

BÖLÜM-28

Manyetik Alan

Bu bölümde aşağıda listelenen konulara değinilecektir:

Manyetik alan vektörü (\vec{B}) ,

Hareket eden yüklü parçacığa etkiyen manyetik kuvvet (\vec{F}_B) ,

Manyetik alan çizgileri,

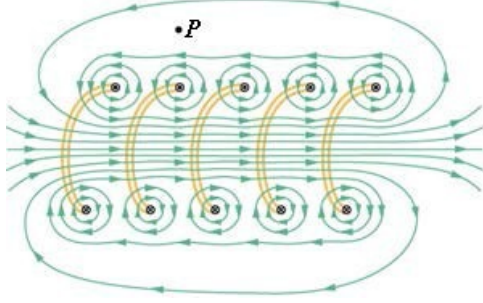
Düzgün manyetik alanda yüklü parçacığın hareketi,

Akım taşıyan tele etkiyen manyetik kuvvet,

Akım halkasına etki eden tork,

Manyetik dipol, manyetik dipol moment $(\vec{\mu})$

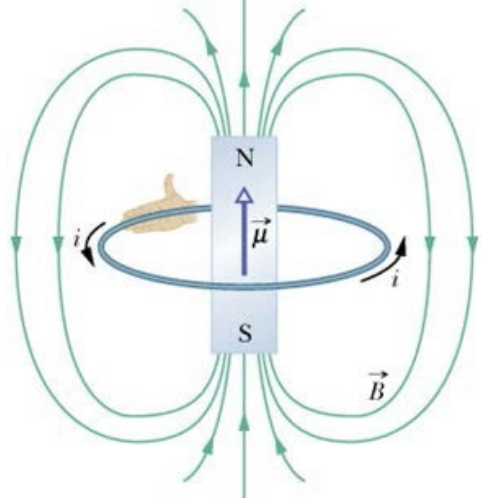
Manyetik Alanın Kaynağı :



Manyetik alan oluşturmaın iki yolu vardır:

İçinden elektrik akımı geçirilen iletken tel (elektromagnet)

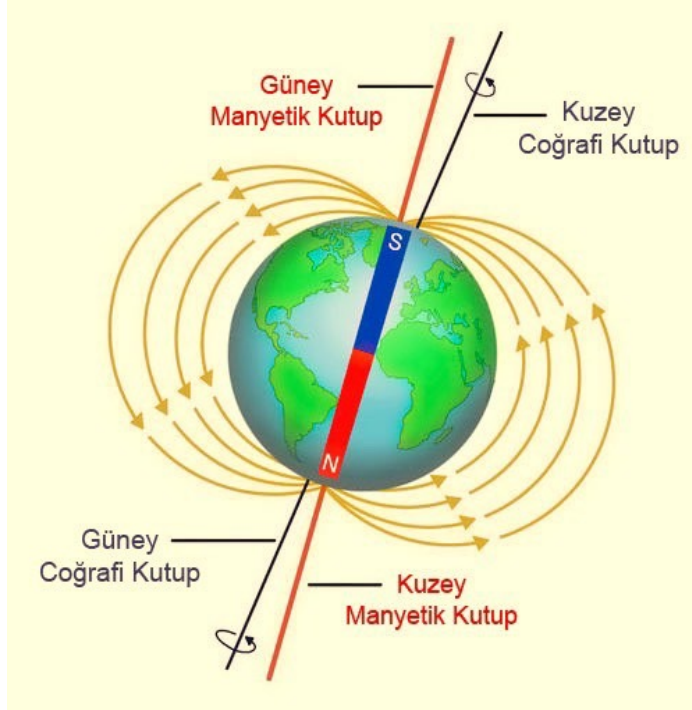
Kalıcı mıknatıslanmaya sahip malzemeler (mıknatıs)



Hem elektromagnet hem de mıknatıs ince demir tozlarını çeker. Merkezinden dik geçen eksen etrafında serbestçe dönebilen hafif bir çubuk mıknatıs, kendisini Güney-Kuzey doğrultusunda yönlendirecek şekilde döner (pusula). Hem akım taşıyan tel hem de mıknatıs, çevrelerinde "manyetik alan" (\vec{B}) oluşturur ve kendilerini "manyetik kuvvet" (\vec{F}_B) uygulayarak hissettirirler.

Yerin Manyetik Alanı

- ✓ Dünyanın çekirdek kısmındaki (erimiş lavlardan dolayı) bazı akımların oluşması, dünyanın manyetik alanının kaynağı olarak düşünülmektedir. Ancak dünyanın manyetik alanının kaynağı henüz tam olarak bilinmemektedir.



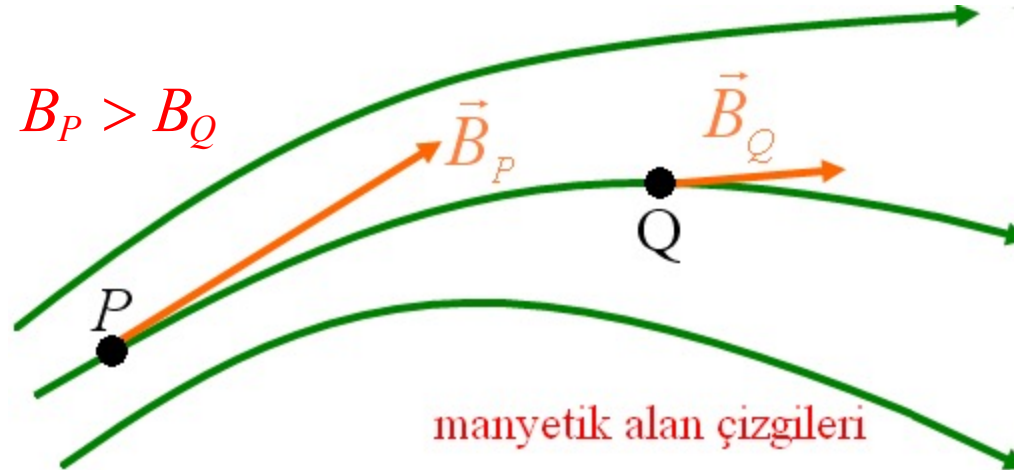
- ✓ Coğrafi kutup eksenini ile manyetik kutup eksenini arasında bir 11° 'lik bir açı vardır.
- ✓ Coğrafi kuzey kutup, manyetik güney kutuptur.
- ✓ Yerin manyetik alanının ortalama değeri ~ 0.5 Gauss' dur.

