

III.10.MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ

III.10.01. MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ

Önceki bölümlerimizde hareketli yüklerin ve çeşitli akım şekillerinin boşlukta (karesel, dairesel çerçeve, selenoid v.b.) oluşturduğu manyetik alanları incelemiştik. Hareketli yükler ve akım şekilleri boşlukta değilde bazı maddelerden meydana gelen ortamda bulunurlarsa, bunların oluşturdukları manyetik alan boşluğa göre çok az farklı olacaktır. Bununla birlikte *ferromanyetikler* diye isimlendirilen bazı maddelerin oluşturduğu ortamda hareketli yükler ve akım şekillerinin oluşturduğu manyetik alan değeri boşluğa göre çok farklı olacaktır. Güncel olarak kullanılan, elektrik jeneratörleri, motorları, transformatörler ve ev aletlerinde akımcı oluşturulan manyetik alanlardan daha iyi yararlanmak için bunların yapısal parçası olan çatılarında *demir, çelik veya demir alaşımları* kullanılır. Bu çatılar hem meydana gelen manyetik akıyı arttıırırlar hemde bu akıyı istenilen bölgeye yönlendirirler.

Genelde herhangi bir akım ilmeği manyetik alana ve buna karşılık gelen manyetik momente sahiptir. Benzer şekilde bir maddedeki manyetik momentler, iç atomik akımlardan kaynaklanırlar. Bu akımların, elektronların çekirdek etrafında ve çekirdekdeki protonların birbirleri etrafında

dolanımlarından ileri geldikleri söylenir. Elektronlardan kaynaklanan manyetik momentler, daha açık olarak elektronun net manyetik momenti elektronun yörüngesel hareketiyle, spin deneni iç özelliğinin birleşiminden meydana gelir. Bu manyetik dipol momentlerinin aralarındaki karşılıklı etkileşim kuvvetleri ve dış manyetik alan etkileşimleri, manyetik maddeyi anlayabilmek bakımından önemlidir. Bu amaçla, *paramanyetik*, *ferromanyetik* ve *diyamanyetik* olmak üzere üç madde çeşidi tanımlanır. Paramanyetik ve ferromanyetik sürekli dipol momentli atomlara sahiptir. Diyamanyetik maddelerin atomları ise sürekli dipol momente sahip değildir.

Daha açık olarak cisimler az veya çok şiddetli olmak üzere manyetik özellikler gösterirler. Maddeler manyetik alandaki mıknatıslanmalarına göre *paramanyetik*, *ferromanyetik* ve *diyamanyetik* olmak üzere üç kısımda toplanırlar.

Elektrikte, birbirine yakın iki eşit zıt yük bir dipol momentini oluşturlar. Manyetizmada ise birtek manyetik yükten bahis edilemez çünkü böyle bir şeye şimdye kadar rastlanamamıştır. N ve S kutbu olan bir çubuk mıknatısı nekar küçük parçalara bölersek bölelim, sonunda elde edilecek elemanter parçada iki kutuplu olmayı muhafaza edecektir. Böyle bir yapı manyetik dipol momentini adı verilen μ ile tanımlanır. Halka şeklindeki elektrik devreleri (halka şeklindeki akım şekilleri), kısa solenoidler, çubuk şeklindeki mıknatıslar, kendilerinden belli bir uzaklıkta bir manyetik dipole özdeş etki göstermektedirler ve böylece bunlara manyetik dipol denilmektedir. Bir dipolün kutuplarının yerini bir manyetik alan içinde tayin edebiliriz Manyetik dipol'ün değerinde, yine dipolün bir manyetik alanda dönmesinde oluşan momentten yararlanarak tayin edebiliriz. Buna göre ,

$$\tau = \mu \times B \quad (01)$$

bağıntısından μ tayin edilir. Bir manyetik dipolün oluşturduğu manyetik alan,

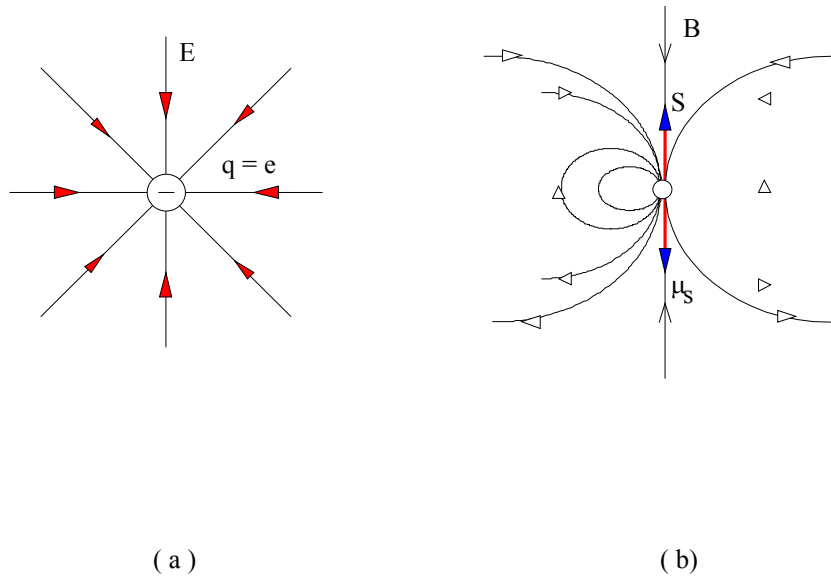
$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi r^3} \quad (02)$$

bağıntısıyla verilir.

Durgun fakat kendi üzerinde bir topaç gibi dönen bir elektron aynı zamanda küçük bir mıknatıs gibi davranmak ve bu spin hareketi yüzünden bir manyetik momente sahip olmak zorundadır .

Kendi eksenini etrafında dönen bir elektronun kendine özgü bir açısal momentumu S ve bunun hareketine ilişkin manyetik dipol momentini μ_s vardır. (Şekil 01. b). Bununla birlikte elektronun şekli ve taşıdığı yükün dağılımı kesin hiçbir şey bilinmemektedir.

Serbest elektronun bir elektrik alanı (\mathbf{E}) vardır (Şekil 01.a.).



