chapter

29 Magnetic Fields

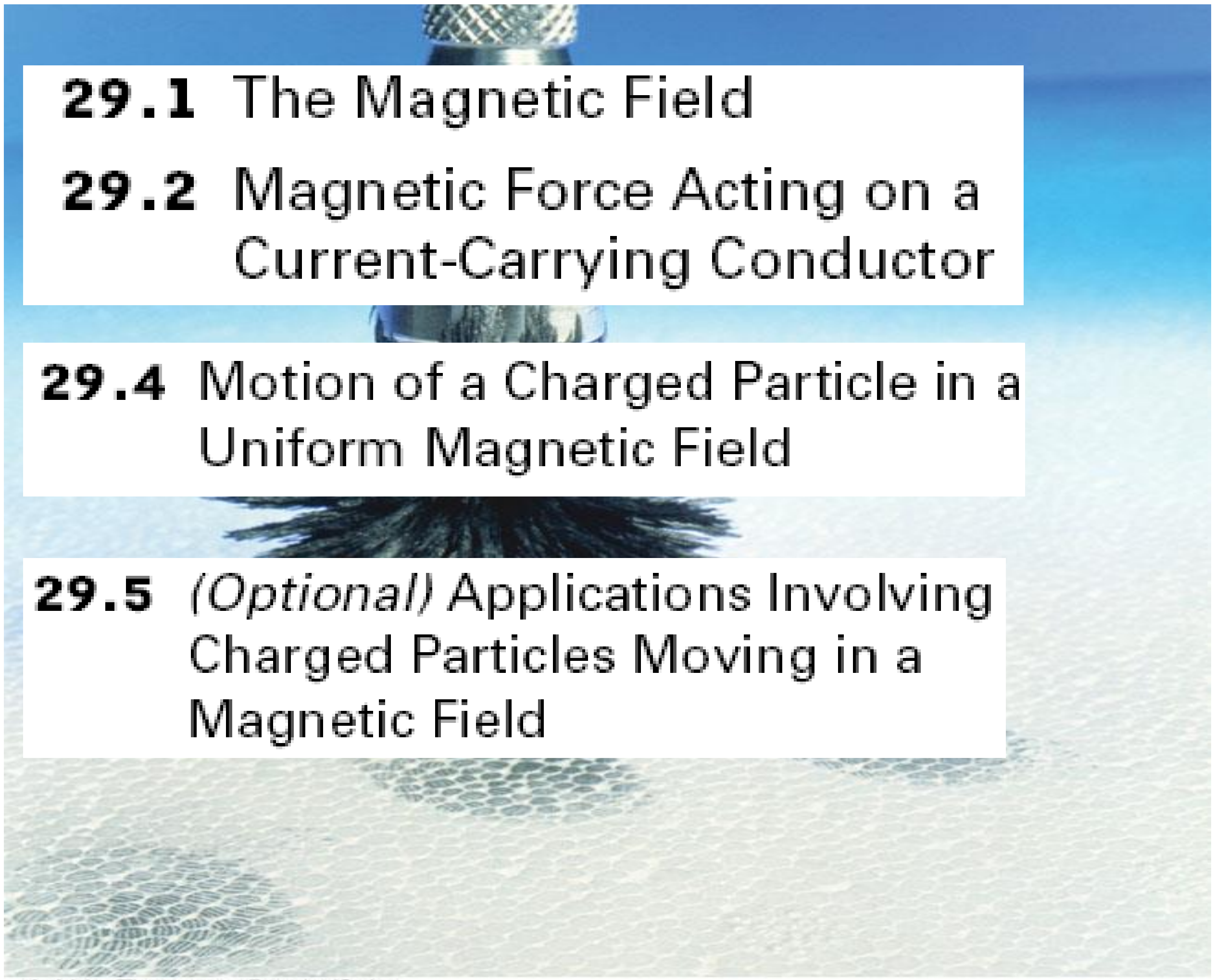


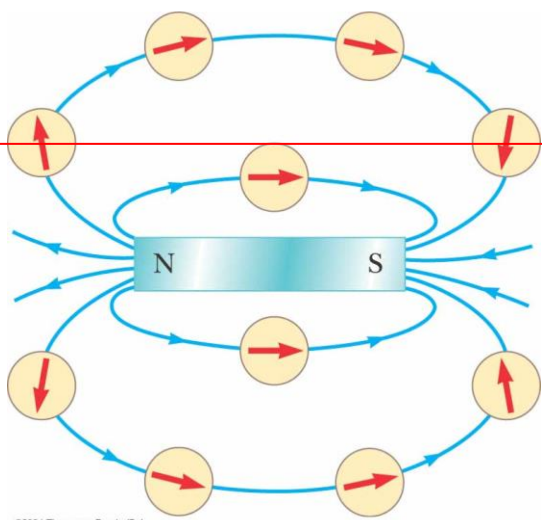
Fig 29-CO, p.895

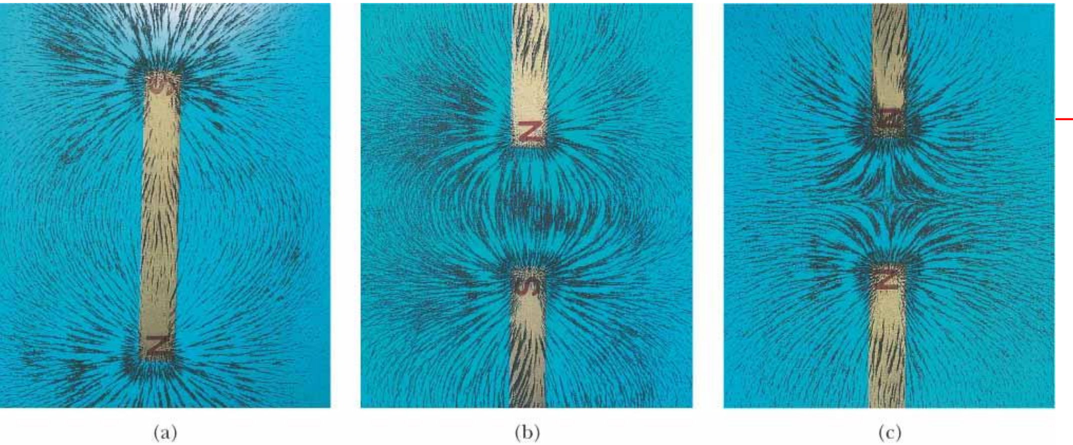
29.1 THE MAGNETIC FIELD

اتجاه المجال المغناطيسى B

يكون اتجاه المجال المغناطيسي B عند نقطة هو الاتجاه من القطب الجنوبي الى القطب الشمالي لابرة مغناطيس موجودة عند تلك النقطة.

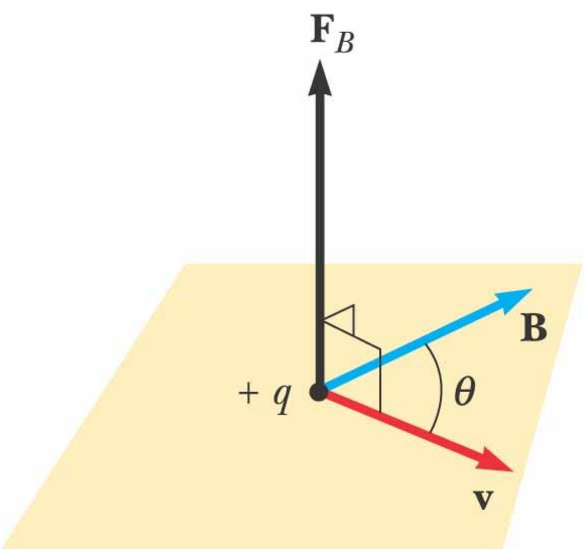
حيث يكون اتجاه خطوط المجال المغناطيسي خارج المغناطيس متجهه من القطب الشمالي باتجاه القطب الجنوبي.





(a) (b) (c)

يمكن تعريف المجال المغناطيسي B عند نقطة من خلال القوة المغناطيسية F_B التي يؤثر بها المجال على شحنة اختبار مناسبة q_0 تتحرك بسرعة v ،حيث بينت التجارب إن المجال المغناطيسي لا يؤثر على الشحنة الساكنة وإنما يؤثر بقوة على الشحنة المتحركة يكون اتجاهها عمودي على كل من اتجاه المجال المغناطيسي واتجاه حركة الشحنة.



