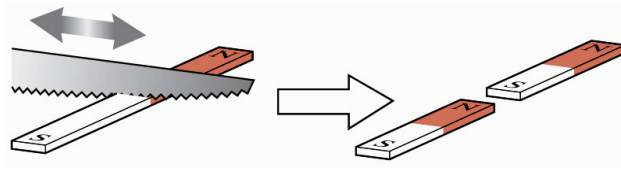


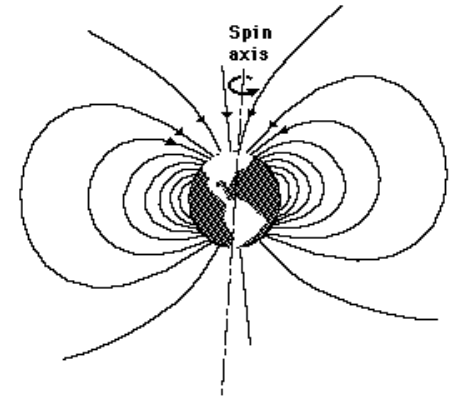
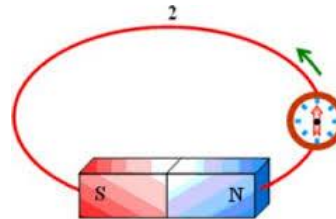
Магнитно поле

- ❖ Всеки магнит има два полюса – северен (N) и южен (S)

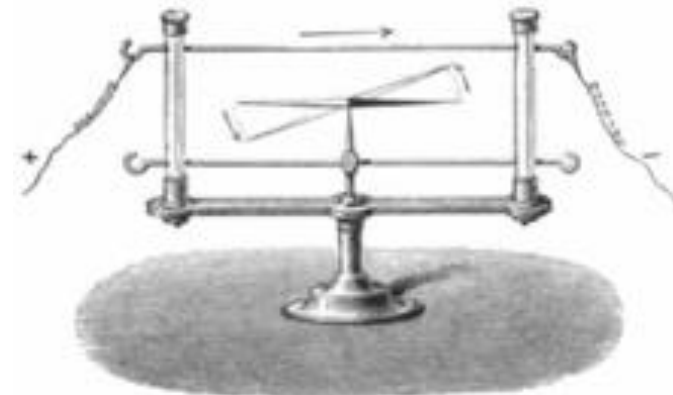


- Магнитите си взаимодействат със сили подобно на електрическите заряди
 - Едноименните полюси се отблъскват разноименните се привличат
- ❖ Магнитното поле **обгражда** всеки **постоянен магнит** и всяка **движеща се заредена частица**

- Посоката на магнитното поле се задава от северния полюс на магнитната стрелка



- ❖ Връзката между електричеството и магнетизма е открита през 1819 г от Оерстед



Магнитни сили

- ❖ Да разгледаме движеща се електрически заредена частица близо до проводник с ток или до постоянен магнит.

Какво се случва ?

- Траекторията на частицата близо до магнита или до проводника с ток започва да се закривява т.е. установяваме че върху движеща се електрически заредената частица действа магнитна сила.
 - ✓ Магнитната сила зависи от посоката на движение на заредените частици: тя е нула когато частицата се движи || на магнитните силови линии и максимална когато се движи $\perp$ на тях,
 - ✓ Максималната магнитна сила F_{max} е право-пропорционална на големината на заряда q и на скоростта му v .
 - ✓ Магнитното поле се характеризира с величината магнитна индукция B запазваща се (постоянна) във всяка точка на полето и представляваща отношението F_{max}/qv .

Магнитна индукция

❖ Магнитна индукция ***B***. Единицата на магнитната индукция е **Тесла (T)**

$$B = \frac{F_{B,\max}}{qv} \Rightarrow \left[T = \frac{N}{C \cdot m / s} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{N \cdot m}{A \cdot m^2} = \frac{J}{A \cdot m^2} = \frac{A \cdot V \cdot s}{A \cdot m^2} = \frac{V \cdot s}{m^2} \right]$$

- Това отношение **характеризира магнитното поле** в дадена точка. Еднакво е за всички заредени частици и не зависи от големините на техните заряди и скорости (понеже **$F_{B,\max} \sim qv$**).
- Математическите линии които показват посоката на магнитната индукция се наричат **индукционни линии**.
- Във всяка точка от МП векторът ***B*** е насочен по **допирателаната** към индукционната линия минаваща през дадената точка.

Големина и посока на магнитната сила

- ❖ Магнитната сила действаща на движещ се заряд се характеризира с *големина и посока* т.е. тя е векторна величина.

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \Rightarrow F_B = qvB \sin(\theta)$$

✓ *Векторното произведение* на двата вектора $\vec{v} \times \vec{B}$ е вектор:

■ *с посока*:

- перпендикулярна на равнината образувана от изходните вектори
- подчинява се на *правилото на дясната ръка*

