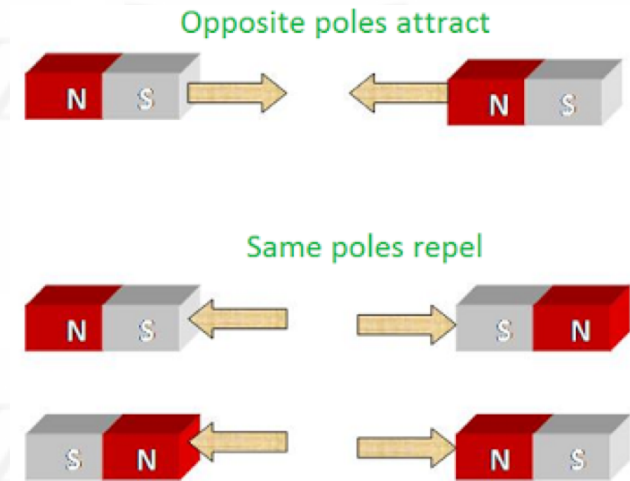
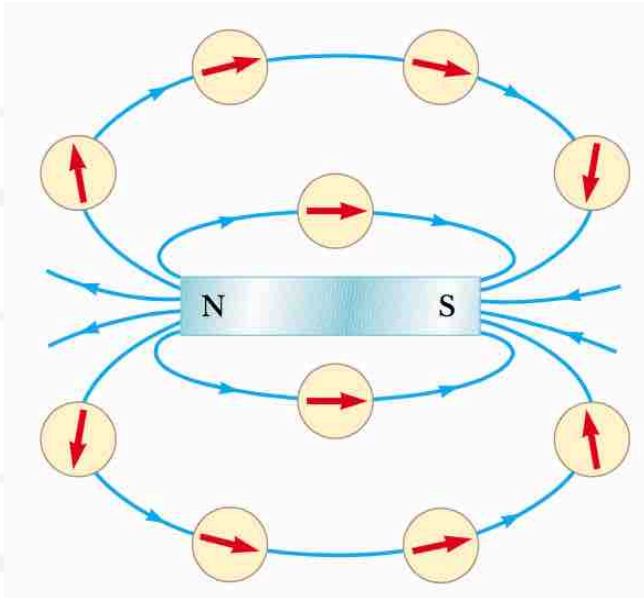


Manyetizmanın uzun bir geçmişi vardır. Doğada bulunan Fe_3O_4 doğal bir taş mıknatıstır. Deneyler, her mıknatısın şekli ne olursa olsun, kuzey (N) ve güney (S) kutupları olarak adlandırılan iki kutba sahip olduğunu gösterdi. Benzer kutuplar (N – N veya S – S) birbirini iter ve karşıt kutuplar (N – S) birbirini çeker.



29.1 Magnetik Alan

Elektrik Alan konusunda (Bölüm 23), yüklü nesneler arasındaki etkileşimi elektrik alanları açısından tanımladık.

Bir yük etrafında \mathbf{E} alanı oluşturur. Ve herhangi bir hareketli elektrik yükü, bir manyetik alan oluşturur.

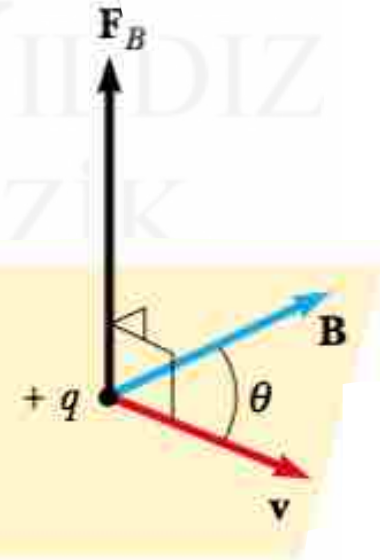
Manyetik alan \mathbf{B} sembolü manyetik bir alanı temsil edilir.

Manyetik alanda hareket eden bir yük üzerindeki manyetik kuvvetin özellikleri

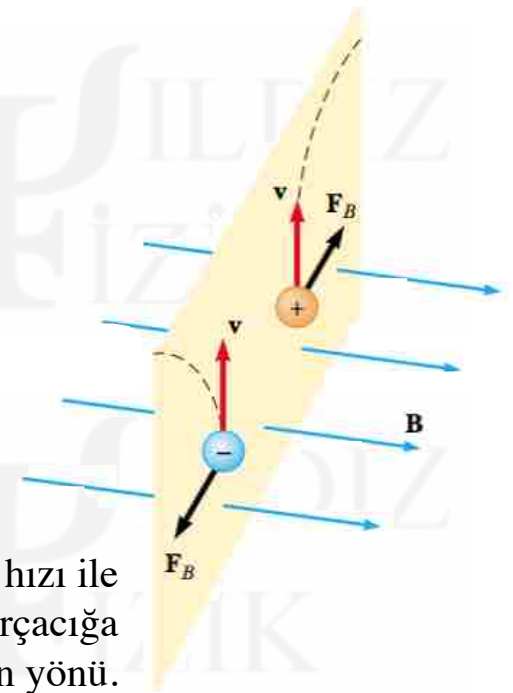
- Parçacık üzerindeki manyetik kuvvetin (\mathbf{F}_B) büyüklüğü, yük q ve parçacığın \mathbf{v} hızı ile orantılıdır.
- \mathbf{F}_B 'nin büyüklüğü ve yönü, parçacığın hızına ve manyetik alanın \mathbf{B} büyüklüğüne ve yönüne bağlıdır.
- Yüklü bir parçacık manyetik alan vektörüne paralel hareket ettiğinde, parçacığa etki eden manyetik kuvvet sıfırdır.
- Parçacığın hız vektörü manyetik alan ile arasında ($\theta \neq 0$) her hangi bir açı varsa, manyetik kuvvet hem \mathbf{v} hem de \mathbf{B} 'ye dik bir yönde hareket eder; yani \mathbf{F}_B , \mathbf{v} ve \mathbf{B} 'nin oluşturduğu düzleme diktir (Şekil 3).
- Pozitif bir yüke uygulanan manyetik kuvvet, aynı yönde hareket eden negatif bir yüke uygulanan manyetik kuvvetin tersi yöndedir (Şekil 4).
- Hareketli parçacık üzerine uygulanan manyetik kuvvetin büyüklüğü $\sin\theta$ ile orantılıdır, burada θ parçacığın hız vektörünün \mathbf{B} yönü ile yaptığı açıdır.

