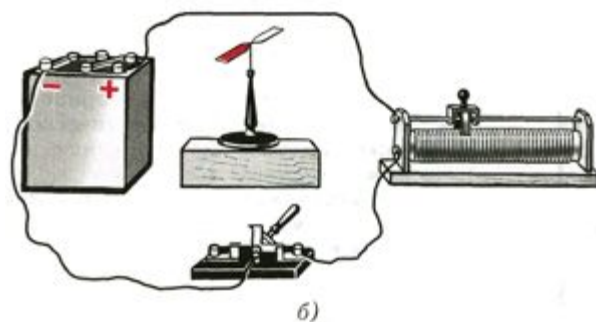
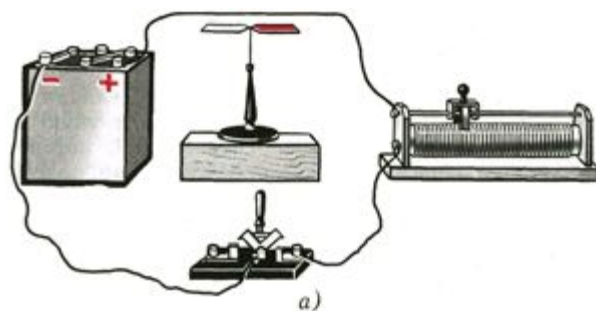


# Ганс Христиан Эрстед (1777-1851)

Опыт со стрелкой компаса (1820)



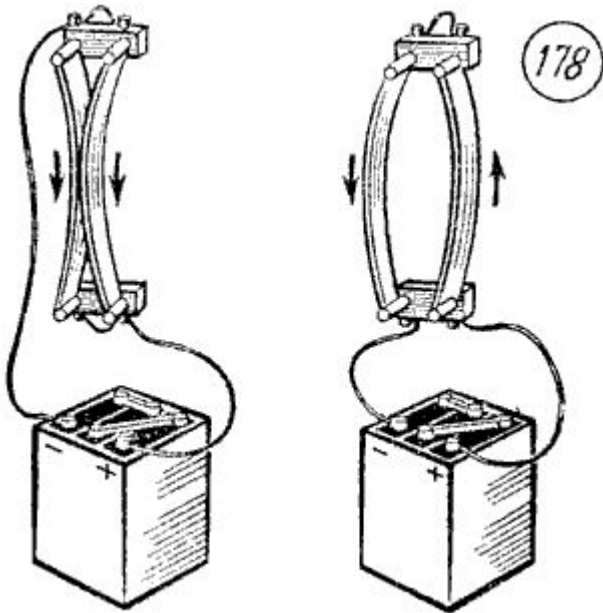
# Андре Мари Ампер (1775-1836)



Гипотеза Ампера: любой магнит содержит внутри себя множество **круговых электрических токов**, действием которых и объясняются магнитные силы.

Ампер открыл **магнитный эффект катушки с током** - "соленоида".

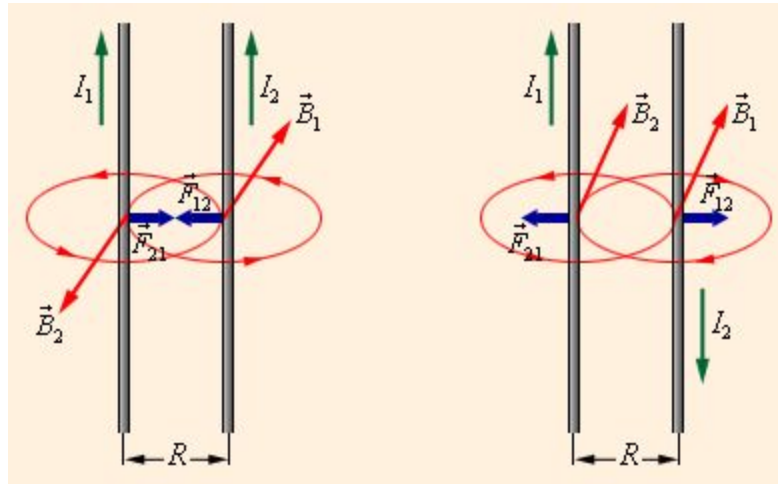
Ввёл термины "**электростатика**", "**электродинамика**", "**электродвижущая сила**", "**напряжение**", "**гальванометр**", "**электрический ток**" и даже... "**кибернетика**".



