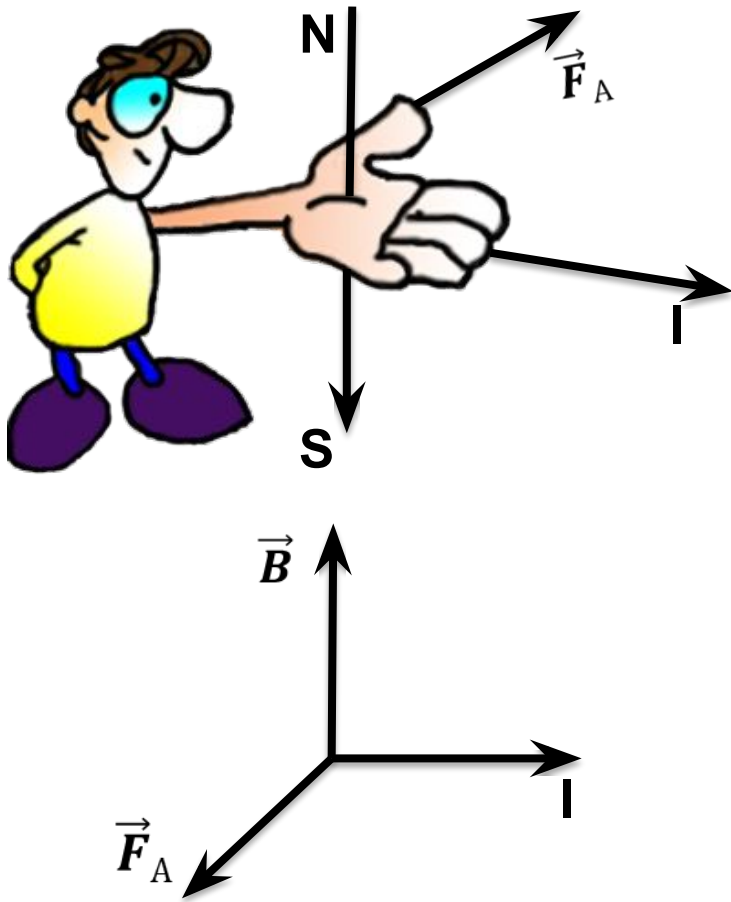


# Действие магнитного поля на движущийся электрический заряд

Ах, как играет этот Север!  
Ах, как пылает надо мной  
Разнообразных радуг веер  
В его короне ледяной!  
Ему, наверно, по натуре  
Холодной страсти красота.  
Усилим магнитной бури  
Преображённая в цвета...

М. А. Дудин




Силу, действующую на проводник с током в магнитном поле, называют силой Ампера.

