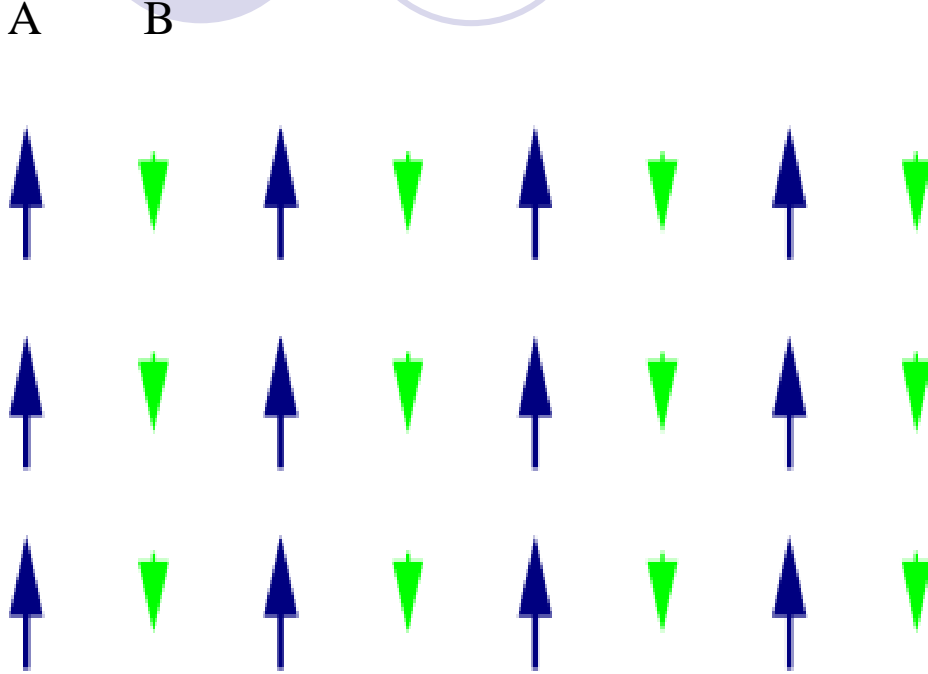


The image features a decorative arrangement of six circles. Three circles are positioned in a top row, and three are in a bottom row. The top row consists of an empty circle on the left, a solid purple circle in the middle, and another solid purple circle on the right. The bottom row consists of a solid purple circle on the left, a solid purple circle in the middle, and an empty circle on the right. The text 'FERRİMANYETİZMA' is centered horizontally across the middle of the image, overlapping the circles.

