材料の物理2
（電磁気学）

第一回：Maxwell方程式への導入

Masato Kotsugi

材料の物理2　きまりごと

- 手書きでノートをとってください（学習効果を上げるため）
- 毎回簡単な演習をします。（演習式 / 探索式）
- 課題はLETUS提出（〆切は火曜10:30）
- 提出内容に応じて加点することがあります。
- 節目に小テストをします。
- 期末試験は小テストから＋独自問題
- 期末試験ではバッサリ切ります。

Masato Kotsugi

材料の物理②　（電磁気学：変動する電磁場）

①　②

電場 ⇄ **磁場**

Couple
時間 , 空間

ex)
・モーター，回路

応用例を
挙げてみよう

Goal **Maxwell 方程式**

=

この世界の電磁現象を記述する式・・・相対性理論の土台

電場

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

磁場

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = 0$$

$$\nabla \times \boldsymbol{E} + \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = 0$$

時間

$$\nabla \times \boldsymbol{B} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t} = \mu_0 \boldsymbol{i}$$

時間

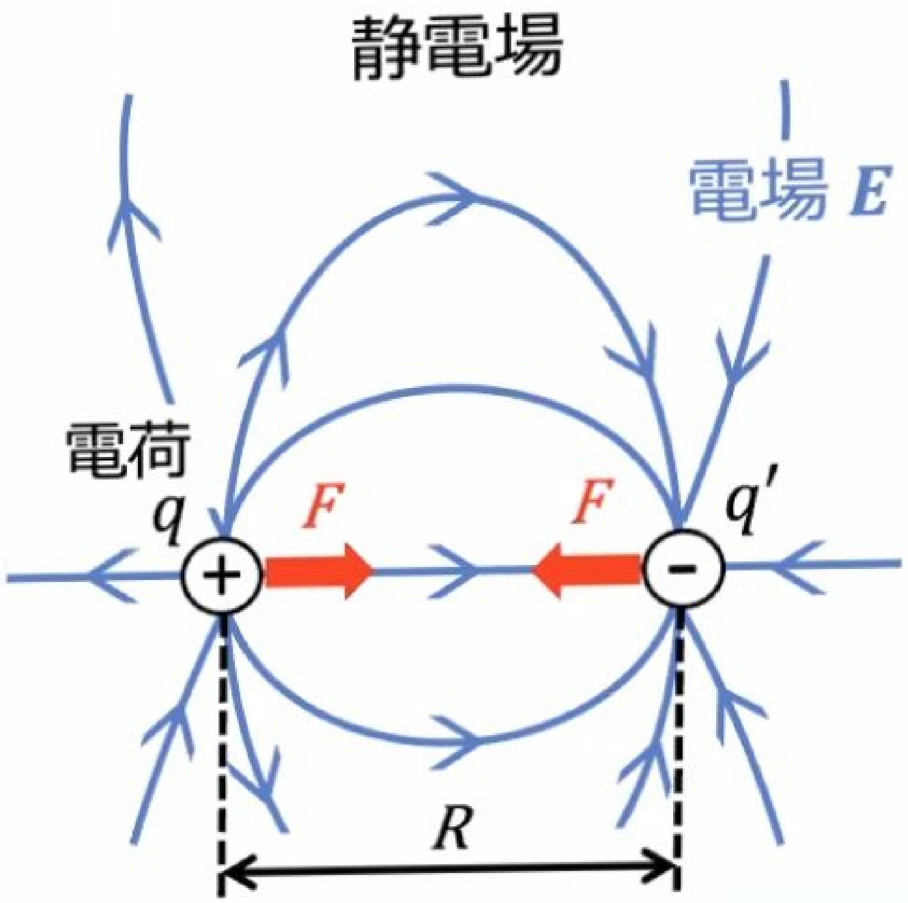
たった４つの式
美しい！

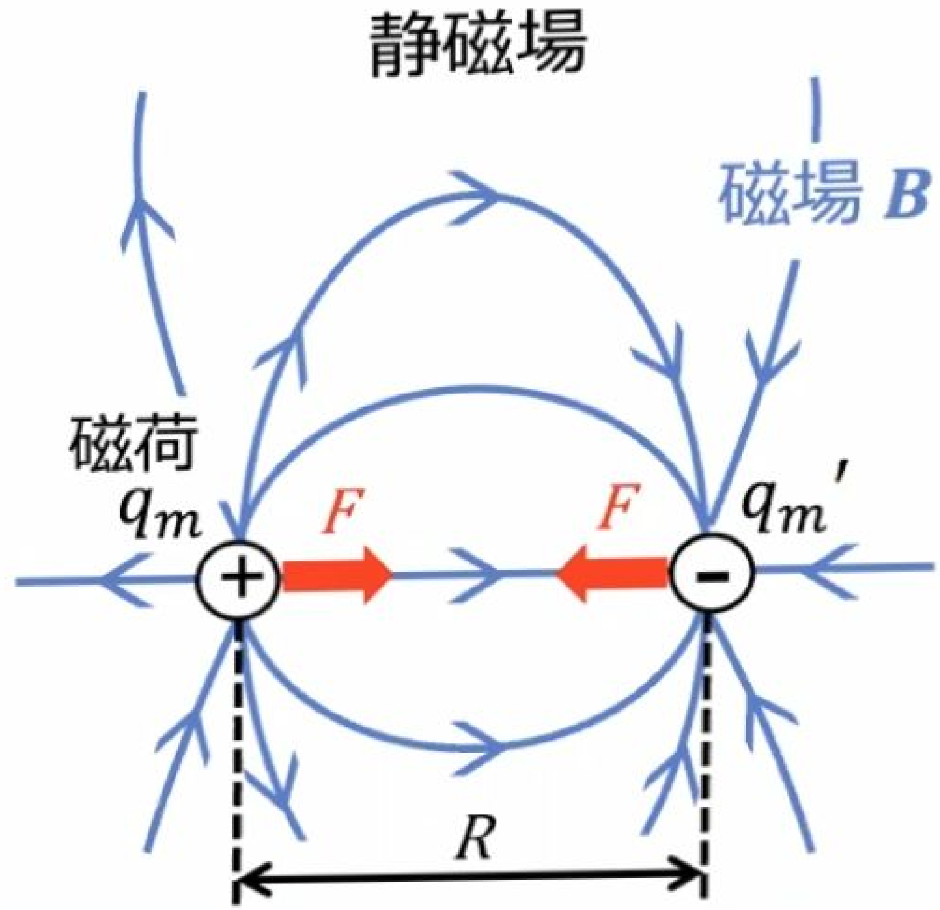
Final goal

※$\boldsymbol{B}, \boldsymbol{E}, \boldsymbol{i}$ はベクトル

Masato Kotsugi

7.1 電場と磁場





$$F \propto \frac{q \cdot q'}{R^2}$$

クーロン力

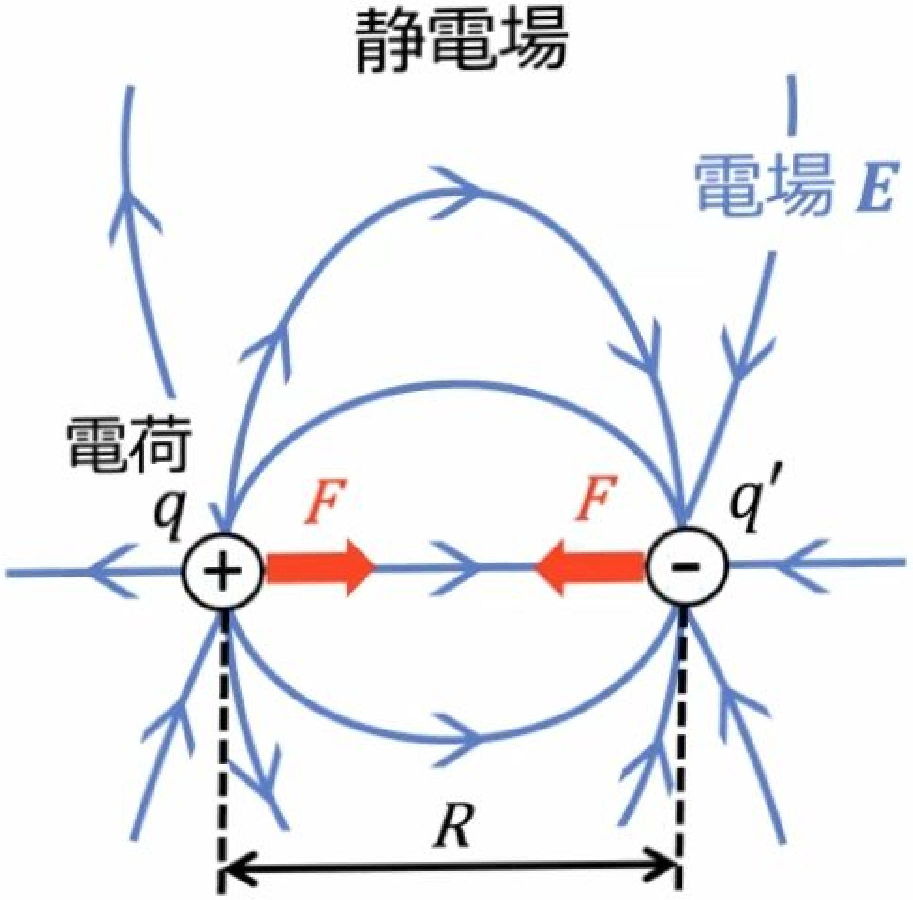
類似

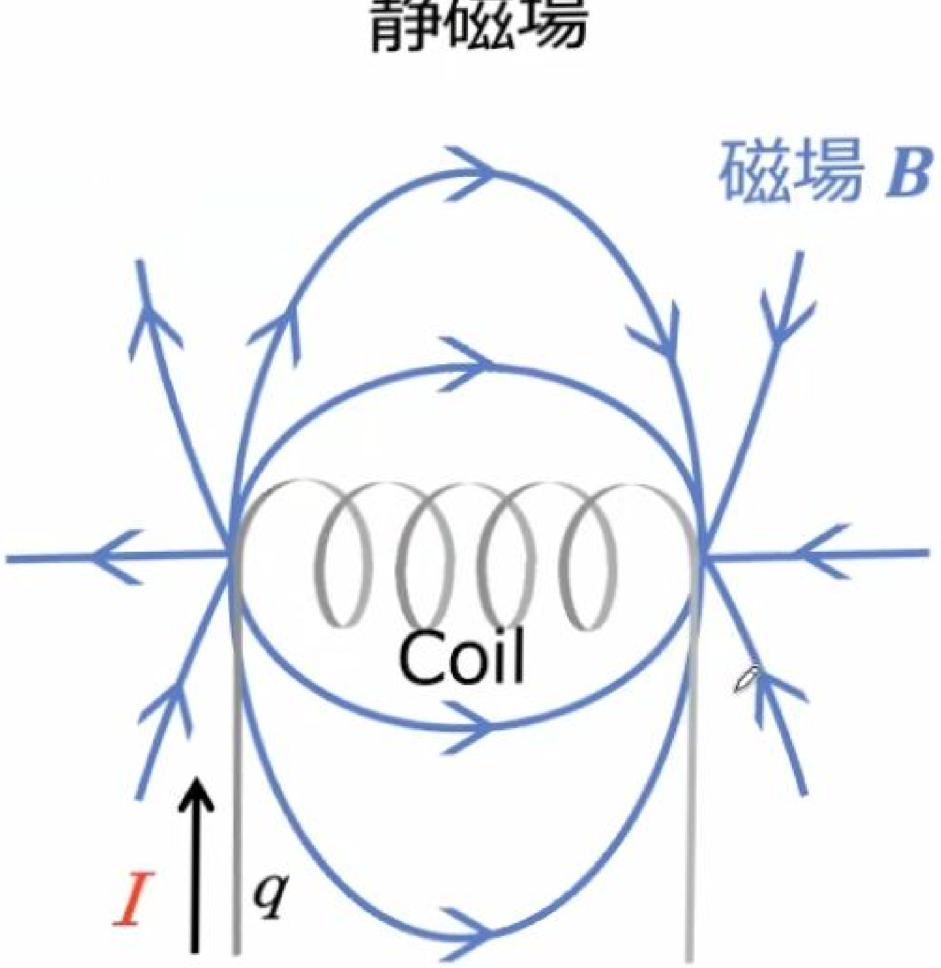