$$F_A = IB\Delta l \sin \alpha$$

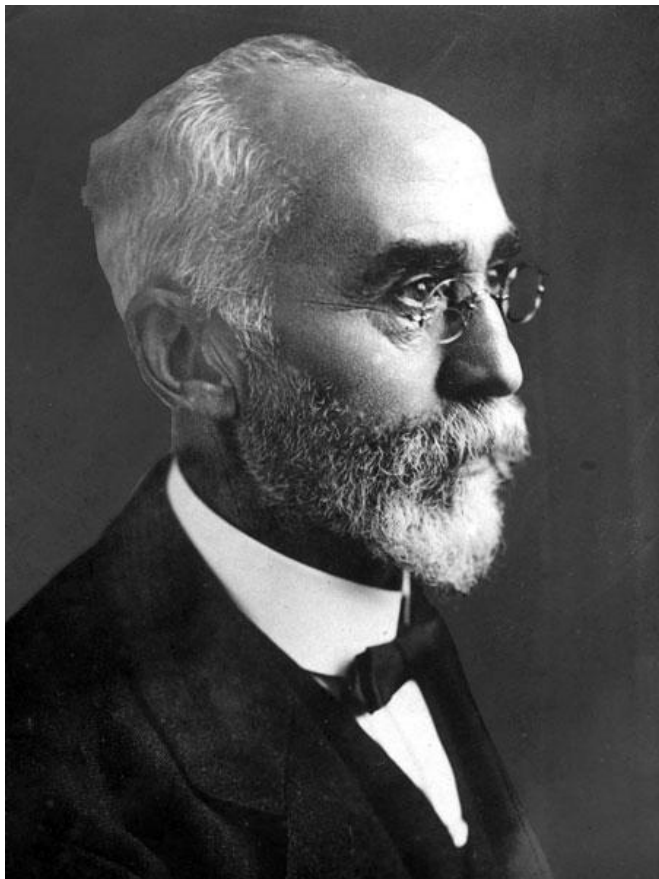
## Правило левой руки

руку располагают так, чтобы нормальная составляющая магнитной индукции входила в ладонь, четыре вытянутых пальца были направлены по току; тогда отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление действующей на проводник силы Ампера.



Если электрический ток — это упорядоченное движение отдельных заряженных частиц, то оказывает ли магнитное поле воздействие на эти частицы?

А если оказывает, то какое?



Хендрик Антон Лоренц

Магнитное поле действует на отдельные движущиеся заряженные частицы в проводнике с током.

**Сила Лоренца** — это сила, с которой магнитное поле действует на движущуюся в нем заряженную частицу.

$$F_{\text{Л}} = \frac{F_A}{N}$$

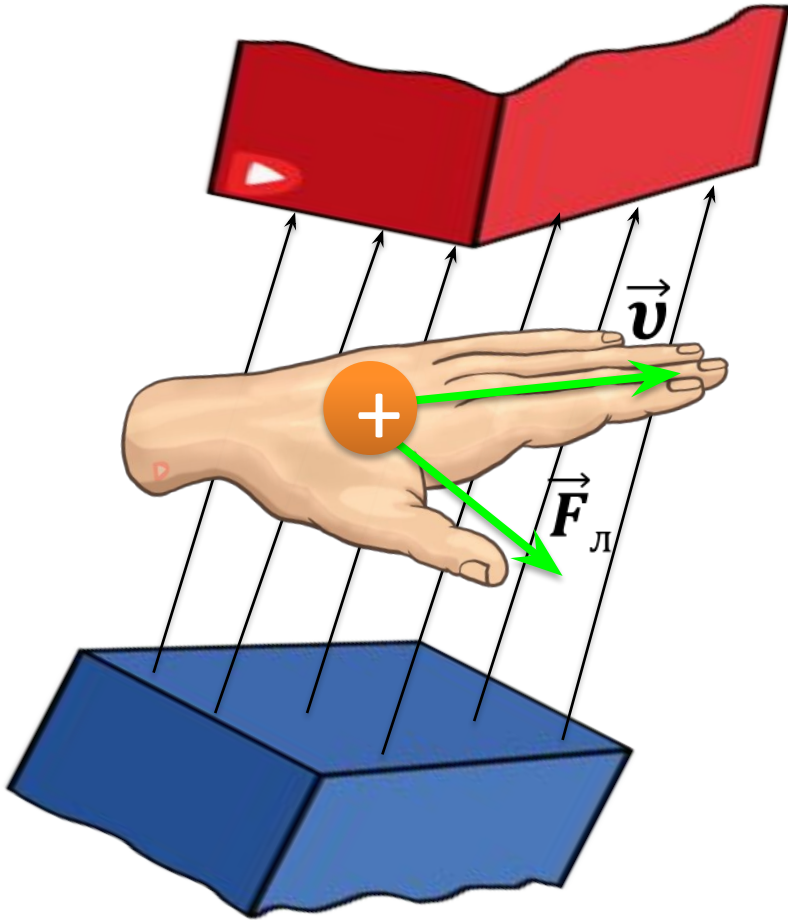
$$\begin{aligned} F_{\text{Л}} &= \frac{IB\Delta l \sin \alpha}{N} = \frac{\Delta q B \Delta l \sin \alpha}{\Delta t N} = \\ &= \frac{NqB \Delta l \sin \alpha}{\Delta t N} = qvB \sin \alpha. \end{aligned}$$