Предложил принять за направление постоянного электрического тока то, в котором перемещается "положительное электричество".

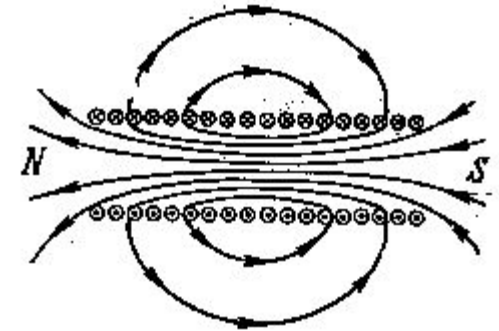
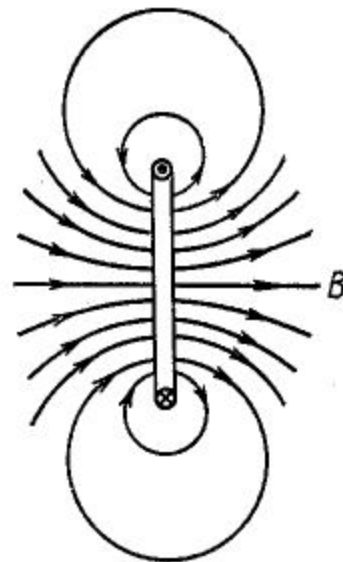
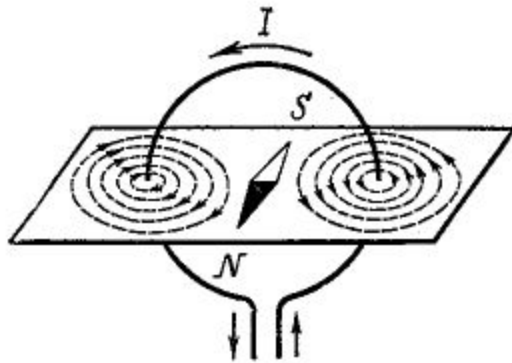
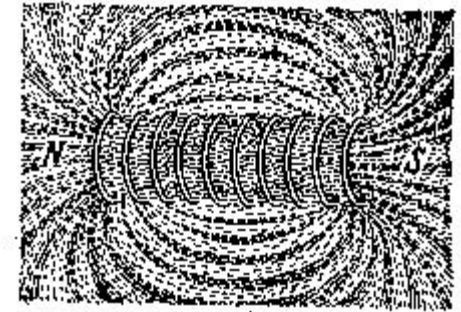
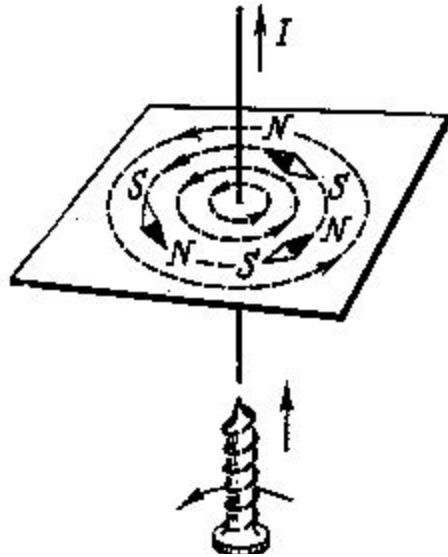
Классический труд Ампера "**Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта**" (1826 г.) внес огромный вклад в науку об электричестве. Ампера назвали "**Ньютоном электричества**".

