

BÖLÜM 29 MANYETİK ALANLAR

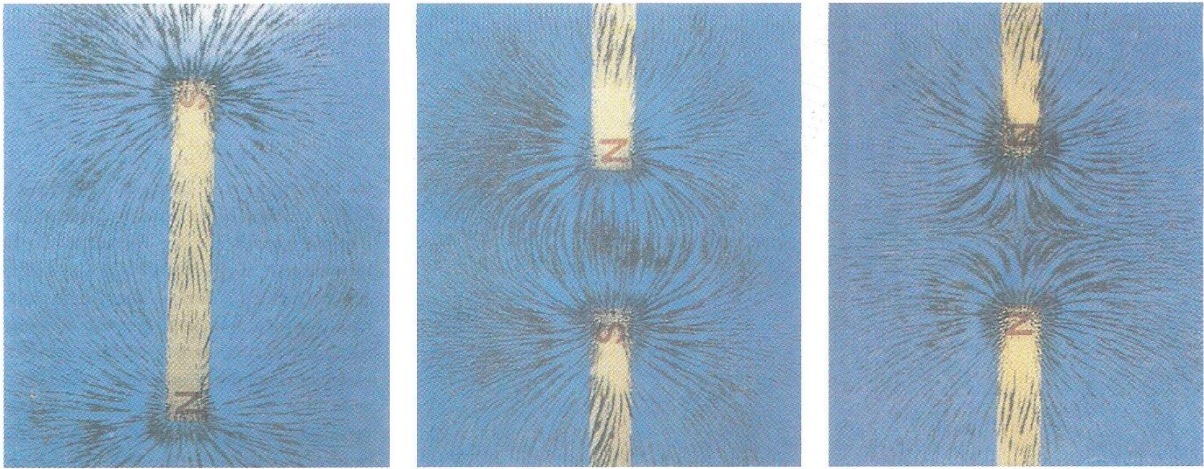
29.1 Manyetik Alan

Yüküklü cisimler, çevrelerinde $\vec{E}$ elektrik alanı oluşturmaktadır.

Hareketli bir elektrik yükü, $\vec{E}$ 'nin yönüne bir $\vec{B}$ alanı oluşturur. $\vec{B}$: Manyetik Alan vektörüdür.

Herhangi bir manyetik madde (Fe_3O_4 , magnetit gibi) de manyetik alan oluşturabilir.

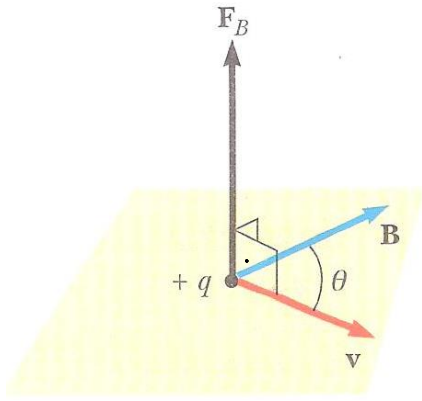
Bir yapay mıknatısın, demir tozlarını nasıl şevillendirdiği aşağıda fotoğraflarla verilmiştir.



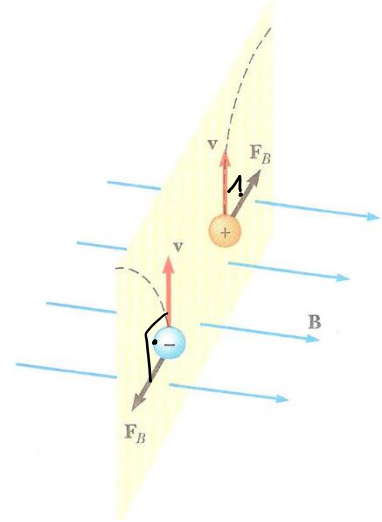
Bir $\vec{B}$ alanında hareket eden qşitli yük parçacıklarının hareketleriyle ilgili yapılan deneyler aşağıdaki sonuçları verir.