Şekil 0 1.a.b

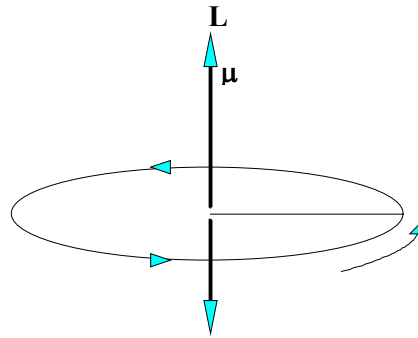
Maddelerin mıknatıslanması, birim hacimdeki atomlara ait manyetik momentlerin uygulanan dış manyetik alanla aynı doğrultulu hale gelmeleri olarak tanımlanır. Bu mıknatıslanmanın P.Curie tarafından denel bazlı olarak önerilen değeri ,

$$M = C \frac{B}{T} \quad (03)$$

dir. (03) bağıntısına Curie yasası denilmekte ve burada T ortamın mutlak sıcaklık eşelindeki değerini , C 'de Curie sabitini göstermektedir. (0 3) bağıntısı B / T nin 0,4 değerine kadar denel değerlerle oldukça uyum içindedir ve bundan daha büyük değerler ait değişimleri incelemek için devreye modern *kuantum fiziği* girer. Mıknatıslanmayı belirleyen M değerinin artması, ancak birim hacimdeki (N tane) tüm atomlara ait her birinin manyetik momentini μ ile verilen toplam dipol momentlerinin alanla çakışması haline karşılık gelen maksimum $M_{\max} = \mu (N / V)$ değerine kadardır

III. 10 . 0 2 . ATOMLARIN MANYETİK MOMENTLERİ

Klasik atom modeline göre elektron ağır bir çekirdek etrafında r yarıçaplı bir yörüngede v hızıyla dolmaktadır (Şekil 02). Bu klasik teori kuantum fiziğinin önerdiği teori ile uyum içindedir. elektron çekirdek etrafında $2\pi r$ lik (devrenin çevre uzunluğu) yolu T (periyot) zamanda dolarsın, bu elektronun bu devrede bir dolanımda oluşturacağı akım,



$$I = \frac{e}{T} = \frac{e\omega}{2\pi} = \frac{ev}{2\pi r}$$

olacaktır. Bu akım ilmeğinin manyetik momenti, $S = \pi r^2$ ve $\mu = IS$ bağıntılarından

$$\mu = IS = \left(\frac{ev}{2\pi r} \right) \pi r^2 = \frac{1}{2} evr \quad (04)$$

olacaktır. Elektronun açısal momentumunun büyüklüğü $L = m v r$ olduğundan (01) bağıntısı

$$\mu = \left(\frac{e}{2m} \right) L \quad (05)$$

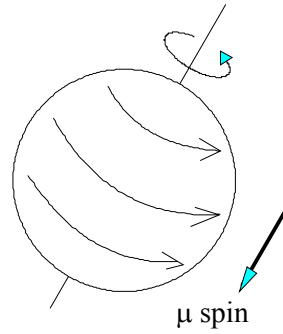
şeklinde de yazılır. (02) bağıntısına göre yörüngesel manyetik moment yörüngesel açısal momentumla orantılıdır. Elektron negatif yüklü olduğundan μ ve L vektörleri ters yönlüdürler ve yörünge düzlemine diktirler (Şekil 02). kuantum fiziğine göre \hbar Planck sabiti olmak üzere ($\hbar = h/2\pi = 1,054.10^{-34}$ j.s), yörünge açısal momentumu her zaman kesikli (kuantumlu) ve her zaman \hbar in tam katları şeklindedir. Daha açık olarak,

$$L = 0, \hbar, 2\hbar, 3\hbar$$

dır. Manyetik momentin sıfır olmayan en küçük değeri (05) bağıntısına göre

$$\mu = \frac{e}{2m} \hbar \quad (06)$$

dır. Tüm maddelerin elektronları olduğu halde onların bir kısmının neden manyetik olmadıkları aşağıdaki gibi açıklanır. Maddelerin çoğundaki atomda bir elektronun manyetik momentinin yine aynı atomun ters yönde dönen elektronunun manyetik momentıyla dengelenerek etkisiz hale getirilmesi sonucu madde manyetik olmaz. Sonuç olarak maddelerin çoğu, elektronlarının yörüngesel hareketlerinin oluşturduğu manyetik etkisi ya sıfır ya da çok küçüktür.



Şekil 03

Elektronun spin özelliği nedeniyle elektron manyetik momente katkıda bulunur. Kuantum mekaniğine göre spin özelliği dönen bir elektronun bir akım ilmeği oluşturması ve dolayısıyla manyetik moment oluşturmasından meydana gelir (Şekil 03). Bu momentin büyüklüğü; yörüngesel manyetik momentle aynı mertebededir. Spin açısal momentumunun büyüklüğü kuantum teorisine göre

$$S = \left(\frac{h}{2\pi} \right) \frac{1}{2} = 5,2729 \cdot 10^{-35} \text{ j.s}$$

dir. Bir elektron spininden oluşan iç manyetik momentin değeri de

$$\mu_B = \frac{e}{2\pi} \hbar = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ j/T}$$

dir ve buna BOHR MAGNETRONU adı verilir.

Çok sayıda elektronu olan atomlar veya iyonlarda genellikle elektronlar, spinleri zıt yönde yönelecek biçimde çift oluştururlar. Böylece spin manyetik momentleri birbirini yok eder. Genelde tek sayıda elektronu olan atomların en azından bir tane çiftlenmemiş elektronu ve buna karşılık gelen spin manyetik momentleri vardır. Bir atomun toplam manyetik momentleri, spin ve yörüngesel manyetik momentlerinin vektörel toplamıdır.

Bir atomun çekirdeğindeki proton ve nötronlardan kaynaklanan çekirdek manyetik momenti de vardır. Çekirdeksel manyetik momentler elektronun manyetik momentinden yaklaşık olarak 10^3 kez daha küçüktürler.

III.10.03.MIKNATISLANMAŞİDDEİ- MANYETİK ALAN ŞİDDEİ MANYETİK ALINGANLIK

Maddenin manyetik halini anlatım amacıyla *mıknatıslanma vektörü* (**M**) denen bir niceliğin kullanılması kolaylık sağlamaktadır. M birim hacim başına manyetik momenti gösterir bunun SI deki birimi A / m dir. Mıknatıslanma vektörünün şiddeti, birim hacimdeki maddenin toplam manyetik momentini verir.

