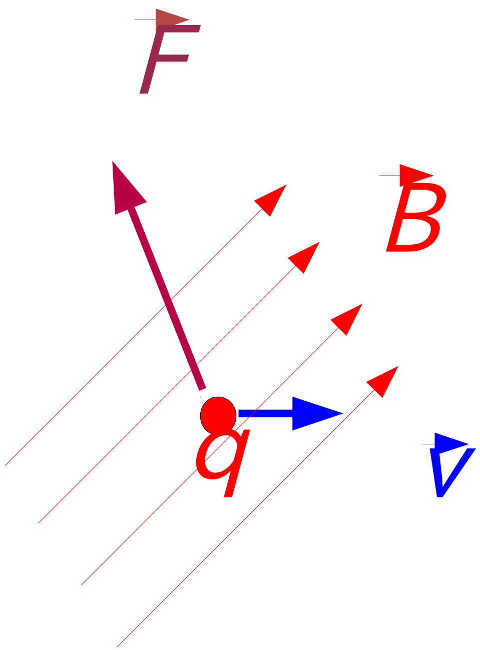
磁場が電荷にあたえる力

やはり外積で表現される



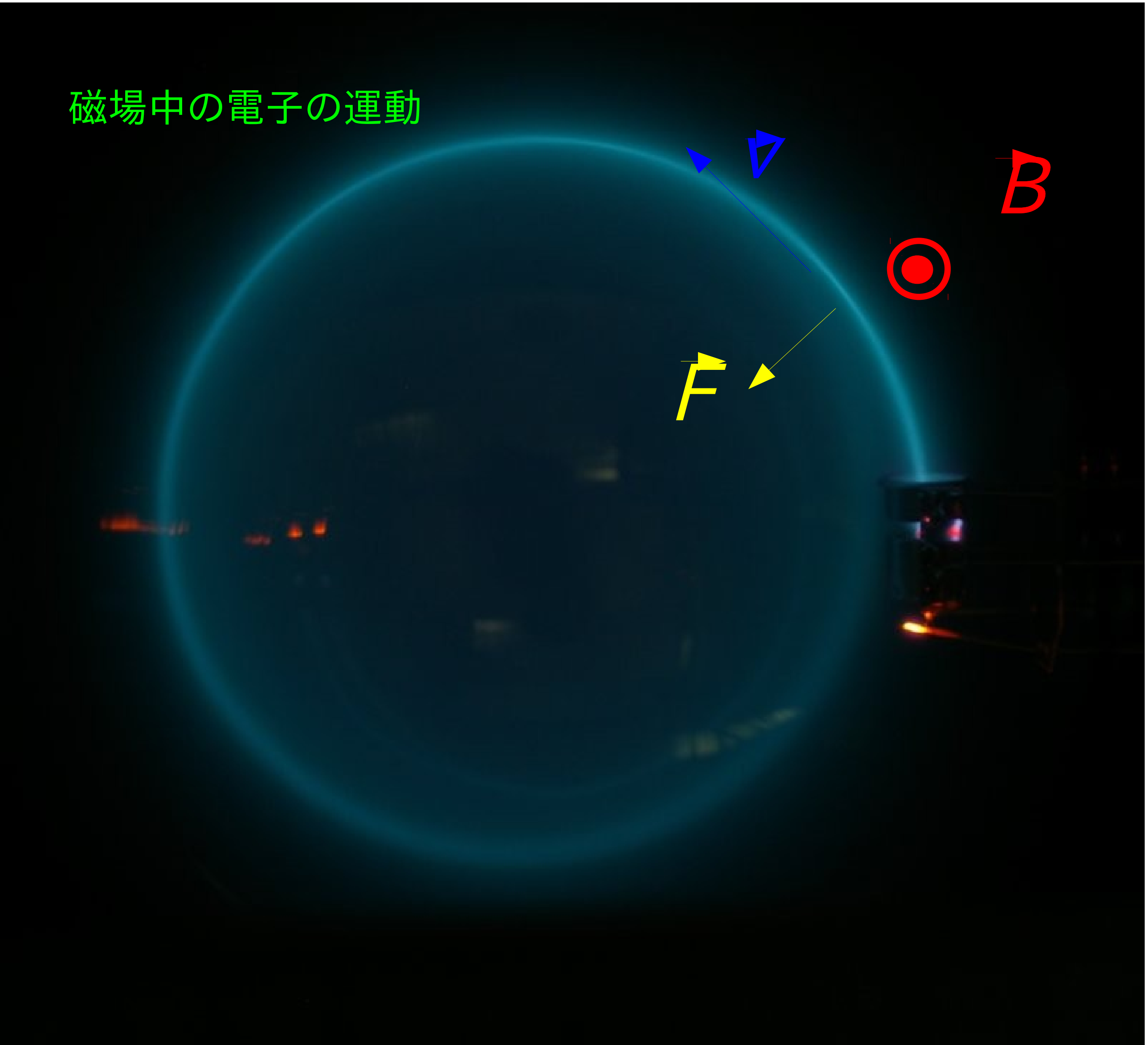
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

