

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

## ЗАДАНИЯ ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве методических  
указаний для слушателей  
подготовительного отделения  
и подготовительных курсов КуАИ

Методические указания к выполнению заданий по магнитному полю и электромагнитной индукции содержат структурно-логические схемы для воспроизведения теоретического материала, качественные задачи, примеры решения характерных количественных задач, задачи для самостоятельного решения и задачи повышенной трудности для наиболее подготовленных слушателей. Задачи могут быть использованы для выполнения двух контрольных заданий, подобранных в четырех вариантах согласно помещенной в приложении таблице.

Предназначены слушателям подготовительного отделения и подготовительных курсов КуАИ.

Составители: К. Н. Власова, Г. П. Карханниа,  
Л. А. Крюкова

Рецензенты: А. И. Бекренев, Ю. С. Найштут,  
Е. А. Изжеуров

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При изучении магнитного поля тока и явления электромагнитной индукции продолжается формирование понятия об электромагнитном поле. Данные методические указания содержат четыре части: магнитное поле тока и его действие на проводник с током; движение заряженных частиц в магнитном поле; вихревое электрическое поле и его проявление в явлениях электромагнитной индукции и самоиндукции; магнитные свойства вещества. Начинать работу по каждой части нужно с изучения соответствующего теоретического материала.

Для облегчения воспроизведения отдельных фрагментов основного теоретического материала в указания включены структурно-логические схемы (СЛС). Систематическое использование СЛС, самостоятельное их составление способствует формированию навыков правильной работы с учебником и запоминанию материала.

Затем необходимо решить приведенные в каждой части качественные задачи. Только после этого рекомендуется браться за решение количественных задач своего варианта соответственно таблице варианта заданий (см. приложение).

Задачи в каждой части расположены с пологой кривой возрастания трудности. Поэтому в случаях, когда Вы не можете сразу решить задачу, попробуйте вначале разобрать несколько предшествующих ей задач. Для ознакомления со способом решения и оформления задач данного типа в начале каждого раздела приведены примеры решения задач средней трудности.

Выполнив свое задание, Вы можете попробовать решить более трудные и интересные задачи, помещенные в конце каждой части и не входящие в обязательные задания для получения зачета по данному материалу.

### 1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Пользуясь структурно-логической схемой № 1, расскажите о магнитном взаимодействии проводников с токами.

Ответьте на вопросы разд. 1.1. методических указаний\*.

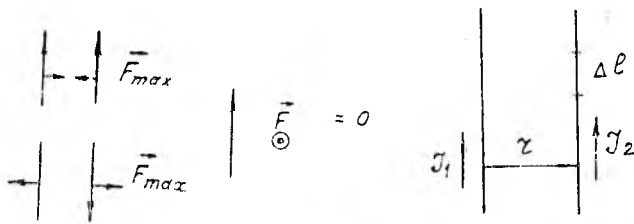
Вспомните основные свойства магнитного поля (СЛС № 2) и ответьте на вопросы разд. 1.2. методических указаний.

---

\* Власова К. Н. Методические указания по изучению магнитного поля тока и явления электромагнитной индукции. Куйбышев, 1981.

# Взаимодействие проводников с токами

СЛС № 1



Не электрическое

↑↑ - притяжение  
 $\Sigma q = 0$

$F_{max} \sim J_1 J_2$   
 $\sim \frac{1}{r}$   
 $\sim \Delta \ell$

$$F_{max} = k \frac{J_1 J_2 \Delta \ell}{r}$$

$$k = 2 \cdot 10^{-7}$$

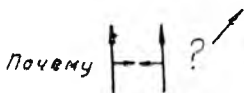
Единица тока

Если  $\Delta \ell = r = 1\text{м}$ ,  $F = 2 \cdot 10^{-7}\text{Н}$ ,

то  $J_1 = J_2 = 1\text{А}$

СЛС № 2

## Магнитное поле



Обладает энергией  
 (может совершить  
 работу)

Меняет свойства  
 вещества

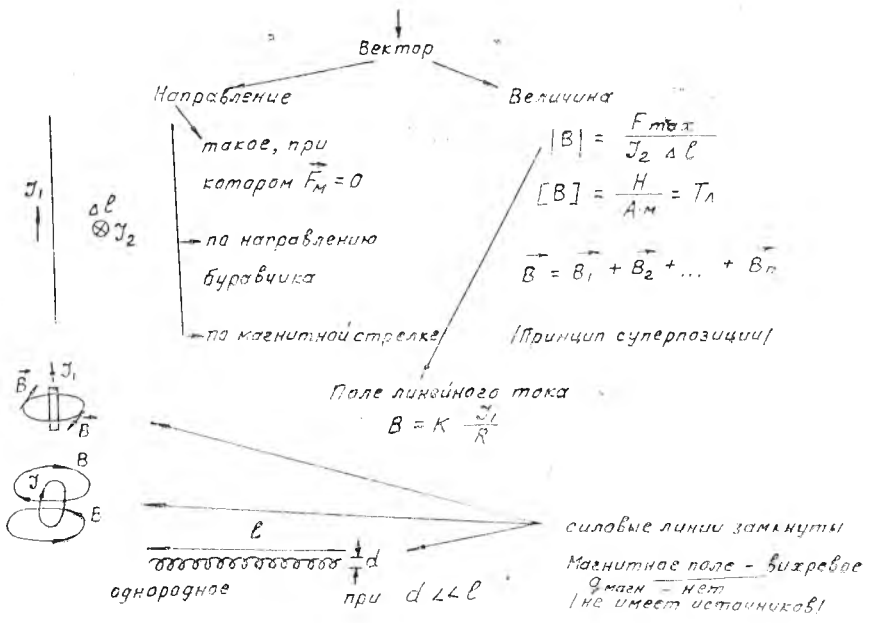
→ Неразрывно связано с движущимся зарядом (током)

→ Объективно (не зависит от индикатора)

→ Изменение поля распространяется в пространстве с конечной скоростью

→ Действует на движущийся заряд (ток)

Изучив разд. 1.3. методических указаний, расскажите с помощью СЛС № 3 о силовой характеристике магнитного поля.



Ответив на вопросы разд. 1.4 и 1.5 методических указаний, решите следующие качественные задачи.

1.1. Изобразите схематически линии индукции магнитного поля и направление векторов индукции в точках A, B и C, расположенных, как показано на рис. 1.

1.2. По данным, указанным на рис. 2, определить направление линий индукции магнитного поля.



Рис. 1

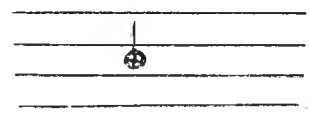


Рис. 2

1.3. По данным, указанным на рис. 3, определить направление тока в соленоиде.

1.4. Каковы направления токов в параллельных проводах, если силы взаимодействия направлены, как показано на рис. 4?

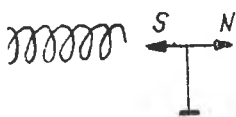


Рис. 3

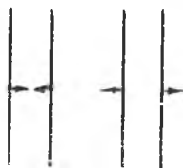


Рис. 4

1.5. Как взаимодействуют параллельные токи, направленные согласно рис. 5?

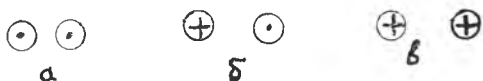


Рис. 5

1.6. На рис. 6 представлены случаи взаимодействия магнитного поля с током. Сформулировать задачу для каждого из приведенных случаев и решить ее.

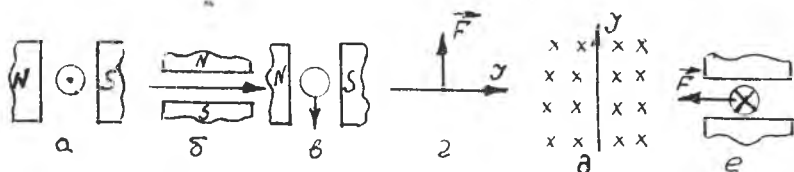


Рис. 6

1.7. Определить направление тока (рис. 7), если кольцо отталкивается от магнита, а спираль при поднесении магнита сжимается?



Рис. 7

1.8. Определить направление тока в проводнике, если южный полюс магнитной стрелки, расположенной над проводником, отклоняется к наблюдателю (рис. 8). Что произойдет с отклонением стрелки, если ее поместить под проводником?

1.9. Каково направление тока в соленоиде, если стрелка расположится, как показано на рис. 9?

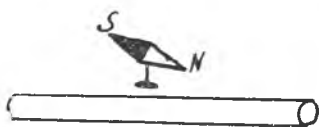


Рис. 8

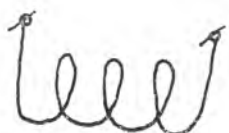


Рис. 9



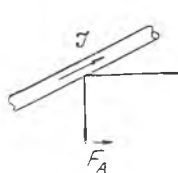
Прочитайте внимательно разд. 1.7 и 1.8 методических указаний II, пользуясь структурно-логической схемой № 4, воспроизведите основной теоретический материал.

