荷電粒子に働く力

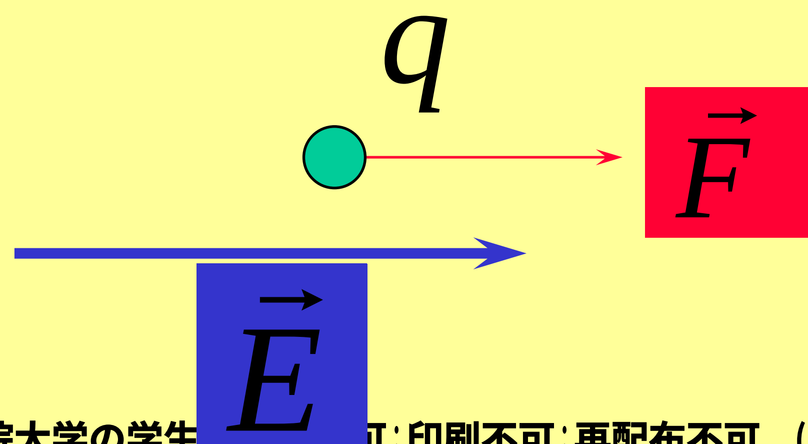
電磁気学その6

ローレンツ力 (電場)

電荷qに働く力

電場

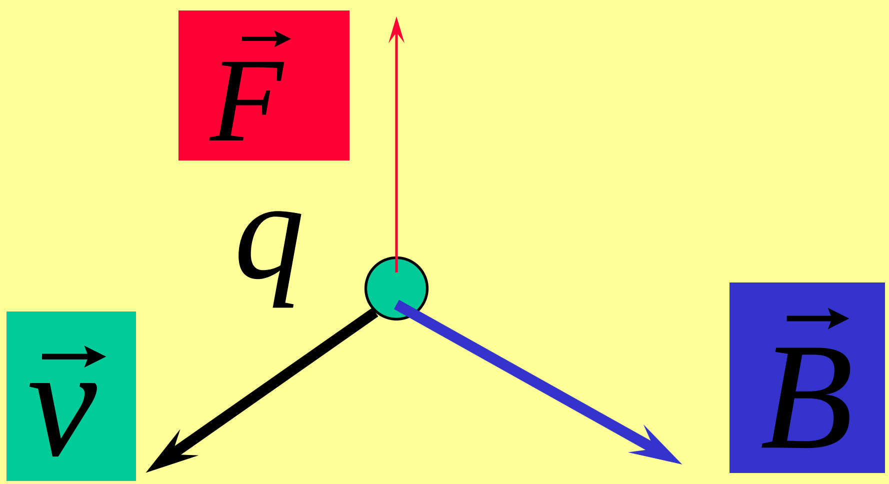
$$\vec{F} = q\vec{E}$$



ローレンツ力（磁場）

電荷qに働く力

磁場　$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$



力が速度に垂直なので仕事をしない

ローレンツ力のもとでの運動

- 荷電粒子の運動
- Newtonの運動方程式を使う

$$\boxed{\vec{F} = m\vec{a}}$$

以下、一定の場の場合のみを考える

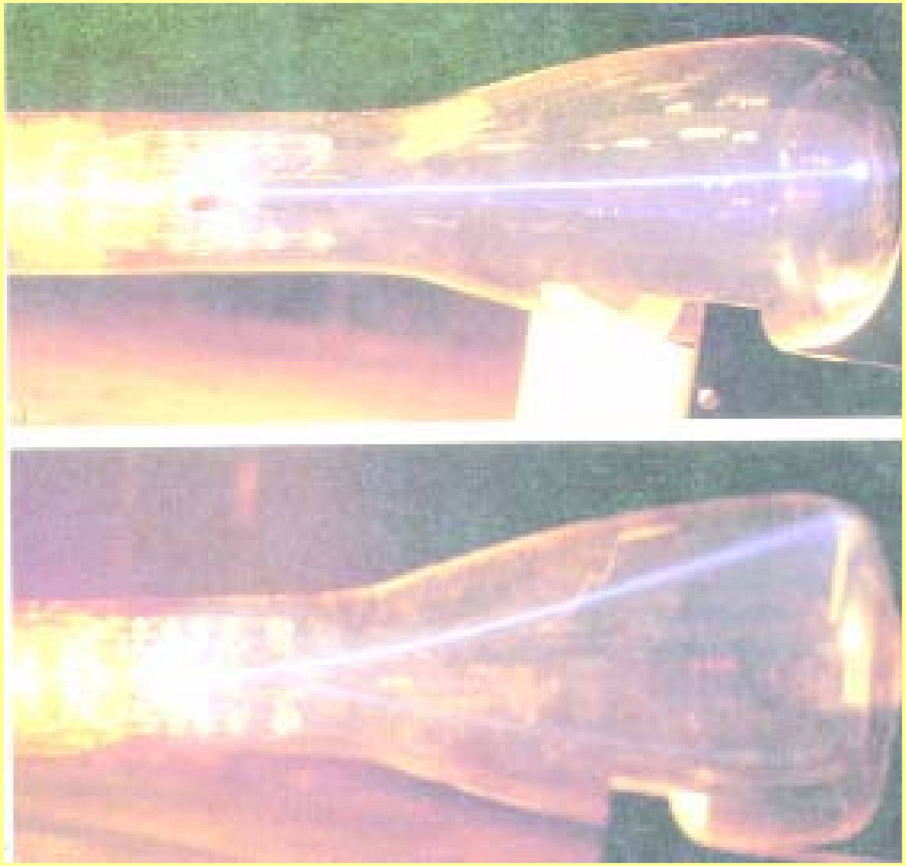