1. Parçacıya etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü F_B , parçacığın süratı v , ve q yükü ile orantılıdır.
$$F_B \propto v, \quad F_B \propto q$$
2. $\vec{F}_B$ manyetik kuvvetin büyüklüğü ve yönü, parçacığın hızı $\vec{v}$ ve $\vec{B}$ 'nin büyüklüğü ve yönüne bağlıdır.
3. Yükü bir parçacık manyetik alan vektörü $\vec{B}$ 'ye paralel yönde hareket ederse, o'na etkiyen kuvvet sıfırdır.
4. Parçacığın hız vektörü $\vec{v}$, manyetik alan vektörü $\vec{B}$ ile $\theta \neq 0$ açısı yaptığı zaman, manyetik kuvvet hem $\vec{v}$ ye hemde $\vec{B}$ 'ye diktir.

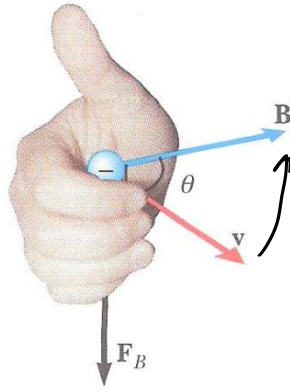
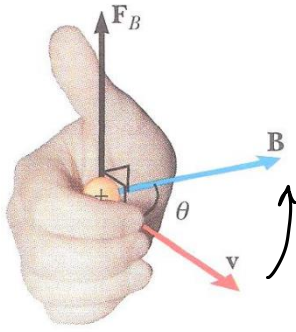
Artık $\vec{F}$ ile q , $\vec{v}$, $\vec{B}$ arasındaki ilişkiyi tespit edebilirsiniz.



$\vec{F}_B$ 'nin yönü



+ ve - yüklere uyguladığı kuvvet.



Yükli parçacığı etkileyen kuvvetin yönü sağ el kuralıyla verilebilir.

- pozitif yüke etkileyen $\vec{F}_B$ kuvveti, negatif yüke etkileyen kuvvetle zıt yönlüdür.

• $\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$, q işaretiyle birlikte yazılmalı.

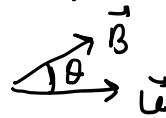
Düzgün bir manyetik alan içinde $\vec{v}$ hızıyla hareket eden q yüklü cisme etkileyen kuvvet. Bu formül deneyden çıkarılmıştır.

$$F_B = q v B \sin \theta , \quad |\vec{v} \times \vec{B}| = v B \sin \theta .$$

" F_B 'nin büyüklüğü "

θ : 0° olursa ($\vec{v} // \vec{B}$) ne

$\sin 0^\circ = 0$ olur. Aynı sonuç $\vec{v}$ ile $\vec{B}$ zıt yönlü olursa yine ortaya çıkar. ($\sin 180^\circ = 0$).



manyetik alanın birimi:

SI biriminde B , kuvvet cisimden verilir.

$$F = q v B \sin \theta \Rightarrow [F] = [q][v][B]$$

$$[B] = \frac{[F]}{[q][v]} \dots \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C} \cdot 1 \text{ m/s}} = \text{Tesla (kısaca T)}$$

$$\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C} \cdot 1 \text{ m/s}} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C/s} \cdot 1 \text{ m}} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m}} \text{ yazılabilir. Akım taşıyan telle ilişkilidir.}$$