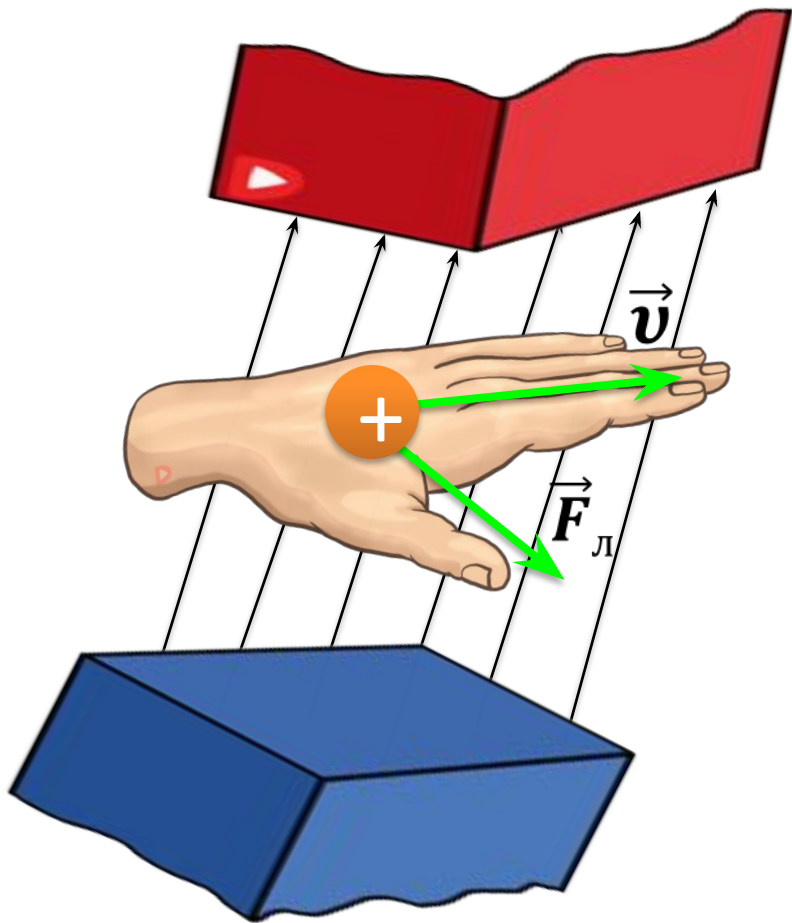
$$F_{\text{Л}} = qvB \sin \alpha$$

# Направление силы Лоренца

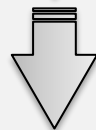
## Правило левой руки:

если левую руку расположить так, чтобы составляющая магнитной индукции, перпендикулярная к скорости движения заряда, входила в ладонь, а выпрямленные четыре пальца были направлены по движению положительного заряда (или против движения отрицательного), то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление силы Лоренца.

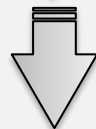




Т.к.  $\vec{F}_L \perp \vec{v}$ , то  $A_{F_L} = 0$ .



$\Delta E_K = 0 \Rightarrow E_K = const$



$|\vec{v}| = const$

**Сила Лоренца меняет лишь направление вектора скорости заряженной частицы.**

**Задача:** протон влетает со скоростью  $1000 \text{ м/с}$  в однородное магнитное поле. Определите <sup>Описать</sup> траекторию, по которой будет двигаться протон, и основные <sup>траекторию</sup> характеристики такого движения, если магнитная индукция поля равна  $0,1 \text{ Тл}$ .