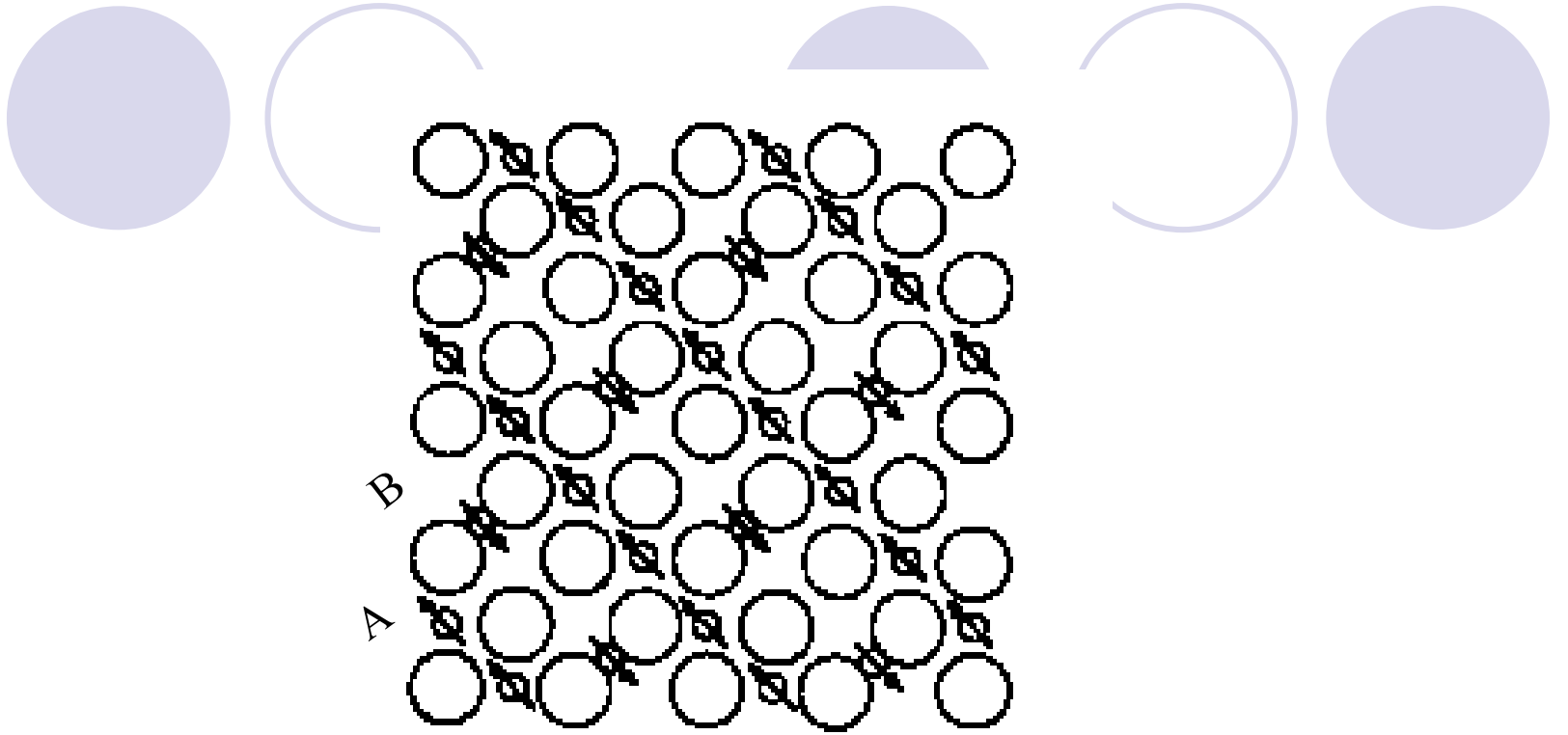
FERRİMANYETİZMA

1. Ferrimanyetik Malzemelerin Özellikleri

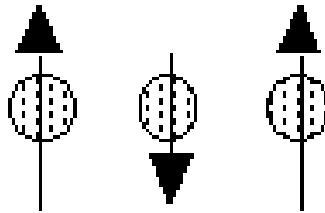


- Ferrimanyetik malzemeler oda sıcaklığında, önemli bir kendiliğinden mıknatıslanma gösterirler ve bu durum bu malzemeleri endüstriyel açıdan önemli kılar.

Şekil 1.1 Ferrimanyetik malzemedeki spin dizilimi



Ferrimanyetizma



Şekil 1.2 Ferrimanyetik malzemede spin yönelimleri

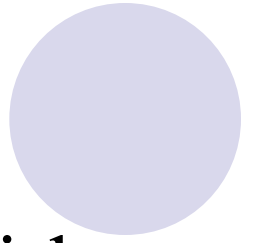
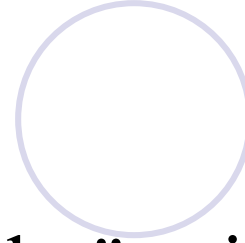
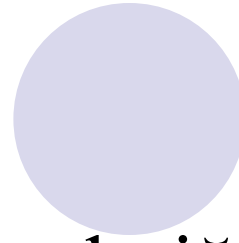
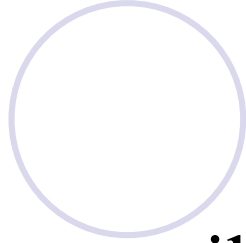
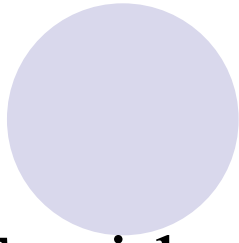
- Ferrimagnetlerde T_c değerinin üzerindeki sıcaklıklarda kendiliğinden mıknatıslanma yoktur.
- En önemli ferrimagnetler, demirin ve diğer metallerin iki değerlikli oksitleridir.
- Manyetik ferritler; farklı kristal yapıları dolayısıyla iki ana gruba ayrılırlar.

1) Kübik: Bu malzemelerin ortak bir formülü vardır.



- Burada M; iki değerlikli bir metal iyonu olacaktır. (Örn; Mn, Ni, Fe, Co, Mg gibi)

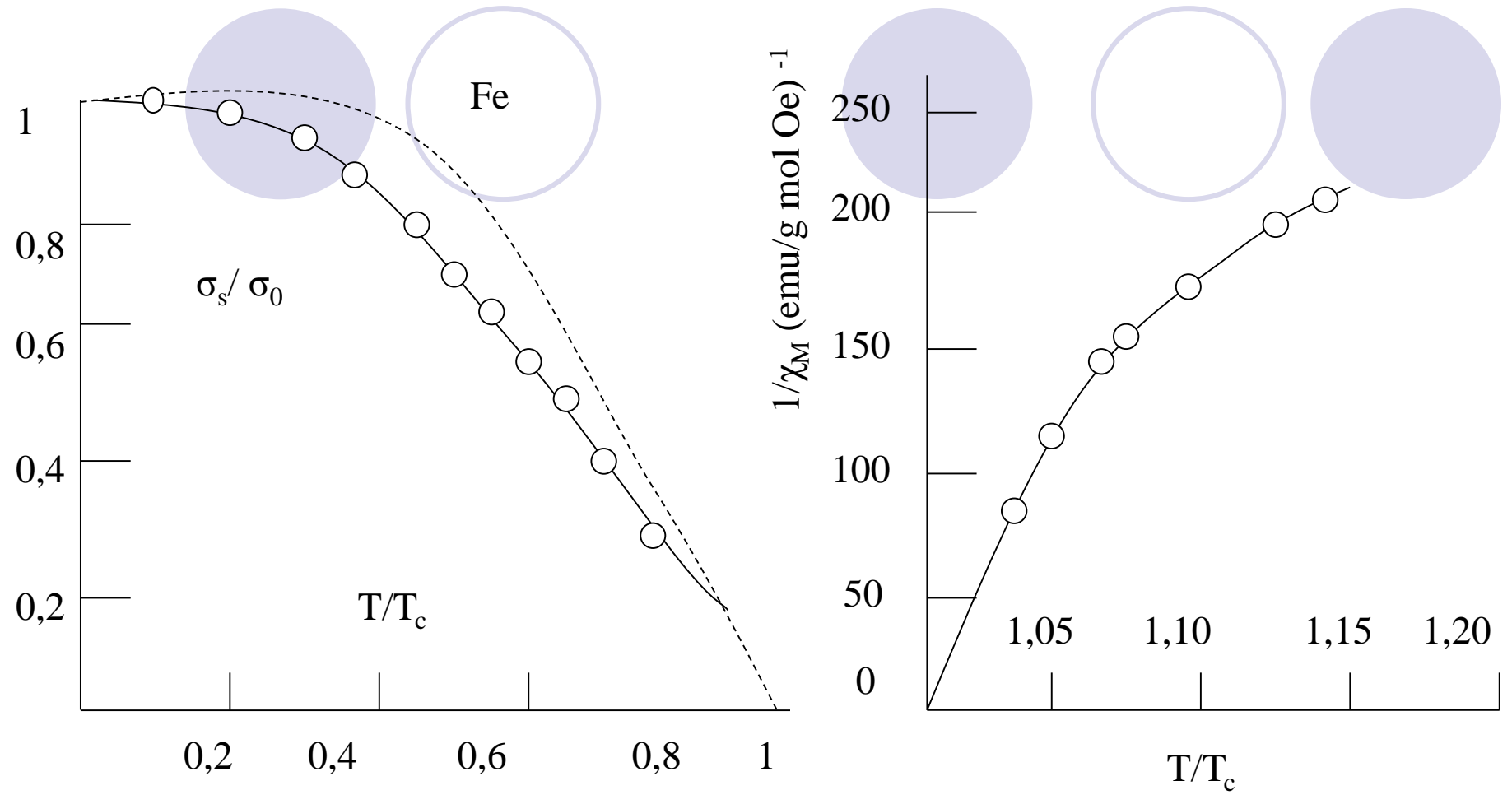
2) Hegzagonal: Bu gruptaki en önemli bileşik, sert manyetik malzeme olan $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ (baryum ferrittir).