≒

$$F \propto \frac{q_m \cdot q_m'}{R^2}$$

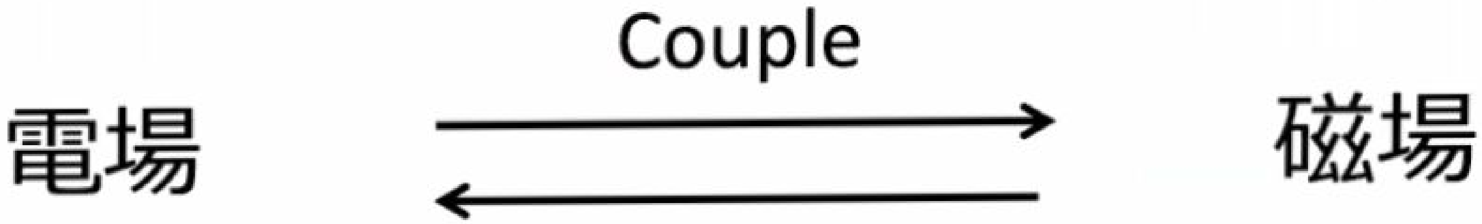
$\frac{1}{R^2}$ … 場(Field)で考える

実際は磁荷はペアで存在





電流＝電荷の移動

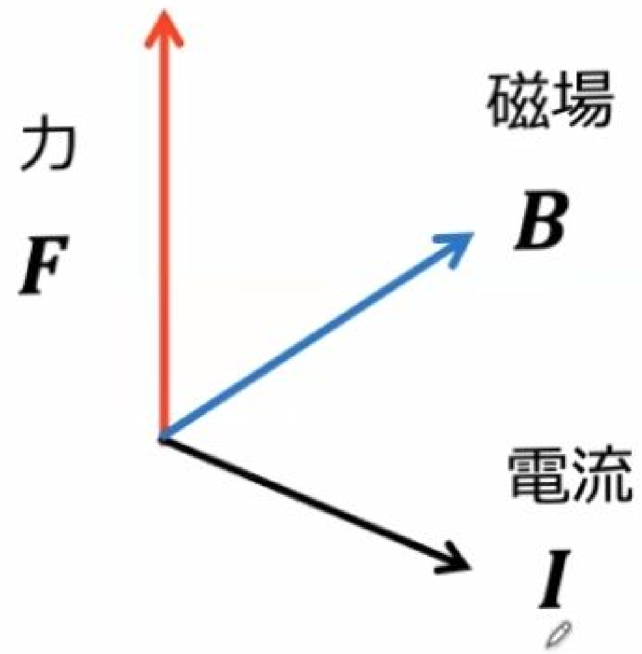


電流（電子の運動）

Masato Kotsugi

7.2 アンペールの力

磁場中の電流に働く力



$$\boldsymbol{F} = \underbrace{q\boldsymbol{v}}_{=\boldsymbol{I}} \times \boldsymbol{B}$$