Дано:

Решение:

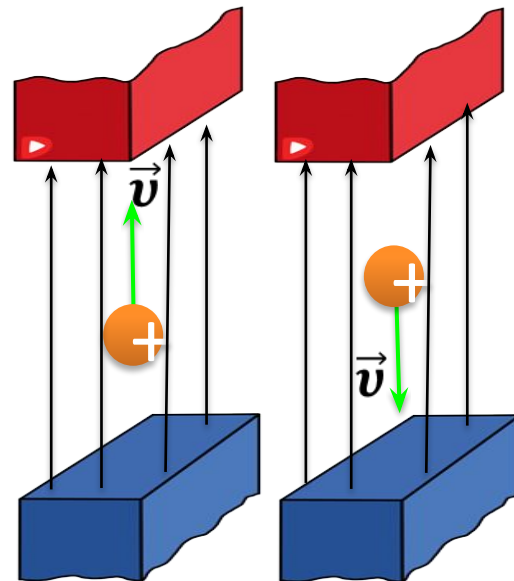
**1 случай:**  $\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{B}$  или  $\vec{v} \uparrow \downarrow \vec{B}$ .

$$F_{\text{Л}} = qvB \sin \alpha$$

$$F_{\text{Л}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot \sin 0^\circ = 0.$$

$$F_{\text{Л}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot \sin 180^\circ = 0.$$

Частица будет продолжать двигаться **равномерно и прямолинейно.**



**Задача:** протон влетает со скоростью 1000 м/с в однородное магнитное поле. Определите траекторию, по которой будет двигаться протон, и основные характеристики такого движения, если магнитная индукция поля равна 0,01 Тл.

Дано:

$$v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

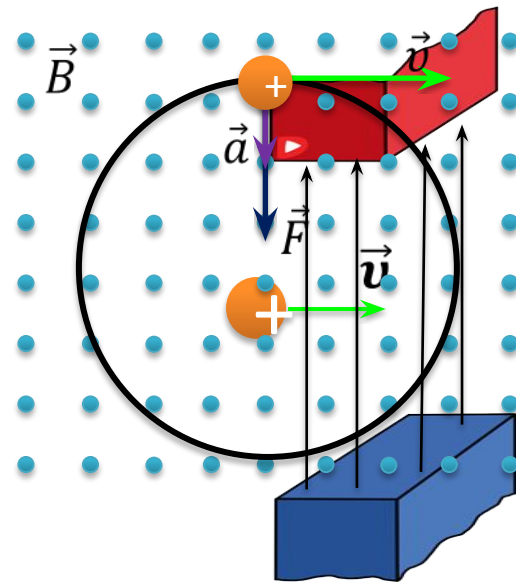
Описать траекторию

Решение:

**2. случай:**  $v \perp B$ .

$$\left. \begin{array}{l} |\vec{F}_L| = const \\ |\vec{a}| = const \end{array} \right\} \begin{array}{l} \vec{F}_L \perp \vec{v} \\ \vec{a} \perp \vec{v} \end{array}$$

Частица будет двигаться по **окружности**.





**Задача:** протон влетает со скоростью 1000 м/с в однородное магнитное поле. Определите траекторию, по которой будет двигаться протон, и основные характеристики такого движения, если магнитная индукция поля равна 0,01 Тл.

Дано:

$$v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Описать траекторию

Решение:

**2. случай:**  $v \perp B$ .

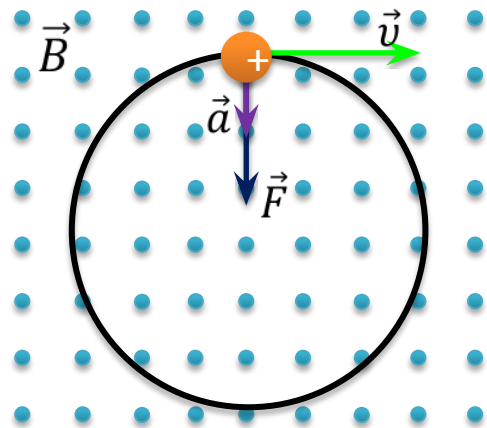
На основании второго закона Ньютона:

$$F_{\text{л}} = ma_{\text{ц}}; \quad qvB \sin 90^\circ = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB} \quad R = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 10^3}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-2}} = 1 \text{ мм}$$

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

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 6,57 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$



$\frac{q}{m}$  — удельный заряд частицы.

