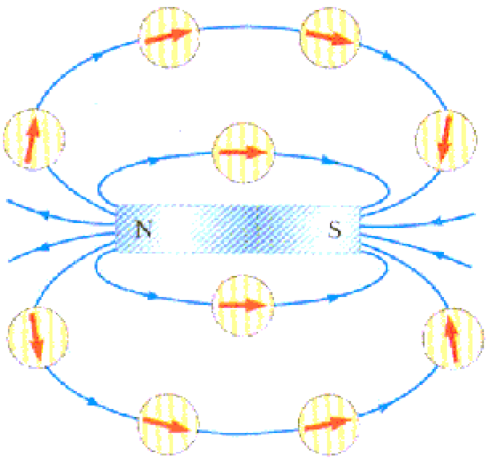
7. BÖLÜM

MANYETİK ALANLAR

7.1. MANYETİK ALAN

Herhangi bir hareketli elektrik yükünün çevresindeki uzay bölgesi elektrik alanına ek olarak bir de manyetik alan içerir. Herhangi bir manyetik maddeyi de saran bir manyetik alan vardır.

Herhangi bir yerdeki **B** manyetik alanının yönü oraya konan pusulanın gösterdiği yöndür (Şekil 7.1). Mıknatısın dışındaki manyetik alan çizgileri kuzey kutbundan dışarı doğru, güney kutbundan ise içeri doğru yönelir.



Şek. 7.1. Bir çubuk mıknatısın manyetik alan çizgilerini izleyebilmek için pusula iğneleri kullanılabilir.

Uzayın bir noktasındaki **B** manyetik alanı, orada bulunan bir deneme cismine alanın uyguladığı $\mathbf{F}_B$ manyetik kuvveti cinsinden tanımlanır. Deneme cismi **v** hızıyla hareket eden yüklü bir parçacık ise;

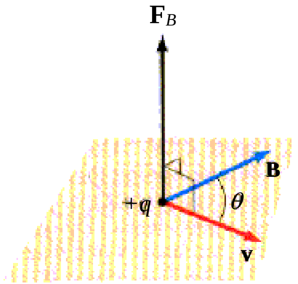
- Parçacığa etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü F_B, parçacığın v sürati ve q yüküyle orantılıdır.

- $\mathbf{F}_B$ manyetik kuvvetinin büyüklüğü ve yönü, parçacığın hızına ve **B** manyetik alanının büyüklüğüne ve yönüne bağlıdır.

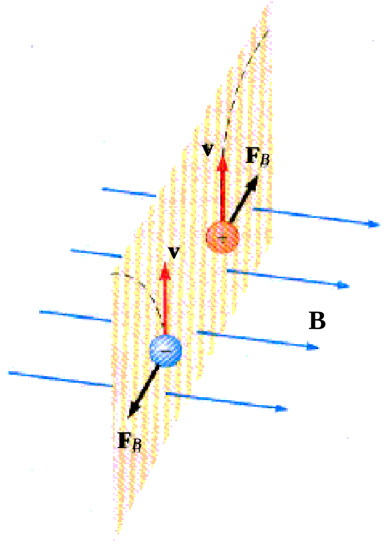
- Yüklü bir parçacık manyetik alan vektörüne paralel yönde hareket ettiği zaman ona etkiyen manyetik kuvvet sıfırdır.

- Parçacığın hız vektörü manyetik alanla bir $\theta \neq 0$ açısı yaptığı zaman, manyetik kuvvet hem **v** hem de **B**'ye dik yönde etki eder. Yani $\mathbf{F}_B$, **v** ve **B**'nin oluşturduğu düzleme diktir (Şek. 7.2a).

- Bir pozitif yüke etkiyen manyetik kuvvet, aynı yönde hareket eden bir negatif yüke etkiyen kuvvetin yönüne terstir (Şek. 7.2b).



(a)



(b)

Şek. 7.2. Bir **B** manyetik alanı içerisinde **v** hızı ile hareket eden bir yüklü parçacığa etkiyen $\mathbf{F}_B$ manyetik kuvvetin yönü.

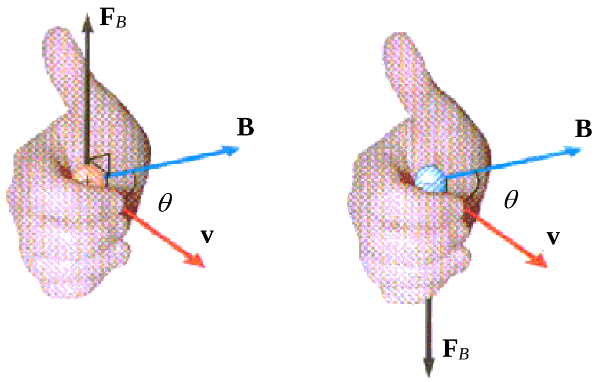
- Eğer parçacığın hız vektörü **B**'nin yönü ile bir θ açısı yaparsa, parçacığa etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü $\sin\theta$ ile orantılıdır.

Sonuç olarak manyetik kuvvet

$$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} \tag{7.1}$$

olarak yazılır. Denklemde q pozitif ise $\mathbf{F}_B$'nin yönü $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$'nin yönündedir. Bu kuvvetin yönü hem **v**'ye hem **B**'ye diktir.