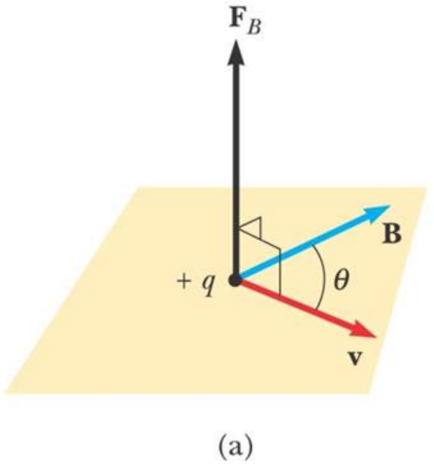
(a)

❖ **assuming that no electric (E) or gravitational (g) fields are present at the location of the test object.**

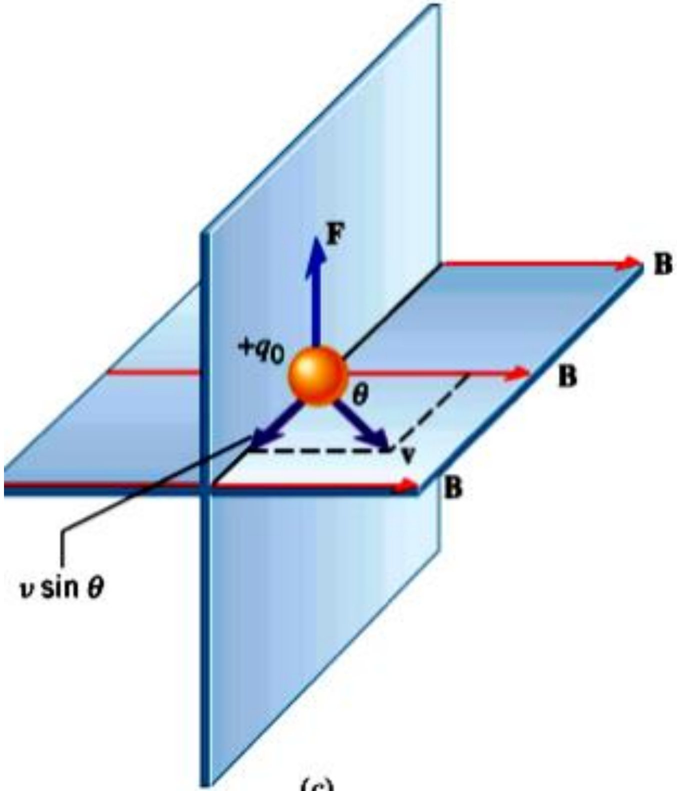
وجد أن القوه المغناطيسية F_B تتناسب طرديا مع مقدار الشحنة المتحركة q_0 والمجال المغناطيسي B وسرعة الشحنة v وجيب الزاوية $(\sin\theta)$ بين اتجاه السرعة واتجاه المجال المغناطيسي وبالتالى فإن مقدار القوة المغناطيسية:

$$F_B = q_0 v B \sin\theta$$

$$\vec{F}_B = q_0(\vec{v} \times \vec{B})$$



حيث تكون القوة المغناطيسية دائما عموديا على المستوى الحاوي لكلا من متجه سرعة الشحنة ومتجه المجال المغناطيسي.

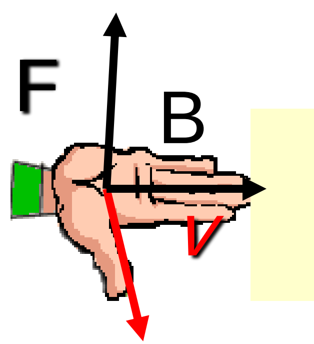


(c)

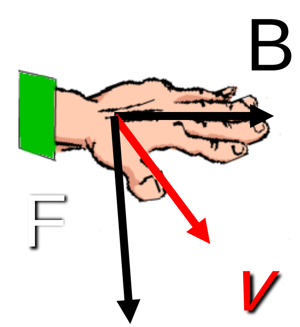
يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية باستخدام قاعدة اليد اليمنى للشحنة الموجبة واليد اليسرى للشحنة السالبة كما يلي:

يشير الإبهام إلى اتجاه السرعة وبقية الأصابع المنبسطة تشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي وتكون القوه المغناطيسية خارجة من راحة اليد، وكذالك بالنسبة لليد اليسرى.

Right-hand rule for positive q



Left-hand rule for negative q



قاعدة اليد اليمنى:

يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية باستخدام أصابع اليد اليمنى حيث تشير اتجاه دوران الأصابع إلى الدوران من v إلى B وتشير الإبهام إلى اتجاه القوة المغناطيسية كما بالشكل حيث تكون عمودية على المستوى الحاوي لكلا من اتجاه حركة الشحنة واتجاه المجال المغناطيسي، إذا كانت الشحنة المتحركة سالبة يكون اتجاه القوة المغناطيسية معاكس لاتجاه الإبهام.

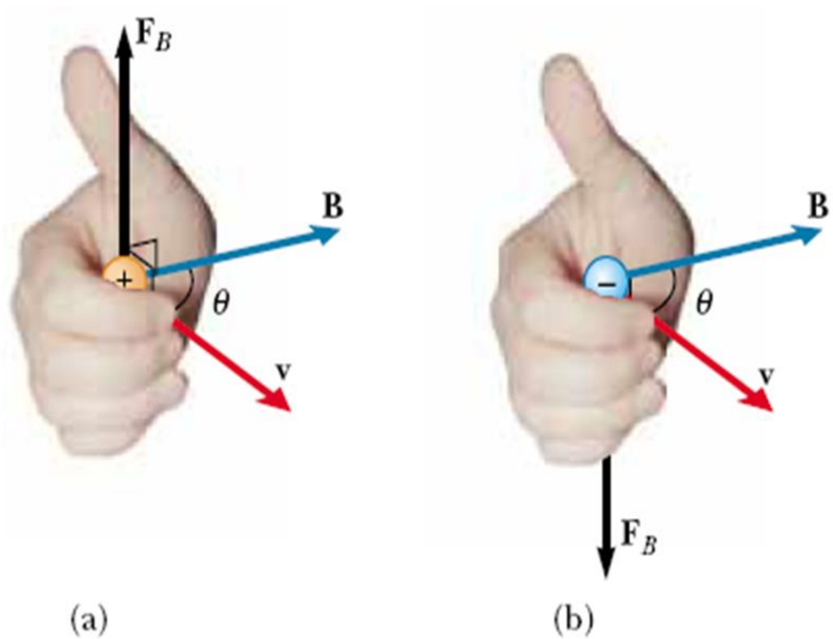


Figure 29.4 The right-hand rule for determining the direction of the magnetic force $\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ acting on a particle with charge q moving with a velocity $\mathbf{v}$ in a magnetic field $\mathbf{B}$. The direction of $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ is the direction in which the thumb points. (a) If q is positive, $\mathbf{F}_B$ is upward. (b) If q is negative, $\mathbf{F}_B$ is downward, antiparallel to the direction in which the thumb points.

لا تبذل القوة المغناطيسية أي شغل على الجسم المشحون المتحرك لأنها تكون دائما عمودية على اتجاه الحركة (اتجاه الإزاحة) حيث:

$$W = F_B d cos\theta = F_B \; v \; t \; cos\theta$$

قارن بين القوة المغناطيسية والقوة الكهربائية المؤثرة على شحنه موجبة؟

١- يكون مقدار القوه المغناطيسية اكبر ما يمكن عندما يكون اتجاه حركة الشحنة عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي ($\theta = 90$).

٢- يكون مقدار القوه المغناطيسية صفرا عندما يكون اتجاه حركة الشحنة موازي لاتجاه المجال المغناطيسي ($\theta = 0 \;\; or \; 180$) . او عندما تكون الشحنة ساكنة $v=0$.

<u>وحدة قياس شدة المجال المغناطيسى B:</u>

يقاس شدة المجال المغناطيسي في النظام الدوالي بالتسلا T حيث:

$$\mathbf{1T} = \boldsymbol{N.s/C.m} = \boldsymbol{N/A.m}$$

كما يقاس المجال المغناطيسي B بالقاوس G وترتبط مع التسلا بالعلاقة:

$$\mathbf{1T} = \mathbf{10^4}\boldsymbol{G}$$

مثال ١

يتحرك بروتون بسرعة $6 \times 10^6\ (m/s)$ على امتداد محور x فيدخل منطقة مجال مغناطيسي شدته 4T ويصنع اتجاهه 60^0 مع محور x احسب القوة المؤثرة على البروتون لحظة دخوله المجال واتجاهها، ثم احسب تسارع البروتون واتجاهه.

<u>الحل:</u>

$$\mathrm{F_B} = q\ \mathrm{B\ v\ sin\theta} = (1.6 \times 10^{-19})(6 \times 10^{6})(4)\ (\sin 60)$$

$$= 3.33 \times 10^{-12}\mathrm{N}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه القوة المغناطيسية مع اتجاه محور Z الموجب

لحساب التسارع نستخدم قانون نيوتن الثاني

$$\mathrm{F_B} = m\ a \Longrightarrow a = \frac{\mathrm{F_B}}{m} = \frac{3.33 \times 10^{-12}}{1.67 \times 10^{-27}}$$

$$= 2 \times 10^{15}\ (\mathrm{m/s^2})$$

يكون اتجاه التسارع بنفس اتجاه القوه اي باتجاه المحور z الموجب

مثال ٢

يتحرك الكترون بسرعة $(\mathrm{m/s})$ 8×10^6 على امتداد محور x فيدخل منطقة مجال مغناطيسي شدته 0.025T ويصنع اتجاهه 60^0 مع محور x ويقع في المستوى xy احسب القوة المؤثرة على الإلكترون لحظة دخوله المجال واتجاهها، ثم احسب تسارع الإلكترون واتجاهه

الحل:

$$F_B = q\, B\, v \sin\theta$$
$$=(1.6 \times 10^{-19})(8 \times 10^{6})(0.025)\ (\sin 60)$$
$$= 2.8 \times 10^{-14}\,\mathrm{N}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه $\vec{B}\ \times \vec{v}$ مع اتجاه محور Z الموجب وبما ان الشحنة سالبه فسيكون اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الالكترون في اتجاه محور Z السالب.