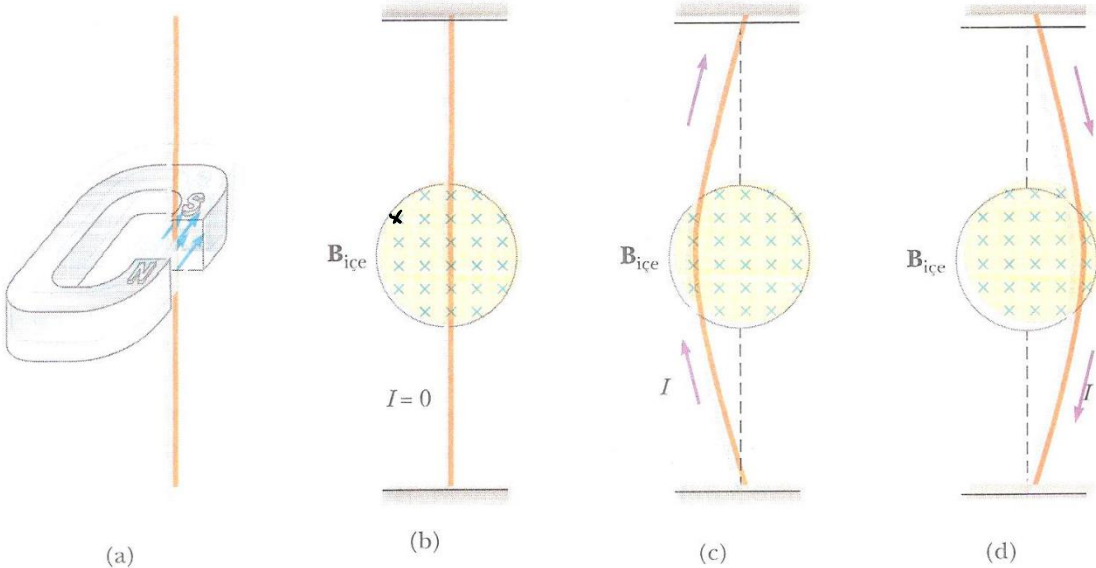
Amper

Bu manyetik alan birimi (T), büyük alanlar için uygundur. Örneğin MR cihazındaki manyetik alanın şiddeti 1,5-2 T civarındadır.

CGS: birim sisteminde manyetik alan birim gauss (G) kullanılır. $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ 'a eşittir.

Yer yüzeyinde yerin manyetik alanı $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$ civarındadır. Yani 0,5 G. İnsan hayninin oluşturur tipik değeri 10^{-13} T civarındadır.

29.2 AKIM TAŞIYAN BİR İLETKENE ETKİYEN MANYETİK KUVVET



Düzgün bir manyetik alanda bulunan ve akım taşıyan bir iletkeni etkileyen kuvveti bulmak istiyoruz.

Başlangıç noktamız: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ olacaktır.

iletkenin içinde yükler $\vec{U}_s$ sürüklenme hızıyla hareket ederler.

iletkenin içindeki bir hareketli yüke etkiyen kuvveti

$$\vec{F}_R = q (\vec{U}_s \times \vec{B})$$

Kesit alanı A , uzunluğu L olan bir iletkende $n \underbrace{AL}_{\text{Hacim}}$

tane serbest yük vardır. n : Birim hacimdeki serbest yük sayısı, (tane/ m^3)

L uzunluğundaki yüklere etkiyen kuvvet

$$\vec{F}_R = q (\vec{U}_s \times \vec{B}) n A L \quad \text{ile verilebilir.}$$

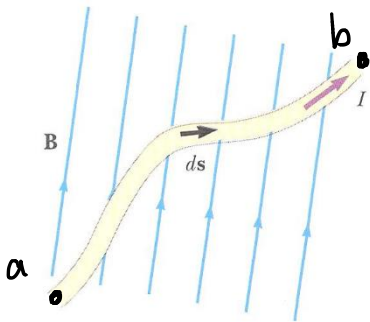
27. Bölümde akım için $I = n q U_s A$ yazılmıştı.

$$\vec{F}_R = I (\vec{L} \times \vec{B}), \quad \vec{U}_s \text{ vektörünün } \rightarrow \text{ } \text{işareti simdi } \vec{L} \text{ 'ye verilmiştir.}$$

$\vec{L}$, $\vec{U}_s$ ($\equiv$ akımla) aynı yönde olmalıdır.

$\vec{L}$ $\xrightarrow{L}$ $\vec{L}$ $\xrightarrow{I}$. Şimdilik tel düz ve akım karardır. Manyetik alan düzgün.

Eğer akım taşıyan tel düz değilse o zaman $\vec{F}_R$ nasıl hesaplanacak.