Manyetik Alan Çizgileri : Elektrik alan ile elektrik alan çizgileri arasındaki ilişki gibi, manyetik alan ile manyetik alan çizgileri arasında da benzer bir ilişki vardır:

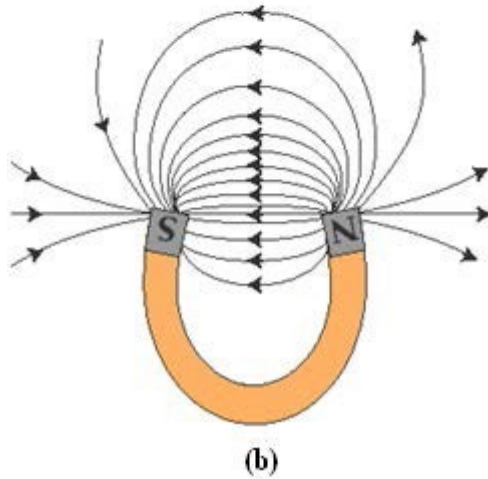
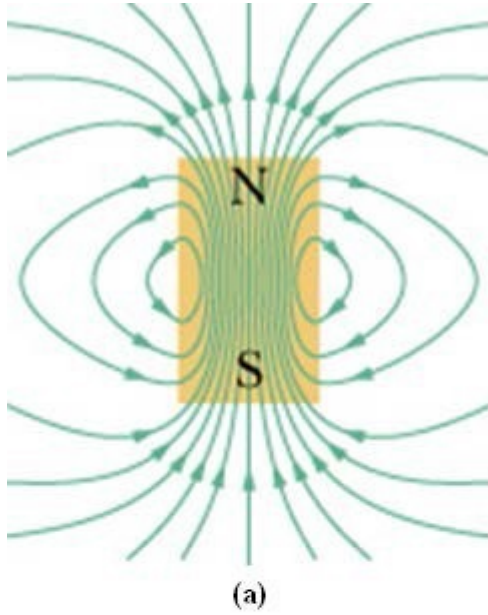
1. Herhangi bir P noktasında, manyetik alan vektörü \vec{B} manyetik alan çizgisine teğettir.



2. Manyetik alan şiddeti, manyetik alan çizgilerinin yoğunluğu ile orantılıdır.



Kalıcı Bir Mıknatısın Manyetik Alan Çizgileri :

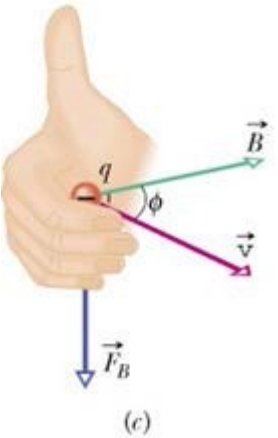
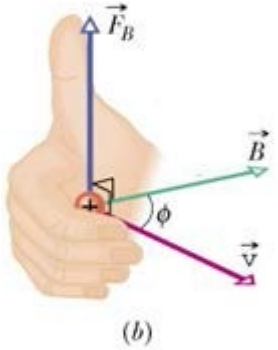
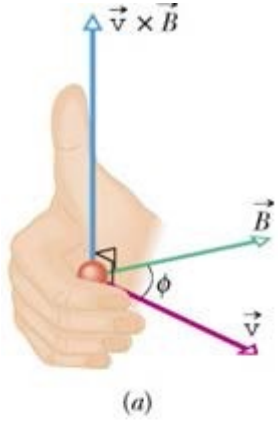


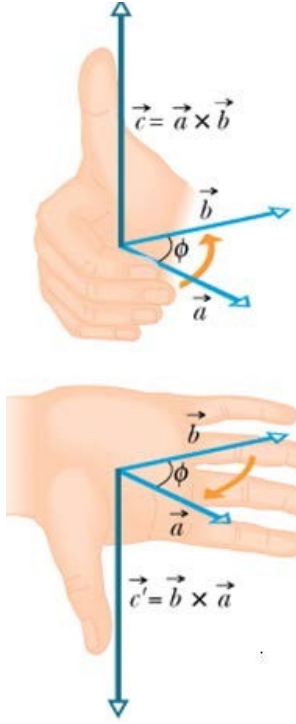
Şekil-a' da, kalıcı bir mıknatısın manyetik alan çizgileri gösterilmiştir. Bunlar, bir kısmı mıknatısın içinden geçen **kapalı** halkalar şeklindedir. Pozitif yükte başlayıp negatif yükte sonlanan elektrik alan çizgileri gibi, başlangıç ve bitiş noktaları yoktur. Kapalı halka şeklindeki manyetik alan çizgileri, mıknatısın bir ucundan girer diğer ucundan çıkarlar. Alan çizgilerinin çıkış yaptıkları uç mıknatısın **kuzey kutbu**, giriş yaptıkları uç ise **güney kutbu** olarak bilinir. Bu kutupları bağımsız olacak şekilde mıknatıstan ayıramayız. İkisi birlikte bir "**manyetik dipol**" oluştururlar. Şekil-b' de, at nalı şeklinde bükülmüş bir çubuk mıknatısın manyetik alan çizgileri verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, kutuplar arasında ve kutupların birbirine yakın olduğu yerlerde manyetik alan çok şiddetlidir.

