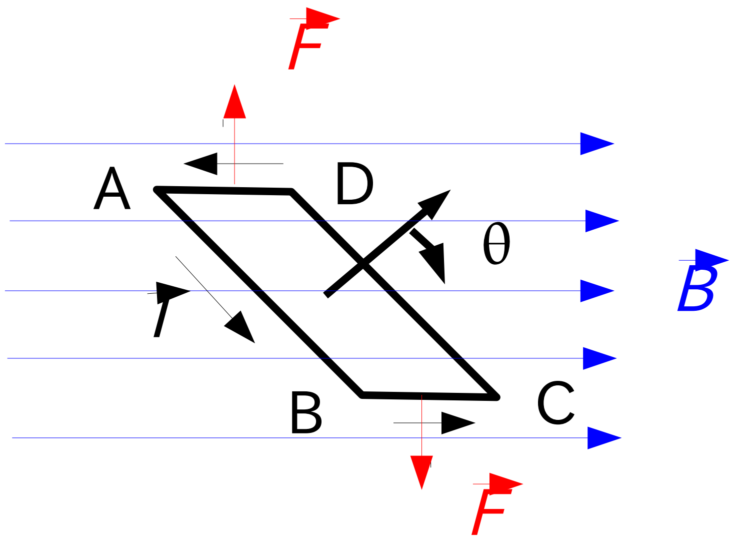
双極子モーメントと回転力

磁気双極子に働く力

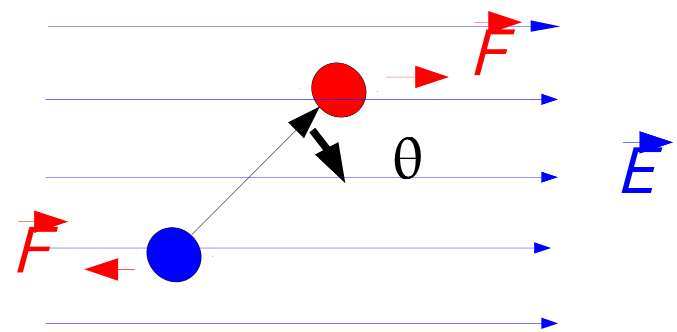


$$N = \sin\theta \cdot \overline{AB} \cdot F$$

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

$m \equiv I \cdot S$: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



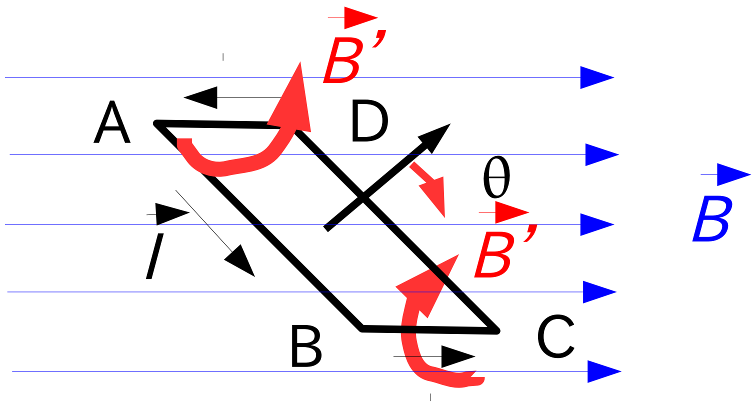
$$N = \sin\theta \cdot l \cdot F$$

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

$p \equiv l \cdot Q$:電気双極子モーメント

双極子と場

磁気双極子が作る磁場

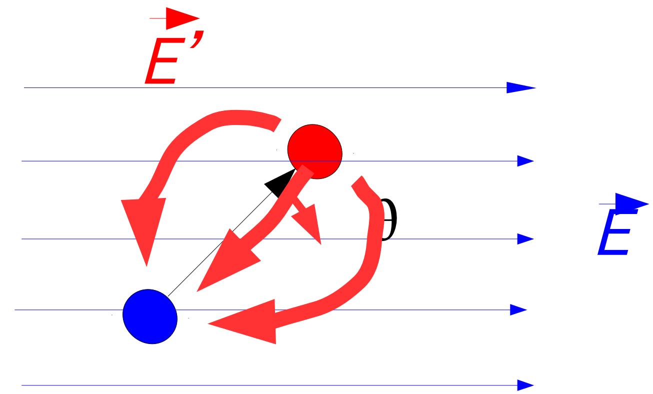


$$N = \sin\theta \cdot \overline{AB} \cdot F$$

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

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

電気双極子が作る電場



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

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

$p \equiv l \cdot Q$:電気双極子モーメント

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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											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

