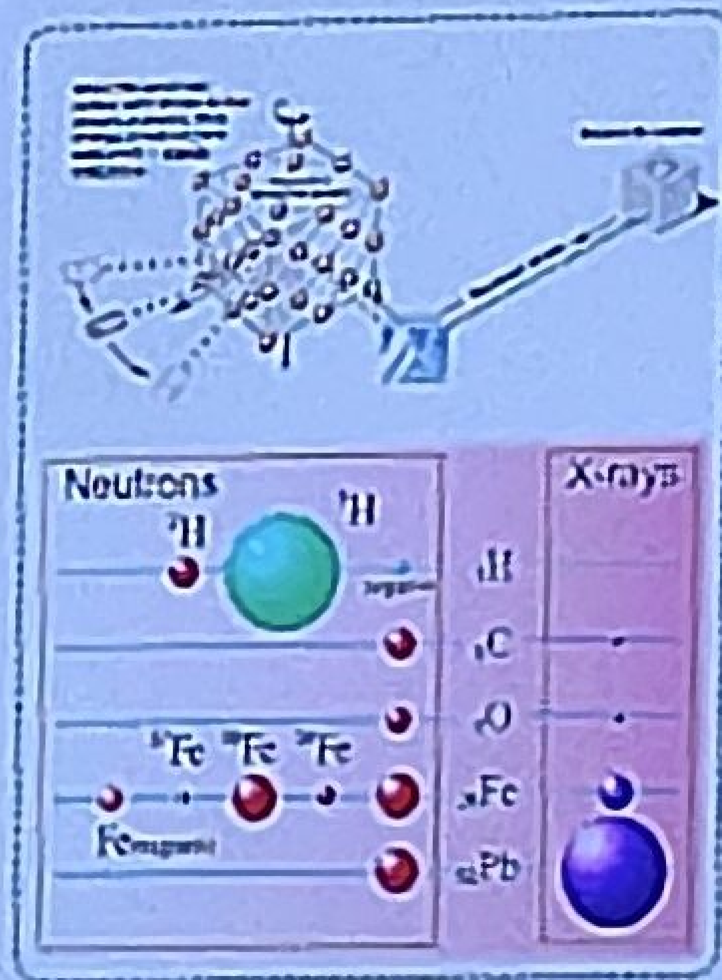
- 反強磁性　ex) MnO
  (NaCl型)×8

中性子回折で観測

(111)面に沿って
スピンの方向が反転

（結晶中では4通りの秩序
$(111)\ (\bar{1}11)\ (1\bar{1}1)\ (11\bar{1})$）

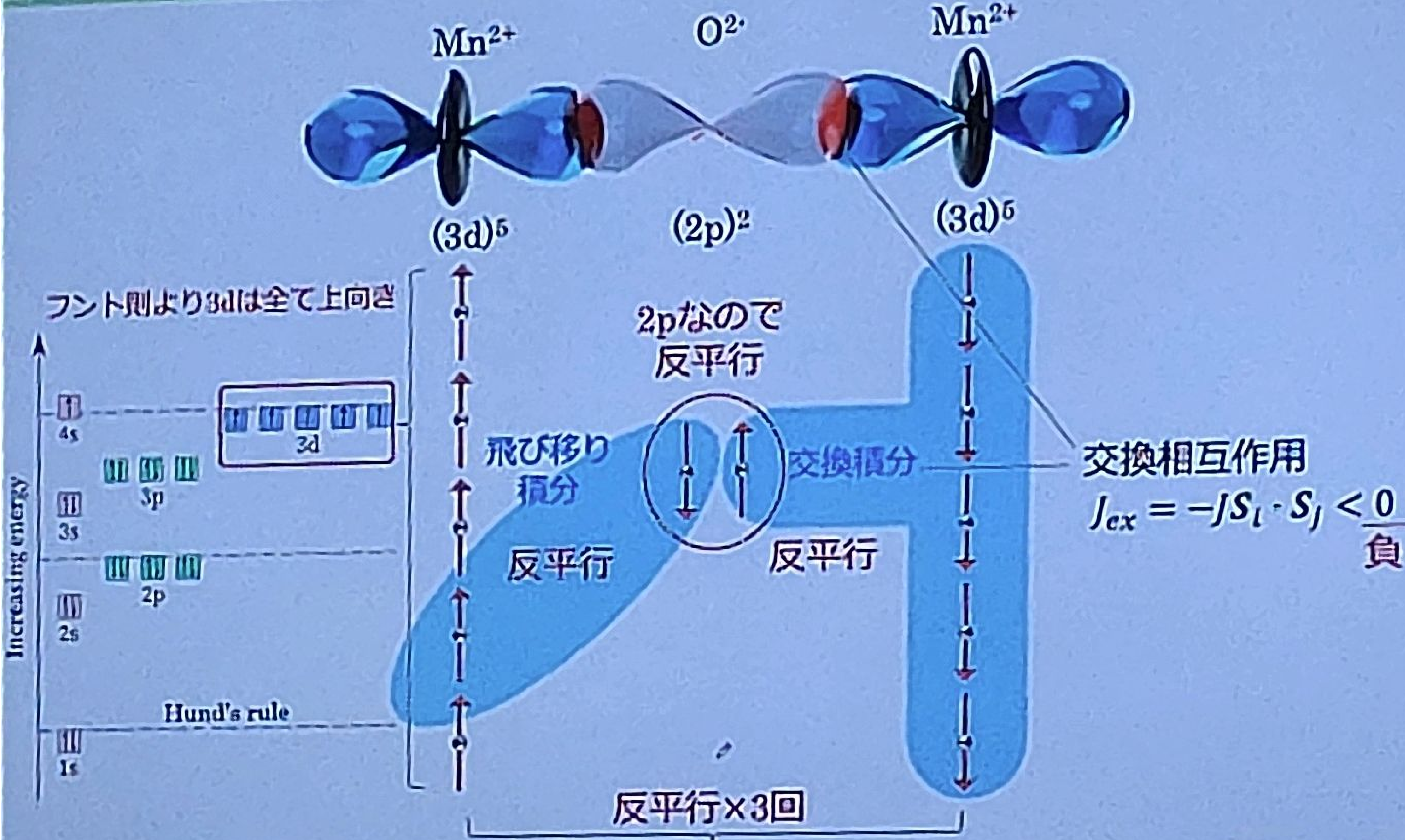


反強磁性
(反平行の秩序)

結晶の周期

2倍

磁気的周期



超交換相互作用・・・反強磁性の起源

AとBどちらもCrなので

$|M_A| = |M_B| = M_S$　とおける（スカラー量）

$|H_A| = \underline{(\alpha + \gamma) M_S}$　分子場係数の和で表せる

ブリルアン関数(第五回)を使うと

$$|M_A| = M_S = M_{S0} \cdot B_J \left\{ \frac{(\alpha + \gamma) g_J \mu_B J M_S}{k_B T} \right\}$$ と表せる