لحساب التسارع نستخدم قانون نيوتن الثاني

$$F_B = m\, a \Rightarrow a = \frac{F_B}{m} = \frac{2.8 \times 10^{-14}}{9.11 \times 10^{-31}}$$
$$= 3.1 \times 6\ (\mathrm{m/s^2})$$

يكون اتجاه التسارع بنفس اتجاه القوه اي باتجاه محور Z السالب

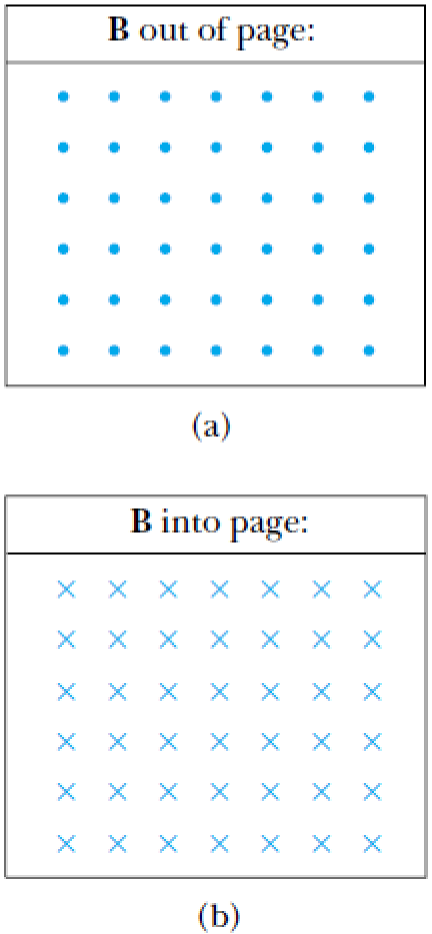


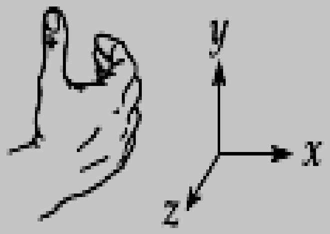
Figure 29.6 (a) Magnetic field lines coming out of the paper are indicated by dots, representing the tips of arrows coming outward. (b) Magnetic field lines going into the paper are indicated by crosses, representing the feathers of arrows going inward.

Example 3: An electron moving along the positive *x axis perpendicular* to a magnetic field experiences a magnetic deflection in the negative *y direction. What is the direction of* the magnetic field?

مثال ٣: يتحرك إلكترون على امتداد محور السينات الموجب متعامد مع المجال المغناطيسي إذا كان الإلكترون يواجه انحراف في اتجاه محور الصادات السالب فما اتجاه المجال المغناطيسي؟

$\mathbf{F}_B = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}; \quad \left|\mathbf{F}_B\right|(-\mathbf{j}) = -e\left|\mathbf{v}\right|\mathbf{i} \times \mathbf{B}$

Therefore, $B = \left|\mathbf{B}\right|(-\mathbf{k})$ which indicates the $\boxed{\text{negative } z \text{ direction}}$

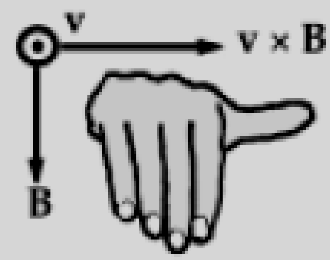


Example 4: A proton moves in a direction perpendicular to a uniform magnetic field B at 1.0 x10^7 m/s and experiences an acceleration of 2.0x10^{13} m/s^2 in the + x direction when its velocity is in the -z direction. Determine the magnitude and direction of the field.

مثال ٤: بروتون يتحرك بسرعة مقدارها 1.0 x10^7 m/s في اتجاه متعامد مع مجال مغناطيسي B منتظم فإذا كان التسارع الذي اكتسبه البروتون 2.0x10^{13} m/s^2 في اتجاه محور x الموجب و كان اتجاه سرعته مع محور Z السالب فما هي قيمة واتجاه المجال؟

$$F = ma = (1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg})(2.00 \times 10^{13}\ \text{m/s}^2) = 3.34 \times 10^{-14}\ \text{N} = qvB \sin 90°$$

$$B = \frac{F}{qv} = \frac{3.34 \times 10^{-14}\ \text{N}}{(1.60 \times 10^{-19}\ \text{C})(1.00 \times 10^{7}\ \text{m/s})} = \boxed{2.09 \times 10^{-2}\ \text{T}}$$

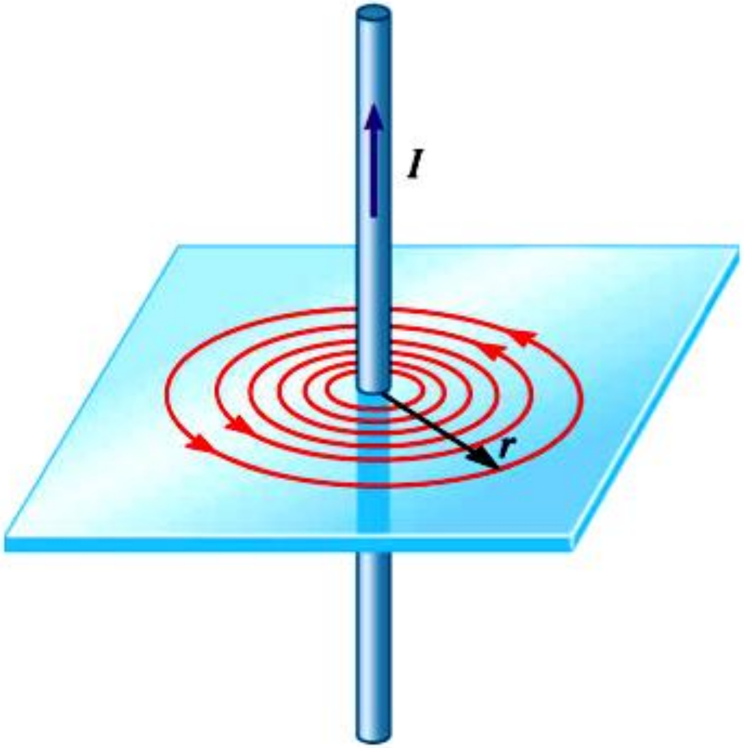


The right-hand rule shows that B must be in the $-y$ direction to yield a force in the $+x$ direction when v is in the z direction.

29.2 MAGNETIC FORCE ACTING ON A CURRENT-CARRYING CONDUCTOR

القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل ناقل للتيار:

إذا وضع سلك حامل للتيار في مجال مغناطيسي فإن المجال سيؤثر على السلك بقوة مغناطيسية لان التيار المار في السلك عبارة عن شحنات متحركة وكل شحنة متحركة في مجال مغناطيسي يؤثر عليها المجال المغناطيسي بقوة عمودية على اتجاه حركتها.



I
r

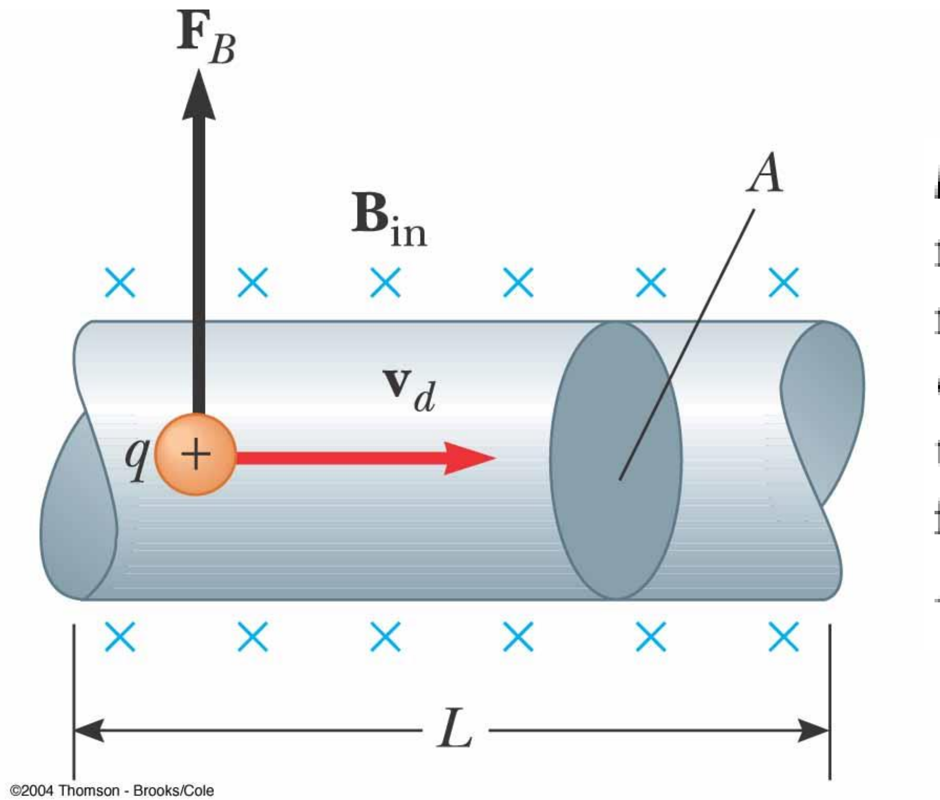


Figure 29.7 A segment of a current-carrying wire located in a magnetic field $\mathbf{B}$. The magnetic force exerted on each charge making up the current is $q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$, and the net force on the segment of length L is $I\mathbf{L} \times \mathbf{B}$.

