

物質の磁性: 磁場中で物質の示す性質。 常磁性体、反磁性体、強磁性体

周期表

1 1 H	2												13 5 B	14 6 C	15 7 N	16 8 O	17 9 F	18 2 He
3 Li	4 Be												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	*1	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	*2	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo	

*1 ランタノイド:

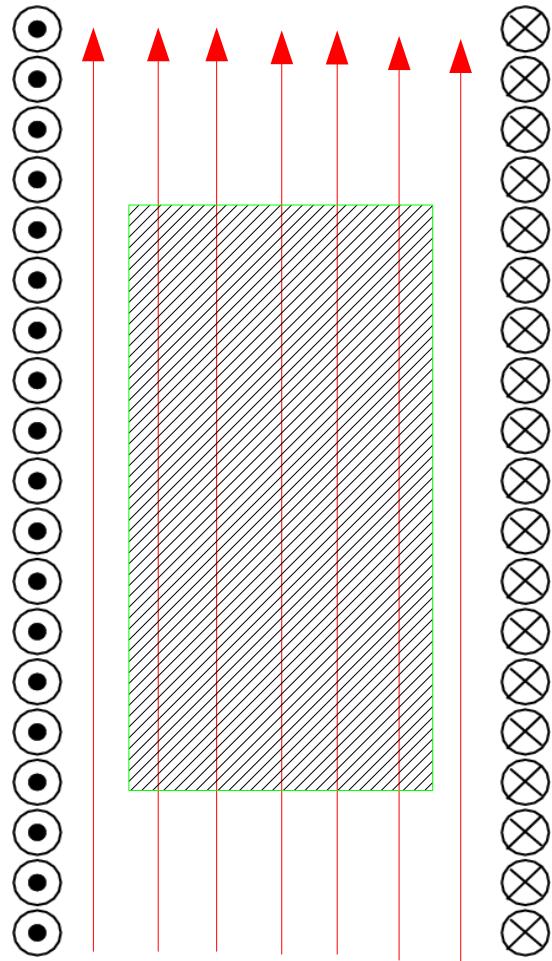
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

*2 アクチノイド:

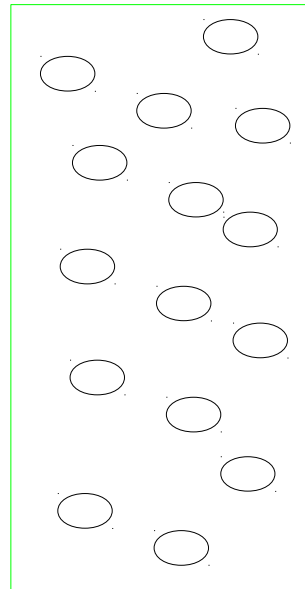
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

- 1 常温で固体
- 金属元素
- アルカリ金属
- 1 常温で液体
- 半金属元素
- アルカリ土類金属
- 1 常温で気体
- 非金属元素
- ハロゲン
- 人工元素
- 希ガス
- 遷移元素

物質と磁場

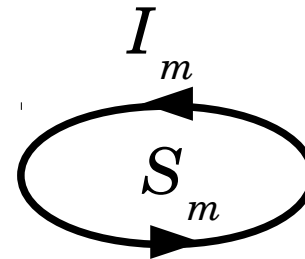


磁性は磁場中の物質のなかで
作られる磁気双極子により決まる。



物質の中の電気双極子は、原子のスピンの関係すると考えられている。

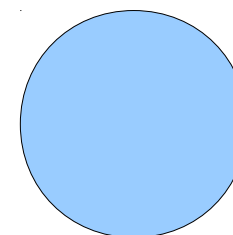
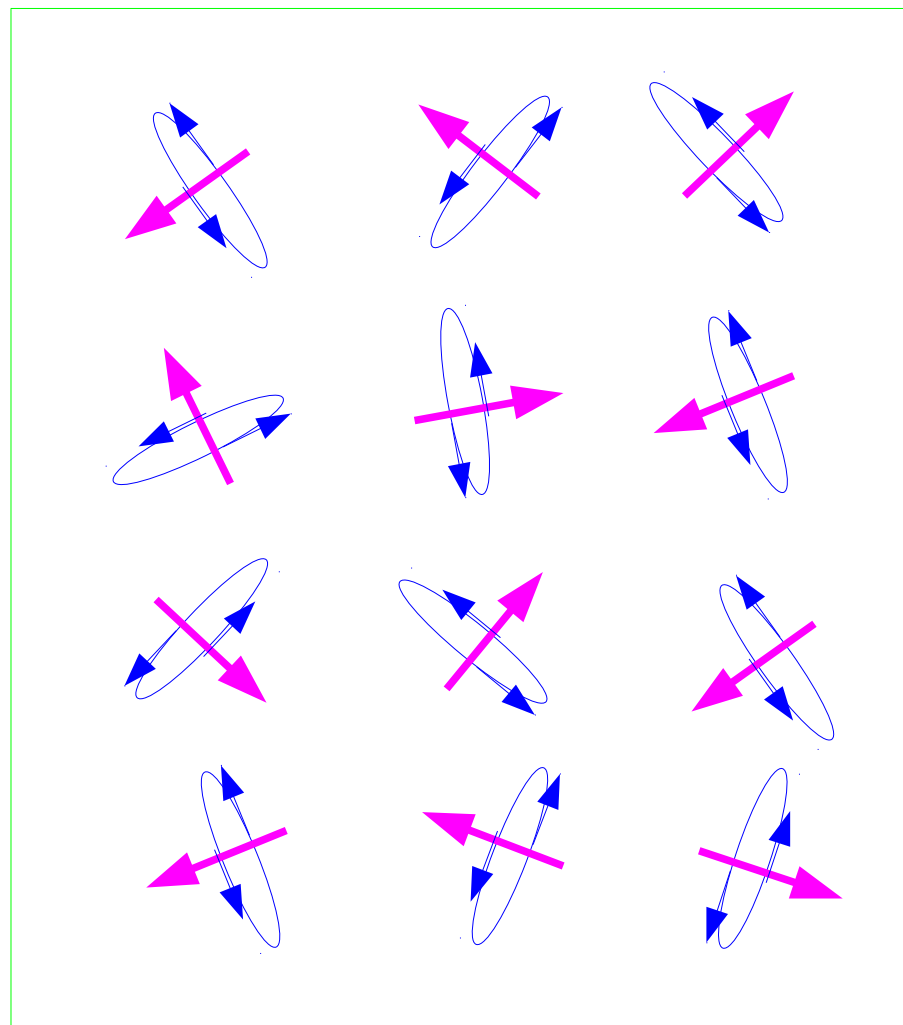
磁気双極子のモデルとして、