Şek. 7.3'te $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ vektör çarpımının yönünü bulmaya yarayan sağ-el kuralında, sağ elin dört parmağını avuç içi **B**'ye bakacak şekilde **v**'nin yönünde yöneltilir ve sonra **B**'ye doğru bükülür. Diğer parmaklara dik olarak açılan baş parmak $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$'nin yönünü gösterir. $\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ olduğundan, q pozitif ise $\mathbf{F}_B$, $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$'nin yönünde (Şek. 7.3a), q negatif ise $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ ile ters yönlüdür (Şek. 7.3b).



Şek 7.3. Bir **B** manyetik alanı içerisinde **v** hızı ile hareket eden q yüküne etkiyen manyetik kuvvet $\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$'nin yönünü bulmaya yarayan sağ el kuralı. $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$'nin yönü başparmağın işaret ettiği yöndür.

Manyetik kuvvetin büyüklüğü

$$F_B = |q|\, \upsilon B \sin\theta \qquad (7.2)$$

bağıntısıyla verilir. Burada θ, **v** ile **B** arasındaki küçük açıdır. Bu eşitlikten **v**, **B**'ye paralel olduğunda (θ= 0 veya 180°) **F** sıfırdır. Ayrıca **v**, **B**'ye dik olduğunda (θ= 90°) kuvvet $F_{B,maks} = |q|\, \upsilon B$ ile verilen maksimum değerdedir.

Elektrik ve manyetik kuvvetler arasında önemli farklar vardır:

1. Elektrik kuvveti her zaman elektrik alanına paralel, manyetik kuvvet ise manyetik alana dik olarak etkir.
2. Elektrik kuvveti yüklü parçacığın hızından bağımsızdır. Halbuki manyetik kuvvet yalnızca yüklü parçacık hareket halinde ise ona etkir.
3. Elektrik kuvveti yüklü parçacığın konumunu değiştirerek iş yapar, buna karşın kararlı manyetik alandan kaynaklanan manyetik kuvvet parçacık yer değiştirdiğinde iş yapmaz. Yani **v** hızı ile hareket eden bir yüke uygulanan manyetik alan onun hız vektörünün yönünü değiştirebilir. Fakat hızın büyüklüğünü veya kinetik enerjisini değiştiremez.

Manyetik alanın SI birim sitemindeki birimi Tesla (T)'dır.

$$1\ \mathrm{T} = 1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}\cdot \mathrm{m/s}} \quad \text{veya} \quad 1\ \mathrm{T} = 1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}\cdot\mathrm{m}}$$

Manyetik alan birimi olarak cgs sisteminde gauss (G) kullanılır:

$$1\ \mathrm{T} = 10^4\ \mathrm{G}$$

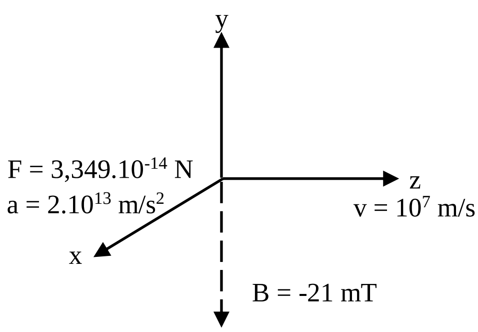
Örnek: Bir proton bir **B** düzgün manyetik alanına dik olarak 10^7 m/s süratle hareket etmekte iken hızı +z yönünde olduğu bir anda +x yönünde 2.10^{13} m/s^2'lik bir ivme hissettiğine göre alanın büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

$m_p = 1{,}672.10^{-27}$ kg, $q = e = 1{,}6.10^{-19}$ C

Çözüm: $F = ma$

$F = 1{,}672.10^{-27}.\ 2.10^{13}$

$F = 3{,}349.10^{-14}$ N



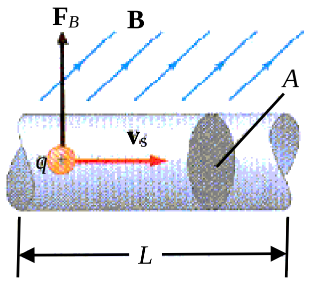
$F = qvB$

$3{,}349.10^{-14} = 1{,}6.10^{-19}.10^7.B$

$B = 3{,}349/160$

$B = 0{,}021$ T = 21 mT $\qquad$ **B** = -21**j** mT

7.2. AKIM TAŞIYAN BİR İLETKENE ETKİYEN MANYETİK KUVVET



Şek. 7. 4. Bir B manyetik alanı içerisine yerleştirilmiş bir akım taşıyan tel parçası. Alanı oluşturan her bir yüke etkiyen manyetik kuvvet $q\mathbf{v}_s\times\mathbf{B}$ olup L uzunluğundaki parçaya etkiyen kuvvet $I\mathbf{L}\times\mathbf{B}$'dir.