同じ形式

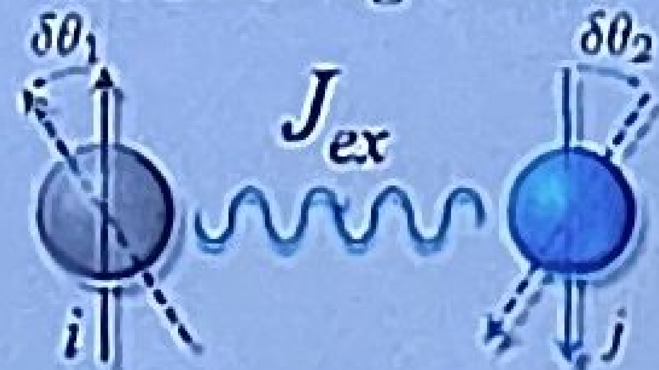
同じ温度依存性

おさらい 強磁性体

$$M_S = N g_J \mu_B J B_J \left\{ \frac{\alpha g_J \mu_B J M}{k_B T} \right\}$$

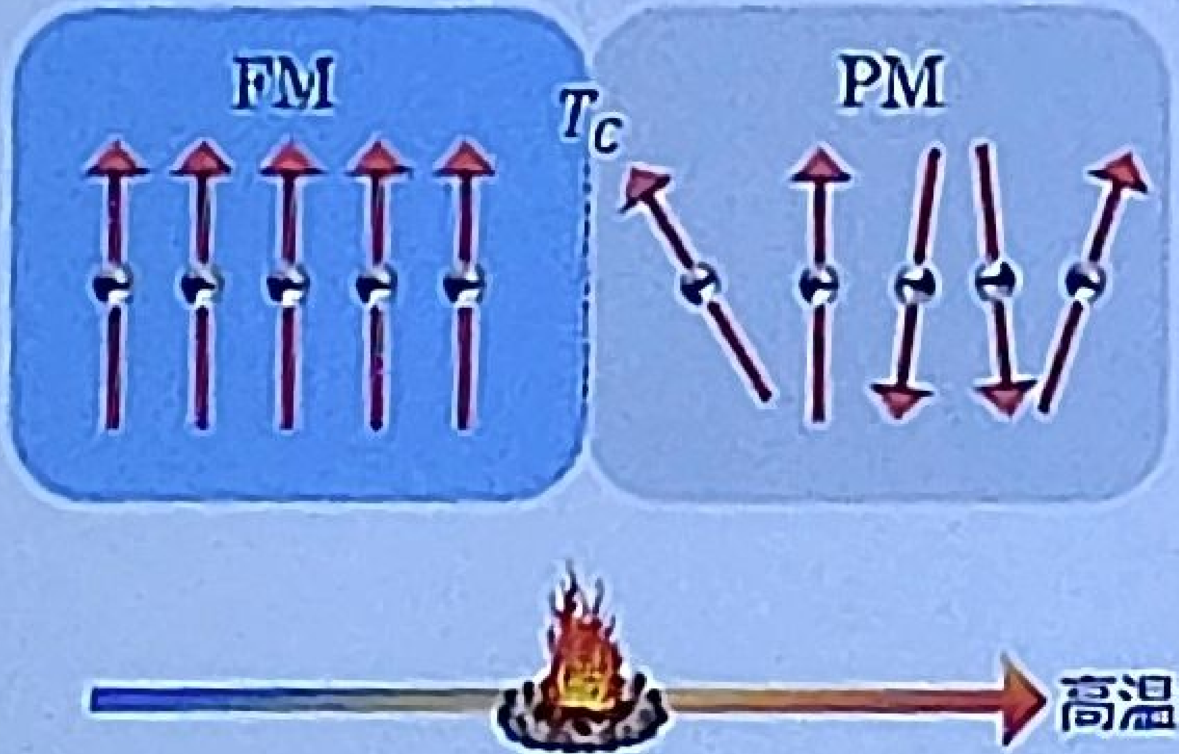
反強磁性体も強磁性体も
隣り合う相互作用が出発点

Heisenberg model



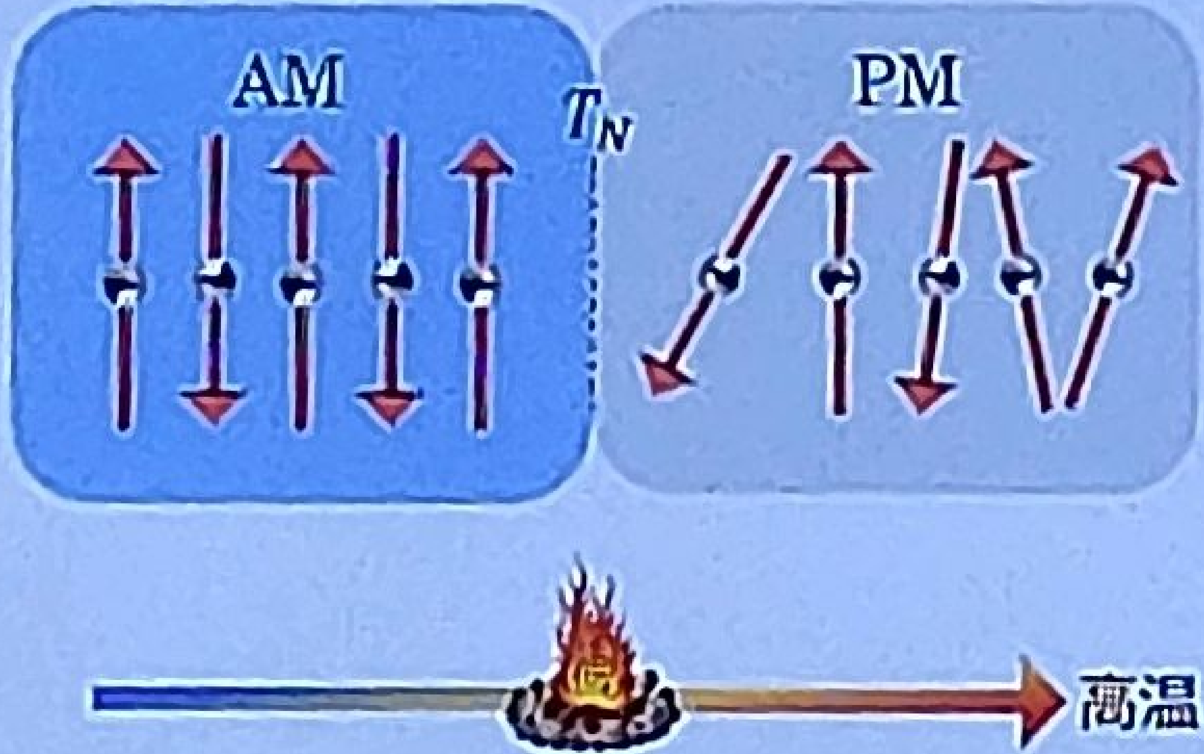