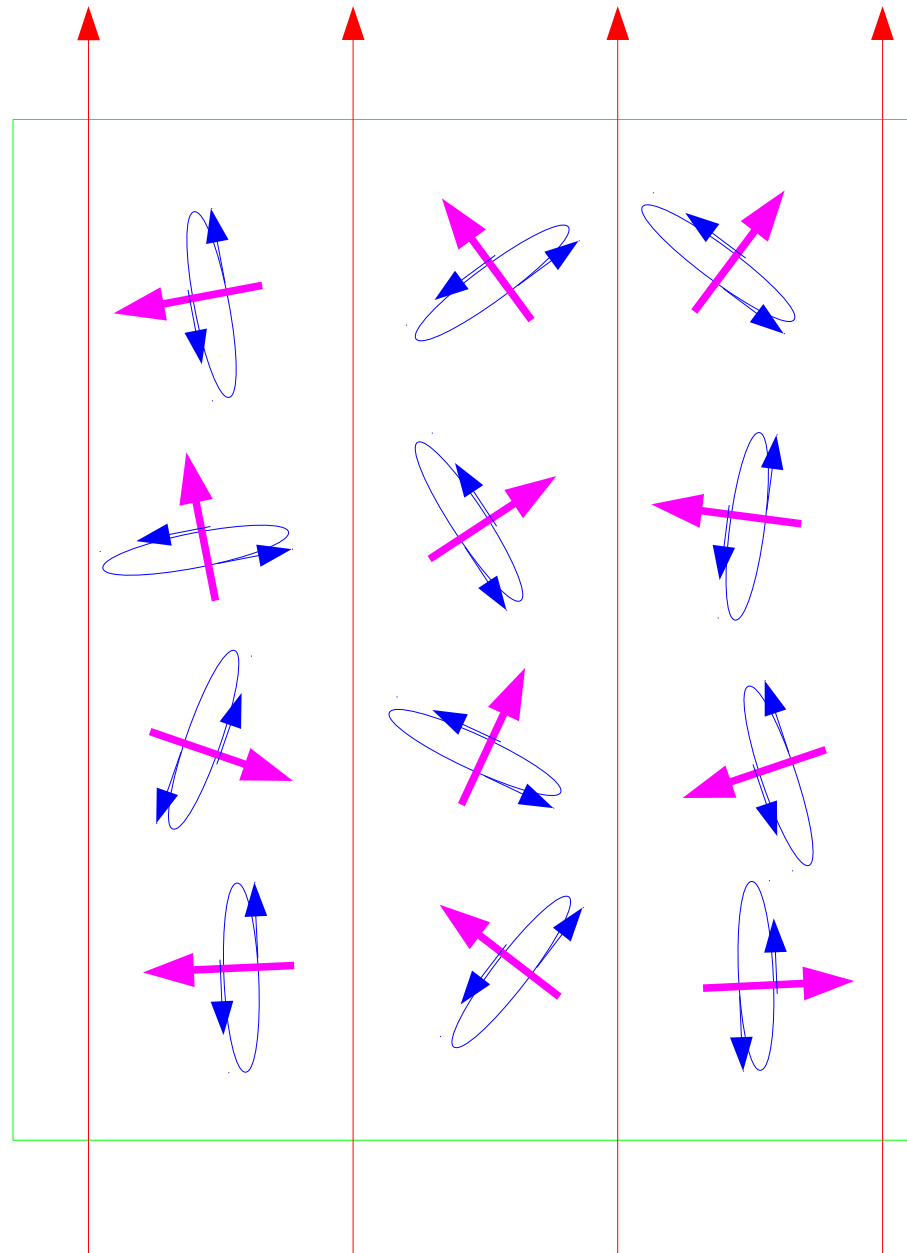
半径 r ($S = \pi r^2$) の円と、そこを流れる電流 I_m を考えると便利。

