جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الأنبار
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

محاضرات المغناطيسية

(MAGNETISM)

Dr. Jamal

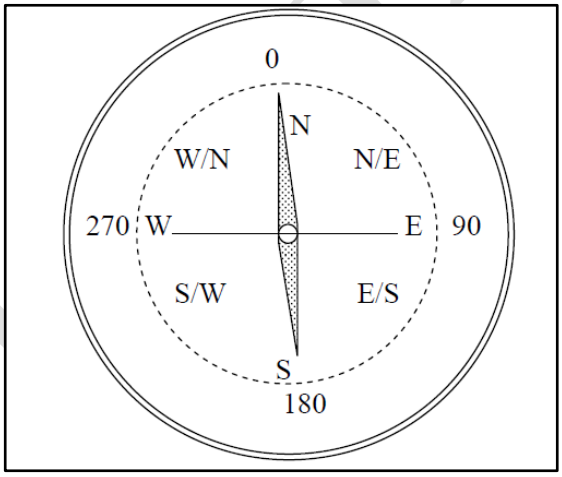
الدكتور جمال فاضل محمد

2019-2020

المجال المغناطيسي The Magnetic Field

(1-1) المغناطيسية Magnetism

منذ زمن الإغريق أي قبل أكثر من ألفي عام اكتشف في منطقة مغنيسيا بوسط آسيا الصغرى أحجار طبيعية سوداء وهي قطع من الصخور الحاملة للحديد لها القابلية والمقدرة على جذب بعض المعادن كقطع الحديد الصغيرة والقريبة منها، أطلق على هذه الأحجار اسم الأحجار المغناطيسية نسبة إلى اسم منطقة اكتشافها . وفي أواخر القرن الثاني عشر للميلاد عرِف لهذه الأحجار خاصية أخرى وهي أن الحجر المعلق من وسطه يميل عندما يترك حر الحركة بحيث أن طرفيه يشيران إلى اتجاهي كل من الشمال والجنوب الجغرافيين، وإذا غير اتجاه هذا الحجر المعلق فانه يتحرك تلقائياً ليعود إلى وضعه الأول. وقد أمكن نقل الخواص التي تتميز بها تلك الأحجار إلى قطع من الحديد غير الممغنط وذلك بدلك قضيب من الحديد المطاوع بقطعة من هذه الأحجار لبعض الوقت في اتجاه واحد، فتنتقل بذلك بعض من القوى المغناطيسية الموجودة بالحجر المغناطيسي إلى قضيب الحديد ويتحول بذلك إلى قضيب مغناطيسي .وقد استعملت مثل هذه القضبان أو الإبر الحديدية المصنعة هذه الطريقة في تحديد اتجاهي الشمال والجنوب المغناطيسيين، وقد تطورت مثل هذه البو صلة البدائية حتى وصلت إلى شكلها الحالي المتطور كما الشكل (١-١).



شكل (١-١): البوصلة المغناطيسية

البوصلة المغناطيسية عبارة عن إبرة مغناطيسية رقيقة ترتكز عل محور من منتصفها ويحيط بهذه الإبرة تدريج دائري لتقدير الانحراف بالدرجات بالنسبة لاتجاهي الشمال والجنوب الجغرافيين حيث أن الإبرة المغناطيسية لا تشير تماماً إلى اتجاهي الشمال والجنوب الجغرافيين ولكنها تنحرف قليلاً عن هذا الاتجاه ، ويطلق على الاتجاه الذي تشير إليه الإبرة المغناطيسية باتجاه الشمال والجنوب المغناطيسي.

في عام 1820 اكتشف الدانماركي اورستيد ان التيارات الكهربائية تولد مجالات مغناطيسية .فقد تحقق ذلك عندما كان يجري تجاربه الكهربائية ، وكان بجوار السلك الذي يمرر فيه تيار كهربائي

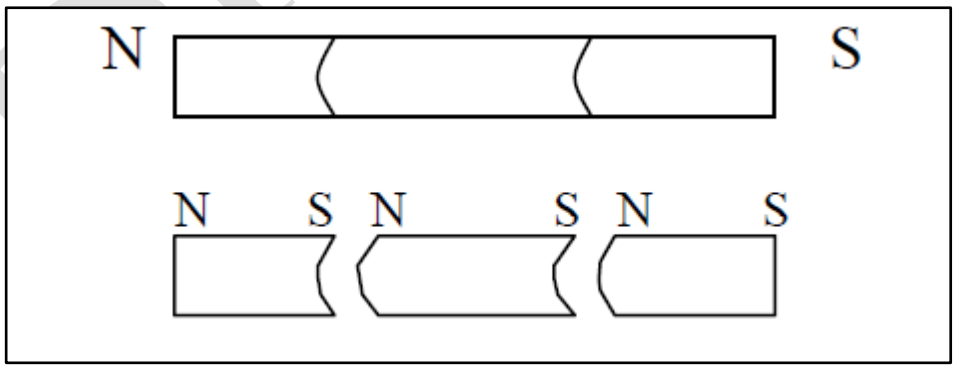
إبرة مغناطيسية تدور حرة الحركة، فلاحظ عند غلق الدائرة الكهربائية ومرور التيار في السلك انحراف الإبرة في اتجاه وعندما غير من وضع السلك بحيث أصبح أسفل الإبرة لاحظ انحراف الإبرة بعكس الاتجاه الأول وقد عّللَ السبب في ذلك إلى أن مرور التيار في السلك يتسبب في نشوء مجال مغناطيسي في المنطقة المحيطة بهِ تلا ذلك سلسلة من الاكتشافات

قام بها علماء كثيرون تتعلق بالمغناطيسية وعلاقتها بالتيارات والمجالات الكهربائية، أمثال الأمريكي جوزيف هنري والدانماركي مايكل فاراداي حيث بينت أعمالهما ، أن التيار الكهربائي يمكن توليده بواسطة مغانط متحركة.

