

## مقدمة

علم الفيزياء يمكن أن يُقسَم إلى الفيزياء الكلاسيكية والفيزياء الحديثة. الفيزياء الكلاسيكية عُرِفَتْ أولاً بظهور العلم التجريبي أثناء عصر النهضة . وتتضمّن الفيزياء الكلاسيكية ثلاثة فروع رئيسية هي علم الميكانيكا الكلاسيكية "ميكانيكا نيوتن" ، وعلم الكهرومغناطيسية، وعلم الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية.

بدأت الميكانيكا الكلاسيكية عام (1687) عندما صاغ نيوتن قوانينه الثلاثة المشهورة في كتاب "الأسس الرياضية للفلسفة الطبيعية". ثم تطورت على أيدي كل من لاجرانج وهاملتون وآخرين. ونجحت في تفسير حركة الأجسام الماكروسكوبية حتى ظن العلماء في نهاية القرن التاسع عشر أنها أكتملت وأنها هي المنتهى في علم الديناميكا.

كما كان لديهم نفس القناعة بالنسبة للطبيعة الموجية للضوء بفضل أبحاث العالم الإنجليزي يونج والفرنسي فرنل. وفي عام 1887 وضع ماكسويل نظرية الكهرومغناطيسية ونجحت تجارب هيرتز العملية في تأييدها.

وتأسس علم الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية علي يد مجموعة كبيرة من العلماء أمثال جول وكارنوت وجبس وماكسويل وبوزي وفيرمي وديراك. ونجح علم الديناميكا الحرارية في تفسير التكافؤ بين الشغل والحرارة، كما أدخل مفهوم الأنثروبي وقوانين الديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية.

إلا أنه في نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين فشلت تلك النظرية حلت في تفسير بعض الظواهر ومن أهمها :

(1) ثبات سرعة الضوء ، وعدم القدرة علي صياغة معادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية بحيث تحتفظ علي صورتها في أي مجموعة إسناد قصورية أي بحيث تكون ثابتة تحت تأثير تحويلات جاليليو - نيوتن.

(2) إشعاع الجسم الأسود.

(3) الظاهرة الكهروضوئية.

(4) ثبات الذرة.

(5) تأثير كوميتون.

(6) تغير السعة الحرارية للجوامد بتغير درجة الحرارة.

(7) النشاط الإشعاعي.

استطاع أينشتاين أن يفسر الظاهرة الأ ولي وهي ثبات سرعة الضوء من خلال " النظرية النسبية الخاصة" عام (1905) واستنتج لتحويلات لورنتس أينشتاين والتي بواسطتها تحتفظ معادلات ماكسويل للكهر ومغناطيسية وجميع صيغ قوانين الفيزياء علي نفس الصورة في أي مجموعة إسناد قصورية. والنظرية النسبية هي أحد فرعي أو أحد جناحي الفيزياء الحديثة.

وفي 17 ديسمبر عام 1900 أعلن العالم الألماني ماكس بلانك في جلسة الجمعية الفيزيائية التابعة لأكاديمية العلوم في برلين عن محاولته الجريئة لشرح الإشعاع الحراري للجسم الأسود بأن أفترض أن الأشعة الكهر ومغناطيسية عند تفاعلها مع المادة فإنها تُمنَص أوتنبعث على هيئة كوانتا "كمات أو وحدات" كل كمة منها تحمل طاقة تتناسب طردياً مع تردد الأشعة الكهر ومغناطيسية وأستنتج ثابت التناسب  $(h = 6.62559 \times 10^{-34} \text{ Joule sec})$  والذي سمي بأسمه فيما بعد. وكان ذلك هو مَوْلِد علم ميكانيكا الكم.

ومما عَضَّدَ فكرة بلانك الثورية هو نجاح البرت أينشتاين (1905) في تفسير الظاهرة الكهروضوئية مستخدماً فكرة بلانك.

ثم تلاه العالم نيلز بوهر عام (1913) عندما قام باستخدام هذه الفكرة وتوسيعها في شرح وتفسير الطيف الضوئي المنبعث من ذرة الهيدروجين.

وفي عام (1922) نجح كوميتون في تفسير الظاهرة التي سميت بأسمه فيما بعد مستعيناً بفرض أينشتاين بأن الضوء عبارة عن جسيمات "فوتونات".

وفي عام (1906) استطاع أينشتاين مستخدماً الأفكار الكمية أن يضع نموذجاً يوضح به إنخفاض قيمة السعة الحرارية للجوامد عند درجات الحرارة المنخفضة إلا أن النموذج المطابق للنتائج العملية وضع عام (1912) بواسطة العالم ديبياي.

اكتشف العالم الفرنسي هنري ب يكرل ظاهرة النشاط الإشعاعي عام 1896، ثم أيدت أبحاثه العالمة البولندية ماري كوري وزوجها ببيير كوري في عام 1898. وفي عام 1905 تقدم رذرفورد وسودي بنظرية الانحلال لتفسير ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي. وقد اقترح

كل من يوجين فيجنر وماريا جوبرت - ماير وهانز ينسن كل على حدة في عام 1949 نموذج الأغلفة النووي الذي يعتمد على الأسس الكمية.

ومن هنا يتضح كيف كان فشل النظريات الكلاسيكية في تفسير الظواهر الستة الأ خيرة سبباً في نشأة علم ميكانيكا الكم.

وكان من الطبيعي أن تظهر بعض المفاهيم الجديدة بظهور علم ميكانيكا الكم لتحل محل بعض المفاهيم المغايرة لها تماماً في الميكانيكا الكلاسيكية ومن أمثلة هذه المفاهيم الآتي:

1- مفهوم الكثافة الإحصائية (السحابة الإلكترونية) ليحل محل مفهوم المسار في الميكانيكا

الكلاسيكية. بمعنى أنه طبقاً للتصورات الكلاسيكية عن الحركة فإن الجسم في كل لحظة

زمنية لابد وأن يوجد في مكان معين في الفراغ وهذا التصور يعكس أثره في الميكانيكا

الكلاسيكية في وجود مسار محدد للجسيمات. ولكن هذا يتغير تماماً إذا بحثنا حركة الجسيمات

الذرية "ميكانيكا الكم" فلا يوجد لها مسار ولكن هناك احتمال لتواجدها في موضع معين.

ففي ميكانيكا الكم توصف حالة الجسم بدالة موجية  $\psi(x, y, z)$ . وقد اقترح العالم

الفيزيائي ماكس بورن عام (1926) أنه يمكن إتخاذ حاصل الضرب  $\psi\psi^*$  ليمثل كثافة

الاحتمال، أي أن  $|\psi(x, y, z)|^2$  يمثل توزيع احتمال تواجد الجسم في أي موضع فراغي ذي

إحداثيات  $(x, y, z)$ .

2- ميكانيكا الكم على خلاف الميكانيكا الكلاسيكية - تحدد مجموعة القيم التي يمكن أن تأخذها مختلف

الكميات الفيزيائية. وهذه القيم تسمى "بالقيم الذاتية أو القيم الملائمة eigenvalues" ويقال عن

مجموعها "طيف القيم الثابتة" للكمية الفيزيائية المشار إليه 1. ومن المعروف أنه في الميكانيكا

الكلاسيكية تأخذ الكميات الفيزيائية بصفة عامة عدداً من القيم المتصلة. وفي الميكانيكا الكمية

أيضاً توجد بعض الكميات الفيزيائية - (على سبيل المثال الإحداثيات) - التي تكون قيمها الذاتية

متصلة وفي هذه الحالة يقال عن الطيف بأنه "الطيف المتصل للقيم الذاتية" ، وبجانب تلك

الكميات الفيزيائية المتصلة يوجد أيضاً في ميكانيكا الكم كميات فيزيائية أخرى غير متصلة

تكون قيمها الذاتية طيفاً متقطعاً يسمى "بالطيف المتقطع للقيم الذاتية".

3- يوجد في الميكانيكا الكلاسيكية شيان لهما من حيث المبدأ خصائص ديناميكية مختلفة تماماً وهما

الجسيم والموجة. إلا أنهما في ميكانيكا الكم لا يختلفان فهما ذات طبيعة مزدوجة.

ففي عام (1924) تقدم العالم الفرنسي دي برولي بفكرته الثورية عن الخاصية الثنائية للجسيمات وفيها أوضح أن الجسيم والموجة وجهان لعملة واحدة. فكما يمكن معاملة الموجة الكهرومغناطيسية ذات التردد  $\nu$  على أنها جسيم "فوتون" له طاقة  $E$  حيث:

$$E = h \nu \quad (1)$$

فإنه يمكن معاملة الجسيم والذي له كمية حركة خطية  $p$  على أنه موجة طولها الموجي  $\lambda$  حيث:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2)$$

والعلاقتان (1), (2) تسميان بمسلمتي دي برولي.

