

Metal Fiziđi

Ders Notları

Ders İçeriđi

- **Diamanyetizma**
 - Langevin'in Diamanyetizma Denklemleri
 - Moleküllerin Diamanyetizması
- **Paramanyetizma**
 - Langevin'in Paramanyetizma Denklemleri ve Curie Yasası
 - Paramanyetizmanın Kuantum Teorisi
 - Hund Kuralları ve Paramanyetik İyonlara Uygulanması
 - İletim Elektronlarının Paramanyetik Alınganlığı

Diamanyetizma ve Paramanyetizma

Serbest bir atomun manyetik momentinin 3 temel kaynağı vardır:

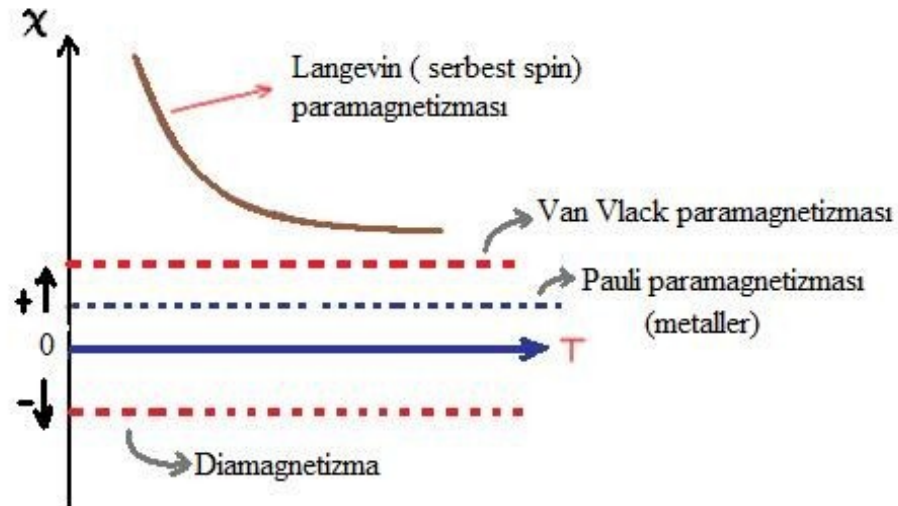
- ❑ Elektronun spini
- ❑ Elektronun çekirdek etrafındaki yörüngesel açısal momentumu
- ❑ Uygulanan manyetik alanla oluşan yörüngesel moment
 - ✓ Bunlardan ilk ikisi mıknatıslanma paramanyetik, üçüncüsü ise diamanyetik katkıda bulunur.
 - ✓ Hidrojen atomunun 1s temel düzeyinde yörüngesel moment sıfırdır. Toplam manyetik moment elektronun spini ile küçük bir diamanyetik moment oluşturur.
- ❑ Helyum'un $1s^2$ düzeyinde ise yörünge ve spin manyetik momentleri sıfırdır. manyetik momenti, dış alanın oluşturduğu diamanyetik moment oluşturur.
- ❑ Herhangi bir atomun dolu elektron tabakalarında, yörünge ve spin momentleri sıfırdır.
- ❑ Mıknatıslanma (M), birim hacim başına manyetik moment olarak tanımlanır.

$$\chi = \frac{M}{B}$$

(C.G.S)

$$\chi = \frac{\mu_0 M}{B}$$

- ❑ Manyetik alınganlık (birim hacim) χ olarak gösterilir. Burada B makroskopik manyetik alan şiddetidir.
- ❑ Her iki birim sistemde χ birimsiz bir sayıdır.
- ❑ χ manyetik alınganlığı, birim kütle veya mol başına da tanımlanmaktadır. Molar manyetik alınganlık χ_M olarak tanımlanır.
- ❑ Tüm maddeler manyetik alınganlıklarına göre sınıflandırılırlar.



Langevin'in Diamanyetizma Denklemleri

Diamanyetizma, elektrik yüklerinin uygulanan manyetik alandaki yönelimleriyle ilgilidir. Bu olay, elektrikteki **Lenz kanununun** bir benzeridir.

