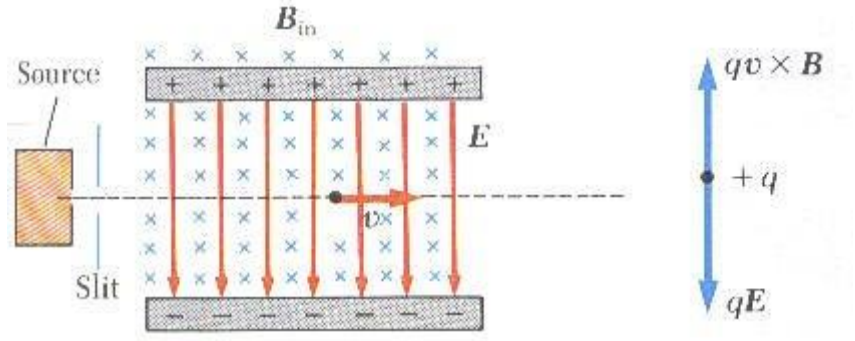
تطبيقات عملية على حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي

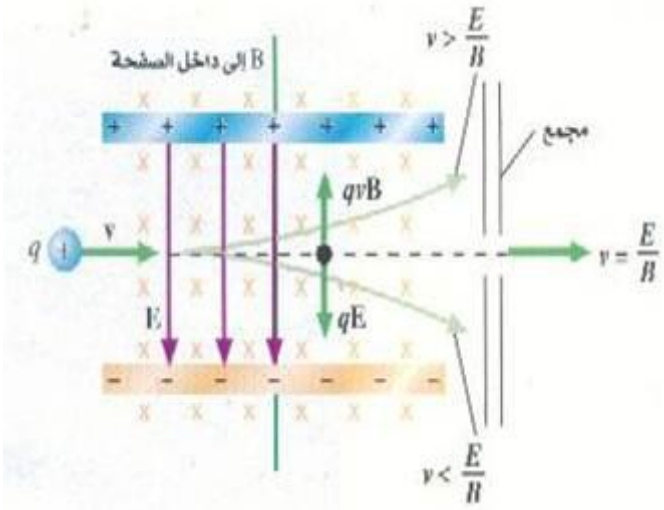
العديد من التطبيقات العلمية تعتمد على التأثير الفيزيائي للمجال الكهربي والمجال المغناطيسي على الاجسام المشحونة حيث انه عند تعريض جسم مشحون لكلا المجالين فإن هذا الجسم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربية $F_e=qE$ والمغناطيسية $F_B=qvxB$ ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز Lorentz Force.

(1) مرشح السرعة The Velocity Selector

يتبين من اسم هذا الجهاز أنه مرشح للسرعة حيث يمكن باستخدامه التحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرعة محددة. وذلك لأنه كما نعلم ان الجسيمات المنبعثة عند اية درجة حرارة لها توزيع احصائي على نطاق واسع من السرعات ولاختيار سرعة محددة نستخدم جهاز مرشح السرعة Velocity selector.

يتكون جهاز مرشح السرعة من مصدر للجسيمات المشحونة Source تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدد حزمة من هذه الجسيمات لتمر في منطقة مجال كهربي متعامد مع مجال مغناطيسي كما في الشكل التالي:





تتأثر الجسيمات المشحونة بالمجالين الكهربي والمغناطيسي بحيث يكون اتجاه القوة الكهربية للأسفل واتجاه القوة المغناطيسية للأعلى. وهذا سيؤدي إلى ان الجسيمات المتحركة بسرعة معينة هي التي ستتحرك في خط مستقيم لأن عند تلك السرعة تتساوى القوة الكهربية مع القوة المغناطيسية بينما الجسيمات المتحركة بسرعات اخرى ستنحرف عن المسار المستقيم لتصطدم بحائل يمنع مرورها من الفتحة الموجودة على محور الجهاز.

$$\vec{\mathbf{F}} = q\left(\vec{\mathbf{E}} + \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}\right)$$

