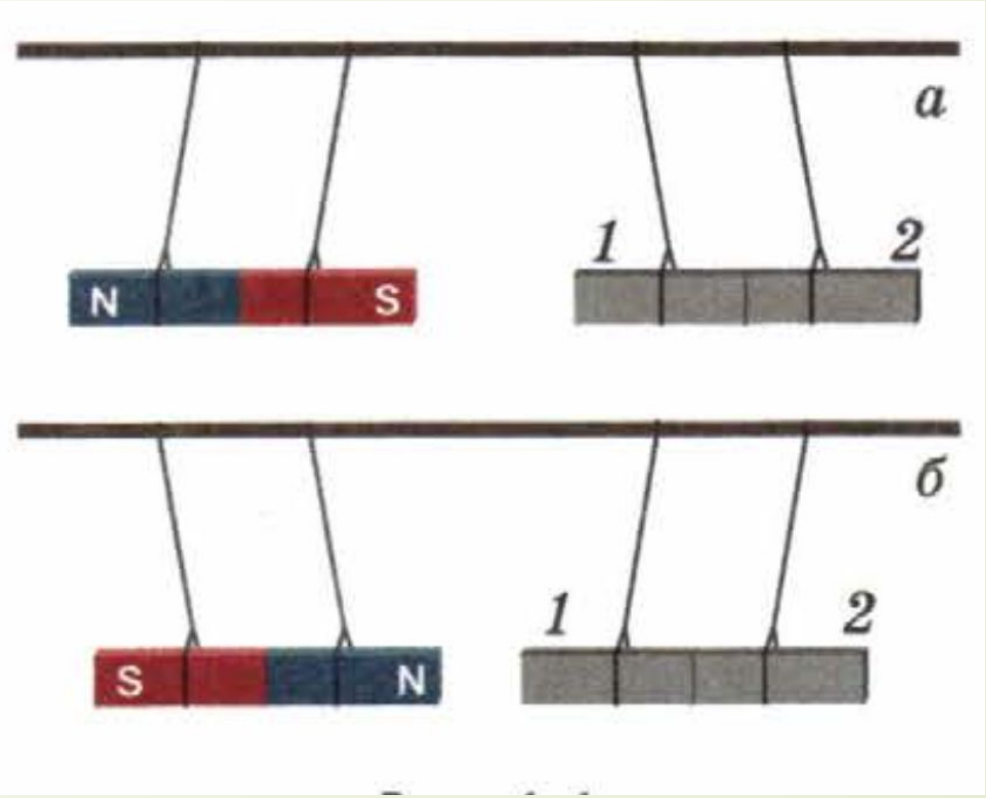
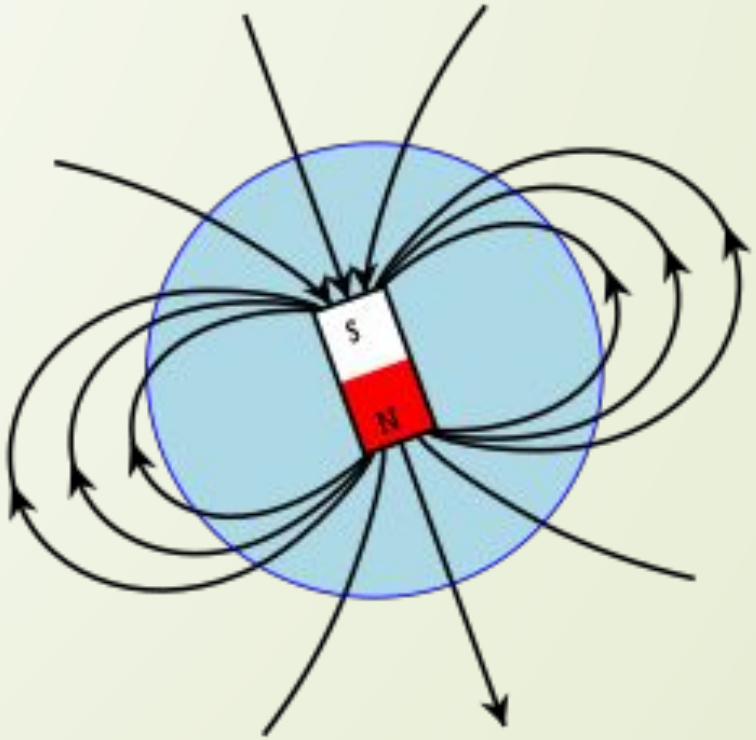
Введение
Лекция 1.

Магнитное поле. Магниты.