4- في الميكانيكا الكلاسيكية يمكن قياس جميع الكميات الفيزيائية في نفس الوقت بدقة متناهية، فمثلاً بمعلومية الموضع الابتدائي والسرعة الابتدائية للجسيم وعجلته يمكن تعيين كل من سرعته وكمية حركته وطاقته وموضعه عند أي لحظة زمنية بدقة عالية. ولكن على النقيض من ذلك فليست جميع الكميات الفيزيائية في ميكانيكا الكم يمكن أن تقاس في نفس الوقت. أي أن هناك بعض الكميات الفيزيائية في ميكانيكا الكم والتي يستحيل أن يكون لها في نفس اللحظة الزمنية قيم محددة تماماً. وهذه الكميات الفيزيائية التي يستحيل تحديد قيمها الذاتية معاً في نفس اللحظة عبارة عن أي زوج من الأزواج المترافقة "any pair of canonically conjugate quantities" ومن أمثلتها (كمية الحركة  $P_x$  والموضع  $x$ ) أو (كمية الحركة الزاوية  $J_z$  angular momentum والموضع الزاوي  $\phi$  في المستوى  $xy$ ) أو (الطاقة  $E$  والزمن  $t$  الذي قيست خلاله).

وفي عام (1927) قدم هيزنبرج قاعدته لعدم التحديد والتي أوضح فيها أنه من المستحيل أن نحدد بدقة تامة وفي نفس اللحظة قيمة كل من الكميتين الفيزيائيتين المترافقتين. ويكون عدم التحديد في الكمية المترافقة الأولى مضروباً في عدم التحديد للكمية المترافقة الثانية أكبر من أو يساوي  $(h / 2\pi)$  حيث  $h$  هو ثابت بلانك. أي أنه يمكن وضع قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج في إحدى الصور الرياضية الآتية:

$$\Delta y \cdot \Delta P_y \geq \hbar \quad (3)$$

$$\Delta \phi \cdot \Delta J_z \geq \hbar \quad (4)$$

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar \quad (5)$$

حيث :

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (6)$$

فلذا كان للجسيم كمية حركة  $P_y$  محددة تماماً عند لحظة زمنية معينة أي أن نسبة الخطأ في القياس "عدم التحديد" تساوي صفراً، أي أن  $(\Delta P_y = 0)$ ، فإن العلاقة (3) تعني أن احتمالات موضع الجسيم في الفراغ عند نفس اللحظة تكون متساوية أي لا يمكن تحديد موضعة في الفراغ إطلاقاً مما يعني أي أن  $y$  تأخذ أي قيمة وبالتالي فنسبة الخطأ "عدم التحديد" في موضع الجسيم تساوي ما لا نهاية أي أن  $\Delta y = \infty$ .

والعكس صحيح بمعنى أنه إذا حدد موضع الجسيم  $y$  بدقة متناهية عند لحظة معينة فإننا لا نستطيع بأي شكل أن نحدد كمية حركته  $P_y$  - (أي أننا نفقد جميع المعلومات عن كمية الحركة) - عند نفس اللحظة.

كما أن العلاقة (3) تعني في الحالة الوسط - "الدقة غير متناهية" - أن عملية القياس في الفيزياء الذرية تدفع إلى زيادة عدم الدقة في تحديد المكان  $(\Delta y)$  كلما زادت الدقة في قياس كمية الحركة الخطية  $(\Delta P_y)$  عند نفس اللحظة الزمنية والعكس صحيح.

وفي هذا المقرر العملي سندرس بمشيئة الله أربعة ظواهر من الظواهر السبعة التي فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسيرها. فسندرس كل من تجربة ميكلسون ومورلي والتي أثبتت ثبات سرعة الضوء وعدم وجود الأثير وكانت نتائجها سبباً في ظهور النسبية الخاصة، وتجربة إشعاع الجسم الأسود والتي دفعت بلانك لوضع فرضه الثوري بأن الطاقة كممة. كما سندرس تجربة الظاهرة الكهروضوئية وكيف نجح أينشتاين باستخدام فرض بلانك الثوري في تفسيرها ومنها سنعين ثابت بلانك. ثم سندرس نظرية بوهل لتركيب ذرة الهيدروجين في تجربة ثابت ريديرج.

كما سندرس بمشيئة الله بعض التجارب التي توضح المفاهيم الجديدة التي ظهرت في علم ميكانيكا الكم وحلت محل بعض المفاهيم المغايرة لها تماماً في الميكانيكا الكلاسيكية.

فسندرس الخاصية الثنائية لدي بروللي وسنجري خمسة تجارب تثبت الخاصية الجسيمية للإلكترون مثل تجربة دراسة حركة إلكترون عمودي علي مجال كهربى منتظم، وتجربة دراسة حركة إلكترون عمودي علي مجال مغناطيسى منتظم وتعيين  $e/m$  "كوفمان"، وتجربة دراسة حركة إلكترون عمودي علي مجالين منتظمين ومتعامدين أحدهما كهربى والآخر مغناطيسى وتعيين  $e/m$  بطريقة طومسون، وتجربة ميليكان لتعيين شحنة الإلكترون  $e$ ، وتجربة تأثير هول. ثم سنجري تجربة طومسون الشهيرة لحيود الإلكترونات والتي تثبت الخاصية الموجية للإلكترون.

كما سنحقق قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج بدراسة حيود فوتونات الليزر من خلال فتحة

مستطيلة ضيقة.

## دراسة حركة إلكترون يتحرك عمودياً على مجال كهربائي منتظم

### الهدف من التجربة:

- 1- دراسة حركة إلكترون يتحرك عمودياً على مجال كهربائي منتظم.
- 2- تعيين جهد التعجيل "جهد الأنود  $V_a$ " لأنبوبة أشعة الكاثود.
- 3- تعيين سرعة الإلكترون  $v$  التي ينطلق بها من الأنود.

### نظرية التجربة:

نستخدم في هذه التجربة أنبوبة أشعة الكاثود التي تتكون من انتفاخ زجاجي مفرغ من الهواء ويحتوى الطرف الضيق للأنبوبة على بندقية إلكترونات تتكون من فتيلة وكاثود وأسطوانة تجميع وأنود وتعمل بندقية الإلكترونات كمصدر للشعاع الإلكتروني. يتم الحصول على الشعاع الإلكتروني بتسخين الكاثود بواسطة فتيلة ثم تعجيل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود بواسطة جهد الأنود  $V_a$  فولت. بفرض أن الإلكترونات تنبعث من الكاثود بطاقة حركة تساوي الصفر، فإن طاقة الجهد  $eV_a$  بين الكاثود والأنود تتحول إلي طاقة حركة  $(mv^2/2)$  يكتسبها الإلكترون أي أن:

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

وبالتالي تكون سرعة الإلكترون  $v$  التي ينطلق بها من بندقية الإلكترونات مساوية:

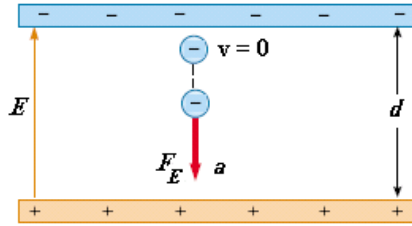
$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad (1)$$

حيث:  $e$  شحنة الإلكترون،  $m$  كتلته.

وفي هذه التجربة نحصل على المجال الكهربائي المنتظم  $E$  بواسطة لوحين معدنيين مستويين ومتوازيين والمسافة بينهما  $d$  متر وفرق الجهد بينهما  $V$  فولت، فتكون شدة المجال  $E$ :

$$\vec{E} = -\frac{V}{d} \quad (2)$$

والإشارة السالبة لها معني فيزيائي فقط وهو أن المجال الكهربائي يتجه من اللوح الأعلى جهداً "الموجب" إلي اللوح الأقل جهداً "السالب". ويجب ملاحظة أن المجال الكهربائي يكون منتظماً "ثابت الشدة والاتجاه" في المنطقة الممتدة وسط اللوحين فقط، أما عند الأطراف فيكون غير منتظم.



الشكل (1)

عندما يتواجد إلكترون ساكن في مجال كهربائي منتظم شدته  $E$  كما بالشكل (1) فإنه سيتأثر بقوة كولوم  $F_E$ :

$$\vec{F}_E = -e \vec{E}$$

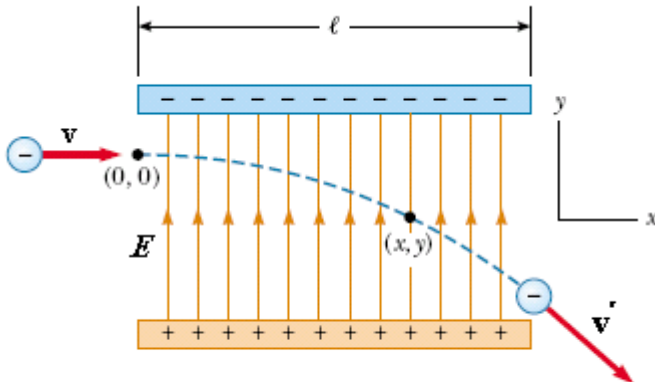
ولأن شحنة الإلكترون سالبة يكون اتجاه القوة  $F_E$  عكس اتجاه المجال الكهربائي  $E$ . وهذه القوة ستكسب الإلكترون عجلة "تسارع"  $a$  يمكن حسابها من قانون نيوتن الثاني حيث:

$$\vec{F}_E = m \vec{a}$$

ومن هنا نجد أن:

$$\vec{a} = -\frac{e}{m} \vec{E}$$

واضح أن العجلة  $a$  تكون ثابتة مقداراً واتجاهاً ويكون اتجاهها عكس اتجاه المجال الكهربائي. ويكون مسار الإلكترون في هذه الحالة عبارة عن خط مستقيم موازي للمجال الكهربائي وعكس اتجاهه.



