

Взаимодействие токов.  
Действие магнитного поля на  
движущийся заряд. Сила  
Лоренца.

# Магнитное поле

- особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами.

1) Поле материально

2) Оно обладает определенными свойствами, которые можно обнаружить экспериментально

# Магнитное поле

## Основные свойства



- 1) Порождается электрическим током
- 2) Обнаруживается по действию на электрический ток

# Магнитное поле

Чтобы описать магнитное взаимодействие токов



решить три задачи

1

Ввести величину, количественно характеризующую магнитное поле

2

Установить закон, определяющий распределение магнитного поля в пространстве в зависимости от

3

тока  
Найти выражение для силы, действующей на ток со стороны магнитного поля

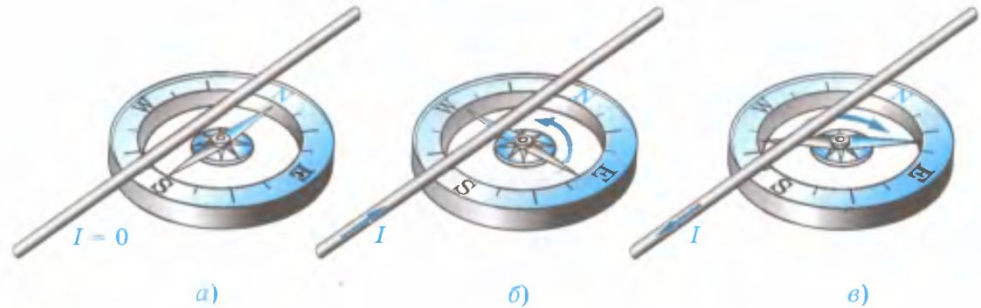
# Опыт Эрстеда



**Ганс Христиан Эрстед**  
(1777-1851)  
датский физик.  
Профессор  
Копенгагенского  
университета.

1820 г. - важнейшее открытие.  
Опыт Эрстеда – прямое доказательство  
взаимосвязи электричества и магнетизма.

Показано, что электрический ток оказывает  
магнитное действие, влияя на стрелку компаса.

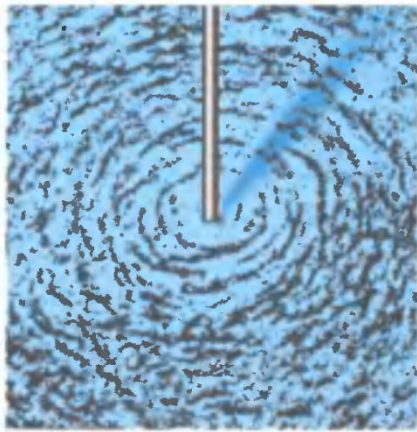


**А)** тока нет, стрелка компаса направлена вдоль проводника.

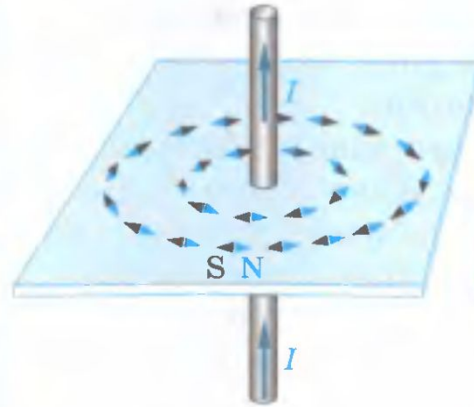
**Б)** ток течет в одном направлении, стрелка компаса поворачивается и устанавливается перпендикулярно проводнику с током.

**В)** ток течет в противоположном направлении, стрелка компаса делает оборот и опять устанавливается перпендикулярно

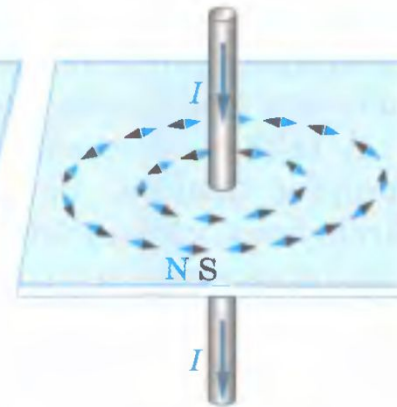
# Магнитное действие проводника с током



а)



б)



В пространстве вокруг проводника с током возникает поле, называемое магнитным.