$d\vec{s}$ tel parçasına uygulanan manyetik kuvvet, düz telden esinlenerek ($\vec{L} \rightarrow d\vec{s}$)

$$d\vec{F}_R = I (d\vec{s} \times \vec{B})$$

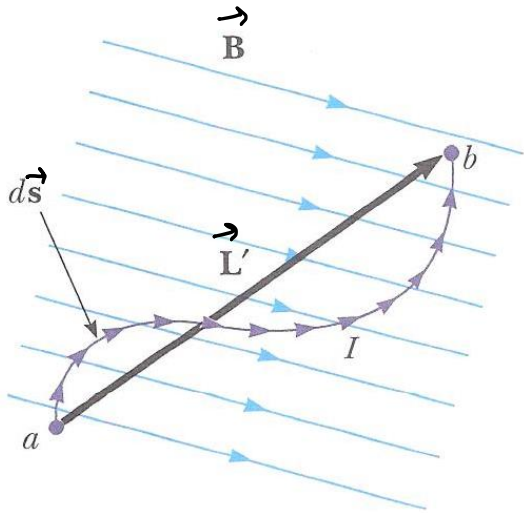
$$\vec{F}_R = \int_a^b I (d\vec{s} \times \vec{B})$$

" U_s noktası $a-b$ olan tele etkiyen kuvvet "

Eğer I karardır ise (yani sabittir) integral dışına çıkarılabilir.

$$\vec{F}_R = I \int_a^b (d\vec{s} \times \vec{B}), \quad d\vec{s} \text{ akım yönünde}$$

$\vec{B}$ düzgün ise



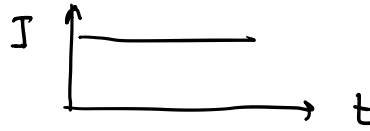
$$\vec{F}_B = I \left(\int_a^b d\vec{s} \right) \times \vec{B}$$

$\underbrace{\int_a^b d\vec{s}}_{\vec{L}'}$

$$\vec{F}_B = I (\vec{L}' \times \vec{B}) \quad \text{elde edilir.}$$

$$\int_a^b d\vec{s} \equiv \vec{L}'$$

$\vec{B}$ düzgün, I kararlı



ve tel kapalı bir ilmek oluyorsa

$$\oint d\vec{s} = 0 \quad \left[\oint ds : \text{Halkanın} \right]$$

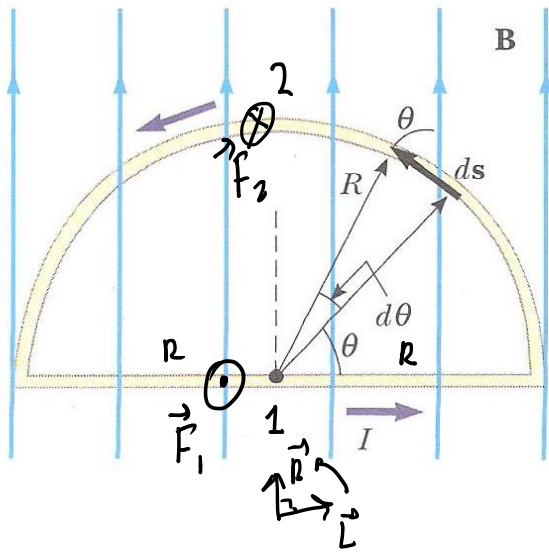
olur.

Kapalı bir ilmeğe etkiyen net kuvvet sıfırdır.

$$\vec{F}_B = 0$$

Örnek 29.2 Yarım Çember Şeklindeki Bir İletkene Etkiyen Kuvvet

Yarıçapı R olan yarım çember biçiminde bükülmüş bir tel, kapalı bir devre oluşturuyor. Tel, I akımı taşımaktadır. Devre, Şekil 29.10 daki gibi xy düzleminde olup pozitif y yönündeki düzgün bir manyetik alanda bulunmaktadır. Telin doğru ve eğri parçalarına etkiyen manyetik kuvvetlerin büyüklük ve yönlerini bulunuz.



1 nolu parça için

$$\vec{F}_B = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

$$\vec{L} \perp \vec{B} \quad |\vec{L} \times \vec{B}| = LB \sin 90^\circ = LB$$

$$F_1 = I L B, \quad L = 2R \\ = 2IRB \text{ olur.}$$

2 nolu kısım için

$$dF_2 = I |d\vec{s} \times \vec{B}|$$

$$dF_2 = I ds B \sin \theta$$

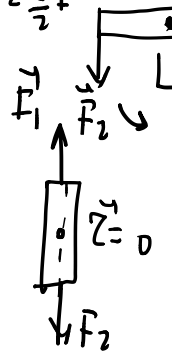
$$d\theta = \frac{ds}{R} \Rightarrow ds = R d\theta \text{ olur.}$$

$$F_2 = \int I R B \sin \theta d\theta \quad 0 \leq \theta \leq 180^\circ \\ = I R B \int \sin \theta d\theta = I R B (-\cos \theta) \Big|_0^\pi$$

$$= -IRB (\underbrace{\cos \pi}_{-1} - \underbrace{\cos 0^\circ}_1) = \underline{\underline{2IRB}} \text{ elde edilir.}$$