فإذا كان طول السلك L يكون التيار الكهربائي المار بالسلك يعطى بالعلاقة:

$$i = \frac{q}{t} \Rightarrow q = it$$

وبالتعويض في المعادلة (١):

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

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

$$F_B = i\ L\ B \sin\theta \qquad or \quad F_B = i\ L \times B$$

اتجاه حركة السلك (اتجاه القوه المغناطيسية المؤثرة على السلك)

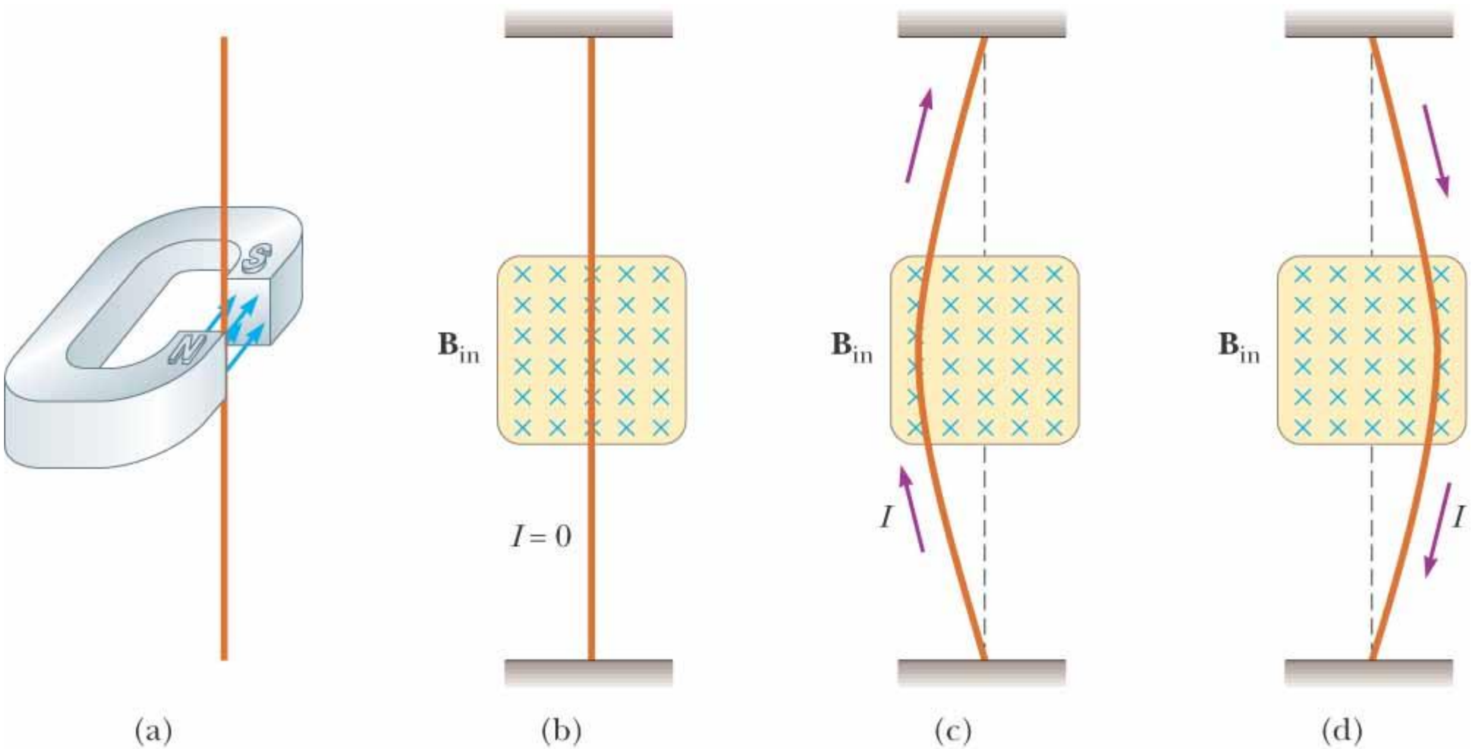


Fig 29-7a, p.901

Example ٥: A wire having a mass per unit length of 0.500 g/cm carries a 2A current horizontally to the south. What are the direction and magnitude of the minimum magnetic field needed to lift this wire vertically upward?

مثال ٥ : سلك معدني كتلة وحدة الأطوال منه 0.5 g/cm يمر به تيار شدته 2A أفقيا وباتجاه الجنوب. ما هي قيمة واتجاه اقل مجال مغناطيسي لازم لتحريك السلك عموديا إلى أعلى ؟

$F_B = ILB \sin\theta$ with $F_B = F_g = mg$

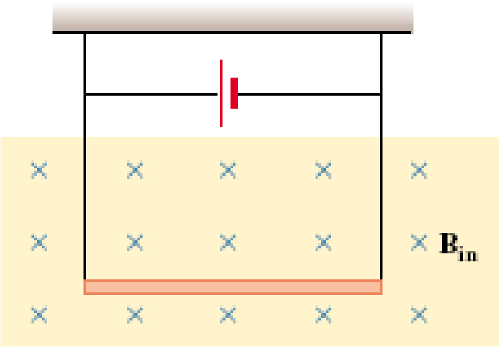
$mg = ILB \sin\theta$ so $\dfrac{m}{L}\,g = IB \sin\theta$

$I = 2.00\ \text{A}$ and $\dfrac{m}{L} = (0.500\ \text{g/cm})\left(\dfrac{100\ \text{cm/m}}{1000\ \text{g/kg}}\right) = 5.00\times10^{-2}\ \text{kg/m}$

Thus $(5.00 \times 10^{-2})(9.80) = (2.00)B \sin 90.0°$

$B = \boxed{0.245\ \text{Tesla}}$ with the direction given by right-hand rule: $\boxed{\text{eastward}}$

Example 6: A conductor suspended by two flexible wires as shown in Figure P29.16 has a mass per unit length of 0.04kg/m. What current must exist in the conductor for the tension in the supporting wires to be zero when the Magnetic field is 3.6T into the page ? what is The requid direction for the current?

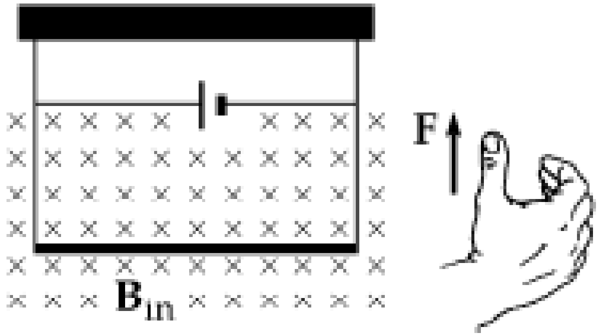


مثال ٦: موصل معلق بواسطة سلكين مرنين كما بالشكل المجاور إذا كانت كتلة وحدة الأطوال من السلك 0.04kg/m فما هي قيمة واتجاه التيار اللازم مرورها بالسلك حتى تكون قيمة الشد بسلكي التعليق تساوي صفر عندما يكون قيمة المجال المغناطيسي 3.6T وداخل إلى الصفحة.

