

BÖLÜM 6

Madde içinde Magnetik Alanlar

Doç. Dr. Fulya Bağcı

Ankara Üniversitesi,

Fizik Mühendisliği Bölümü

Bu ders sunumu hazırlanırken aşağıdaki kaynak kullanılmıştır:

Elektromagnetik Teori, David J. Griffiths, Gazi Kitabevi (Çeviri: Prof. Dr. Basri Ünal)

İçerik

- 6.4 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlı Ortamlar
 - 6.4.1 Magnetik alınganlık ve geçirgenlik
 - 6.4.2 Ferromagnetizma

6.4 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlı Ortamlar

6.4.1. Magnetik Alınganlık ve Geçirgenlik

- Paramagnetik ve diyamagnetik malzemelerde mıknatıslanma alan tarafından sürdürülür. B kaldırıldığında M kaybolur.
- Gerçekte çoğu maddeler için alan aşırı kuvvetli olmamak koşuluyla kutuplanan alanla orantılıdır. Elektriksel hal ile gösterimsel tutarlılık açısından

$$\mathbf{M} = \frac{1}{\mu_0} \chi_m \mathbf{B} \quad (\text{fakat yanlış})$$

- $\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H}$ şeklinde B yerine H kullanarak yazılır. χ_m magnetik alınganlıktır. Maddeye bağlı boyutsuz bir büyüklüktür. Paramagnetler için pozitif, diyamagnetiler için negatiftir.
- $\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H}'$ 'ye uygun malzemelere doğrusal ortamlar denir.

Malzeme	Alinganlık	Malzeme	Alinganlık
<i>Diamagnetic:</i>		<i>Paramagnetic:</i>	
Bismuth	-1.7×10^{-4}	Oxygen (O ₂)	1.7×10^{-6}
Gold	-3.4×10^{-5}	Sodium	8.5×10^{-6}
Silver	-2.4×10^{-5}	Aluminum	2.2×10^{-5}
Copper	-9.7×10^{-6}	Tungsten	7.0×10^{-5}
Water	-9.0×10^{-6}	Platinum	2.7×10^{-4}
Carbon Dioxide	-1.1×10^{-8}	Liquid Oxygen (-200° C)	3.9×10^{-3}
Hydrogen (H ₂)	-2.1×10^{-9}	Gadolinium	4.8×10^{-1}

Doğrusal ortamlar için

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0(1 + \chi_m)\mathbf{H}$$

Böylece B de H ile orantılıdır. $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$

μ malzemenin manyetik geçirgenliği adını alır. $\frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi_m$ ise malzemenin manyetik bağıl geçirgenliğidir. Vakumda $\chi_m = 0$ olup manyetik geçirgenlik μ_0 olur. Buna serbest uzayın manyetik geçirgenliği denir.

- **Örnek 6.3:** Sonsuz bir solenoid (birim uzunlukta n sarımlı, I akımlı) alinganlığı olan doğrusal bir malzeme ile doldurulmuştur. Solenoid içindeki magnetik alanı bulunuz.

- **Çözüm:** B kısmen bağlı akımlardan olduğu için hesaplayamayız.

- $\oint \vec{H} d\vec{l} = I_{iç}$

- Simetrik olduđundan H 'yi serbest akımlardan elde edebiliriz:

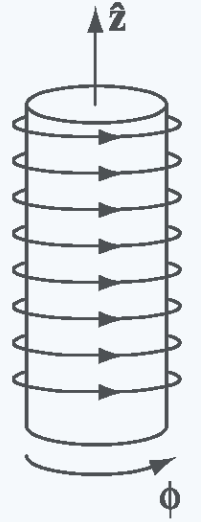
$$\vec{H} = nI\hat{z}$$

- $\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)nI\hat{z}$

- Ortam paramagnetik ise alan hafifçe artırılır. Diyamagnetik olması halinde ise alan biraz azaltılır. Bu,