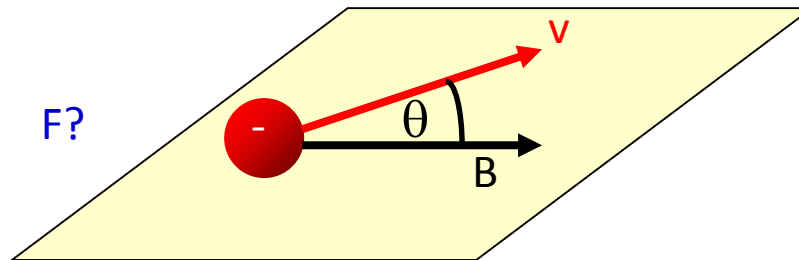
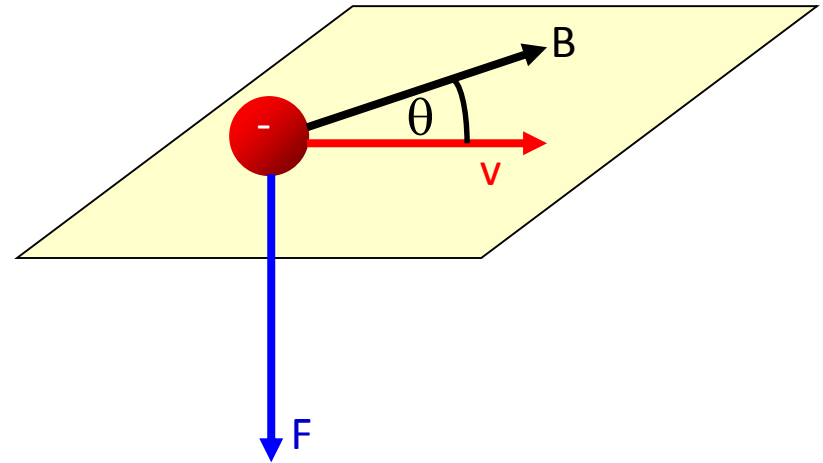
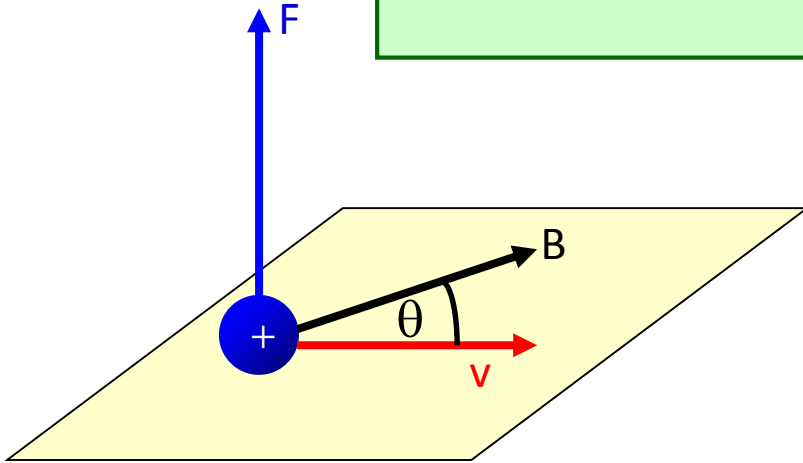
■ *с големина*: $vB \sin(\theta)$

■ математика

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = (v_y B_z - v_z B_y) \vec{i} + (v_z B_x - v_x B_z) \vec{j} + (v_x B_y - v_y B_x) \vec{k}$$

Посока на магнитната сила: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \Rightarrow F_B = qvB \sin(\theta)$

Пръстите на дясната ръка сочат от първия към втория вектор във векторното произведение, от страната на по-малкия ъгъл. Изпънатия палец сочи посоката на силата. Ако заряда е отрицателен посоката на силата е противоположна.



Магнитна сила действаща на движещи се заредени частици (в примери)

Пример: Частица със заряд $2 \cdot 10^{-12} \text{C}$ се движи перпендикулярно на индукционните линии на еднородно МП с големина 0.1T . Магнитната сила която и действа е $2 \cdot 10^{-12} \text{N}$. *Каква е скоростта на частицата?*

Пример: Електрон се движи в еднородно магнитно поле с индукция $\mathbf{B} = (0.1 \text{T})\mathbf{i} + (0.2 \text{T})\mathbf{j}$. *Изразете чрез единичните вектори $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ на правоъгълна координатна система вектора на магнитната сила $\mathbf{F}$ действаща на електрон в точка от магнитното поле през която той преминава със скорост $\mathbf{v} = (2 \cdot 10^6 \text{m/s})\mathbf{i}$.*

$$q_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}; \quad 1 \text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J} \quad 1 \text{V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

Сравнение на електричната и магнитната сили

❖ Електрична сила: $\vec{F}_e = q\vec{E}$

❖ Магнитна сила: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$

- ЕП се характеризира чрез величината *интензитет на ЕП E* . МП се характеризира чрез *магнитната индукция B* .
- Електричната сила действа в направлението на ЕП т.е на E , докато магнитната сила действа перпендикулярно на МП т.е B .
- ЕП действа на заредена частица дори и тя да е неподвижна, докато *МП действа само на движещи се частици*.
- Електричната сила извършва работа при преместването на заредената частица, докато *магнитната сила не извършва работа при преместване на частицата* (действа по нормалата към скоростта).

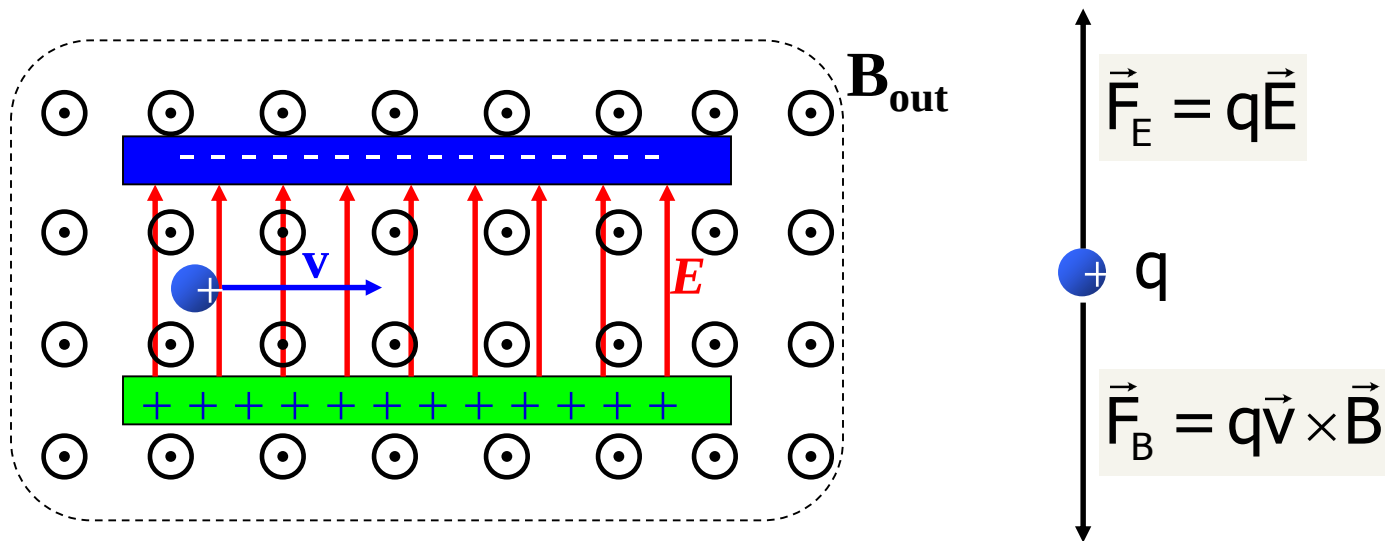
Лоренцова сила

- ✓ Върху заредена частица движеща се в област от пространството в която съществуват и **електрично и магнитно** полета действа резултантна сила наречена сила на Лоренц (на името на холанския физик Лоренц (1853-1828)).