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

$$I = \frac{mg}{BL} = \frac{(0.0400\ \mathrm{kg/m})(9.80\ \mathrm{m/s^2})}{3.60\ \mathrm{T}} = \boxed{0.109\ \mathrm{A}}$$

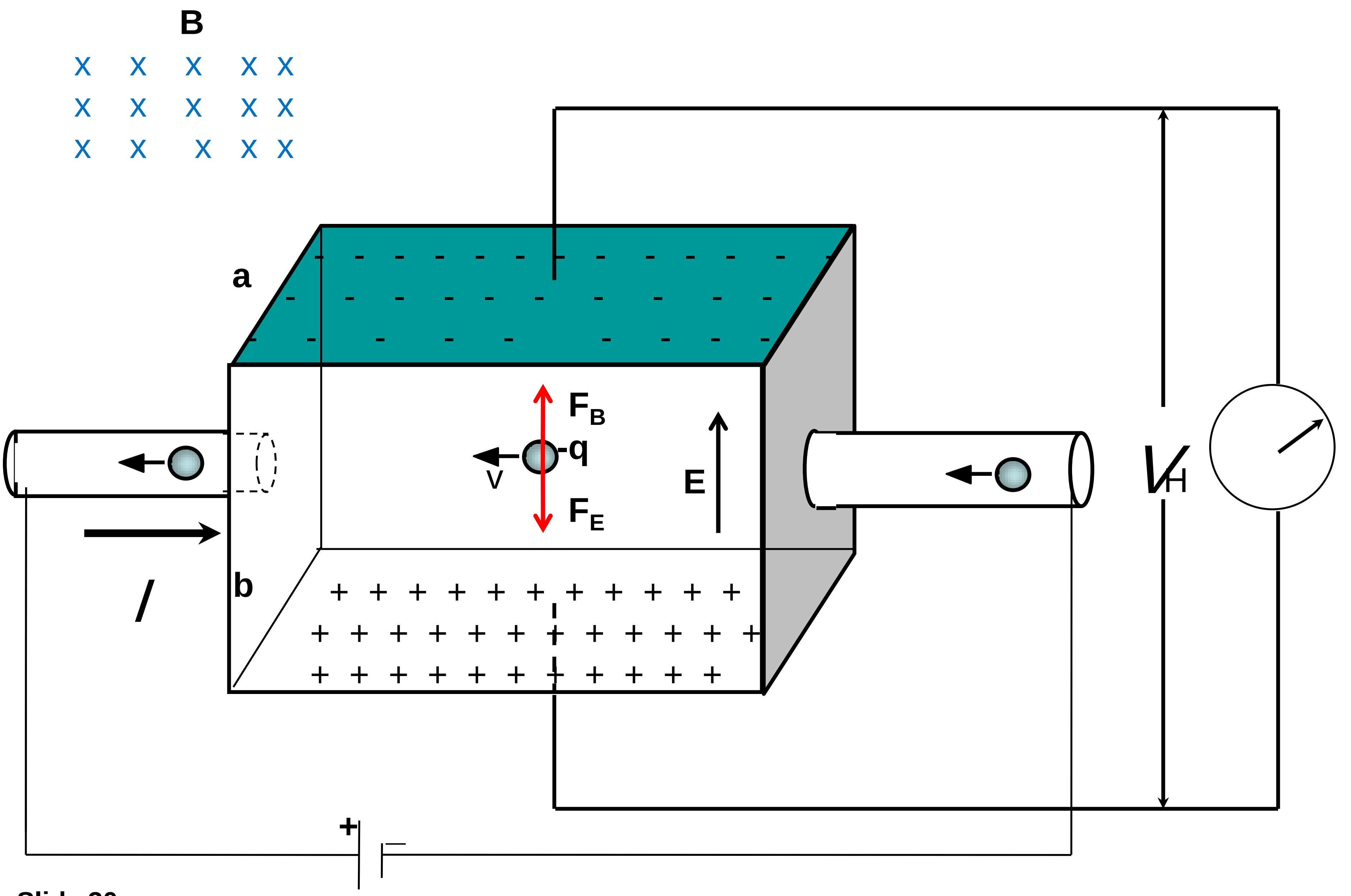
The direction of I in the bar is $\boxed{\text{to the right}}$.



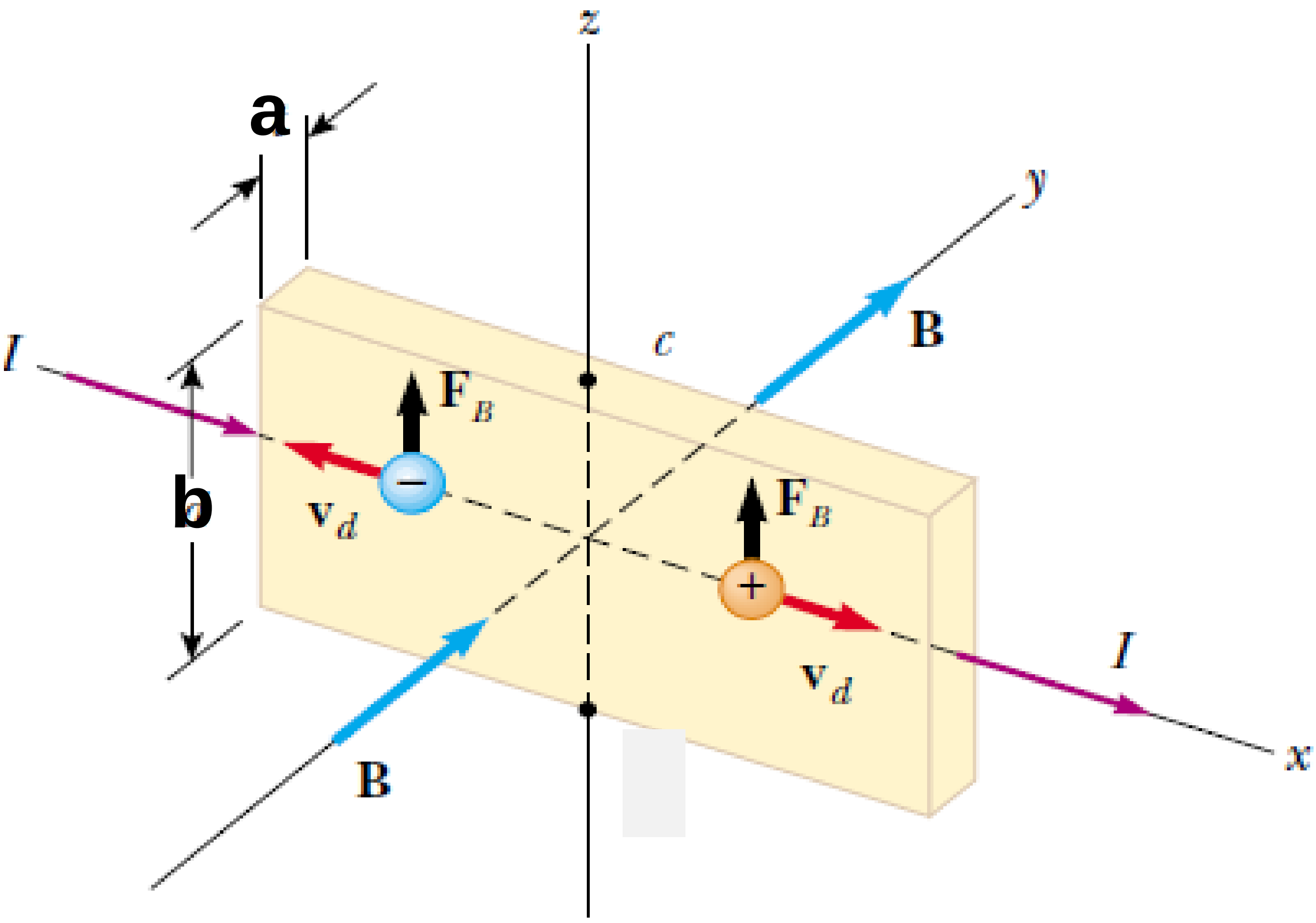
The Hall Effect تأثير هول

اكتشفه العالم هول عام ١٨٧٩م ويستخدم تأثير هو في تعيين درجة تركيز الالكترونات الحرة في المعادن وأشباه الموصلات

إذا مر تيار كهربائي i في قطعة من مادة موصله على شكل متوازي مستطيلات سمكها a وعرضها b وموضوعة في مجال مغناطيسي منتظم B عمودي على احد وجوهها كما بالشكل التالي



B
x x x x x
x x x x x
x x x x x
a
b
F_B
-q
v
F_E
E
V_H
I
+



z
a
y
I
c
B
F_B
b
v_d
F_B
v_d
I
x
B

فان المجال المغناطيسي يولد قوه مغناطيسيه F_B تقوم بإزاحة الالكترونات الناقلة للتيار إلى اعلي فتتجمع الشحنات السالبة على الجانب العلوي للموصل والشحنات الموجبة على الجانب السفلى مما يؤدي إلى توليد مجال كهربائي E بين سطحي الموصل العلوي والسفلي ويؤثر على الالكترونات بقوه إلى أسفل (عكس القوة المغناطيسية) ومع مرور الوقت تتعادل القوتان الكهربائية والمغناطيسية ويثبت عندها قيمه المجال الكهربائي ويظهر فرق جهد بين وجهي الموصل العلوي والسفلي يسمي جهد هول (V_H)

$$F_E = F_B$$

$$eE = e\upsilon B$$

$$\Longrightarrow E = \upsilon B \qquad \dots\dots\dots\dots\dots.1$$

ويعطي جهد هول بالعلاقة:

$$v_H = Eb \qquad \dots\dots\dots..2$$

من المعادلة 1 والمعادلة 2 فان :

$$V_H = \upsilon Bb \qquad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 3$$

ولكن التيار i المار في موصل مساحة مقطعه A وعدد الالكترونات الحرة في وحدة الحجم منه n يعطي بالعلاقة:

$$\mathrm{i} = nev\mathrm{A} \implies v = \frac{i}{neA} = \frac{i}{ne(ab)}$$

وبالتعويض في المعادلة 3:

$$\implies \mathrm{V_H} = \frac{iBb}{neab} = \frac{iB}{nea}$$

$$\mathrm{V_H} = R_{\mathrm{H}}\left(\frac{iB}{a}\right) \qquad \ldots\ldots.4$$

$$\implies R_{\mathrm{H}} = \frac{1}{ne}$$

حيث يسمى R_H بمعامل هول ويمكن قياس كثافة الالكترونات الحرة (n) باستخدام المعادلة (4) وذالك باستخدام تيار i ومجال مغناطيسي B معلومين وقياس جهد هول بدقه باستخدام مقياس جاوس أو أي مقياس أخر. كما يمكن تحديد نوع الشحنات الناقلة للتيار وتحديد ما إذا كانت سالبة أو موجبة عن طريق قياس جهد هول.