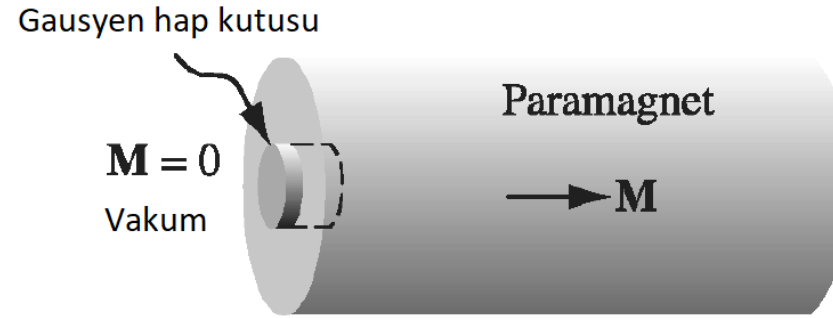
- $\vec{K}_0 = \vec{M} \times \hat{n} = \chi_m (\vec{H} \times \hat{n}) = \chi_m nI\hat{\phi}$

- Bağlı yüzey akımının önceki ($\chi_m > 0$) halde I ile aynı yönde ve son halde ($\chi_m < 0$) ise ona zıt yönde olduğu gerçeğini yansıtır.



- Doğrusal davranışlı ortamların \mathbf{B} ile \mathbf{H} arasındaki paralellikte görülen kusurdan arınmış olduğunu varsayıyor olabilirsiniz: \mathbf{M} ve \mathbf{H} şimdi \mathbf{B} ile orantılı olduklarından dolayı \mathbf{B} 'ninki gibi onların diverjanslarının da sıfır olması gerektiği sonucu çıkmaz mı? Hayır, çıkmaz. Farklı manyetik geçirgenlikli iki malzemenin sınırında \mathbf{M} 'nin diverjansı gerçekte sonsuz olabilir. Örneğin doğrusal paramagnetik malzemedeki bir silindirin ucunda \mathbf{M} bir tarafta sıfır iken diğer uçta farklıdır. Şekilde görülen Gauss hap kutusu için

- $\oint \vec{M} \cdot d\vec{a} \neq 0$ 'dır ve buradan diverjans teoremiyle $\vec{\nabla} \cdot \vec{M}$ içeride her yerde yok olmaz.

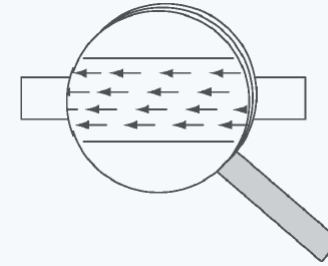


- Türdeş doğrusal bir malzemede bağlı hacim akımı yoğunluğu serbest akım yoğunluğu ile orantılıdır:
$$\vec{J}_b = \vec{\nabla} \times \vec{M} = \vec{\nabla} \times \chi_m \vec{H} = \chi_m \vec{J}_f$$

Serbest akım gerçekten malzeme içinden akmadıkça tüm bağlı akımlar yüzeyde bulunacaktır.

6.4.2 Ferromagnetizma

Dipoller dışardan uygulanan \mathbf{B} ile hizalanır. Ferromagnetler kutuplanmayı devam ettirmek için \mathbf{B} 'ye ihtiyaç duymazlar. Bir kere hizalandı mı hiza donar. Paramagnetizma gibi ferromagnetizma da çiftlenmemiş elektronların spinlerine eşlik eden magnetik dipollerle ilişkilidir. Ferromagnetizmayı paramagnetizmadan farklı kılan özellik dipolün bitişik komşusu ile aynı yönde yönelmeyi yeğlemesidir. Bu tercih kuantum mekanikseldir. Çiftlenmemiş elektron spinlerinin hemen hemen %100'ünü hizalayacak kadar kuvvetlidir. Bir demir parçasını büyüterek bakabilseydik şekildeki temsili oklar gibi tüm spinlerin aynı yöne baktığını görebilirdik.



