

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

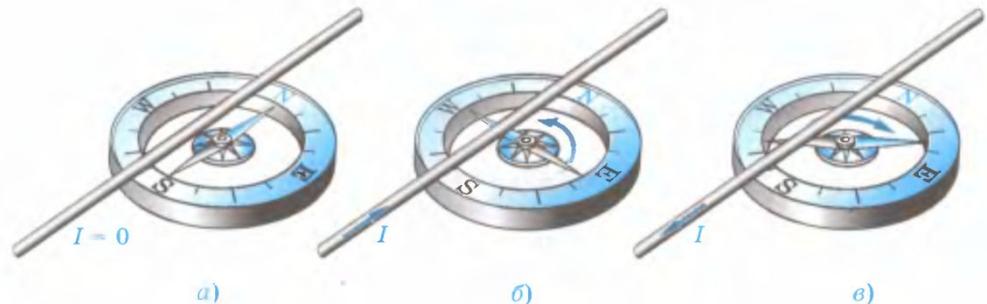
Опыт Эрстеда



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.

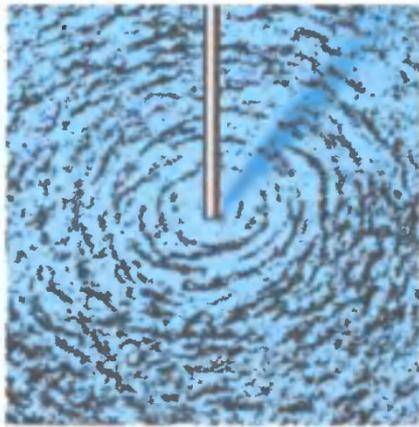


А) тока нет, стрелка компаса направлена вдоль проводника.

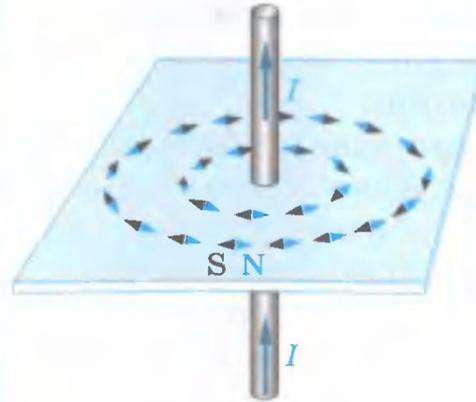
Б) ток течет в одном направлении, стрелка компаса поворачивается и устанавливается перпендикулярно проводнику с током.

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

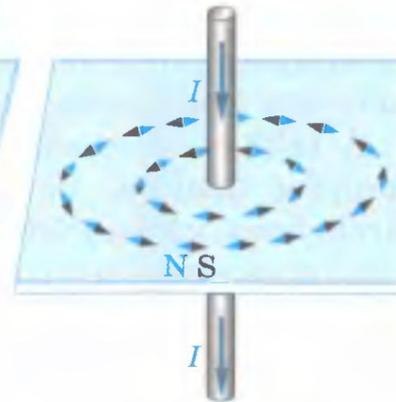
Магнитное действие проводника с током



а)



б)



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

Магнитное действие проводника с током в перпендикулярной плоскости:

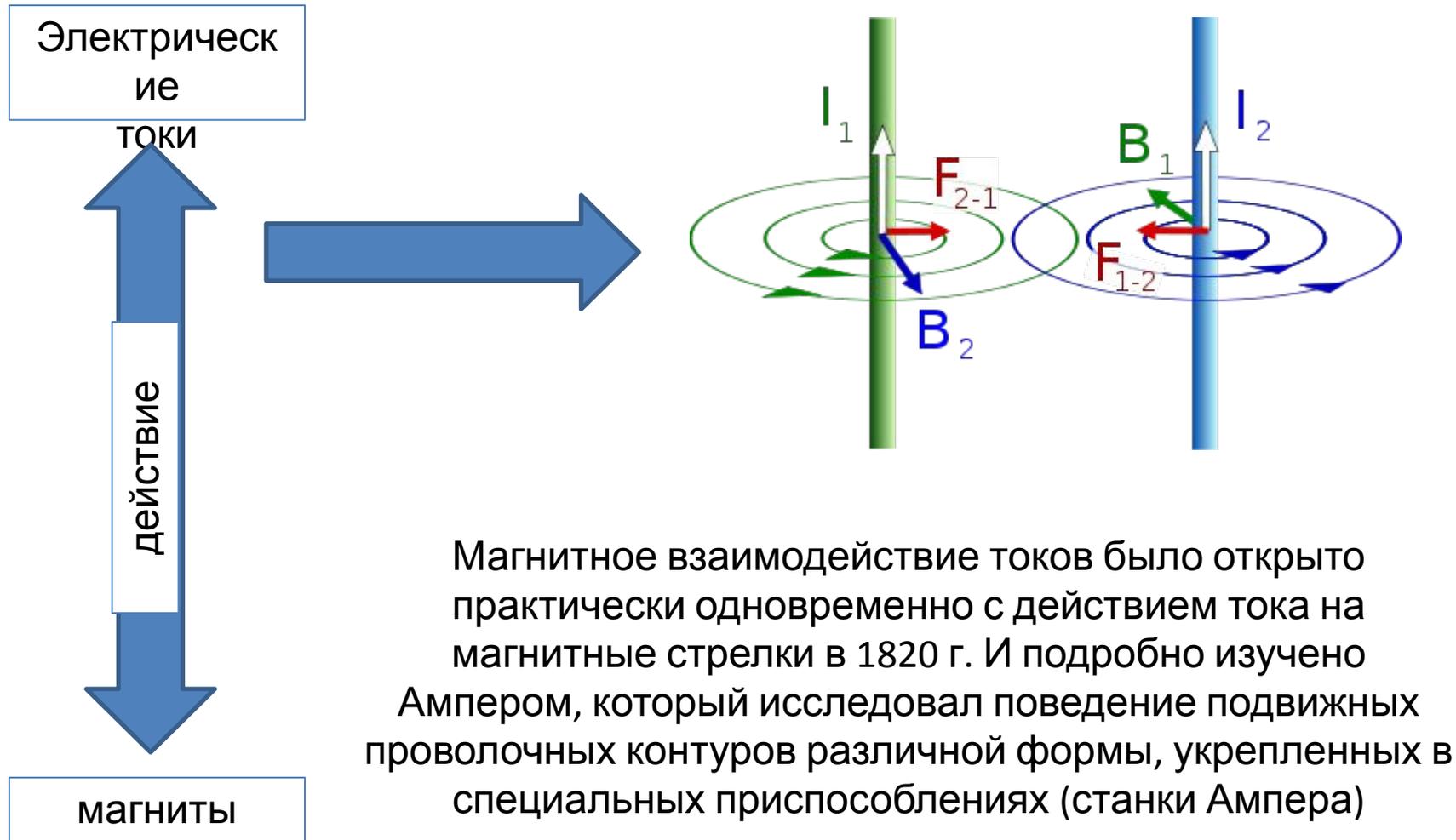
А) на железные опилки
стрелки

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

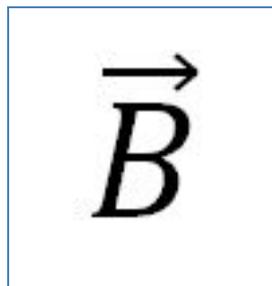


Вектор магнитной индукции

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 =

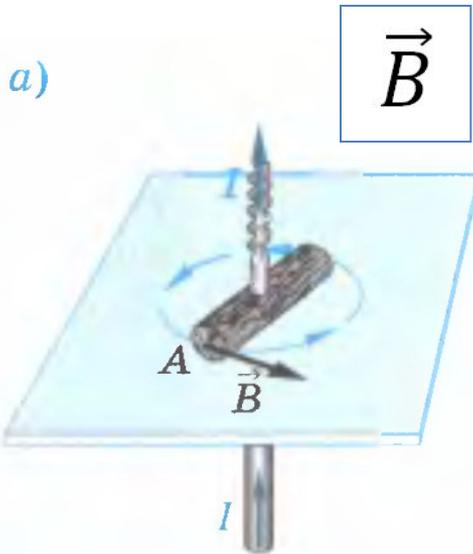
Тесла

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

вектор магнитной индукции

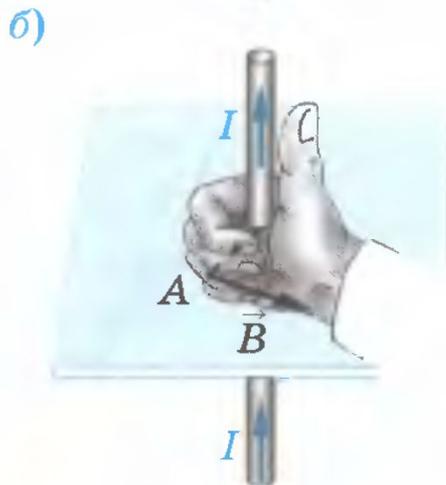


Направление вектора магнитной индукции



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:

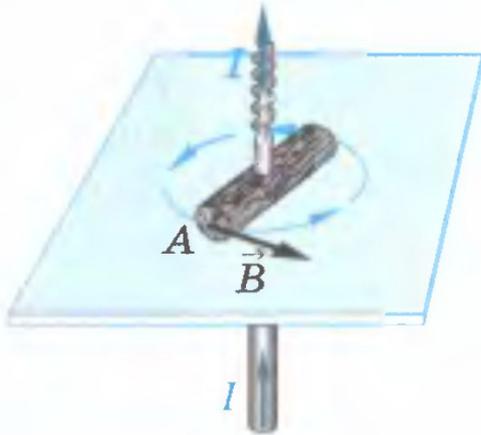


А) правило буравчика (правого винта, штопора) для прямого тока

Б) правило правой руки для прямого тока

Направление вектора магнитной индукции

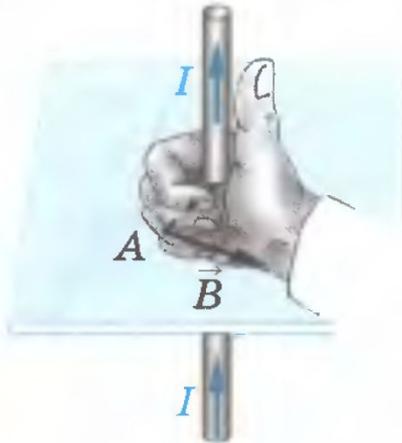
a)



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:

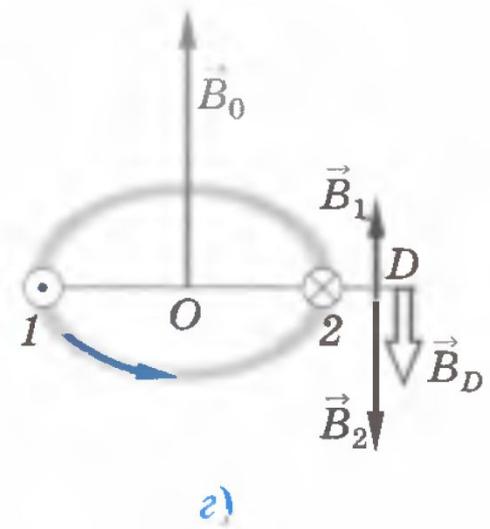
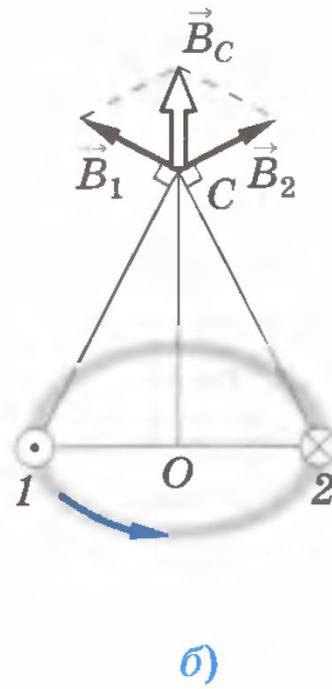
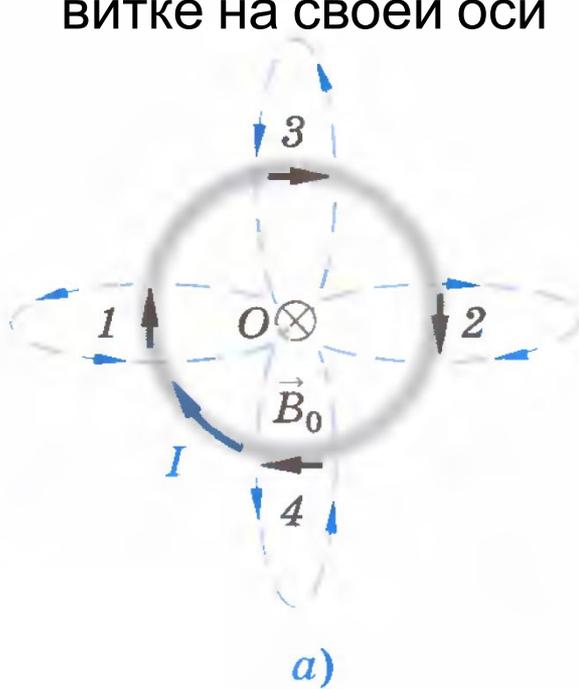
Результирующий вектор магнитной индукции в данной точке складывается из векторов магнитной индукции, созданной различными токами в этой точке:

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

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

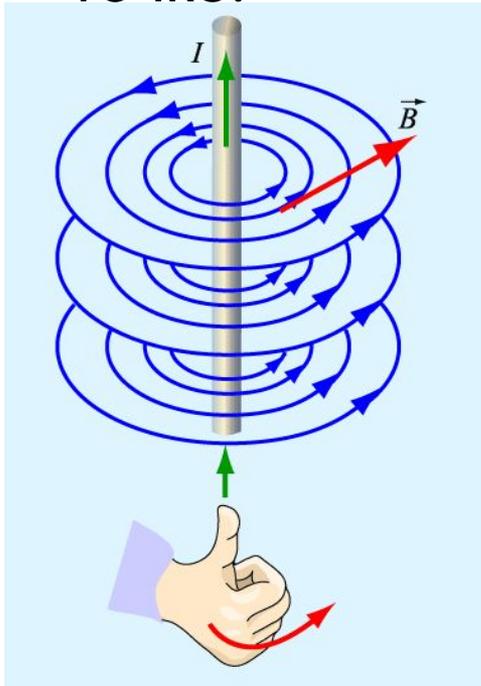


Линии магнитной индукции

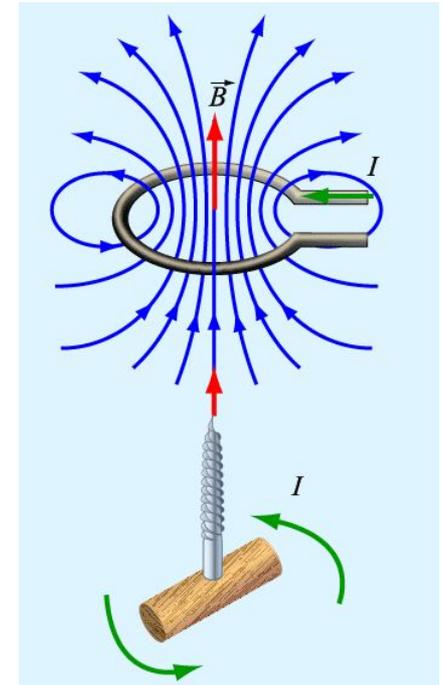
Линии магнитной

индукции

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



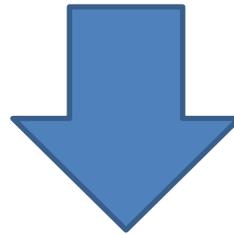
Подобно линиям
электрического поля
дают наглядную
картину магнитного
поля



Линии магнитной индукции

Особенность:

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



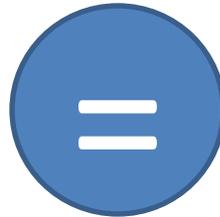
Магнитное поле (в отличие от электрического) не имеет источников: магнитных зарядов (подобных электрическим) не существует!!!

Линии магнитной индукции

Магнитное

поле:

ВИХРЕВОЕ!!!



ПОЛЕ С ЗАМКНУТЫМИ ЛИНИЯМИ МАГНИТНОЙ
ИНДУКЦИИ

Закон Ампера

Гипотез

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

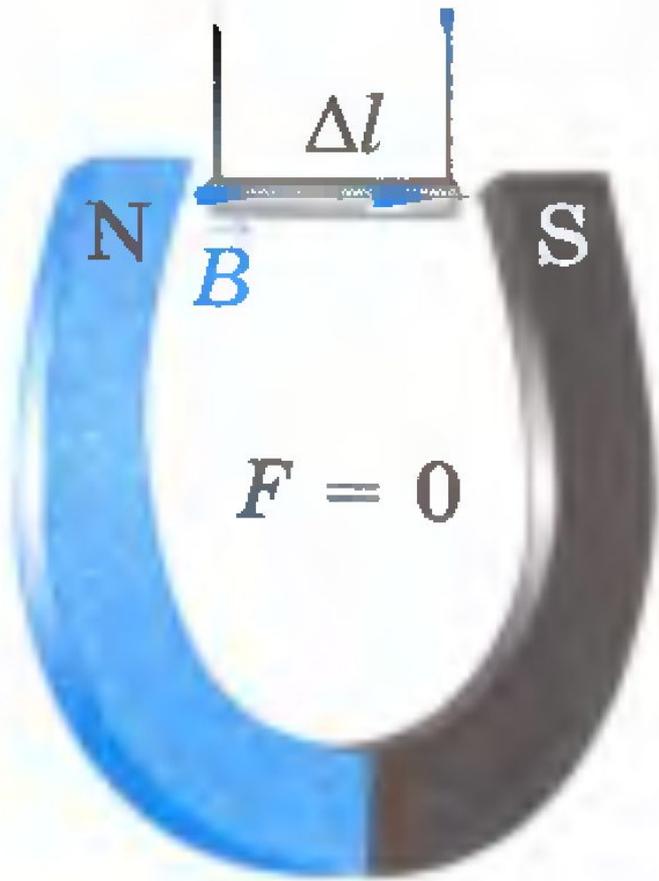
В намагниченном состоянии они ориентированы так, что их действия складываются