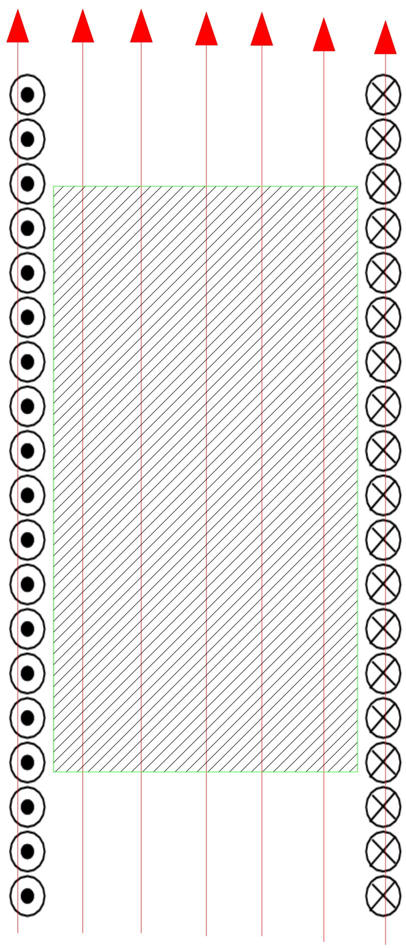
1 常温で固体
1 常温で液体
1 常温で気体

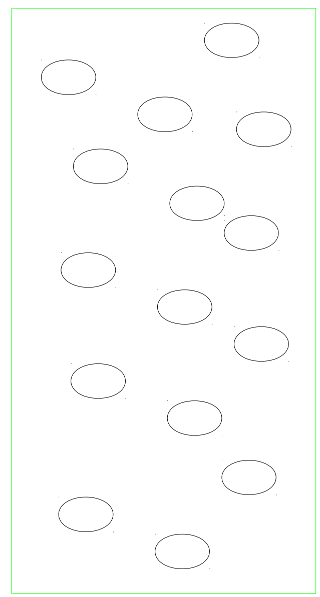
金属元素
半金属元素
非金属元素
人工元素

アルカリ金属
アルカリ土類金属
ハロゲン
希ガス
遷移元素

Wikipediaより

物質と磁場

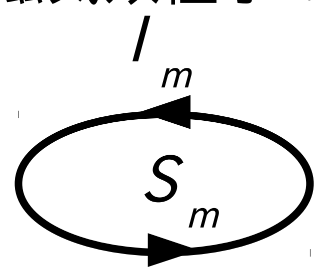




磁性は磁場中の物質のなかで
作られる磁気双極子により決まる。