電場も加えて、電磁場が電荷に与える力は

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B} + \vec{E})$$

ともっとも一般的に書かれる。
これを、ローレンツ力と呼ぶ。

磁場が電荷にあたえる力の実験



力の大きさだけ考える

$$F_{磁場} = evB$$

これと遠心力

$$F_{遠心力} = \frac{mv^2}{r}$$

が釣り合うと考え

$$evB = \frac{mv^2}{r}$$

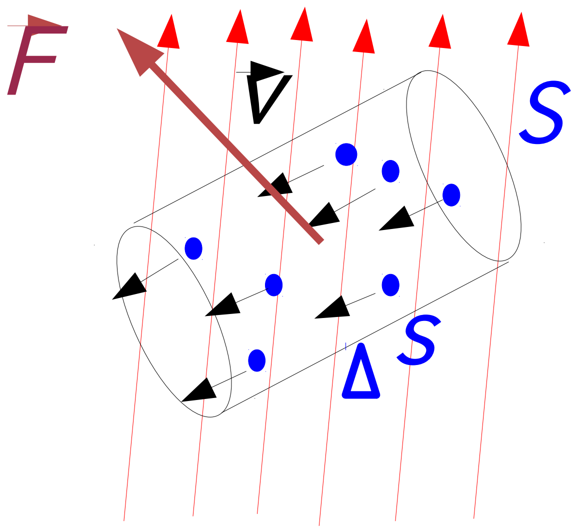
半径が、粒子の速度と
磁場の強さから

$$r = \frac{mv}{eB}$$

と求められる。

磁場が電流に与える力

短い区間を流れる電流が磁場から受ける力は、
その中の電荷(電子)が磁場から受ける力の合計。



$$\vec{I} = -e\rho_e S < \vec{v} >$$ 電流の定義

$$\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{B})$$ 電子一個受ける力

この区間の中の自由電子の数は

$$N_e = \rho_e \cdot S \cdot \Delta s$$

したがって、

$$\Delta \vec{F} = [\vec{I} \cdot \Delta s] \times B = \vec{I} \times \vec{B} \Delta s$$

ソレノイド(空芯電磁石)

実際のソレノイド

アンペールの法則

$$\oint_{ABCD} \vec{B}\cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum_{ABCDの中} I$$