一定の電場

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad \vec{F} = q\vec{E}$$

$$\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E} = \text{一定}$$

→等加速度運動

一定の電場



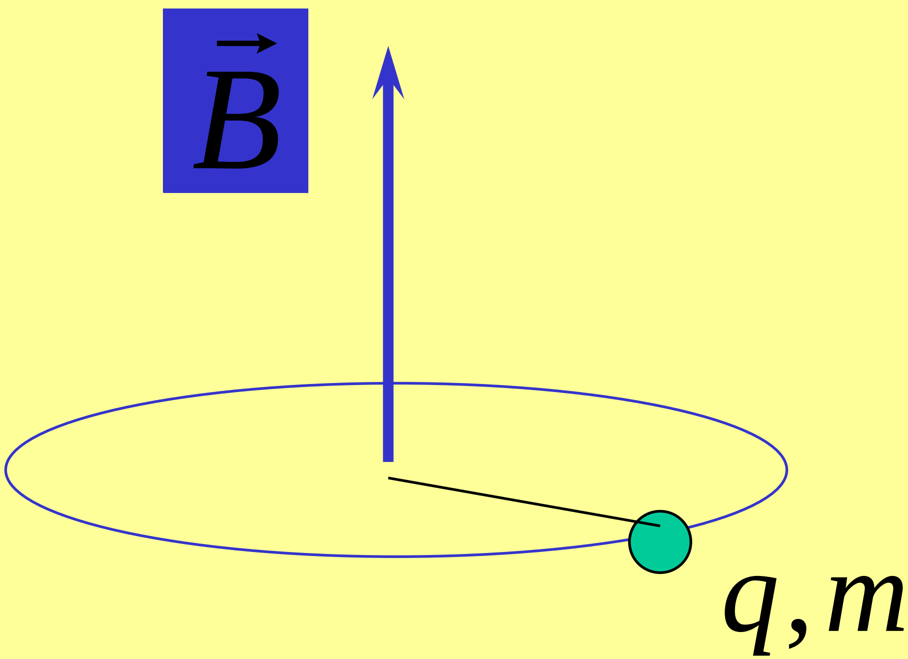
一定の磁場

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\left|\vec{F}\right| = qvB \qquad \vec{F} \perp \vec{v}$$

→等速円運動(一般にはらせん運動)