B Manyetik Alanının Tanımı :

Manyetik alan vektörü, v hızına sahip bir q yüküne uyguladığı F_B manyetik kuvveti cinsinden tanımlanır. q yüküne sahip parçacık gelişigüzel doğrultularda \vec{B} manyetik alanına gönderilir ve manyetik alan içinde izlediği yollara bakılır. q yüküne etkiyen \vec{F}_B kuvvetinin sıfır olduğu tek bir doğrultu vardır. \vec{B} manyetik alanı bu doğrultuya paraleldir. Bunun dışındaki tüm doğrultularda \vec{F}_B kuvveti sıfırdan farklıdır ve büyüklüğü $F_B = |q|vB \sin \phi$ ile verilir. Burada ϕ , \vec{v} ile \vec{B} arasındaki açıdır. Vektörel olarak bu kuvvet $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ ifadesine sahiptir ve sağ-el kuralına göre, \vec{v} ile \vec{B} nin oluşturduğu düzleme diktir. Manyetik alanın SI sistemindeki birimi:

$$\frac{\text{N}}{\text{C} \cdot (\text{m/s})} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \text{tesla}$$





Vektörel Çarpma :

\vec{a} ve \vec{b} vektörleri arasındaki vektörel çarpma işlemi, $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$ ile verilen yeni bir vektör oluşturur. \vec{c} vektörünün büyüklüğü $c = ab \sin \phi$ ile verilir ve \vec{a} ile \vec{b} vektörlerinin oluşturduğu düzleme diktir. Yönü "sağ-el-kuralı" ile belirlenir:

- i. \vec{a} ve \vec{b} vektörlerinin başlangıç noktalarını birleştiriniz.
- ii. \vec{a} vektörünü parmak uçlarınız onun yönünü gösterecek şekilde sağ avuç içine yatırınız.
- iii. \vec{a} vektörünü küçük açı yönünde \vec{b} 'nin üzerine süpürünüz.
- iv. Başparmağınız \vec{c} vektörünün yönünü verir.

Vektörel çarpım, "cross" çarpım olarak da bilinir.

Bileşenleri Cinsinden Vektörel Çarpma :

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}) \times (b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k})$$

$$\left. \begin{aligned} \hat{i} \times \hat{i} = \hat{j} \times \hat{j} = \hat{k} \times \hat{k} &= 0 \\ \hat{i} \times \hat{j} = \hat{k} \quad ; \quad \hat{j} \times \hat{i} &= -\hat{k} \\ \hat{k} \times \hat{i} = \hat{j} \quad ; \quad \hat{i} \times \hat{k} &= -\hat{j} \end{aligned} \right\} \text{ olduğundan}$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - a_z b_y) \hat{i} + (a_z b_x - a_x b_z) \hat{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \hat{k}$$

Not : $\vec{a} \times \vec{b}$, aşağıdaki determinant yolu ile de belirlenebilir.

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} \quad ; \quad \text{Not : } \vec{a} \times \vec{b} = -(\vec{b} \times \vec{a})$$

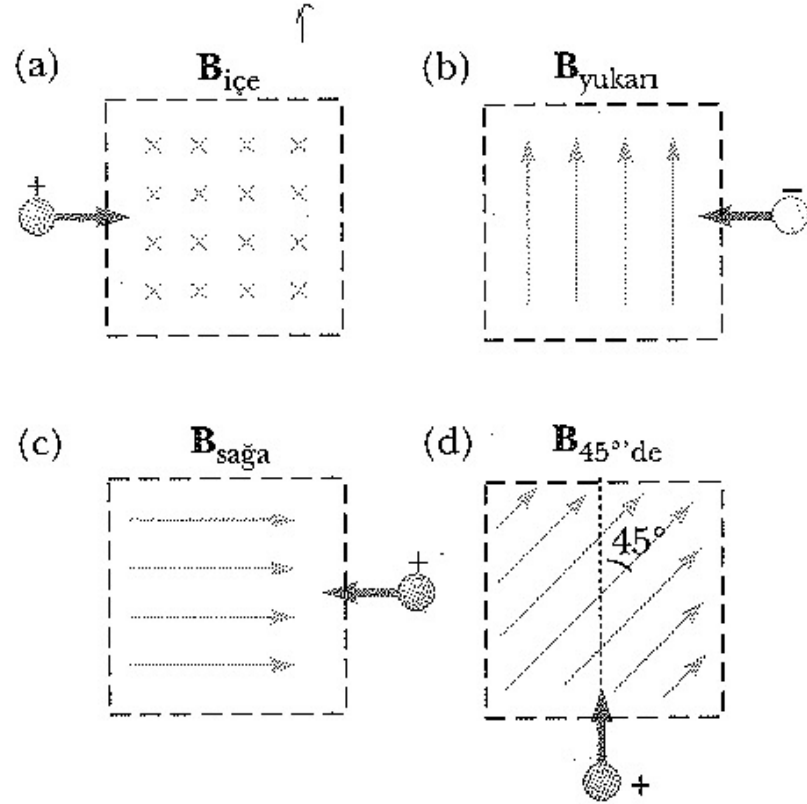
Elektrik ve manyetik kuvvetler arasında birçok önemli farklar vardır:

- Elektrik kuvveti, her zaman elektrik alanına paralel, buna karşın manyetik kuvvet manyetik alana dik olarak etkir.
- Elektrik kuvveti, yüklü parçacığın hızından bağımsızdır. Halbuki, manyetik kuvvet yalnızca yüklü parçacık hareket halinde ise ona etki edebilir.
- Elektrik kuvveti yüklü bir parçacığın konumunu değiştirerek iş yapar, buna karşın kararlı bir manyetik alandan kaynaklanan manyetik kuvvet, parçacık yer değiştirdiğinde iş yapmaz.

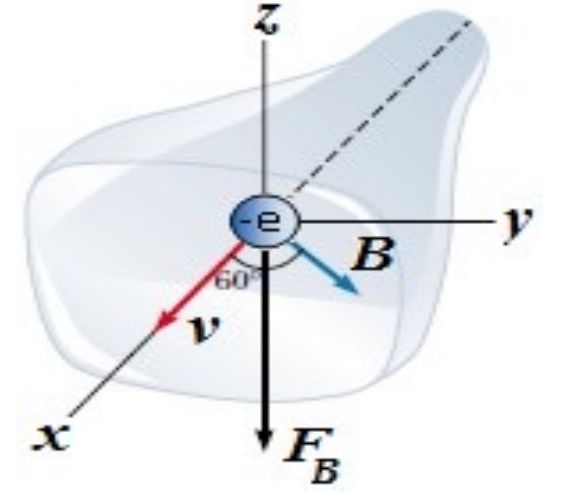
Bu son ifadeden ve iş enerji teoreminden, yüklü bir parçacığın kinetik enerjisinin, yalnızca bir manyetik alanla değiştirilemeyeceği sonucuna ulaşırız. Başka bir deyişle,

v hızı ile hareket eden bir yüke uygulanan manyetik alan onun hız vektörünün yönünü değiştirebilir fakat hızın büyüklüğünü veya kinetik enerjisini değiştiremez.