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Пример: Заредена частица преминава през област от пространството в което едновременно действат еднородни електрично и магнитно полета. Векторите ***E*** и ***B*** са взаимно перпендикулярни а електричната ***F_e*** и магнитната ***F_B*** сили отклоняват частиците в противоположни посоки. ***Да се изчисли скоростта v на частицата.***

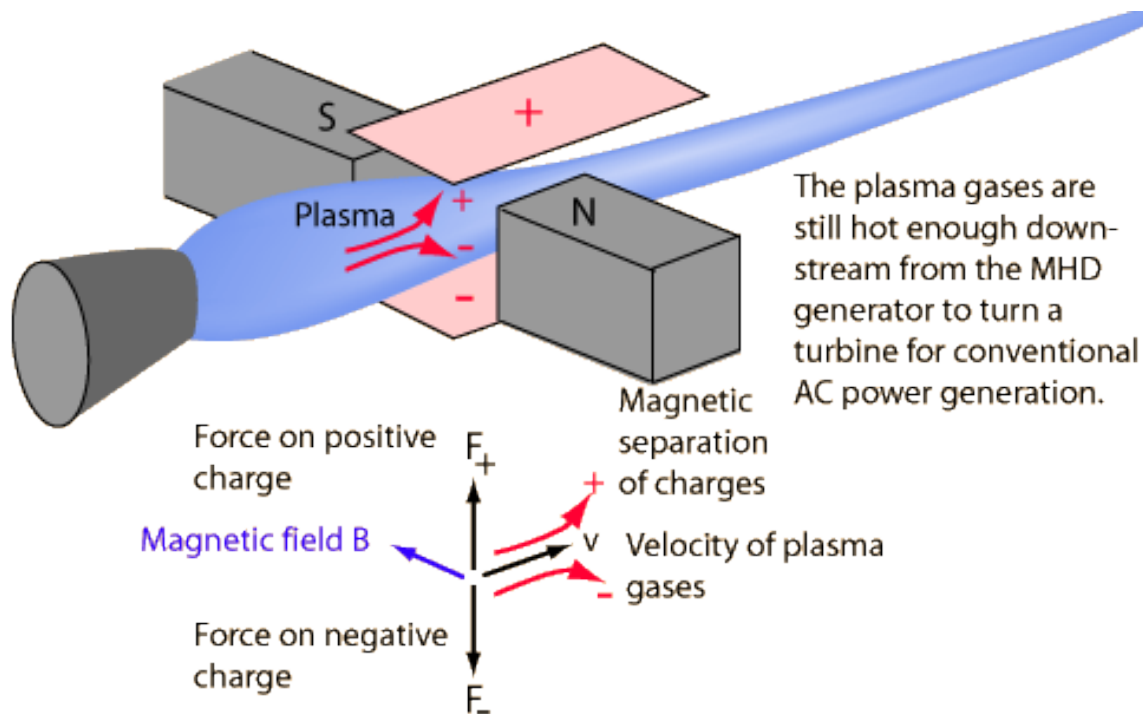
Селектор на скорости



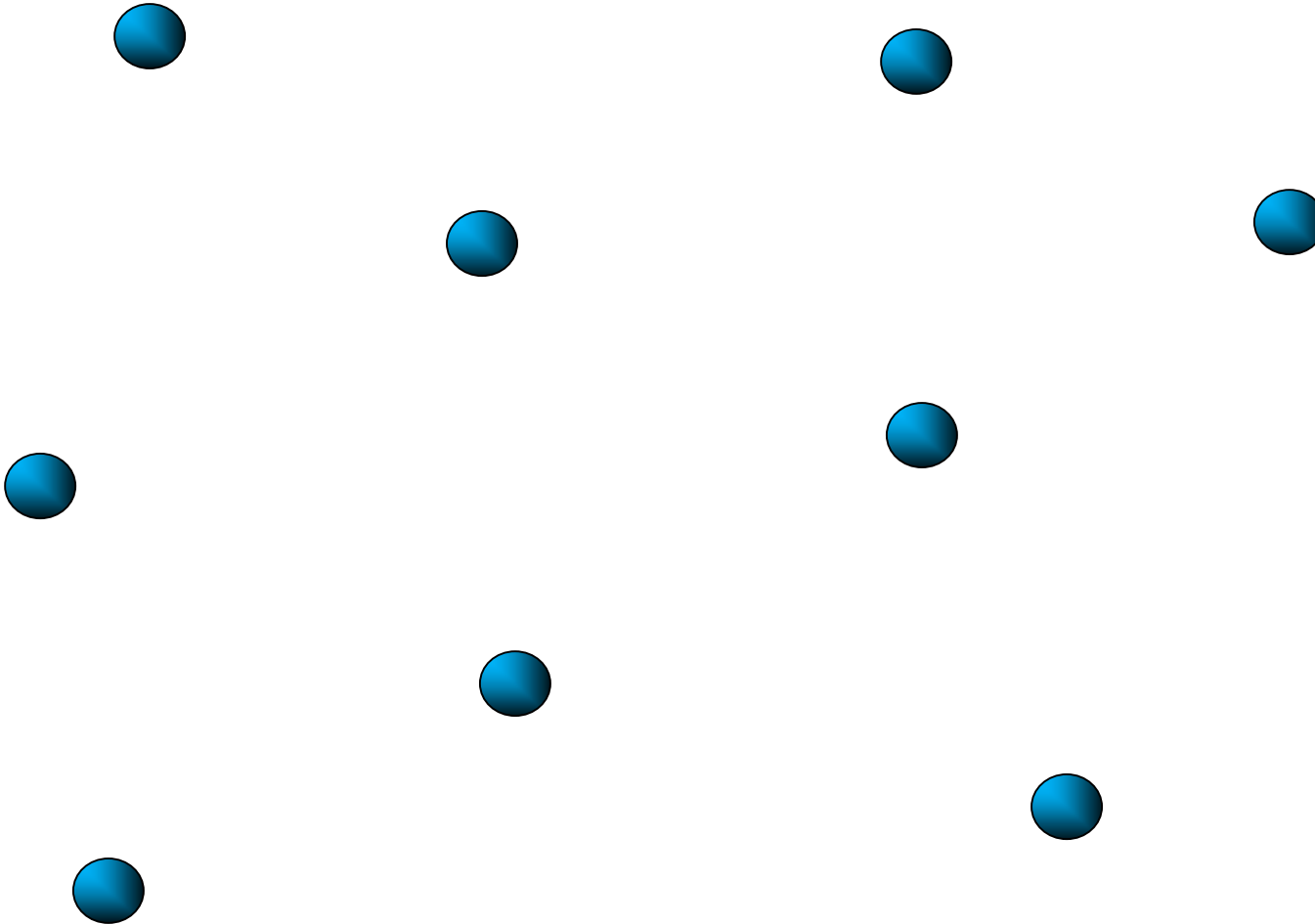
Когато електричната и магнитната сили са равни и противоположно насочени т.е $F_E = F_B$ зарядът се движи по права линия:

$$qE = qvB \quad \text{or} \quad v = \frac{E}{B}$$

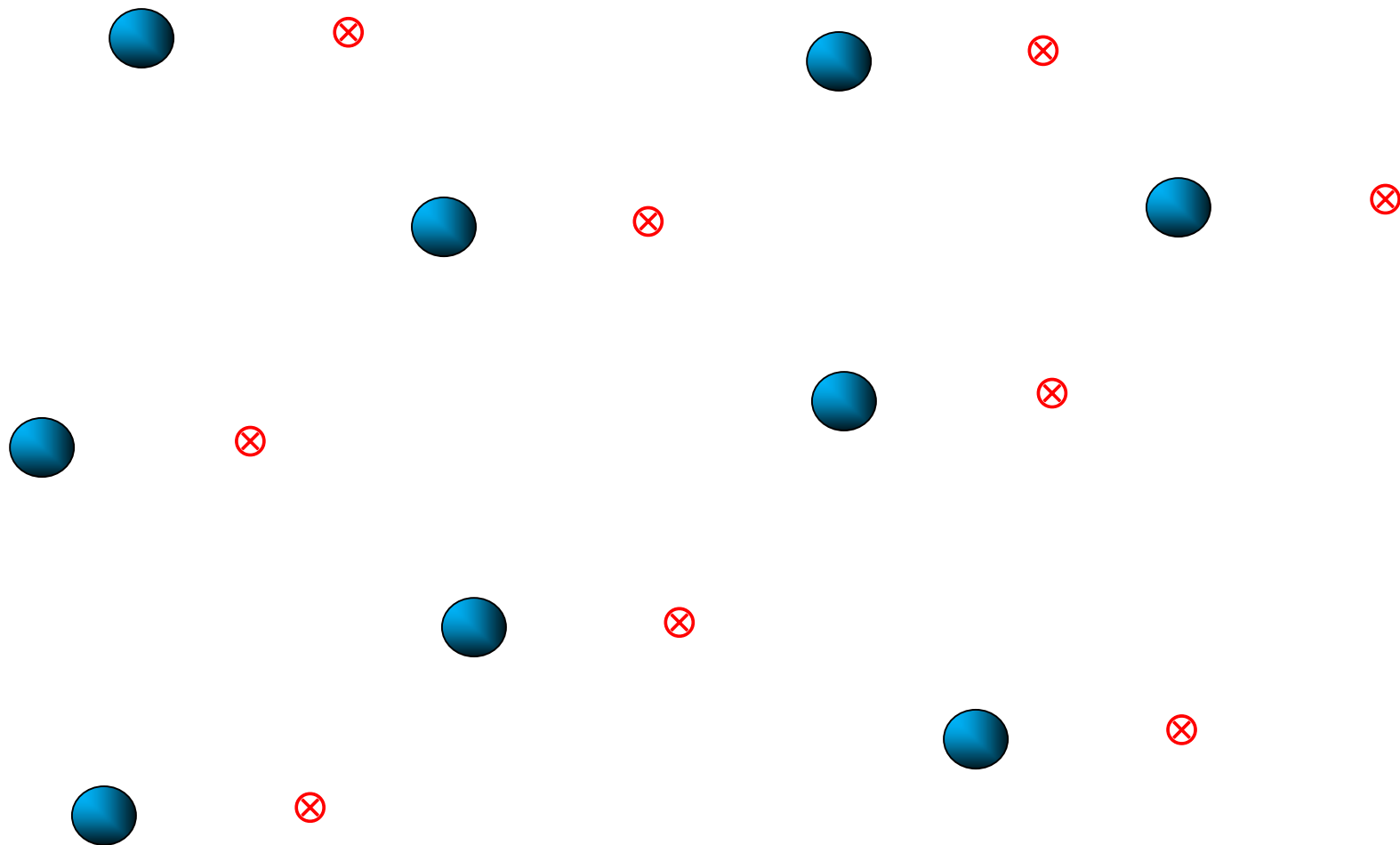
Магнито-хидродинамичен генератор



Електроните се движат в равнината.
Как ще се движат те ако приложим магнитно поле перпендикулярно на движението им?



Прилагаме еднородно магнитно поле перпендикулярно на равнината
✓ Електроните се движат по окръжност