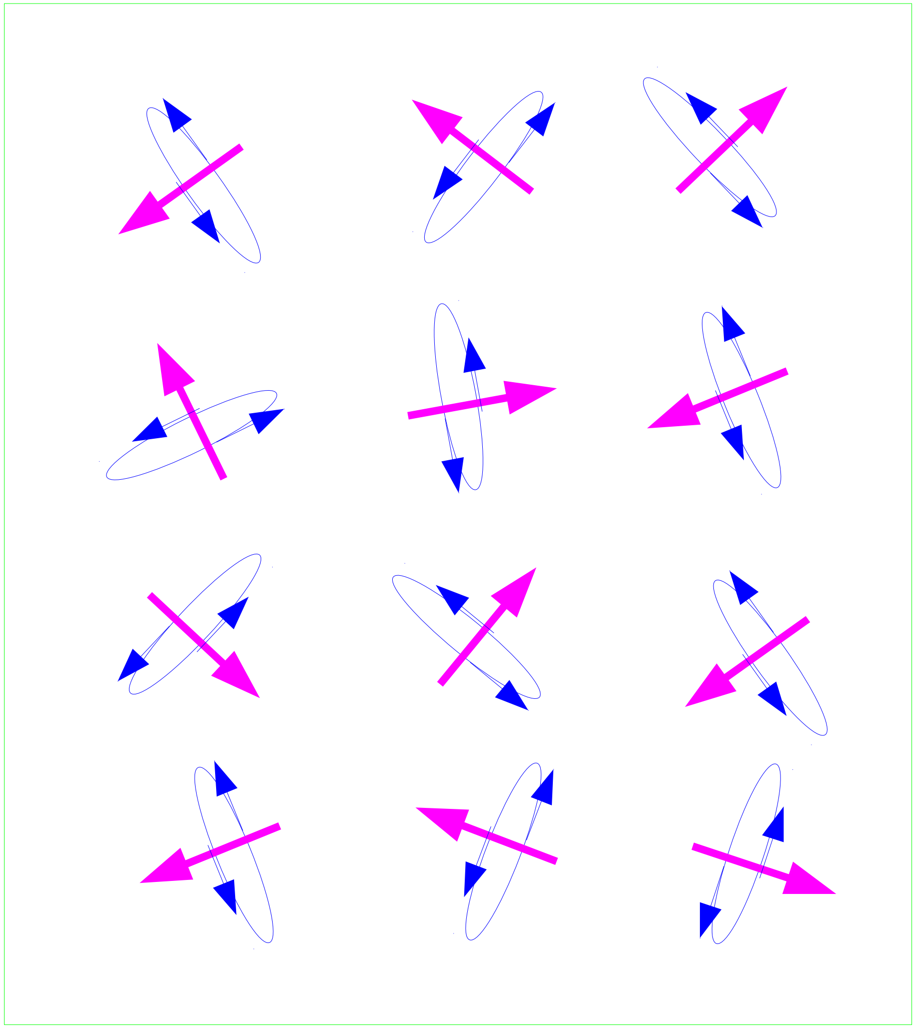
物質の中の電気双極子は、原子のスピンが関係すると考えられている。

磁気双極子のモデルとして、

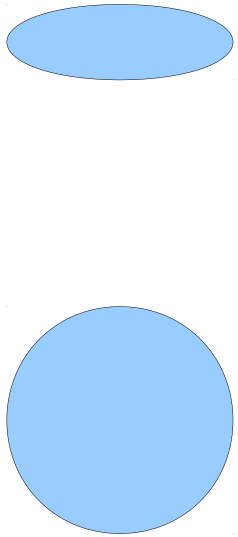


半径 r $(S_m = \pi r^2)$ の円と、
そこを流れる電流 I_m を
考えると便利。

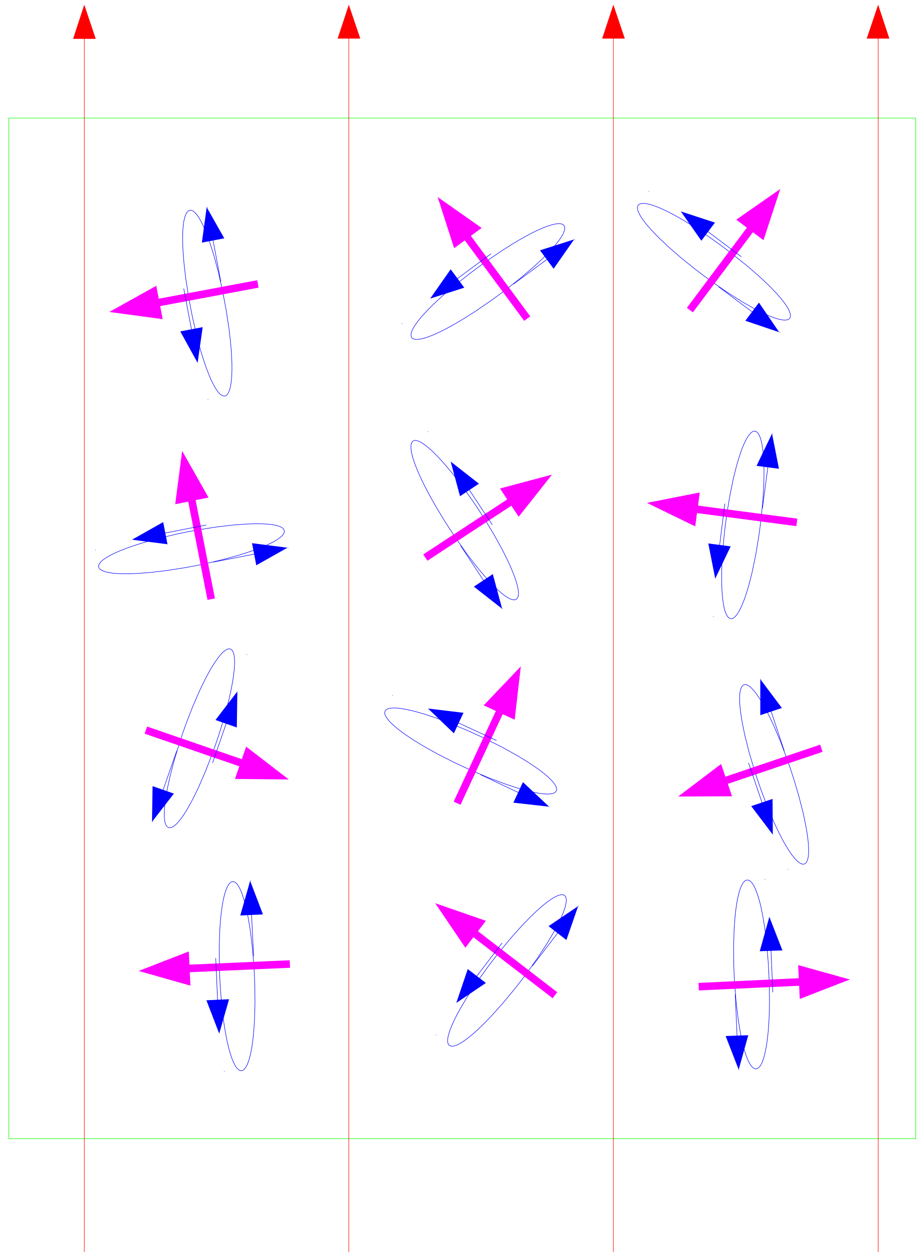
物質と磁場 1、常磁性体



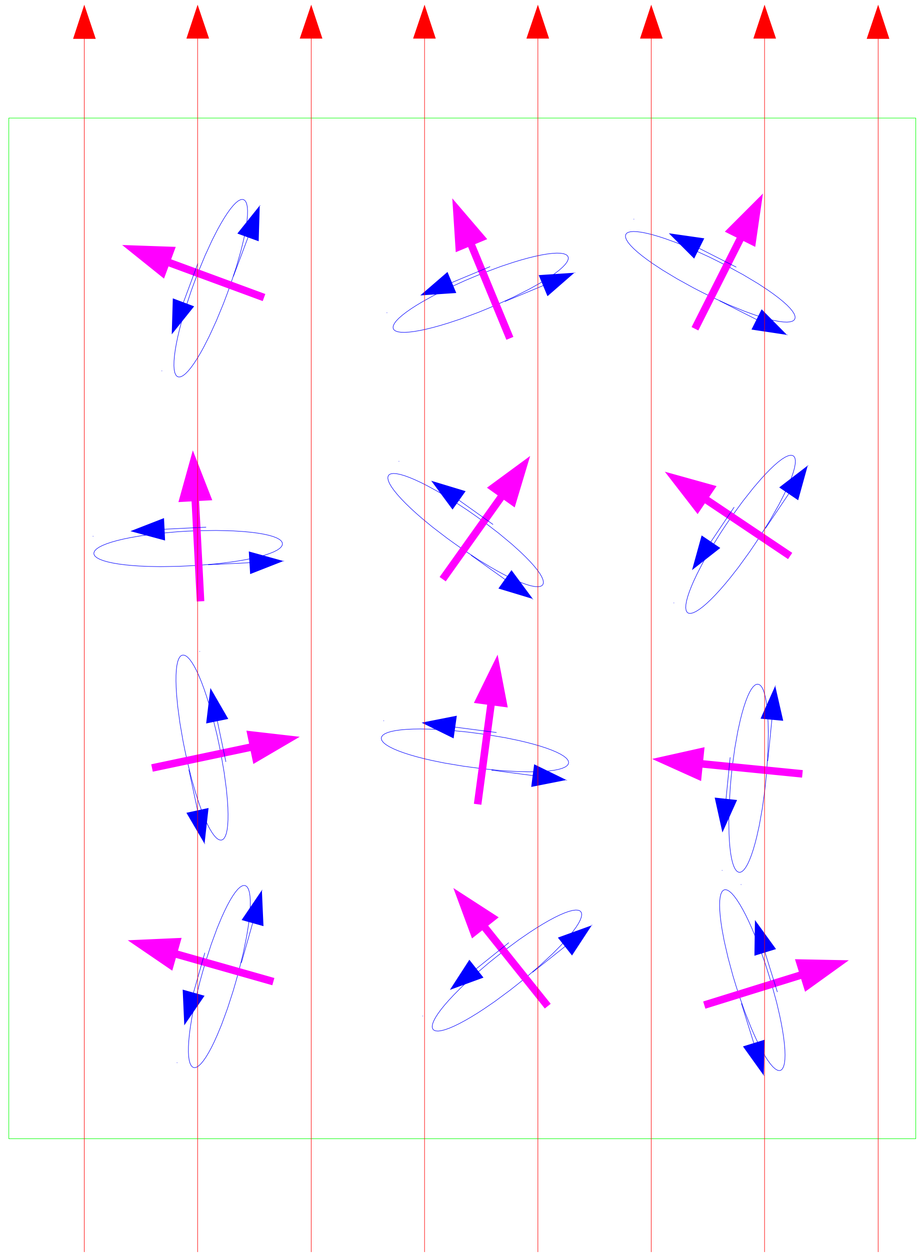