Yukarıdaki Gözlemlere dayanarak
Manyetik kuvveti formül ile ifade edersek:

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



Şekil 3: Manyetik kuvvet, hız (\mathbf{v}) ve manyetik alana (\mathbf{B}) diktir.



Şekil 4: \mathbf{B} manyetik alanında \mathbf{v} hızı ile hareket eden yüklü bir parçacığa etkiyen manyetik kuvvet \mathbf{F}_B 'nin yönü.

Sağ-El-Kuralı ile F_B yönünü belirlemek

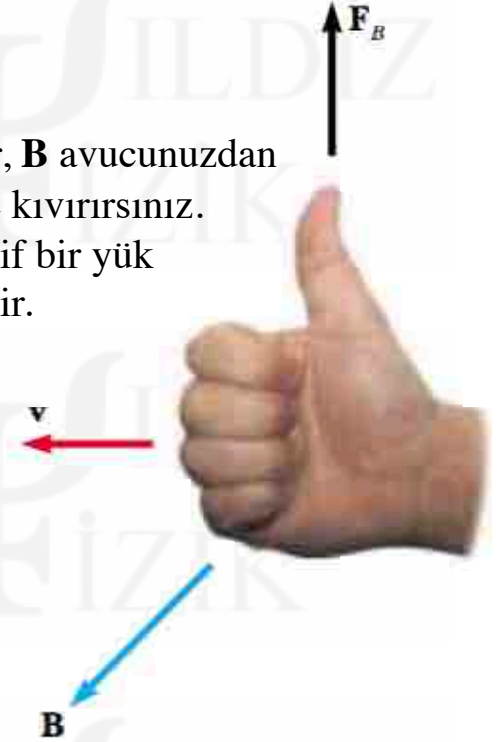
1. YÖNTEM

Bu kuralda, parmaklar \mathbf{v} yönünü gösterir, \mathbf{B} avucunuzdan çıkar, böylece parmaklarınızı \mathbf{B} yönünde kıvrırsınız. Vektörel çarpım ($\mathbf{v} \times \mathbf{B}$) yönü, yani pozitif bir yük üzerindeki kuvvet, başparmak yönündedir.



2. YÖNTEM

Bu yöntemde, hız \mathbf{v} vektörü başparmağınızın yönünde ve \mathbf{B} manyetik alanı parmaklarınızın yönündedir. Pozitif bir yük üzerindeki F_B kuvveti, parçacığı elinizle itiyormuşsunuz gibi avucunuzun yönündedir.



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

$$F_B = q v B \sin\theta$$

Bu formülden,

hız \mathbf{v} , manyetik alan \mathbf{B} ile aynı doğrultuda ($\theta = 0$ veya 180°) ise, F_B is değeri sıfır.

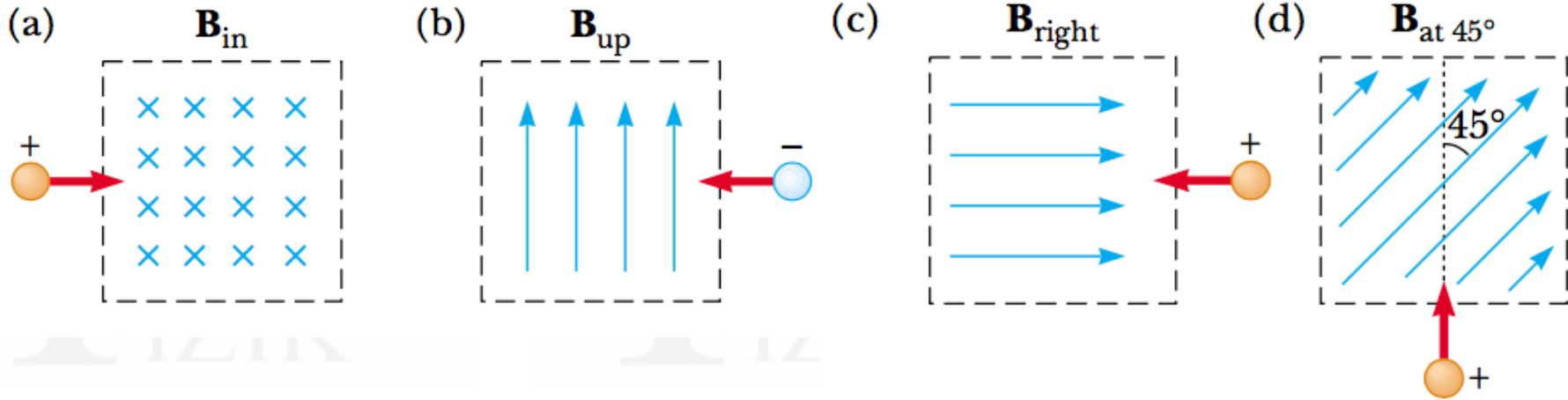
hız \mathbf{v} , manyetik alana \mathbf{B} dik ise ($\theta = 90^\circ$), F_B is değeri maksimum olur.

manyetik alan \mathbf{B} 'nin SI birimi, **Tesla** (T) adı verilir:

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

PROBLEM:

Q1: Şekillerde verilen alanlara farklı yüklü parçacıklar farklı yönlerden girmektedir. Alana girdikleri anda etkiyen manyetik kuvvetin yönünü sağ el kuralı ile bulunuz.

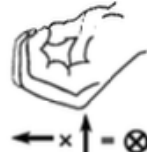


cevap:

yukarı



sayfa dışına

kuvvet
SIFIR

sayfa içine

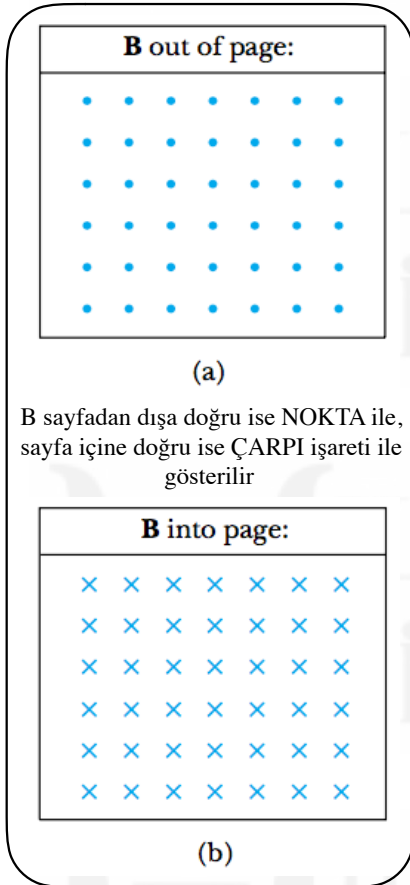


Q2: Manyetik alana dik pozitif x eksenini boyunca hareket eden bir elektron, negatif y yönünde manyetik bir sapma yapmaktadır. Manyetik alanın yönü nedir?