СЛС № 4

Сила Ампера

Направление

Величина



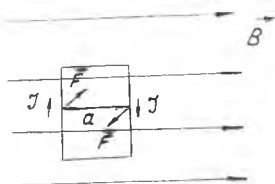
$$\vec{F}_A \perp \vec{B} \perp \vec{J}$$

правило левой руки

$$F_A \begin{cases} \sim J \\ \sim B \\ \sim \Delta l \end{cases} \left. \vphantom{F_A} \right\} F_A = B J \Delta l \sin \alpha$$

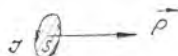
между J и B

Рамка с током



$$M = F_1 \cdot \frac{a}{2} + F_2 \cdot \frac{a}{2} = F a = J l B a = J S B$$

P - собственный магнитный момент рамки



По правилу винта

Индикатор

$$B = \frac{M_{max}}{J S}$$

$$[B] = \frac{H \cdot m}{A \cdot m^2} = \frac{H}{A \cdot m} = Tл$$

Применение

- Измерительные приборы
- Электромоторы

Стартеры

Тракторы } E<sub>эл</sub> → E<sub>мех</sub>  
Автомобили }

Решите следующие качественные задачи

1.10. В магнитное поле внесены 4 проводника с токами, направления которых показаны на рис. 10. Как направлена сила Ампера, действующая на каждый проводник?

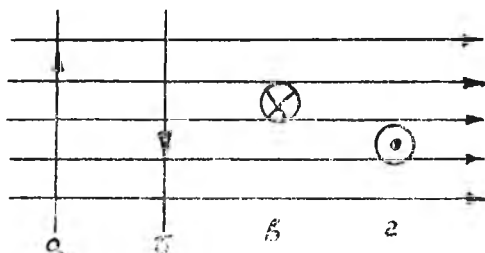


Рис. 10

1.11. Определить направление силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле, как показано на рис. 11?

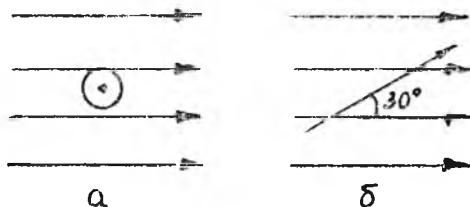


Рис. 11

1.12. Треугольная рамка с током, изображенная на рис. 12, находится в магнитном поле так, что ее плоскость перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Как действуют магнитные силы на отдельные участки рамки? Изобразите их направление.

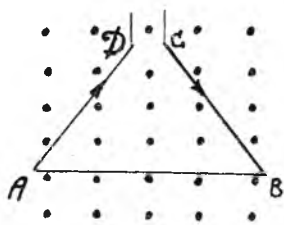


Рис. 12

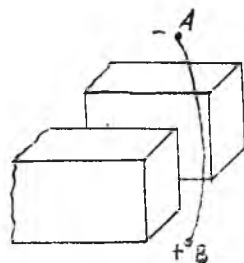


Рис. 13



1.14. В какую сторону сместится под действием магнитного поля электронный луч в вакуумной трубке, изображенной на рис. 14?

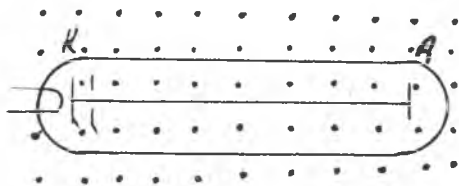


Рис. 14

1.15. Как взаимодействуют между собой проводники с токами 1 и 2, показанные на рис. 15? Как они будут взаимодействовать, если их скрутить в жгут?



Рис. 15

1.16. Два круговых проводника могут свободно вращаться вокруг вертикальных осей. Как будут располагаться проводники, если по ним пропускать токи, направления которых указаны на рис. 16, в следующих случаях: а) оси совпадают; б) оси не совпадают?

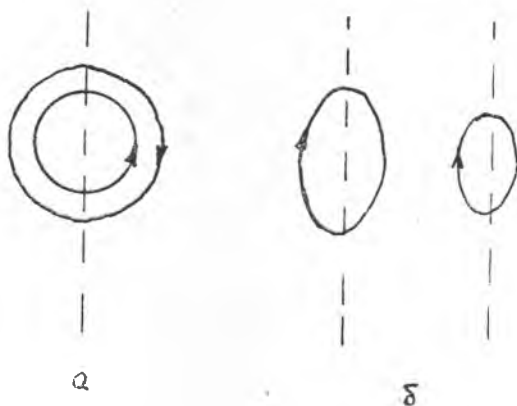


Рис. 16

1.17. По двум одинаковым металлическим обручам, имеющим общий центр, расположенным один горизонтально, другой — вертикально, идут одинаковые токи. Как будет располагаться рамка с током, помещенная в их общий центр?

1.18. К двум диагонально противоположным точкам квадрата, сделанного из одинаковых кусков проволоки, подключен источник ЭДС. Определить индукцию магнитного поля в центре квадрата.

1.19. Проволока протаскивается между двумя зажимами, к которым подключен источник ЭДС, со скоростью, равной скорости дрейфа электронов и направленной в противоположную сторону. Будет ли этот проводник с током создавать вокруг себя магнитное поле?

1.20. Прямолинейный ток проходит по оси кругового тока (рис. 17). С какой силой взаимодействуют токи?



Рис. 17

1.21. Мягкая спиральная пружина висит свободно. Нижний конец пружины погружен в чашечку с ртутью. Пружина и чашечка подключены к источнику постоянного тока, как показано на рис. 18. Что будет происходить с пружиной после замыкания цепи ключом К?

1.22. Возле бесконечного прямолинейного проводника АВ с током расположен подвижный, однородный, прямолинейный конечный длины проводник СД так, что он лежит целиком по одну сторону от АВ и в плоскости, проходящей через АВ (рис. 19). Что будет происходить с проводником СД, если по нему пропустить ток в направлении, указанном стрелкой?

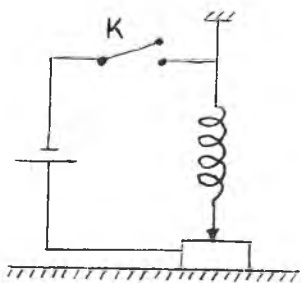


Рис. 18

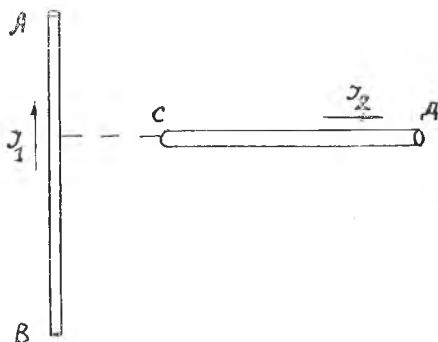


Рис. 19

1.23. Вблизи бесконечного прямолинейного провода с током подвешена на нити легкая прямоугольная рамка (рис. 20). Что

будет происходить с рамкой, если по ней пропустить ток в направлении, указанном стрелками?

1.24. Как нужно расположить рамку в однородном магнитном поле, чтобы она сжималась? Растягивалась?

1.25. Как будет вести себя рамка с током, помещенная в магнитные поля, изображенные на рис. 21?

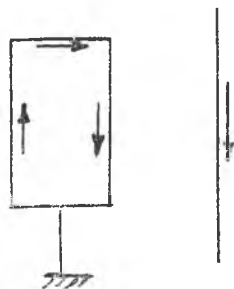


Рис. 20

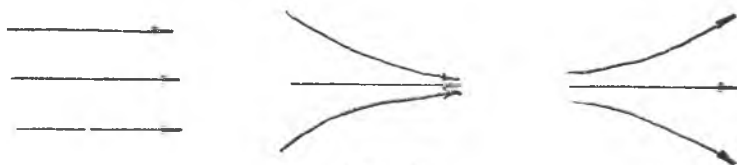


Рис. 21

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Проводник с током 5 А помещен в однородное магнитное поле с индукцией 10 Тл. Угол между направлениями тока и поля  $60^\circ$ . Определить активную длину проводника, если поле действует на него с силой 20 Н.

Дано:

$$I = 5 \text{ А}$$

$$B = 10 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$F_A = 20 \text{ Н}$$

$$\Delta l = ?$$

Решение

Согласно закону Ампера  $F_A = BI \Delta l \sin \alpha$ , откуда активная длина проводника

$$\Delta l = \frac{F_A}{BI \sin \alpha}, \quad \Delta l = \frac{20 \text{ Н}}{10 \text{ Тл} \cdot 5 \text{ А} \cdot 0,86} = 0,46 \text{ м}.$$

2. В горизонтально направленном однородном магнитном поле находится горизонтально расположенный проводник, перпендикулярный полю. Какой ток должен протекать через проводник, чтобы он висел не падая, если индукция поля 0,01 Тл, а масса 1 м длины проводника 10 г.

Дано:

$$m' = 10 \text{ г/м} = 10^{-2} \text{ кг/м}$$

$$B = 0,01 \text{ Тл} = 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$|\vec{F}_m| = |\vec{F}_A|$$

$$I = ?$$

Решение

Пусть магнитное поле направлено за плоскость рис. 22. На проводник действует сила тяжести и сила Ампера, направленная вертикально вверх (правило ле-

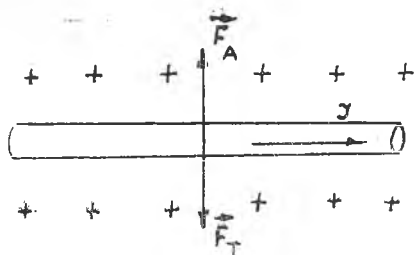


Рис. 22

вой руки). Проводник находится в равновесии при соблюдении равенства этих сил:  $F_A = mg$ . В нашем случае  $F_A = BI \Delta l$ , так как угол  $\alpha = 90^\circ$  и  $\sin \alpha = 1$ . И сила тяжести  $F_T = mg = m' \Delta l g$ . Таким образом,  $BI \Delta l = m' \Delta l g$ , откуда  $I = m' g / B$ ;

$$I = \frac{10^{-2} \text{ кг/м} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{10^{-2} \text{ Тл}} \approx 10 \text{ А.}$$

3. Какую работу совершает однородное магнитное поле с индукцией 1,5 Тл при перемещении проводника длиной 0,2 м, по которому течет ток 10 А, на расстояние 0,25 м, если направление перемещения перпендикулярно направлению поля и тока? Проводник расположен под углом  $30^\circ$  к направлению поля.