Bir maddenin toplam manyetik alanı, maddenin mıknatıslanmasına ve ona uygulanan dış alana bağlıdır. İçinden akım geçen içi boş bir toroid sargısının içinde akım tarafından oluşturulan manyetik alan B_0 olsun. Eğer bu sargım içi bölgeye manyetik bir çekirdek madde konursa ve bu çekirdek maddenin oluşturduğu manyetik alan da B_m ise, bu kez oluşturulan toplam manyetik alan değeri $B=B_0+B_m$ olacaktır. Diğer taraftan **M** mıknatıslanma vektörü cinsinden $B_m=\mu_0M$ olarak ifade edilir.. Buna göre maddedeki toplam alan ,

$$B=B_0+\mu_0M \quad (07)$$

dir. B ' yi veren tüm bağıntılarda boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı μ_0 , I akım şiddeti ve akımın şekline bağlı geometrik çarpanlar bulunmaktadır. Bu bağıntıların μ_0 ' a bölünmesiyle oluşan bağıntıya *manyetik alan şiddeti* denir ve bu alan **H** senbolüyle gösterilir. Buna göre boşlukta yani manyetik maddelerin bulunmadığı bir ortam için veya bir bobin içinde bir çekirdek madde yoksa,

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} \quad (08)$$

Olur. H manyetik alan şiddetinin SI deki birimi A / m dir.07 bağıntısını 08 tanımına göre daha kullanışlı olabilmesi amacıyla ,

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

şeklinde yazabiliriz.

Buradan içinde manyetik maddeden çekirdek bulunan bir kangalın oluşturduğu toplam manyetik alan akı yoğunluğu

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (09)$$

bağıntısı elde edilir. SI birim sisteminde \mathbf{H} ve \mathbf{M} ' in boyutları A/m dir.

Genellikle paramanyetik ve diamanyetik maddelerde ve maddelerin çoğunda \mathbf{M} mıknatıslanması, \mathbf{H} alan şiddetiyle orantılıdır. Buna göre bu tür maddelerde,

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H} \quad (10)$$

bağıntısı geçerli olur. Burada χ niceliğine *maddenin alınganlığı* (*süseptibilite* veya *duygunluk*) denir ve boyutsuzdur. Paramanyetik maddelerde χ pozitifdir ve \mathbf{M} vektörüyle \mathbf{H} vektörü aynı yönlüdürler. Madde diamanyetik ise χ negatiftir ve \mathbf{M} ile \mathbf{H} ters yöndedirler. (10) bağıntısı yani \mathbf{M} ile \mathbf{H} arasındaki lineer bağımlılık ferromanyetik maddeler için geçerli değildir.

(10) bağıntısı (09) de yerine iletilirse

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

ve

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi) = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{H}} \quad (11)$$

olarak alınırsa,

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (12)$$

elde edilir. μ sabitine maddenin geçirgenliği adı verilir. Maddelerin μ geçirgenlikleri, μ_0 serbest uzayın geçirgenliği olmak üzere aşağıdaki gibi ,

Paramanyetik maddelerde	$\mu > \mu_0$
Diamanyetik maddelerde	$\mu < \mu_0$
Ferromanyetik maddelerde	$\mu \gg \mu_0$

ayrılırlar.

Paramanyetik ve diamanyetik maddeler için χ çok küçük olduğundan bunların μ değeri yaklaşık olarak μ_0 a eşittir. Ferromanyetik maddelerde \mathbf{M} , \mathbf{H} ' ın lineer fonksiyonu değildir. Bunun nedeni μ nün maddenin karakteristik özelliği olmaması ve onun önceki durumuna ve geçirdiği işlemlere bağlı olmasıdır.

Diğer taraftan maddenin geçirgenliğinin serbest uzayın geçirgenliğine oranına *bağlı manyetik geçirgenlik* μ_r adı verilir. Buna göre;

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi = \frac{B}{B_0} = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (13)$$

olacaktır.

III.10.04.FERROMANYETİK, PARAMANYETİK, VE DİAMANYETİK MADDELER

1 - FERROMANYETİK MADDELER

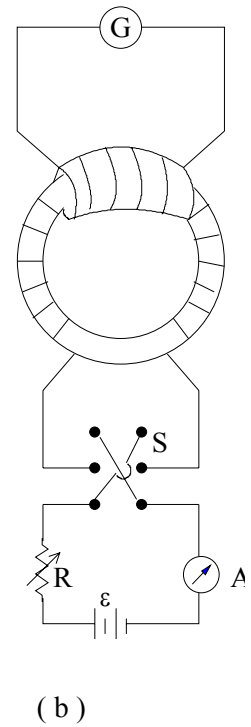
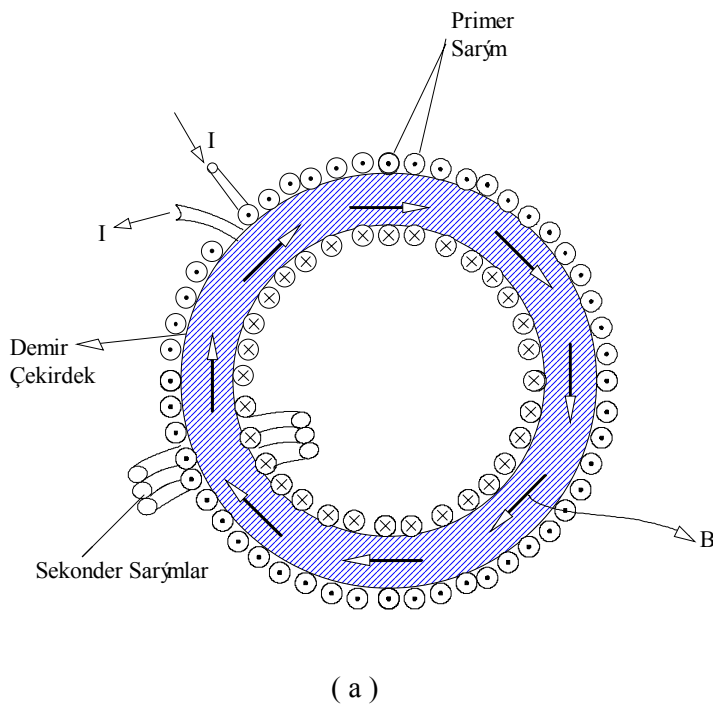
Demir, kobalt, nikel, godyum ve dispozyum oldukça manyetik maddelerdir ve bunlara ferromanyetik madde denir. Ferromanyetik maddeler devamlı (sürekli) mıknatısların yapımında kullanılırlar. Bunlar zayıf bir manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipollere sahiptirler. Bu manyetik dipoller bir kere paralel hale getirildikten sonra dış alan ortamdaki kaldırılabilir madde mıknatıslanmış olarak kalır. Bu sürekli yönelme komşu manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimden kaynaklanır. Bu etkileşimin anlaşılabilmesi kuantum mekaniksel ifadelerle olur.

