ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

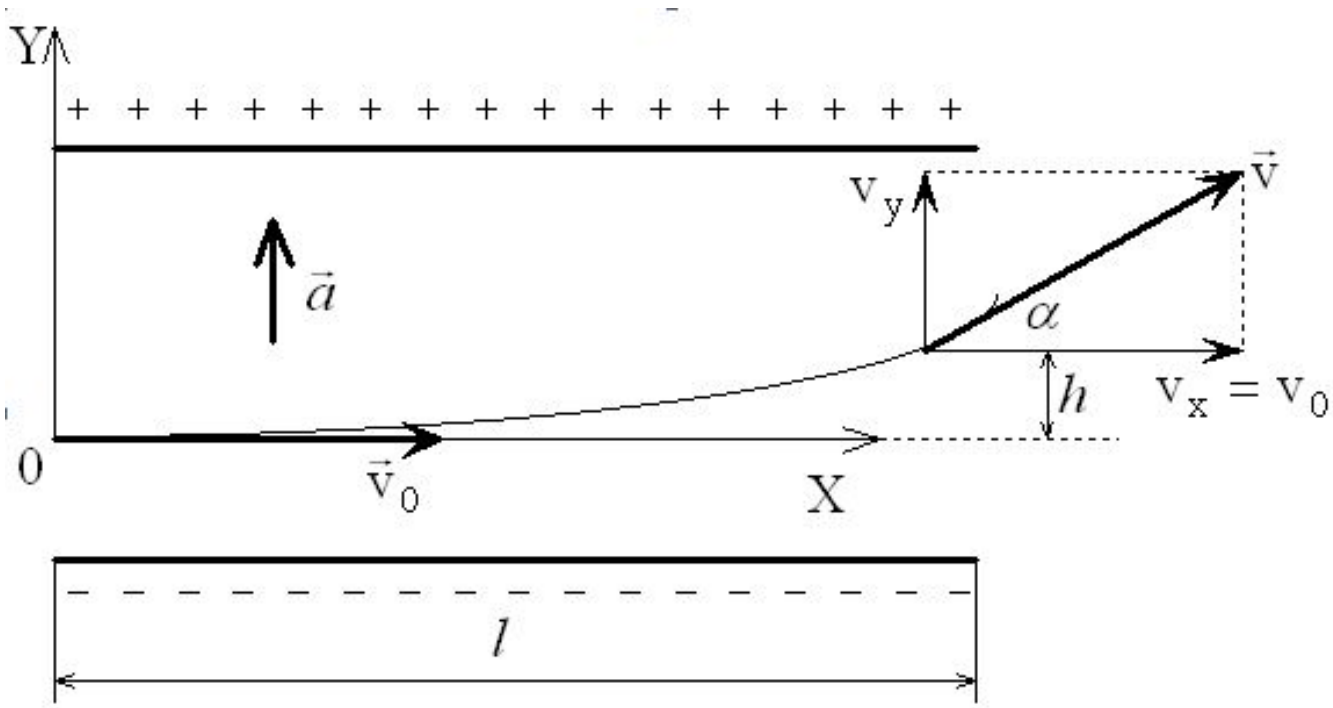
Лекция «Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях»

Движение заряженных частиц в ЭП

- На любое заряженное тело (частицу), находящееся в электростатическом поле (ЭП) всегда будет действовать сила.

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Движение заряженной частицы в ЭП



$$eE = ma$$

$$a = eE / m$$

$$x = v_0 t$$

$$y = eEt^2 / 2m$$

$$v_x = v_0$$

$$v_y = eEt / m$$

$$t_1 = \frac{l}{v_0} \qquad v_y = \frac{eEl}{mv_0} \qquad h = \frac{eEl^2}{2mv_0^2}$$

Действие ЭП и МП на частицы

- Разница в действии электрического и магнитного поля на заряженную частицу заключается в том, что электрическое поле всегда действует кулоновской силой на заряженные частицы, неважно движутся они или покоятся, а магнитное поле действует силой Лоренца только на движущиеся заряженные частицы. В некоторых случаях, о которых речь пойдет ниже, сила Лоренца может быть равна нулю при отличной от нуля скорости заряженной частицы.