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)

Δl – отрезок проводника

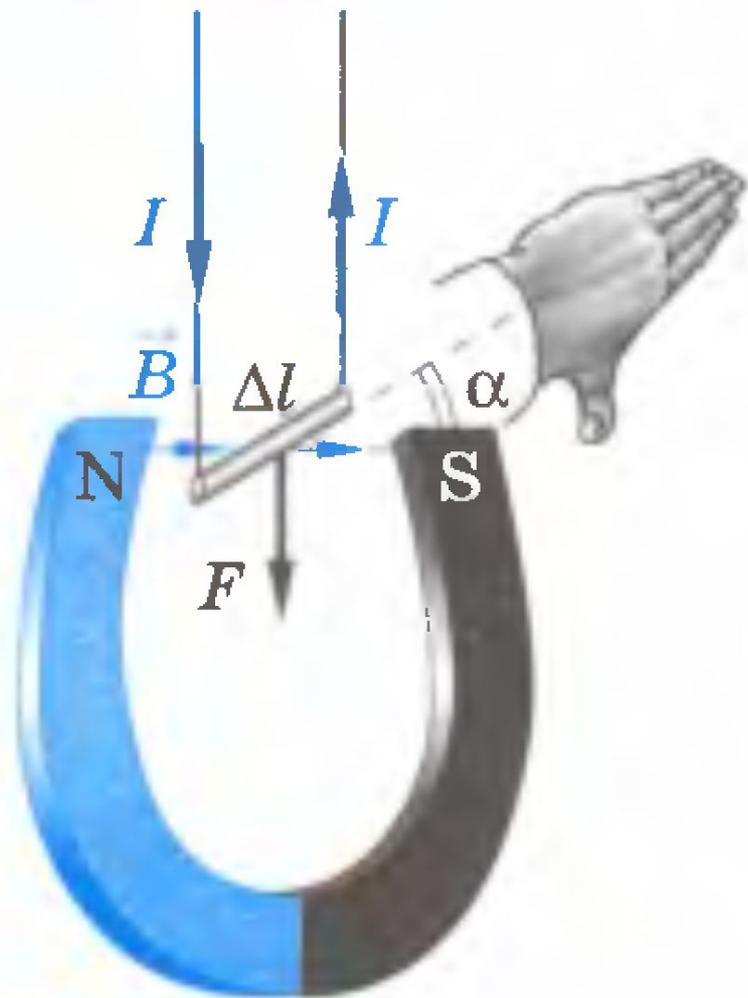
Тока в проводнике нет

($I=0$)



Сила на проводник не действует

Закон Ампера



б)

Δl – отрезок проводника

По проводнику течет ток.
Направление тока
составляет угол α с
вектором магнитной

индукции



на отрезок проводника
действует сила



Определяется – по закону Ампера

Закон Ампера

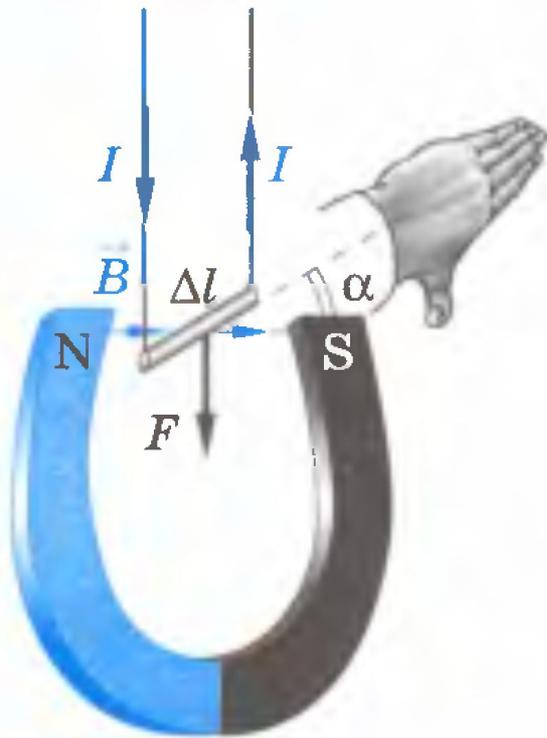
Сила, с которой магнитное поле действует на помещенный в него отрезок проводника с током, равна произведению силы тока, модуля вектора магнитной индукции, длины отрезка проводника и синуса угла между направлениями тока и магнитной индукции.