Bu tür maddeler bir manyetik alan içinde alan yönünde ve çok şiddetli olarak mıknatıslanırlar. Ferromanyetik maddeler bir mıknatısca kuvvetli olarak çekilirler ve çubuk şeklinde iseler asıldıklarında, çubuğun uzun eksenini alan doğrultusuna paralel oluncaya kadar bir moment etkisinde kalırlar. Bu maddelerin manyetik momentleri, termik etkilere rağmen dış manyetik alanla üst üste gelirler. Eğer maddenin sıcaklığı, Curie sıcaklığı adı verilen değerden daha yukarıya çıkarılırsa bu üst üste gelme bozulur ve madde ferromanyetik halden diamanyetik hale gelir. Demir için Curie sıcaklığı $1043^\circ \text{K} = 770^\circ \text{C}$ dir. Ferromanyetizma atom ve iyonların kendine özgü bir özelliği değil, komşu atom ve iyonların yapısal kurgu içinde etkileşim biçimlerinden kaynaklanır. Ferromanyetik bir madde bir solenoidin veya halka sarımın içine sokularak, bunların içinde ferromanyetik madde yokkenki

(Boşluk veya hava) halinden çok daha büyük değerde B değerleri elde edilir. Ferromanyetik maddelerde yaklaşık olarak $B = 4,4 \cdot 10^{-3} T$ lık bir dış alan onların dipollerinin ancak % 75'ini aynı doğrultuya getirebilir. Ancak bu alanın değeri 1,0 T. değerinde olursa bu kez dipollerin % 95 'i aynı doğrultuya gelir. Ferromanyetik bir maddeden örnek olarak yassı bir çubuktan yapılmış demir halka (çekirdek) üzerine yalıtılmış tel sarımlardan N tane sarılarak (*primer sarım*) toroid biçiminde bir halka bobin (*Rowland halkası*) elde edilir. Bu sarımların üstüne *sekonder* sarım sarılır ve bu bobinin uçları bir balistik galvanometreye bağlanır. Bu tür bir Rowland halkası ile ferromanyetik maddelerin mıknatıslanmaları incelenir (Şekil 04.a,b.). Rowland halkasının içinde demir çekirdek yokken manyetik alanın değeri B_0 ve demir çekirdekten gelen manyetik katkı manyetik alanın değeri B_m ise , demir çekirdekli halkanın içindeki toplam manyetik alan değeri

$$B = B_0 + B_m \quad (14)$$

olacaktır. Burada B değeri B_0 'dan çok daha büyük değerlerdedir. B_m demir içindeki dipol momentlerin aynı doğrultulu hale gelmesinden kaynaklanmaktadır ve buna göre B_m , M mıknatıslanma değeriyle orantılıdır.



Şekil 04

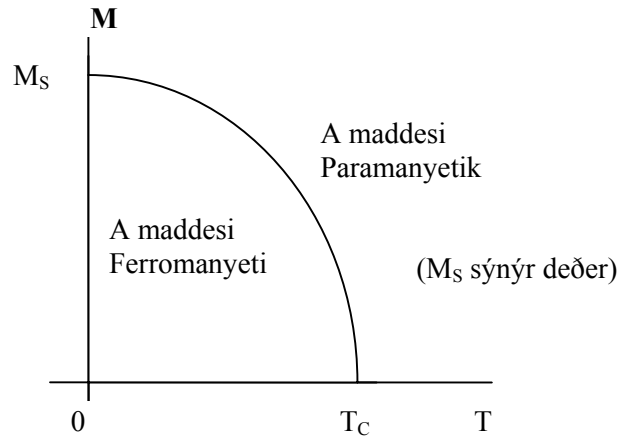
2- PARAMANYETİK MADDELER

Paramanyetik maddelerin *mıknatıslanmaları çok zayıf ve bu mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alan yönündedir*. Bu tür, sıvı oksijen, azot oksit, ozon, platin, palladyum, alüminyum, krom, manganez, v.b. gibi maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe çekilirler. Bu tür maddeleri oluşturan maddelerin atom ve iyonlarının büyük bir kısmında elektronların spin ve açısal momentumundan kaynaklanan manyetik etkiler birbirlerini yok ederler. N atomdan oluşan bir maddenin μ manyetik momentleri, onları etkileyen dış alanın doğrultusuna göre yönelecektir ve tüm atomların toplam manyetik momentlerinin ($N \mu$) bu alanla tam çakışabilmesi mümkün olamaz. Çünkü dış ortamın termik etkisiyle atomların hareketlenmesi bunu bozar. Paramanyetik bir madde bir dış alana konduğunda onun sahip olacağı toplam manyetik momentin değeri, bu momentin mümkün olan maksimum ($N \mu$) değerinden oldukça küçük olacaktır. Çubuk halinde paramanyetik bir madde manyetik alan içine asılırsa, çubuk, uzun eksenini manyetik alan doğrultusunda oluncaya kadar bir moment etkisinde kalır.

Bazı koşullar altında paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının alanla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılı olduğu Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Bu bağıntı

$$M = C \frac{B}{T} \quad (15)$$

şeklinde olup, mıknatıslanmanın artan alanla ve azalan sıcaklıkta arttığını göstermektedir. $B=0$ da mıknatıslanma sıfırdır ve bu durumda dipol momentler rastgele yönelmişlerdir. Çok yüksek dış etkili alanlar ve düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma maksimum ve doyum değerine ulaşır. Bu durumda bütün manyetik dipoller dış alan yönünde dizilmiş olurlar ve (05) bağıntısı geçerliliğini yitirir. Ferromanyetik bir maddenin sıcaklığı *Curie Sıcaklığı* (T_C) denen bir sıcaklığa ulaşıncaya bu maddenin kendiliğinden mıknatıslığı kaybolur ve madde paramanyetik duruma geçer. Curie Sıcaklığı'nın altında manyetik momentler paralel dizildiklerinden madde ferromanyetikdir. Curie sıcaklığının üstünde ise dipoller gelişigüzel yönelmekte ve madde paramanyetik olmaktadır. Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının mutlak sıcaklıkla değişimi Şekil 05 dedir. Şekilden Curie sıcaklığının altında manyetik momentleri dizilir, bu bölgede madde ferromanyetik olur. Buna karşın T_C nin üstünde ise madde paramanyetikdir.



Şekil 05

3 - DİAMANYETİK MADDELER

Atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olmayan maddeler diamanyetik maddeler denir. Gümüş, bizmut gibi paramanyetik maddelere bir dış alan uygulanınca madde tarafından bu alana zıt yönde zayıf bir manyetik dipol moment oluşur. Her madde böyle davranmakla birlikte bu etki onlarda önemsanmeyecek kadar küçüktür. Diamanyetik maddelerde normal konumda çekirdek etrafında zıt yönde ve aynı hızla dönen elektronlar birbirlerinin manyetik momentlerini yok ederler. Bir dış alan uygulanınca elektronlar fazladan $q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$ gibi ek bir manyetik kuvvet altında kalırlar. Ek kuvvet nedeniyle elektronların gördüğü merkezci kuvvet artık aynı olamaz ve manyetik momentleri alana antiparalel elektronun, hızı artarken paralel alanınki azalır. Sonuçta elektronların manyetik momentleri birbirlerini yok edemez ve madde manyetik alana zıt yönde bir dipol moment gösterir.