1. Şekil P29.1 de gösterildiği gibi, yüklü parçacıkların manyetik alanlara girerken başlangıçtaki sapma yönlerini bulunuz.



Örnek : Şekilde görüldüğü gibi, bir televizyon tüpü içerisindeki elektronlar +x-ekseni yönünde 8×10^6 m/s' lik bir hızla ekrana dik doğrultuda gelmektedir. Tüpü çevreleyen kangalların oluşturduğu manyetik alan xy-düzleminde, x-ekseni ile 60° lik açı yapmakta ve büyüklüğü de 25 mT' dır. Elektronlara etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğünü ve elektronun ivmesini hesaplayınız.



$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow |\vec{F}_B| = evB \sin\theta = (1.6 \times 10^{-19}) * (8 \times 10^6) * (25 \times 10^{-3}) \sin 60$$

$$|\vec{F}_B| = 2.77 \times 10^{-14} \text{ N (sağ-el kuralına göre, } -z \text{ yönünde)}$$

$$F = ma \rightarrow a = \frac{|\vec{F}_B|}{m_e} = \frac{2.77 \times 10^{-14}}{9.11 \times 10^{-31}} = 3.04 \times 10^{16} \text{ m/s}^2$$

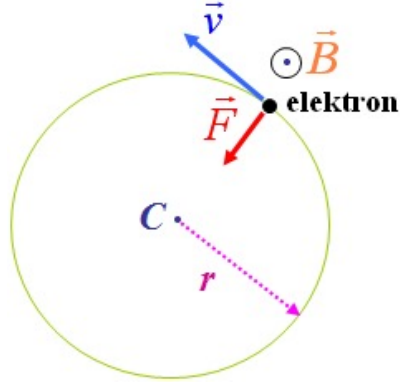
Örnek : Bir proton, + y-ekseni yönündeki 0.3 T' lık bir manyetik alan içinde, alan ile 37° lik açı yapacak şekilde 3×10^6 m/s hızla hareket etmektedir. Protona etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğünü ve protonun ivmesini hesaplayınız.

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow |\vec{F}_B| = evB \sin\theta = (1.6 \times 10^{-19}) * (3 \times 10^6) * (0.3) \sin 37$$

$$|\vec{F}_B| = 8.7 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$F = ma \rightarrow a = \frac{|\vec{F}_B|}{m_p} = \frac{8.7 \times 10^{-14}}{1.67 \times 10^{-27}} = 5.21 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

Düzgün Manyetik Alan İçinde Yüklü Parçacığın Hareketi (Dairesel hareket = cyclotron hareketi):



Kütlesi m olan bir q nokta yükü, v hızıyla düzgün manyetik alan içine dik olacak şekilde girerse, düzgün dairesel hareket yapar. Manyetik alana dik olarak giren bir elektronun yaptığı dairesel hareket yanda verilmiştir. Böyle bir hareketi sağlayan merkezci kuvvet $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ ile verilen manyetik kuvvettir.

Bunun nedeni, \vec{F}_B manyetik kuvvetin \vec{v} ve \vec{B} ile dik açı yapması ve qvB ye eşit sabit bir büyüklüğe sahip olmasıdır. Şekil 29.17 de gösterildiği gibi, \vec{F}_B kuvveti parçacığı saptırdıkça \vec{v} ve \vec{F}_B nin yönleri sürekli olarak değişir. \vec{F}_B her zaman çemberin merkezine doğru baktığı için \vec{v} nin yalnız yönünü değiştirebilir, büyüklüğünü değiştiremez. Dönme yönü, şekil 29.17 de görüldüğü gibi pozitif bir yük için saat yönünün tersidir. q negatif olsaydı, dönme yönü saat yönünde olacaktı. Eşitlik 6.1 i kullanarak bu manyetik kuvveti yüklü bir parçacığı çember üzerinde tutabilmek için gerekli merkezci kuvvete eşitleyebiliriz.

Bu kuvvet, m kütlesi ile v^2/r merkezci ivmesinin çarpımıdır. Newton'un ikinci yasasına göre,

$$\sum F = ma_r$$

$$F_B = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

(29.13)

elde ederiz. Bir başka deyişle, yörüngenin yarıçapı parçacığın çizgisel (doğrusal) momentumu (mv) ile doğru, yükün ve manyetik alanın büyüklüğü ile ters orantılıdır. Dönen yüklü parçacığın açısal hızı, (Eşitlik 10.10 dan)

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

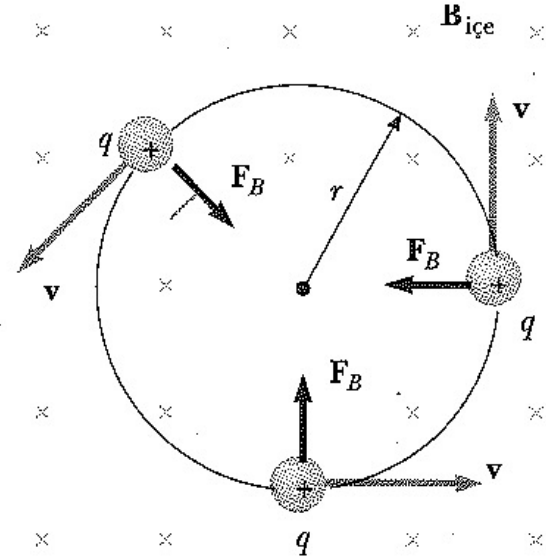
(29.14)

bağıntısı ile verilir. Parçacığın hareketinin periyodu (bir dolanım için geçen zaman), çemberin çevresinin parçacığın çizgisel hızına bölümüne eşittir:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

(29.15)

Bu sonuçlar; dairesel hareketin açısal hızı ve periyodunun, parçacığın çizgisel hızına ve yörüngesinin yarıçapına bağlı olmadıklarını göstermektedir. Açısal hız ω ya çoğu kez **siklotron frekansı** denir. Nedeni, Kesim 29.5 de tartışılacak



Şekil 29.17 Yüklü bir parçacığın hızı düzgün bir manyetik alana dik olduğunda, parçacık, \mathbf{B} ye dik olan bir düzlemde çember biçimli bir yörüngede hareket eder. Yüke etkiyen F_B manyetik kuvveti, her zaman çemberin merkezine doğru yönelir.