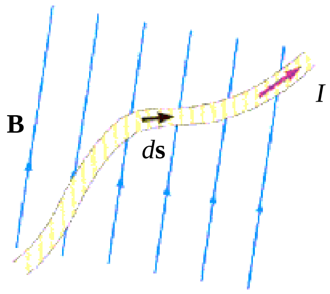
Düzgün bir **B** dış manyetik alanı içinde I kadar akım taşıyan, kesit alanı A ve uzunluğu L olan düz bir tel parçasını düşünelim. Bir $\mathbf{v}_s$ sürüklenme hızı ile hareket eden q yüküne etkiyen manyetik kuvvet $q\mathbf{v}_s\times\mathbf{B}$ ile verilir. Tele etkiyen toplam kuvvet, bir yüke etkiyen $q\mathbf{v}_s\times\mathbf{B}$ kuvvetinin tel parçasında bulunan yük sayısı ile çarpımından bulunur. Parçanın hacmi AL olduğundan yük sayısı nAL'dir. Burada n birim hacimdeki yük sayısıdır. O halde uzunluğu L olan tele etkiyen toplam manyetik kuvvet

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

olur. $I = nqv_s A$ olduğundan

$$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{L} \times \mathbf{B} \qquad (7.3)$$

yazılır. Burada **L**, I akımının yönünde bir vektördür. **L**'nin büyüklüğü parçanın uzunluğu L'ye eşittir.



Şekil 7. 5. Bir **B** dış manyetik alanı içerisinde I akımı taşıyan keyfi biçimli bir tel manyetik kuvvetin etkisindedir. Herhangi bir $d\mathbf{s}$ parçasına etkiyen kuvvet $I\,d\mathbf{s}\times\mathbf{B}$ ile verilir ve sayfadan dışarı doğru yönelmiştir.

Şekildeki gibi bir B alanı bulunduğu zaman çok küçük bir $d\mathbf{s}$ parçasına etkiyen manyetik kuvvet

$$d\mathbf{F}_B = I\,d\mathbf{s} \times \mathbf{B} \qquad (7.4)$$

bağıntısıyla verilir. Şekilde $d\mathbf{F}_B$ kağıt düzlemine dik ve dışarı doğrudur. Buradaki kuvvet, **B** manyetik alanı akım elemanına dik olduğunda maksimum, akım elemanına paralel olduğunda ise sıfırdır.

Şek. 7.5'te gösterilen tele etkiyen toplam $\mathbf{F}_B$ kuvveti, (7.4) ifadesini telin uzunluğu boyunca integre ederek bulunur.

$$\mathbf{F}_B = I\int_a^b d\mathbf{s}\times\mathbf{B} \qquad (7.5)$$

Burada a ve b telin uç noktalarıdır.

(7.5) eşitliğinin uygulamasını içeren iki özel durumu düşünelim. Her iki durumda da dış manyetik alanın büyüklüğü ve yönü sabit kabul edilmektedir.

Durum 1

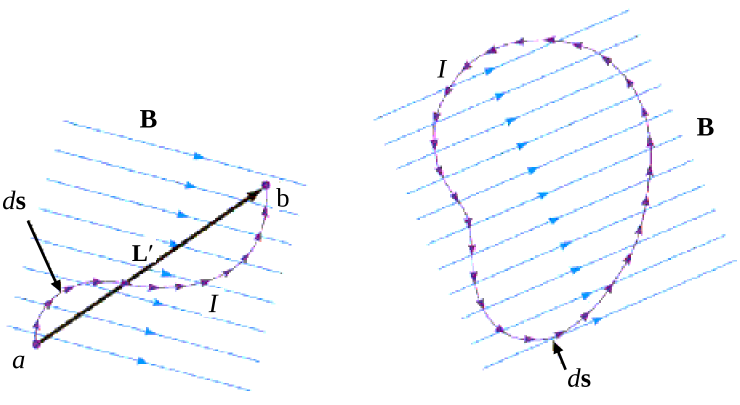
Şekil 7.6a'da alan düzgün (yani **B** iletkenin bulunduğu bölgenin tamamında aynı değere sahip) varsayıldığından (7.5) eşitliğinde B integralin dışına alınabilir ve

$$\mathbf{F}_B = I\left(\int_a^b d\mathbf{s}\right)\times\mathbf{B} \qquad (7.6)$$

elde edilir. Yani

$$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{L}'\times\mathbf{B} \qquad (7.7)$$

olur.



Şek. 7. 6. (a) Düzgün bir manyetik alan içinde I akımı taşıyan eğri bir iletken. (b) Düzgün bir manyetik alan içinde akım taşıyan keyfi biçimli bir ilmek.

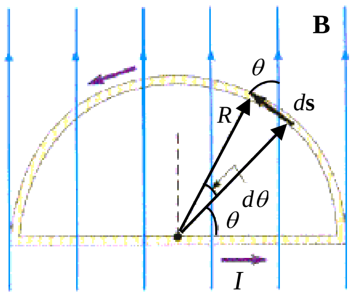
Durum 2

Şekildeki ilmeğe etkiyen kuvvet yine eşitlik (7.5)'ten hesaplanır. Fakat bu sefer uzunluk elemanları $d\mathbf{s}$'lerin vektörel toplamı, kapalı ilmeğin 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 toplamı sıfır olmalıdır. Yani $\oint d\mathbf{s} = 0$ olduğundan $\mathbf{F}_B$ = 0 olur. Sonuç olarak düzgün bir manyetik alan içerisindeki herhangi bir kapalı alan ilmeğine etkiyen net manyetik kuvvet sıfırdır.