## Магнитное действие проводника с током в перпендикулярной плоскости:

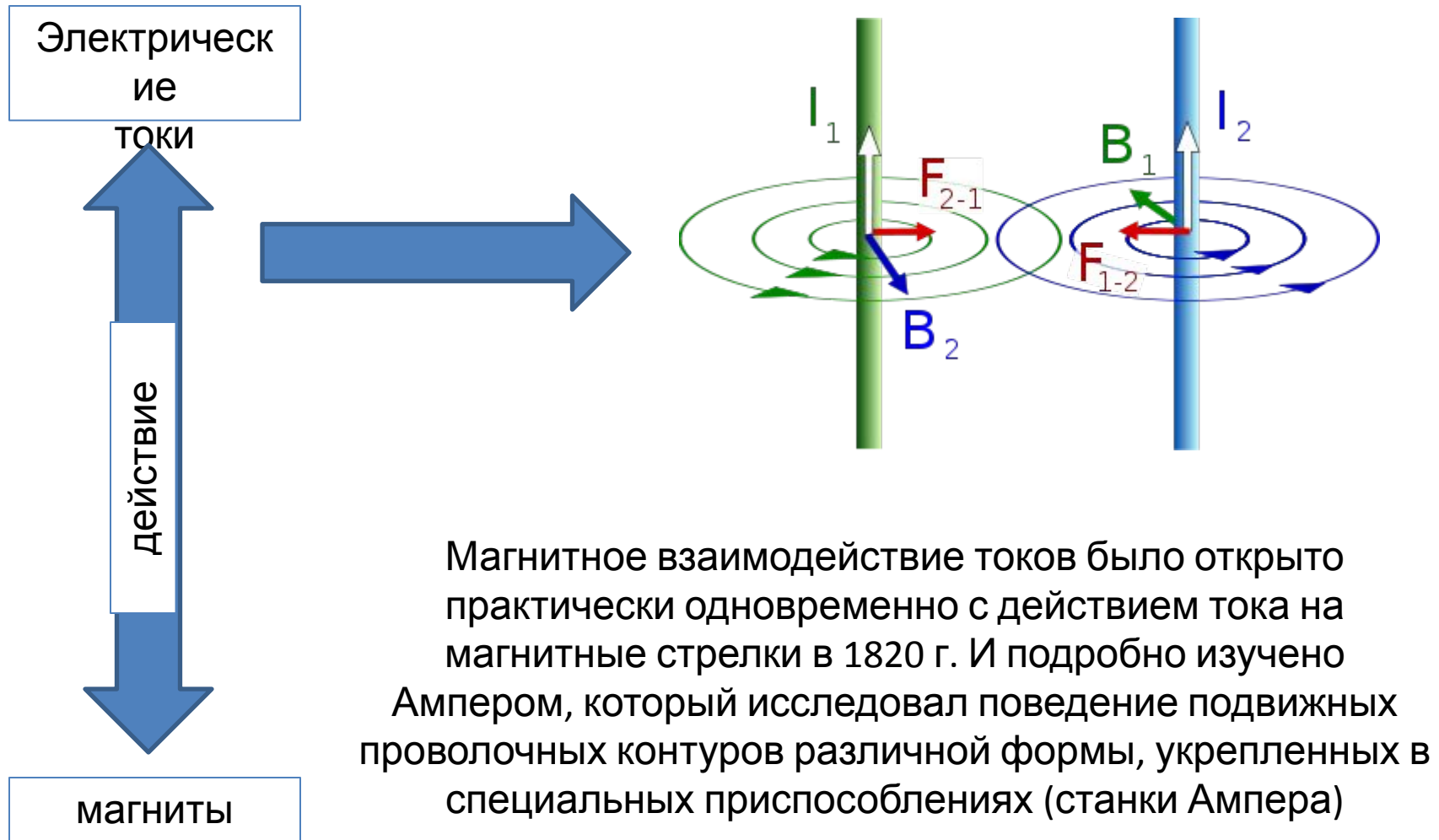
А) на железные опилки  
стрелки

Б) на магнитные

В плоскости, перпендикулярной проводнику с током, железные опилки и магнитные стрелки располагаются по касательным к концентрическим окружностям

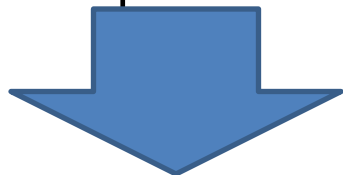
Пространственная ориентация опилок и стрелок изменяется на

# Магнитное взаимодействие токов

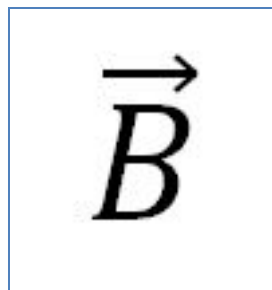


# Вектор магнитной индукции

В магнитном поле тока магнитная стрелка устанавливается в определенном направлении



Величина, характеризующая магнитное поле должна быть векторной и связанной с ориентацией магнитной стрелки



- векторная физическая величина, характеризующая магнитное поле

Единица магнитной индукции =

Тесла

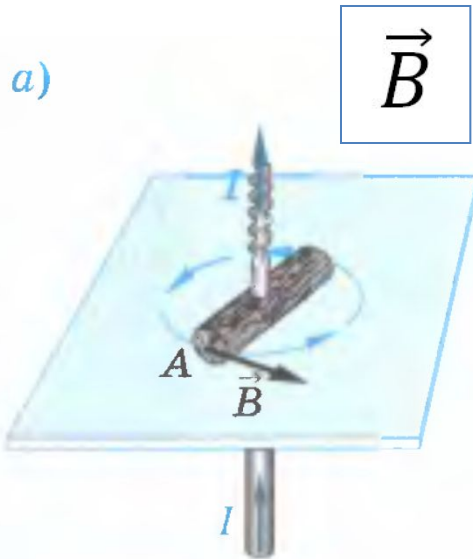
$$[\vec{B}] = 1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$