物質と磁場 1、常磁性体

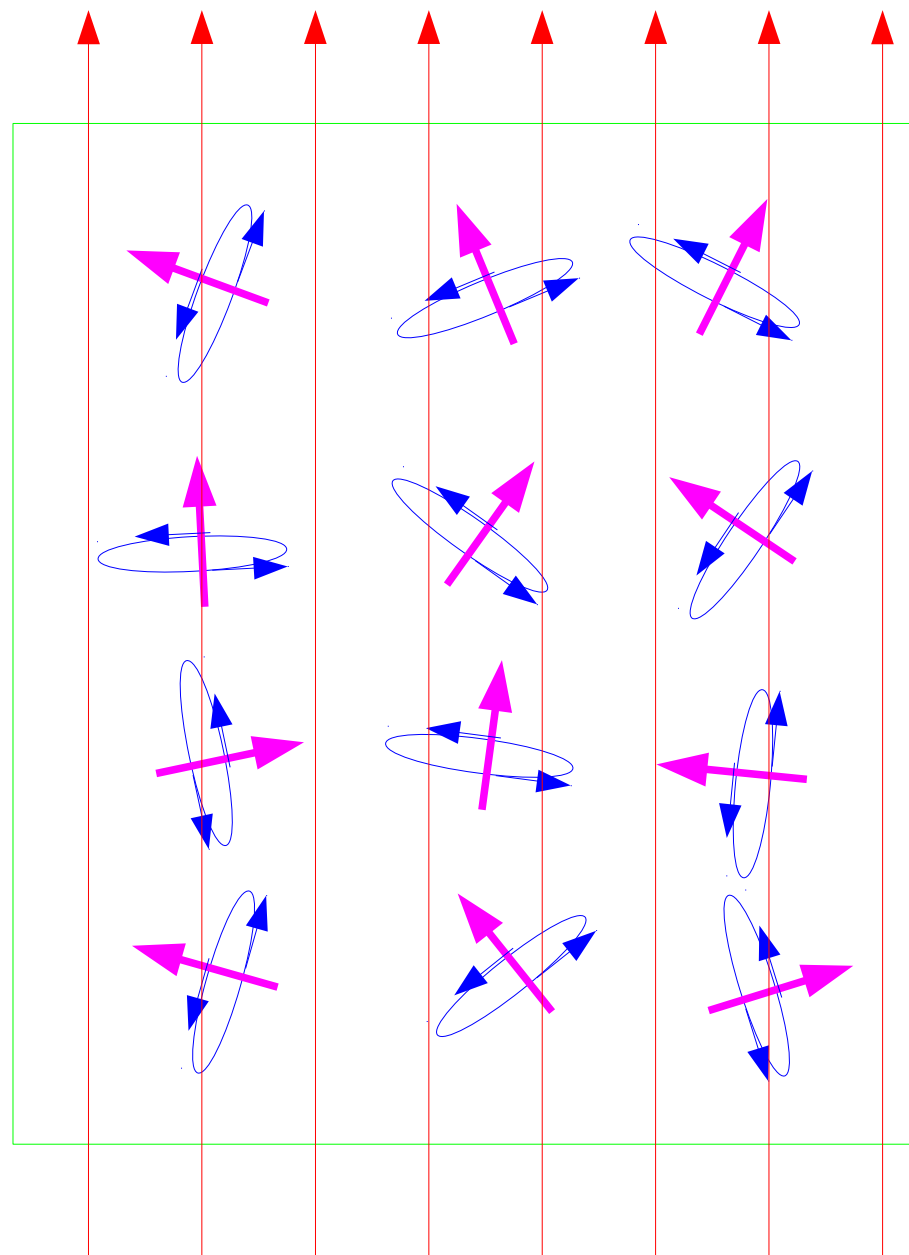
真上から見た
磁気双極子の断面積



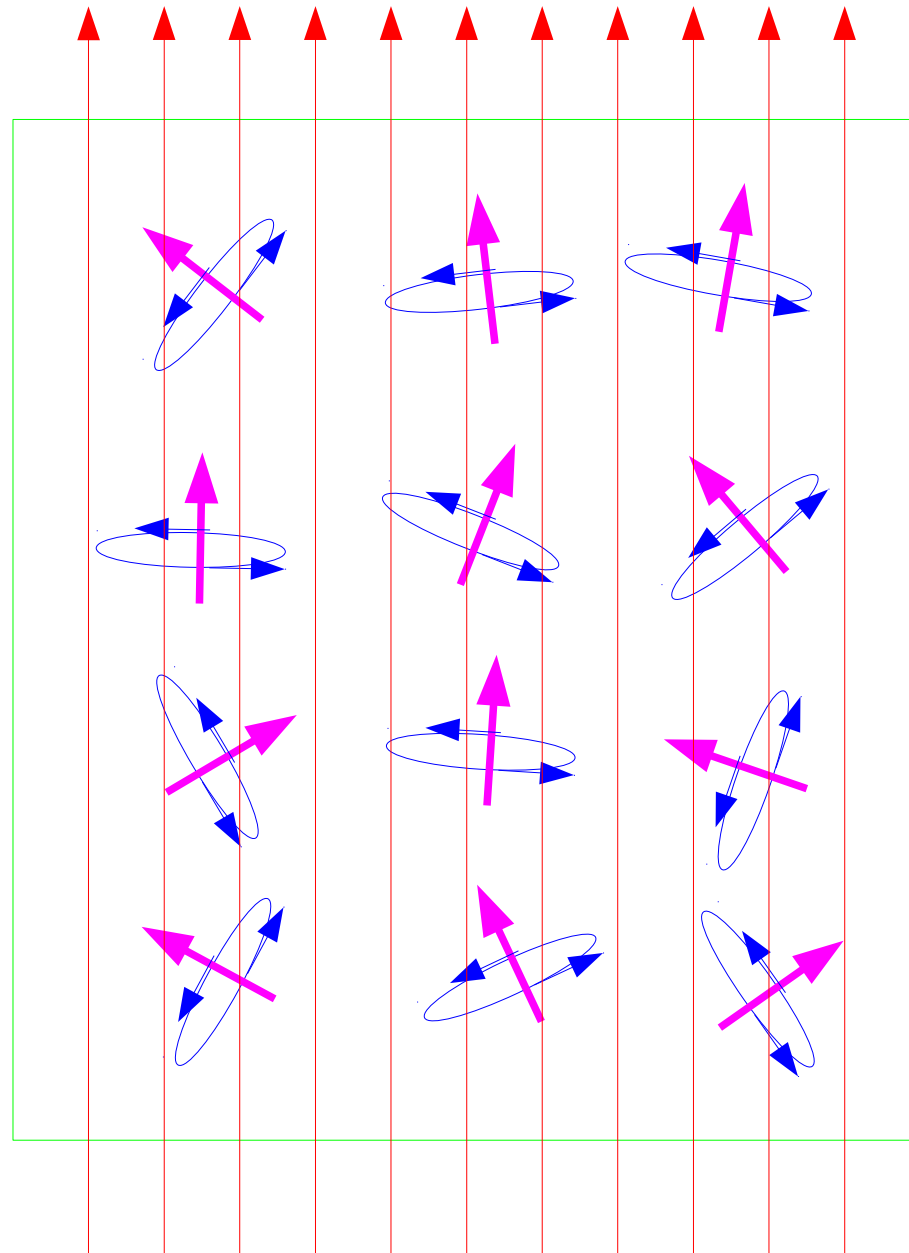
物質と磁場 1、常磁性体



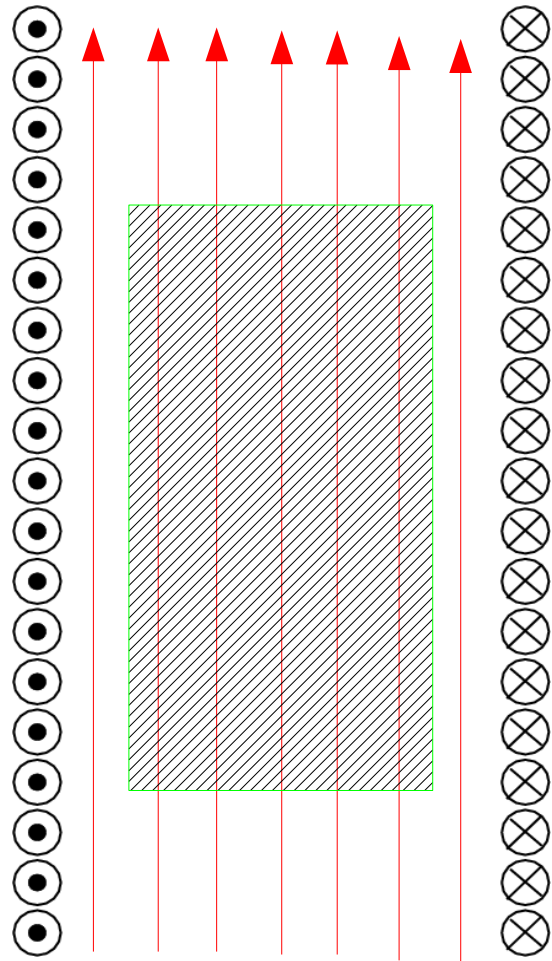
物質と磁場 1、常磁性体



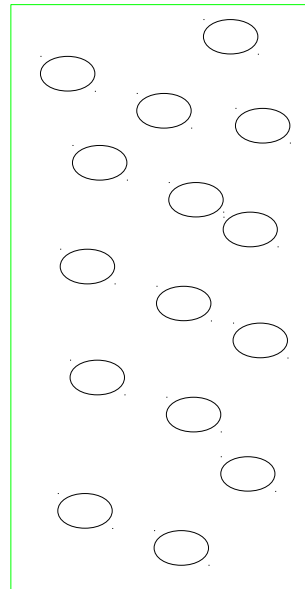
物質と磁場 1、常磁性体



物質と磁場

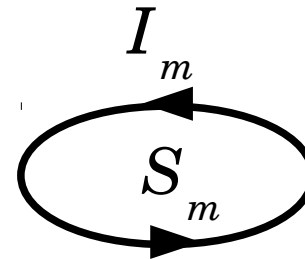


磁性は磁場中の物質のなかで
作られる磁気双極子により決まる。



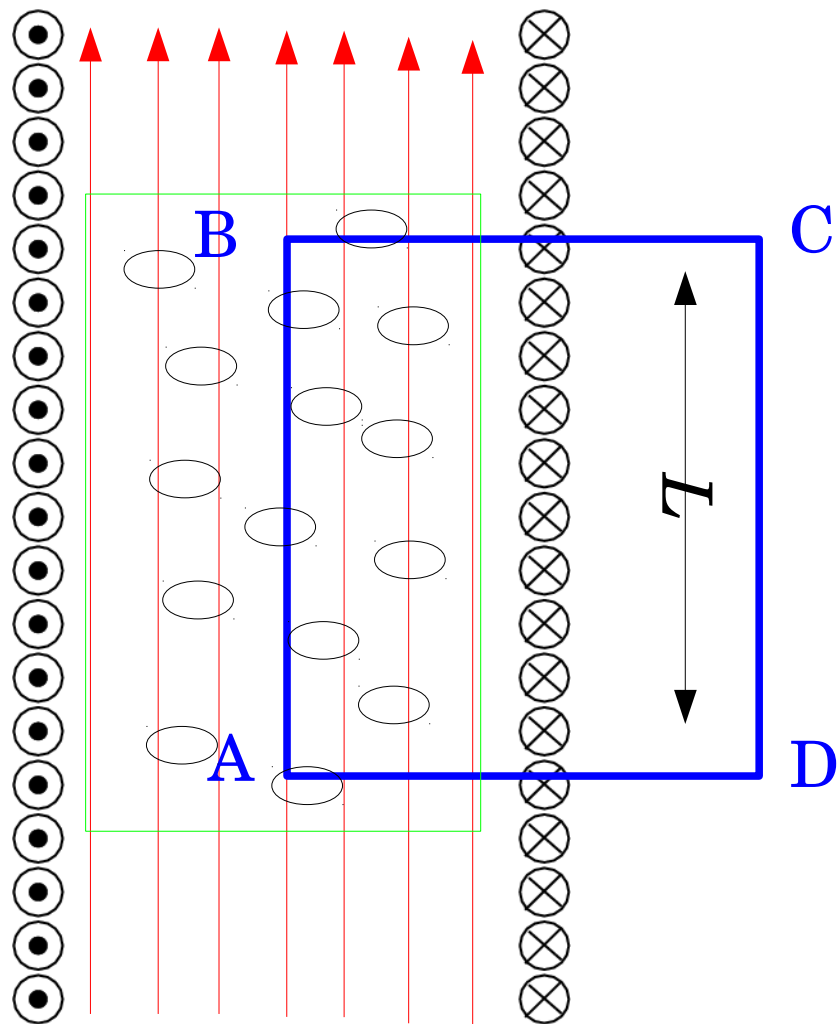
物質の中の電気双極子は、原子のスピンの関係すると考えられている。

磁気双極子のモデルとして、



半径 r ($S = \pi r^2$) の円と、
そこを流れる電流 I_m を
考えると便利。