$$= \mu_0 n_1 I \cdot L$$

n_1: 巻き線密度＝単位長さに巻かれた線の数

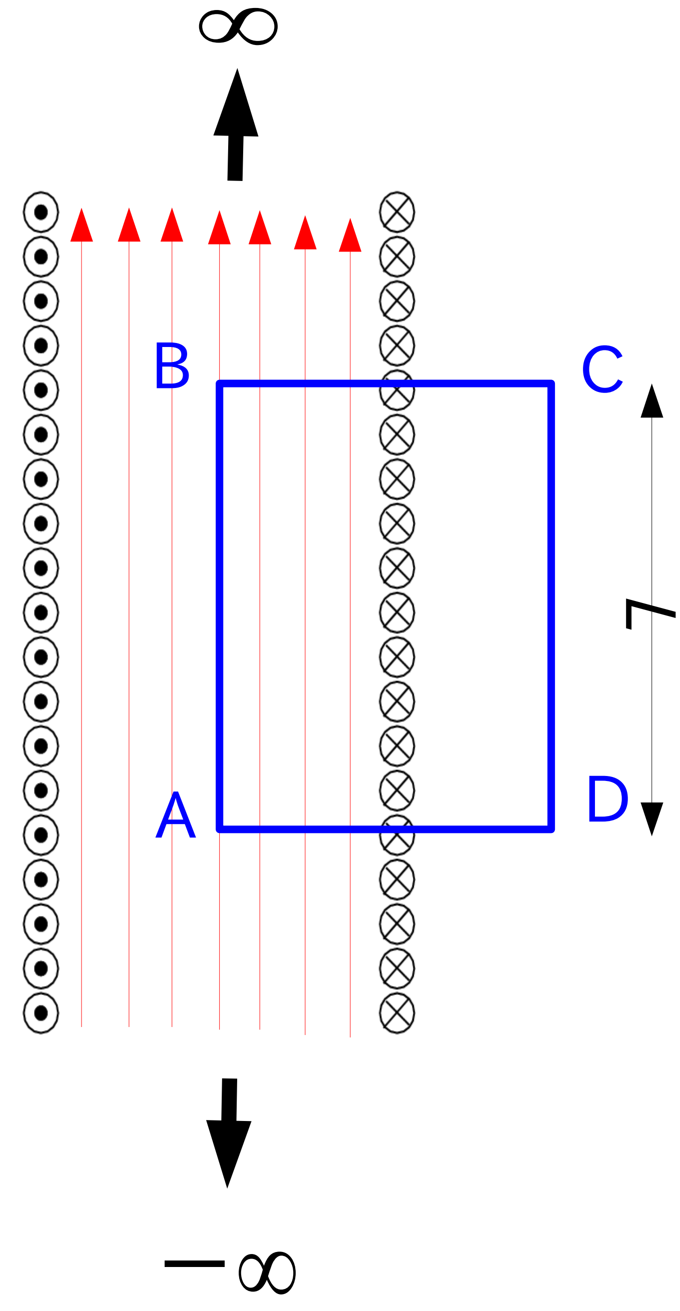
$$\oint_{ABCD} \vec{B}\cdot d\vec{s} = \int_{AB} \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

$$+ \int_{BC} \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

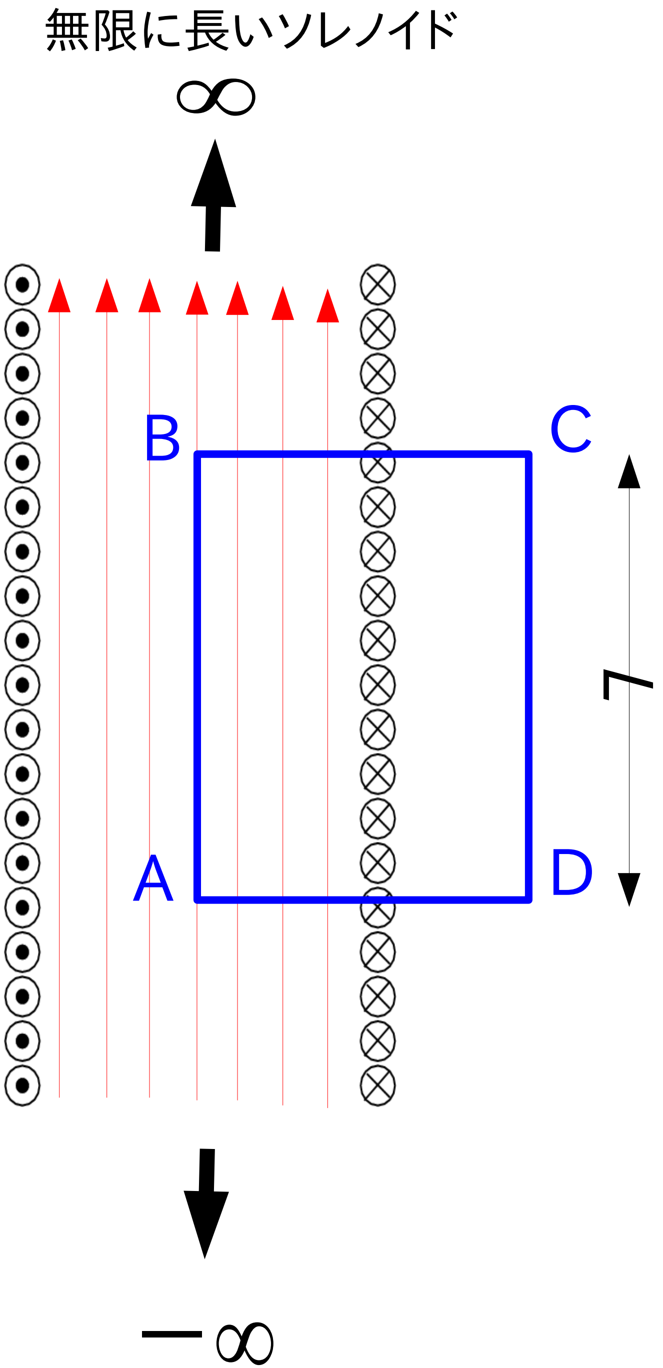
$$+ \int_{CD} \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