الشكل (2)

وعندما يدخل إلكترون منطقة مجال كهربائي منتظم  $E$  بسرعة ابتدائية



$\mathbf{v}$  عموديه علي المجال الكهربى، فإنه سيتأثر بنفس القوة  $F_E$  وسيكتسب نفس العجلة  $a$  ولكن مساره في تلك الحالة سيكون عبارة عن منحنى، سنثبت الآن أنه قطع مكافئ. بفرض أن سرعة الإلكترون الابتدائية  $\mathbf{v}$  في اتجاه  $x$ ، وأن المجال الكهربى المنتظم  $E$  في اتجاه  $y$ ، وأن نقطة الأصل هي نقطة دخول الإلكترون للمجال الكهربى كما هو موضح بالشكل (2). وحيث أن القوة  $F_E$  وكذلك العجلة  $a$  ثابتة مقداراً واتجهاً واتجاهيهم  $\perp$  عمودياً علي سرعة الإلكترون الابتدائية  $\mathbf{v}$ ، فإن مركبة سرعة الإلكترون  $\mathbf{v}_x$  في اتجاه  $x$  عند الزمن  $t$  تكون ثابتة ومساوية  $\mathbf{v}$  أي أن:

$$\mathbf{v}_x = \mathbf{v}$$

وتكون السرعة الابتدائية  $\mathbf{v}_{yi}$  في اتجاه  $y$  مساوية للصفر، وبالتالي تكون مركبة سرعة الإلكترون  $\mathbf{v}_y$  في اتجاه  $y$  عند الزمن  $t$  مساوية:

$$\mathbf{v}_y = \mathbf{v}_{yi} + a t = a t = -\frac{e E}{m} t$$

وعند الزمن  $t$  تكون إحداثيات الإلكترون  $(x, y)$  حيث:

$$x = \mathbf{v} t \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2 = -\frac{1}{2} \frac{e E}{m} t^2 \quad (4)$$

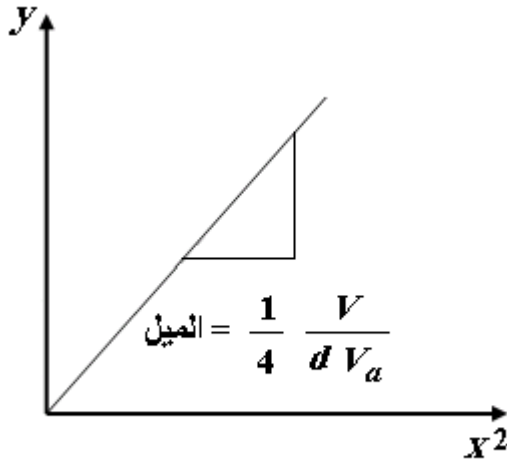
وبالتعويض عن  $t$  من العلاقة (3) في العلاقة (4) نحصل علي:

$$y = -\frac{1}{2} \frac{e E}{m \mathbf{v}^2} x^2 \quad (5)$$

وبالتعويض عن كل من  $\mathbf{v}$ ،  $E$  من العلاقتين (1)، (2) في العلاقة (5) نحصل علي:

$$y = \frac{1}{4} \frac{V}{d V_a} x^2 \quad (6)$$

نلاحظ أن  $y$  تتناسب مع  $x^2$  وهي علاقة قطع مكافئ، أي أن المسار الذي يتخذه إلكترون يتحرك عمودياً علي مجال كهربي منتظم عبارة عن قطع مكافئ. وكما هو واضح بالشكل (2) فإن الإلكترون عندما يغادر منطقة المجال الكهربي بين اللوحين فإنه يسير في خط مستقيم عبارة عن مماس القطع المكافئ عند  $x = \ell$  حيث  $\ell$  طول اللوحين، وتكون سرته  $v'$  أكبر من  $v$ .



الشكل (3)

ويوضح الشكل (3) العلاقة بين  $y$  علي المحور الرأسى،  $x^2$  علي المحور الأفقي وهي عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\frac{1}{4} \frac{V}{d V_a}$  وبمعلومية كل من  $V, d$  يمكننا حساب جهد التعجيل  $V_a$ ، وبالتعويض عن  $V_a, e/m$  في العلاقة (1) يمكننا حساب سرعة الإلكترون  $v$  التي ينطلق بها من الأنود.

ويتم تعيين إحداثيات أي نقطه علي مسار الشعاع الإلكتروني  $(x, y)$  بواسطة تدريج موجود علي شاشة فلورسيه تقع في المنطقة الممتدة بعد الأنود ووسطها مغطي بطبقة فلورسيه تضيئ عند مرور الشعاع الإلكتروني كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل (4)

### الأدوات المستخدمة:

أنبوبة أشعة الكاثود - مصدر جهد مستمر عالي  $V_a$  - مصدر جهد متردد 6.3 فولت 5 أمبير للفتيلة - مصدر جهد مستمر عالي  $V$  - فولتمتر لقياس جهد مرتفع. ويوضح الشكل (4) الأجهزة المستخدمة.

**تحذير:**

- الجهد المستخدم في هذه التجربة جهد مرتفع عدة كيلو فولتات ونظراً لخطورته وحفاظاً علي سلامتك وسلامة زملائك وسلامة الأجهزة نرجو إتباع الآتي
- 1- لا توصل التيار الكهربائي قبل أن يراجعها عضو هيئة التدريس.
  - 2- لا تحاول لمس أي طرف توصيل أثناء التجربة.
  - 3- الأنبوبة تتكون من زجاج رقيق ومفرغة من الهواء فهي عرضة للكسر بسهولة فلا تعرضها لأي صدمة ميكانيكية.
  - 4- إذا زاد مجموع جهد الأنود  $V_a$  وجهد الألواح  $V$  عن  $7 \text{ kV}$  فإن الأنبوبة تشع أشعة سينية فلا ترفع الجهود عن  $7 \text{ kV}$ .
  - 5- عند حدوث أي خطأ لا قدر الله أنزع قابس الكهرباء بسرعة.
  - 6- لضمان رؤية جيدة لمسار الشعاع الإلكتروني تجري التجربة في مكان مظلم.

**خطوات العمل:**

1. وصل الأجهزة كما هو موضح بالشكل (4) وتأكد أن فرق الجهد بين اللوحين  $V$  مساوياً للصفر ولاحظ أن مسار الشعاع الإلكتروني عبارة عن خط مستقيم موازي لمحور الأنبوبة.
2. أضبط فرق الجهد بين اللوحين  $V$  عند  $2 \text{ kV}$  سيصبح مسار الشعاع الإلكتروني عبارة عن قطع مكافئ.
3. مستعيناً بالتدريج الموجود علي الشاشة الفلورسكية عين الإحداثيات  $(x, y)$  لعدة نقط علي مسار الشعاع الإلكتروني وسجل النتائج في الجدول المرفق.
4. أرسم العلاقة بين  $y$  علي المحور الرأسي،  $x^2$  علي المحور الأفقي تحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\frac{1}{4} \frac{V}{d V_a}$ .
5. وبمعلومية كل من  $d, V$  احسب جهد التعجيل  $V_a$ .



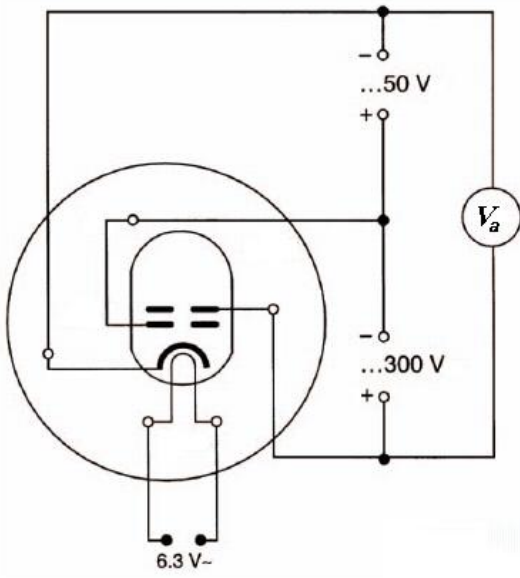
## تعيين الشحنة النوعية للإلكترون $e/m$ بطريقة كوفمان

### الهدف من التجربة:

- 1- دراسة حركة إلكترون يتحرك عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم.
- 2- تعيين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  بطريقة كوفمان.

### نظرية التجربة:

في عام 1897 استطاع كوفمان أن يعين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  مستخدماً أنبوبة أشعة الكاثود ومجال مغناطيسي وحصل على نتائج أكثر دقة من نتائج طومسون.



