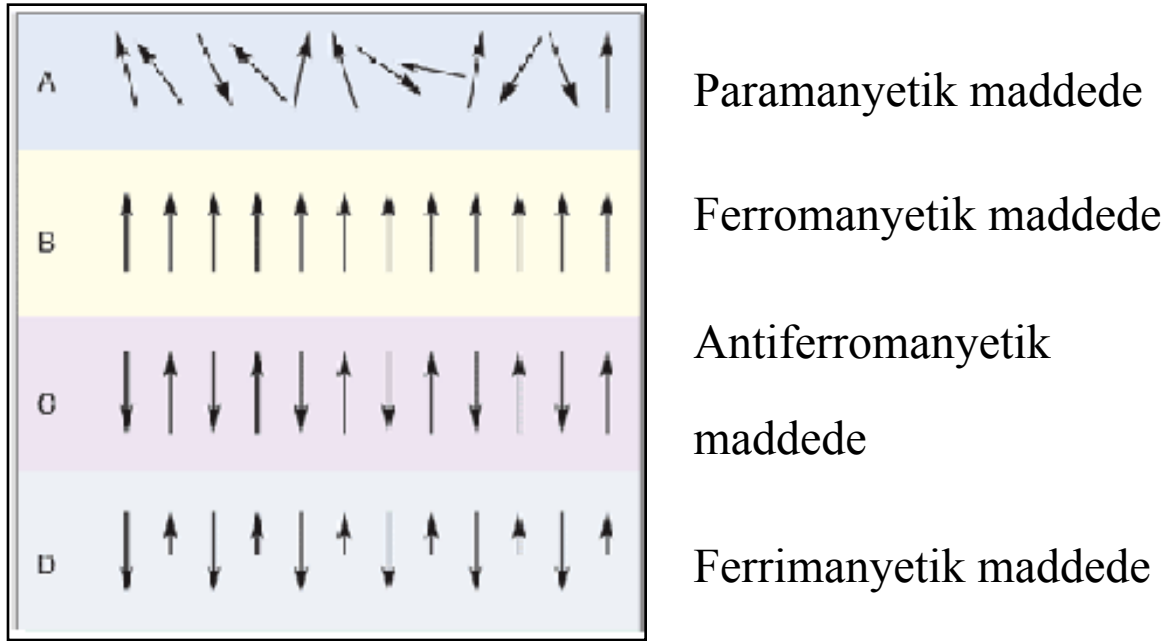
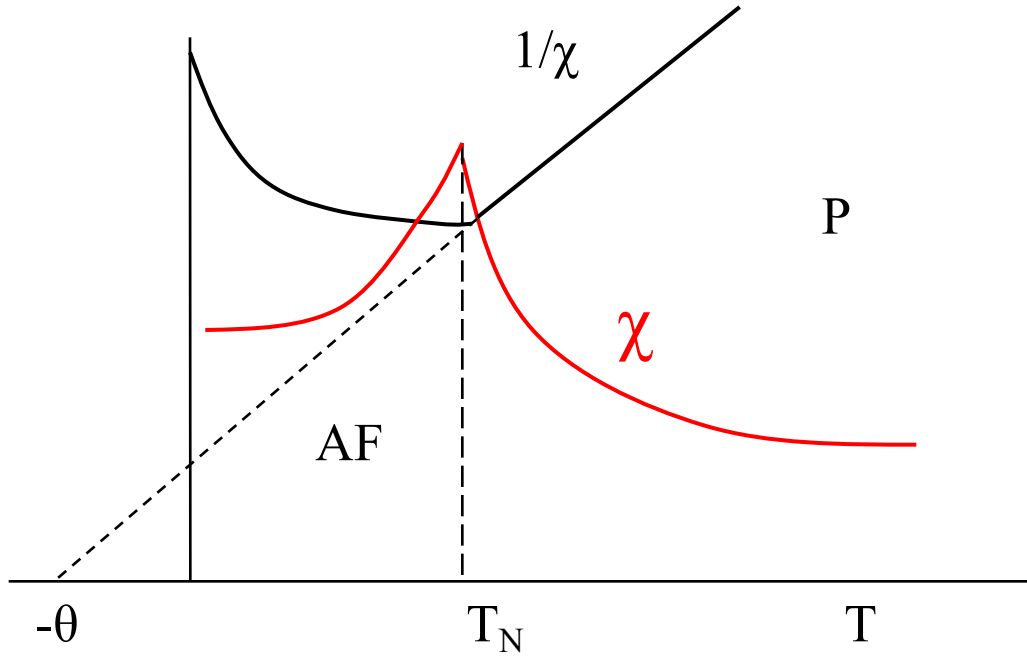