Дано:

$$B = 1,5 \text{ Тл}$$

$$\Delta l = 0,2 \text{ м}$$

$$I = 10 \text{ А}$$

$$S = 0,25 \text{ м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$A = ?$$

Решение.

На проводник с током со стороны магнитного поля действует сила Ампера, направление которой определяется правилом левой руки. На рис. 23 проводник расположен в плоскости рисунка. Сила Ампера, действующая на него со стороны горизонтально направленного маг-

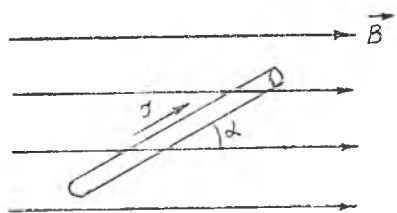


Рис. 23

нитного поля, направлена за плоскость рисунка. Очевидно, направление перемещения проводника совпадает с направлением действия силы Ампера. В таком случае работа магнитного поля по перемещению проводника

$$A = F_A S,$$

$$\text{где } F_A = BI \Delta l \sin \alpha.$$

Таким образом,

$$A = BI \Delta l \sin \alpha \cdot S,$$

$$A = 1,5 \text{ Тл} \cdot 10 \text{ А} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,5 \cdot 0,25 \text{ м} = 0,38 \text{ Дж.}$$

#### ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

4. Прямолинейный проводник с током помещен в однородное магнитное поле с индукцией 2 Тл. Определить силу, с которой действует магнитное поле на проводник, если длина его 0,1 м, по

нему проходит ток 5 А, направление которого составляет  $30^\circ$  с направлением линий магнитной индукции.

Ответ: 0,5 Н.

5. Определить наибольшее и наименьшее значения силы, действующей на проводник длиной 0,6 м с током 10 А при различных положениях провода в однородном магнитном поле с индукцией 1,5 Тл?

Ответ: 9 Н; 0.

6. С какой силой действует магнитное поле с индукцией 10 мТл на проводник длиной 0,1 м с силой тока 50 А? Поле и ток взаимно перпендикулярны.

Ответ: 50 мН.

7. Определить силу взаимодействия, приходящуюся на единицу длины проводов воздушной линии электропередачи, если ток в линии  $I = 500$  А, а расстояние между проводами  $r = 50$  см.

Ответ: 0,1 Н.

8. Проводник с током помещен в однородное магнитное поле с индукцией 20 мТл. Определить силу, действующую на этот проводник, если его длина 0,1 м, сила тока 3 А, а угол между направлением тока и вектором  $\vec{B}$  равен  $45^\circ$ .

Ответ: 4,2 мН.

9. Определить длину активной части проводника, по которому проходит ток в 2,5 А, помещенного в однородное магнитное поле с индукцией 400 Тл, если на него действует сила 100 Н. Проводник расположен под углом  $30^\circ$  к линиям магнитной индукции.

Ответ: 0,2 м.

10. Определить силу тока, проходящего по прямолинейному проводнику, перпендикулярному однородному магнитному полю, если на активную часть проводника длиной 0,4 м действует сила 20 Н при магнитной индукции поля 10 Тл.

Ответ: 5 А.

11. На проводник длиной 50 см с током 2 А, помещенный в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,1 Тл, действует сила 0,05 Н. Вычислить угол между направлением тока и вектором магнитной индукции.

Ответ:  $30^\circ$ .

12. Горизонтальный проводник, по которому течет ток силой 10 А, расположен перпендикулярно линиям индукции поля. Какова индукция поля, если проводник оказался в состоянии равновесия? Масса 1 м проводника равна 5 г.

Ответ:  $5 \cdot 10^{-3}$  Тл.

13. Какой силы ток должен проходить по прямолинейному проводнику, помещенному в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции, чтобы он висел не падая, если масса 1 м его 3 кг, а индукция магнитного поля 20 Тл?

Ответ: 1,5 А.

14. Определить силу тока в проводнике, если он притягивает к себе параллельный проводник длиной 2,8 м с током 58 А с силой 0,0034 Н. Расстояние между проводниками 12 см. Как направлены токи в обоих проводниках?

Ответ: 12,5 А.

15. Проводник с длиной активной части 8 см и током силой 50 А переместился на 10 см перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля с индукцией 0,6 Тл. Найти совершенную при этом работу.

Ответ: 0,24 Дж.

16. Плоская прямоугольная катушка из 200 витков со сторонами 10 и 5 см находится целиком в однородном магнитном поле с индукцией 0,05 Тл. Какой максимальный вращающий момент может действовать на катушку в этом поле, если по проводам катушки проходит ток силой 2 А?

Ответ: 0,1 Н·м.

17. По 50 виткам плоской рамки площадью 40 см<sup>2</sup> течет ток силой 5 А. Какой максимальный механический момент действует на рамку в однородном магнитном поле с индукцией 0,12 Тл?

Ответ: 0,12 Н·м.

## *II. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ*

Изучить разд. 2.1 и 2.2 методических указаний. Пользуясь структурно-логической схемой № 5, воспроизведите основной материал темы.

Сила Лоренца

$B j l \sin \alpha = q_0 n v s$   
 $= B q_0 n s v l \sin \alpha$   
 $F_A = \frac{F_A}{N} = n s l = q_0 v B \sin \alpha$   
 $F_A \perp B \perp v$   
 $a_n = \frac{F_A}{m} = \frac{q_0 v B}{m}$   
 $a_{\tau} = 0$

число частиц в данном объеме

$q v v = \frac{m v^2}{R}$   
 $R = \frac{m v}{q B}$ , т.е.  $R = f(v)$

масс-спектрограф

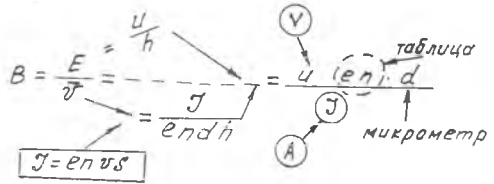
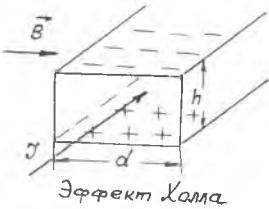
$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{q B}$ , т.е.  $T \neq f(v)$   
 $v = \frac{R q B}{m}$

циклотрон

дуантмы

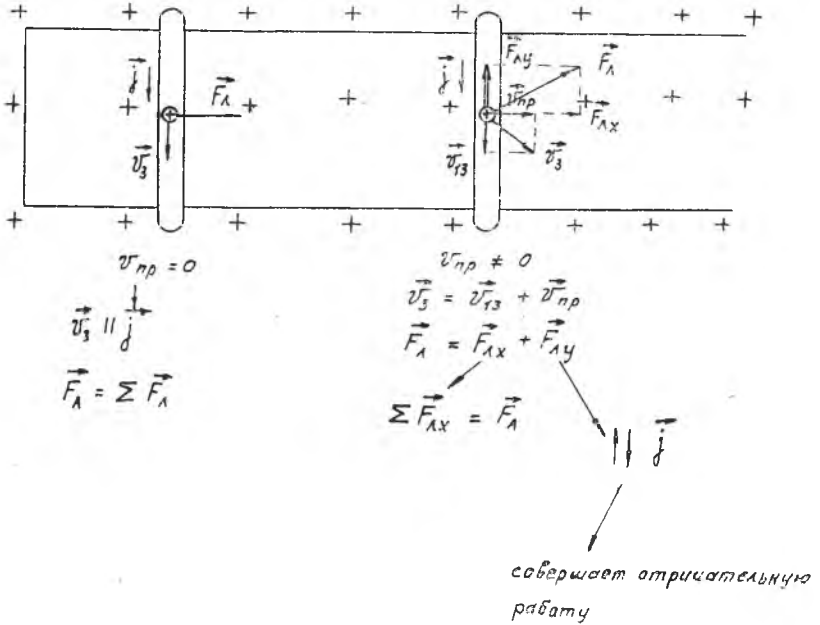
Общий случай

$\vec{F}_A = \vec{F}_{эл} + \vec{F}_{магн} = q \vec{E} + q [\vec{v} \vec{B}]$



Внимательно прочитайте разд. 2.4 методических указаний. Согласно логической схеме №6 расскажите о соотношении силы Лоренца и силы Ампера в рассмотренном на рисунке схеме примере и о работе магнитного поля.

## Работа магнитного поля



Решите следующие качественные задачи

2.1. На рис. 24 изображен некоторый момент положения четырех заряженных частиц в однородном магнитном поле. Определить, на какие заряды действует сила Лоренца? Каково ее направление?

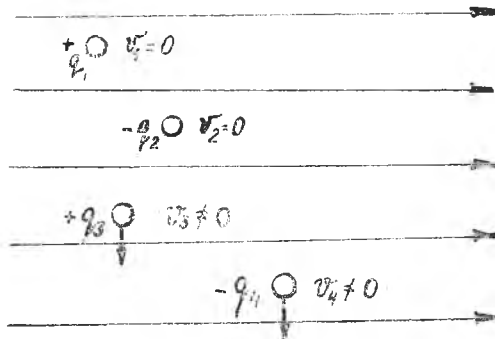


Рис. 24



2.2. Электрон движется в однородном поле. Чему равна работа силы, действующей на электрон?