- 温度変化

- 強磁性 “キュリー温度 T_c”



$$T_C = \alpha C$$

- 反強磁性 “ネール温度 T_N”

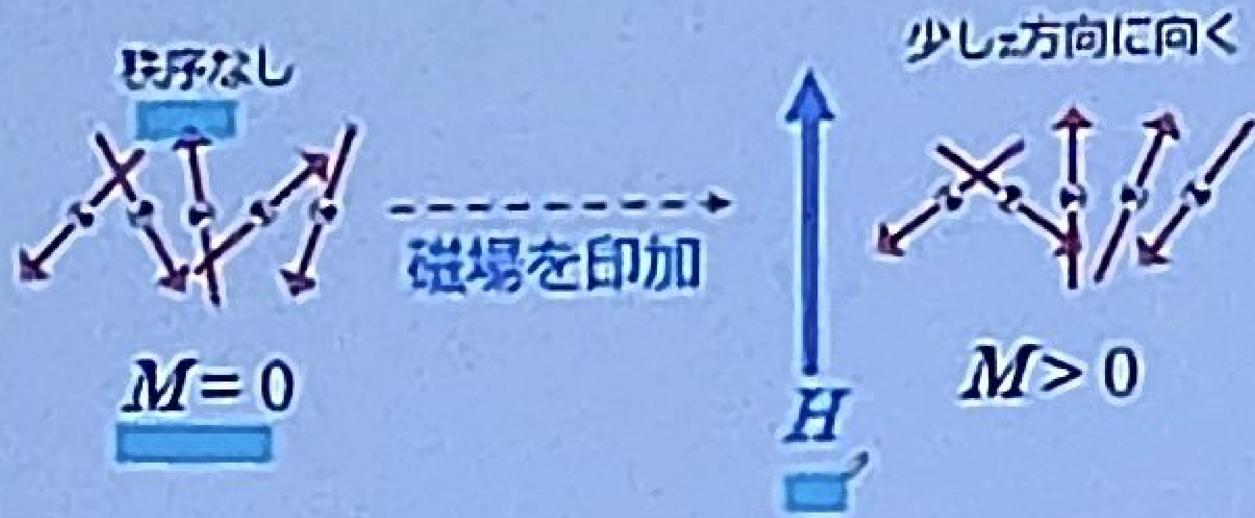


$$T_N = \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)C$$

係数に注目 $\alpha \longleftrightarrow \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)$