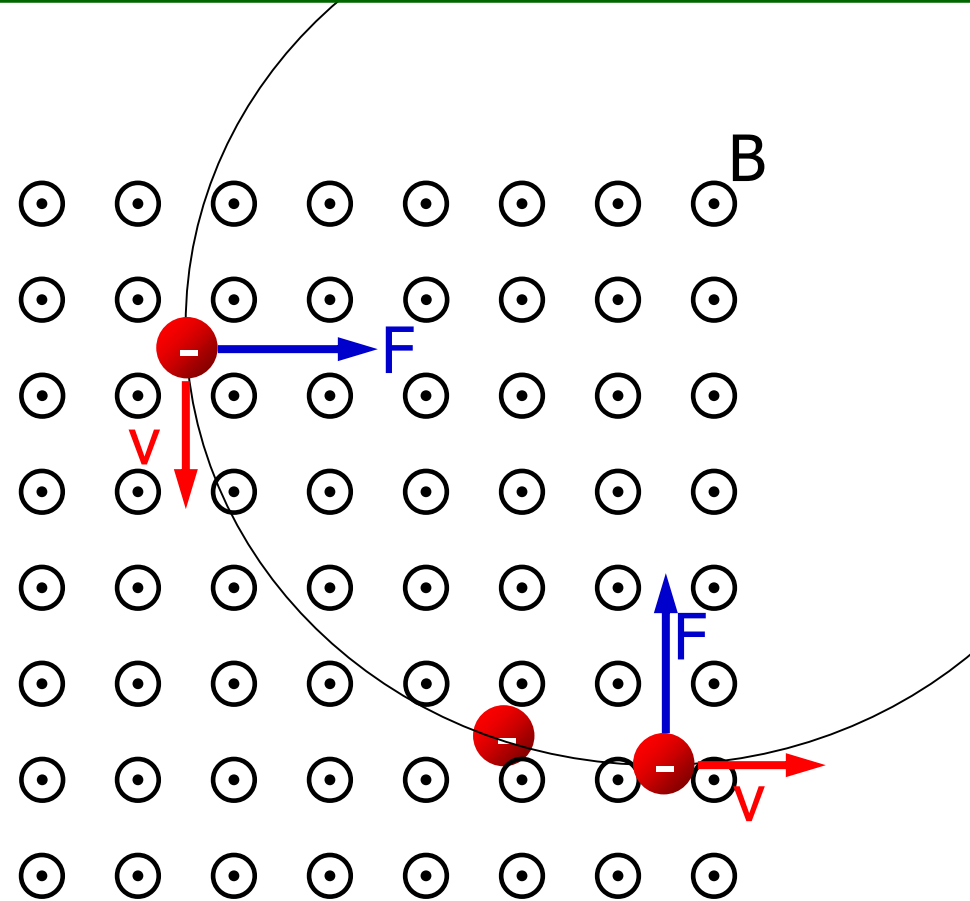


Движение на заредените частици в хомогенно магнитно поле

Пример: електрон се движи със скорост 2×10^7 m/s перпендикулярно на магнитно поле с индукция 0.01 T. Опиши траекторията.

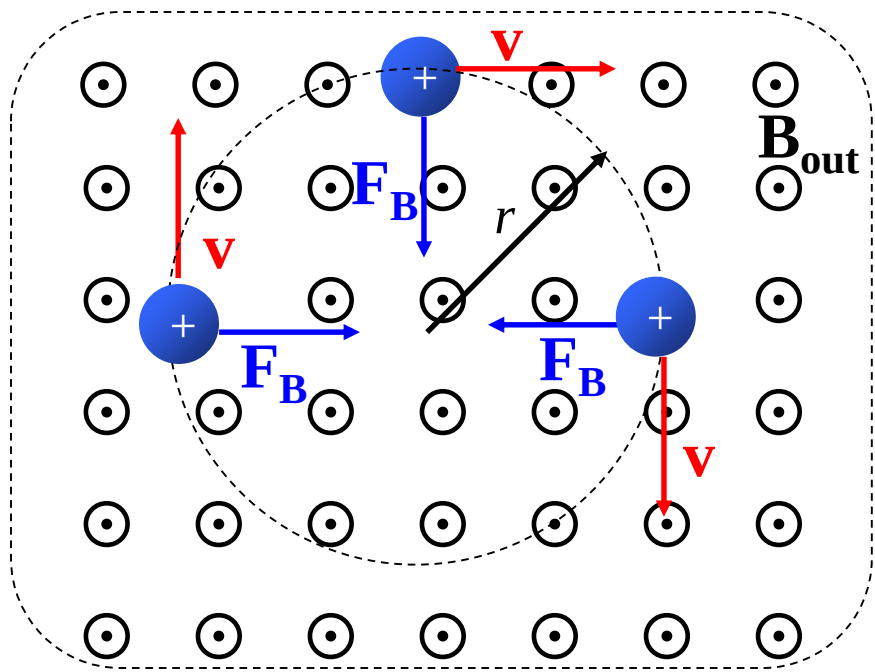
Пример: електрон се движи със скорост 2×10^7 m/s перпендикулярно на магнитно поле с индукция 0.01 T. Опиши траекторията.

Магн. сила действаща на e^- е винаги $\perp$ на скоростта. Ако $\vec{v}$ и $\vec{B}$ са постоянни (еднородно магн. поле), тогава и $\vec{F}$ е постоянна (по големина).



Електронът ще се движи по кръгова траектория с постоянна скорост и ускорение по нормалата $a_n = v^2/r$, където r е радиусът на окръжността.

Движение на протон в еднородно магнитно поле



Периодът T е:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

Силата е по нормалата и има големина qvB . При движение по окръжност ускорението е $a_n = v^2/r$

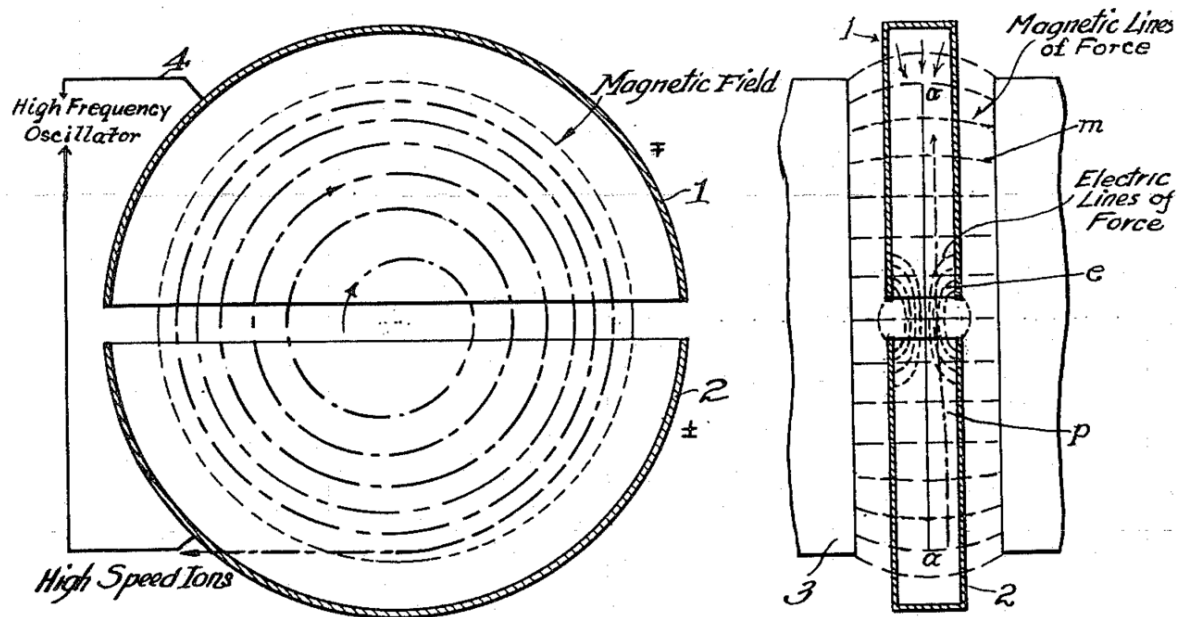
$$F = |q|vB = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \frac{|q|rB}{m} \quad r = \frac{mv}{|q|B}$$

