物理学概論III

東海大学　理学部
物理学科

TOKAI

Department of Physics School of Science
Tokai University

物理学概論・物理学

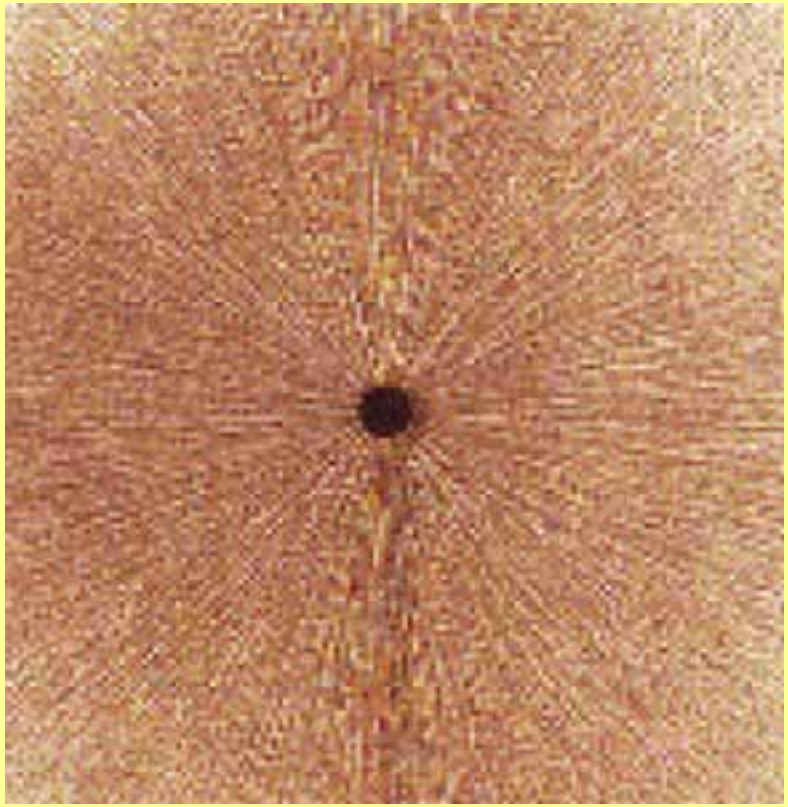
・磁気におけるクーロンの法則
　　磁束密度

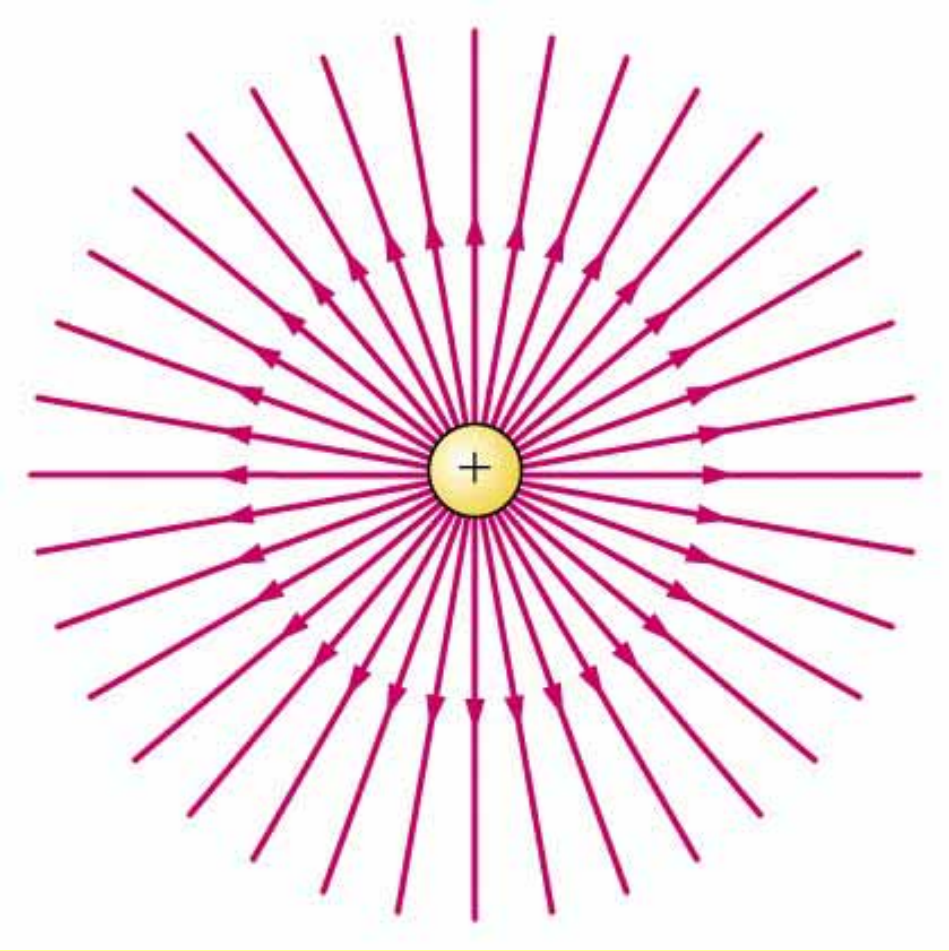
・電流と磁場
　　（電流は磁場の源）
　　ビオ・サバールの法則、
　　アンペアの法則

・磁場中の電荷の運動と電荷に作用する力
　　（ローレンツ力と外積）

電 気 と 電 荷

放射状の場



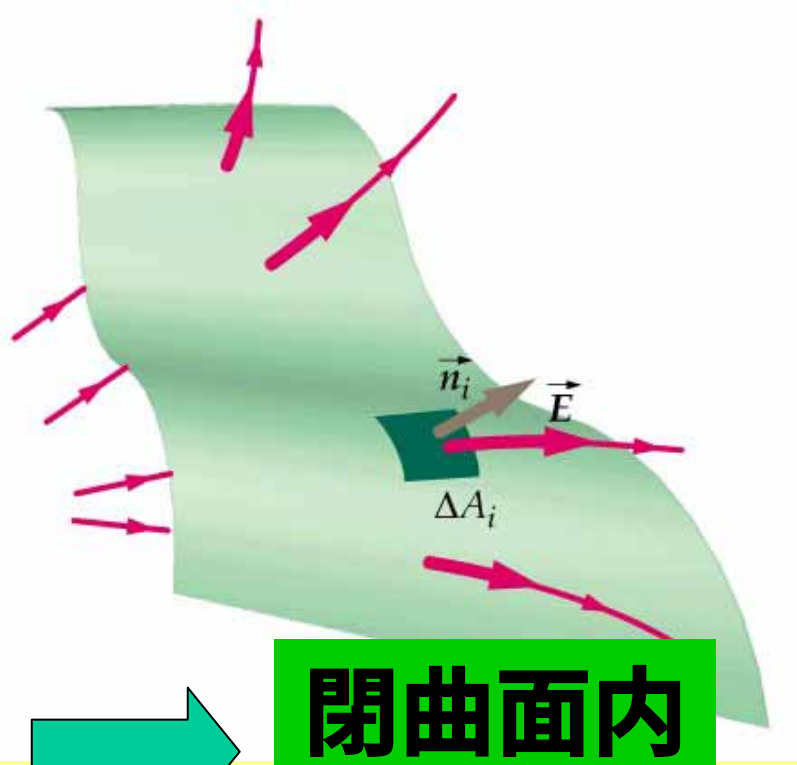


電　荷：正・負が単独に存在できる

電場E（1m²辺りのE本の電気力線数）がある面を垂直に貫いて湧き出している。

$$\varepsilon \oint \boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{ds} = Q$$

$$\oint \boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{ds} = \frac{Q}{\varepsilon}$$