# Сила взаимодействия параллельных ТОКОВ

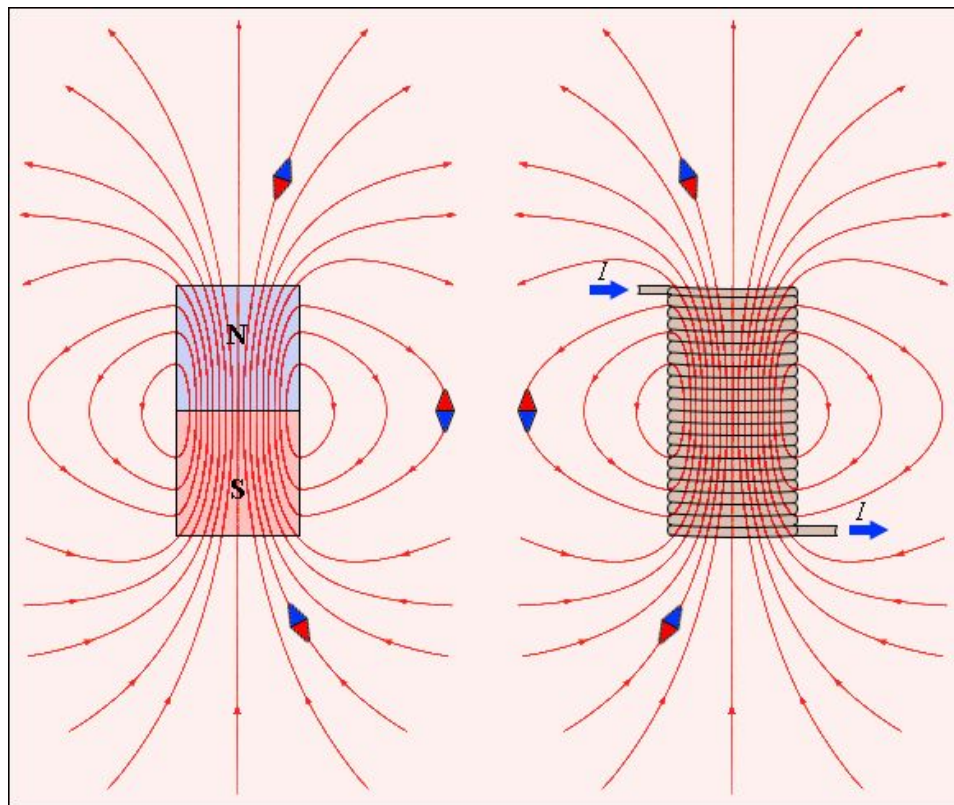


$$F_{\text{ед}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{b}$$

# Силовые линии магнитного поля.



# Силовые линии магнитного поля. Магнит и катушка с током.



Вектор магнитной индукции  $\vec{B}$

- величина, характеризующая магнитное поле. Магнитное поле образуется вокруг движущихся электрических зарядов и токов.

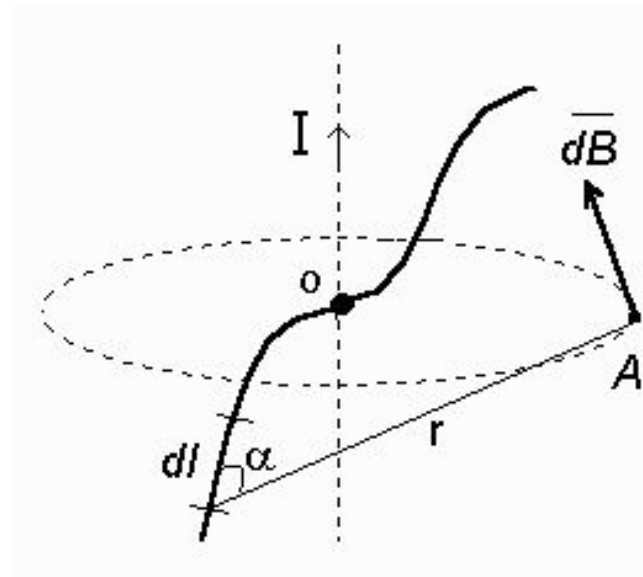
Исследовать магнитное поле можно с

помощью магнитной стрелки, проводника с током или рамки с током. Модуль вектора магнитной

индукции может быть от  
следующим образом  $B = \frac{F_{max}}{Il}$  Н

# Закон Био-Савара-Лапласа (1820 г.)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [\vec{dl}, \vec{r}]}{4\pi r^3}$$



Био Жан Батист (1774-1862)

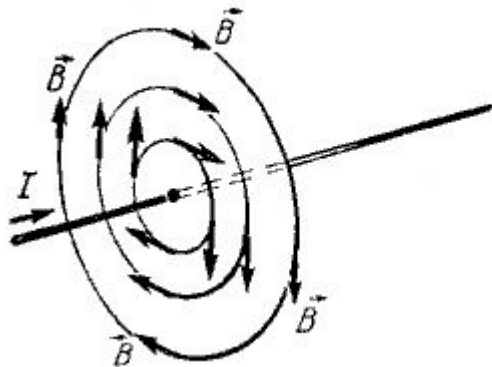
Савар Феликс (1791-1861)