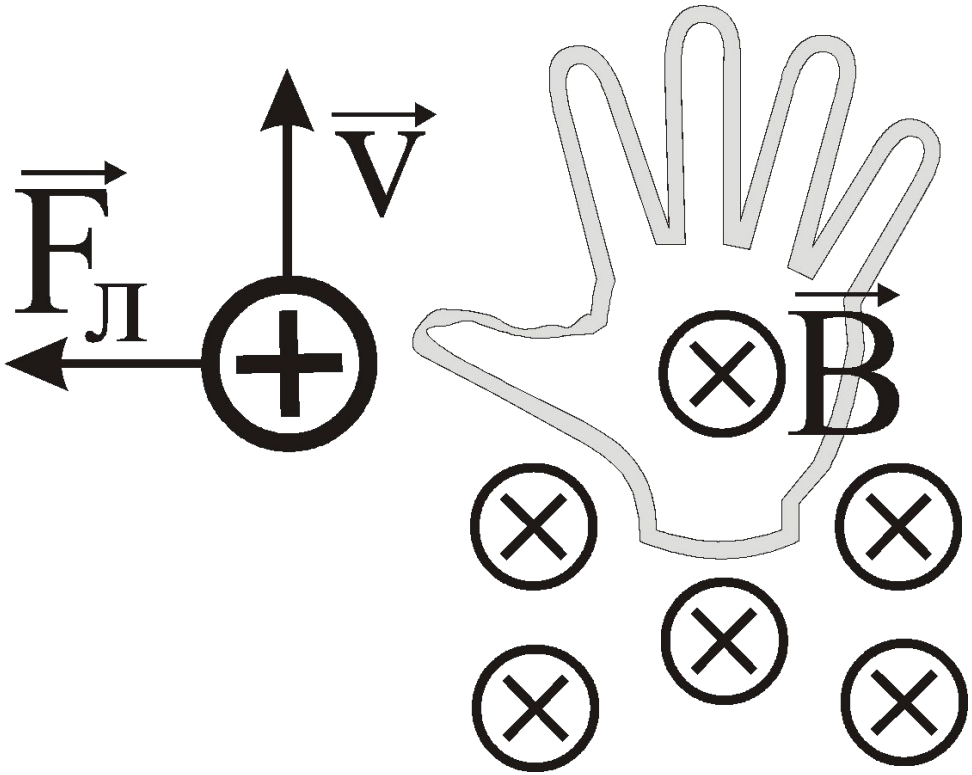
Сила Лоренца

- **МП действует** не только на проводники с током, но и на отдельные, **только движущиеся в МП заряды**. Сила, действующая на электрический заряд *q*, движущийся в МП с индукцией B со скоростью v, называется **силой Лоренца**:

$$\vec{F}_л = q\left[\vec{v}\,\vec{B}\right]$$

$$F_л = qvB\sin(\widehat{\vec{v},\vec{B}})$$

Правило <u>левой</u> руки: вектор индукции в ладонь, пальцы по скорости для положительно заряженных частиц, тогда отогнутый большой палец покажет направление силы Лоренца.