$F_1 = F_2$ ve yönleri zıt olduğundan
 $\vec{F}_{net} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$

$$\vec{\tau} = 2 \frac{L}{2} \vec{F}$$



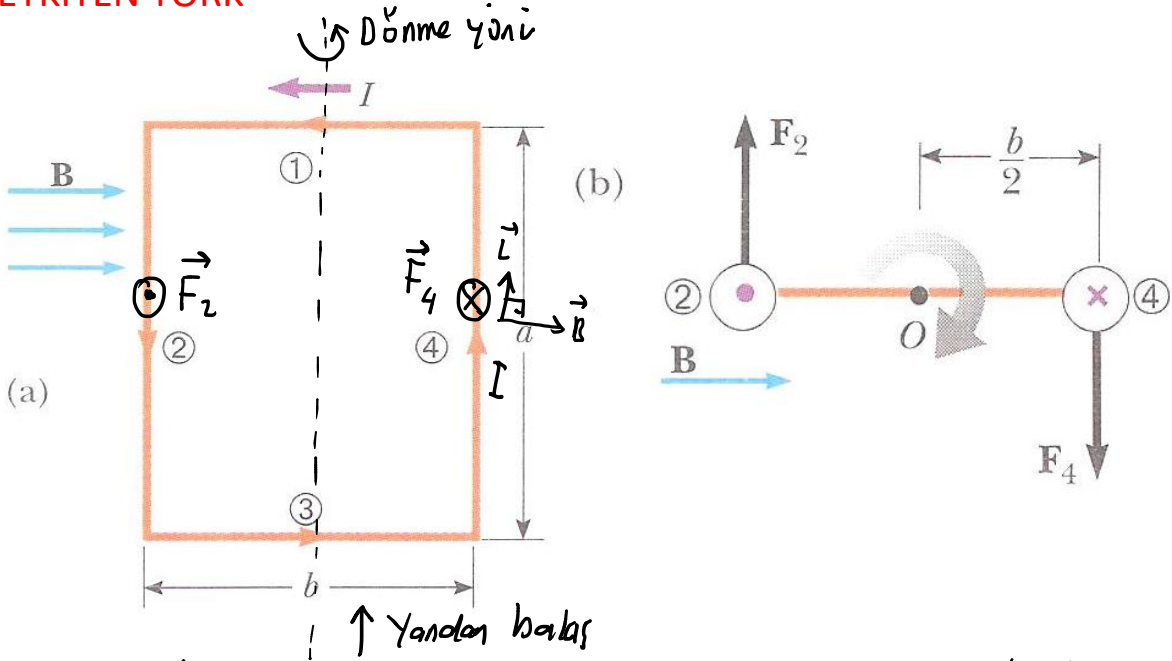
$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$$

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

kuvvet çifti.

$$\sum \vec{F} = 0$$

29.3 DÜZGÜN BİR MANYETİK ALAN İÇERİSİNDEKİ BİR AKIM İLMEĞİNE ETKİYEN TORK



(a) Düzgün bir manyetik alan içerisindeki dikdörtgen biçimli bir akım ilmeğinin üstten görünüşü.

Burada ① ve ③ nolu tel parçalarına kuvvet etki etmez. ($\vec{B} \parallel \vec{I}$)

② ve ④ nolu parçalara etkileyen kuvvet $F_2 = F_4 = I B a$ kadardır. Yönleri solukteki gibidir. ($\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B})$ idi)

(b) ilmeğin ② ve ④ kenarları boyunca, yandan görünüşü.