Лаплас Пьер Симон (1749-1827)

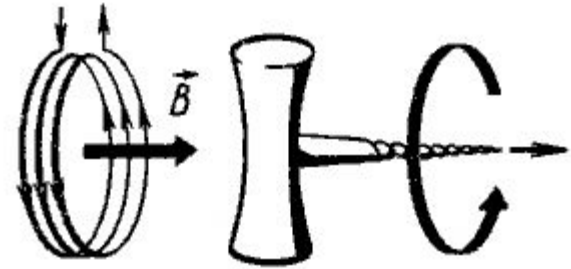




# Поле бесконечного прямого тока и в центре кругового тока.



184



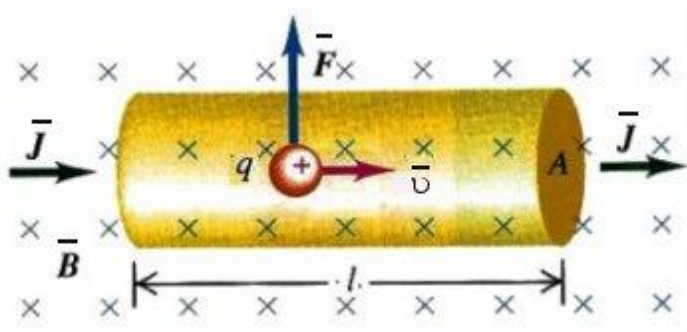
182

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

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

# Движение зарядов в магнитном поле.

Сила Ампера - сила, действующая на элемент с током, помещенный в магнитное поле



$$\vec{dF} = I [\vec{dl}, \vec{B}]$$

$$\vec{dF} = [\vec{j} dS dl, \vec{B}]$$

$$\vec{dF} = [\vec{j}, \vec{B}] dV$$

Сила, действующая на единицу объёма проводника

$$f = \frac{d\vec{F}}{dV} = [\vec{j}, \vec{B}] = qn[\vec{v}, \vec{B}]$$

Сила, действующая на движущийся заряд  $q$ , помещенный в магнитное поле.

$$\vec{F}_M = q[\vec{v}, \vec{B}]$$

$$\vec{F}_L = \vec{F}_Э + \vec{F}_M$$

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}]$$

**Сила Лоренца** – полная электромагнитная сила,

действующая на заряд

# Хендрик Антон Лоренц (1853-1928)

Нобелевская премия 1902 г.



Нидерландский физик-теоретик, создатель классической электронной теории.