真上から見た
磁気双極子の断面積



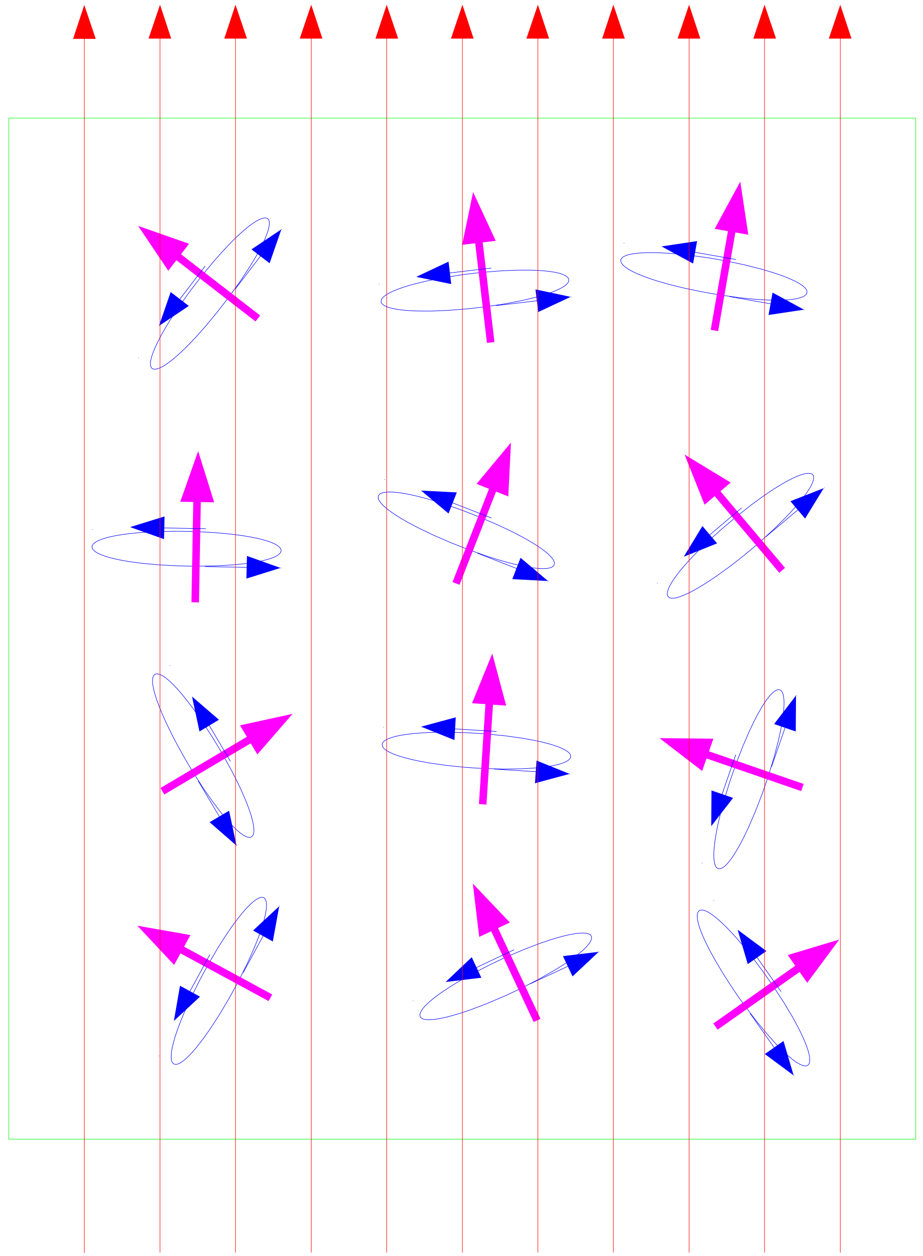
物質と磁場 1、常磁性体



物質と磁場 1、常磁性体

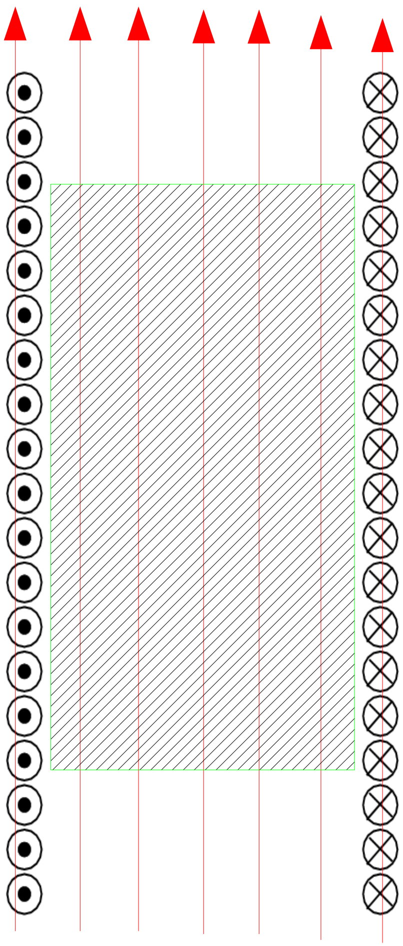


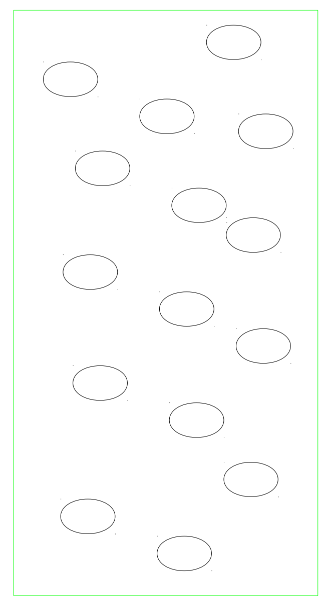
物質と磁場 1、常磁性体



物質と磁場

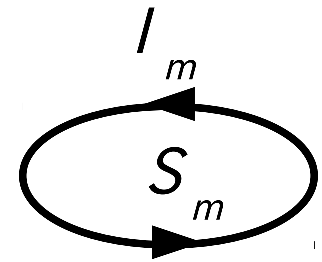
磁性は磁場中の物質のなかで