物質を考えた、アンペールの法則



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

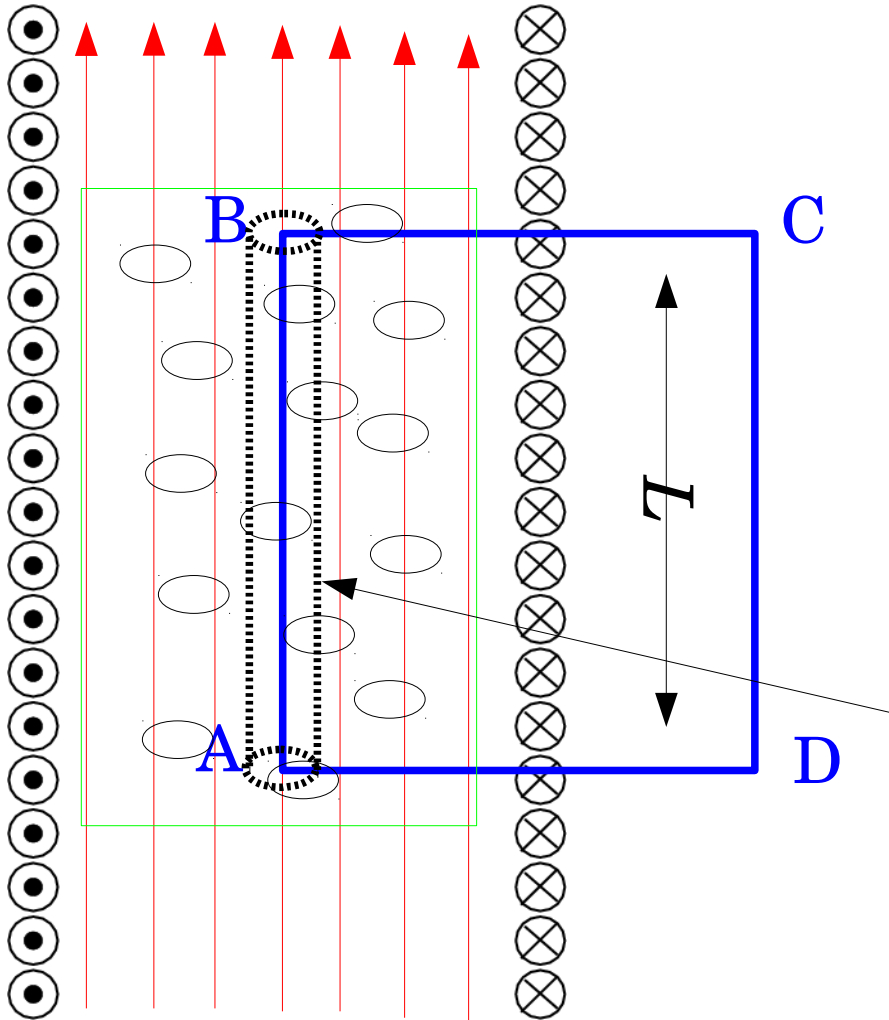
$$= \mu_0 n_1 I \cdot L + \text{磁気双極子の寄与}$$

$$\begin{aligned} \oint_{ABCD} \vec{B} \cdot d\vec{s} &= \int_{AB} \vec{B} \cdot d\vec{s} \\ &+ \int_{BC} \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (= 0) \\ &+ \int_{CD} \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (= 0) \\ &+ \int_{DA} \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (= 0) \end{aligned}$$

したがってアンペールの法則の左辺は

$$\begin{aligned} \oint_{ABCD} \vec{B} \cdot d\vec{s} &= \int_{AB} \vec{B} \cdot d\vec{s} \\ &= \langle B \rangle L \end{aligned}$$

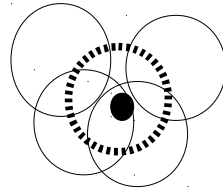
右辺=ソレノイドの電流+磁気双極子の寄与



磁気双極子として、
半径 r の円と、そこを流れる電流
を考える。

$$I_m$$

ABを真上から見た図。



点線の半径 r の円の中に
中心が入る磁気双極子が
寄与する。

左の図では点線で書いた円柱の中に
中心のある電気双極子が寄与する。

したがって、
磁気双極子の(数)密度を ρ_m とすると、

$$\text{磁気双極子の寄与} = \mu_0 \rho_m S_m L \cdot I_m$$

($S_m L$ は長さ L , 断面積 S_m の棒の体積)

磁気双極子の寄与(続き)