Честотата на въртене е наречена циклотронна:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

Циклотрон

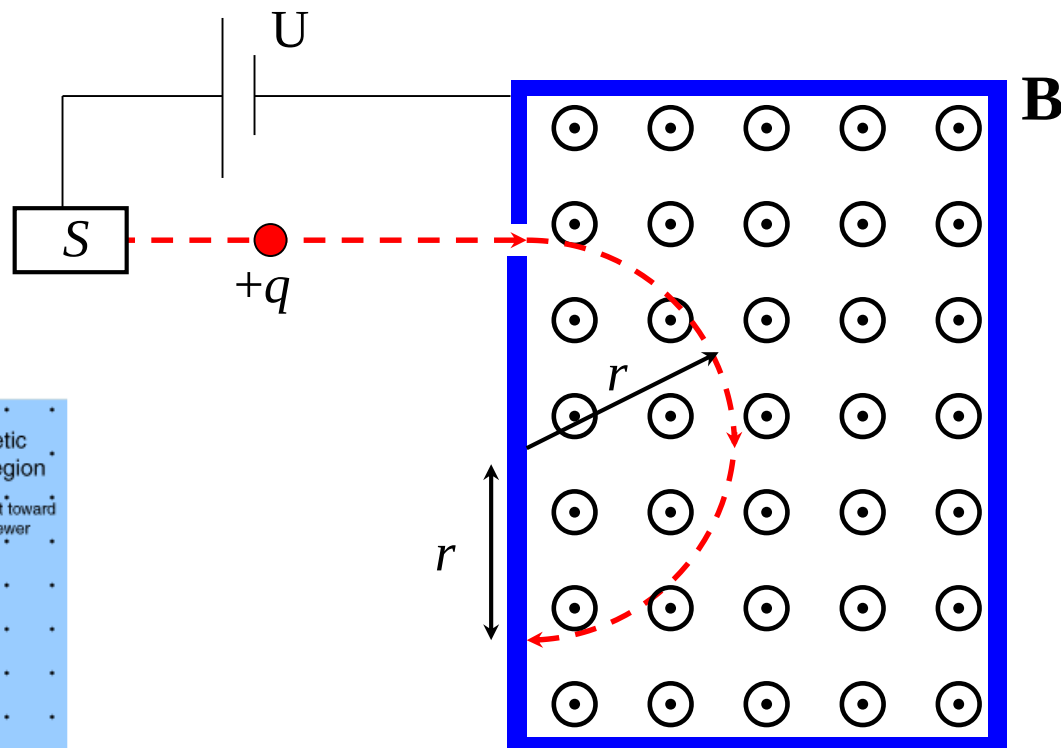
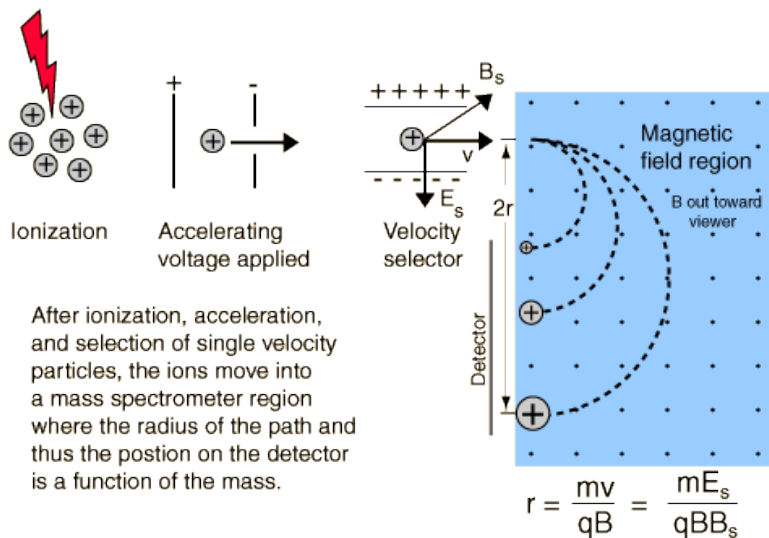


Френски циклотрон, произведен в [Цюрих, Швейцария](#) през 1937 г.

Устройство на **циклотрона** от заявката за патент на **Ърнест Лорънс** от **1934 г.** Магнитното поле е насочено перпендикулярно на равнината на рисунката. Недостатък на циклотрона е това, че в него не могат да се постигнат големи енергии на частиците, тъй като при високи скорости се проявява релативистката зависимост на периода на завъртане от скоростта на частиците. Проблемът е решен чрез построяването на т.нар. **протонен синхротрон**.

Мас Спектрометър

- ✓ Мас спектрометъра разделя частиците с различни маси.
- ✓ Когато йони с фиксирана енергия влязат в зона с постоянно магнитно поле те започват да се движат по окръжност:
- ✓ Радиусът на окръжността зависи от отношението маса/заряд, скоростта на йона и от големината на магнитното поле.