Not 1 : Hareketin periyodu v hızına bağılı değildir. Aynı yüke ve kütleyle sahip tüm parçacıklar, farklı hızlara sahip olsalarda, tam bir turu aynı sürede yaparlar.

Not 2 : Hızlı parçacıklar büyük yarıçapta çemberler üzerinde dolarken, yavaş parçacıklar daha küçük yarıçapta çemberler üzerinde dolanırlar.

ÖRNEK 29.6 Düzgün Bir Manyetik Alana Dik Olarak Hareket Eden Proton

Bir proton, hızına dik 0,35 T büyüklüğünde düzgün bir manyetik alan içerisinde 14 cm yarıçaplı bir çember üzerinde hareket ediyor. Protonun çizgisel hızını bulunuz.

Çözüm Eşitlik 29.13 den

$$v = \frac{qBr}{m_p} = \frac{(1,60 \times 10^{-19} \text{ C}) (0,35 \text{ T}) (14 \times 10^{-2} \text{ m})}{1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}}$$
$$= 4,7 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Alıştırma Bir elektron, aynı çizgisel hızla aynı manyetik alana dik olarak girerse yörüngesinin yarıçapı ne olur?

Cevap $7,6 \times 10^{-5} \text{ m}$.

29.5

BİR MANYETİK ALAN İÇERİSİNDE HAREKET EDEN YÜKLÜ PARÇACIKLARI İÇEREN UYGULAMALAR

Hem bir \mathbf{E} elektrik alanı hem de bir \mathbf{B} manyetik alan içerisinde \mathbf{v} hızı ile hareket eden bir yük, elektrik kuvveti $q\mathbf{E}$ ve manyetik kuvvet $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ nin ikisinde etkilindedir. Yüke etkiyen toplam kuvvet (Lorentz kuvveti denir),

$$\Sigma \mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

(29.16)

dir.

Örnek : Yüğü $q = 3.2 \times 10^{-19}$ C olan bir parçacık, düzgün bir elektrik ve manyetik alan olan bölgeye $\mathbf{v} = (2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k})$ m/s hızla giriyor. $\vec{E} = (4\hat{i} - \hat{j} - 2\hat{k})$ V/m ve $\vec{B} = (2\hat{i} + 4\hat{j} + \hat{k})$ T olduğuna göre, parçacığa etkiyen net kuvveti bulunuz. Bu kuvvet x-ekseni ile ne kadarlık bir açı yapar?

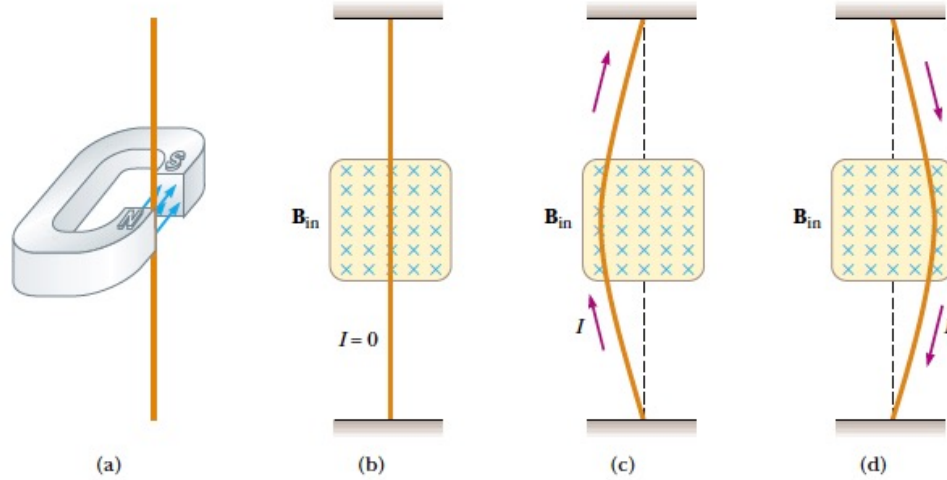
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 2 & 3 & -1 \\ 2 & 4 & 1 \end{vmatrix} = (3 + 4)\hat{i} - (2 + 2)\hat{j} + (8 - 6)\hat{k} = 7\hat{i} - 4\hat{j} + 2\hat{k}$$

$$\vec{F} = (3.2 \times 10^{-19}) * \left[(4\hat{i} - \hat{j} - 2\hat{k}) + (7\hat{i} - 4\hat{j} + 2\hat{k}) \right] = (3.2 \times 10^{-19}) * [11\hat{i} - 5\hat{j}] \text{ N}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{-5}{11} \right) = -24.4^\circ$$

Akım Taşıyan Tele Etkiyen Manyetik Kuvvet :



Tek bir yüklü parçacık, bir manyetik alan içinden geçerken bir kuvvet etkisinde kalıyorsa, üzerinden akım geçen bir tele de manyetik alan içinde kuvvet etkimesi sizce sürpriz olmamalıdır. Bu, akımın çok sayıda yüklü parçacıktan oluşmasının bir sonucudur; bu yüzden, tele etkiyen net kuvvet, akımı oluşturan tüm yüklü parçacıklara etkiyen bireysel kuvvetlerin vektörel toplamıdır. Parçacıklara etkiyen kuvvet, parçacıklar teli oluşturan atomlara çarptıkları zaman tele iletilmiş olur.