# ANTİFERROMANYETİZMA

- Manyetik maddelerin bir türü de ferromanyetik maddenin tersi bir tür olan antiferromanyetik maddelerdir. Ferromanyetlerde spin yönelimleri aynı yönde iken antiferromanyetlerde birbirine zıt olacak şekilde spin yönelimleri vardır.



Şekil 1.1 Manyetik maddelerde spin yönelimleri



Şekil 1.2 Bir antiferromanyetik maddenin alınganlığının sıcaklıkla değişimi

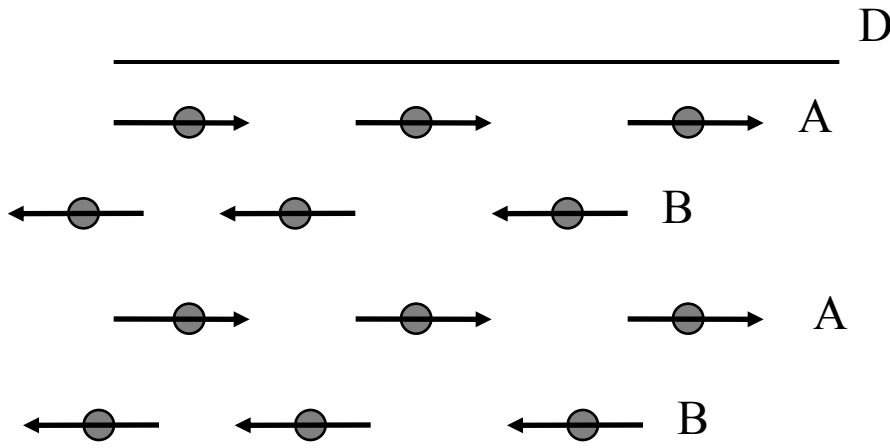
Doęrunun denklemini;

$$1/\chi = (T + \theta)/C \quad \chi = C / (T + \theta) = C/T - (-\theta) \text{ dir.}$$

Diğer bir deyişle, bu malzeme,  $\theta$  'nın negatif bir değer aldığı durumda Cuire-Weiss yasasına uyar.

Şekil 1.2'de antiferromanyetik bir maddenin alınganlığının sıcaklıkla değişimini görüyoruz. Sıcaklık arttıkça;  $\chi$  değeri kritik sıcaklık  $T_N$ 'e kadar arttıktan sonra doyuma ulaşır ve azalmaya başlar.

$T_N$ ; Nèel sıcaklığı



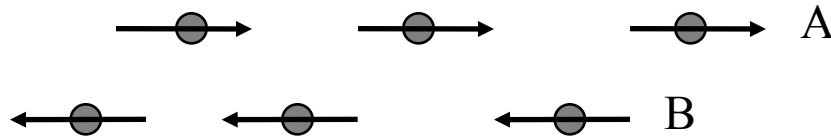
Şekil 1.3 A ve B alt örgülerinin antiferromanyetik dizilimi