$$+ \int_{DA} \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

無限に長いソレノイド



ソレノイド(続き)



磁場はソレノイドの中心線と並行と考えて、

$$\int_{AB} \vec{B}\cdot d\vec{s} = B\cdot L$$

$$\int_{BC} \vec{B}\cdot d\vec{s} = \int_{DA} \vec{B}\cdot d\vec{s} = 0$$

CDを無限遠に持っていけば、$B=0$ だろう。従って、

$$\int_{CD} \vec{B}\cdot d\vec{s} = 0$$

つまり、

$$B\cdot L = \mu_0 n_1 I\cdot L$$

内部

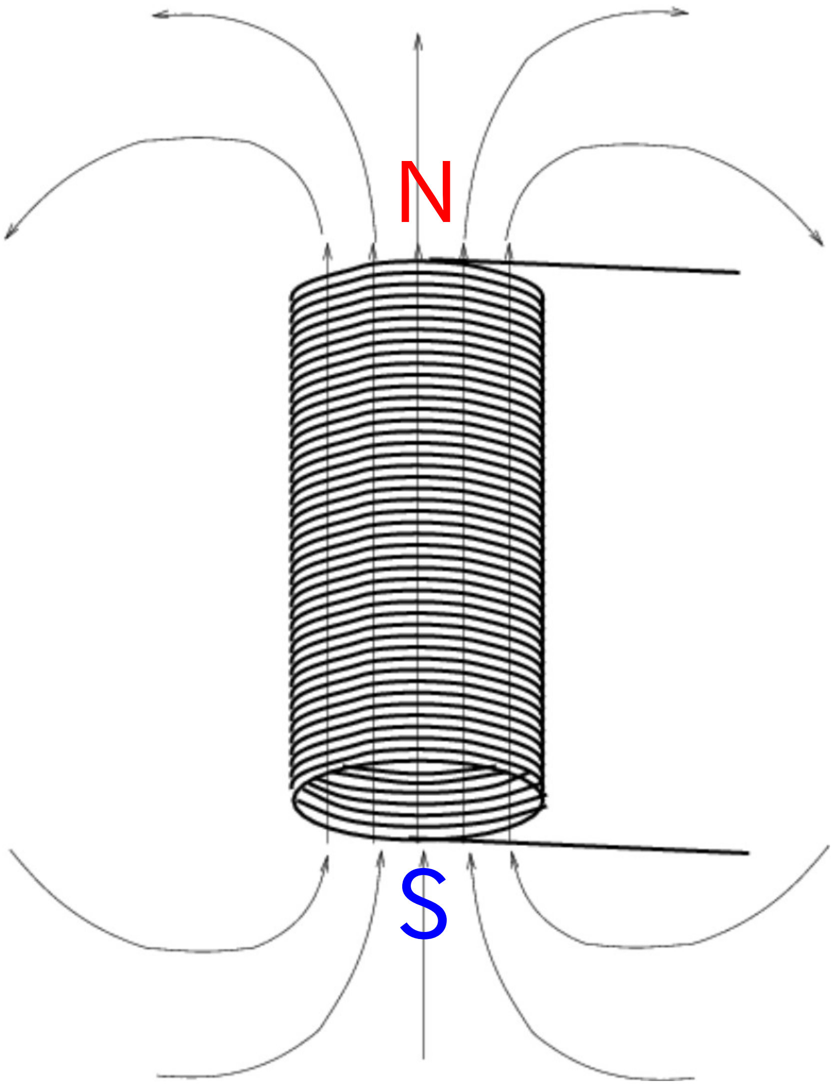
$$B = \mu_0 n_1 I$$

外側

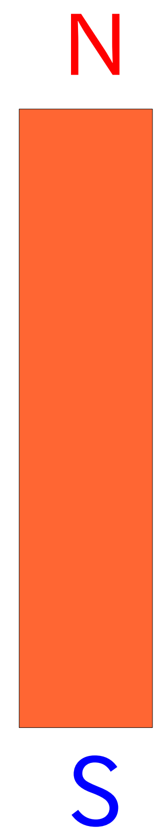