الشكل (1)

وأنبوبة أشعة الكاثود عبارة عن انتفاخ زجاجي يحتوي علي غاز الهيدروجين تحت ضغط منخفض، كما يوجد بها بندقية للإلكترونات تتكون من فتيلة وكاثود وأسطوانة تجميع وأنود وتعمل بندقية الإلكترونات كمصدر للشعاع الإلكتروني ، ويوضح الشكل ( 1 ) طريقة توصيل أنبوبة أشعة الكاثود. يتم الحصول علي الشعاع الإلكتروني من بندقية الإلكترونات بتسخين الكاثود بواسطة فتيلة ثم تعجيل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود بواسطة

جهد الأنود  $V_a$  فولت. بفرض أن الإلكترونات تنبعث من الكاثود بطاقة حركة تساوي الصفر، فإن طاقة الجهد  $eV_a$  بين الكاثود والأنود تتحول إلي طاقة حركة  $(mv^2/2)$  يكتسبها الإلكترون أي أن:

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

وبالتالي تكون سرعة الإلكترون  $v$  مساوية:

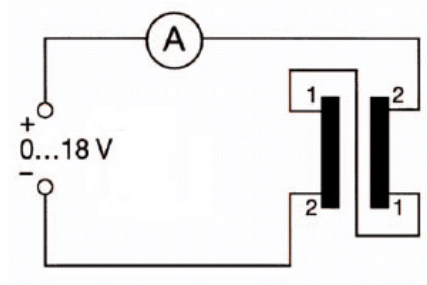
$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad (1)$$

حيث:  $e$  شحنة الإلكترون،  $m$  كتلته.

وفي هذه التجربة نحصل علي المجال المغناطيسي المنتظم بواسطة ملفي هلمهولتز وهما ملفان دائريان "طول الملف مهمل بالنسبة لنصف قطره"، ونصف قطر كل منهما متساوي ويساوي  $r$  متر، والمسافة بينهما تساوي نصف قطر كل منهما  $r$ ، وعدد اللفات في كل منهما متساوي ويساوي  $n$  لفه، ومستوياتهم متوازيان، ومحوريهما متطابقان، وشدة التيار في كل منهما متساوي ويساوي  $I$  أمبير، واتجاه مرور التيار في كل منهما واحد. فإذا تحققت هذه الشروط الثمانية نحصل في المنطقة الممتدة بين الملفين علي

مجال مغناطيسي منتظم يكون اتجاه موازياً لمحور الملفين وكثافة فيضه  $B$  تسلا:

$$B = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 n}{r} I \quad (2)$$

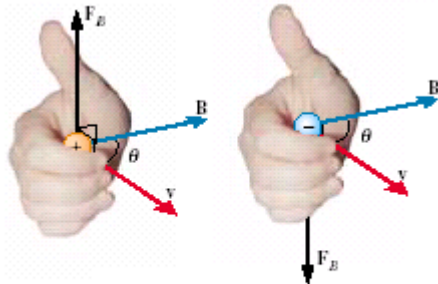


الشكل (2)

حيث  $\mu_0$  معامل النفاذية المغناطيسية للفراغ ويساوي  $4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير. ويوضح الشكل (2) طريقة توصيل ملفي هلمهولتز.

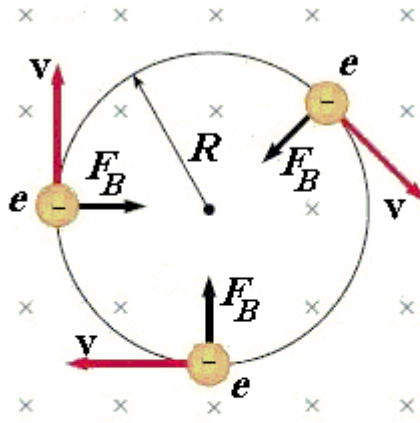
عندما يتحرك الإلكترون بسرعة  $v$  عمودياً علي المجال المغناطيسي المنتظم فإنه يتأثر بقوة لورنتز  $F_B$  نيوتن:

$$\vec{F}_B = -e \vec{v} \times \vec{B}$$



الشكل (3)

حيث  $\times$  علامة الضرب الاتجاهي، وتكون القوة  $F_B$  ثابتة في المقدار واتجاهها عمودياً علي كل من المجال المغناطيسي  $B$  وسرعة الإلكترون  $v$  ويتم تحديده طبقاً لقاعدة بريمة اليد اليمنى كما بالشكل (3). وحيث أن سرعة الإلكترون عموديه علي المجال المغناطيسي يكون مقدار القوة  $F_B$  مساوياً:



× يمثل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضيه  $B$  عمودياً على مستوي الصفحة ويتجه إلى الداخل

الشكل (4)

$$|\vec{F}_B| = e v B \quad (3)$$

ولما كانت القوة  $F_B$  دائماً عمودية على مسار الإلكترون فإنها لن تبذل أي شغل على الإلكترون وبالتالي فمقدار سرعته  $v$  سيبقى ثابت ولكن سيتغير فقط اتجاهها. ومعني ذلك أنه عندما تؤثر القوة المغناطيسية  $F_B$  على الإلكترون فإن اتجاه كل من  $v$ ،  $F_B$  سيتغير باستمرار كما بالشكل (4)، وبالتالي فإن الإلكترون سيتحرك في مسار دائري عمودي

على المجال المغناطيسي ونصف قطرة  $R$  ويكتسب الإلكترون عجلة مركزية مقداره  $v^2/R$ . ويتزن الإلكترون في مساره الدائري تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومضادتين في الاتجاه وخط عملهما واحد، وهما القوة  $F_B$  التي تتجه دائماً نحو مركز الدائرة والقوة الطاردة المركزية  $mv^2/R$  وبالتالي فليق:

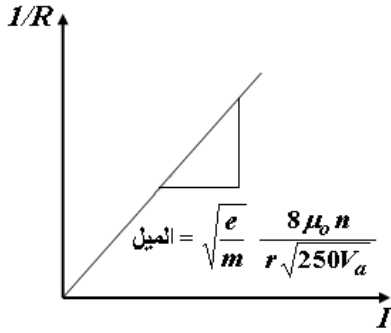
$$F_B = e v B = m \frac{v^2}{R}$$

ومنها نجد أن:

$$R = \frac{m v}{e B} \quad (4)$$

ويلاحظ من ذلك أن نصف القطر  $R$  يتناسب طردياً مع سرعة الإلكترون  $v$  وعكسياً مع كثافة الفيض المغناطيسي  $B$ . بالتعويض عن قيمة كل من  $v$ ،  $B$  من العلاقتين (1)، (2) في العلاقة (4) نحصل على:

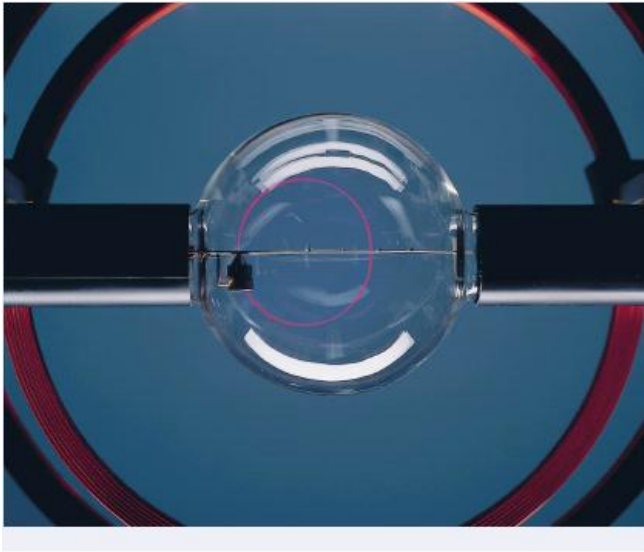
$$\frac{1}{R} = \sqrt{\frac{e}{m}} \frac{8 \mu_0 n}{r \sqrt{250 V_a}} I \quad (5)$$



الشكل (5)

ويوضح الشكل (5) العلاقة بين  $1/R$  علي المحور الرأسي،  $I$  علي المحور الأفقي وهي عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\sqrt{\frac{e}{m}} \frac{8\mu_0 n}{r\sqrt{250V_a}}$  وبمعلومية كل من  $\mu_0, r, n, V_a$  يمكننا حساب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

$R$  في هذه التجربة بواسطة كل من غاز



الشكل (6)

ويتم تعيين نصف قطر المسار الدائري الهيدروجين وتدرج مثبت في محور الأنبوبة ومقسم إلي مسافات طول كل منها 2 cm . فذرات غاز الهيدروجين الموجود تحت ضغط منخفض داخل الأنبوبة تشع ضوءاً مرئياً عند اصطدام الشعاع الإلكتروني بها، وبذلك يظهر بوضوح مسار الشعاع الإلكتروني الدائري ويكون قطره منطبقاً علي التدرج المثبت في محور الأنبوبة وبذلك يمكن تعيين  $R$  بدقة كما هو موضح بالشكل (6).

### الأدوات المستخدمة:

أنبوبة أشعة الكاثود - ملفي

هلمهلتز - مصدر جهد مستمر

50 volt لتحيز أسطوانة التجميع

- مصدر جهد مستمر 300 volt

لتحيز الأنود - مصدر جهد متردد

6.3 فولت، 5 أمبير للفتيلة -



الشكل (7)



مصدر جهد مستمر 20 volt لمفلي هلموهلتز- أميتر لقياس التيار  $I$  - فولتميتر. ويوضح الشكل (7) الأجهزة المستخدمة.