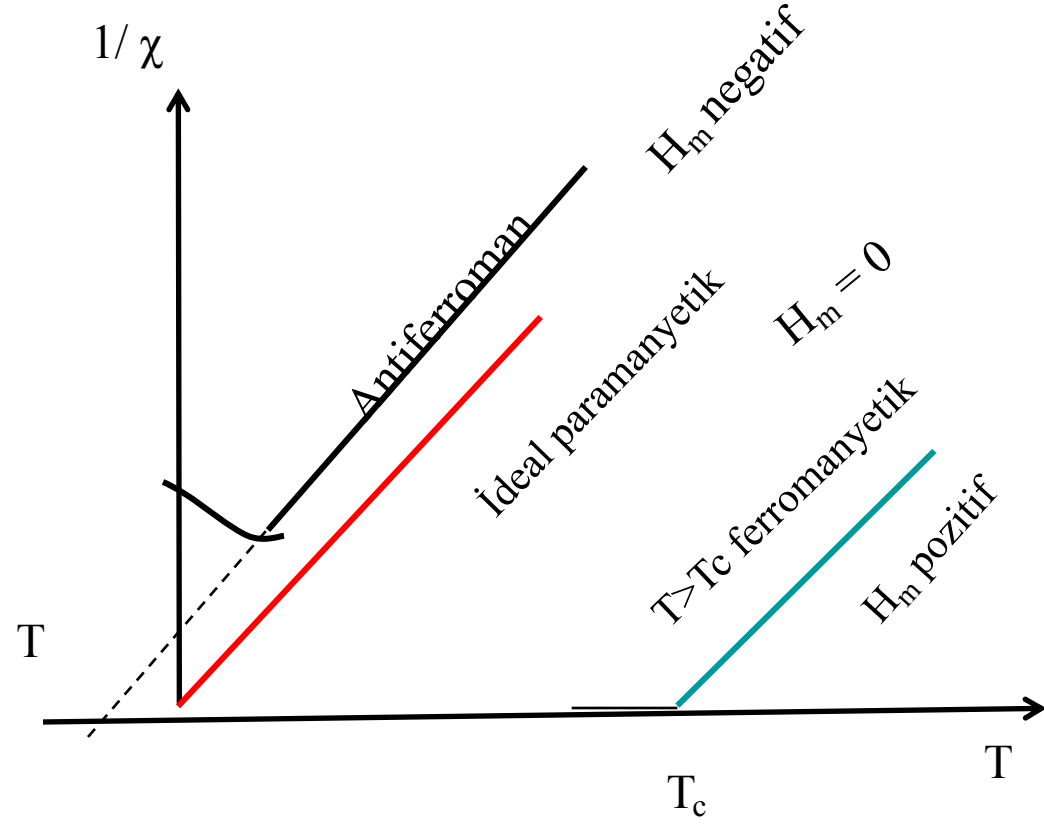
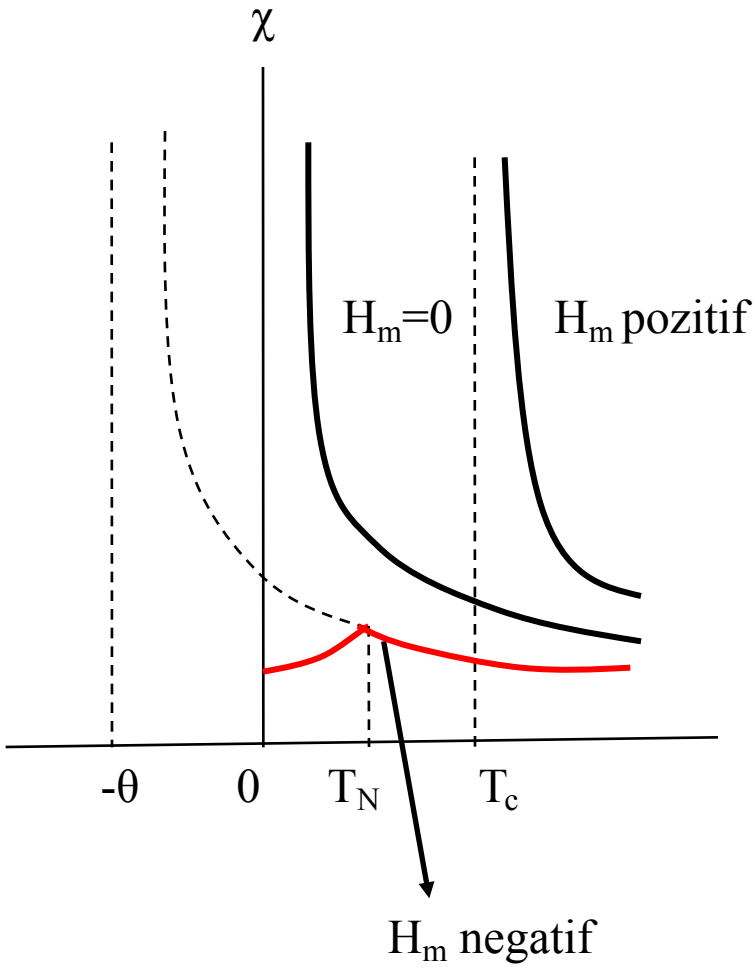
Burada, her bir alt örgü, aynı ferromanyetizmada olduğu gibi, kendiliğinden mıknatıslanmış örgüler olarak düşünülebilir. Antiferromanyetik maddede, net bir kendiliğinden mıknatıslanma yoktur.