(2-1) الأقطاب المغناطيسية والقوى المغناطيسية

Magnetic Poles and Magnetic Forces

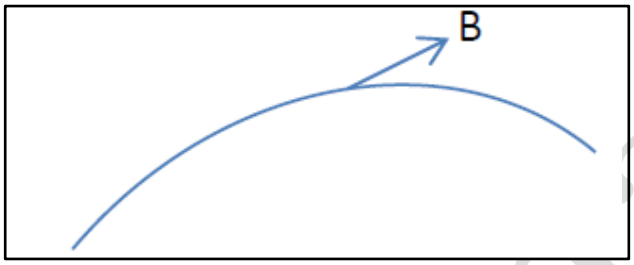
عند تعليق قضيباً مغناطيسياً تعليقاً حراً من وسطه، فان أحدى نهايتيه تتجه نحو الشمال الجغرافي والأخرى نحو الجنوب الجغرافي وعليه سميت النهاية الأولى للمغناطيس الباحثة عن الشمال على الكرة الأرضية بالقطب الشمالي للمغناطيس والنهاية الثانية الباحثة عن الجنوب على الكرة الأرضية بالقطب الجنوبي للمغناطيس .ولقد أوضحت الاختبارات العلمية أن أقطاب المغناطيس لا يمكن فصلها عن بعضها البعض .فمن المعروف عند كسر قضيب مغناطيسي وفصله إلى أجزاء فان كل واحدة منها تصبح قضيباً مغناطيسياً متكاملاً جديداً له قطب شمالي وآخر جنوبيكما في الشكل (١-٢). وهذا يعني إن الاستمرار في تقطيع المغناطيس إلى أجزاء اصغر فأصغر ستتوصل في الأخير إلى أن الذرة، ما هي سوى قطب مغناطيسي متناهٍ في الصغر من المغناطيس الأصلي. أن القوة المغناطيسية بين قطبين مغناطي سيين هي ذلك التأثير المتبادل بين القطبين سواء بالتنافر إذا تشابه القطبان أو بالتجاذب إذا اختلفا وتقدر هذه القوة غير المرئية بوحدة يطلق عليها النيوتن حسب نظام الوحداتSI وفي نظام cgs للوحدات هناك وحدة اصغر هي الداين.



شكل (١-٢) الاقطاب المغناطيسية.

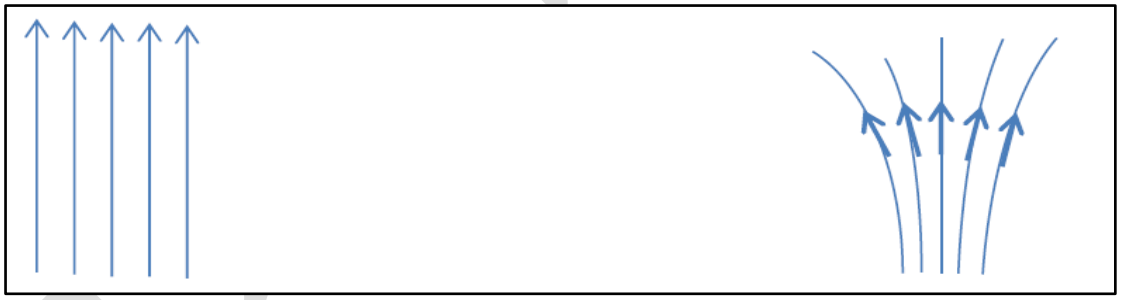
(3-1) المجال المغناطيسي Magnetic Field

المجال المغناطيسي هو منطقة تظهر فيها اثار القوة المغناطيسية بحيث لو وضعنا بوصلة بالقرب من مغناطيس لغيرت اتجاهها ، وكذلك تتأثر البوصلة وتغير اتجاهها اذا ما وضعناها بالقرب من سلك موصل يسري فيه تيار كهربائي بسبب المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار الكهربائي، للمجال المغناطيسي صفات وخصائص كما للمجال الكهربائي فهو مقدار اتجاهي يمثل بخطوط وهمية يطلق عليها خطوط الحث المغناطيسي. ترسم خطوط الحث المغناطيسي بشكل بحيث يكون اتجاه المجال المغناطيسي هو اتجاه المماس في تلك النقطة كما في الشكل التالي.



شكل (١-٣) اتجاه المجال المغناطيسي.