### تحذير:

- 1- لا توصل التيار الكهربائي قبل أن يراجعها عضو هيئة التدريس.
- 2- لا تحاول لمس أي طرف توصيل أثناء التجربة.
- 3- لا تحاول لمس ملفي هلموهلتز أثناء التشغيل لأنه يشحن بشحنة استاتيكية.
- 4- الأنبوبة تتكون من زجاج رقيق ومفرغة من الهواء فهي عرضة للكسر بسهولة فلا تعرضها لأي صدمة ميكانيكية.
- 5- عند حدوث أي خطأ لا قدر الله أنزع قابس الكهرباء بسرعة.
- 6- لضمان رؤية جيدة لمسار الشعاع الإلكتروني تجري التجربة في مكان مظلم.

### خطوات العمل:

1. وصل الأجهزة كما هو موضح بالشكل (1)، (7) وعدل فرق الجهد بين الكاثود والأنود "جهد الأنود"  $V_a$  حتى تحصل علي شعاع إلكتروني رفيع، ثم عين  $V_a$  بواسطة الفولتميتر، وتأكد أن تيار ملفي هلموهلتز  $I$  مساوياً للصفر ولاحظ أن مسار الشعاع الإلكتروني عبارة عن خط مستقيم عمودي علي محور الأنبوبة.
2. مرر تيار  $I$  وغير من شدته حتى يتقاطع مسار الشعاع الإلكتروني مع أحدي علامات التدرج. عين كل من  $I$ ،  $R$  وسجل النتائج في الجدول المرفق.
- ملحوظة هامة: إذا كان مسار الشعاع الإلكتروني حلزونياً وليس دائرياً فمعني ذلك أن سرعة الإلكترون ليست عمودية علي المجال المغناطيسي ولكن تميل عليه بزاوية. ولتصحيح هذا الخطأ دوّر أنبوبة أشعة الكاثود حول محورها الطولي حتى يصبح المسار دائرياً.
3. كرر الخطوة 2 عدة مرات مع قيم مختلفة للتيار  $I$ .

4. أرسم العلاقة بين  $I/R$  علي المحور الرأسي،  $I$  علي المحور الأفقي تحصل علي خط

مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\sqrt{\frac{e}{m}} \frac{8\mu_0 n}{r\sqrt{250V_a}}$  وبمعلومية كل من  $r, n, V_a$

$\mu_0$  احسب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

**النتائج:**

$I$	$R$	$1/R$

$V_a = \dots \text{ volt}$

$n = 154$  لفة

$r = 20 \times 10^{-2}$  متر

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير

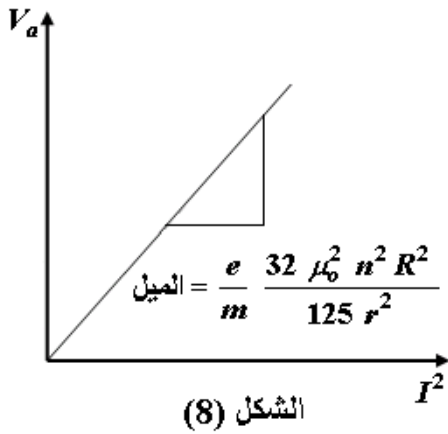
الميل = .....

$e/m = \dots \text{ C/kg}$

## طريقة أخرى:

يمكن إجراء هذه التجربة بطريقة أخرى، عن طريق تثبيت نصف قطر المسار الدائري عند قيمة واحدة طوال التجربة وتغيير كل من  $I, V_a$ . فبتربيع العلاقة (5) يمكن كتابتها علي الصورة:

$$V_a = \frac{e}{m} \frac{32 \mu_o^2 n^2 R^2}{125 r^2} I^2 \quad (6)$$



ويوضح الشكل (8) العلاقة بين  $V_a$  علي المحور الرأسي،  $I^2$  علي المحور الأفقي وهي عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي

وبمعلومية كل من  $\mu_o, r, n, R$   $\frac{e}{m} \frac{32 \mu_o^2 n^2 R^2}{125 r^2}$  يمكننا حساب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

## خطوات العمل:

1. وصل الأجهزة كما هو موضح بالشكل (1)، (7) واضبط جهد الأنود  $V_a$  عند 100 فولت، وتأكد أن تيار ملفي هلموهلتز  $I$  مساويا للصفر ولاحظ أن مسار الشعاع الإلكتروني عبارة عن خط مستقيم عمودي علي محور الأنبوبة.
2. مرر تيار  $I$  وغير من شدته حتى يصبح نصف قطر المسار الدائري  $R$  مساوياً 5cm وسجل النتائج في الجدول المرفق.
3. غير من قيمة كل من جهد الأنود  $V_a$  والتيار  $I$  مع الاحتفاظ بنصف قطر المسار الدائري  $R$  مساوياً 5cm وسجل النتائج في الجدول المرفق.
4. كرر الخطوة 3 عدة مرات.

5. أرسم العلاقة بين  $V_a$  علي المحور الرأسي،  $I^2$  علي المحور الأفقي تحصل علي خط

مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\frac{e}{m} \frac{32 \mu_o^2 n^2 R^2}{125 r^2}$  وبمعلومية كل من  $n, R$ ،

$r, \mu_o$  احسب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

**النتائج:**

$V_a$	$I$	$I^2$

$R = 5 \times 10^{-2}$  متر

$n = 154$  لفة

$r = 20 \times 10^{-2}$  متر

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير

الميل = .....

$e/m = \dots\dots$  C/kg

## تعيين الشحنة النوعية للإلكترون $e/m$ بطريقة طومسون

### الهدف من التجربة:

- 1- دراسة حركة إلكترون يتحرك عمودياً على مجالين متعامدين ومنتظمين أحدهما مغناطيسي والآخر كهربائي.
- 2- تعيين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  بطريقة طومسون.

### نظرية التجربة:

في عام 1897 أستطاع جوزيف طومسون أن يعين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  بمشاهدة انحراف الشعاع الإلكتروني في أنبوبة أشعة الكاثود بواسطة مجالين متعامدين ومنتظمين أحدهما مغناطيسي والآخر كهربائي وكل منهما عمودي على اتجاه الشعاع الإلكتروني.

ويتم الحصول علي الشعاع الإلكتروني في أنبوبة أشعة الكاثود بتسخين الكاثود بواسطة فتيلة ثم تعجيل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود بواسطة جهد الأنود  $V_a$  فولت، فتتحول طاقة الجهد  $eV_a$  إلي طاقة حركة يكتسبها الإلكترون. وبالتالي تكون سرعة الإلكترونات  $v$  مساوية:

$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad (1)$$

حيث:  $e$  شحنة الإلكترون،  $m$  كتلته.

وفي هذه التجربة نحصل علي المجال المغناطيسي المنتظم بواسطة ملفي هلمهولتز وهما ملفان دائريان "طول الملف مهمل بالنسبة لنصف قطره"، ونصف قطر كل منهما متساوي ويساوي  $r$  متر، والمسافة بينهما تساوي نصف قطر كل منهما  $r$ ، وعدد اللفات في كل منهما متساوي ويساوي  $n$  لفة، ومستوياتهم متوازيان، ومحوريهما متطابقان، وشدة التيار في كل منهما متساوي ويساوي  $I$  أمبير، واتجاه مرور التيار في كل منهما واحد. فإذا تحققت هذه الشروط الثمانية نحصل في المنطقة الممتدة بين الملفين علي مجال مغناطيسي منتظم يكون اتجاهه موازياً لمحور الملفين وكثافته فيضه  $B$  تسلا:

$$B = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 n}{r} I \quad (2)$$

حيث  $\mu_0$  معامل النفاذية المغناطيسية للفراغ ويساوي  $4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير.

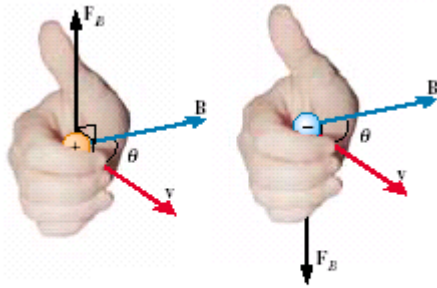
كما أننا نحصل علي المجال الكهربائي المنتظم  $E$  في هذه التجربة بواسطة لوحين معدنيين مستويين ومتوازيين والمسافة بينهما  $d$  متر وفرق الجهد بينهما  $V$  فولت، فتكون شدة المجال  $E$ :

$$\vec{E} = - \frac{V}{d} \quad (3)$$

والإشارة السالبة لها معني فيزيائي فقط وهو أن المجال الكهربائي يتجه من اللوح الأعلى جهداً إلي اللوح الأقل جهداً.