Ferritler seramik üretme tekniği ile üretilirler.

Örneğin, Nikel ferrit yapmak için; NiO ve Fe_2O_3 toz haldeyken iyice karıştırılır ve sıkıştırılarak istenilen şekle sokulur.

1200°C'nin üstünde sıcaklıklarda sinterlenir(katılaştırılır). Oluşan ürün katı, kırılğan ve yarıiletkenidir. Bu özellik, ferritleri yüksek frekans uygulamalarında hemen hemen ideal kılar.

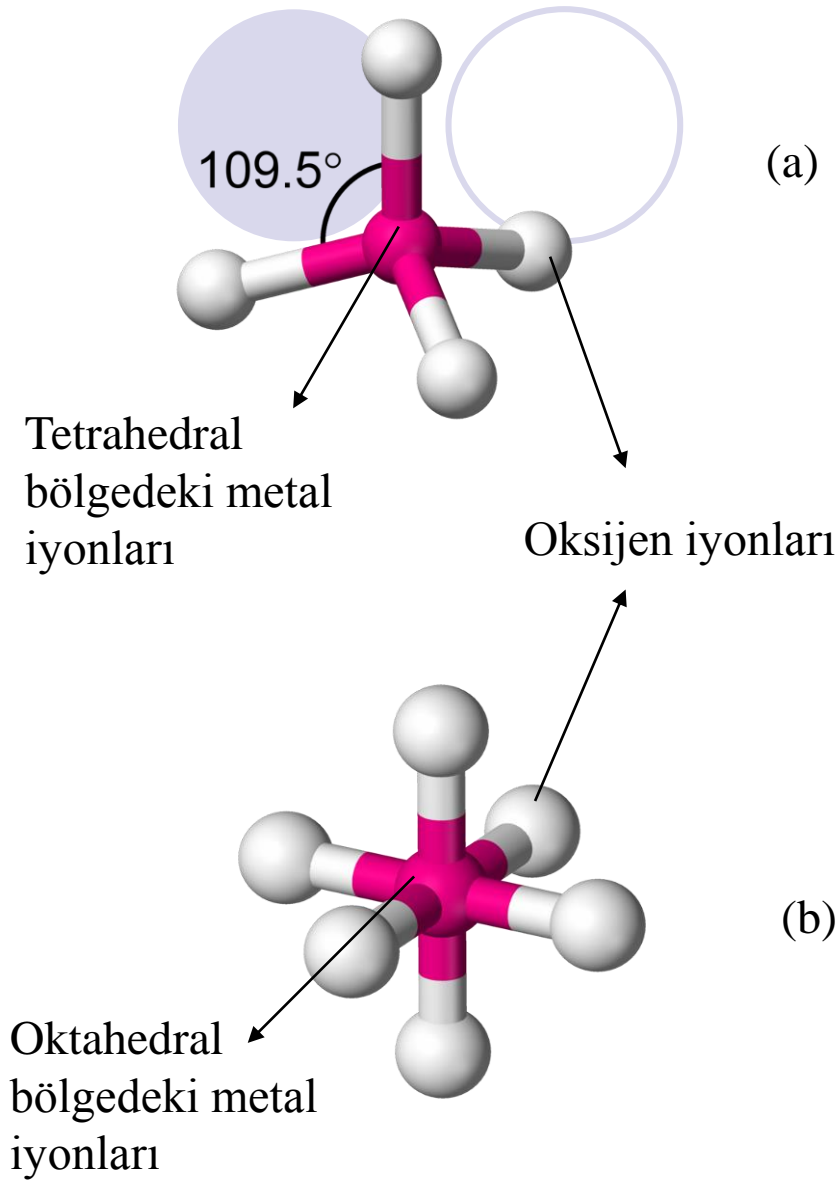


Şekil 1.3 Tipik bir ferrimanyetik olan NiO . Fe₂ O₃ 'ün manyetik özelliğinin sıcaklıkla değişimi. Ferrimanyetik alanda σ_s / σ_0 özgül mıknatıslanması ve paramanyetik alanda çift taraflı moleküler alınganlık. (Soldaki kesikli çizgi demire ait.)

- 
- Şekil 1.1 'in ayrıntılı incelenmesi ferritlerin, ferromanyetik olmadıklarını kanıtlar. Tipik bir ferritin σ_s/σ_0 mıknatıslanması sıcaklığın artması ile aniden azalmaktadır. Burada; paramanyetik alanda alınganlığın tersi $1/\chi$ 'nin sıcaklık ile değişimi doğrusal değildir ve bu da Cuire-Weiss yasasına uyulmadığını gösterir. Bu sonuçlar, Nèel'i; ferritlerin kesinlikle daha önce düşünülen farklı bir manyetik yapıya sahip oldukları düşüncesine sürüklemiştir.

