампера
	3.3.4	Сила Лоренца
3.4	<i>ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ</i>	
	3.4.1	Явление электромагнитной индукции
	3.4.2	Магнитный поток
	3.4.3	Закон электромагнитной индукции Фарадея
	3.4.4	Правило Ленца
	3.4.5	Самоиндукция
	3.4.6	Индуктивность
	3.4.7	Энергия магнитного поля

Элементы содержания, проверяемые заданиями контрольно-измерительных материалов (ККЭ - 3.3.1 - 3.4.7)

Взаимодействие магнитов (3.3.1) - результат взаимодействия полей магнитов с самими магнитами, т.е. поле одного магнита действует непосредственно на другой магнит и наоборот.

Магнитное поле (3.3.2) – силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды. Источниками макроскопических магнитных полей являются намагниченные тела, проводники с током и движущиеся электрически заряженные тела. Переменное магнитное поле возникает также при изменении во времени электрического поля. [19]

Сила Ампера (3.3.3) – это сила, действующая на проводник с током во внешнем магнитном поле.

Сила Лоренца (3.3.4) – это сила, действующая на движущуюся заряженную частицу со стороны внешнего магнитного поля.

Электромагнитная индукция (3.4.1) – возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле или движущемся в постоянном магнитном поле.

Магнитный поток (3.4.2.)– поток Φ вектора магнитной индукции \vec{B} через какую-либо поверхность (численная величина, связанная с плотностью линий магнитной индукции). [19]

Закон электромагнитной индукции Фарадея (3.4.3) – ЭДС индукции ε_i в контуре прямо пропорциональна скорости изменения во времени t магнитного потока Φ через поверхность S , ограниченную контуром.

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Правило Ленца (3.4.4) определяет направление индукционных токов, возникающих в результате электромагнитной индукции, является следствием закона сохранения энергии: индукционный ток в контуре направлен так, что создаваемый им поток магнитной индукции через поверхность, ограниченную контуром, стремится препятствовать тому изменению потока, которое вызывает данный ток. [19]

Самоиндукция (3.4.5) – возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока (частный случай электромагнитной индукции).

Индуктивность (3.4.6) – величина, характеризующая магнитные свойства электрической цепи. [19]

Энергия магнитного поля (3.4.7), созданного током равна той энергии, которую затрачивает источник тока на создание тока. При размыкании цепи запасенная током энергия выделяется.

**Раздел 2. Перечень требований к уровню подготовки, проверяемому
на едином государственном экзамене по физике по теме
“Магнитное поле. Электромагнитная индукция”**

Код	Требования к уровню подготовки выпускников, освоение	
требования	которых проверяется на ЕГЭ	
1	ЗНАТЬ/ПОНИМАТЬ	
1.1		смысл физических понятий:
		физическое явление, физическая величина, модель, гипотеза, физический закон, теория, принцип, постулат, пространство, время, вещество, взаимодействие, электромагнитное поле
1.2		смысл физических величин:
		путь, перемещение, скорость, ускорение, масса, плотность, сила, давление, импульс, работа, мощность, кинетическая энергия, потенциальная энергия, коэффициент полезного действия, момент силы, период, частота, количество теплоты, электрический заряд, сила электрического тока, электрическое напряжение, электрическое сопротивление, работа и мощность электрического тока, напряженность электрического поля, разность потенциалов, емкость, энергия электрического поля, электродвижущая сила, магнитный поток, индукция магнитного поля, индуктивность, энергия магнитного поля
1.3		смысл физических законов, принципов, постулатов:
		принципы суперпозиции и относительности, законы динамики Ньютона, Ома для участка электрической цепи, Джоуля - Ленца, электромагнитной индукции, закон Ома для полной цепи
2	УМЕТЬ	
2.1		описывать и объяснять
	2.1.1	физические явления: равномерное прямолинейное движение, равноускоренное прямолинейное движение, взаимодействие магнитов, действие магнитного поля на проводник с током, тепловое действие тока, электромагнитную индукцию
	2.1.2	результаты экспериментов: взаимодействие проводников с током; действие магнитного поля на проводник с током: электромагнитную индукцию
2.2		описывать фундаментальные опыты, оказавшие существенное влияние на развитие физики (опыты Фарадея)
2.3		приводить примеры практического применения физических знаний: законов электродинамики в энергетике
2.4		определять: характер физического процесса по графику, таблице, формуле
2.5	2.5.1	отличать гипотезы от научных теорий; делать выводы на основе экспериментальных данных; приводить примеры, показывающие, что: наблюдения и эксперимент являются основой для выдвижения гипотез и теорий, позволяют проверить истинность теоретических выводов; что физическая теория дает возможность объяснять известные явления природы и научные факты, предсказывать еще неизвестные явления
2.6		применять полученные знания для решения физических задач.

2. Общие методические рекомендации для решения задач по теме “Магнитное поле” (ККЭ 3.3.1 - 3.3.4)

1. Необходимо знать, как изображаются магнитные поля постоянных магнитов, магнитного поля Земли.

2. Если магнитное поле создается проводником с током, то знать, что собой представляют линии магнитной индукции прямолинейного проводника с током, кругового витка и соленоида. Знать мнемонические правила для определения направления линий магнитной индукции. Применять формулы закона Био-Савара для конкретных случаев.

3. При наличии нескольких магнитных полей использовать принцип суперпозиции полей.

4. Если рассматриваются задачи на силы, действующие на проводники с током, находящиеся во внешнем магнитном поле, то применять формулу силы Ампера и правило левой руки для определения ее направления. $F_A = lIB \sin \alpha$
Помнить, что всегда вектор силы Ампера перпендикулярен плоскости, в которой находится проводник с током, и плоскости, в которой находится \vec{B} .

5. Если в магнитном поле на контур с током действует вращательный момент, то применять формулу $M = I_k S_k B \sin \varphi$

6. Если на проводник с током действуют силы различной природы, применить принцип суперпозиции сил.

7. Если проводник с током находится в равновесии, применить уравнения:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0 .$$

8. В случае равномерного или равноускоренного движения проводника с током во внешнем магнитном поле использовать соответственно уравнения динамики:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad \text{или} \quad m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i .$$

9. Если в магнитном поле движется заряженная частица, то учитывать различное направление силы Лоренца со стороны магнитного поля в зависимости от знака частицы (в случае движения положительно заряженной частицы четыре пальца левой руки направить по скорости частицы; в случае движения отрицательно заряженной частицы четыре пальца направить против скорости). Применять формулу силы Лоренца $F_L = vqB \sin \alpha$

В каждой точке траектории заряженной частицы сила Лоренца перпендикулярна векторам \vec{v} и \vec{B} .

10. При движении частицы в электрическом поле (предварительный разгон частицы, движение в пространстве, где одновременно присутствуют электрическое и магнитное поля) применять формулу $F_{ЭЛ} = qE$, учитывая знак частицы и направление силовых линий электрического поля.

11. Помнить, что закон сохранения энергии выполняется для любых физических явлений

Модели источников магнитного поля (ККЭ 3.3.2)

① магнитное поле равномерно движущегося заряда

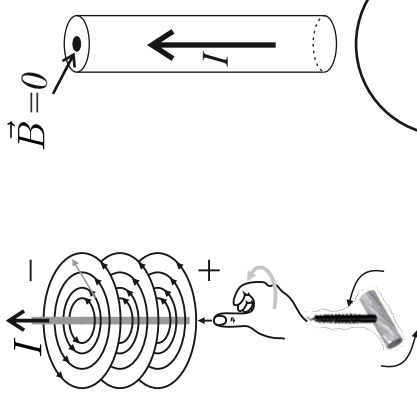
$$B = \frac{\mu_0 q v \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

$\xrightarrow{\text{скорость движения частицы}}$
 $\xrightarrow{\text{угол между } \vec{v} \text{ и } \vec{r}}$
 $\xrightarrow{\text{радиус-вектор, проведенный от заряда к точке } A}$



② магнитное поле тока, созданного прямолинейным проводником

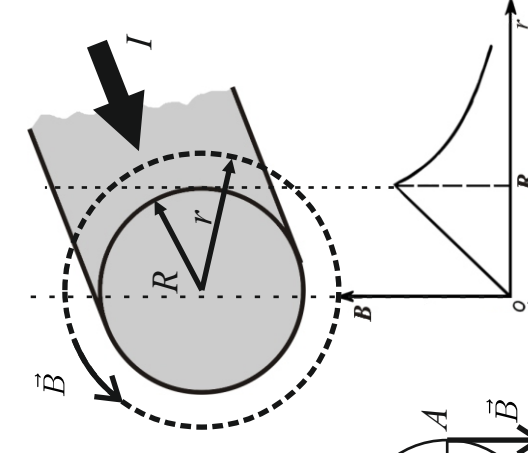
а) *ничтожно малого поперечного сечения*



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

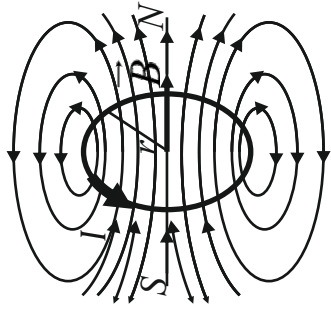
$\xrightarrow{\text{расстояние от оси до точки } A}$

б) *сечения с радиусом R*



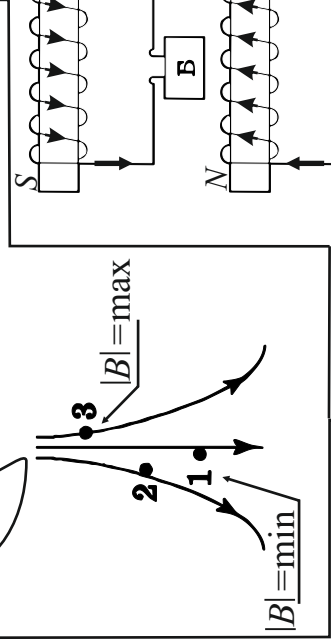
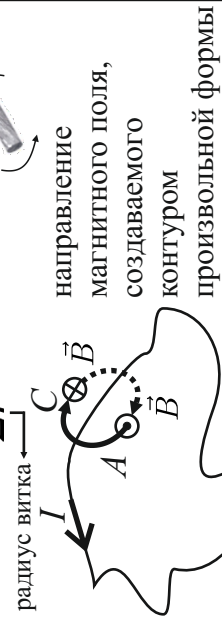
в) **если проводник представляет собой трубку, то внутри $B=0$**

③ магнитное поле на оси кругового тока



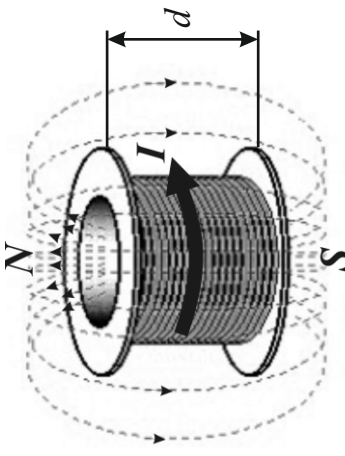
$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

$\xrightarrow{\text{радиус витка}}$



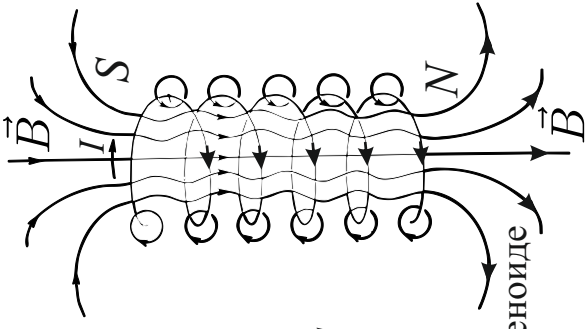
определение направления тока в соленоиде по поведению магнитной стрелки

④ магнитное поле соленоида



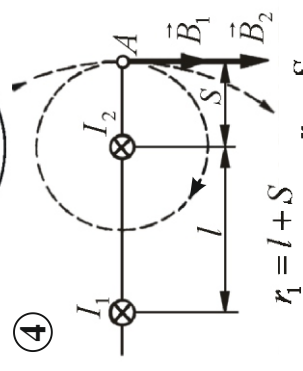
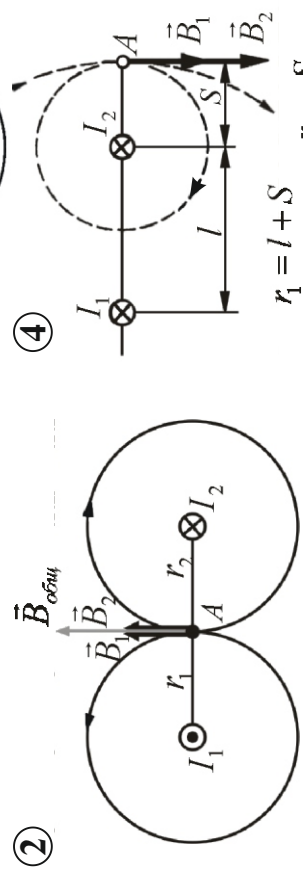
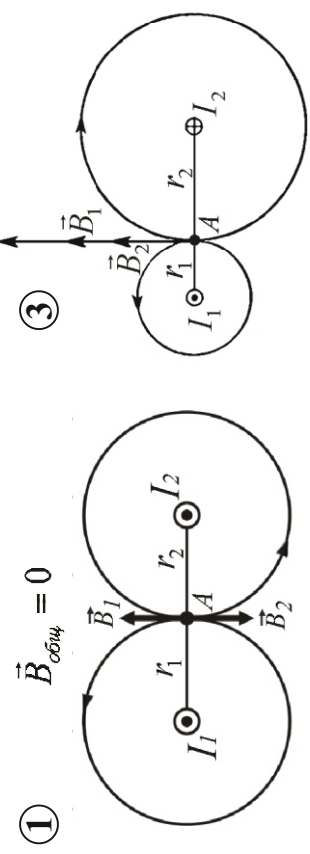
$$B = \frac{\mu_0 \mu N}{d}$$

$\xleftarrow{\text{относительная магнитная проницаемость}}$
 $\xleftarrow{\text{число витков}}$
 $\xleftarrow{\text{длина (высота) соленоида}}$

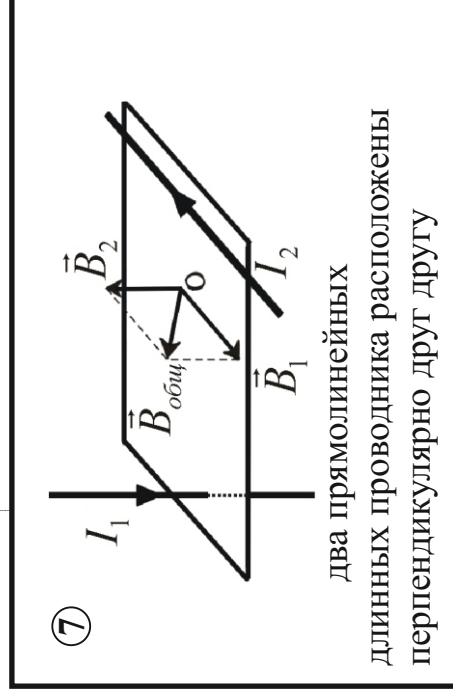
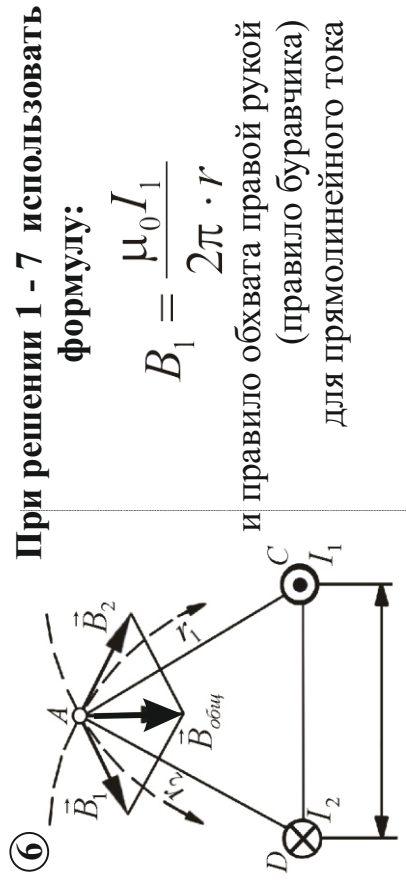
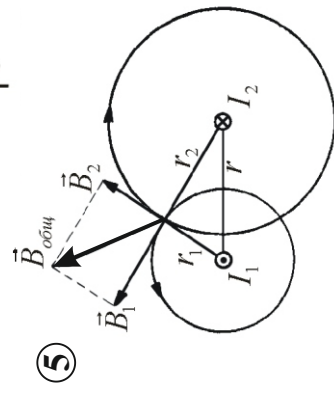


Совокупность источников магнитного поля (ККЭ 3.3.2)

Принцип суперпозиции: магнитное поле, создаваемое несколькими движущимися зарядами или токами, равно векторной сумме магнитных полей, создаваемых каждым зарядом или током в отдельности.
 В 1-7 магнитное поле создается длинными проводниками с током



$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

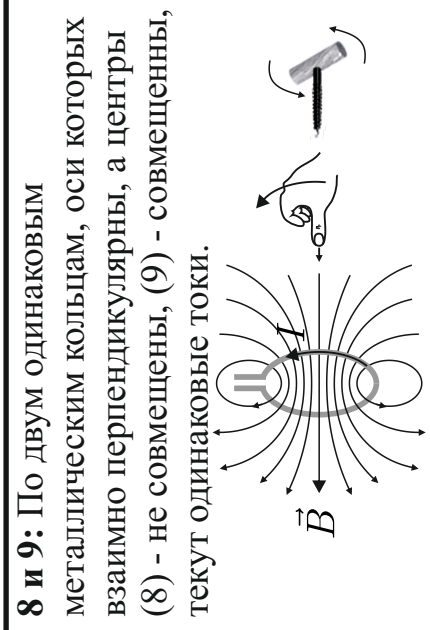
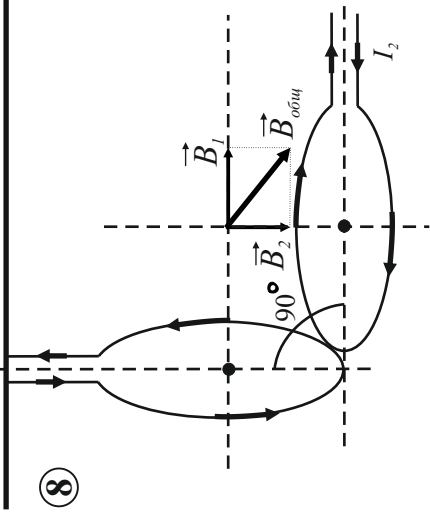


При решении 1 - 7 использовать формулу:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi \cdot r}$$
 и правило обхвата правой рукой (правило буравчика) для прямолинейного тока

1 - 6: два параллельных длинных проводника расположены на расстоянии r друг от друга и перпендикулярно плоскости чертежа.

8 и 9: По двум одинаковым металлическим кольцам, оси которых взаимно перпендикулярны, а центры (8) - не совмещены, (9) - совмещены, текут одинаковые токи.



При решении 8 и 9 применить формулу:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

и правило обхвата правой рукой (правило буравчика) для кругового тока

2.1 Методические рекомендации для решения задач по теме “Движение и равновесие проводника с током в магнитном поле” (ККЭ 3.3.3)

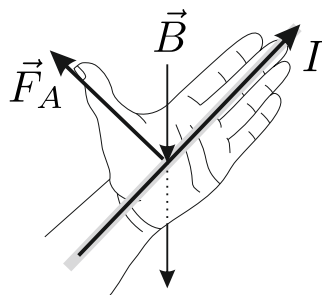
1. Изобразить проводник с током и его характеристики в начальном состоянии.
2. Изобразить конечное состояние проводника и его характеристики.
3. Изобразить магнитное поле и его характеристики.
4. Выделить воздействующие на проводник тела. Показать силы воздействия.
5. Если проводник с током находится в равновесии, применить уравнения:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0$$

6. В случае равномерного или равноускоренного движения проводника с током во внешнем магнитном поле использовать соответственно уравнения динамики:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad \text{или} \quad m\vec{a} = \sum_{i=1}^n n\vec{F}_i$$

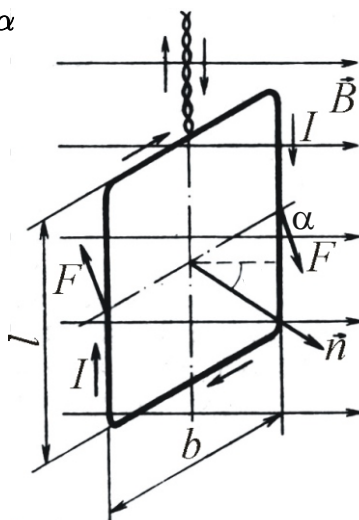
7. Если рассматриваются задачи на силы, действующие на проводники с током, находящиеся во внешнем магнитном поле, применять формулу силы Ампера и правило левой руки для определения ее направления.



$$F = lIB \sin \alpha$$

Помнить, что вектор силы Ампера перпендикулярен плоскости, в которой находится проводник с током, и плоскости, в которой находится \vec{B} .

8. Если в магнитном поле на контур с током действует вращательный момент, то применять формулу $M = I_K S_K B \sin \alpha$

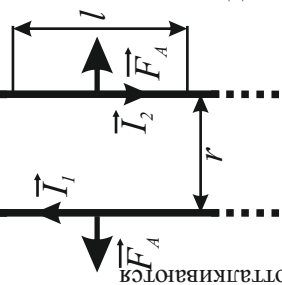


Если контур состоит из N витков, то $M = I_K S_K \cdot NB \sin \alpha$

Задачи на действие внешнего магнитного поля на проводник с током (ККЭ 3.3.3)

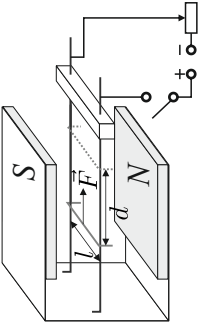
①

Взаимодействие параллельных проводников с током: токи одного направления притягиваются, противоположно направленные - отталкиваются



$$F_A = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

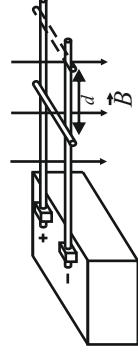
②



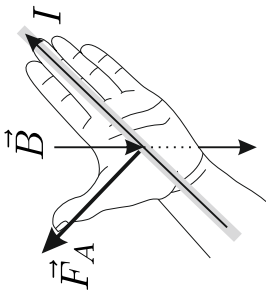
под действием силы Ампера

$$F_A = I l B \sin \alpha$$

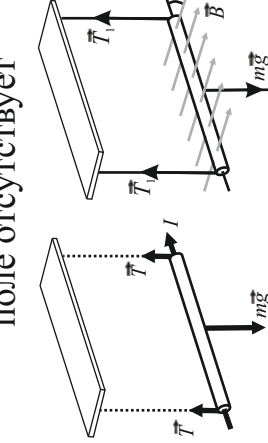
вид сверху



1) перемычка движется равномерно $F_{TP} = F_A$ $A = F_A \cdot d$ $ma = F_A$ $I l B$
 2) трение отсутствует движется равноускоренно $ma = F_A$ $I l B$

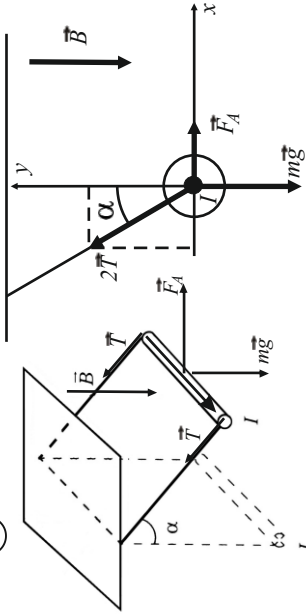


поле отсутствует



$$2T = mg$$

④ вертикальное поле

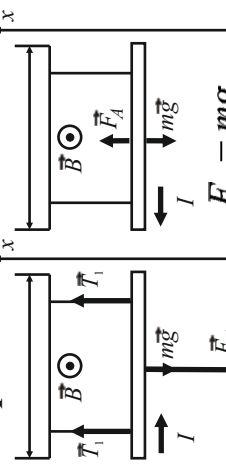


$$(ox) 2T \sin \alpha = I l B$$

$$(oy) 2T \cos \alpha = mg$$

$$tg \alpha = \frac{I l B}{mg}$$

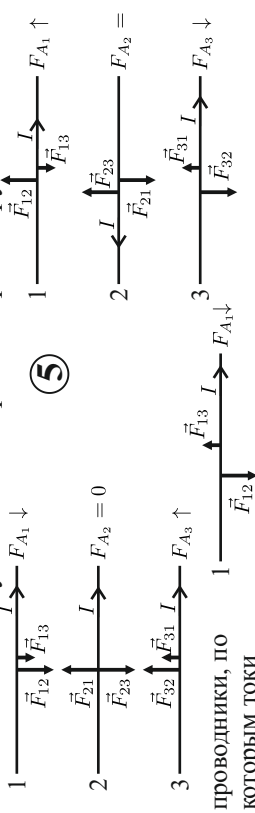
горизонтальное поле



$$2T_1 = mg + I l B$$

$$2kx = mg + I l B$$

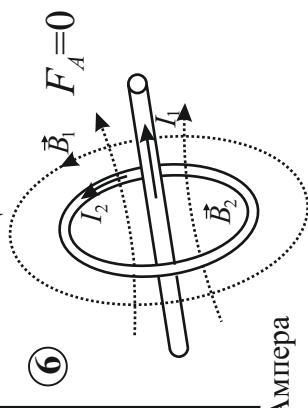
Три тонких параллельных проводника с током I, лежаг в одной плоскости на расстоянии r друг от друга. На каждый проводник действует сила Ампера со стороны других



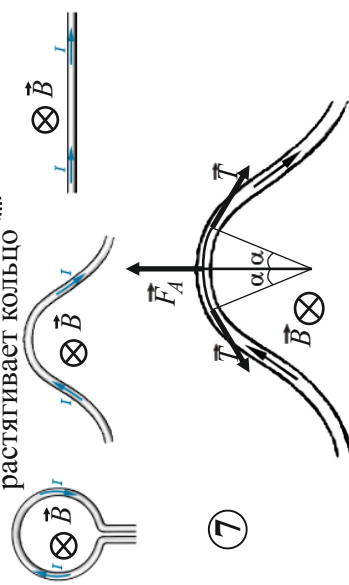
$$F_A = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

проводники, по которым токи протекают в одном направлении, притягиваются в противоположных - отталкиваются

взаимодействие провода и кольца с током



сила Ампера растягивает кольцо



$$F_A = I l B = 2R \alpha I B$$

$$F_A = 2T \sin \alpha \quad (\sin \alpha \approx \alpha)$$

Горизонтальный проводник с током находится в магнитном поле

Задачи на действие внешнего магнитного поля на контур (рамку) с током (ККЭ 3.3.3)

1. На чертеже показать: контур с током направление \vec{B} углы между \vec{B} и элементами контура по правилу левой руки определить направление \vec{F}_A , кот. действует со стороны внешнего поля на каждый элемент контура. 3. Применить формулу $M_{МЭХ} = I_K S_K \sin \alpha$

Если контур состоит из N витков, то $M = I_K S_K \cdot N B \sin \alpha$

1 На части AC и DE действуют силы Ампера, на части CD и AE $F_A = 0$

2 взаимодействие контура с током и постоянного магнита контур повернется: против часовой стрелки по часовой стрелке

направление вращения зависит от направления тока в контуре

4 $\alpha = 0^\circ$, т.е. контур перпендикулярен \vec{B} $M = 0$ контур во внешнем магнитном поле сжимается или растягивается

Это зависит от направления внешнего магнитного поля и направления тока в рамке

5 Круговой виток с током помещен в магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витка. Под действием сил Ампера виток растягивается сжимается

Всякий контур с током, находящийся во внешнем магнитном поле, под действием электромагнитных сил стремится занять положение, при котором **поток, пронизывающий контур, будет положительным и максимальным.**

3 $M = \max = I_K S_K B$ $M_{МЭХ} = 0$ $\alpha = 0$

Это возможно тогда, когда **плоскость витка будет перпендикулярна направлению внешнего поля, собственное магнитное поле внутри витка будет совпадать по направлению с внешним.**

В положении устойчивого равновесия электромагнитные силы стремятся растянуть виток, чтобы сцепленный с ним магнитный поток мог увеличиться.

Действие внешнего магнитного поля на контур (рамку) с током (ККЭ 3.3.4)

механический момент, действующий на контур с током

$$M_{MECH} = P_M B \sin \alpha = I_K S_K B \sin \alpha$$

вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля

угол между нормалью к контуру и вектором магнитной индукции

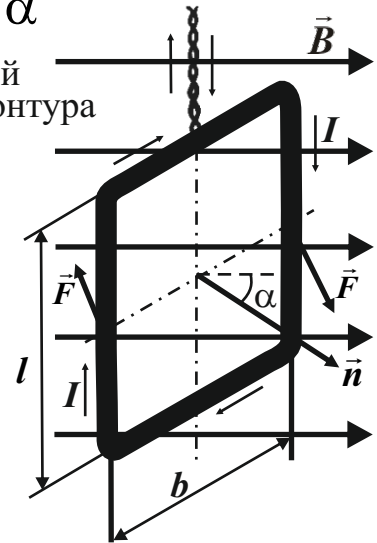
M_{MECH} не зависит от формы плоского контура

магнитный момент контура

$$P_M = I_K S_K$$

площадь контура (рамки)

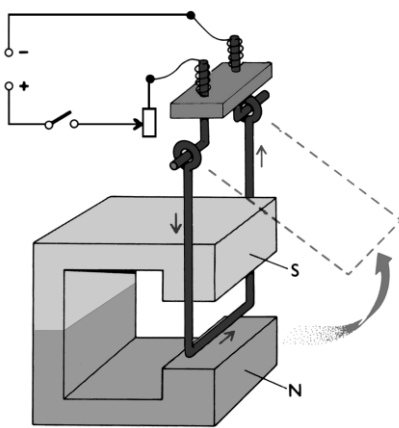
сила тока в контуре (рамке)



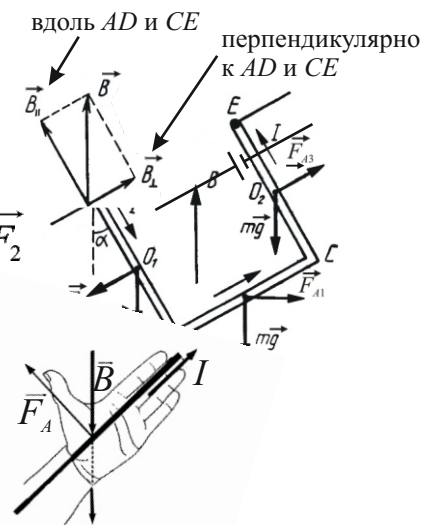
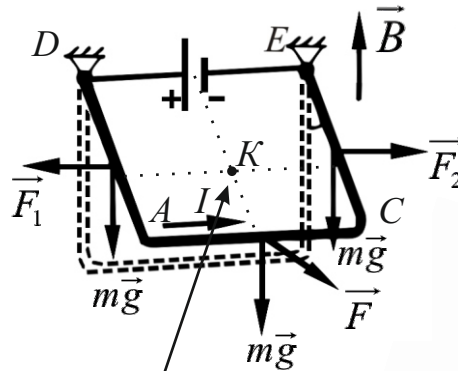
Ситуация:

провод согнут в виде трех сторон квадрата (масса каждой стороны mg) и прикреплен своими гонцами к горизонтальной оси, вокруг которой он может свободно вращаться в однородном вертикальном магнитном поле B . По проводу пропускают ток I , контур отклоняется от вертикальной оси на угол α .

При равновесии контура с током в магнитном поле, показать все силы, приложенные к контуру, и использовать условия равновесия протяженного тела



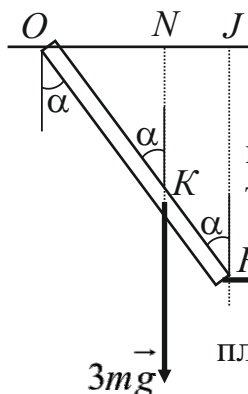
$$\sum \vec{F} = 0 \quad \sum M = 0$$



центр масс всего провода

Условие равновесия:

$\sum M = 0$ относительно оси вращения DE ;
 силы F_1 и F_2 параллельны DE , момент их равен нулю.
 $DA=AC=CE=l$. Центр масс находится в точке K , $OK = \frac{2}{3}l$,
 сила тяжести рамки $3mg$



плечо силы тяжести $ON = \frac{2}{3}l \sin \alpha$

$$OK = \frac{2m \cdot \frac{l}{2} + ml}{3m} = \frac{2}{3}l$$

плечо силы $F_{A1} \Rightarrow PJ = l \cos \alpha$

$$3mg \cdot \frac{2}{3}l \sin \alpha = F_A \cdot l \cos \alpha$$

$$3mg \cdot \frac{2}{3}l \sin \alpha = I l B \cdot l \cos \alpha$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{I l B}{2mg}$$

2.2 Методика решения задач о движении заряженных частиц в электрических и магнитных полях (ККЭ 3.3.4)

1. На чертеже показать
- 1) линии магнитной индукции
 - 2) силовые линии электростатического поля
 - 3) вектор начальной скорости частицы
 - 4) отметить знак заряда частицы

2. Если скорость частицы направлена под углом к линиям магнитной индукции



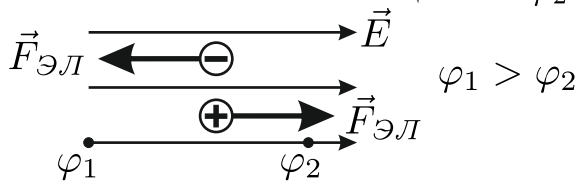
разложить скорость на две составляющие: перпендикулярно линиям магнитной индукции и параллельно им

3. Изобразить силы, действующие на заряженную частицу.

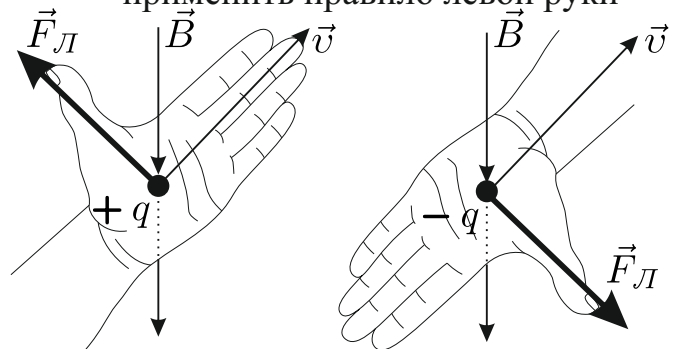


\vec{F}_L и $\vec{F}_{ЭЛ}$ (силу тяжести не учитывать)

При определении направления $\vec{F}_{ЭЛ}$ учесть, что силовые линии электрического поля направлены от точки с большим потенциалом φ_1 , к точке с меньшим потенциалом φ_2



При определении направления \vec{F}_L учесть знак заряда частицы и применить правило левой руки



для положительного заряда

для отрицательного заряда

Электрическое поле сообщает заряженной частице ускорение, параллельное направлению \vec{E}

4. Определить вид траектории частицы (прямая линия, парабола, окружность, винт, спираль, циклоида)

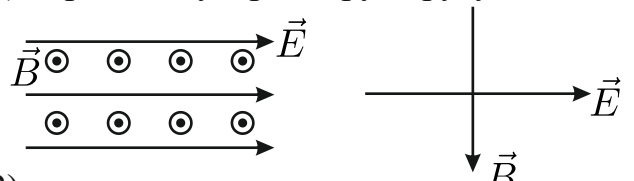
Магнитное поле изменяет направление скорости, сообщая заряженной частице центростремительное ускорение

5. Составить основное уравнение динамики движения материальной точки

Типичные ситуации

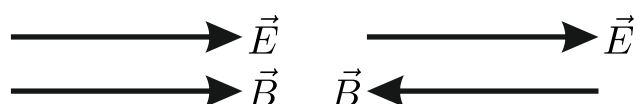
Линии напряженности однородного электрического поля и линии магнитной индукции

1) перпендикулярны друг другу



2) параллельны и направлены

в одну сторону в разные стороны

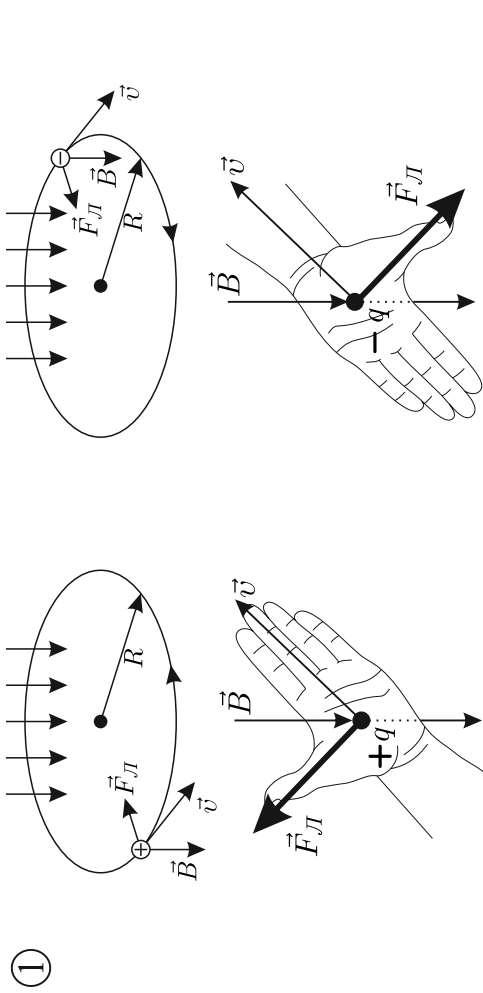


7. Решить уравнение для проекций на выбранные оси координат

8. Добавить к уравнениям динамики кинематические уравнения

Варианты движения заряженной частицы во внешнем магнитном поле (ККЭ 3.3.4)

$\alpha = 90^\circ$ - частица в магнитном поле равномерно движется по окружности с центростремительным ускорением.