вектор магнитной индукции



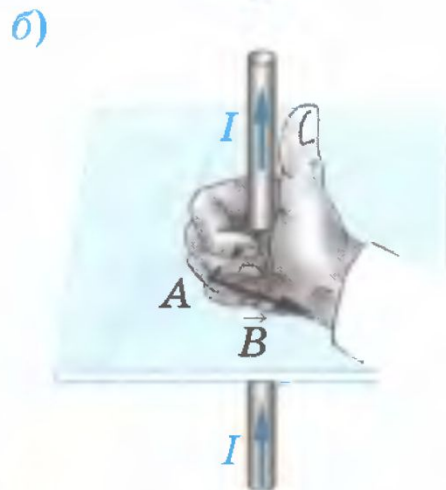


# Направление вектора магнитной индукции



Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки

Для определения направления вектора магнитной индукции поля, созданного вокруг проводника с током, следует использовать любое из правил:

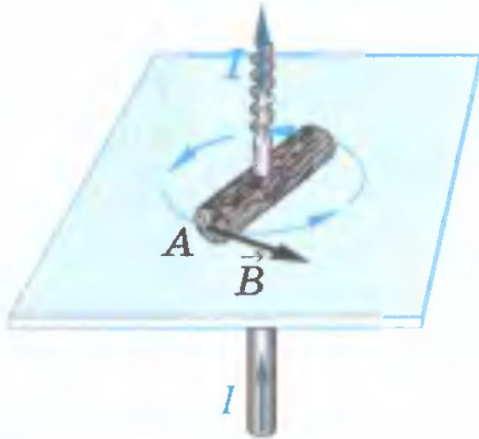


А) правило буравчика (правого винта, штопора) для прямого тока

Б) правило правой руки для прямого тока

# Направление вектора магнитной индукции

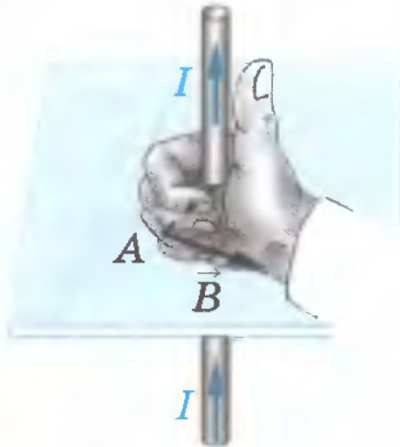
a)



Правило буравчика (правого винта, штопора):

Если ввинчивать буравчик по направлению тока в проводнике, то направление скорости движения конца рукоятки в данной точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  в этой точке.

б)



Правило правой руки для прямого тока:

Если охватить проводник правой рукой, направив отогнутый большой палец по направлению тока, то кончики остальных пальцев в данной точке покажут направление вектора  $\vec{B}$  индукции в данной точке.

# Направление вектора магнитной индукции

Правило буравчика:

Правило правой руки  
для прямого тока:

позволяют находить направление  
вектора магнитной индукции,  
созданной только прямым током

**НО**

!

Мысленно разделив криволинейный проводник на прямолинейные участки, можно найти направление вектора магнитной индукции от каждого участка, а затем сложить эти векторы.

Для магнитного поля также как и для электрического выполняется принцип суперпозиции!!!

# Принцип суперпозиции для магнитного поля

## Принцип

суперпозиции:

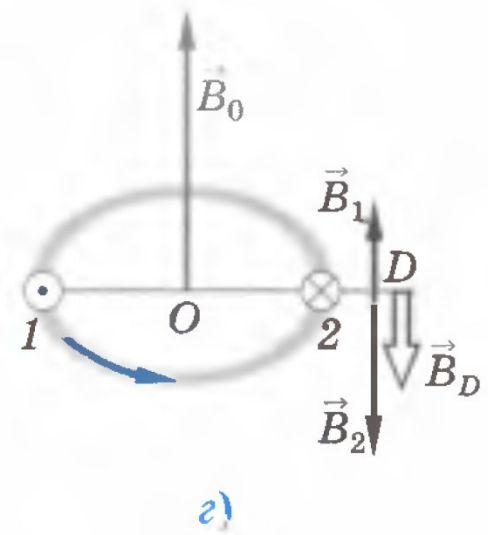
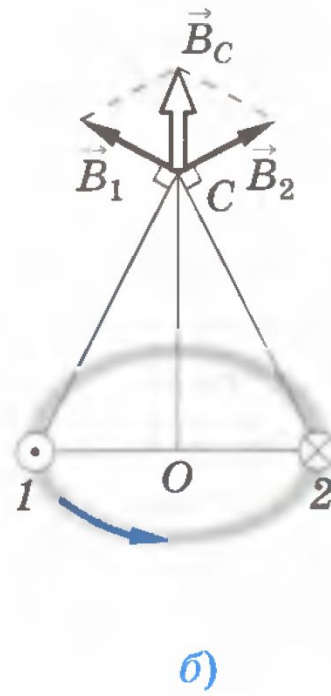
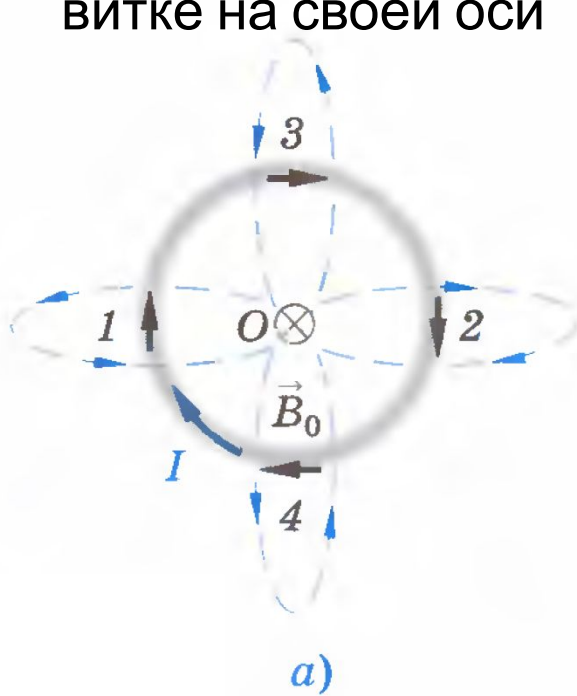
Результирующий вектор магнитной индукции в данной точке складывается из векторов магнитной индукции, созданной различными токами в этой точке:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