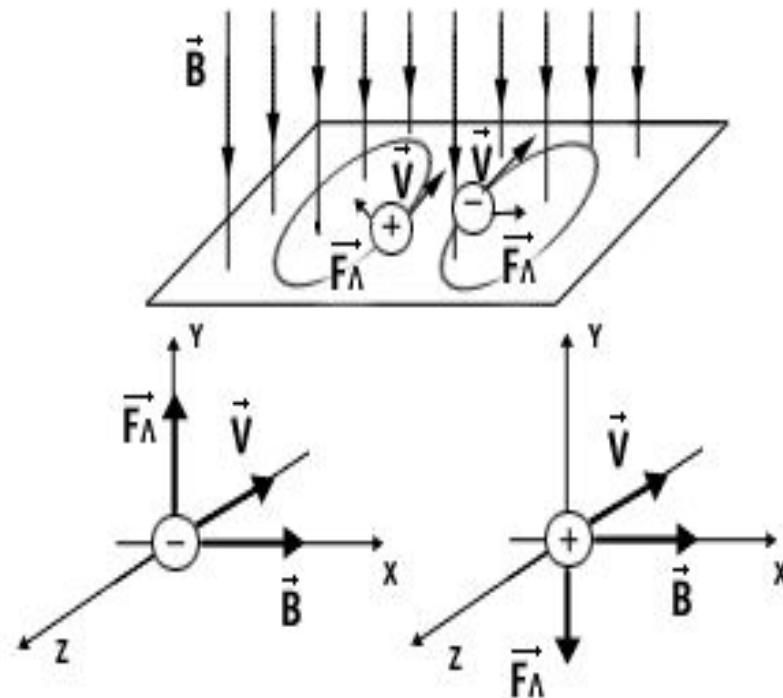
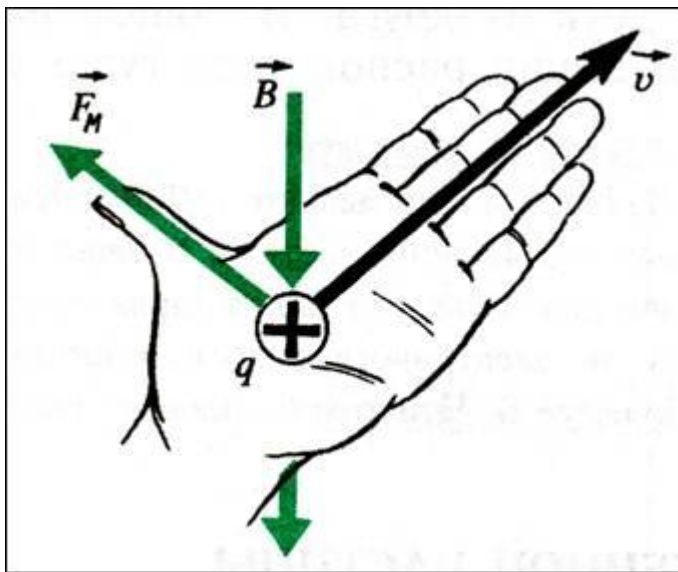
Вывел формулу, связывающую *диэлектрическую проницаемость с плотностью диэлектрика*, и зависимость показателя преломления вещества от его плотности

*Предсказал явление расщепления спектральных линий в сильном магнитном поле*

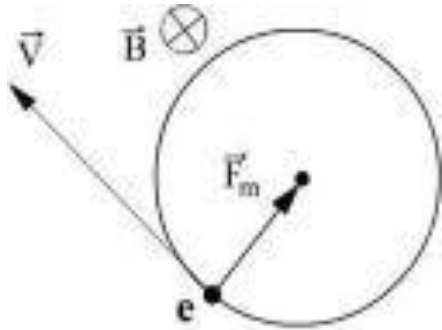
Вывел формулы, связывающие между собой пространственные координаты и моменты времени одного и того же события в двух различных ИСО (*преобразования Лоренца*).

*Получил формулу зависимости массы электрона от скорости.*

# Рассмотрим магнитную составляющую силы Лоренца.



Движение по окружности  $\vec{v} \perp \vec{B}$



$$qvB = m \frac{v^2}{R}$$

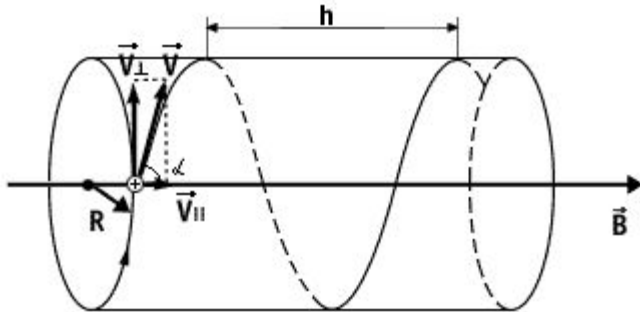
$$R = \frac{mv}{qB}$$

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

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{qB}{m}$$

# Движение по винтовой линии

$$\alpha = \angle(\vec{v}, \vec{B})$$



$$v_{||} = v \cos \alpha$$

$$v_{\perp} = v \sin \alpha$$

$l$  - шаг винта  
 $R$  - радиус  
винта

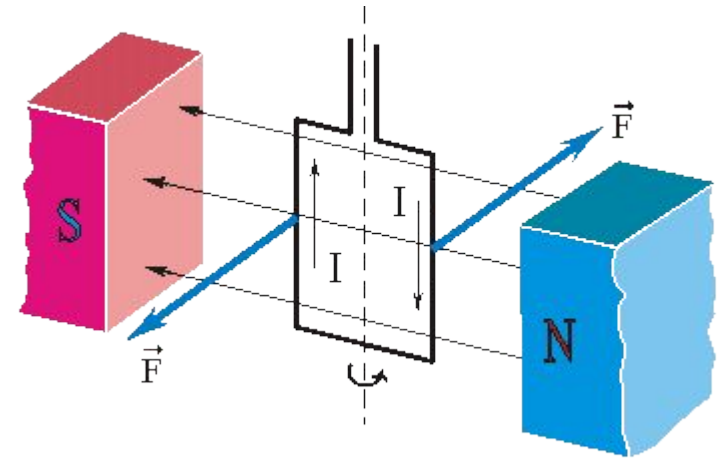
$$l = v_{||} T = 2\pi \frac{qv \cos \alpha}{mB}$$