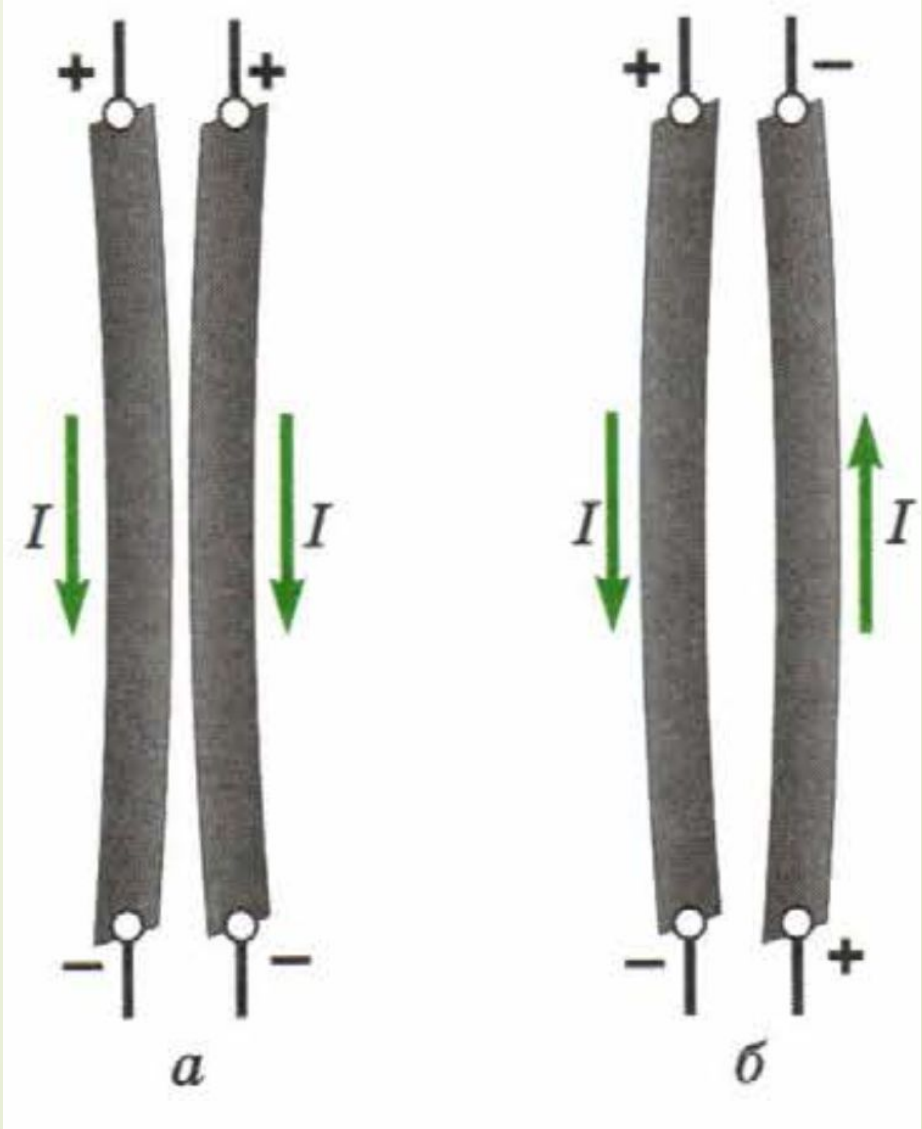
1. Определить какой цифрой обозначен северный полюс расположенного справа магнита.
2. Какой магнитный полюс Земли находится вблизи её Северного географического полюса? Обосновать ответ.

Магнитное поле. Ответ на второй вопрос.



Магнитное поле

3. Почему взаимодействие проводников по которым течет ток нельзя объяснить с помощью теории электрического поля?

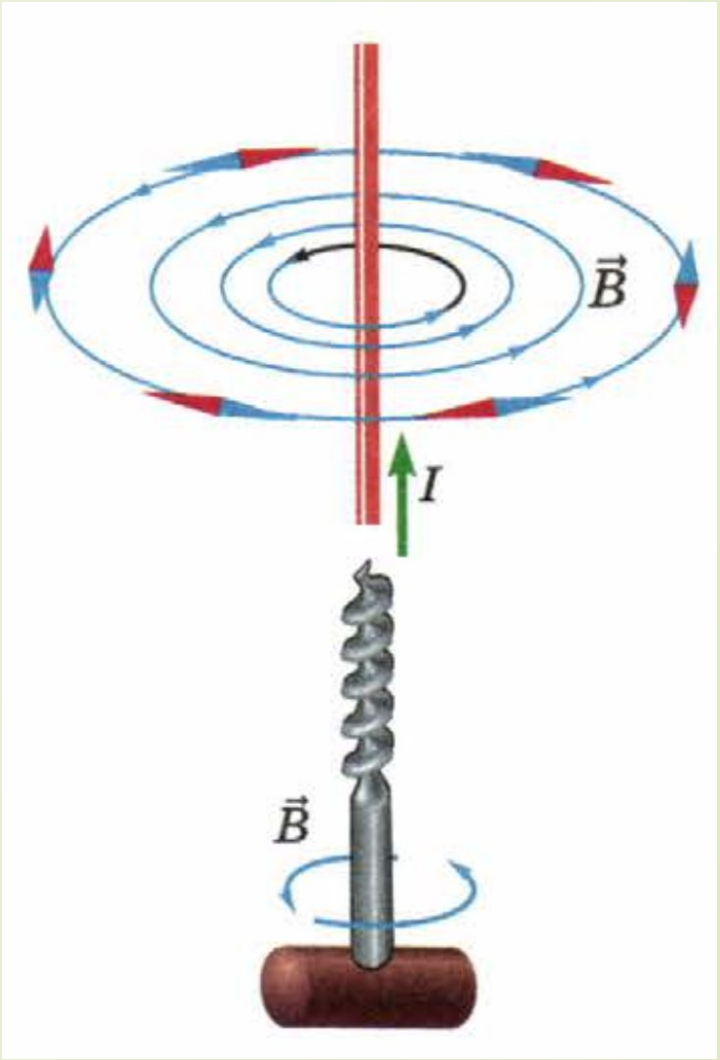


Магнитное поле

- Источник магнитного поля – постоянные магниты.
- Магнитное поле создается электрическими токами, движущимися электрическими зарядами.
- Следующий источник магнитного поля – изменяющееся во времени магнитное поле.
- Характеризуется векторной величиной $\vec{B}$ (вектором магнитной индукции, Тл), направленным вдоль магнитной стрелки по направлению к северному полюсу