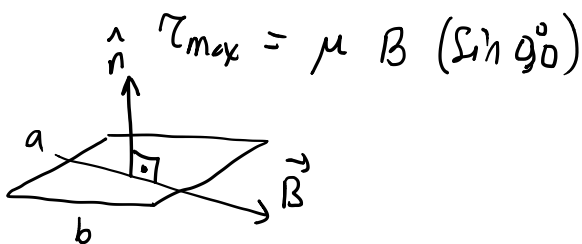
maksimum bir tork oluşur. $\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2}$

$$\tau_{\max} = (I B a) \frac{b}{2} + (I B a) \frac{b}{2} = I(a b) B \checkmark$$

$A = a b$ Akım ilmeğinin çevrelediği yüzey alanı. Yani ilmeğin alanı.

$$\tau_{\max} = I A B$$

$\mu = I A$: Manyetik dipol momenti

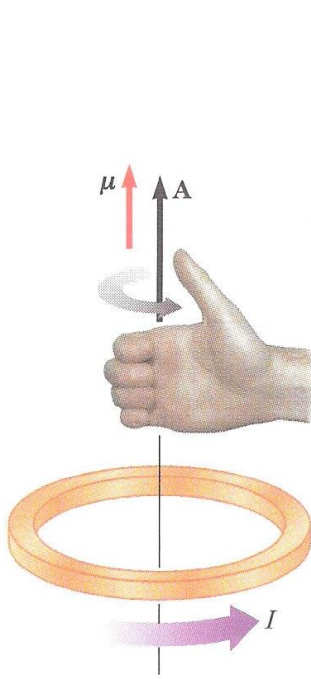


Hatırlama:

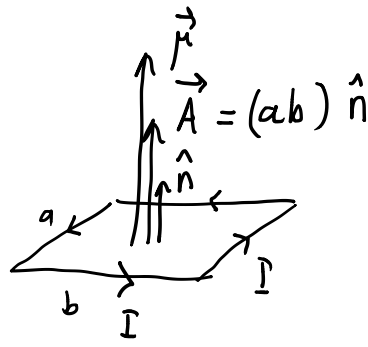
$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \text{ idi.}$$

Elektrik dipol momenti

Elektrik alan



Şekil 29.14 A vektörünün yönünü saptamaya yarayan sağ-el kuralı. μ manyetik momenti de A'nın yönündedir.



$$\vec{\mu} = I \vec{A}$$

Yandaki şekilde çemberel bir akım halkasının oluşturduğu manyetik dipol momentinin yönü gösterilmiştir. Sağ elin dört parmağı akım yönünde, kapandıkça baş parmak $\vec{\mu}$ 'nin yönü verir.

Eğer $\vec{B}$ ile $\vec{A}$ arasında bir θ açısı varsa

$$\tau = \mu B \sin \theta \text{ olur.}$$

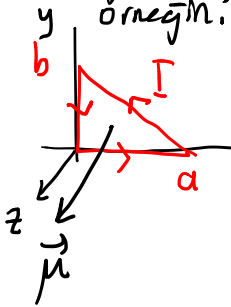
Böylece vektörel çarpım olarak

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

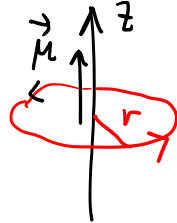
$\vec{\mu}$: manyetik dipol moment vektörü.

$$\mu = I A : (\text{Ampere})(\text{metre}^2) \equiv \text{A} \cdot \text{m}^2 \text{ olur.}$$

$$N \text{ sarımlı bir ilmek için } \mu = N I A \text{ olur.}$$



$$\vec{\mu} = I \left(\frac{ab}{2} \right) \hat{k}, \quad \vec{A} = \left(\frac{ab}{2} \right) \hat{k}$$



$$A = \pi r^2 \\ \mu = I A = I \pi r^2 \\ \vec{\mu} = I \pi r^2 \hat{k}$$

$\vec{B}$ alanı içerisindeki $\vec{\mu}$ manyetik dipolun bir potansiyel enerjisi vardır:

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos \theta$$

$\theta = 0^\circ$ için minimum enerji olur.

$$U_{\min} = -\mu B$$

$\theta = 180^\circ$ için, maksimum potansiyel enerji var: $U_{\max} = \mu B$ olur. Manyetik dipol moment, $\vec{B}$ alanı yönünde olursa enerji minimum olur.