# Принцип суперпозиции для магнитного поля

Правило буравчика для витка с током (контурного тока):

Если вращать рукоятку буравчика по направлению тока в витке, то поступательное перемещение буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции, созданной током в витке на своей оси

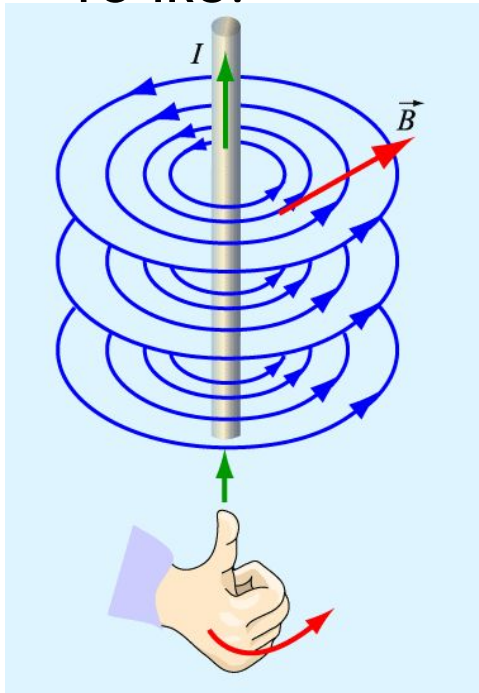


# Линии магнитной индукции

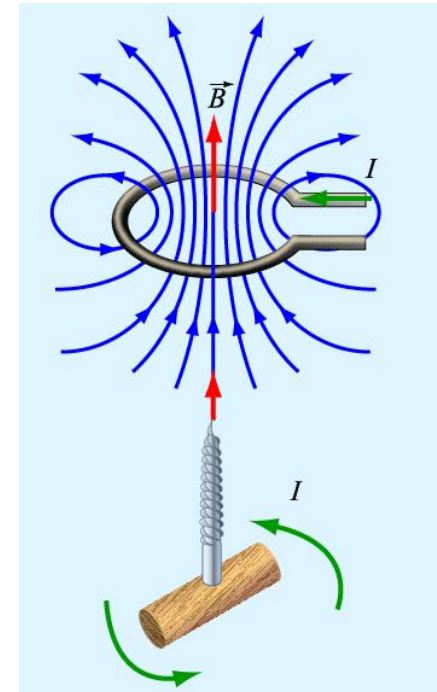
Линии магнитной

индукции

линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции в этой точке.



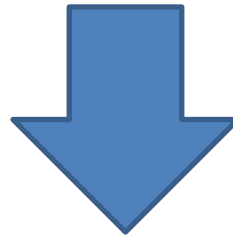
Подобно линиям  
электрического поля  
дают наглядную  
картину магнитного  
поля



# Линии магнитной индукции

Особенность:

Линии магнитной индукции всегда замкнуты: они не имеют начала и конца.



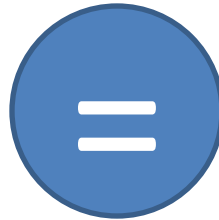
Магнитное поле (в отличие от электрического) не имеет источников: магнитных зарядов (подобных электрическим) не существует!!!

# Линии магнитной индукции

Магнитное

поле:

ВИХРЕВОЕ!!!



ПОЛЕ С ЗАМКНУТЫМИ ЛИНИЯМИ МАГНИТНОЙ  
ИНДУКЦИИ



# Закон Ампера

## Гипотез

а: Внутри молекул вещества циркулируют элементарные электрические токи (круговые)