Manyetik alan sayfanın içine doğru olup gölgeli dairenin içini kaplamaktadır. Teldeki akım sıfır olduğunda, Şekil 29.6b de olduğu gibi, tel düşey durumda kalır. Ancak, Şekil 29.6c de olduğu gibi, telde yukarı yönde bir akım oluşturulduğunda tel sola sapar. Şekil 29.6d de olduğu gibi akımın yönü ters çevrilirse tel sağa sapar.

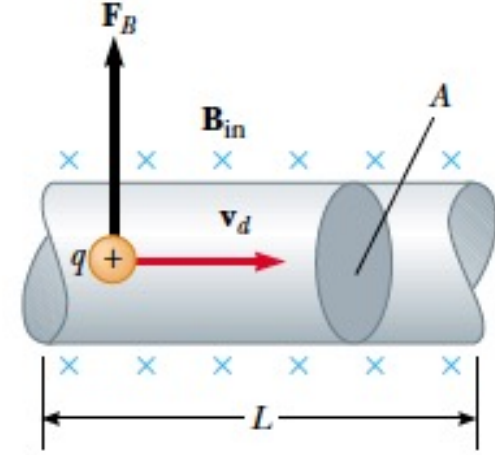
Şekil 29.7 deki gibi düzgün bir \mathbf{B} dış manyetik alanı içinde

I kadar akım taşıyan, kesit alanı A ve uzunluğu L olan düz bir tel parçası düşünerek nicel hale getirelim. Bir \mathbf{v}_s sürüklenme hızı ile hareket eden q yüküne etkiyen manyetik kuvvet $q\mathbf{v}_s \times \mathbf{B}$ bağıntısıyla verilir. Tele etkiyen toplam kuvveti bulmak için, bir yüke etkiyen $q\mathbf{v}_s \times \mathbf{B}$ kuvveti, tel parçasında bulunan yük sayısı ile çarpılır. Parçanın hacmi AL olduğu için içindeki yük sayısı nAL dir. Burada n birim hacimdeki yük sayısıdır. Sonuç olarak uzunluğu L olan tele etkiyen toplam manyetik kuvvet

$$\mathbf{F}_B = (q\mathbf{v}_s \times \mathbf{B}) nAL$$

dir. Bu bağıntı, 27.4 Eşitliğine göre teldeki akımın $I = nqv_s A$ olduğuna dikkat ederek daha kullanışlı bir biçimde yazılabilir. Bu nedenle,

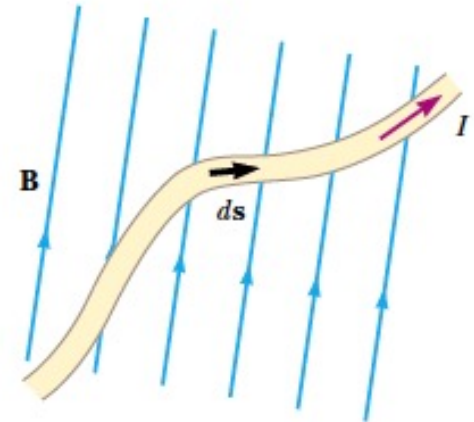
$$\mathbf{F}_B = I\mathbf{L} \times \mathbf{B} \quad (29.3)$$



biçimde ifade edilebilir. Burada \mathbf{L} , I akımının yönünde bir vektördür. \mathbf{L} nin büyüklüğü parçanın uzunluğuna yani L ye eşittir. Bu ifadenin, düzgün bir dış manyetik alan içerisinde bulunan yalnızca doğrusal bir tel parçası için geçerli olduğuna dikkat edelim.

Şimdi, Şekil 29.8 deki gibi bir dış manyetik alan içerisinde düzgün kesitli fakat keyfi biçimli bir tel gözönüne alalım. Bir \mathbf{B} alanı bulunduğu zaman çok küçük bir $d\mathbf{s}$ parçasına etkiyen manyetik kuvvet Eşitlik 29.3 gereği

$$d\mathbf{F}_B = I d\mathbf{s} \times \mathbf{B} \quad (29.4)$$



Şekil 29.8 de gösterilen tele etkiyen toplam F_B kuvvetini elde etmek için, Eşitlik 29.4'ü telin uzunluğu boyunca integre ederiz:

$$\mathbf{F}_B = I \int_a^b d\mathbf{s} \times \mathbf{B} \quad (29.5)$$

Bu ifadede, a ve b telin uç noktalarını temsil etmektedir. Bu integral alınırken her noktada manyetik alanın büyüklüğü ve $d\mathbf{s}$ vektörüne göre yönü (yani akım elemanına göre yönelimi) değişebilir.

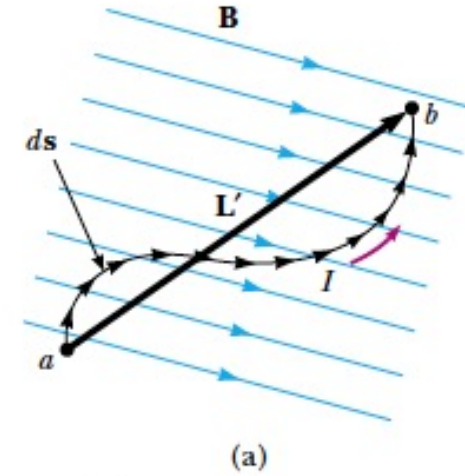
Durum 1 Şekil 29.9a daki gibi düzgün bir \mathbf{B} dış manyetik alanı içerisinde bulunan, I akımı taşıyan eğrisel bir tel gözönüne alalım. Alan düzgün (yani, \mathbf{B} iletkenin bulunduğu bölgenin tamamında aynı değere sahip) varsayıldığı için, 29.5 Eşitliğinde \mathbf{B} , integralin dışına alınabilir ve

$$\mathbf{F}_B = I \left(\int_a^b d\mathbf{s} \right) \times \mathbf{B} \quad (29.6)$$

elde ederiz. Fakat $\int_a^b d\mathbf{s}$, niceliği a dan b ye kadar olan tüm yerdeğişim elemanlarının vektörel toplamını temsil eder. Birçok vektörün toplanması ile ilgili kural gereği toplam, a dan b ye doğru yönelen \mathbf{L}' vektörüne eşittir. Bu nedenle, Eşitlik 29.6

$$\mathbf{F}_B = I \mathbf{L}' \times \mathbf{B} \quad (29.7)$$

biçimine indirgenir.