同じ形式

$T > T_N$について　　帯磁率 $\chi = \frac{M}{H}$



A, Bサイトの磁気モーメントは

$$M = M_A + M_B \text{ より}$$

$$M_A = M_B = \frac{1}{2} M$$

Aサイトでは

$$H_A = H + \alpha M_A - \gamma M_B$$

$$= H + \frac{1}{2}(\alpha - \gamma) M$$

$$M_A = \frac{M}{2}$$

キュリー則

$$= \frac{C}{2T} H_A$$

$$= \frac{C}{2T}\left[H + \frac{(\alpha - \gamma)}{2} M\right]$$

これより

$$\chi = \frac{C}{T + (\gamma - \alpha)\frac{C}{2}}$$

シータ(θ)の大文字

$$\chi = \frac{C}{T + \Theta}$$

ただし $\Theta = \frac{C}{2}(\gamma - \alpha)$

ワイス温度

反強磁性体の
キュリーワイス則

同じ形式

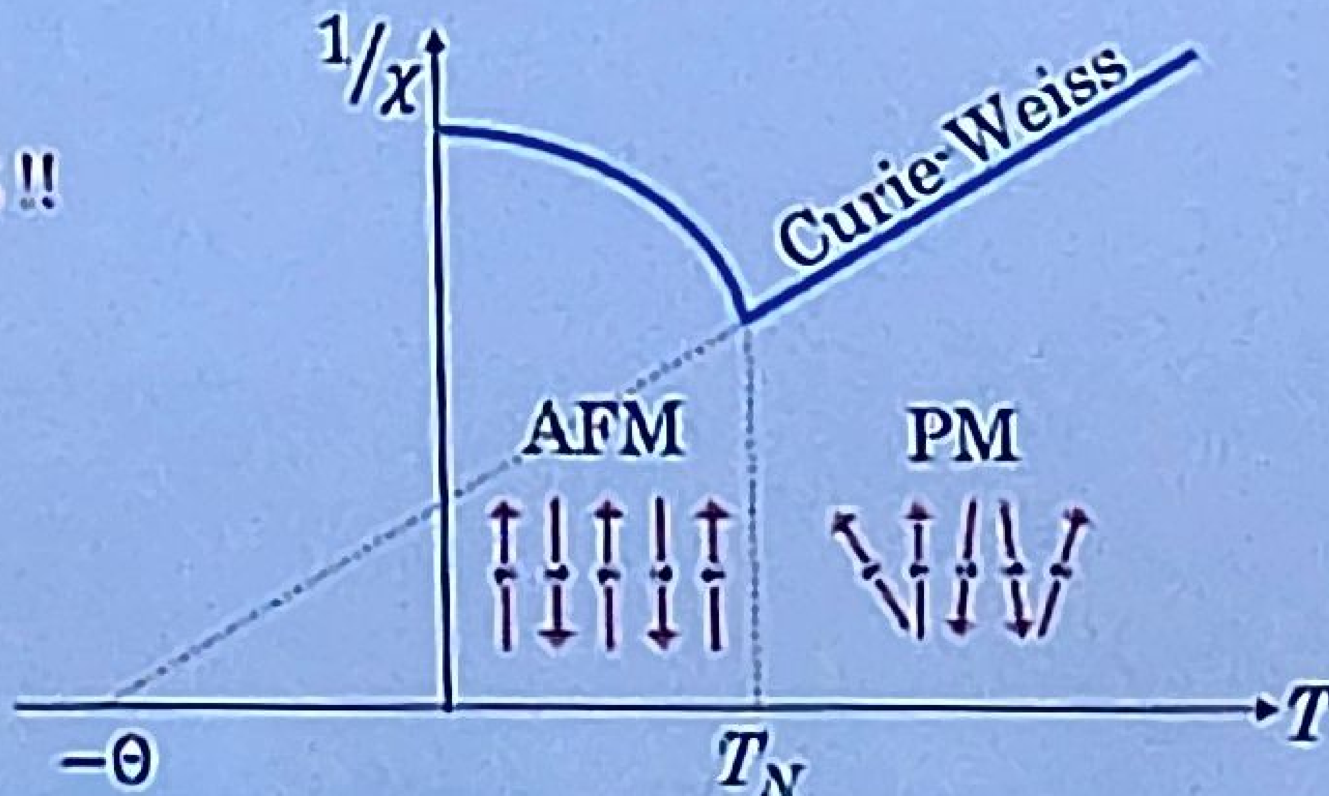
強磁性から
反強磁性に一**般化**!!