Süper iletkenler belli bir kritik sıcaklığın altında sıfır elektriksel direnç gösterirler. Süperiletkenlerin bazıları süperiletken konuma geçtiklerinde diamanyetik özellik gösterirler. Bu konumdaki süperiletken kendine uygulanan dış alan içindeki manyetik akı sıfır oluncaya değin dışarı atar. Akıyı dışa atma olayına Meissner olayı adı verilir.

Diamanyetik maddelerin *mıknatıslanmaları çok zayıf ve mıknatıslanmasında mıknatıslayıcı alanla zıt yönlüdür*. Bu maddeler kuvvetli bir mıknatis tarafından hafifce itilirler. Bakır, gümüş, kursun, antimon, bizmut v.b. metallar, bütün yarımetaller ve organik maddelerin çoğu diamanyetikler. Çubuk halinde böyle bir madde manyetik alan içine salınırsa, çubuk, büyük eksenini manyetik alana dik oluncaya kadar bir moment etkisinde kalır. Bu madde atomlarının daimi bir manyetik momenti yoktur fakat bunların atomlarında dış bir manyetik alan etkisi manyetik bir dipol momenti oluşturulabilir.

III.10.05. FERROMANYETİZMA

Ferromanyetik maddelerin manyetik özellikleri, o maddeden bir toroid biçimli Rowland halkası yapılarak ölçülebilir. Rowland halkasındaki *primer* bobinlere *mıknatıslayıcı bobinler* ve oradan geçen akıma *mıknatıslayıcı akım* denir. *Sekonder* bobinler bir galvanometreye bağlanmışlardır (Şekil 02.b.). Halka içindeki manyetik alan S anahtarı ile mıknatıslayıcı akımın yönü çok çabuk olarak değiştirilerek ölçülebilir. Mıknatıslayıcı akımın yönü değiştikçe M mıknatıslanmasının yönü de ve onunla orantılı olan H 'ında yönü değişir. Mıknatıslayıcı H alanının yönü değiştikçe B 'nin de yönü değişecektir ve manyetik alan değeri + B den - B ye geçecek ve bunun değişimi $\Delta B = 2 B$ olacaktır. Rowland halkası içinde ferromanyetik madde olan demir çekirdek varsa, çekirdek içindeki B nin değişmesiyle oradaki manyetik akıda ($\phi = B S \cos \theta$) değişecek ve onun değişmesinde sekonder devrede ani bir indüksiyon e.m.k.si ve o da bir indüksiyon akımı oluşturacaktır.

Toroid biçimli ve sarımlı bir bobinin içinde demir çekirdek yokken (Boşlukta), sarımların oluşturduğu manyetik alan

$$B_0 = \mu_0 \frac{N I}{2 \pi R} = \mu_0 \frac{N I}{l}$$

olacaktır.

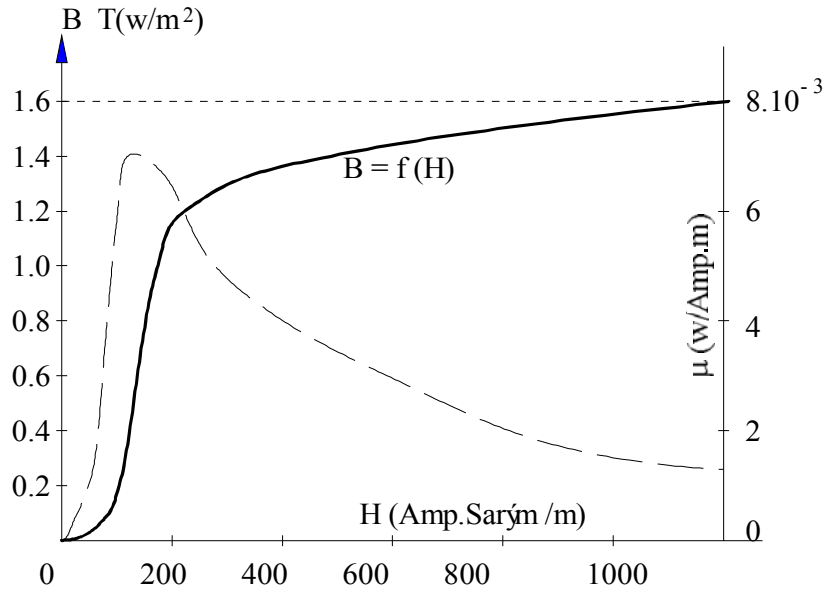
Rowland halkası şeklinde oluşturulmuş bir maddeninde manyetik alanı

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

dır. μ çekirdek maddenin manyetik geçirgenliğidir. Rowland halkasından geçen bir akım şiddeti için manyetik şiddet H 'ın değeri çekirdeğin hava olması haliyle aynıdır. Rowland halkasında çekirdekli manyetik alan $B = \mu N (I / L)$ ve manyetik şiddet $H = N (I / l)$ ile verildiğinden halka içindeki çekirdek maddenin manyetik geçirgenliği (15) bağıntısına göre

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (16)$$

dır. B 'nin H'a ve μ 'nün H 'a göre değişimi Şekil 03'de verilmiştir.



Şekil 06

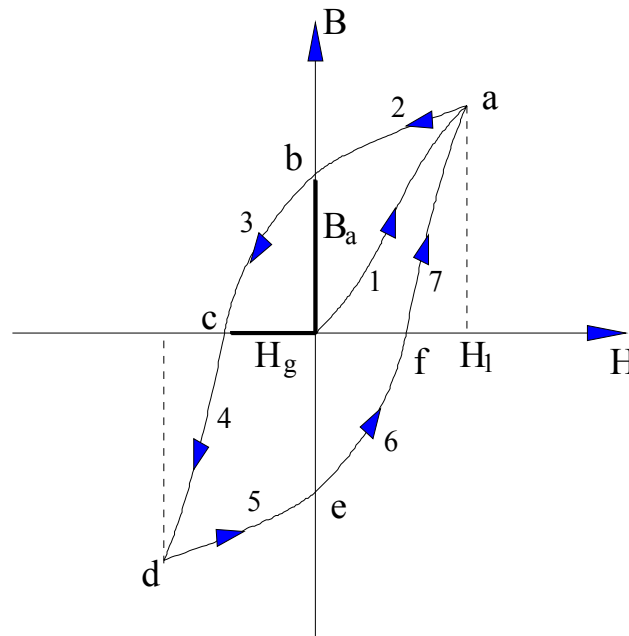
H bobinden geçen akım şiddeti ile doğru orantılı olarak artarken doyma şartına yaklaştıkça B artması daha yavaş olur (Şekil 06). Buna göre mıknatıslığı olmayan madde giderek artan bir şekilde mıknatıslanır (B artar) ve doyma durumundan sonra eğri yatay olur ve B'nin değeri (mıknatıslanma şiddeti) hemen hemen sabit kalır. Yine buradan anlaşılacağı gibi, özel bir cins demir malzemeli (Dökme demir, dökme çelik, v.b.) çekirdek için μ değeride sabit olmayıp H'nin fonksiyonu olarak $\mu = f(H)$ şeklinde değişir ve bu değişim lineer değildir. μ 'nün değeri demir malzemenin manyetik bakımdan geçmişine bağlıdır, bu da *histerezis denilen olayı* meydana getirir. $B = f(H)$ değişim eğrisinin her hangi bir noktasına orijinden çizilen çizginin eğimi ele alınan noktadaki μ değerini verir (Şekil 06).