電場の力線が有効に閉曲面を貫く総本数 → **閉曲面内の電荷**

ポイント

・電場と電位の関係

一階の積分（距離）

電場 → 電位

電場 ← 電位

一階の微分（距離）

山斜面の傾斜の度合い（力）

山の高さ（仕事）

斜面の傾斜の度合い

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q'}{r^2}$$

一階の積分 ⬇ ⬆ 一階の微分

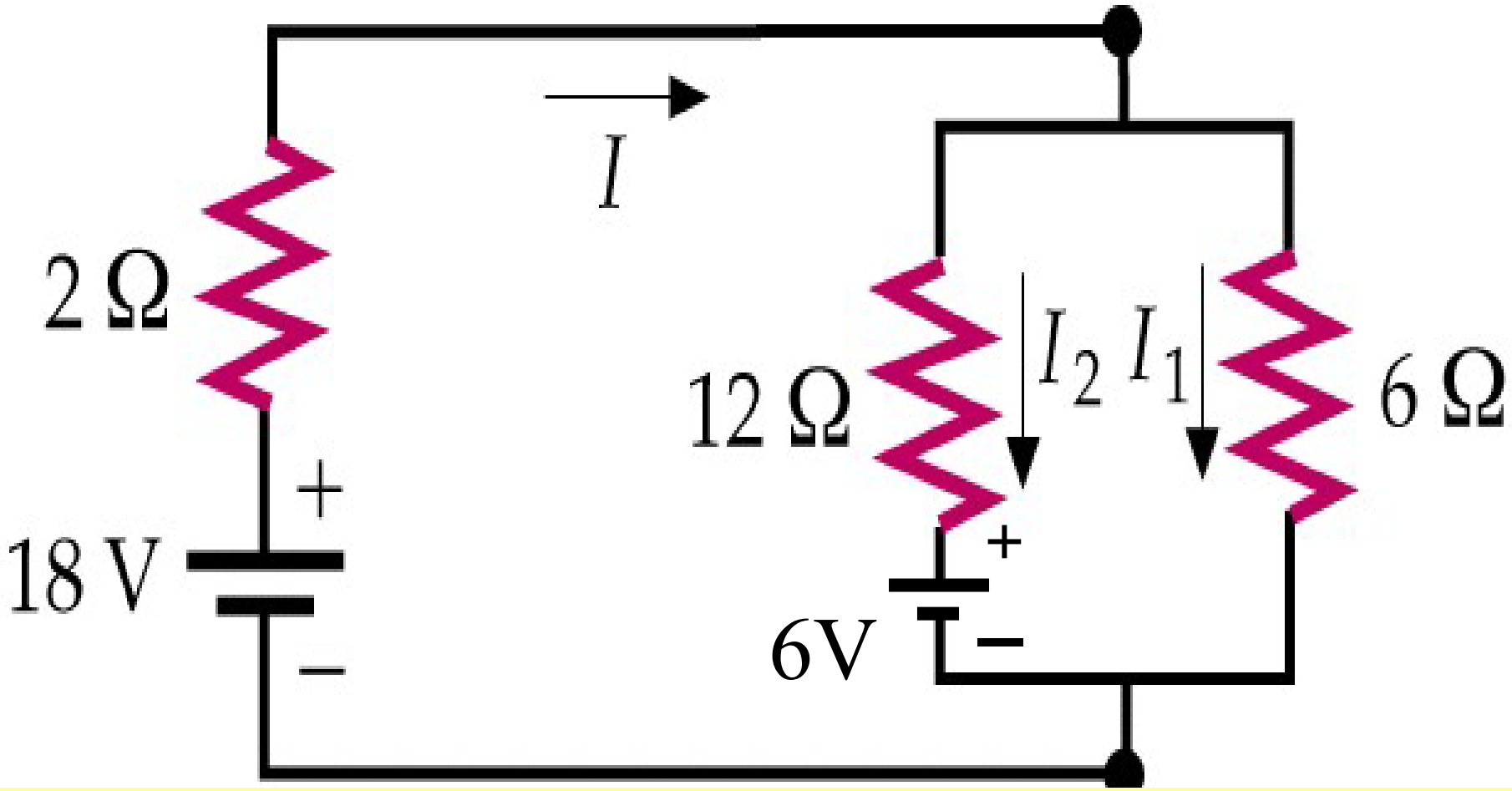
山の高さ

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q'}{r}$$

キルヒホッフの法則

・任意の分岐点に流入する電流の和
→
＝任意の分岐点から流出する電流の和
である

・任意のループを一巡するとき
電位差の代数和はゼロとなる。



電流*I*と回路の全抵抗は？

①キルヒホッフの法則から求める。

磁 気 と 磁 荷

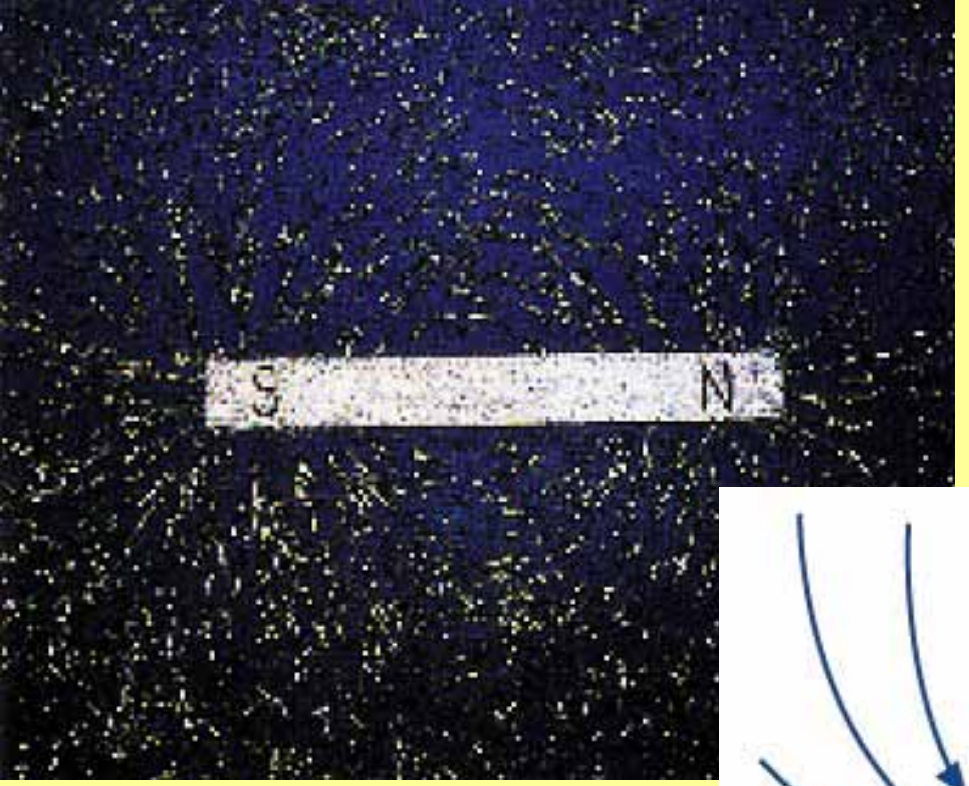
物理学概論・物理学

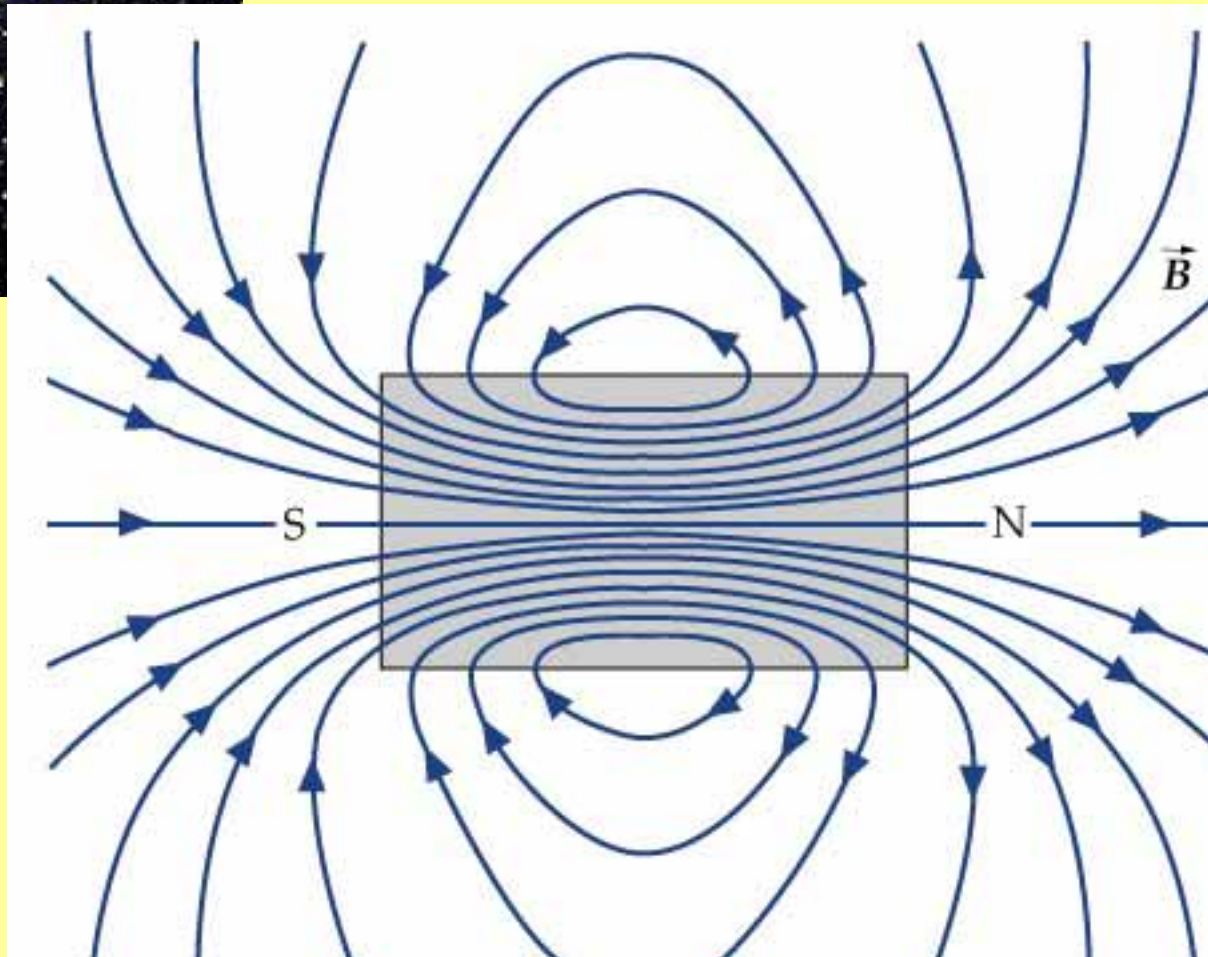
・磁気におけるクーロンの法則
　　磁束密度

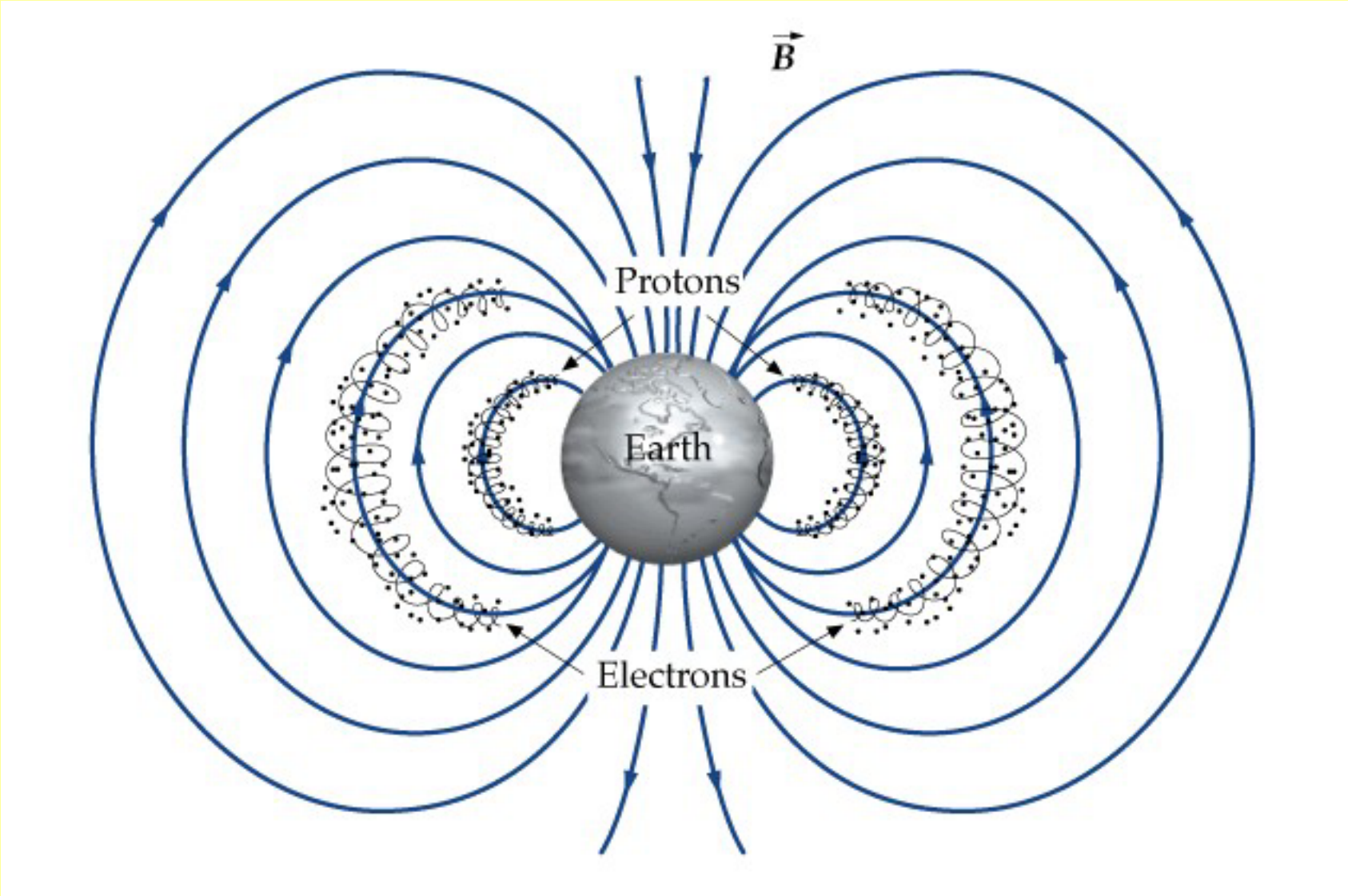
・電流と磁場
　　（電流は磁場の源）
　　ビオ・サバールの法則、
　　アンペアの法則