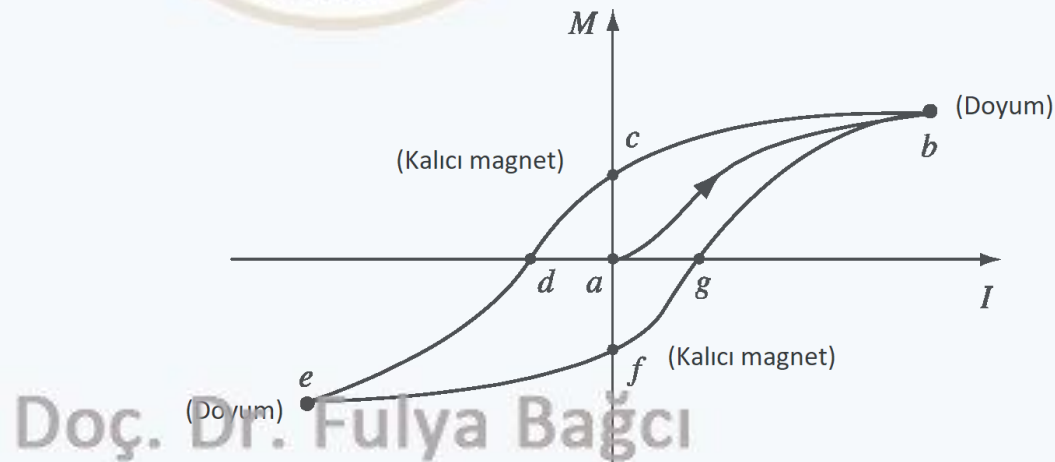
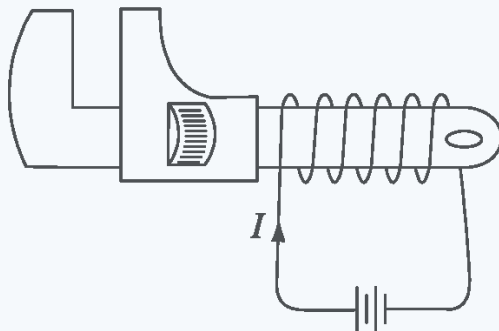
Fakat her yerde böyle bir yönelim olsa her takım anahtarı ve çivi güçlü bir mıknatıs olurdu. Hizalanma bölgeler denilen küçük parçalar içinde oluşur. Bu bölgeler milyarlarca dipol içerir ve uygun teknikler altında mikroskopla görüldüğünde şekildeki gibidir.

Bölgelerin tercihen kendileri kristal eksenleri boyunca yönelmiştir. Evde kullanılan takım anahtarı çok sayıda bölge içerir ve onların magnetik alanları birbirini yok eder. Bu sebeple büyük çapta kutuplanma yoktur. O halde sürekli bir mıknatısı nasıl elde edebiliriz?

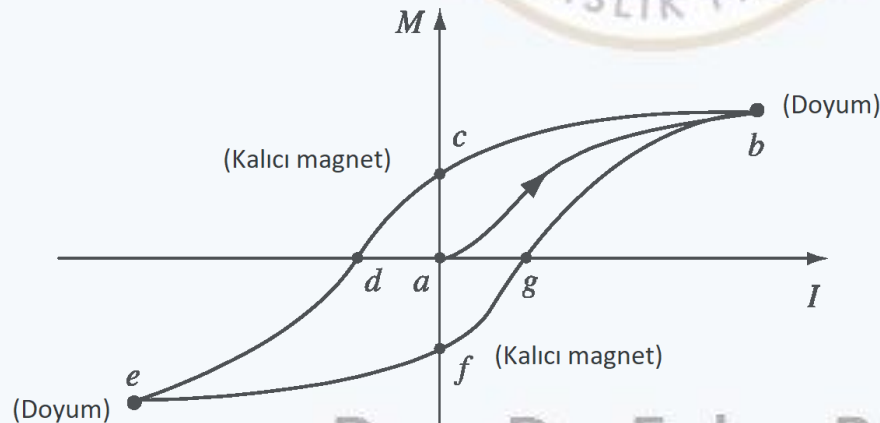
Bir parça demiri kuvvetli bir magnetik alan içerisine koyarsanız $\mathbf{N}=\mathbf{m}\times\mathbf{B}$ torku dipolleri alana paralel hizalamaya çalışır. Dipoller kendi komşularına paralel kalmayı sevdiklerinden çoğunlukla bu torka direnirler. Bununla birlikte iki bölgenin sınırında birbiri ile yarışan komşular vardır ve tork alana en yakın şekilde paralel duran bölgeyi beğenerek ondan yana ağırlığını koyacaktır. Bu bölge daha az beğenilen bölgeden dönmeler kazanacaktır. Magnetik alanın net etkisi bölge sınırlarını hareket ettirmektedir. **Alana paralel olan bölgeler büyür ve diğerleri daralır.** Alan yeterince kuvvetliyse bir bölge hepsini yutar ve demirin "doymuş" olduğu söylenir.