Kübik Ferritlerin Yapısı

- Bunlar spinel yapıdadırlar ve bazen ferrosineller olarak anılırlar. Her birim hücrede 8 molekül ya da bir başka deyişle $8 \times 7 = 56$ iyon bulundurduğundan yapıları oldukça karmaşıktır.



Şekil 1.4 Bir kübik ferritin kristal yapısı.

•Büyük oksijen iyonları yüzey merkezli kübik yapıda dizilmiştir ve daha küçük olan metal iyonları ($0,7-0,8\text{Å}^0$) arada kalan boşlukları doldurmuştur. Bu boşluklar iki türdedir. Birincisi; tetrahedral A bölgesi adını alır çünkü; köşeleri, oksijen iyonları ile doldurulmuş bir tetrahedronun merkezinde yerleşmiştir.

•İkincisi ise oktahedral B bölgesidir, zira etrafındaki oksijen iyonları bir oktahedronun köşelerini doldurmuş durumdadır.

•Bazı ferritler örneğin; MOFe_2O_3 , M^{2+} A bölgesinde ve Fe^{3+} B bölgesinde olmak üzere, tam bu yapıya sahiptir.

- Demir, kobalt ve nikel ferritlerin hepsi kübik yapıdadır ve hepsi de ferrimanyetiktir.
- Sonuç olarak; ferritlerin iki çift değerlikli iyon türü kullanılarak hazırlanabileceğini belirtmeliyiz.
- Karışık ferritler de en çok kübik ferritler kullanılarak hazırlanır.

Doyum Mıknatıslanması

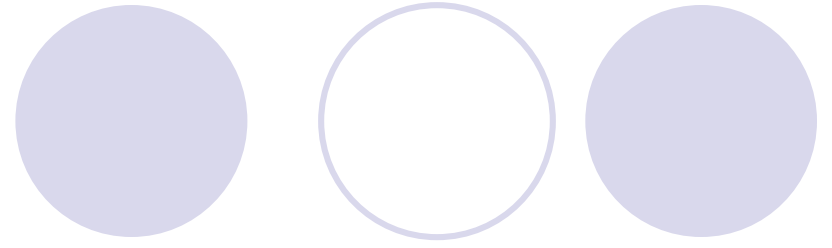
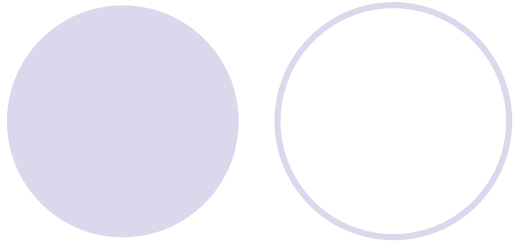
0°K'de bir ferritin doyum mıknatıslanmasını

- Her iyonun momentini
- A ve B bölgeleri arasındaki iyonların dağılımlarını
- A ve B bölgeleri arası değiş tokuş etkileşiminin negatif olduğunu bilirsek hesaplayabiliriz.

- Tablo 1.1'de Nikel ferritler için hesaplamaların nasıl yapıldığı verilmiştir. B bölgesindeki Ni^{2+} iyonları ve A ve B bölgesine dağılmış Fe^{3+} iyonları için;
- Fe^{3+} iyonlarının momentleri birbirini götürür ve net moment basitçe; $2\mu_B$ değerinde olan Ni^{2+} iyonlarının momentidir.
- İkinci örnekte; Zn ferritte 0 momente sahip Zn^{2+} iyonları A bölgesini doldururlar. Burada AB etkileşmesi yoktur, negatif BB etkileşmesi devreye girer, Fe^{3+} iyonları antiparalel dizilimdedir ve net moment sıfırdır.

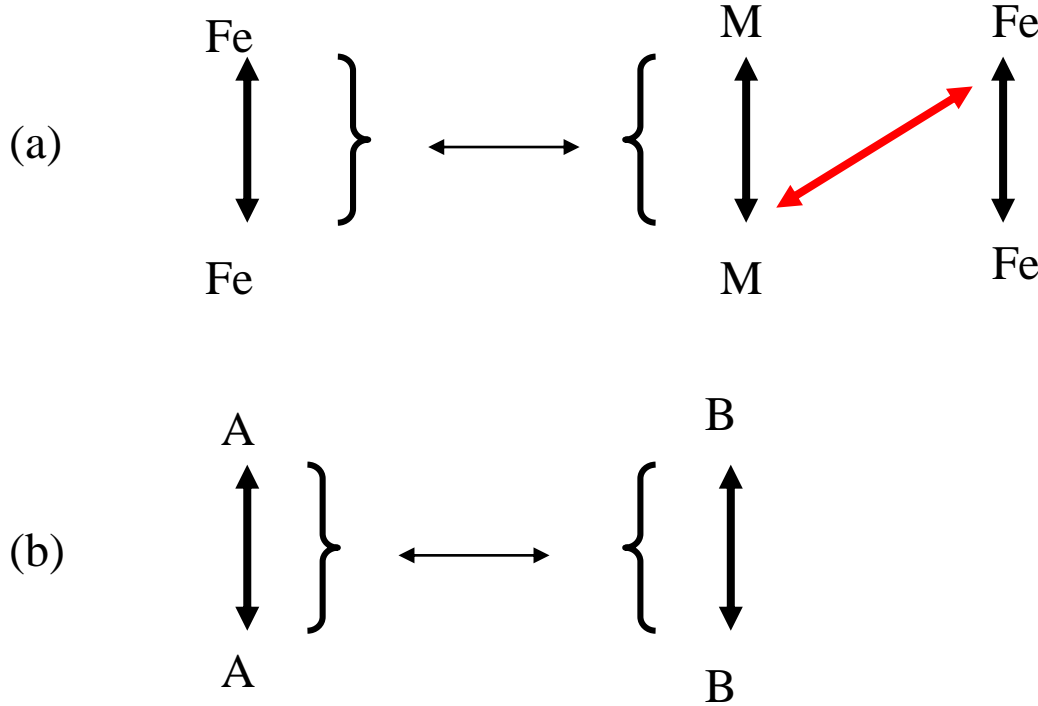
Tablo1.1; Bazı tipik ferritlerde molekül başına net moment ve iyon dağılımı