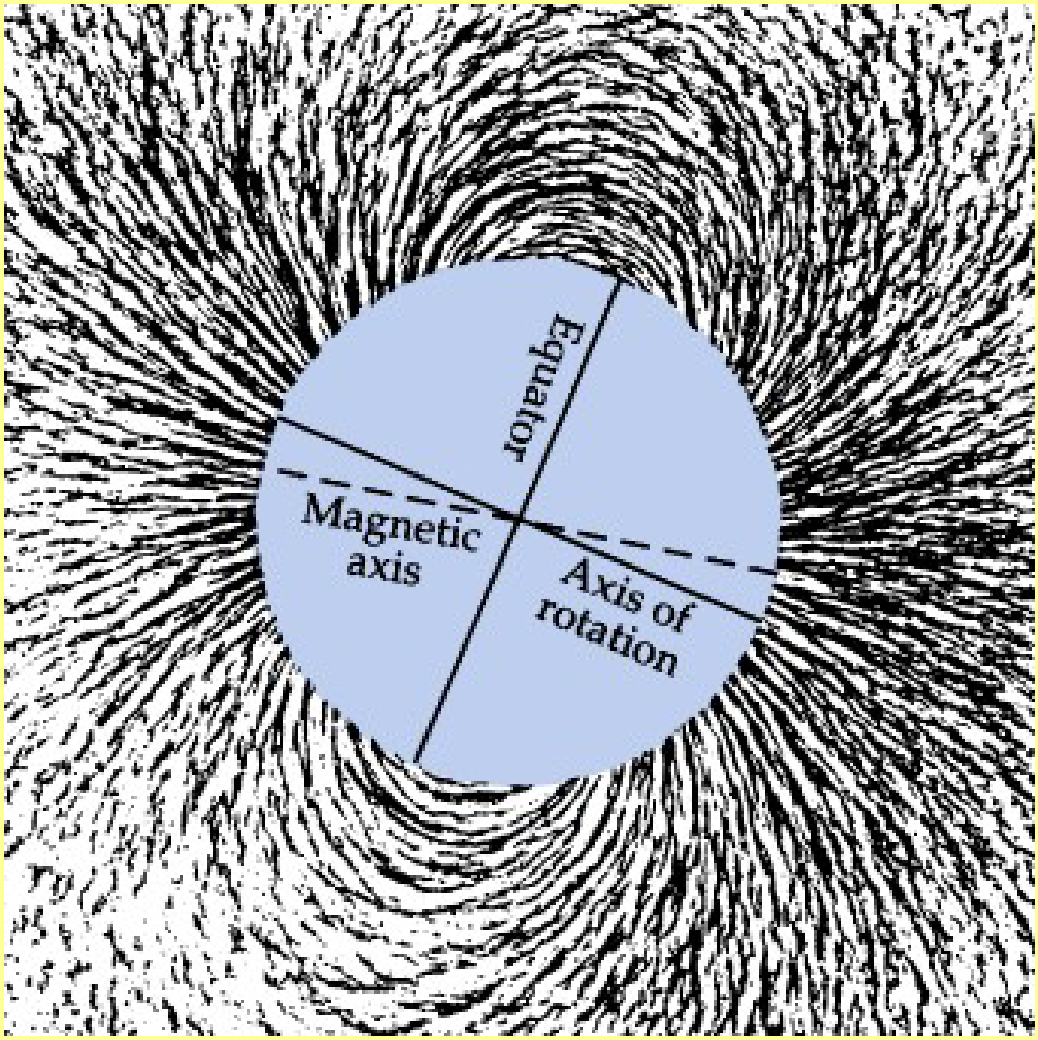
・磁場中の電荷の運動と電荷に作用する力
　　（ローレンツ力と外積）

渦の場

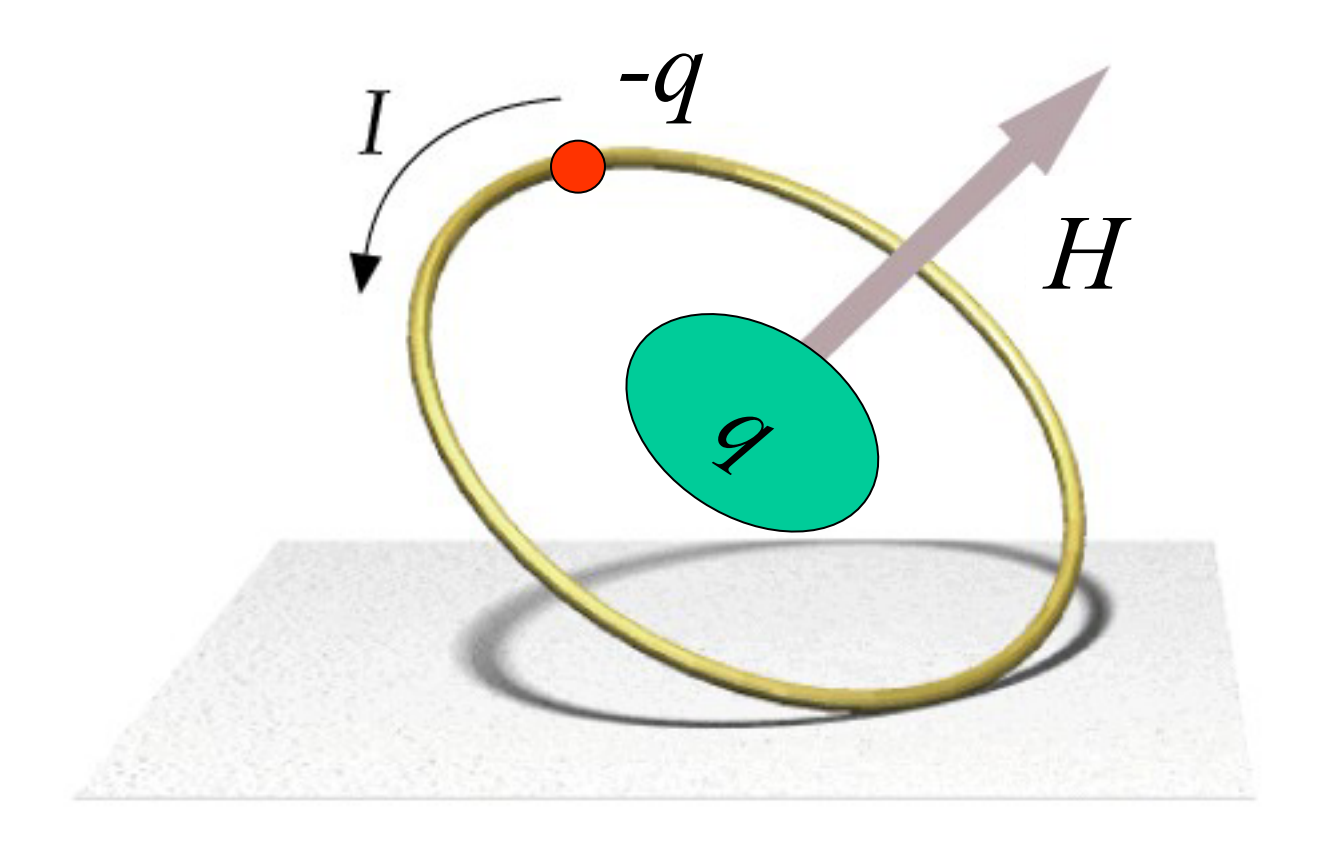





$\vec{B}$
Protons
Earth
Electrons


Magnetic axis
Equator
Axis of rotation

原子や分子の中は小さな磁石だらけ



$$F \propto m'_1, m'_2, \frac{1}{r^2}$$

・**磁　気　量**
(磁　荷)　m' [Wb]

・**距離**　r [m]

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_1 \cdot m'_2}{r^2}$$

・磁　気　量
（磁　荷）　m' [Wb]

・距離　r [m]

・係数　$\dfrac{1}{4\pi\mu_0}$

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_1 \cdot m'_2}{r^2}$$

・磁　気　量
(磁　荷)　　m' [Wb]

・距離　r [m]

・係数　$\frac{1}{4\pi\mu_0} \approx 6.33 \times 10^4$　$(\mathrm{Nm^2/Wb^2})$

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_1 \cdot m'_2}{r^2}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

・**磁気量**
(磁荷) m' [Wb]

・**距離** r [m]

・**電気量**
(電荷) $Q[C]$

・**距離** r [m]

・**係数** $\frac{1}{4\pi\mu_0} \approx 6.33 \times 10^4$

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9 \times 10^9$

$(\mathrm{Nm^2/C^2})$

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_1 \cdot m'_2}{r^2}$$

$$F = m'_1 \cdot \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_2}{r^2}$$