ترسم خطوط المجال المغناطيسي بشكل بحيث تعطي للقارئ فكرة عن طبيعة المجال ، فان كان المجال منتظما رسمت خطوط الحث متوازية والمسافات بينها متساوية واذا رسمت الخطوط وكانت كثافتها في منطقة ما اكبر منها في منطقة اخرى دل ذلك على ان شدة المجال في المنطقة الاولى اكبر من شدته في المنطقة الثانية . الحظ الشكل التالي.



شكل (١-٤): شدة المجال (على اليمين الشدة غير منتظمة وعلى اليسار الشدة منتظمة).

اذا كان المجال مسلطا بصورة عمودية على الصفحة ومتجها نحو القارئ يمثل على شكل نقاط اما اذا كان مبتعدا عن القارئ فيمثل بعلامة x وكما في الشكل (١-٥):

الشكل (١-٥): تمثيل المجال المغناطيسي.

يطلق على خط الحث المغناطيسي اسم ويبر Weber ويرمز له W والحث المغناطيسي في نقطة ما هو عدد خطوط الحث المغناطيسي المارة بصورة عمودية في وحدة المساحة بالمتر المربع (m^2) ويرمز له بالرمز(B) او المجال المغناطيسي وهو مقدار اتجاهي واتجاهه هو اتجاه المماس في تلك النقطة .اما وحدات المجال المغناطيسي فهي (W/m^2) ويطلق على هذه الوحدة اسم تسلا Tesla (T)وهناك وحدة اخرى هي الكاوس (G) والعلاقة بين التسلا و الكاوس هي

(1 T= 10 gauss)

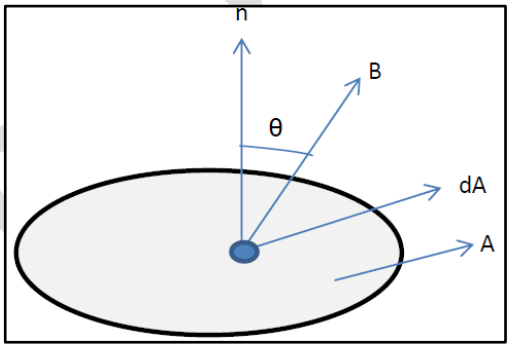
(4-1) الفيض المغناطيسي Magnetic Flux

الفيض المغناطيسي خلال سطح هو عدد خطوط الحث المغناطيسي المخترقة بصورة عمودية للسطح ويرمز له بالرمز ϕ ويعبر عنه بالعالقة التالية:

$$\phi = \int \bar{B}.d\bar{A} = \int BdA\cos\theta$$

تمثل θ الزاوية المحصورة بين اتجاه المجال المغناطيسي B واتجاه السطح dA وان اتجاه السطح هو اتجاه العمود المقام على السطح نحو الخارج ويرمز له بالرمز(n) فاذا كان المجال منتظما وكانت الزاوية θ متساوية المقدار لجميع اجزاء السطح عند ذلك تصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$\phi = B\,A\cos\theta$$



شكل (١-٦) اتجاه المجال المغناطيسي

مثال/ مجال مغناطيسي منتظم فيه B=1.2 T جد الفيض المغناطيسي المخترق لسطح مستوي مساحته 2 m^2:

١- عندما يوضع السطح بصورة عمودية على اتجاه المجال.

٢- اذا كان اتجاه السطح يصنع زاوية مقدارها 30^o مع اتجاه المجال.

٣- عندما يوضع السطح بصورة موازية للمجال.

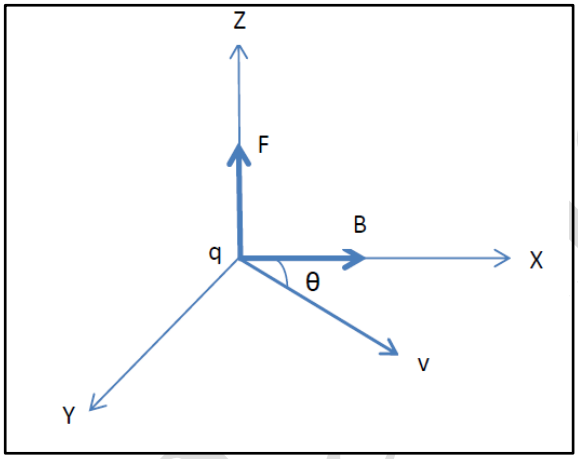
(5-1) القوة على شحنة كهربائية متحركة في مجال مغناطيسي

وجد ان القوة المؤثرة على شحنة كهربائية متحركة في مجال مغناطيسي هي:

$$\bar{F} = q(\bar{v} \times \bar{B})$$

$$\bar{F} = qvB\ sin\theta$$

العلاقة الاخيرة تفيد ان القوة F تكون عمودية على كل من المتجهين B, v ي انها عمودية على المستوي الذي يحوي المتجهين B, v والزاوية θ هي الزاوية المحصورة بين اتجاه حركة الشحنة v واتجاه المجال المغناطيسي B كما في الشكل (١-٧):



شكل (١-٧) العلاقة بين F, B, v

(H. W.) : مجال مغناطيسي منتظم فيه B= 0.12 T باتجاه الشرق ، قذف في المجال بروتون بسرعة مقدارها 5×10^5 m/sec. ، جد مقدار القوة المسلطة على البروتون اذا كان قد قذف:

١- باتجاه الجنوب. ٢ - باتجاه الشمال . ٣ - باتجاه الغرب . ٤ - باتجاه الشرق . ٥- بمستوى افقي وباتجاه 60^o جنوب الشرق ٦- بمستوى شاقولي الى الاعلى وباتجاه يصنع زاوية مقدارها 60^o مع الشاقول نحو الشرق.