Hatırlatma

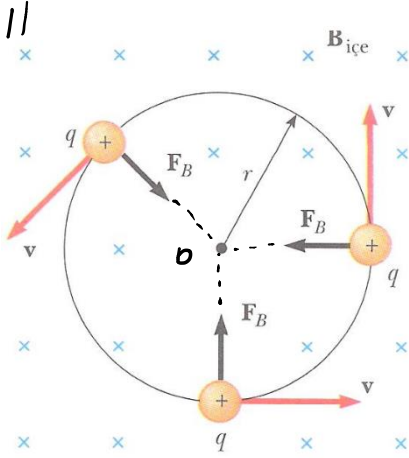
$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Hatırlatma

Bir elektrik dipolu
 $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$
potansiyel enerjiye
sahiptir.

29.4 YÜKLÜ BİR PARÇACIĞIN DÜZGÜN BİR MANYETİK ALAN

İÇERİSİNDEKİ HAREKETİ



$\vec{B}$: sayfan düzlemine dik ve içeri dir. Bu alana $\vec{v}$ hızına sahip bir noktasal $+q$ yüklü girerse ona

$$F_B = q v B \sin 90^\circ = q v B \text{ kuvveti etkiler.}$$

$\vec{F}_B \perp \vec{v}$, Kuvvet hızı alık.

Dolayısıyla bu kuvvet hızını değiştirmez. Hareket yönünü değiştirir. Fakat kuvvet yine aynı noktaya yönelmiştir. Öyleyse F_B bir merkezci kuvvettir.

$$\Sigma F = m a_r \quad a_r = \frac{v^2}{r}$$

$$q v B = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m v}{q B} \quad (*)$$

Yükli parçacık çember boyunca döner. Hareket periyodiktir.

$$v = \omega r \rightarrow \omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{q B}{m}, \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad \text{periyot.}$$

$$\downarrow \frac{2\pi}{T} = \frac{q B}{m} \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{q B} \text{ olur.}$$

Eğer parçacık alana $(\vec{B})$, $\theta \neq 90^\circ$ açısı yapacak şekilde girerse $\vec{v} = \vec{v}_{||} + \vec{v}_{\perp}$ olur. parçacık $v_{\perp}$ nedeniyle dairesel hareket yapar. Ancak $v_{||}$ nedeniyle aynı noktaya gelemez. Bu harekete spiral (Helis) hareketi denir.

Örnek 29.6 Düzgün bir Manyetik Alana Dik Olarak Hareket Eden Proton

Bir proton, 0,35 T'lik düzgün bir alana dik olarak giriyor, ve $2r = 14 \text{ cm}$ çaplı bir çember üzerinde hareket ediyor.

a) protonun çizgisel hızını bulunuz. $q = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

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

b) Bir elektron bu hızla, Aynı manyetik alana dik girerse dönmeye yarım çapını bulunuz. $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$$r = \frac{m_e v}{q B} = 7,6 \times 10^{-5} \text{ m.} \quad \frac{m_p}{m_e} \approx 1836$$

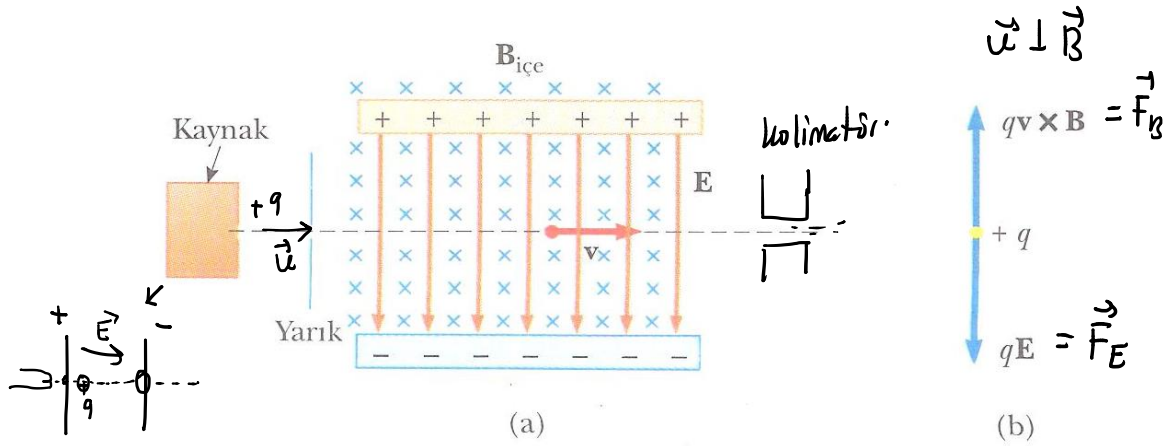
29.5 BİR MANYETİK ALAN İÇERİSİNDE HAREKET EDEN YÜKLÜ