$$H = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_2}{r^2}$$

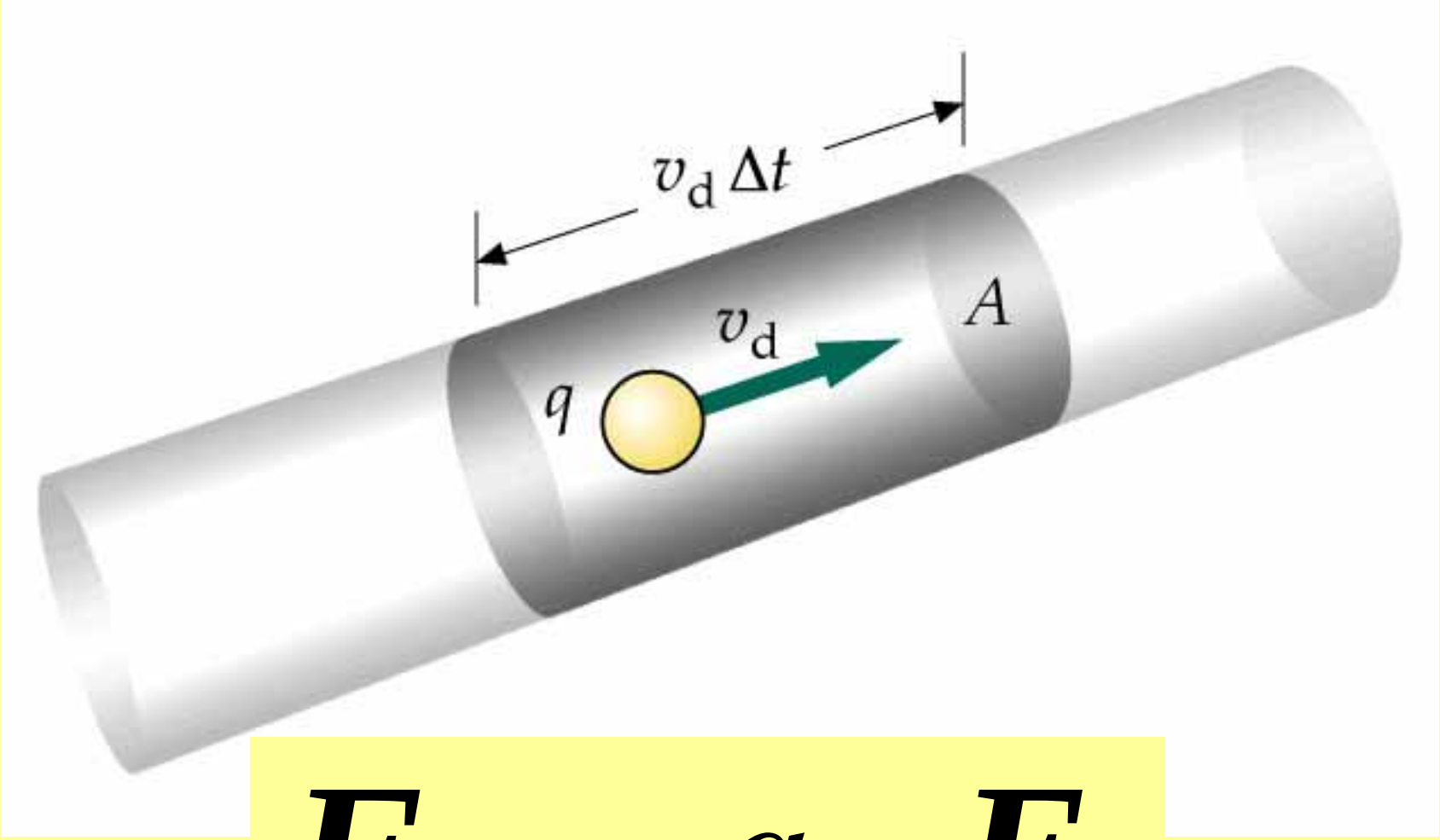
磁　場

$$H = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{m'_2}{r^2}$$

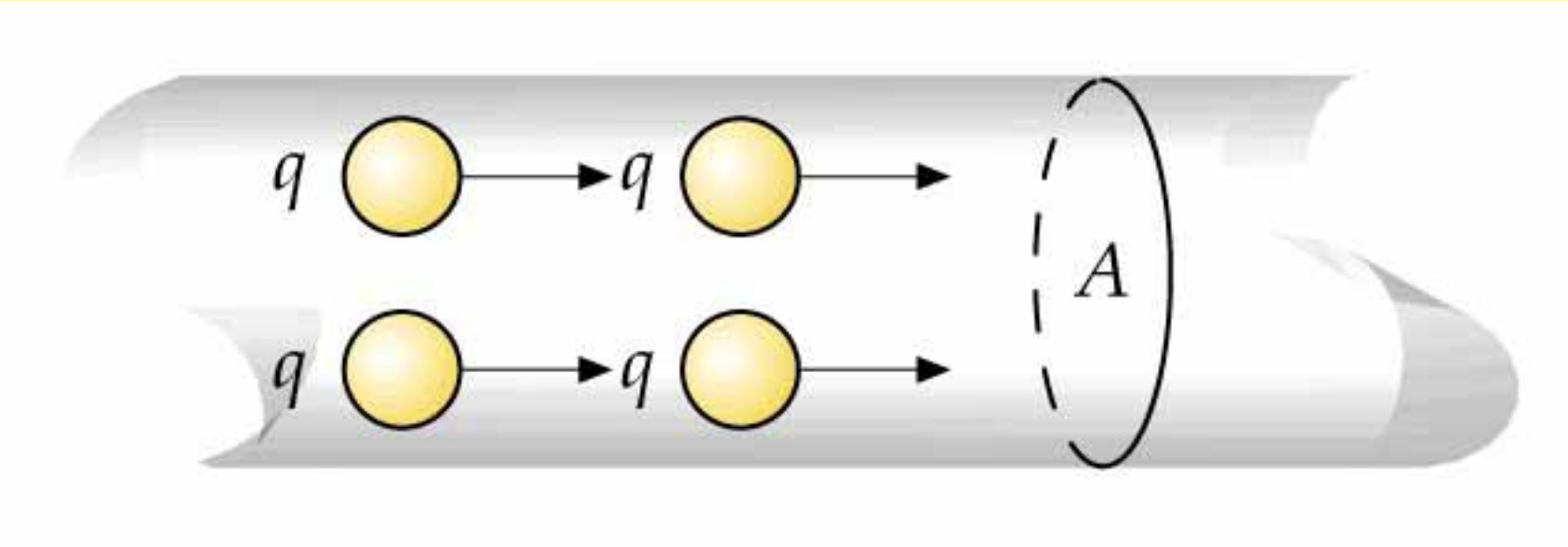
磁束密度

$$B = \mu_0 H$$

$$B = \mu H$$



$$\boldsymbol{F} = q \cdot \boldsymbol{E}$$

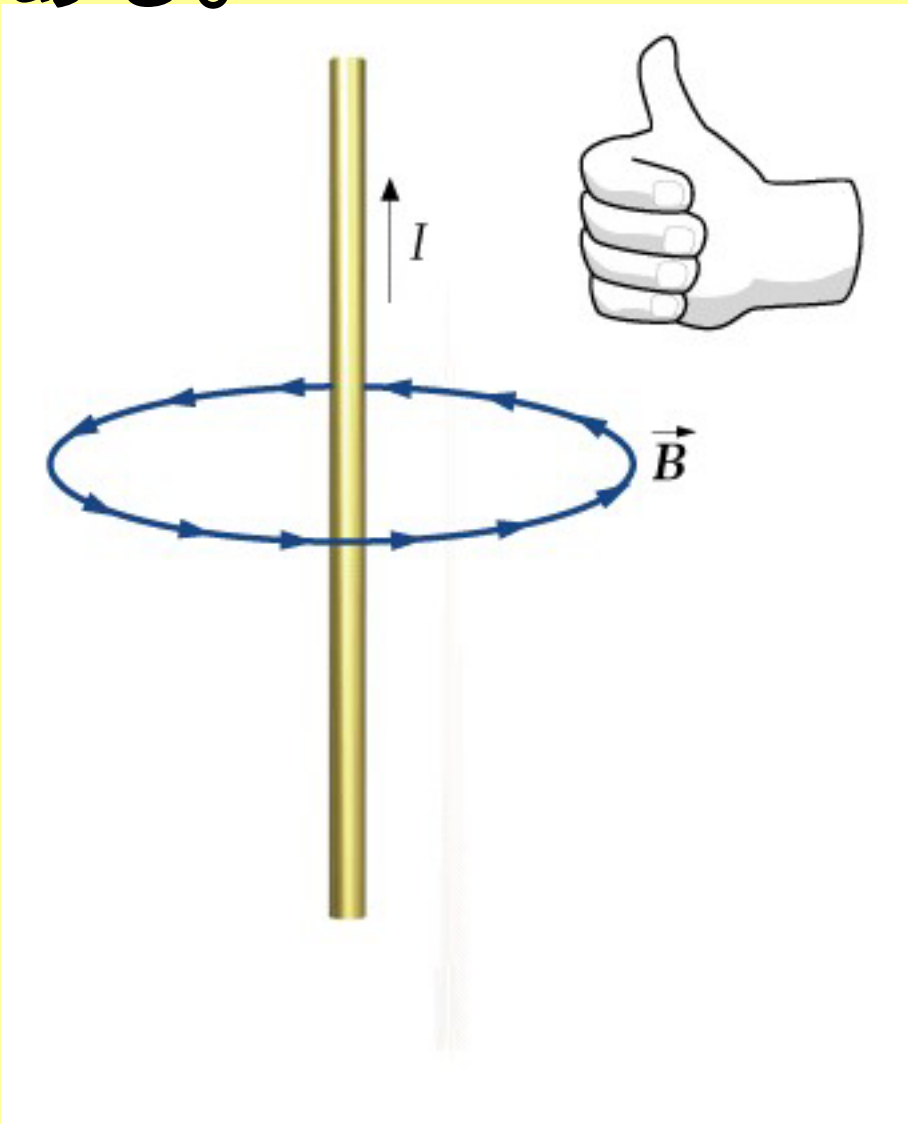


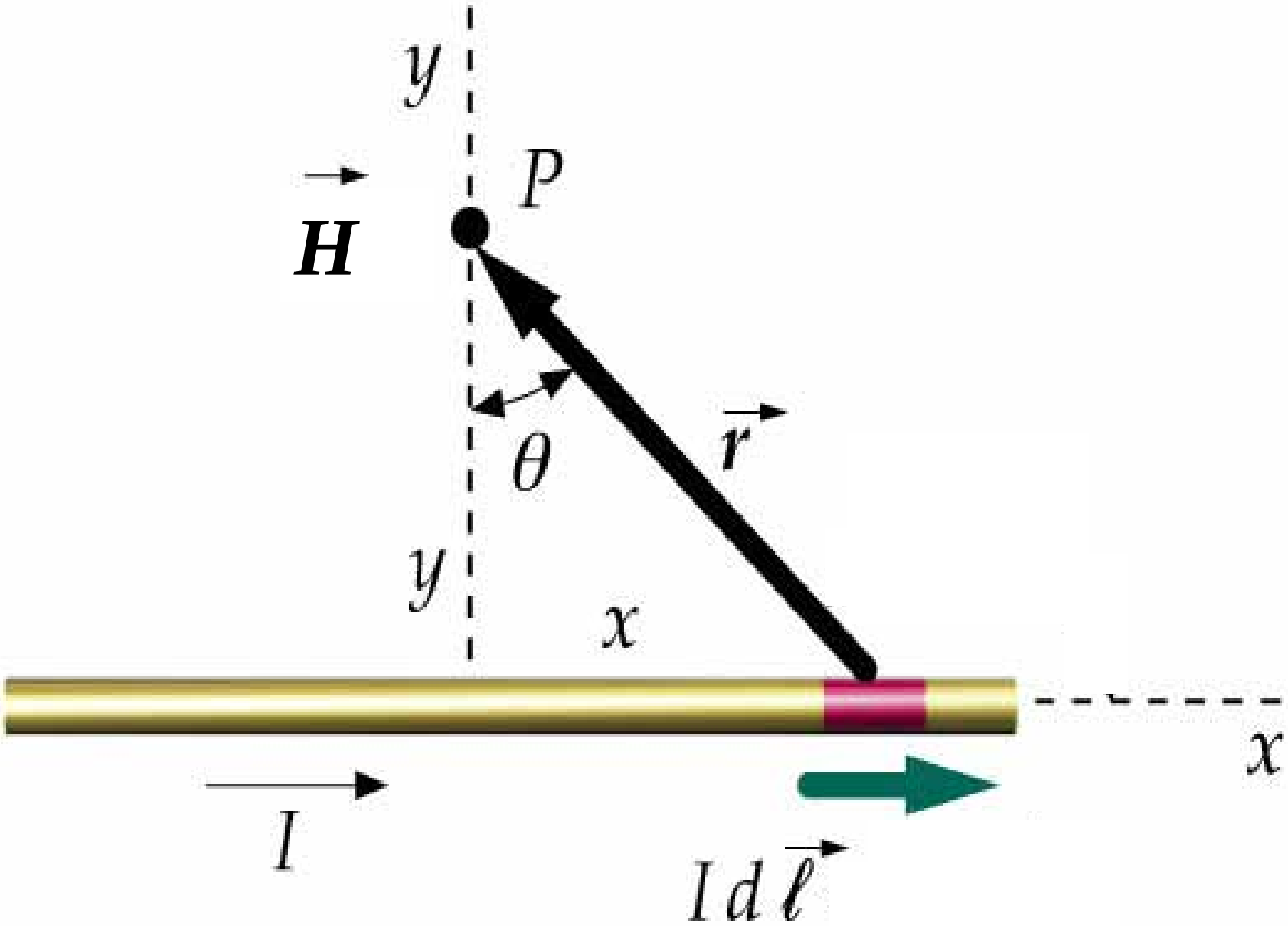
$$Iav = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad \frac{dQ}{dt} \equiv I$$

[C/sec] →[A]

電荷が時間的に移動する。 → 電流

本日のポイント１：
電流は磁場の発生源である。




y
P
H
θ
r
y
x
x
I
I d ℓ

$$dH = \frac{I d\boldsymbol{l} \sin\theta}{4\pi \cdot r^2}$$

***H*:磁界**（A / m）

$$dH = \frac{Idl \sin\theta}{4\pi \cdot r^2}$$

$$d\boldsymbol{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{\mathrm{I}\boldsymbol{dl} \times \hat{\boldsymbol{r}}}{\mathrm{r}^2}$$