ローレンツ力

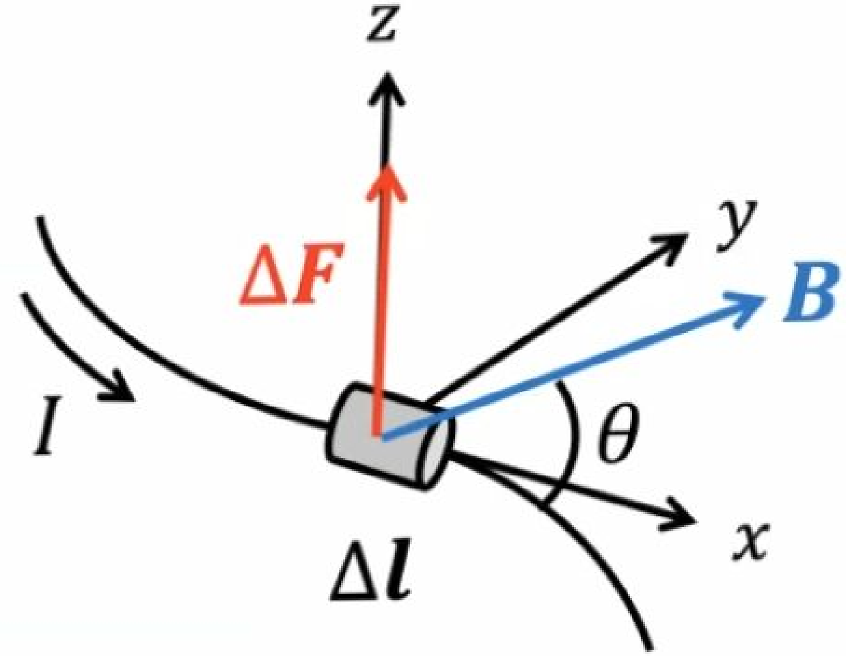
拡張

$\longrightarrow$

任意の形式

微小導線$\Delta\boldsymbol{l}$に働く力$\Delta\boldsymbol{F}$

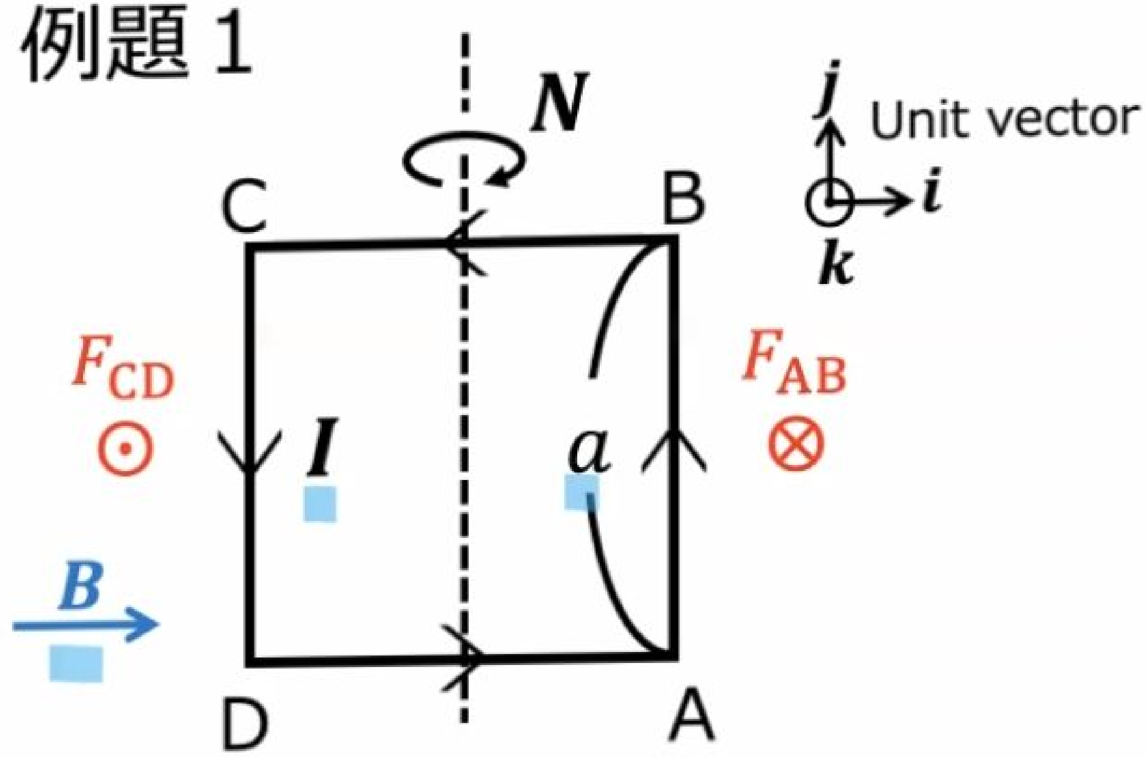
任意方向の磁場$\boldsymbol{B}$



$$\Delta\boldsymbol{F} = I \cdot \Delta\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{B}$$

$$|\Delta\boldsymbol{F}| = I \cdot |\Delta\boldsymbol{l}||\boldsymbol{B}| \sin\theta$$