Antiferromanyetik maddelerde,  $T_N$  kritik sıcaklığının altında spinlerin birbirine zıt yönelme eğilimleri, bu sıcaklık aralığındaki termal enerjiye oranla oldukça büyüktür. Bu nedenle antiferromanyetik maddeye iç içe girmiş ve zıt yönlerde mıknatıslanmış iki alt örgüden oluşmuş gözüyle bakabiliriz.

- 2. MOLEKÜLER ALAN TEORİSİ
- Şekil 1.3' deki gibi en yakın iki komşu (AA) arası veya (BB) arası etkileşmeyi ihmal edeceğiz, sadece (AB) arası veya (BA) arası etkileşmeleri göz önüne alacağız.
- İki moleküler alanımız var.
- A iyonlarına etkiyen  $H_{mA}$  alanı; B alt örgüsünün mıknatıslanmasına zıt yöndedir.

$$H_{mA} = -\gamma M_B \quad \text{ve} \quad H_{mB} = -\gamma M_A \quad \text{olur.}$$





Şekil 2.1 Alınganlığın, Curie sabiti  $C$  ile aynı değer için, moleküler alana bağlılığı

## a) $T_N$ sıcaklığı üzerindeki değerler için;

- Weiss; moleküler alan yoğunluğunun direkt olarak mıknatıslanmaya bağlı olduğunu varsaydı.

$$H_m = \gamma M$$

↘ Moleküler alan katsayısı

Böylece, bir malzemeye etkiyen net alan;

$$H_{\text{net}} = H + H_m$$

- $\chi = M/\mu H = C/T = M/\mu(H + \gamma M)$

$MT = C\mu(H + \gamma M)$  eşitliğini  $M$  için çözersek;

$$M = C\mu H / (T - C\mu\gamma) \quad \text{ve buradan;}$$

$$\chi = C / (T - C\mu\gamma)$$

- $M/\mu H = C/T$  eşitliğinden  $MT = \mu CH$  yazarak  $H$  için de;  
her alt örgü için

$H_{mA} = -\gamma M_B$  ve  $H_{mB} = -\gamma M_A$  eşitliklerini  
kullanırsak;

$$M_A T = \mu C' (H - \gamma M_B) \quad \text{ve} \quad M_B T = \mu C' (H - \gamma M_A)$$

$C'$  ; her alt örgü için Curie Sabiti

$H$  ; uygulanan alan olmak üzere;

- Toplarsak, toplam mıknatıslanma ve  $\chi$ 'yi elde ederiz.

$$(M_A + M_B) T = 2\mu C' H - \mu C' \gamma (M_A + M_B)$$

$$MT = 2\mu C' H - \mu C' \gamma M$$

$$M (T + \mu C' \gamma) = 2\mu C' H, \quad M = 2\mu C' H / (T + \mu C' \gamma) \quad \text{ve}$$

$$\chi = M / \mu H = 2C' / (T + \mu C' \gamma)$$

$$\boxed{C = 2C'} \quad \text{ve} \quad \boxed{\theta = \mu C' \gamma}$$



## b) $T_N$ değerinin altındaki değerler için;

Antiferromanyetik bölgede; uygulanan alan 0 iken; her alt örgü diğer alt örgünün yarattığı moleküler alanla, kendiliğinden mıknatıslanmıştır.

$H=0$  iken,  $M = M_A + M_B = 0$  ve  $M_A = -M_B$

Burada  $M_A T = \mu C' (H - \gamma M_B)$  ve  $M_B T = \mu C' (H - \gamma M_A)$  eşitlikleri geçerlidir.

$H=0$  durumunda ise;

[ $M_A T = \mu C' (H - \gamma M_B)$  'dan]

$M_A T_N = -\mu C' \gamma M_B$  ve  $M_B T_N = -\mu C' \gamma M_A$  eşitlikleri yazılır.

