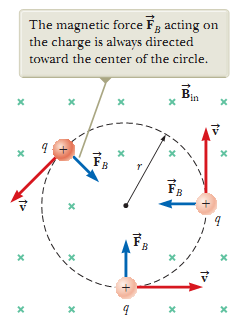
**1-5 حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي**

***Motion of a charged particle in a magnetic field***

اذا وضع جسيم مشحون بشحنة موجبة (*+q*) في مجال مغناطيسي **منتظم** وكانت سرعته في اتجاه **عمودي** على المجال، فانه سيتأثر بقوة مقدارها:

**(21)**

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 (14): مسار جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم ، من الرسم يتبين انه عندما تكون سرعة الجسيم عمودية على المجال المغناطيسي المنتظم فان الجسيم يتحرك في مسار دائري في مستوى عمودي على [3].**

وهكذا فان الجسيم يتحرك بتأثير قوة ثابتة المقدار مقدارها *qvB* وتتجه دائما في الاتجاه العمودي على . ولذا فان مسار هذا الجسيم يكون على شكل دائرة نصف قطرها *r* كما في الشكل 14 ( 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 متجهه الى مركز الدوران، والاخرى قوة طرد مركزية F مقدارها حسب قانون نيوتن الثاني:

**(22)**

وتبقى الشحنة متحركة في مسارها الدائري اذا تساوت و F ولذلك يُحصل من المعادلتين 21 و 22 على :

**(23)**

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 Angular speed)) للجسيم فتعطى كالاتي:

**(24)**

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

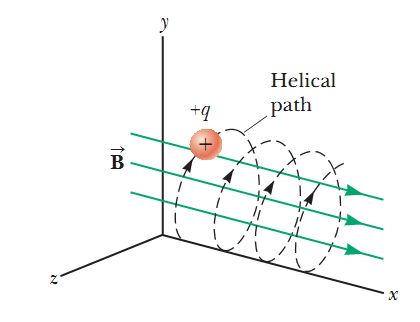
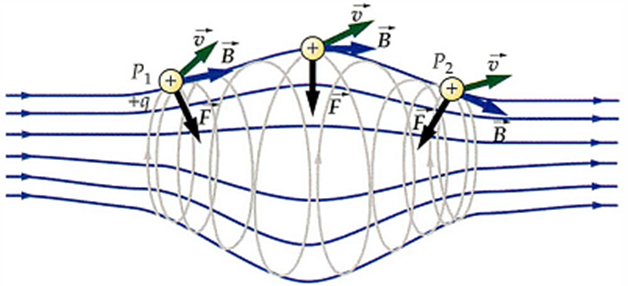
وبمعرفة السرعة الزاوية يمكن حساب تردد الجسيم  *f*:

**(25)**

ومن المعادلتين 24 و25 نستنتج ان السرعة الزاوية والتردد للجسيم لا يعتمدان على السرعة أو نصف القطر.

اما اذا كان اتجاه السرعه غير متعامد على اتجاه المجال (يصنع زاوية *Φ*) فهذا سيؤدي الى دوران الشحنة في مسار حلزوني (Helical path) محوره متفق مع اتجاه المجال، كما في الشكل 15 وفيه يكون اتجاه المجال باتجاه الاحداثي x حيث لا توجد مركبة للقوه، ولهذا لا توجد مركبة للتعجيل موازية للمجال ومركبة السرعة الموازية للمجال تبقى ثابتة، وفي كل الاحوال تبقى القوة المغناطيسية المؤثرة على الجسيم عمودية على اتجاه المجال ويكون نصف قطر مقطع الحلزون:

**(26)**

****

**الشكل (15): جسيم مشحون يمتلك متجه سرعة لها مركبة موازية للمجال المغناطيسي المنتظم وتتحرك في مسار حلزوني [3، 4 على التوالي].**

**1-6 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 لكلا المجالين فإن هذا الجسم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربائية والمغناطيسية ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز ( (Lorentz Force ، التي تعطى كالتالي:

وسنتعرض في هذه الفقرة إلى دراسة عدد من هذه التطبيقات وهي:

**1-6-1 السيكلوترون Cyclotron**

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

يبين الشكل 16 رسماً تخطيطياً لهذا الجهاز تظهر فيه الأجزاء الأساسية للسيكلوترون حيث يتكون قلب الجهاز من زوج من الحِجَرْ المعدنية D1 و D2 المفرغة، تفصلهما فسحة مفرغة من الهواء أيضا. ويسلط على الحجرتين وبشكل عمودي مجال مغناطيسي منتظم ينتج عن قطبين مغناطيسيين. تربط الحجرتان إلى مصدر فرق جهد متناوب عالي التردد وبهذا تحصل الحجرتان D1 و 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، داخلاً الحجرة D2 سالبة الشحنة بسرعة معينة، وبما أن المجال المغناطيسي المسلط على الجهاز هو بمستوى سطح الحجرتين، لذا فان دخول الجسيم إلى D2­ سيكون عمودياً على اتجاه المجال المغناطيسي، وستؤثر عليه قوة مغناطيسية تجعله ينجر في دائرة ويخرج من الغرفة D2 في نفس اللحظة تماماً التي تنعكس فيها الفولتية فينجذب إلى الغرفة D1 بسرعة اكبر ويدور في دائرة اكبر. وهكذا تتكرر هذه العملية عدة مرات وفي كل مرّة يُعجَّل الجسيم المشحون إلى سرعات اكبر فاكبر وكذلك نصف قطر دائرة دورانه. وفي النهاية تُحرَفْ الجسيمات عن محيط السيكلوترون بواسطة مجال مغناطيسي آخر لتخرج على هيئة حزمة ذات طاقة عالية نحو الخارج من خلال المنفذ بهدف استعمالها في قصف هدف محدد، ومن المعادلة (23) نجد:

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

حيث *R* في هذه الحالة تساوي نصف قطر D1، ولكن أقصى طاقة حركية للأيون تعطى بالعلاقة:

**(27)**

وبالتعويض من المعادلة 27 عن ينتج ان أقصى طاقة حركية تكتسبها هذه الجسيمات هي:

**(28)**

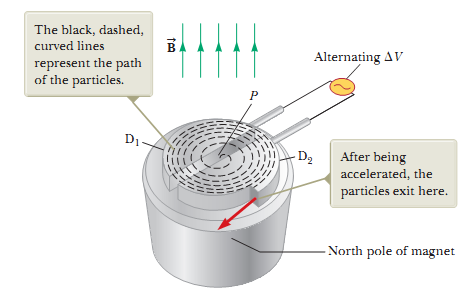
ولكن هذه الطاقة الحركية يمكن معادلتها بالطاقة المكتسبة للأيون الموجب نتيجة لعملية التعجيل:

*=qV*

لذلك

**(29)**

حيث ان Vتمثل فرق الجهد المتناوب.



**الشكل (16): يبين رسماً تخطيطياً للأجزاء الأساسية للسيكلوترون [3].**

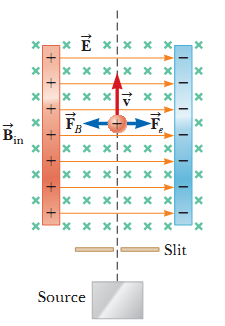
**1-6-2 مرشح السرعة Velocity Selector**

يستخدم مرشح السرعة في 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.

يتكون جهاز مرشح السرعة من مصدر((Source للجسيمات المشحونة تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدد حزمة من هذه الجسيمات لتمر في منطقة مجال كهربائي متعامد مع مجال مغناطيسي كما في الشكل 17. تتأثر الجسيمات المشحونة بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي بحيث يكون اتجاه القوة الكهربائية لليمين واتجاه القوة المغناطيسية لليسار. فان كانت الشحنة موجبة تولدت عليها قوة كهربائية مقدارها *qE* باتجاه المجال الكهربائي وقوة مغناطيسية مقدارها *qvB* بعكس اتجاه المجال الكهربائي فان لم تكن القوتان متساويتين بالمقدار فسيكتسب الجسيم تعجيلا باتجاه المحصلة وبذلك سيتغير اتجاه حركته، اما اذا كانت القوتان متساويتين فإن المحصلة تساوي صفرا وسيبقى الجسيم متحركا بخط مستقيم وبنفس السرعة التي دخل فيهما المجالين. ان بقاء الجسيم متحركا بسرعته المنتظمة التي دخل بها المجالين دليل على تساوي القوتين الكهربائية والمغناطيسية المؤثرتين عليه، اي ان *qE* = *qvB* او بعباره اخرى :

**(30)**

ومن هذه المعادلة نستطيع قياس سرعة الجسيم المشحون بمجرد معرفتنا للمقدارين *B و E*.



**الشكل (17): مرشح السرعة [3].**