Уравнение движения: $m\vec{a}_c = \vec{F}_L$ (силу тяжести не учитывать)

$$\frac{mv^2}{R} = vqB; (\sin \alpha = 1)$$

$$\frac{mv}{R} = qB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}, \text{ но } mv = P (\text{импульс}) \Rightarrow R = \frac{P}{qB}$$

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{\sqrt{m^2v^2}}{qB} = \frac{\sqrt{2mE_{кин}}}{qB} \leftarrow \begin{matrix} \text{кинетическая} \\ \text{энергия частицы} \end{matrix}$$

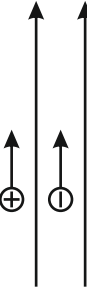
Окружность такого радиуса описывает частица:

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{P}{qB} = \frac{\sqrt{2mE_{кин}}}{qB}$$

$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qBv} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{qB}$$

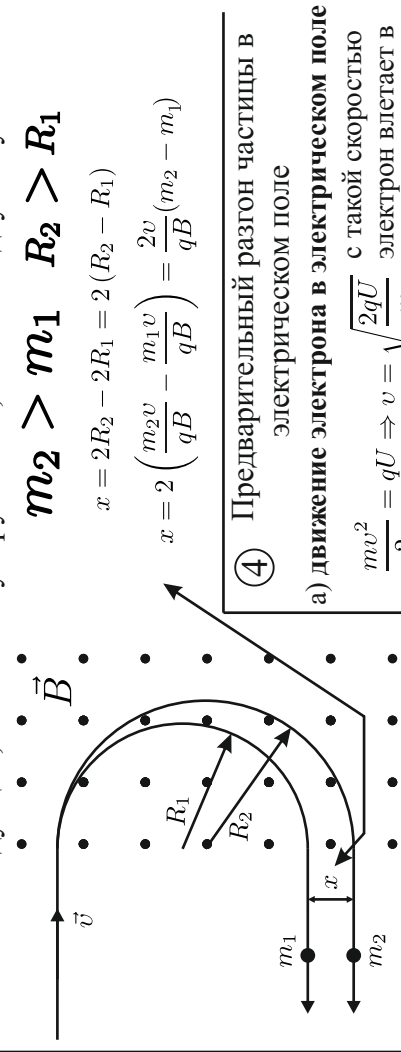
период не зависит от радиуса и скорости частицы

$\alpha = 0^\circ$, т.е. скорость частицы параллельно вектору магнитной индукции $F_L = 0$, частица движется равномерно и прямолинейно



②

③ Однозарядные ионы изотопов, имея одинаковые скорости, попадают в однородное магнитное поле с индукцией B перпендикулярно к линиям магнитной индукции, описав полукружности, вылетают двумя пучками.



$$m_2 > m_1 \quad R_2 > R_1$$

$$x = 2R_2 - 2R_1 = 2(R_2 - R_1)$$

$$x = 2 \left(\frac{m_2 v}{qB} - \frac{m_1 v}{qB} \right) = \frac{2v}{qB} (m_2 - m_1)$$

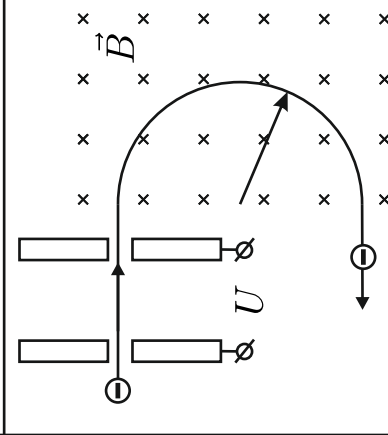
④ Предварительный разгон частицы в электрическом поле

а) движение электрона в электрическом поле $\frac{mv^2}{2} = qU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ с такой скоростью электрон влетает в магнитное поле

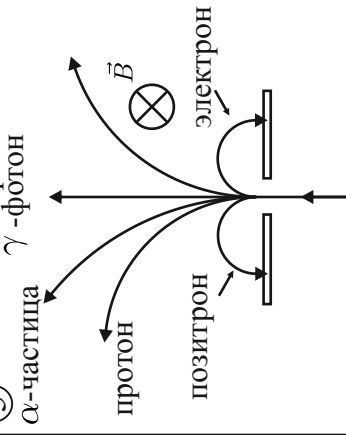
б) движение электрона в магнитном поле

$$R = \frac{mv}{qB} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{2mU}{B^2 q}}$$

$$R^2 B^2 q = 2mU \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2} \text{ удельный заряд электрона}$$



⑤



⑥ Влетают α -частица и протон с одинаковыми скоростями

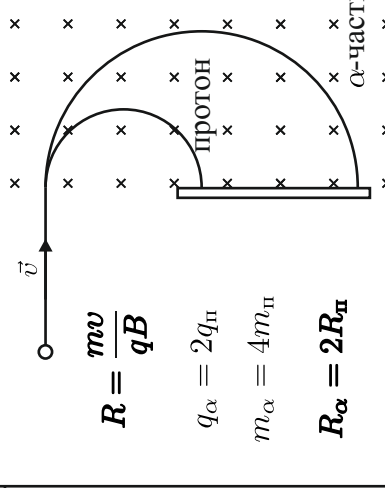
$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$q_\alpha = 2q_p$$

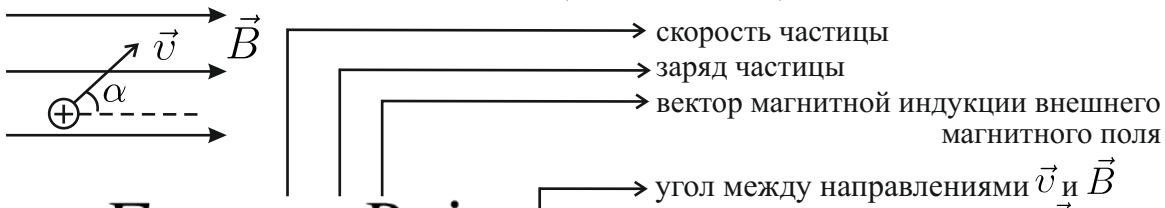
$$m_\alpha = 4m_p$$

$$R_\alpha = 2R_p$$

⑥

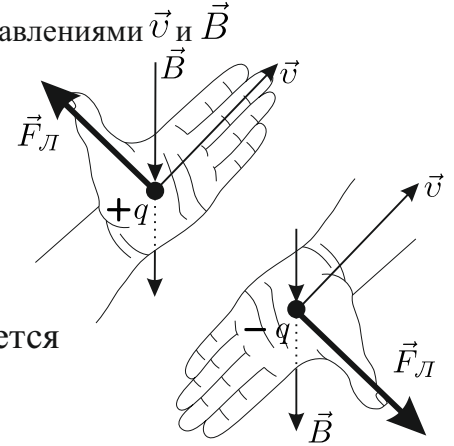


Движение заряженной частицы во внешнем магнитном поле (ККЭ 3.3.4)



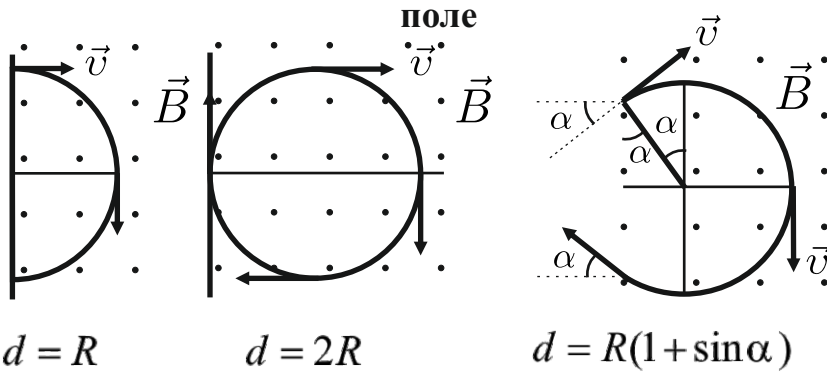
$$F_L = vqB \sin \alpha$$

сила Лоренца, действующая на движущуюся заряженную частицу со стороны внешнего магнитного поля

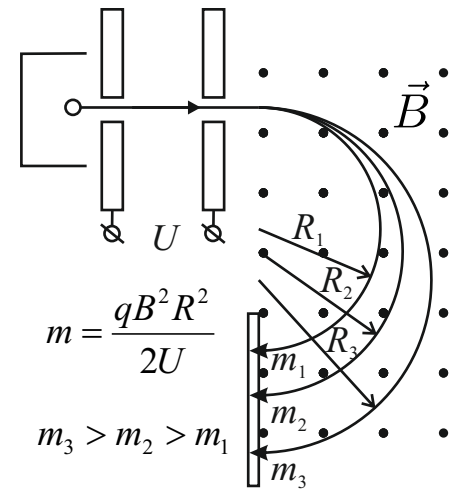


$\alpha=90^\circ \Rightarrow$ частица в магнитном поле равномерно движется по окружности $R = \frac{mv}{qB}$

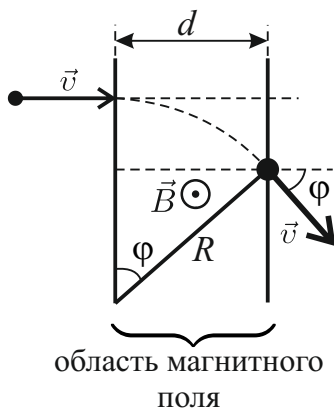
1) глубина проникновения заряда в магнитное поле



2) в масс-спектрометре происходит разделение ионов по их массе



3) отклонение частицы от первоначального направления на угол phi



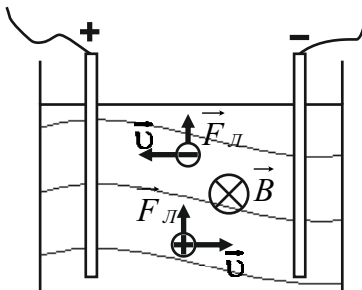
$$\frac{m v^2}{R} = q v B$$

$$R = \frac{m v}{q B}$$

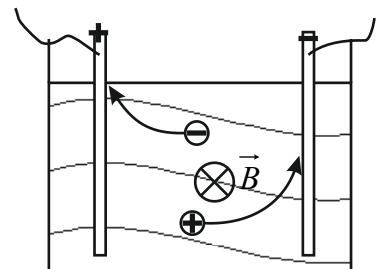
$$\sin \varphi = \frac{d}{R} = \frac{dqB}{m v}$$

$$m v \sin \varphi = dqB$$

4) влияние магнитного поля на движение ионов при электролизе

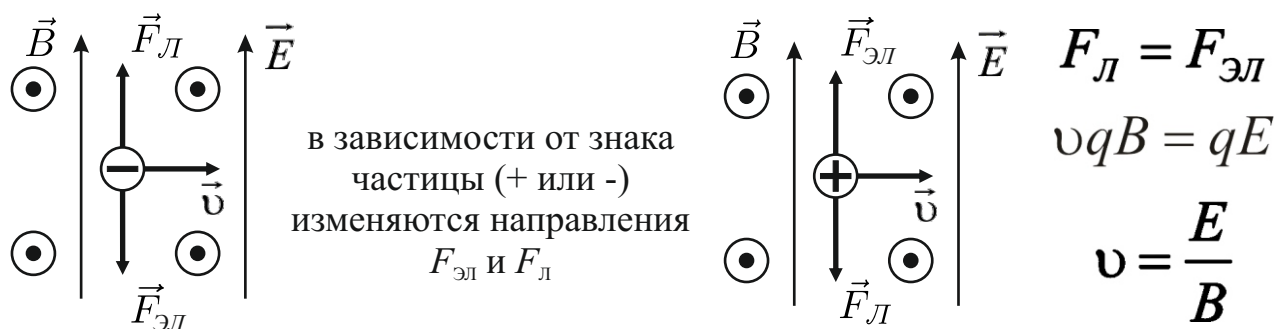
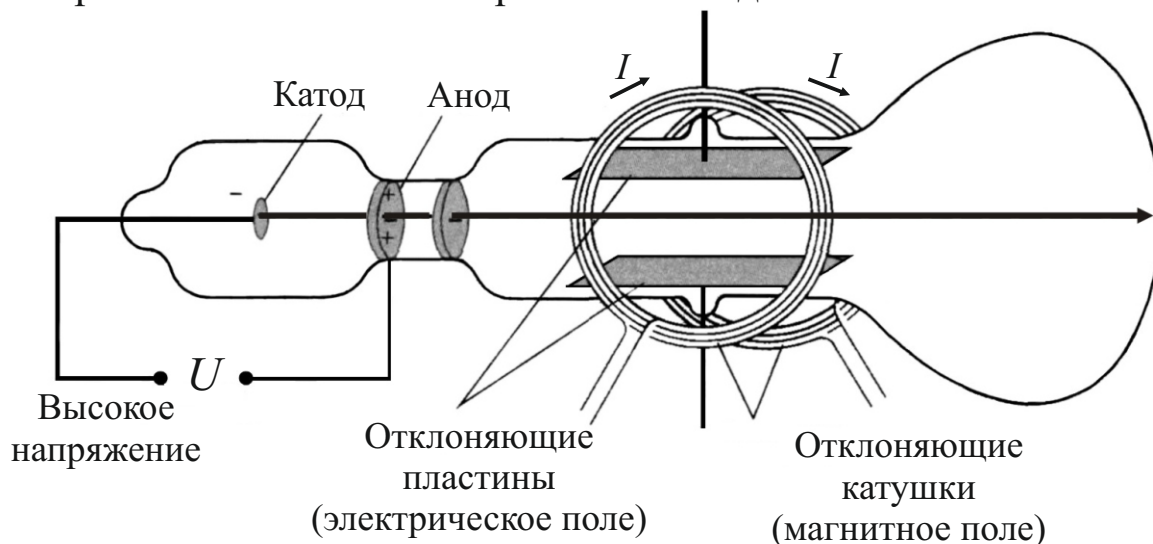


ионы обоих знаков будут смещаться вверх



Движение электрона и протона в перпендикулярных электрическом и магнитном полях (ККЭ 3.3.4)

Если в однородных электрическом и магнитном полях, расположенных взаимно перпендикулярно, заряженная частица (электрон, протон, ион) движется равномерно и прямолинейно, то магнитная и электрическая силы противоположны по направлению и одинаковы по величине



Если частица **предварительно** двигалась в электрическом поле, ускоряющее напряжение которого U , то она приобретет

кинетическую энергию $\frac{m v^2}{2} = qU$

в пространство с перпендикулярными полями частица влетит со скоростью $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$

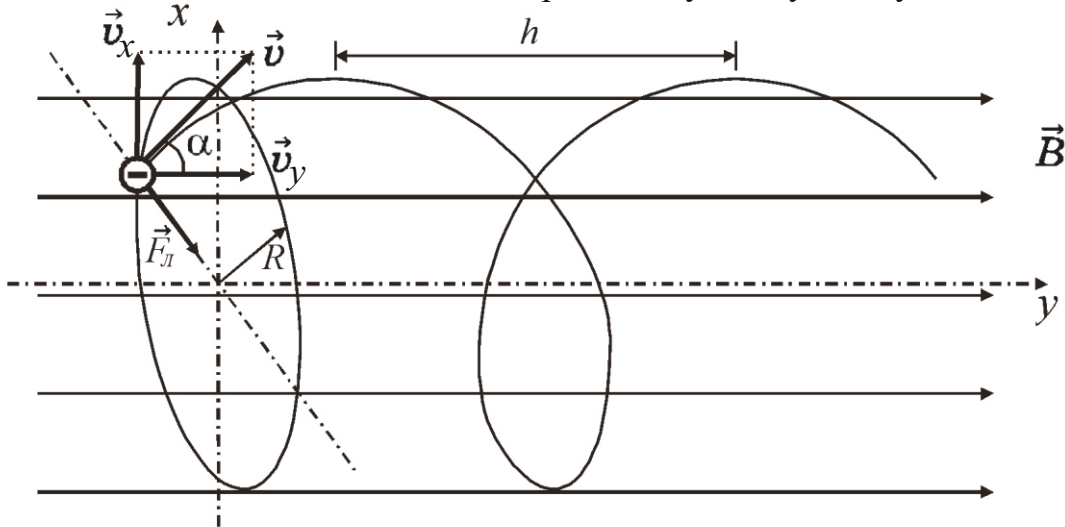
$$v = \frac{E}{B} = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \Rightarrow \boxed{\frac{E^2}{B^2} = \frac{2qU}{m}}$$

Так экспериментально определяют **удельный заряд частицы**, т.е. отношение заряда частицы к ее массе

$$\frac{q}{m} = \frac{E^2}{2UB^2}$$

Частица влетает под углом α к линиям магнитной индукции (ККЭ 3.3.4)

Она движется по винтовой линии, одновременно участвуя в двух движениях:



- (x) равномерное движение по окружности с a_y } из чертежа $v_x = v_0 \sin \alpha$
 (y) равномерное прямолинейное движение } $v_y = v_0 \cos \alpha$

(x) $ma_y = Bqv_0 \sin \alpha$

$$\frac{mv_x^2}{R} = Bqv_0 \sin \alpha \Rightarrow \frac{mv_0^2 \sin^2 \alpha}{R} = Bqv_0 \sin \alpha \Rightarrow \frac{mv_0 \sin \alpha}{R} = Bq$$

$R = \frac{mv_0 \sin \alpha}{qB}$ окружность такого радиуса описывает частица

$$v_x = \omega R = \frac{2\pi}{T} R$$

└───> период обращения

$$T = \frac{2\pi R}{v_x} = \frac{2\pi m v_0 \sin \alpha}{qB v_0 \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{qB} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Период обращения не зависит от радиуса, скорости частицы и угла α
 $t=T$ - за это время вдоль оси (y) частица перемещается $h = v_y \cdot T$

$$h = \frac{2\pi m v_y}{qB} = \frac{2\pi m v_0 \cos \alpha}{qB} \Rightarrow h = \frac{2\pi m v_0 \cos \alpha}{qB} \quad \text{- «шаг» винта}$$

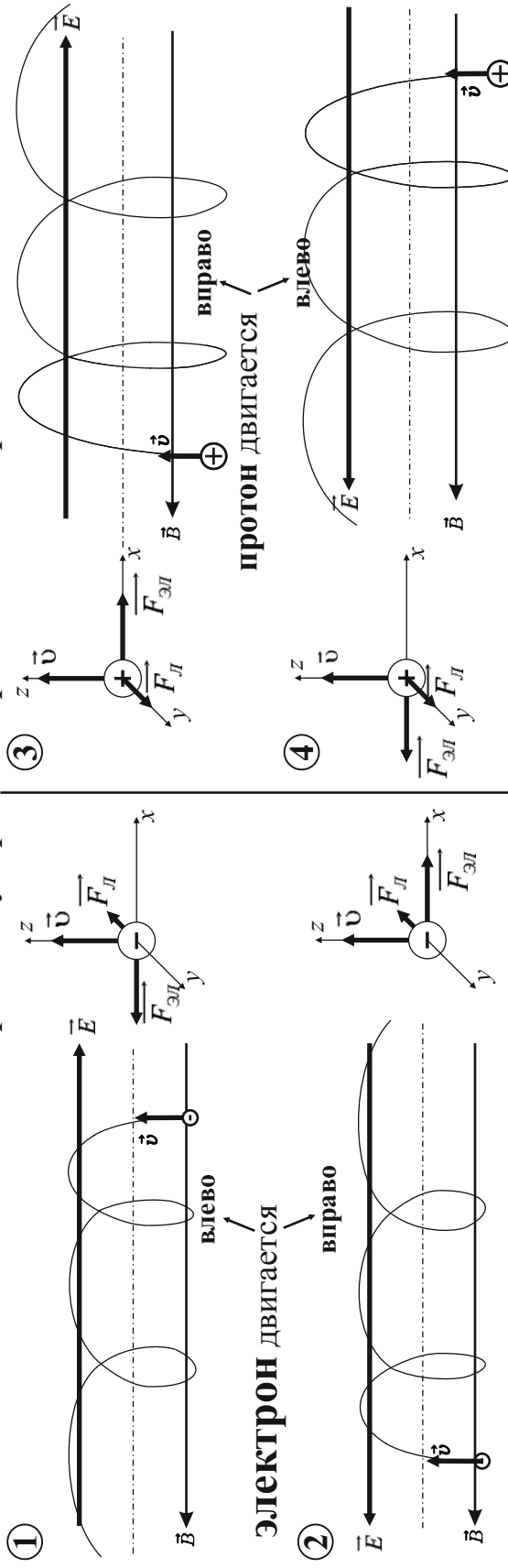
Работа силы Лоренца равна нулю, кинетическая энергия частицы не изменяется

Движение электрона и протона в параллельных электрическом и магнитном полях (ККЭ 3.3.4)

Описать движение заряженной частицы массой m и зарядом q в однородном электрическом и магнитном полях, линии напряженности и магнитной индукции которых параллельны.

Начальная скорость частицы направлена перпендикулярно к направлению векторов \vec{E} и \vec{B}

1 - 4 : перпендикулярно к направлению векторов \vec{E} и \vec{B}

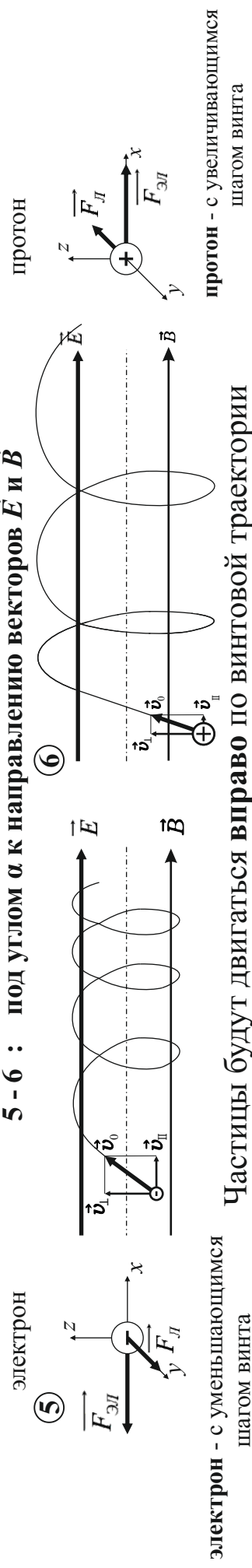


Частицы будут двигаться по винтовой траектории с увеличивающимся шагом винта.

Ось винта параллельна \vec{E} и \vec{B} . Направление движения частицы зависит от знака её заряда и направления силовых

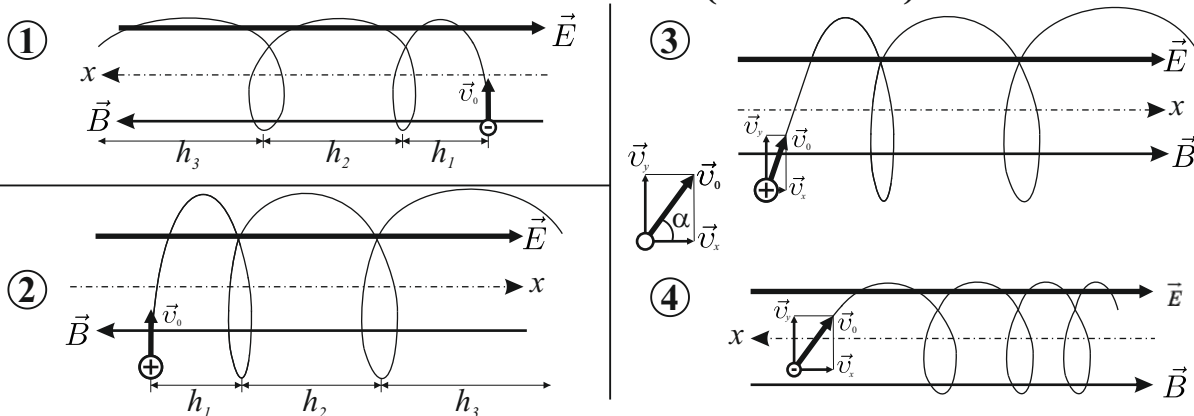
линий электрического поля.

5 - 6 : под углом α к направлению векторов \vec{E} и \vec{B}



Частицы будут двигаться вправо по винтовой траектории
Ось винта параллельна \vec{E} и \vec{B}

Движение заряженной частицы в параллельных электрическом и магнитном полях (ККЭ 3.3.4)



Движение частицы по винтовой траектории с изменяющимся шагом винта является наложением двух движений:

1) вдоль силовых линий с ускорением $a = \frac{F_{эл}}{m} = \frac{qE}{m}$ (под действием электрического поля)

ситуации:	1 и 2	3	4
скорость вдоль оси x изменяется по закону	$v_x = at = \frac{qE}{m}t$	$v_x = v_0 \cos \alpha + at$	$v_x = v_0 \cos \alpha - at$
смещение вдоль оси ox	$S_x = \frac{at^2}{2} = \frac{qE}{2m}t^2$	$S_x = (v_0 \cos \alpha)t + \frac{at^2}{2}$	$S_x = (v_0 \cos \alpha)t - \frac{at^2}{2}$

2) равномерного движения по окружности радиуса R с периодом T

линейная скорость	v_0	$v_0 \sin \alpha$
центростремительное ускорение	$a_y = \frac{F_L}{m} = \frac{v_0 qB}{m}$	$a_y = \frac{F_L}{m} = \frac{qB v_0 \sin \alpha}{m}$
Число оборотов за время t	$\frac{v_0^2}{R} = \frac{v_0 qB}{m} \Rightarrow R = \frac{mv_0}{qB}$	$\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{R} = \frac{qB v_0 \sin \alpha}{m} \Rightarrow R = \frac{mv_0 \sin \alpha}{qB}$
$N = \frac{t}{T} = \frac{qB}{2\pi m}t$	$v = \omega R = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{qB}$	$v_0 \sin \alpha = \omega R = \frac{2\pi}{T} R \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{qB}$

1-2 В любой момент времени скорость частицы равна $v = \sqrt{v_0^2 + v_x^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{qE}{m}t\right)^2}$

и направлена под углом β к $v_0 \Rightarrow \cos \beta = \frac{v_0}{v}$

$h_1 : h_2 : h_3 = 1 : 3 : 5$

Шаг 1-го витка $\Rightarrow S_1 = h_1 = \frac{aT^2}{2} = \frac{qE4\pi^2 m^2}{2mq^2 B^2} = \frac{2\pi^2 mE}{qB^2}$

Шаг 2-го витка $\Rightarrow h_2 = S_2 - h_1 = \frac{a4T^2}{2} - \frac{aT^2}{2} = 3\frac{aT^2}{2} = 3h_1$

3 Шаг винта за первый оборот $h_1 = (v_0 \cos \alpha)T + \frac{qBv_0 \sin \alpha}{2m}T^2$

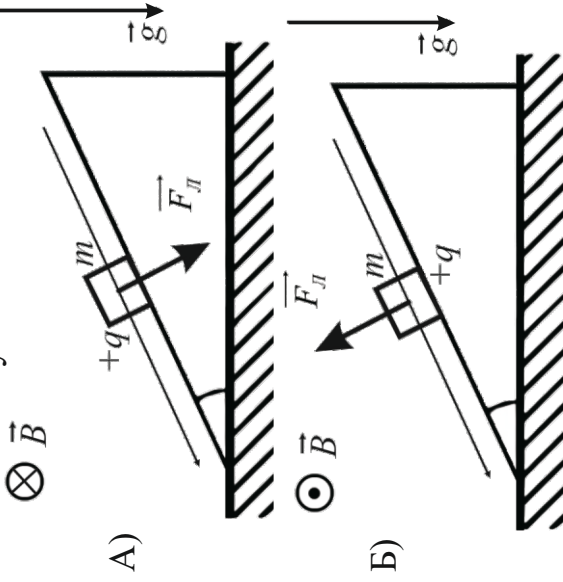
4 Максимальное смещение электрона в направлении силовых линий электрического поля (до остановки вдоль ox) $S = \frac{(v_0 \cos \alpha)^2}{2a} = \frac{m(v_0 \cos \alpha)^2}{2qE}$

Время его движения в направлении \vec{E} $v_0 \cos \alpha = at \Rightarrow t = \frac{mv_0 \cos \alpha}{qE}$

частица сделает N оборотов $N = \frac{t}{T} = \frac{mv_0 \cos \alpha qB}{qE2\pi m} = \frac{Bv_0 \cos \alpha}{2\pi E}$ далее частица начнет двигаться как в ситуации 1

1. Небольшое тело массой m и положительным зарядом q спускается по наклонной плоскости в горизонтальном магнитном поле с индукцией B . Угол наклона плоскости

к горизонту α , коэффициент трения тела о плоскость μ . При спуске тело приобретает максимальную скорость v и далее спускается равномерно только в случае А

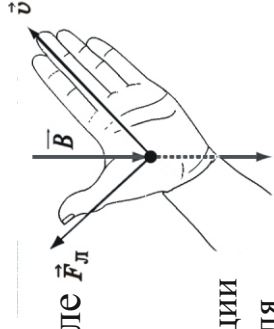


по мере движения скорость тела будет увеличиваться, т.е. равномерный спуск невозможен

Движущееся заряженное тело создает вокруг себя магнитное поле $\vec{F}_л$ (подобно электрическому току)

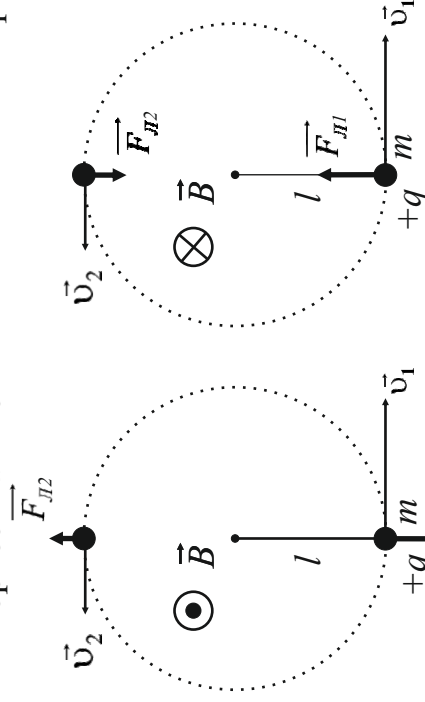
скорость движения тела — заряд тела
сила Лоренца, действующая на заряженное тело — вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля

$$\vec{F}_л = vqB \sin \alpha \rightarrow \text{угол между направлениями } \vec{v} \text{ и } \vec{B}$$



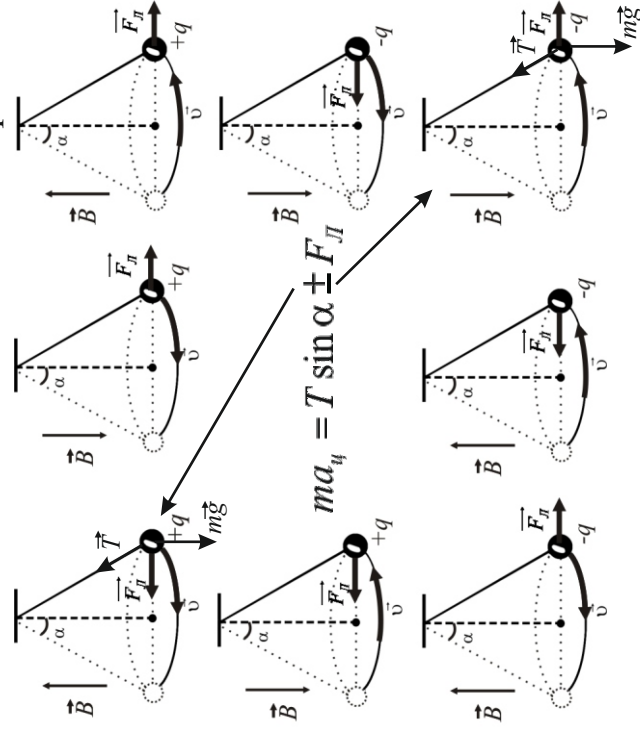
2. Маленький шарик массой m и положительным зарядом q вращается на нити длиной l в вертикальной плоскости.

Однородное магнитное поле с индукцией B направлено горизонтально



$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + 2mgl$$

3. Тело массой m и зарядом q движется в горизонтальной плоскости на нити длиной l , образуя угол α с вертикалью. Однородное магнитное поле с индукцией B направлено вертикально (при решении учесть направление движения тела, знак заряда и направление магнитного поля — возможны 8 вариантов)



решения задач даны на страницах 23 - 24

① Положительно заряженное тело движется вниз по наклонной плоскости в горизонтальном магнитном поле, направленном “от нас”

Тело начинает двигаться вниз, его скорость увеличивается

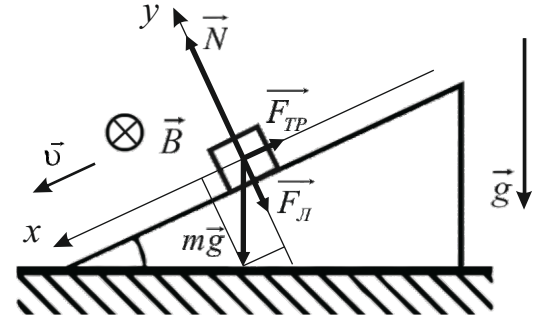
увеличивается сила Лоренца

увеличивается сила трения, ускорение тела уменьшается

тело достигает максимальной скорости и далее спускается равномерно

$$\vec{m}\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_L + \vec{F}_{TP} = 0$$

\vec{F}_{TP} — сила трения
 \vec{F}_L — сила Лоренца
 \vec{N} — нормальная реакция опоры
 $\vec{m}\vec{g}$ — сила тяжести



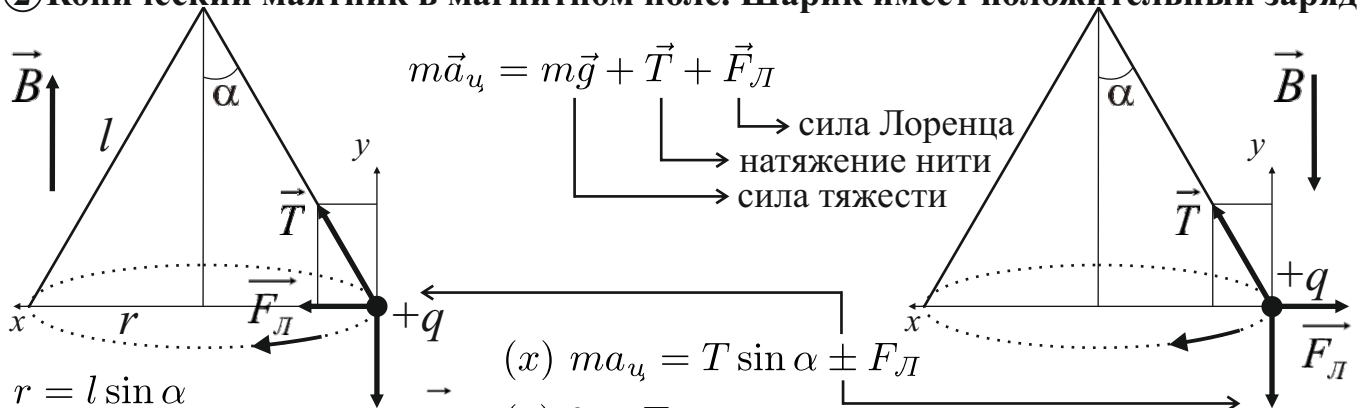
$$(ox) \quad mg \sin \alpha = F_{TP} \quad \leftarrow \mu N$$

$$(oy) \quad N = mg \cos \alpha + F_L$$

$$mg \sin \alpha = \mu(mg \cos \alpha + vqB)$$

$$\rightarrow v_{\max} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\mu qB} = \frac{mg}{qB} \cos \alpha \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\mu} - 1 \right)$$

② Конический маятник в магнитном поле. Шарик имеет положительный заряд



$$m\vec{a}_y = m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_L$$

\vec{F}_L — сила Лоренца
 \vec{T} — натяжение нити
 $\vec{m}\vec{g}$ — сила тяжести

$$(x) \quad ma_y = T \sin \alpha \pm F_L$$

$$(y) \quad 0 = T \cos \alpha - mg$$

$$r = l \sin \alpha$$

$$a_y = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2}{l \sin \alpha}$$

$$F_L = vqB$$

$$\begin{cases} T \sin \alpha = ma_y \mp F_L \\ T \cos \alpha = mg \end{cases}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{ma_y \mp F_L}{mg}$$

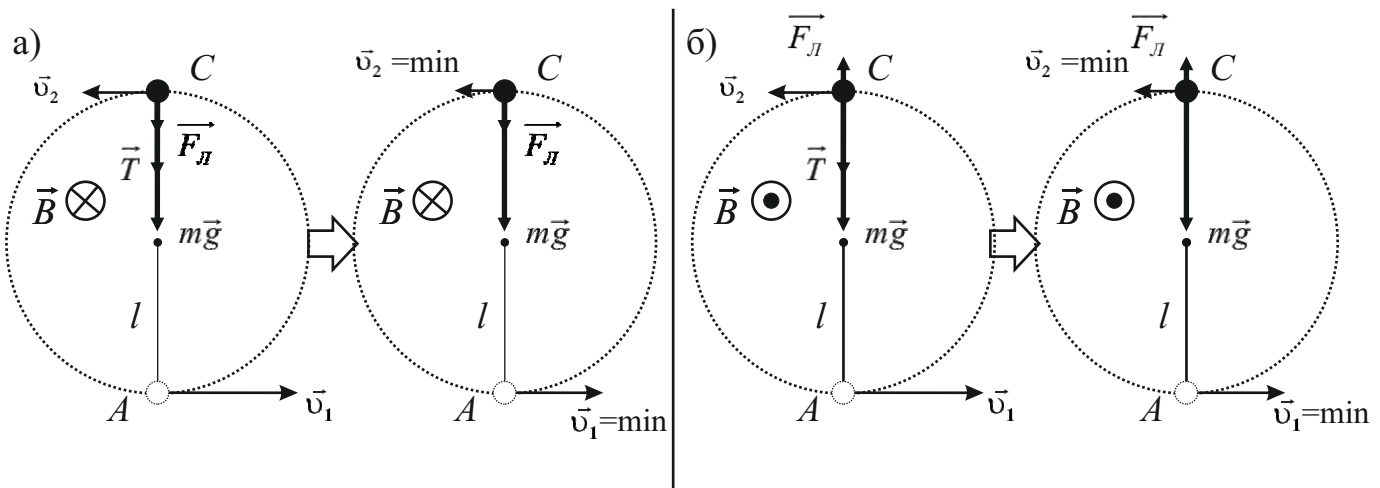
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{mv^2 - vqBl \sin \alpha}{mgl \sin \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{mv^2 + vqBl \sin \alpha}{mgl \sin \alpha}$$

$$v^2 - \frac{qBl \sin \alpha}{m} v - \frac{gl \sin^2 \alpha}{\cos \alpha} = 0 \Rightarrow v = \left[\sqrt{\frac{B^2 q^2}{4m^2} + \frac{g}{l \cos \alpha}} + \frac{Bq}{2m} \right] \cdot l \sin \alpha$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{v}{l \sin \alpha} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{B^2 q^2}{4m^2} + \frac{g}{l \cos \alpha}} + \frac{Bq}{2m} \quad \text{угловая скорость вращения}$$

- ③ Положительно заряженное тело вращается в вертикальной плоскости в горизонтальном магнитном поле. Минимальная скорость в точках А и С



По закону сохранения механической энергии:

$$W_{MEX_A} = W_{MEX_C} \quad \frac{m v_1^2}{2} = \frac{m v_2^2}{2} + 2mgl$$

$$v_1^2 = v_2^2 + 4gl \quad v_1 = \min, \text{ если } v_2 = \min$$

Уравнение динамики для точки С:

$$m a_y = mg + F_{Л} + T \quad \text{при } v_2 = \min \quad m a_y = mg - F_{Л} + T$$

$$T = 0$$

$$m \frac{v_2^2}{l} = mg + v_2 q B \quad \text{нить не натянута} \quad m \frac{v_2^2}{l} = mg - v_2 q B$$

$$v_2^2 - \frac{qBl}{m} v_2 - gl = 0 \quad v_2^2 + \frac{qBl}{m} v_2 - gl = 0$$

$$v_2 \geq \frac{qBl}{2m} + \sqrt{\frac{q^2 B^2 l^2}{4m^2} + gl} \quad v_2 \geq -\frac{qBl}{2m} + \sqrt{\frac{q^2 B^2 l^2}{4m^2} + gl}$$



v_1



v_1

минимальная скорость в нижней точке зависит от направления силы Лоренца

$$v_1 \geq \left(5gl + \frac{q^2 B^2 l^2}{2m^2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4m^2 g}{q^2 B^2 l}} \right) \right) \quad v_1 \geq \left(5gl + \frac{q^2 B^2 l^2}{2m^2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4m^2 g}{q^2 B^2 l}} \right) \right)$$

3. Общие методические рекомендации для решения задач по теме “Электромагнитная индукция” (КР 3.4)

I. Необходимо повторить:

1. Законы: Ампера, электромагнитной индукции и самоиндукции, Ома для участка цепи, Джоуля-Ленца, I и II законы Ньютона

2. Мнемонические правила: правой руки - для определения направления индукционного тока; левого винта - для определения направления вектора напряженности вихревого электрического поля; правило левой руки - для определения направления силы Ампера, обхвата правой рукой (правило буравчика) - для определения направления линий магнитной индукции проводников с током

3. Формулы: сила Ампера; ЭДС индукции, возникающей в контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур; ЭДС индукции, возникающей в проводнике, движущемся в постоянном магнитном поле; ЭДС самоиндукции, индуктивности соленоида, энергии магнитного поля; сила тока по определению, сопротивление металлического проводника; связь напряженности электрического поля и напряжения на участке цепи, емкость плоского конденсатора и энергия заряженного конденсатора; сила тяжести и трения, механическая работа и мощность

II. Использовать следующий алгоритм:

1. Выяснить, изменяется или нет магнитный поток, пронизывающий контур

2. При любом изменении магнитного потока Φ через поверхность S , ограниченную проводящим контуром, применить закон электромагнитной индукции

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

3. Проанализировать условие задачи и установить причины изменения магнитного потока $\Phi = BS \cos \alpha$:

- изменяется вектор магнитной индукции \vec{B} ;
- изменяется площадь контура S , сцепленного с потоком;
- изменяется положение контура в магнитном поле

4. Записать значение магнитного потока в начальный и конечный момент времени Φ_1 и Φ_2

5. Записать значение изменения магнитного потока $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

6. Подставить значение $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ в формулу закона электромагнитной индукции и, учитывая

дополнительные условия, выразить силу индукционного тока I_i , протекающий по контуру заряд q , количество выделяемой теплоты Q , тепловую мощность, работу вихревого электрического поля $A_{ВИХР}$

7. Если магнитный поток не меняется, а проводник движется в магнитном поле, перерезая линии магнитной индукции, применить формулу: $\varepsilon_i = vlB \sin \alpha$

8. Проанализировать условие задачи и выяснить:

- движение происходит в горизонтальном, вертикальном направлении или по наклонной плоскости;
- как движется проводник: равномерно, равноускоренно;
- в замкнутом контуре подключен или нет аккумулятор (источник постоянного тока);
- движение происходит под действием внешней силы или под действием сил магнитного поля

9. В задачах на явление самоиндукции применять формулу $\varepsilon_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$,

выяснить, рассматривается момент нарастания или убывания тока в цепи, содержащей катушку индуктивности;

в момент нарастания $\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{ист} - \varepsilon_{is}$

в момент убывания $\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{ист} + \varepsilon_{is}$.

10. Помнить, что закон сохранения энергии выполняется для любых физических явлений и процессов

Задачи на закон электромагнитной индукции (ККЭ 3.4.1)

ЭДС индукции ε_i прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

по закону Ома:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$$

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

количество электричества, индуцированного в контуре

$$q = \frac{\Delta \Phi}{R}$$

Полный заряд, прошедший по проводнику, не зависит от способа изменения магнитного потока, а определяется только изменением потока и сопротивлением проводника

способа изменения магнитного потока, а определяется только изменением потока и сопротивлением проводника

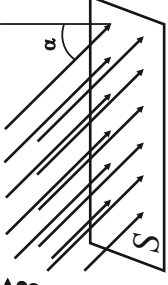
изменением потока и сопротивлением проводника

$$R = \rho \frac{l}{S_{\text{ПРОВО}}}$$

← удельное сопротивление
← периметр контура
← площадь поперечного сечения проводника

Причины изменения магнитного потока (ККЭ 3.4.2)

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$$

$$\Phi = BS_{\text{КОН}} \cos \alpha$$


1) Изменение магнитной индукции поля: ($B = B_0 \pm \Delta t$)

$$\Delta \Phi = \Delta BS_{\text{КОН}} \cos \alpha$$

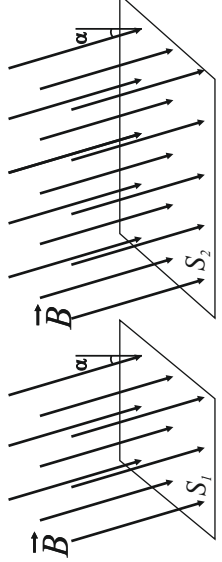
$$\Delta \Phi = (B_2 - B_1) S_{\text{КОН}} \cos \alpha$$

$$q = \frac{(B_2 - B_1) S_{\text{КОН}} \cos \alpha}{R}$$


2) Изменение площади контура S, сцепленного с магнитным потоком

$$\Delta \Phi = B \Delta S \cos \alpha$$

$$\Delta \Phi = B(S_2 - S_1) \cos \alpha$$

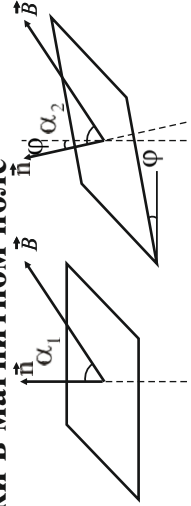
$$q = \frac{B(S_2 - S_1) \cos \alpha}{R}$$


3) Изменение положения рамки в магнитном поле (поворот рамки на угол φ)

$$\Delta \Phi = BS \Delta \cos \alpha$$

$$\Delta \Phi = BS \cos \alpha_2 - BS \cos \alpha_1$$

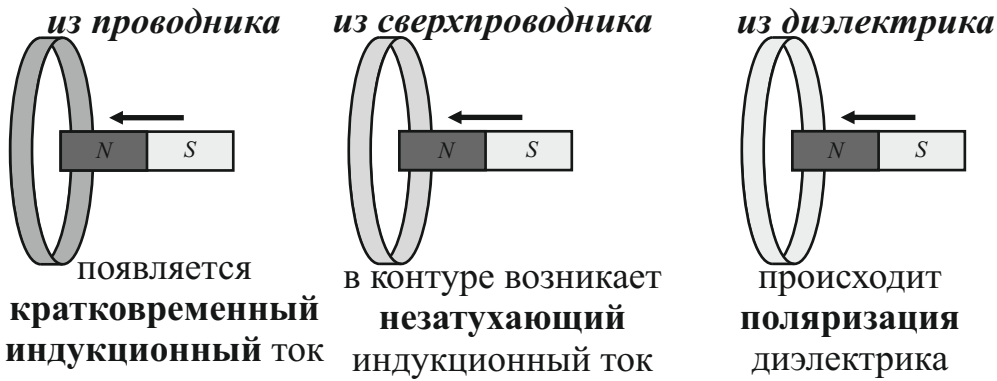
$$\hookrightarrow \alpha_1 + \varphi$$

$$q = \frac{BS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)}{R}$$


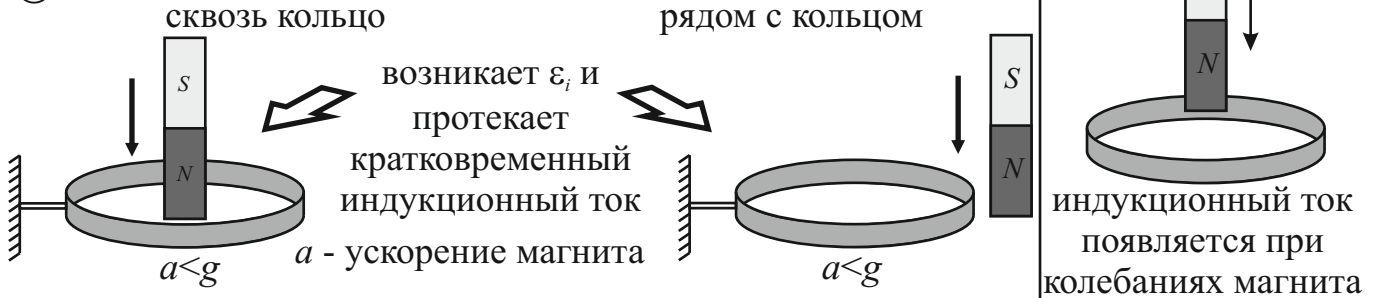
$$\Delta \Phi = BS \cos(\alpha_1 + \varphi) - BS \cos \alpha_1$$

3.1 Задачи на движение в пространстве постоянного магнита (ККЭ 3.4.1)

① магнит вдвигается в кольцо



② магнит падает вниз



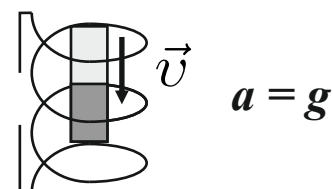
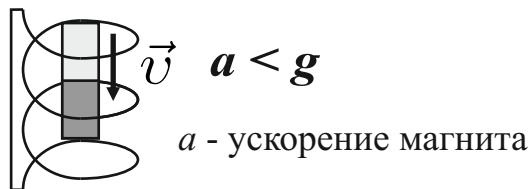
④ внутри рамки вращается магнит, ток в рамке:



⑤ магнит падает вдоль оси вертикально стоящей катушки

обмотка катушки замкнута

обмотка катушки разомкнута



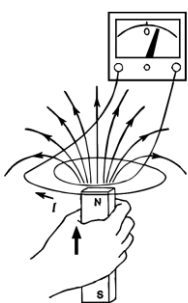
⑥ в короткозамкнутую катушку вдвигают магнит

$$\Delta B_1 = \Delta B_2 = \Delta B$$

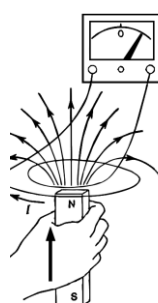
медленно

$$\left| \frac{\Delta B}{\Delta t_1} \right| < \left| \frac{\Delta B}{\Delta t_2} \right|$$

быстро



$$\begin{aligned} \varepsilon_{i1} &< \varepsilon_{i2} \\ I_{i1} &< I_{i2} \\ q_1 &= q_2 \\ A_{\text{МЭХ}1} &< A_{\text{МЭХ}2} \end{aligned}$$