örnek	Malzeme	Yapı	Tetrahedral A bölgesi	Oktahedral B bölgesi	Net moment (μ_B / molekül)
1	$\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	ters	Fe^{3+} 5 ←	Ni^{2+} Fe^{3+} 2 5 ← ←	2
2	$\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	normal	Zn^{2+} 0	Fe^{3+} Fe^{3+} 5 5 ← ←	0
3	$\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	Çoğunlukla ters	Mg^{2+} Fe^{3+} 0 4.5 ←	Mg^{2+} Fe^{3+} 0 5.5 ← ←	1
4	$0.9\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	ters	Fe^{3+} 4.5 ←	Ni^{2+} Fe^{3+} 1.8 4.5 ← ←	
	$0.1\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	normal	Zn^{2+} 0 4.5 ←	Fe^{3+} Fe^{3+} 0.5 0.5 ← ← 7.3 ←	2.8



- **Karışık ferritler;**
- Mg, ferrit karışık ferritlerin en sık rastlanan bileşenidir. Mg^{2+} iyonlarının 0,1'i A bölgesinde, Fe^{3+} iyonlarının 0,1'ini yerinden etmiştir. Tablo 1.1'de gösterildiği gibi;
- A bölgesi momentleri; $0,9 * 5 = 4,5 \mu_B$
- B bölgesi momentleri; $1,1 * 5 = 5,5 \mu_B$ olur.

2. Moleküler Alan Teorisi



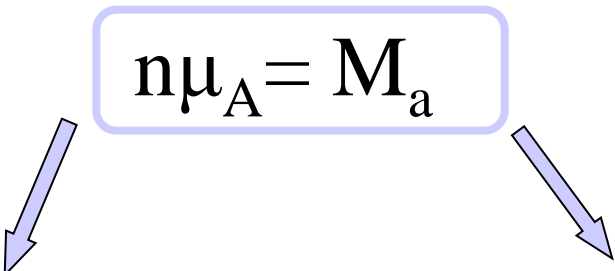
Şekil 2.1 İyonlar arasındaki etkileşimler

Ferrimanyetik malzemelerde A ve B bölgeleri kristalografik olarak farklıdır. İçerilen iyonlar özdeş olsa bile AA etkileşimi, BB etkileşiminden farklıdır. Bunun temel nedeni; A bölgesindeki bir iyonun, B bölgesindeki özdeş komşusundan farklı sayı ve dizilime sahip olmasıdır.

- Birim hacimde A bölgesinde yerleşmiş λ kadar bir kesit ve B bölgesinde yerleşmiş $v (=1-\lambda)$ kadar bir kesitten oluşan n tane özdeş manyetik iyon olsun.

- A alt örgüsünün mıknatıslanması;

- $M_A = \lambda n \mu_A$ $n \mu_A = M_a$



- $M_A = \lambda M_a$ ve $M_B = v M_b$

- Toplam mıknatıslanma;

$$M = M_A + M_B = \lambda M_a + v M_b$$

- A alt örgüsüne etkiyen moleküler alan;

$$H_{mA} = -\gamma_{AB}M_B + \gamma_{AA}M_A$$

- Burada A-B iyonları arası negatif (antiparalel) ve A-A iyonları arasında pozitif (paralel) etkileşme söz konusudur. Benzer şekilde

$$H_{mB} = -\gamma_{AB}M_A + \gamma_{BB}M_B$$

- 
- γ_{AA} ve γ_{BB} katsayıları eşit değildir. Bunları γ_{AB} cinsinden yazarsak;

- $\alpha = \gamma_{AA}/\gamma_{AB}$ $\beta = \gamma_{BB}/\gamma_{AB}$,
böylelikle

- $$H_{mA} = \gamma_{AB} (\alpha\lambda M_a - vM_b)$$

- $$H_{mB} = \gamma_{AB} (\beta vM_b - \lambda M_a)$$

- Bu iki eşitlik Curie sıcaklığının altında da üstünde de geçerlidir.

• a) Tc sıcaklığının üzerinde;

$$MT = \rho CH_t$$

- ρ ; yoğunluk
- H_t ; toplam alan (uygulanan alan + moleküler alan)

$$M_a T = \rho C (H + H_{mA})$$

$$M_b T = \rho C (H + H_{mB})$$

bu eşitliklerden M_a , M_b , H_{mA} ve H_{mB} 'yi çekersek; kütleli alınganlık;

$$\chi = M/\rho H = \frac{CT - \gamma_{AB} \rho C^2 \lambda v (2 + \alpha + \beta)}{T^2 - \gamma_{AB} \rho C T (\alpha \lambda + \beta v) + \gamma_{AB}^2 \rho^2 C^2 \lambda v (\alpha \beta - 1)}$$