Bir dış alana paralel olarak bölge sınırlarının kaymasının tamamen tersinin olmadığı anlaşılmıştır. Alan kapatıldığında gelişigüzel yönelmiş bölgelere **bir miktar** dönüş olacaktır. Fakat orijinal yöndeki bölgelerin üstünlüğü devam etmektedir. Şimdi cisim sürekli bir mıknatıstır.

- Mıknatıslanacak cismin etrafına telden bir bobin sararak bunu pratik biçimde uygulayabiliriz. Bobinden I akımı geçirilince şekilde sola doğru yönelmiş dış magnetik alan sağlanır. I akımı arttıkça B artar, bölge sınırları büyür, mıknatıslanma artar. En sonunda tüm dipollerin hizalı olduğu doyma akımına ulaşılır. Bu noktada I 'daki artışlar M 'de değişime yol açmaz (Şekil 6.28b).
- Şimdi akımı azalttığınızı varsayınız. $M=0$ 'a aynı yoldan geri gitmek yerine gelişigüzel yönelmiş bölgelere kısmi bir dönüş vardır. M azalır, fakat akımın kesilmesi halinde bile bir miktar kalıcı mıknatıslanma vardır (c noktası). Takım anahtarı şimdi sürekli bir mıknatıstır.

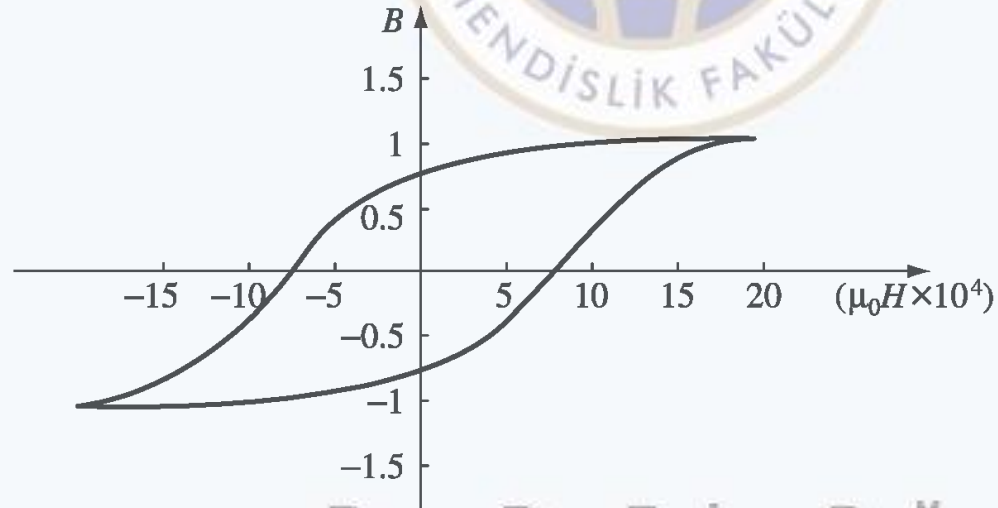


- Kalan mıknatıslanmayı yok etmek istiyorsanız bobin üzerinde geriye doğru akım akıtmalısınız (negatif I) Şimdi dış alan sağa doğru yönelmiştir ve I 'yı negatif olarak artırdıkça M sifira kadar azalır (d noktası). I 'yı daha da artırırsanız çabucak diğer yönde doyuma ulaşırsınız. Şimdi tüm dipoller sağa doğru yönelmiştir (e noktası). Bu aşamada akımın kesilmesi anahtarı sağa doğru kalıcı bir şekilde mıknatıslamış olarak bırakır (f noktası). Hikayeyi tamamlamak üzere I 'yı pozitif yönde yeniden veriniz: M sıfır noktasına geri döner (g noktası) ve en son olarak ileri yöndeki doyuma noktası b'ye varır. Çizdiğimiz yola bir **histeresis halkası** adı verilir.



a-b: akımı pozitif yönde artırdık
 b-c: akımı azaltıyoruz ve c'de $I=0$ oldu.
 c-d: akımı negatif yönde artırmaya başladık
 d-e: akımı negatif yönde daha da artırdık
 e-f: akımı negatif durumda iken pozitif yönde artırıyoruz. f'de $I=0$ oldu.
 f-b: akımı pozitif yönde artırıyoruz