$$B = 0$$

磁気双極子

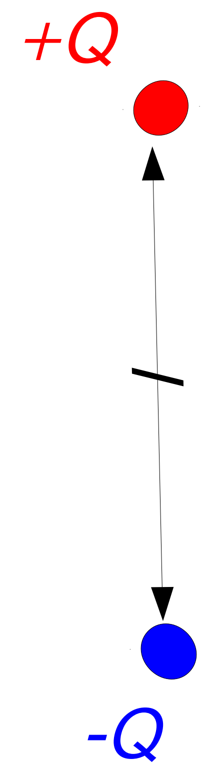
有限の長さのソレノイドは、両端から磁場が漏れ出して、
磁石の様に見える。



ソレノイド

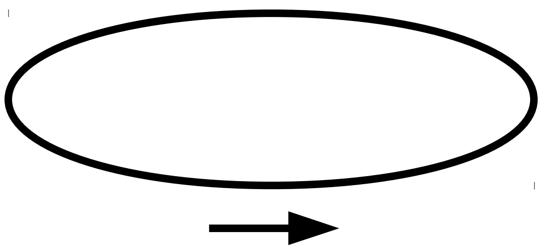


棒磁石



電気双極子

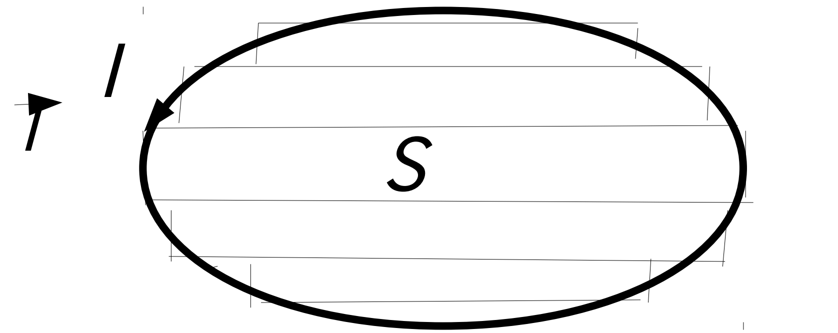
磁気双極子の最小単位



形は円形とは限らない。

磁気双極子モーメントの計算

$$m = I \cdot S$$

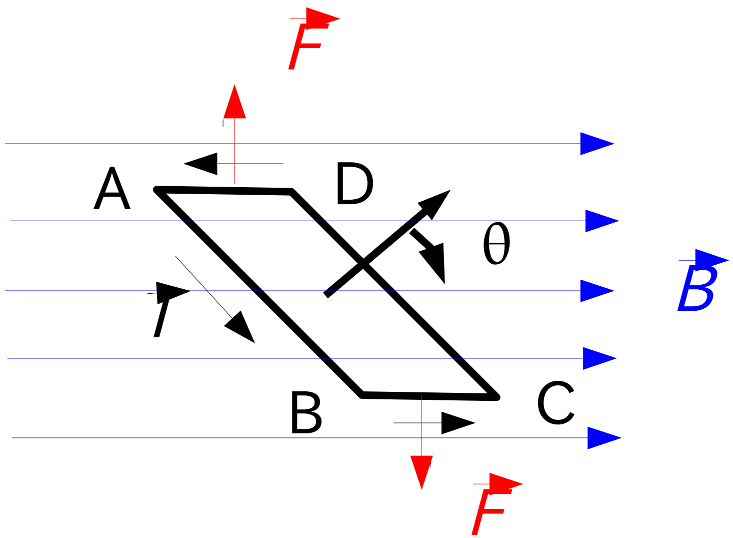


長方形を組み合わせて
任意の一周する電流を
近似する。==＞　面積に比例

ベクトルとしての
方向は面に垂直、
電流と右ネジの関係

双極子モーメントと回転力

磁気双極子に働く力

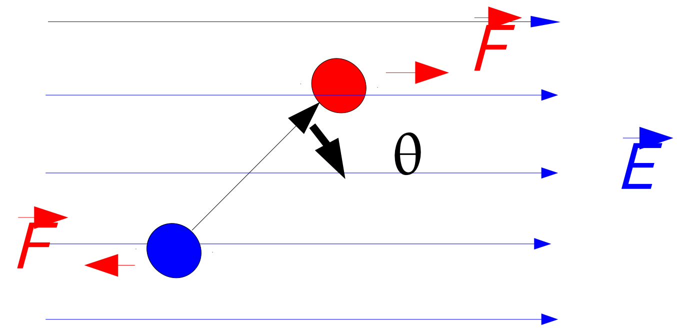


