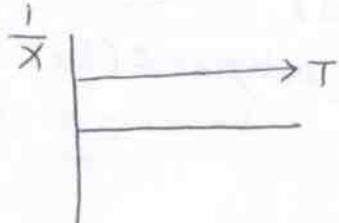


$$cf) X_{dia} = - \frac{e^2 Z F^2 \mu_0}{6m} \cdot \frac{N \cdot S}{W} \dots \text{Temp. independent.}$$

8. (a) Diamagnetic.



$\frac{1}{X}$: negative and small

independent of T (+3)

→ 외부 자기장과 반대로

자기장이 존재한다.

spin up /
spin down 의
경우는 운도에 의존하지X
설명 해야 (+3)

cf. Below a critical Temp.

Negative & large \Rightarrow 완전한
(-1) 반자성체
(superconductor)

(b) Paramagnetic



① $X = \frac{C}{T - T_c}$ (+2)

orbiting electrons는 외부 자기

T_c 장 H에 의해 정역화면

spin의 thermal agitation이 생기면
 $\therefore X_{para} \propto \frac{1}{T}$ 성립 (+1)

spin up / spin down electron pairs.

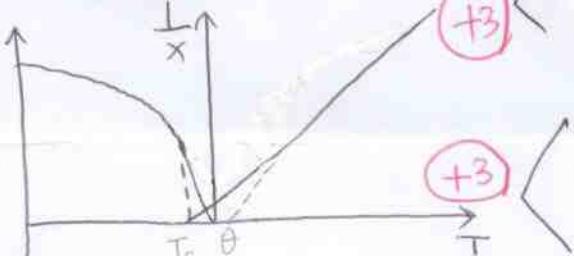
전자가 E_p 를 가질 확률이 $\exp(-E_p/k_B T)$ 에 의존한다.
due to (+3)

② For most metals

(spin paramagnetism)

$\frac{1}{X}$: independent of T ($\because X_{para} = \frac{M_B^2 / M_0 Z (E_F)}{\sqrt{T}}$)

(c) Ferromagnetic



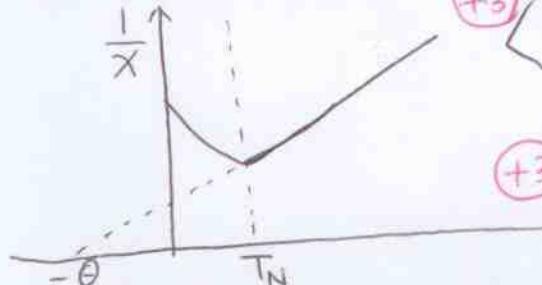
T_c (Curie Temp.) 이전에는 Ferromagnetic
이후에는 paramagnetic

T_c 이전: 자발적인 magnetization이 domain \rightarrow 존재하는데 $T \uparrow$ thermal agitation에 의해 M_s 값이 점차 감소하다가

$T_c = 0 \rightarrow M_s = 0$

T_c 이후: paramagnetic 특성 나타난다.

(d) Antiferromagnetic



(+3)

T_N (Neel Temp.)

이전:

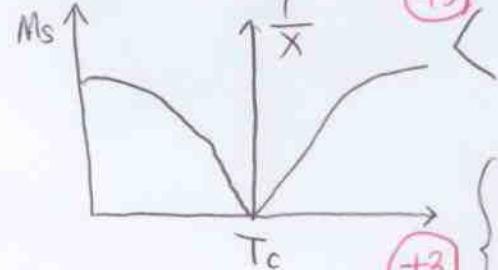
이후:

“ 이후 paramagnetic
이웃한 원자 / 이온의 spin moment들이
자발적으로 반대방향으로 정렬해 있다.
thermal agitation에 의해 $M_s \downarrow$

$T_N = 0 \rightarrow M_s = 0$

paramagnetic 특성 나타난다.

(e) Ferrimagnetic



(+3)

T_c (Curie Temp.)

이전:

이후:

“ 이후 ferrimagnetic

“ 이후에는 paramagnetic

(+3)

T_c 이전:

T_c 이후:

자세 배열 spin에 의해

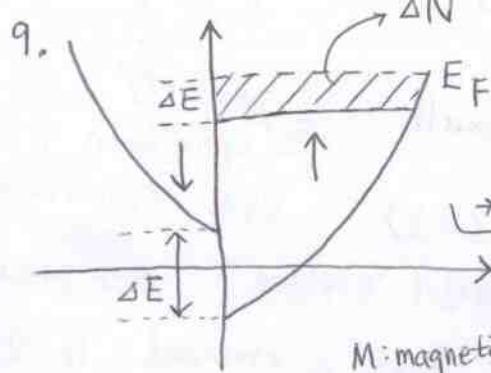
M_s 가 결정되어 ferrimagnetic 하다.