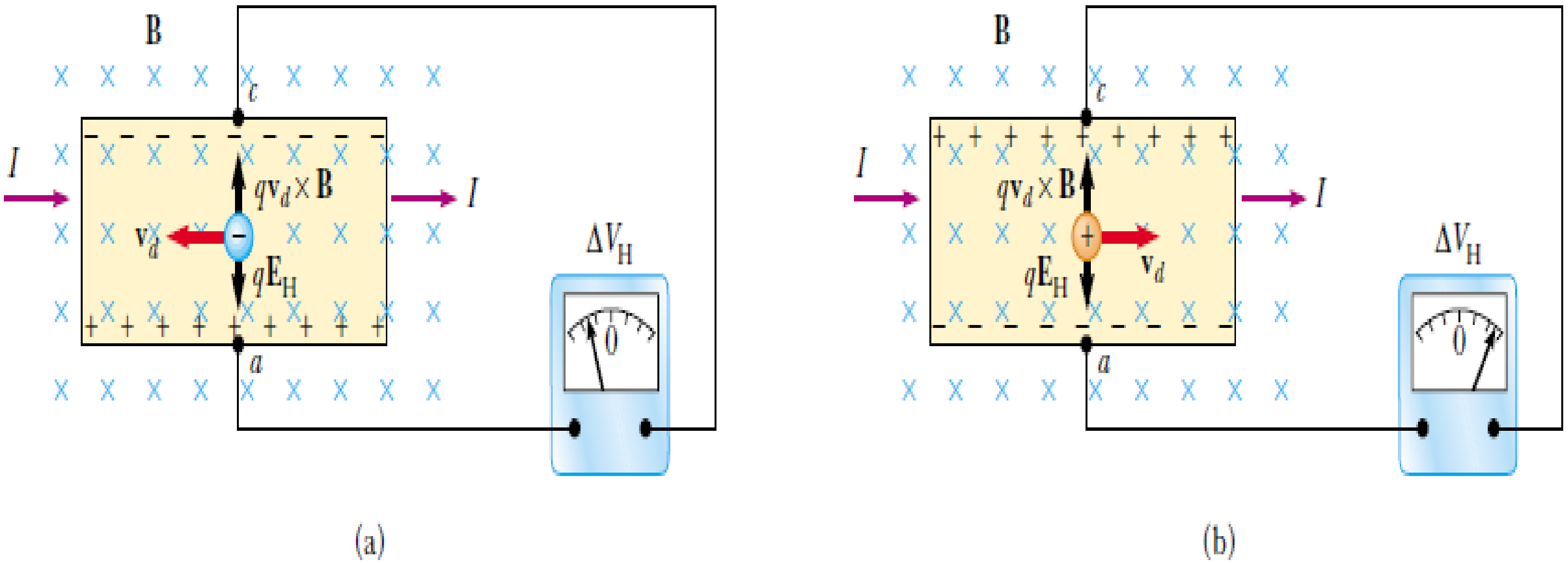


Figure 29.29 (a) When the charge carriers in a Hall-effect apparatus are negative, the upper edge of the conductor becomes negatively charged, and c is at a lower electric potential than a. (b) When the charge carriers are positive, the upper edge becomes positively charged, and c is at a higher potential than a. In either case, the charge carriers are no longer deflected when the edges become sufficiently charged that there is a balance on the charge carriers between the electrostatic force qE_H and the magnetic deflection force qvB.

مثال١:

في تجربة لقياس شدة المجال المغناطيسي B استخدم محبس (Probe) من الفضة سمكه 0.2 mm ومرربه تيار شدته A 20 فكان جهد هول الناتج $15\mu C$. اذا علمت ان معامل هول للفضة يساوي -8.4×10^{-11} m³/C فاوجد:

أ) عدد ناقلات التيار الحرة في وحدة الحجم

ب) مقدار المجال المغناطيسي.

الحل:

أ)   بما أن ناقلات الفضة سالبة فان:

$$R_{\mathrm{H}} = -\frac{1}{ne}$$

$$\Longrightarrow \mathrm{n} = -\frac{1}{eR_{\mathrm{H}}}$$

$$n = \frac{1}{(1.6 \times 10^{-19}) \times (-8.4 \times 10^{-11})}$$

$$= 7.44 \times 10^{28}\ m^{-3}$$

ب)

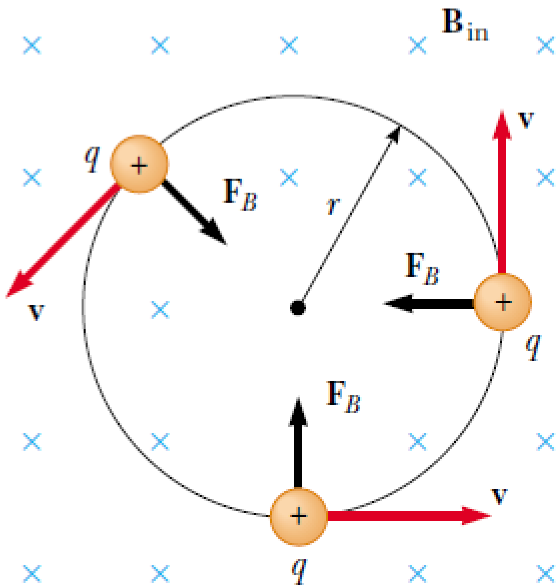
$$\mathrm{B} = \frac{neaV_{\mathrm{H}}}{i} = \left(\frac{aB}{iR_{\mathrm{H}}}\right)$$

$$\mathrm{B} = \frac{(0.2\ \times 10^{-3}) \times (15\ \times 10^{-6})}{(20) \times (8.4\ \times 10^{-11})}$$

$$\mathrm{B} = 1.79T = 17900\ G$$

29.4 MOTION OF A CHARGED PARTICLE IN A UNIFORM MAGNETIC FIELD

حركة شحنة في مجال مغناطيسي منتظم:



Active Figure 29.18 When the velocity of a charged particle is perpendicular to a uniform magnetic field, the particle moves in a circular path in a plane perpendicular to **B**. The magnetic force $\mathbf{F}_B$ acting on the charge is always directed toward the center of the circle.

القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة متحركة في مجال مغناطيسي تكون دائما عمودية على سرعة الجسم وبالتالي يكون الشغل الذي يبذله المجال المغناطيسي على الشحنة المتحركة خلاله يساوي صفر.

$$w = F.d = Fd\cos\theta$$

وبالتالي القوة المغناطيسية تستطيع تغيير اتجاه سرعة الجسم ولا تستطيع تغيير قيمتها ومن ثم يتحرك الجسم المشحون في مسار دائري نصف قطره r ويخضع الجسم لقوتين متعاكستين إحداهما القوة المغناطيسية إلى مركز الدائرة والأخرى قوة الطرد المركزية للخارج ويظل الجسم في مساره الدائري إذا تساوت هاتان القوتان أي أن:

$$F_B = F_c$$

$$\mathrm{qvB} = m\frac{\mathrm{v}^2}{r}$$

ويكون نصف قطر المدار الدائري للجسيم المشحون هو:

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

ويكون التردد الزاوي (السرعة الزاوية) للجسيم في مداره هي:

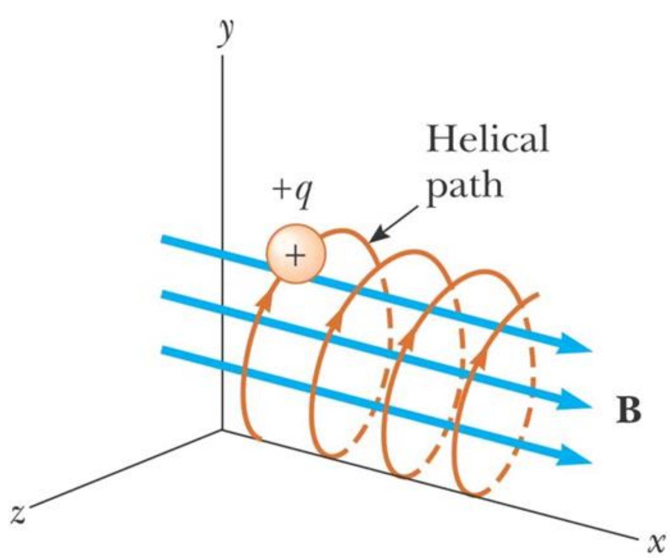
$$\omega = \frac{\mathrm{v}}{r} = \frac{qB}{m}$$

ويكون الزمن الدوري T هو :

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

يطلق على التردد الزاوي ω لدوران الجسم المشحون في مجال مغناطيسي بتردد السيكلترون (cyclotron frequency) لأنه يحدث مثل هذا التردد للجسيمات المشحونة داخل مسرع نووي يعرف بالسيكلترون.