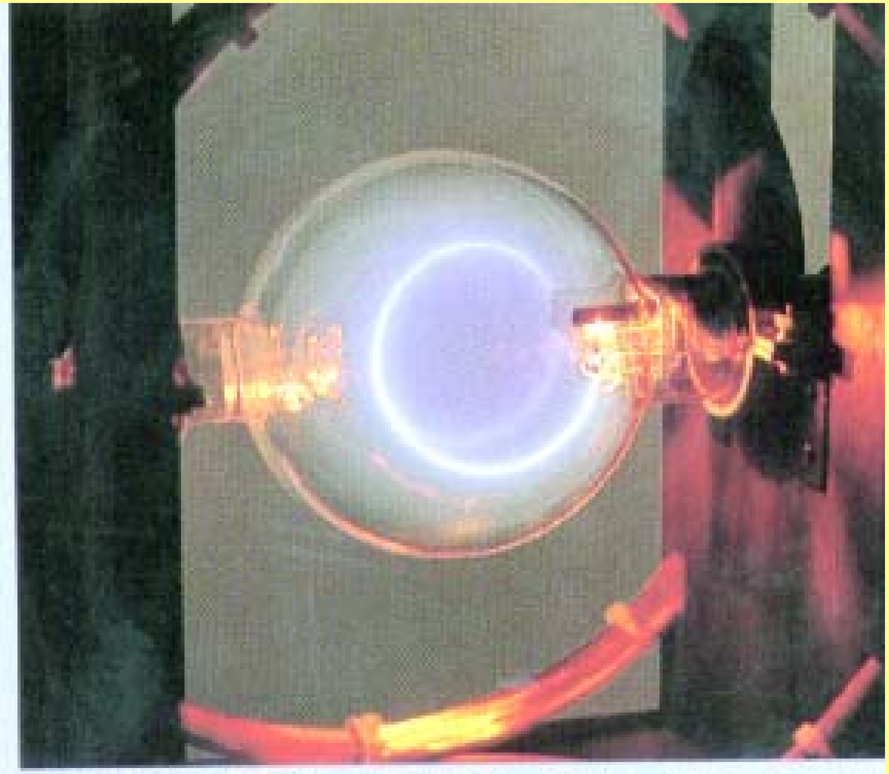
一定の磁場



$$\omega = -\frac{qB}{m}$$

$$r = \frac{vm}{qB}$$

一定の磁場



一様な磁界に斜めに入射した電子は，らせん軌道を描いて運動する。

一定の磁場（運動方程式）

$$\boxed{m\vec{a} = q\vec{v} \times \vec{B}} \qquad \vec{B} = (0,0,B)$$

成分で書くと、

$$\begin{cases} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} = \dfrac{qB}{m} v_y \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} = -\dfrac{qB}{m} v_x \\ a_z = \dfrac{dv_z}{dt} = 0 \end{cases}$$

一定の電場と磁場（運動方程式）

$$\boxed{m\vec{a} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}}$$

$$\vec{E} = (E, 0, 0) \qquad \vec{B} = (0, 0, B)$$

電場と磁場が双方あり、両者が直交している
場合を考える。どのような運動になるであろうか。

運動方程式を磁場のみの場合と比較

一定の電場と磁場（つづき）

$$
\begin{cases}
a_x = \dfrac{dv_x}{dt} = \dfrac{qB}{m} v_y + \dfrac{qE}{m} \\
a_y = \dfrac{dv_y}{dt} = -\dfrac{qB}{m} v_x \\
a_z = \dfrac{dv_x}{dt} = 0
\end{cases}
$$