Q3: Hızı 1.00×10^7 m/s olan bir proton düzgün bir B manyetik alana dikey olarak girmektedir. Hız vektörü $+z$ yönündeyken, F_B manyetik kuvvetin etkisiyle 2.00×10^{13} m/s² ile $+x$ yönünde ivmelenmektedir. Manyetik kuvvetin yönü ve büyüklüğünü bulun.

29.2 Akım Taşıyan Bir İletkene Etkiyen Manyetik Kuvvet

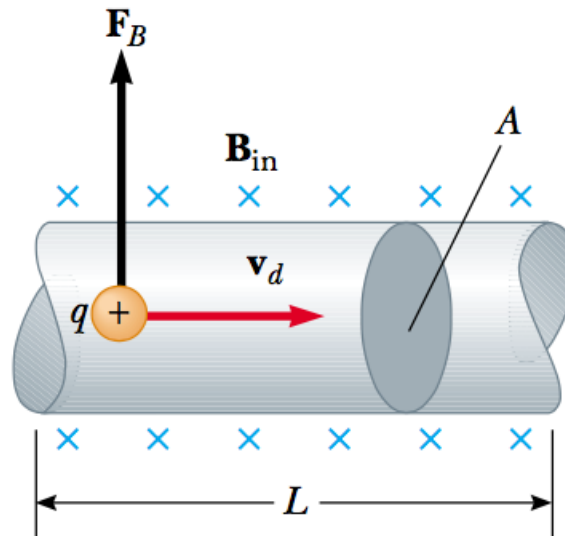
magnetik alan gösterimi



I akımı taşıyan bir iletken tel düşünelim,
bu tel, sayfa içine doğru düzgün \mathbf{B} manyetik alanına yerleştirilsin.
Bir (q) yüklü parçacık üzerine etkiyen (\mathbf{F}_B) manyetik kuvvet
 $\mathbf{F}_B = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ formülü ile ifade edilir.

Akım taşıyan teldeki toplam Manyetik Kuvvet

Toplam $\mathbf{F}_B = (\text{Tek bir yük üzerindeki kuvvet}) \times (\text{tel hacmindeki toplam yük})$



tel kesitinin hacmi = \mathbf{AL} ,

Birim hacimdeki yük taşıyıcı sayısı = n

hacimdeki toplam yük sayısı = $n\mathbf{AL}$,

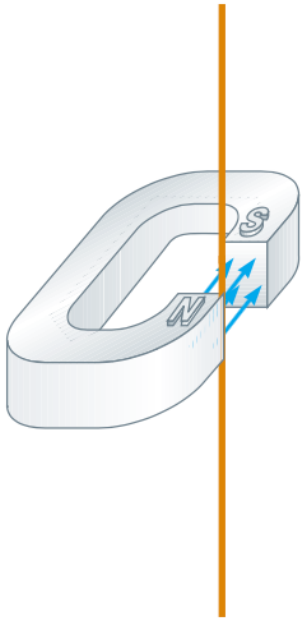
$$\mathbf{F}_B = (q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}) n\mathbf{AL}$$

teldeki akım $\rightarrow I = nqv_d A$ (Bkz. Bölüm 27)

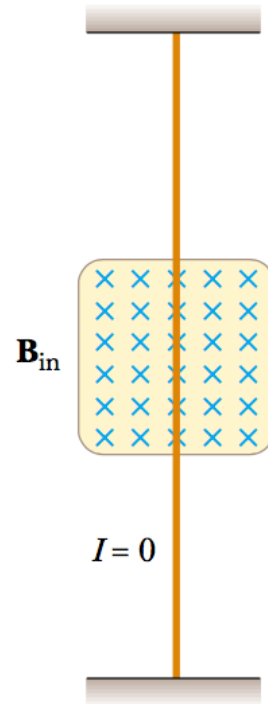
$$\mathbf{F}_B = I \mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

*Bu ifade sadece, homojen düzgün B manyetik alan içindeki, L uzunluklu **DÜZ** tel için geçerlidir.*

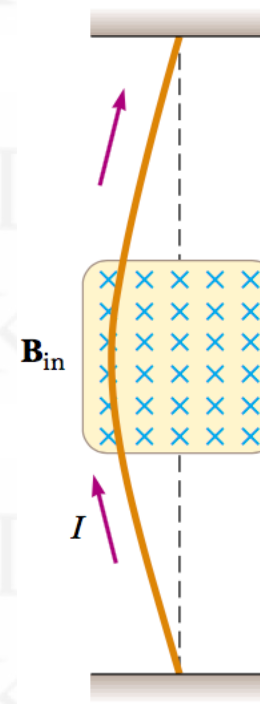
29.2 Akım Taşıyan Bir İletkene Etkiyen Manyetik Kuvvet



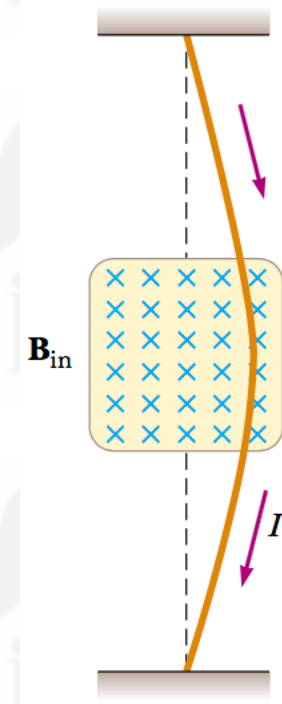
Bir mıknatısın N-S kutupları arasında dikey olarak asılı bir tel.



Telde akım olmadığında (kuvvet yok) dikey kalır.

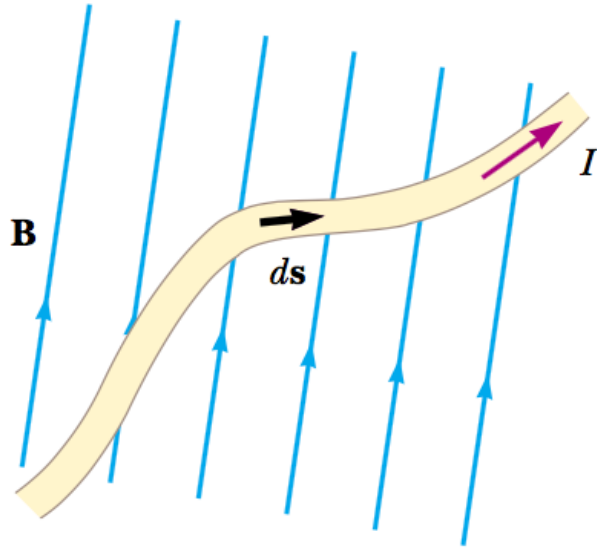


Akım yukarı doğru olduğunda, manyetik kuvvetin etkisi ile tel sola sapar.