- Takım anahtarının kutuplanması yalnızca uygulanan alana değil aynı zamanda onun magnetik geçmişine de bağlıdır. Örneğin deneyimizde üç ayrı zamanda $I=0$ 'dı. Yine de bunların her birinde mıknatıslanma farklıdır. Gerçekte histeris halkalarını I 'ya karşı M 'den çok B 'nin H 'ye karşı çizitleri olarak çizmek gelenekseldir. Bobinimiz için $\mathbf{H}=n\mathbf{I}$ 'dır. Öte yandan $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$ dir. Fakat uygulamada H ile karşılaştırıldığında M çok büyüktür. O yüzden B 'nin direk M ile orantılı olduğu söylenebilir. Birimleri tutarlı yapmak için $\mu_0\vec{H}$ yi yatay ekseninde gösterelim. Düşey ölçek olan \vec{B} yataydan 10^4 kat daha büyüktür. $\mu_0\vec{H}$ herhangi bir demirin yokluğunda bizim bobinin oluşturacağı alandır.

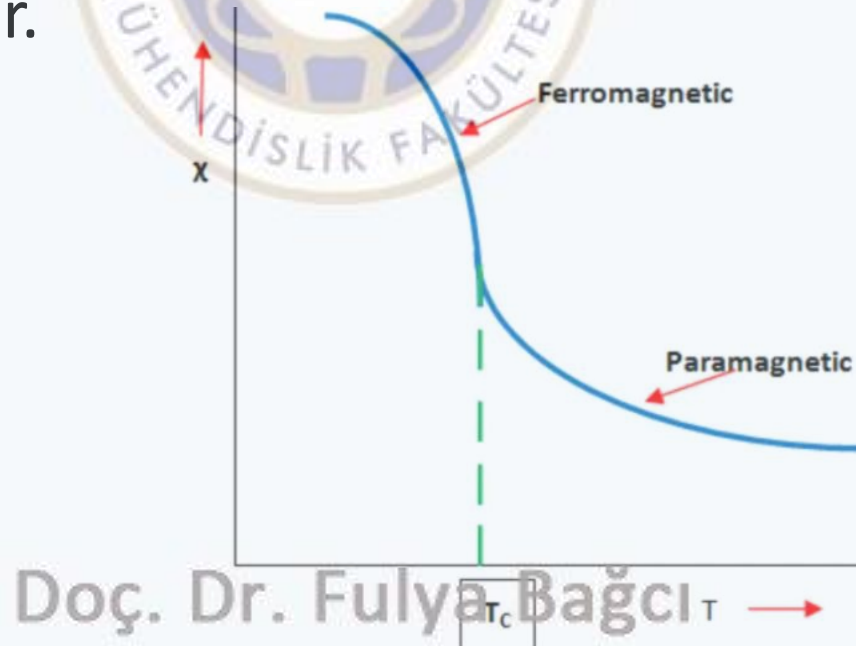


Doç. Dr. Fulya Bağcı

- Etrafta ferromagnetik alanlar bulunduğunda çok küçük bir akımın etkisi büyük olur. **Güçlü bir elektromıknatis** yapmak isteyenlerin bobini demir bir çekirdek üzerine sarması bu yüzden (şekile bakınız). Bölge sınırlarını hareket ettirmek fazla bir dış alan istemez ve onu uygular uygulamaz demir içindeki bütün dipoller alanla birlikte davranmaya başlar.



- Ferromagnetizma ile ilgili son bir nokta: Bütün bunların hepsi verilen bir bölge içindeki dipollerin birbirine paralel hizalanmış olmasından kaynaklanır. Gelişigüzel ısısal hareketler bu düzen ile yarışır. Fakat sıcaklık aşırı yüksek hale gelmedikçe dipollerin dizilişini bozamaz. Fakat belirli bir çok yüksek sıcaklık bu hizalanmayı bozar. **Curie sıcaklığı** denilen bu sıcaklığın altında demir ferromagnetik üstünde paramagnetiktir. **Curie noktası** ferromagnetikten paramagnetığe yavaş bir geçişin olmaması yönü ile daha çok kaynama veya donma noktasına benzer. Bir maddenin özelliklerindeki keskin şekilde tanımlanmış sıcaklıklarda oluşan bu ani değişimler istatistiksel mekanikte **faz geçişleri** olarak bilinmektedir.



Manyetik malzemeler

1 H																	2 He	
		<input type="checkbox"/> Paramagnetic <input type="checkbox"/> Diamagnetic																
		<input type="checkbox"/> Ferromagnetic <input type="checkbox"/> Antiferromagnetic																
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac																
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		