Возрастающее внешнее магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, которое действует на электроны проводимости катушки

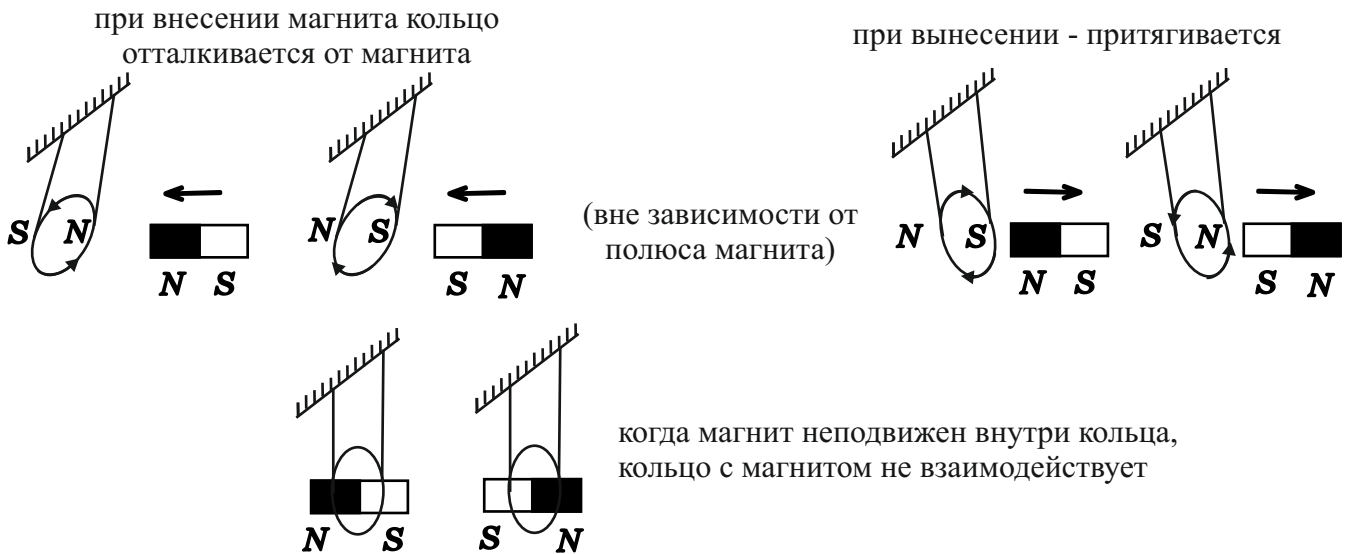
$$\begin{aligned} \text{возникает ЭДС индукции } \varepsilon_i &= N \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = NS \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \\ N - \text{число витков катушки} \\ \text{протекает индукционный ток } I_i &= \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{NS}{R} \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \\ \text{по катушке проходит заряд } q &= I_i \Delta t = \frac{NS}{R} \Delta B \end{aligned}$$

работа внешней силы, вдвигающей магнит, равна работе вихревого электрического поля

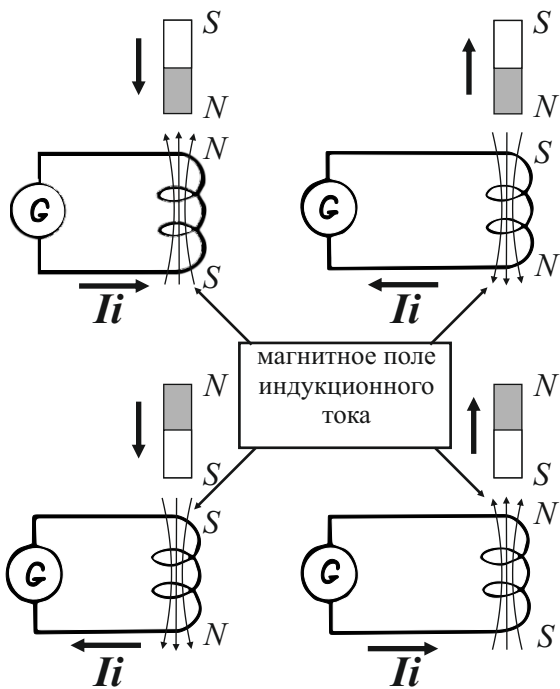
$$A_{\text{МЭХ}} = A_{\text{ВИХР}} = \varepsilon_i q$$

⑦ взаимодействие магнита с проводящим кольцом

При движении магнита изменяется магнитное поле в пространстве, оно порождает вихревое электрическое поле, которое действует на электроны проводимости металлического кольца



⑧ индукционный ток всегда направлен так, что его магнитное поле противодействует причине, его вызывающей (правило Ленца)

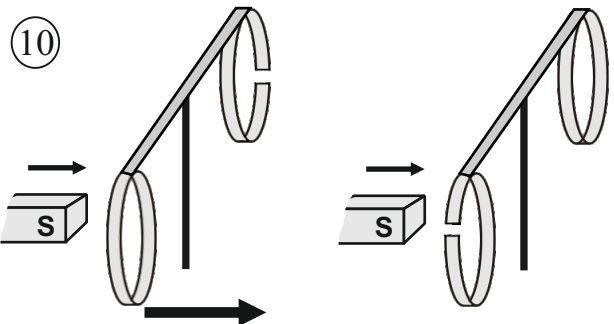


⑨ Прибор Ленца



результат не зависит от полярности магнита

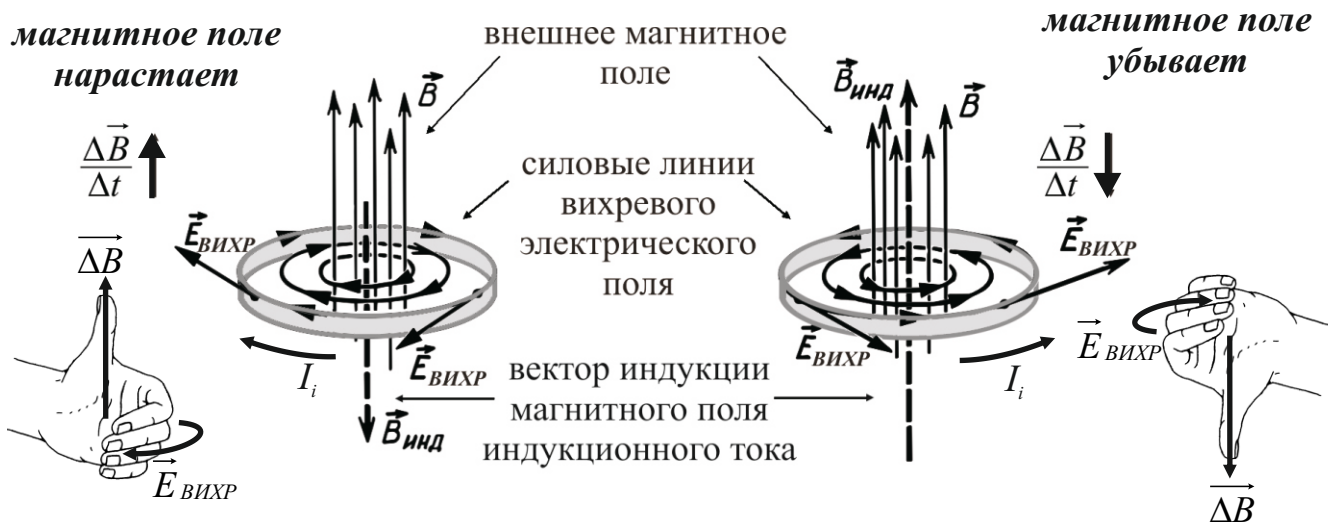
В сплошном кольце наводится \mathcal{E}_i и возникает индукционный ток, магнитное поле которого взаимодействует с внешним магнитным полем : при приближении магнита кольцо отталкивается, при удалении - притягивается к магниту



В кольце с разрезом наводится \mathcal{E}_i , индукционный ток не возникает, поэтому кольцо с разрезом не реагирует на движение магнита

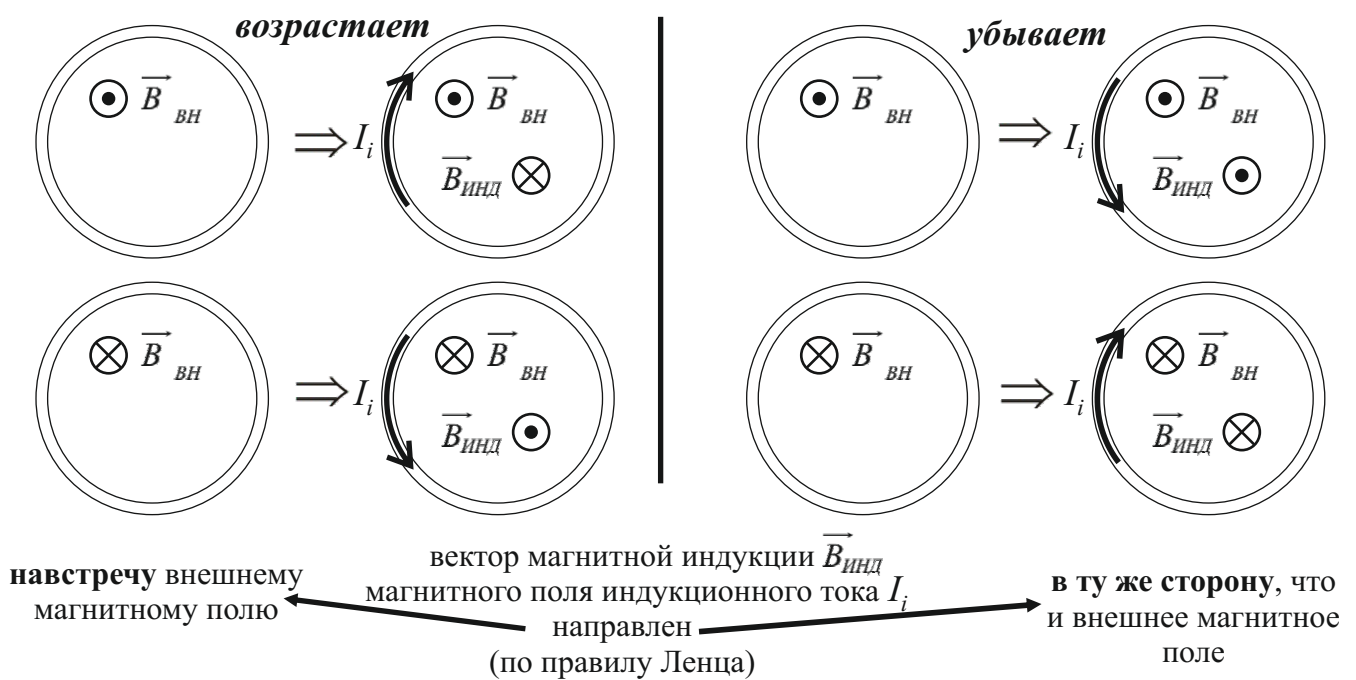
3.2 Изменение магнитной индукции внешнего магнитного поля (ККЭ 3.4.3)

- ① направление магнитного поля индукционного тока при нарастании и убывании внешнего магнитного поля



Направление напряженности вихревого электрического поля определяется по правилу левого винта.

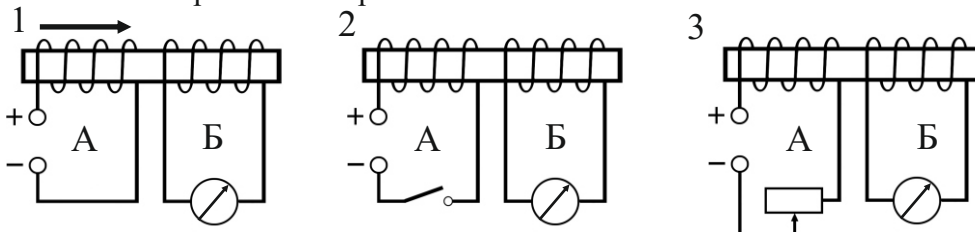
- ② направление индукционного тока, если внешнее магнитное поле



Для определения направления индукционного тока I_i по направлению его магнитного поля $B_{\text{инд}}$ применяют **правило обхвата правой рукой (правило буравчика)**

- ③ явление электромагнитной индукции наблюдается:

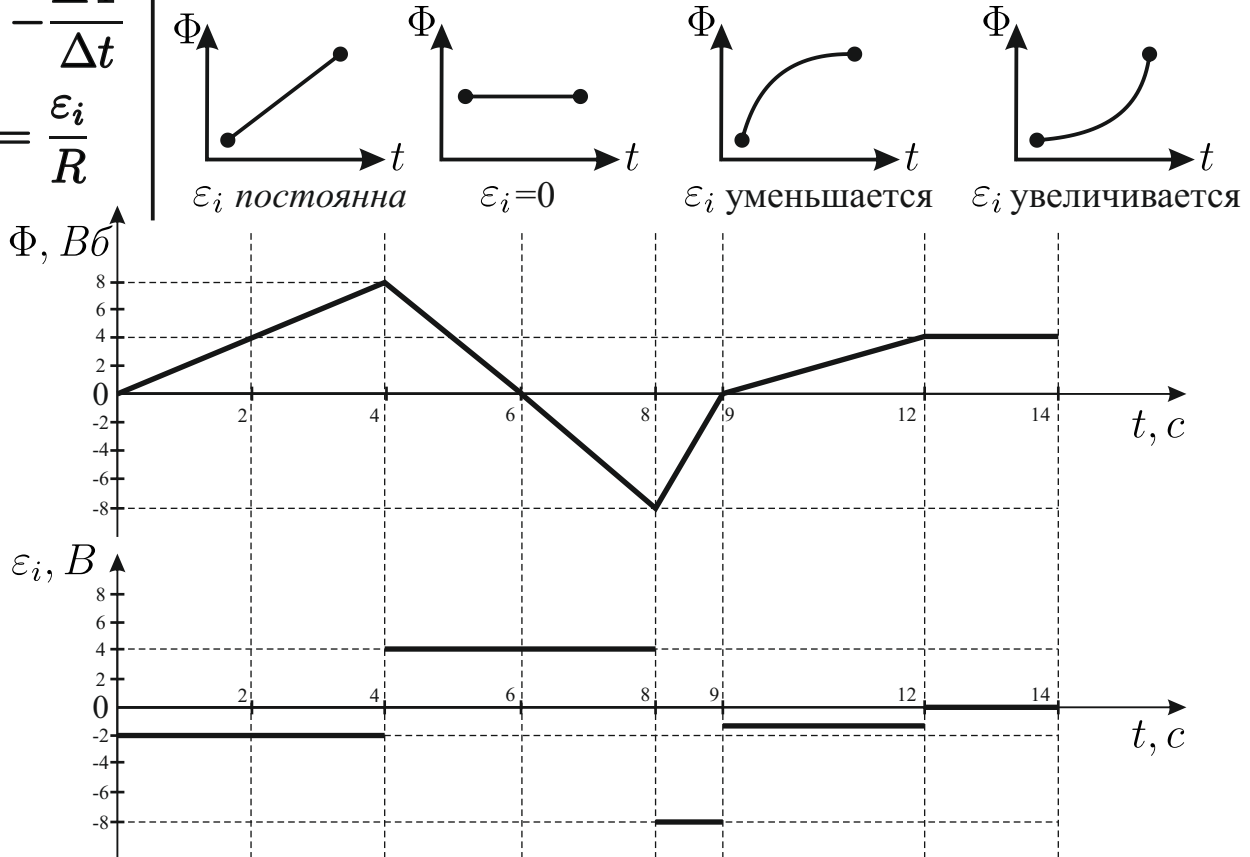
- 1) при движении катушки А;
- 2) в момент замыкания и размыкания ключа в цепи катушки А;
- 3) при изменении сопротивления реостата.



Графики зависимости от времени магнитного потока Φ , пронизывающего контур, и ЭДС индукции ε_i , возникающей в контуре (ККЭ 3.4.3)

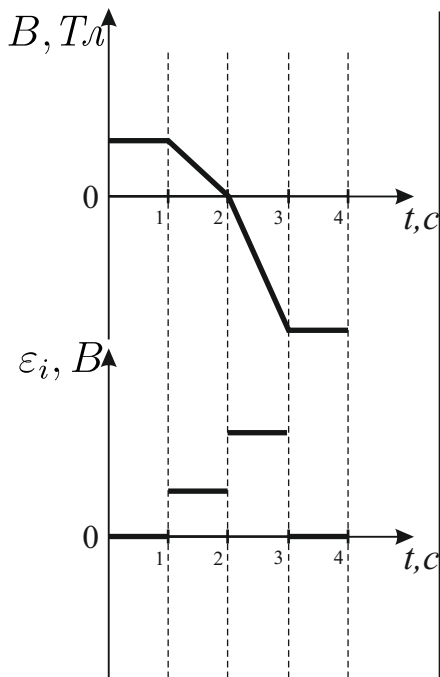
$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$$



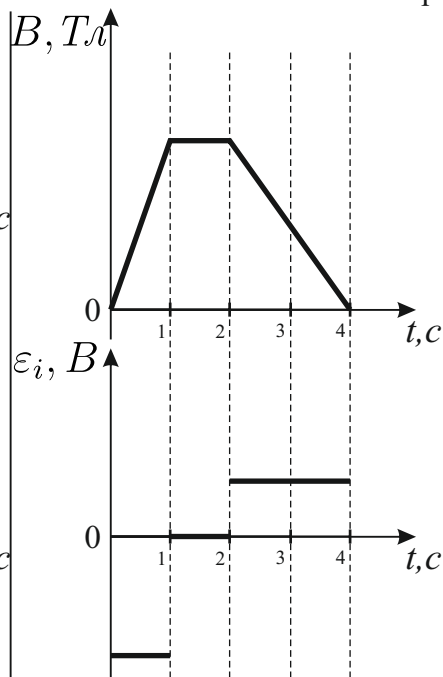
Графики зависимости от времени вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля, пронизывающего контур

Внутри неподвижного проволочного витка радиусом r и сопротивлением R , магнитная индукция внешнего магнитного поля изменяется согласно графику зависимости $B(t)$



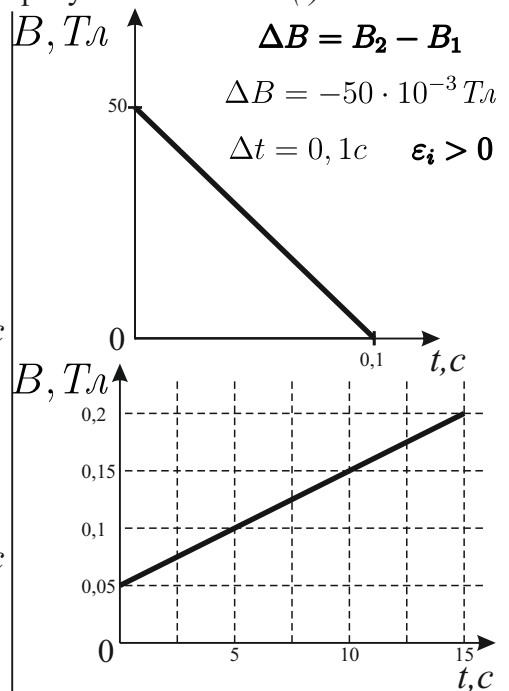
в интервале времени
 от 0 до 1с } $I_i = 0$
 от 3 до 4с }
 от 1 до 3с $I_i = \text{max}$

ток в контуре направление не меняет



в интервале времени
 от 1 до 2с $I_i = 0$
 от 0 до 1с $I_i = \text{max}$

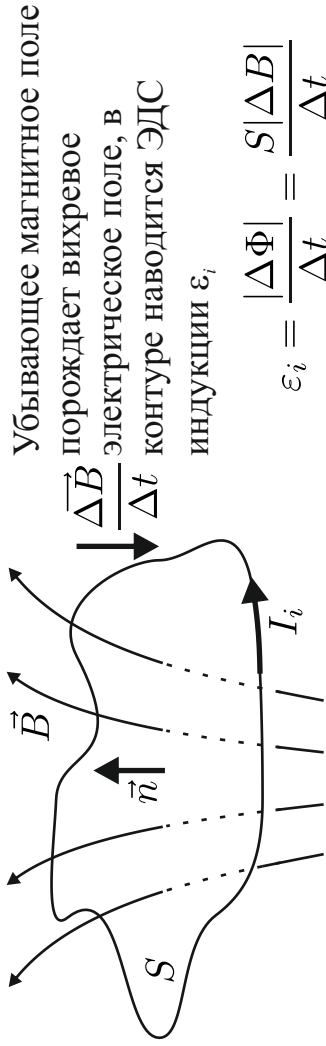
ток в контуре направление изменяет



$\Delta B = B_2 - B_1$
 $\Delta B = 0,15 - 0,05 = 0,1 \text{ Тл}$
 $\Delta t = 10\text{с}$ $\varepsilon_i < 0$

3.3 Задачи на электромагнитную индукцию (высокий уровень сложности) (ККЭ 3.4.3)

① Проводящий контур с сопротивлением R находится в изменяющемся магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости контура S . В начальный момент вектор магнитной индукции равен \vec{B}_0 и за время t убывает до 0.



Убывающее магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, в контуре наводится ЭДС индукции ϵ_i .

$$\epsilon_i = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} = \frac{S|\Delta B|}{\Delta t}$$

возникает индукционный ток

$$I_i = \frac{\epsilon_i}{R} = \frac{S|\Delta B|}{R\Delta t}$$

по определению ЭДС

$$\epsilon_i = \frac{A_{ВИХР}}{q}$$

работа вихревого электрического поля

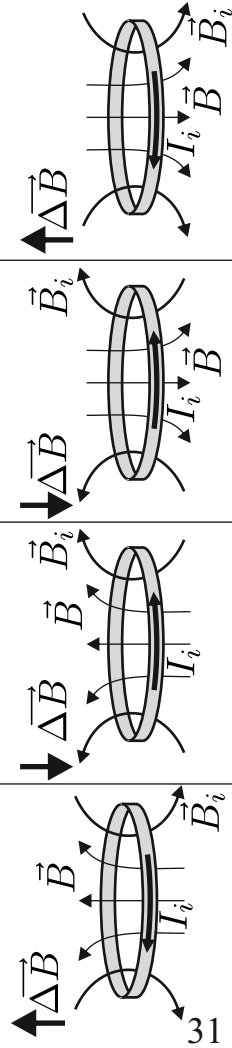
$$q = I_i \Delta t = \frac{S|\Delta B|}{R\Delta t}$$

$$A_{ВИХР} = \epsilon_i q = \frac{S^2 |\Delta B|^2}{R\Delta t}$$

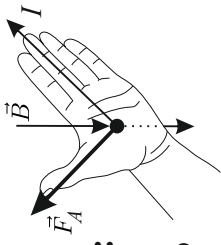
формула работы вихревого электрического поля

② Вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля, в котором находится проводящее кольцо изменяется

а) от B_0 до κB_0 б) от κB_0 до 0 в) от 0 до $-\kappa B_0$ г) от $-\kappa B_0$ до 0

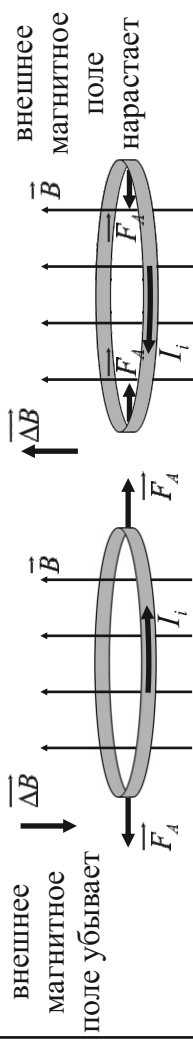


③ Проводящее кольцо находится в изменяющемся магнитном поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен к плоскости кольца. В кольце наводится ϵ_i , протекает индукционный ток I_i , магнитное поле которого взаимодействует с внешним магнитным полем, и на кольцо начинает действовать сила Ампера, сжимающая или растягивающая кольцо.



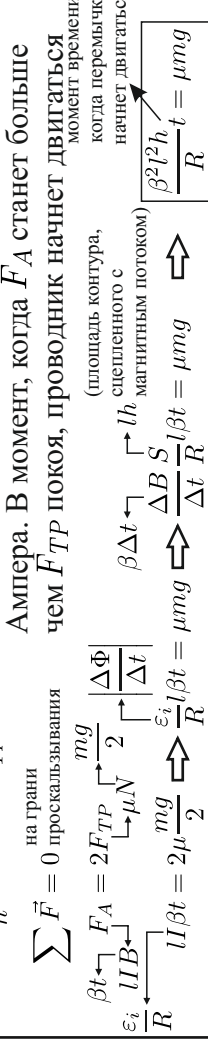
Для определения направления \vec{F}_A необходимо:

- 1) определить направление ΔB
- 2) по правилу Ленца определить направление магнитного поля индукционного тока
- 3) по правилу обхвата правой руки определить направление индукционного тока I_i (или применить правило левой руки)
- 4) по правилу левой руки определить направление силы Ампера

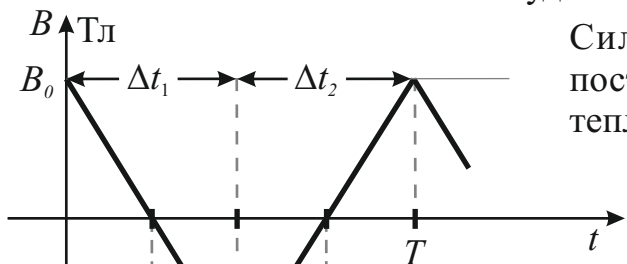


④ Горизонтальные проводящие стержни находятся в магнитном поле, модуль индукции которого изменяется со временем по закону: $B = \beta \cdot t$, где β - коэффициент пропорциональности

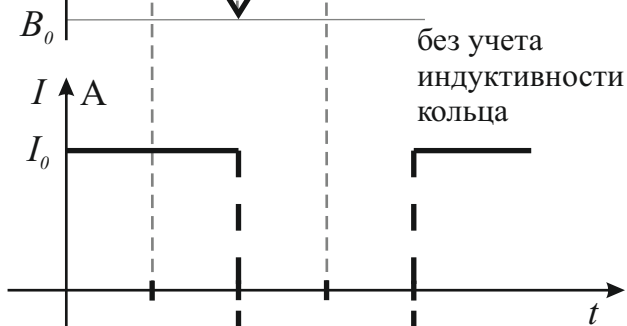
Здесь имеет место явление электромагнитной индукции, т.к. изменяется вектор магнитной индукции \Rightarrow меняется магнитный поток, пронизывающий контур \Rightarrow наводится ϵ_i , протекает индукционный ток I_i , происходит взаимодействие магнитного поля индукционного тока с внешним магнитным полем \Rightarrow на проводник действует сила Ампера. В момент, когда \vec{F}_A станет больше чем $F_{ТПР}$ покоя, проводник начнет двигаться



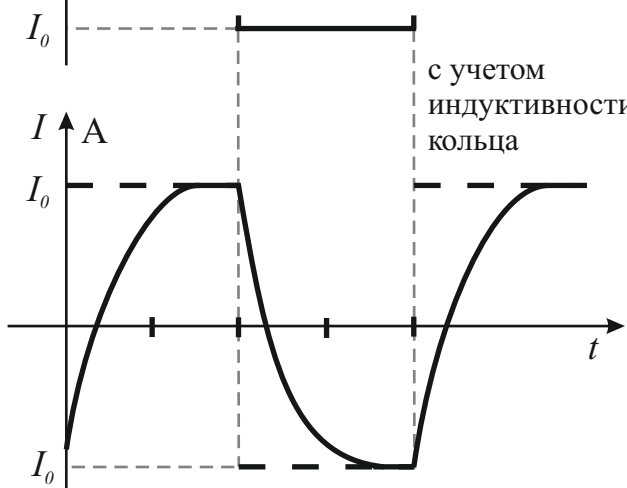
⑤ Кольцо радиусом r изготовлено из медной проволоки диаметром d , плоскость кольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля изменяется с частотой ν и амплитудой B_0 .



Сила тока в кольце I . Для поддержания постоянной температуры кольца от него отводится тепловая мощность $P_{\text{тепл}}$



без учета индуктивности кольца



с учетом индуктивности кольца

Установим связь между этими величинами:

1. Определяем ΔB_1 за $\Delta t_1 = \frac{T}{2}$. Магнитная индукция равномерно убывает от B_0 до $-B_0$ $\Delta B_1 = -B_0 - (+B_0) = -2B_0$
2. Определяем ΔB_2 за $\Delta t_2 = \frac{T}{2}$. Магнитная индукция равномерно возрастает от $-B_0$ до B_0 $\Delta B_2 = B_0 - (-B_0) = 2B_0$
3. Определяем ΔB за T : $\Delta B = 4B_0$

4. ЭДС индукции ε_i

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = S_k \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = S_k \left| \frac{4B_0}{T} \right| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \varepsilon_i = 4B_0 S_k \nu = 4B_0 \pi r_1^2 \nu$$

↳ площадь кольца

5. Индукционный ток в кольце

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{4B_0 \pi r^2 \nu}{\rho \cdot 2\pi r} S_{\text{пров}} = \frac{4B_0 r \nu}{2\rho} \cdot \frac{\pi d_{\text{пров}}^2}{4} \Rightarrow I_i = \frac{\pi B_0 \nu \cdot r d_{\text{пров}}^2}{2\rho}$$

↳ сопротивление кольца

$$R = \rho \frac{l_k}{S_{\text{пров}}}$$

↳ длина проволоки $l_k = 2\pi r$

$$S_{\text{пров}} = \frac{\pi d_{\text{пров}}^2}{4}$$

↳ площадь поперечного сечения проволоки

амплитудное значение магнитной индукции

индукционный ток

$$I_i = \frac{\pi B_0 \nu r \cdot d_{\text{пров}}^2}{2\rho}$$

частота изменения магнитной индукции и силы тока в кольце

↳ радиус кольца

↳ диаметр проволоки

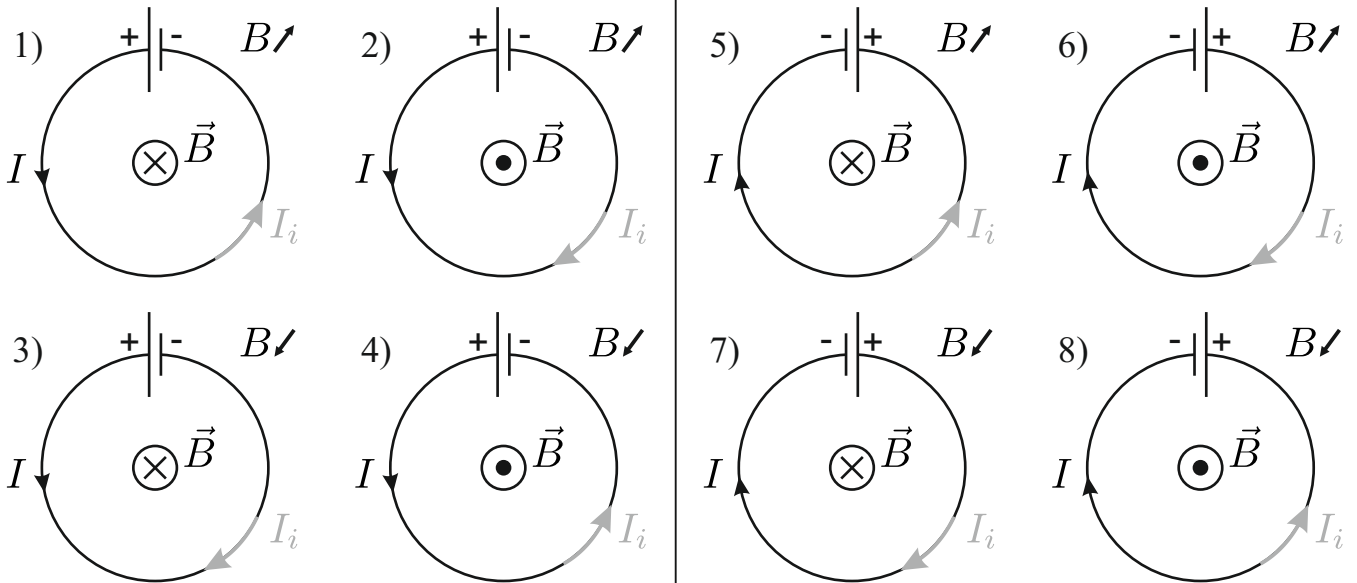
↳ удельное сопротивление меди

6. тепловая мощность

↳ сопротивление кольца

$$P_{\text{тепл}} = I^2 R$$

⑥ Плоский контур площадью S с источником постоянного тока с ЭДС $\varepsilon_{уст}$ находится во внешнем магнитном поле, вектор магнитной индукции \vec{B} которого перпендикулярен плоскости контура. Магнитное поле начинает меняться (увеличиваться или уменьшаться) со скоростью $\Delta B / \Delta t$. Рассмотреть, как меняется мощность тока в контуре (во сколько раз или на сколько % увеличивается или уменьшается)



1) Выяснить направление электрического тока (до изменения магнитного поля)

мощность электрического тока $P_I = \frac{\varepsilon_{уст}^2}{R_{конт}}$

2) Условно считать, что источника постоянного тока нет, возникает только индукционный ток, выяснить его направление. Применить правило левого винта.

3) Сравнить направление тока I от источника и направление индукционного тока I_i

**в случаях 1, 4, 6, 7
они совпадают**

**в случаях 2, 3, 5, 8 они
противоположны**

$$\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{уст} + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{уст} - \varepsilon_i$$

$$4) \quad \varepsilon_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta B S \cos \alpha}{\Delta t} \right| = S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \Rightarrow \varepsilon_{общ} = \varepsilon_{уст} \pm \varepsilon_i = \varepsilon_{уст} \pm S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$$

5) Мощность электрического тока при изменении магнитного поля

$$P_{II} = \frac{(\varepsilon_{уст} \pm S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|)^2}{R_{конт}} \quad \begin{array}{ll} \mathbf{1, 4, 6, 7} & P_{II} > P_I \quad (\varepsilon_{уст} + \varepsilon_i) \\ \mathbf{2, 3, 5, 8} & P_{II} < P_I \quad (\varepsilon_{уст} - \varepsilon_i) \end{array}$$

$$6) \quad n = \frac{P_{II}}{P_I} = \frac{(\varepsilon_{уст} \pm S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|)^2}{\varepsilon_{уст}^2} \quad (\text{во столько раз изменилась мощность})$$

$$7) \quad \frac{P_{II} - P_I}{P_I} \cdot 100\% \quad (\text{на столько процентов изменилась мощность})$$

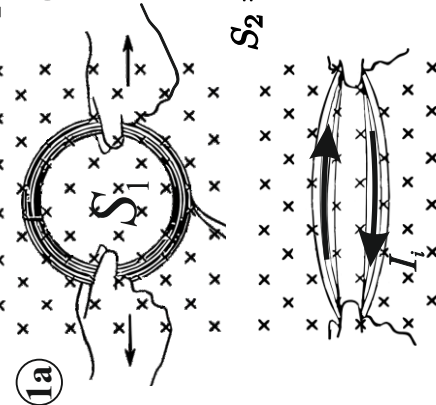
3.4 Изменение площади проводящего контура, расположенного во внешнем однородном магнитном поле (ККЭ 3.4.3)

1 Контур вытягивают в сложенный вдвое отрезок прямой

Площадь, ограниченная контуром, уменьшается равномерно

круглый контур радиуса r и сопротивлением R

$$S_1 = \pi r^2$$



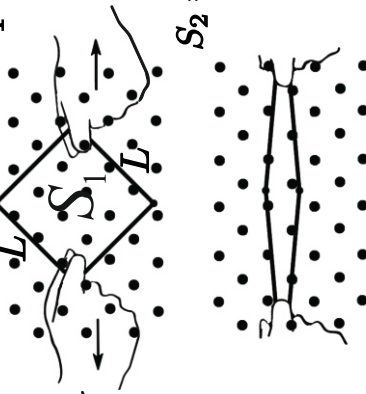
1а

1в четыре одинаковые проволоки

длиной L и сопротивлением R

каждая, которые образуют квадрат

$$S_1 = L^2$$



$S_2 = 0$

1б

При деформации контура изменяется площадь, ограниченная контуром

(а и б) уменьшается магнитный поток, пронизывающий контур

наводится ЭДС индукции

$$\epsilon_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{B \Delta S}{\Delta t} \right|$$

протекает индукционный ток

$$I_i = \frac{\epsilon_i}{R} = \frac{B \Delta S}{R \Delta t}$$

по контуру пройдет заряд

$$q = I_i \Delta t = \frac{B \Delta S}{R}$$

$$\Delta S = \pi r^2$$

$$I_i = \frac{\epsilon_i}{R} = \frac{B \pi r^2}{R \Delta t}$$

$$q = \frac{B \pi r^2}{R}$$

(в)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 0$$

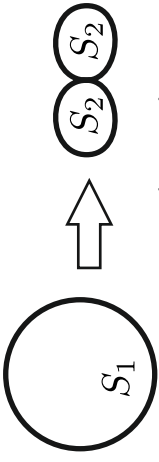
$$\Delta S = L^2$$

$$I_i = \frac{\epsilon_i}{4R} = \frac{B L^2}{4R \Delta t}$$

$$q = \frac{B L^2}{4R}$$

2

Круговой виток превращают в восьмерку, состоящую из двух одинаковых окружностей



$$\epsilon_i = B \left| \frac{\Delta S}{\Delta t} \right|$$

↓

$$q_1 = \left| \frac{B(2S_2 - S_1)}{R} \right| = \frac{B l^2}{8 \pi R}$$

$$S_1 = \frac{l^2}{4 \pi}$$

$$S = 2S_2 = \frac{l^2}{8 \pi}$$

Если виток **перевить** в восьмерку, то дополнительно за счет поворота одной части на 180° протечет заряд

$$q_2 = \left| \frac{B S_2 (\cos 180^\circ - \cos 0^\circ)}{R} \right|$$

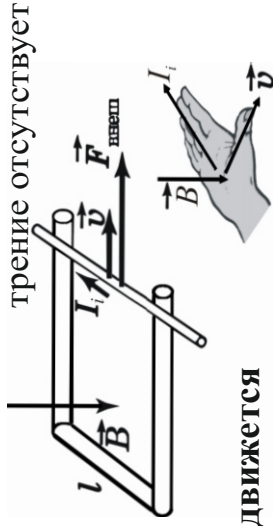
$$q_2 = \frac{2 B l^2}{16 \pi R} = \frac{B l^2}{8 \pi R}$$

$$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2 = \frac{B l^2}{4 \pi R}$$

3.5 Возникновение ЭДС индукции в проводнике при его движении в постоянном магнитном поле под действием внешней силы (ККЭ 3.4.3)

$$\varepsilon_i = \nu l B \sin \alpha \quad I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$$

$$F_A = IlB \sin \alpha$$



трение отсутствует

Проводник движется

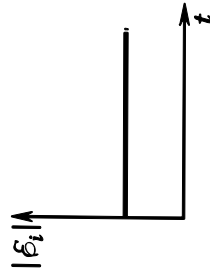
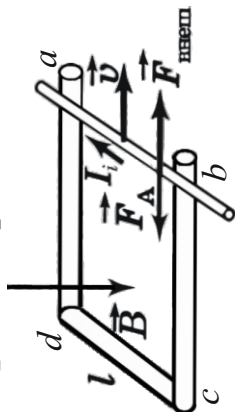
$$F_{\text{ВНЕШ}} = F_A$$

$$F_A = IlB \varepsilon_i$$

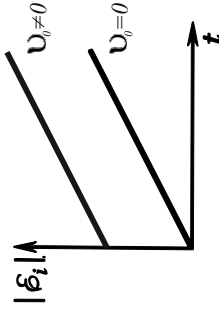
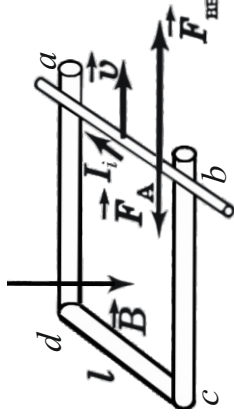
$$F_{\text{ВНЕШ}} = \frac{\nu l^2 B^2}{R}$$

$$ma = F_{\text{ВНЕШ}} - F_A$$

1) равномерно



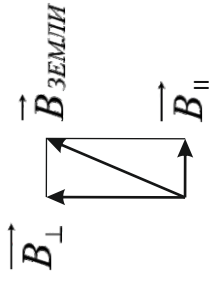
2) равноускоренно



Гальванометр сопротивлением R подсоединен к железнодорожным рельсам, расстояние между которыми l . К прибору приближается поезд со скоростью ν . Сила тока, которую регистрирует гальванометр, не зависит от того, приближается или удаляется поезд от гальванометра.

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{\nu l B}{R}$$

Движение проводника в магнитном поле Земли

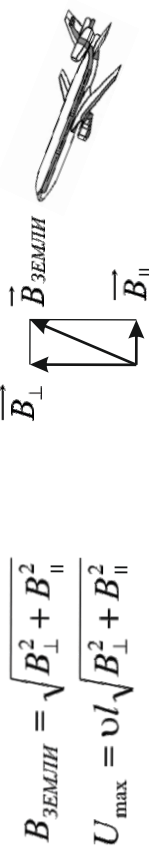


①

Самолет с размахом крыльев l (м) летит горизонтально со скоростью ν (м/с). Вертикальная составляющая магнитного поля Земли $B_{\perp} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$, горизонтальная $B_{\parallel} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$. При горизонтальном полете скорость самолета направлена перпендикулярно к вертикальной составляющей магнитного поля, горизонтальная составляющая магнитной индукции Земли лежит в плоскости движения самолета. Разность потенциалов, возникающая на концах крыльев самолета, равна ε_i

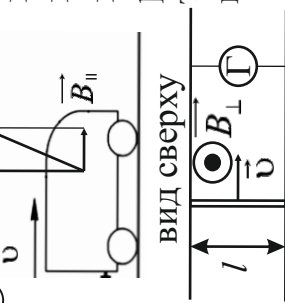
$$U = \varepsilon_i = \nu l B_{\perp}$$

Максимальная разность потенциалов при полете самолета возникает, если скорость самолета будет направлена перпендикулярно к индукции магнитного поля Земли.



Возникающую разность потенциалов нельзя измерить вольтметром, находящимся в самолете, присоединив его к концам крыльев, так как магнитный поток через контур, образуемый крыльями самолета и вольтметром с проводами, при движении самолета не изменяется, ток через вольтметр равен нулю. Ток появится только при поворотах самолета (изменяется угол между плоскостью контура и магнитным полем).

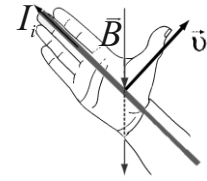
②



Задачи на равномерное движение металлического стержня по параллельным шинам в однородном магнитном поле (ККЭ 3.3.3, 3.4.3)

При движении проводника во внешнем магнитном поле в нем возникает ЭДС индукции, протекает индукционный ток I_i . На проводник действует сила Ампера.