強磁性

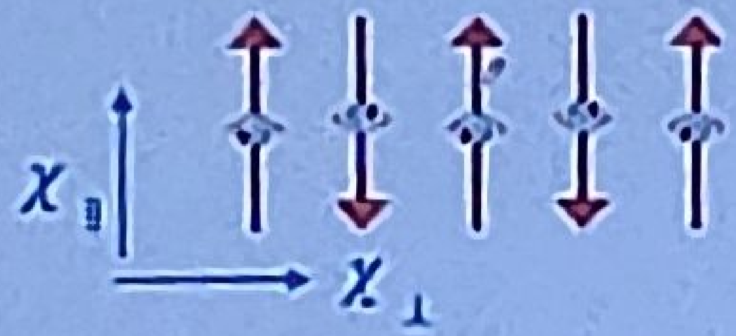
$$\chi = \frac{C}{T - \theta}$$

強磁性体のキュリー則

Pierre Weiss
(1865~1940)



$T < T_N$の時

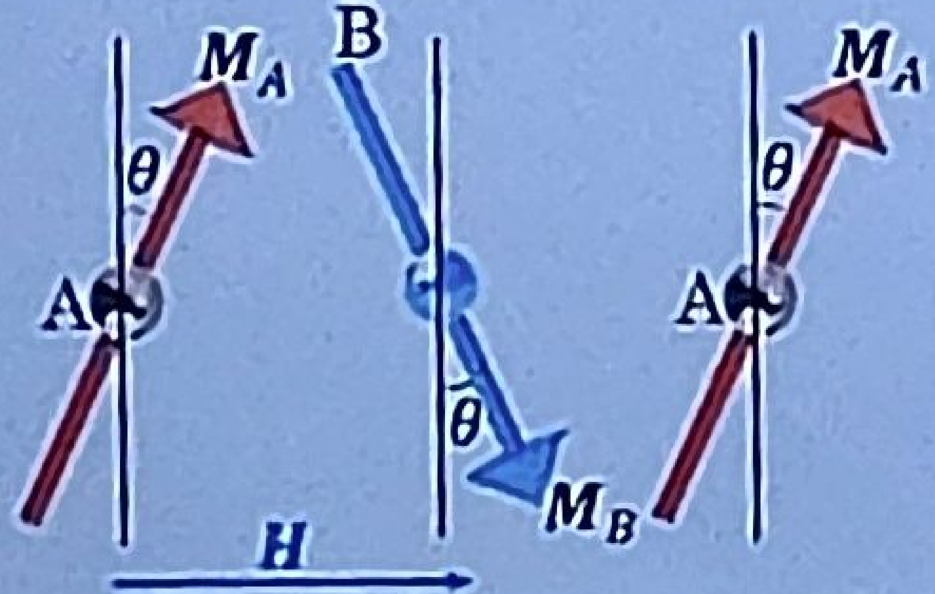


スピンの配向・・・結晶構造に依存　（分子場を考える）

$$\text{磁化率 } \chi \begin{cases} \chi_{\perp} & \text{垂直帯磁率} \\ \chi_{\parallel} & \text{平行帯磁率} \end{cases}$$

に分けて考えてみる

(I)　$\chi_{\perp}$　$(H \perp M)$



Aサイトでは

$$H_A = H + \alpha M_A - \gamma M_B$$

ベクトル和を考えると

$$\sin\theta \approx \theta \approx \frac{H}{2|\gamma M_B|}$$

これより

$$M = |M_A + M_B|$$

$$
\begin{aligned}
M &= |M_A + M_B| \\
&= 2|M_A|\sin\theta \\
&\approx 2|M_A|\cdot\frac{H}{2\gamma|M_A|} \\
&= \frac{H}{\gamma}
\end{aligned}
$$

よって

$$\chi_\perp = \frac{M}{H} = \frac{1}{\gamma}$$

温度に依存しない
分子場係数が測れる

(II) $\chi_\parallel$ $(H \parallel M)$ ・・・同じ方向なのでMは変化しない

微小変化で測る

$$\chi_\parallel = \frac{\Delta M}{H} = \frac{2g_J\mu_B J\cdot B_J'\left\{\dfrac{g_J\mu_B J(\alpha+\gamma)M_s}{k_B T}\right\}}{k_B T + (\gamma-\alpha)g_J\mu_B J\cdot Ms_0 B_J'\left\{\dfrac{g_J\mu_B J(\alpha+\gamma)M_s}{k_B T}\right\}}$$

