

***Действие магнитного  
поля на частицы.  
Сила Лоренца***

***Лекция № 6***



## ***Содержание лекции:***

- ***Сила Лоренца***
- ***Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле***
- ***Эффект Холла***

# Сила Лоренца.

Сила Лоренца действует на заряженные частицы, движущиеся в магнитном поле.

Закон Ампера: на элемент  $dl$  проводника с током

$I$  действует сила  $d\vec{F} = I [d\vec{l}, \vec{B}]$ .

На одну заряженную частицу в элементе тока  $I dl$  действует сила Лоренца

$$F_{\text{л}} = \frac{dF}{dN},$$

где  $dN$  – число частиц в объеме проводника длиной  $dl$ . 3

$$dN = ndV = nSdl .$$

$$\left. \begin{array}{l} I = jS \\ j = qn v \\ \vec{v} \uparrow \uparrow d\vec{l} \end{array} \right\} Idl = jSdl = qn v Sdl \quad (*)$$

$$d\vec{F} = \left[ \underbrace{Id\vec{l}}_{(*)}, \vec{B} \right] = \left[ qn v Sdl, \vec{B} \right] = q n \underbrace{Sdl}_{\substack{dV \\ dN}} \left[ \vec{v}, \vec{B} \right]$$

$$\vec{F}_{\text{л}} = \frac{d\vec{F}}{dN} = q \left[ \vec{v}, \vec{B} \right].$$

$$\vec{F}_{\text{Л}} = \frac{dF}{dN} = q [\vec{v}, \vec{B}].$$

$$F_{\text{Л}} = |q| v B \sin \alpha.$$

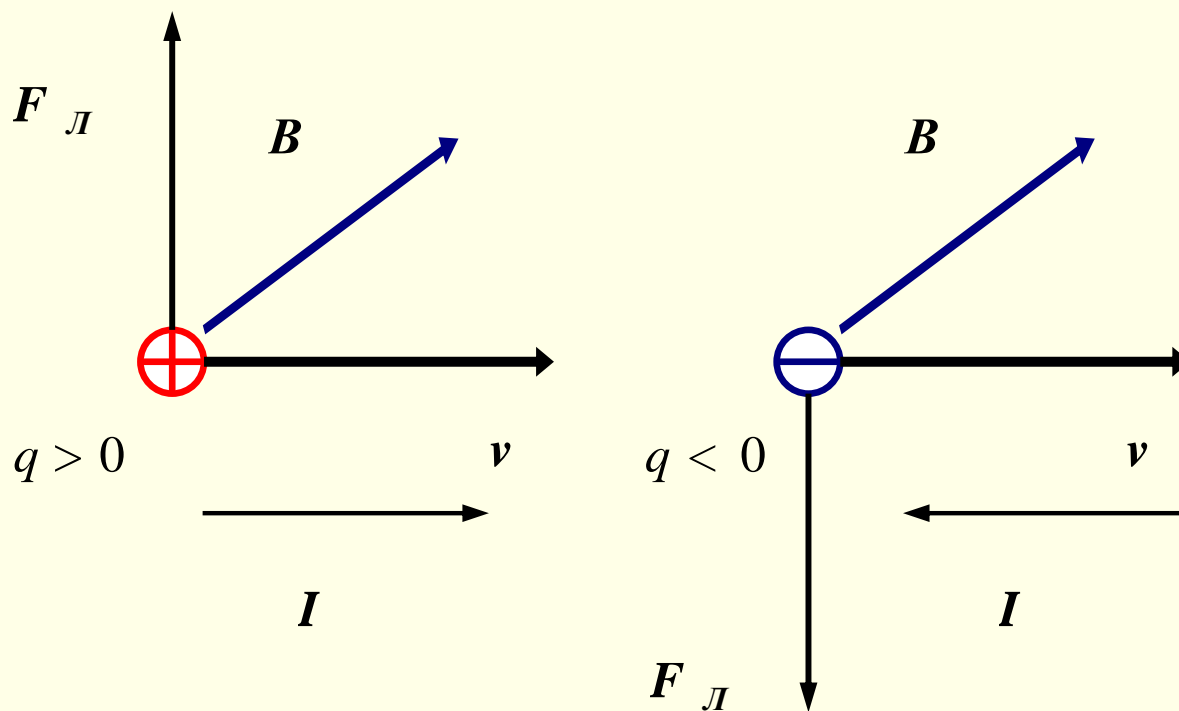
$$\vec{F}_{\text{Л}} \perp \vec{v} \quad \Rightarrow$$

Сила Лоренца работу не совершает, не изменяет кинетическую энергию, а изменяет только направление движения заряженной частицы.