$$\boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}$$

μ 透磁率　　μ_0 真空の透磁率

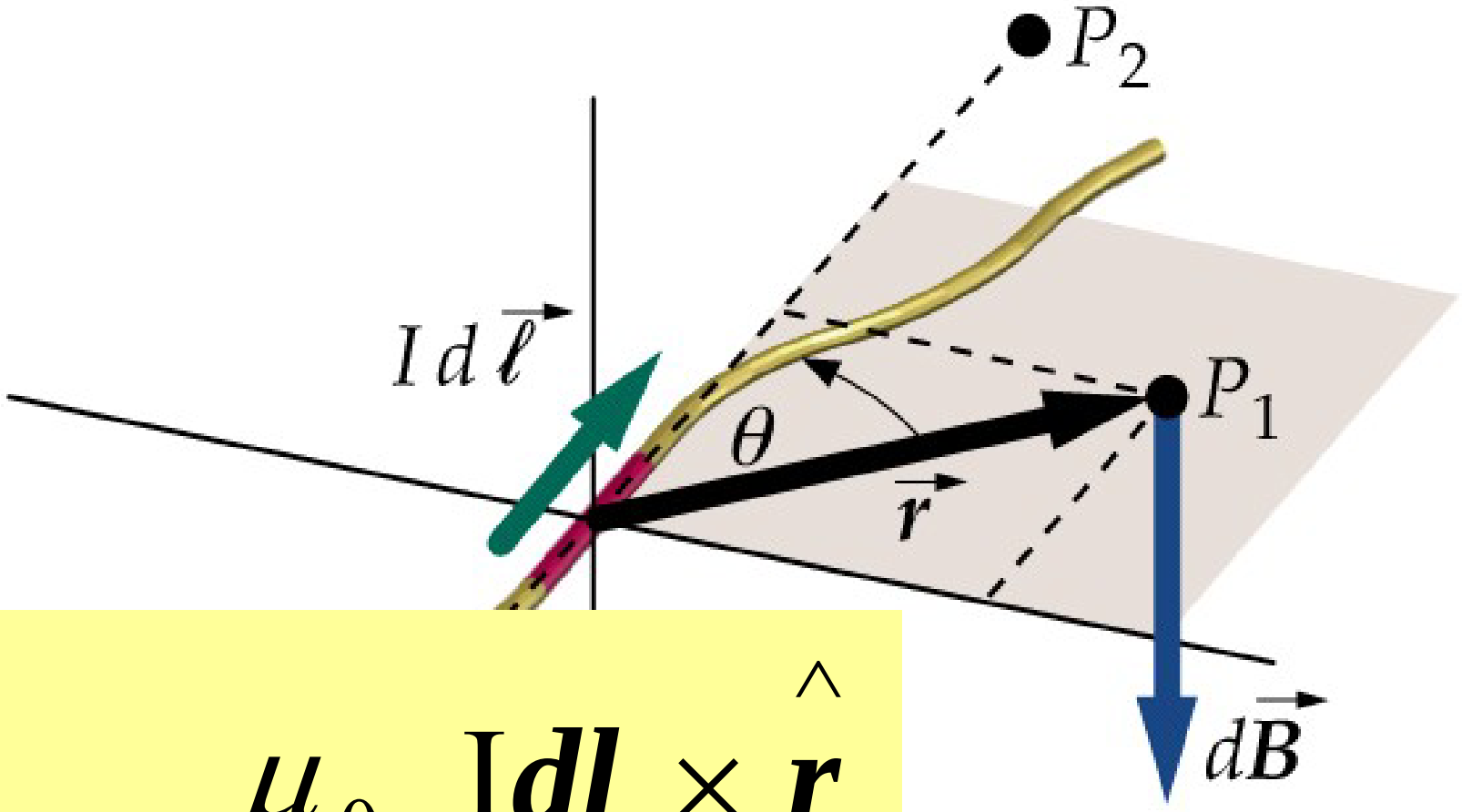
B：磁束密度

$$d\boldsymbol{B} = \mu_0 \frac{I d\boldsymbol{l} \sin\theta}{4\pi \cdot r^2}$$

$$\boldsymbol{B} = \mu \ \boldsymbol{H}$$

μ 透磁率　　μ_0 真空の透磁率

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [N / A^2]$$



$$d\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathrm{I}\boldsymbol{dl} \times \hat{\boldsymbol{r}}}{\mathrm{r}^2}$$

B：**磁束密度**

磁場の大きさと方向
（ビオ・サバールの法則）

$$\boldsymbol{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\mathrm{I}\boldsymbol{dl} \times \hat{\boldsymbol{r}}}{\mathrm{r}^2}$$

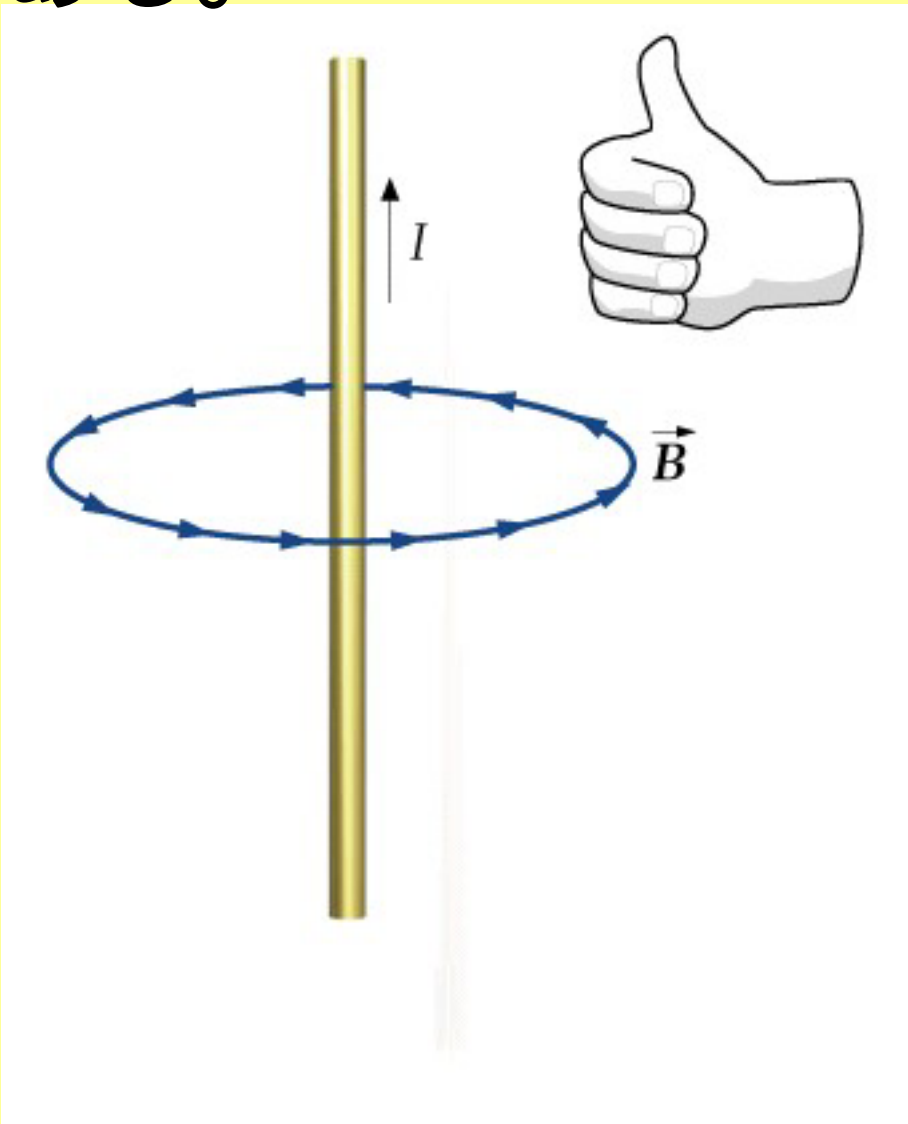
うず状

電場の大きさと方向
（クーロンの法則）

$$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dQ}{r^2}$$

放射状

本日のポイント１：
電流は磁場の発生源である。



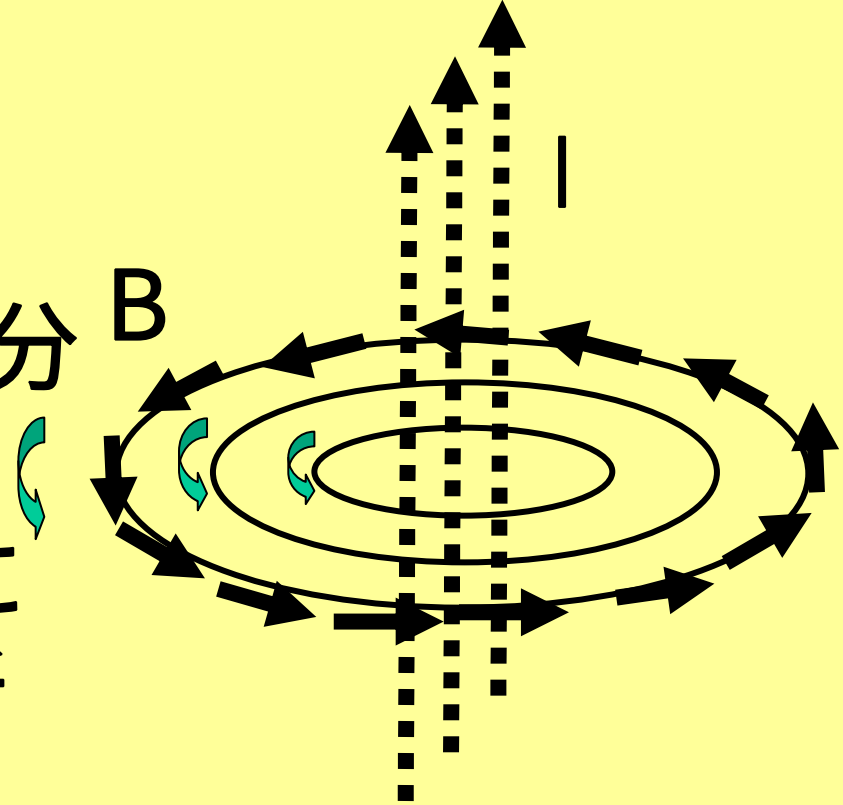
積分する経路$\boldsymbol{dl}$でいたるところBが一定。
Bと経路$\boldsymbol{dl}$は常に同じ方向

$$\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{l} = \boldsymbol{B} \oint d\boldsymbol{l}$$

$$\Downarrow$$

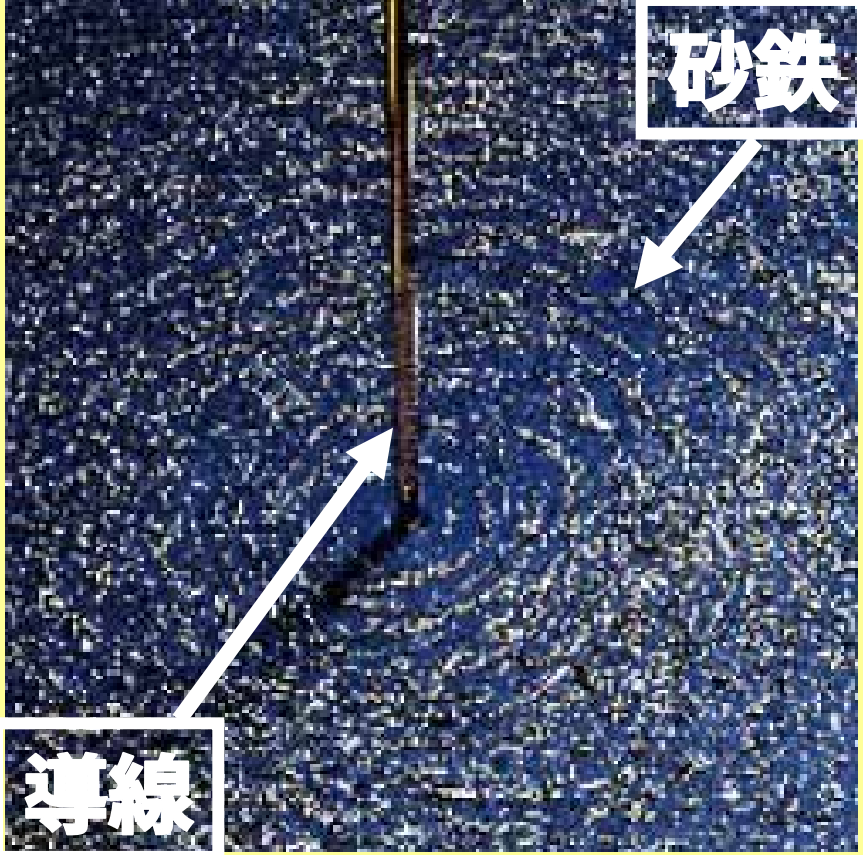
$$\boldsymbol{B} \oint d\boldsymbol{l} = \left| \boldsymbol{B} \right| \cdot 2\pi a$$