إذا كان اتجاه سرعة الجسيم المشحون غير متعامدة مع اتجاه المجال ولكنه يصنع زاوية θ فإن هذا سيؤدي إلى دوران الشحنة في مسار حلزوني محوره متفق مع اتجاه المجال كما بالشكل المجاور حيث يمكن تحليل السرعة إلى مركبتين للسرعة vsin وتمثل المركبة العمودية للسرعة والتي تؤدي إلى المسار الدائري أما المركبة الأخرى فهي $v\cos\theta$ وهذه لن تتأثر بالمجال ويظل اتجاهها ثابت وفي اتجاه المجال وهي التي تؤدي إلى جعل شكل المسار حلزوني ويكون نصف قطر المسار الحلزوني:



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

مثال ٢:

يتحرك بروتون على محور x الموجب بسرعة قدرها $1 \times 10^7 m/s$ سلط مجال مغناطيسي قيمة حثه B يساوي 2.5×10^{-4} T في اتجاه محور z الموجب احسب:

١) قيمة واتجاه القوة المغناطيسية
٢) نصف قطر المدار

السرعة الزاوية

الحل:

١)

$$F_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$F_B = q\left(v_x\vec{i} \times B_z\vec{k}\right) = -qv_xB_z\vec{j}$$

$$F_B = -(-1.6 \times 10^{-19})(1 \times 10^{7}) \times (2.5 \times 10^{-4})\vec{j}$$

$$F_B = 4 \times 10^{-16}\vec{j}\, N$$

۲)

$$\mathrm{qvB} = m\frac{\mathrm{v}^2}{r}$$

$$\mathrm{F}_B = m\frac{\mathrm{v}^2}{r} \Longrightarrow \mathrm{r} = \frac{m\mathrm{v}^2}{\mathrm{F}_B}$$

$$\mathrm{r} = \frac{(9.11 \times 10^{-31})(1 \times 10^{7})^{2}}{4 \times 10^{-16}} = 0.228m$$

(٣

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

$$\omega = \frac{(1.6 \times 10^{-19})(2.5 \times 10^{-4})}{9.11 \times 10^{-31}}$$

$$\omega = 4.4 \times 10^{7}\, rad/s$$

EXAMPLE 29.6 A Proton Moving Perpendicular to a Uniform Magnetic Field

A proton is moving in a circular orbit of radius 14 cm in a uniform 0.35-T magnetic field perpendicular to the velocity of the proton. Find the linear speed of the proton.

يتحرك بروتون في مدار دائري نصف قطره ١٤سم في مجال مغناطيسي منتظم شدته ٠,٣٥ تسلا اتجاهه عموديا على سرعة البروتون . اوجد السرعة الخطية للبروتون.

$$v = \frac{qBr}{m_p} = \frac{(1.60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})(0.35\ \mathrm{T})(14 \times 10^{-2}\ \mathrm{m})}{1.67 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}}$$

$$= \boxed{4.7 \times 10^{6}\ \mathrm{m/s}}$$

Exercise If an electron moves in a direction perpendicular to the same magnetic field with this same linear speed, what is the radius of its circular orbit?

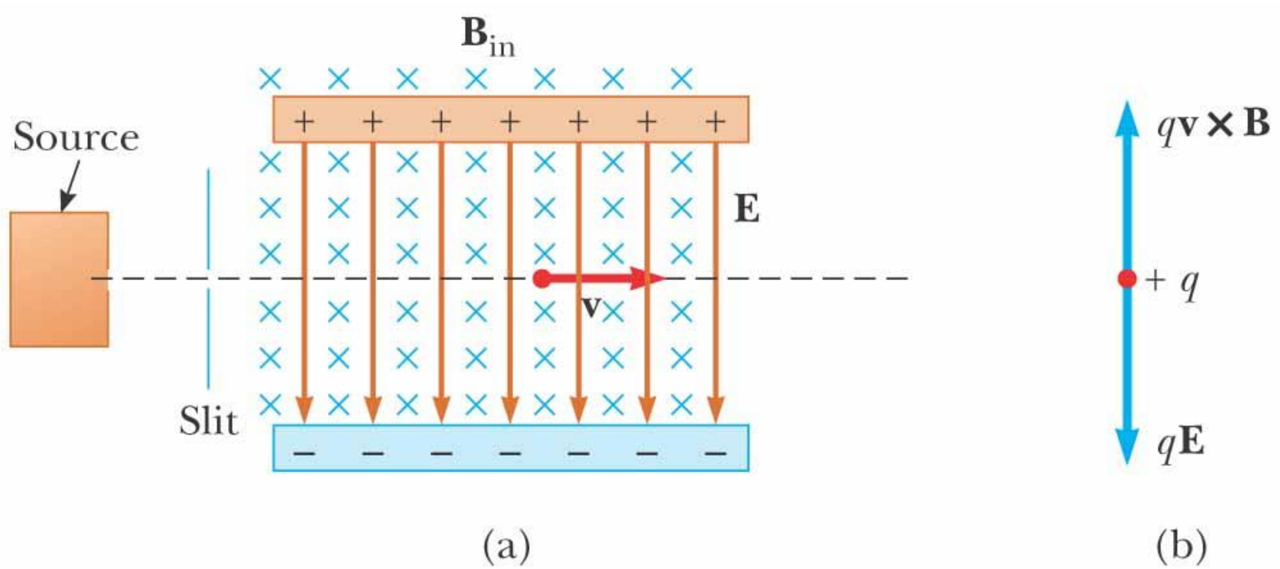
Answer 7.6×10^{-5} m.

29.5 APPLICATIONS INVOLVING CHARGED PARTICLES MOVING IN A MAGNETIC FIELD

The total force (called the Lorentz force) acting on the charge is

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

1- Velocity Selector:

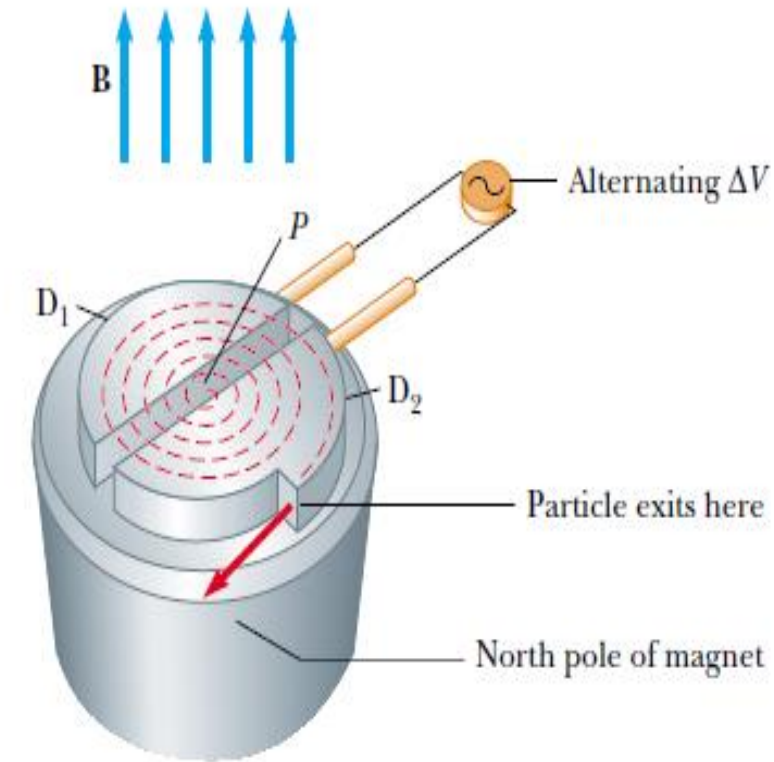


$$v = \frac{E}{B}$$

29.5 APPLICATIONS INVOLVING CHARGED PARTICLES MOVING IN A MAGNETIC FIELD

تطبيقات على حركة شحنة في مجال مغناطيسي

١ـ السيكلوترون
THE CYCLOTRON



صنعه كلا من الدكتور ارنست لورانس والدكتور ستانلي لفجنستون في جامعة كالفورنيا عام ١٩٣١م.

يستخدم كمسرع للجسيمات المشحونة بحيث تكتسب سرعات عالية وبالتالي طاقه عاليه ومن ثم تستخدم كمقذوفات لإجراء التجارب النووية.

ومبدأ عمله يقوم على استخدام مجالا مغناطيسيا منتظم وقويا يقوم بالحفاظ على حركة الجسيمات المشحون في مسار دائري كما يستخدم السيكلوترون مجالا كهربائيا قويا يقوم بتسريع (تعجيل) الجسيمات المشحونة.