例題 1



$$F_{\mathrm{AB}} = a\boldsymbol{I}_{\mathrm{AB}} \times \boldsymbol{B} = -a \cdot I \cdot B \cdot \boldsymbol{k}$$

$$F_{\mathrm{BC}} = 0$$

$$F_{\mathrm{CD}} = a\boldsymbol{I}_{\mathrm{CD}} \times \boldsymbol{B} = +a \cdot I \cdot B \cdot \boldsymbol{k}$$

$$F_{\mathrm{DA}} = 0$$

回路に働く力は？

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{AB}} = (0, I, 0)$$

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{BC}} = (-I, 0,0)$$

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{CD}} = (0, -I, 0)$$

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{DA}} = (I, 0,0)$$

$$\boldsymbol{B} = (B, 0,0)$$

回路全体にかかる合力は

足し合わせればOK

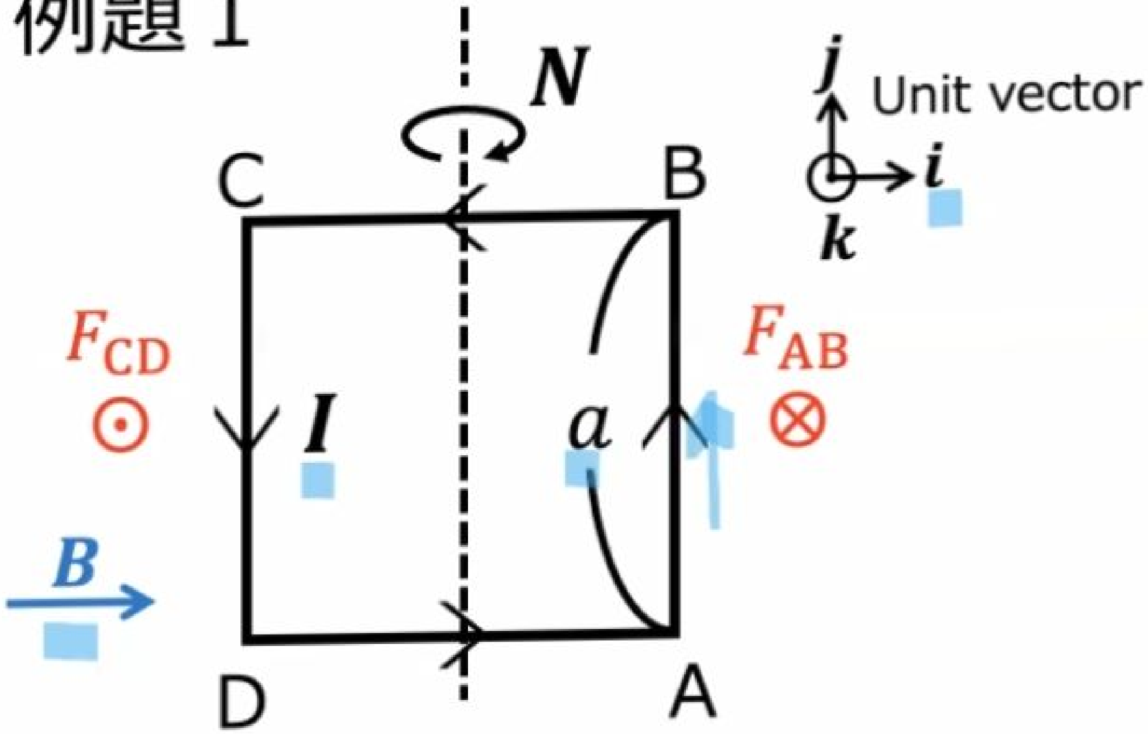
$$\boldsymbol{F}_{\mathrm{AB}} + \boldsymbol{F}_{\mathrm{CD}} = 0$$

