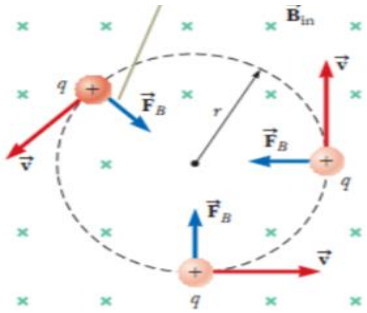
8 -حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي Motion of a charged particle in a magnetic field

اذا وضع جسيم مشحون بشحنة موجبة+(q(في مجال مغناطيسي منتظم وكانت سرعته $\vec{}$ في اتجاه عمودي على المجال، فانه سيتأثر بقوة مقدارها :

$$F=qVB\sin\Theta \qquad (1)$$

ويكون اتجاهها الى اعلى طبقا لقاعدة اليد اليمنى. ولما كانت القوه عمودية على السرعة فإنها لا تغير من مقدار هذه السرعة ولكنها تغير من اتجاهها فيتغير موضع الجسيم واتجاه القوة المؤثرة عليه بينما تظل مقادير الكميات q ، v، B ثابتة.



الشكل يوضح مسار جسيم مشحون في مجال مغناطيسيB منتظم من الرسم يتبين انه عندما تكون سرعة الجسيم $\vec{V}$ عمودية على المجال المغناطيسي

المنتظم فان الجسيم يتحرك في مسار دائري في مستوى عمودي علىB

هكذا فان الجسيم يتحرك بتأثير قوة ثابتة المقدار مقدارها qvB وتتجه دائما في الاتجاه العمودي على $\vec{V}$. ولذا فان مسار هذا الجسيم يكون على شكل دائرة نصف قطرها r كما في الشكل اعلاه (اذا كان الجسيم موجب+ q) فان اتجاه الدوران يكون باتجاه معاكس لعقارب الساعة كما في الحالة اعلاه وفي حالة الشحنة السالبة- q) فان الدوران سيكون باتجاه عقارب الساعة(. ونتيجة لهذه

الحركة الدورانية تخضع الشحنة q لقوتين متعاكستين احدهما القوة المغناطيسية F_B متجهه الى مركز الدوران، والاخرى قوة طرد مركزية F مقدارها حسب قانون نيوتن الثاني:

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} \qquad (2)$$

وتبقى الشحنة متحركة في مسارها الدائري اذا تساوت F_B و F ولذلك يُحصل من المعادلتين اعلاه على

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \qquad (3)$$

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

وهذا يعني ان نصف قطر المسار الذي يسلكه الجسيم المشحون في مجال مغناطيسي يتناسب طرديا مع كتلة وسرعة الجسيم وعكسيا مع الشحنة وقيمة المجال المغناطيسي.

اما السرعة الزاوية(speed Angular) للجسيم فتعطى كالتي:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} \qquad (4)$$

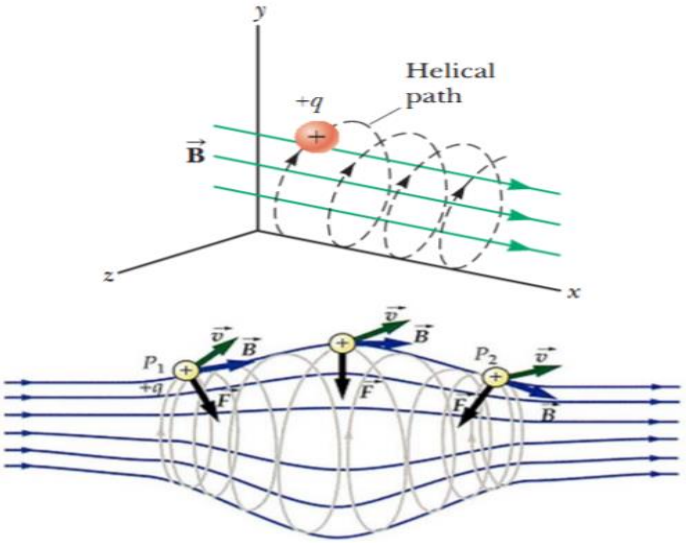
حيث m كتلة الجسيم و ω سرعته الزاوية، في بعض الاحيان تسمى السرعة الزاوية بتردد السيكلوترون (frequency Cyclotron)لان الجسيم المشحون يدور عند هذا التردد الزاوي بتأثير نوع من المعجلات يسمى بالسيكلوترون .وبمعرفة السرعة الزاوية يمكن حساب تردد الجسيمf

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m} \qquad (5)$$

ومن المعادلتين الاخيره نستنتج ان السرعة الزاوية والتردد للجسيم ال يعتمدان على السرعة أو نصف القطر

اما اذا كان اتجاه السرعه غير متعامد على اتجاه المجالBيصنع زاوية Φ فهذا سيؤدي الى دوران الشحنة في مسار حلزوني(path Helical محوره متفق مع اتجاه المجال، كما في الشكل ادناه وفيه يكون اتجاه المجالBباتجاه الاحداثي x حيث لا توجد مركبة للقوه، ولهذا لاتوجد مركبة للتعجيل موازية للمجال B ومركبة السرعة الموازية للمجال تبقى ثابتة، وفي كل الاحوال تبقى القوة المغناطيسية المؤثرة على الجسيم عمودية على اتجاه المجال ويكون نصف قطر مقطع الحلزون:

$$r = \frac{mv}{qB} sin\Phi \qquad (6)$$



الشكل يوضح جسيم مشحون يمتلك متجه سرعة لها مركبة موازية للمجال المغناطيسي المنتظم وتتحرك في مسار حلزوني

