

## 6 MANYETİK ALANLARIN KAYNAKLARI

### Biot-Savart Kanunu

Yüklerin hareketinden kaynaklanan akımlar manyetik alanın kaynağıdır. Yükler iletken bir telde hareket ettiklerinde bir  $I$  akımı oluştururlar. Bu akımdan dolayı herhangi bir  $P$  noktasındaki manyetik alan, tel çok küçük parçalara bölünerek bulunabilir.

Bu çok küçük " $d\vec{\ell}$ " parçasının  $P$  noktasında oluşturduğu manyetik alan  $d\vec{B}$  ise her bir " $d\vec{\ell}$ " parçasından gelen katkılar tüm tel üzerinden toplanarak  $P$  noktasındaki manyetik alan bulunabilir.

## Biot-Savart Kanunu

Bu küçük " $d\vec{\ell}$ " parçalarının yönü akımın yönündedir, sonsuz küçük akım kaynağı  $I d\vec{\ell}$  olarak yazılabilir. "r" akım kaynağından P noktasına olan uzaklık,  $\hat{r}$  karşı gelen birim vektör olsun. Biot-Savart kanunu,  $I d\vec{\ell}$  kaynağının manyetik alana katkısını verir.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$  serbest (boş) uzayın manyetik geçirgenliği

## Biot-Savart Kanunu

P noktasına tüm tel parçasından gelen katkı

$$\vec{B} = \int_{\text{tel}} d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{tel}} \frac{d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

## Ampere Kanunu

Manyetik alanın teğetsel bileşenini içeren kapalı bir yol boyunca alınan çizgi integrali, bu kapalı yol içerisinde kalan toplam akım ile  $\mu_0$ 'ın çarpımına eşittir. Kararlı akımlar için geçerlidir.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{akımı sarmalayan yol boyunca}}$$

## Solenoid

Solenoid, kangala, sıkıca helisel bir biçimde sarılmış tellerden oluşur. selenoidden kararlı bir  $I$  akımı geçsin. Tel, selenoidin uzunluğunun çapından daha büyük olmasını sağlayacak şekilde birbirine çok yakın bir biçimde sarılırsa, selenoidin bileşke manyetik alan neredeyse düzgün hale gelir.

## Solenoid

Sonsuz uzunlukta sıkıca sarsılmış ideal bir solenoid için

$N$  sarımlı solenoidin içindeki manyetik alan:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{l}$$

$$n = \frac{N}{l} \Rightarrow \text{birim uzunluk başına sarım sayısı}$$

$$K = n I \Rightarrow \text{birim uzunluk başına akım - yüzey akımı}$$

$$B = \mu_0 K$$

## Solenoid

Solenoid sonlu uzunlukta olursa Bu durumda selenoidi çok fazla sayıda dairesel halkadan oluşmuş gibi düşünebiliriz. z-ekseni üzerindeki P noktasındaki manyetik alan:

$$B_z = \frac{\mu_0 n I R^2}{2} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dz'}{\left((z-z')^2 + R^2\right)^{3/2}}$$

$$B_z = \frac{\mu_0 n I}{2} \left\{ \frac{l/2 - z}{\sqrt{(z - l/2)^2 + R^2}} + \frac{l/2 + z}{\sqrt{(z + l/2)^2 + R^2}} \right\}$$

## Toroid

N sarımlı toroid için her yerde manyetik alanı bulalım.

Ampere kanunundan :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{akımı sarmalayan yol boyunca}}$$

$$\oint B dl = B \oint dl = B (2 \pi r) = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r}$$



## Mıknatıslanma

"L" boylu, A kesit alanına sahip uzun bir silindir biçiminde bir malzeme N tane manyetik dipolden oluşsun. Her bir manyetik dipol moment silindirin hacmine düzgün olarak dağılmış olsun. Manyetik dipol momentler silindirin eksenine boyunca yönelmiş olsunlar. **Dış manyetik alanın yokluğunda** yalnızca bu dipollerden dolayı oluşan ortalama manyetik alanı bulalım.