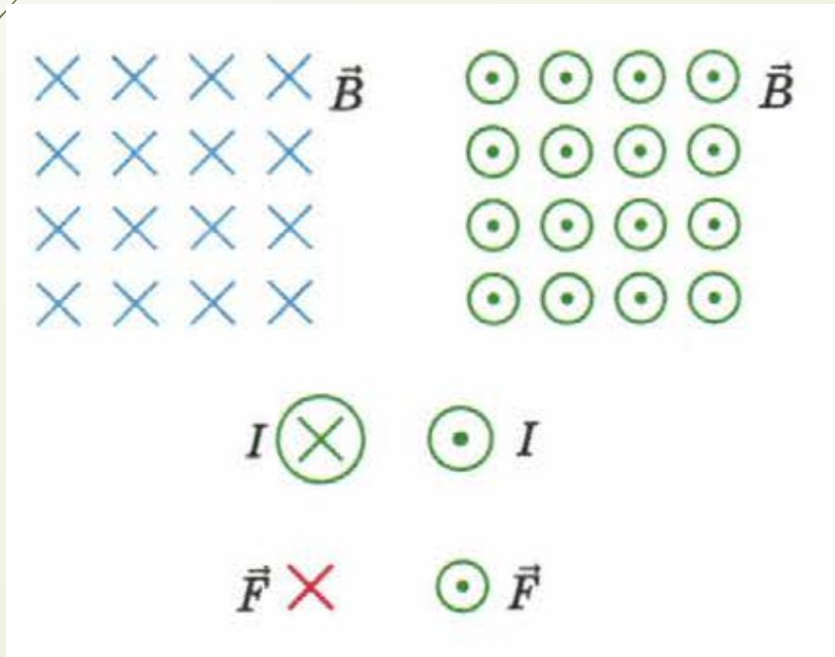
Магнитное поле. Правило буравчика

- Определить направление линий магнитной индукции поля внутри катушки или с помощью витка с током можно с помощью правила буравчика

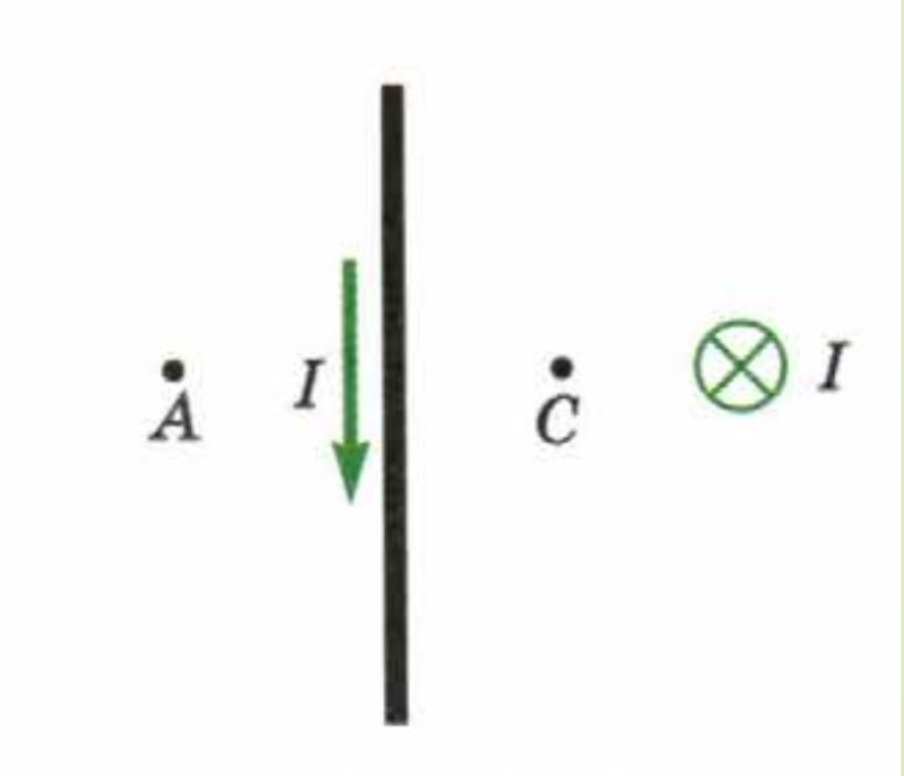


Магнитное поле. Правило буравчика

- Схематическое изображение направления линий магнитной индукции, тока в проводнике и силы, направленных от нас к нам.



Какое направление линий магнитной индукции в точках A и C?



Силы

- Сила Ампера
- Сила Лоренца

- Сила, с которой магнитное поле действует на заряженную частицу.
- Сила, с которой проводник действует на проводник с током.

$$F = qvB \sin \alpha.$$

$$F = BIl \sin \alpha.$$

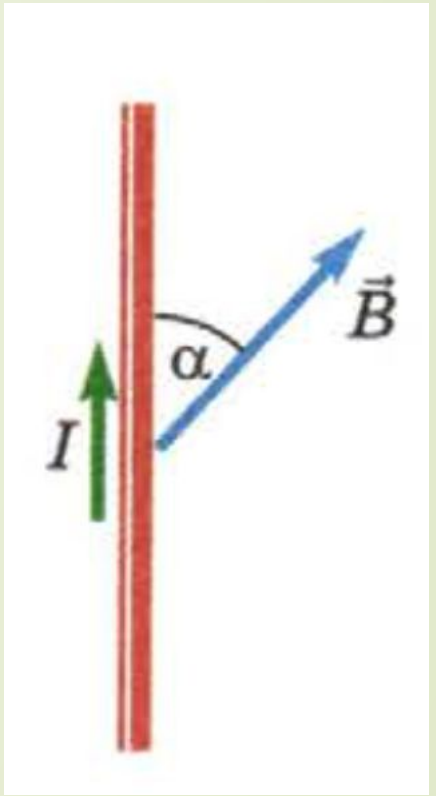
Силы. Сила Ампера.

$$F = BIl\sin\alpha.$$

1. Чему равен модуль силы Ампера, действующей на проводник с током, если:

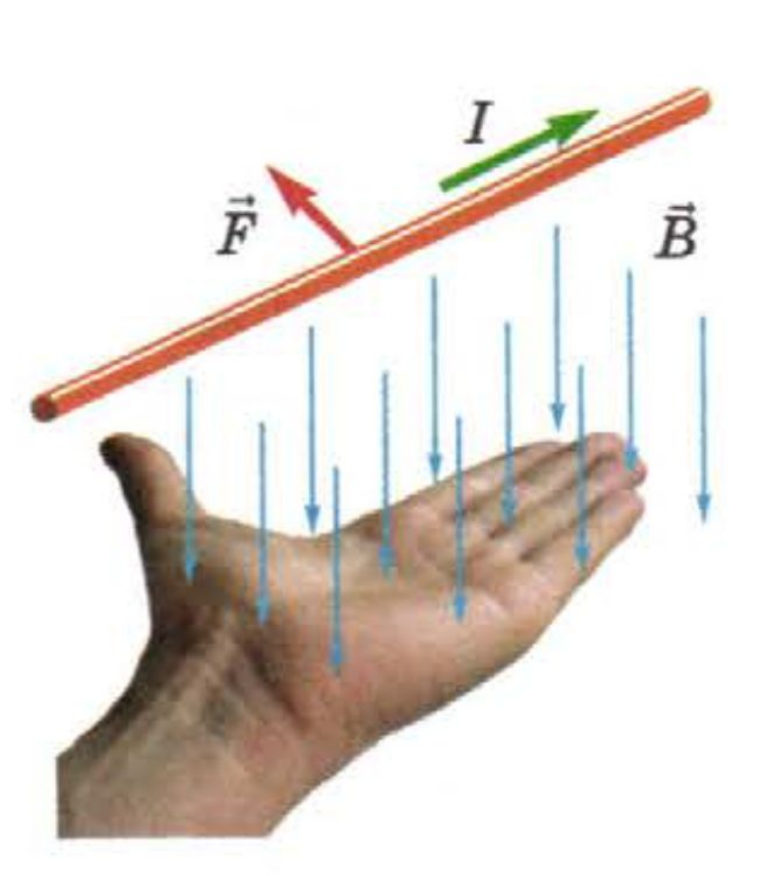
а) $B = 0{,}1$ Тл; $I = 2$ А; $l = 50$ см; $\alpha = 0°$?

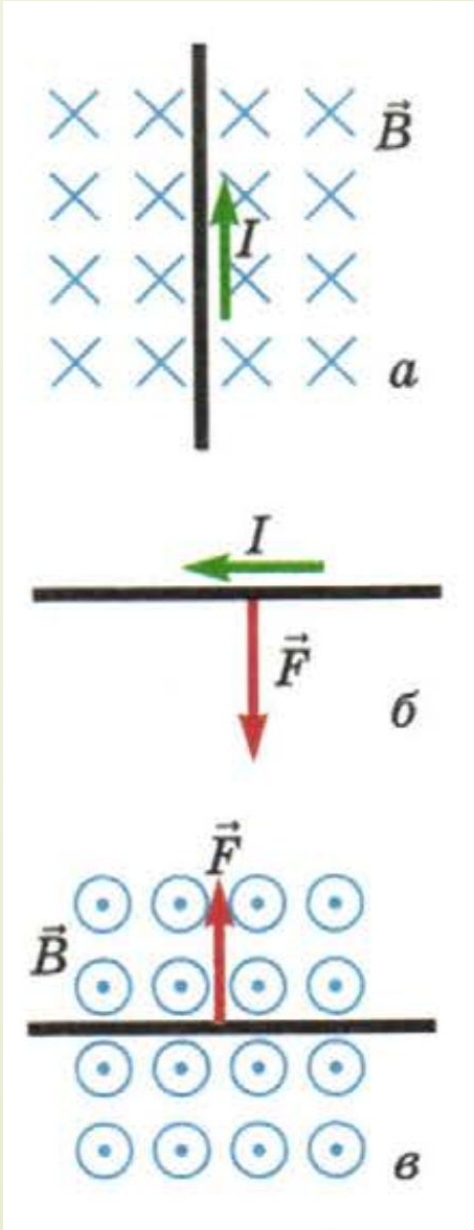
б) $B = 0{,}1$ Тл; $I = 2$ А; $l = 50$ см; $\alpha = 30°$?



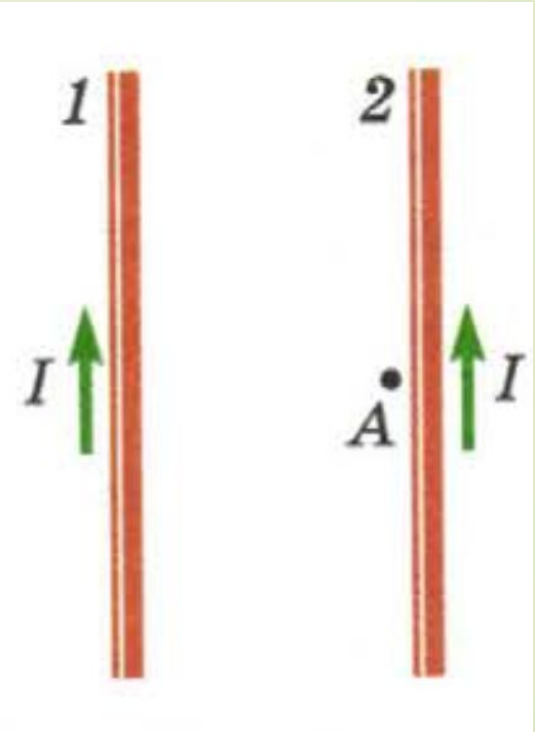
Силы. Сила Ампера. Правило левой руки.

Правило левой руки используется для определения направления силы Ампера.





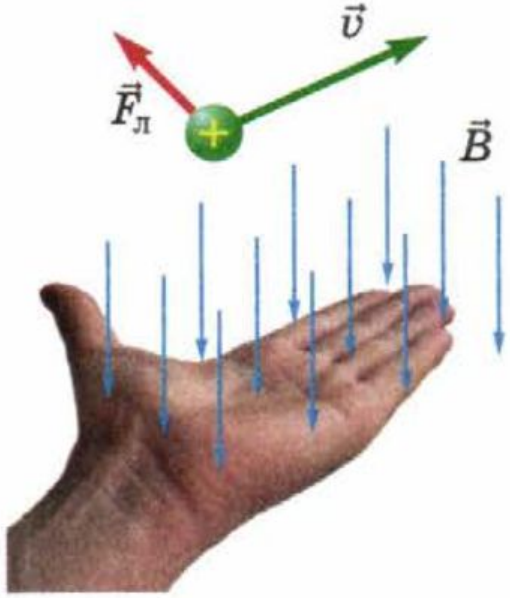
Что можно найти на рисунках?