作られる磁気双極子により決まる。





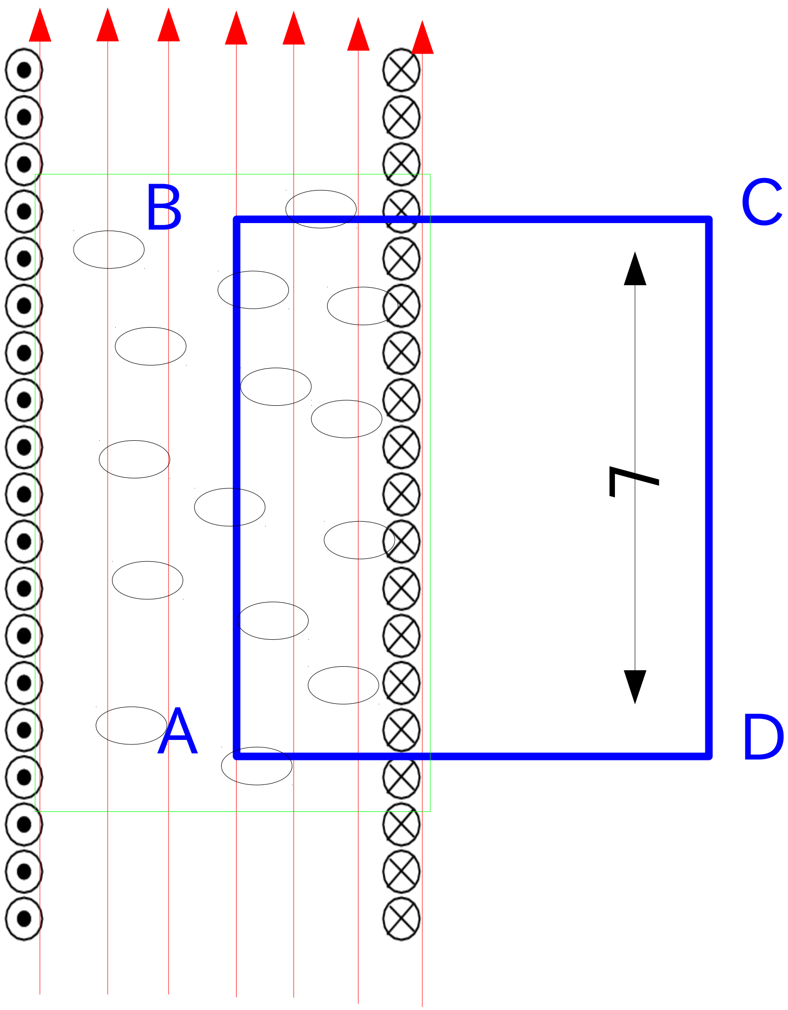
物質の中の電気双極子は、原子のスピンが関係すると考えられている。

磁気双極子のモデルとして、



半径 r $(S_m = \pi r^2)$ 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



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