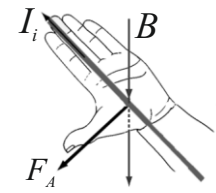
$$\varepsilon_i = \underbrace{v}_{\text{скорость движения проводника}} \underbrace{l}_{\text{активная длина проводника}} \underbrace{B \sin \alpha}_{\text{угол между направлениями } \vec{v} \text{ и } \vec{B}}$$



определение направления I_i

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} \Rightarrow F_A = I_i B \Rightarrow F_A = \frac{v l^2 B^2}{R}$$

сила Ампера, действующая на проводник с током

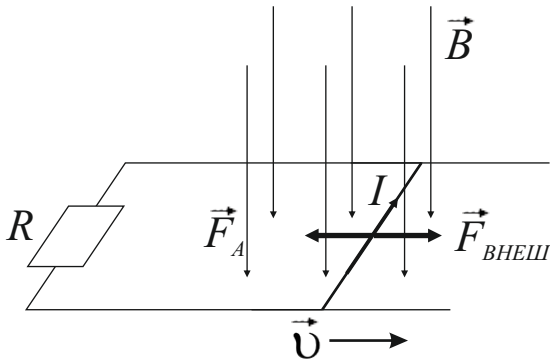


определение направления F_A

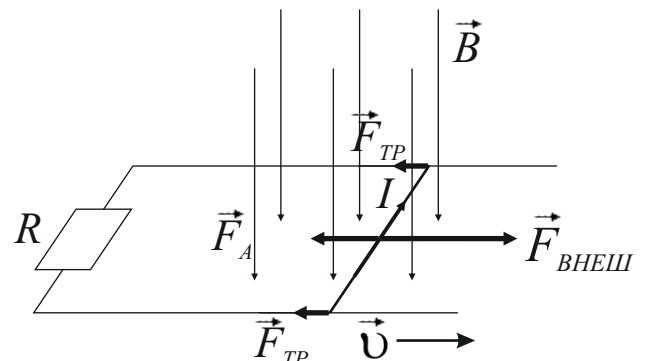
Металлический стержень массой m и длиной l скользит по двум параллельно расположенным шинам в однородном магнитном поле с постоянной скоростью под действием внешней силы F

① Шины расположены горизонтально и замкнуты на резистор R . Магнитное поле направлено вертикально (решение приведено на стр. 38)

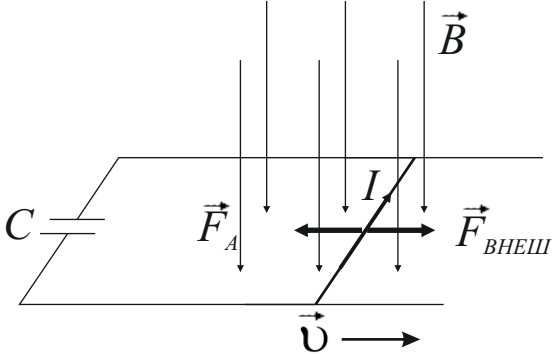
сила трения отсутствует



действует сила трения



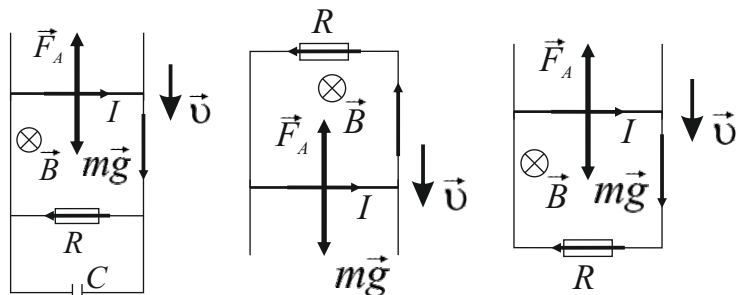
шины замкнуты на конденсатор



$$W_{\text{кон}} = \frac{C \varepsilon_i^2}{2} \quad W_{\text{кон}} = \frac{C v^2 l^2 B^2}{2}$$

энергия заряженного конденсатора емкость конденсатора

② *шины расположены вертикально, магнитное поле - горизонтальное*



от расположения R зависит направление I_i в замкнутом контуре

(решение приведено на стр. 39)

Задача на движение металлического стержня по параллельным шинам, расположенным в горизонтальной плоскости (решение ситуации 1)

Плоскость прямоугольной проволочной рамки $abcd$ перпендикулярна к полю с индукцией B . Сторона рамки bc длиной l может скользить без нарушения контакта с постоянной скоростью v по сторонам ab и dc . Для поддержания постоянной скорости движения к стороне bc прикладывают внешнюю силу $F_{внеш}$, т.к. во время движения проводника между полюсами магнита в нем наводятся $\mathcal{E}_i = vB$, протекает индукционный ток $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{vB}{R}$ который создает свой магнитное поле. Происходит взаимодействие

внешнего магнитного поля и магнитного поля индукционного тока \Rightarrow возникает сила Ампера $F_A = IlB$, которая оказывает тормозящее действие. Электрическим сопротивлением рельс пренебречь

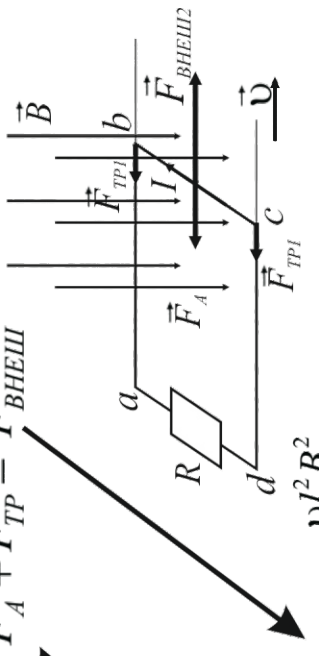
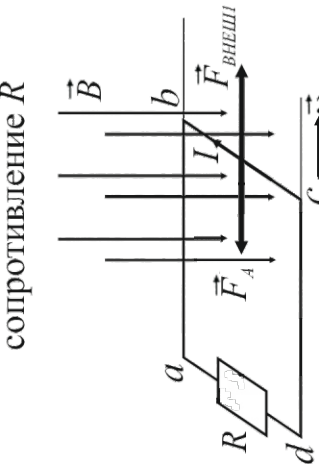
Проводник движется равномерно

трения нет

с учетом трения

Между точками a и d включено сопротивление R

$F_A + F_{TR} = F_{внеш}$



$F_{внеш} = F_A$

$F_A = IlB$

$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{vB}{R}$

$F_A = \frac{v(lB)^2}{R}$

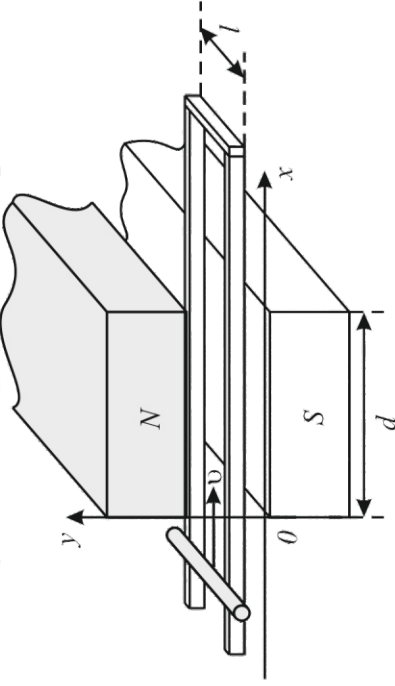
$F_{внеш1} = v \frac{l^2 B^2}{R}$

Работа по перемещению проводника в магнитном поле

$A = F \cdot d = IlBd = \frac{v(lB)^2 d}{R}$

$A = \frac{v(lB)^2}{R} d$

Сторона рамки bc представляет собой цилиндрический проводник сопротивлением R

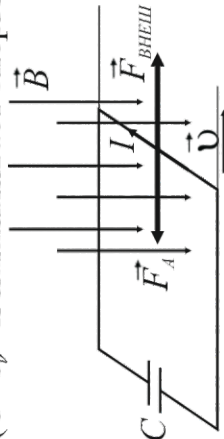


Если вместо сопротивления включен конденсатор емкостью C , то во время движения проводника он заряжается ($U = \mathcal{E}_i$) и накапливает энергию $W_{кон}$

$W_{кон} = \frac{Cv^2 l^2 B^2}{2}$

энергия заряженного конденсатора емкостью C

$W_{кон} = \frac{C\mathcal{E}_i^2}{2}$



Задача на движение металлического стержня по параллельным шинам, расположенным в вертикальной плоскости (решение ситуации 2)

В однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией B начинает падать стержень длиной l и массой m , скользящий без трения и без нарушения контакта. Шины замкнуты на резистор R (2 случая).

Установившаяся скорость движения стержня v

направление индукционного тока I_i в контуре с сопротивлением R

против часовой стрелки

$$F_A = mg$$

по часовой стрелке

стрелки

$$F_A = I_l B \frac{v}{R}$$

$$F_A = \frac{v l^2 B^2}{R}$$

$$I^2 B^2 = mg$$

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

$$v = \frac{mgR}{l^2 B^2}$$

$$I = \sqrt{\frac{mgR}{lB}}$$

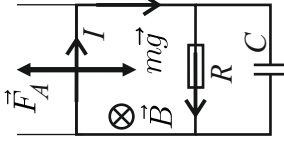
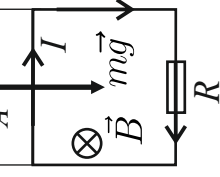
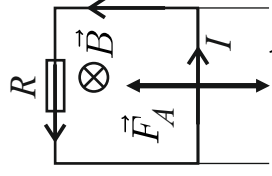
$$W_{\text{кон}} = \frac{C m^2 g^2 R^2}{2 l^2 B^2} = \frac{C (mgR)}{2 (lB)}$$

$$F_A = I_l B \frac{v}{R}$$

$$F_A = \frac{v l^2 B^2}{R}$$

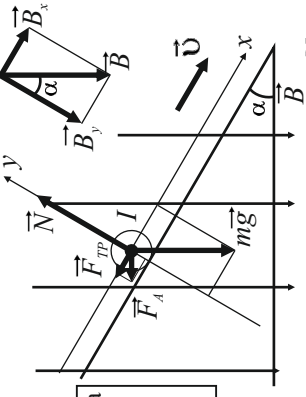
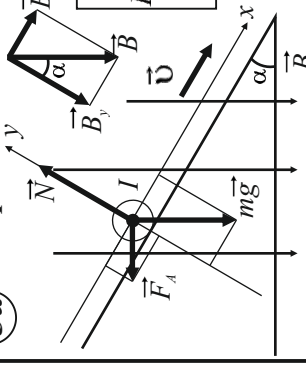
$$I^2 B^2 = mg$$

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



Решение ситуации 3

трения нет



с учетом трения

$$F_A = \frac{v l^2 B^2}{R} \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha = F_A \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha = \frac{v l^2 B^2}{R} \cos^2 \alpha$$

$$mg \sin \alpha = \frac{v l^2 B^2}{R} \cos \alpha (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) + \mu mg \cos \alpha$$

$$(ox) \quad mg \sin \alpha = F_A \cos \alpha + F_{тр}$$

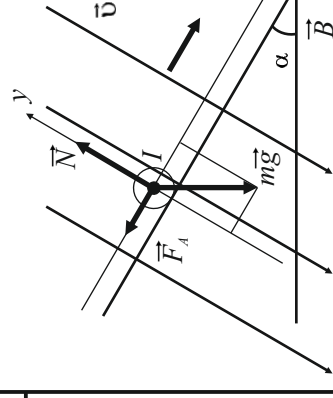
$$(oy) \quad N = mg \cos \alpha + F_A \sin \alpha$$

36

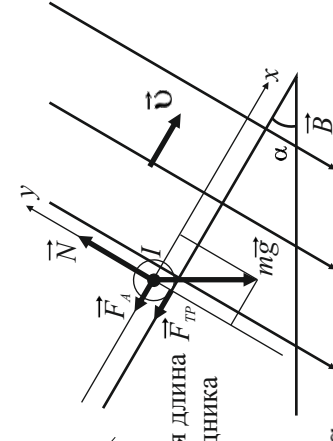
$$\Sigma \vec{F} = 0$$

$$mg + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_A = 0$$

трения нет



с учетом трения



$$(ox) \quad mg \sin \alpha = F_A$$

$$(oy) \quad N = mg \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha = \frac{v l^2 B^2}{R}$$

$$(ox) \quad mg \sin \alpha = F_A + F_{тр}$$

$$(oy) \quad N = mg \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha = F_A + \mu mg \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha = \frac{v l^2 B^2}{R} + \mu mg \cos \alpha$$

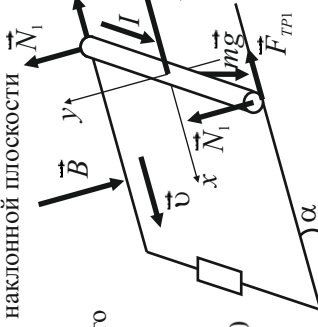
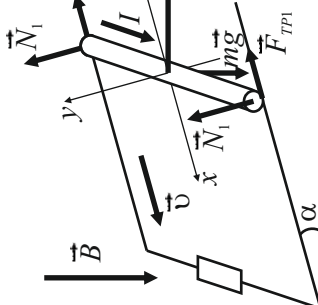
3 Шины расположены под углом alpha к горизонтальной плоскости

ПЛОСКОСТИ

Вектор магнитной индукции направлен

3а - вертикально

3б - перпендикулярно наклонной плоскости



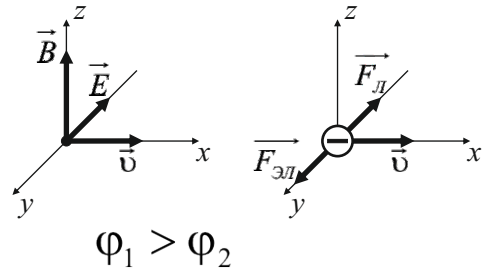
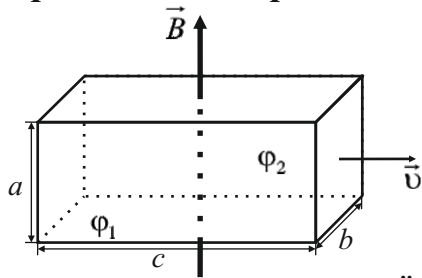
Условие равномерного движения стержня

$$\Sigma \vec{F} = 0$$

$$mg + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_A = 0$$

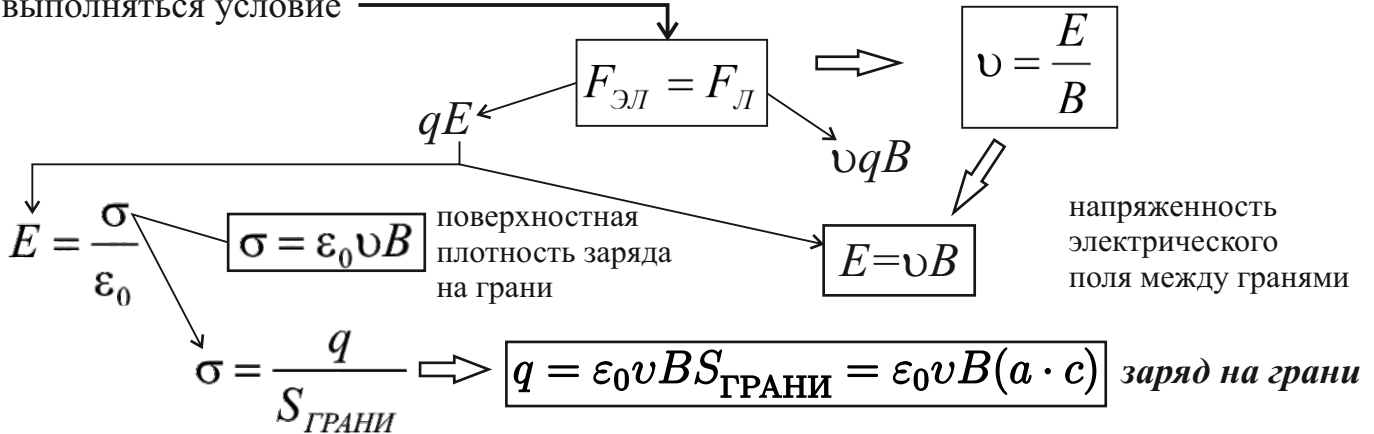
④ **Металлическая пластина (параллелепипед) движется с постоянной скоростью v в однородном магнитном поле**

а) \vec{B} направлен вертикально вверх



При движении пластины внутри неё возникает электрическое поле с напряженностью E (при поступательном движении пластины на электроны проводимости будет действовать сила Лоренца, электроны будут отклоняться к задней грани, в результате чего **передняя грань пластины будет заряжена положительно, задняя - отрицательно**)

Электрическое поле направлено перпендикулярно плоскости рисунка (от нас), потенциалы противоположных точек поверхности ϕ_1 и ϕ_2 , на каждой грани возникнет заряд q (поверхностная плотность заряда σ). Дальнейшее перераспределение заряда прекратится, если для электронов проводимости будет выполняться условие



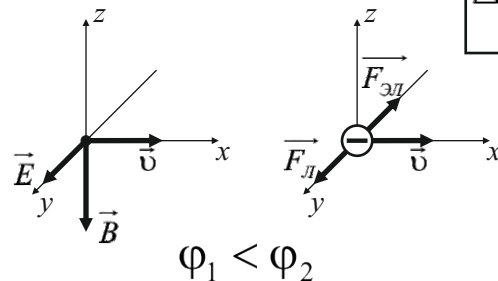
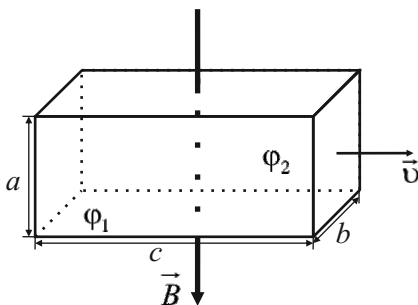
между боковыми гранями возникнет разность потенциалов

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = E \cdot b = vBb$$

разность потенциалов между центром пластины и одной из её вершин

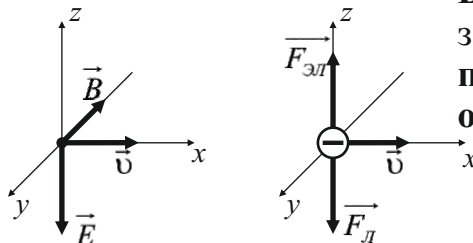
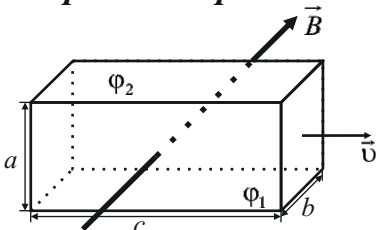
$$\Delta\phi = E \cdot \frac{b}{2} = vB \frac{b}{2}$$

б) \vec{B} направлен вертикально вниз



Передняя грань будет заряжена отрицательно, задняя - положительно.

в) \vec{B} направлен горизонтально



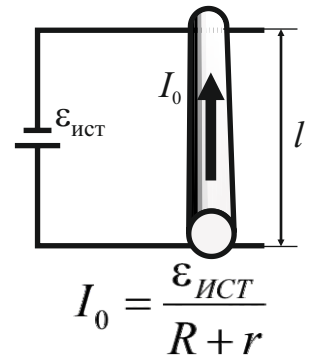
Верхняя грань заряжается положительно, нижняя - отрицательно

$$\Delta\phi = vBa$$

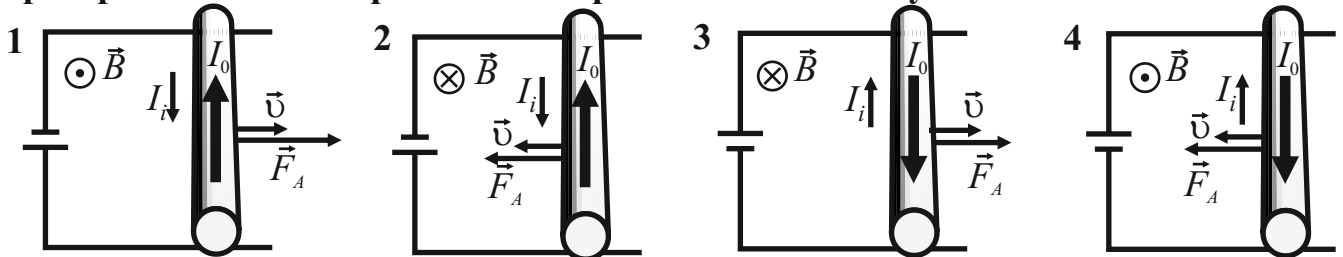
$$q = \epsilon_0 v B (b \cdot c)$$

⑤ Металлический стержень длиной l сопротивлением R лежит на двух горизонтальных шинах, соединенных с источником тока (ЭДС источника $\varepsilon_{ист}$, внутреннее сопротивление r). Внешнее магнитное поле с индукцией B направлено вертикально. Если стержень движется в магнитном поле с постоянной скоростью v , то в нем наводится ЭДС индукции $\varepsilon_i = v l B$. Сила тока I может быть больше или меньше I_0 (при неподвижном стержне) - это зависит от направления скорости v стержня и направления силы Ампера F_A .

стержень неподвижен



При движении проводника с током под действием сил магнитного поля происходит преобразование электрической энергии в механическую



В случаях 1-4 скорость стержня совпадает с направлением F_A , т.е. *проводник движется под действием F_A*

$$I = \frac{\varepsilon_{ист} - v l B}{R + r}$$

$$I < I_0$$

Для равномерного движения стержня необходимо, чтобы к нему была приложена внешняя сила $F_{внеш}$, направленная против скорости

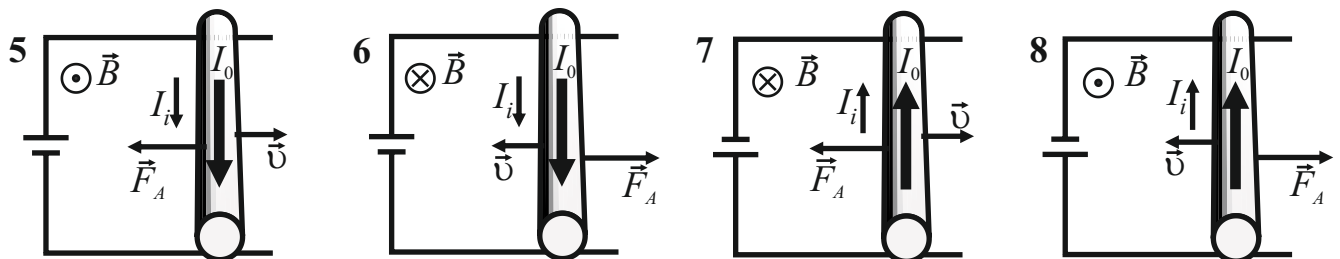
$$\vec{F}_{внеш} = -\vec{F}_A$$

$$F_{внеш} = v l B$$

В случаях 5-8 скорость стержня направлена против F_A , это возможно под действием внешней силы, направленной по скорости стержня

$$I = \frac{\varepsilon_{ист} + v l B}{R + r}$$

$$I > I_0$$



Мощность тепловых потерь

$$P = I^2 R = \frac{(\varepsilon_{ист} \mp v l B)^2 R}{(R + r)^2}$$

Механическая мощность

$$N = F_A v = \frac{(\varepsilon_{ист} \mp v l B) v l B}{R + r}$$

знак “-” для 1-4
“+” для 5-8

Падение напряжения на стержне

$$U = \varepsilon_{ист} - I_{общ} r$$

Для решения задачи необходимо:

1. Определить направление I_0 , когда стержень покоится.
2. Определить направление I_i (по правилу правой руки: линии магнитной индукции входят в ладонь, большой палец - по скорости, вытянутые пальцы показывают направление I_i), считая, что внешнего источника тока нет, а проводник движется.
3. Сравнить направления токов I_0 и I_i . Направления токов

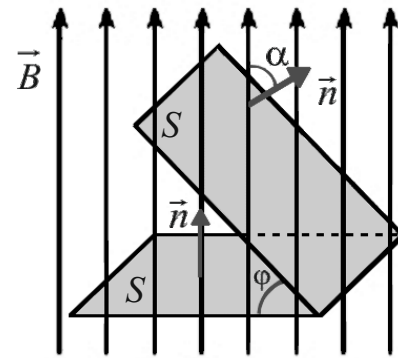
не совпадают: $I_{общ} = I_i - I_0$

совпадают: $I_{общ} = I_i + I_0$

3.6 Задачи на изменение положения контура во внешнем магнитном поле (ККЭ 3.4.3)

В однородном магнитном поле с индукцией B находится плоская проволочная рамка площадью S (проводящее кольцо радиусом r) и сопротивлением R .

В начальный момент времени линии индукции направлены перпендикулярно плоскости рамки (кольца). Рамка (кольцо) поворачивается на угол φ за время Δt .



по условию $\alpha_1 = 0 \quad \cos \alpha_1 = 1$
 $\alpha_2 = \varphi$

Магнитный поток, пронизывающий рамку, $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ изменяется $\Delta\Phi = BS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad \Delta\Phi = BS(\cos \varphi - 1)$

в рамке (кольце) возникает средняя ЭДС индукции

$$\Rightarrow \varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_i = -\frac{BS(\cos \varphi - 1)}{\Delta t}$$

протекает индукционный ток

$$\Rightarrow I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = -\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}$$

$$\Rightarrow I_i = -\frac{BS}{R\Delta t}(\cos \varphi - 1)$$

проходит заряд

$$\Rightarrow q = I_i \Delta t = -\frac{\Delta\Phi}{R}$$

$$\Rightarrow q = -\frac{BS}{R}(\cos \varphi - 1)$$

для одного витка

$$\Rightarrow q = \frac{BS(1 - \cos \varphi)}{R}$$

$$[\Phi] = B\delta \quad [B] = Tл \quad [\varepsilon_i] = B$$

для N витков

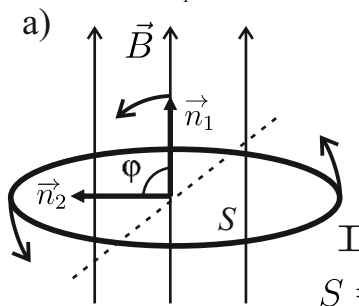
$$\Rightarrow q = \frac{BSN(1 - \cos \varphi)}{R}$$

$$[S] = м^2 \quad [I] = A \quad [\Delta t] = c$$

$$[R] = Ом \quad [q] = Кл$$

① поворот контура на $\varphi = 90^\circ$

$$\alpha_1 = 0 \quad \cos \alpha_1 = 1$$



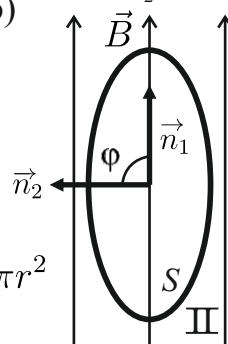
$$\Phi_1 = BS = B\pi r^2 = max$$

$$\Phi_2 = 0$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -BS$$

$$\alpha_2 = 90^\circ$$

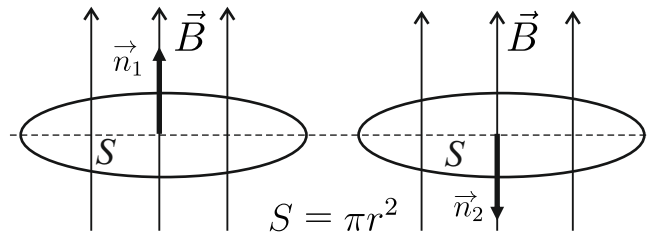
$$\cos \alpha_2 = 0$$



② поворот контура на $\varphi = 180^\circ$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_2 = 180^\circ$$



$$\Phi_1 = BS = B\pi r^2$$

$$\Phi_2 = -BS$$

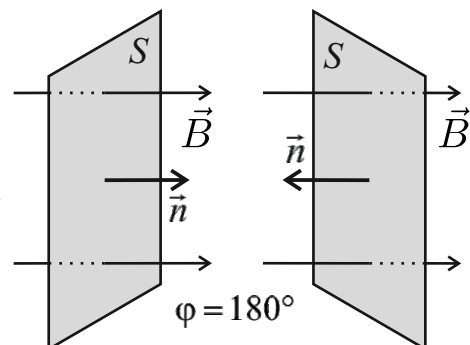
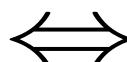
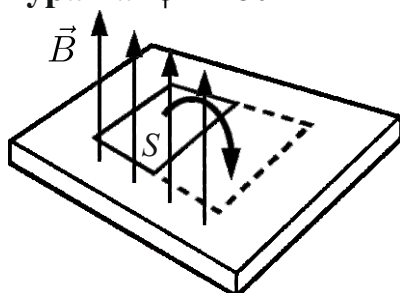
$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2BS$$

③ поворот контура на $\varphi = 180^\circ$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_2 = \varphi$$

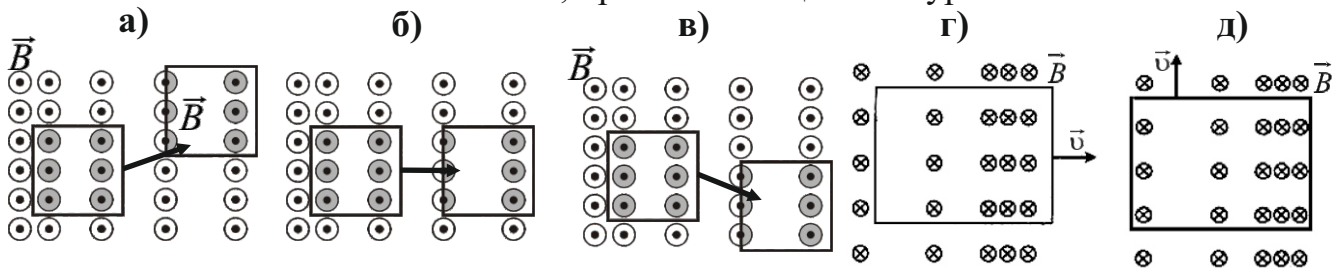
$$\cos 180^\circ = -1$$



$$\varphi = 180^\circ$$

3.7 Задачи на движение контура в магнитном поле (ККЭ 3.4.3)

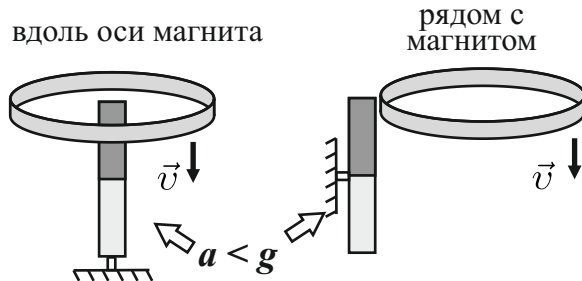
- ① При движении контура в *неоднородном* магнитном поле изменяется магнитный поток, пронизывающий контур



а - в - магнитный поток, пронизывающий контур, *уменьшается* } возникает \mathcal{E}_i и I_i
 г - магнитный поток, пронизывающий контур, *возрастает*

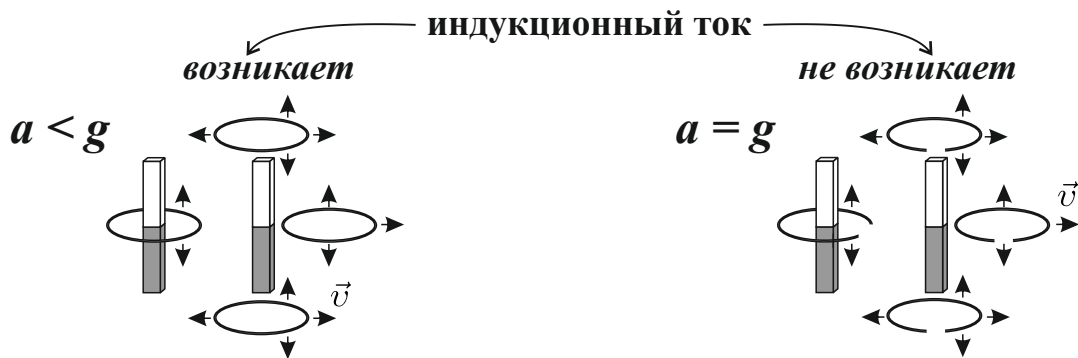
д - магнитный поток, пронизывающий контур, *не изменяется* $\Rightarrow \mathcal{E}_i = 0$ и $I_i = 0$

- ② В поле полосового магнита падает кольцо

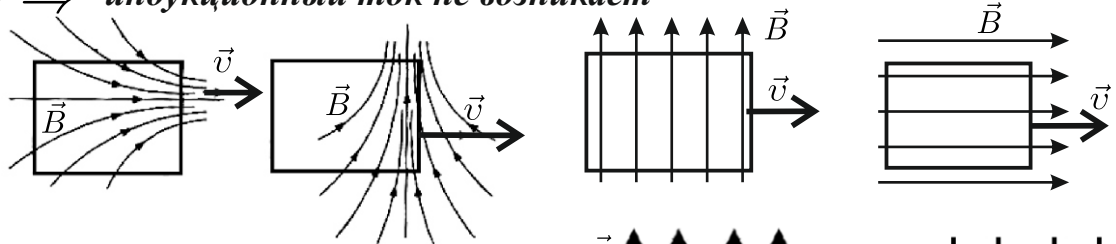


В этих случаях изменяется магнитный поток, пронизывающий контур, наводится ЭДС индукции \mathcal{E}_i , протекает индукционный ток I_i , F_A мешает свободному падению кольца

- ③ Проводящее кольцо и кольцо с разрезом движутся вблизи полосового магнита (стрелками показаны направления движения колец)



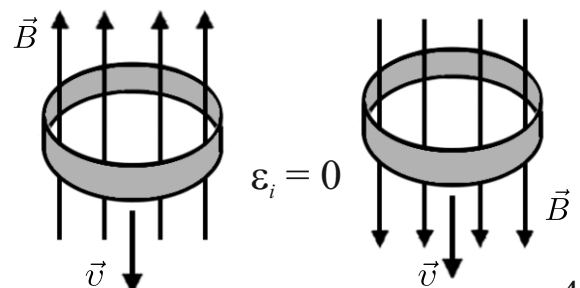
- ④ При движении рамки магнитный поток, пронизывающий контур, равен нулю \Rightarrow индукционный ток не возникает



- ⑤ В однородном магнитном поле падает металлическое кольцо

при движении кольца магнитный поток *не меняется* \Rightarrow ускорение кольца

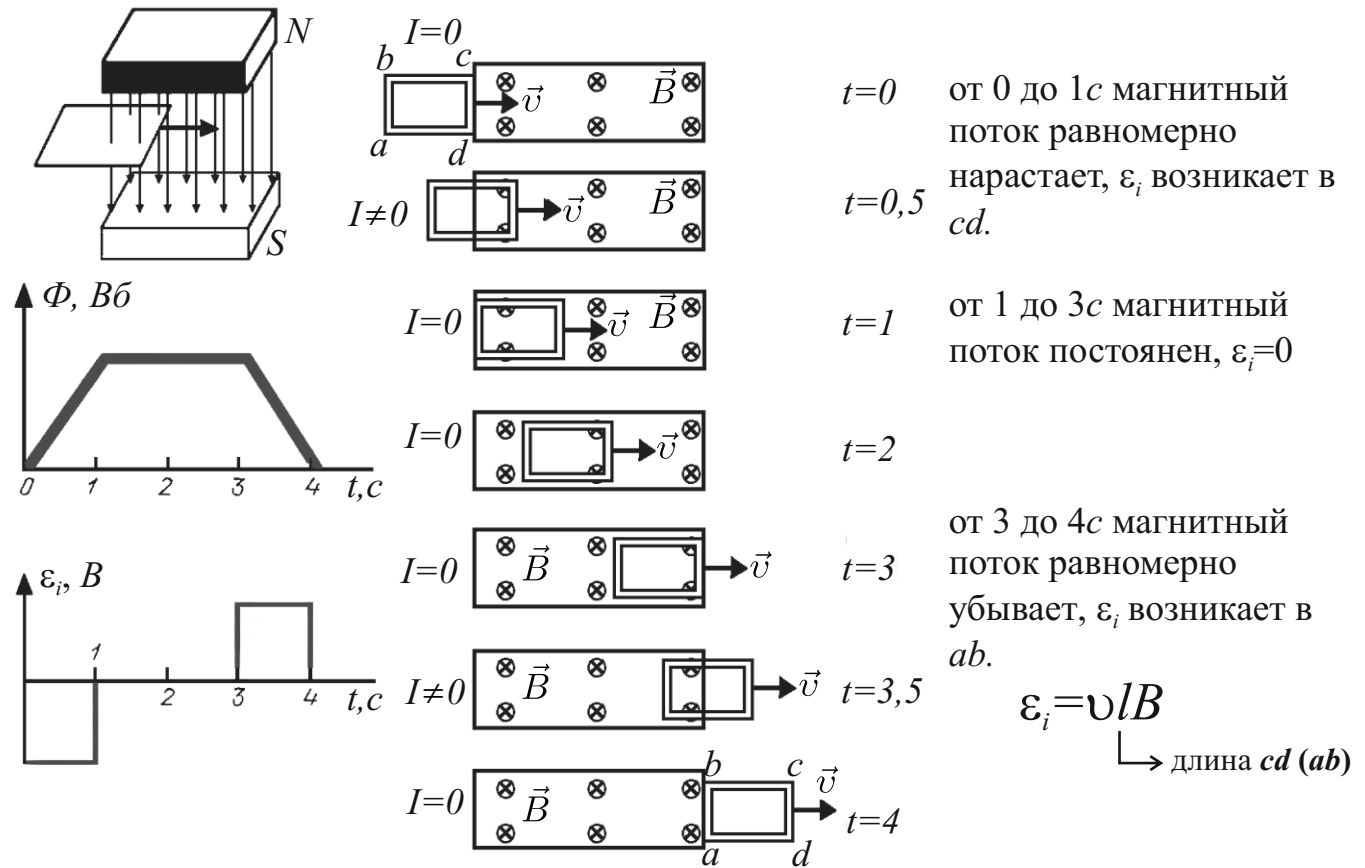
$$a = g$$



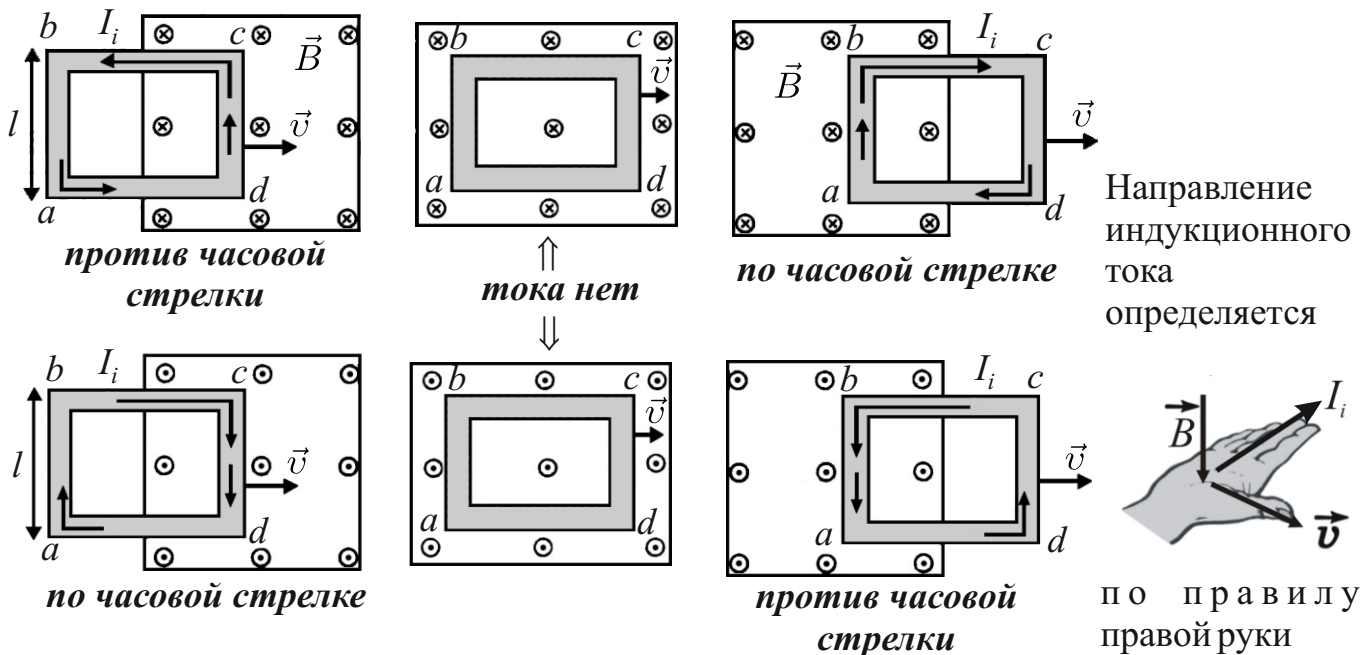
Задачи на движение контура в магнитном поле (ККЭ 3.4.3)

① Прямоугольную рамку, выполненную из проволоки сопротивлением R , перемещают с постоянной скоростью v . За время движения рамка проходит между полюсами магнита и вновь оказывается в области, где магнитное поле отсутствует. Магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, его индукция B

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 $2l_{ad}$

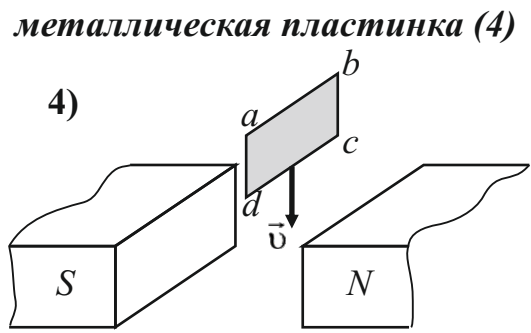
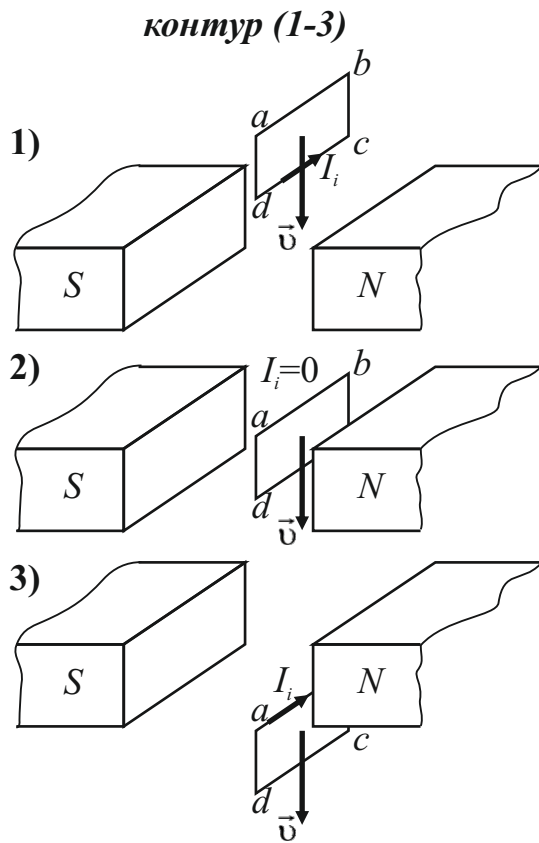


Индукционный ток направлен:



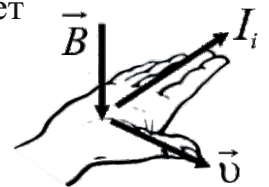
В проводниках ad и bc во время движения $\epsilon_i=0$

② В зазоре между магнитами движется вниз



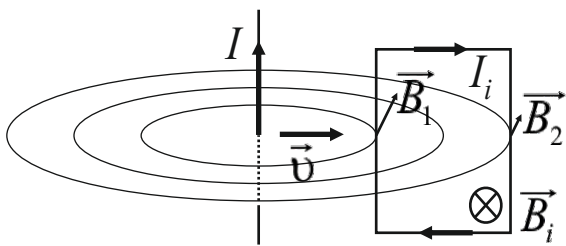
в момент вхождения в зазор и при выходе ускорение падения контура (пластинки) $a < g$, из-за взаимодействия внешнего магнитного поля и магнитного поля индукционного тока внутри зазора в однородном магнитном поле индукционный ток возникать не будет $\Rightarrow a = g$ при движении рамки ε_i возникает

- 1) в проводнике dc
- 2) $\varepsilon_i = 0$
- 3) в проводнике ab

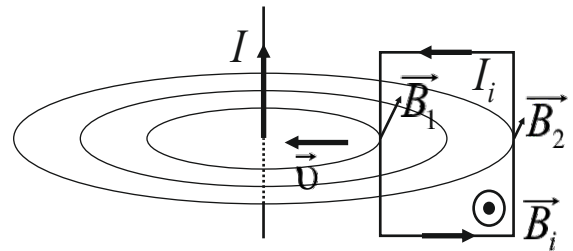


③ В магнитном поле, созданном прямолинейным проводником с током I , движется прямоугольный контур

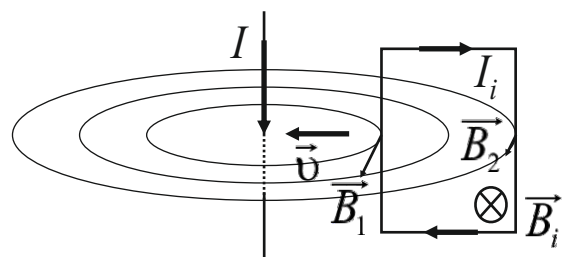
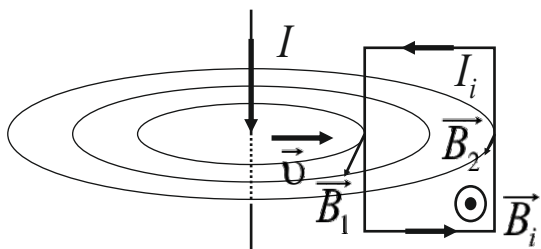
Магнитный поток, пронизывающий контур, изменяется \Rightarrow во время движения в контуре наводится ε_i и протекает I_i



$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0 \quad \varepsilon_i > 0$$



$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0 \quad \varepsilon_i < 0$$



④ Рамку удаляют из однородного магнитного поля

при равномерном удалении рамки

$$F = F_{A_{ab}} = l_1 I_i B$$

при движении контура внешняя сила производит работу

$$A = F \cdot l_2 = l_1 l_2 I_i B$$

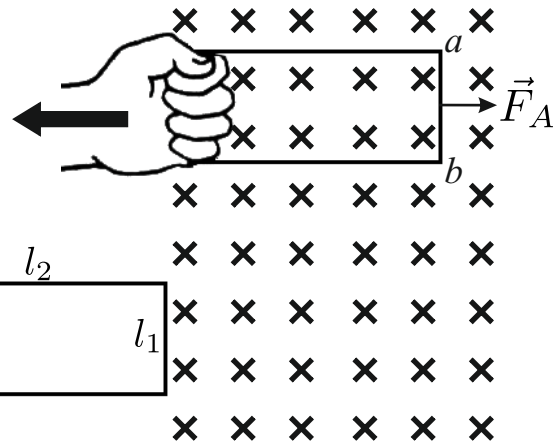
$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{v l_1 B}{R}$$

$$A = \frac{B^2 l_1^2 l_2 v}{R}$$

в контуре выделяется джоулево тепло $A = Q$

$$Q = \frac{B^2 l_1^2 l_2 v}{R}$$

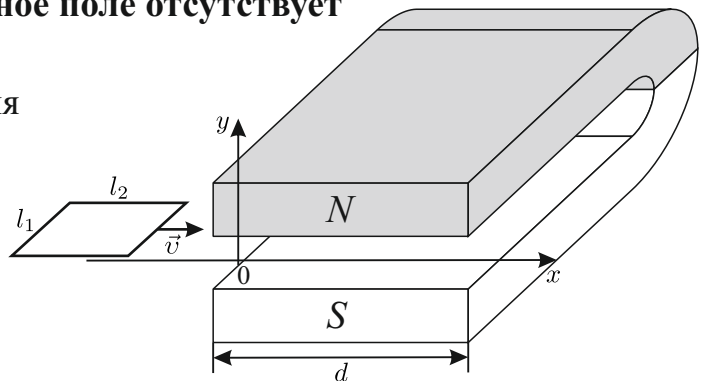
в начальный момент рамка полностью находится в магнитном поле



⑤ За время движения рамка проходит между полюсами магнита и вновь оказывается в области, где магнитное поле отсутствует

Суммарная работа внешней силы за время движения равна

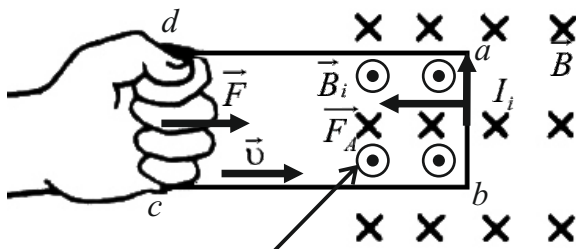
$$A = 2 \frac{B^2 l_1^2 l_2 v}{R}$$



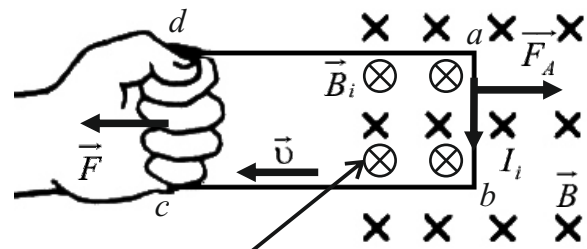
⑥ Проводящий контур с постоянной скоростью

вносят в магнитное поле

удаляют из магнитного поля



\vec{B}_i направлено навстречу \vec{B}



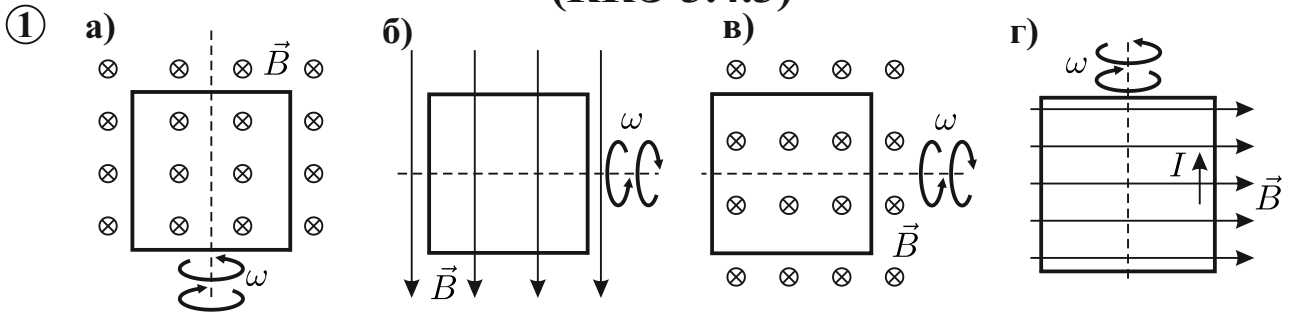
\vec{B}_i направлено в ту же сторону что и \vec{B}

(внешнее однородное магнитное поле имеет в пространстве резкую границу)

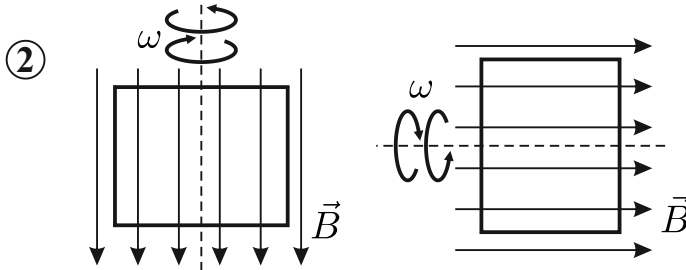
ЭДС индукции ε_i наводится в проводнике ab , по контуру протекает индукционный ток I_i , его магнитное поле \vec{B}_i направлено вдоль внешнего магнитного поля \vec{B}

Т.к. индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, для поддержания постоянной скорости к рамке необходимо прикладывать внешнюю силу F , направленную в ту же сторону, что и скорость.