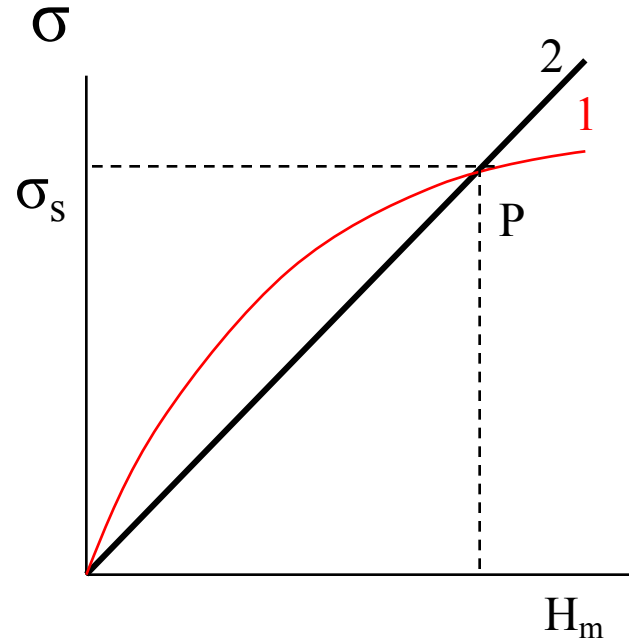
$\Rightarrow -M_A / M_B T_N = \mu C' \gamma$  ve daha önce  $\theta = \mu C' \gamma$  bulmuştuk.

Buradan  $\theta = T_N$  ise;  $T_N = \mu C' \gamma$  olur.

$\chi - T$  grafiğinin maksimum olduğu yerde  $\theta = T_N$  olur.

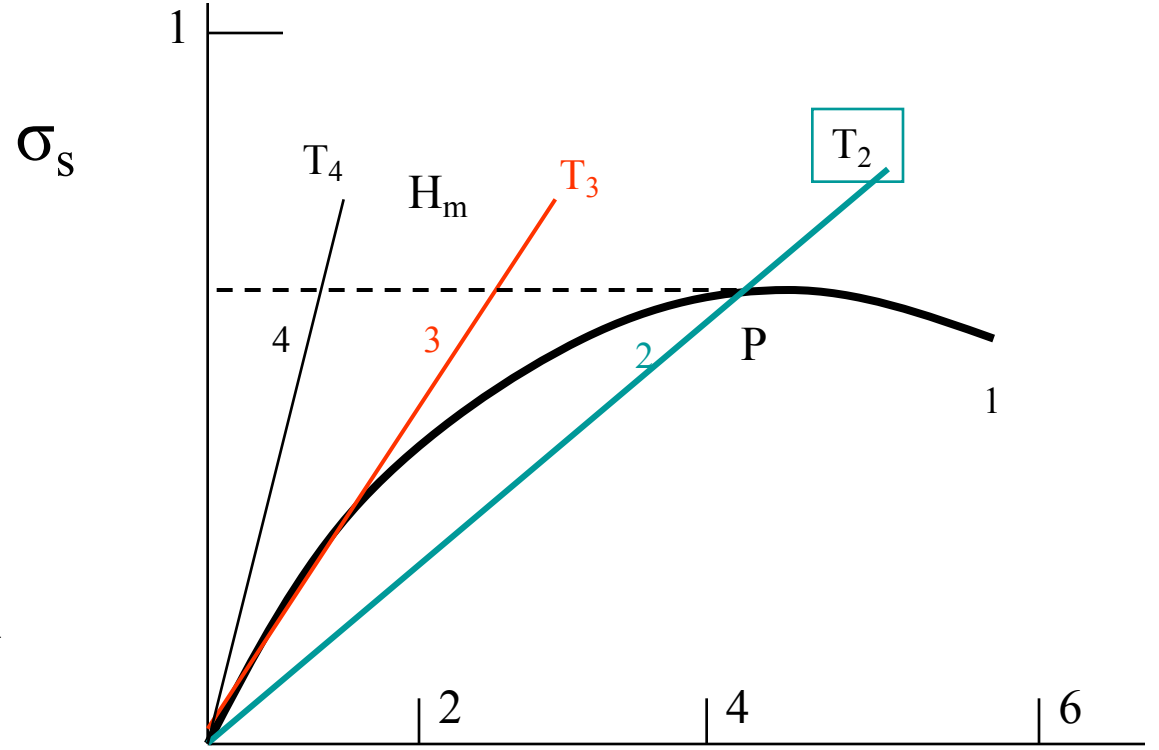
- Burada her A veya B alt örgüsü için bir özgül mıknatıslanma tanımlayalım.
- $\sigma_s$  ; kendiliğinden mıknatıslanma (spontaneous)  
 $H_{mA} = -\gamma M_B$  eşitliğinde  $H_{mA} = -\gamma\mu\sigma_A$  şeklinde yerini alır.