عندما يتحرك الإلكترون بسرعة  $v$  عمودياً علي المجال المغناطيسي المنتظم فإنه يتأثر بقوة  $F_B$  تسمى بقوة لورنتز:

$$\vec{F}_B = -e \vec{v} \times \vec{B}$$



شكل (1)

حيث  $\times$  علامة الضرب الاتجاهي ويتم تحديد اتجاه القوة  $F_B$  طبقاً لقاعدة بريمة اليد اليمنى كما بالشكل (1). ولأن القوة  $F_B$  تكون دائماً عمودية علي اتجاه السرعة فإن مقدار سرعة الإلكترون  $v$  لن يتغير ولكن سيتغير اتجاهها فقط ويأخذ الإلكترون مساراً دائرياً. وحيث أن سرعة الإلكترون عمودية علي المجال المغناطيسي يكون مقدار القوة مساوياً:

$$|\vec{F}_B| = e v B \quad (4)$$

وعند تطبيق المجال الكهربائي المنتظم  $E$  عمودياً علي كل من اتجاه الشعاع الإلكتروني والمجال المغناطيسي  $B$  فإنه سيؤثر علي الإلكترون بقوة  $F_E$  تسمى بقوة كولوم:

$$\vec{F}_E = -e \vec{E} \quad (5)$$

ولأن شحنة الإلكترون سالبة يكون اتجاه القوة  $F_E$  عكس اتجاه المجال الكهربائي  $E$ . وعند ضبط شدة المجال الكهربائي واتجاهه بحيث يتلاشي انحراف الشعاع الإلكتروني "أي يعود مساره خطأً مستقيماً موازياً لمحور أنبوبة أشعة الكاثود" فلن قوة تأثير المجال الكهربائي  $F_E$  في هذه الحالة تعادل القوة الناشئة عن المجال المغناطيسي  $F_B$  وتضادها في الاتجاه وخط عمله واحد أي أن:

$$|\vec{F}_B| = |\vec{F}_E| \quad (6)$$

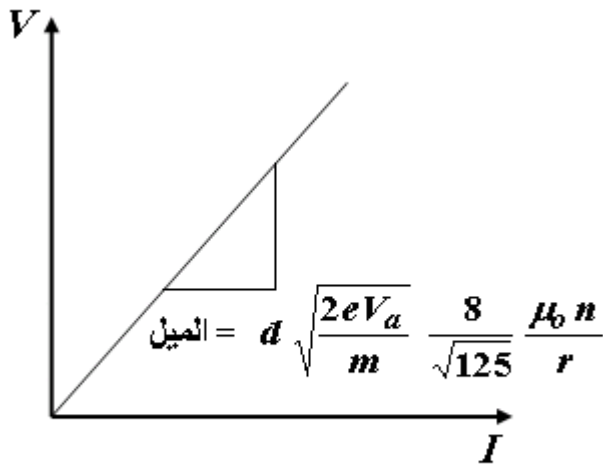
وبالتعويض من العلاقتين (4)، (5) في العلاقة (6) نحصل على:

$$E = v B \quad (7)$$

وبالتعويض عن قيمة كل من  $E$ ،  $B$ ،  $v$  من العلاقات (1)، (2)، (3) نحصل على:

$$V = d \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 n}{r} I \quad (8)$$

ويوضح الشكل (2) العلاقة بين  $V$  علي المحور الرأسي،  $I$  علي المحور الأفقي وهي عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي



الشكل (2)

الميل  $d \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 n}{r}$  وبمعلومية كل

من  $d$ ،  $V_a$ ،  $n$ ،  $r$ ،  $\mu_0$  يمكننا حساب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

أنبوبة أشعة الكاثود - ملفي هلموهلتز -

مصدر جهد مستمر عالي  $V_a$  - مصدر جهد متردد 6.3 فولت 5 أمبير للفتيلة - مصدر جهد مستمر  $V$  - مصدر جهد مستمر منخفض لملي هلموهلتز - أميتر - فولتميتير لقياس جهد مرتفع. ويوضح الشكل (3) الأجهزة المستخدمة.



### تحذیر:

الجهود المستخدمة في هذه التجربة جهد مرتفع عدة كيلو فولتات ونظراً لخطورته وحفاظاً علي سلامتك وسلامة زملائك وسلامة الأجهزة نرجو إتباع الآتي

1- لا توصل التيار الكهربى قبل أن يراجعها عضو هيئة التدريس.

## 2- لا تحاول لمس أي طرف توصيل أثناء التجربة.

3- الأنبوبة تتكون من زجاج رقيق ومفرغة من الهواء فهي عرضة للكسر بسهولة فلا تعرضها لأي صدمة ميكانيكية.

4- إذا زاد مجموع جهد الأنود  $V_a$  وجهد الألواح  $V$  عن 7 kV فإن الأنبوبة تشع أشعة سينية فلا ترفع الجهود عن 7 kV.

**5- عند حدوث أي خطأ لا قدر الله أنزع قابس الكهرباء بسرعة.**

## 6- لضمان رؤية جيدة لمسار الشعاع الإلكتروني تجري التجربة في مكان مظلم.



## خطوات العمل:

1. وصل الأجهزة كما هو موضح بالشكل ( 3 ) وتأكد أن كل من تيار ملفي هلموهلتز  $I$  وفرق الجهد بين اللوحين  $V$  مساويا للصفر ولاحظ أن مسار الشعاع الإلكتروني عبارة عن خط مستقيم موازي لمحور الأنبوبة.
2. مرر تيار شدته  $I$  أمبير في ملفي هلموهلتز ستجد أن الشعاع الإلكتروني ينحرف ويأخذ قوس من دائرة.
3. أضبط فرق الجهد بين اللوحين  $V$  بحيث يتلاشي انحراف الشعاع الإلكتروني "أي يعود مساره خطأ مستقيماً موازياً لمحور أنبوبة أشعة الكاثود" ثم عين قيمته وسجل كل من  $V, I$  في الجدول المرفق.
4. غير من قيمة التيار  $I$  وفي كل مرة عين قيمة فرق الجهد  $V$  التي تلاشي انحراف الشعاع الإلكتروني وسجل النتائج في الجدول المرفق.
5. أرسم العلاقة بين  $V$  علي المحور الرأسي،  $I$  علي المحور الأفقي تحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 n}{r} \sqrt{\frac{2eV_a}{m}}$  وبمعلومية كل من  $d, V_a, n, r, \mu_0$  احسب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

## النتائج:

$I$					
$V$					

$d = 5.4 \times 10^{-2}$  متر

$V_a = 4000$  volt

$n = 320$  لفة

$r = 6.8 \times 10^{-2}$  متر

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير

الميل = .....

$e/m = \dots\dots$  C/kg

## حيود الإلكترون

## Electron Diffraction

## الهدف من التجربة:

- 1- تحقيق الخاصية الثنائية لهي برولي.
- 2- دراسة تداخل براج و تعيين المسافات البينية بين المستويات البلورية لبلورة الجرافيت "الكربون".

## نظرية التجربة:

يوجد في الميكانيكا الكلاسيكية شيئان لهما من حيث المبدأ خصائص ديناميكية مختلفة تماماً وهما الجسيم والموجة. وبعد نجاح أينشتاين في بداية القرن العشرين 1905 في تفسير الظاهرة الكهروضوئية علي أساس أن الضوء يتكون من فوتونات "جسيمات"، أصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة وكنه الضوء هل هو موجة أم جسيم. وزاد هذا الغموض عندما نجح كوميتون في تفسير تشتت الأشعة السينية "تأثير كوميتون" علي أساس أنها فوتونات فلأصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة وكنه الأشعة السينية هل هي موجات أم جسيمات. وظل هذا الغموض حتى عام 1924 عندما تقدم العالم الفرنسي لويس دي برولي "Louis de Broglie" بفكرته الثورية عن الخاصية الثنائية للمادة وفيها أوضح أن للمادة صفة مزدوجة فهي تتسلق سلوك الموجة تحت بعض الظروف، وتتسلق سلوك الجسيم تحت ظروف أخرى. وتتلخص الخاصية الثنائية لدي برولي في أن الجسيم والموجة وجهان لعملة واحدة. فكما يمكن معاملة الموجة الكهرومغناطيسية ذات التردد  $\nu$  على أنها جسيم "فوتون" له طاقة  $E$  حيث:

$$E = h\nu \quad (1)$$

فإنه يمكن معاملة الجسيم الذي يتحرك بسرعة  $v$  وكتلته  $m$  والذي له كمية حركة خطية  $P = m v$  على أنه موجة طولها الموجي  $\lambda$  حيث:

$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (2)$$

حيث  $h$  مقدار ثابت يسمى ثابت بلانك. والعلاقتان (1), (2) تسميان بمسلمات دي برولي.

وتعد الخاصية الثنائية أحد أهم الدعائم التي تركز عليها الفيزياء الكمية، ولتحقيق

خاصية دي برولي الثنائية للإلكترون فإننا نريد أن نثبت أن الإلكترون يسلك سلوك الجسيمات

في بعض التجارب، وأنه يسلك سلوك الموجات في تجارب أخرى.

ولإثبات الخاصية الجسيمية للإلكترون فقد سبق وأن درسنا تجربة كوفمان لدراسة حركة

إلكترون في مجال مغناطيسي منتظم وتجربة طومسون والتي يدرس فيها حركة إلكترون

عمودياً علي مجالين متعامدين ومنتظمين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي، وفي هاتين

التجربتين استخدمنا أنبوبة أشعة الكاثود، وكان الشعاع الإلكتروني يسلك سلوك الجسيمات وتم

تعيين الشحنة النوعية  $e/m$  لهذا الجسيم "الإلكترون".