3.8 Задачи на вращение рамки во внешнем магнитном поле (ККЭ 3.4.3)

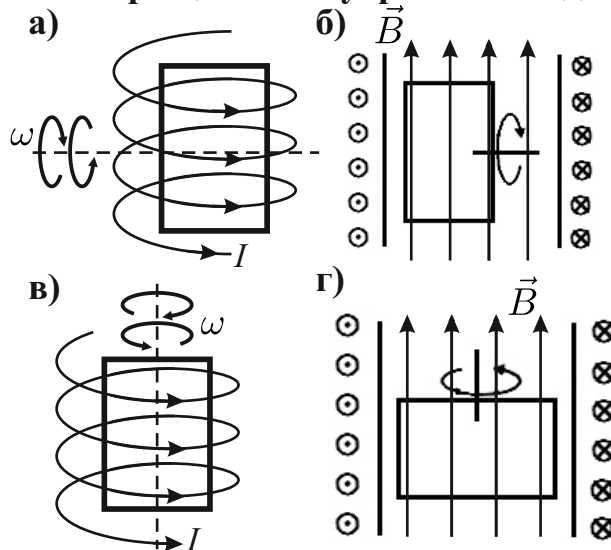


а - г - в рамке **возникает ток**, который изменяется по величине и направлению, т.к. при вращении **изменяется магнитный поток**, пронизывающий рамку



в рамке **ток не возникает**, т.к. при вращении рамки **магнитный поток**, пронизывающий ее, **не изменяется**

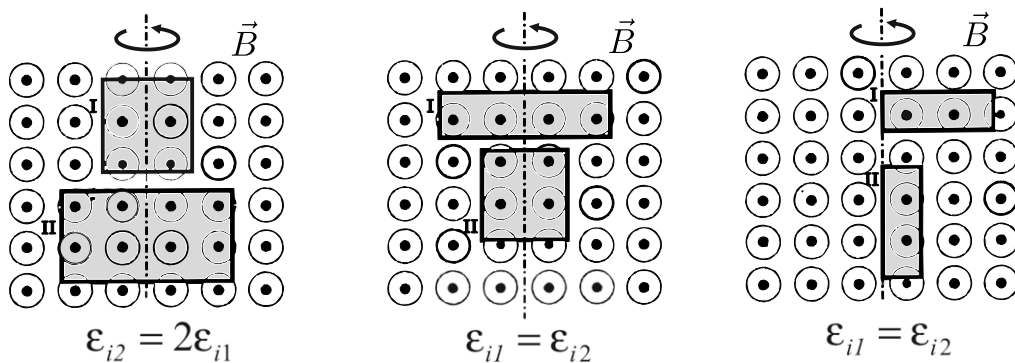
③ Рамка вращается внутри соленоида



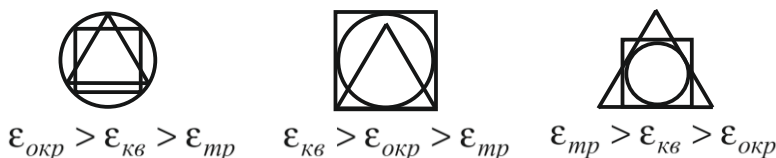
а - б - в рамке **ток возникает**, т.к. при вращении рамки **магнитный поток**, пронизывающий ее, **изменяется**

в - г - в рамке **ток не возникает**, т.к. при вращении рамки **магнитный поток**, пронизывающий ее, **не изменяется**

④ Равномерное вращение рамки в однородном магнитном поле



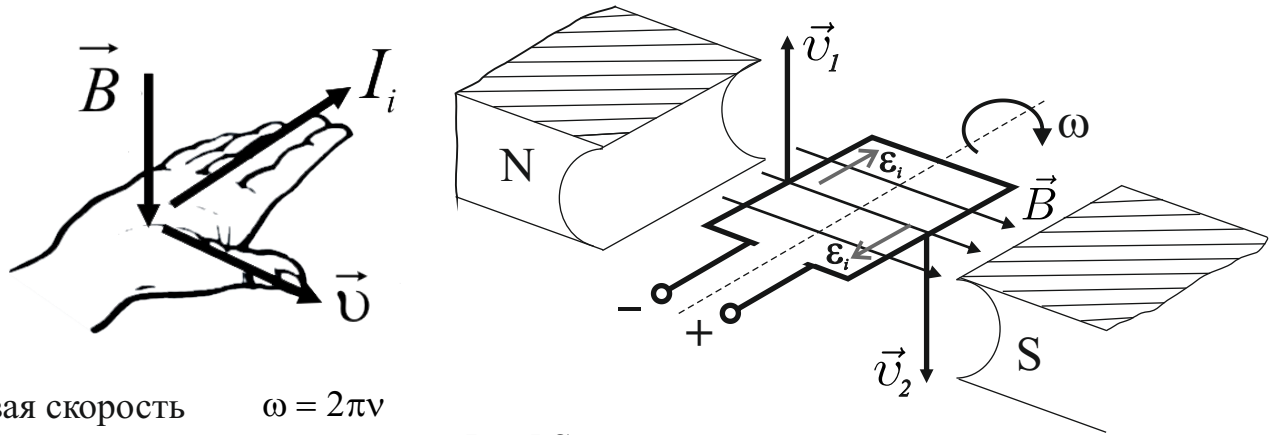
Три проволочные рамки вращаются с одинаковой угловой скоростью в однородном магнитном поле, ось вращения которой перпендикулярна B



ϵ_i больше там, где больше площадь контура, сцепленного с потоком

⑤ **Задача на равномерное вращение рамки в однородном магнитном поле**

Рамка из проволоки сопротивлением R равномерно вращается с угловой скоростью ω (частотой ν , периодом T) в однородном магнитном поле, индукция которого B . Площадь рамки S . Ось вращения рамки лежит в ее плоскости и перпендикулярна B



Угловая скорость $\omega = 2\pi\nu$

Магнитный поток через рамку $\Phi = BS \cos \omega t$

В рамке генерируется $\epsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BS\omega \sin \omega t$

Протекает индукционный ток $I_i = \frac{\epsilon_i}{R} = \frac{BS\omega}{R} \sin \omega t$

Максимальное значение ЭДС индукции $\epsilon_{i \max} = BS\omega = 2\pi\nu BS$

Максимальный ток $I_{i \max} = \frac{BS\omega}{R} = \frac{2\pi\nu BS}{R}$

Максимальная мощность $P_{\max} = \frac{\epsilon_i^2}{R} = \frac{(BS\omega)^2}{R}$

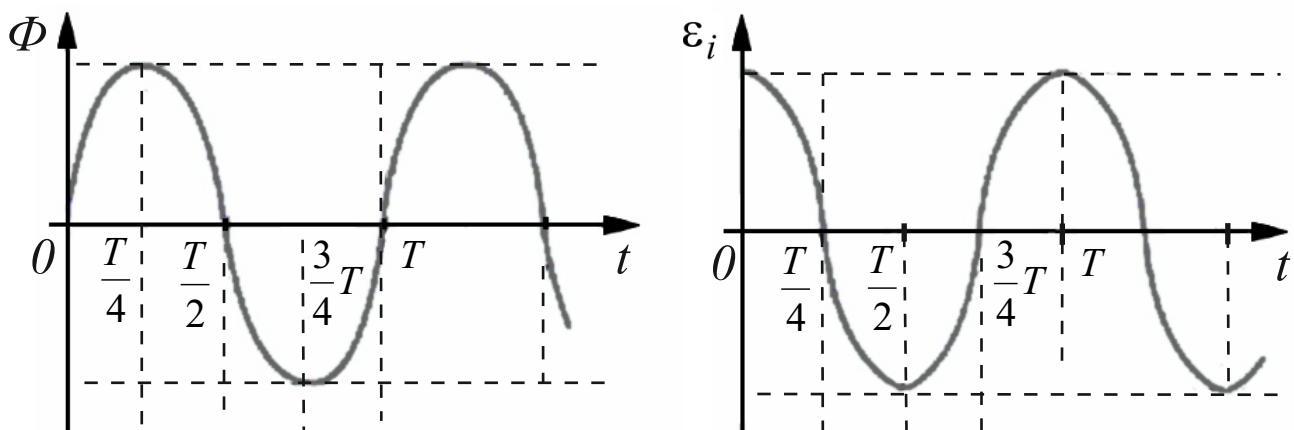
Если рамка содержит N витков $\Rightarrow P_{\max} = \frac{\epsilon_i^2}{R} = \frac{(BS\omega N)^2}{R}$ $I_{i \max} = \frac{BS\omega}{R} N$

$[\nu] = \Gamma\zeta$ $[\Phi] = B\delta$ $[R] = O\mu$ $[\omega] = c^{-1}$ $[S] = \mu^2$

$[T] = c$ $[\epsilon_i] = B$ $[P] = Bm$ $[I] = A$

$\epsilon_{i \max} = BS\omega N$

Графики зависимости магнитного потока Φ и ϵ_i от времени для рамки, вращающейся в магнитном поле



3.9 Методические рекомендации для решения задач по теме "Самоиндукция" (ККЭ 3.4.5 - 3.4.7)

Самоиндукция - это явление возникновения ЭДС индукции в проводнике при изменении силы тока в нем

1. Выяснить, ток в цепи, содержащий катушку индуктивности, нарастает или убывает

2. В момент нарастания $\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{ист} - \varepsilon_{is}$;

в момент убывания $\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{ист} + \varepsilon_{is}$

3. Применять формулы

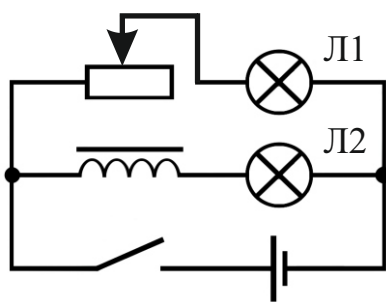
$$\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{d}$$

индуктивность катушки

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ - скорость изменения тока

① При размыкании ключа, лампа Л2 загорается позже Л1 из-за явления самоиндукции в катушке L



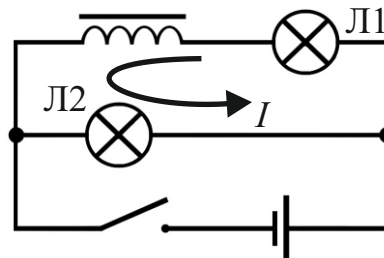
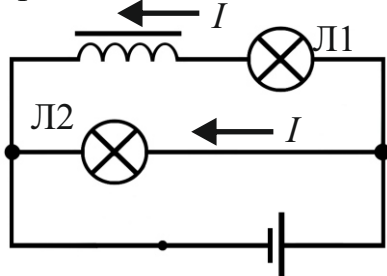
Промежуток времени Δt между моментами загорания лампочек при замыкании ключа изменяется, если

1) из катушки вытащить сердечник, то время запаздывания между моментами загорания лампочек уменьшится (т.к. уменьшится индуктивность катушки)

2) заменить стальной сердечник на алюминиевый - уменьшится

3) увеличить сопротивление реостата - не изменится

② Изменение направления электрического тока через лампочку Л2 при размыкании цепи



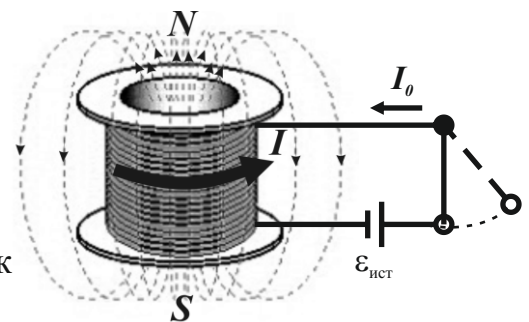
Ток через лампочку Л2 в момент размыкания изменяет направление на противоположное, т.е. течет слева направо, через лампочку Л1 направления не меняет

③ Катушка индуктивностью L и

сопротивлением R подключена к источнику тока с

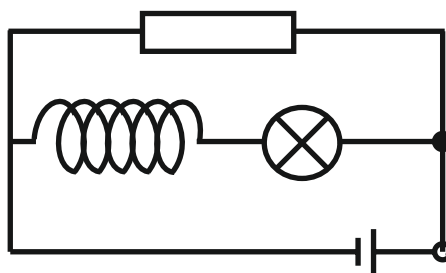
$\varepsilon_{ист}$ и внутренним сопротивлением r . По катушке протекает ток I_0 . При размыкании цепи в катушке возникает ЭДС самоиндукции, которая замедляет уменьшение тока. Ток исчезает за время Δt . В момент размыкания $\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{ист} + \varepsilon_{is} = \varepsilon_{ист} + L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, т.к. ток уменьшается до нуля $\Rightarrow \Delta I = I_0$.

По закону Ома для замкнутой цепи $I_0 = \frac{\varepsilon_{ист}}{R + r} \Rightarrow$



общая ЭДС в момент размыкания $\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{ист} + L \frac{\varepsilon_{ист}}{(R + r)\Delta t} = \varepsilon_{ист} \left[1 + \frac{L}{(R + r)\Delta t} \right]$

④



До размыкания ключа в цепи протекал постоянный ток I . Энергия магнитного поля катушки $W = \frac{LI^2}{2}$. После размыкания ключа лампочка некоторое время продолжает светиться из-за ε_{is} , возникающей в катушке и поддерживающей убывающий ток. При этом в лампочке выделится энергия, запасенная в катушке индуктивности, т.е.

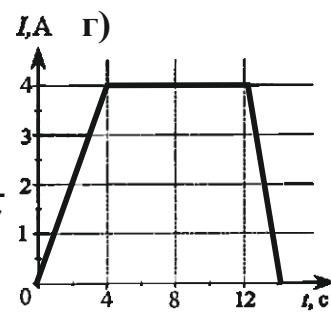
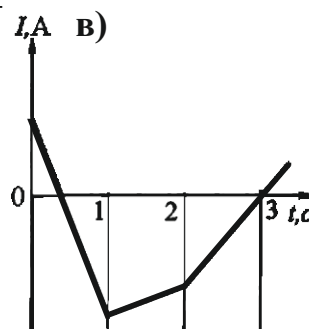
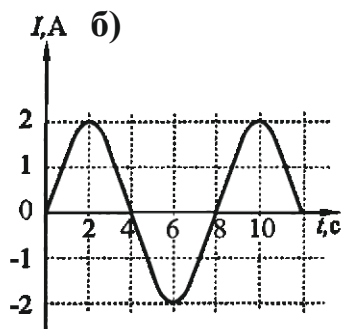
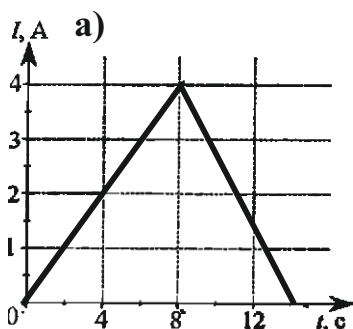
$$W = \frac{LI^2}{2}$$

⑤ В катушке с индуктивностью L , подключенной к источнику тока с $\varepsilon_{ист}$,

ток начинает изменяться (увеличиваться или уменьшаться) со временем. Изменяющийся ток создает меняющееся магнитное поле, которое порождает в этом пространстве вихревое электрическое поле, а оно действует на электроны проводимости катушки. В витках катушки наводится ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{is} \Rightarrow$

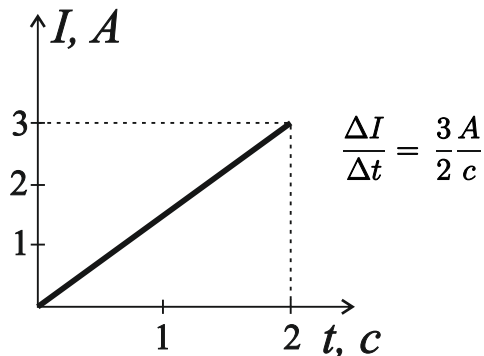
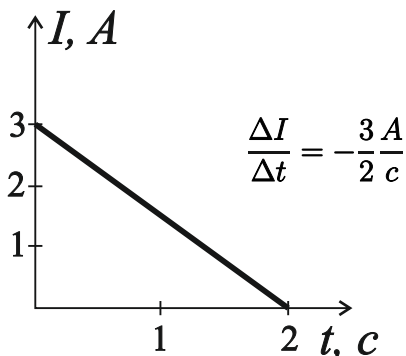
Когда в катушке изменяется ток, то магнитное и вихревое электрическое поле около торца катушки существуют одновременно

На приведенных графиках зависимости тока от времени указаны моменты, когда магнитные и электрические поля у торца катушки обнаруживаются **одновременно**



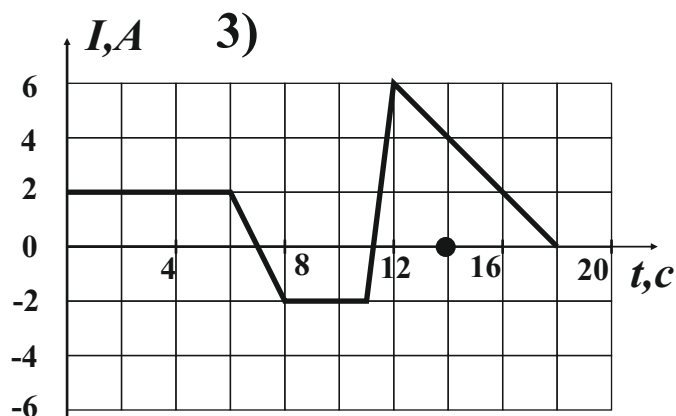
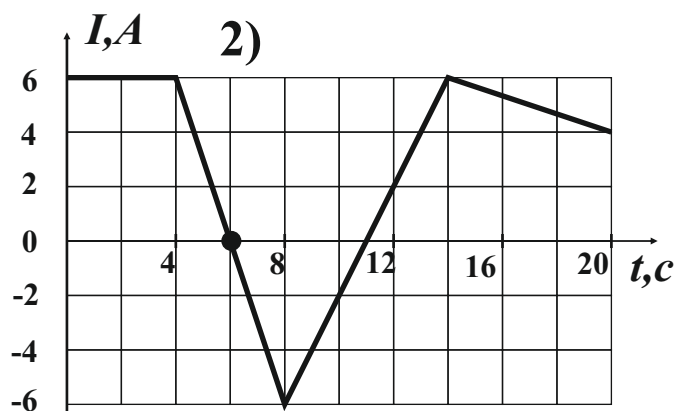
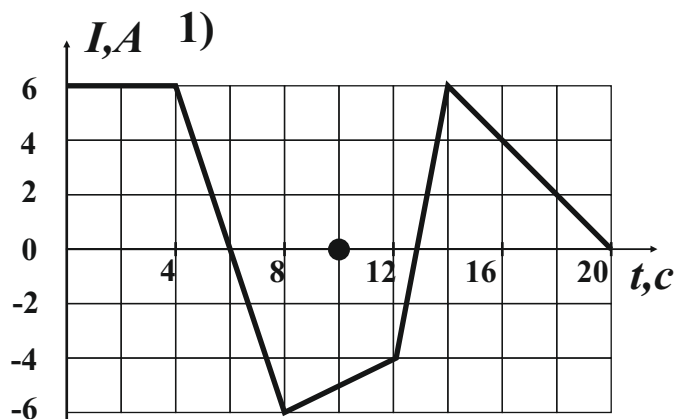
а, б - во все промежутки времени у торца катушки существуют оба поля
 в - вихревое электрическое поле максимально в промежутке времени от 0 до 1 с.
 г - одновременно оба поля существуют в промежутки времени от 0 до 4 с. и от 12 до 14 с. От 4 до 12 с. у торца катушки существует только магнитное поле $\varepsilon_{is} = 0$

⑥ По графикам зависимости силы тока от времени определить скорость изменения тока



⑦ По катушке, индуктивность которой $L=2,5\text{мГн}$ ($2,5 \times 10^{-3}\text{Гн}$), протекает электрический ток I . Зависимость силы тока от времени имеет вид, приведенный на рисунках 1 - 3

Определить модуль ЭДС самоиндукции ε_{is} , возникающей в катушке в момент времени t (смотри таблицу)



По закону самоиндукции

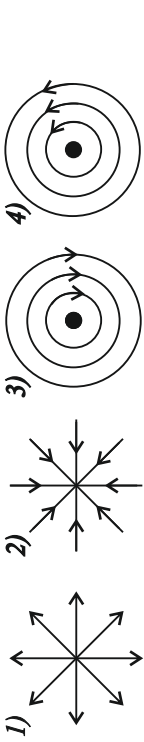
$$\varepsilon_{is} = L \left| \frac{\Delta I}{\Delta t} \right|$$

	t	Δt	t_1	t_2	I_1	I_2	$ \Delta I $	$\left \frac{\Delta I}{\Delta t} \right $	ε_{is}
1	10с	4с	8с	12с	-6А	-4А	2А	2А/с	5мВ
2	6с	2с	4с	6с	0	-6А	6А	3А/с	7,5мВ
3	14с	2с	12с	14с	6А	4А	2А	1А/с	2,5мВ

4. Тесты для подготовки к ЕГЭ (КР 3.3 - 3.4)

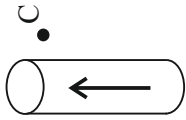
1. Линии магнитной индукции прямолинейного и кругового тока (стр. 9, 77)

A 1 На каком рисунке правильно изображена картина линий индукции магнитного поля длинного проводника с постоянным током, направленным перпендикулярно плоскости чертежа от нас?



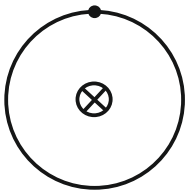
- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

A 2 На рисунке изображен проводник, через который течет электрический ток. Направление тока указано стрелкой. Как направлен вектор магнитной индукции в точке С?



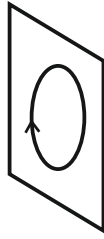
- 1) в плоскости чертежа ↑
 2) в плоскости чертежа ↓
 3) от нас перпендикулярно плоскости чертежа ⊗
 4) к нам перпендикулярно плоскости чертежа ⊙

A 3 По проводнику течет ток от нас. Вектор индукции магнитного поля в точке, находящейся справа от проводника, направлен



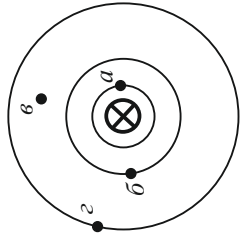
- 1) вниз 3) влево
 2) вверх 4) вправо

A 4 На рисунке изображен проволочный виток, по которому течет электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в горизонтальной плоскости. В центре витка вектор индукции магнитного поля тока направлен



- 1) вертикально вверх; 2) горизонтально влево;
 3) горизонтально вправо; 4) вертикально вниз.

A 5 На рисунке (вид сверху) показана картина линий индукции магнитного поля прямого проводника с током. В какой из четырех точек индукция магнитного поля наименьшая?



- 1) в точке a 3) в точке d
 2) в точке b 4) в точке c

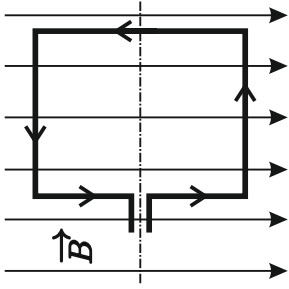
2. Сила Ампера (стр. 12 - 13; 80 - 81)

A 1 Какая формула соответствует выражению модуля силы Ампера?

- 1) $F = qE$ 3) $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
 2) $F = qvB \sin \alpha$ 4) $F = BIl \sin \alpha$

A 2 Прямолинейный проводник длиной 0,1 м, по которому течет электрический ток силой 3 А, находится в однородном магнитном поле индукцией 4 Тл и расположен под углом 60° к вектору магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля?

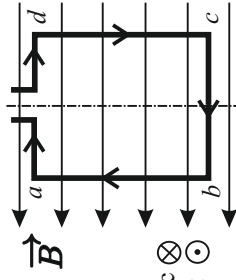
- 1) 1,6 Н 2) 1 Н 3) 1,4 Н 4) 2,4 Н



A 3 В однородном магнитном поле находится рамка, по которой начинает течь ток (см. рис.). Сила, действующая на верхнюю сторону рамки, направлена

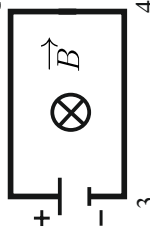
- 1) вниз
 2) вверх
 3) из плоскости листа на нас ⊙
 4) в плоскость листа от нас ⊗

A 4 Квадратная рамка расположена в однородном магнитном поле в плоскости линий магнитной индукции так, как показано на рисунке. Направление тока в рамке показано стрелками. Как направлена сила, действующая на сторону ab рамки со стороны магнитного поля?



- 1) перпендикулярно плоскости чертежа, от нас ⊗
 2) перпендикулярно плоскости чертежа, к нам ⊙
 3) вертикально вверх, в плоскости чертежа ↑
 4) вертикально вниз, в плоскости чертежа ↓

A 5 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1-2, 2-3, 3-4, 4-1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого \vec{B} направлен вертикально вниз (см. рисунок, вид сверху)



Куда направлена вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 3-4?

- 1) горизонтально вправо 3) вертикально вверх
 2) горизонтально влево 4) вертикально вниз

A 6 Как взаимодействуют два параллельных друг другу проводника, если электрические токи в них совпадают по направлению? (стр. 12)

- 1) сила взаимодействия равна нулю
- 2) проводники притягиваются
- 3) проводники отталкиваются
- 4) проводники поворачиваются в одинаковом направлении

A 7 Участок проводника длиной 10 см находится в магнитном поле индукцией 50 мТл. Сила Ампера при перемещении проводника на 8 см в направлении своего действия совершает работу 0,004 Дж. Чему равна сила тока, протекающего по проводнику? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции. (стр. 11)

- 1) 0,01 А
- 2) 0,1 А
- 3) 10 А
- 4) 64 А

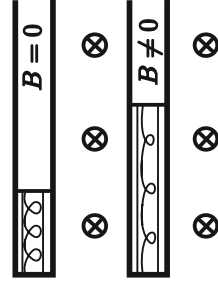
A 8 В основе работы электродвигателя лежит (стр. 82)

- 1) действие магнитного поля на проводник с электрическим током
- 2) электростатическое взаимодействие зарядов
- 3) явление самоиндукции
- 4) действие электрического поля на электрический заряд

A 9 Основное назначение электродвигателя заключается в преобразовании (стр. 82)

- 1) механической энергии в электрическую энергию
- 2) электрической энергии в механическую энергию
- 3) внутренней энергии в механическую энергию
- 4) механической энергии в различные виды энергии

B 1 Свободно перемещающийся по рамке проводник с током через изолятор прикреплен к пружине жесткостью 5 Н/м (см. рис.). Длина проводника равна 0,5 м, и по нему течет ток силой 2 А. При помещении проводника с изолятором в магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки, пружина растянулась на 10 см. Определите значение индукции магнитного поля (в мТл).



3. Сила Лоренца (стр. 15 - 24; 83 - 84)

A 1 Какая формула соответствует выражению для модуля силы Лоренца?

- 1) $F = qE$
- 2) $F = qvB \sin \alpha$
- 3) $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$
- 4) $F = BIl \sin \alpha$

A 2 Магнитное поле действует с ненулевой по модулю силой на

- 1) покоящийся атом
- 2) покоящийся ион
- 3) ион, движущийся вдоль линий магнитной индукции
- 4) ион, движущийся перпендикулярно линиям магнитной индукции

A 3 Электрон и протон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции на расстоянии L друг от друга с одинаковыми скоростями v . Модули зарядов электрона и протона равны $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Отношение модулей сил, действующих на них со стороны магнитного поля в этот момент времени, равно

- 1) 1
- 2) 0
- 3) 1/2000
- 4) 2000

A 4 Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции на расстоянии L друг от друга с одинаковой скоростью v . Заряд протона в 2 раза меньше заряда α -частицы. Отношение модулей сил, действующих на них со стороны магнитного поля в этот момент времени, равно

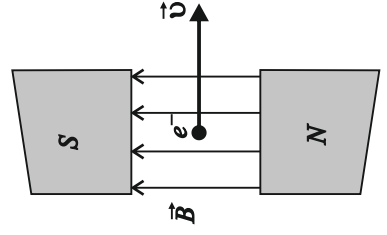
- 1) 4:1
- 2) 2:1
- 3) 1:1
- 4) 1:2

A 5 Нейтрон и электрон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции на расстоянии L друг от друга с одинаковыми скоростями. Отношение модулей сил, действующих на них со стороны магнитного поля в этот момент времени, равно

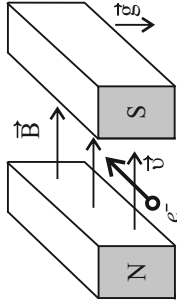
- 1) 0
- 2) 1
- 3) много больше 1
- 4) много меньше 1, но не равно 0

A 6 Электрон e^- , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет горизонтальную скорость \vec{v} , перпендикулярную вектору индукции \vec{B} магнитного поля (см. рисунок). Куда направлена действующая на него сила Лоренца F ?

- 1) к нам из-за плоскости рисунка
- 2) от нас перпендикулярно плоскости рисунка
- 3) горизонтально влево в плоскости рисунка
- 4) горизонтально вправо в плоскости рисунка

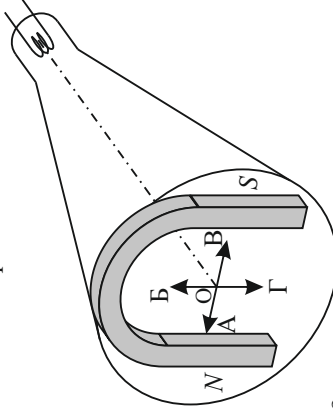


A 7 Электрон e^- , влетающий в зазор между полюсами электромагнита, имеет горизонтально направленную скорость \vec{v} , перпендикулярную вектору индукции магнитного поля \vec{B} (см. рисунок). Куда направлена действующая на электрон сила Лоренца \vec{F} ? (стр. 16)



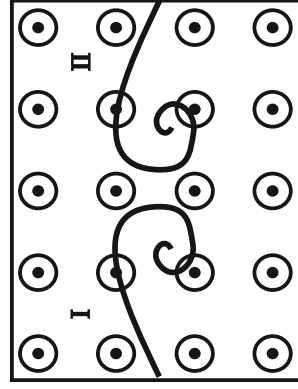
- 1) вертикально вниз
- 2) вертикально вверх
- 3) горизонтально влево
- 4) горизонтально вправо

A 8 Если перед экраном электронно-лучевой трубки осциллографа поместить постоянный магнит так, как показано на рисунке, то электронный луч сместится из точки O в направлении, указанном стрелкой. (стр. 16)



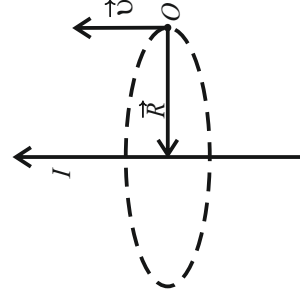
- 1) A
- 2) B
- 3) B
- 4) Г

A 9 В камере Вильсона, помещенной во внешнее магнитное поле таким образом, что вектор индукции магнитного поля направлен перпендикулярно плоскости рисунка на нас, были сфотографированы треки двух частиц. Какие из треков могут принадлежать электрону? (стр. 16)



- 1) Только I
- 2) Только II
- 3) I и II
- 4) Трек электрона не нарисован

A 10 Недалеко от прямого проводника с током летит электрон. В тот момент, когда электрон находится в точке O, его скорость направлена параллельно проводу, а действующая на него сила Лоренца направлена (стр. 9, 15)



- 1) по касательной к окружности радиуса R на нас
- 2) по касательной к окружности радиуса R от нас
- 3) также как и вектор R
- 4) противоположно вектору R

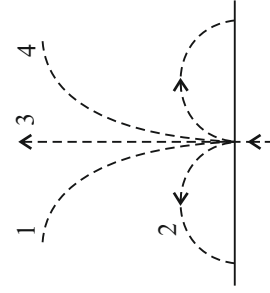
A 11 Ион Na^+ массой m влетает в магнитное поле со скоростью \vec{v} перпендикулярно линиям индукции магнитного поля \vec{B} и движется по окружности радиуса R . Модуль вектора магнитной индукции можно рассчитать по формуле (стр. 16 [1])

- 1) $\frac{mv_e}{R}$
- 2) $\frac{mvR}{e}$
- 3) $\frac{eR}{mv}$
- 4) $\frac{mv}{eR}$

A 12 Радиусы окружностей, по которым движутся α -частица (R_α) и протон (R_p) ($m_\alpha = 4m_p$; $q_\alpha = 2q_p$), влетающие в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции с одной и той же скоростью, соотносятся как: (стр. 16 [6])

- 1) $R_\alpha = 2R_p$
- 2) $R_\alpha = 4R_p$
- 3) $R_\alpha = 2$
- 4) $R_\alpha = 4$

A 13 В магнитное поле влетает электрон и движется по дуге окружности (см. рис.). По какой из траекторий (1, 2, 3 или 4) будет двигаться протон, влетев в это поле с такой же скоростью? Модули зарядов протона и электрона равны. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, а протона $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг (стр. 16 [5])



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

A 14 В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции с одинаковыми скоростями влетают электрон, протон и нейтрон. Как частицы будут двигаться в магнитном поле? (стр. 16 [5])

- 1) все три частицы продолжат прямолинейное движение;
- 2) все три частицы отклонятся в одном направлении;
- 3) нейтрон полетит по прямой, а электрон и протон отклонятся от исходного направления в разные стороны и полетят по окружностям одинакового радиуса;
- 4) нейтрон полетит по прямой, а электрон и протон отклонятся от исходного направления в разные стороны и полетят по окружностям с разными радиусами.