Örnek: Yarıçapı R olan yarı çember biçiminde bükülmüş bir tel, kapalı bir devre oluşturuyor. Tel I akımı taşımaktadır. Devre, şekildeki gibi xy düzleminde olup pozitif y yönünde düzgün bir manyetik alanda bulunmaktadır. Telin doğru ve eğri parçalarına etkiyen manyetik kuvvetlerin büyüklük ve yönlerini bulunuz.



Çözüm:

Düz Parça

$\mathbf{F} = I\,\mathbf{L}\times\mathbf{B}$

$F = ILB\sin\theta$ $\quad$ ($\theta = 90°$)

$F_1 = ILB = 2IRB$ $\quad$ ($L=2R$)

F_1'in yönü kağıt düzlemine dik ve dışa doğrudur. Çünkü $\mathbf{L}\times\mathbf{B}$ pozitif z ekseni yönündedir.

Eğrisel Parça

$d\mathbf{F} = I\,d\mathbf{s}\times\mathbf{B}$

$dF_2 = I\left|d\mathbf{s}\times\mathbf{B}\right| = IB\sin\theta\, ds$ $\qquad$ $s = R\theta$ $\qquad$ $ds = Rd\theta$

$dF_2 = IRB\sin\theta\, d\theta$

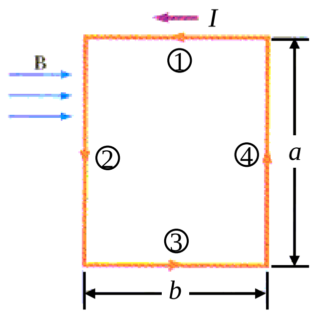
$$F_2 = \int_0^{\pi} IRB\sin\theta\, d\theta$$

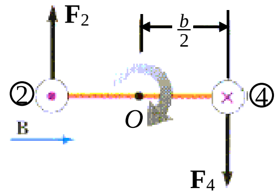
$$F_2 = -\,IRB\left(\cos\theta\Big|_0^{\pi}\right)$$

$F_2 = 2IRB$

$d\mathbf{s}\times\mathbf{B}$ içeri doğru olduğundan F_2'nin yönü kağıt düzlemine dik ve içeri doğrudur. Sonuç olarak kapalı ilmeğe etkiyen net kuvvet sıfırdır.

7.3. DÜZGÜN BİR MANYETİK ALAN İÇERİSİNDEKİ BİR AKIM İLMEĞİNE ETKİYEN TORK





Şekil 7.7. (a) Düzgün bir manyetik alan içerisindeki dikdörtgen biçimli bir akım ilmeğinin üsten görünüşü. (b) İlmeğin② ve④kenarları boyunca kenar görünüşü, bu kenarlara etkiyen $\mathbf{F}_2$ ve $\mathbf{F}_4$ kuvvetlerinin ilmeği saat yönünde döndürmeye çalışan bir tork oluşturduklarını gösterir.

Şekil 7.7a'daki gibi sayfa düzlemine paralel düzgün bir manyetik alan içinde bulunan ve I akımı taşıyan dikdörtgen bir ilmeğin, 1 ve 3 nolu kenarlarına hiçbir kuvvet etkimez. Çünkü bu kenarlar alana paraleldir ve bu nedenle $\mathbf{L} \times \mathbf{B} = 0$ olur. Öte yandan 2 ve 4 nolu kenarlara manyetik kuvvetler etkir ve büyüklükleri $\mathbf{F} = I\,\mathbf{L} \times \mathbf{B}$ eşitliğinden

$$F_2 = F_4 = IaB$$

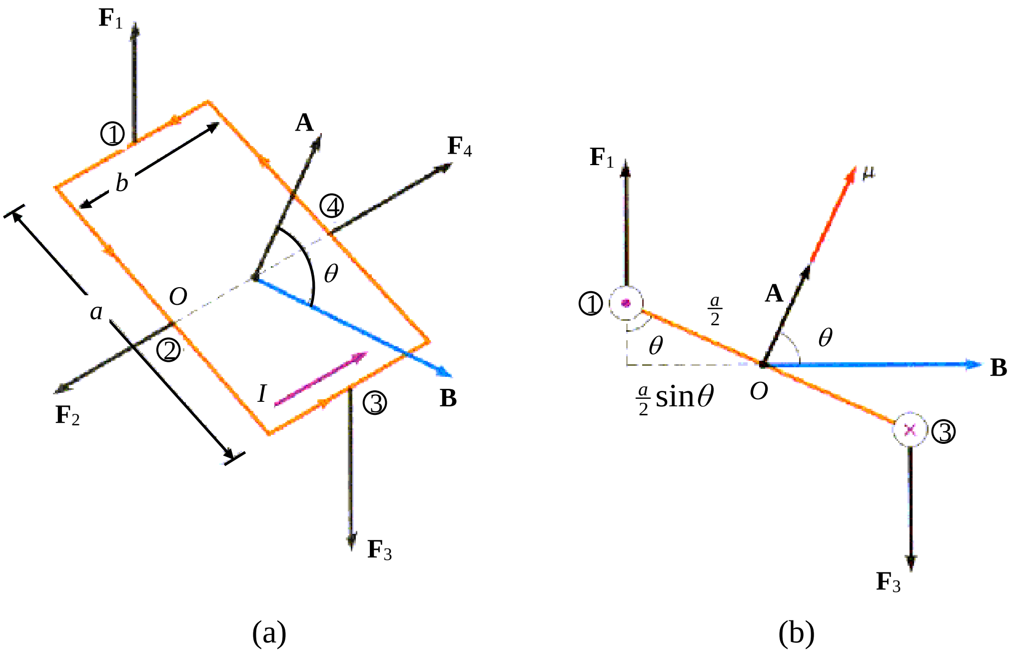
olur. İlmeğe 3 nolu kenar tarafından yatay olarak bakarsak, Şekil 7.7b'de gösterildiği gibi 2 teline etkiyen $\mathbf{F}_2$ kuvvetinin yönünün sayfa düzleminin dışına, 4 teline etkiyen $\mathbf{F}_4$ kuvvetinin yönünün ise sayfa düzleminin içine doğru olduğunu görürüz. İlmek O noktası etrafında dönebilecek şekilde bir mile geçirilirse, bu iki kuvvet O'ya göre bir tork oluşturur ve tork, ilmeği saat ibreleri yönünde döndürür. Bu torkun büyüklüğü,