$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

# Контур с током в магнитном поле.

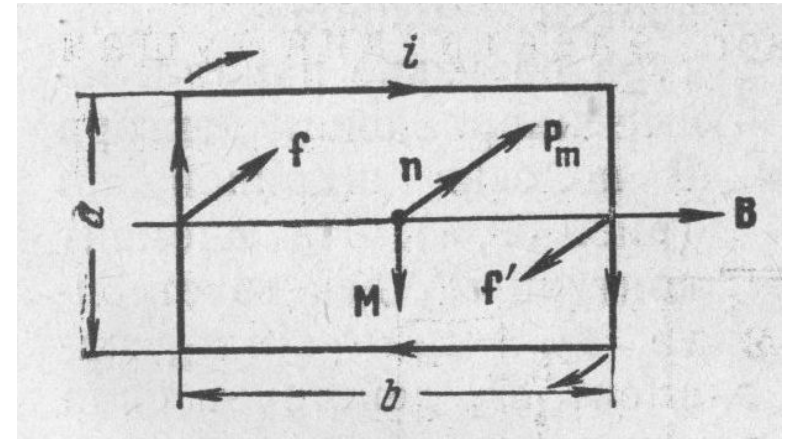
Магнитный момент

контура с  $\vec{p}_m = IS\vec{n} = I\vec{S}$



- Плоскость контура параллельна вектору  $\vec{B}$

*Пара сил стремится повернуть контур так, чтобы его магнитный момент установился по полю.*