**Задача:** протон влетает со скоростью 1000 м/с в однородное магнитное поле под углом  $60^0$  к линиям магнитной индукции. Определите траекторию, по которой будет двигаться протон, и основные характеристики такого движения, если магнитная индукция поля равна 0,01 Тл.

Дано:

$$v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$B = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Описать траекторию

Решение:

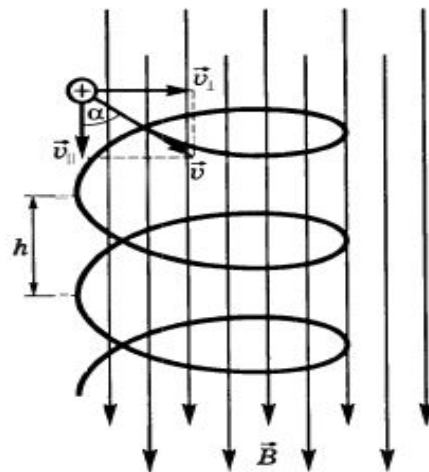
$$v_{\parallel} = v \cos \alpha; v_{\perp} = v \sin \alpha.$$

На основании второго закона Ньютона:

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

$$R = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 10^3 \cdot \sin 60^0}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-2}} = 9 \text{ мм}$$

Протон движется по **винтовой линии**.



**Задача:** протон влетает со скоростью 1000 м/с в однородное магнитное поле под углом  $60^0$  к линиям магнитной индукции. Определите траекторию, по которой будет двигаться протон, и основные характеристики такого движения, если магнитная индукция поля равна 0,01 Тл.

Дано:

$$v = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\alpha = 60^0$$

Описать траекторию

Решение:

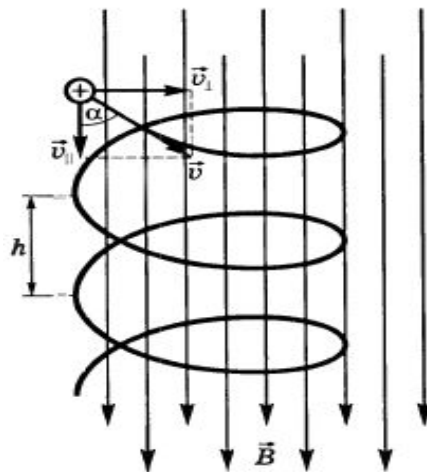
Протон движется по **винтовой линии**.

$$h = v_{\parallel} \cdot T = v \cos \alpha \cdot T$$

$$h = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{qB}$$

$$h = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1 \cdot 10^3 \cos 60^0}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 3,2 \text{ см.}$$

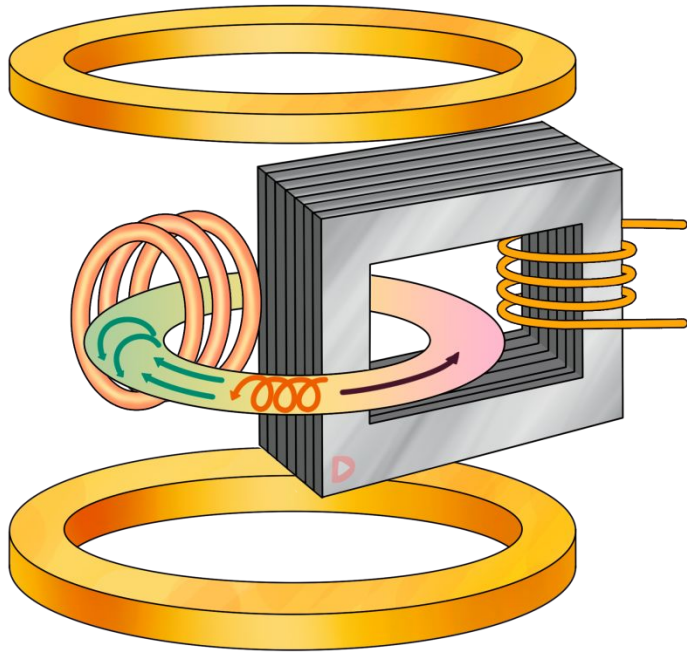
Направление, в котором будет закручиваться спираль, зависит от знака заряда частицы.