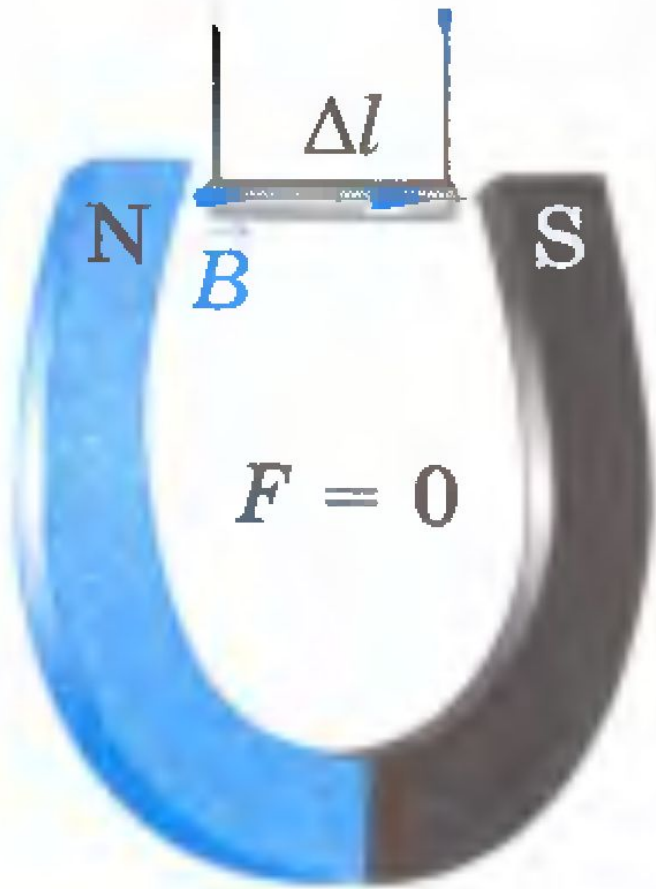
В намагниченном состоянии они ориентированы так, что их действия складываются

Магнитное поле действует на все участки проводника с током с некоторой силой. Зная направление и величину силы, действующей на каждый малый отрезок проводника, можно найти силу, действующую на весь

проводник

1820 г. Ампер: установил направление силы и от каких величин она зависит.

# Закон Ампера



a)

$\Delta l$  – отрезок проводника

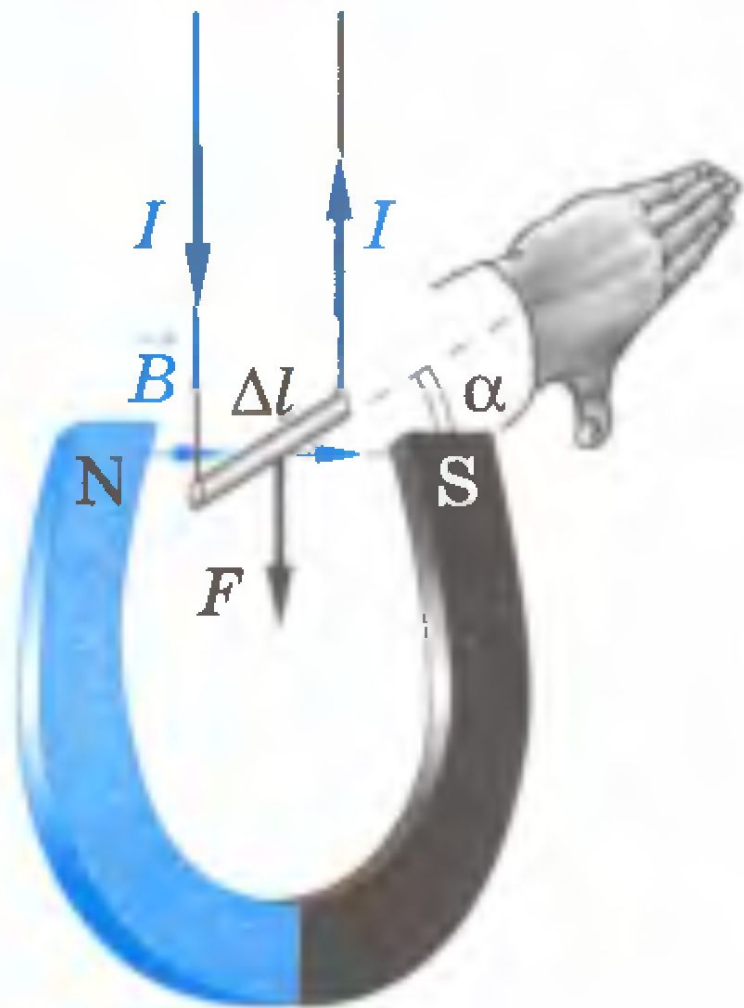
Тока в проводнике нет

( $I=0$ )



Сила на проводник не действует

# Закон Ампера



б)

$\Delta l$  – отрезок проводника

По проводнику течет ток.  
Направление тока  
составляет угол  $\alpha$  с  
вектором магнитной

ИНДУКЦИИ

на отрезок проводника  
действует сила

Определяется – по закону Ампера

# Закон Ампера

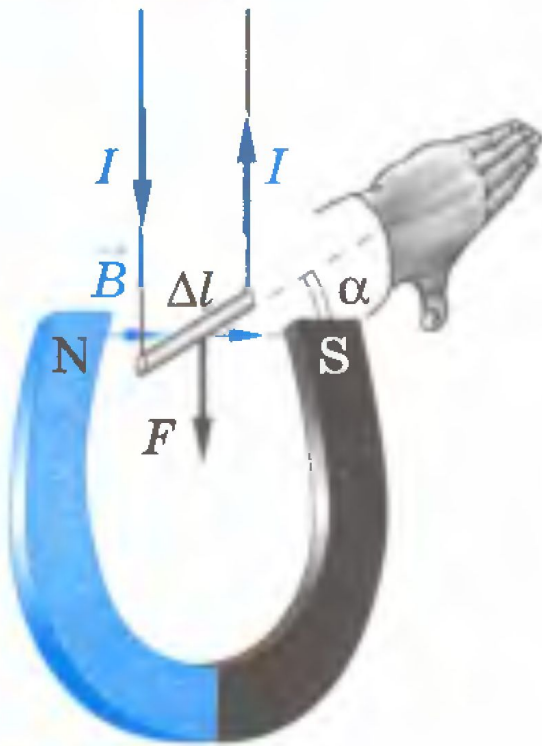
Сила, с которой магнитное поле действует на помещенный в него отрезок проводника с током, равна произведению силы тока, модуля вектора магнитной индукции, длины отрезка проводника и синуса угла между направлениями тока и магнитной индукции.