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

$$q\,E = q\,v\,x\,B$$

$$v = E/B(\text{ للحزمة المستفيمة المسار })$$

تنبعث الإلكترونات المشحونة بشحنة q والكتلة m من الكاثود C ثم تتسارع نحو الشق A.
ئفرق الجهد بين A و C (اي بين الكاثود والفتحة) يكون:

$$V_A - V_B = \Delta V$$

التغيير في الطاقة الكامنة يساوي الشغل الخارجي المبذول في تسريع الإلكترونات :

$$\Delta U = W_{\text{ext}} = q\Delta V = -e\Delta V$$

من خلال الحفاظ على الطاقة ، فإن الطاقة الحركية المكتسبة هي:

$$\Delta K = -\Delta U = mv^2/2$$

وبالتالي ، تُعطى سرعة الإلكترونات بواسطة المعادلة :

$$v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m}}$$

ولهذا فإن الجسيم سوف ينحرف بشكل عام إما إلى أعلى أو إلى أسفل اعتماداً على أي من القوتين أكبر من الأخرى. وستمر الشحنة خلال منطقة التعامد بدون انحراف ، فقط إذا تساوت القوتان المتعاكستان. ويتطلب هذا الشرط أن:

$$qE = qvB \qquad \text{أو} \qquad v = \frac{E}{B}$$

والجسيمات التي تتحرك بهذه السرعة تماماً سوف تمر من خلال فتحة صغيرة تقع على خط واحد مع المحور المركزي للجهاز ، اما الجسيمات التي تتحرك بأية سرعات أخرى غبر هذه السرعة فإنها ستمنع من المرور. وهكذا فإن هذا الجهاز يتيح لنا ـ إذا ضبطنا قيم E و B ـ أن ننتقى جسيمات تتمتع كلها بنفس مقدار السرعة من بين حزمة الجسيمات التي لها سرعات مختلفة.

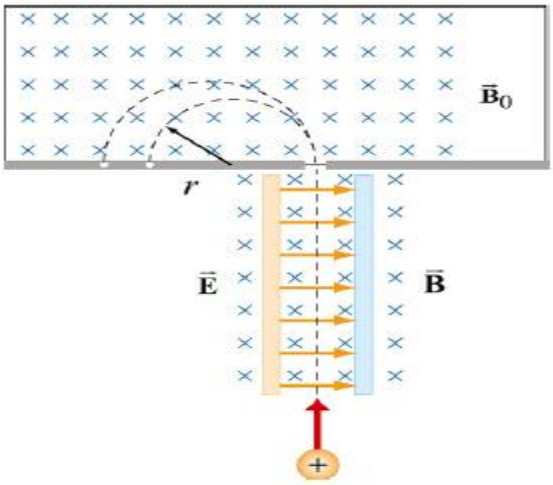
$$\boxed{\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2(\Delta V)B^2}}$$

ومن خلال حساب B , E, ΔV يمكن ايضا حساب النسبة بين شحنة الى الكتلة.

(2) مطياف الكتلة The Mass Spectrometer

جهاز مطياف الكتلة هو جهاز يستخدم لفصل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات بناءً على نسبة كتلتها إلى شحنتها. تعتمد فكرة عمل مطياف الكتلة اساسا على استخدام جهاز مرشح السرعة لاختيار وتحديد سرعة الاجسام المختلفة المراد فصلها.

يوضح الشكل ادناه فكرة عمل الجهاز حيث يمرر شعاع من الايونات في مرشح السرعة لتخرج جسيمات ذات سرعة تساوي E/B. تمر هذه الايونات إلى مطياف الكتلة المكون من مجال مغناطيسي منتظم B_o تسلك الجسيمات خلال المجال المغناطيسي مسار دائري نصف قطره r لتصطدم بشاشة فوتوغرافية تعطي ومضة تشير إلى موقع اصطدام الايون مع الشاشة نتيجة للمجال المغناطيسي المطبق في جهاز مطياف الكتلة.