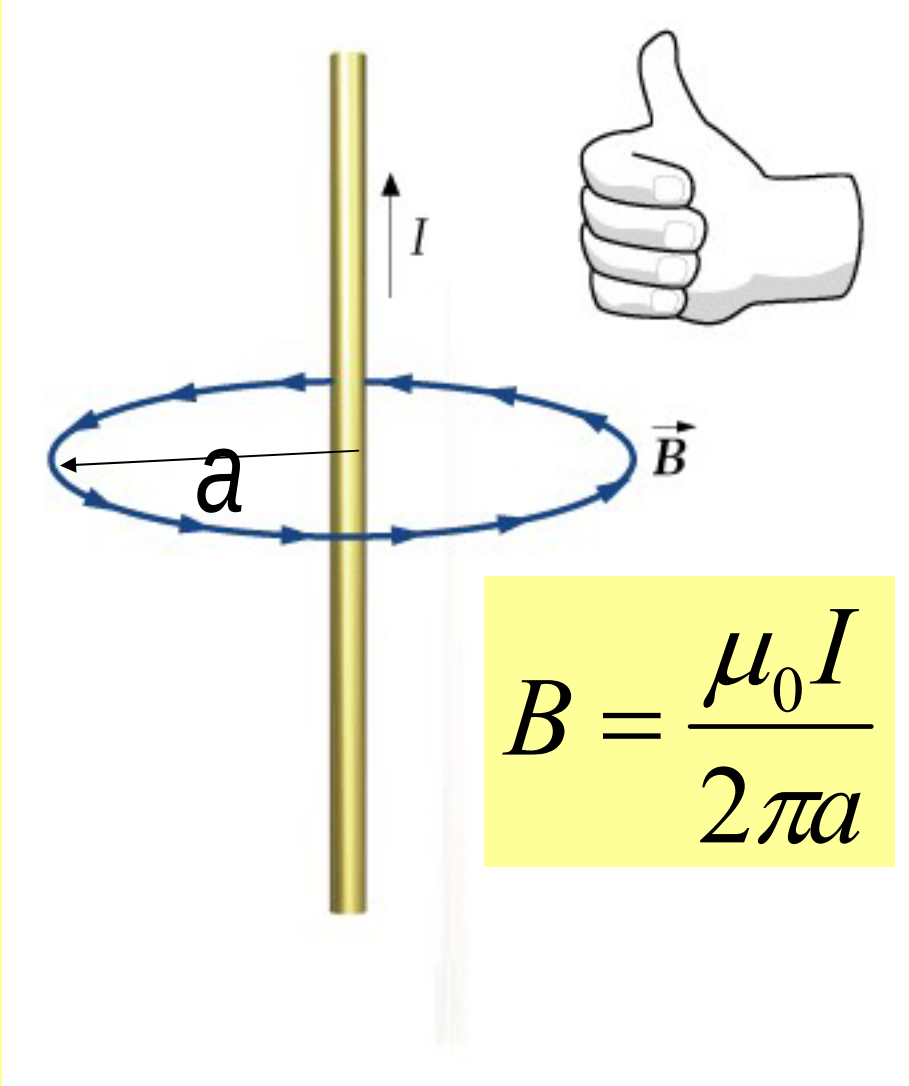
任意の閉じた経路に沿ってとった$B \cdot dl$の線積分は、μIに等しい。
ただし、I　はその経路によって囲まれる任意の断面を通過する電流である。



n本電流が貫流したとき

$$\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{l} = \mu \boldsymbol{I} \left(\mu n \boldsymbol{I} \right)$$





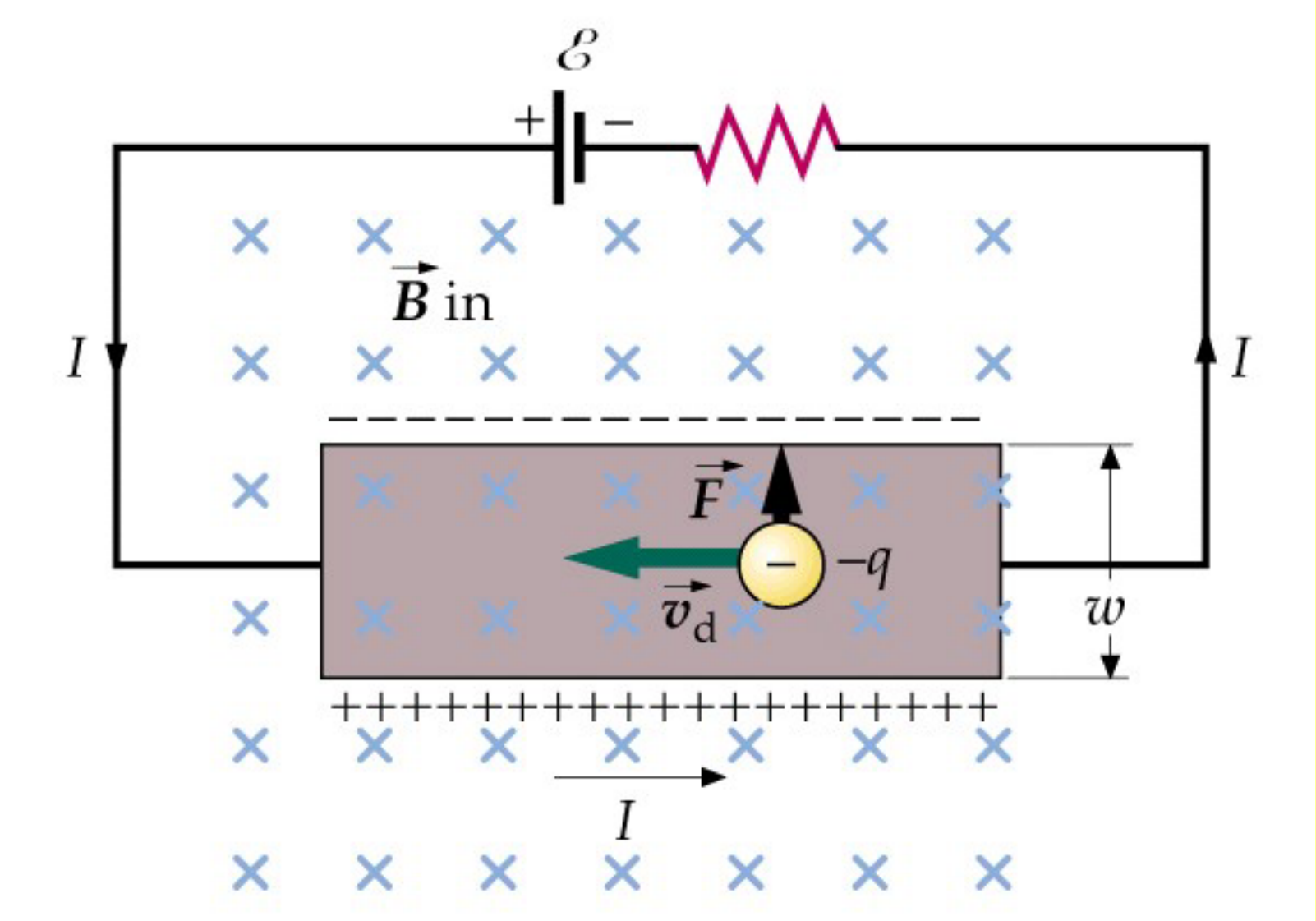
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

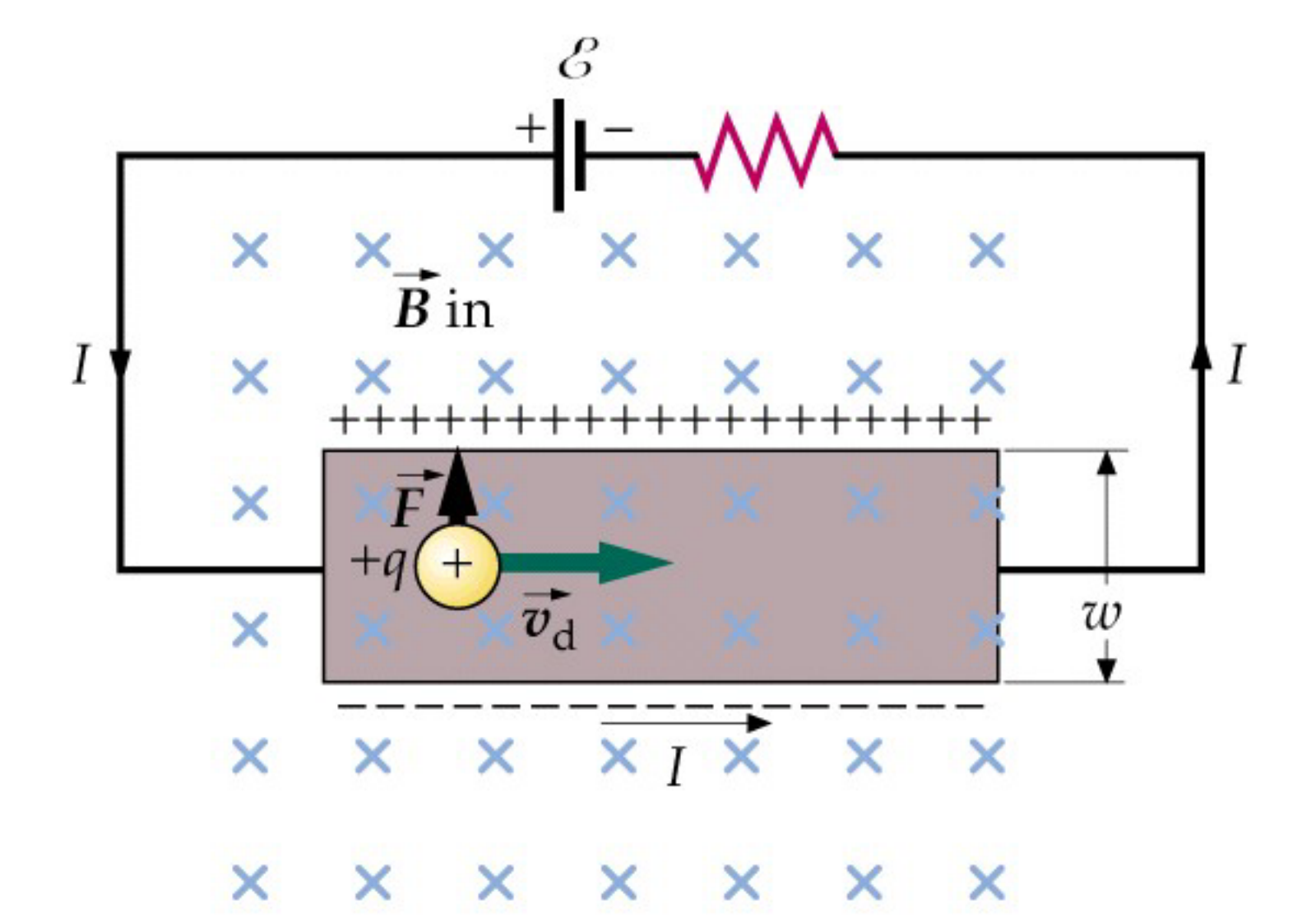
$$\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{l} = 2\pi a \left| B \right| = \mu \boldsymbol{I}$$