$$1/\chi = T/C + 1/\chi_0 - b/T - \theta$$

ve

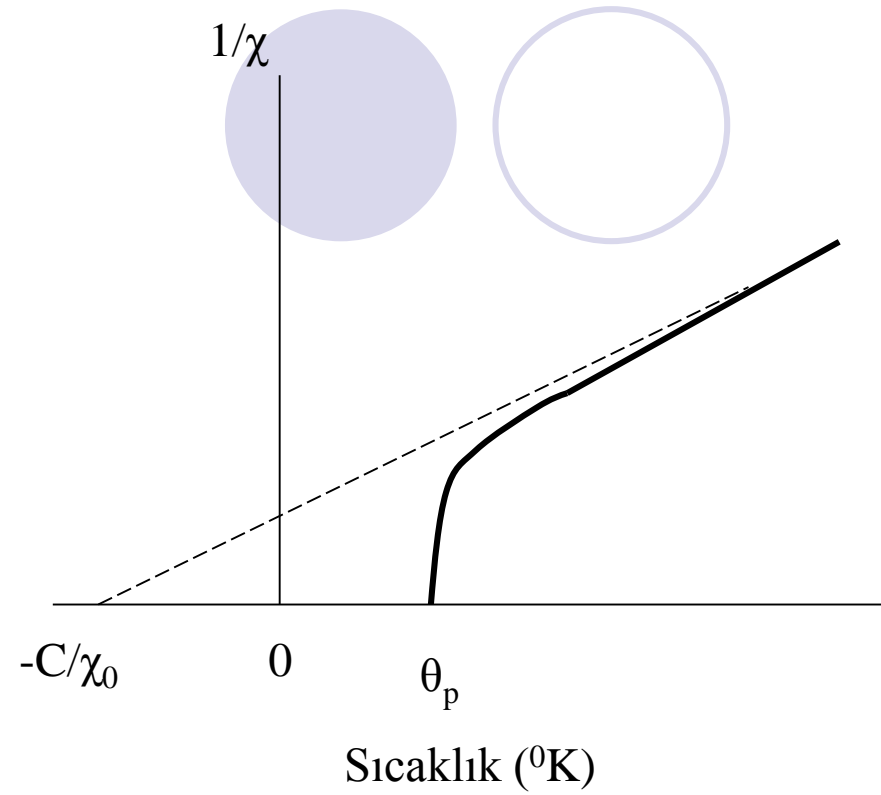
$$1/\chi = T + (C/\chi_0)/C - b/T - \theta$$

$$1/\chi_0 = \gamma_{AB} \rho (2\lambda v - \alpha \lambda^2 - \beta v^2)$$

$$b = \gamma_{AB}^2 \rho C \lambda v [(\lambda(1 + \alpha) - v(1 + \beta))^2]$$

$$\theta = \gamma_{AB} \rho C \lambda v (2 + \alpha + \beta)$$

olduğu yerde.



Şekil 2.2 Bir ferrimanyetik için Curie sıcaklığı üzerinde çift taraflı alınganlığın sıcaklıkla teorik değişimi

Eğri, sıcaklık eksenini θ_p 'de keser ve bu noktaya paramanyetik Curie noktası denir.

Yüksek sıcaklıklarda

$$1/\chi = T + (C/\chi_0)/C - b/T - \theta$$

eşitliğinin, son terimi ihmal edilir ve eşitlik aşağıdaki şekli alarak Curie-Weiss yasası halini alır.

$$\chi = C / (T + (C/\chi_0))$$

- b) T_c sıcaklığı altında;
- Ferrimanyetik bölgede her alt örgü, etki eden moleküler alan sebebiyle bir kendiliğinden mıknatıslanma sergiler. İki alt örgü mıknatıslanması birbirine zıttır. Bu durumda net mıknatıslanma;

$$|M| = |M_A| - |M_B|$$

- Her alt örgü için; ($a' = \mu_H H/kT$)

- $\sigma/\sigma_0 = \frac{2J+1}{2J} \coth \left(\frac{2J+1}{2J} a' \right) - \frac{1}{2J} \coth \frac{a'}{2J}$

- A alt örgüsünün kısmi özgül mıknatıslanması ile şöyle verilir;

- $\sigma_A / \sigma_{0A} = B(J, a') = B \left[j, \frac{\mu_H H}{kT} \right]$

- Burada H alanı H_{mA} 'ya eşittir, zira dışarıdan alan uygulanmaz, sadece kendiliğinden mıknatıslanma söz konusudur.

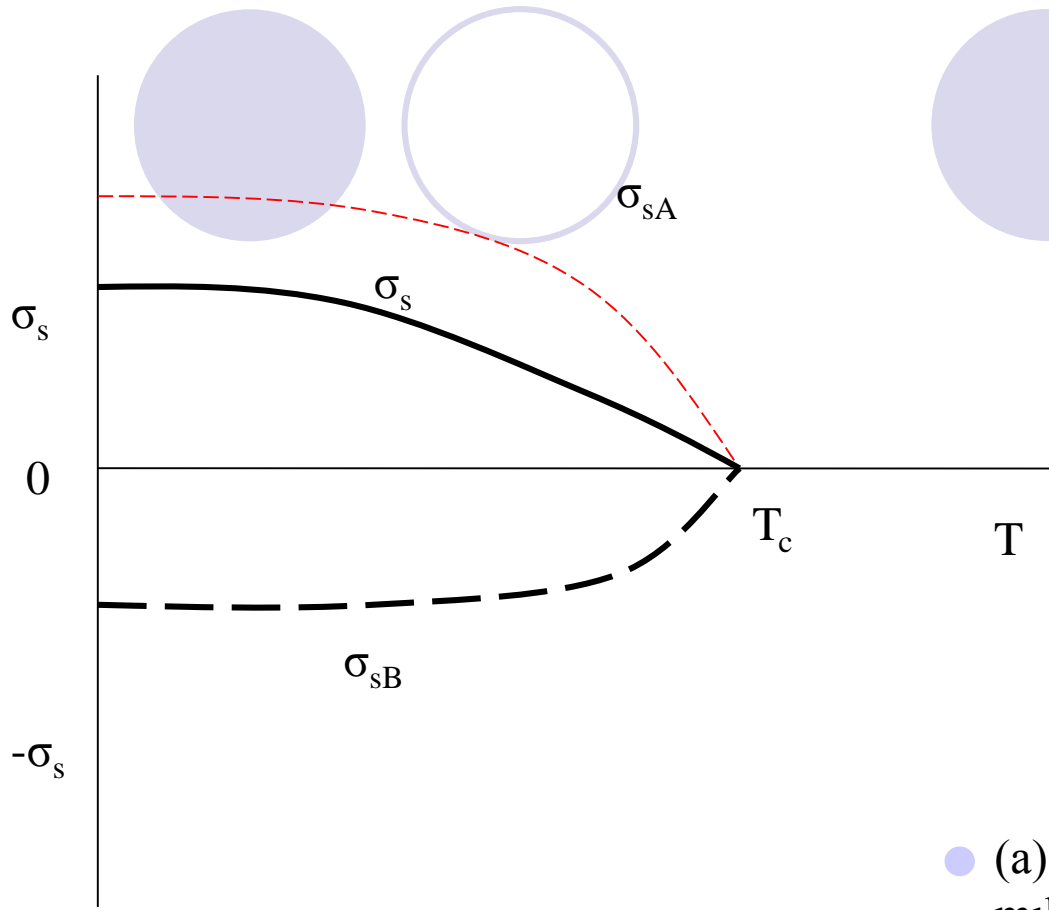
$$H_{mA} = \gamma_{AB} \rho (\alpha \lambda \sigma_a - v \sigma_b)$$