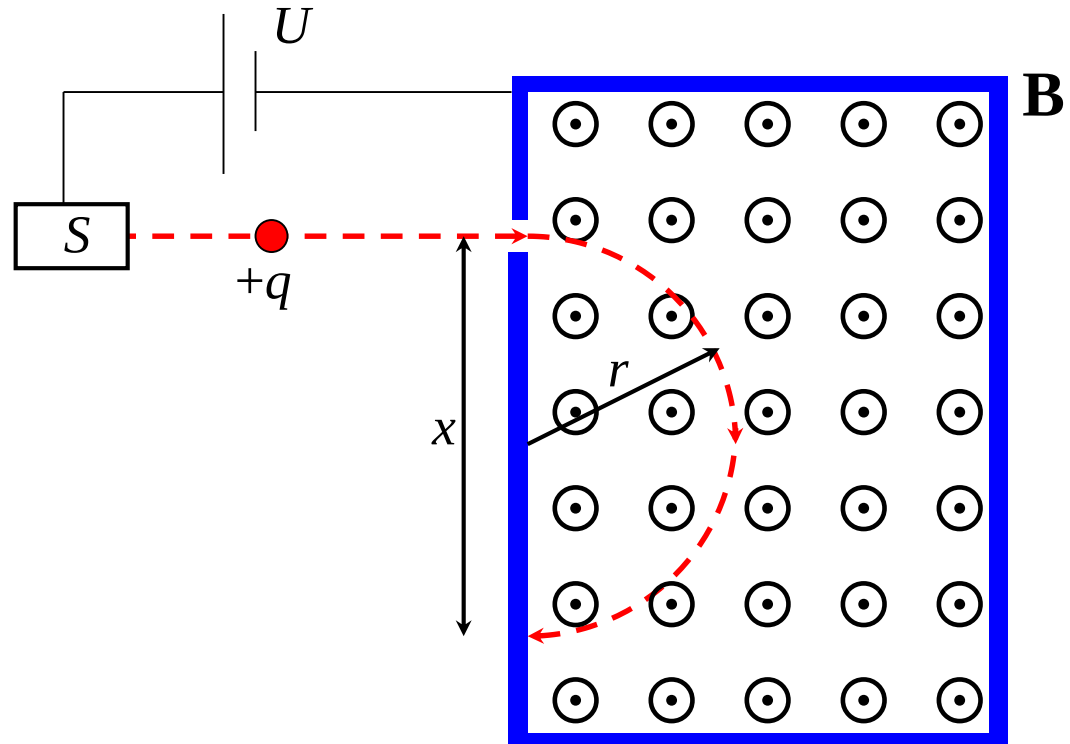
Thanks to Dr. Waddill for the use of the picture.

Положително заредени йони със заряд $1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ се ускоряват от напрежение 1000 V след което влизат в област с хомогенно магнитно поле с индукция $B=80.0$ перпендикулярна на траекторията им. Описвайки полуокръжност те достигат до детектиращата плака на разстояние $x = 1.7558 \text{ m}$ от входната си точка. Каква е масата на йоните?

Радиус на окръжността:

$$x = 2r \quad \text{and} \quad r = \frac{mv}{qB}$$

Неизвестни m и v .



Определяме скоростта (v) чрез работата (A_E) на електричното поле за преместването на заряда (d), която е точно равна на кинетичната енергия на заряда преди влизане в магн. поле

$$F_E = qE$$

$$F_E d = qEd$$

$$A_E = qU = \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

$$m = \frac{rqB}{v} = \frac{rqB}{\sqrt{\frac{2qU}{m}}}$$

$$m = \frac{r^2 q B^2}{2U}$$

$$m = \frac{(0.08 \text{ T})^2 (1.7558 \text{ m})^2 (1.6022 \times 10^{-19} \text{ C})}{8(1000 \text{ V})}$$

$$m = 3.9515 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

Магнитна сила действаща на движещи се заредени частици (в примери)

Пример: Във вакуумна камера е създадено еднородно магнитно поле с индукция $0.2T$. В камерата попада протон с $E_k=1.67MeV$ движещ се перпендикулярно на вектора на магнитната индукция. *Определете големината и посоката на магнитната сила.*

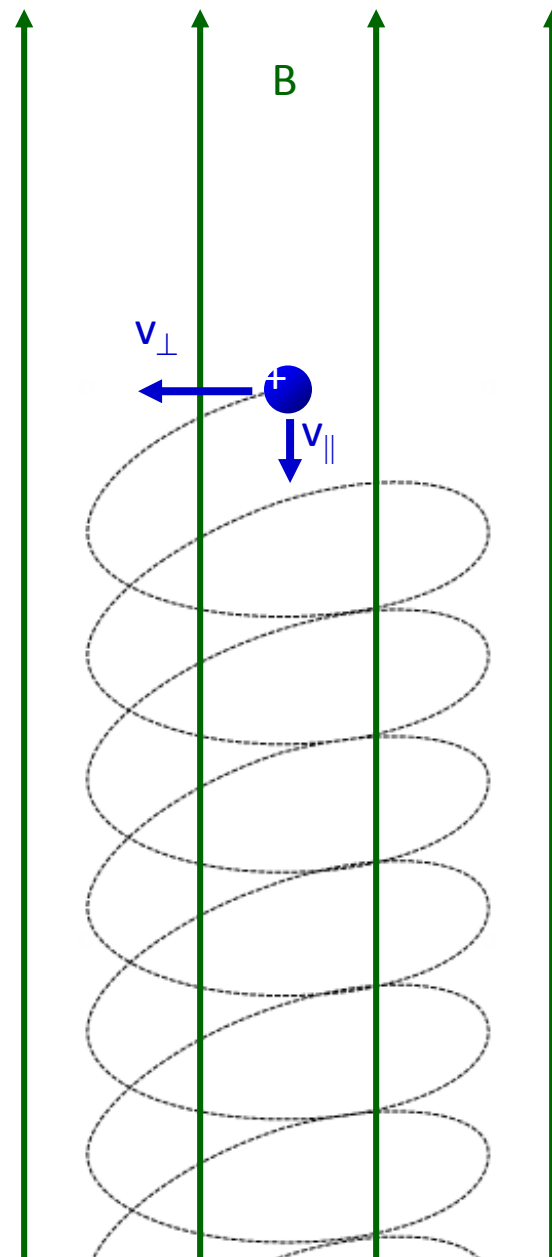
Пример: Електрон във вакуумна камера се ускорява от напрежение $2000V$ движейки се перпендикулярно на индукционните линии на еднородно магнитно поле с индукция $1T$. *Каква е големината на магнитната сила действаща върху електрона?*

$$q_0=1,6 \cdot 10^{-19}C; \quad 1eV = 1,6 \cdot 10^{-19}J. \quad 1V = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