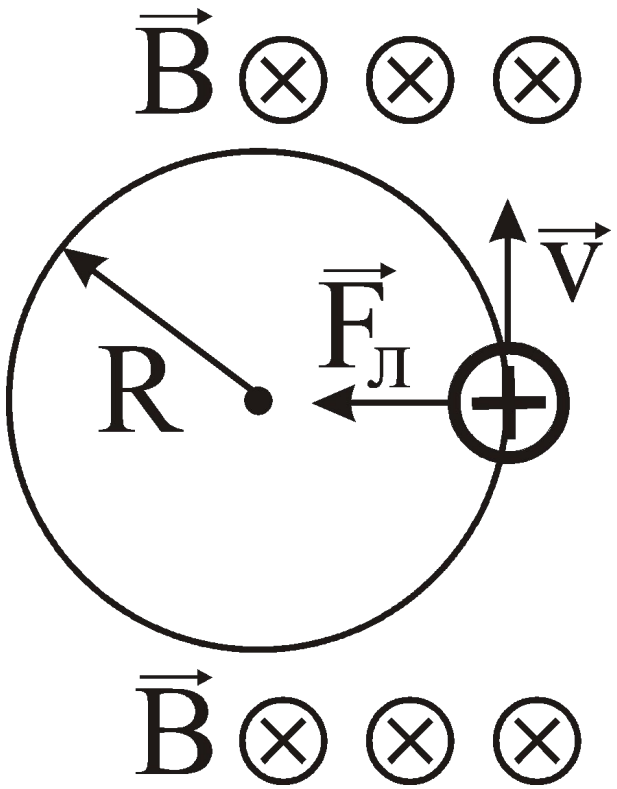


Траектория частицы 1

$$(\widehat{\vec{v}, \vec{B}}) = 0^{\circ} \;\; или \;\; 180^{\circ}$$

Сила Лоренца равна нулю, если вектора скорости и индукции параллельны друг другу, а также в случае нулевого заряда у частицы q=0. В этих случаях частица продолжает двигаться прямолинейно и равномерно в МП, как будто МП и не существует.