回路全体にかかるトルクNは

$$\boldsymbol{N} = \frac{a}{2}\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{F}_{\mathrm{AB}} + \left(-\frac{a}{2}\right)\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{F}_{\mathrm{CD}}$$

$$= \boxed{?}$$

例題 1



回路に働く力は？

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{AB}} = (0, I, 0)$$

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{BC}} = (-I, 0, 0)$$

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{CD}} = (0, -I, 0)$$

$$\boldsymbol{I}_{\mathrm{DA}} = (I, 0, 0)$$

$$\boldsymbol{B} = (B, 0, 0)$$

$$\boldsymbol{F}_{\mathrm{AB}} = a\boldsymbol{I}_{\mathrm{AB}} \times \boldsymbol{B} = -a \cdot I \cdot B \cdot \boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{F}_{\mathrm{BC}} = 0$$

$$\boldsymbol{F}_{\mathrm{CD}} = a\boldsymbol{I}_{\mathrm{CD}} \times \boldsymbol{B} = +a \cdot I \cdot B \cdot \boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{F}_{\mathrm{DA}} = 0$$

回路全体にかかる合力は

足し合わせればOK

$$\boldsymbol{F}_{\mathrm{AB}} + \boldsymbol{F}_{\mathrm{CD}} = 0$$

回路全体にかかるトルク$\boldsymbol{N}$は

$$\boldsymbol{N} = \frac{a}{2}\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{F}_{\mathrm{AB}} + \left(-\frac{a}{2}\right)\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{F}_{\mathrm{CD}}$$

$$= a^2 \cdot I \cdot B \cdot \boldsymbol{j}$$

Masato Kotsugi

7.3　電磁場中の電子に働く力

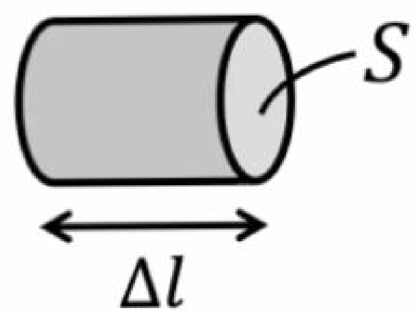
電場

$$F_E = qE$$

クーロン力

磁場　（アンペールの法則より）

$$\Delta \boldsymbol{F}_B = I \cdot \Delta \boldsymbol{l} \times \boldsymbol{B}$$



電流密度　$i = \dfrac{I}{S}$ → 断面積

微小切片に
かかる力を考えよう

$$\Delta \boldsymbol{F} = S\, i \cdot \Delta \boldsymbol{l} \times \boldsymbol{B}$$

$$= \Delta V \cdot \boldsymbol{i} \times \boldsymbol{B}$$

Masato Kotsugi

ここで　$\boldsymbol{i} = n q \boldsymbol{v}$

電荷密度

$$= \underbrace{\Delta V \cdot n}_{\text{電荷の総数 } N} \cdot q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$$

$$\Delta \boldsymbol{F} = N q \boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$$

これより１個の電荷が受けるのは

$$\boldsymbol{F}_B = q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$$

ローレンツ力

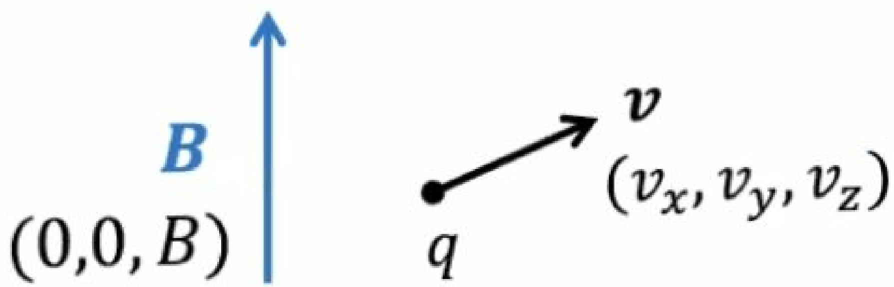
速度vと直交

電磁場中の電子　電場と磁場から受ける力を足す

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_E + \boldsymbol{F}_B = q\boldsymbol{E} + q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$$

$$= \underline{q(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B})}$$

例題３　磁場中の電子



運動方程式

$$\boldsymbol{F} = m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$$

x, y, z 成分に分ける

$$\begin{cases} \left.\begin{aligned} \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} &= \dfrac{q}{m}v_yB \\ \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} &= -\dfrac{q}{m}v_xB \end{aligned}\right\} \text{まとめる} \\ \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = 0 \end{cases}$$

$$\frac{\mathrm{d}^2v_x}{\mathrm{d}t^2} = \frac{q}{m}B\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = -\left(\frac{q}{m}B\right)^2 v_x$$