$$\tau_{\text{maks}} = F_2\frac{b}{2} + F_4\frac{b}{2} = IaB\frac{b}{2} + IaB\frac{b}{2} = IabB = IAB \qquad (7.8)$$

olur. Burada $A = ab$ ilmeğin içindeki alandır.

Şimdi Şekil 7.8a'daki gibi manyetik alanın ilmek düzlemine dik doğruyla $\theta < 90°$ açısı yaptığını varsayalım. $\mathbf{B}$'nin 1 ve 3 kenarlarına dik olduğunu varsayacağız. Bu durumda 2 ve 4 kenarlarına etkiyen $\mathbf{F}_2$ ve $\mathbf{F}_4$ kuvvetleri birbirini yok eder ve tork oluşturmazlar. Çünkü ortak bir başlangıç noktasından geçerler. Şekil 7.8b'de gösterilen uçtan görünüşe bakılırsa O noktasına göre $\mathbf{F}_1$'in moment kolunun $(a/2)\sin\theta$ ve aynı şekilde $\mathbf{F}_3$'in moment kolunun da $(a/2)\sin\theta$ olduğu görülür. $\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_3 = IbB$ olduğundan O'ya göre net tork şöyle olur:

$$\tau = F_1\frac{a}{2}\sin\theta + F_3\frac{a}{2}\sin\theta = IbB\,\frac{a}{2}\sin\theta + IbB\,\frac{a}{2}\sin\theta = IabB\sin\theta = IAB\sin\theta$$



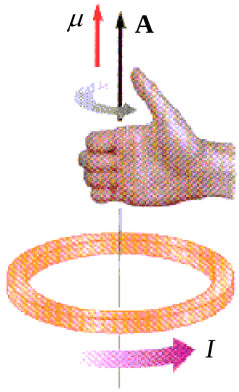
Şekil 7.8. (a) Düzgün bir manyetik alan içerisindeki dikdörtgensel bir akım ilmeği. İlmeğin düzlemine dik olan alan vektörü **A**, manyetik alanla θ açısı yapmaktadır. (b) 2 ve 4 kenarları boyunca bakıldığında ilmeğin kenardan görünüşü.

Bu sonuç torkun, $\theta = 90°$ iken maksimum, $\theta = 0°$ olduğu zaman sıfır olduğunu gösterir. Şekil 7.8a'da görüldüğü gibi ilmek θ'nın daha küçük değerlerine doğru dönmeye çalışır. Yani ilmek düzleminin normali **A**, manyetik alanın yönüne doğru döner.

Düzgün bir manyetik alan içerisine yerleştirilen bir akım ilmeğine etkiyen tork genel olarak

$$\boldsymbol{\tau} = I\,\mathbf{A} \times \mathbf{B} \qquad (7.9)$$

ile verilir. Burada A, ilmek düzlemine dik bir vektör olup büyüklüğü ilmeğin çevrelediği alana eşittir. **A**'nın yönü Şekil 7.9'daki sağ el kuralıyla bulunur. Sağ elin dört parmağı ilmekteki akım yönünde kıvrıldığı zaman, açılan baş parmak **A**'nın yönünü gösterir.



Şekil 7. 9. A vektörünün yönünü saptamaya yarayan sağ el kuralı. $\boldsymbol{\mu}$ manyetik momenti de **A**'nın yönündedir.

(7.9) eşitliğindeki $I\mathbf{A}$ çarpımı ilmeğin manyetik dipol momenti $\boldsymbol{\mu}$ olarak tanımlanır.

$$\boldsymbol{\mu} = I\,\mathbf{A} \tag{7.10}$$

Manyetik momentin SI'daki birimi A.m^2'dir. O halde bir B manyetik alanı içerisindeki akım taşıyan bir ilmeğe etkiyen tork

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B} \tag{7.11}$$

olur.

Eğer bir kangal (bobin), her biri aynı akımı taşıyan ve aynı alanı çevreleyen N sarımdan oluşmuş is, kangalın toplam manyetik dipol momenti, bir sarımlı manyetik dipol momentinin N katıdır. Bu nedenle tork,

$$\boldsymbol{\tau} = \mathrm{N}\boldsymbol{\mu}_{\mathrm{ilmek}} \times \mathbf{B} = \boldsymbol{\mu}_{\mathrm{bobin}} \times \mathbf{B}$$

olur.