من المعلومات السابقة وجدنا ان r تعطى بالعلاقة التالية:

$$r = \frac{mv}{qB_0}$$

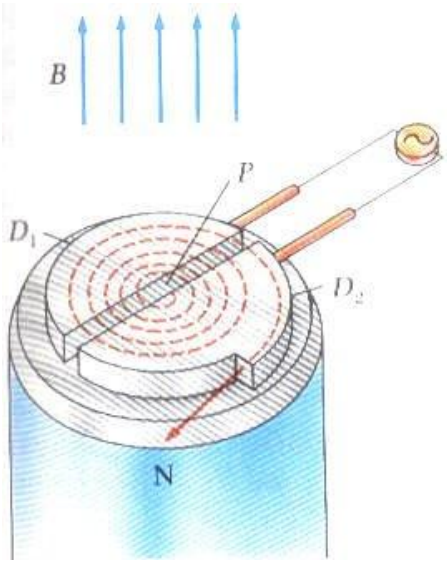
$$m = \frac{qB_0 r}{v} = \frac{qB_0 Br}{E}$$

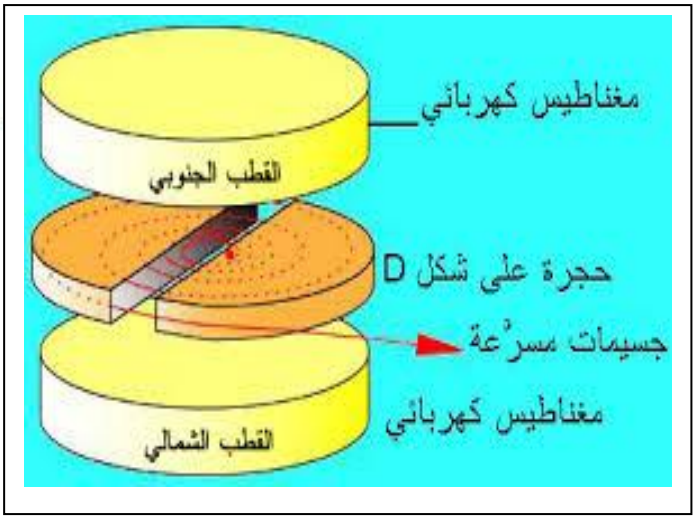
وبهذه الطريقة يمكن ايجاد النسبة بين الكتلة إلى الشحنة عن طريق قياس نصف قطر دوران الجسم المشحون في مطياف الكتلة. وقيم المجال الكهربي والمغناطيسي لمرشح السرعة والمجال المغناطيسي المستخدم في المطياف.

(3) جهاز السايكلترون The Cyclotron

جهاز السايكلترون يعد جهاز حديث تم تصميمه في 1934 ويستخدمفي تعجيل الجسيمات المشحونة إلى سرعات هائلة تستخدم في تجارب التصادمات النووية. وهنا ايضا يستخدم كلا من المجال الكهربي والمجال المغناطيسي لهذا الغرض.

يتكون السايكلترون من وعائين منفصلين على شكل الحرف الانجليزي D مفرغين من الهواء لتقليل احتكاك الجسيمات المعجلة مع جزيئات الهواء. يطبق فرق جهد متردد على طرفي الوعائين ويطبق مجال مغناطيسي عمودي على الوعائين كما هو موضح في الشكل التالي.





يتم اطلاق الجسيمات المراد تعجيلها في وسط المنطقة الفاصلة بين الوعائين لتأخذ مسار دائري وتعود إلى الوسط الفاصل في فترة زمنية قدرها T/2 حيث T هو الزمن الدوي.

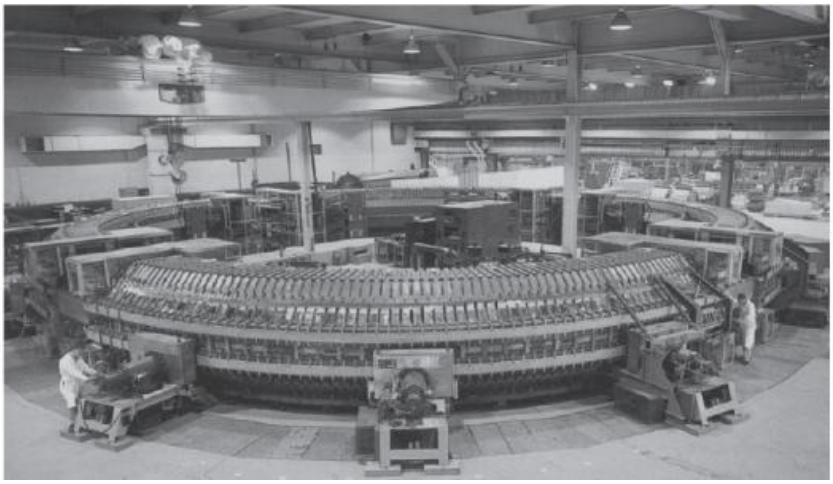
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