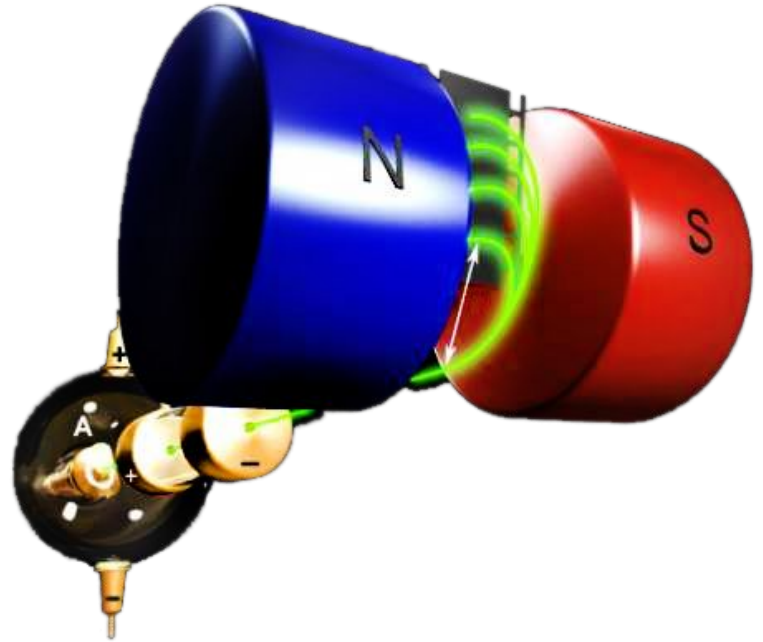
# Использование силы Лоренца



# Использование силы Лоренца

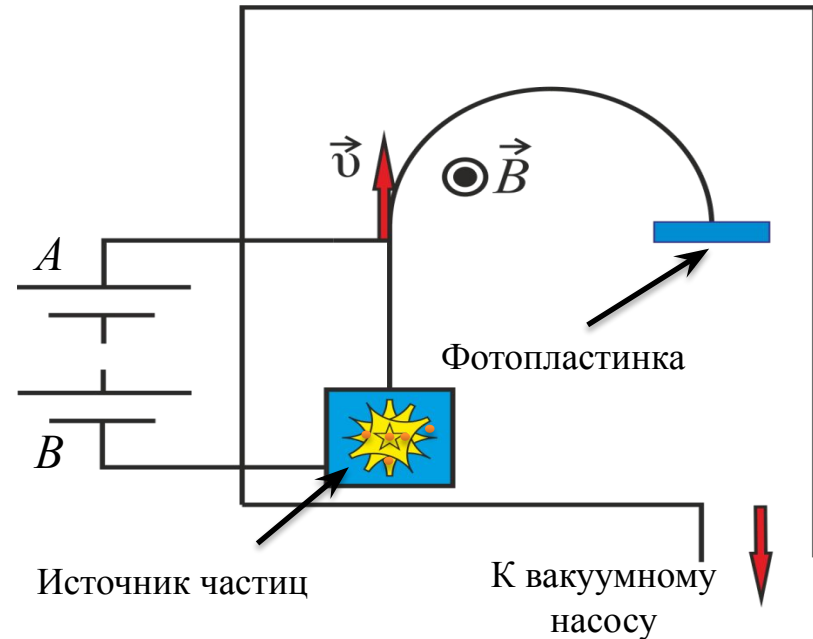
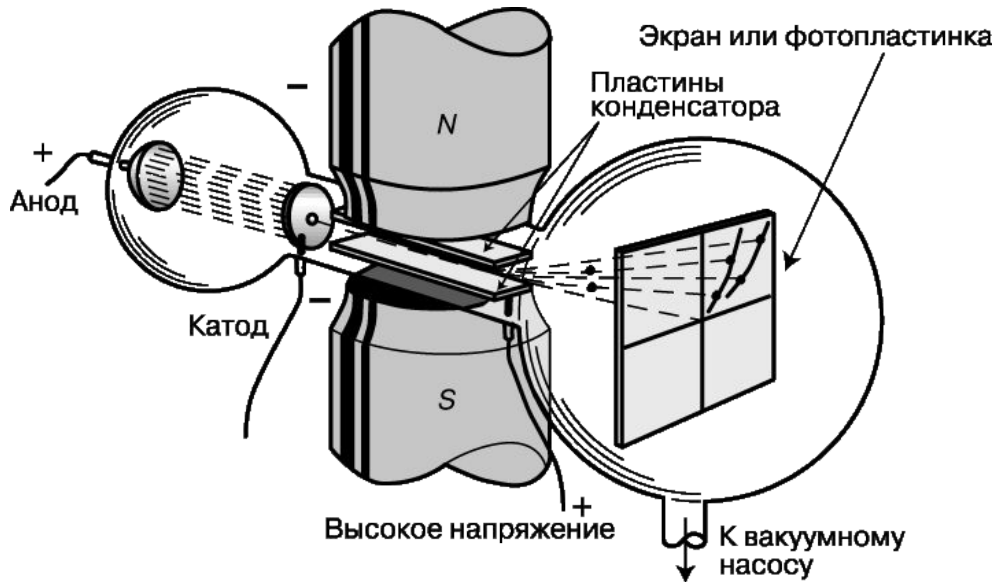