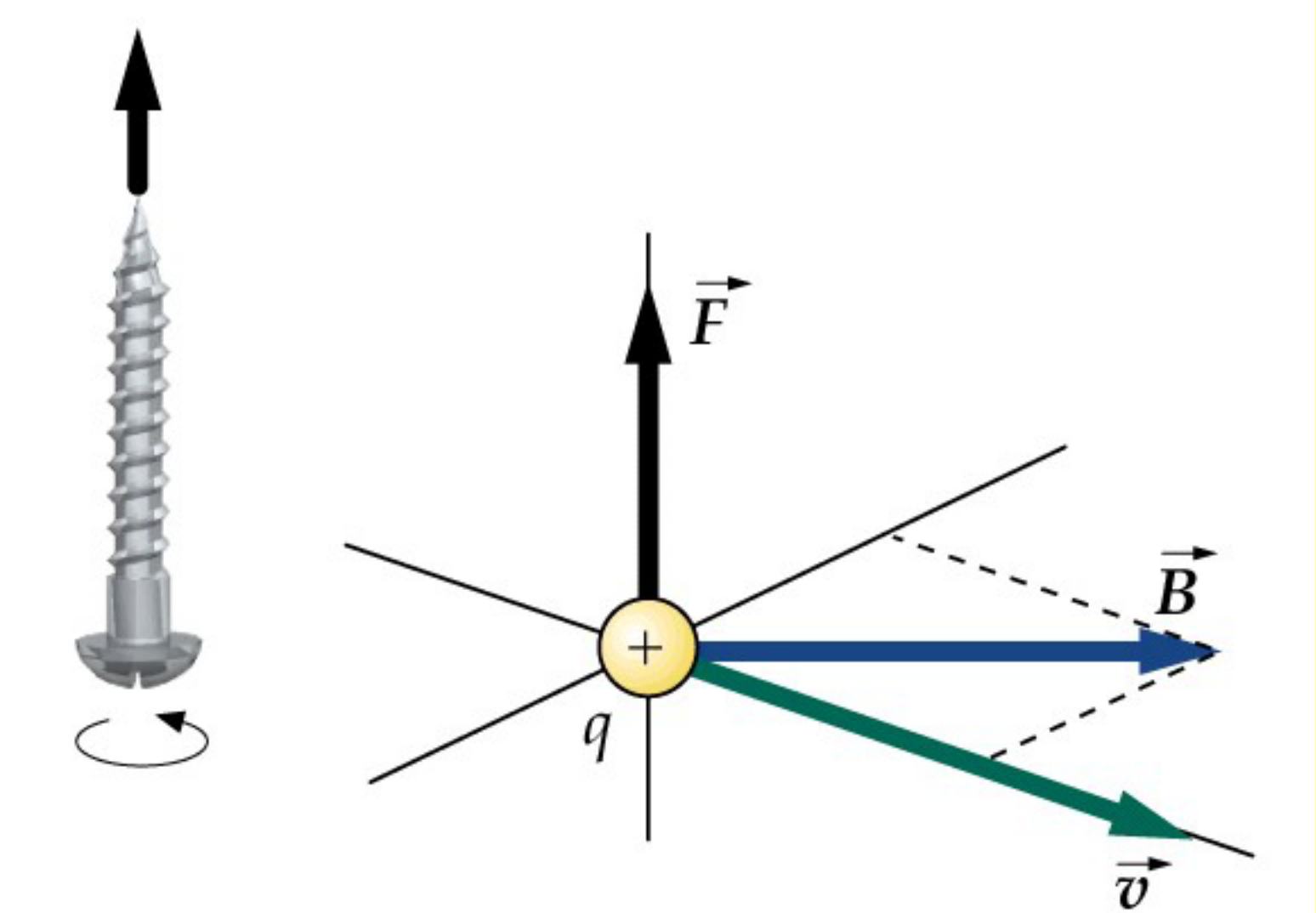
物理学概論・物理学

・電流と磁場
（電流は磁場の源）
ビオ・サバールの法則、
アンペアの法則

・磁場中の電荷の運動と電荷に作用する力
（ローレンツ力と外積）

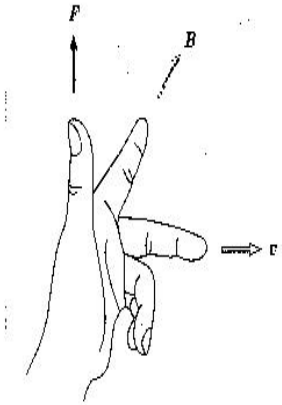

$\mathscr{E}$
+
−
$\vec{B}$ in
I
I
$\vec{F}$
$-q$
$\vec{v}_d$
w
I


$\mathcal{E}$
+
−
$\vec{B}$ in
I
I
$\vec{F}$
$+q$
+
$\vec{v}_d$
w
I



“ねじれた（直交）”位置関係で力が働く

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



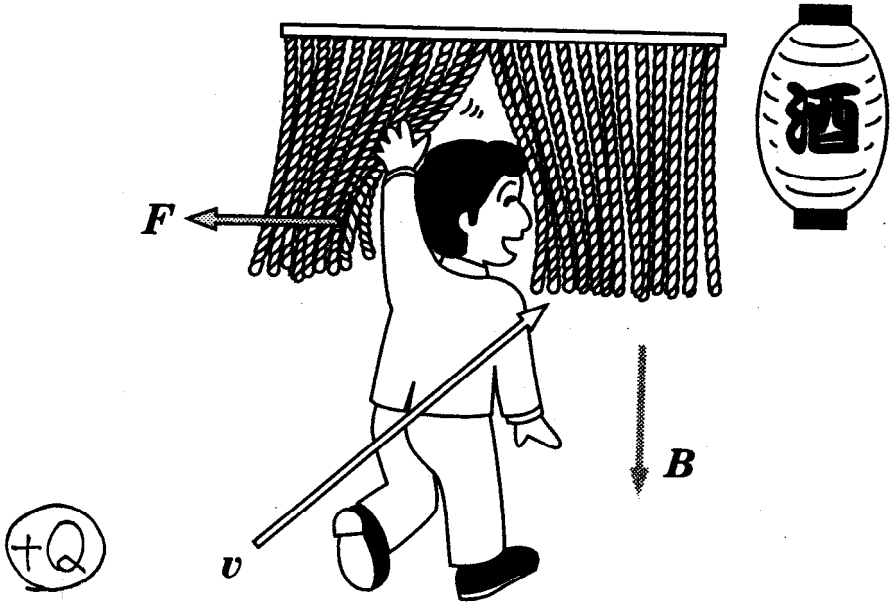
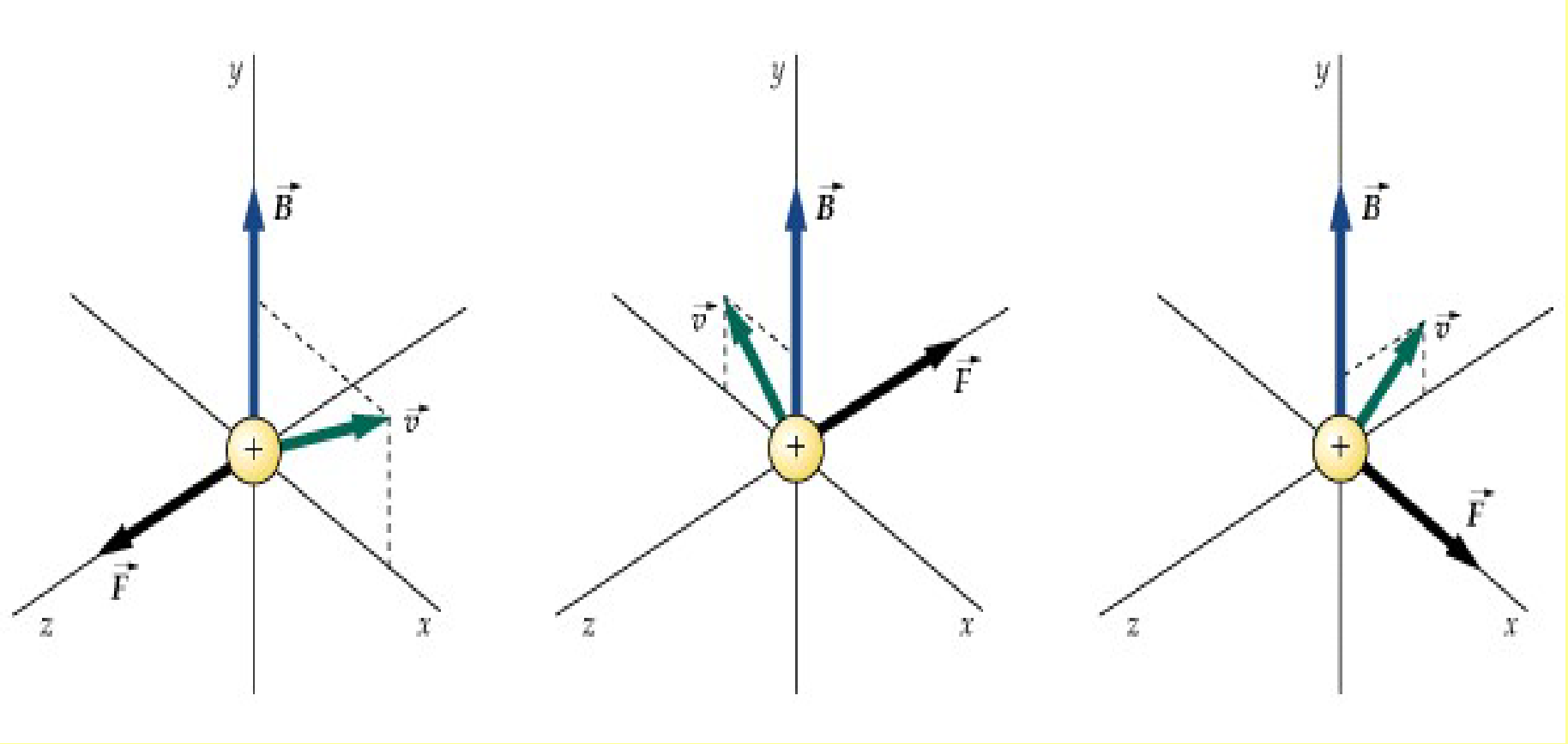


図 7.2　左なわのれんの規則


y
$\vec{B}$
$\vec{v}$
$\vec{F}$
z
x
y
$\vec{B}$
$\vec{v}$
$\vec{F}$
z
x
y
$\vec{B}$
$\vec{v}$
$\vec{F}$
z
x