Dr. Jaafal

(6-1) حركة جسيم مشحون بالكهربائية في مجال مغناطيسي

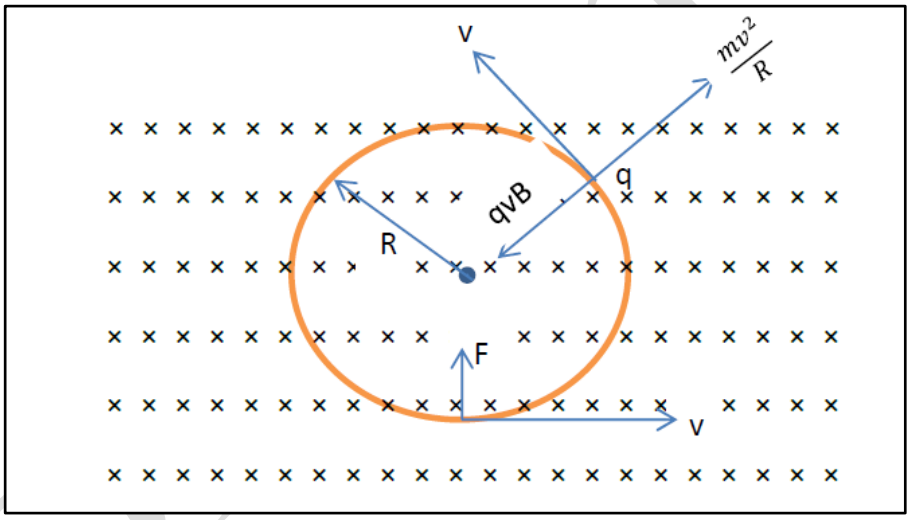
Motion of a charged particle in a magnetic field

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

$$F_M = q\, v\, B \sin\theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

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 (١-٨) يمثل مسار جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم B ، من الرسم يتبين انه عندما تكون سرعة الجسيم v عمودية على المجال المغناطيسي المنتظم فان الجسيم يتحرك في مسار دائري في مستوى عمودي على B



الشكل (١-٨) يمثل مسار جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم B

وهكذا فان الجسيم يتحرك بتأثير قوة ثابتة المقدار مقدارها qvB وتتجه دائما في الاتجاه العمودي على v ولذا فان مسار هذا الجسيم يكون على شكل دائرة نصف قطرها r كما في الشكل (١-٨).

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_M متجهه الى مركز الدوران، والاخرى القوة المركزية مقدارها حسب قانون نيوتن الثاني:

$$F = ma = mv^2/R \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

R- نصف قطر الدوران، وتبقى الشحنة متحركة في مسارها الدائري اذا تساوت القوة المغناطيسية مع القوة المركزية، اي ان:

$$q\,v\,B = mv^2/R \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

ومن هذه المعادلة نستطيع حساب نصف قطر الدوران R ، اي ان:

$$R = \frac{mv}{qB} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

وهذا يعني ان نصف قطر المسار الذي يسلكه الجسيم المشحون في مجال مغناطيسي يتناسب طرديا مع كتلة (m) وسرعة الجسيم (v) وعكسيا مع الشحنة (q) وقيمة المجال المغناطيسي (B). من المعلوم ان السرعة الزاوية تعطى بالعلاقة التالية:

$$\omega = \frac{v}{R} \qquad \ldots\ldots\ldots(5)$$

باستخدام معادلة (٤) نجد ان:

$$\omega = \frac{q\,B}{m}$$

في بعض الاحيان تسمى السرعة الزاوية بتردد السياكلوترون (Cyclotron frequency) لان الجسيم المشحون يدور عند هذا التردد الزاوي بتأثير نوع من المعجلات يسمى بالسياكلوترون. وبذلك نستطيع حساب التردد f من العلاقة التالية:

$$f = \frac{q\,B}{2\pi m} \qquad \ldots\ldots\ldots(6)$$

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

اما اذا كان اتجاه السرعة غير متعامد على اتجاه المجال B (يصنع زاوية) فهذا سيؤدي الى دوران الشحنة في مسار حلزوني (Helical path) محوره متفق مع اتجاه المجال

مثال :تحرك الكترون من السكون خلال فرق جهد كهربائي مقداره 16×10^3 V ثم دخل بصورة عمودية على اتجاه مجال مغناطيسي منتظم واخذ يدور بمحيط دائرة نصف قطرها 20 cm، جد مقدار الحث المغناطيسي وتردد الالكترون؟

الحل:

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

$$\therefore B = \frac{mv}{qR}$$

ان v غير معلومة لذا يجب ايجادها من معادلة الطاقة الحركية:

$$\frac{1}{2}mv^2 = e(\Delta v)$$

$$\therefore v^2 = \frac{2e(\Delta v)}{m} = \frac{2 * 1.6 * 10^{-19} * 16000}{9.1 * 10^{-31}} = 5.62 * 10^{15} = 0.562 * 10^{16}$$

$$\therefore v = \sqrt{0.562 * 10^{16}} = 0.74 * 10^{8} m/sec$$

$$\therefore B = \frac{9.1 \times 10^{-31} * 0.74 * 10^{8}}{0.2 * 1.6 * 10^{-19} *} = 2.13 * 10^{-3} T = 2.13 mT$$

ولإيجاد تردد البروتون:

$$f = \frac{q\,B}{2\pi m}$$

وبالتعويض نجد ان:

$$\therefore f = 59.7 \times 10^{6}\ \text{Hz}$$

$$f = 59.7\ \text{MHz}$$

H. W.

س١/ إلى أي اتجاه يشير الإبهام عند استخدام قاعدة اليد اليمنى لإلكترون يتحرك عموديا على مجال مغناطيسي؟

س٢/ يتحرك عموديا على مجال مغناطيسي على مجال مغناطيسي شدته 0.5 T بسرعة 4×10^{6} m/sec. ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون؟

س٣/ تتحرك حزمة من الجسيمات الثنائية التأين (فقد كل جسيم إلكترونين، لذا أصبح كل جسيم يحمل شحنتين أساسيتين) بسرعة 3×10^{4} m/sec. عموديا على مجال مغناطيسي شدته 0.09 T ما مقدار القوة المؤثرة في كل أيون؟

س٤/ دخلت حزمة من الجسيمات الثلاثية التأين (يحمل كل منها ثلاث شحنات أساسية موجبة) عموديا على مجال مغناطيسي شدته 0.4×10^{-2} T بسرعة 9×10^{6} m/sec. احسب مقدار القوة المؤثرة في كل أيون؟

س٥/ تتحرك ذرات هليوم ثنائية التأين (جسيمات ألفا) بسرعة 4×10^{4} m/sec. عموديا على مجال مغناطيسي

Dr. Jamia

مقداره 5×10^{-2} T ما مقدار القوة المؤثرة في كل جسيم؟

(7-1) حركة جسيم مشحون في مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين

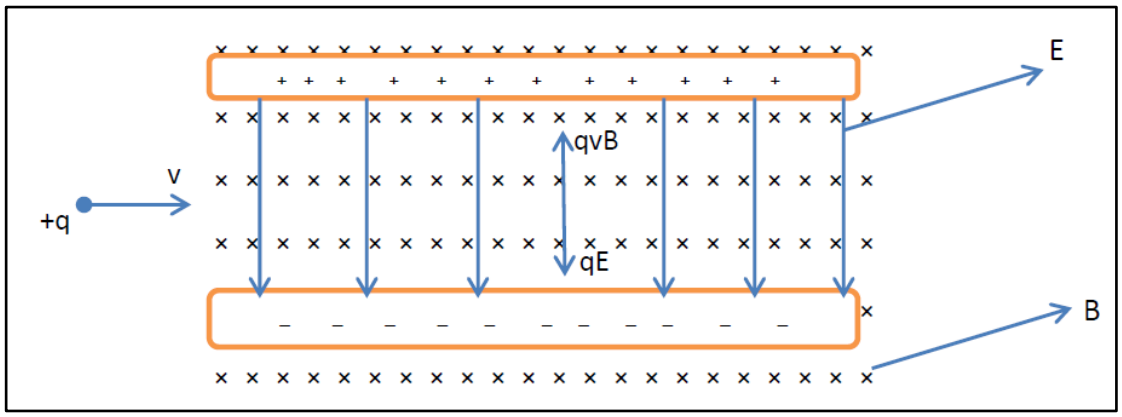
عند حركة جسم مشحون خلال منطقة فيها مجالان كهربائي ومغناطيسي فانه سيتأثر بكل من المجالين أي ستظهر عليه قوة كهربائية وقوة مغناطيسية في ان واحد .القوة المسلطة من المجال الكهربائي هي:

$$F_E = q\,E$$

اما القوة المسلطة من المجال المغناطيسي فهي:

$$F_M = q\,v\,B\sin\theta = q\,v\,B$$

لنفرض ان المجالين المتعامدين يؤثران بالاتجاهين المبينين في الشكل التالي وان جسما مشحونا بشحنة مقدارها q قذف في مستوى الصفحة بسرعة مقدارها v بالاتجاه المبين. فاذا كانت الشحنة موجبة تولدت عليها قوة كهربائية مقدارها qE باتجاه المجال E وقوة مغناطيسية مقدارها qvB بعكس اتجاه المجال E فاذا كانت القوتان متساويتين بالمقدار(محصلتهما صفرا) فان الجسم يبقى متحركا بخط مستقيم وبنفس السرعة ,اما اذا كانت القوتان غير متساويتين بالمقدار فسوف يكتسب الجسم تعجيلا باتجاه المحصلة وبذلك يتغير اتجاه حركته.