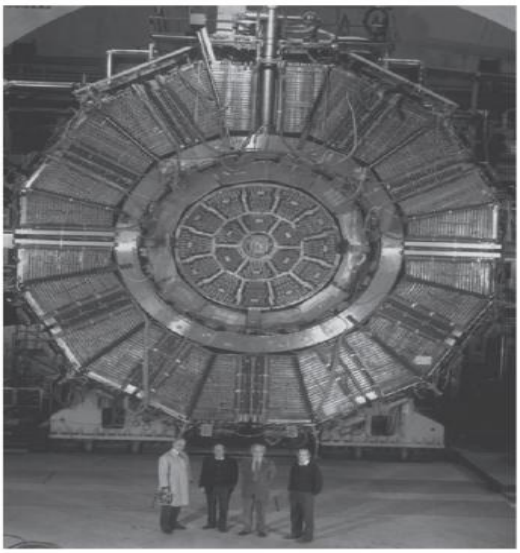
وبضبط تردد فرق الجهد المطبق بين الوعائين لقلب قطبيتهما ليتوافق مع وصول الجسم المشحون للمنطقة الفاصلة حيث يكون مجالا كهربياً يكسب الشحنة دفعة لتزيد من سرعته وبالتالي يزداد نصف قطر الدوران للجسم المشحون تدريجياً حتى يصل إلى نصف قطر الوعاء وعندها يخرج الجسيم المشحون من المعجل (السنكلترون) بسرعة كبيرة تعتمد على المعادلة

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

$$v = qBr/m$$

وتعتمد فكرة التعجيل على تغير اتجاه المجال الكهربي في الفجوة بين الغرفتين . فعندما يعبر الجسيم الفجوة يكتسب سرعة وطاقة، فإذا تكررت هذه العملية عدة مرات تزداد طاقته تدريجياً حتى تصل طاقته إلى أقصاها في نهاية مسارة فيوجه نحو الهدف لإحداث التفاعل النووي. **يستخدم لتعجيل الجسيمات الموجبة مثل البروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا، فتزداد سرعتها إلى درجة كبيرة جداً فيمكن استخدامها كقذائف توجه نحو نوى الذرات في تجارب النشاط الإشعاعي الصناعي.**





. A charged particle moves through a velocity selector at a constant speed in a straight line. The electric field of the velocity selector is 3.80 x 10^3 N/C, while the magnetic field is 0.360 T. When the electric field is turned off, the charged particle travels on a circular path whose radius is 4.30 cm. Find the charge-to-mass ratio of the particle.

For a velocity selector we find the sum of the electric force and the magnetic force add to zero. This provides the relationship

$$\sum \vec{F} = \overrightarrow{F_E} + \overrightarrow{F_B} = q\vec{E} + q\vec{v}\,x\,\vec{B} = qE - qvB = 0$$

$$qvB = qE$$

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

Now for the circular path part, use sum of forces in radial direction

$$\sum F_R = F_B = qvB = \frac{mv^2}{R}$$

Solve for speed

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \frac{qBR}{m}$$

Use v from velocity selector

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

Solve for q/m

$$\frac{q}{m} = \frac{E}{RB^2} = \frac{3.80\,x\,10^3\,N/C}{(4.30\,x\,10^{-2}\,m)(0.360\,T)^2} = 6.819\,x\,10^5\,C/kg$$

$$\boxed{\frac{q}{m} = 6.82\,x\,10^5\,C/kg}$$