従って、アンペールの法則は、

$$\langle B \rangle L = \mu_0 n_1 I \cdot L + \mu_0 \rho_m S_m L \cdot I_m$$

$\mu_0 n_1 I$ は、真空でのソレノイドの磁場である。
電場の場合と同じく、**真空中の磁場**を別の形、

$\mu_0 H$ で書いておくと便利。すなわち、

$$\langle B \rangle = \mu_0 H + \mu_0 \rho_m S_m I_m$$

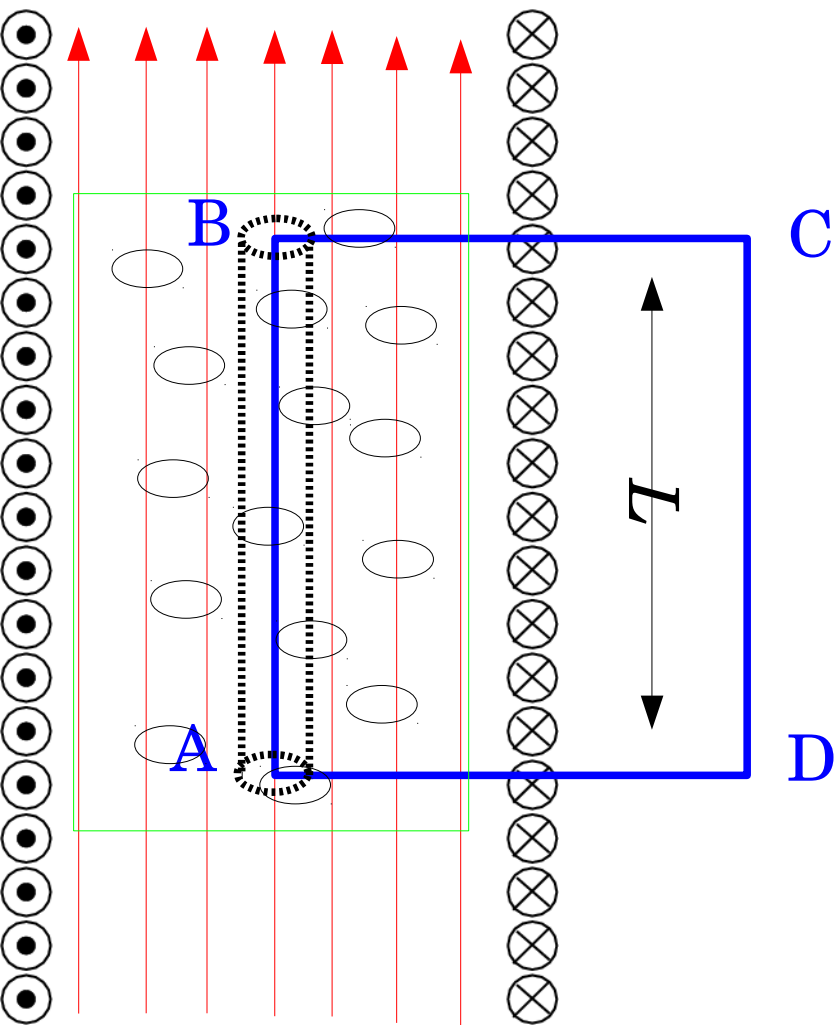
また、 $[I_m S_m]$ は物質の磁気双極子モーメント
なので、

$$M \equiv \mu_0 \rho_m [I_m S_m]$$

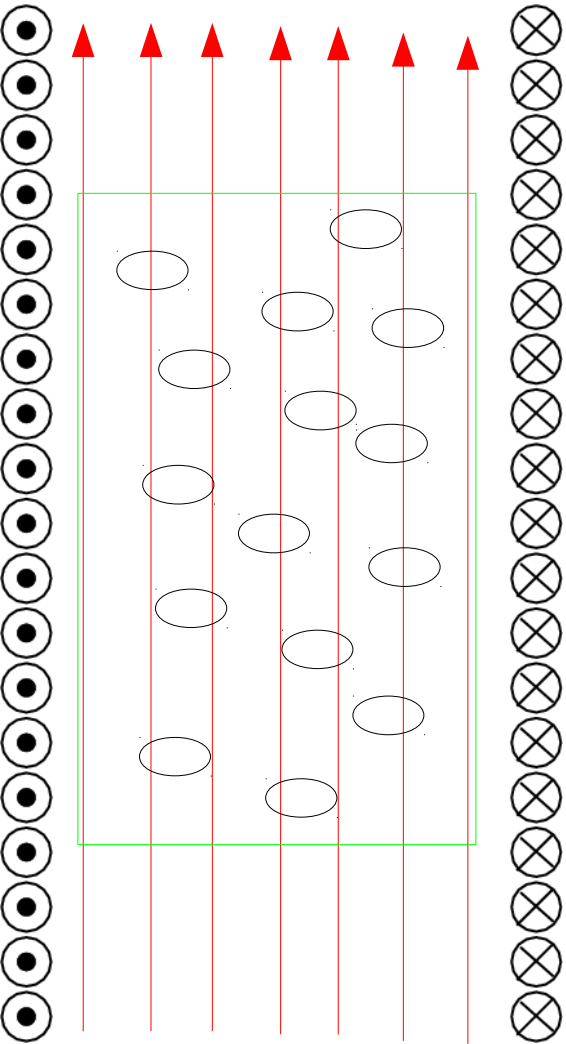
とおくと、 M は磁気双極子モーメント密度に
 μ_0 をかけたもの。平均磁場をただ **B** と書き、
方向も考えると、

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}$$

が得られる。



物質中の磁気双極子の解釈



磁気双極子モーメント密度 M は一般に**磁化**と呼ばれる。物理的には B に比例すると考えられるが、真空中の磁場 $\mu_0 H$ も、 B に比例するので、