次の置き換えを導入

$$\boxed{v_y' = v_y + \frac{E}{B}}$$

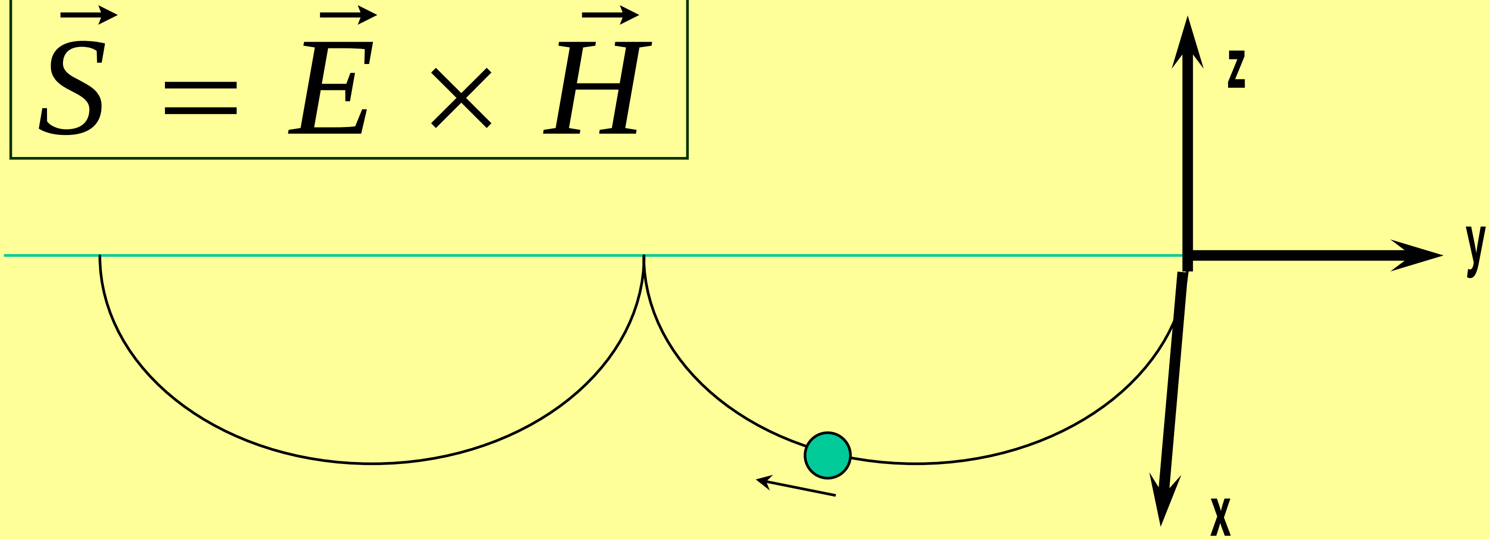
一定の電場と磁場（つづき）

置き換えた結果は「磁場のみ」の場合と同じ

→ <u>円運動とy軸方向への等速運動の合成</u>

軌道はサイクロイド

$$\boxed{\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}}$$



電流に働く力

電流＝電荷の流れ

動いている電荷…磁場による力

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

σ＝電荷線密度

$$I = \frac{\delta q}{\delta t} = \frac{\sigma v \delta t}{\delta t} = \sigma v$$

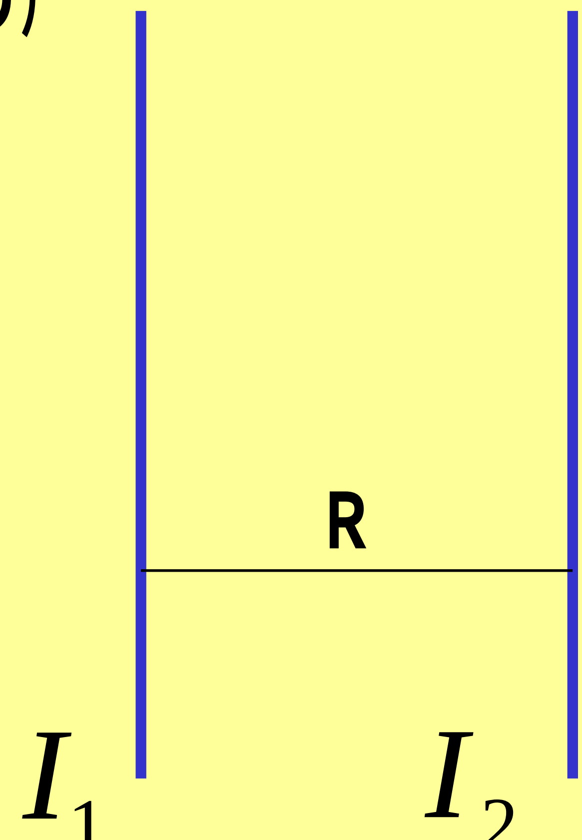
$$q = \sigma \ell$$

$$\boxed{\vec{F} = \ell \vec{I} \times \vec{B}}$$

電流に働く力

平行な直線電流（単位長さあたり）

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi R} I_1 I_2$$



電流の作る磁場

$$B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{I}{2\pi R}$$

電磁気力とガリレイ変換(9.14.3)

- 止まっている電荷…電場を作る
- それを動いている系で見ると
  電荷…電場、　電流…磁場

$$F' = (1 - \varepsilon_0 \mu_0 v^2) F = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) F$$

運動系での力

静止系での力

パラドックス！

→相対性理論へ