Траектория частицы 2



$$(\vec{v}\,\hat{,}\,\vec{B}) = 90^{\circ}$$

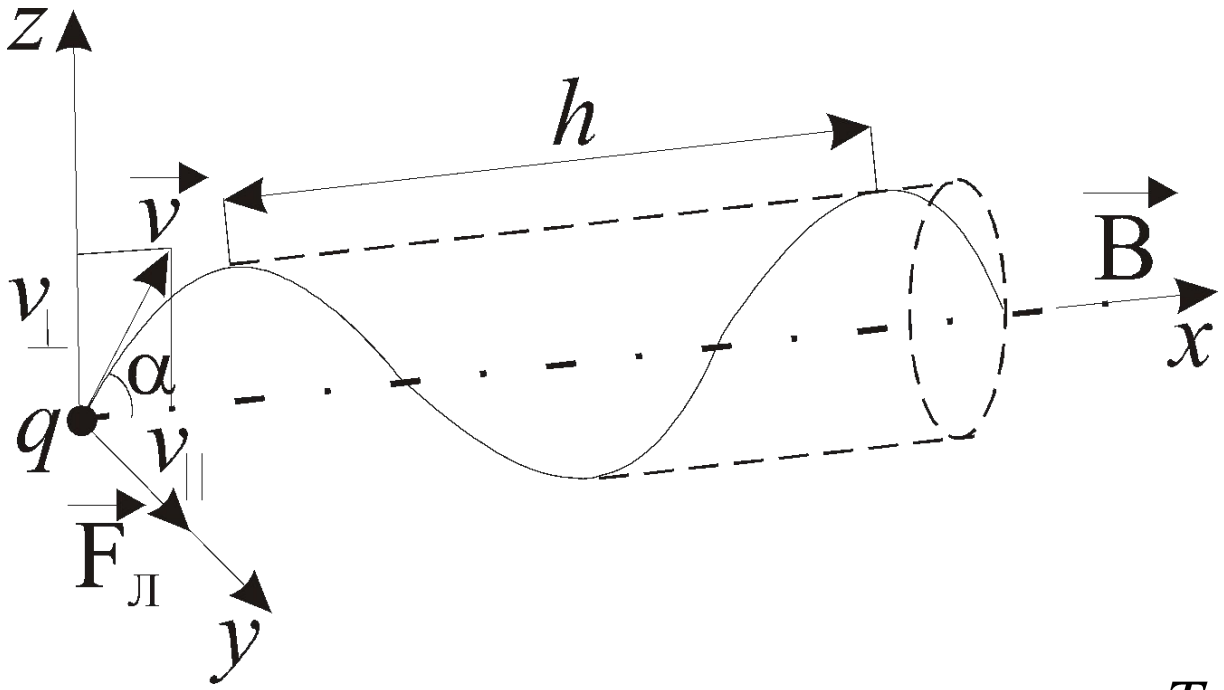
$$qvB = ma_{ц} = mv^2 / r$$

$$r = mv/(qB)$$

$$v << c \qquad m = const$$

$$T = 2\pi r / v = 2\pi m/(qB)$$

Траектория частицы 3 – комбинация 1 и 2



$$qv_{\perp}B = ma_{ц} = mv_{\perp}^{2}/r$$

$$r = mv_{\perp}/(qB)$$

$$v << c \qquad m = const$$

$$T = 2\pi r/v_{\perp} = 2\pi m/(qB)$$

$$v_{\parallel} = v\cos\alpha = const$$

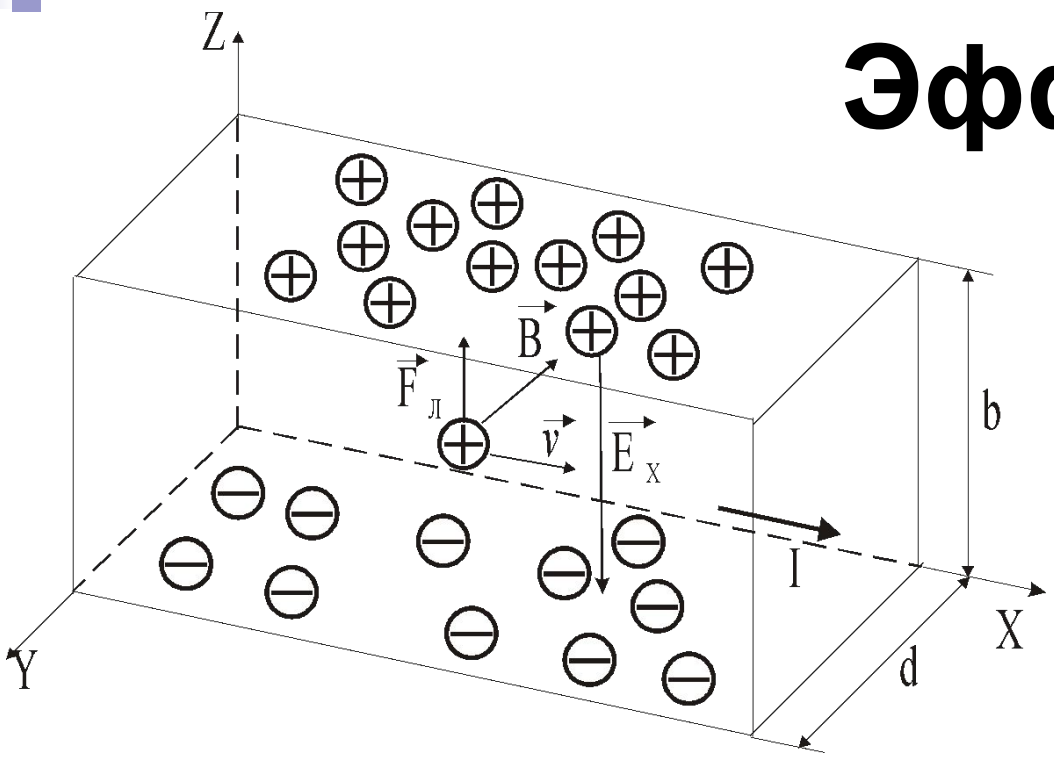
$$v_{\perp} = v\sin\alpha$$

$$h = v_{\parallel}T \overset{(7)}{=} \frac{2\pi mv\cos\alpha}{qB}$$

Магнитогидродинамические генераторы (МГД-генераторы)

- Плазменная струя, получаемая, например, в камере сгорания топлива, обогащенного парами легко ионизируемых щелочных металлов, направляется в МП. В МП электроны и положительные ионы (катионы) отклоняются силой Лоренца в противоположные стороны и воспринимаются электронным и ионным коллекторами. В результате между коллекторами возникает и поддерживается разность потенциалов, создающая электрический ток в подсоединенной к МГД-генератору внешней электрической цепи.