شكل (١-٩) حركة جسيم مشحون في مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين

وان بقاء الجسم متحركا بسرعته المنتظمة دليل على تساوي القوتين الكهربائية والمغناطيسية المؤثرتين عليه .أي ان:

$$F_E = F_M$$

Jamal

$$qE = qvB$$

$$E = vB$$

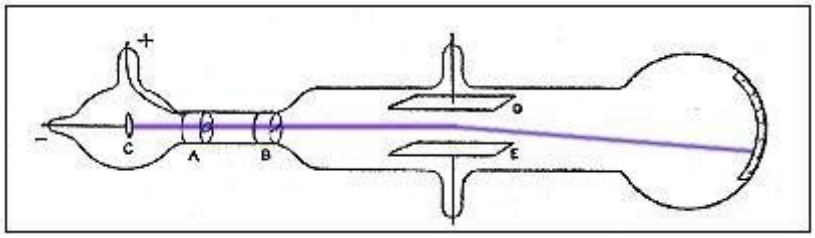
$$Or \quad v = \frac{E}{B}$$

ومن معرفة كل من E *و* B نستطيع ايجاد سرعة الجسيم المشحون v.

(8-1) تجربة ثومسن لقياس نسبة شحنة الالكترون الى كتلته

في العام ١٨٩٧ قام العالم J. J. Thomson في مختبر كافندش في كامبردج ببريطانيا بإجراء تجربة ناجحة تمكن فيها من قياس النسبة بين شحنة الإلكترون إلى كتلته، حيث اعتمد في ذلك على قياس انحراف الإلكترون في وسط فيه مجال كهربي ومجال مغناطيسي. اذا سلط فرق جهد كهربائي بين قطبين يمثلان طرفي انبوب زجاجي مفرغ من الهواء توهج احد طرفي الانبوب وذلك بسبب انطلاق الالكترونات من الكاثود الى الانود.

يوضح الشكل التالي الجهاز الذي استخدمه طومسون لتجربة تعين النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته وهي عبارة عن أنبوبة أشعة المهبط مفرغة من الهواء وفيها على اليسار فتيلة حرارية تسخن عندما يمر فيها التيار الكهربي فتنبعث منها الالكترونات التي يتم تسريعها بواسطة فرق جهد لنحصل على حزمة مركزة من الالكترونات تنطلق بسرعة إلى الجزء الأيمن من الأنبوبة. تدخل الالكترونات بعد ذلك في منطقة فيها مجال كهربي ومجال مغناطيسي ويكون اتجاه المجال الكهربي عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي حتى تكون القوة الكهربية مؤثرة على الالكترونات للأسفل بينما تكون القوة المغناطيسية مؤثرة على الالكترونات للأعلى. تذكر وإن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية باستخدام قاعدة اليد اليمنى كما ذكرنا سابقا.عندما لا يكون هناك مجال كهربي أو مجال مغناطيسي فان الالكترونات تنطلق في مسار مستقيم وتصطدم في نهاية أنبوبة الكاثود على لوحة عليها مادة فلوريسنت (مثل شاشة التلفاز) تتوهج عندما تصطدم بها الالكترونات فتعطي في هذه الحالة بقعة مضيئة في وسط اللوحة.



شكل (١-١٠) مخطط توضيحي لتجربة ثومسن

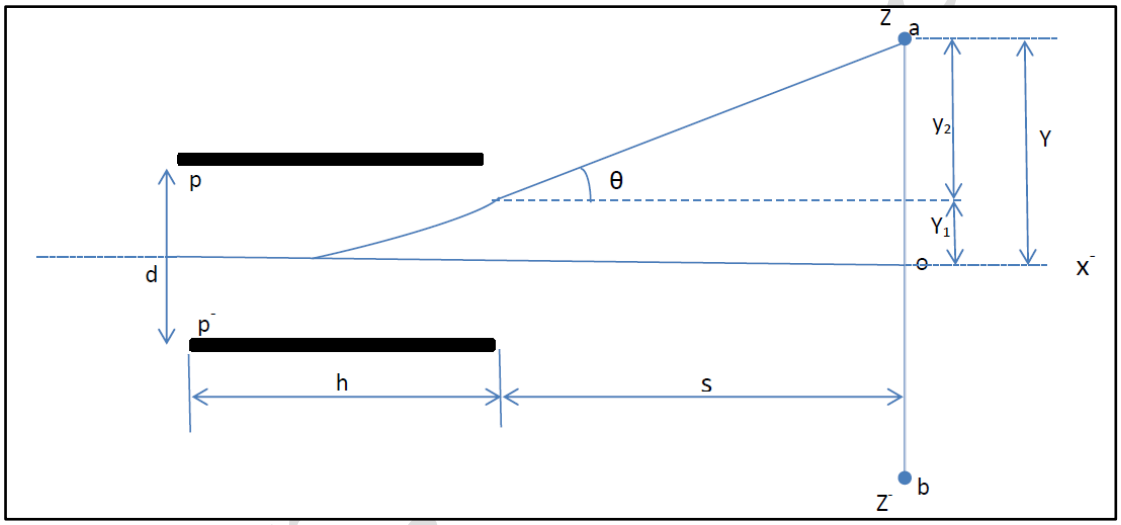
ولمزيد من التوضيح في الشكل (١-١١)، السطح zz' يتوهج عند سقوط شحنة عليه ، عند تسليط فرق بين D و C تظهر بقعة مضيئة في النقطة O في منتصف السطح zz' اما عند وضع لوحين pp' داخل الانبوب واللذان يربطان الى جهد كهربائي والذي يسبب نشوء مجال كهربائي فسوف