Bir manyetik alan içerisindeki bir manyetik dipolün potansiyel enerjisi dipolün manyetik alan içerisindeki yönelimine bağlı olup

$$U = -\,\boldsymbol{\mu} \,.\, \mathbf{B} \tag{7.12}$$

ile verilir. Bu ifadeden, $\boldsymbol{\mu}$, $\mathbf{B}$ ile aynı yöne yöneldiğinde en düşük enerjisine $U_{\min} = -\,\mu\mathrm{B}$, terse yöneldiğinde en yüksek enerjisine $U_{\max} = \ \mu\mathrm{B}$ sahip olduğu görülür.

Örnek: Boyutları 5,4 cm × 8,5 cm olan dikdörtgen bir kangal (bobin) 25 sarımlı bir telden oluşmakta ve 15 mA'lik bir akım taşımaktadır.

a) Kangalın manyetik momentinin büyüklüğünü hesaplayınız.
b) İlmek düzlemine paralel olarak 0,35 T olan bir manyetik alan uygulanırsa etki eden torkun büyüklüğünü bulunuz.
c) A.m^2.T biriminin N.m ile verilen tork birimine indirgendiğini kanıtlayınız.
d) μ ile manyetik alan arasındaki açı 60° ve 0° olduğu zaman kangala etkiyen torkun büyüklüğünü hesaplayınız.

Çözüm:

A = 5,4 × 8,5 = 45,9 cm^2 = 45,9.10^{-4} m^2

N = 25 sarım

I = 15 mA = 15.10^{-3} A

B = 0,35 T

a) $\mu_{\text{kangal}} = NIA = 25.15.10^{-3}.45{,}9.10^{-4} = 1{,}72.10^{-3}$ A.m^2

b) $\tau = \mu B = 1{,}72.10^{-3}.0{,}35 = 6{,}02.10^{-4}$ N.m

c) A.m^2.T = N.m

$$\text{A.m}^2.\left(\frac{\text{N}}{\text{A.m}}\right) = \text{N.m}$$

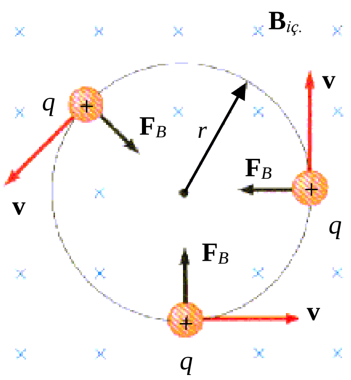
N.m = N.m

d) $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$

$\tau = \mu\,\text{B}\sin\theta$

$\theta = 60°$ için	$\theta = 0°$ için
$\tau = 1{,}72.10^{-3}.0{,}35.\sin 60$	$\tau = 0$
$\tau = 5{,}21.10^{-4}$ N.m	

7. 4. YÜKLÜ BİR PARÇACIĞIN DÜZGÜN BİR MANYETİK ALAN İÇERİSİNDEKİ HAREKETİ



Şekil 7.10. Yüklü bir parçacığın hızı düzgün bir manyetik alana dik olduğunda parçacık, **B**’ye dik olan bir düzlemde çember biçimli bir yörüngede hareket eder.

Şekil 7.10’daki gibi düzgün bir manyetik alan içerisinde ve hızı başlangıçta alana dik olan pozitif yüklü bir parçacık, düzlemi manyetik alana dik olan bir çember üzerinde hareket eder. Bunun nedeni, $\mathbf{F}_B$ manyetik kuvvetinin **v** ve **B** ile dik açı yapması ve qvB büyüklüğüne sahip olmasıdır. Şekildeki gibi $\mathbf{F}_B$ kuvveti parçacığı saptırdıkça **v** ve $\mathbf{F}_B$’nin yönleri sürekli olarak değişir. $\mathbf{F}_B$ her zaman çemberin merkezine doğru baktığı için **v**’nin yalnız yönünü değiştirebilir, büyüklüğünü değiştiremez. Dönme yönü pozitif yük için saat yönünün tersidir. Manyetik kuvveti, yüklü bir parçacığı çember üzerinde tutabilmek için merkezcil kuvvete eşitleyebiliriz.

$$\Sigma F = ma_r$$

$$F_B = q\upsilon B = m\frac{\upsilon^2}{r}$$

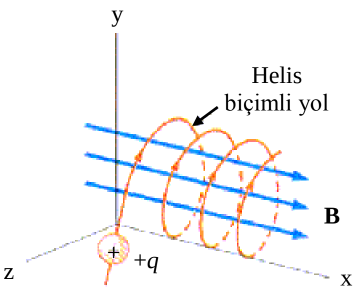
$$r = \frac{m\upsilon}{qB} \qquad (7.13)$$

Dönen yüklü parçacığın açısal hızı ise

$$\omega = \frac{\upsilon}{r} = \frac{qB}{m} \qquad (7.14)$$

olur. Bu hıza çoğu kez siklotron frekansı denir. Parçacığın hareketinin periyodu (bir dolanım için geçen zaman) çemberin çevresinin parçacığın çizgisel hızına bölümüne eşittir.

$$T = \frac{2\pi r}{\upsilon} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB} \qquad (7.15)$$



Şekil 7.11. Düzgün bir manyetik alana paralel bir hız bileşeni olan yüklü parçacık, helis biçimli bir yol izler.