Birim hacimdeki net manyetik dipol moment vektörü manyetizasyon vektörü olarak tanımlanır.

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_j \vec{\mu}_j$$

## Mıknatıslanma

Silindirde bütün dipoller aynı yönelime sahip olduğunda mıknatıslanmanın büyüklüğü

$$M = \frac{N\mu}{AL}$$

Silindirin yüzeyinde eşdeğer akım tarafından oluşturulan manyetik dipol moment

$$I_{\text{eşdeğer}} A = N\mu$$

K yüzey akımı birim uzunluk başına geçen akıma eşittir ve birim hacimdeki manyetik dipol sayısını veren manyetizasyona eşittir.

$$K = \frac{I_{\text{eşdeğer}}}{L} = \frac{N\mu}{A} = M$$

## Mıknatıslanma

Eşdeğer akım tarafından oluşturulan ortalama manyetik alan:

$$B_M = \mu_0 K = \mu_0 M$$

Manyetik alanın yönü mıknatıslanma ile aynıdır.

$$\vec{B}_M = \mu_0 \vec{M}$$

Buradaki manyetik alanın tüm dipollerden kaynaklanan ortalama manyetik alan olduğuna dikkat edilmelidir.

## Paramanyetizma

Paramanyetik malzemeleri oluşturan atom veya moleküller sürekli manyetik dipol momente sahiptir. Bir dış manyetik alanın yokluğunda rasgele düzenlenmişlerdir. Paramanyetik malzeme bir  $\vec{B}_0$  dış manyetik alanı içerisine konulduğunda dipoller,  $\vec{B}_0$  manyetik alanı boyunca yönelmelerini sağlayacak bir torkun etkisinde kalırlar, dolayısıyla  $\vec{B}_0$  manyetik alanına paralel bir mıknatıslanma oluşur. Her iki manyetik alanın toplamından oluşan manyetik alan ise

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$$

## Paramanyetizma

Paramanyetik durumda malzemedeki manyetik dipollerin düzenleniminin toplam manyetik alanı arttırır.

$$\vec{M} = \frac{\chi_m \vec{B}_0}{\mu_0}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} = \vec{B}_0 + \mu_0 \frac{\chi_m \vec{B}_0}{\mu_0} = \vec{B}_0 (1 + \chi_m)$$

$\chi_m$  manyetik alınganlık olarak adlandırılan boyutsuz bir niceliktir.

## Paramanyetizma

$$\kappa_m = 1 + \chi_m \quad \text{ve} \quad \kappa_m = \frac{\mu_m}{\mu_0}$$

$\kappa_m$  malzemenin relatif geçirgenliği olarak adlandırılır. Relatif geçirgenliğin yüksek olması malzemenin manyetik özelliğinin yüksek olduğu anlamına gelir.  $\mu_m$  malzemenin manyetik geçirgenliğidir.

- Paramanyetik malzemeler için  $\mu_m > \mu_0 \Rightarrow \kappa_m > 1$
- Manyetik alınganlık  $\chi_m > 0$  ve  $10^{-6} - 10^{-3}$  mertebesindedir.
- Soygazlar, Au, Cu, Hg, metalik olmayan elementler, B, P, S, iyonlar,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , .....

## Diamanyetizma

Diamanyetik maddeler net manyetik momente sahip olmayan atomlardan oluşur. Ancak mıknatıslanmaya ve ortalama bir  $\vec{B}_M$  manyetik alanına yol açan indüklenmiş manyetik dipol momentler  $\vec{B}_0$  dış manyetik alanına anti paralel olacaklardır. Böylece toplam manyetik alan gücünde bir azalma meydana gelir.

- $\mu_m < \mu_0 \Rightarrow \kappa_m < 1$
- Manyetik alınganlık  $\chi_m < 0$  ve  $-10^{-5}$  ile  $-10^{-9}$  mertebesinde dir.
- Alüminyum, bazı diatomik gazlar  $O_2, NO$ , geçiş elementlerinin iyonları, nadir toprak elementleri ve onların tuzları...