يتركب السكلوترون من نصفي قرص مجوفين على شكل حرف *D* يسمى كل منهما (*Dees*)موصولان بمصدر جهد متردد *V* كما يطبق عليهما مجالا مغناطيسيا *B*عموديا كما بالرسم ولذلك تبدأ الجسيمات المشحونة بالحركة في مسار دائري نصف قطره *r* تحدد بالعلاقة:

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

ويتم ضبط مصدر الجهد بحيث يعكس اتجاهه في اللحظة التي ينتقل فيها الجسيم من نصف القرص الأول إلى الآخر لكي يحافظ الجسيم على دورانه وبهذا تزداد سرعته تدريجيا ويزداد نصف قطر مساره حتى يخرج من المكان المخصص بطاقة عالية قد تصل إلى ملايين الإلكترون فولت. وتكون سرعة خروجه هي:

$$v_{max} = Br\frac{q}{m}$$

حيث r هي نصف قطر القرص و نيب ةبسنلا يه $\frac{q}{m}$
شحنة الجسيم وكتلته.
ويكون متوسط الطاقة الحركية للجسيم المشحون هي:

$$K = \frac{1}{2}\, m\mathrm{v}_{\mathrm{max}}$$

$$K = \frac{1}{2}\, m \left(\frac{q}{m}\right)^2 \mathrm{B}^2\mathrm{r}^2$$

$$\Rightarrow K = \frac{q^2\, B^2 r^2}{2m}$$

ويعطى تردد جهد التسريع بالعلاقة:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m}$$

لان

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

مثال١ :

يستخدم سيكلوترون صغير اكبر نصف قطر له 2m في تسريع البروتونات في مجال مغناطيسي شدته 3T

احسب:

١- التردد المطلوب لمصدر جهد التسريع المتردد

٢- طاقة حركة البروتون عند مغادرة السيكلوترون

(١

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m}$$

$$\nu = \frac{(1.6 \times 10^{-19})(3)}{(2 \times 3.14)(1.67 \times 10^{-27})}$$

$$\nu = 4.58 \times 10^{7}\, Hz$$

٢)

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

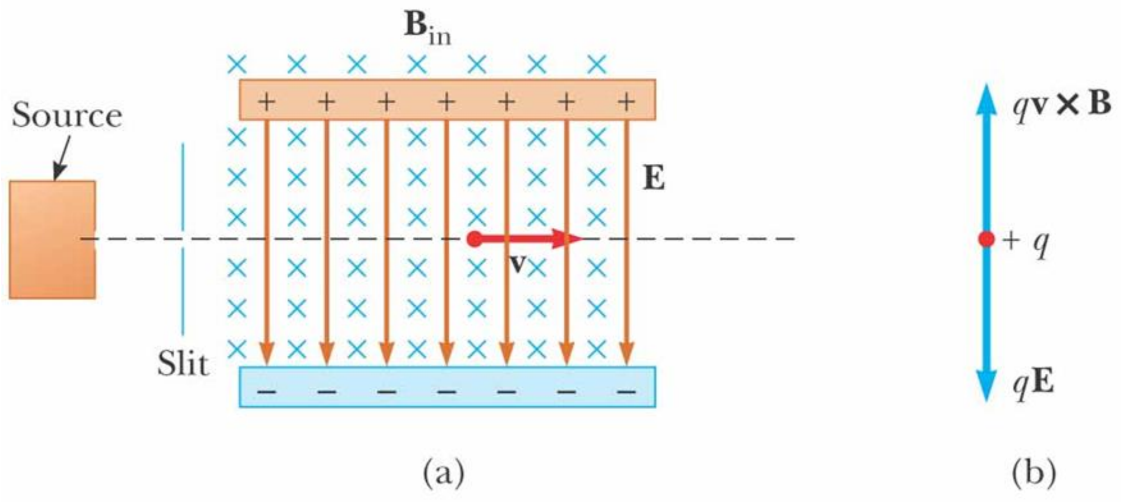
$$K = \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2 (3)^2 (2)^2}{2(1.67 \times 10^{-27})}$$

$$= 2.76 \times 10^{-10}\ \text{J}$$

$$= \frac{2.76 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.73 \times 10^{9}\ \text{ev}$$

$$= 1.73 \times 10^{3}\ \text{Mev}$$

The Velocity Selector ٢- منتقي السرعات



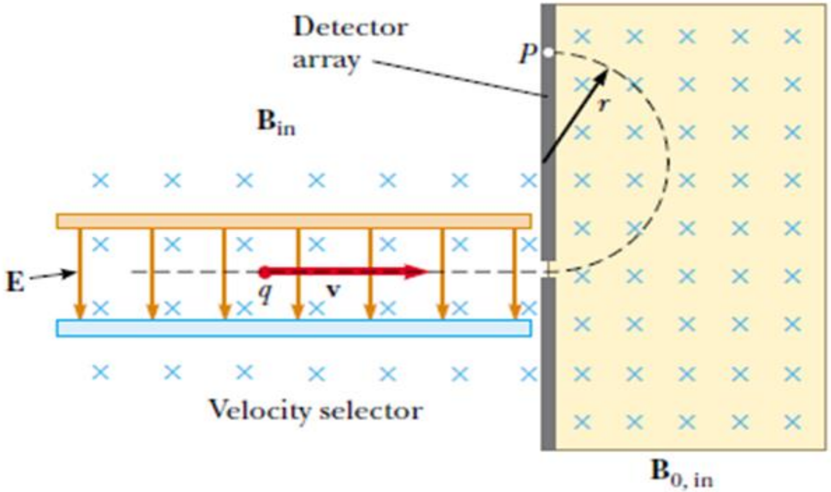
يستخدم للحصول على جسيمات مشحونة لها نفس السرعة (v) من بين مجموعة من جسيمات مشحونة ومتباينة في السرعة ويتم ذالك عن طريق دخول الجسيمات بين مجالين متعامدين احدهما كهربائي والأخر مغناطيسي حيث يؤثر كل منهما بقوه معاكسه للأخرى في الاتجاه.

عندما تتعادل القوه المغناطيسية مع القوة الكهربائية تتحرك الجسيمات المشحونة في خط مستقيم بسرعة (v) حتى تخرج من الفتحة المخصصة أما الجسيمات ذات السرعات الأكبر ذات السرعات الأقل فتنحرف عن الخط المستقيم، وبالتالي يكون سرعة الجسيمات المنتقاة والمتحركة في خط مستقيم هي:

$$\mathrm{qvB} = qE$$

$$\mathrm{v} = \frac{E}{B}$$

The Mass Spectrometer ٣- مطياف الكتلة



Active Figure 29.24 A mass spectrometer. Positively charged particles are sent first through a velocity selector and then into a region where the magnetic field $\mathbf{B}_0$ causes the particles to move in a semicircular path and strike a detector array at P.

يستخدم لفصل الجسيمات المشحونة ذات الكتل المختلفة عن بعضها البعض حيث إن الجسيمات المتساوية في السرعة تدخل بشكل متعامد منطقة مجال مغناطيسي كما بالشكل وبالتالي تتحرك هذه الجسيمات في مسارات دائرية كل حسب كتلته حيث تسقط الجسيمات المشحونة على لوح فوتوغرافي حساس فيترك سقوطها عليه أثرا يمكن من خلاله قياس المسافة بين نقطة السقوط ومكان دخول الجسيمات ولتكن المسافة x.

اذا كانت كتلة الجسيم m وشحنته q وسرعته v فان القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي B هي:

$$F = \mathrm{qvB}$$

وهذه القوة تعادل قوة الطرد المركزية أي ان :

$$\mathrm{qvB} = m\frac{\mathrm{v}^2}{r}$$

$$\Longrightarrow m = \frac{\mathrm{qB}r}{\mathrm{v}}$$

حيث ان q,v ,B معروفه اما r فتقاس عمليا وتساوي x/2 ويجب ملاحظة انه كلما زادت الكتلة زاد نصف القطر.

41. Singly charged uranium-238 ions are accelerated through a potential difference of 2.00 kV and enter a uniform magnetic field of 1.20 T directed perpendicular to their velocities. (a) Determine the radius of their circular path.

مثال٢: سرع ايون اليورانيوم 238 احادي الشحنة
بواسطة فرق جهد قدره 200 V ثم دخل منطقة مجال
مغناطيسي شدته 1.2 T ومتعامد مع اتجاه السرعه
والمطلوب اوجد نصف قطر مسار الايون

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = q(\Delta V) \qquad \text{so} \qquad v = \sqrt{\frac{2q(\Delta V)}{m}}$$

$$|\mathbf{F}_B| = |q\mathbf{v} \times \mathbf{B}| = \frac{mv^2}{r} \qquad r = \frac{mv}{qB} = \frac{m}{q}\sqrt{\frac{2q(\Delta V)/m}{B}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m(\Delta V)}{q}}$$

(a) $$r_{238} = \sqrt{\frac{2\left(238 \times 1.66 \times 10^{-27}\right)2\,000}{1.60 \times 10^{-19}}}\left(\frac{1}{1.20}\right) = 8.28 \times 10^{-2}\ \text{m} = \boxed{8.28\ \text{cm}}$$