- Her iki alt örgü için kısmi kendiliğinden mıknatıslanma ise;

$$\frac{\sigma_{sA}}{\sigma_{0A}} = B \left[j, \frac{\mu_H \gamma_{AB} \rho (\alpha \lambda \sigma_a - v \sigma_b)}{kT} \right] \quad (a)$$

$$\frac{\sigma_{sB}}{\sigma_{0B}} = B \left[j, \frac{\mu_H \gamma_{AB} \rho (\beta v \sigma_b - \lambda \sigma_a)}{kT} \right] \quad (b)$$

Bu eşitlikleri çözmek kolay değildir. Görüldüğü gibi birbirine bağlı terimler vardır ve bu nedenle eşitlikler eş zamanlı olarak çözülmelidir.



Şekil 2.3 A ve B alt örgülerinin kendiliğinden mıknatıslanmaları ve sonuç olarak çıkan σ .

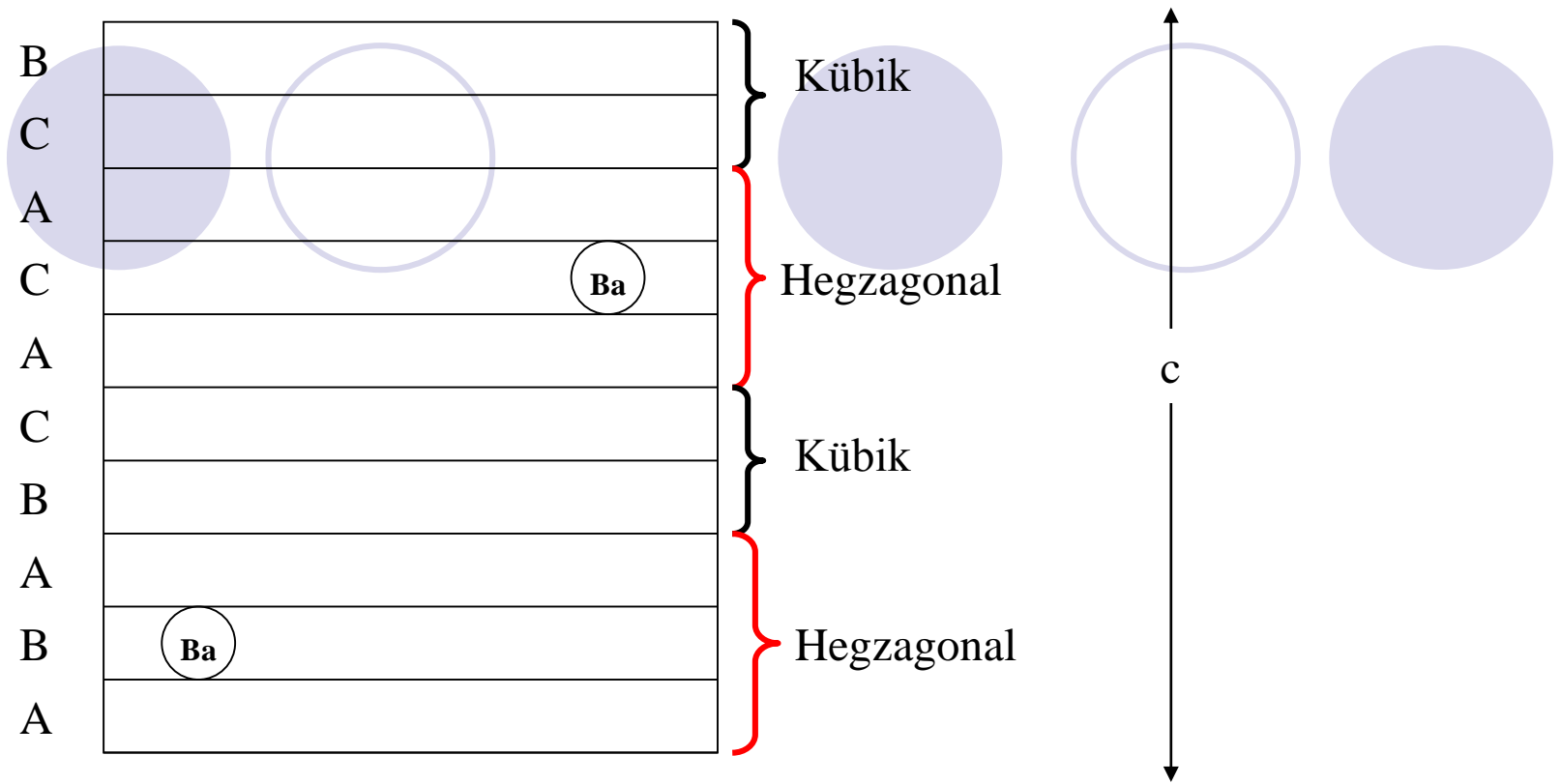
● Sonuçta Nèel'in moleküler alan teorisinin tüm manyetik malzeme türlerinde başarılı ve deneyle uyumlu olduğunu görürüz.