$$M = \chi_m (\mu_0 H)$$

と仮定する。この比例定数 χ_m を磁化率と呼ぶ。
結局

$$B = \mu_0 H + M = \mu_0 (1 + \chi_m) H = \mu H$$

磁化率 χ_m は実験的に求められるが、正の値を持つものを**磁性体**、負の値を持つものを**反磁性体**、大きな正の値を持つものを**強磁性体**と呼ぶ。

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$$

は(物質の)透磁率と呼ばれる。

結局、物質がある時の、磁場の法則は？

真空の透磁率を(物質の)透磁率に置き換える

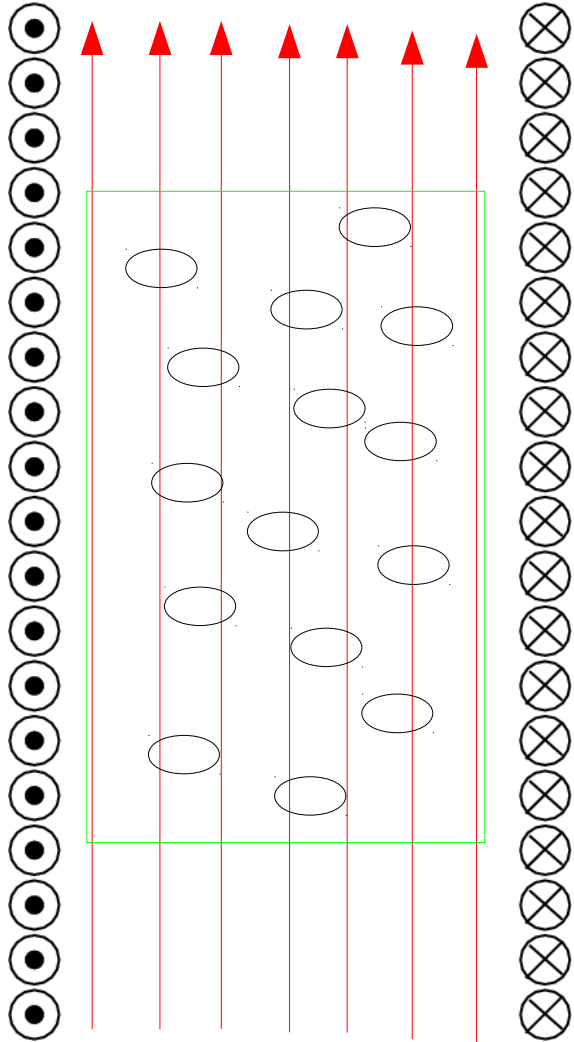
$$\mu_0 \rightarrow \mu = \mu_0(1 + \chi_m)$$

本来真空の磁場を表す、 H では、物質の中でも、物質の磁気双極子の補正が不要。
アンペールの法則がそのまま成り立つ。

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum_{\text{積分に囲まれた}} I$$

(磁気双極子の補正は、表面に出て来ない)

注意、 H を**磁場**、 B を**磁束密度**と呼ぶほうが公式な用語とされる。



「電場と物質との関係」との比較

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi_e \vec{E} \quad (\chi_e \text{を分極率と呼び、実験で求める})$$

を、仮定すると、物質がなかったとき(真空)の電場は、

$$\vec{E}_0 = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} = (1 + \chi_e) \vec{E}$$

と計算できる。物質がなかったとき(真空)の電場を残しておくとう便利なので、少し形を変えて、

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}_0 = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \varepsilon \vec{E}$$

(ε を(物質の)誘電率と呼ぶ)

と、新しい場: D (**電束密度**)を定義しておく。ガウスの法則は、

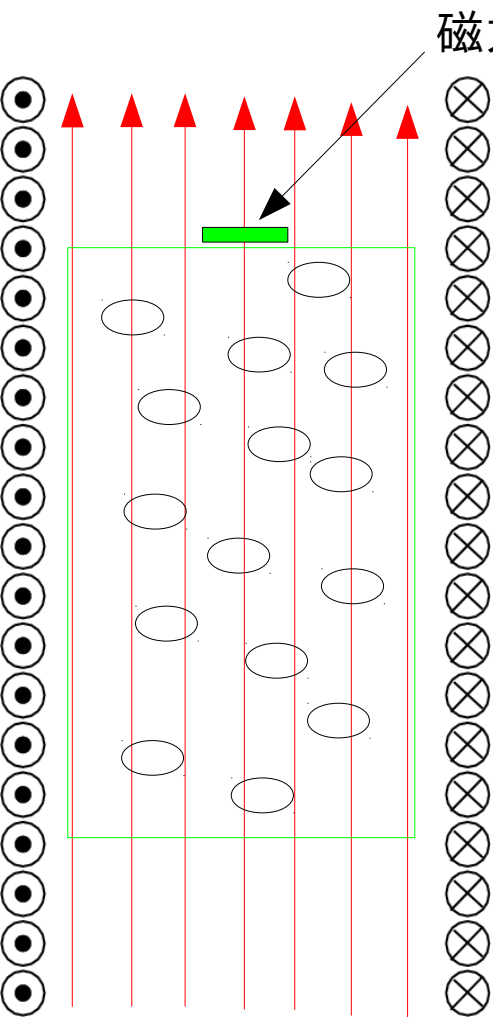
$$E_0 \cdot S_1 = \frac{\sum_{\text{内部}} Q_{\text{極板}}}{\varepsilon_0}$$