微分方程式をとく

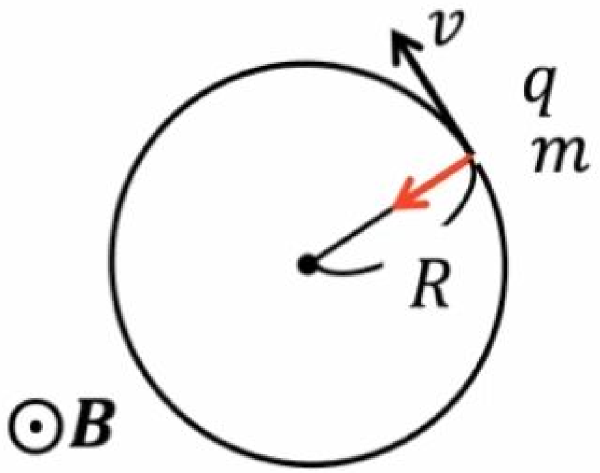
$$v_x = v_\perp \cos(\omega t + \beta)$$

単振動の式

ただし $\omega = \dfrac{qB}{m}$

$v_\perp, \beta$ は定数

例題４　上記円運動の半径と周期は？（質量m）



向心力 = ローレンツカ より

$$m\frac{v^2}{R} = qvB$$

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

代入

円運動の周期は

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

これより振動数fは

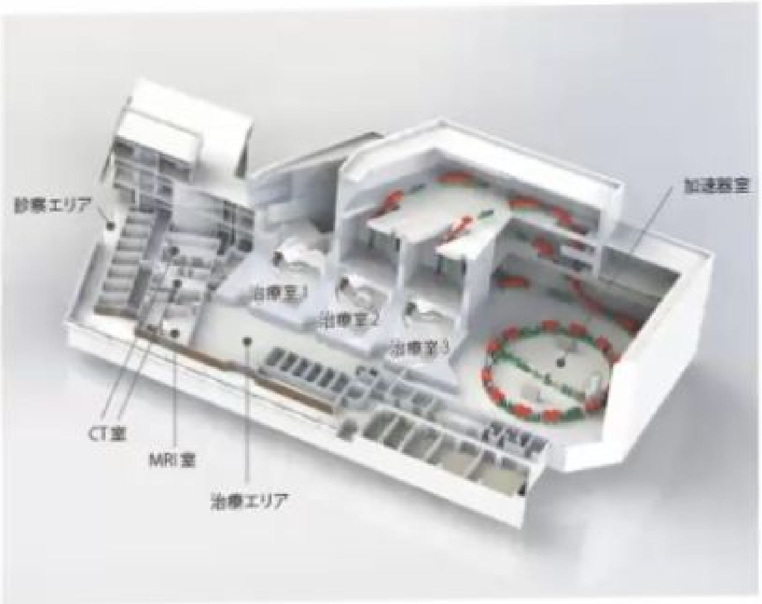
$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

"サイクロトロン運動"

Kotsugilab.

SPring-8

科捜研の女　劇場版



ガン治療

巨大加速器

物理

物質科学

ナノテク

医療

第一回課題：〆切　来週火曜10:30

電磁気現象（電場と磁場、電流と磁化の相互作用）を利用しているデバイスを一つ挙げてください。
（コイル、アンテナ、加速器、雷等々、を利用したデバイス）

・そのデバイスが利用している電磁気現象を説明してください。

・そのデバイスによって社会や産業がどのように変わったか(変わるか)を説明してください。

・そのデバイスの発明におけるキーポイントを自分なりに調べて、論じてください。

・A4 1ページ、テキスト検索可能なPDF形式でLETUSにアップロードしてください。

小さな着眼点が社会に大きな変革をもたらすことは歴史上枚挙に暇がありません。
自分なりの着眼点で、この課題に取り組んでみて下さい。
面白い（interestingな）回答を期待しています！