Если есть и электрическое поле, то на заряд действуют две силы и результирующая сила равна

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

– формула Лоренца.



Сила Лоренца, действующая в магнитном поле на движущиеся в одном направлении положительные и отрицательные заряды, имеет противоположное направление.

# Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле

- $\alpha = 0^\circ$  Траектория движения – прямая линия.

$$\vec{F}_{\text{Л}} = q [\vec{v}, \vec{B}] = 0.$$

- $\alpha = 90^\circ$  Траектория движения – окружность.

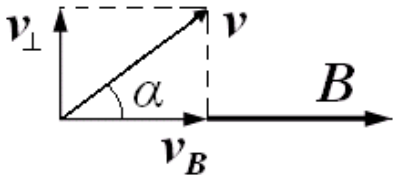
$$F_{\text{Л}} = q v B = m a_{\text{ц}} = \frac{m v^2}{R} \Rightarrow q B = \frac{m v}{R}; \quad v = \frac{q B R}{m}.$$

$$T = \frac{2 \pi R}{v} \quad T = 2 \pi \left| \frac{m}{q} \right| \cdot \frac{1}{B} \quad \text{– период обращения частицы не зависит от её скорости .}$$

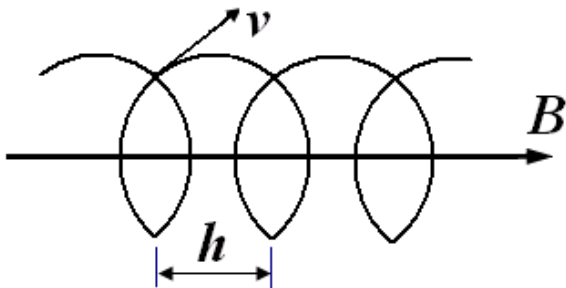
$$\bullet 0^0 < \alpha < 90^0$$

*Траектория движения – спираль.*

$$F_{\perp} = q v_{\perp} B = \frac{m v_{\perp}^2}{R} \Rightarrow qB = \frac{m v \sin \alpha}{R}; \quad v \sin \alpha = \frac{qBR}{m}.$$



$$T = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi R \cdot m}{qBR} = 2\pi \left| \frac{m}{q} \right| \frac{1}{B}.$$



Шаг спирали:

$$h = v_B T = \frac{2\pi}{B} \left| \frac{m}{q} \right| v \cos \alpha.$$

Величина  $q/m$  – **удельный заряд** данной частицы.