Akım aşağı doğru olduğunda, tel sağa sapar

29.2 Akım Taşıyan Bir İletkene Etkiyen Manyetik Kuvvet



Şayet tel düz değil, rasgele bir şekilde ise

Eğer \mathbf{L} uzunluklu teldeki \mathbf{F}_B kuvveti $\Rightarrow \mathbf{F}_B = I \mathbf{L} \times \mathbf{B}$

ds uzunluğundaki kesit
üzerine etkiyen kuvvet \Rightarrow

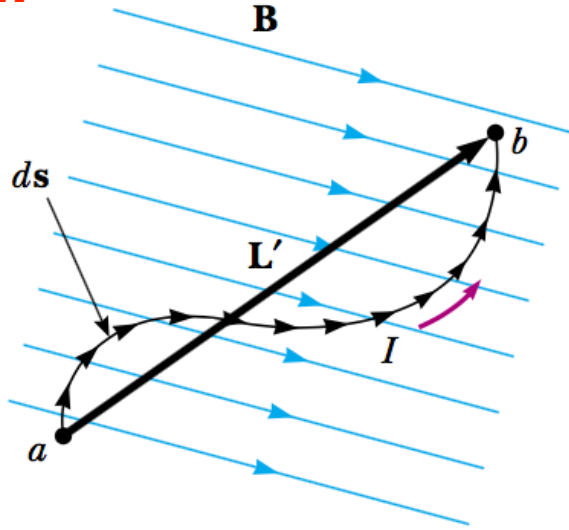
$$d\mathbf{F}_B = I d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$$

Manyetik Kuvvet $\begin{cases} \rightarrow \mathbf{B} \text{ ile } d\mathbf{s} \text{ birbirine dik ise } \mathbf{maximum} \\ \rightarrow \mathbf{B} \text{ ve } d\mathbf{s} \text{ paralel ise } \mathbf{sıfır} \end{cases}$

Tel üzerine etkiyen toplam (\mathbf{F}_B) manyetik kuvveti hesaplamak için telin uzunluğu boyunca integral alınır

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

$$\mathbf{F}_B = I \int_a^b d\mathbf{s} \times \mathbf{B} \quad \text{uygulamasını içeren 2 özel durum}$$

Durum 1.

Üzerinden I akımı geçen kavisli bir tel, düzgün \mathbf{B} manyetik alanına yerleştiriliyor.

\mathbf{B} manyetik alan düzgün (sabit değer) olduğu için integral dışına alabiliriz

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

$\int_a^b d\mathbf{s}$ niceliği a'dan b'ye kadar olan tüm yer değişim elemanlarının vektörel toplamını ifade eder. Ve \mathbf{L}' vektörüne eşittir.

Bu nedenle, eşitlik $\Rightarrow \mathbf{F}_B = I \mathbf{L}' \times \mathbf{B}$

düzgün bir manyetik alanda kavisli bir akım taşıyan tel üzerindeki manyetik kuvvet, uç noktaları bağlayan ve aynı akımı taşıyan düz bir tel üzerindeki kuvvete eşittir

Durum 2.

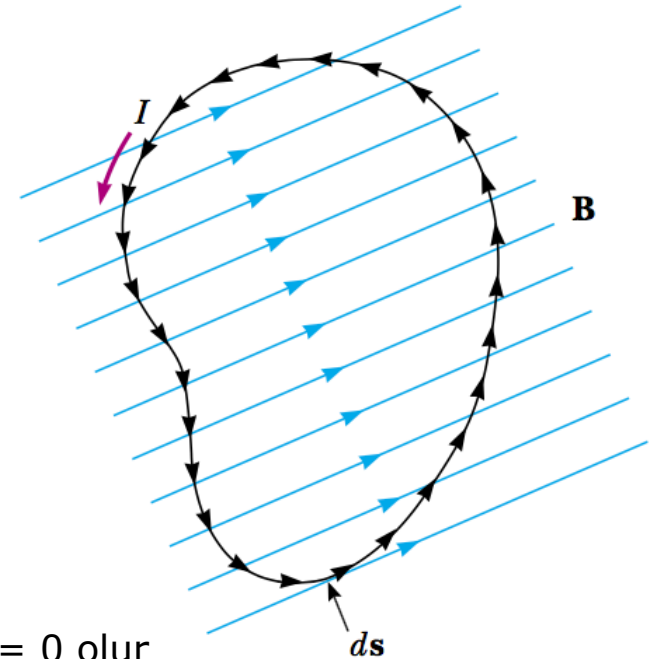
Üzerinden I akımı geçen, düzgün bir \mathbf{B} alanı içine yerleştirilmiş rasgele bir şekle sahip kapalı halka:

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

Kapalı halkada vektörel toplam sıfır olur

$$\oint d\mathbf{s} = 0 \quad \text{ise}$$

Toplam kuvvet de $\mathbf{F}_B = 0$ olur

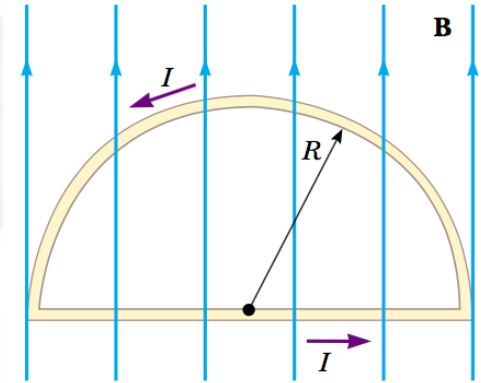


Düzgün bir manyetik alandaki herhangi bir kapalı akım çevrimine etkiyen net manyetik kuvvet sıfırdır

Örnek: Yarım-Çember Şeklindeki İletkene Etkiyen Kuvvet

Yarıçapı R olan yarım çember şeklinde bükülmüş bir tel, kapalı bir devre oluşturuyor. Tel I akımı taşımaktadır. Devre şekilde gösterildiği gibi xy düzleminde, ve pozitif y-ekseni yönünde düzgün bir manyetik alanda yer almaktadır.