III.10.06. HİSTEREZİS (GERİDE BIRAKMAK)VE ÇEVİRİMİ

Ferromanyetik bir malzeme önceden mıknatıslanmamış ve manyetik şiddeti (mıknatıslanma) sıfır değerinden itibaren devamlı olarak arttırılırsa $B = f(H)$ mıknatıslanma eğrisi elde edilir (Şekil 07). Rowland halkası içindeki ve mıknatıslanmamış bir ferromanyetik malzemenin sargılarındaki mıknatıslayıcı akım sıfırdan başlayarak H manyetik şiddetinin değeri H_1 'e kadar arttırılırsa $B = F(H)$ değişimi 1 yolunu takip eder ve Oa eğrisi elde edilir. Manyetik şiddet H_1 den tekrar sıfıra düşürülürse değişim 2 yolunu takip ederek ab eğrisini çizer. Burada $H = 0$ olmasına karşılık manyetik alanın değeri B_b dir.

Buna göre malzemedeki manyetik alan değerinin, yalnızca manyetik şiddete değil, malzemenin geçmişine de bağlı olduğunu anlarız. Daha açık olarak *malzema sanki manyetik bir hafızaya sahiptir* ve mıknatıslayıcı akım kesildikten sonra bile b noktasına kadar mıknatıslanmış olduğunu hatırlar. Bu noktada malzeme daimi mıknatıs haline gelmiştir. Malzemenin bu davranışı, $B = f(H)$ değişiminde azalan H değerlerine ait kısmının artan H değerlerine ait kısmı ile *çakışmaması* ile meydana çıkar ve buna *histerezis* denir.

Trafo, jeneratör ve elektrik motorları gibi, bunların çoğu demir malzemeden yapılmış parçaları, yönü olarak değişen manyetik alan içine konulmuştur. Bunlarda H değeri sıfırdan başlayarak bir yöndeki maksimum değere çıkmakta sonra sıfıra inmekte, oradan zıt yönlü fakat bir öncekiyle aynı değerli bir maksimuma artmakta tekrar sıfıra inmekte ve bu çevrimi tekrarlayıp durmaktadır (Şekil07). Şekildeki bu kapalı eğriye *histerezis çevrimi* denir.



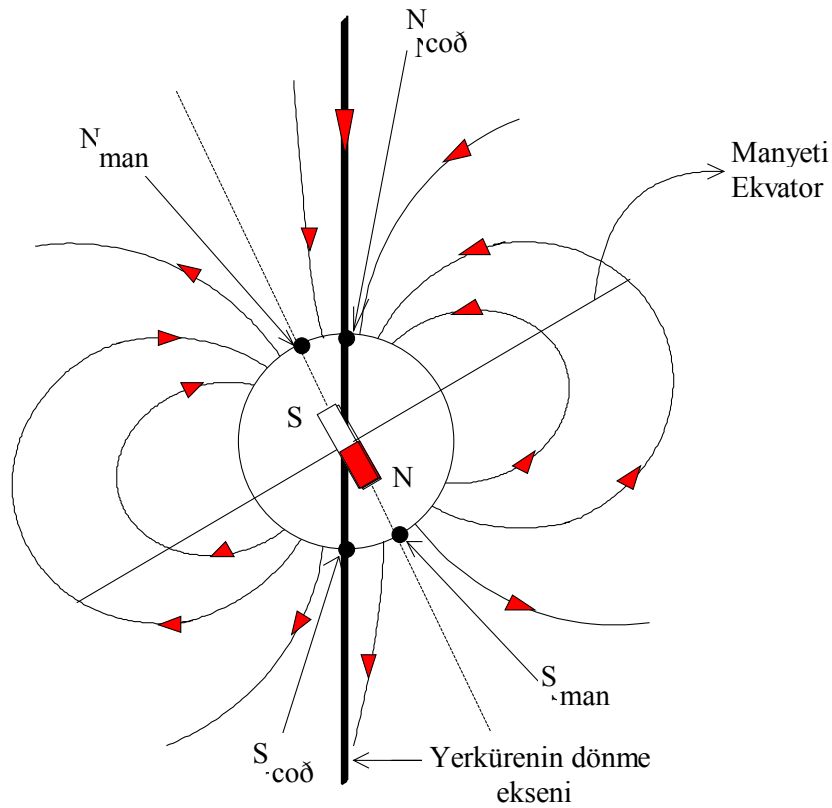
Şekil 07

Şekil 07'deki O_b veya O_e manyetik alan değerleri, manyetik şiddetin ($H = 0$) sıfıra indirildiği zamanki değerleridir. Bu değerlere malzemenin *artık mıknatıslanması* (B_a) denir. O_c ve O_f manyetik şiddet değerleri ise, malzemenin zıt yönde doymaya vardığından sonra manyetik alan değerinin sıfıra indirilmesi için gerekli zıt manyetik şiddettir. Bunlara *giderici kuvvet* (H_g) denilmektedir.

Elektrikli aletlerde frekansı 50 Hz. olan bir A.A. kullanıldığında demir çekirdek çatısında saniyede 50 kez histerezis çevrimi çizilecektir. Histerezis olayının bir sonucu olarak, ferromanyetik malzeme histerezis çevrimini her çizisinde, malzeme içinde ısı oluşacak dolayısıyla enerji kaybı olacaktır. Bireket versin ki ferromanyetik malzemelerden demir ve alaşımlarının histerezis kayıpları küçük ve μ (manyetik geçirgenliği) değerleri büyük olduğu için bu enerji kayıpları da az olur.