تطبيقات على حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي Application of the motion of charged particle in magnetic field

هنالك عدة تطبيقات عملية تتضمن حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي العديد من هذه التطبيقات العلمية تعتمد على التأثير الفيزيائي للمجالين الكهربائي والمغناطيسي على الاجسام المشحونة حيث انه عند تعريض جسيم مشحون لكال المجالين فإن هذا الجسم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربائية $q\vec{E}$ والمغناطيسية $qv \times B$ ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز Force Lorentz (،)التي تعطى كالتالي:

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

يعتبر السيكلوترون من الوسائل المستخدمة في تعجيل الجسيمات المشحونة إلى سرعات عالية جدا وبالتالي طاقة عالية يستفاد منها في قذف الذرة لاجرا تفاعلات نووية صناعية و يستخدم هذا الجهاز كلا من المجالين الكهربائي والمغناطيسي لهذا الغرض .ً

يبين الشكل ادناه رسما تخطيطيا لهذا الجهاز تظهر فيه الاجزاء الاساسية للسايكلوترون حيثً يتكون قلب الجهاز من زوج من الحجر المعدنية D1و D2 المفرغة، تفصلهما فسحة مفرغة من الهواء أيضا. ويسلط على الحجرتين وبشكل عمودي مجال مغناطيسي منتظم ينتج عن قطبين مغناطيسيين. ترتبط الحجرتان إلى مصدر فرق جهد متناوب عالي التردد وبهذا تحصل الحجرتان D1و D2 على شحنات سالبة وموجبة بشكل متناوب. تنبعث الجسيمات المشحونة)البروتونات(من المصدر P الكائن في مركز الفسحة بين الحجرتين.

فإذا فرضنا أن هذه الجسيمات انبعثت من مصدرها في الوقت الذي كانت فيه الحجرة D1 موجبة الشحنة، عندئذ فان كل جسيم سوف يتعجل عبر الفسحة بين الحجرتين بواسطة قوة كهربائية تؤثر عليه بسبب المجال الكهربائي المتولد في الفسحة بين قطبي مصدر الفولتية المتناوبة داخل الحجره D2سالبة الشحنة بسرعة معينة، وبما أن المجال المغناطيسي المسلط على الجهاز هو بمستوى سطح الحجرة ، لذا فان دخول الجسيم إلى D2 سيكون عموديا على اتجاه المجال المغناطيسي، وستؤثر عليه قوة مغناطيسية تجعله ينجر في دائرة ويخرج من الغرفةD2 في نفس اللحظة تماما التي تنعكس فيها الفولتية فينجذب الى الغرفةD1 دائرة ويخرم من الغرفة D2 إ بسرعة اكبر ويدور في دائرة اكبر. وهكذا تتكرر هذه العملية عدة مرات وفي كل مره يُعجل الجسيم المشحون إلى سرعات اكبر فاكبر وكذلك نصف قطر دائرة دورانه. وفي النهاية تُحرف الجسيمات عن محيط السيكلوترون بواسطة مجال مغناطيسي اخر لتخرج ح على هيئة حزمة ذات طاقة عالية نحو الخارج من خلال المنفذ بهدف استعمالها في قصف هدف محدد، ومن المعادلة (3) نجد ان :

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

وبما أن أقصى مسار دائري يمكن أن تسلكه الجسيمات المشحونة يعادل نصف قطر السيكلوترون R لذا فان أقصى سرعة يمكن الحصول عليها للجسيمات هي:

$$v_{max} = \frac{qBR}{m}$$

حيث R في هذه الحالة تساوي نصف قطرD1 ،ولكن أقصى طاقة حركية للايون تعطى بالعلاقة:

$$E_K = \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

بالتعويض من المعادلة عن قيمة V_{max} ينتج ان أقصى طاقة حركية تكتسبها هذه الجسيمات هي:

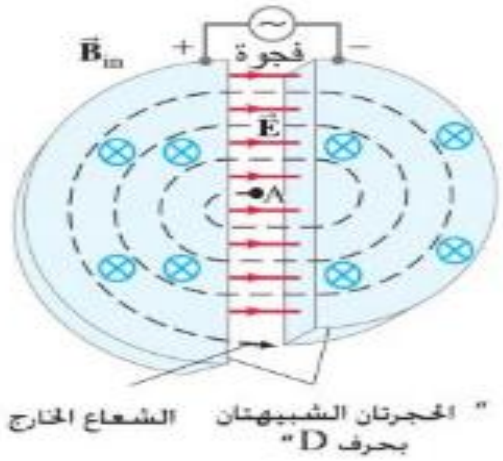
$$E_K = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$$

ولكن هذه الطاقة الحركية يمكن معادلتها بالطاقة المكتسبة للايون الموجب نتيجة لعملية التعجيل:

$$E_K = qV$$

حيث ان V تمثل فرج الجهد المتناوب .

$$V = \frac{1}{2}\frac{q}{m}B^2R^2$$



الشكل يوضح مخطط السايكترون ، يوثر مجال مغناطيسي داخل الصفحة بواسطة مجال مغناطيسي كبير ، تبدا البروتونات من النقطه A حيث مصدر الايونات وان خطوط المجال الموضحة في الشكل هي خطوط لمجال كهربائي متردد داخل الفجوة عند لحظة معينه