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

Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки

Закон Ампера

Правило левой руки:



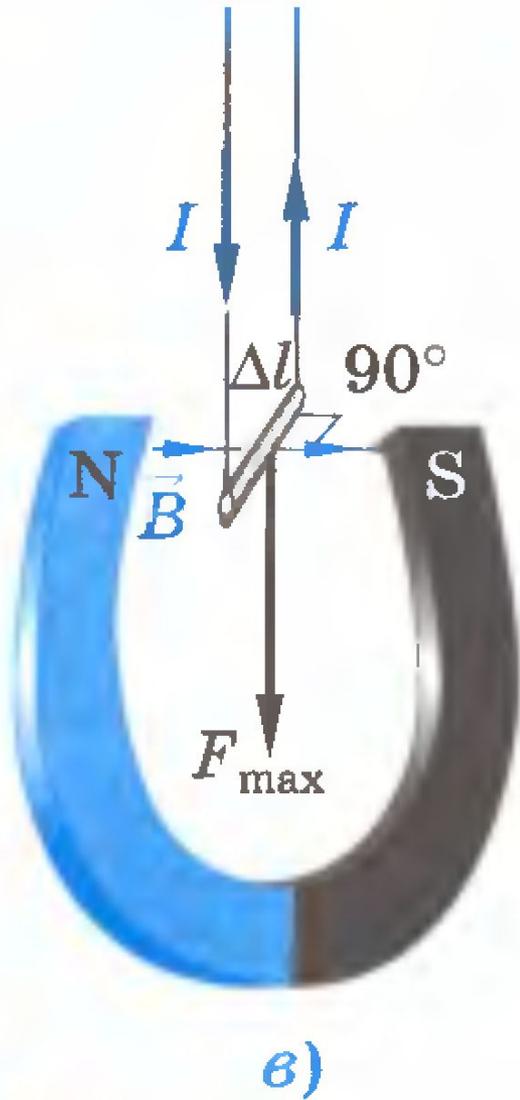
Если кисть левой руки расположить так, что четыре вытянутых пальца указывают направление тока в проводнике, а вектор магнитной индукции входит в ладонь, то отогнутый (в плоскости ладони) на 90° большой палец покажет направление силы, действующей

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 $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$



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

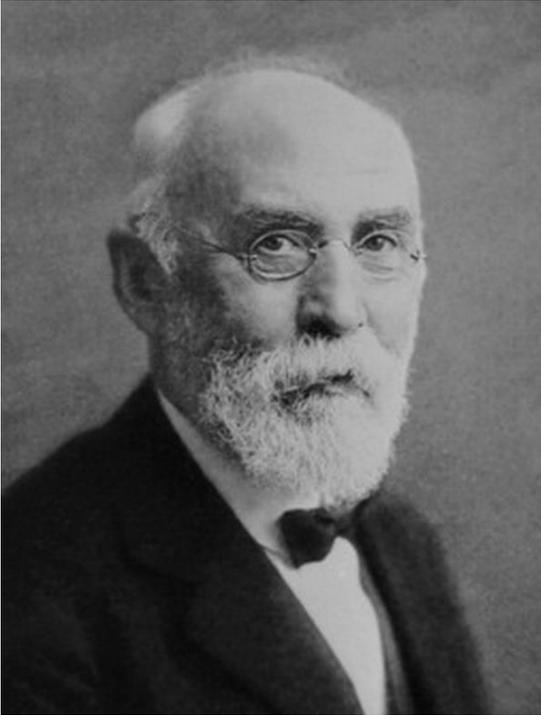
Закон Ампера

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

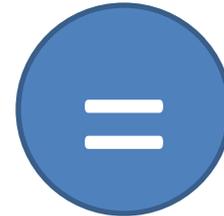
$$B = \frac{F_{A \max}}{I \cdot \Delta l}$$