وفي هذه التجربة سنثبت الخاصية الموجية للإلكترون بإسقاط الشعاع الإلكتروني في

أنبوبة أشعة الكاثود علي بلورة متعددة "polycrystalline" من الجرافيت، فإذا ظهرت علي

الشاشة الفلورية حلقات تمثل هدب تداخل براج فمعني ذلك أن الشعاع الإلكتروني سلك سلوك

الموجات من حيود

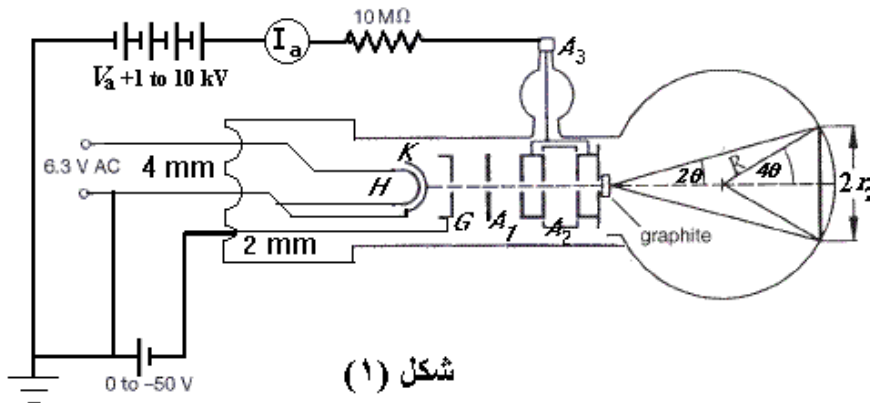
وتداخل.

أنبوبة أشعة

الكاثود المستخدمة في هذه

التجربة موضحة بالشكل

(1) وهي تتكون من:



شكل (1)

1- فتيلة  $H$  ترتفع درجة حرارتها عند مرور تيار كهربائي بها فيسخن الكاثود.

2- الكاثود  $K$  عندما ترتفع درجة حرارته تنبعث "تتحرر" منه إلكترونات.

3- الشبكة  $G$  تحيز بجهد سالب من صفر إلي  $50 V$  - للتحكم في كثافة الشعاع الإلكتروني

المنبعث من الكاثود.

4- الأنود الأول  $A_1$  والأنود الثاني  $A_2$  وهما يعملان عمل عدسة إلكتروستاتيكية تعمل علي

تجميع الشعاع الإلكتروني علي الشاشة الفلورية لنحصل علي صورة واضحة لهدب

التداخل.

5- الأنود الأخير  $A_3$  ويحيز بجهد عالي  $V_a$  من صفر إلى  $10\text{ kV}$  لتعجيل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود وإكسابها طاقة حركة عالية.

فإذا فرضنا أن طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة عند الكاثود مساوية للصفر، فإنه نتيجة لوجود فرق جهد  $V_a$  بين الأنود والكاثود تتحول طاقة الجهد الكهربائي  $eV_a$  إلى طاقة حركة للإلكترون أي أن:

$$eV_a = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

حيث:  $e$  شحنة الإلكترون،  $m$  كتلته،  $v$  سرعة الإلكترون التي ينفذ بها من الأنود. ومن العلاقة (3) نجد أن:

$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad (4)$$

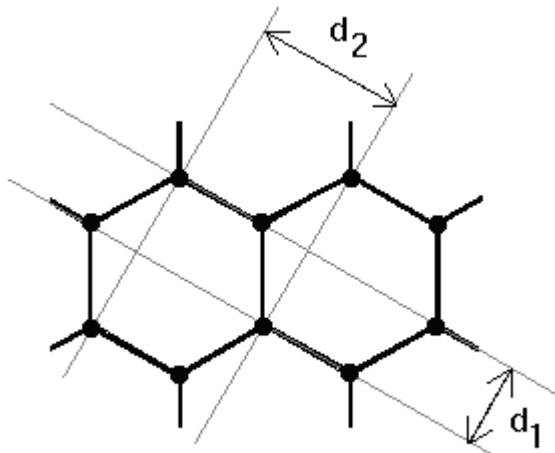


شكل (2)

ومن العلاقتين (2) ، (4) يكون الطول الموجي  $\lambda$  للموجة المصاحبة للإلكترون:

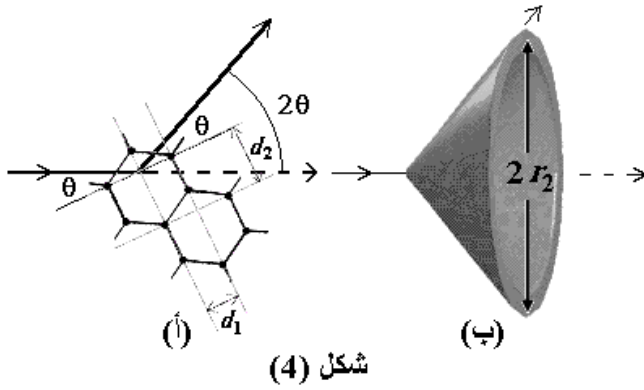
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV_a}} \quad (5)$$

عند سقوط هذه الموجة المصاحبة للشعاع الإلكتروني على شريحة رقيقة من الجرافيت موضوعة أمام الأنود الأخير فإنها تحيد عن مسارها وتظهر نمط تداخل براج يتكون أساساً من حلقتين متحدتي المركز كما بالشكل (2).



شكل (3)

يوضح الشكل (3) طريقة رصد ذرات الكربون في بلورة جرافيت أحادية وكما هو معلوم فلها شبكية سداسية Hexagonal lattice، وواضح من الشكل أن هناك مسافتان أساسيتان بين المستويات البلورية هما  $d_2 = 0.213\text{ nm}$  ،  $d_1 = 0.123\text{ nm}$



فإذا تصورنا أن الموجة المصاحبة  
للشعاع الإلكتروني سقطت على بلورة  
وحيدة من الجرافيت كما بالشكل (4 - أ)  
فإن الموجة المنعكسة من المستويات  
البلورية تتداخل تداخلاً بناءً فقط إذا حققت  
الزاوية  $\theta$  شرط تداخل براج:

$$2d_2 \sin \theta = n\lambda \quad (6)$$

حيث:  $d_2$  هي المسافة بين المستويات البلورية التي حدث عليها انعكاس الموجة،  $n$  عدد صحيح موجب يمثل رتبة التداخل،  $\theta$  هي زاوية براج وهي الزاوية المحصورة بين الموجة الساقطة والمستويات البلورية، ويلاحظ أن الزاوية التي يحيد بها الشعاع الإلكتروني تساوي  $2\theta$  كما هو موضح بالشكل (4 - أ).

ولما كانت شريحة الجرافيت عديدة البلورات Polycrystalline أي تتكون من عدد كبير من البلورات الأحادية الموزعة إتجاهياً توزيعاً عشوائياً، فلا بد أنه سيكون هناك عدد من البلورات التي تحقق شرط تداخل براج بالنسبة لاتجاه وطول موجة الشعاع الساقط. وبالتالي فإن الموجات المنعكسة من تلك البلورات والتي تحقق شرط براج تُكوّن مجسم مخروطي ينطبق محوره مع اتجاه الشعاع الساقط كما هو موضح بالشكل (4 - ب)، وهذا المجسم المخروطي يتقاطع مع الشاشة الفلورية العمودية علي محوره فتظهر حلقة مضيئة قطرها  $2r_2$  كما هو موضح بالأشكال (1)، (2)، (4). ومن هندسة الشكل (1) نجد أن:

$$\sin(4\theta) = \frac{r_2}{R} \quad (7)$$

حيث:  $r_2$  نصف قطر حلقة التداخل،  $R$  نصف قطر الانتفاخ الزجاجي لأنبوبة أشعة الكاثود. وباستخدام علاقة حساب المثلثات  $\sin(2\alpha) = 2 \sin \alpha \cos \alpha$  نحصل علي:

$$\begin{aligned} \sin(4\theta) &= 2 \sin(2\theta) \cos(2\theta) \\ &= 4 \sin \theta \cos \theta \cos(2\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

وحيث أن الزاوية  $2\theta$  صغيرة جداً وبالتالي  $\theta$  أيضاً صغيرة جداً، فإنه يمكن استخدام التقريب:

$$\cos(2\theta) \approx \cos\theta \approx 1$$

لتصبح العلاقة (8) علي الصورة:

$$\sin(4\theta) = 4 \sin \theta \quad (9)$$

من العلاقة (9)، (7) نحصل علي:

$$\sin \theta = \frac{r_2}{4R} \quad (10)$$

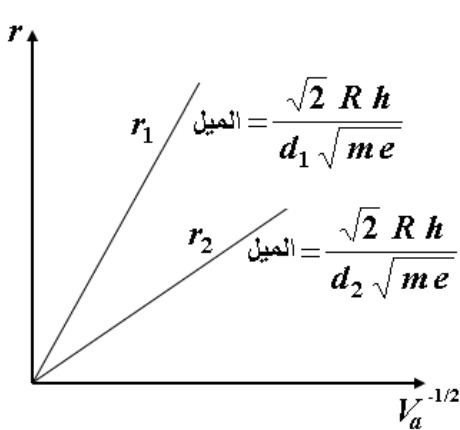
ومن العلاقات (10)، (6)، (5) نجد أن:

$$\frac{r_2}{4R} = \frac{n\lambda}{2d_2} = \frac{nh}{2d_2 \sqrt{2meV_a}}$$

وإذا أخذنا في الاعتبار الرتبة الأولى فقط  $n=1$  فإن هذه العلاقة يمكن كتابتها علي الصورة:

$$r_2 = \frac{\sqrt{2} R h}{d_2 \sqrt{me}} \frac{1}{\sqrt{V_a}} \quad (11)$$

وبنفس الطريقة يمكن استنتاج العلاقة بين  $r_1$  نصف قطر حلقة التداخل للموجات المنعكسة من المستويات البلورية والتي تفصلها المسافة البينية  $d_1$  وبين جهد الأنود  $V_a$  حيث:



شكل (5)

$$r_1 = \frac{\sqrt{2} R h}{d_1 \sqrt{me}} \frac{1}{\sqrt{V_a}} \quad (12)$$

ومن المعادلتين (11)، (12) برسم العلاقة بين نصف

قطر الحلقتين  $r_1$ ،  $r_2$  علي المحور الرأسي وبين

$1/\sqrt{V_a}$  علي المحور الأفقي، نحصل علي خطين

مستقيمين يمران بنقطة الأصل وميلهما يساوي

$(\sqrt{2Rh})/(d_1 \sqrt{me})$  ،  $(\sqrt{2Rh})/(d_2 \sqrt{me})$  كما بالشكل (5) وبمعلومية كل من

$R$  ،  $h$  ،  $m$  ،  $e$  يمكن حساب  $d_1$  ،  $d_2$ .