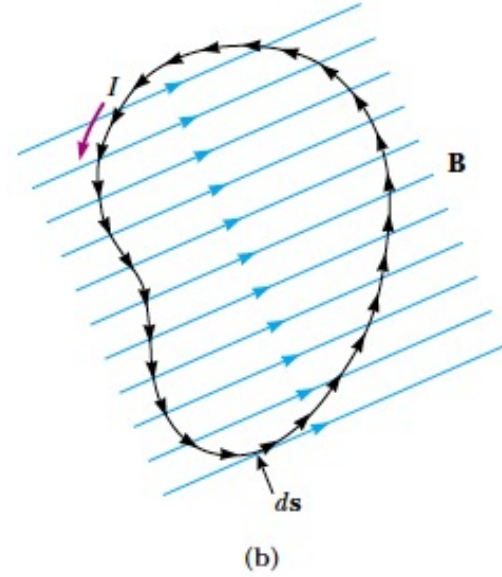


Durum 2 I akımı taşıyan keyfi biçimli kapalı bir ilmek, Şekil 29.9b deki gibi düzgün bir \mathbf{B} manyetik alanına yerleştirilmiş olsun. İlmeğe etkiyen kuvveti yine Eşitlik 29.6 biçiminde ifade edebiliriz. Fakat bu sefer uzunluk elemanları $d\mathbf{s}$ lerin vektörel toplamı kapalı ilmeğin tamamı boyunca yapılmalıdır:

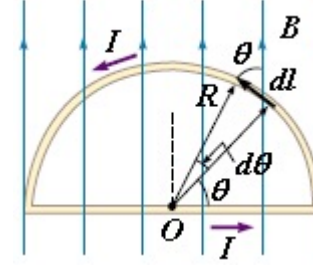
$$\mathbf{F}_B = I \left(\oint d\mathbf{s} \right) \times \mathbf{B}$$

uzunluk elemanı vektörlerinin toplamı kapalı bir ilmek oluşturduğu için vektörel toplam *sıfır* olmalıdır. Bu sonuç, çokgen yöntemini kullanarak vektörlerin grafiksel süreçle toplanmasına dayanır. $\oint d\mathbf{s} = 0$ olduğundan, $\mathbf{F}_B = 0$ sonucuna ulaşırız. Yani,

Düzgün bir manyetik alan içerisindeki herhangi bir kapalı akım ilmeğine etkiyen net manyetik kuvvet sıfırdır.



Örnek : İletken bir tel bükülerek R yarıçaplı kapalı bir yarım çember haline getirilmiştir. Sayfa düzleminde bulunan ve yukarı yönde olan düzgün bir \vec{B} manyetik alanı içine konan iletken halka, şekildeki gibi, saat ibrelerinin tersi yönünde I akımı taşıdığına göre, halkaya etki eden net kuvveti bulunuz.



F_1 ve F_2 , sırasıyla, halkanın düz kısmına ve çembersel kısmına etkiyen kuvvetlerdir.

$$\vec{F}_1 = \int Id\vec{l} \times \vec{B} \rightarrow F_1 = \int_0^{2R} IdlB \sin 90 = IB \int_0^{2R} dl = 2IRB \quad (\text{sayfa düzleminde dışarı doğru})$$

$$\vec{F}_2 = \int Id\vec{l} \times \vec{B} \rightarrow F_2 = \int IdlB \sin \theta = IB \int_0^{\pi} \sin \theta (Rd\theta)$$

$$F_2 = -IBR [\cos \theta]_0^{\pi} = 2IRB \quad (\text{sayfa düzleminde içeri doğru})$$

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$F = (2IRB - 2IRB) = 0$$

Akım Halkasına Etki Eden Manyetik Tork :

Önceki kesimde, akım-taşıyan bir iletken bir dış manyetik alan içine yerleştirildiğinde ona etkiyen kuvveti bulduk. Bunu bir hareket noktası olarak alıp, bir manyetik alan içerisine yerleştirilen bir akım ilmeğine bir tork etkidiğini göstereceğiz.

Şekil 29.12a da olduğu gibi düzlemine paralel düzgün bir manyetik alan içinde bulunan ve I akımı taşıyan dikdörtgen bir ilmek alalım. ① ve ③ nolu kenarlara hiçbir kuvvet etkimiz, çünkü bu kenarlar alana paralel ve bu nedenle bu kenarlar için $\mathbf{L} \times \mathbf{B} = 0$ dır. Öte yandan ② ve ④ nolu kenarlara manyetik kuvvetler etkir, çünkü bu kenarlar alana diktir. Bu kuvvetlerin büyüklükleri, 29.3 Eşitliği gereğince,

$$F_2 = F_4 = IaB$$

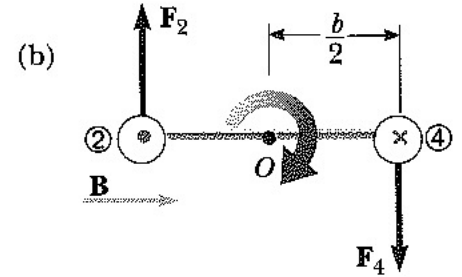
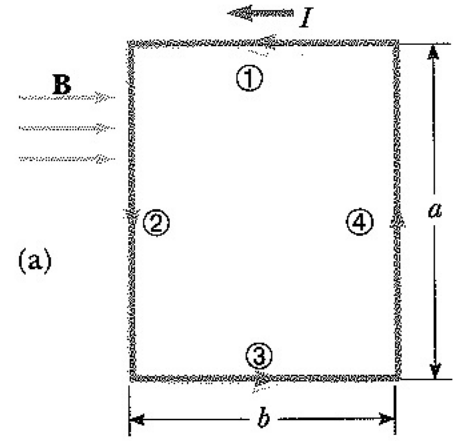
ile verilir. Şekil 29.12a daki bakışa göre ② teline etkiyen \mathbf{F}_2 kuvvetinin yönü sayfa düzleminden dışa, ④ teline etkiyen \mathbf{F}_4 kuvvetinin yönü ise sayfa düzleminin içine doğrudur. Eğer ilmeğe ③ nolu kenar tarafından yatay olarak ② ve ④ nolu kenarlar boyunca bakarsak Şekil 29.12b deki manzarayı görürüz ve \mathbf{F}_2 ve \mathbf{F}_4 kuvvetleri gösterildiği gibi yönelmişlerdir. Bu iki kuvvetin zıt yönlü olduklarına fakat etki çizgilerinin farklı olduğuna dikkat ediniz. İlmek O noktası etrafında dönebilecek şekilde bir mil geçirilirse, bu iki kuvvet O ya göre bir tork oluştururlar ve söz konusu tork, ilmeği saat yönünde döndürür. Bu torkun büyüklüğü τ_{mak} ,

