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

محاضرات المغناطيسية

(المحاضرة الثالثة)

الدكتور جمال فاضل محمد

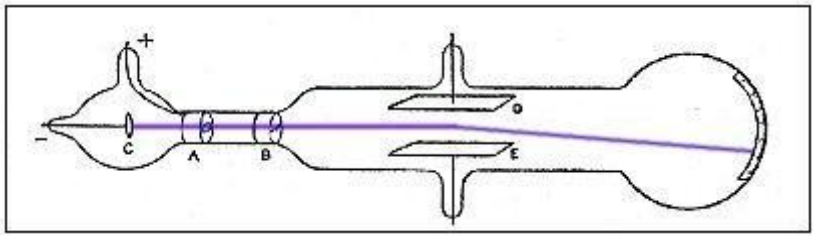
2019-2020

Dr. Jamal

(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

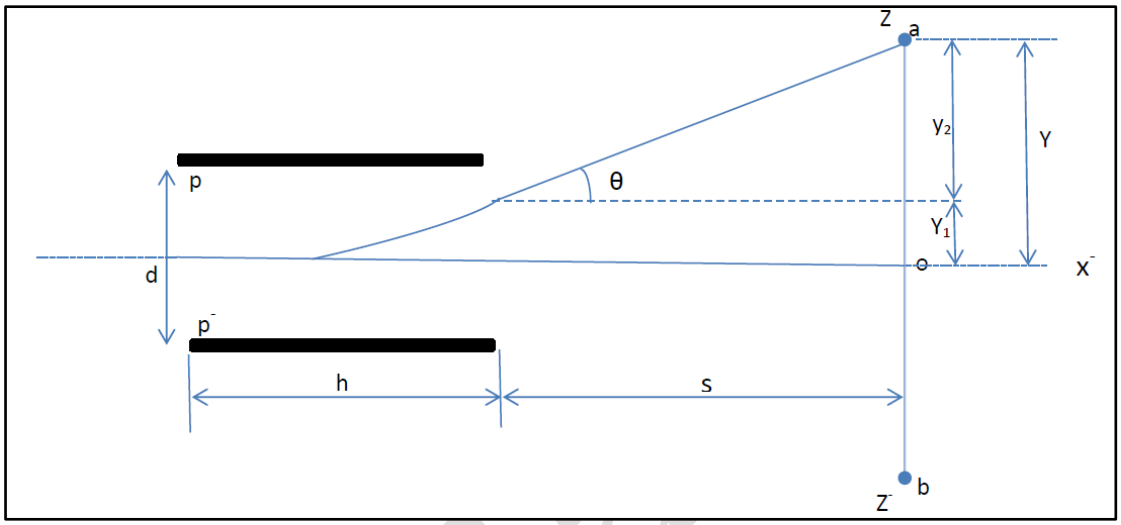
ولمزيد من التوضيح في الشكل (١-١١)، السطح zz^- يتوهج عند سقوط شحنة عليه ، عند تسليط فرق بين D و C تظهر بقعة مضيئة في النقطة O في منتصف السطح zz^- اما عند وضع لوحين pp^- داخل الانبوب واللذان يربطان الى جهد كهربائي والذي يسبب نشوء مجال كهربائي فسوف تظهر البقعة المضيئة في النقطة a من السطح zz^- وذلك لأنه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

$F_E = F_M$

$eE = ev B$

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

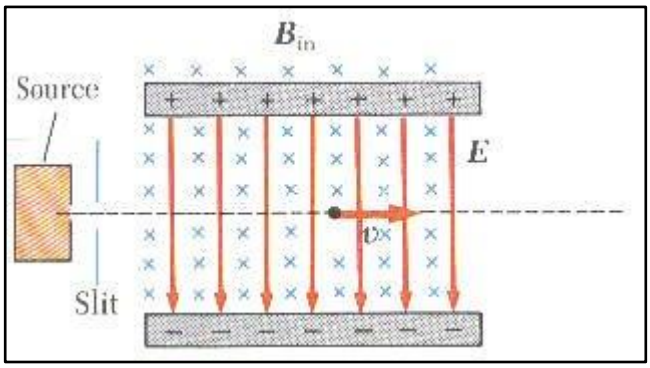


شكل (١-١١) مخطط توضيحي لتجربة ثومسن

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

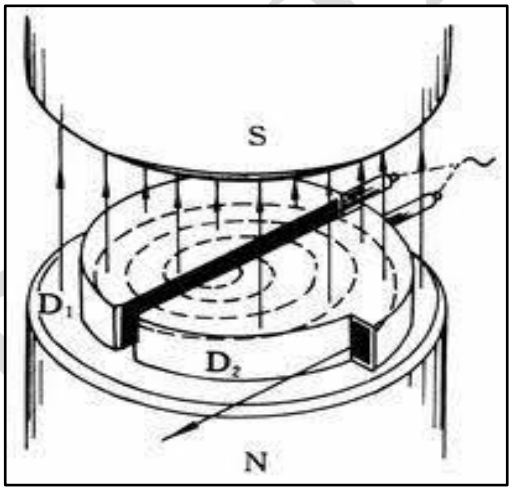
Dr. Jamal

(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-

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

ملاحظة: على الطالب اكمال الحل بالتفصيل

Dr. Jamal

المصادر

١- اساسيات الكهربائية والمغناطيسية ، تأليف يحيى عبد الحميد الحاج علي / وزارة التعليم العالي والبحث العلمي / جامعة الموصل ١٩٩٦
٢- الكهربائية والمغناطيسية ، تأليف يحيى عبد الحميد الحاج علي / وزارة التعليم العالي والبحث العلمي / جامعة الموصل.
٣- الكهربائية والمغناطيسية ، تأليف ابراهيم ناصر ابراهيم علي /الجزء الثاني/ وزارة التعليم العالي والبحث العلمي / جامعة بغداد ١٩٨٦

Dr. Jamal