A 15 Как изменится период обращения заряженной частицы в однородном магнитном поле при увеличении её скорости в n раз? Рассмотрите нерелятивистский случай ($v \ll c$) (стр. 16 [1])

- 1) увеличится в n раз
- 2) увеличится в n^2 раз
- 3) увеличится в n^3 раз
- 4) не изменится

А 16 Два первоначально покоившихся электрона ускоряются в электрическом поле: первый в поле с разностью потенциалов U , второй $2U$. Ускорившиеся электроны попадают в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны скорости движения электронов. Отношение радиусов кривизны траекторий первого и второго электронов в магнитном поле равно (стр. 16 [4])

- 1) $1/4$; 2) $1/2$; 3) $\sqrt{2}/2$; 4) $\sqrt{2}$;

А 17 Если заряженная частица во взаимно перпендикулярных электрическом (напряженностью \vec{E}) и магнитном (магнитная индукция \vec{B}) полях движется с постоянной скоростью \vec{v} , то величины E , v и B связаны между собой соотношением: (стр. 18)

- 1) $v = E/B$ 2) $v = B/E$ 3) $v = \frac{B}{\sqrt{E^2 + B^2}}$ 4) $v = E \cdot B$

В 1 Электрон движется в вакууме со скоростью $3 \cdot 10^6$ м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Чему равна сила, действующая на электрон, если угол между направлениями скорости электрона и линиями магнитной индукции равен 90° ? Заряд электрона равен $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ответ умножьте на 10^{15} (стр. 83)

В 2 Ион, заряд которого равен $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,6$ Тл, в плоскости, перпендикулярной \vec{B} . Радиус дуги, по которой движется ион, равен $R = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м. Чему равен импульс иона? Полученный ответ умножьте на 10^{24} и округлите до целых. (стр. 16[1])

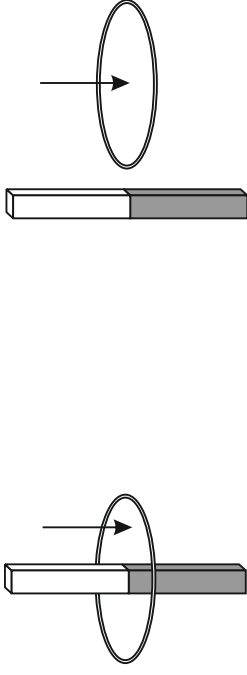
В 3 Электрон влетает в однородное магнитное поле индукцией $B = 4 \cdot 10^{-3}$ Тл так, как указано на рисунке. Через какое минимальное время электрон вновь окажется в первоначальной точке? Заряд электрона $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и его масса $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Ответ округлите до двух значащих цифр, умножьте на 10^{10} (стр. 16[1])

С 1 Заряженный шарик влетает в область магнитного поля $B = 0,2$ Тл, имея скорость $v = 1000$ м/с, перпендикулярную вектору магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на 1° ? Масса шарика $m = 0,01$ г, заряд $q = 500$ мкКл. (стр. 16[1])

С 2 В кинескопе телевизора разность потенциалов между катодом и анодом 16 кВ. Отклонение электронного луча при горизонтальной развертке осуществляется магнитным полем, создаваемым двумя катушками. Ширина области, в которой электроны пролетают через магнитное поле, равна 10 см. Какова индукция отклоняющего магнитного поля при значении угла отклонения электронного луча 30° ? Заряд электрона $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и его масса $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. (стр. 17[3])

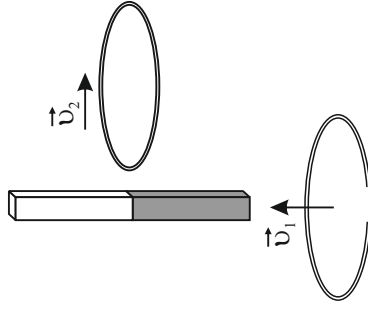
4. Электромагнитная индукция

А 1 Один раз кольцо падает на стоящий вертикально полюсовый магнит так, что надевается на него, второй раз так, что пролетает мимо него. Плоскость кольца в обоих случаях горизонтальна. Ток в кольце возникает: (стр. 43 [2])



- 1) в обоих случаях
2) ни в одном из случаев
3) только в первом случае
4) только во втором случае

А 2 Проводящее кольцо с разрезом из начального положения (рис.) поднимают вверх к полюсовому магниту, а сплошное проводящее кольцо из начального положения (рис.) смещают вправо. При этом индукционный ток (стр. 43 [3])



- 1) течет в обоих случаях
2) в обоих случаях не течет
3) течет только в первом случае
4) течет только во втором случае

А 3 На горизонтальном столе лежат два одинаковых неподвижных металлических кольца на большом расстоянии друг от друга. Два полюсовых магнита падают северными полюсами вниз так, что один попадает в центр первого кольца, а второй падает рядом со вторым кольцом. До удара магнитов ток (стр. 27 [2])

- 1) возникает в обоих кольцах
2) возникает только во втором кольце
3) возникает только в первом кольце
4) не возникает ни в одном из колец

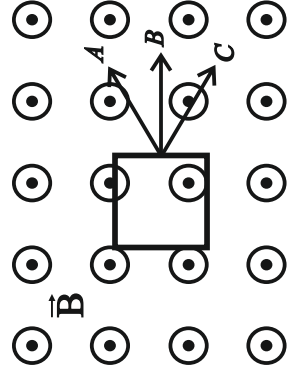
A 4 На горизонтальном столе лежат два одинаковых неподвижных металлических кольца на большом расстоянии друг от друга. Над первым качается магнит, подвешенный на нити. Над вторым кольцом магнит, подвешенный на пружине, качается вверх-вниз. Точка подвеса нити и пружины находится над центрами колец. Ток (стр. 27 [3])

- 1) возникает только в первом кольце
- 2) возникает только во втором кольце
- 3) возникает в обоих кольцах
- 4) не возникает ни в одном из колец

A 5 В металлическое кольцо в течение первых двух секунд вдвигают магнит, в течение следующих двух секунд магнит оставляют неподвижным внутри кольца, в течение последующих двух секунд его вынимают из кольца. В какие промежутки времени в катушке течет ток? (стр. 28 [7])

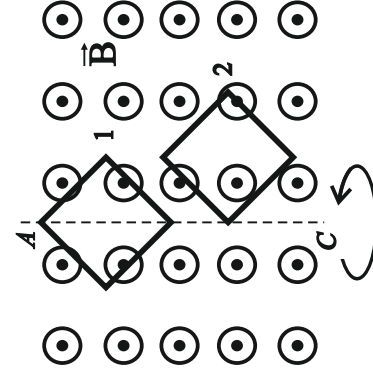
- 1) 0–6 с
- 2) 0–2 с и 4–6 с
- 3) 2–4 с
- 4) только 0–2 с

A 6 Проволочная рамка движется в неоднородном магнитном поле, силовые линии которого выходят из плоскости листа. Плоскость рамки остаётся перпендикулярной линиям вектора магнитной индукции (см. рис.). При движении рамки в ней возникает электрический ток. С каким из указанных на рисунке направлений может совпадать скорость рамки? (стр. 43 [1])



- 1) только с А
- 2) только с В
- 3) только с С
- 4) с любым из указанных направлений

A 7 В однородном магнитном поле вокруг оси АС с одинаковой частотой вращаются две рамки. Отношение \mathcal{E}_1 : \mathcal{E}_2 амплитудных значений ЭДС в рамках 1 и 2, равно: (стр. 47 [4])



- 1) 1: 4
- 2) 1: 2
- 3) 1: 1
- 4) 2: 1

A 8 В однородном магнитном поле вокруг оси АС с одинаковой частотой вращаются две проводящие рамки. Площадь рамки 1 в два раза меньше площади рамки 2. Отношение амплитуд колебаний ЭДС индукции, генерируемых в рамках 1 и 2, равно: (стр. 47 [4])

- 1) 1: 4
- 2) 1: 2
- 3) 1: 1
- 4) 2: 1

A 9 В однородном магнитном поле вокруг оси АС с одинаковой частотой вращаются две проводящие рамки. Отношение амплитудных значений ЭДС индукции, генерируемых в рамках 1 и 2, равно: (стр. 47 [4])

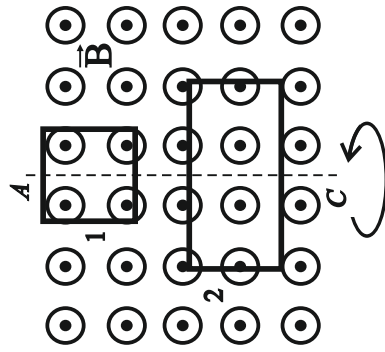
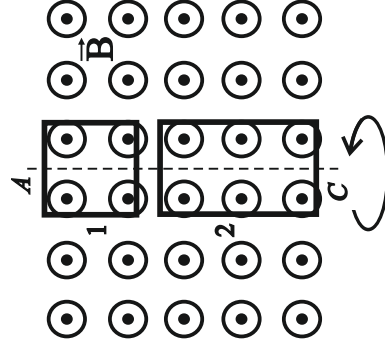
- 1) 1: 4
- 2) 1: 2
- 3) 1: 1
- 4) 2: 1

A 10 Какой процесс объясняется явлением электромагнитной индукции? (стр. 87)

- 1) притяжение алюминиевого кольца, подвешенного на нити, к постоянному магниту при выдвигании его кольца
- 2) отталкивание двух одноименно заряженных частиц
- 3) отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током
- 4) отклонение стрелки вольтметра, подключенного к клеммам источника тока

A 11 Явление электромагнитной индукции используется при: (стр. 87)
 А. считывании информации с жесткого диска компьютера
 Б. выработке электроэнергии на электростанциях
 В. работе электрического микрофона

- 1) только А
- 2) только Б
- 3) только В
- 4) А, Б и В



5. Магнитный поток (стр. 26, 85 - 86)

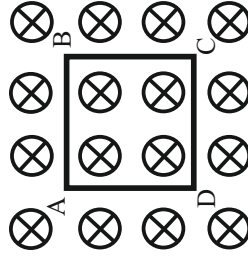
A 1 Магнитный поток через замкнутый виток, помещенный в однородное магнитное поле, зависит

- 1) только от модуля вектора магнитной индукции
- 2) только от угла между вектором магнитной индукции и плоскостью витка
- 3) только от площади витка
- 4) от всех трех факторов, перечисленных в 1)–3)

A 2 Магнитный поток, пронизывающий плоское проволочное кольцо в однородном поле, НЕЛЬЗЯ изменить

- 1) вытянув кольцо в овал
- 2) смяв кольцо
- 3) повернув кольцо вокруг оси, перпендикулярной плоскости кольца
- 4) повернув кольцо вокруг оси, проходящей в плоскости кольца

A 3 Контур ABCD находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены перпендикулярно плоскости чертежа от наблюдателя (см. рисунок, вид сверху). Магнитный поток через контур будет меняться, если контур



- 1) движется в направлении от наблюдателя
- 2) движется в направлении к наблюдателю
- 3) поворачивается вокруг стороны AB
- 4) движется в плоскости рисунка

A 4 При увеличении в 2 раза индукции однородного магнитного поля и площади неподвижной рамки поток вектора магнитной индукции

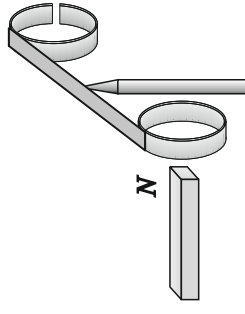
- 1) не изменится
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

A 5 Поток вектора магнитной индукции через рамку, площадь которой равна $0,02 \text{ м}^2$, а плоскость рамки расположена под углом 60° к вектору \vec{B} , при $B = 0,05 \text{ Тл}$ равен

- 1) 0,87 мВб
- 2) 0,5 мВб
- 3) 1,25 мВб
- 4) 2,2 мВб

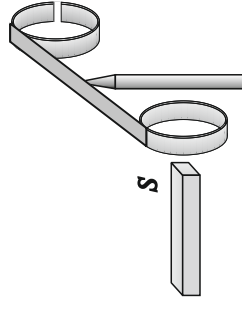
6. Правило Ленца (стр. 28)

A 1 На рисунке приведена демонстрация опыта по проверке правила Ленца. Опыт проводится со сплошным кольцом, а не разрезанным, потому что



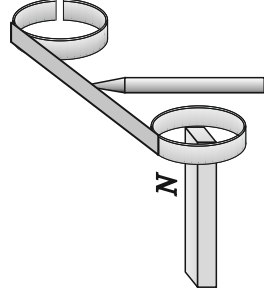
- 1) сплошное кольцо сделано из стали, а разрезанное – из алюминия
- 2) в сплошном кольце не возникает вихревое электрическое поле, а в разрезанном – возникает
- 3) в сплошном кольце возникает индукционный ток, а в разрезанном – нет
- 4) в сплошном кольце возникает ЭДС индукции, а в разрезанном – нет

A 2 На рисунке запечатлен тот момент демонстрации по проверке правила Ленца, когда все предметы неподвижны. Южный полюс магнита находится вблизи сплошного алюминиевого кольца. Коромысло с алюминиевыми кольцами может свободно вращаться вокруг вертикальной опоры. Если теперь передвинуть магнит вправо, то ближайшее к нему кольцо будет



- 1) оставаться неподвижным
- 2) совершать колебания
- 3) перемещаться навстречу магниту
- 4) удаляться от магнита

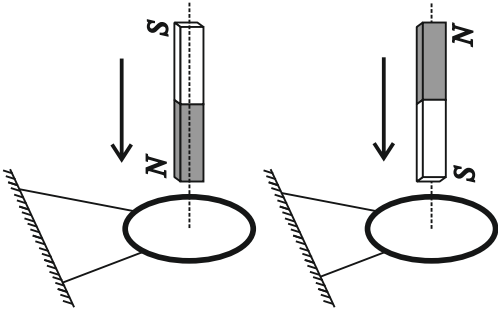
A 3 На рисунке запечатлен тот момент демонстрации по проверке правила Ленца, когда все предметы неподвижны. Северный полюс магнита частично введен внутрь сплошного металлического кольца, не касаясь его коромысло с металлическими кольцами может свободно вращаться вокруг вертикальной опоры. При выдвигении магнита из кольца оно будет



- 1) оставаться неподвижным
- 2) перемещаться вслед за магнитом
- 3) удаляться от магнита
- 4) совершать колебания

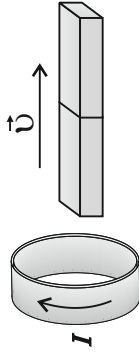
A 4 Постоянный магнит вводят в замкнутое алюминиевое кольцо на тонком длинном подвесе (см. рисунок). Первый раз – северным полюсом, второй раз – южным полюсом. При этом (стр. 28)

- 1) в обоих опытах кольцо отталкивается от магнита
- 2) в обоих опытах кольцо притягивается к магниту
- 3) в первом опыте кольцо отталкивается от магнита, во втором – кольцо притягивается к магниту
- 4) в первом опыте кольцо притягивается к магниту, во втором – кольцо отталкивается от магнита



A 5 Магнит выводят из кольца так, как показано на рисунке. Какой полюс магнита ближе к кольцу? (стр. 28[8])

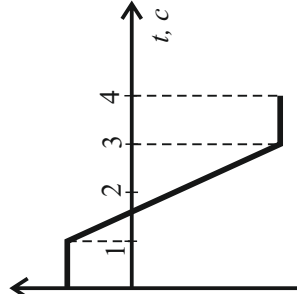
- 1) северный
- 2) южный
- 3) отрицательный
- 4) положительный



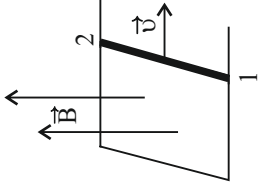
7. Закон электромагнитной индукции

A 1 Виток провода находится в магнитном поле, и перпендикулярно плоскости витка, и своими концами замкнут на амперметр. Магнитная индукция поля меняется с течением времени согласно графику на рисунке. В какой промежуток времени амперметр покажет наличие электрического тока в витке? (стр. 30)

- 1) от 0 с до 1 с
- 2) от 1 с до 3 с
- 3) от 3 с до 4 с
- 4) во все промежуток времени от 0 с до 4 с

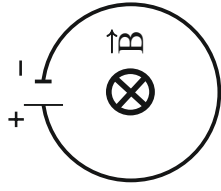


A 2 Два рельса замкнуты на конце третьим проводником (см. рис.). Четвертый проводник, параллельный третьему и имеющий с рельсами надежный контакт в точках 1 и 2, катится по ним с некоторой скоростью \vec{v} в магнитном поле \vec{B} . Как направлен индукционный ток на участке цепи 1-2 и в какой из точек 1 или 2 потенциал ϕ больше? (стр. 35, 91-92)

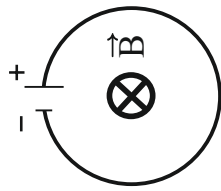


- 1) от 2 к 1 $\phi_2 > \phi_1$, 2) от 1 к 2 $\phi_2 > \phi_1$,
- 3) от 2 к 1 $\phi_1 > \phi_2$, 4) от 1 к 2 $\phi_1 > \phi_2$,

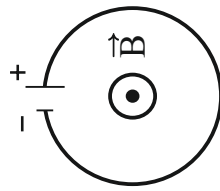
B 1 Плоский контур с источником постоянного тока находится во внешнем однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого \vec{B} перпендикулярен плоскости контура (см. рис.) Во сколько раз изменится мощность тока в контуре после того, как поле начнет увеличиваться со скоростью $0,01 \text{ Тл/с}$? Площадь контура равна $0,1 \text{ м}^2$, ЭДС источника тока 10 мВ . (стр. 33)



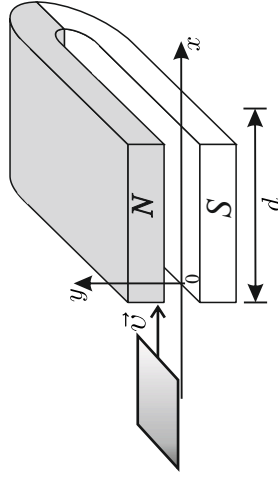
B 2 Плоский контур с источником постоянного тока находится во внешнем однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого \vec{B} перпендикулярен плоскости контура (см. рис.) На сколько процентов изменится мощность тока в контуре после того, как поле начнет уменьшаться со скоростью $0,01 \text{ Тл/с}$? Площадь контура равна $0,1 \text{ м}^2$, ЭДС источника тока 10 мВ . (стр. 33)



B 3 Плоский контур с источником постоянного тока находится во внешнем однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого \vec{B} перпендикулярен плоскости контура (см. рис.) На сколько процентов изменится мощность тока в контуре после того, как поле начнет увеличиваться со скоростью $0,01 \text{ Тл/с}$? Площадь контура равна $0,1 \text{ м}^2$, ЭДС источника тока 10 мВ . (стр. 33)



- C 1 Квадратная рамка со стороной $b=5$ см изготовлена из медной проволоки сопротивлением $R=0,10$ Ом. Рамку перемещают по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью v вдоль оси Ox . Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка проходит между полосами магнита и вновь оказывается в области, где магнитное поле отсутствует. (стр. 44, 46 [5, 6])



Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу F , направленную вдоль оси Ox . С какой скоростью движется рамка, если суммарная работа внешней силы за время движения равна $A=2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж? Ширина полосов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полосами, а его индукция $B_1 = \text{Тл}$.

- C 2 Плоская горизонтальная фигура площадью $S=1,0 \text{ м}^2$, ограниченная проводящим контуром, сопротивление которого $R = 5$ Ом, находится в однородном магнитном поле. Какой заряд протекает по контуру за большой промежуток времени, пока проекция магнитной индукции на вертикаль Z равномерно меняется от $B_{1z} = 2$ Тл до $B_{2z} = -2$ Тл? (стр. 26 [1])
- C 3 Плоская горизонтальная фигура площадью $S = 1,0 \text{ м}^2$, ограниченная проводящим контуром, находится в однородном магнитном поле. Пока проекция магнитной индукции на вертикаль Z равномерно меняется от $B_{1z} = 2$ Тл до $B_{2z} = -2$ Тл, по контуру протекает электрический заряд $\Delta q = 0,08 \text{ Кл}$. Найдите сопротивление контура (стр. 31 [1])
- C 4 Плоская горизонтальная фигура площадью $S = 1,0 \text{ м}^2$, ограниченная проводящим контуром сопротивлением $R = 5$ Ом, находится в однородном магнитном поле. Пока проекция магнитной индукции на вертикаль Z равномерно меняется от $B_{1z} = 6$ Тл до конечного значения B_{2z} , по контуру протекает электрический заряд $\Delta q = 0,08 \text{ Кл}$. Найдите индукцию B_2 . (стр. 31 [1])

- C 5 Медный куб с длиной ребра $a = 0,1 \text{ м}$ скользит по столу с постоянной скоростью $v = 10 \text{ м/с}$, касаясь стола одной из плоских поверхностей. Вектор индукции магнитного поля $B = 0,2 \text{ Тл}$ направлен вдоль поверхности стола и перпендикулярно вектору скорости куба. Найдите модуль вектора напряженности электрического поля, возникающего внутри металла, и модуль разности потенциалов между центром куба и одной из его вершин. (стр. 40)

- C 6 Медный тонкий диск диаметра $D = 0,1 \text{ м}$ скользит по столу с постоянной скоростью $v = 100 \text{ м/с}$, касаясь стола одной из плоских поверхностей. Магнитное поле $B = 0,5 \text{ Тл}$ направлено вдоль поверхности стола и перпендикулярно вектору скорости диска. Найдите модуль вектора напряженности электрического поля, возникающего внутри металла и модуль разности потенциалов между центром и окружностью, ограничивающей диск. (стр. 40)

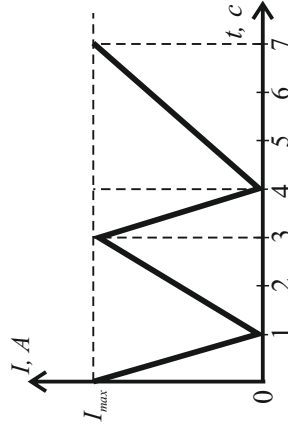
8. ЭДС самоиндукции (стр. 49 - 50; 93 - 95)

- A 1 В проводнике индуктивностью 5 мГн сила тока в течение $0,2 \text{ с}$ равномерно возрастает с 2 А до какого-то конечного значения. При этом в проводнике возбуждается ЭДС самоиндукции, равная $0,2 \text{ В}$. Определите конечное значение силы тока в проводнике

- 1) 10 А 2) 6 А 3) 4 А 4) 20 А

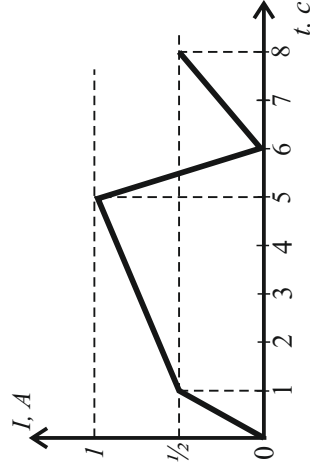
- A 2 На рисунке показано изменение силы тока в катушке индуктивности от времени. Модуль ЭДС самоиндукции принимает равные значения в промежутках времени

- 1) 0-1 и 1-3 с
2) 3-4 и 4-7 с
3) 1-3 и 4-7 с
4) 0-1 и 3-4 с



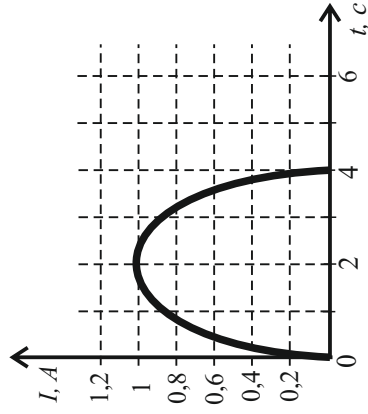
- A 3 На рисунке приведен график изменения силы тока в катушке индуктивности от времени. Модуль ЭДС самоиндукции принимает наибольшее значение в промежутке времени

- 1) 0-1 с 2) 1-5 с
3) 5-6 с 4) 6-8 с



А 4 На рисунке показано изменение силы тока в катушке индуктивности от времени. Модуль ЭДС самоиндукции принимает наибольшее значение в промежутках времени

- 1) 0-1 с и 2-3 с
- 2) 1-2 и 2-3 с
- 3) 0-1 с и 3-4 с
- 4) 2-3 с и 3-4 с



9. Энергия магнитного поля (стр. 95)

А 1 Энергия магнитного поля соленоида, в котором при силе тока 10 А возникает магнитный поток 1 Вб, равна:

- 1) 5 Дж
- 2) 10 Дж
- 3) 20 Дж
- 4) 25 Дж

А 2 Сравните индуктивности L_1 и L_2 двух катушек, если при одинаковой силе тока энергия магнитного поля, создаваемого током в первой катушке, в 9 раз больше, чем энергия магнитного поля, создаваемого током во второй катушке

- 1) L_1 в 9 раз больше, чем L_2
- 2) L_1 в 9 раз меньше, чем L_2
- 3) L_1 в 3 раза больше, чем L_2
- 4) L_1 в 3 раза меньше, чем L_2

В 1 В катушке сила тока равномерно увеличивается со скоростью 2 А/с. При этом в ней возникает ЭДС самоиндукции 20 В. Какова энергия магнитного поля катушки при силе тока в ней 5 А?

Ключи ответов к тестам

Стр. 52 - 60

1. Магнитная индукция	A1	3	3. Сила Лоренца (продолжение)	A10	4	5. Магнитный поток	A1	4
	A2	3		A11	4		A2	3
	A3	1		A12	1		A3	3
	A4	4		A13	1		A4	3
	A5	4		A14	4		A5	1
2. Сила Ампера	A1	4	3. Сила Лоренца (продолжение)	A15	4	6. Правило Ленца	A1	3
	A2	2		A16	3		A2	4
	A3	3		A17	1		A3	2
	A4	2	B1	48	A4		1	
	A5	4	B2	24	A5		1	
	A6	2	B3	89	A1		2	
	A7	3	C1	1,74м	A2		3	
	A8	1	C2	2,13мТл	B1		1,21	
	A9	2			B2		21	
3. Сила Лоренца	B1	500 мТл	4. Электромгнитная индукция	A1	1	7. Закон электромагнитной индукции	B3	19
	A1	2		A2	4		C1	1м/с
	A2	4		A3	1		C2	0,08Кл
	A3	1		A4	3		C3	50м
	A4	4		A5	2		C4	2Тл
	A5	1		A6	4		C5	2В/м; 0,1В
	A6	2	A7	3	C6		50В/м; 0В	
	A7	2	A8	2	A1		1	
	A8	4	A9	2	A2		4	
	A9	2	A10	1	A3		3	
			A11	1	A4		3 и 2	
8. ЭДС самоиндукции						8. ЭДС самоиндукции	A1	1
							A2	1
							A3	1
9. Энергия магнитного поля						9. Энергия магнитного поля	B1	125 Дж

5. Вопросы для контроля знаний учащихся

Магнитное поле (ККЭ 3.3.1)

1. *Что называется магнитным полем?* - Магнитное поле - это особая форма существования материи, неразрывно связанная с движущимися зарядами и действующая на движущиеся заряды.
2. *Чем создается магнитное поле?* Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами и переменными электрическими полями.
3. *Какое поле создается неподвижным электрическим зарядом?* – Электрическое.
4. *Какое поле создается движущимся электрическим зарядом?* - Электрическое и магнитное.
5. *Действует ли внешнее магнитное поле на неподвижные намагниченные тела?* - На намагниченные тела магнитное поле действует независимо от того, неподвижны эти тела или же они движутся.
6. *С помощью чего можно исследовать магнитное поле?* - Исследовать магнитное поле можно с помощью маленькой магнитной стрелки или маленькой проводящей рамки (контур) с током, помещая их в это поле.
7. *Что установил своим опытом в 1820 году датский ученый Эрстед?* - Открыл действие электрического тока на магнитную стрелку.
8. *Как будет реагировать на изменение направления тока в проводнике магнитная стрелка, расположенная вблизи проводника?* - Повернется на 180 градусов.
9. *В опыте Эрстеда магнитная стрелка расположена под проводником с током. Как поведет себя стрелка, если, не изменяя направление тока, расположить ее над проводником?* - Повернется на 180 градусов.
10. *Что называется линией магнитной индукции?* - Линия магнитной индукции - это линия, касательные к которой в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции.
11. *Какое направление имеют линии магнитной индукции вне источника магнитного поля? Внутри источника магнитного поля?* - Вне источника магнитного поля выходят из северного полюса и входят в южный. Внутри источника магнитного поля направлены от южного полюса к северному.
12. *Что представляют собой линии магнитной индукции прямолинейного проводника с током?* - Концентрические окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной к оси проводника, с центром на оси. Направление линий индукции зависит от технического направления тока, определяется по правилу обхвата правой рукой (правилу буравчика).
13. *Как располагаются железные опилки в магнитном поле прямолинейного проводника с током?* - Располагаются по концентрическим окружностям вокруг проводника с током.
14. *Существует ли стационарное электрическое поле вне проводника с током?* - При подключении проводника к источнику тока на его поверхности возникают поверхностные заряды, плотность которых уменьшается по мере удаления от полюсов источника. Поверхностные заряды создают стационарное электрическое поле, силовые линии которого располагаются наклонно к поверхности проводника, а внутри параллельно оси проводника, т.е. стационарное электрическое поле сосредоточено внутри проводника с током, вне проводника с током возникает магнитное поле.

15. *Имеет ли размерность относительная магнитная проницаемость среды?* - относительная магнитная проницаемость безразмерная величина.
16. *Чем объясняются магнитные свойства тел?* - Магнитные свойства тел объясняются орбитальным движением электронов в атоме - токами Ампера.

Сила Ампера (ККЭ 3.3.3)

1. *Внешнее магнитное поле действует на движущиеся заряды, составляющие ток в проводнике. Почему это действие передается проводнику?* - Заряды не могут покинуть проводник, а поэтому общая сила, действующая на движущиеся заряды со стороны магнитного поля, оказывается приложенной к проводнику.
2. *Чем объясняется взаимодействие двух параллельных проводников с током?* - Магнитное поле одного проводника с током действует на движущиеся заряды во втором проводнике.
3. *Вызывается ли их взаимодействие электрическим полем?* - Нет, т.к. при размыкании цепи ток прекращается, проводники не взаимодействуют друг с другом, хотя поверхностные заряды на проводниках и стационарное поле остаются.
4. *Как ведет себя рамка с током во внешнем магнитном поле, созданном прямолинейным током?* – На рамку с током во внешнем магнитном поле, созданном прямолинейным проводником с током, действует вращательный момент относительно оси симметрии рамки, параллельной проводнику с током, создающим магнитное поле. Под действием этого момента рамка поворачивается до тех пор, пока не установится в одной плоскости с проводником, по которому идет ток I .
5. *Как ведет себя рамка с током в магнитном поле, созданном постоянным магнитом?* – Рамка устанавливается так, что её плоскость перпендикулярна прямой, соединяющей полюса магнита.

Сила Лоренца (ККЭ 3.3.4)

1. *Как период обращения частицы зависит от ее скорости?* - Период не зависит от скорости частицы.
2. *Протон и электрон, имеющие одинаковые скорости, попадают в однородное магнитное поле, индукция которого B перпендикулярна скорости зарядов. Как будут отличаться траектории заряженных частиц?* - Заряд протона и электрона равны по модулю, масса протона в 1840 раз больше, чем у электрона. По формуле радиуса окружности, по которой частицы движутся, радиус окружности протона в 1840 раз больше, чем у электрона.
3. *Какова траектория движения заряженной частицы, попадающей в неоднородное магнитное поле и движущейся в область сильного поля?* - Частица движется в сторону возрастающего поля по спирали, при этом уменьшаются шаг спирали, ее радиус и период обращения. Частица, отразившись, начинает двигаться в обратную сторону.

4. Заряженная частица движется в некоторой области пространства по прямой. Может ли в этой области существовать отличное от нуля магнитное поле? Если да, приведите два примера. - Во-первых, скорость частицы могла быть направлена параллельно линиям магнитной индукции, в этом случае сила Лоренца равна нулю. Во-вторых, в этом пространстве могло существовать электростатическое поле, перпендикулярное магнитному. Если скорость частицы перпендикулярна силовым линиям электрического поля и линиям индукции магнитного поля и выполняется, то частица будет двигаться равномерно и прямолинейно. $F_L = F_{ЭЛ} \Rightarrow v = \frac{E}{B}$
5. Заряженная частица движется в некоторой области пространства по прямой. Может ли в этой области существовать отличное от нуля магнитное поле? Если да, приведите два примера. - Во-первых, скорость частицы могла быть направлена параллельно линиям магнитной индукции, в этом случае сила Лоренца равна нулю. Во-вторых, в этом пространстве могло существовать электростатическое поле, перпендикулярное магнитному. Если скорость частицы перпендикулярна силовым линиям электрического поля и линиям индукции магнитного поля и выполняется, то частица будет двигаться равномерно и прямолинейно.
6. Пучок протонов, перемещаясь в некоторой области пространства, описывает криволинейную траекторию. Как определить, магнитным или электрическим полем вызвано это движение? - Под действием магнитного поля протоны движутся по окружности, если скорость была перпендикулярна вектору магнитной индукции, или по винтовой траектории, если скорость была направлена под углом к магнитным линиям. Под действием электрического поля протоны двигаются по параболе.
7. При какой скорости заряженная частица движется равномерно и прямолинейно в пространстве, где одновременно находятся однородные электрическое и магнитное поля, расположенные взаимно перпендикулярно? - Скорость частицы должна быть перпендикулярна к силовым линиям электрического поля и линиям магнитной индукции и равна $v = \frac{E}{B}$

Электромагнитная индукция и вихревое электрической поле (ККЭ 3.4.1 - 3.4.4)

1. Магнит вдвигают в кольцо из проводника (сверхпроводника, диэлектрика), что происходит при этом в кольце? - В кольце из проводника протекает кратковременный ток (кольцо имеет сопротивление R), в кольце из диэлектрика происходит поляризация молекул, в кольце из сверхпроводника индуцируется ток, магнитный поток которого в сумме с потоком индукции от магнита через кольцо равен нулю.
2. В однородном магнитном поле находится кольцо из сверхпроводника, линии магнитной индукции перпендикулярны к площади кольца. Внешнее поле выключают. Что происходит? - При убывании магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, в кольце возникает индукционный ток, величина и направление которого таковы, что магнитный поток через кольцо остается прежним.

3. *Какое явление наблюдается в катушке, замкнутой на гальванометр, если в нее вдвигать (или вынимать) полосовой магнит?* - Возникает ЭДС индукции, которая вызывает индукционный ток.
4. *Одинаковый ли заряд индуцируется в короткозамкнутой катушке, внутрь которой один раз быстро, а другой раз медленно вдвигают постоянный магнит?* - В обоих случаях величина индуцированного заряда одинакова.
5. *Что такое вихревые токи (токи Фуко)?* - Индукционные токи, возникающие в сплошных металлических телах, движущихся в постоянном магнитном поле или находящихся в переменном магнитном поле.
6. *Что называется вихревым (индукционным) электрическим полем?* - Это электрическое поле, возникающее при изменении магнитного поля.
7. *В пространстве меняется магнитное поле, но нет проводящего контура. Возникнет или нет в этом случае вихревое электрическое поле?* - Вихревое электрическое поле появляется в любой точке пространства, где существует переменное магнитное поле. Проводящий контур служит лишь индикатором, позволяющим обнаружить вихревое электрическое поле.
8. *Как можно определить направление силовых линий вихревого электрического поля?* - Применить правило левого винта.
9. *Какими отличительными свойствами обладает оно по сравнению с другими видами электрических полей?* - Вихревое электрическое поле порождается переменным магнитным полем, оно не связано с зарядами, силовые линии вихревого поля нигде не начинаются и нигде не заканчиваются, представляют собой замкнутые линии. Работа вихревого поля по замкнутой траектории не равна нулю.
10. *Какими отличительными свойствами обладает вихревое электрическое поле по сравнению с магнитным?* - Работа вихревого электрического поля по замкнутой траектории не равна нулю, вихревое электрическое поле действует на неподвижные электрические заряды. Магнитное поле порождается движущимися электрическими зарядами, вихревое электрическое поле не связано с электрическими зарядами.
11. *Могут ли существовать замкнутые линии магнитной индукции в пространстве, в котором нет электрических зарядов?* - Согласно теории Максвелла, магнитное поле может быть порождено изменяющимся электрическим полем.
12. *Через катушку с сердечником пропускают переменный ток. Что наблюдается у конца сердечника?* - у конца сердечника возникают переменное магнитное и вихревое электрическое поля.

13. *Пластина медной фольги находится в переменном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен пластине. Что наблюдается в пластине?* - В пластине возникает индукционный ток, идущий по окружности и периодически меняющий направление.

ЭДС индукции при движении проводника в постоянном магнитном поле (ККЭ 3.4.3)

1. *Возникает ли индукционный ток в прямолинейном отрезке тонкого проводника, который движется в магнитном поле, пересекая линии магнитной индукции?* - В проводнике возникает ЭДС индукции, но индукционного тока нет, если цепь будет замкнута, то возникнет индукционный ток.
2. *За счет чего возникает энергия индукционного тока при движении проводника в магнитном поле?* - За счет механической энергии, расходуемой на преодоление противодействия со стороны магнитного поля индукционного тока.
3. *Концы сложной вдвое проволоки соединены с гальванометром. Проволока движется, перерезая линии индукции магнитного поля, но стрелка гальванометра остается на нуле. Почему?* - В отрезках проволоки возникают разные по знаку, но одинаковые по величине ЭДС индукции, которые взаимно компенсируются.
4. *В чем проявляется закон Ленца для замкнутого проводника, движущегося в магнитном поле?* - При движении проводника под действием внешней силы возникающий индукционный ток создает свое собственное магнитное поле, которое взаимодействует с внешним магнитным полем. На проводник действует сила Ампера, направленная против внешней силы.
5. *Как будет падать в однородном магнитном поле медное кольцо, если его плоскость перпендикулярна к линиям магнитной индукции? Что изменится, если кольцо будет железным?* - Оба кольца будут падать с ускорением свободного падения, так как магнитный поток, пронизывающий кольца, постоянен.

Самоиндукция. Индуктивность проводника (ККЭ 3.4.5 - 3.4.7)

1. *Может ли в катушке, включенной в цепь источника тока, возникнуть индукционный ток при замыкании (или размыкании) цепи?* - Возникает только ЭДС самоиндукции, тока самоиндукции не возникает.
2. *Почему экстраток размыкания может превышать в несколько раз размыкаемый ток?* - ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока, а при размыкании поле исчезает очень быстро.
3. *Чему равна общая ЭДС в размыкаемой цепи?* - Сумме ЭДС самоиндукции и ЭДС источника тока.

4. *Чему равна общая ЭДС в момент замыкания цепи?* - Разности ЭДС источника тока и ЭДС самоиндукции.
5. *В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании цепи?* - ЭДС самоиндукции, возникающая при размыкании, вызывает искру через рубильник.
6. *При каком условии явление самоиндукции наблюдается наиболее резко?* - Если в цепь включена катушка с большой индуктивностью и цепь резко размыкают.
7. *Что называется индуктивностью проводника?* - Величина, характеризующая магнитные свойства проводника при прохождении по нему электрического тока.
8. *От чего зависит индуктивность контура?* - Индуктивность контура зависит от его формы, размеров, числа витков и магнитной проницаемости сердечника (если он помещен в контур).
9. *С каким явлением можно сравнить явление самоиндукции?* - С явлением инерции.
10. *В чем проявляется закон Ленца в явлении самоиндукции?* - ЭДС самоиндукции препятствует изменению основного тока, которое возбуждает эту ЭДС.
11. *Почему для создания тока в проводнике должна быть совершена работа?* - Чтобы создать в проводнике с индуктивностью L ток I , источник тока должен совершить против ЭДС самоиндукции работу, равную $A = \frac{1}{2} I \Phi$
12. *За счет какой энергии совершается эта работа?* - Энергия источника тока превращается в энергию магнитного поля тока.

6. Основные понятия, законы и формулы из школьного курса физики

Формула - это определение или закон, записанные с помощью буквенных обозначений физических величин.

1. Вектор магнитной индукции

$$B = \frac{F_{max}}{I \cdot l}$$

← **модуль вектора магнитной индукции по определению**

максимальное значение силы, действующей на проводник с током со стороны поля
длина прямолинейного отрезка
сила тока в проводнике

$$B = \frac{M_{max}}{I_K \cdot S_K}$$

← **модуль вектора магнитной индукции по определению**

максимальный вращательный момент, действующий на контур с током
площадь поперечного сечения контура
сила тока в контуре

$$P_M = I_K S_K$$

↑ магнитный момент

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

← **магнитная проницаемость**

магнитная индукция в веществе
магнитная индукция поля в вакууме

$\mu < 1$ диамагнетики
 $\mu > 1$ парамагнетики
 $\mu \gg 1$ ферромагнетики

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

← **вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля**

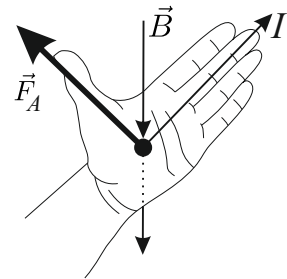
↓
векторы магнитной индукции всех магнитных полей

2. Закон Ампера (сила Ампера действует на проводник с током во внешнем магнитном поле)

$$F_A = I l B \sin \alpha$$

← **направление - по правилу левой руки**

модуль силы Ампера
активная длина проводника
сила тока
угол между вектором магнитной индукции и скоростью
вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля



$$F_A = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

← **сила взаимодействия двух параллельных проводников с током**

магнитная постоянная
сила тока в первом проводнике
сила тока во втором проводнике
элемент длины проводника
расстояние между проводниками

$$M_{MEH} = I_K S_K B \sin \alpha$$

← **вращательный момент, действующий на контур с током во внешнем магнитном поле**

сила тока в контуре
площадь поперечного сечения контура
угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру
вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля

3. Сила Лоренца - действует на заряженную частицу, движущуюся во внешнем магнитном поле

$$\vec{F}_L = vqB \sin\alpha$$
 ← модуль силы Лоренца
 ← скорость частицы
 ← модуль заряда частицы
 ← **направление - по правилу левой руки**
 ← угол между вектором магнитной индукции и вектором скорости заряженной частицы
 ← модуль вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля

4. Магнитный поток

$$\Phi = B \cdot S \cos\alpha$$
 ← площадь, ограниченная контуром
 ← угол между векторами магнитной индукции и нормали поверхности
 ← **магнитный поток по определению**
 ← модуль вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля

← индуктивность проводника

$$\Phi = L \cdot I$$
 ← магнитный поток, созданный проводником с током
 ← сила тока в проводнике

$$\Phi_{общ} = N\Phi = NBS \cos\alpha$$
 ← угол между вектором магнитной индукции и нормально к контуру
 ← **магнитный поток для N витков**
 ← число витков

5. Закон электромагнитной индукции

← $(\Phi_2 - \Phi_1)$ изменение магнитного потока

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$$
 ← время
 ← ЭДС индукции

← скорость изменения магнитного потока

$$A_{вих} = \mathcal{E}_i \cdot q$$
 ← работа вихревого электрического поля по перемещению заряда q по замкнутой траектории
 ← заряд

$$\mathcal{E}_i = vB \sin\alpha$$
 ← скорость движущегося проводника
 ← длина активной части проводника
 ← **ЭДС индукции в проводнике, движущемся во внешнем магнитном поле**
 ← угол между направлением движения проводника и вектором магнитной индукции
 ← модуль вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля

6. ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$
 ← изменение тока
 ← время
 ← индуктивность катушки
 ← **ЭДС индукции**
 ← скорость изменения тока

7. Индуктивность проводника

$$L = \frac{\mu_0 \mu_{отн} N^2 S}{d}$$
 ← число витков
 ← сечение витка
 ← **индуктивность соленоида**
 ← высота соленоида

8. Энергия магнитного поля

$$W_{магн} = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L} = \frac{\Phi I}{2}$$
 ← индуктивность контура
 ← магнитный поток, созданный в контуре
 ← сила тока

9. Плотность энергии магнитного поля

$$W_{магн} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$
 ← модуль вектора магнитной индукции
 ← **относительная магнитная проницаемость среды**
 ← магнитная постоянная

Формулы из других разделов физики, используемые для решения задач по магнетизму

10. Электрический ток

$I = \frac{q}{\Delta t}$ → заряд, проходящий через сечение S

$I = \frac{q}{\Delta t}$ ↔ сила тока по определению [I] = A

→ время

$I = \frac{U}{R}$ → сила тока

$j = \frac{I}{S_{\text{ПР}}}$ ↔ плотность тока по определению [j] = $\frac{A}{\text{м}^2}$

→ площадь поперечного сечения проводника

→ падение напряжения на концах проводника

$I = \frac{U}{R}$ ↔ закон Ома для участка цепи

→ сопротивление проводника

$R = \rho \frac{l}{S_{\text{ПР}}}$ → длина проводника

[R] = Ом

↔ сопротивление проводника

→ площадь поперечного сечения проводника

→ удельное сопротивление

→ работа сторонних сил внутри источника тока

$\mathcal{E}_{\text{ИСТ}} = \frac{A_{\text{СТОП}}}{q}$ ↔ ЭДС источника тока по определению [ε] = В

→ заряд

$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{ИСТ}}}{R + r}$ → ЭДС источника тока

↔ закон Ома для замкнутой цепи

→ внутреннее сопротивление источника тока

→ сопротивление внешнего участка

→ количество теплоты, выделяемое на сопротивлении за время t

$Q = I^2 R t$ ↔ закон Джоуля-Ленца [Q] = Дж

→ время

→ сопротивление проводника

→ сила тока

→ напряжение на концах участка

$A_{\text{ПОЛЯ}} = U I t$ ↔ работа электрического поля на участке цепи [A] = Дж

→ время

→ сила тока

$P_{\text{ЭЛ}} = \frac{A}{t} = U I$ ↔ мощность на участке цепи [P] = Вт

$A_{\text{ПОЛЯ}} = U I t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$ ↔ работа электрического тока на участке цепи, если вся энергия электрического тока превращается в теплоту

11. Электростатика

→ заряд конденсатора

$C = \frac{q}{U}$ ↔ емкость конденсатора по определению [C] = Ф

→ напряжение на обкладках конденсатора

$W_{\text{ЭЛ}} = \frac{C U^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q U}{2}$ ↔ энергия электрического поля конденсатора [W] = Дж

→ заряд частицы

$F_{\text{ЭЛ}} = q E$ ↔ модуль силы, действующей на заряженную частицу в электрическом поле [F] = Н

→ напряженность электрического поля

12. Механика

$\Sigma F = 0$ ↔ условие покоя или равномерного прямолинейного движения тела (частицы)

$\vec{m} a = \Sigma \vec{F}$ ↔ условие движения тела (частицы) с ускорением

$S = v t$ ↔ путь при прямолинейном равномерном движении

$S = v_0 t \pm \frac{a t^2}{2}$ ↔ формулы кинематики, применяемые при прямолинейном движении с постоянным ускорением

$v = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2a}$ ↔ линейная скорость частицы

$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = v \omega$ ↔ центростремительное ускорение

→ угловая скорость частицы

→ радиус окружности, по которой движется частица

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu$ ↔ связь угловой скорости, частоты вращения

→ периода вращения, →

Магнитные величины и их единицы в СИ

1. Вектор магнитной индукции

В СИ $[B] = \text{Тл}$ (Тесла)

1 Тесла равен магнитной индукции однородного магнитного поля, в котором на плоский контур с током, имеющий магнитный момент $1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$, действует максимальный вращательный момент, равный $1 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$1 \text{ Тл} \Rightarrow B = \frac{M_{\text{max}}}{I_P \cdot S_P} \Rightarrow 1 \text{ Нм} / (1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}^2)$$

Эквивалентное определение:

1 Тесла равен магнитной индукции, при которой магнитный поток сквозь площадку 1 м^2 , перпендикулярную направлению поля, равен 1 Вб

$$1 \text{ Вб} \Leftarrow \Phi = BS \Rightarrow 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2$$

$$\text{Тл} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$$

2. Магнитный поток

В СИ $[\Phi] = \text{Вб}$ (Вебер)

1 Вебер – магнитный поток, создаваемый однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через площадку в 1 м^2 , перпендикулярную к \vec{B} .

$$1 \text{ Вб} \Rightarrow \Phi = BS \cos \alpha \Rightarrow 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2 \cdot \cos 0^\circ$$

Эквивалентное определение:

1 Вебер – это магнитный поток, который при равномерном убывании до нуля за 1 секунду, в контуре, сцепленном с этим потоком, наводит ЭДС индукции равную 1 В .

$$\text{Вб} = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}}$$

3. Индуктивность

В СИ $[L] = \text{Гн}$ (Генри)

1 Генри – это индуктивность электрической цепи, в которой возникает ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_{is} в 1 В при равномерном изменении тока в этой цепи со скоростью 1 А/с .