$$= \mu_0 n_1 I \cdot L +$$ 磁気双極子の寄与

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

$$+ \int_{BC} \vec{B}\cdot d\vec{s} \quad (=0)$$

$$+ \int_{CD} \vec{B}\cdot d\vec{s} \quad (=0)$$

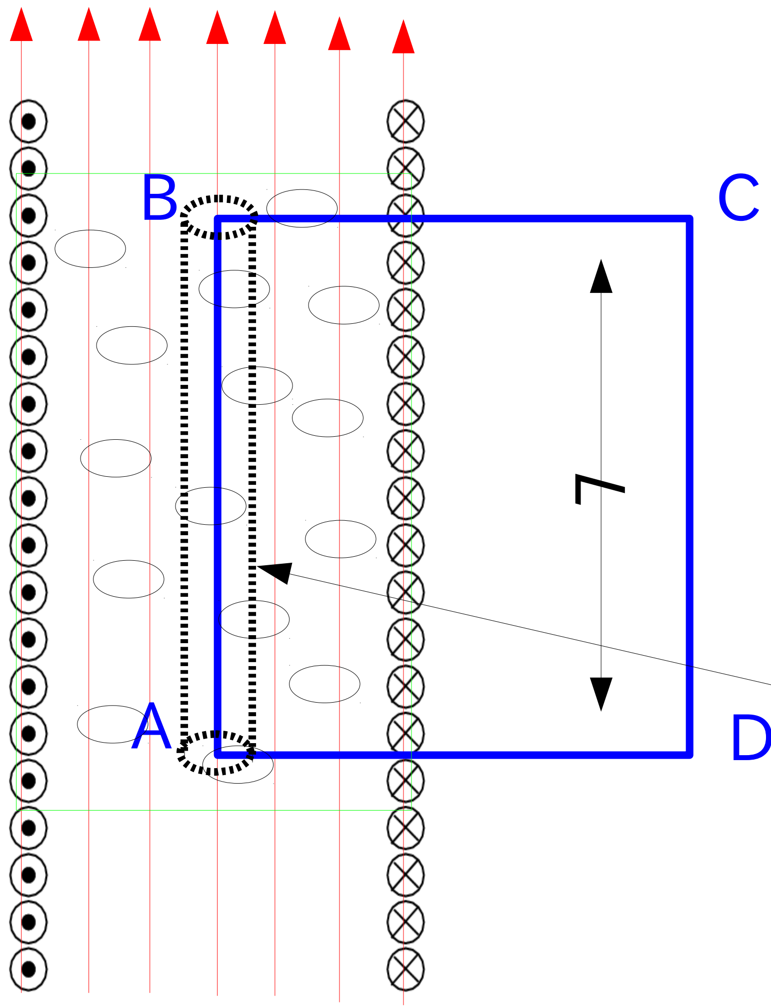
$$+ \int_{DA} \vec{B}\cdot d\vec{s} \quad (=0)$$