Telin düz kısmına (1) ve kavisli kısma (2) etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü bulun.

**Çözüm:**

Düz kısma etkiyen manyetik kuvvet F_1 , $L=2R$ olduğu için, $F_1=ILB=2IRB$ olur. vektörel çarpım $\mathbf{L} \times \mathbf{B}$ sonucu (sağ el kuralı ile), F_1 kuvvetin yönü, sayfa düzleminin dışına doğrudur.

Eğrisel kısma etkiyen manyetik kuvveti (F_2) bulmak için, Durum 1'in sonuçlarını kullanıyoruz. Bu na göre, Eğrisel kısımdaki manyetik kuvvet, sola doğru I akımı taşıyan $2R$ uzunluğunda düz bir tel üzerindeki ile aynıdır. Böylece, $F_2=ILB=2IRB$ olur. F_2 'nin yönü, $\mathbf{L} \times \mathbf{B}$ vektörel çarpıma göre sağ kurala dayanarak sayfa düzleminin içinedir.

veya **2. yol:** ds uzunluğuna etkiyen dF_B kuvvetini veren ($dF_B = I ds \times B$) ifadesiyle hesaplayabiliriz. Burada ds yerdeğiştirmesini θ açısı cinsinden ($s=R\theta$ alırsak) $ds = R d\theta$ olacağından, $dF_B = IR d\theta \times B = IRB(\sin\theta d\theta)$

$$F_2 = IRB \int_0^\pi \sin \theta d\theta = IRB \left[-\cos \theta \right]_0^\pi$$

$$= -IRB (\cos \pi - \cos 0) = -IRB(-1 - 1) = 2IRB$$

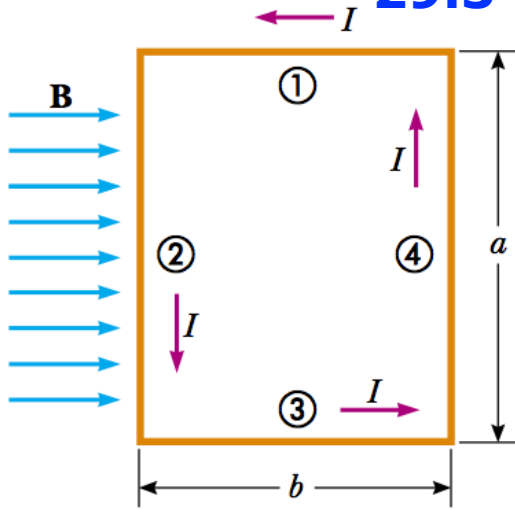
kuvvetlerin biri sayfa dışına $F_1 = 2IRB \mathbf{k}$
diğeri sayfa içine doğrudur $F_2 = -2IRB \mathbf{k}$
Halkaya etkiyen toplam kuvvet **sıfır** olur

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 2IRB \mathbf{k} - 2IRB \mathbf{k} = 0$$



Değerlendirme Sorusu: Sistem dengede midir?
Net kuvvet ve torku düşünerek değerlendiriniz.

29.3 Düzgün Manyetik Alandaki Akım İlmeğine Etkiyen Tork



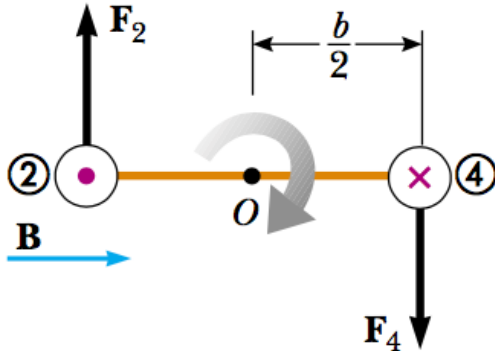
Şekilde gösterildiği gibi, muntazam bir \mathbf{B} manyetik alan içerisine I akımı taşıyan dikdörtgen bir ilmek düşünelim.

İlmeğin, 1 ve 3 nolu tellerde, akım ve manyetik alan paralel olduğu için, bu kollarda vektörel çarpım $\mathbf{L} \times \mathbf{B} = 0$ olur.

Ancak, 2 ve 4 nolu tellerde akım ve manyetik alan birbirine diktir. Bu kollardaki kuvvetin büyüklüğü $\mathbf{F}_2 = \mathbf{F}_4 = I\mathbf{aB}$ olur.

(a) Düzgün bir manyetik alanda üzerinden akım geçen bir dikdörtgen ilmeğin üstten görünüşü. Ancak yanlar 1 ve 3 tellerinde manyetik kuvvet oluşmaz. Çünkü bu teller \mathbf{B} alanına paraleldir. Ancak, 2 ve 4 tellerinde kuvvet oluşur.

Üstteki ilmeğin, Tel 3 tarafından görünümü



(b) İlmeğe yandan bakacak olursak 2 ve 4 tellerinde, \mathbf{F}_2 ve \mathbf{F}_4 manyetik kuvvetleri oluşur. I akımının yönleri, tel 2'de nokta ile sayfanın dışına, tel 4'de çarpı ile sayfanın içine doğru yönü göstermektedir. Oluşan Tork, saat yönündedir.

Tel 2'ye uygulanan \mathbf{F}_2 kuvvetin yönü sayfa düzlemi dışındadır. Tel 4'ye uygulanan \mathbf{F}_4 kuvvetin yönü sayfa düzlemi içindedir. \mathbf{F}_2 ve \mathbf{F}_4 kuvvetlerinin yönleri, sol alt şekilde gösterilmiştir.

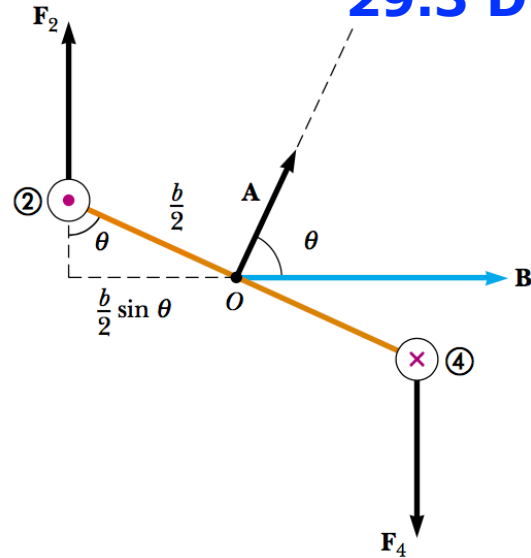
İki kuvvet zıt yönlerdedir, ancak ilmeğin farklı noktalarındadır. Bu iki kuvvetin etkisiyle tork oluşur. Ve ilmek, saat yönünde döner.