III.10.07. YERKÜRENİN MANYETİK ALANI

Bir yaklaşıklıkla yerkürenün manyetik alanı, düzgün mıknatıslanmış bir kürenin dışındaki alanla aynı sayılabilir. Şekil 08 'de yerkürenin bir kesiti verilmiştir, burada kalın düşey çizgi yerkürenin dönme eksenini, N_c ve S_c sırasıyla coğrafi kuzey ve güneyi göstermektedir. Yerkürenin manyetik eksenini ise dönme eksenini ile 15° 'lik açı yapmaktadır, bu şekilde noktalı çizgi ile gösterilmiştir. Manyetik kuzey ve güney sırasıyla N_m ve N_G harfleriyle gösterilmiştir. Şekilden izleneceği gibi, bir hipoteze göre, sanki yerkürenin içinde kuvvetli büyük bir mıknatıs vardır ve yerkürenin manyetik alan çizgileri güney yarım küresinin tümünden çıkmakta ve kuzey yarım küresinin tüm yüzeyinden içeri girmektedir.



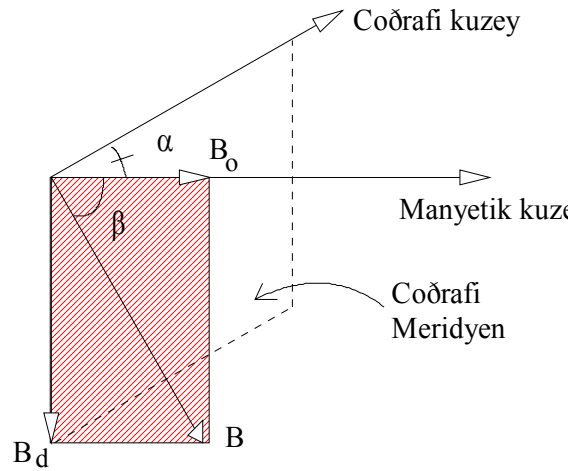
Şekil 08

Diğer bir hipoteze (varsayıma) göre de, bütün güney manyetik küre üzerinde kuzey manyetik kutuplar ve bütün kuzey yarım kürenin üzerinde de güney manyetik kutuplar dağılmış gibi düşünülmektedir. Bu iki farklı hipoteze göre yerkürenin içindeki manyetik alanlar farklı olacaktır, fakat bu iki hipotezin denel olarak doğrulanması olası değildir.

Yerkürenin manyetik ekvatoru dışında ,yerkürenin manyetik alanı yatay değildir. Alanın yatayla yaptığı açığa *eğim açısı* (β) denilmektedir. Yerkürenün manyetik ekvator ve manyetik kutup dışında herhangi bir yerdeki, manyetik alan bileşke değeri B , bunun yatay bileşen $B_0 = B_y$ ve düşey bileşeni B_d ise

$$B_0 = B \cos \beta \quad B_d = B \sin \beta \quad (17)$$

dir (Şekil 09).



Şekil 09

Herhangi bir yerdeki B_0 ve β değeri bilinirse B hesaplanır. α açısına sapma açısı denilmektedir.

Yerkürenin manyetik alanının değeri *manyetik ekvator*da $35 - 40 \times 10^{-6}$ T ve *manyetik kutuplarda* da yaklaşık olarak $70 - 80 \times 10^{-6}$ T. dir.

Manyetik fırtınalar adı verilen yerkürenin manyetik alanındaki büyük dalgalanmalar, güneşteki lekelenmeler ve bu lekelenmelerin varoluş süresince meydana gelir. Bu manyetik fırtınalar, atmosferin üst tabakalarındaki hava moleküllerinin güneşten yayınlanan iyonlarla bombardıman edilmesi ve onlardan oluşan iyonların hareketiyle meydana gelir. Yerküre atmosferinin hemen hemen 80 kilometre yüksekliğindeki iyonosferi oluşturan serbest yükler, elektronlar ve pozitif iyonlar bulunmaktadır. Güneşle atmosferin ısınması ve soğuması sonunda iyonosferdeki konveksiyon akımları oluşur ve bu akımlar bir manyetik alan doğururlar. Bu konveksiyon akımları günlük ve mevsimlik peryotlarla değişerek, yerkürenin değişimli manyetik alanını oluştururlar. Manyetik fırtınalar zaman zaman konveksiyon akımlarının bozulması ve iyonosferdeki yüklü partiküllerin sayısal değişimi nedeniyle meydana gelir.

Atmosfer akımları toplam manyetik alanın ancak küçük bir kısmını teşkil ederler. Manyetik alanın büyük bir kısmının, yerkürenin erimiş çekirdeği içindeki iyonlaşmış atomların büyük konveksiyon akımları nedeniyle oluştuğu farz edilmektedir. Bu konu halen çözüm beklemektedir ayrıca yerküre kabuğundaki manyetik maddelerin dağılımı homojen değildir.

III.10.08. ÖRNEK PROBLEMLER

1) 300 sarımlı toroid bir bobinin çapı 10 cm. olan ince bir demir halka üzerine sarılmıştır ve bobinden 2 Amp.lik bir akım geçmektedir. Bu durumdaki demirin bağıl manyetik geçirgenliğinin 500 olduğu bilindiğine göre demir içindeki manyetik alan değerini hesaplayınız.

Cevap ; önce H hesaplıyalım, $H = NI / l = NI / \pi r = 300 \cdot 2 / \pi \cdot 0,1 = 6000/\pi$ Amp.sarım/ m
 $\mu = \mu_r \mu_0$ ve $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ olduğundan $\mu = 2 \pi \cdot 10^{-4}$ Wb / A.m olur Böylece

$$B = \mu H = 2 \pi \cdot 10^{-4} \cdot 6000 / \pi = 1,2 \text{ T.}$$

2) Manyetik şiddeti $H = 200$ Amp.sarım / m olan bir alanda bir selonoidin demir çekirdeği içindeki manyetik alan değeri $B = 0,14$ T. dır. Demirin μ manyetik geçirgenliğini ve μ_r bağıl manyetik geçirgenliğini hesaplayınız.

Cevap; $\mu = B / H = 0,14 \text{ T} / 200 \text{ Amp.sarım. m.} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Wb} / \text{A.m}$

$$\mu_r = \mu / \mu_0 = (0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Wb} / \text{A.m}) / (4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb/A.m.}) = 557$$

3) Bir trafo demir malzemesinin, her histerezis çevrimi çizilmesi için, metreküp başına Joule cinsinden yaklaşık enerji kaybı $W = 250 \cdot B^{1,5}$ bağıntısıyla verilmektedir. Burada B manyetik akının maksimum değeridir ve birimi T. 'dır. Buna göre $0,01 \text{ m}^3$ demir malzemesi ve maksimum manyetik alan değeri 1 T. olan bir trafoda saniyede 60 defa histerezis çevrimi oluyorsa, bu güç trafosunun saniyedeki enerji kaybını bulunuz.