● Nèel de böyle yaparak karmaşık bir grafiksel metot vermiştir. İki alt örgü de aynı Curie noktasına sahip olmalıdır. Eğer değilse, iki örgünün Curie noktaları arasındaki bir noktada, bir örgü sıfır momente sahip olmalıdır ki, diğer örgünün mıknatıslanmasını ters yönde etkileyerek doyma mıknatıslanmasına ulaşmasını engellemesin.

● (a) ve (b) ile verilen alt örgü mıknatıslanmaları, manyetik iyon dağılım parametresi λ 'ya ve moleküler alan sabiti γ_{AB} , α ve β 'ya bağlıdır ve A alt örgüsünün eğrisi, B alt örgüsününkinden farklıdır.


● 3. Hegzagonal Ferritler

- Bu grupta bir çok ferrimanyetik oksit olmasına rağmen, ticari olarak önemi olanlar, Baryum ferrit ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) ve aynı formüle sahip Stronsiyum ferrittir.
- Baryum ferritin hegzagonal yapıda kristallenen birim hücresi 2 molekül içerir. Bu da $2 \cdot 32$ 'den 64 atom demektir.
- Ba^{2+} ve O^{2-} iyonları yaklaşık aynı büyüklüktedir ve manyetik değildirler. Sıkı paket biçiminden düzenlenmişlerdir. En küçük iyon olan Fe^{3+} iyonları ise boşluklara yerleşir.



Şekil 2.4 (a) Baryum ferrit yapısının şematik gösterimi

Birim hücrede her 4 büyük iyonun yerleştiği 10 tane tabaka vardır (Ba^{2+} veya O^{2-}). Bu tabakaların 8 tanesi Oksijenle doludur. Bunlar iki kübik, iki de hegzagonal tabakadır. Kübik bloklarda tetrahedral ve oktahedral bölgeleri dolduran Oksijen iyonları dizilmişken, hegzagonal bloklarda Baryum iyonları dizilidir. Birim hücre bütün olarak hegzagonal simetriye sahiptir.

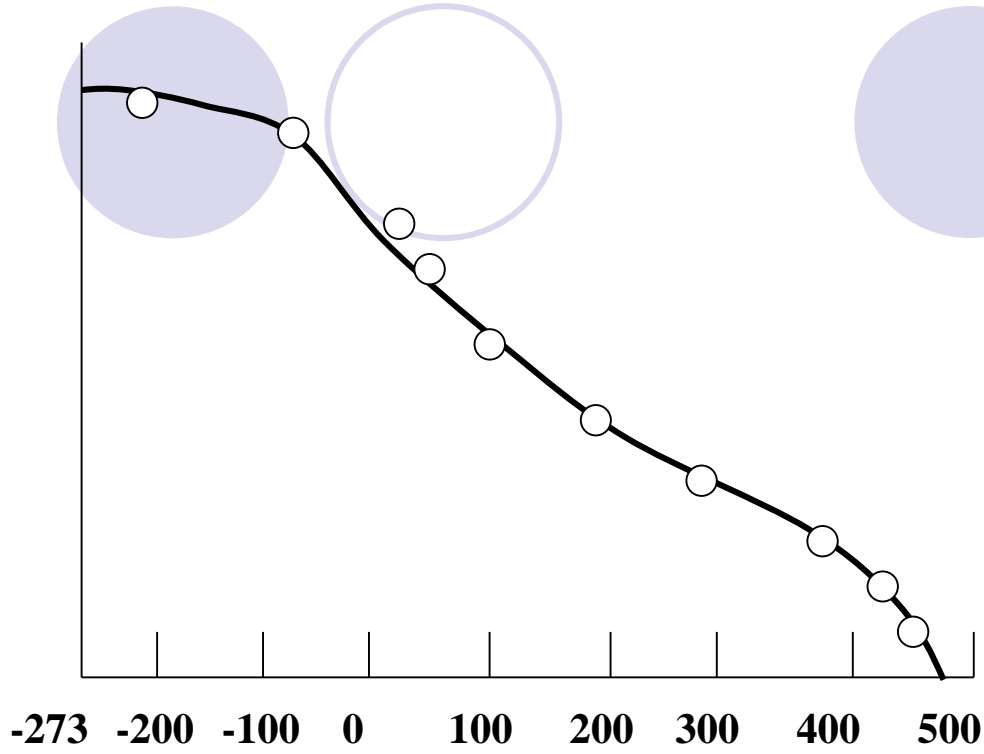


•Baryum ferritteki manyetik özelliğe sahip tek iyon Fe^{3+} iyonlarıdır. Fe^{3+} iyonlarının manyetik momentleri Oksijen tabakalarının düzlemine diktir ve hegzagonal hücrenin +c eksenine ya paralel ya da antiparaleldir. Fe^{3+} iyonlarının spin yönelimi bilinir ve süper değiş-tokuş kuvveti uygulanırsa, spin momentinin yönü kestirilebilir.

Birim hücrede 16 iyonun spini bir yönde, 8 iyonun spini buna zıt yöndedir. v öngörülen manyetik moment(hücre başına) ;

$$(16-8)*5 = 40\mu_B \text{ olur.}$$

•Bu miktar 100 emu/g'a tekabül eder ve 0^0K 'de doyum mıknatıslanması ölçümlerinden elde edilen değerle tamamen örtüşür.



Şekil 2.5 Baryum ferritin doyum mıknatıslanması σ_s 'in sıcaklıkla değişimi

20°C'de
mıknatıslanma 72
emu/g'a düşer ve
Curie sıcaklığı
450°C'dir.

Hegzagonal yapıdaki
diğer ferrimanyetik
oksitler;