2.3. Какие из частиц катодных лучей отклоняются на больший угол одним и тем же магнитным полем: более быстрые или медленные?

2.4. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле, оставаясь в плоскости, параллельной этому полю. Какова ее траектория?

2.5. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле, образуя угол  $\alpha$  с направлением движения частицы. Какова ее траектория?

### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

18. Электрон разгоняется электрическим полем, пролетев между точками с разностью потенциалов  $10^3$  В, и влетает в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл перпендикулярно линиям индукции. Определить радиус окружности траектории электрона в магнитном поле.

Д а н о:

$$v_0 = 0$$

$$\Delta \varphi = 10^3 \text{ В}$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$R = ?$$

Р е ш е н и е.

Согласно закону сохранения энергии, изменение кинетической энергии электрона равно работе по его перемещению в электрическом поле  $\Delta K = A$ . Так как начальная скорость электрона равнялась нулю, то кинетическая энергия при вылете из электрического поля

$$\frac{mv^2}{2} = e \Delta \varphi.$$

Отсюда легко определить скорость, с которой электрон влетает в магнитное поле  $v = \sqrt{\frac{2e\Delta\varphi}{m}}$ . Действующая на электрон в магнитном поле сила Лоренца в любой момент перпендикулярна его скорости, т. е. является центростремительной силой  $F_l = F_{цс}$ :

$$\frac{mv^2}{R} = e v B.$$

Откуда радиус окружности, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле,  $R = \frac{mv}{eB}$ . Подставив в эту формулу выражение скорости электрона, получим:

$$R = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2e\Delta\varphi}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m\Delta\varphi}{e}};$$

$$R = \frac{1}{0,2 \text{ Тл}} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^3 \text{ В}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}} \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

19. В масс-спектрометре одноразово ионизированная частица движется со скоростью 956 км/с по окружности диаметром 20 см в однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,10 Тл. Определить массу частицы. Какая это частица?

Д а н о:

$$\begin{aligned} v &= 956 \cdot 10^3 \text{ м/с} \\ d &= 20 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ B &= 0,10 \text{ Тл} \\ e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ m &= ? \end{aligned}$$

Р е ш е н и е.

Одноразово ионизированная частица имеет заряд  $q = 1 \cdot e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Частица движется по окружности в магнитном поле, следовательно, ее скорость перпендикулярна силовым линиям поля  $\vec{v} \perp \vec{B}$ . Действующая на частицу сила Лоренца  $F_L = Bq v \sin \alpha$  ( $\alpha = 90^\circ$ ) является центростремительной силой

$$F_L = F_{ц.с}; \quad Bq v = \frac{mv^2}{R}.$$

Откуда масса частицы  $m = \frac{BqR}{v}$ ;

$$m = \frac{0,10 \text{ Тл} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{956 \cdot 10^3 \text{ м/с}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Это протон.

20. Протон движется в магнитном поле, индукция которого 2 мТл, по винтовой линии радиусом 2 см и шагом винта 5 см. Определить скорость протона.

Д а н о:

$$\begin{aligned} R &= 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ h &= 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ B &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \\ m_p &= 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ q &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ v &= ? \end{aligned}$$

Р е ш е н и е.

Скорость протона в магнитном поле разложим на две составляющие:  $\vec{v}_x$  — направленную параллельно индукции магнитного поля, и  $\vec{v}_y$  — перпендикулярно магнитному полю (рис. 25). Величина полной скорости протона через составляющие выразится формулой

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \quad (1)$$

Если бы протон обладал только скоростью  $\vec{v}_y$ , то под действием силы Лоренца со стороны магнитного поля  $F_L = qBv_y$  он двигался бы по окружности радиусом  $R$ . Т. е. сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы:  $F_L = F_{ц.с}$ ;  $qBv_y = \frac{mv_y^2}{R}$ .

Откуда  $v_y = \frac{qBR}{m}$ .

Если бы протон обладал только скоростью  $\vec{v}_x$ , направленной вдоль силовых линий магнитного поля, то он продолжал бы дви-

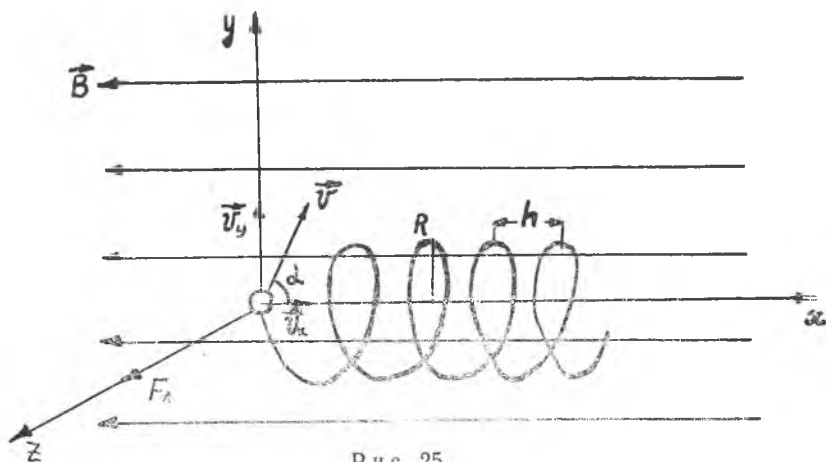


Рис. 25

гаться с этой скоростью, так как магнитное поле на него не оказывало бы действия, таким образом, составляющая скорости  $v_x$  остается неизменной (проекция силы Лоренца на ось  $Ox$  равна нулю).

За время одного оборота  $T$  протон перемещается на расстояние, равное шагу винта  $h$  вдоль направления магнитного поля.

$$h = v_x T.$$

Откуда  $v_x = h / T$ .

Один оборот протон совершает за время  $T = \frac{2R\pi}{v_y} = \frac{2\pi Rm}{qBR} = \frac{2\pi m}{qB}$ . Таким образом,  $v_x = \frac{h q B}{2\pi m}$ .

Подставив составляющие скорости в формулу /1/, получим величину скорости протона

$$v = \sqrt{\frac{h^2 q^2 B^2}{4\pi^2 m^2} + \frac{q^2 B^2 R^2}{m^2}} = \frac{qB}{2\pi m} \sqrt{h^2 + 4\pi^2 R^2}, \quad v = 4,12 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Так как отношение  $\frac{v_y}{v_x} = \text{tg } \alpha$ , то  $\text{tg } \alpha = \frac{2\pi R}{h} = 2,512$ ,  $\alpha = 68,5^\circ$ .

Таким образом, протон влетает в магнитное поле со скоростью  $v$  под углом  $180^\circ - \alpha = 111,5^\circ$  к направлению поля.

#### ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

21. Электрон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого 0,5 Тл, со скоростью 20000 км/с перпендикулярно линиям индукции. Определить силу, с которой магнитное поле действует на электрон.

Ответ:  $1,6 \cdot 10^{-12}$  Н.

22. Электрон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого 0,05 Тл, перпендикулярно линиям индукции со скоростью 40000 км/с. Определить радиус кривизны траектории электрона.

О т в е т:  $4,55 \cdot 10^{-3}$  м.

23. Пройдя разность потенциалов 2000 В, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией  $15 \cdot 10^{-5}$  Тл и движется в нем по дуге окружности радиусом 1 м в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Найти удельный заряд электрона (отношение заряда электрона к его массе).

О т в е т:  $\approx 1,75 \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

24. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 4 мТл. Найти период обращения электрона.

О т в е т:  $9 \cdot 10^{-9}$  с.

25. Альфа-частица движется в однородном магнитном поле с индукцией 1,2 Тл по окружности радиусом 49 см в плоскости, перпендикулярной силовым линиям. Определить скорость и кинетическую энергию частицы.

О т в е т:  $\approx 3 \cdot 10^7$  м/с;  $\approx 3 \cdot 10^{-14}$  Дж.

26. Определить период обращения электрона в магнитном поле с индукцией 0,02 Тл. Электрон движется в плоскости, перпендикулярной силовым линиям.

О т в е т:  $\approx 1,8 \cdot 10^{-11}$  с.

27. Протон в магнитном поле с индукцией 0,01 Тл описал окружность радиусом 10 см. Найти угловую скорость протона.

О т в е т:  $\approx 10^6$  рад/с.

28. В однородное магнитное поле с индукцией 10 мТл перпендикулярно линиям индукции влетает электрон с кинетической энергией 30 кэВ. Каков радиус кривизны траектории движения электрона?

О т в е т:  $\approx 6 \cdot 10^3$  м.

29. В однородное магнитное поле с индукцией 0,02 Тл влетает под углом  $30^\circ$  электрон со скоростью 50000 км/с. Каков его радиус кривизны и шаг спирали?

О т в е т:  $R = 0,0284$  м;  $h = 0,31$  м.

30. Электрон, разогнанный в электрическом поле с напряжением 20 кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией

0,1 Тл. Вектор скорости образует угол  $75^\circ$  с направлением вектора индукции. Определить форму траектории.

Ответ: Винтовая линия:  $R \approx 2,2 \cdot 10^{-6}$  м;  $h = 3 \cdot 10^{-8}$  м.