$$\tau_{\text{maks}} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2} = IabB$$

dir. Burada, O ya göre moment kolu her iki kuvvet için de, $b/2$ dir. İlmeğin içindeki alan $A = ab$ olduğundan maksimum tork,

$$\tau_{\text{maks}} = IAB$$

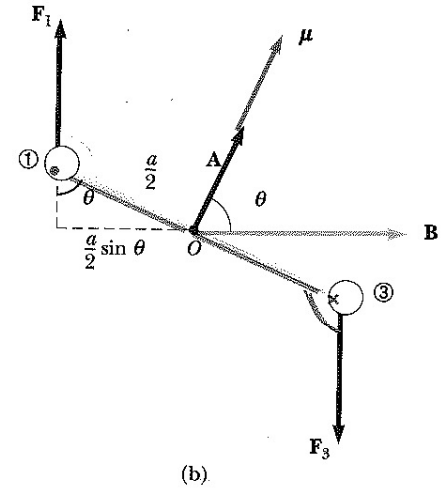
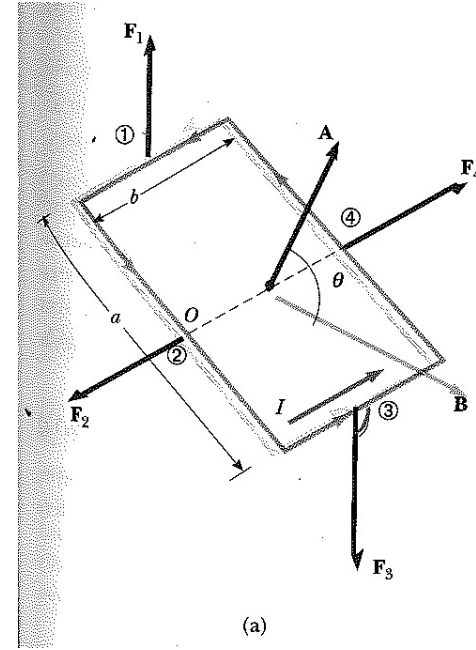
(29.8)



Şimdi, düzgün manyetik alanın, Şekil 29.13a da olduğu gibi, ilmek düzlemine dik bir doğruyla $\theta < 90^\circ$ açısı yaptığını varsayınız. Kolaylık açısından, B'nin, ① ve ③ kenarlarına dik olduğunu varsayacağız. Bu durumda, ② ve ④ kenarlarına etkiyen F_2 ve F_4 kuvvetleri birbirlerini yok ederler ve tork oluşturmazlar. Çünkü ortak bir başlangıç noktasından geçerler. Öte yandan, ① ve ③ kenarlarına etkiyen F_1 ve F_3 kuvvetleri bir çift oluştururlar. Bu nedenle *herhangi bir noktaya göre* torkları vardır. Şekil 29.13b de gösterilen uçtan görünüşe bakılırsa O noktasına göre F_1 in moment kolunun $(a/2) \sin \theta$ olduğu görülür. Benzer şekilde O ya göre F_3 nin moment kolu da $(a/2) \sin \theta$ dir. $F_1 = F_3 = I b B$ olduğundan O ya göre net torkun

$$\begin{aligned}\tau &= F_1 \frac{a}{2} \sin \theta + F_3 \frac{a}{2} \sin \theta \\ &= I b B \left(\frac{a}{2} \sin \theta \right) + I b B \left(\frac{a}{2} \sin \theta \right) = I a b B \sin \theta \\ &= I A B \sin \theta\end{aligned}$$

ile verilen bir büyüklüğe sahip olduğu görülür. Burada $A = ab$ ilmeğin alanıdır. Bu sonuç, torkun, manyetik alan, Şekil 29.12 yi tartışırken gördüğümüz gibi ilmek düzlemine paralel ($\theta = 90^\circ$) olduğu zaman IAB ile verilen maksimum değere ulaştığını ve dik olduğu zaman ($\theta = 0$) ise sıfır değerini aldığını gösterir. Şekil 29.13 te gördüğümüz gibi ilmek θ nın daha küçük değerlerine doğru dönmeye çalışır (başka bir deyişle, ilmek düzleminin normali olan \mathbf{A} vektörü, manyetik alanın yönüne doğru döner).



Düzgün bir **B** manyetik alanı içerisine yerleştirilen bir akım ilmeğine etkiyen tork için kullanışlı bir tanım,

$$\tau = IA \times B \quad (29.9)$$

Burada **A**, Şekil 29.13 de gösterildiği gibi ilmek düzlemine dik bir vektör olup, büyüklüğü ilmeğin çevrelediği alana eşittir. **A** nın yönü Şekil 29.14 te açıklandığı gibi sağ-el kuralı ile saptanır. Sağ elin dört parmağı ilmekteki akım yönünde kıvrıldığı zaman, açılan baş parmak **A** nın yönünü gösterir. **IA** çarpımı ilmeğin **manyetik dipol moment** μ olarak tanımlanır. Bir başka deyişle

$$\mu = IA \quad (29.10)$$

dır. Manyetik momentin SI sisteminde birimi amper-metre² ($A \cdot m^2$) dir. Bu tanımı kullanarak, bir **B** manyetik alanı içerisindeki akım taşıyan bir ilmeğe etkiyen torku,

$$\tau = \mu \times B \quad (29.11)$$