- ❑ Bir elektrik devresinde akı değişince indüksiyonla oluşan akım, akı değişimine karşı koyacak yöndedir.
- ❑ Dirençsiz bir devrede, bir süper iletkende veya atom içindeki bir elektron yörüngesinde ise oluşan akım, alan ne kadar uygulanırsa o kadar süre kalır.
- ❑ İndüksiyon akımının meydana getirdiği manyetik alan, uygulanan alanla zıt yönlüdür.

$$\omega = \frac{eB}{2mc} \quad (\text{C.G.S})$$

$$\omega = \frac{eB}{2m}$$

□ Çekirdek etrafında dönen elektronun hareketini incelersek, başlangıçta çekirdek etrafında sıfır olan elektron akımı, B manyetik alanının uygulanmasıyla çekirdek etrafında net bir elektrik akımı oluşur. Bu akım manyetik momenti oluşturur. manyetik moment ise uygulanan alanla zıt yöndedir.

$$I = (-Ze) \left(\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{eB}{2m} \right)$$

□ Meydana gelen akım:

□ İçinden I akımı geçen bir telin μ manyetik momenti; “I x (Telin yüzeyi)” olarak verilmektedir. Yarıçap ρ ise yüzey $\pi\rho^2$ olarak yazılmaktadır. Buna göre manyetik moment:

$$\vec{\mu} = -\frac{Ze^2 \vec{B}}{4mc^2} \langle \rho^2 \rangle$$

(C.G.S)

$$\vec{\mu} = -\frac{Ze^2 \vec{B}}{4m} \langle \rho^2 \rangle$$

$$\langle \rho^2 \rangle = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle$$

veya en genel olarak

$$\langle r^2 \rangle = \langle x^2 \rangle + \langle y^2 \rangle + \langle z^2 \rangle$$

Atom, küresel simetriye sahip olduğundan;

$$\langle x^2 \rangle = \langle y^2 \rangle = \langle z^2 \rangle = (1/2)\langle \rho^2 \rangle$$

$$\langle r^2 \rangle = (3/2)\langle \rho^2 \rangle$$

$$\vec{\mu} = -\frac{Ze^2 \vec{B}}{4m} \cdot \frac{2}{3} \langle r^2 \rangle$$

$$\vec{\mu} = -\frac{Ze^2 \vec{B}}{6m} \langle r^2 \rangle$$

Buna göre birim hacim başına manyetik alınganlık;

$$\chi = \frac{N\mu}{B}$$

N: Birim hacim başına atom sayısıdır.

$$\chi = -\frac{NZe^2}{6mc^2} \langle r^2 \rangle \quad (\text{C.G.S})$$

$$\chi = \frac{\mu_0 N\mu}{B} = -\frac{\mu_0 NZe^2}{6m} \langle r^2 \rangle$$

Bunlar klasik olarak elde edilen **LANGEVİN SONUÇLARI**'dır.

□ Yalıtılmış bir atomun diamanyetik alınganlığının hesaplanmasında en önemli sorun, atom içindeki elektron dağılımından giderek $\langle r^2 \rangle$ nin hesaplanması problemidir.

□ Bu dağılım kuantum mekaniğinde hesaplanabilir. Nötral atomlar içinde, deneysel olarak en kolay soygaz atomları için bulunmuştur.

	He	Ne	Ar	Kr	Xe
χ_M (C.G.S)	-1,9	-7,2	-19,4	-28,0	-43,0
$10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol}$	2	10	18	36	54

Moleküllerin Diamanyetizması

Moleküllerde, uygulanan alanın doğrultusu, molekülün simetri eksenlerinden biri olarak seçilir.

- Fakat birçok moleküler sistemde bu kural gerçekleşmez ve bu nedenle de Van Vlack'ın en genel teorisi uygulanır.
- Spin kuantum katsayısı sıfır olan bir sistemde, toplam molar manyetik alınganlık;

$$\chi_m = -\frac{N_0 e^2}{6mc^2} \sum \langle r^2 \rangle + 2N_0 \sum_S \frac{|\langle S | \mu_z | O \rangle|^2}{E_S - E_0}$$

Burada; N_0 avogadro sayısıdır.

$\langle S | \mu_z | O \rangle$: Yörüngesel manyetik momentin, $\langle S | \text{uyarılmış düzeyi ile} | O \rangle$ taban durumu arasında matris elemanıdır.

- Molekülün diamanyetik veya paramanyetik oluşu 2. terimin büyüklüğüne bağlıdır. 2. terim [Van Vlack paramanyetizması](#) olarak bilinir.

H₂ molekülünün normal durumu için;

$$\chi_M = -4,71 \times 10^{-6} + 0,51 \times 10^{-6} = -4,2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 / \text{mol}.$$

DeneySEL değerler $-3,9$ ile $4,0 \times 10^{-6}$ arasındadır.