したがってアンペールの法則の左辺は

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

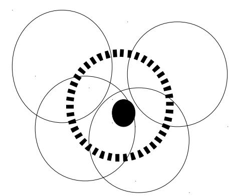
$$= \langle B \rangle L$$

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 I_m
を考える。

ABを真上から見た図。



点線の半径 r 円の中に
中心が入る磁気双極子が
寄与する。

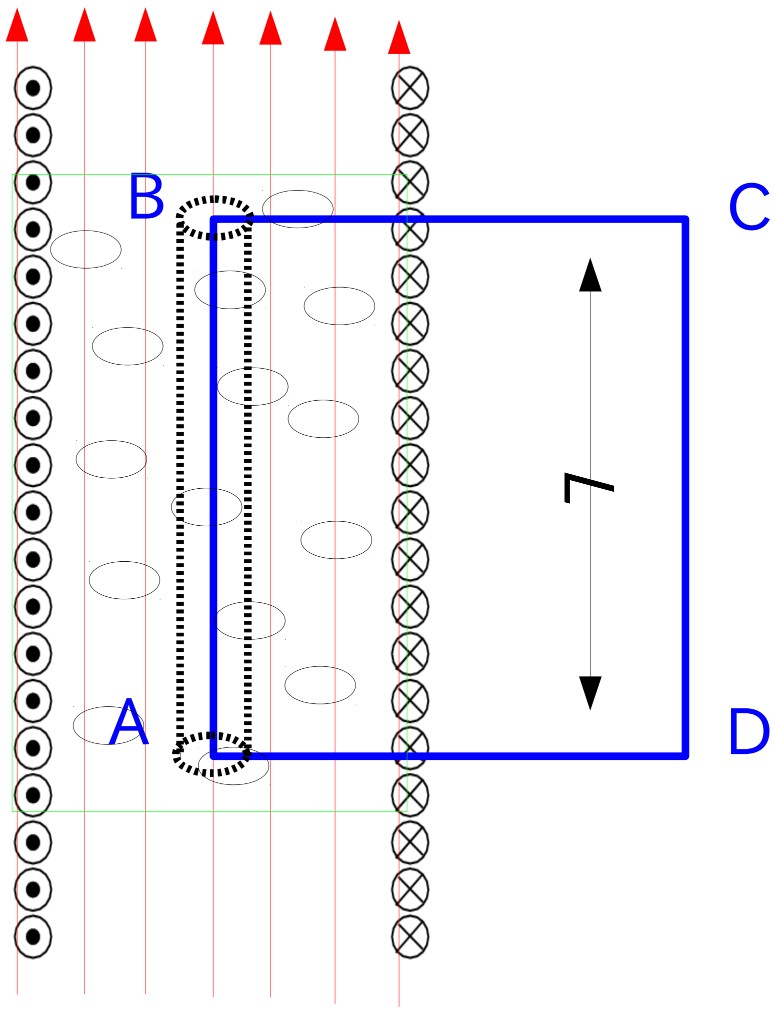
左の図では点線で書いた円柱の中に
中心のある電気双極子が寄与する。

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、

$$<B>L=\mu_0 n_1 I\cdot L+\mu_0\rho_m S_m L\cdot I_m$$

$\mu_0 n_1 I$ 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、

$$<B>=\mu_0 H+\mu_0\rho_m S_m I_m$$

また、$[I_m S_m]$ は物質の磁気双極子モーメントなので、

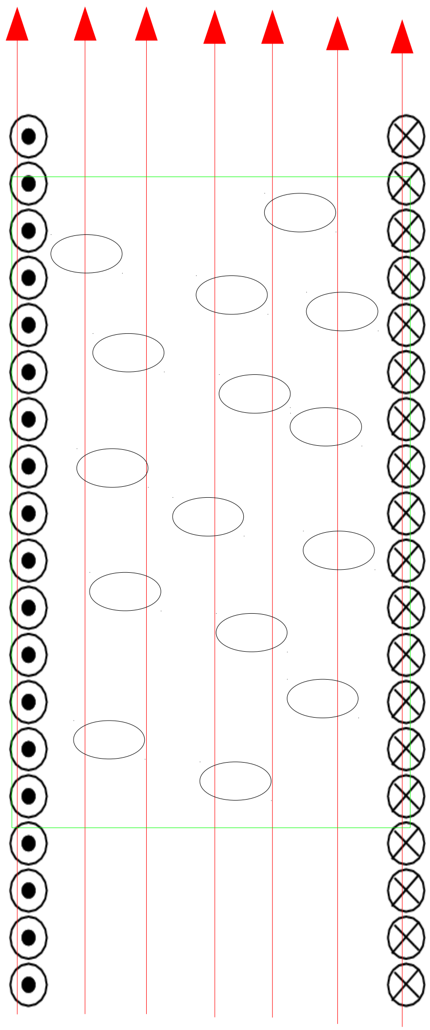
$$M\equiv\mu_0\rho_m[I_m S_m]$$

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

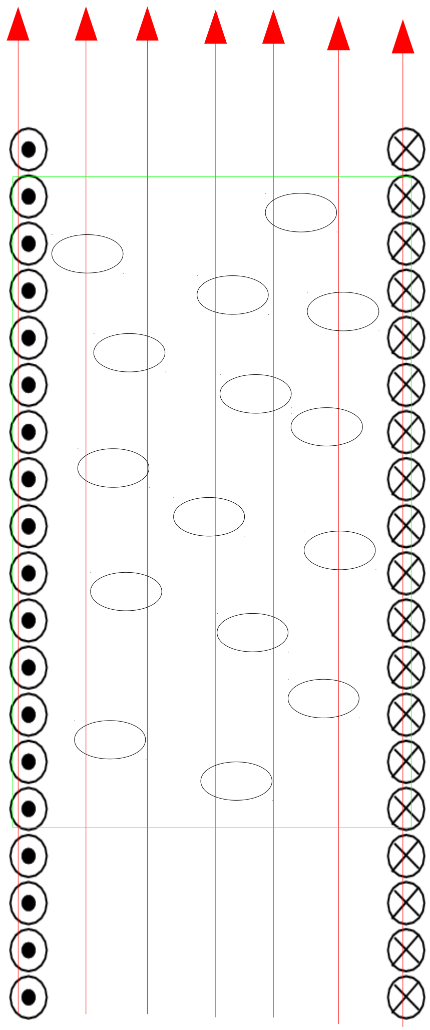
$$B=\mu_0 H+M=\mu_0(1+\chi_m)H=\mu H$$

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。

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

(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

$$\vec{P}=\varepsilon_0\chi_e\vec{E}$$ （χ_e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、

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

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便利なので、
少し形を変えて、

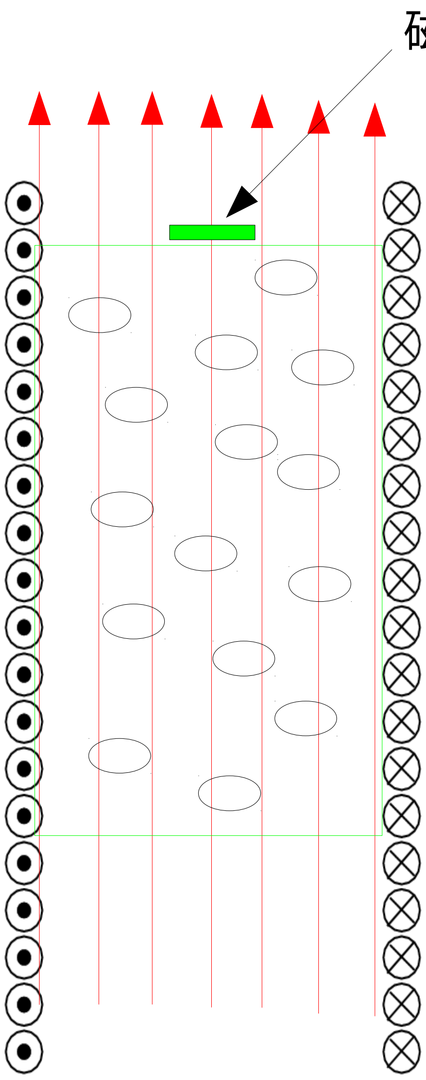
$$\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}_0=\varepsilon_0\left(1+\chi_e\right)\vec{E}=\varepsilon\vec{E}$$ （ε を(物質の)誘電率と呼ぶ）

