3) 物質に対する磁場の効果．：磁化（magnetization）

物質が磁場によって磁化する．

アンペールの解釈：“分子電流”

物質はミクロな円電流の集まり．

$B=0$：分子電流は好き勝手な方向を向いている．

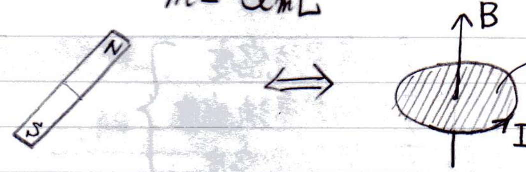
$B\neq0$：分子電流の向きが揃う．

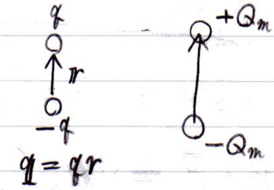
⇓

試料全体として大きな磁気的性質を示す．

“分子電流”：磁気モーメント

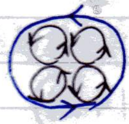
$m=Q_mL$





$\boxed{m=IA}$

ループ状の電流は棒磁石と等価



{一層の平均（和）… 巨大円電流
多層の平均（和）… ソレノイドコイル}

⇓

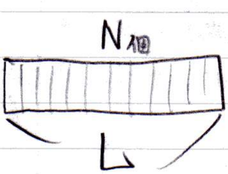
物質の（マクロな）磁性

（試料全体として磁気モーメントが揃う）

磁気モーメントの起源．
（物性物理）
{電子の軌道運動
スピン（電子・核）⟶ 純粋に（相対論的）量子力学的

棒磁石による磁気モーメント　$m=Q_mL$　（Q_m：磁荷）

円電流　〃　$m=IA$　（A：面積）



{単一断面あたりのループの数 n
ループ1個の面積 A'
断面の数 N
全ループ数 N'}

$$\begin{cases} nN=N' \\ nA'=A \end{cases}$$

単位体積あたりの磁気モーメント M：磁化

$$M = \frac{\Sigma m}{V} = \frac{N'(IA')}{AL} = \frac{NI}{L}\cdot\frac{nA'}{A} = \frac{NI}{L}$$

V 体積

（シート電流密度）

ところで、ソレノイドコイルの磁場 $B = \mu_0 I$

両者を比較すると、$\boxed{B \leftrightarrow \mu_0 M}$

物質に対する磁場の効果

〜磁気モーメントが揃う：$M = \frac{\Sigma m}{V}$

物質がある場合のアンペールの法則

$$\mathrm{rot}\,\mathbb{B} = \mu_0(j + \bar{j})$$

$\left\{\begin{array}{l} j：真電流密度 \\ \bar{j}：磁荷電流密度 \\ j + \bar{j}：全電流密度 \end{array}\right\}$

$$\bar{j} = \mathrm{rot}\,\mathbb{M}$$

$$\therefore\ \mathrm{rot}\,\mathbb{B} = \mu_0 j + \mu_0\,\mathrm{rot}\,\mathbb{M}$$

$$\mathrm{rot}(\mathbb{B} - \mu_0\mathbb{M}) = \mu_0 j \quad \rightarrow \quad \mathbb{B} = \mu_0(\mathbb{H} + \mathbb{M})$$

$$\mathbb{H} \equiv \frac{1}{\mu_0}(\mathbb{B} - \mu_0\mathbb{M})$$

$$\boxed{\mathrm{rot}\,\mathbb{H} = j}$$

$\left\{\begin{array}{l} \mathbb{B}：磁束密度 \\ \mathbb{H}：磁場の強さ \end{array}\right\}$

$\left(\begin{array}{l} \mathbb{D} = \varepsilon_0\mathbb{E} + \mathbb{P} \\ \mathrm{div}\,\mathbb{D} = \rho \end{array}\right)$

$\mathbb{M}$ と $\mathbb{H}$ は比例（限られた場合ではあるが）

$$\mathbb{M} = \chi\mathbb{H}$$

χ：磁化率（感受率）

$$\begin{aligned} \mathbb{B} &= \mu_0(\mathbb{H} + \mathbb{M}) \\ &= \mu_0(1+\chi)\mathbb{H} \\ &= \mu\mathbb{H} \end{aligned}$$

$\therefore\ \mu = \mu_0(1+\chi)$

$\left\{\begin{array}{l} \mu_0：真空の透磁率 \\ \mu：物質の透磁率 \end{array}\right\}$

$$\boxed{\begin{array}{l} \mathrm{div}\,\mathbb{B} = 0 \\ \mathrm{rot}\,\mathbb{H} = j \\ \mathbb{B} = \mu\mathbb{H} \end{array}}$$

$\left\{\begin{array}{l} \mathbb{B} = \mu_0(\mathbb{H} + \mathbb{M}) \\ \mathbb{M} = \chi\mathbb{H} \\ \mu = \mu_0(1+\chi) \end{array}\right\}$

$\mu/\mu_0 = \mu_r$：比透磁率