Oluşan torkun büyüklüğü :

$$\tau_{\max} = F_2 b/2 + F_4 b/2 = (IaB) b/2 + (IaB) b/2 = I(ab)B$$

ilmeğin çevrelediği alan $A=ab$ alırsak $\Rightarrow \tau_{\max} = IAB$

29.3 Düzgün Manyetik Alandaki Akım İlmeğine Etkiyen Tork



2 ve 4 numaralı kollarda kuvvetler eşittir $F_2 = F_4 = IaB$,
O eksenini etrafındaki net tork

$$\tau = F_2 (b/2 \sin\theta) + F_4 (b/2 \sin\theta)$$

$$\tau = IaB (b/2 \sin\theta) + IaB (b/2 \sin\theta) = IabB \sin\theta$$

$$\tau = IAB \sin\theta \quad \tau = I \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

düzgün \mathbf{B} manyetik alanında yer alan ilmek üzerindeki net tork $\tau = I \mathbf{A} \times \mathbf{B}$ olur.

Burada \mathbf{A} , ilmek düzlemine dik ve büyüklüğü ilmeğin çevrelediği alana denk **vektör** olarak tanımlanmaktadır. (alt şekil)

İlmek, \mathbf{B} manyetik alana ile her hangi bir θ açısı yapacak şekilde döndürülmesi durumu

$I\mathbf{A}$ (telden gene akım ve ilmeğin alanı çarpımı),
ilmeğin **manyetik dipol moment** μ olarak tanımlanır.
(kısaca *manyetik moment*)

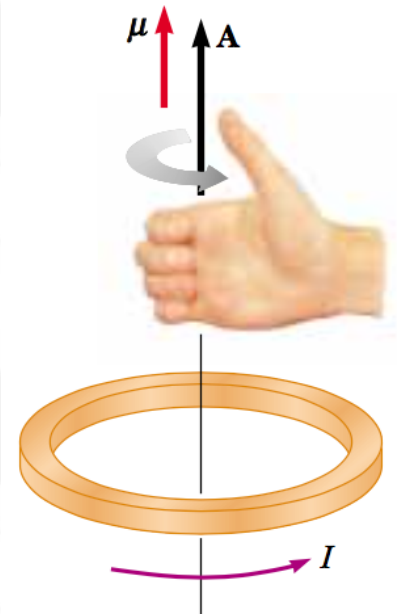
birimi amper-metre² (A m²)

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

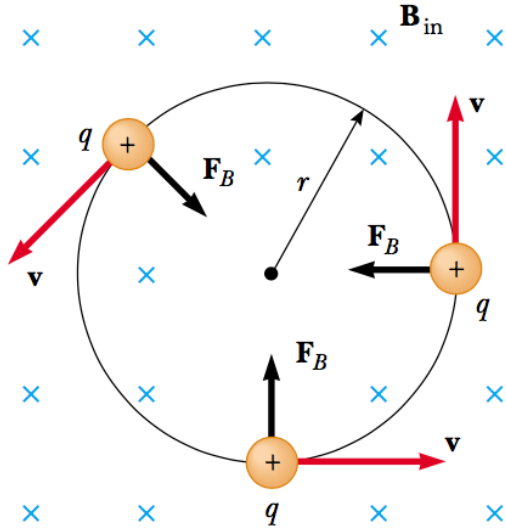
Akım ilmeğinin manyetik dipol momenti

$$\tau = I\mathbf{A} \times \mathbf{B} \Rightarrow \tau = \mu \times \mathbf{B}$$

HATIRLATMA NOTU : Bölüm 26'da elektrik alandaki torku $\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$ olduğunu görmüştük. Burada \mathbf{E} elektrik alan, \mathbf{p} elektrik dipol moment olarak verilmiştir.



29.4 Yüklü Bir Parçacığın Düzgün Manyetik Alanda İçerisindeki Hareketi



Parçacık \mathbf{v} hızı ile hareket ettikçe bir (\mathbf{F}_B) merkezci kuvvet ve bu kuvvet etkisiyle merkezci ivme (\mathbf{a}_c) oluşur

$$\sum F = m a_c$$

$$F_B = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} = m(v^2/r) \rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

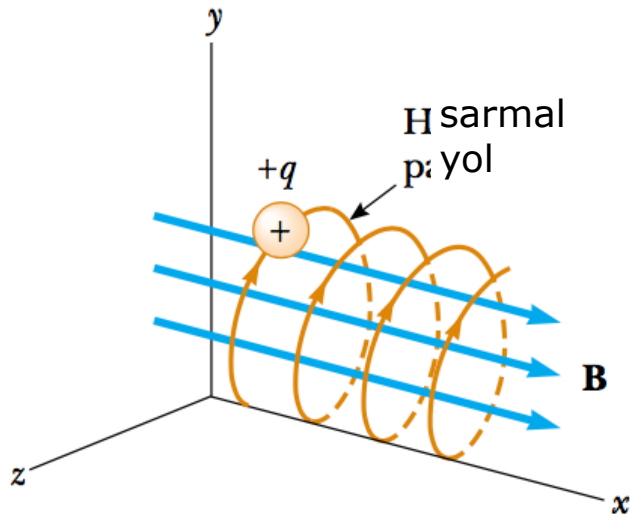
(eğer q yükü negative ise, dönme hareketi saat yönünde olur.)

Parçacığın açısal hızı

siklotron frekansı olarak da adlandırılır.

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

Şekil: Yüklü bir parçacığın \mathbf{v} hızı, düzgün bir \mathbf{B} manyetik alana dik olduğunda, parçacık \mathbf{B} 'ye dik bir düzlemde dairesel bir yolda hareket eder. Yüke etki eden manyetik kuvvet \mathbf{F}_B merkezci yöndedir ve yükün dairesel hareket yapmasına neden olur.



hareketin periyodu
(bir turu tamamlama süresi)

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

Yüklü bir parçacık, düzgün bir \mathbf{B} manyetik alanına herhangi bir açı yapacak şekilde girmesi durumu şekilde verilmiştir.

x -ekseni doğrultusunda manyetik kuvvet olmadığından ($F_x = 0$), \mathbf{v} hızının x -bileşeni sabit kalır.

Bunun neticesinde tanecik, şekildeki gibi sarmal bir yol izler.