Движение по винтова линия в еднородно магнитно поле

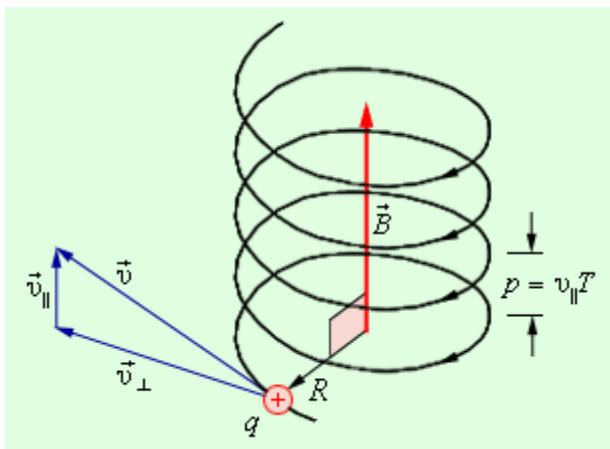
Ако $\vec{v}$ и $\vec{B}$ са перпендикулярни, заредената частица се движи по окръжност като $\vec{v}$ не се променя (но променя посоката си).

Ако $\vec{v}$ сключва ъгъл с $\vec{B}$ т.е. има компонента успоредна на $\vec{B}$, тогава $v_{\parallel}$ не се променя а заредената частица се движи по винтова линия.



Магнитна сила действаща на движещи се заредени частици (в примери)

Пример: Електрон навлиза в еднородно магнитно поле с индукция $B=3,14 \cdot 10^{-2} \text{ Т}$, под ъгъл 30° спрямо B , със скорост $8 \cdot 10^8 \text{ cm/s}$. Масата на електрона е $m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. **Да се определят радиусът R и стъпката p на винтовата линия по която ще се движи електронът.**

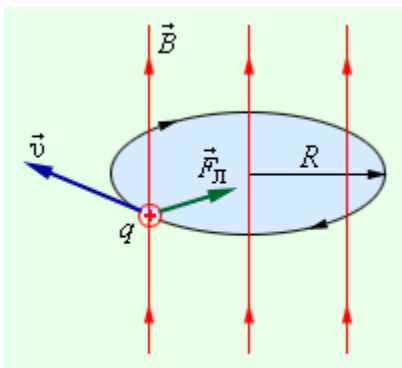


$$V_{\perp} = V \sin \alpha; \quad V_{\parallel} = V \cos \alpha$$

$$p = V_{\parallel} T = V \cos \alpha \frac{2\pi m}{qB}$$

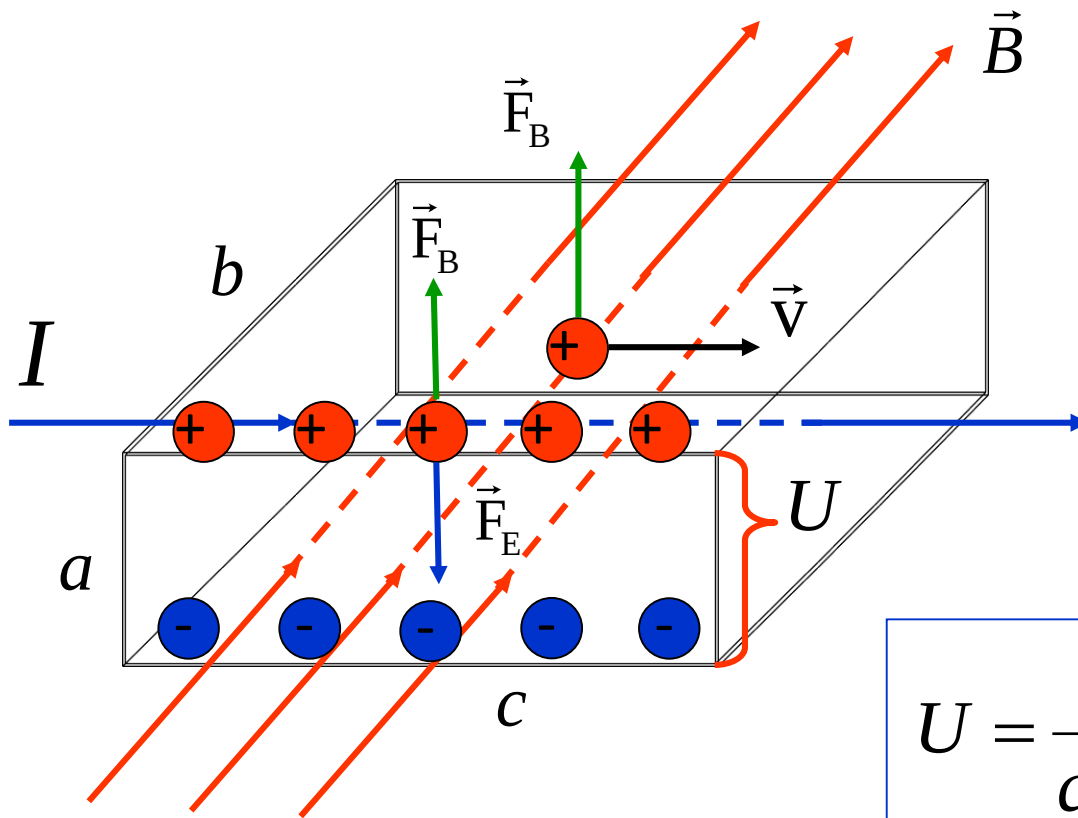
$$F_{\text{Л}} = F_{\text{ц}} = \frac{m V_{\perp}^2}{R} = m a_n$$

$$R = \frac{m V_{\perp}}{qB} \quad T = \frac{2\pi R}{V_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$$



Ефект на Хол (1879, Едвин Хол)

При пропускане на ток през плосък проводник (полупроводник) в магнитно поле, магнитната сила разделя положителните от отрицателните заряди. Възниква електрична сила и потенциална разлика между две от стените на проводника.



$$F_B = qvB \quad F_E = qE$$

$$F_B = F_E$$

$$E = vB \quad U = Ea$$

$$I = jS = qnv \cdot ab$$

$$v = \frac{I}{qnab}$$

$$U = \frac{1}{qn} \frac{IB}{b}$$

$$R = \frac{1}{qn}$$

константа на Хол