Paramanyetizma

- χ' ye (+) katkıda bulunan elektronik paramanyetizma, aşağıdaki maddelerde gözlenmektedir:
- Toplam spin'i sıfırdan farklı atomlar, moleküller: serbest sodyum atomu, gaz azotoksit (NO), trifenilmetil gibi serbest radikaller, C (C₆H₅)₃, F merkezi alkali halojenürler.
 - İç tabakaları tam dolu olmayan serbest atom ve iyonlar: geçiş elementleri, geçiş elementleri ile aynı elektronik yapıya sahip iyonlar, Mn⁺², Gd⁺³, U⁺⁴ gibi yer elementleri.
 - Metaller.

Langevin'in Paramanyetizma Denklemleri Ve Curie Yasası :

□ Birim hacimde μ manyetik momentine sahip N atomu bulunan bir sistem düşünelim. Dışarıdan bir B alanı uygulandığında, μ manyetik momentleri ile B alanının etkileşmesi sonucunda aşağıdaki etkileşme enerjisi oluşur:

$$U = - \vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

□ Böyle bir sistem için mıknatıslanma Langevin denklemleriyle verilmektedir.

$$M = N \mu L(x)$$

Burada $L(x)$ Langevin fonksiyonu olup $x = \mu B / k_B T$ dir.

$$L(x) = \coth(x) - \frac{1}{x}$$

$x \ll 1$ için yani zayıf alan veya yüksek sıcaklık için

$$\coth(x) = \frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} + \dots$$

ilk 2 terimi alır, işlem yaparsak;

$$L(x) \approx \frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{1}{x} + \dots \approx \frac{x}{3}$$

Böylece mıknatıslanma

$$M \approx \frac{N\mu^2 B}{3k_B T} = \frac{C}{T} B$$

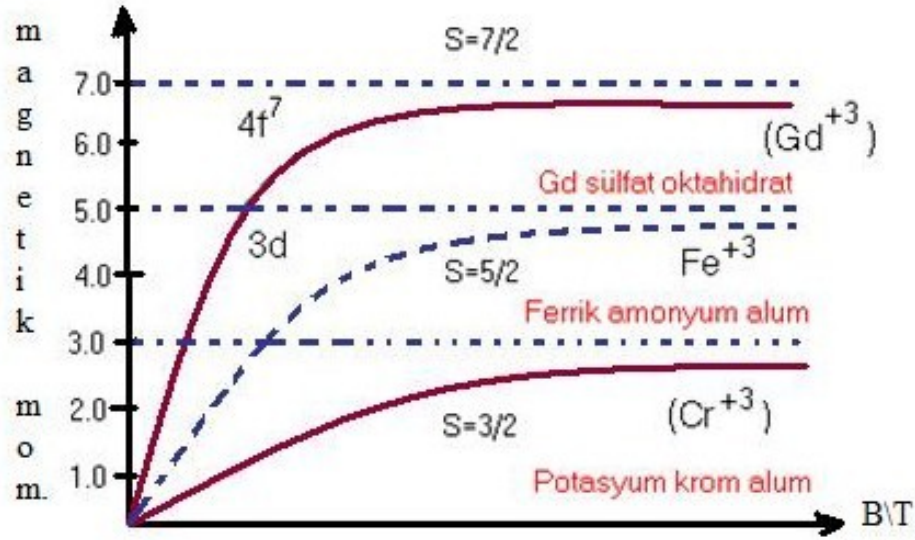
$$C = \frac{N\mu^2}{3k_B}$$

Curie sabiti olup bu bağıntıya Curie yasası denir. Curie yasası yaklaşımında geçerlidir.

□ Bir elektron için $\mu = 0,927 \times 10^{-20}$ erg / gauss; $\mu = 0,927 \times 10^{-23}$ joule / tesla

Oda sıcaklığında (293°K) 10^4 Gauss'luk bir manyetik alan için $\mu B / k_B T \approx 2 \times 10^{-3}$ olmaktadır. Bu koşullar altında da Langevin fonksiyonu $\mu B / 3k_B T$ olmaktadır. $\mu = 0,927 \times 10^{-20}$ Erg / Gauss

$M_{max} = 2S\mu_B$ olmakta



□ Düşük sıcaklıkta manyetik momentlerin doyuma ulaşmaları yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

$$M = C \frac{B}{T}$$

gerçekleşmekte olup T'nin küçük değerleri için her eğride doyum gözlenmektedir.