PARÇACIKLARI İÇEREN UYGULAMALAR

em bir $\vec{E}$ alanı hem de bir $\vec{B}$ manyetik alanı içerisinde $\vec{u}$ hızıyla hareket eden bir noktasal yük, bir $q\vec{E}$ elektrik kuvveti ve bir $q\vec{u} \times \vec{B}$ manyetik kuvvetin etkisindedir. Toplam kuvvet Lorentz kuvveti denir.

$$\Sigma \vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{u} \times \vec{B}) = q(\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B})$$

Hız Seçici



Bu iki kuvveti birbirine eşit yapan bir $\vec{u}$ hızı vardır.

$$qE = quB$$

$u = \frac{E}{B}$. hızına sahip olan parçacıklar sapmadan geçerler. Böylece bir belli bir u hızını seçmiş oluyoruz.

$$u < \frac{E}{B} \text{ olabilir.}$$

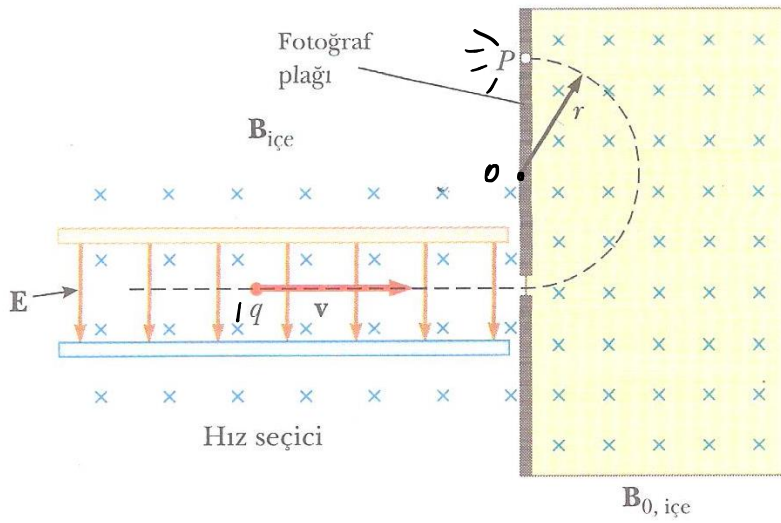
$\downarrow$ $\vec{E}$ yitirir

$$u > \frac{E}{B}$$

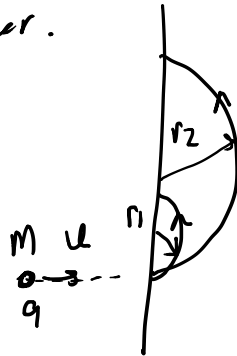
$\uparrow$ $\vec{E}$ 4c 71t
yönüne döner.

$\vec{E}$ 'yi ve $\vec{B}$ 'yi bizim tarafımızdan belirlenirse, belli bir hız elde edilir.

Kütle Spektrometresi



Hız, $v = \frac{E}{B}$ olanlar ileme. Bir B_0 içe alanına girerler. $r = \frac{mv}{qB}$ olan bir yarıçap boyunca ilerler ve parıltı çıkaran ekrana çarpar. Ve bir iz olur. Hızı (v), (yükü) q ve B (manyetik alan) aynı ise kütlesi büyük olan parçacık daha büyük bir yarıçap çizer.



Kütlesi büyük olanın yarıçapı büyük olur.

$$r_2 > r_1 \quad \text{izim}$$

$$\downarrow$$

$$m_2 > m_1 \quad \text{olur.}$$

Kütlesine göre parçacıklar ayrıştırılır. Buna kütle spektrometresi denir.

e^+ : pozitron

e^- : elektron.

e^+
 e^-