31. Винтовая линия, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр  $d = 80$  мм и шаг  $l = 200$  мм. Индукция поля  $B = 5,00$  мТл. Определить скорость электрона.

Ответ:  $4,5 \cdot 10^7$  м/с.

32. Протон и  $\alpha$ -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы их окружностей, если у них одинаковы скорости.

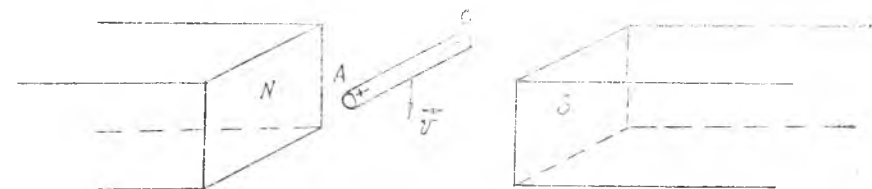
Ответ: Для  $\alpha$ -частицы в 2 раза больше.

### III. ВИХРЕВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Изучите разд. 3.1 и 3.2 методических указаний. Пользуясь структурно-логической схемой № 7, воспроизведите основной материал, изложенный в этих разделах.

СЛС № 7

Индукцированное электрическое поле



Разделение зарядов в проводнике

С. о. "Магнит":  $F_L = q v B$

С. о. "Проводник":  $F_{эл} = q E'$

Если  $F_L = F_{эл}$ ,

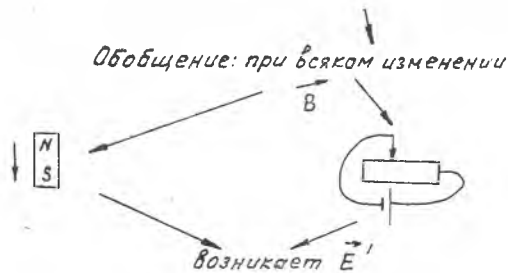
то  $E' = v B$

Происходит до тех пор, пока

$F_L = q E$

$q E' = q E$

разделенных зарядов

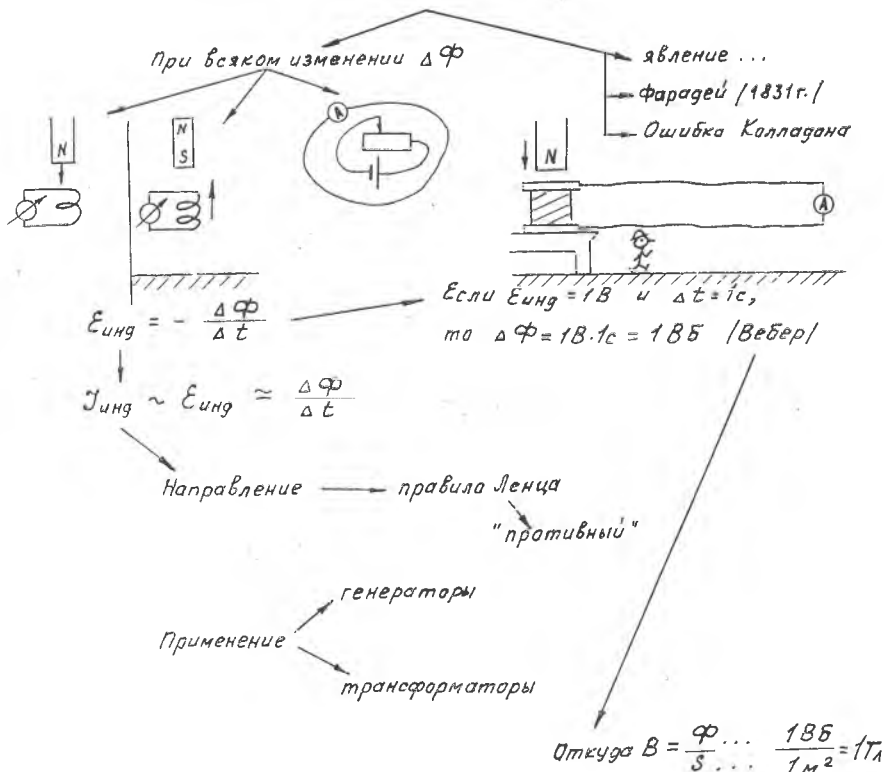


Изучив § 95 и 97 школьного учебника\* и разд. 3.3 методических указаний, ответьте на контрольные вопросы разд. 3.4 и решите качественные задачи разд. 3.5.

Согласно структурно-логической схеме № 8 воспроизведите основную материал темы.

СЛС № 8

Электромагнитная индукция



\* Буховцев Б. Б., Климонтович Ю. Л., Мякишев Г. Я. Физика: Учебник 9-го класса средней школы. — М.: Просвещение, 1983.

## Решите следующие качественные задачи

3.1. Прямой магнит падает сквозь замкнутый соленоид. Будет ли такое падение свободным?

3.2. Какие явления происходят в кольце, если в него вдвигают магнит? Рассмотреть случаи, когда кольцо сделано из: а) проводника; б) диэлектрика.

3.3. Какие явления происходят в стержне, если он передвигается в постоянном магнитном поле под углом к силовым линиям? Рассмотреть случаи, когда стержень сделан из: а) проводника; б) диэлектрика.

3.4. Самолет летит вдоль меридиана. Будут ли одинаковы потенциалы концов крыльев самолета? Изменится ли разность потенциалов, если самолет будет лететь по какому-либо другому направлению с той же по величине скоростью?

3.5. На рис. 26 приведены разные случаи электромагнитной индукции. Сформулировать и решить задачу для каждого случая.

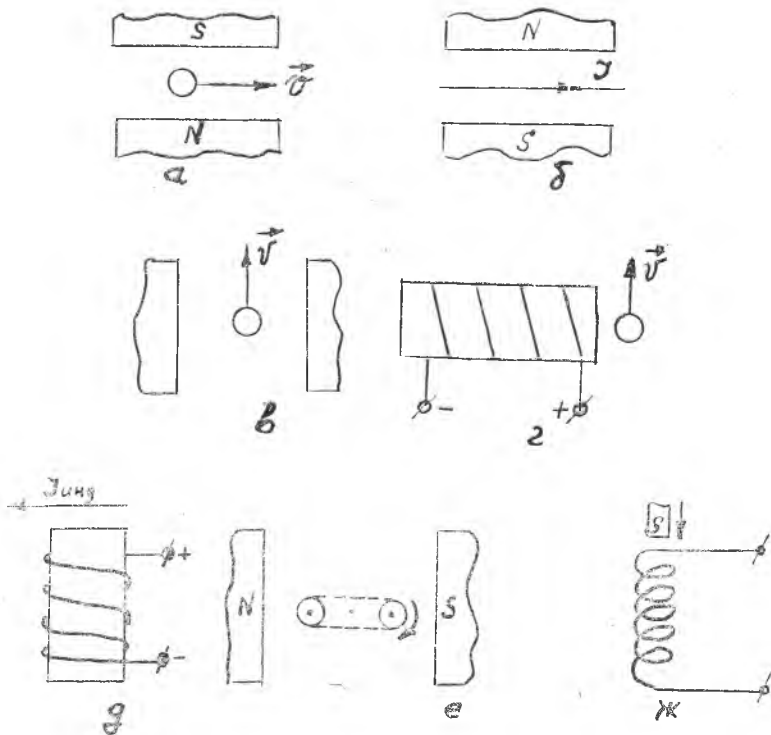


Рис. 26

3.6. Будет ли возникать индукционный ток в круговом витке, находящемся в однородном магнитном поле, если:

- а) перемещать виток поступательно;
- б) вращать виток вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно плоскости витка;
- в) вращать виток вокруг оси, лежащей в его плоскости.

3.7. Замкнутый виток провода находится у проводника с током. Будет ли возникать в витке ток, если:

- а) вращать виток вокруг оси, проходящей через проводник;
- б) вращать виток вокруг оси, параллельной проводнику;
- в) вращать виток вокруг оси, перпендикулярной проводнику;
- г) двигать виток поступательно параллельно проводнику;
- д) двигать виток поступательно перпендикулярно проводнику?

3.8. Определить направление тока в проводящем кольце (рис. 27), если индукция магнитного поля: а) увеличивается; б) уменьшается.

3.9. Определить направление сил, действующих на проводящее кольцо (рис. 27), если индукция магнитного поля: а) уменьшается; б) увеличивается.

3.10. На рис. 28 изображены отдельные проводники замкнутых контуров, движущихся в однородном магнитном поле по направлениям, указанным векторами скоростей. Определить направление индукционных токов в каждом проводнике.

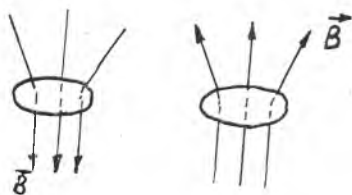


Рис. 27

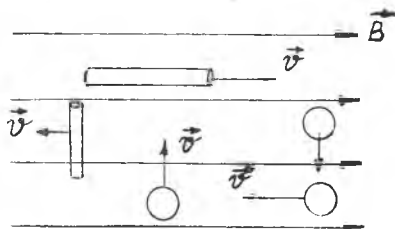


Рис. 28

3.11. На рис. 29 изображены отдельные проводники замкнутых контуров, движущихся в однородном магнитном поле по направлениям, указанным векторами скоростей. Определить направление индукционного тока в каждом проводнике.

3.12. На рис. 30 изображена катушка, замкнутая на гальванометр и надевая на один из полюсов постоянного магнита. В момент замыкания якоря А постоянного магнита в неподвижной катушке К индуцируется ток. Объяснить его явление.