と、新しい場:D(電束密度)を定義しておく。ガウスの法則は、

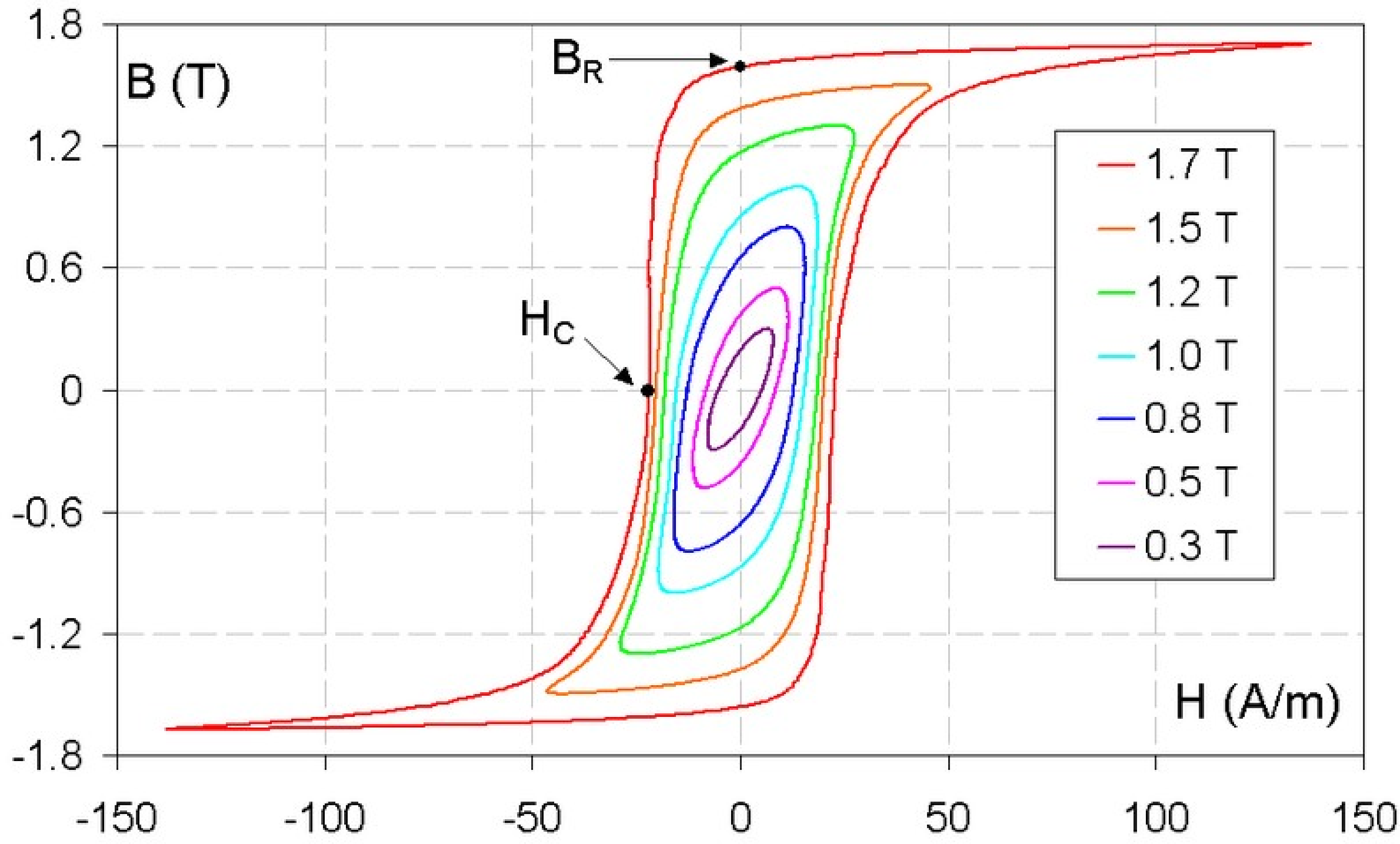
$$E_0\cdot S_1=\frac{\sum_{内部}Q_{極板}}{\varepsilon_0}$$ より、 $$D\cdot S_1=\sum_{内部}Q_{極板}$$

と、分極電荷を意識しないで書ける。

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、自由に変えられる!

http://en.wikipedia.org/wiki/Image:B-H_loop.png

電場(E)、電束(D)　磁場(H)、磁束(B)　名前の由来は

関係を下のようにまとめたから

$$\vec{B}=\mu_0\vec{H}+\vec{M}=\mu_0\vec{H}+\chi_m(\mu_0\vec{H})$$

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

$$\vec{E}=\vec{E}_0-\frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}=\vec{E}_0+\chi_e\vec{E} \longrightarrow \vec{E}_0=\vec{E}+\chi_e\vec{E}$$

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