PROBLEM

Q4: Bir **pozitron**, şiddeti $B = 0.150$ T olan $+x$ eksenini yönündeki düzgün bir manyetik alana, $v = 5.00 \times 10^6$ m/s hızıyla, şekilde gösterildiği gibi 85.0° açıyla giriyor. Taneciğin sarmal bir hareket yapması bekleniyor.

- (a) iki tepe arası p mesafesini hesaplayınız
 (b) sarmal hareketin r yarıçapını bulunuz.

Çözüm:

Let v_x and v_\perp be the components of the velocity of the positron parallel to and perpendicular to the direction of the magnetic field.

- (a) The pitch of trajectory is the distance moved along x by the positron during each period, T (see Equation 29.15)

$$p = v_x T = (v \cos 85.0^\circ) \left(\frac{2\pi m}{Bq} \right)$$

$$p = \frac{(5.00 \times 10^6)(\cos 85.0^\circ)(2\pi)(9.11 \times 10^{-31})}{0.150(1.60 \times 10^{-19})} = \boxed{1.04 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

- (b) From Equation 29.13, $r = \frac{mv_\perp}{Bq} = \frac{mv \sin 85.0^\circ}{Bq}$

$$r = \frac{(9.11 \times 10^{-31})(5.00 \times 10^6)(\sin 85.0^\circ)}{(0.150)(1.60 \times 10^{-19})} = \boxed{1.89 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

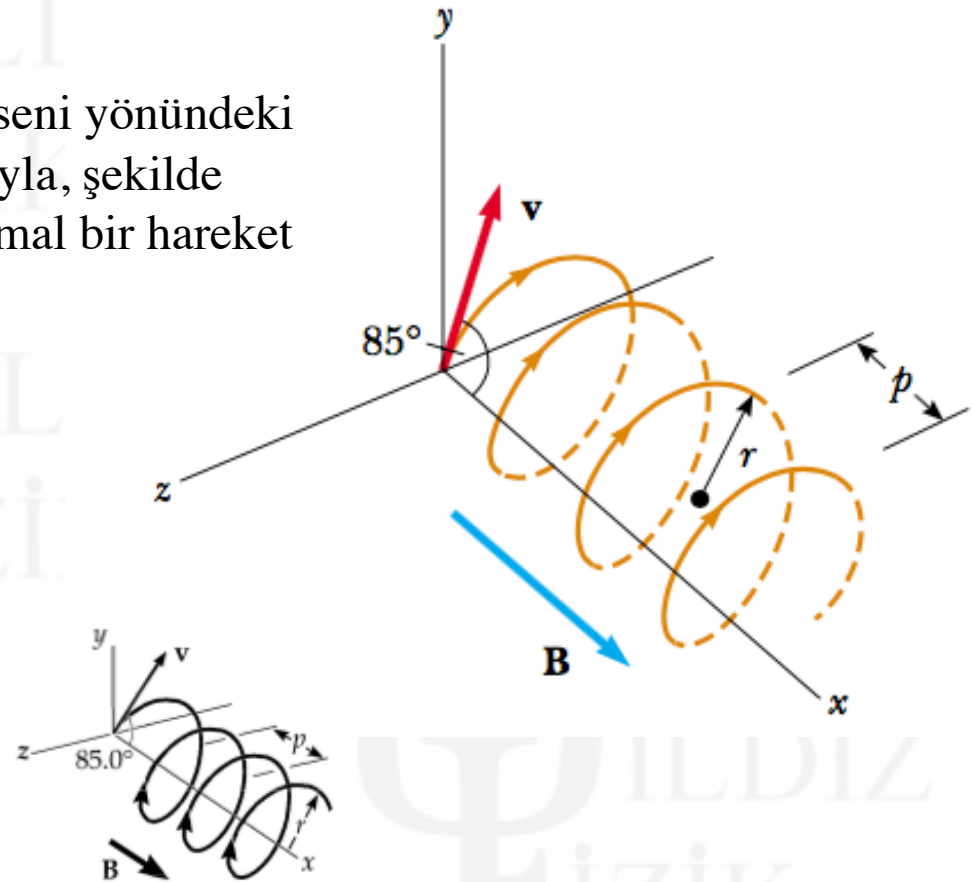


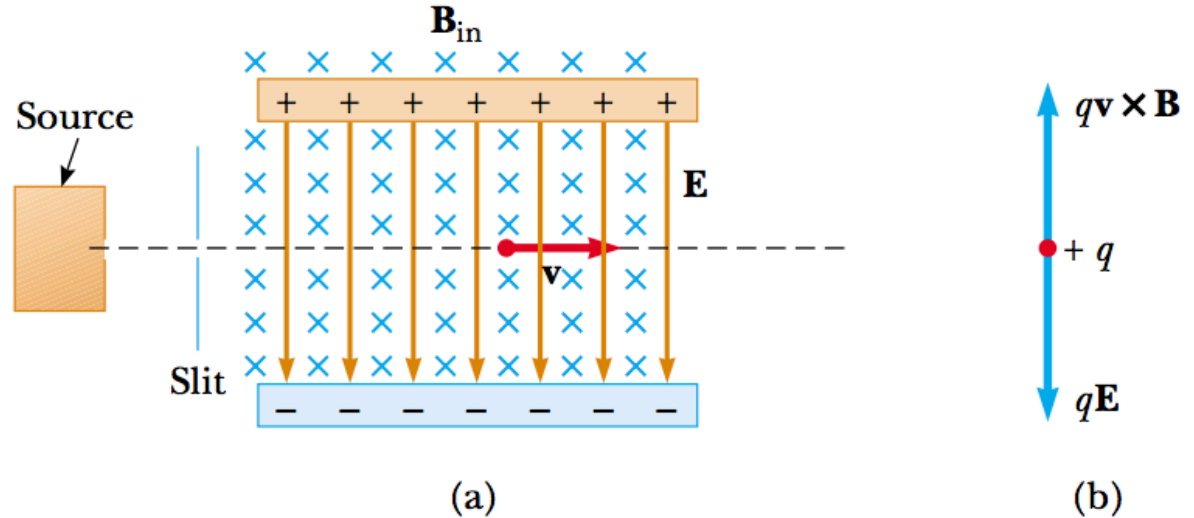
FIG. P29.66

29.5 Manyetik Alanda Hareket Eden Yüklü Parçacık İçeren Uygulamalar

Hem elektrik alan \mathbf{E} hem de manyetik alan \mathbf{B} 'nin varlığında \mathbf{v} hızı ile hareket eden bir yük, hem elektrik kuvvete [$\mathbf{F}_E = q\mathbf{E}$] hem de manyetik kuvvete [$\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$] maruz kalır.