تظهر البقعة المضيئة في النقطة a من السطح zz وذلك لأنه ستتولد على كل شحنة من الشحنات المارة بين اللوحين قوة كهربائية بسبب المجال الكهربائي مقدارها eE باستقامة المجال نحو الاعلى , وعند تسليط مجال مغناطيسي بين اللوحين عمودي على المجال الكهربائي الناشئ بينهما , فستظهر البقعة المضيئة في النقطة b من السطح zz وذلك لأنه ستتولد على كل شحنة من الشحنات المارة بين اللوحين قوة مغناطيسية سببها المجال المغناطيسي عمودية على B اي تتجه نحو الاسفل. اذا ظهرت البقعة المضيئة في النقطة O مع وجود المجالين الكهربائي والمغناطيسي فهذا يعني ان القوة الكهربائية تساوي القوة المغناطيسية اي ان:

$$F_E = F_M$$

$$eE = evB$$

$$\text{Or} \quad v = \frac{E}{B}$$

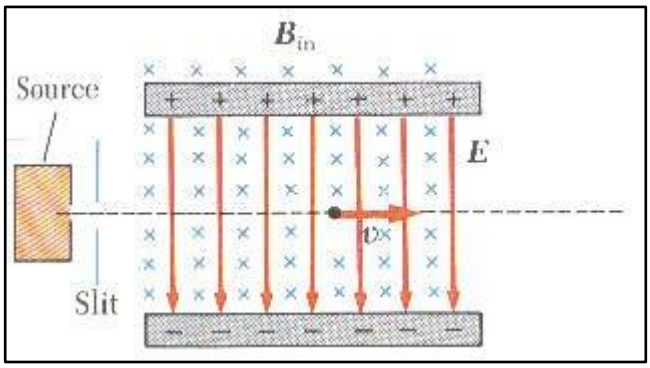


شكل (١-١١) مخطط توضيحي لتجربة ثومسن

لاحظ عندما يكون اللوح الأعلى موجب واللوح السفلي سالب فيكون المجال الكهربي منتظم من اللوح الموجب إلى اللوح السالب وهذا سيؤثر على الالكترونات بقوة كهربية للأعلى لان الالكترونات سالبة الشحنة فينحرف مسار حزمة الالكترونات للأعلى كما في الشكل.

س/ كيف تظهر البقعة المضيئة في النقطة O ؟

ج/ نقوم الآن بتشغيل المجال الكهربي والمجال المغناطيسي معا فتتعرض الالكترونات إلى قوة للأعلى وقوة للأسفل وبضبط قيمة المجال المغناطيسي يمكن أن نوازن القوتين معا لتكون محصلتهما تساوي صفر وهذه القيمة نحصل عليها عندما تعود حزمة الالكترونات إلى مسارها المستقيم ونستدل على ذلك من خلال البقة المضيئة في وسط لوحة الفلوريسنت.



شكل (١-١٢) تساوي القوتين الكهربائية والمغناطيسية

باستخدام قانون لوزنتز حيث إن القوة المغناطيسية تساوي القوة الكهربية إذا يكون لدينا

$$eE = ev B$$

وبالتعويض عن المجال الكهربي E بقيمة فرق الجهد V على المسافة d بين اللوحين نحصل على

$$ev B = \frac{eV}{d}$$

ومن معرفتنا للطاقة الحركية التي زودت بها الالكترونات عن طريق فرق جهد التعجيل من خلال المعادلة:

$$eV = \frac{1}{2} m v^2$$

بالتعويض عن فرق الجهد V في المعادلة السابقة نحصل على:

$$ev B = \frac{m v^2}{2d}$$

$$eB = \frac{m v}{2d}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{2Bd}$$

حيث إن e شحنة الإلكترون و m كتلته و v سرعة الالكترونات و B قيمة المجال المغناطيسي و d المسافة بين اللوحين المولدين للمجال الكهربي. تمكن طومسون أن يحسب قيمة النسبة بين شحنة الإلكترون إلى كتلته والتي تساوي 1.7×10^{-11} C/Kg

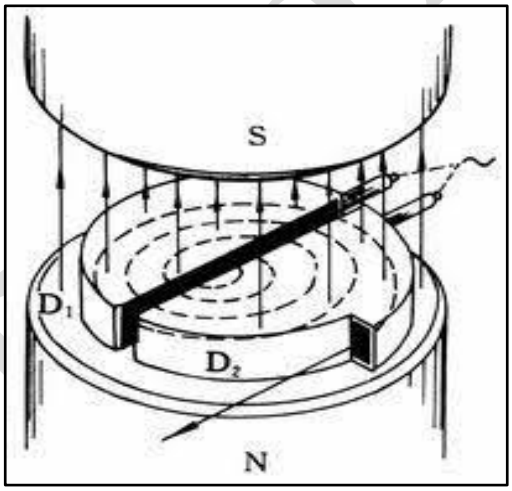
Dr. Jamal

(9-1) راسم طيف الكتلة لبانبريدج Bainbridge mass spectrograph

راسم الطيف للكتلة الذي صممه بانبريدج (Bainbridge) سنة ١٩٣٣ ، وهو من الامثلة التطبيقية على حركة الجسيمات المشحونة في المجالين الكهربائي والمغناطيسي ويستخدم للكشف عن نظائر العناصر المختلفة وقياس كتلها. (ويتجلى دوره في فرز أيونات لها نفس الشحنة الكهربائية وكتلها مختلفة باستعمال مجال كهربائي ومجال مغناطيسي، مما يمكن من قياس كتل أيونات لها نفس الشحنة).