Эквивалентное определение:

1 Генри равен индуктивности электрического контура, возбуждающего магнитный поток в 1 Вб при силе постоянного тока в нем 1 А .

$$1 \text{ Гн} \Rightarrow L = \frac{\mathcal{E}_{is}}{\Delta I / \Delta t} \Rightarrow 1 \text{ В} / (1 \text{ А} / 1 \text{ с})$$

$$1 \text{ Гн} \Rightarrow L = \Phi / I \Rightarrow 1 \text{ Вб} / 1 \text{ А}$$

$$\text{Гн} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \frac{\text{Вб}}{\text{А}}$$

Вклад ученых в изучение магнитных явлений

1. Г. Х. Эрстед

Открыл действие электрического тока на магнитную стрелку.

2. А. М. Ампер

1) Предположил, что магнитные явления вызываются взаимодействием электрических токов.
2) Опытным путем обнаружил силы, действующие между проводниками, по которым течет электрический ток.

3. М. Фарадей

1) Обнаружил явление электромагнитной индукции для случая, когда катушки намотаны на один сердечник. Если в одной катушке возникает или пропадает электрический ток при подключении или отключении от нее источника тока, то в другой катушке в этот момент возникает кратковременный ток.
2) Установил наличие индукционного тока в катушке, когда к ней приближали или удаляли от нее катушку, в которой протекал электрический ток
3) Обнаружил возникновение тока в замкнутой катушке при опускании в нее магнита.

4. Э. Х. Ленц

Сформулировал правило для нахождения направления индукционного тока в разных случаях электромагнитной индукции.

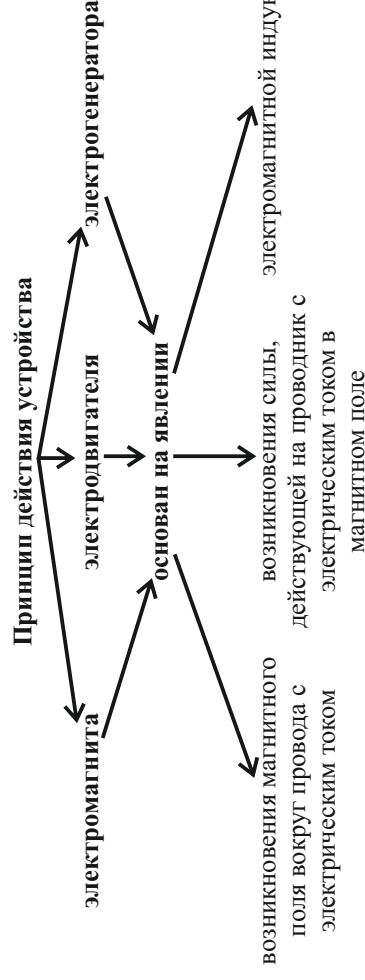
5. Х. А. Лоренц

Получил формулу силы, с которой электромагнитное поле действует на любое находящееся в нем заряженное тело.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \cdot \vec{B}$$

6. Д. К. Максвелл

Проанализировав свойства электромагнитного поля и установив связь силовых характеристик этого поля друг с другом, а также с зарядами и токами, написал систему уравнений, составивших основу для теории. Он опирался на эксперименты Фарадея по исследованию электромагнитной индукции.



Законы, изучаемые в теме “Магнитное поле, Электромагнитная индукция”

1. Закон Био-Савара-Лапласа

Определяет величину и направление вектора магнитной индукции B магнитного поля, созданного электрическим током в данной точке поля.

А) формула магнитной индукции **бесконечно прямого тока** на расстоянии R от проводника до точки, в которой определяется индукция:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}$$

Б) формула магнитной индукции **в центре кольцевого тока** с радиусом кольца R

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$$

2. Закон Ампера

Закон механического воздействия на прямой проводник длиной l с током I со стороны внешнего магнитного поля с индукцией B

$$F_A = IlB \sin \alpha$$

3. Закон электромагнитной индукции Фарадея

При любом изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в нем возникает электродвижущая сила индукции

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

ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока:

4. Закон самоиндукции

При изменении тока в контуре меняется поток магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром, и в нем возбуждается ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока и индуктивности L контура:

5. Правило Ленца

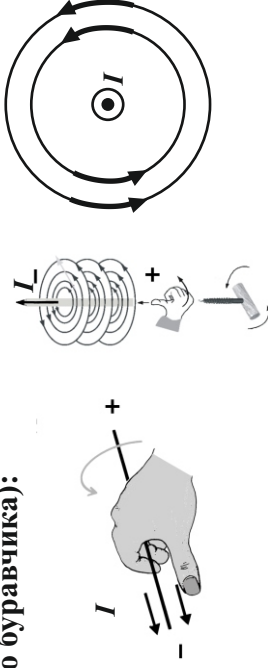
Определяет направление индукционного тока, возникающего в результате электромагнитной индукции

Индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызывающего этот ток

Правило Ленца является следствием закона сохранения энергии.

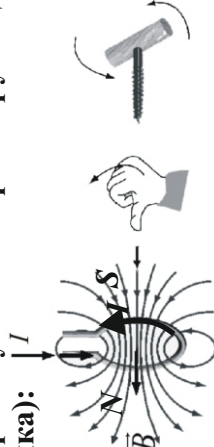
Мнемонические правила в магнетизме

Направление линий магнитной индукции **прямолинейного проводника с током** определяется по **правилу обхвата правой рукой (правило буравчика)**:



располагаем **правую руку** так, чтобы отогнутый большой палец показывал техническое направление тока (от плюса к минусу), четыре согнутых пальца показывают направление линий магнитной индукции (острие буравчика - по току, ручка - по полю)

Направление линий магнитной индукции **внутри витка с током** определяется по **правилу обхвата правой рукой для кругового тока (правило буравчика)**:



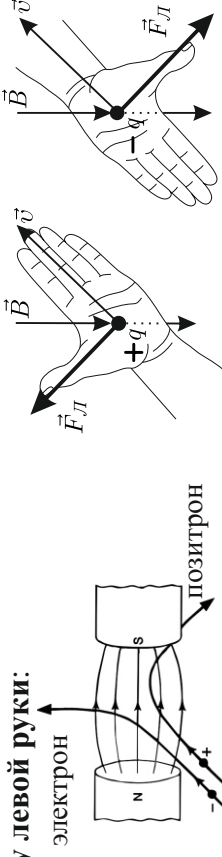
располагаем **правую руку** так, чтобы четыре согнутых пальца показывали техническое направление тока, отогнутый большой палец покажет направление магнитного поля (от южного полюса S к северному N).

Направление силы Ампера, действующей на проводник с током во внешнем магнитном поле, определяется по **правилу левой руки**:



располагаем **левую руку** так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, четыре вытянутых пальца показывали техническое (от плюса к минусу) направление тока, а отогнутый большой палец показывает направление силы Ампера

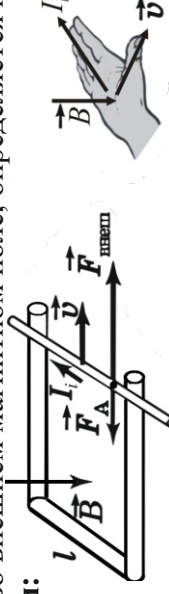
Направление силы Лоренца, действующей на движущуюся заряженную частицу во внешнем магнитном поле, определяется по **правилу левой руки**:



располагаем **левую руку** так, чтобы силовые линии входили в ладонь, четыре вытянутых пальца показывали направление движения положительного заряда, а отогнутый большой палец покажет направление силы Лоренца

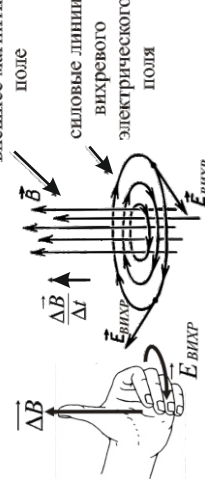
Если движется отрицательно заряженная частица, то четыре пальца показывают направление, противоположное направлению скорости частицы

Направление индукционного тока, возникающего при движении проводника во внешнем магнитном поле, определяется по **правилу правой руки**:



располагаем **правую руку** так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, отогнутый большой палец будет показывать направление движения проводника, а четыре вытянутых пальца - техническое (от плюса к минусу) направление индукционного тока

Направление вихревого электрического поля, определяется по **правилу левого винта**:



большой палец левой руки показывает направление вектора $\Delta \vec{B}$, 4 согнутых пальца направлены по силовым линиям вихревого электрического поля, напряженность $E_{вихр}$ направлена по касательной к силовой линии

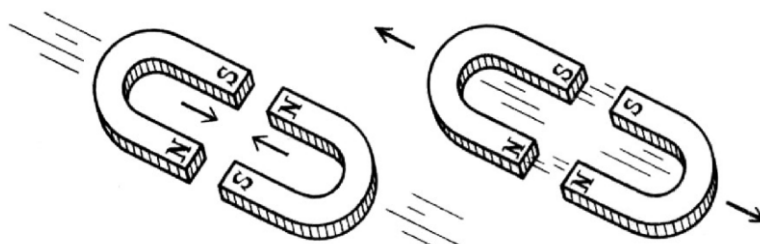
7. Теоретическая часть по теме “Электродинамика”

7.1 Магнитное поле (КР 3.3)

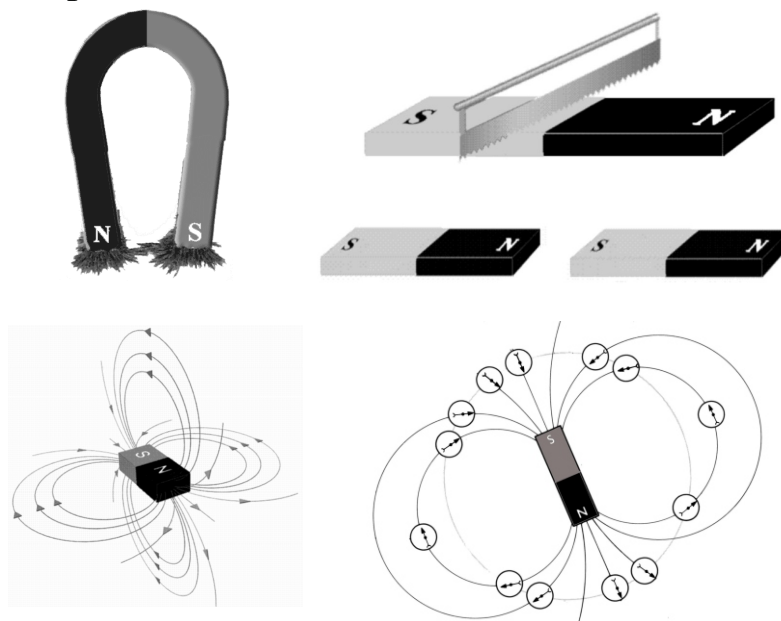
Взаимодействие магнитов (ККЭ 3.3.1)

Постоянные магниты - тела, длительное время сохраняющие намагниченность. Те места магнита, где обнаруживаются наиболее сильные магнитные действия, называются полюсами магнита, средняя часть магнита, где магнитное действие практически отсутствует - нейтральная зона. Магнит всегда имеет два полюса: северный и южный, опыт показывает, что разделить магнитные полюсы невозможно.

Разноименные полюсы (*N* и *S*) притягиваются, одноименные - отталкиваются.



У Земли на географическом севере расположен южный магнитный полюс, на географическом юге - северный магнитный полюс.



Согласно гипотезе Ампера, никаких **магнитных зарядов не существует**. Магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами (орбитальное движение электронов в атоме) - токами Ампера. Магнитное поле намагниченного тела складывается из магнитных полей этих круговых токов.

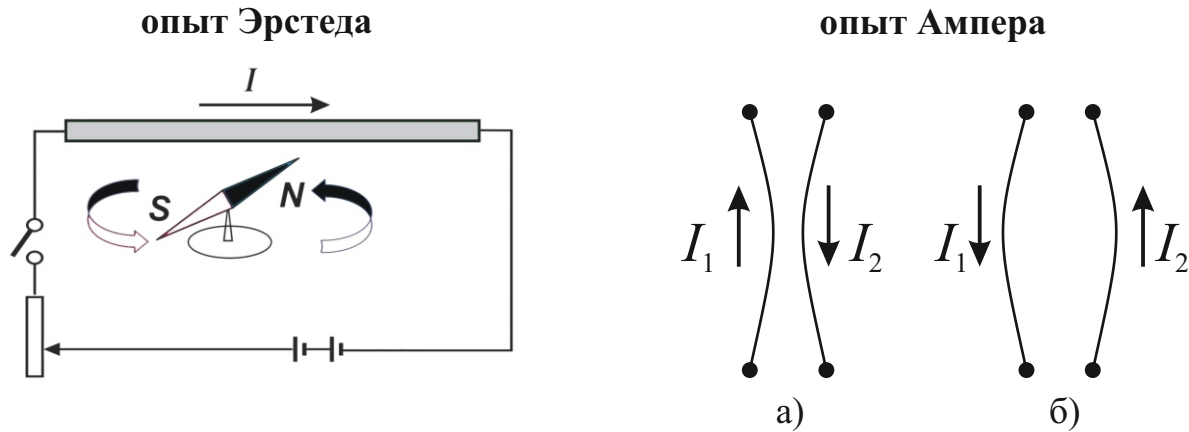
В ненамагниченном теле все элементарные токи расположены хаотически, и поэтому мы не наблюдаем во внешнем пространстве никакого магнитного поля. Процесс намагничивания тела заключается в том, что под влиянием внешнего магнитного поля его элементарные токи, в большей или меньшей степени, устанавливаются параллельно друг другу и создают результирующее магнитное поле.

Полагают, что магнетизм Земли вызван движением её внешней и внутренней оболочек, конвекционными течениями в жидком внешнем ядре, разной скоростью движения внутреннего ядра и остальной массы Земли.

Магнитное взаимодействие токов

Под магнитным взаимодействием токов следует понимать магнитное взаимодействие проводников с током.

Впервые магнитное действие тока показал Эрстед на следующем опыте: под проводником с током была установлена маленькая магнитная стрелка, при протекании тока она поворачивалась. Эрстед неверно объяснил явление наличием магнитных зарядов.



Все магнитные явления к чисто электрическим свел Ампер. Он повторил опыт Эрстеда, но дополнительно поместил магнитную стрелку около источника тока. При протекании тока стрелка у источника тока отклонялась. Когда же цепь была разомкнута, то стрелка не реагировала. Ампер делает вывод, что магнетизм присущ «движущемуся электричеству». Изучая магнитное действие электрического тока в зависимости от формы проводника, Ампер делает вывод о природе магнетизма – молекулярных токах. В этих опытах он брал проводники с током и магнитные стрелки. В следующей серии опытов использовались только проводники с током. Пропуская по легким катушкам ток, Ампер наблюдал, как они притягиваются или отталкиваются в зависимости от направления тока в них. Более того, взаимодействовали прямолинейные проводники с током: токи в одном направлении притягивались, токи в противоположных направлениях отталкивались.

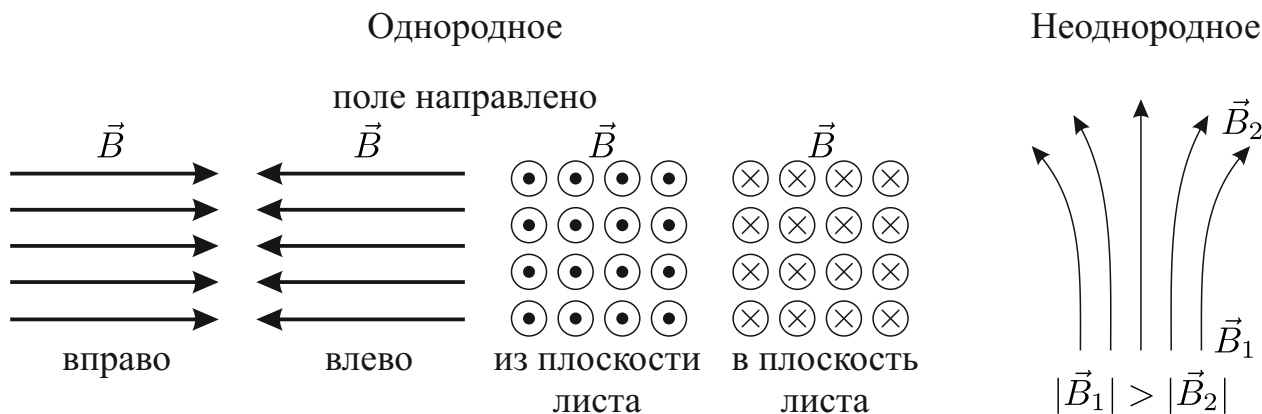
Магнитное поле (ККЭ 3.3.2)

Магнитное поле - это особая форма существования материи, неразрывно связанная с движущимися электрическими зарядами и действующая на движущиеся электрические заряды.

Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами, изменяющимся электрическим полем и постоянными магнитами. Магнитное поле распространяется в пространстве со скоростью света, т.е. $3 \cdot 10^8$ м/с.

Для графического изображения магнитного поля применяют **линии магнитной индукции** - линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции.

Способы изображения линий магнитной индукции магнитного поля:



Линии магнитной индукции в пространстве не пересекаются.

Густота линий в любом месте магнитного поля пропорциональна значению модуля магнитной индукции.

Линии магнитной индукции всегда замкнуты. Вне источника магнитного поля они направлены от N к S , внутри - от S к N .

Магнитное поле является **вихревым**, оно действует на тела (магнитную стрелку, проводник с током, движущуюся заряженную частицу) => **магнитное поле обладает энергией.**

Вектор магнитной индукции \vec{B}

1. **Вектор магнитной индукции** - это силовая характеристика магнитного поля.

2. **Вектор магнитной индукции** - это физическая величина, измеряемая отношением максимального значения силы, действующей на прямолинейный проводник с током, к силе тока в проводнике и его длине.

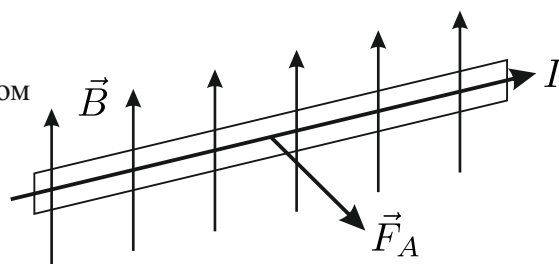
Вектор магнитной индукции - это физическая величина, измеряемая отношением максимального вращательного момента, действующего на контур с током, к магнитному моменту.

3. Формулы:

1)

$$B = \frac{F_{max}}{I \cdot l}$$

F_{max} — максимальное значение силы, действующей на проводник с током со стороны поля
 $I \cdot l$ — длина прямолинейного отрезка
 I — сила тока в проводнике

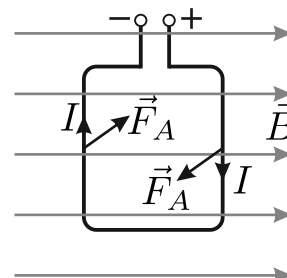


Проводник расположен перпендикулярно \vec{B}

2)

$$B = \frac{M_{max}}{I_K \cdot S_K}$$

M_{max} — максимальный вращательный момент, действующий на контур с током
 $I_K \cdot S_K$ — площадь поперечного сечения контура
 I_K — сила тока в контуре



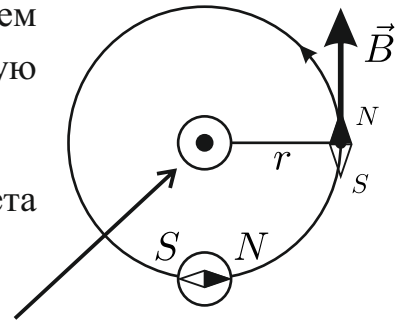
Вектор магнитной индукции лежит в плоскости рамки

$$P_M = I_K S_K - \text{магнитный момент контура}$$

4. Вектор магнитной индукции показывает, какой максимальный вращательный момент действует на контур с током в 1 А площадью поперечного сечения 1 м².

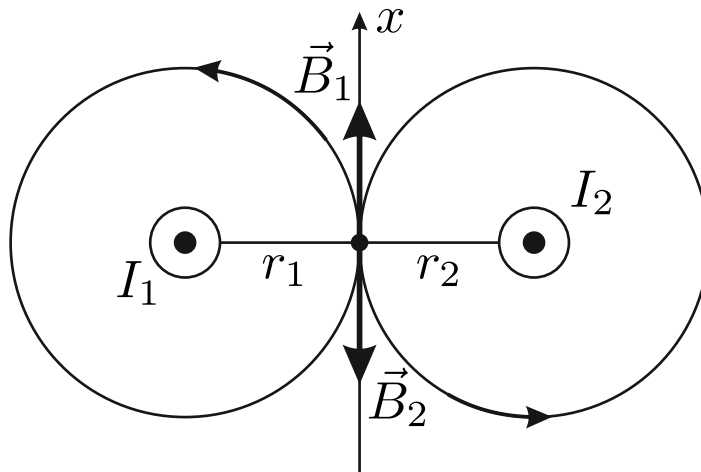
5. Вектор магнитной индукции совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки, помещенной в данную точку магнитного поля.

6. При переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую вектор магнитной индукции \vec{B} изменяется.



проводник перпендикулярен плоскости чертежа, ток “к нам”

7. $\left. \begin{matrix} B_x > 0 \\ B_x < 0 \end{matrix} \right\}$ проекция вектора магнитной индукции принимает как положительные, так и отрицательные значения - это зависит от выбранного положительного направления оси координат и направления вектора магнитной индукции. Если направления совпадают $\Rightarrow B_x > 0$, не совпадают $\Rightarrow B_x < 0$.



$B_{1x} > 0$
 $B_{2x} < 0$

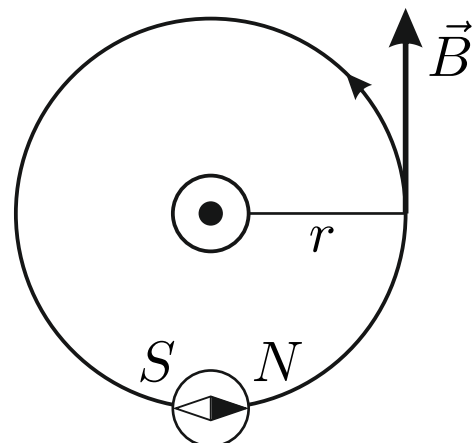
$\vec{B} = const$, такое поле называется однородным, оно создается внутри соленоида.

8. Дополнительные формулы для вектора магнитной индукции.

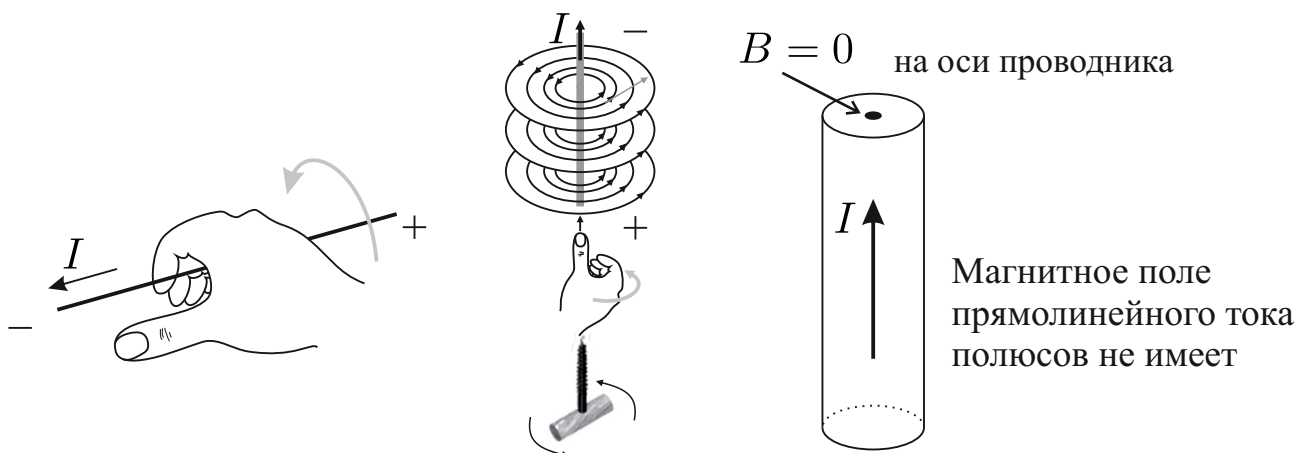
1) Модуль индукции магнитного поля прямого бесконечно длинного проводника с током на расстоянии r от него.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

μ_0 — магнитная постоянная
 I — сила тока в проводнике
 r — расстояние от оси проводника до данной точки поля



2) Линии магнитной индукции прямолинейного проводника с током представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной к оси проводника, с центром на оси. Направление линий магнитной индукции определяется по **правилу обхвата правой рукой (правило буравчика)**:

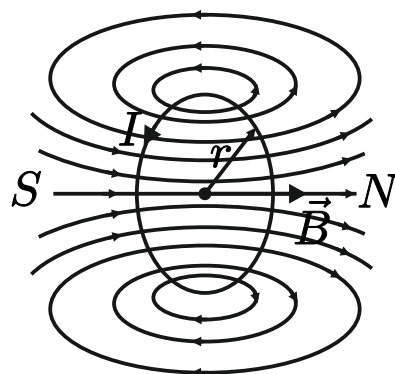


располагаем **правую руку** так, чтобы отогнутый большой палец показывал техническое направление тока (от полюса к минусу), четыре согнутых пальца покажут направление линий магнитной индукции (острие буравчика - по току, ручка - по полю).

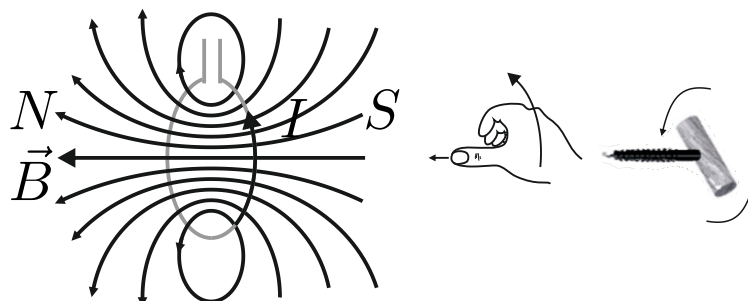
3) В центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

μ_0 — магнитная постоянная
 I — сила тока в проводнике
 r — радиус витка



Магнитное поле кругового тока подобно магнитному полю тонкого листика из ферромагнетика, т.е. у него есть полюса. Направление линий магнитной индукции определяется по **правилу обхвата правой рукой для кругового тока (правило буравчика)**:

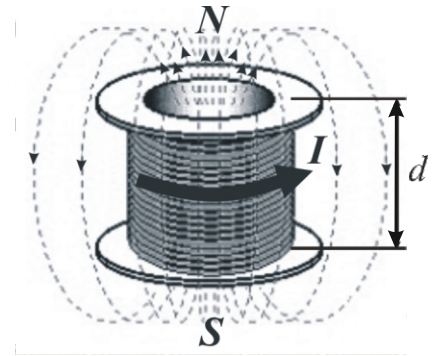


располагаем **правую руку** так, чтобы четыре согнутых пальца показывали техническое направление тока, а отогнутый на 90° большой палец покажет направление магнитного поля (от южного полюса S к северному N).

4) Для соленоида с током (внутри соленоида):

$$B = \frac{\mu_0 \mu IN}{d}$$

μ_0 — магнитная постоянная
 μ — относительная магнитная проницаемость
 I — сила тока
 N — число витков
 d — длина соленоида



Магнитное поле соленоида по своим свойствам совпадает с магнитным полем полосового магнита, внутри соленоида оно однородно. Вне соленоида поле не однородно.

Вне источника магнитного поля линии магнитной индукции направлены от N к S, а внутри источника магнитного поля - от S к N.

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

B — магнитная индукция в веществе
 B_0 — магнитная индукция поля в вакууме
 $(\mu_0 \mu)$ — абсолютная магнитная проницаемость среды
 μ — относительная магнитная проницаемость
 $\mu < 1$ — диамагнетики
 $\mu > 1$ — парамагнетики
 $\mu \gg 1$ — ферромагнетики
 $[\mu_0 \mu] = \text{Гн/М}$

5) Модуль индукции магнитного поля, созданного заряженной частицей, движущейся со скоростью v , на расстоянии r от нее равен:

$$B = \mu_0 \mu \frac{qv \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

q — заряд частицы
 v — скорость частицы
 α — угол между направлением движения частицы и прямой, соединяющей частицу с данной точкой поля
 r — расстояние от частицы до данной точки поля



6) Вектор магнитной индукции связан с напряженностью магнитного поля формулой:

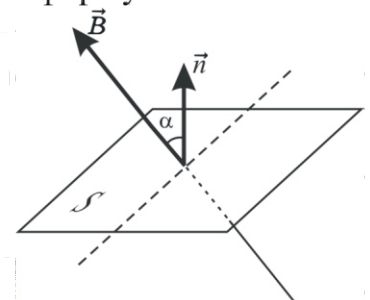
$$B = \mu_0 \mu H$$

μ_0 — магнитная постоянная
 μ — относительная магнитная проницаемость
 H — напряженность магнитного поля

7) Вектор магнитной индукции связан с магнитным потоком формулой:

$$\Phi = B \cdot S \cos \alpha$$

S — площадь, ограниченная контуром
 α — угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру
 B — модуль вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля



- 8) По принципу суперпозиции магнитное поле, создаваемое несколькими движущимися зарядами или токами, равно векторной сумме магнитных полей, создаваемых каждым зарядом или током в отдельности.

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

9. В СИ $[B] = Tл$ (Тесла)

1 Тесла равен магнитной индукции однородного магнитного поля, в котором на плоский контур с током, имеющий магнитный момент $1A \cdot m^2$, действует максимальный вращательный момент, равный $1H \cdot m$.

$$1Tл \Rightarrow B = \frac{M_{max}}{I_P \cdot S_P} \Rightarrow \frac{1Hm}{1A \cdot 1m^2}$$

Эквивалентное определение:

1 Тесла равен магнитной индукции, при которой магнитный поток сквозь площадку $1m^2$, перпендикулярную направлению поля, равен $1Вб$

$$1Bб \Leftarrow \Phi = BS \Rightarrow 1Tл$$

$$10. Tл = \frac{H}{A \cdot m} = \frac{кг \cdot м}{A \cdot c^2 \cdot м} = \frac{кг}{A \cdot c^2} = кг \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$$

Магнитный момент замкнутого плоского контура

$$P_M = I_K S_K$$

↑ сила тока в контуре
↓ площадь поперечного сечения контура

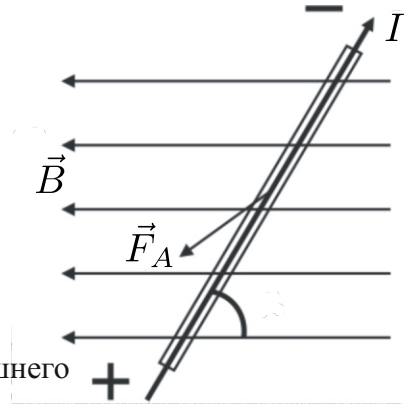
Ампер - квадратный метр равен магнитному моменту контура, ограничивающего плоскую поверхность площадью $1m^2$, при силе тока в нем $1A$.

Закон Ампера (сила Ампера) (ККЭ 3.3.3)

На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера, модуль которой определяется по формуле:

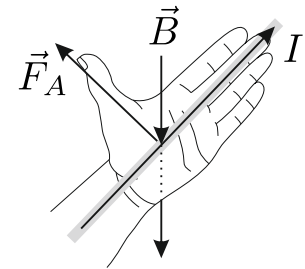
$$F_A = lIB \sin \alpha$$

→ модуль силы Ампера
 → активная длина проводника
 → сила тока
 → угол между вектором магнитной индукции и проводником
 → вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля



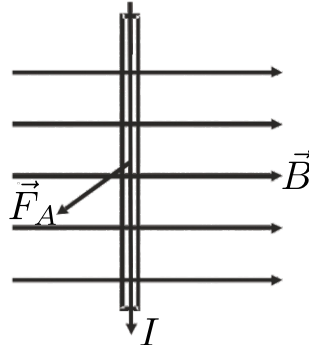
Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**:

располагаем **левую руку** так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, четыре отогнутых пальца показывали техническое (от плюса к минусу) направление тока, а отогнутый на 90° большой палец будет показывать направление силы Ампера.



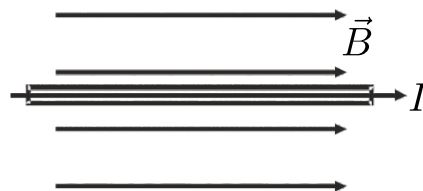
$F_A = \max$, если $\alpha = 90^\circ \Rightarrow \sin \alpha = 1$, т.е. проводник перпендикулярен к вектору магнитной индукции

$$F_A = lIB$$



F_A направлена перпендикулярно к плоскости чертежа "к нам"

$F_A = 0$, если $\alpha = 0^\circ \Rightarrow \sin \alpha = 0$, т.е. проводник параллелен вектору магнитной индукции



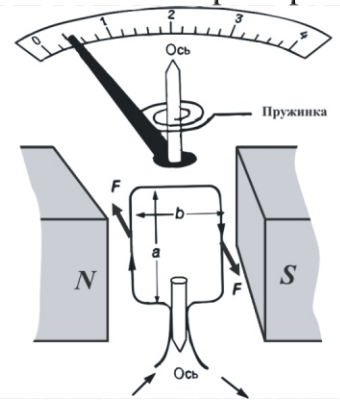
$$F_A = 0$$

Объясним возникновение силы Ампера: когда заряженная частица движется, она создает магнитное поле, которое взаимодействует с внешним магнитным полем. На каждый электрон внутри проводника действует сила Лоренца, но т.к. электроны не могут выйти за пределы проводника, то на сам проводник действует сила Ампера, которая является равнодействующей всех сил Лоренца, действующих на электроны.

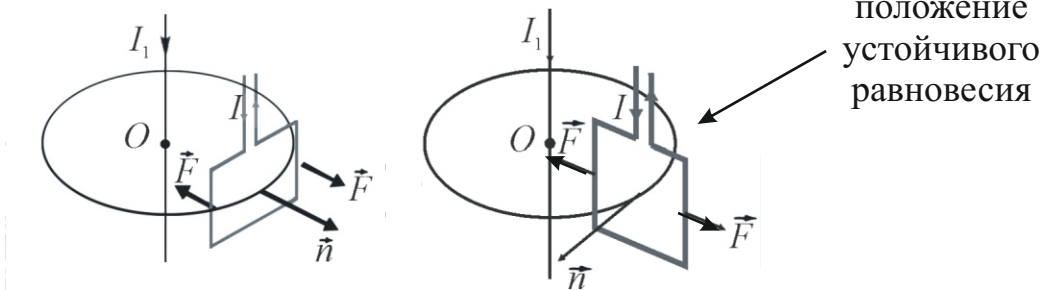
На рамку с током во внешнем магнитном поле действует вращательный момент (применяется в электромоторах и электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы).

$$M_{MEK} = I_K S_K B \sin \alpha$$

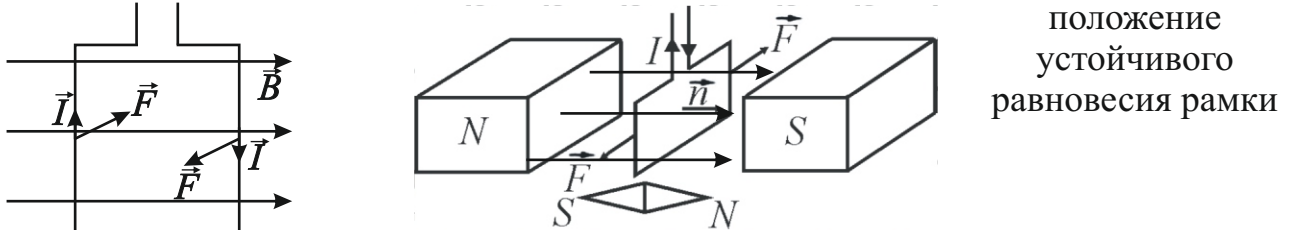
сила тока в контуре
 площадь поперечного сечения контура
 угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру
 вектор магнитной индукции внешнего магнитного поля



На рамку с током во внешнем магнитном поле, созданном прямолинейным проводником с током, действует вращающий момент относительно оси симметрии рамки, параллельной проводнику, создающим это магнитное поле. Под действием этого момента рамка поворачивается до тех пор, пока не установится в одной плоскости с проводником, по которому идет ток I .



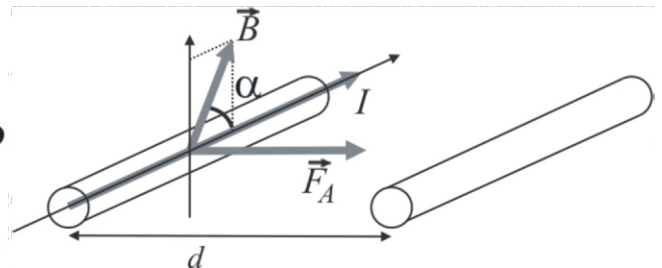
Рамка с током во внешнем магнитном поле, созданном постоянным магнитом, устанавливается так, что ее плоскость перпендикулярна прямой, соединяющей полюса магнита.

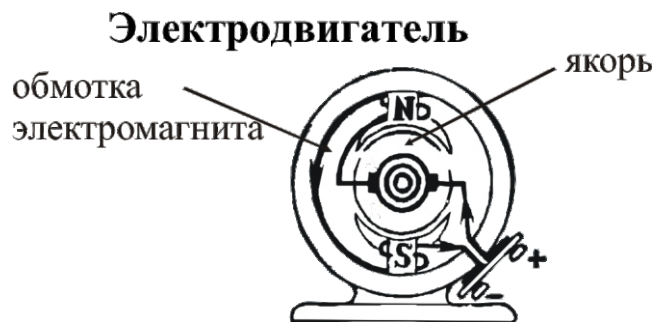


При перемещении проводника с током на расстояние d в направлении действия силы Ампера, эта сила выполняет работу:

$$A = F_A \cdot d = (lIB \sin \alpha) d = I\Phi$$

сила тока, протекающего по проводнику
 магнитный поток, пересекаемый проводником





Электродвигатель - машина, преобразующая электрическую энергию в механическую.

В основе работы электродвигателя лежит закон Ампера - при движении проводника или рамки с током в магнитном поле происходит превращение электрической энергии в механическую.

КПД электродвигателя 96 - 98%.

Устройство электродвигателя:

Якорь - система рамок, уложенных в прорезях стального цилиндра. Большое число рамок, плоскости которых расположены под одинаковыми углами друг к другу, создают равномерное вращение якоря и постоянную силу тяги на валу двигателя.

Магнитное поле, в котором вращается якорь, создается **электромагнитом**.

Якорь и электромагнит питаются от одного и того же источника тока.

При работе электродвигателя потребляемая электрическая мощность $P = UI$ расходуется на вращение якоря и на нагревание обмоток I^2R (это потери энергии). По закону сохранения энергии:

$$UI = I^2R + N_{MEX}$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{механическая мощность,} \\ \text{развиваемая двигателем} \end{array} \right.$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{N_{MEX}}{UI}$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{механическая мощность,} \\ \text{развиваемая двигателем} \end{array} \right.$

 $\left\{ \begin{array}{l} \text{электрическая мощность,} \\ \text{потребляемая двигателем} \end{array} \right.$

К.П.Д. электродвигателя зависит от режима, в котором он эксплуатируется; на нем указывают номинальную мощность, при которой $\eta = \max$. Если застопорить вал двигателя, то $\eta = 0$, и вся потребляемая мощность будет затрачена на нагревание обмоток.

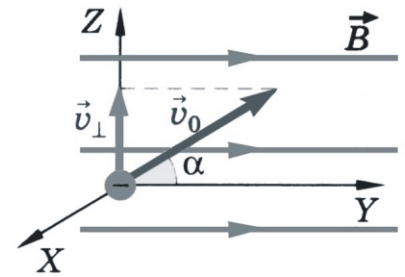
Сила Лоренца (ККЭ 3.3.4)

Сила Лоренца - это сила, которая действует на заряженную частицу, движущуюся во внешнем магнитном поле.

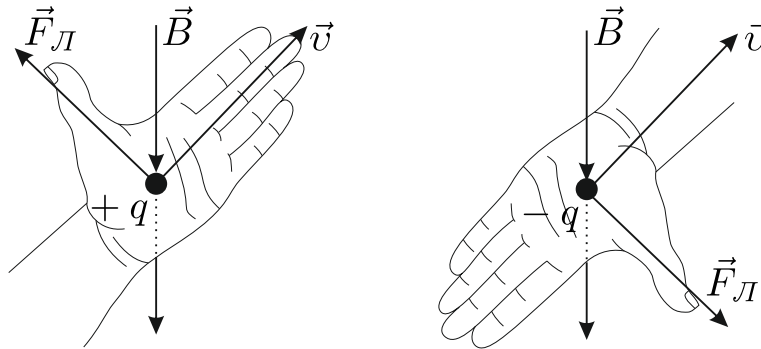
Модуль силы Лоренца определяется по формуле:

$$F_L = v|q|B \sin \alpha$$

модуль силы Лоренца
 скорость частицы
 модуль заряда частицы
 угол между вектором магнитной индукции и вектором скорости заряженной частицы
 модуль вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля



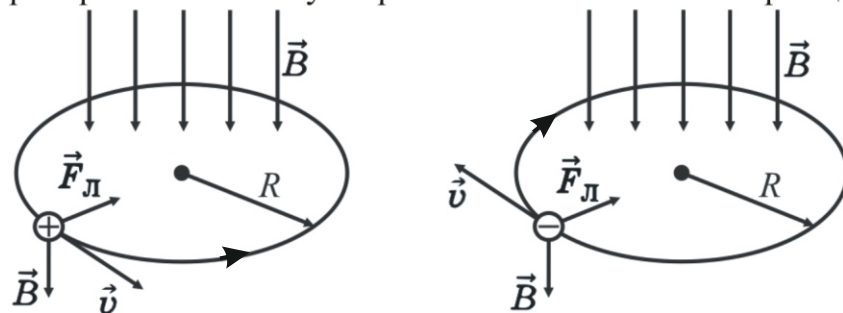
Направление силы Лоренца определяется по **правилу левой руки**:



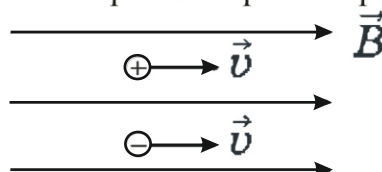
располагаем **левую руку** так, чтобы силовые линии входили в ладонь, четыре пальца показывали направление движения **положительного** заряда, отогнутый на 90° большой палец показывает направление силы Лоренца.

Если движется **отрицательно** заряженная частица, то четыре пальца показывают направление, противоположное направлению скорости частицы.

$F_L = \max = vqB$, если $\alpha = 90^\circ$, т.е. частица движется перпендикулярно к линиям магнитной индукции. В этом случае она равномерно движется по окружности с центростремительным ускорением. Работа силы Лоренца равна нулю.

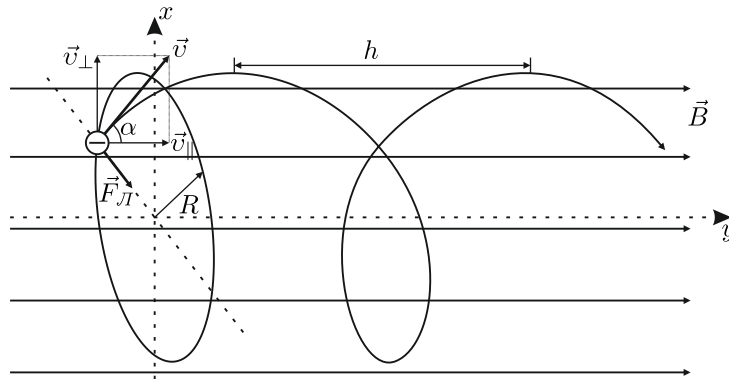


$F_L = 0$, если $\alpha = 0^\circ$, т.е. частица движется параллельно линиям магнитной индукции. В этом случае она движется равномерно и прямолинейно.