- 1.eğri: Sabit sıcaklıkta paramanyetik örneğin özgül mıknatıslanmasının, moleküler alanda arttığını gösterir.
2. Eğri ise;  $H_m = \gamma M$  'in grafiği; eğimi  $1/\chi$ . İki eğrinin kesiştiği P noktası; moleküler alanın oluşturduğu mıknatıslanmayı verir.



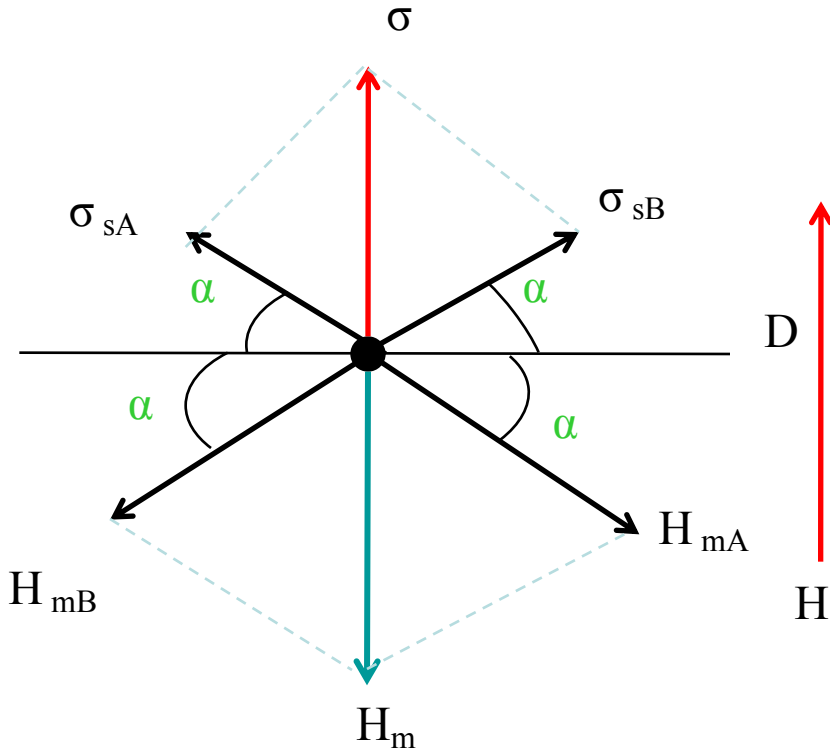
Şekil 2.2 Bir moleküler alanda özgül kendiliğinden mıknatıslanma

- 1.eğri Langevin fonksiyonudur.
- Sıcaklık artarsa Langevin eğrisi ile sıcaklık eğrisinin çakıştığı nokta, Langevin eğrisi üzerinde küçük değerele denk gelecektir. Bu; kendiliğinden mıknatıslanmanın azalması anlamına gelir.
- $T_3$ 'de kendiliğinden mıknatıslanma 0 değerindedir. (paramanyetik özellik)



Şekil 2.3 Sıcaklığın, özgül mıknatıslanma üzerine etkisi

$$T_2 < T_3 < T_4 \text{ ve } T_3 = T_N$$



Şekil 2.4(a) Bir antiferromanyetikte spin eksenini  $D$ 'ye dik bir  $H$  alanı uygulandığında özgül mıknatıslanmaların değişimi.