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

Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки

# Закон Ампера

Правило левой руки:



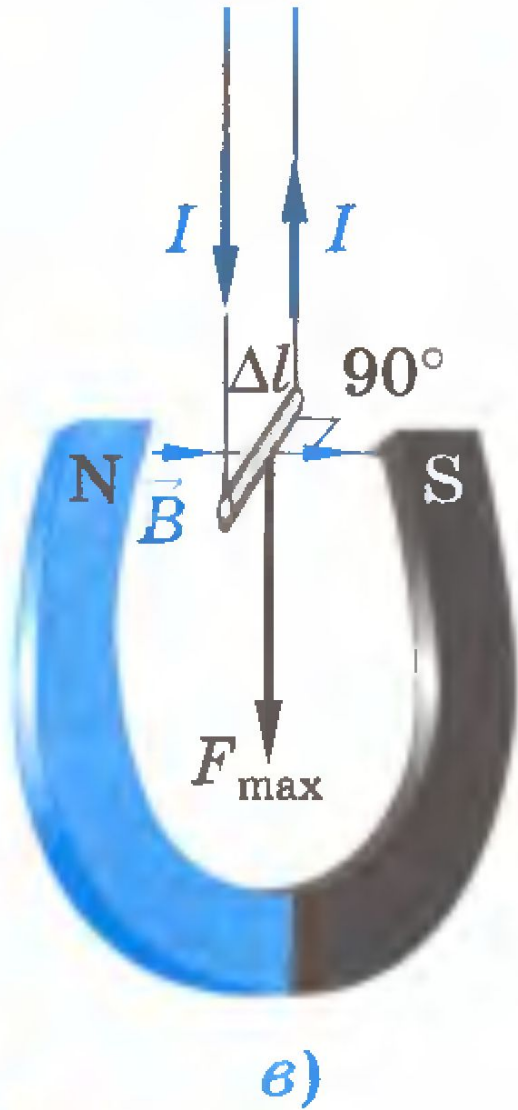
Если кисть левой руки расположить так, что четыре вытянутых пальца указывают направление тока в проводнике, а вектор магнитной индукции входит в ладонь, то отогнутый (в плоскости ладони) на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы, действующей

на отрезок проводника

Сила Ампера перпендикулярна направлению тока и вектору магнитной индукции

# Закон Ампера

Максимальная сила  $F_{A \max}$  действует на отрезок проводника, расположенный перпендикулярно вектору магнитной индукции, так как при  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$



$$F_{A \max} = IB\Delta l.$$

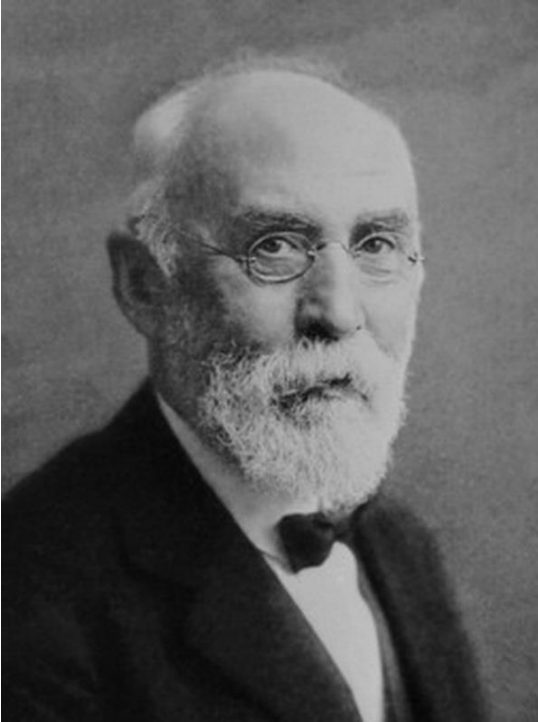
# Закон Ампера

Модуль вектора магнитной индукции:

- физическая величина, равная отношению максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на отрезок проводника с током, к произведению силы тока на длину отрезка проводника

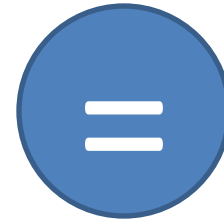
$$B = \frac{F_{A \max}}{I \cdot \Delta l}$$

# Сила Лоренца



**Хендрик Антон Лоренц**  
(18.07.1853 – 04.02.1928)  
Нидерландский физик  
Создатель электронной  
теории строения  
вещества

## Сила Лоренца



- сила, действующая на  
движущуюся заряженную  
частицу со стороны  
магнитного поля