$$M = Fb = I\mathcal{B}ab = p_m\mathcal{B}$$

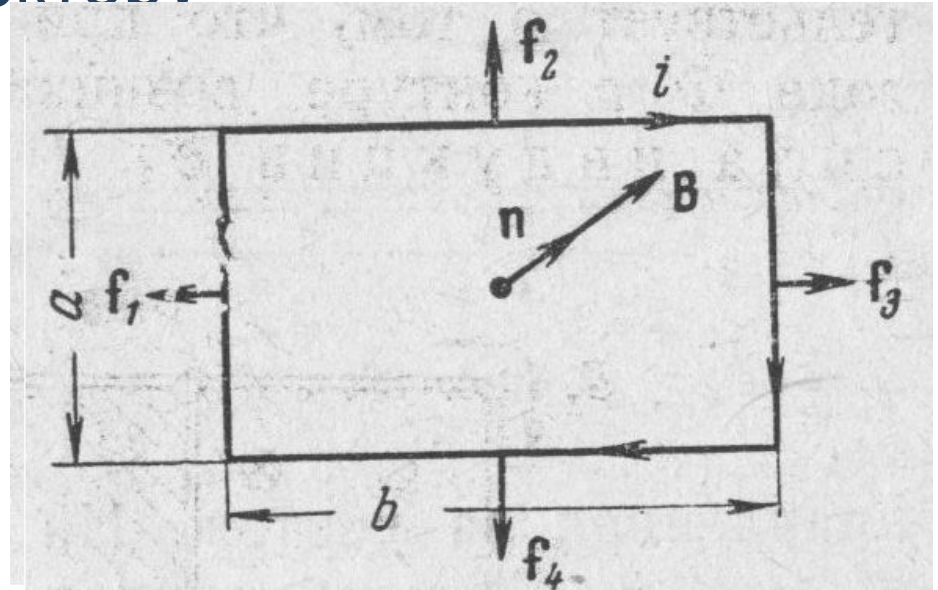


- Плоскость контура перпендикулярна вектору  $\vec{B}$

$$F_1 = F_3 = I a B$$

$$F_2 = F_4 = I b B$$

*Контур находится в равновесии*



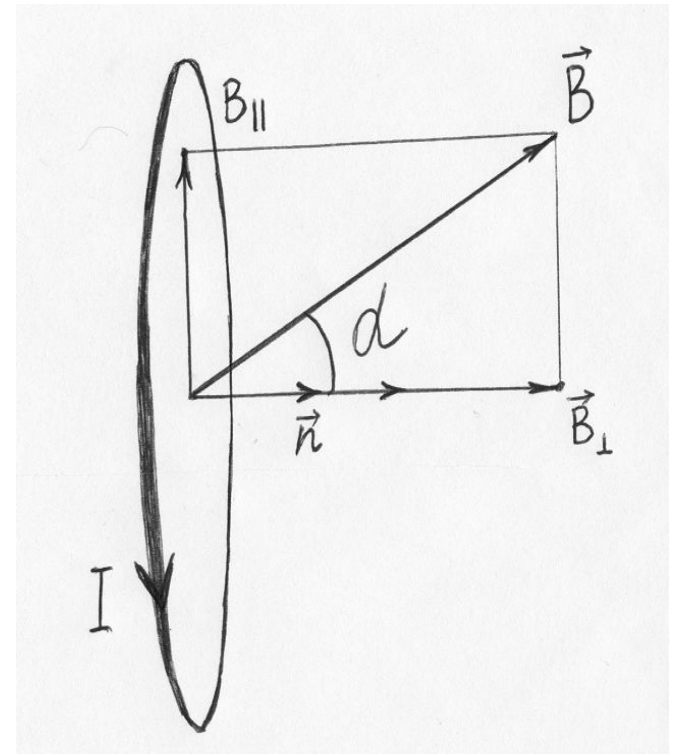
*Силы стремятся или растянуть или сжать контур, в зависимости от направления поля и силы тока в контуре.*

# Произвольная ориентация контура с током.

$$M = p_m B_{\parallel} = p_m B \sin \alpha$$

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}]$$

$\vec{M}$  - результирующий момент амперовых сил.



Выражение верно для контура с током произвольной формы

# Энергия контура с током в магнитном поле.

Для того, чтобы увеличить угол между векторами  $\vec{p}_m$  и  $\vec{B}$  нужно совершить работу против сил Ампера.

$$dA = M d\alpha = p_m B \sin \alpha d\alpha$$

Эта работа идёт на увеличение энергии, которой обладает контур с током в магнитном поле.