Эффект Холла



$$F_{электр} = eE_x = eU_x / b = evB = F_л$$

$$I = jS = nevS = nevbd \qquad v = I/(nebd)$$

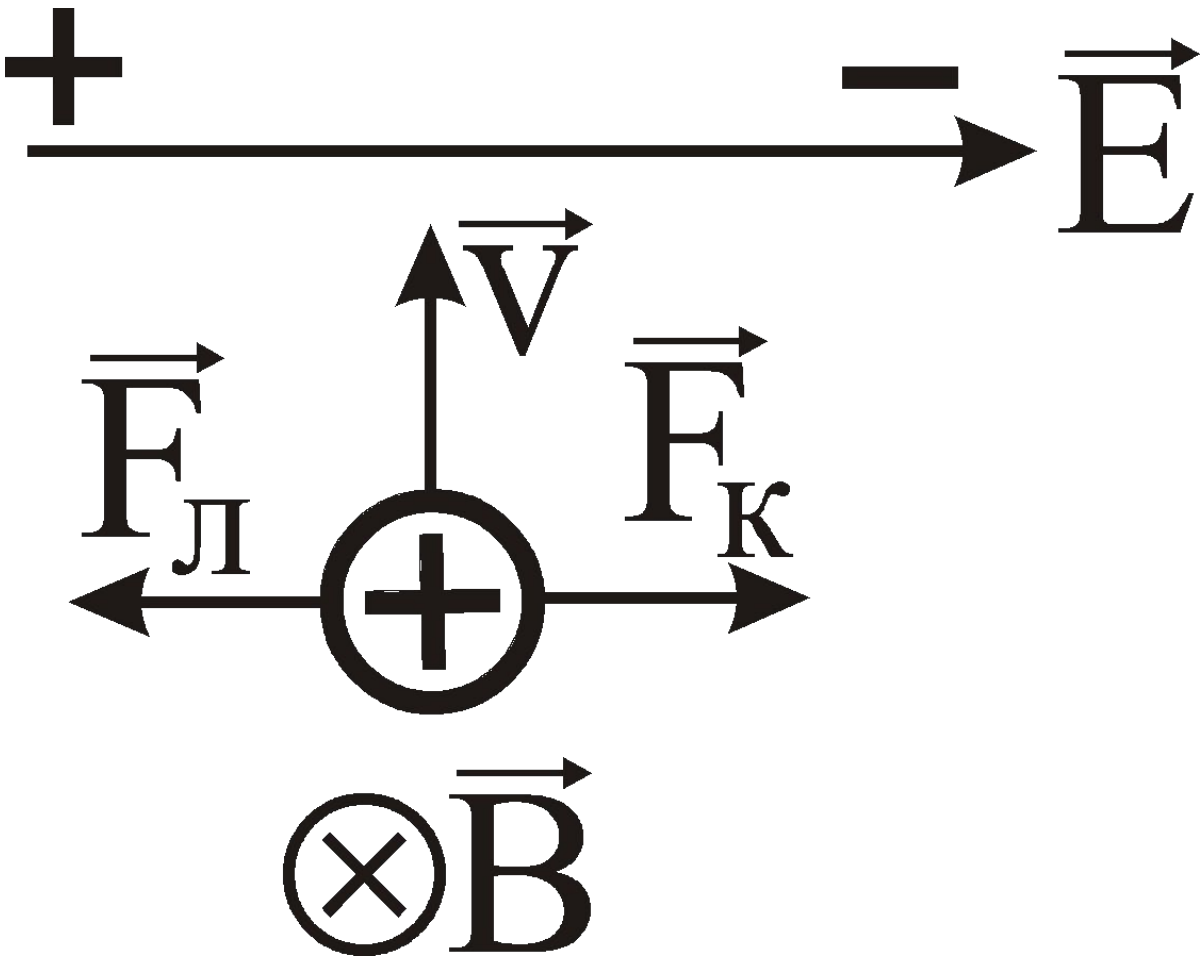
$$U_x = \frac{I}{nebd} Bb = \frac{1}{ne} \cdot \frac{IB}{d} = R \cdot \frac{IB}{d}$$

Движение заряженной частицы в ЭП и МП

При рассмотрении одновременного действия на заряженную движущуюся частицу ЭП и МП, т.е. для определения направления и величины (модуля) результирующей силы, действующей на частицу, применяют общий подход (см. типовую задачу 1 с решением):

- Определяют по правилу левой руки направление вектора силы Лоренца, действующей на заряженную частицу со стороны МП, и величину этой силы согласно принципу независимости действия сил (как если бы других сил и полей, действующих на частицу не существует).
- Накладывают на полученный рисунок ЭП и определяют направление вектора кулоновской силы, действующей на заряженную частицу со стороны ЭП согласно принципу независимости действия сил (как если бы других сил и полей, действующих на частицу не существует).
- По правилам векторного сложения определяют направление вектора результирующей силы и ее величину (по теоремам синусов, косинусов или Пифагора).

Движение заряженной частицы в ЭП и МП



Ускорители частиц

- **Ускорителями заряженных частиц** называются устройства (линейные ускорители, циклотроны, фазотроны, синхротроны, синхрофазотроны), в которых под действием постоянных и переменных электрических и магнитных полей создаются и управляются пучки высокоэнергетичных заряженных частиц (электронов, протонов, мезонов, т.д.).

Благодарю за внимание