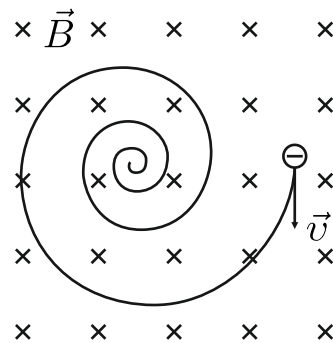


Возникновение силы Лоренца объясняется так: при своем движении заряженная частица создает магнитное поле. Магнитное поле частицы взаимодействует с внешним магнитным полем.

Частица влетает в магнитное поле под углом $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ к линиям магнитной индукции. Траектория движения - винтовая линия.

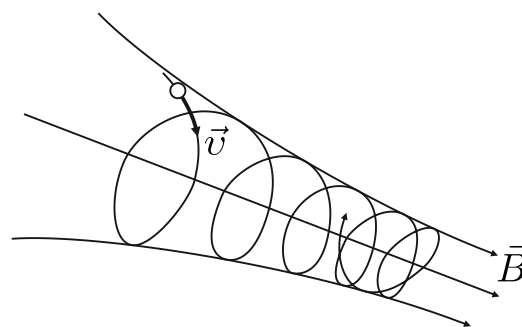


Если магнитное поле однородно, но скорость частицы меняет свое значение (из-за соударения с молекулами среды), частица движется по спирали (это применяется в пузырьковых камерах)



В неоднородном магнитном поле частица движется в сторону возрастающего поля, при этом уменьшается R , h , T , и частица, отразившись, начинает двигаться обратно. Этим объясняется наличие радиационного пояса Земли (заряженные частицы, прилетающие из космоса, попадают в "ловушку" магнитного поля Земли).

Движение заряженных частиц в магнитных полях применяется в ускорителях и пузырьковых камерах.



Работа силы Лоренца равна нулю, т.к. $\vec{F}_L \perp \vec{v}$, кинетическая энергия частицы остается во всех случаях постоянной, сила Лоренца может изменить только направление скорости движущейся частицы.

На **нейтрон**, движущийся в магнитном поле, сила Лоренца **не действует**.

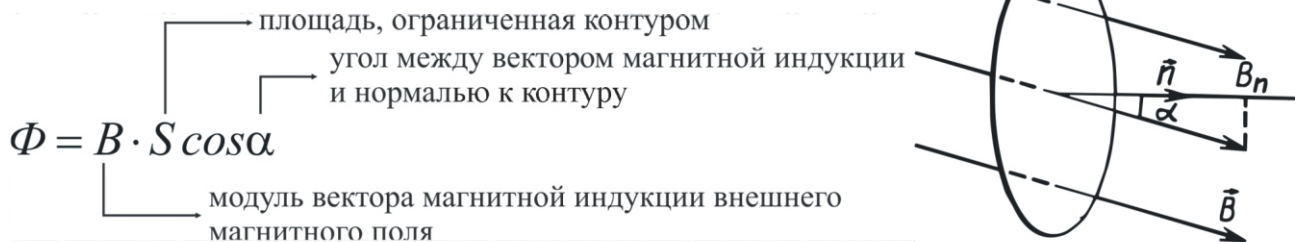
7.2 Электромагнитная индукция (КР 3.3)

Магнитный поток Φ (ККЭ 3.4.2)

1. Для характеристики магнитного поля вводят Φ .

α Магнитный поток – это физическая величина, измеряемая произведением вектора магнитной индукции на площадь, сцепленную с этим потоком и на косинус угла α между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру.

3.



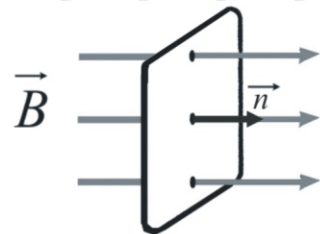
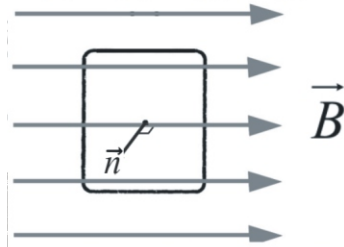
4. Магнитный поток характеризует распределение магнитного поля по поверхности, ограниченной замкнутым контуром, т.е. характеризует магнитное поле в **пределах поверхности**. Магнитный поток изображают с помощью линий индукции: он численно равен числу линий, пронизывающих поверхность контура. Магнитный поток **не зависит от формы поверхности**, стягиваемой контуром.

5. Величина скалярная.

6. При переходе в другую инерциальную систему отсчета магнитный поток изменяется

7. Магнитный поток равен нулю, если $\alpha = 90^\circ$ ($\cos \alpha = 0$), т.е. контур параллелен силовым линиям магнитного поля.

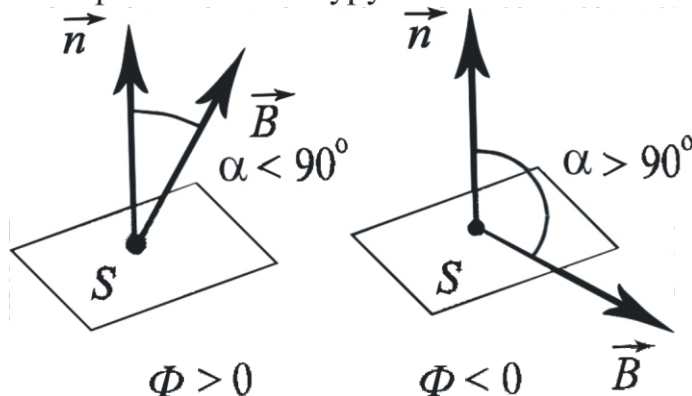
$$\Phi = 0$$



$$\Phi = \max$$

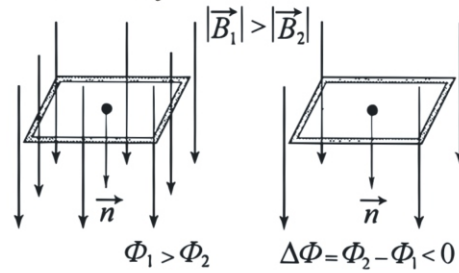
Магнитный поток максимален, если $\alpha = 0^\circ$ ($\cos \alpha = 1$), т.е. контур перпендикулярен к линиям магнитной индукции.

$\Phi > 0$ } Магнитный поток принимает положительные и отрицательные значения. Это зависит от угла α между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру.
 $\Phi < 0$ }

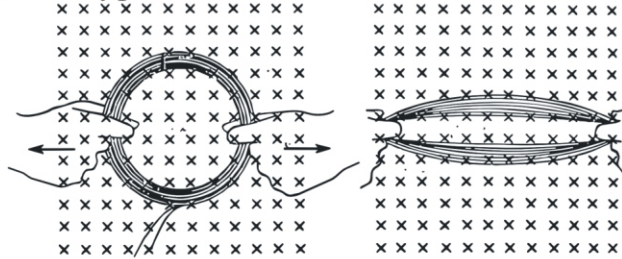


Магнитный поток Φ , пронизывающий контур, изменяется, если изменяется

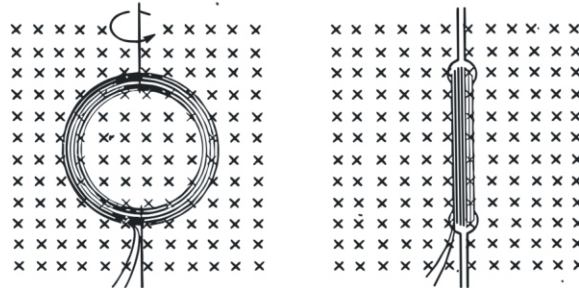
1) вектор магнитной индукции;



2) площадь контура, сцепленная с этим потоком;



3) угол α .



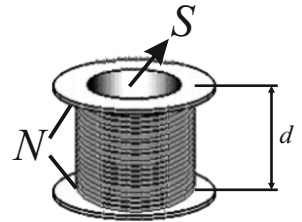
8. Магнитный поток, созданный проводником с током, зависит от силы тока и от индуктивности проводника:

$$\Phi = L \cdot I$$

↑ индуктивность проводника
↓ сила тока в проводнике

$$L = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{d}$$

↑ индуктивность катушки



Полный магнитный поток (потокосцепление), пронизывающий N витков катушки, находящейся в магнитном поле:

$$\Phi_{\text{общ}} = N\Phi = NBS \cos \alpha$$

↑ угол между вектором магнитной индукции и нормалью к поверхности
↓ число витков

9. В СИ $[\Phi] = \text{Вб}$ (Вебер)

1 Вебер – магнитный поток, создаваемый однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через площадку в 1 м^2 , перпендикулярную к \vec{B} .

$$1 \text{ Вб} \Rightarrow \Phi = BS \cos \alpha$$

↑ 1 Тл ↑ 1 м² ↑ 0°

Эквивалентное определение:

1 Вебер – это магнитный поток, который при равномерном убывании до нуля за 1 секунду, в контуре, сцепленном с этим потоком, наводит ЭДС индукции равную 1 В .

$$10. \text{ Вб} = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \text{м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$$

Явление электромагнитной индукции (ККЭ 3.4.1)

Электромагнитная индукция - это явление возникновения ЭДС и тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

Если проводник разомкнут, то в нем возникает только ЭДС индукции, тока нет.

Если же проводник замкнут, то возникает ЭДС индукции и протекает индукционный ток .

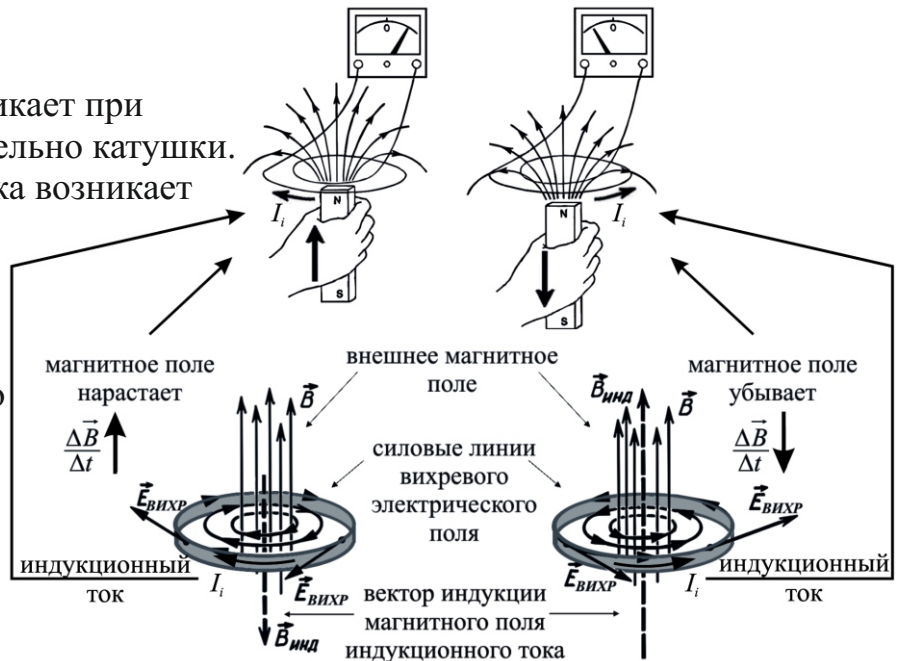
Явление электромагнитной индукции используется при выработке электроэнергии на электростанциях, работе трансформатора, микрофона, индукционных нагревательных печей, счетчиков электрической энергии, **считывании информации с жесткого диска компьютера**

Это явление было открыто Фарадеем и может наблюдаться в двух случаях:

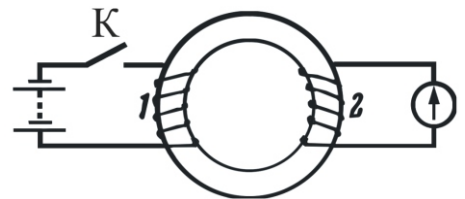
1. Меняется магнитное поле. Объяснение явлению было дано Максвеллом с помощью вихревого электрического поля. Когда в пространстве появляется переменное магнитное поле, то оно порождает вихревое электрическое поле, которое действует на электроны проводимости проводника => наводится ЭДС индукции;
2. Проводник движется в постоянном магнитном поле, пересекая линии магнитной индукции. В этом случае на движущиеся заряды проводника действует сила Лоренца, под действием которой электроны приходят в движение => наводится ЭДС индукции.

Рассмотрим опыты, в которых возникновение индукционного тока объясняется действием вихревого электрического поля на электроны проводимости проводника:

1) Индукционный ток возникает при движении магнита относительно катушки. Энергия индукционного тока возникает за счет дополнительной механической энергии, которую затрачивают на преодоление взаимодействия магнитного поля индукционного тока и внешнего магнитного поля.



2) Индукционный ток в катушке №2 возникает в момент замыкания и размыкания цепи в катушке № 1. Энергия индукционного возникает за счет энергии источника тока в первой обмотке.



При замыкании и размыкании ключа К в цепи катушки 1 изменяется ток, он создаёт изменяющееся магнитное поле, которое сосредоточено в магнитопроводе. Изменяющееся магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, которое приводит в движение электроны проводимости катушки 2. Если в катушке 1 протекает постоянный ток, то тока в катушки 2 нет. Индукционный ток в катушке 2 в момент замыкания и размыкания протекает в разных направлениях.

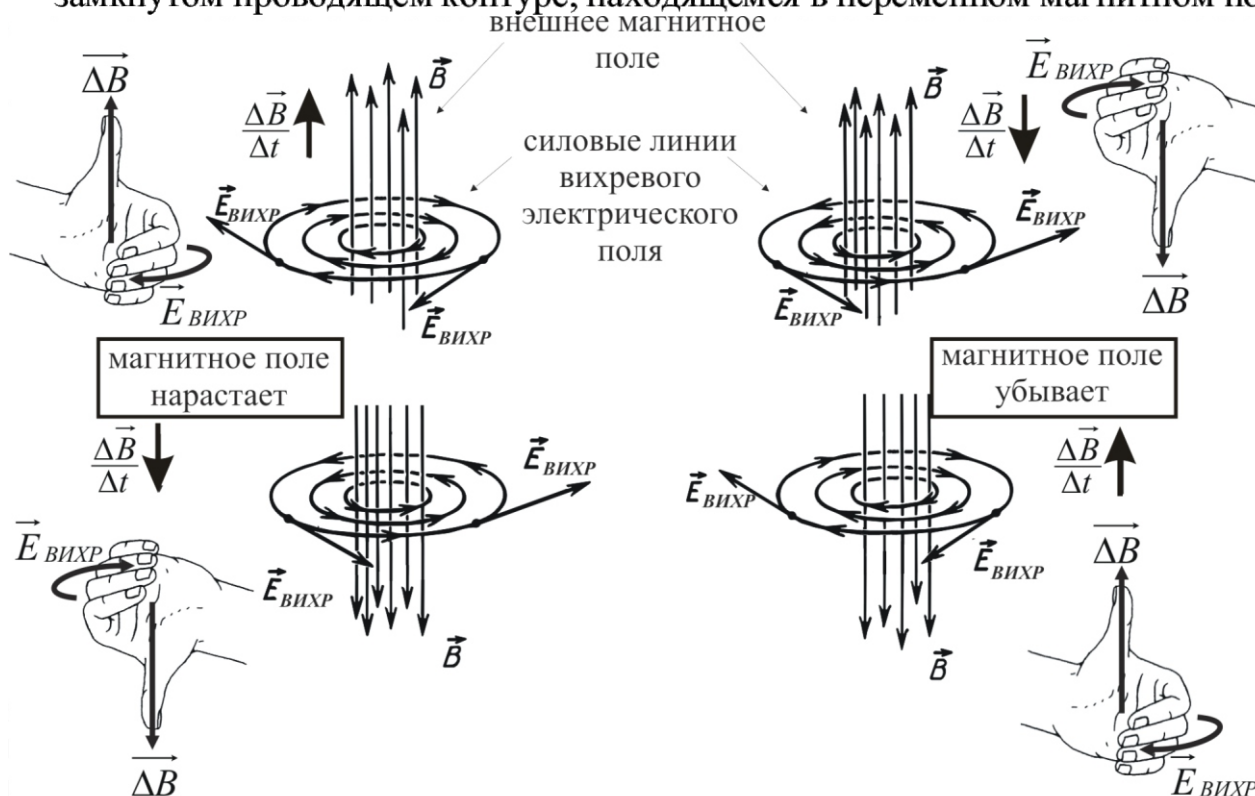
Вихревое электрическое поле

Вихревое электрическое поле – это электрическое поле, порождаемое переменным магнитным полем.

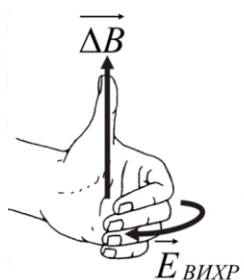
Вихревое электрическое поле появляется в любой точке пространства, где существует переменное магнитное поле (**независимо от того, имеется ли там проводящий контур**). Согласно теории Максвелла, проводник служит индикатором, позволяющим обнаружить индуцированное вихревое электрическое поле.

Отличие вихревого электрического поля от электростатического:

- 1) вихревое поле не связано с электрическими зарядами, оно неразрывно связано с переменным магнитным полем;
- 2) линии напряженности вихревого поля замкнутые кривые, охватывающие линии индукции магнитного поля;
- 3) вихревое электрическое поле является **не потенциальным**: работа сил вихревого электрического поля при перемещении в нем единичного положительного заряда по замкнутой цепи **не равна нулю**, она равна ε_i в замкнутом проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле.



Для определения направления напряженности вихревого электрического поля применяют **правило левого винта**:

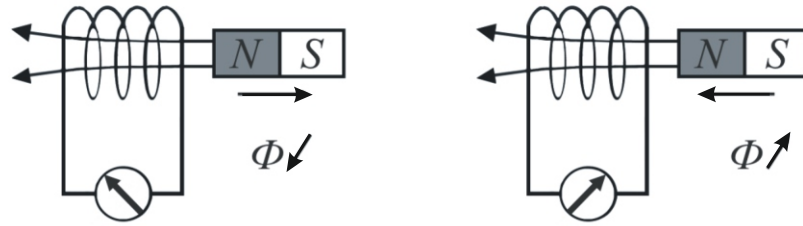


большой палец левой руки показывает направление вектора $\vec{\Delta B}$, 4 согнутых пальца направлены по силовым линиям вихревого электрического поля.

Правило Ленца (ККЭ 3.4.4)

Возникновение индукционного тока – следствие закона сохранения энергии в электромагнитных процессах.

Правило Ленца применяется для определения направления индукционного тока:



возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение потока магнитной индукции, которое вызывает данный ток.

Другими словами, индукционный ток имеет такое направление, что созданное им магнитное поле, мешает причине, его вызывающей.

Энергия индуцированного электрического тока в контуре возникает за счет работы внешних сил против сил Ампера, возникающих при возбуждении индукционного тока в контуре.

ЭДС индукции

Фарадей экспериментально вывел закон электромагнитной индукции, который читается так:

ЭДС индукции прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока.

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$$

$\xrightarrow{\text{время}}$ $\xrightarrow{(\Phi_2 - \Phi_1) \text{ изменение магнитного потока}}$

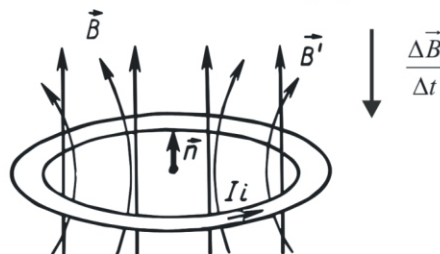
$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ - скорость изменения магнитного потока

$$\left[\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right] = \frac{B\sigma}{c}$$

Знак минус здесь стоит по правилу Ленца, т.е. ЭДС индукции и индукционный ток имеют такое направление, что магнитное поле индукционного тока препятствует причине, вызывающей этот ток.

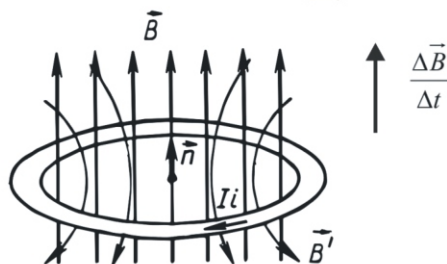
$\varepsilon_i > 0$, если линии магнитной индукции внешнего магнитного поля B и магнитного поля индукционного тока B' направлены в одну сторону. Это наблюдается тогда, когда внешний магнитный поток уменьшается, тогда магнитное поле индукционного тока поддерживает убывающий магнитный поток.

$$\Phi_2 < \Phi_1 \Rightarrow \Delta\Phi < 0, \quad \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0, \quad \varepsilon_i > 0$$



$\varepsilon_i < 0$, если линии магнитной индукции магнитного поля индукционного тока B' направлены **противоположно** внешнему магнитному полю B . Это наблюдается в случае, если **магнитный поток нарастает**, и магнитное поле индукционного тока препятствует этому нарастанию.

$$\Phi_2 > \Phi_1 \Rightarrow \Delta\Phi > 0, \quad \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0, \quad \varepsilon_i < 0$$



ЭДС индукции равна работе по перемещению единичного заряда вдоль замкнутого контура, совершаемой силами вихревого электрического поля, которое порождается в пространстве при изменении со временем магнитного поля.

$$\varepsilon_i = \frac{A_{\text{вих.эл.поля}}}{q}$$

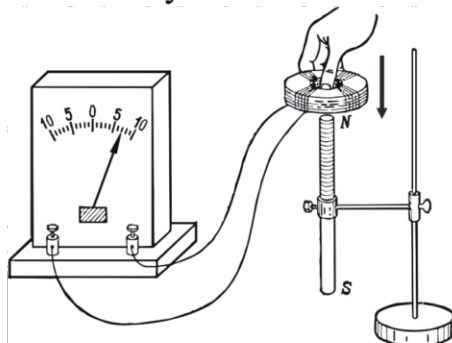
ЭДС индукции определяется только характером изменения магнитного поля и не зависит от

- материала проводника
- рода носителей тока
- сопротивления проводника
- температуры проводника

ЭДС индукции при движении проводника в постоянном магнитном поле

Проводник движется в постоянном магнитном поле, перерезая линии магнитной индукции. В этом случае на движущиеся заряды проводника действует сила Лоренца, под действием которой электроны приходят в движение.

Рассмотрим опыт: магнит закреплен, а катушку двигают относительно магнита. Объясним явление в этом случае:

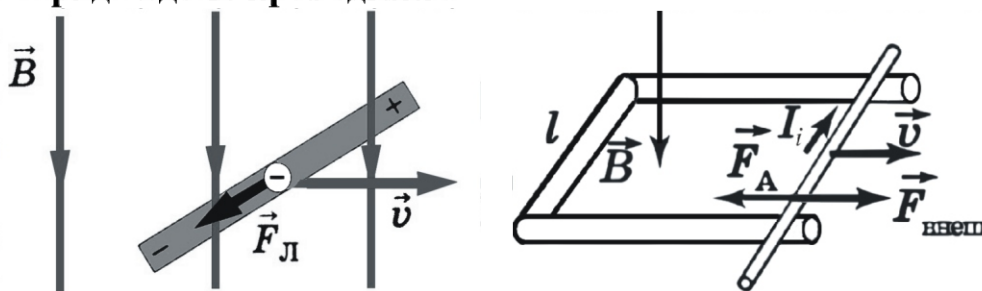


когда проводник движется во внешнем магнитном поле, то все электроны проводника приходят в движение, они создают магнитное поле, которое взаимодействует с внешним магнитным полем, и на электроны проводимости начинает действовать внешнее магнитное поле силой Лоренца. Если проводник замкнут возникает индукционный ток. Он создает свое собственное магнитное поле, во внешнем магнитном поле на движущийся проводник начинает действовать сила Ампера, направленная противоположно скорости. При движении проводника внешняя сила преодолевает силу Ампера, и за счет механической энергии возникает энергия индукционного тока. В данном случае **сила Лоренца является сторонней силой, которая вызывает движение электронов в замкнутой цепи.**

Если проводник не замкнут, то под действием силы Лоренца в проводнике происходит разделение зарядов: положительные и отрицательные заряды накапливаются на противоположных концах проводника. Эти заряды создают внутри отрезка проводника кулоновское поле. Перемещение зарядов под действием силы Лоренца будет происходить до тех пор, пока сила, действующая на заряд в кулоновском поле, не уравнивает силу Лоренца.

$$F_L = F_{эл} \Leftrightarrow vqB = qE \Leftrightarrow Bv = \frac{\varepsilon_i}{l} \Leftrightarrow \varepsilon_i = v l B$$

ЭДС индукции в отрезке проводника является работой по перемещению единичного заряда вдоль проводника.



Если проводник движется в магнитном поле, перерезая линии магнитной индукции, то ЭДС индукции определяется по формуле:

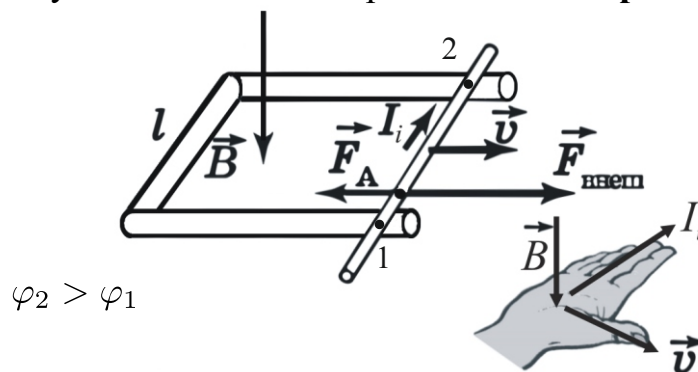
$$\varepsilon_i = v l B \sin \alpha$$

v — скорость движущегося проводника
 l — длина активной части проводника
 α — угол между направлениями движения проводника и вектора магнитной индукции
 B — модуль вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля

$\varepsilon_i = \max = v l B$, если проводник движется перпендикулярно к вектору магнитной индукции, т.е. $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$.

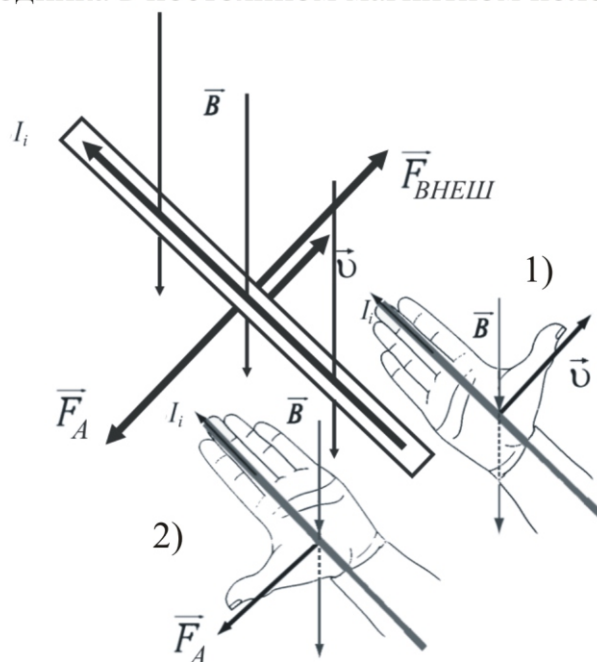
$\varepsilon_i = 0$, если проводник движется параллельно вектору магнитной индукции ($\alpha = 0^\circ$, $\sin \alpha = 0$).

Направление индукционного тока определяется по **правилу правой руки**:



располагаем **правую руку** так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, отогнутый большой палец будет показывать направление движения проводника, четыре вытянутых пальца — техническое направление индукционного тока (направление движения положительных зарядов).

Применение правила Ленца для определения направления индукционного тока в случае движения проводника в постоянном магнитном поле:



1) по правилу **правой руки** определяется направление индукционного тока I_i .

2) по правилу **левой руки** определяется направление силы Ампера.

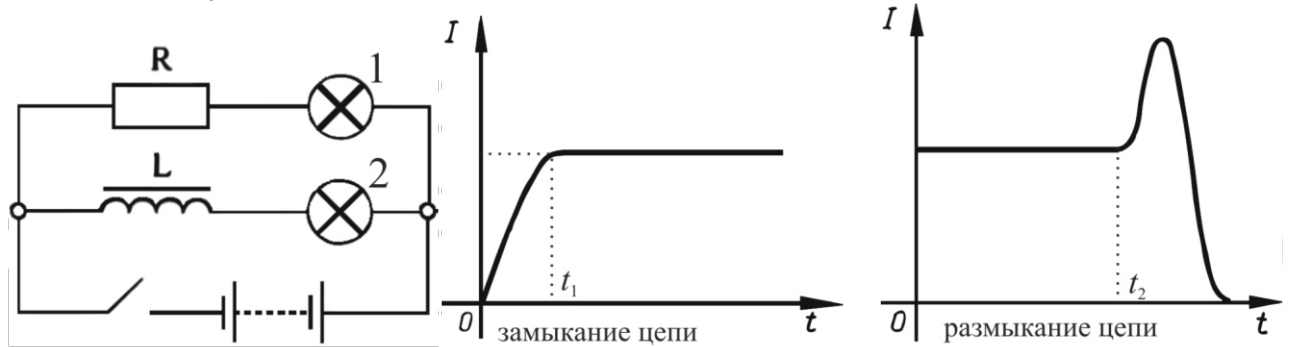
Явление самоиндукции (ККЭ 3.4.5)

Самоиндукция – это явление возникновения ЭДС индукции в проводнике при изменении силы тока в нем.

Самоиндукция – частный случай электромагнитной индукции, когда вихревое электрическое поле влияет на электроны проводимости этого же проводника: при нарастании тока в проводнике препятствует нарастанию, при уменьшении тока вихревое электрическое поле поддерживает его.

Наблюдать явление самоиндукции можно на **установках а) и б):**

Установка а):

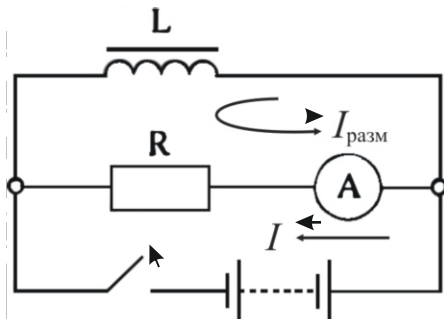


При замыкании цепи лампочка 2 загорается позже, чем 1. В момент замыкания ключа ток через катушку увеличивается, он создает нарастающее магнитное поле, оно порождает в этом пространстве вихревое электрическое поле, которое действует на электроны проводимости катушки. В катушке наводится ЭДС самоиндукции ϵ_{is} , которая направлена против внешней ЭДС (согласно правилу Ленца), что препятствует мгновенному нарастанию тока в катушке.

Напряжение на участке при замыкании
$$U = U_{внеш} - \epsilon_{is}$$

$\epsilon_{is} = max$ только в начальный момент времени, далее она убывает, а ток нарастает. При установившемся токе лампочки 1 и 2 горят одинаково (сопротивления параллельных участков равны). **При размыкании лампочка 2 ярко вспыхивает.**

Установка б):



При размыкании ключа ток через катушку L уменьшается, создаваемое им убывающее магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, которое действует на электроны проводимости катушки, наводится ϵ_{is} , направленная по току, поддерживающая первоначальный ток. Поэтому в момент размыкания ток через гальванометр изменит направление.

Экстраток размыкания значительно превышает размыкаемый ток, т.к.

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ велика, наводится большая ϵ_{is} . Напряжение на участке в момент

размыкания:
$$U = U_{внеш} + \epsilon_{is}$$

ЭДС самоиндукции определяется по формуле:

$$\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

↑ изменение тока
 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ - скорость изменения тока

↓ время
↓ индуктивность катушки

«минус» по правилу Ленца: ЭДС самоиндукции направлена так, что препятствует причине, вызывающей ее появление.

Проявление правила Ленца в явлении самоиндукции:

При **возрастании тока** в обмотке катушки L ЭДС самоиндукции ε_{is} **препятствует увеличению силы тока**, она вычитается из внешнего напряжения

$$U = U_{ВНЕШ} - \varepsilon_{is}$$

При **убывании тока** в обмотке катушки L ЭДС самоиндукции ε_{is} **препятствует уменьшению силы тока**, она складывается с внешним напряжением

$$U = U_{ВНЕШ} + \varepsilon_{is}$$

Правило Ленца выражает физический факт – стремление системы противодействовать изменению её состояния.

ЭДС самоиндукции совершает работу, равную убыли энергии магнитного поля.

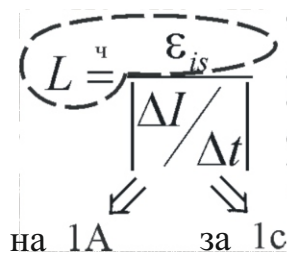
$$-\Delta W_{МАГ} = A_{ВИХР} = I\varepsilon_{is}\Delta t$$

Явление самоиндукции можно сравнить с явлением инерции.

Индуктивность L (ККЭ 3.4.6)

1. Вводится для характеристики магнитных свойств проводника с током.
2. Индуктивность численно равна ЭДС самоиндукции ε_{is} , возникающей в проводнике, при изменении силы тока на $1A$ за $1c$.

$$3. \quad \varepsilon_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L = \frac{\varepsilon_{is}\Delta t}{\Delta I}$$



4. Индуктивность проводника тормозит процессы возрастания и уменьшения тока в этом проводнике, что приводит к отставанию тока от напряжения в контуре.
5. Величина скалярная.
6. Инвариантная, т.е. не зависит от системы отсчета.
7. Индуктивность любого контура – положительная физическая величина.

Значение индуктивности L контура зависит от его формы и размеров, магнитных свойств среды.

Индуктивность прямолинейного проводника с током $L \approx 0$;

длинного соленоида:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_{\text{отн}} N^2 S}{d}$$

↑ число витков
↑ сечение витка
↑ высота соленоида

Для увеличения индуктивности применяют катушки индуктивности с железными сердечниками.

8. От величины индуктивности L проводника при данной силе тока зависит создаваемый им магнитный поток Φ и энергия магнитного поля тока W :

$$\Phi = LI$$

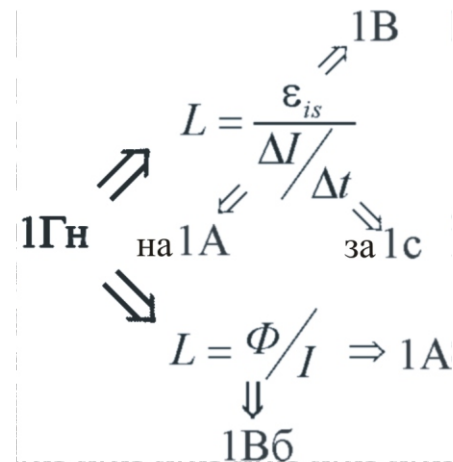
$$W = \frac{LI^2}{2}$$

9. В СИ $[L] = \text{Гн}$ (Генри)

1 Генри – это индуктивность электрической цепи, в которой возникает ЭДС самоиндукции ϵ_{is} в **1В** при равномерном изменении тока в этой цепи со скоростью **1А/с**.

Эквивалентное определение:

1 Генри равен индуктивности электрического контура, возбуждающего магнитный поток в **1Вб** при силе постоянного тока в нем **1А**.



10. $\text{Гн} = \frac{B \cdot c}{A} = \frac{Bб}{A} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$.

Энергия магнитного поля (ККЭ 3.4.7)

Чтобы создать в проводнике с индуктивностью L ток I , источник тока должен совершить работу против ЭДС самоиндукции ϵ_{is} , при этом энергия источника тока превращается в энергию магнитного поля:

$$W_{\text{МАГН}} = \frac{LI^2}{2},$$

с учетом формулы магнитного потока $\Phi = LI \Rightarrow$

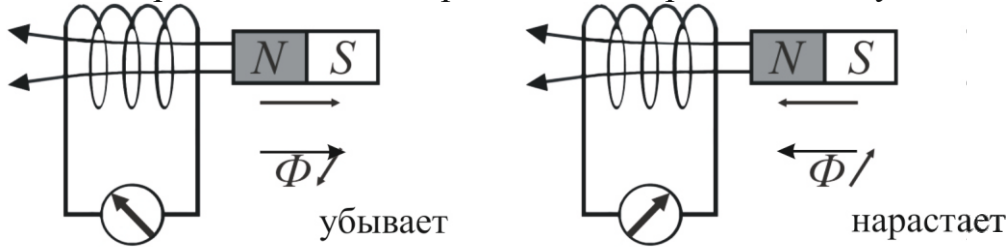
$$W_{\text{МАГН}} = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L} = \frac{\Phi I}{2}$$

↑ индуктивность контура
↑ магнитный поток, созданный в контуре
↑ ток, протекающий через катушку
↑ энергия магнитного поля катушки

Материал для повторения Правило Ленца (обобщение материала)

Возникновение индукционного тока - следствие закона сохранения энергии в электромагнитных процессах.

Правило Ленца применяется для определения направления индукционного тока:

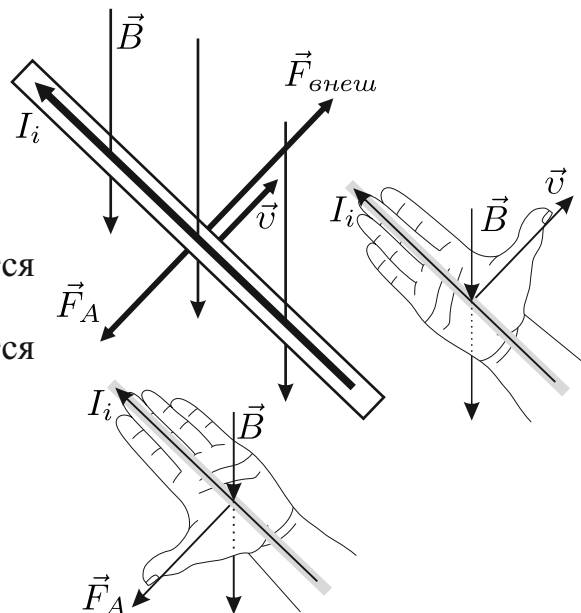


возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение потока магнитной индукции, которое вызывает данный ток.

Другими словами, индукционный ток имеет такое направление, что созданное им магнитное поле, мешает причине, его вызывающей.

Энергия индуцированного электрического тока в контуре возникает за счет работы внешних сил против сил Ампера, возникающих при возбуждении индукционного тока в контуре.

Применение правил Ленца для определения направления индукционного тока в случае движения проводника в постоянном магнитном поле:



1) по правилу правой руки определяется направление индукционного тока

2) по правилу левой руки определяется направление силы Ампера.

Проявление правила Ленца в явлении самоиндукции:

При **возрастании тока** в обмотке катушки L ЭДС самоиндукции ε_{is} **препятствует увеличению силы тока**, она вычитается из внешнего напряжения

$$U = U_{внеш} - \varepsilon_{is}$$

При **убывании тока** в обмотке катушки L ЭДС самоиндукции ε_{is} **препятствует уменьшению силы тока**, она складывается с внешним напряжением

$$U = U_{внеш} + \varepsilon_{is}$$

Правило Ленца выражает физический факт - стремление системы противодействовать изменению её состояния.

Список использованной литературы

1. Физика ЕГЭ. Типовые экзаменационные варианты 2011/ авторы-составители: М.Ю. Демидова, В.А. Грибов, И.И. Нурминский – М.: Национальное образование, 2011.
2. ЕГЭ-2008. Физика. Методические материалы / ФИПИ автор-составитель: М.Ю. Демидова - М.: Эксмо, 2008.
3. ЕГЭ-2008: Физика / ФИПИ авторы-составители: А.В. Берков, В.А.Грибов – М.: Астрель, 2008.
4. Самое полное издание типовых вариантов реальных заданий ЕГЭ. 2008. Физика/ ФИПИ авторы-составители: А. В. Берков, В.А. Грибов – М.: Астрель, 2008.
5. ЕГЭ-2008. Федеральный банк экзаменационных материалов (открытый сегмент). Физика/ ФИПИ авторы-составители: М.Ю. Демидова, И.И. Нурминский – М.: Эксмо, 2007.
6. Сдаем единый государственный экзамен: Физика / ФИПИ авторы-составители: В.И. Николаев, Г.Г. Никифоров, М.Ю. Демидова – М.: Дрофа, 2007.
7. Единый государственный экзамен. Физика. Контрольные измерительные материалы 2007/ ФИПИ авторы-составители: М.Ю. Демидова, И.И. Нурминский, А.И. Нурминский – М.: Вентана-Граф, 2007.
8. ЕГЭ-2007. Физика / ФИПИ авторы-составители: А.В. Берков, В.А. Грибов – М.: Астрель, 2007.
9. Единый государственный экзамен 2007. Физика. Учебно-тренировочные материалы для подготовки учащихся / ФИПИ авторы-составители: В.А. Орлов, М.Ю. Демидова, Г.Г. Никифоров, Н.К. Ханнанов – М.: Интеллект-Центр, 2007.
10. Единый государственный экзамен 2008. Физика. Учебно-тренировочные материалы для подготовки учащихся / ФИПИ авторы-составители: В.А. Орлов, М.Ю. Демидова, Г.Г. Никифоров, Н.К. Ханнанов – М.: Интеллект-Центр, 2008.
11. ЕГЭ 2009. Физика. Сборник экзаменационных заданий / ФИПИ авторы-составители: М.Ю. Демидова, И.И. Нурминский – М.: Эксмо, 2009.
12. ЕГЭ 2007-2008. Физика. Сборник заданий / ФИПИ авторы-составители: Г.Г. Никифоров, В.А. Орлов, Н.К. Ханнанов – М.: Эксмо, 2007.
13. Физика. ЕГЭ. Методическое пособие для подготовки / авторы-составители: Л.А. Прояненко, Н.И. Одинцова – М.: Экзамен, 2007.
14. Единый государственный экзамен 2007. Физика. Учебно-тренировочные материалы для подготовки учащихся / ФИПИ авторы-составители: В.А. Орлов, М.Ю. Демидова, Г.Г. Никифоров, Н.К. Ханнанов – М.: Интеллект-Центр, 2007.
15. ЕГЭ 2007. Физика. Репетитор / авторы-составители: В.А. Грибов, Н.К. Ханнанов – М.: Эксмо, 2007.
16. Основы электромагнетизма. Практикум для решения задач / авторы-составители: Н.П. Калашников, В.К. Тихонов – М.: МГИУ, 2000.
17. Физика: алгоритмы, задачи, решения. Пособие для всех, кто изучает и преподаёт физику / авторы-составители: В.С. Игропуло, Н.В. Вязников – М.: Илекса, 2002.
18. Законы, формулы, задачи физики. Справочник / автор-составитель: Ю.В. Гофман – Киев: Наукова думка, 1977.
19. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров – М.: Сов. энциклопедия, 1983.

*Правомерно опубликованные произведения указанных выше авторов и названий использованы в качестве иллюстративного материала в данном издании, носящем учебный характер в объеме, оправданном поставленной целью (п. 2 ст. 19 Закона РФ «Об авторском праве и смешанных правах» №5351-1 от 9 июня 1993г.)

Рожкова Г.И., методист лаборатории ОМЦ ЮОУО по работе с молодыми специалистами, учитель высшей категории, член Международной педагогической академии

Физика: систематизация физических ситуаций для решения тестов ЕГЭ по теме “Магнитное поле. Электромагнитная индукция”

С 2010 года в России стартовала Национальная образовательная инициатива «Наша новая школа», одним из направлений которой стало развитие учительского потенциала в плане совершенствования преподавательского корпуса через постоянное повышение квалификации педагогов. В настоящий момент проводится работа по внедрению в школьное образование института наставничества.

Автор пособия является методистом лаборатории ОМЦ ЮОУО по работе с молодыми специалистами с 2009 года. Опыт работы позволил выявить основные профессиональные проблемы молодых педагогов и акцентировать внимание в своей деятельности на подготовке рекомендаций по совершенствованию методики подготовки к экзаменам в форме ЕГЭ. В пособии учитывается, что большая часть времени учителя уходит на подготовку к уроку, подбор и систематизацию материалов для учебного процесса, поэтому пособие содержит необходимый теоретический и практический материал, упорядоченный согласно Кодификатору элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных учреждений для проведения в ЕГЭ по физике в 2011 году, соответствующего обязательным образовательным стандартам.

Пособие, адресованное молодым учителям физики, может быть использовано преподавателями и обучающимися 9-11 классов учреждений общего и среднего образования при изучении соответствующих тем школьного курса физики.