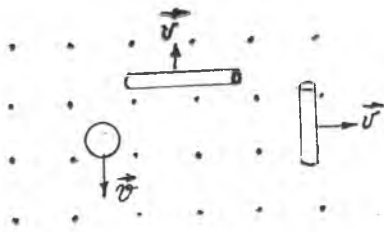


Рис. 29

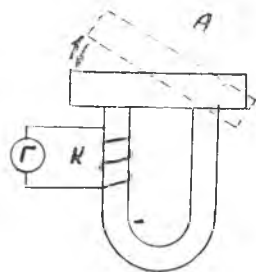


Рис. 30

3.13. Два параллельных проводника сближаются друг с другом. По одному из них проходит ток  $I$ . Каково будет направление индукционного тока, возникающего в другом проводнике? Каково будет направление индукционного тока при удалении проводников?

3.14. Небольшая проволочная прямоугольная рамка свободно падает в пространстве между широкими полюсами достаточно сильного электромагнита (рис. 31). Указать направления индукционных токов, возникающих в рамке при прохождении середины рамки положения  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Как будет двигаться рамка на этих участках?

3.15. Два круговых проводника расположены перпендикулярно друг к другу, как показано на рис. 32. Будет ли в проводнике  $A$  возникать индукционный ток при изменениях тока в контуре  $B$ ?

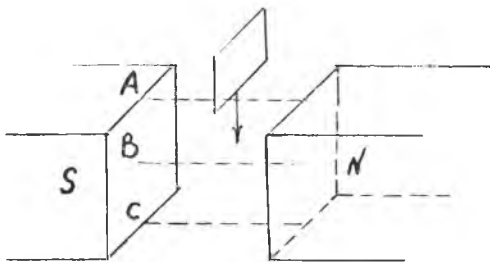


Рис. 31

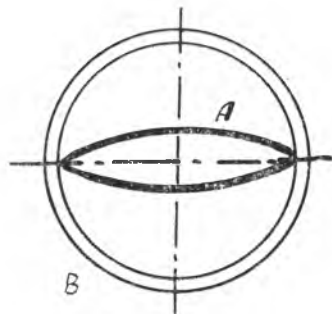


Рис. 32

3.16. Одна сторона прямоугольной проволочной рамки совмещена с прямолинейным участком цепи тока. Рамка делает вокруг этой стороны полный оборот. Будет ли при этом движении индуцироваться ток в рамке?

3.17. Ток в проводе  $AB$  (рис. 33) нарастает прямо пропорционально времени. Какова зависимость тока от времени во втором параллельном проводе  $CD$ , индуктивно связанном с первым?

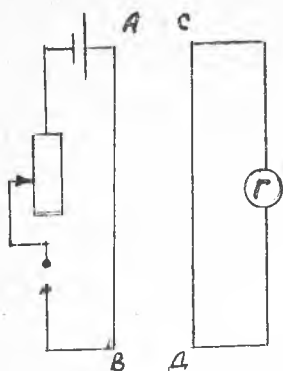


Рис. 33

3.18. Возникает ли индукционный ток в витке проволоки, если переменный магнитный поток пронизывает не всю площадь, ограниченную контуром витка?

3.19. Что является первоисточником энергии, передаваемой свободным электронам, в случае, когда ЭДС возникает в проводнике, движущемся в магнитном поле? За счет чего возникает энергия тока при электромагнитной индукции?

3.20. Будет ли магнитное поле Земли индуцировать токи в искусственном спутнике Земли, движущемся вокруг экватора? Вокруг полюсов? Если да,

то как эти токи будут влиять на движение спутника?

3.21. Между полюсами подковообразного магнита вращается алюминиевый диск (рис. 34) в направлении, указанном стрелкой. Каково направление индукционного тока: к центру или от центра диска?

3.22. Почему при ударе молнии иногда срабатывают предохранители в осветительной сети?

Почему в телефонной линии может быть слышна работа телеграфа или телефонный разговор, происходящий по соседней линии?

3.23. Будет ли в изменяющемся магнитном поле индуцироваться ЭДС в витке бронированного (покрытого стальной оболочкой) провода? Не будет ли броня и магнитной защитой?

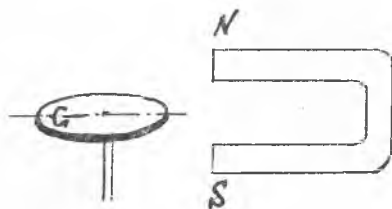


Рис. 34

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

33. Прямолинейный проводник длиной 0,5 м движется в магнитном поле со скоростью 6 м/с под углом  $30^\circ$  к вектору индукции  $\vec{B}$ . Определить индукцию магнитного поля, если в проводнике возникает ЭДС индукции, равная 3 В.

Дано:

$l = 0,5 \text{ м}$   
 $v = 6 \text{ м/с}$   
 $\alpha = 30^\circ$

Решение.

В лабораторной системе отсчета сторонней силой, производящей разделение зарядов в проводнике, является сила Лоренца, дей-

$$\frac{E_i = 3 \text{ В}}{B = ?}$$

ствующая на свободные электроны проводника  $F_{\text{л}} = e v B \sin \alpha$ . При перемещении электрона с одного конца проводника на другой под действием этой силы совершается работа  $A_{\text{ст.с}} = F_{\text{л}} l = e v B \sin \alpha l$ . Таким образом, ЭДС индукции в проводнике

$$E_i = \frac{A_{\text{ст.с.}}}{e} = v B l \sin \alpha.$$

Откуда величина индукции магнитного поля

$$B = \frac{E_i}{v l \sin \alpha};$$

$$B = \frac{3 \text{ В}}{6 \text{ м/с} \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 0,5} = 2 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 2 \text{ Тл}.$$

34. Замкнутая накоротко катушка диаметром 10 см, имеющая 200 витков, находится в магнитном поле, индукция которого увеличивается от 2 до 6 Тл в течение 0,1 с. Определить среднее значение ЭДС индукции в катушке, если плоскость витков перпендикулярна силовым линиям поля.

Дано:

$$n = 200$$

$$d = 0,1 \text{ м}$$

$$B_1 = 2 \text{ Тл}$$

$$B_2 = 6 \text{ Тл}$$

$$\Delta t = 0,1 \text{ с}$$

$$E_i = ?$$

Решение.

Согласно закону электромагнитной индукции возникающая в катушке ЭДС

$$|E_i| = n \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|,$$

где  $n$  — число витков в катушке,

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  — скорость изменения магнитного потока через площадь, ограниченную витком катушки. Магнитный поток через площадь

витка катушки в этой задаче  $\Phi = BS$ , так как плоскость витков перпендикулярна магнитному полю.

При изменении индукции магнитного поля от  $B_1$  до  $B_2$  изменение полного магнитного потока через площадь контура выражается таким образом:

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = B_2 S - B_1 S = (B_2 - B_1) \frac{\pi d^2}{4}.$$

Подставив это выражение в начальную формулу, получим

$$E_i = \frac{n \pi d^2}{4 \Delta t} (B_2 - B_1);$$

$$E_i = \frac{200 \cdot 3,14 \cdot (0,1)^2}{4 \cdot 0,1} (6 - 2) = 62,8 \text{ (В)}.$$

35. Замкнутый проводник сопротивлением 3 Ом находится в магнитном поле. В результате изменения индукции магнитного поля магнитный поток через площадь, ограниченную контуром проводника, возрос с  $\Phi_1 = 0,0002$  Вб до  $\Phi_2 = 0,0005$  Вб. Какой заряд прошел через поперечное сечение проводника?

Дано:

$$\Phi_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$\Phi_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$R = 3 \text{ Ом}$$

$$\Delta q = ?$$

Решение.

Заряд, проходящий через поперечное сечение проводника,  $\Delta q = I \Delta t$ , где  $I$  — индукционный ток,  $\Delta t$  — время прохождения тока. Согласно закону Ома индукционный ток можно определить по формуле  $I = \frac{E_{ind}}{R}$ . Величина ЭДС индукции  $E_{ind} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ .

$$\text{Таким образом, } \Delta q = \frac{E_{ind}}{R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t \cdot R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R};$$

$$\Delta q = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{R} = 10^{-4} \text{ Кл.}$$

36. В однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$  перпендикулярно силовым линиям расположен стержень длиной  $l$ . Стержень вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси, проходящей через конец стержня и параллельной силовым линиям поля. Найти разность потенциалов между концами стержня.

Решение.

1-й способ.

При вращении стержень ежесекундно пересекает магнитный поток  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B S n$ , где  $S = \pi l^2$  — площадь круга, «заметаемого» стержнем,  $n = \frac{\omega}{2\pi}$  — число оборотов стержня в секунду.

При этом в стержне индуцируется ЭДС индукции

$$|E_t| = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = B \pi l^2 \frac{\omega}{2\pi} = \frac{B l^2 \omega}{2}.$$

Свободные заряды стержня смещаются к одному концу его до тех пор, пока возникшая на концах стержня разность потенциалов не уравновесится ЭДС индукции. Таким образом,  $\Delta \varphi = \frac{B l^2 \omega}{2}$ .

2-й способ.

В связанной со стержнем системе отсчета в каждом элементе длины стержня  $\Delta x$  индуцируется электрическое поле, напряжен-

ность которого  $E_i' = v_i B = B \omega x_i$ , где  $v_i$  — скорость движения этого элемента, а  $x_i$  — расстояние его от оси вращения стержня.