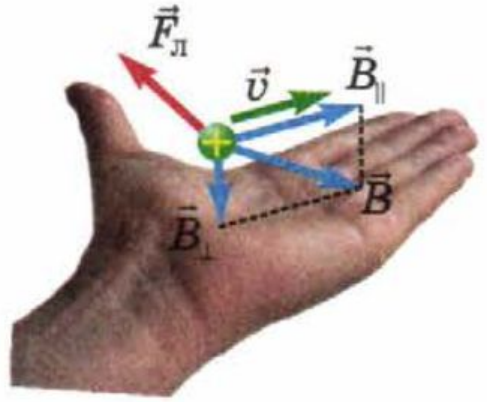


Силы. Сила Лоренца. Определение направления силы.

$$F = qvB \sin \alpha.$$

Чему равна сила Лоренца, если скорость частицы параллельна вектору магнитной индукции?





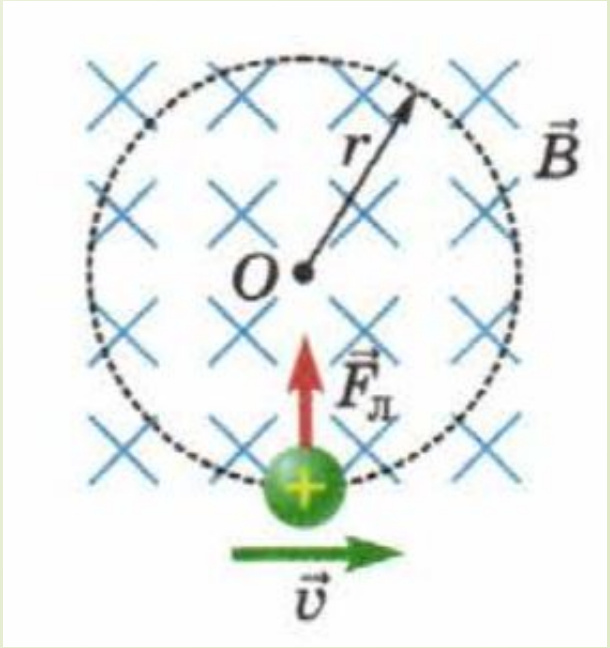
Для определения направления силы Лоренца необходимо поворачивать руку так, чтобы вектор магнитной индукции , перпендикулярный скорости частицы, проходил через ладонь

Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.

Сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости частицы. Влияет только на направление частицы, а не на скорость

Может ли вследствие силы Лоренца поменяться кинетическая энергия частицы?

Чему равно работа силы Лоренца при движении частицы в. магнитном поле?



Домашнее задание

- Где применяется сила Ампера?
- Как связаны между собой сила Ампера и сила Лоренца

Прямолинейный проводник длиной 0,5 м, по которому течёт ток, равный 6 А, расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}4$ Тл под углом 30° к вектору $\vec{B}$. Каков модуль силы, действующей на проводник со стороны магнитного поля?

Медный проводник расположен между полюсами постоянного магнита перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определите площадь поперечного сечения проводника, если сила Ампера, действующая на него, равна 10 Н, модуль вектора магнитной индукции магнитного поля 20 мТл, а напряжение, приложенное к концам проводника, 8,5 В. Удельное сопротивление меди $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-2}$ Ом · мм^2/м.

Домашнее задание

Протон и α-частица движутся с одинаковыми по модулю скоростями в однородном магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции $\vec{B}$. Определите отношение радиусов окружностей $\frac{R_p}{R_\alpha}$, по которым движутся эти частицы.

Рис. 3.7

6. Объясните, почему радиус окружности, по которой будет двигаться частица, определяется формулой

$$r = \frac{mv}{qB}, \qquad (9)$$

где m — масса частицы, v — модуль скорости частицы, q — модуль заряда частицы, B — модуль магнитной индукции.

Подсказка. Воспользуйтесь вторым законом Ньютона, выражением для центростремительного ускорения (через скорость и радиус) и выражением для силы Лоренца.

7. Объясните, почему *период T обращения частицы не зависит от её скорости.*

Подсказка. Воспользуйтесь формулой $T = \frac{2\pi r}{v}$.

Электромагнитная индукция

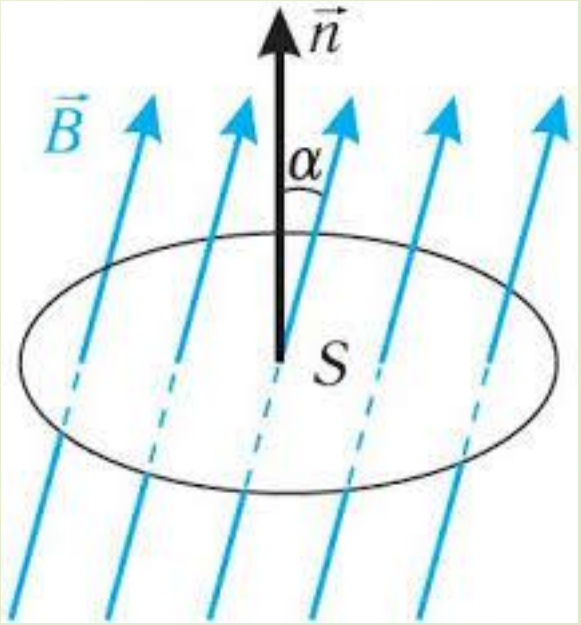
- Индукционный ток возникает при движении магнита и катушки относительно друг друга. Другими словами он возникает при изменении линий магнитной индукции пронизывающих катушку.
- Где используется индукционный ток?

Электромагнитная индукция. Магнитный поток.