Yüke etki eden toplam kuvvet **Lorentz** Kuvveti olarak adlandırılır.

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



Eğer q pozitif ise ve \mathbf{v} hızı sağa doğru ise, $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ manyetik kuvveti yukarı, $q\mathbf{E}$ elektrik kuvveti aşağı yönde olacaktır. İki alanın (\mathbf{E} ve \mathbf{B}) büyüklükleri kuvvetler eşit olacak şekilde ($qE = qvB$) seçildiğinde, yüklü tanecik ($\mathbf{F}_B = \text{Sıfır olduğu için}$) düz yatay bir çizgide hareket eder.

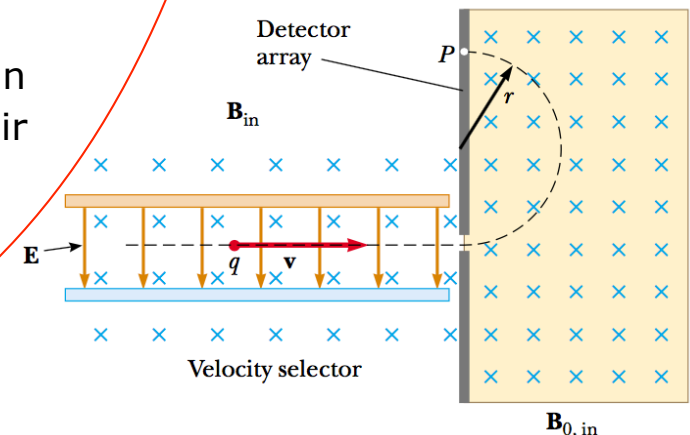
Bu kuvvet dengesini sağlayacak $qE = qvB$ eşitliğinden, yüklü tanecik hızı $v = E/B$ olmalıdır.

Kütle Spektrometresi

Pozitif yüklü parçacıklar önce bir hız seçiciden sonra manyetik alan \mathbf{B}_0 'ın parçacıkların yarım daire şeklinde bir yolda hareket etmesine ve \mathbf{P} 'de bir dedektör dizisine çarpmasına neden olur.

\mathbf{B} alanı içerisindeki yüklü taneciğin, dairesel hareket yarıçapını $r = \frac{mv}{qB}$ olduğunu göstermiştik. Buradan kütle yük oranı $m/q = rB_0/v$ olur.

Formuldeki hız yerine $v = E/B$ kullanarak $m/q = rB_0B/E$ bulunur.



29.6 Hall Olayı

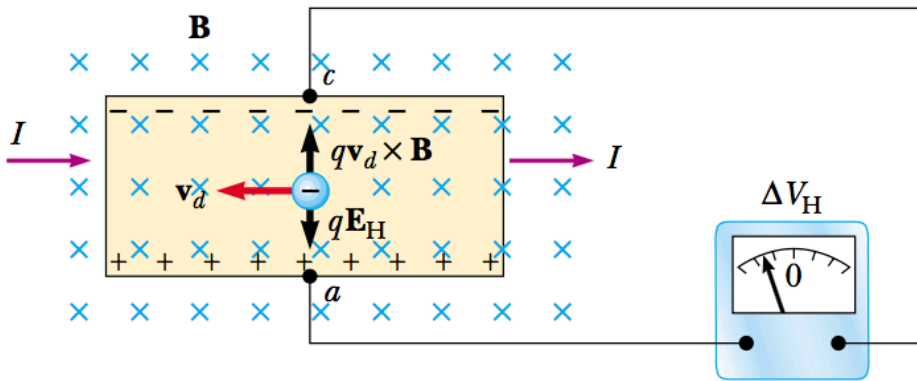
Hall etkisini gözlemlemek için, akım taşıyan bir iletkeni manyetik bir alan uygulanır. Şekilde gösterildiği gibi: \mathbf{I} akımı x -ekseni yönünde ve \mathbf{B} manyetik alanı y -ekseni yönünde olduğu zaman, hem pozitif (+) hem de negatif (-) yük taşıyıcıları manyetik alanda yukarı doğru saparlar. Hall potansiyel gerilimi (voltajı) a ve c noktaları arasında ölçülür.

yükler, $q\mathbf{v}_d\mathbf{B}$ manyetik kuvvet etkisindedir.

Denge durumunda, manyetik kuvvet $q\mathbf{E}_H$ elektrik kuvveti ile dengelenir. Burada \mathbf{E}_H , üst-alt dizilen yük ayrımı ile oluşan elektrik alanıdır (*Hall alanı* olarak da adlandırılır).

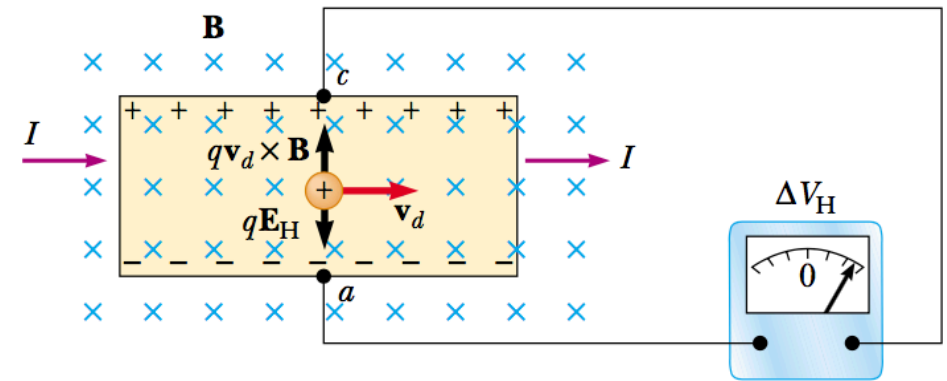
$$qv_dB = qE_H$$

$$E_H = v_dB$$



(a)

(a) Bir Hall olayı aygıtındaki yük taşıyıcıları negatif olduğunda, iletkenin üst kenarı negatif olarak şarj olur ve (üst) c, (alt) a'dan daha düşük bir elektrik potansiyeline sahiptir.



(b)

(b) Yük taşıyıcılar pozitif olduğunda, üst kenar pozitif olarak yüklenir ve c, a'dan daha yüksek bir potansiyele sahiptir.

Her iki durumda da, yük taşıyıcıları, elektrostatik kuvvet (qE_H) ile manyetik sapma kuvveti (qvB) arasında yük taşıyıcıları arasında bir denge olduğu için uçlar yeterince yüklendiğinde artık sapmayacaktır.