## Ferromanyetizma

Ferromagnetlerde komşu atomik dipol momentler arasındaki güçlü etkileşme, dış manyetik alan sıfır olsa bile bu dipol moment düzenlenimlerini korur. Düzenlenmiş dipoller, bir dış manyetik alana ihtiyaç hissetmeksizin kendileri tarafından üretilen güçlü manyetik alanlar üretirler. Bu durum sürekli olarak mıknatıslanmış olan magnetlerin kaynağını oluşturur.



## Ferromanyetizma

Manyetizasyon ile uygulanan dış manyetik alan arasında tek bir bağıntı yoktur, malzemenin geçmişine bağlıdır. Bu durum histerisis eğrisi ile tanımlanır

- Geçiş elementleri demir, kobalt, nikel, proton sayısı  $64 \leq Z \leq 69$  arasında olan nadir toprak elementleri, bazı mangan karışımları, MnBi,  $Cu_2MnAl$ .

## Atomik Manyetik Momentler

Atomun elektronlarının yörünge manyetik dipol momenti kuantum mekaniksel kaynağı olmasına rağmen klasik olarak türetilebilir. "m" kütleli q yüklü bir "r" yarıçaplı parçacık dairesel bir yörüngede dolanıyor olsun.

Açısal momentumu  $L = mvr$

Yüklü parçacığın dairesel hareketi bir akım ilmeğine benzetilebilir. Manyetik momentin büyüklüğü akım ile dairesel alanın çarpımına eşittir.

$$\mu = IA = \pi r^2$$

## Atomik Manyetik Momentler

Eğer "T" bir tam devir için geçen süre ise akım "q/T" olacaktır. Elektron "2πr" yolunu sabit v hızıyla "T" süresinde alır.

$$2\pi r = vT$$

$$I = \frac{q}{t} = \frac{qv}{2\pi r} \Rightarrow \mu = IA = \frac{qv}{2\pi r} \pi r^2 = \frac{qvr}{2}$$

İfadeyi "m" ile çarpıp bölersek manyetik moment bulunur.

$$\vec{\mu}_e = \frac{q\vec{L}}{2m}$$

## Atomik Manyetik Momentler

Açısal momentum kuantumludur, denklemini  $\hbar$  ile çarpıp bölersek, yörünge hareketinin sebep olduğu manyetik moment bulunur.

$$\vec{\mu}_l = \frac{q\hbar}{2m} \frac{\vec{L}}{\hbar}$$

## Atomik Manyetik Momentler

Elektron için

$$m = m_e \quad q = -e \quad \Rightarrow \quad \vec{\mu} = -\frac{e\hbar}{2m_e} \frac{\vec{L}}{\hbar}$$

Bohr magnetonu  $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$

Elektronun spin hareketinden kaynaklanan manyetik dipol moment

$$\vec{\mu}_s = -2 \frac{e\hbar}{2m_e} \frac{\vec{S}}{\hbar} = -2 \mu_B \frac{\vec{S}}{\hbar}$$

## KAYNAKLAR

Bu ders notları aşağıda verilen kaynaklardan derlenmiştir. Detaylı bilgi için bu kaynaklara başvurulabilir.

- Elektrik ve Magnetizma - 2, Berkeley Fizik Dersleri Edward M. Purcell
- Elektromagnetik Teori / David J. Griffiths
- MIT "Physics 8.02 Electricity and Magnetism" ders notları

<http://web.mit.edu/viz/EM/visualizations/coursenotes/index.htm> (son eriřim tarihi:18 Kasım 2017)

- University of Colorado Boulder "PHYSICS 1120" Ders notları

[https://www.colorado.edu/physics/phys1120/phys1120\\_sp08/notes/scan\\_table.html](https://www.colorado.edu/physics/phys1120/phys1120_sp08/notes/scan_table.html) (son eriřim tarihi 18 Kasım 2017)

- Mühendislik Elektromanyetiđinin Temelleri David K. Cheng,
- Fen Bilimcileri ve Mühendisler için Fizik, D.G. Giancoli