- Магнитный поток Ф(Вб) через замкнутый контур равен произведению модуля вектора магнитной индукции B на площадь контура S и на косинус угла между вектором магнитной индукции и перпендикуляром к плоскости контура.

$$\Phi = BS\cos\alpha.$$

1 Вб = 1Тл * 1м^2



Электромагнитная индукция. Магнитный поток.

3. Круглый проволочный виток радиусом 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл и может вращаться вокруг оси, проходящей через его центр и перпендикулярной вектору магнитной индукции $\vec{B}$.

а) Изобразите схематически вектор магнитной индукции и положение витка, при котором пронизывающий его магнитный поток: максимален; минимален.

б) Чему равен максимальный магнитный поток через виток?

в) При каком значении угла между $\vec{B}$ и перпендикуляром к плоскости витка магнитный поток равен половине своего максимального значения?

Электромагнитная индукция. Магнитный поток.

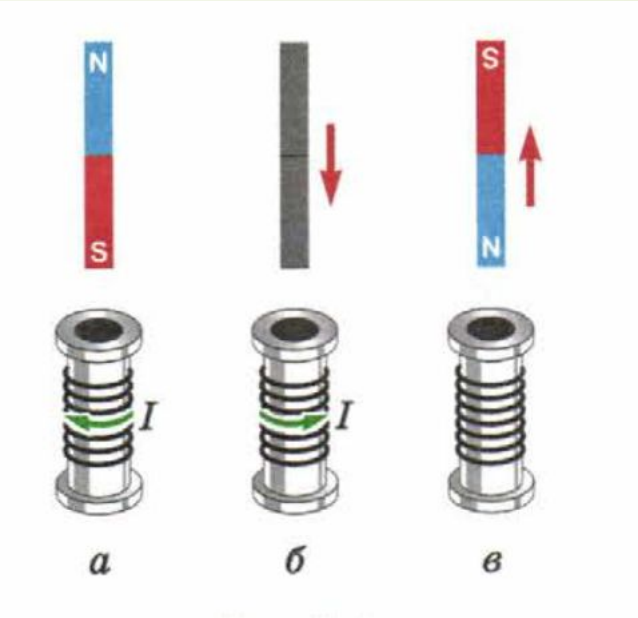
Электромагнитная индукция - явление, при котором вследствие изменения магнитного потока через замкнутый проводящий контур возникает индукционный ток.

Определение направления индукционного тока (Правило Ленца).
Индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, препятствует изменению магнитного потока вызвавшего этот ток.

* Независимо от того, какой стороной магнит приближается к кольцу, вследствие возникновения индукционного тока при приближении магнита к кольцу кольцо отталкивается, а при удалении магнита от кольца притягивается.

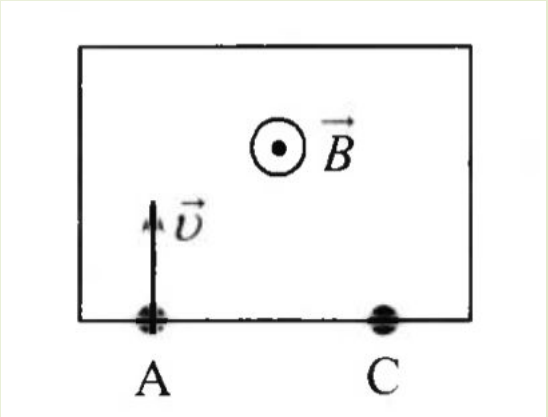
Электромагнитная индукция. Магнитный поток.

- Что можно найти?



Магнитное поле. Задачи.

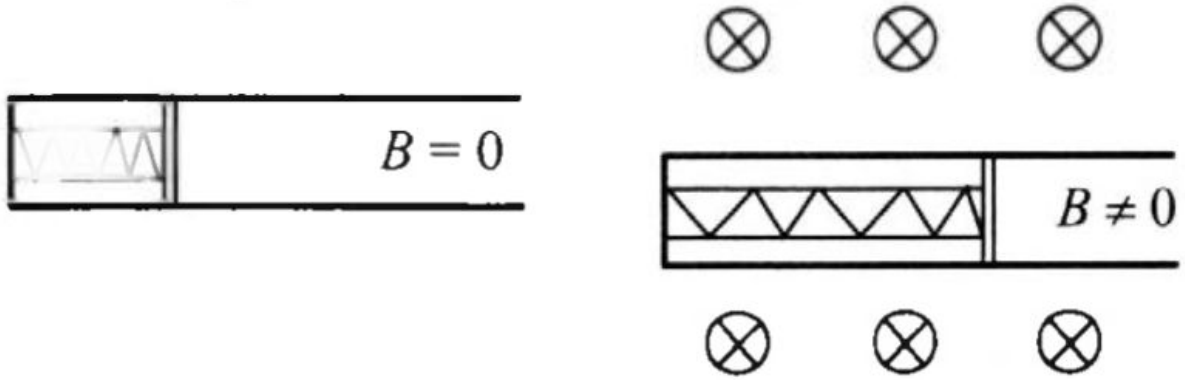
Пучок ионов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке A со скоростью $\upsilon = 1{,}5 \cdot 10^4$ м/с, направленной перпендикулярно стенке AC. В камере создаётся однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле, ионы попадают на мишень, расположенную в точке C на некотором расстоянии от точки A (см. рис.). Определите расстояние AC, если индукция магнитного поля B равна 0,1 Тл, а отношение массы иона к его заряду $\frac{m}{q} = 6 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.



25. Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают плоскую фигуру площадью 0,5 м^2 под углом 30° к её поверхности, создавая магнитный поток, равный 0,2 Вб. Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля?

Магнитное поле. Задачи.