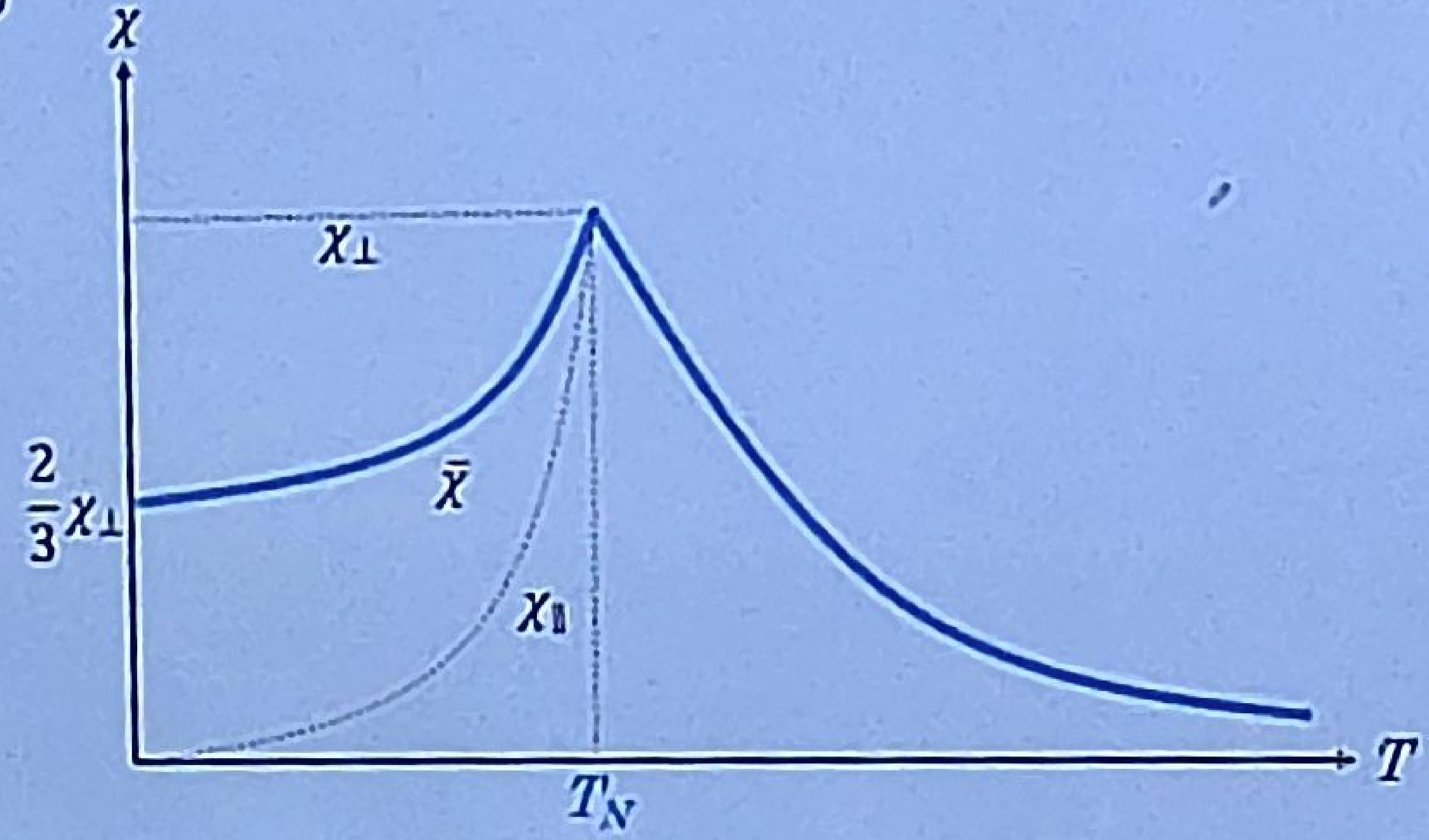
- 多結晶の帯磁率（$\chi_{\parallel}$ と $\chi_{\perp}$の合成）

$$\chi(\theta) = \chi_{\parallel}\cos^2\theta + \chi_{\perp}\sin^2\theta$$

全立体角について平均

$$\bar{\chi} = \underbrace{\frac{1}{3}\chi_{\parallel}}_{T=0\text{ で }0} + \frac{2}{3}\chi_{\perp}$$

これより



課題

反強磁性体の実例と物性制御の方法について

下記の項目を中心に論じて下さい。

- 物質名
- ネール温度
- 結晶構造
- 電子状態