# Лоренц Хендрик Антон (1853—1928)



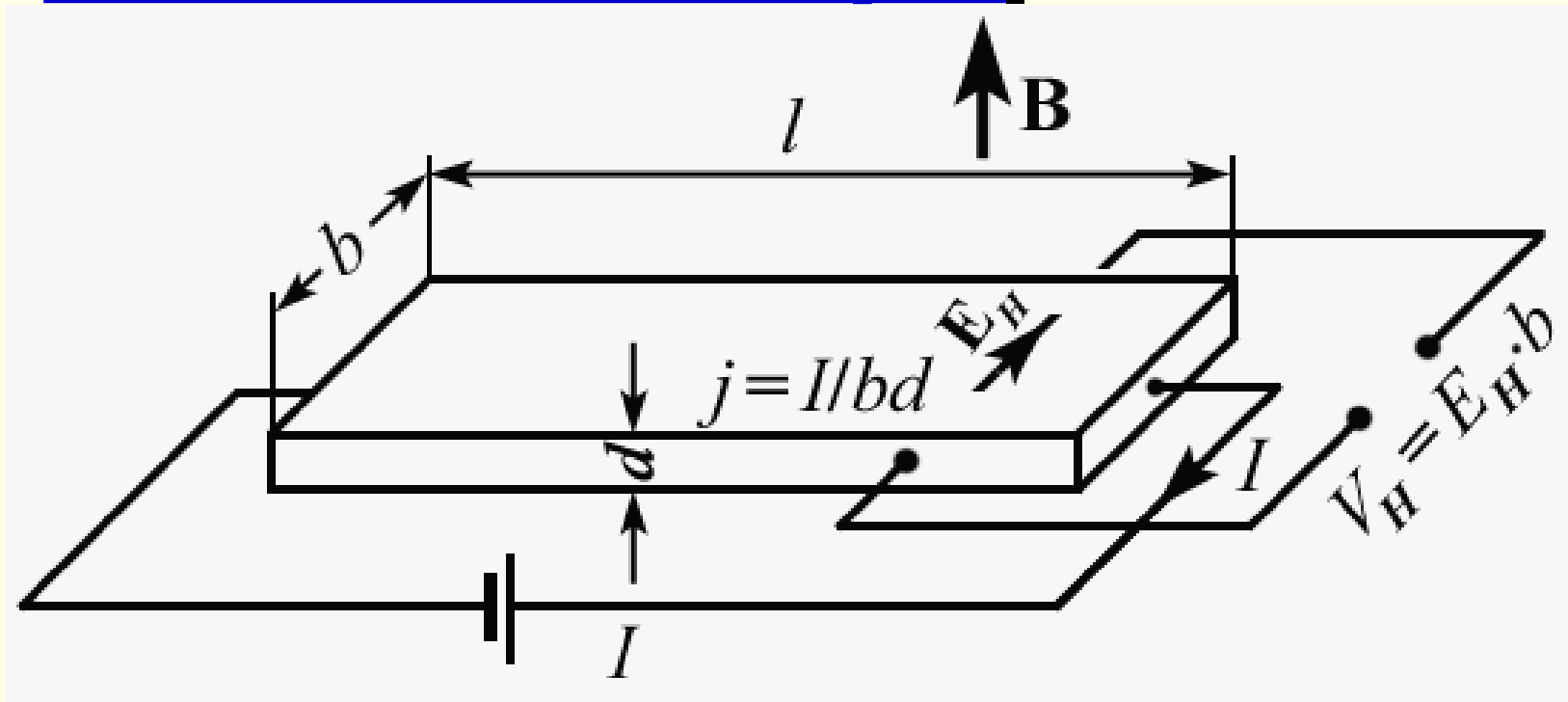
Нидерландский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике (1902) и др. наград, член Нидерландской королевской АН (1881), известен своими работами в области электродинамики и оптики, статистической механики, теории излучения, теории металлов, атомной физики.

# Эффект Холла 1880г.

*Эффект Холла* – в металле или полупроводнике с током, помещенном в магнитное поле, перпендикулярное к вектору плотности тока  $j$ , возникает поперечное электрическое поле между точками, лежащими на верхней и нижней гранях пластины, с разностью потенциалов  $\Delta\varphi$ .

Своеобразный эффект, обусловленный действием силы Лоренца на свободные заряды в проводнике; позволяет судить о знаке этих зарядов.

Определим  $\Delta \varphi$  для простейшего случая – носители тока имеют один знак заряда.



$b$  – ширина ленты-проводника;

$$\Delta \varphi = E \cdot b$$

Перераспределение зарядов прекратится, когда

$$eE = eV \nu \Rightarrow E = B \nu$$

*Вспомним:* 
$$j = \frac{I}{S} = en v$$

Выражая отсюда  $v$  и подставляя найденное значение, получим:

$$E = \frac{1}{ne} \frac{I}{S} B = \frac{1}{ne} jB$$

Тогда :

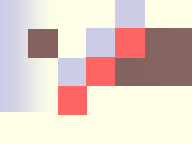
$$\Delta \varphi = \frac{1}{ne} \frac{I}{S} Bb = \frac{1}{ne} jbB$$

Для пластинки толщиной  $d$  получим:

$$\Delta \varphi = \frac{1}{ne} \frac{I}{d} B = R \frac{IB}{d}$$

$$R = \frac{1}{ne} \quad - \text{ константа Холла.}$$

Если  $R < 0$ , проводимость  $n$ -типа (электронный полупроводник), если  $R > 0$ , проводимость  $p$ -типа (дырочный полупроводник).



Исследования проводимости металлов с помощью эффекта Холла привели к удивительным выводам:

Металлы, как и полупроводники, могут обладать проводимостью p-типа! Это относится к металлам, у которых дырочная проводимость может превалировать над электронной. В таких металлах, как цинк и кадмий, дырки в среднем более подвижны, чем электроны.

# Эдвин Герберт Холл

## (1855 — 1938)

Основные труды по исследованию термоэлектрических, тепловых, гальваномагнитных и термомагнитных эффектов в проводниках (в частности, в мягком железе). В 1879 открыл «эффект Холла»