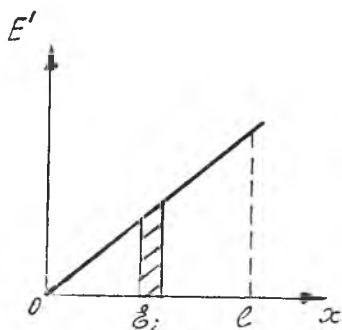


Рис. 35

Таким образом, график зависимости напряженности индуцированного поля вдоль стержня — прямая линия (рис. 35). ЭДС в каждом элементе длины стержня

$$E_i = E_i' \Delta x.$$

Суммарная ЭДС определится как площадь фигуры под графиком

$$E = \Sigma E_i = \frac{B \omega l^2}{2}.$$

Таким образом,

$$\Delta \varphi = \frac{B \omega l^2}{2}.$$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

37. Определить ЭДС индукции, возникающую в замкнутом проводнике, если его контур пронизывает магнитный поток, изменяющийся со скоростью 4 Вб/с.

Ответ:  $-4$  В.

38. Магнитная индукция однородного магнитного поля  $B = 0,5$  Вб/м<sup>2</sup>. Определить поток магнитной индукции через площадку  $S = 25$  см<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно к силовым линиям. Чему будет равен поток индукции, если площадку повернуть на угол  $\varphi = 60^\circ$  от первоначального положения?

Ответ:  $1,25 \cdot 10^{-3}$  Вб;  $6,25 \cdot 10^{-4}$  Вб.

39. В контуре проводника за 0,3 с магнитный поток изменился на 0,06 Вб. Какова скорость изменения магнитного потока? Какова ЭДС индукции в контуре? При каком условии ЭДС индукции будет постоянной?

Ответ: 0,2 Вб/с; 0,2 В.

40. В каком случае ЭДС индукции в проводнике будет большей: при изменении пронизывающего магнитного потока в 10 Вб до 0 в течение 5 с или при изменении магнитного потока в 1 Вб до 0 в течении 0,1 с? Во сколько раз?

Ответ: во 2-м случае больше в 5 раз.

41. Неподвижный виток, площадь которого равна 10 см<sup>2</sup>, расположен перпендикулярно к линиям индукции однородного магнитного поля. Какая ЭДС индукции возникнет в этом витке, если

магнитная индукция поля будет равномерно возрастать и в течение 0,01 с увеличится от 0,2 до 0,7 Тл.

Ответ:  $-0,05$  В.

42. Виток, площадь которого  $S = 2 \text{ см}^2$ , расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного однородного поля. Чему равна индуцированная в витке ЭДС, если за время  $\Delta t = 0,05$  с магнитная индукция равномерно убывает с  $B_1 = 0,5$  Тл до  $B_2 = 0,1$  Тл?

Ответ:  $1,6 \cdot 10^{-3}$  В.

43. Какой магнитный поток пронизывал каждый виток катушки, имеющей  $n = 1000$  витков, если при равномерном исчезновении магнитного поля в течение промежутка времени  $\Delta t = 0,1$  с в катушке индуцируется ЭДС  $E = 10$  В?

Ответ:  $10^{-3}$  Вб.

44. Магнитный поток через соленоид, содержащий 500 витков провода, равномерно убывает со скоростью 60 мВб/с. Определить ЭДС индукции в соленоиде.

Ответ: 30 В.

45. В соленоиде из 80 витков проволоки магнитный поток за 5 мс равномерно изменился от 0,003 до 0,015 Вб. Найти ЭДС.

Ответ: 24 В.

46. Сколько витков должна иметь катушка, чтобы при изменении магнитного потока внутри нее от 0,024 до 0,056 Вб за 0,32 с в ней создавалась ЭДС 10 В?

Ответ: 100.

47. Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, равномерно изменился на 0,6 Вб так, что ЭДС индукции оказалась равной 1,2 В. Найти время изменения магнитного потока и силу индукционного тока, если сопротивление проводника 0,24 Ом.

Ответ: 0,5 с; 5 А.

48. В замкнутом витке проволоки сопротивлением  $2 \cdot 10^{-2}$  Ом мгновенное значение индукционного тока равно 5 А. Какова ЭДС индукции? К каким точкам витка она приложена?

Ответ: 0,1 В; равномерно распределена по витку.

49. Виток медного провода помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр вит-

ка 20 см, диаметр провода 2 мм. С какой скоростью изменяется индукция магнитного поля, если по кольцу течет ток 5 А?

Ответ: 0,54 Тл/с.

50. В однородном магнитном поле перпендикулярно к направлению вектора индукции, величина которого  $B = 0,1$  Тл, движется провод длиной  $l = 2$  м со скоростью  $v = 5$  м/с, перпендикулярной проводнику. Какая ЭДС наводится в проводнике?

Ответ: 1 В.

51. Реактивный самолет летит горизонтально со скоростью 900 км/ч. Определить разность потенциалов между концами его крыльев, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 50 мкТл. Размах крыльев 24 м. Будет ли гореть маломощная лампочка, подсоединенная к концам крыльев?

Ответ: 0,3 В; нет.

52. Перпендикулярно линиям индукции перемещается проводник длиной 1,8 м со скоростью 6 м/с, ЭДС индукции 1,44 В. Найти магнитную индукцию поля.

Ответ: 0,13 Тл.

53. Определить ЭДС индукции в проводнике длиной 20 см, движущемся в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл со скоростью 1 м/с под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции.

Ответ: 1 мВ.

54. Проводник длиной 0,4 м движется со скоростью 10 м/с под углом  $30^\circ$  к линиям индукции однородного магнитного поля. Определить величину индукции магнитного поля, если на концах проводника возникает разность потенциалов 2 В?

Ответ: 1 Тл.

55. Проводник длиной 1 м равномерно вращается в горизонтальной плоскости с частотой 10 1/с. Ось вращения проходит через конец стержня. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли 50 мкТл. Определить разность потенциалов между концами проводника.

Ответ: 1,57 мВ.

56. С какой угловой скоростью надо вращать прямой проводник вокруг одного из его концов в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной к силовым линиям поля, чтобы в проводнике возникла ЭДС, равная  $\mathcal{E} = 0,3$  В? Длина проводника  $l = 20$  см. Индукция магнитного поля  $B = 0,2$  Тл.

Ответ: 75 рад/с.

57. Плоский виток провода расположен перпендикулярно однородному магнитному полю. Когда виток повернулся на  $180^\circ$ , по нему прошел заряд  $7,2$  мКл. На какой угол повернулся виток, если по нему прошел заряд  $1,8$  мКл?

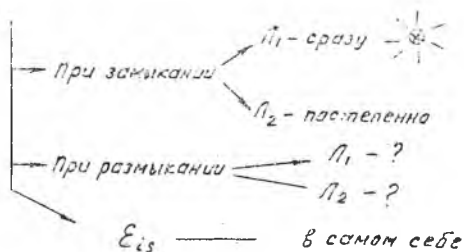
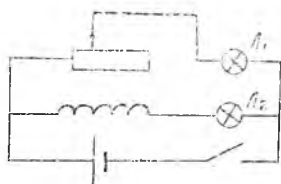
Ответ:  $60^\circ$ .

#### IV. ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ. ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Пользуясь структурно-логической схемой № 9, расскажите о явлении самоиндукции. Ответьте на вопросы разд. 3.7 методических указаний.

СЛС № 9

Самоиндукция



Так как  $B \sim J$ , а  $\Phi \sim B$ , то  $\Phi \sim J$  и  $\Phi = LJ$

$$\text{Тогда } \epsilon_{is} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta J}{\Delta t} = -L \frac{dJ}{dt}$$

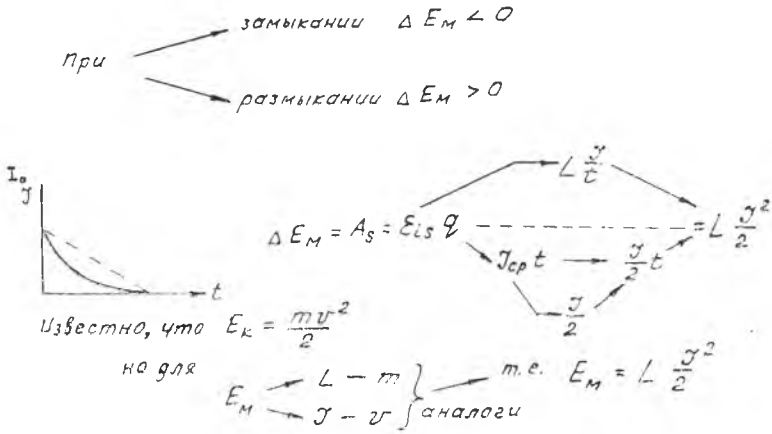
Индуктивность:  $L = \frac{\epsilon_{is}}{\Delta J} \Delta t$   $\left( \frac{Bc}{A} = \text{Генри-Г} \right)$

↙  
св-во катушки

Изучите разд. 3.8 методических указаний. Расскажите об энергии магнитного поля, пользуясь структурно-логической схемой № 10.



Энергия магнитного поля



Решите следующие качественные задачи

4.1. В каком направлении пройдет через амперметр ток в момент размыкания цепи, составленной по схеме, изображенной на рис. 36.

4.2. В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании цепи? Если параллельно рубильнику включить конденсатор, то искрение прекратится. Объясните, почему?