$$N = \sin\theta \cdot \overline{AB} \cdot F$$

$$= B \cdot [\, I \cdot \overline{AB} \cdot \overline{BC} \,] \cdot \sin\theta$$

$m \equiv I \cdot S$:磁気双極子モーメント
ただし、 $S = \overline{AB} \cdot \overline{BC}$

電気双極子に働く力



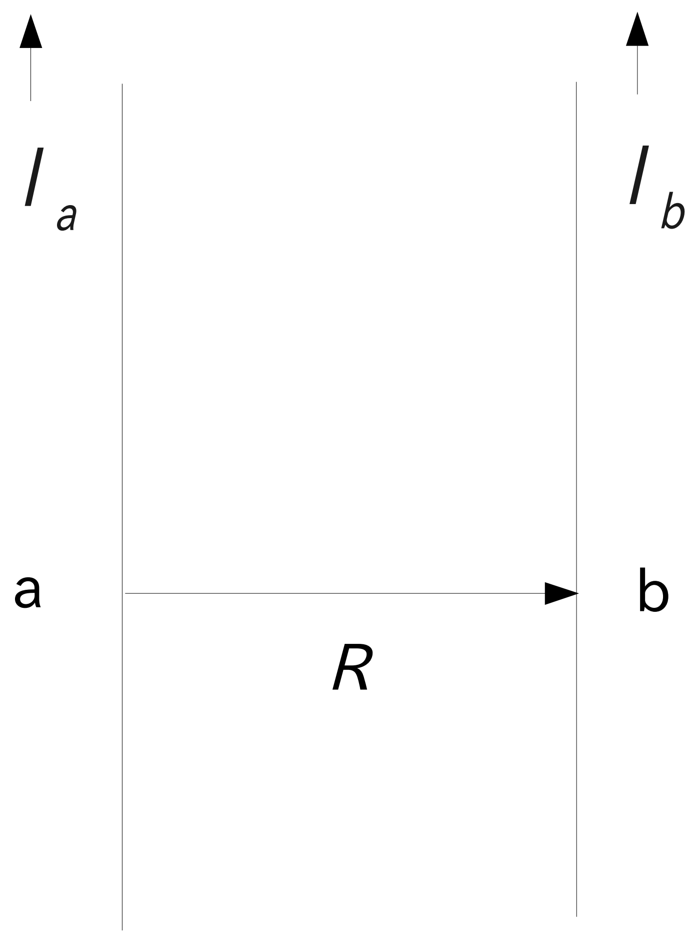
$$N = \sin\theta \cdot l \cdot F$$

$$= E \cdot [\, lQ \,] \cdot \sin\theta$$

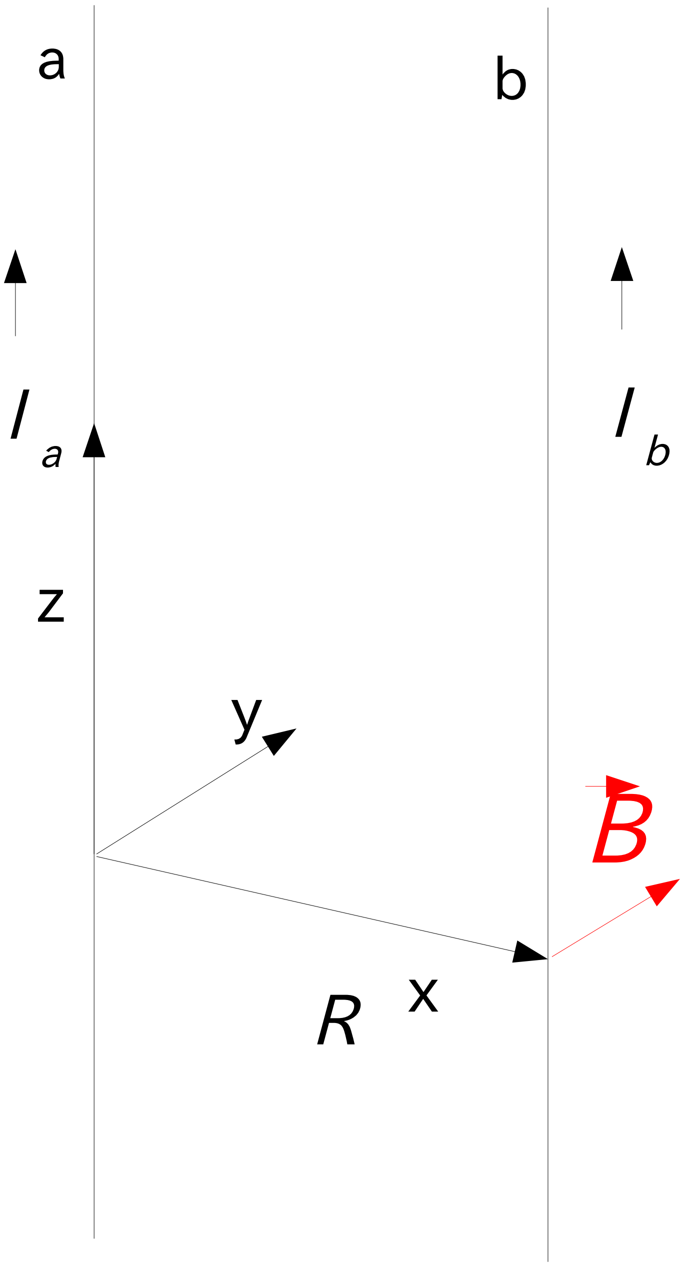
$p \equiv l \cdot Q$:電気双極子モーメント

今日の問題

下図の様に二つの直線(a,b)を電流が流れている。
それぞれの間に働く、単位長さあたりの力を求めよ。



平行な直線電流に働く力



まず、直線電流a が直線電流b の位置につくる磁場の強さB を求める。a bの距離はRだから、図のように座標を導入して

$$\vec{B}=\frac{\mu_0 I_a}{2\pi R}\hat{j}$$

次に、直線電流b が、磁場から受ける力を求める。

$$\Delta\vec{F}=[(I_b\hat{k})\times\vec{B}]\Delta s=[\frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi R}(\hat{k}\times\hat{j})]\Delta s$$

また、 $\hat{k}\times\hat{j}=-\hat{i}$ より、

単位長さあたりの力は

$$\vec{F}=-\frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi R}\hat{i}$$

つまり、2つの電流は引き合う