Yüklü bir parçacık düzgün bir manyetik alan içerisinde, hızı **B** ile keyfi bir açı yapacak şekilde hareket ederse yolu bir helistir. Örneğin Şek. 7.11'deki gibi alan x yönünde ise kuvvetin x yönünde hiçbir bileşeni yoktur ve bu nedenle $a_x = 0$ ve υ_x sabittir. Öte yandan manyetik kuvvet $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, υ_y ve υ_z bileşenlerinin zamanla değişmelerine neden olur ve bileşke kuvvet ekseni **B** alanına paralel olan bir helistir. Yolun yz düzlemi üzerindeki izdüşümü bir çemberdir. Bu nedenle υ yerine $\upsilon_\perp = \sqrt{\upsilon_y^2 \upsilon_z^2}$ konulduğu müddetçe (7.13), (7.14) ve (7.15) eşitlikleri hala geçerlidir.

Örnek: Bir proton hızına dik 0,35 T büyüklüğünde düzgün bir manyetik alan içerisinde 14 cm yarıçaplı bir çember üzerinde hareket ediyor.

a) Protonun çizgisel hızını bulunuz.

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

$m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg $\quad q_p = 1{,}6.10^{-19}$ C

$m_e = 9{,}11.10^{-31}$ kg $\quad q_e = 1{,}6.10^{-19}$ C

Çözüm:

a) $F_B = q\upsilon B = m\dfrac{\upsilon^2}{r} \quad \Rightarrow \quad \upsilon = \dfrac{qBr}{m} = \dfrac{1{,}6.10^{-19}.0{,}35.0{,}14}{1{,}67.10^{-27}}$

$\upsilon = 4{,}7.10^{6}$ m/s

b) $r = \dfrac{m\upsilon}{qB} = \dfrac{9{,}11.10^{-31}.4{,}7.10^{6}}{1{,}6.10^{-19}.0{,}35}$

$r = 7{,}64.10^{-5}$ m

Problemler

1. Net yükü 5 μC olan 30 g kütleli metal bir top 20 m/s'lik bir süratle yatay olarak bir pencereden dışarı fırlatılıyor. Pencere yerden 20 m yukarıdadır. Büyüklüğü 0,01 T olan düzgün ve yatay manyetik alan topun yörünge düzlemine dik olduğuna göre yere çarpmadan hemen önce topa etkiyen manyetik kuvveti bulunuz.

Çözüm:

$\upsilon_{0x} = 20$ m/s $\Rightarrow$ $\mathbf{v}_{0x} = 20\mathbf{i}$ m/s

B = 0,01 T $\Rightarrow$ $\mathbf{B} = 0{,}01\mathbf{k}$ T

Manyetik kuvvet çekim kuvvetine nazaran küçük olduğundan hızın yatay bileşeni hemen hemen sabittir.

$\mathbf{v}_x = \mathbf{v}_{0x} = 20\mathbf{i}$ m/s

$$\upsilon_y^2 = \upsilon_{0y}^2 + 2gh$$

$$\upsilon_y = \sqrt{2gh}$$

$\mathbf{v}_y = -19{,}8\mathbf{j}$ m/s

$\mathbf{v} = 20\mathbf{i} - 19{,}8\mathbf{j}$ m/s

$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

$\mathbf{F} = 5.10^{-6}[(20\mathbf{i} - 19{,}8\mathbf{j}) \times 0{,}01\mathbf{k}]$

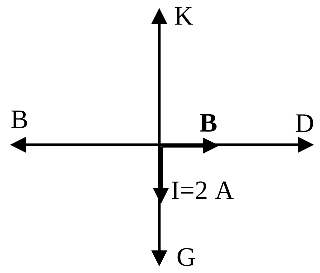
$\mathbf{F} = 10^{-6}\mathbf{j} - 0{,}99.10^{-6}\mathbf{i}$ N

2. Birim uzunluğunun kütlesi 0,5 g/cm olan bir tel yatay olarak güneye doğru 2 A'lik bir akım taşırken bu teli düşey olarak yukarı doğru kaldırabilmek için gerekli manyetik alanın yön ve minimum büyüklüğü ne olmalıdır?

Çözüm: $\lambda = m/L = 0{,}5$ g/cm $= 5.10^{-2}$ kg/m

I = 2 A güneye doğru

Kuvvetin yukarı doğru olması için L ve B arasındaki açı 90° olmalı



$\mathbf{F}_B = I\,\mathbf{L} \times \mathbf{B} = ILB\sin\theta$

$\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}$

$\mathbf{F}_B = \mathbf{F}_g$

$ILB\sin\theta = mg$

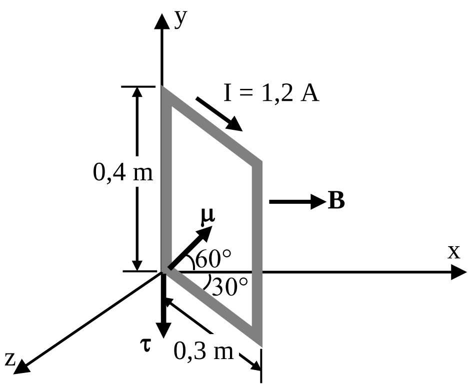
$$B = \frac{m}{L}\frac{g}{I\sin\theta}$$

$$B = 5.10^{-2}.\frac{9{,}8}{2\sin 90}$$

$B = 24{,}5.10^{-2}$ T Kuvvet yukarı olduğundan alan doğuya doğrudur.