ТОКАМАК



Масс-спектрограф

# Масс-спектрограф



**Масс-Спектрограф** — прибор для определения массы заряженных частиц, в котором используют свойство частиц изменять траекторию своего движения под действием сильного магнитного поля.

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{RB}$$

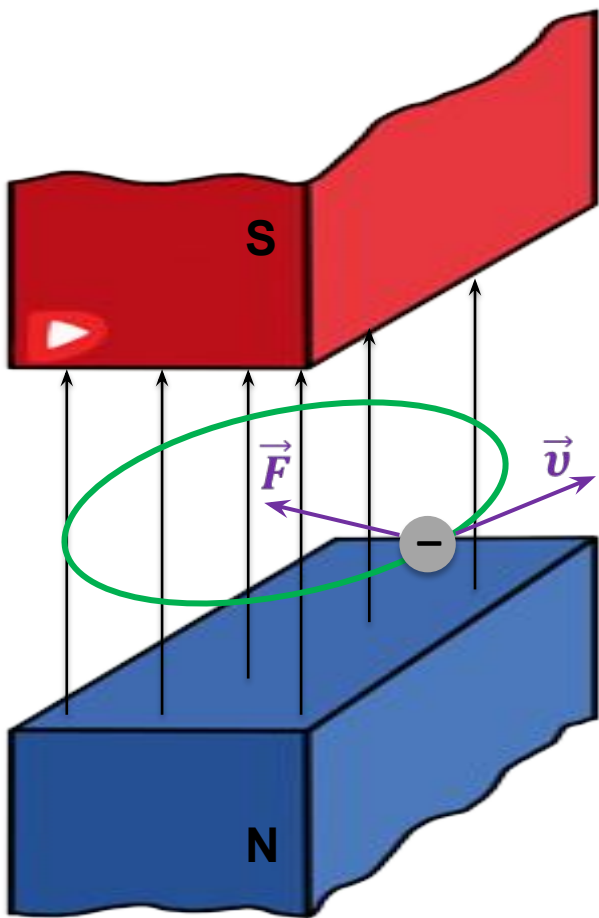
# Проявление силы Лоренца в природе



Полярное сияние



Полярное сияние  
(вид из космоса)



## Главные выводы:

На любую движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля действует сила Лоренца.

$$F_{\text{Л}} = qvB \sin \alpha$$

Направление силы Лоренца определяют с помощью правила левой руки.

Сила Лоренца не совершает работы.