$$D \cdot S_1 = \sum_{\text{内部}} Q_{\text{極板}}$$

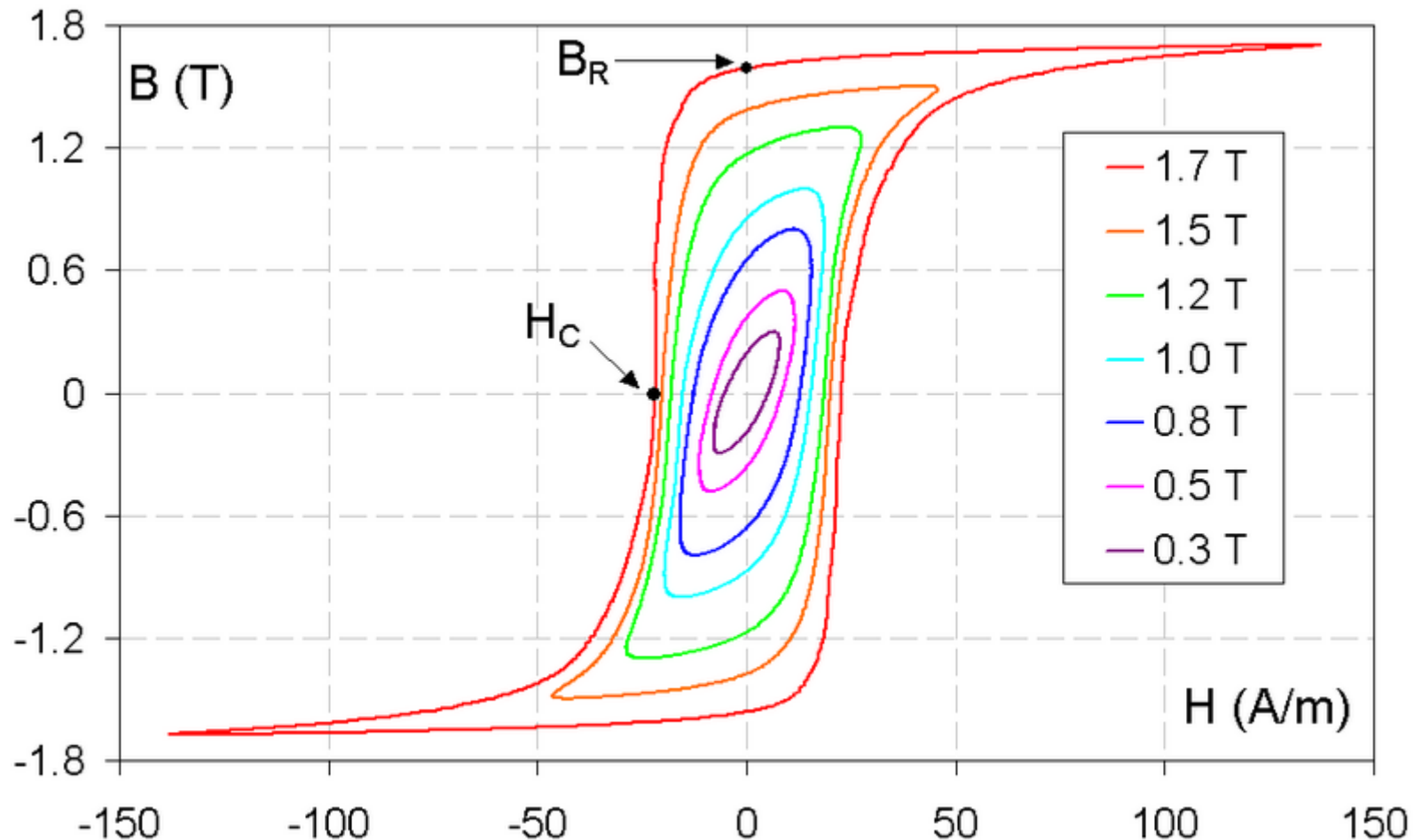
と、分極電荷を意識しないで書けた。

磁性

強磁性体のヒステリシス



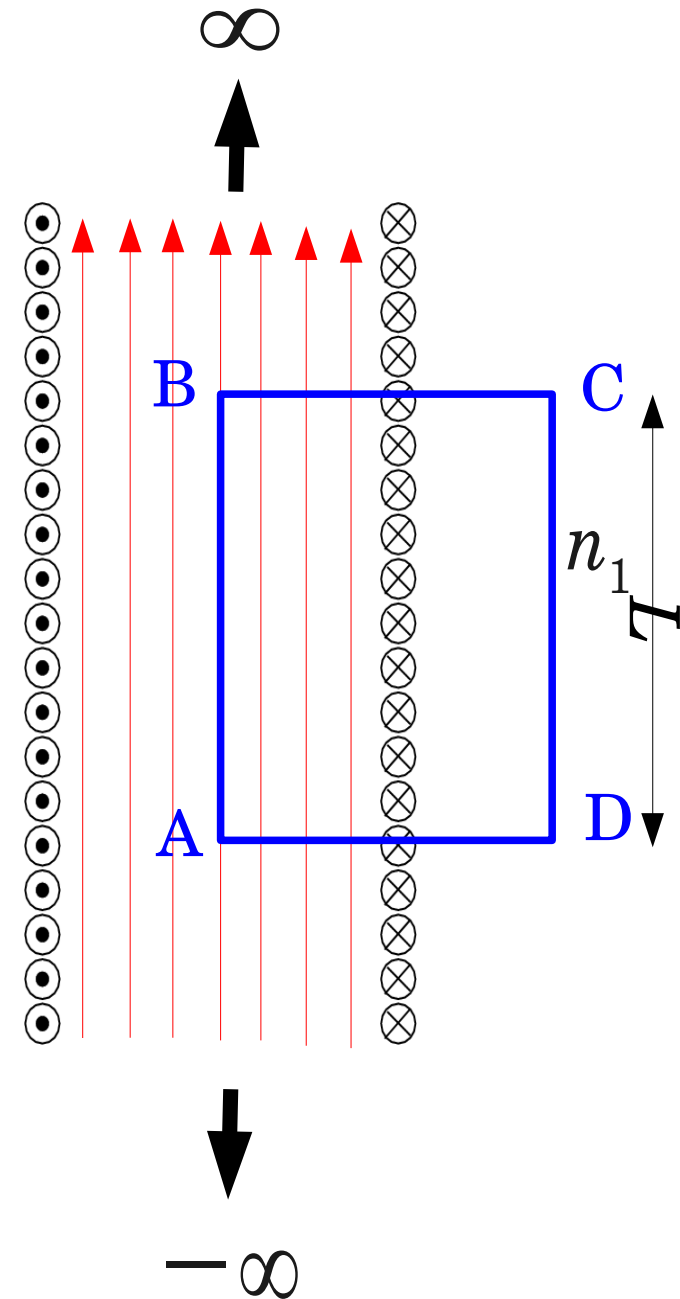
$H \equiv n_1 I$ を変化させながら B の測定



横軸 H はソレノイドに流れる電流で、自由に変更される!

今日の問題

無限に長いソレノイド(空芯電磁石)の磁場を、以下の様に、アンペールの法則を用いて求めよ。



1. 巻線密度を n_1 として、左図ABCDにおけるアンペールの法則を示せ。

2. 閉曲線上の線積分を

$$\oint_{ABCD} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{AB} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{BC} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{CD} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{DA} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

と分割。

磁場は、ソレノイドの中心線に平行。
AD, BCの距離が長くDCが十分遠方であり、DC上の磁場が無視できるとして、それぞれを評価せよ。

3. AB上の磁場の強さを求めよ。