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

vとBが“同一方向（逆向きも）”なら
力は作用しない。

vとBが直角であると
最も有効に力が作用する

１Ｃの電荷が１m/s で
磁場に垂直に運動する。

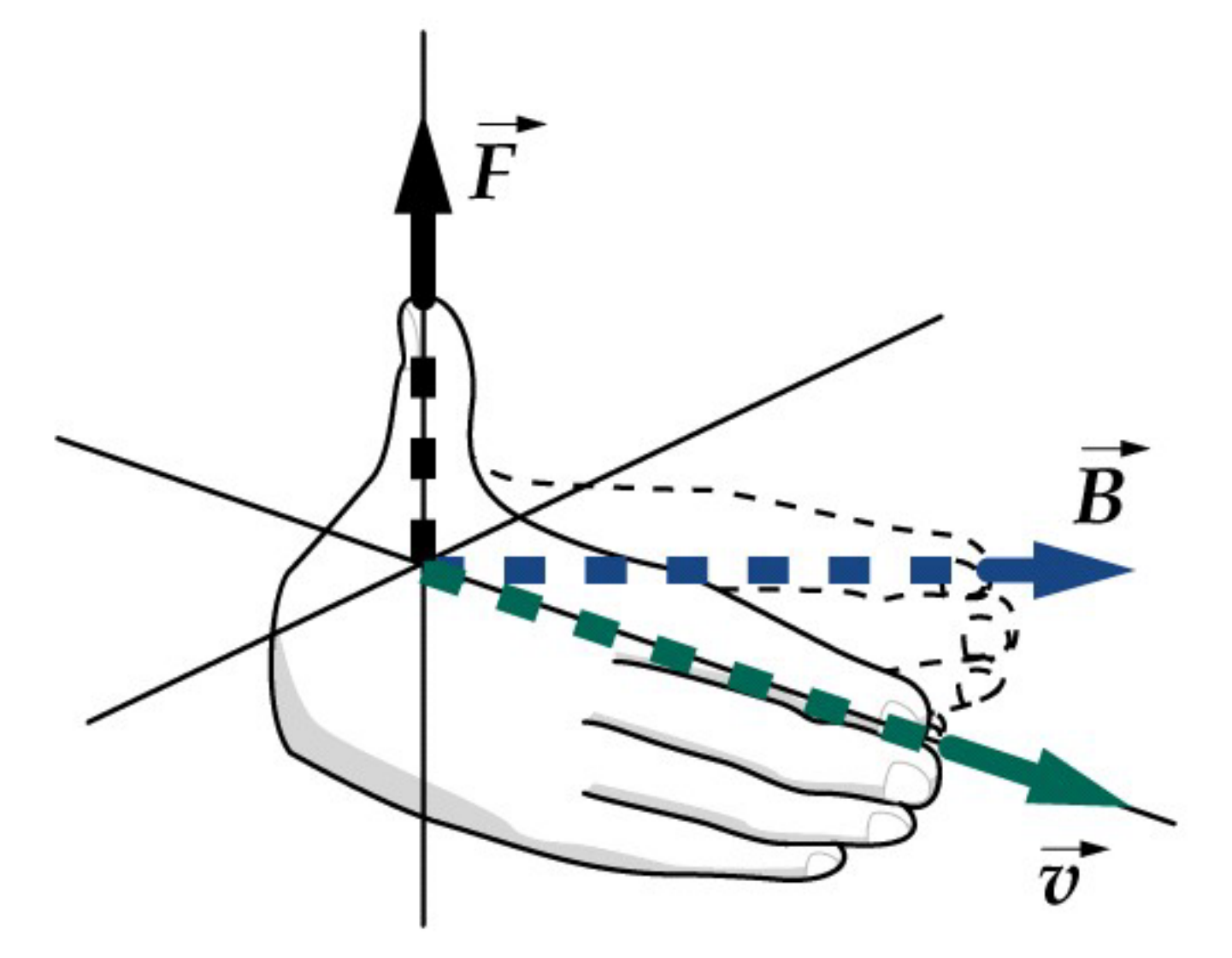
磁場中で受ける力→１Ｎであった。

１Ｔの磁場

$$[B] = T = \frac{Wb}{m^2}$$

$$[B] = T = \frac{Wb}{m^2} =$$

$$\frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m}$$

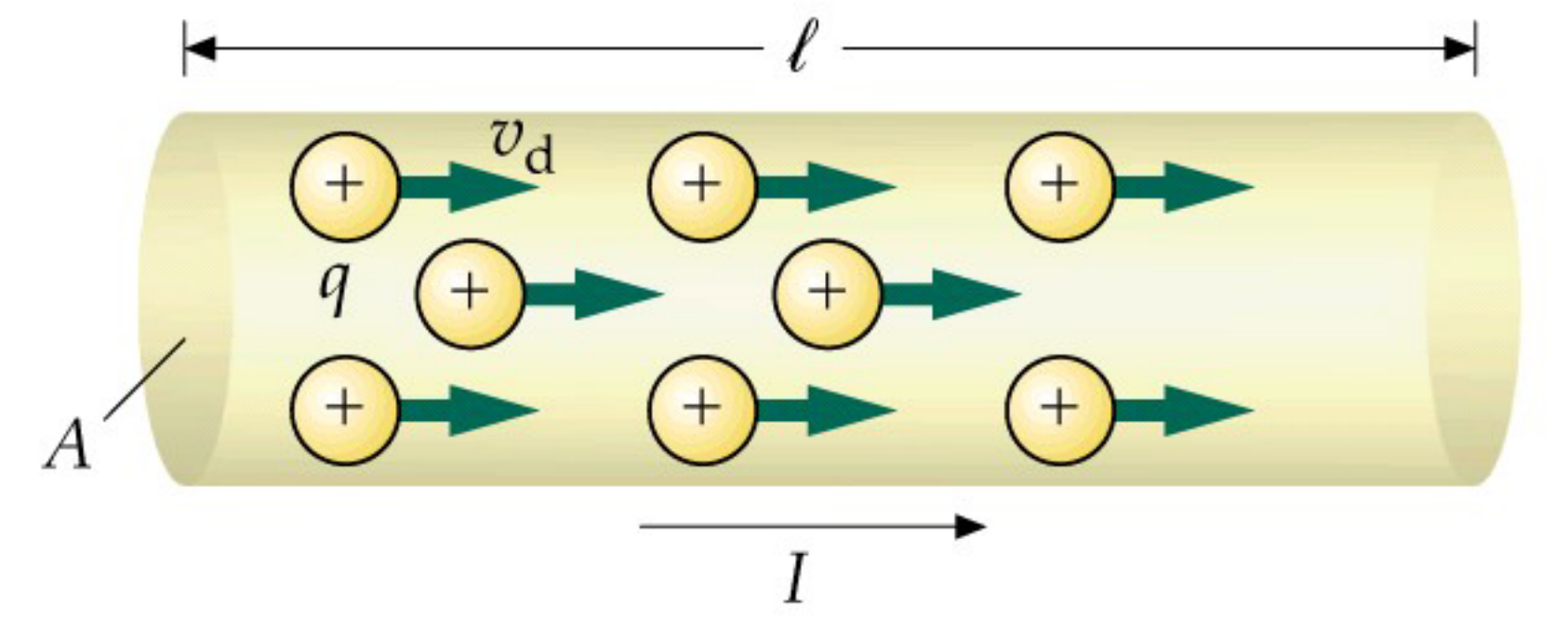

$\vec{F}$
$\vec{B}$
$\vec{v}$

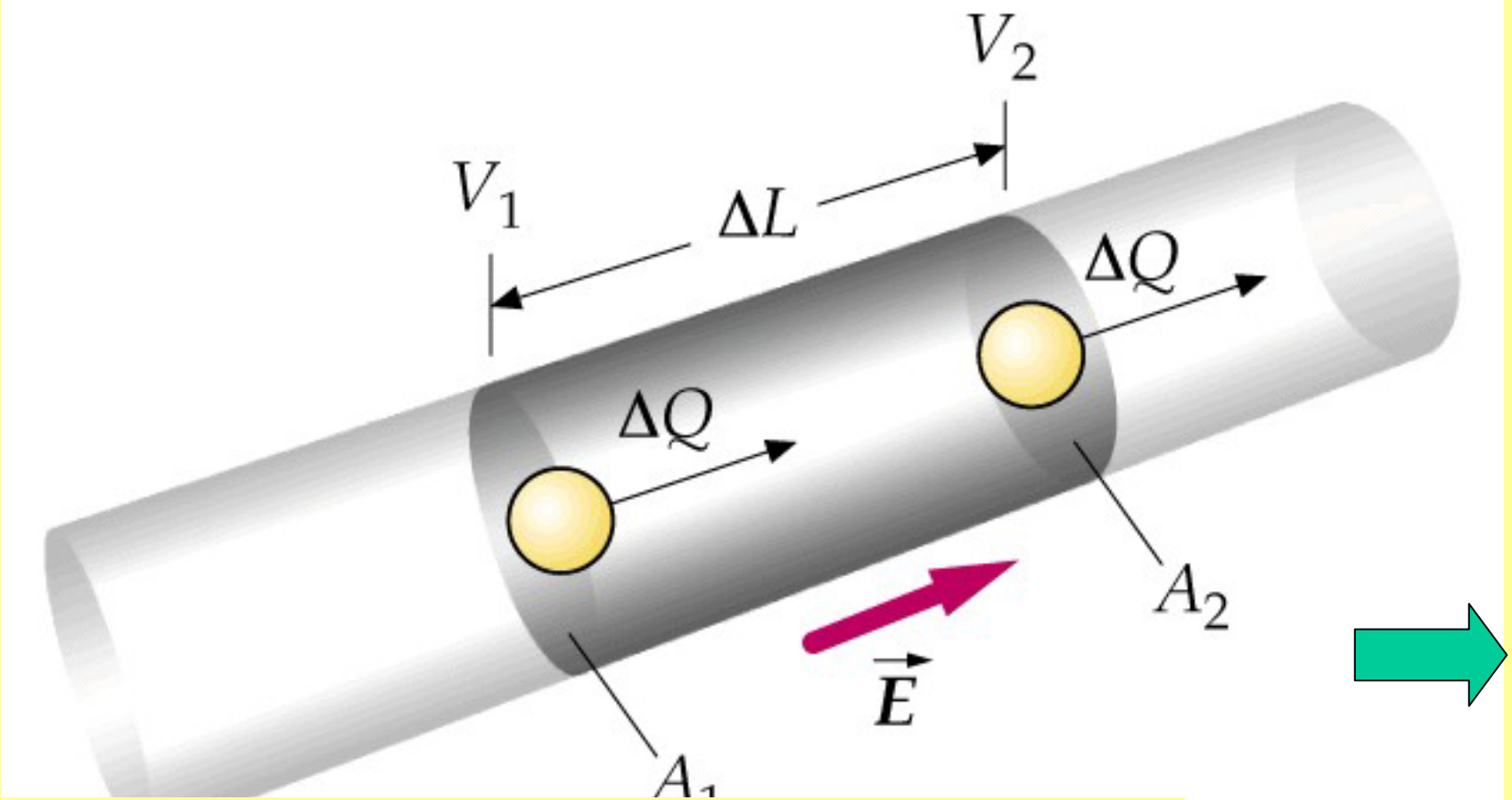
本日のポイント２：
電流の流れている線は磁場から力を受ける。

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

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

$$= I\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{B}$$


ℓ
v_d
q
A
I



$$\Delta Q = n \cdot A \cdot \Delta L \cdot q$$

$$\Delta Q = n \cdot A \cdot v_d \cdot \Delta t \cdot q$$

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

***I,B*が一定で線路のみ方向がある**

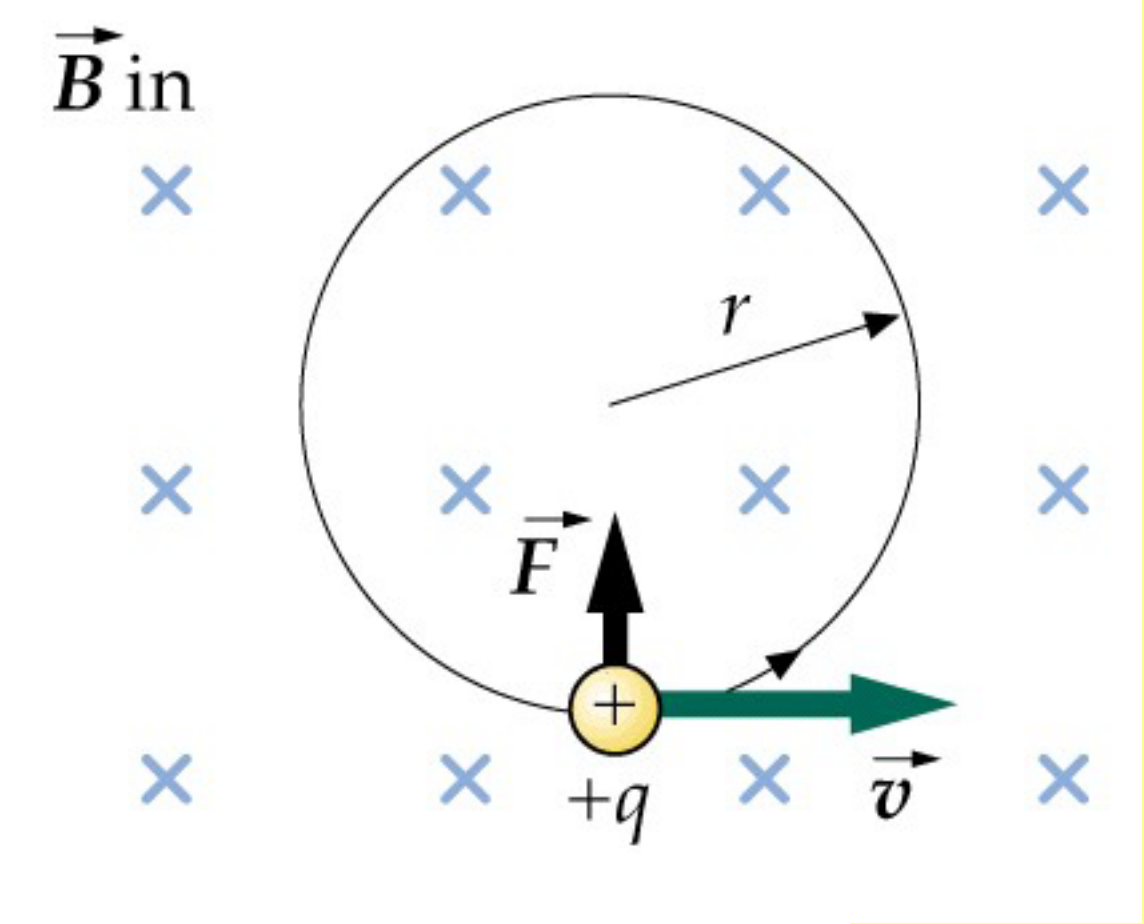
$$\boldsymbol{F} = I \int_a^b dl \times \boldsymbol{B}$$

Iが一定で、線路に対しBが異なる

$$d\boldsymbol{F} = I \times d\boldsymbol{B}$$

$$\int d\boldsymbol{F} = I \times \int d\boldsymbol{B}$$

$$\int d\boldsymbol{F} = I \times \int_{x1}^{x2} \boldsymbol{B} dx$$



$$F = qvB$$

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

$$r = \frac{mv}{q \cdot B}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{q \cdot B}{m}$$

$$d\boldsymbol{B} = \mu_0 \frac{I d\boldsymbol{l} \sin\theta}{4\pi \cdot r^2}$$

B：**磁束密度**