3. Çok sıkı sarılmış 100 sarımdan oluşan dikdörtgen biçimli bir ilmeğin boyutları 0,4 m ve 0,3 m'dir. İlmek, y ekseni boyunca menteşelenmiş olup ilmek düzlemi x ekseni ile 30 ° açı yapmaktadır (Şekil). Sarımlardan şekilde gösterildiği yönde 1,2 A değerinde akım geçtiği zaman x ekseni boyunca uygulanan 0,8 T'lik düzgün bir manyetik alanın ilmeğe etkidiği torkun büyüklüğü nedir? İlmeğin beklenen dönme yönü nedir?

Çözüm:



$\boldsymbol{\tau} = NI\mathbf{A}\times\mathbf{B}$ $\qquad \boldsymbol{\mu} = I\mathbf{A}$

$\tau = NIAB\sin\theta$

$\tau = 100.1{,}2.0{,}12.0{,}8\sin 60$

$\tau = 9{,}98$ N.m

Yani halka, manyetik moment B'ye paralel olacak şekilde dönecektir.

y ekseni boyunca saat ibreleri yönünde

$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu}\times\mathbf{B}$

4. Bir elektron büyüklüğü 1 mT olan sabit bir manyetik alana dik çembersel bir yörüngede hareket etmektedir. Elektronun çemberin merkezine göre açısal momentumu 4.10^{-25} J.s ise,

a) çembersel yörüngenin yarıçapını,

b) elektronun hızını bulunuz.

Çözüm:

a) $F = qvB$ $\qquad F = m\dfrac{v^2}{r}$

$$qvB = m\frac{v^2}{r} \quad \Rightarrow \quad qrB = mv$$

$$qr^2B = \underbrace{mvr}_{L}$$

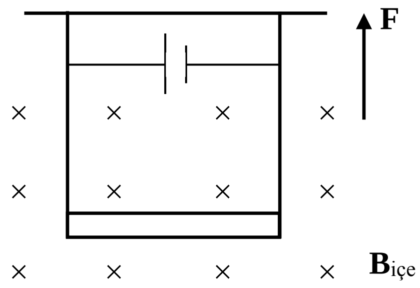
$$r = \sqrt{\frac{L}{qB}} = \sqrt{\frac{4.10^{-25}}{1{,}6.10^{-19}1.10^{-3}}}$$

$r = 0{,}05$ m

b) $v = \dfrac{L}{mr} = \dfrac{4.10^{-25}}{9{,}11.10^{-31}.0{,}05}$

$v = 8{,}78.10^{6}$ m/s

5. Şekildeki gibi iki esnek telle asılan bir iletkenin birim uzunluğunun kütlesi 0,04 kg/m'dir. İletkenin bulunduğu bölgede sayfa düzleminin içine doğru 3,6 T büyüklüğünde bir manyetik alan varsa askı tellerindeki gerilmenin sıfır olması için iletkendeki akımın büyüklüğü ve yönü ne olmalıdır?



Çözüm:

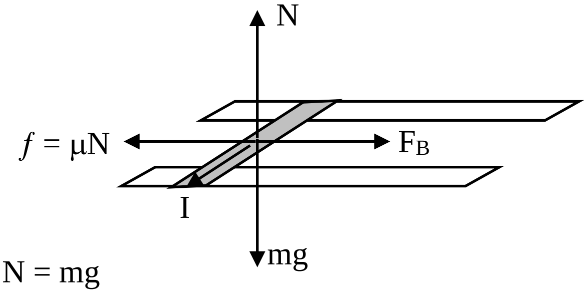
$F = ILB$ $\qquad$ $F = mg$

$$ILB = mg \quad \Rightarrow \quad I = \frac{m}{L}\frac{g}{B}$$

$$I = 0{,}04\frac{9{,}8}{3{,}6}$$

$I = 0{,}109$ A $\quad$ sağa doğru (sağ el kuralı)

6. 10 A'lik akım taşımakta olan 0,2 kg'lık bir metal çubuk, aralarındaki uzaklık 0,5 m olan iki yatay ray üzerinde kaymaktadır. Eğer çubukla raylar arasındaki kinetik sürtünme katsayısı 0,1 ise çubuğun sabit bir süratle hareket edebilmesi için nasıl bir dik manyetik alan gerekmektedir?



Çözüm:

$\mathbf{F} = I\mathbf{L}\times\mathbf{B}$

$F = ILB$

$$N - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg$$

$$ILB - \mu N = 0$$

$$B = \frac{\mu N}{IL} = \frac{\mu mg}{IL}$$

$$B = \frac{0{,}1.0{,}2.9{,}8}{10.0{,}5} = 39{,}2.10^{-3}\ \text{T}$$