(10-1) السايكلوترون Cyclotron

يعتبر السايكلوترون 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.



شكل (١-١٣) مخطط توضيحي لجهاز السايكلترون

بين الشكل (١-١٣) رسماً تخطيطياً لهذا الجهاز تظهر فيه الأجزاء الأساسية للسياكلوترون حيث يتكون قلب الجهاز من زوج من الحِجَرْ المعدنية D_1 و D_2 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 D_1و D_2 على شحنات سالبة وموجبة بشكل متناوب. تنبعث الجسيمات المشحونة (البروتونات) من المصدر S الكائن في مركز الفسحة بين الحجرتين. فإذا فرضنا أن هذه الجسيمات انبعثت من مصدرها في الوقت الذي كانت فيه الحجرة D_1 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 D_2 سالبة الشحنة بسرعة معينة، وبما أن المجال المغناطيسي المسلط على الجهاز هو بمستوى سطح الحجرتين، لذا فان دخول الجسيم إلى D_2 سيكون عمودياً على اتجاه المجال المغناطيسي، وستؤثر عليه قوة مغناطيسية تجعله يتحرك في دائرة ويخرج من الغرفة D_2 في نفس اللحظة تماماً التي تنعكس فيها الفولتية فينجذب إلى الغرفة D_1 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 يكبر. وفي النهاية تُحرَفْ الجسيمات عن محيط السياكلوترون بواسطة مجال مغناطيسي آخر لتخرج على هيئة حزمة ذات طاقة عالية نحو الخارج من خلال المنفذ بهدف استعمالها في قصف هدف محدد، ومن المعادلة التالية نجد ان:

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

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

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

حيث R في هذه الحالة تساوي نصف قطر D_1 ، ولكن أقصى طاقة حركية للأيون تعطى بالعلاقة:

$$\mathrm{K.E.} = \frac{1}{2}\, m v_{max}^2$$

وبالتعويض عن v_{max} من المعادلة السابقة نحصل على:

$$\mathrm{K.E.} = \frac{1}{2}\, \mathrm{m}\, \frac{\mathrm{q^2B^2R^2}}{\mathrm{m^2}}$$

$$\mathrm{K.E.} = \frac{1}{2}\, \frac{\mathrm{q^2B^2R^2}}{\mathrm{m}}$$

وان هذه الطاقة الحركية يمكن معادلتها بالطاقة المكتسبة للأيون الموجب نتيجة لعملية التعجيل، أي ان:

$$\mathrm{K.E.} = \mathrm{qV}$$

$$\mathrm{qV} = \frac{1}{2}\, \frac{\mathrm{q^2B^2R^2}}{\mathrm{m}}$$

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

Dr. Jamal

حيث ان V تمثل فرق الجهد المتناوب. ومن المعلوم ان السرعة الزاوية ترتبط مع التردد بالعلاقة التالية:

$$\omega = 2\pi f \ \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \ \rightarrow f = \frac{v}{2\pi R}$$

حيث ان $\omega = \frac{v}{R}$ وبالتعويض عن v_{max} نحصل على:

$$f = \frac{\mathrm{qBR}}{2\pi \mathrm{Rm}}$$

اي ان:

$$f = \frac{\mathrm{qB}}{2\pi \mathrm{m}}$$

ولكي يؤدي هذا الجهاز عمله بصوره صحيحه فانه يتحتم ان تنعكس الفولتية المستخدمة بفترات منتظمة ومساوية للزمن الذي تستغرقه الجسيمات لعمل نصف دوره داخل الجهاز وبعبارة اخرى فان هذا التطابق يتم عندما يكون تردد الفولتية المستخدمة (f_o) مساويا لتردد الجسيم اثناء دورانه في المجال المغناطيسي (f)، اي ان:

$$f_o = f = \frac{\mathrm{qB}}{2\pi \mathrm{m}}$$

س/ جهاز سايكلترون نصف قطره (32 cm) يستعمل لتعجيل الديوترونات، فاذا علمت ان تردد الفولتية المستخدمة كان (10^7 Hz)، احسب: ١- شدة المجال المغناطيسي، ٢- طاقة الديوترونات عند خروجها من الجهاز؟ كتلة الديوترون (3.34×10^{-27} Kg) والشحنة (1.6×10^{-19} C)

ج/

١-

$$\mathrm{B} = \frac{2\pi \mathrm{m} f_o}{\mathrm{q}}$$

٢-

$$\mathrm{K.E.} = \frac{1}{2} \ \frac{\mathrm{q^2 B^2 R^2}}{\mathrm{m}}$$

Dr. Jamal