# Сила Лоренца

$$F_L = |q|vB \sin\alpha$$

$F_L$  – модуль силы Лоренца

$|q|$  – модуль заряда частицы

$v$  – скорость частицы

$B$  – магнитная индукция поля

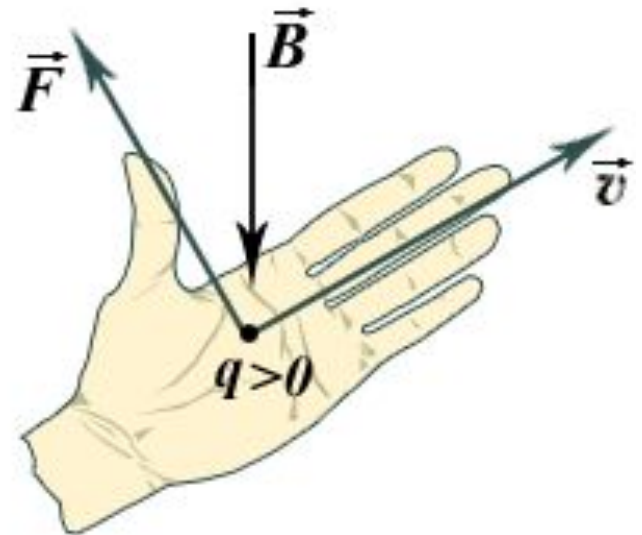
$\alpha$  – угол между вектором магнитной индукции  
и вектором скорости заряженной частицы

# Сила Лоренца

Направление силы Лоренца определяет правило левой руки

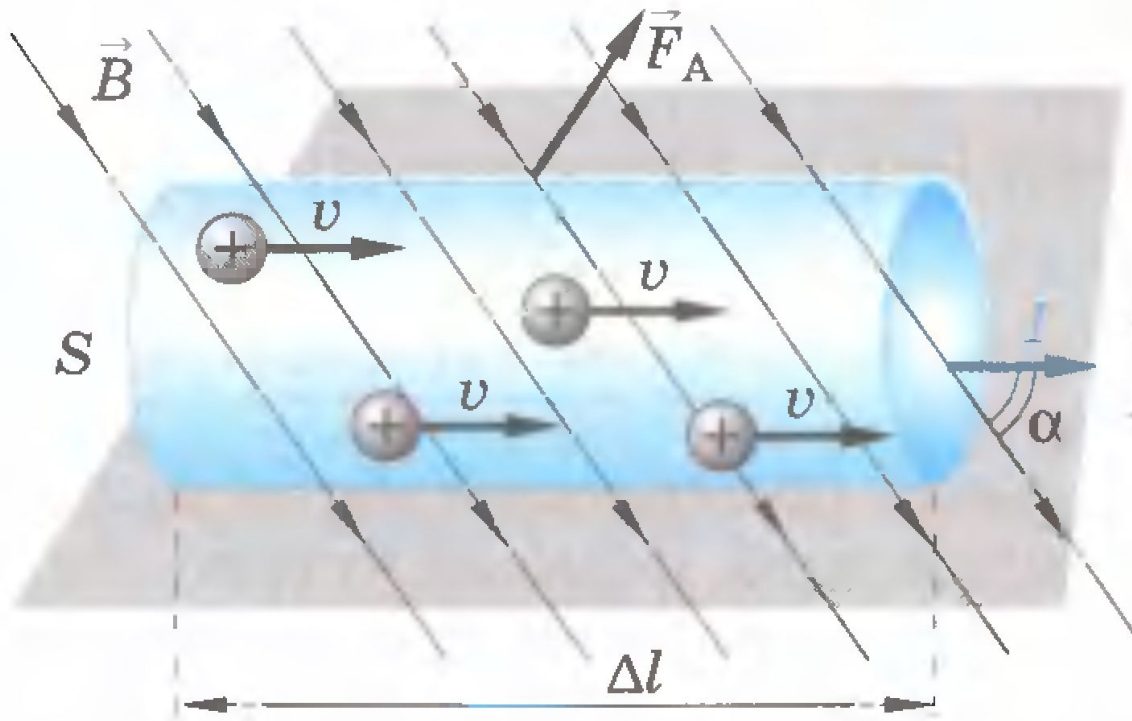
Правило левой руки:

Если кисть левой руки расположить так, что четыре вытянутых пальца указывают направление скорости положительного заряда (или противоположное скорости отрицательного заряда), а вектор магнитной индукции входит в ладонь, то отогнутый в плоскости ладони на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы, действующей на данный заряд

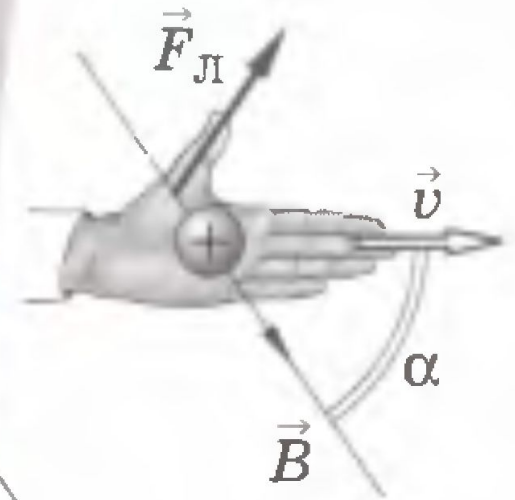


# Сила Лоренца

Правило левой руки:

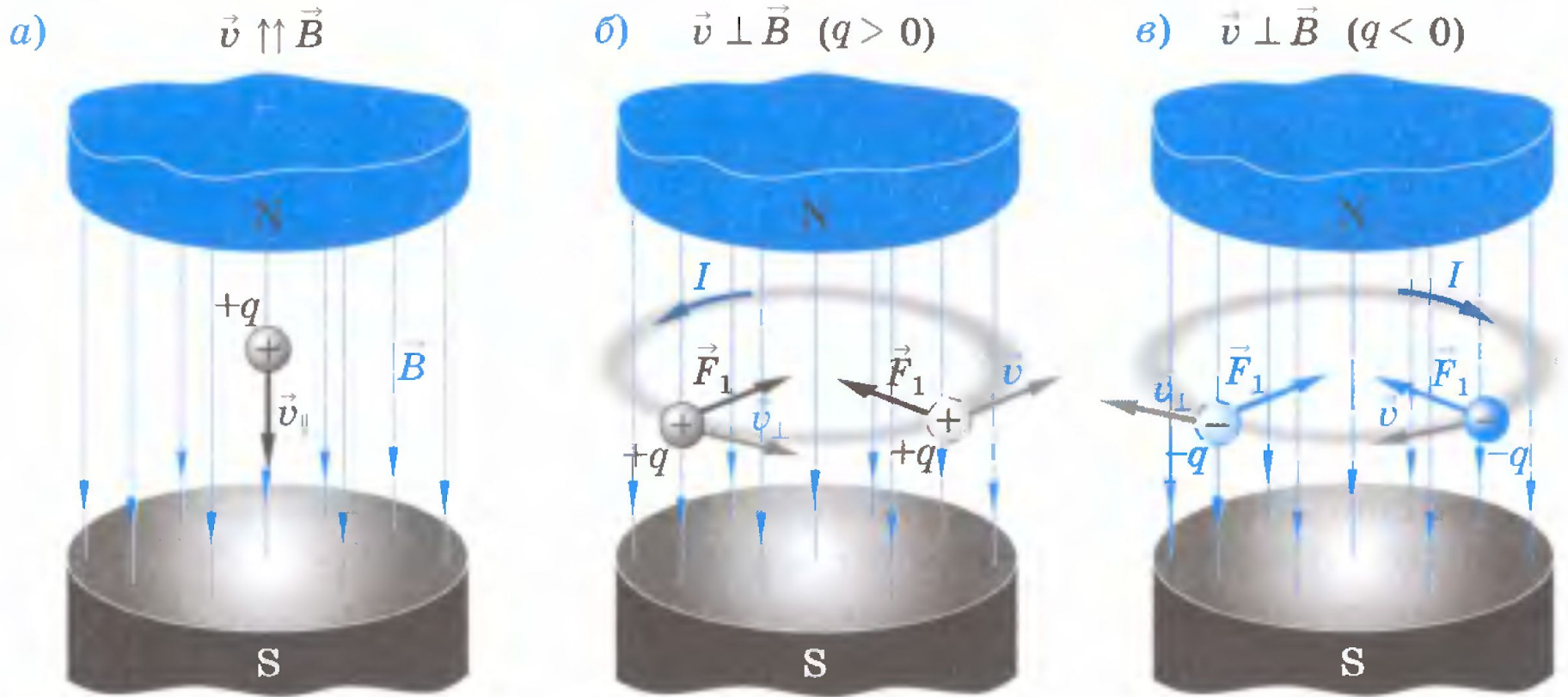


a)



б)

# Сила Лоренца



*Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле*

## З А Д А Ч И

1. Индукция однородного магнитного поля  $B = 0,3$  Тл направлена в положительном направлении оси  $X$ . Найдите модуль и направление силы Лоренца, действующей на протон, движущийся в положительном направлении оси  $Y$  со скоростью  $v = 5 \cdot 10^6$  м/с (заряд протона  $e^+ = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл) **[ $2,4 \cdot 10^{-13}$  Н]**
2. Используя данные задачи 1, найдите радиус окружности, по которой движется протон, а также его период обращения по этой окружности (масса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг). **[17 см; 0,22 мкс]**
3. Покоящаяся сначала  $\alpha$ -частица ( $m_\alpha = 6,68 \cdot 10^{-27}$  кг,  $q = +2e$ ), пройдя ускоряющую разность потенциалов  $U = 1$  кВ, влетает в однородное магнитное поле. Диаметр окружности, по которой начинает вращаться  $\alpha$ -частица, равен  $D = 6,4$  см. Найдите модуль индукции магнитного поля. **[0,2 Тл]**
4. Два электрона влетают в однородное магнитное поле со скоростью  $v = 5 \cdot 10^6$  м/с. Один из электронов влетает в поле в начале координат в положительном направлении оси  $X$ , двигаясь затем по окружности, пересекающей положительное направление оси  $Z$  на расстоянии  $D = 8$  см. Второй электрон летит прямолинейно в положительном направлении оси  $Y$ . Найдите модуль и направление вектора магнитной индукции ( $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг,  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл). **[0,72 мТл]**