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

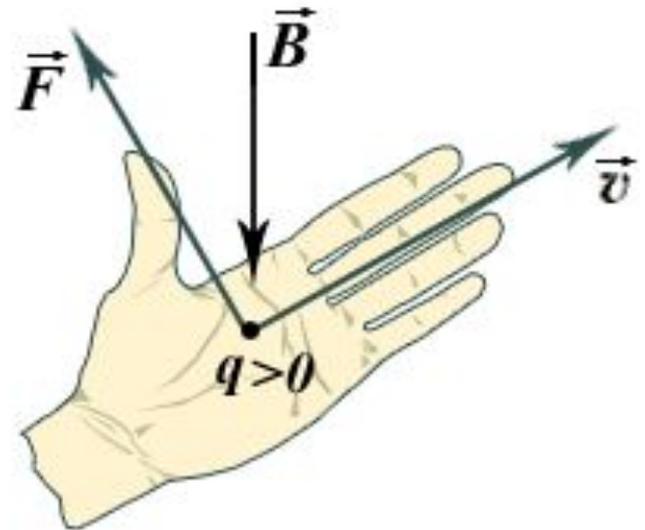
α – угол между вектором магнитной индукции
и вектором скорости заряженной частицы

Сила Лоренца

Направление силы Лоренца определяет правило левой руки

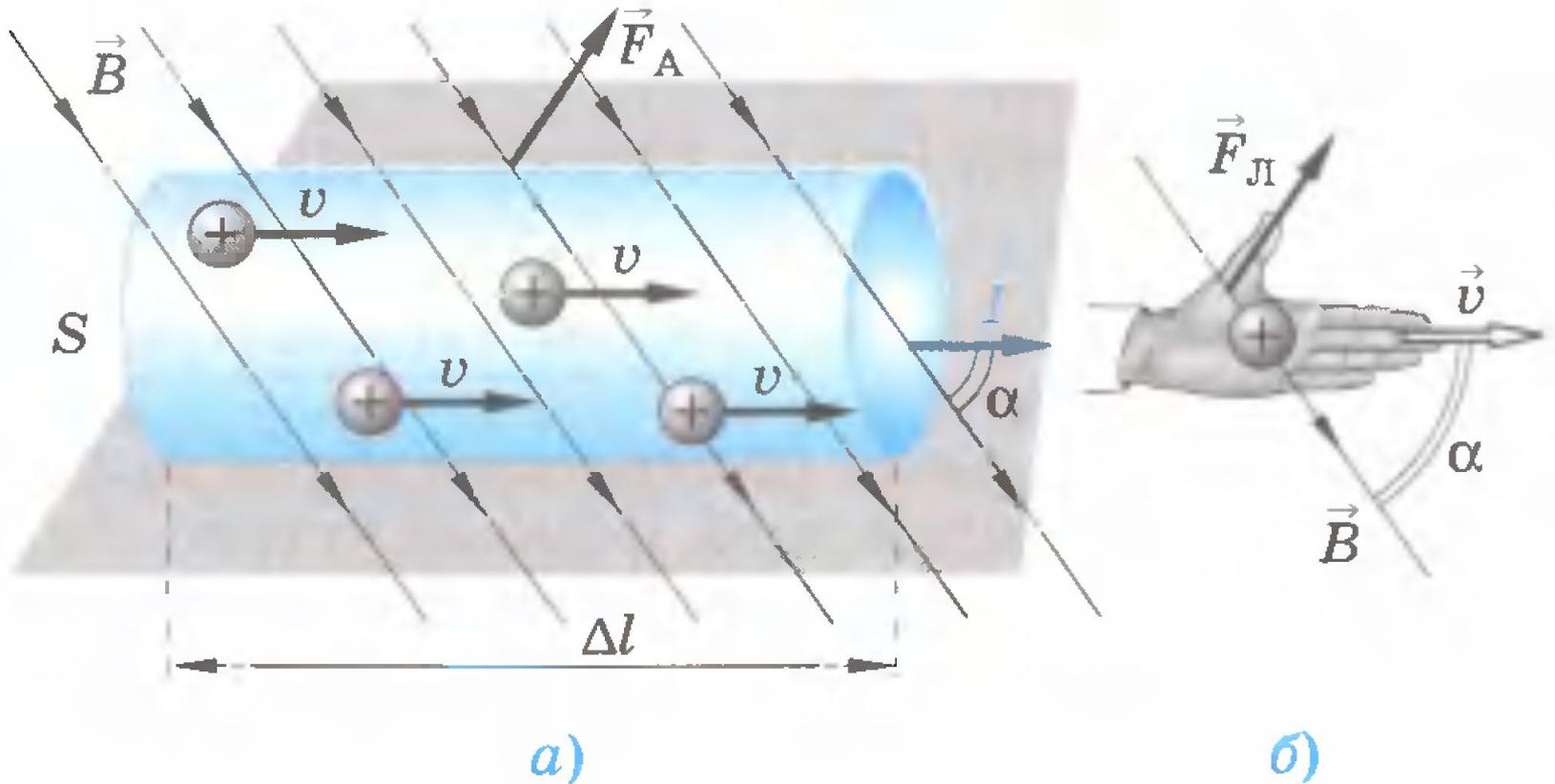
Правило левой руки:

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° большой палец покажет направление силы, действующей на данный заряд



Сила Лоренца

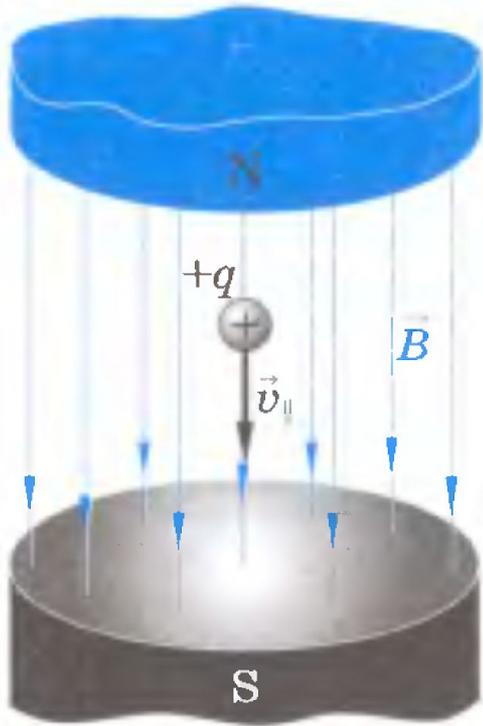
Правило левой руки:



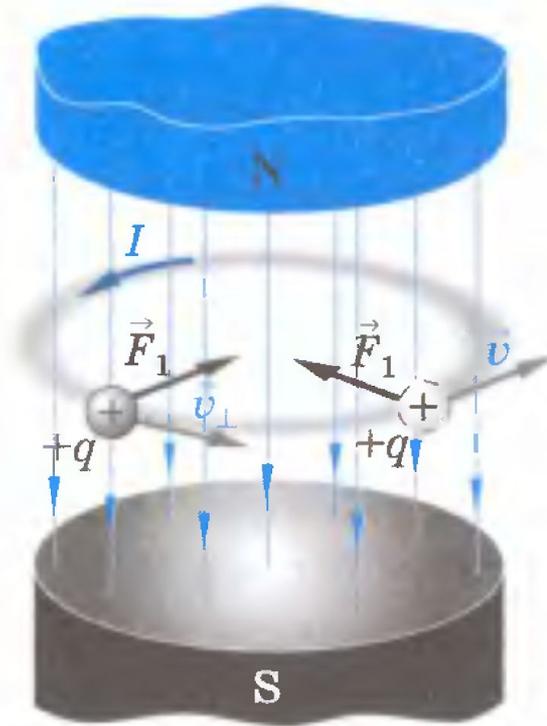
Сила Лоренца

а)

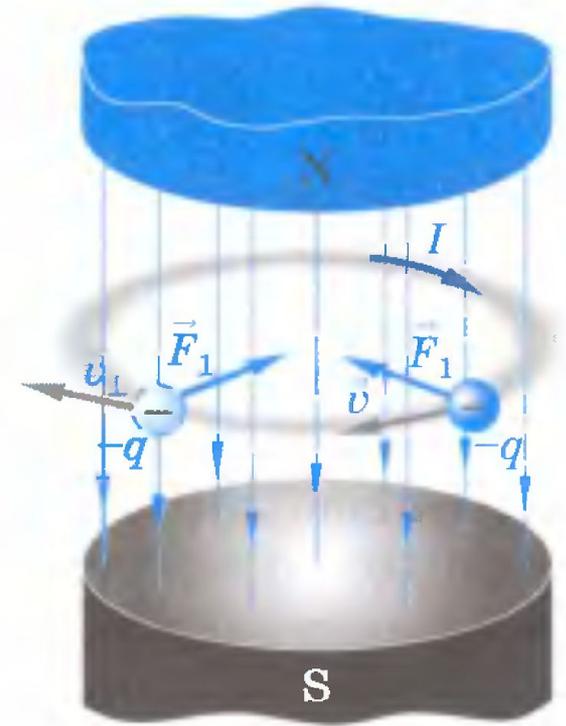
$$\vec{v} \uparrow \vec{B}$$



б) $\vec{v} \perp \vec{B}$ ($q > 0$)



в) $\vec{v} \perp \vec{B}$ ($q < 0$)



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 α -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 α -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]**