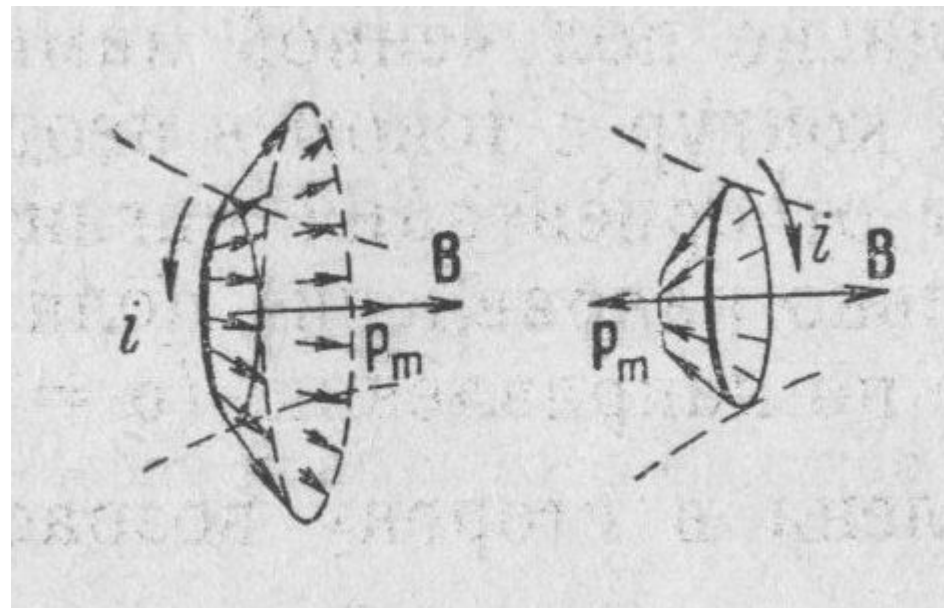
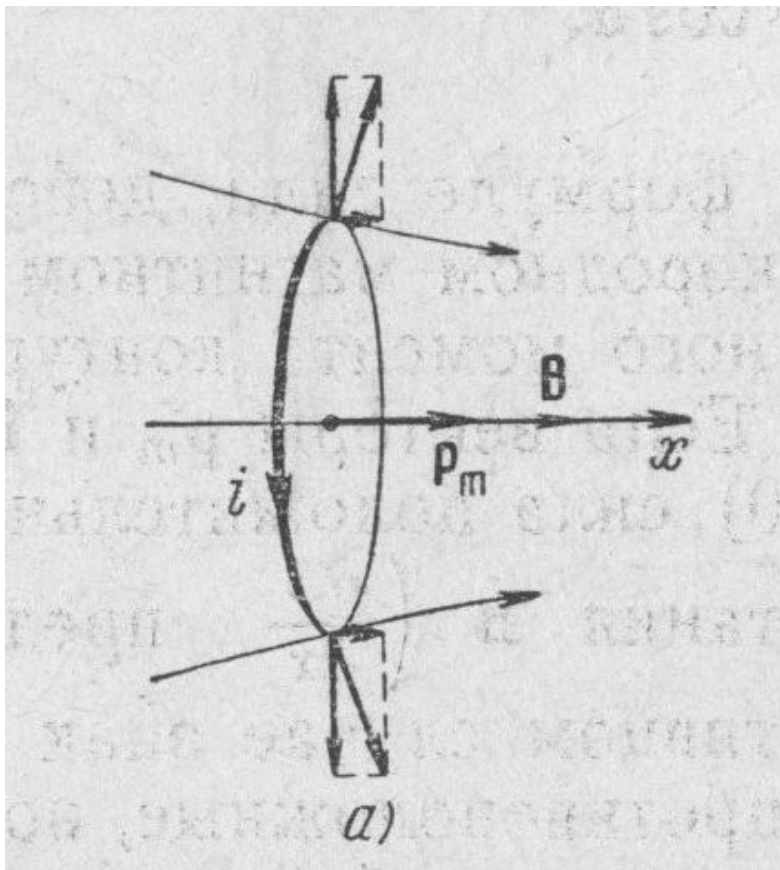
$$dA = dW$$

$$W = p_m B \int \sin \alpha d\alpha = -p_m B \cos \alpha + const$$

Если положить  $const=0$

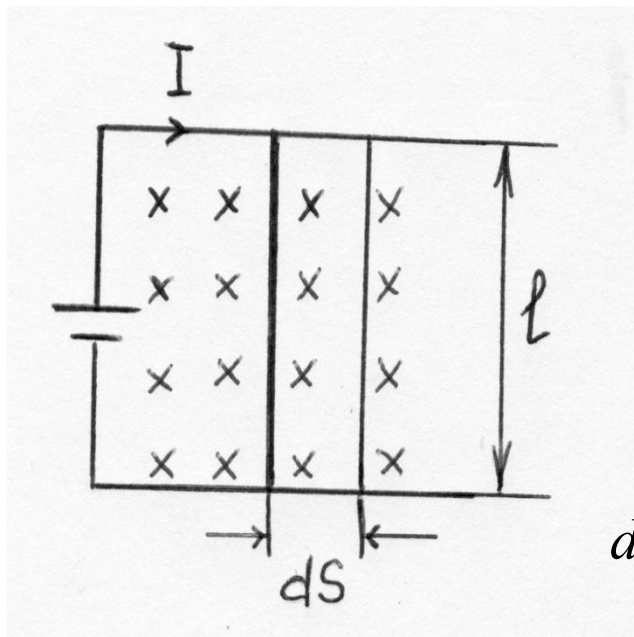
$$W = -\vec{p}_m \vec{B}$$

# Контур с током в неоднородном магнитном поле.



$$F_x = -\frac{\partial W}{\partial x} = \mu_m \frac{\partial B}{\partial x} \cos \alpha$$

# Работа, совершаемая при перемещении тока в магнитном поле.



$$F = IBl$$

$$dA = FdS = IBldS$$

$$dA = Id\Phi$$

$d\Phi$  - поток магнитной индукции

$$A = \int_1^2 Id\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1)$$

Работа совершается за счет источника, поддерживающего ток в контуре.