T_c 이후: thermal agitation으로 자발적인 spin 배향성이 줄어들고 M_s 가 0이 되어

T_c 이상에서는

상자성 물질처럼 나타난다.

기말고사 답안지.



외부에서 가해진 Magnetic field H 에 의한
 $\Delta E = \mu_0 \mu_{ms} \cdot H$ band bending에
 $(\because \Delta E \propto H, |\mu_{ms}|)$ 의한 E 변화 ΔE

$$\Delta N = \Delta E Z(E_F) = \mu_0 H \mu_{ms} Z(E_F)$$

M: magnetization
of a solid

$$M = \frac{\mu_m}{V}$$

$$\rightarrow M = \frac{\mu_{ms}}{V} \Delta N = - \frac{\mu_{ms}^2 \mu_0 Z(E_F) \cdot H}{V} (\because M \propto \mu_{ms}, \Delta N)$$

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{\mu_{ms}^2 \mu_0 Z(E_F)}{V}$$

전자하나의 spin magnetic moment

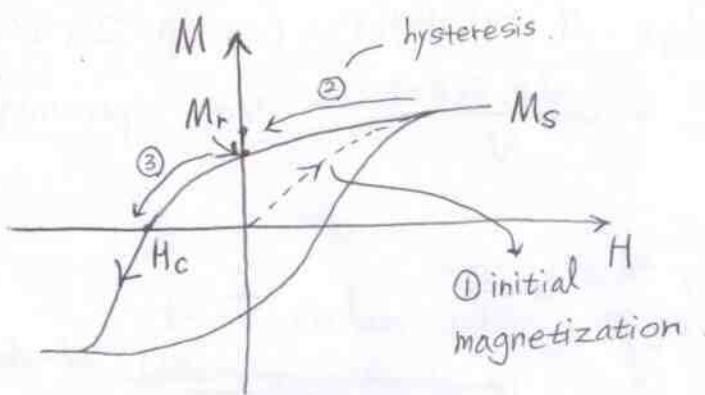
$$\mu_B = \mu_{ms}$$

$$\therefore \chi_{para}^{spin} = \frac{\mu_B^2 \mu_0 Z(E_F)}{V}$$

최종식 틀린 경우 (-10)

중간과정 일부 맞은 경우 가점 有

10.



Ferromagnetic hysteresis loop.

① initial magnetization

: 초기 자화되어 있지 않은 상태에서 포화자화 M_s 에 이른다.

② H의 감소보다 낮은 비율로 M 감소

$H=0 \rightarrow M=M_r$ 존재
(\because 이미 형성된 domain wall의 역방향 점령에 대한 저항)

③ H_c 만큼의 H를 더 가해주면 $M=0$

H_c : coercivity

아랫부분에 대해서도 대칭적 hysteresis 곡선 생김] (+10)

1) Antiferro \checkmark magnetic domain wall이 존재 X $\rightarrow (+5)$

\rightarrow No hysteresis

2) Fertimagnetic

\rightarrow hysteresis curve

$\sim (+5)$

(Ferromagnetic 과 동일)

II. Cu의 Fermi E는 band edge 와 매우 가깝다. (下部 그림 존재)
 따라서 $Z(E_F)$ 는 작고, $X_{\text{para}}^{\text{spin}} = \frac{\mu_0^2 \mu_0 Z(E_F)}{V}$ 도 작아 paramagnetic 의 성질이 작다.

diamagnetic susceptibility 인
 반면 $X_{\text{dia}} = \frac{-e^2 Z r^3 \mu_0}{6mV}$ 는 모든 전자 orbit radius, r 과
 모든 orbit 내 전자의 총수에 비례하는데, Cu의 경우 $Z \approx 10$, d-shell의 보아
 반지름은 크므로 paramagnetic contribution 보다
 diamagnetic contribution 이 훨씬 크다.
 따라서 Cu는 diamagnetic 물질이다.

- ① paramagnetic 성질 설명 (+10)
- ② diamagnetic " & 우세함 설명 (+10)