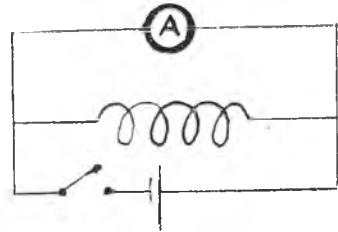


Рис. 36

4.3. Почему при отрывах трамвайного бугеля от воздушного провода возникает искрение? Почему искрение незначительно, если трамвай движется с выключенным двигателем и ток поступает только в осветительную сеть вагона.

4.4. При электросварке применяется стабилизатор — катушка со стальным сердечником, включаемая последовательно с дугой. Почему такая катушка обеспечивает устойчивое горение дуги?

4.5. Электромагнит с разомкнутым сердечником включен в цепь постоянного тока. При замыкании сердечника якорем происходит кратковременное уменьшение силы тока в цепи. Почему?

4.6. Как сделать катушку, чтобы получить безындуктивную катушку?

4.7. Когда ЭДС самоиндукции больше — при замыкании или размыкании цепи постоянного тока?

4.8. Какие превращения энергии происходят в электрической цепи при нарастании тока после ее замыкания?

4.9. Как уменьшить индуктивность катушки с железным сердечником при условии, что габариты обмотки (ее длина и поперечное сечение) останутся неизменными?

4.10. Для индукционного способа подогрева бетона в зимних условиях, на бетонную колонну навивается изолированный провод так, что образуется подобие катушки. По проводу пропускается переменный ток. Почему в этом случае бетон прогревается?

4.11. Объяснить, почему при касании пальцами руки выводов батареи от карманного фонарика нет болевых ощущений, но если батарею подключить к электрическому звонку, то во время работы звонка появляется ощущение сильных болевых ударов тока?

4.12. Почему отключение от питающей сети мощных электродвигателей производят плавно и медленно при помощи реостата?

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

58. Определить индуктивность катушки, если при изменении в ней тока от 5 до 10 А, за 0,1 с в катушке возникает ЭДС самоиндукции 10 В.

Дано:

$$I_1 = 5 \text{ А}$$

$$I_2 = 10 \text{ А}$$

$$\Delta t = 1 \text{ с}$$

$$E_{si} = 10 \text{ В}$$

$$L = ?$$

Решение.

При изменении тока в катушке в ней возникает ЭДС самоиндукции

$$E_{si} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Откуда

$$L = \frac{E_{si} \Delta t}{\Delta I};$$

$$L = \frac{10 \text{ В} \cdot 0,1 \text{ с}}{(10 - 5) \text{ А}} = 0,2 \text{ Гн}.$$

59. Катушка сопротивлением 20 Ом и индуктивностью 0,01 Гн находится в переменном магнитном поле. Когда создаваемый этим полем магнитный поток увеличился на 0,001 Вб, ток в катушке возрос на 0,05 А. Какой заряд прошел за это время по катушке?

Дано:

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$L = 0,01 \text{ Гн}$$

$$\Delta \Phi = 0,001 \text{ Вб}$$

$$\Delta I = 0,05 \text{ А}$$

$$\Delta q = ?$$

Решение.

Ток в катушке порождается ЭДС  $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ , которой противодействует ЭДС самоиндукции  $E_{si} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ . Следовательно,  $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR$ .

Откуда  $\Delta q = I \Delta t = \frac{\Delta \Phi - L \Delta I}{R}$ ;

$$\Delta q = \frac{0,001 \text{ Вб} - 0,01 \text{ Гн} \cdot 0,05 \text{ А}}{20 \text{ Ом}} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

60. В цепи (рис. 37)  $R = 0,1 \text{ Ом}$ ,  $L = 0,02 \text{ Гн}$ . В некоторый момент времени  $\varphi_A - \varphi_B = 0,1 \text{ В}$  ток увеличивается со скоростью  $3 \text{ А/с}$ . Какова величина тока в этот момент?

Дано:

Решение.

$$R = 0,1 \text{ Ом}$$

$$L = 0,02 \text{ Гн}$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 0,1 \text{ В}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 3 \text{ А/с}$$

$$I = ?$$

Катушка  $L$  создает ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{\text{ст}} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Следовательно,  $\varphi_A - \varphi_B - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR.$

Откуда ток в данный момент времени

$$I = \frac{\varphi_A - \varphi_B - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}; \quad I = 0,4 \text{ А.}$$

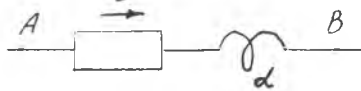


Рис. 37

### ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

61. Какова индуктивность соленоида, если при силе тока  $5 \text{ А}$  через него проходит магнитный поток в  $50 \text{ мВб}$ ?

Ответ:  $10 \text{ мГн}$ .

62. Через катушку с индуктивностью  $5 \text{ Гн}$  проходит ток  $4 \text{ А}$ . Определить магнитный поток внутри катушки, если она состоит из  $500$  витков?

Ответ  $0,04 \text{ Вб}$ .

63. Найти индуктивность проводника, в котором равномерное изменение силы тока на  $2 \text{ А}$  в течение  $0,25 \text{ с}$  возбуждает ЭДС самоиндукции  $20 \text{ мВ}$ .

Ответ:  $2,5 \text{ мГн}$ .

64. Какая ЭДС самоиндукции возбуждается в обмотке электромагнита, индуктивность которого  $0,4 \text{ Гн}$ , если сила тока в ней равномерно изменяется на  $5 \text{ А}$  за  $0,02 \text{ с}$ ?

Ответ:  $100 \text{ В}$ .

65. Среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в соленоиде при изменении в нем силы тока на  $6 \text{ А}$  за  $0,2 \text{ с}$ , равно  $3 \text{ В}$ . Определить индуктивность соленоида.

Ответ:  $0,1 \text{ Гн}$ .

66. Найти среднюю скорость изменения тока в обмотке электромагнита с индуктивностью 3,5 Гн, если в ней возбуждается ЭДС самоиндукции 70 В.

Ответ: 20 А/с.

67. По катушке протекает постоянный ток, создающий магнитное поле. Энергия этого поля равна 0,5 Дж, а магнитный поток через катушку равен 0,1 Вб. Найти величину тока.

Ответ: 10 А.

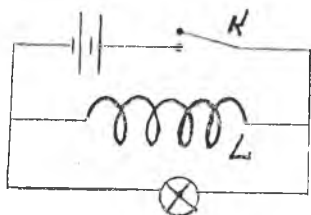


Рис. 38

68. Если в цепи (рис. 38) разомкнуть ключ К, то лампа, которая до этого не была накалена, ярко вспыхнет. Найти количество тепла, выделившегося в лампе, зная, что  $I = 8 \text{ А}$  и  $L = 0,05 \text{ Гн}$ . (Сопротивление лампы во много раз больше сопротивления дросселя).

Ответ: 1,6 Дж.

69. Конденсатор емкостью  $C$ , заряженный до напряжения  $U$ , разряжается через катушку, индуктивность которой равна  $L$ , а сопротивление равно нулю. Найти наибольший ток в катушке.

Ответ:  $I_{\text{max}} = UV\sqrt{C/L}$ .

70. В цепи (рис. 39)  $L = 0,01 \text{ Гн}$ ,  $R = 20 \text{ Ом}$ ,  $E = 10 \text{ В}$ ,  $r = 0$ . С какой скоростью начнет возрастать ток, если замкнуть цепь?

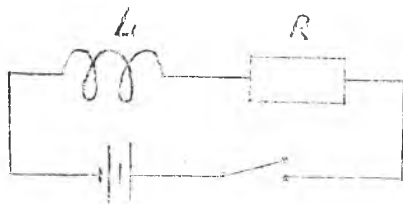


Рис. 39

Ответ: 1000 А/с.

ТАБЛИЦА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ВАРИАНТАМ  
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Задание № 1				Задание № 2			
Варианты				Варианты			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
1.1	1.2	1.3	1.4	3.1	3.2	3.3	3.4
1.7	1.9	1.6	1.8	3.6	3.5	3.7	3.10
1.12	1.13	1.11	1.10	3.8	3.9	3.11	3.12
1.14	1.15	1.17	1.16	3.13	3.14	3.15	3.16
1.18	1.20	1.22	1.19	3.17	3.18	3.20	3.19
1.21	1.23	1.24	1.25	38	39	40	41
4	5	6	8	45	44	42	43
10	7	9	11	47	46	49	48
12	13	14	15	50	51	52	53
2.1	2.2	2.3	2.4	54	55	57	56
22	21	23	24	4.1	4.2	4.3	4.4
27	26	25	28	4.6	4.5	4.7	4.8
31	29	30	32	4.9	4.10	4.11	4.12
				61	62	63	64
				65	66	67	68

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения . . . . .	1
I. Магнитное поле . . . . .	1
II. Движение заряженных частиц в магнитном поле . . . . .	12
III. Вихревое электрическое поле. Явления электромагнитной индукции . . . . .	19
IV. Явление самоиндукции. Энергия магнитного поля . . . . .	30
П р и л о ж е н и е. Таблица распределения задач по вариантам для выполнения заданий . . . . .	35

Составители: *Кира Николаевна Бласова,*  
*Галина Ивановна Карханина,*  
*Людмила Александровна Крюкова.*

### ЗАДАНИЯ ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Редактор Т. К. Кретнина  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор В. П. Петрова

Сдано в набор 22.08.85 г. Подписано в печать 13.12.85 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. п. л. 2,1. Уч.-изд. л. 2,0. Т. 1200 экз.  
Заказ 596. Бесплатно.  
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

---

Тип. УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.