Spinler  $H=H_m$  olana dek dönerler;

$$H = -2 ( H_{mA} \sin\alpha ) = H_m$$

$$H_{mA} = -\gamma\mu\sigma_A$$



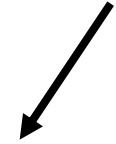
$$H = 2\gamma\mu\sigma_{sA} \sin\alpha \text{ olur.}$$

ve

$$\sigma = 2\sigma_{sA} \sin\alpha$$

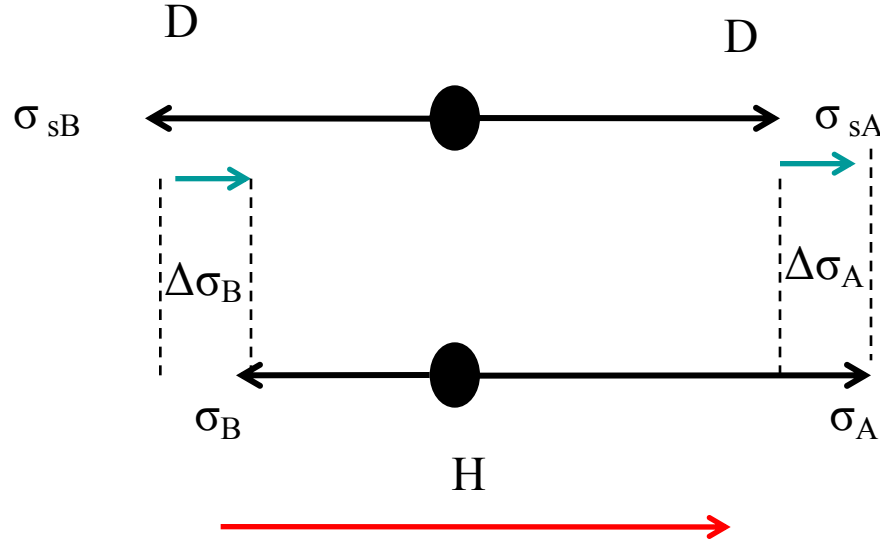


$$H = \gamma\mu\sigma$$



$$\chi_{\perp} = M/\mu H = \sigma\mu / \mu\gamma\mu\sigma$$

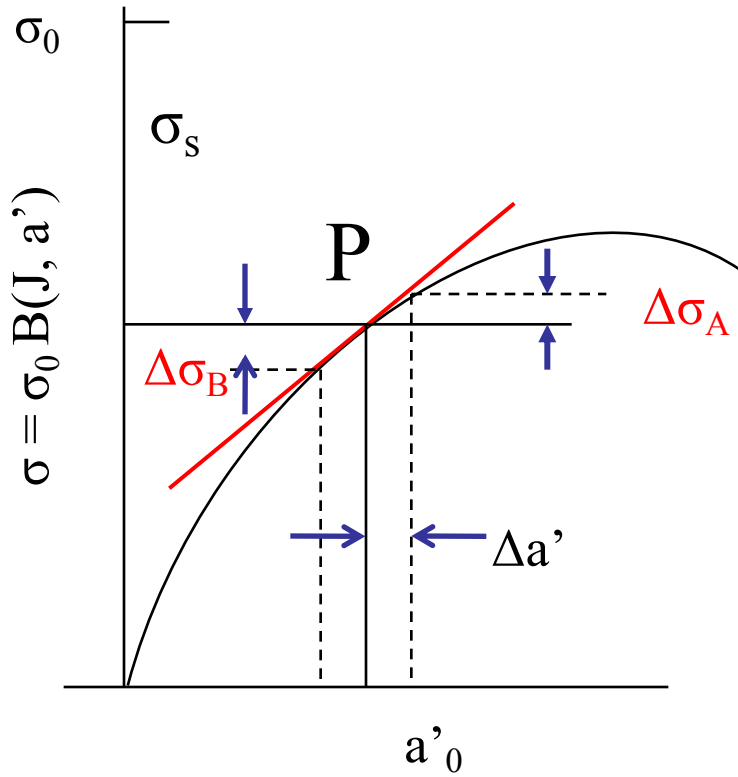
$$\chi_{\perp} = 1/\gamma\mu$$



Şekil 2.4 (b) Bir antiferromanyetikte spin eksenine D'ye paralel bir H alanı uygulandığında özgül mıknatıslanmaların değişimi.