Cevap; $W = 250 \cdot (1)^{1,5} \cdot 0,01 \cdot 60 = 150 \text{ Watt.}$

III. 10. 09. PROBLEMLER

1) Ortalama yarıçapı 8 cm. olan ağaç bir halka üzerine 400 sarım sarılarak elde edilmiş toroid bobinden geçen akım şiddeti ne olmalıdır ki çekirdek içindeki manyetik alan değeri $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ olsun

Cevap: 2,5 Amp.

2) 500 sarımlı Rowland halkasından geçen akım şiddeti 0,3 Amp.dir. Çekirdeğim bağıl geçirgenliği 600 dür. a - Çekirdek içindeki manyetik alan değerini, b - manyetik şiddeti hesaplayınız.

Cevap: 0,301 T., b - H = 398 Amp.sarım / m.

3) Bir Rowland halkasının sarımlarından geçen akım şiddeti 2 Amp. ve birim uzunluk başına sarım sayısı 10 sarım / cm dir. B 'nin ölçülen değeri 1 T. dir. a- H ve b- K_m değerlerini hesaplayınız.

Cevap : a - H = $2 \cdot 10^3$ Amp sarım / m , b - 397.

4) Demirden yapılmış bir Rowland halkasınınb ortalama çevresi 50 cm. ve dik kesiti 50 cm^2 dir.Üzerinden geçen akım şiddeti 1,2 Amp.olan 450 sarımı vardır.Bu şartlardaki demirin bağıl manyetik geçirgenliği 550 dir. Halkadan geçen manyetik akıyı hesaplayınız.

Cevap ; $2,99 \cdot 10^{-4}$ Weber.

5) Eğilme açısının 63° ve yatay bileşenin $2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. olduğu bir yerde yerkünün manyetik alan değerini bulunuz.

Cevap : $4,4 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

6) Manyetik duyunluğu 10^{-4} olan bir maddenin bağıl geçirgenliğini hesaplayınız.

Cevap: $1,0001 \cdot 10^{-4}$

7.) Uzunluğu 1 m. çapı 3 cm olan bir çubuk daire şeklinde bükülerek iki ucu kaynak yapılarak toroib elde edilmiştir.Çubuğun maddesi yumuşak çeliktir ve bağıl geçirgenliği 1100 dür.Toroid düzgün olarak 1%o sarımlıdır. 0,(T.lık bir manyetik alan için gerekli akım şiddetini bulunuz.

Cevap : 3 , 86 Amp.

8.) Birim uzunluğunda 250 sarım bulunan demir çekirdekli toroidin sarımlarındaki akımı 8A ve demirin manyetik geçirgenliği $\mu=500\mu_0$ dir. a)Manyetik alan şiddeti \mathbf{H}' ı ve manyetik akı yoğunluğunu b) \mathbf{B}' yi hesaplayınız.

9.) Şiddeti 0,1A olan bir akım, kenarı 5cm olan karesel plakalı kondansatörü yüklemiştir. Plaka aralığı 4mm ise, plakaların arasında a)elektrik akısının değişim hızını b)yerdeğiştirme akımını bulunuz.

10.) Mıknatıslanması $0,88 \cdot 10^6$ sarım.A/m, akı yoğunluğu 4,4T olan mıknatıslanmış bir maddenin H alan şiddetini hesaplayınız.

11.) Doyum halinde demirdeki spinlerin sıralanışı toplam B manyetik alanına 2T kadar katkıda bulunabilir. Her elektron $9,27 \cdot 10^{-24}$ A.m² (1Bohr magnetonu) değerinde bir manyetik moment katkıda bulunuyorsa, demirin doyum alanına atom başına kaç tane elektronun katkıda bulunduğunu hesaplayınız (m³ de $8,5 \cdot 10^{28}$ demir atomu vardır).

12.) Bohr' un hidrojen atomu modelinde (1913) elektron yarıçapı $5,3 \cdot 10^{-11}$ m olan dairesel yörüngede $2,2 \cdot 10^6$ m/s hızla dolanmaktadır. a)elektronun hareketinden kaynaklanan manyetik momenti b)elektron yatay bir dairesel yörünge üzerinde saat ibresiyle ters yönlü dönüyorsa manyetik moment vektörünün yönünü bulunuz.

13.) Yıldırım kısa bir zaman süresinde 10^4 A lik bir akım taşıyabilmektedir. Yıldırımın oluştuğu noktadan 100m uzaktaki bir noktada oluşan manyetik alanı bulunuz.

14) Yerkürenin manyetik alanı kutupların her ikisinde de $0,7G=7 \cdot 10^{-5}$ T dir. Bu alanı ekvatorun çevresindeki bir akım ilmeğinin oluşturduğunu varsayarak anılan alanı oluşturacak akımın büyüklüğünü bulunuz (ekvator yarıçapı $6,37 \cdot 10^6$ m alınız).

14.) Bir öğrenci grubu laboratuvarda içinde 0,03T büyüklüğünde bir manyetik alan olan bir selenoid yapmak istiyorlar. Bunun için çapı 0,50mm olan tel ve 1,0A lik akım kullanacaklardır. Çapı 1,0cm ve uzunlupu 10,0cm olan yalıtkan bir kalıp üzerine tabakalar halinde sarasak selenoidi yapmak isterlerse, telin tabakalarının sayısını ve telin toplam uzunluğunu bulunuz.

15.) Paramanyetik bir madde 4,0K lik bir sıcaklıkta iken 5,0T lık bir manyetik alan içine girerse doyum mıknatıslığı %10 a ulaşıyor. Numunedeki manyetik atomların yoğunluğu 8.10^{27} atom/m³ ve atom manyetik momentin 5 Bohr magnetronu olduğu varsayılırsa maddenin Curie sıcaklığını hesaplayınız.

16.) Hacimce yoğunluğu ρ olan sabit R yarıçaplı bir küre merkezinden geçen bir eksen etrafında ω açısal hızıyla katı bir cisim olarak döndüğünde kürenin manyetik dipol momentini bulunuz.

17.) Herbirinin yarıçapı 0,50m ve sarım sayısı 100 olan özdeş yassı ve çember şeklinde iki tel kangal, kangal düzlemleri birbirine paralel ve aralarındaki uzaklık 0,50m olacak şekilde yerleştirilmiştir (Helmholtz bobinleri). Her bobinden aynı yönlü ve 10A akım geçtiğinde kangalların merkezlerinden ve düzlemlerine dik olarak geçen eksenleri üzerinde ve kangal düzlemlerinin ara noktasındaki manyetik alan büyüklüğünü bulunuz.