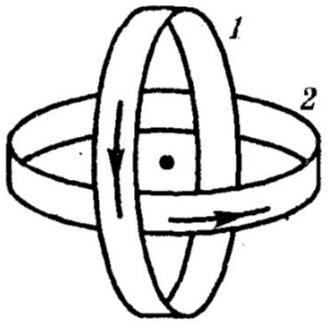
14. Свободно перемещающийся по рамке проводник с током через изолятор прикреплён к пружине жёсткостью 10 Н/м (см. рис.). Длина проводника 0,2 м, и по нему течёт ток силой 5 А. При включении однородного магнитного поля, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки, пружина растянулась на 5 см. Определите величину индукции магнитного поля.



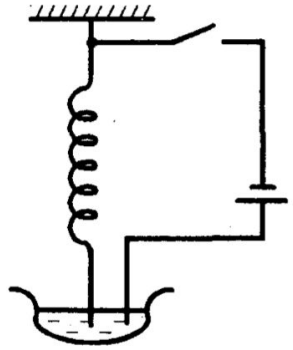
Магнитное поле. Самостоятельная.

15.1.

По двум одинаковым круглым металлическим обручам идут одинаковые токи. Один из обручей расположен вертикально, другой — горизонтально (см. рисунок). Определите направление вектора магнитной индукции B в общем центре обручей.

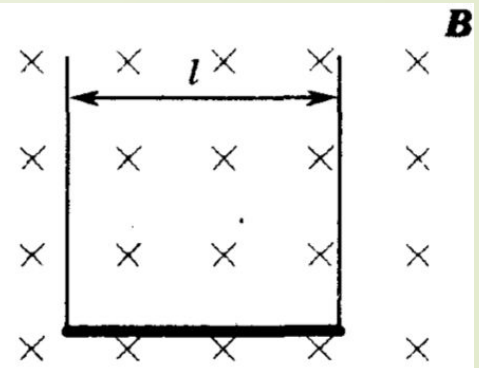


Мягкая спиральная пружина висит, погрузившись нижним концом на небольшую глубину в ртуть (см. рисунок). Что произойдет после замыкания ключа?



15.6.

Между полюсами электромагнита в горизонтальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}05$ Тл находится прямолинейный проводник массой $m = 5{,}0$ г и длиной $l = 50$ см, подвешенный горизонтально на гибких проводах под прямым углом к магнитному полю (см. рисунок). Через проводник пропускают ток. При какой силе тока I исчезает натяжение проводов, поддерживающих проводник? В какую сторону должен при этом идти ток?



К задаче 15.6

15.7.

Горизонтальные рельсы находятся в вертикальном однородном магнитном поле на расстоянии $l = 15$ см друг от друга. На них лежит стальной стержень массой $m = 300$ г, перпендикулярный рельсам. Коэффициент трения между стержнем и рельсами $\mu = 0{,}20$. Чтобы стержень сдвинулся с места, по нему необходимо пропустить ток силой $I = 40$ А. Какова индукция B магнитного поля?

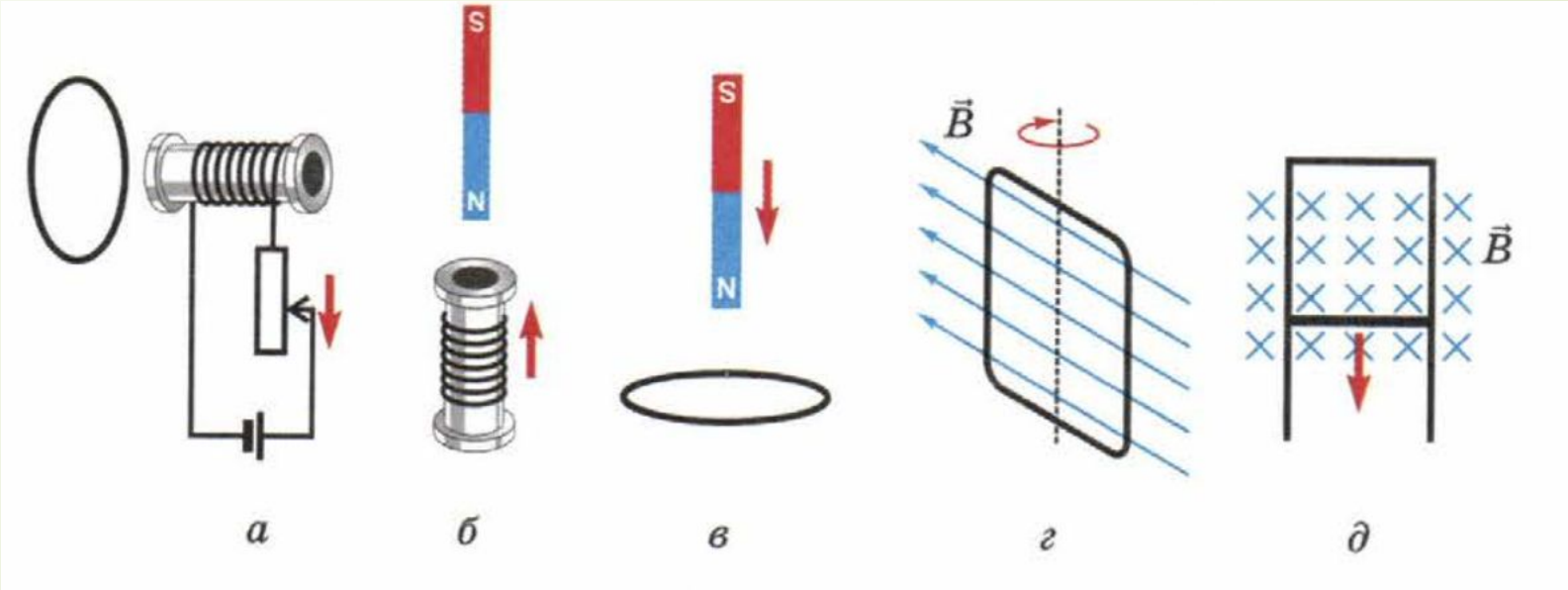
Закон электромагнитной индукции.

Индукционный ток возникает в проводящем замкнутом контуре вследствие изменения магнитного потока, пронизывающего этот контур.