Alan yönünde oluşacak net mıknatıslanma;

$$\sigma = \sigma_A - \sigma_B = |\Delta\sigma_A| + |\Delta\sigma_B|$$



$$a' = \mu_H H / kT$$

Şekil 2.5 Spin eksenine paralel durumdaki manyetizasyon değişimi

$$|\Delta\sigma_A| = |\Delta\sigma_B| \text{ ve } \sigma = 2\Delta\sigma_A$$

$\Delta\sigma_A$  değeri  $\Delta a'$  'nın bir çarpımı ile verilecektir ve manyetizasyon eğrisinin eğimi;

$$\Delta\sigma_A = \Delta a' [\sigma_{0A} B'(J, a'_0)]$$

Buradan spin eksenine paralel durumdaki  $\chi'$ yi elde ederiz. Burada  $a'$  değişkenindeki  $H'$ in  $H_a$  olarak belirteceğimiz uygulanan alan ve moleküler alanı içerdiğini belirtelim.

$$\Delta a' = \mu_H / kT (H_a - \gamma\rho |\Delta\sigma_B|)$$

$$= \mu_H / kT (H_a - \gamma\rho \Delta\sigma_A)$$

$$\Delta\sigma_A = n_g \mu_H^2 / 2kT (H_a - \gamma\rho \Delta\sigma_A) B'(J, a'_0)$$

$N_g$  = Gram başına manyetik iyon sayısı

$$\chi_{||} = \sigma / H_a = 2\Delta\sigma_A / H_a = \frac{2n_g \mu_H^2 B'(J, a'_0)}{2kT + n_g \mu_H \gamma \rho B'(J, a'_0)}$$

$$X_{||} = \sigma / H_a = 2\Delta\sigma_A / H_a$$

- **Toz haldeki numunelerde;**
- $\chi$ 'yi bulmak için tüm yönelimlerin ortalamasını almalıyız.

$$\sigma_{\parallel} = \chi_{\parallel} H \cos \theta \quad \text{ve} \quad \sigma = \chi_{\perp} H \sin \theta$$

- Alan yönündeki mıknatıslanma;
- $\sigma = \sigma_{\parallel} \cos \theta + \sigma_{\perp} \sin \theta$
- $\chi = \sigma/H = \chi_{\parallel} \cos^2 \theta + \chi_{\perp} \sin^2 \theta$
- Tek bir kristalin alınganlığı ise olabilecek tüm değerlerin ortalaması alınarak;
- $\chi_P = \overline{\chi_{\parallel} \cos^2 \theta + \chi_{\perp} \sin^2 \theta}$
- $\chi_P = 1/3 \chi_{\parallel} + 2/3 \chi_{\perp}$

- A iyonlarına etkiyen moleküler alanın sadece B alt örgüsünden kaynaklı olduğunu kabul etmiştik.
- Esasında, AA ve BB etkileşim kuvvetlerinin de etki yaratabileceği ihmal edilmemelidir.
- Bu durumda 
$$H_{mA} = -\gamma_{AB}M_B + \gamma_{AA}M_A$$
$$H_{mB} = -\gamma_{AB}M_A + \gamma_{BB}M_B$$

(İki moleküler alan katsayısı var.)

$\gamma_{AB}$ ; AB etkileşimi için moleküler alan katsayısı.

$\gamma_{AA}$ ; genellikle  $\gamma_{BB}$  'ye eşittir.

$\gamma_{AA}$ ; pozitif, negatif ya da 0 olabilir.

$\gamma_{AA}$ ; 0 değilse  $\theta/T_N$  oranı büyük olur.



- Antiferromanyetik Alařımlar
- Antiferromanyetizma; Mn ya da Cr içeren oldukça çok sayıda alaşımda gözlenir.
- Genelde birbirine birbirine basit oranlarla bağlı düzenli yapılarda gözlenmesi beklenir ancak şaşırtıcı bir şekilde katı ozeltisinde de gözlenmiştir.  $MnAu_2$ ; düzensiz fazdaki antiferromanyetizmaya bir örnektir. Aynı alaşım sistemine sahip  $MnAu$  ve  $MnAu_3$  de antiferromanyetiktir. Bazı nekler verilecek olursa;  $CrSb$ ,  $CrSe$ ,  $FeRh$ ,  $NiMn$ ..