Магнитный поток через контур меняется

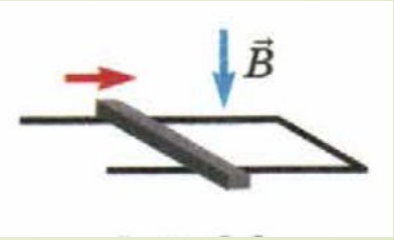
Контур перемещать в постоянном магнитном поле

Изменять во времени пронизывающее неподвижный контур магнитное поле



Возникновение индукционного тока при движении проводника

Пример:
Металлический стержень скользит по металлическим рельсам, находящемся в однородном магнитном поле. На свободные заряды (электроны) действует сила Лоренца.

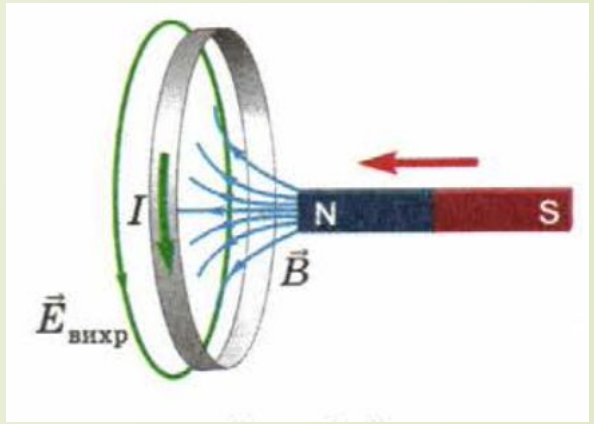


Куда направлена сила Лоренца?
Куда направлен индукционный ток в контуре?

*Если проводящий контур (или его часть) движется в постоянном магнитном поле, индукционный ток обусловлен действием силы Лоренца на свободные заряды

Возникновение индукционного тока под действием вихревого электрического поля.

Пусть полосовой магнит приближается к проводящему кольцу. Магнитный поток через кольцо увеличивается, -> возникает индукционный ток. Сила Лоренца тут не работает, так как на неподвижные заряды магнитное поле не действует☹



Объяснить это явление смог английский физик Максвелл, который построил работающую теорию, **теорию электромагнитного поля.**
Переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое.
Отличие от обычного эл.поля:

- Линии напряженности поля замкнуты.

Вихревое электрическое поле существует всюду, где есть переменное магнитное поле, - независимо от того, есть в этом месте замкнутый проводящий контур или нет.

Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции.

Электродвижущая сила – отношение работы сторонних сил по перемещению заряда.

$$\mathscr{E} = \frac{A_{стор}}{q}$$

Сила, обусловленная изменением магнитного потока через контур – ЭДС индукции $\mathscr{E}_i$

Закон электромагнитной индукции.

Сила индукционного тока равна отношению ЭДС индукции на внешнее R и внутреннее r сопротивления цепи.

$$I_i = \frac{\mathscr{E}_i}{R + r}$$

Фарадеем было установлено, что независимо от способа изменения магнитного потока связана со скоростью изменения магнитного потока.

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

Знак минус следует из правила Ленца, согласно которому индукционный ток препятствует изменению магнитного потока, которое этот ток вызвало.

Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции. Задачи.

Квадратная проволочная рамка сопротивлением 20 Ом со стороной 10 см находится в однородном магнитном поле. Вектор магнитной индукции поля перпендикулярен плоскости рамки. Модуль магнитной индукции увеличивается пропорционально времени: на 2 Тл за 5 с.

А) Насколько увеличился магнитный поток за указанное время?
Б) Чему равна скорость изменения магнитного потока через рамку?
В) Чему равна ЭДС индукции?
Г) Чему равна сила индукционного тока?
Д) Какой заряд прошел в рамке за указанное время?
Е) Какое количество теплоты выделилось в рамке за указанное время?

Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции. Домашнее задание.

7. Объясните, почему справедливо соотношение

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} R = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|, \qquad (4)$$

где Δq — заряд, прошедший в контуре за время Δt, а R — полное сопротивление контура.

8. Объясните, почему справедливо соотношение

$$\Delta q = \frac{|\Delta \Phi|}{R}, \qquad (5)$$

где Δq — заряд, прошедший в контуре при изменении пронизывающего этот контур магнитного потока на $\Delta \Phi$.

Подсказка. Воспользуйтесь формулой (4).

9. Круглая проволочная рамка радиусом 5 см и сопротивлением 40 Ом лежит на столе в вертикальном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Какой заряд пройдёт в рамке, если:

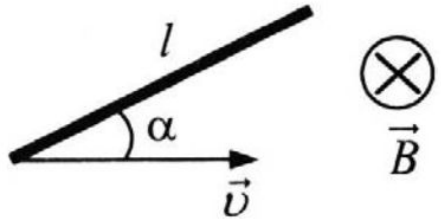
а) повернуть её так, чтобы её плоскость стала вертикальной?

б) перевернуть её и положить на стол другой стороной?

Подсказка. В случае *б* изменение магнитного потока в 2 раза больше, чем в случае *а*.

Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции. Домашнее задание.

27. Проводящий стержень длиной $l = 40$ см движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью $\upsilon = 0{,}5$ м/с так, что угол между стержнем и вектором скорости $\alpha = 30°$ (см. рис.). Плоскость движения стержня перпендикулярна вектору индукции магнитного поля. ЭДС индукции в стержне равна 0,05 В. Какова индукция магнитного поля?



29. В проводнике индуктивностью 4 мГн сила тока в течение 0,4 с равномерно возрастает с 2 А до 10 А. Определите модуль ЭДС самоиндукции, которая возникает в проводнике.

31. Кольцо радиуса 20 см из тонкой проволоки с сопротивлением 0,16 Ом находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого пересекают плоскость кольца под углом 60°. За какое время в кольце выделится количество теплоты 555 мкДж, если магнитная индукция убывает со скоростью 0,05 Тл/с? Ответ округлите до десятых.