## الأدوات المستخدمة:



يوضح الشكل ( 6 ) الجهاز

المستخدم ويتكون من: أنبوبة أشعة

الكاثود – مصدر جهد عالي 10 kV –

مصدر جهد 50 V – اسلاك توصيل –

ميكروأميتر – قدمة ذات ورائية.

## تحذير:

الجهد المستخدم في هذه التجربة جهد مرتفع عدة كيلو فولتات ونظراً لخطورته

وحفاظاً علي سلامتك وسلامة زملائك وسلامة الأجهزة نرجو اتباع الآتي:

- 1- لا توصل التيار الكهربائي قبل أن يراجعها عضو هيئة التدريس.
- 2- لا تحاول لمس أي طرف توصيل أثناء التجربة.
- 3- الأنبوبة تتكون من زجاج رقيق ومفرغة من الهواء فهي عرضة للكسر بسهولة فلا تعرضها لأي صدمة ميكانيكية.
- 4- للحفاظ علي بلورة الجرافيت الموجود بين الأنود والشاشة لابد أن يكون تيار الأنبوبة  $I_a$  أقل من  $100 \mu A$  فإذا زاد التيار عن ذلك أرفع بسرعة جهد الشبكة. ويمكن تغيير موقع سقوط الشعاع الإلكتروني علي شريحة الجرافيت باستخدام مغناطيس كهربائي صغير يوضع حول عنق الأنبوبة عند بندقية الإلكترونات.
- 5- البقعة المضيئة بشدة في مركز الشاشة قد تتلف مادة الشاشة الفلورسكية، وللحفاظ علي الأنبوبة تأخذ القراءات بسرعة ثم نقلل شدة الإضاءة بين كل قراءة وأخرى بزيادة جهد الشبكة G.
- 6- إذا زاد جهد الأنود عن 5 kV فإن الأنبوبة تشع أشعة سينية فلا ترفع جهد الأنود عن 5 kV.
- 7- عند حدوث أي خطأ لا قدر الله إنزع قابس الكهرباء بسرعة.
- 8- لضمان رؤية جيدة للحلقات تجري هذه التجربة في مكان مظلم.



## خطوات العمل:

- 1- وصل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1).
- 2- مرر تيار الفتيلة لمدة دقيقة قبل تشغيل جهد الأنود  $V_a$ .
- 3- أضبط جهد الأنود  $V_a$  عند  $2.5 \text{ kV}$  ثم عدل جهد الشبكة  $G$  حتي تحصل علي أوضح صورة للحلقات التي تمثل هذب تداخل براج. ويجب أن تلاحظ تيار الأنود  $I_a$  بحيث لايزيد عن  $100 \mu A$  فإذا زاد التيار عن ذلك أرفع بسرعة جهد الشبكة.
- 4- عين نصف قطر كل من حلقتي تداخل براج الظاهرتين علي الشاشة الفلورية بواسطة القدمة ذات الورانية وسجل النتائج في الجدول التالي.
- 5- البقعة المضيئة بشدة في مركز الشاشة قد تتلف مادة الشاشة الفلورية، وللحفاظ علي الأنبوبة تأخذ القراءات بسرعة ثم نقل شدة الإضاءة بين كل قراءة وأخري بزيادة جهد الشبكة  $G$ .
- 6- كرر الخطوات من 3 إلي 5 عدة مرات عند جهود مختلفة للأنود وسجل النتائج في الجدول التالي.
- 7- ارسم العلاقة بين نصف قطر الحلقتين  $r_1, r_2$  علي المحور الرأسي وبين  $1/\sqrt{V_a}$  علي المحور الأفقي، نحصل علي خطين مستقيمين يمران بنقطة الأصل وميلهما يساوي  $(\sqrt{2Rh})/(d_1 \sqrt{me})$  ،  $(\sqrt{2Rh})/(d_2 \sqrt{me})$  كما بالشكل (5) وبمعلومية كل من  $R, h, m, e$  يمكن حساب  $d_1, d_2$ .

## النتائج:

$(kV)V_a$	$(cm)r_1$	$(cm)r_2$	$V_a^{-1/2}$
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			

$$R=6.5 \text{ cm}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

$$m = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r_1 = \text{ميل الخط} = \dots\dots$$

$$d_1 = \dots\dots$$

$$r_2 = \text{ميل الخط} = \dots\dots$$

$$d_2 = \dots\dots$$

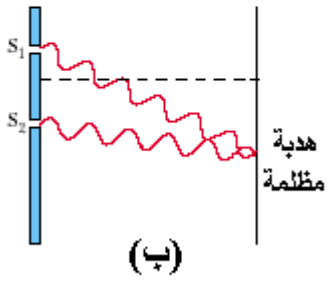
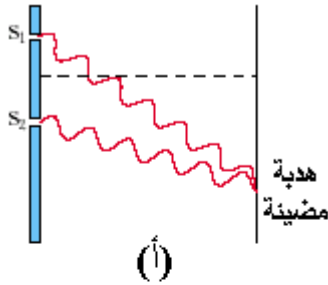
## مقياس التداخل لميكلسون

### الهدف من التجربة:

1. دراسة ظاهرة التداخل.
2. دراسة مقياس التداخل لميكلسون.
3. تعيين الطول الموجي لشعاع الليزر.

### نظرية التجربة:

تحدث ظاهرة التداخل في الضوء نتيجة للتراكب بين



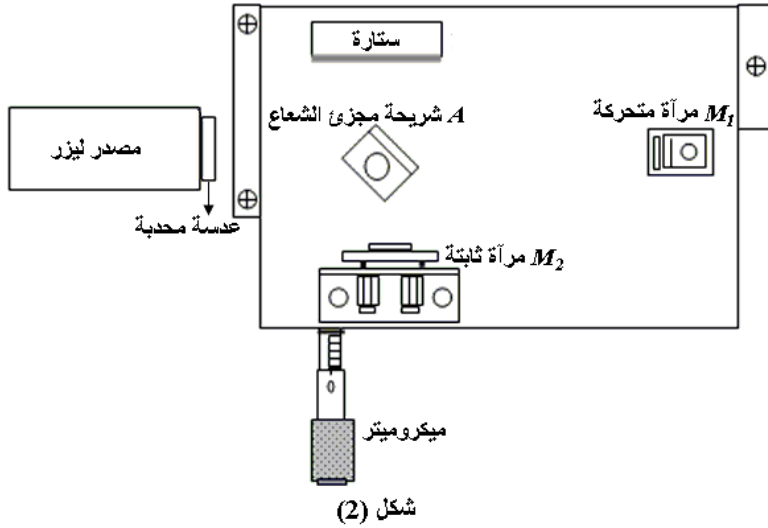
شكل (1)

شعاعين ضوئيين لهما نفس الطول الموجي (وبالتالي نفس التردد) ومتساويين في الشدة ومتوافقين "coherent" (ومعني التوافق أن فرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن). فإذا سقط هذان الشعاعان علي نقطة واحدة وكان فرق الطور بينهما  $2n\pi$  أي أن فرق المسير بينهما عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية  $n\lambda$ ، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قمة، وقاع مع قاع فيقوي كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبة مضيئة كما بالشكل (أ-1). أما إذا كان فرق الطور بينهما  $[(2n+1)\pi]$  أي أن فرق المسير بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية  $[(2n+1)\lambda/2]$ ، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قاع، وقاع مع قمة فيضعف كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبة مظلمة كما بالشكل (ب-1).

ويمكن الحصول علي ظاهرة التداخل بواسطة:

- 1- تقسيم صدر الموجة: مثل التداخل من فتحتين مستطيلتين ضيقتين "تجربة ينج".
- 2- تقسيم سعة الموجة: مثل التداخل بالانعكاس المتكرر كمقياس التداخل لفابري بيرو، والتداخل في الأغشية الرقيقة كمقياس التداخل لميكلسون وحلقات نيوتن.

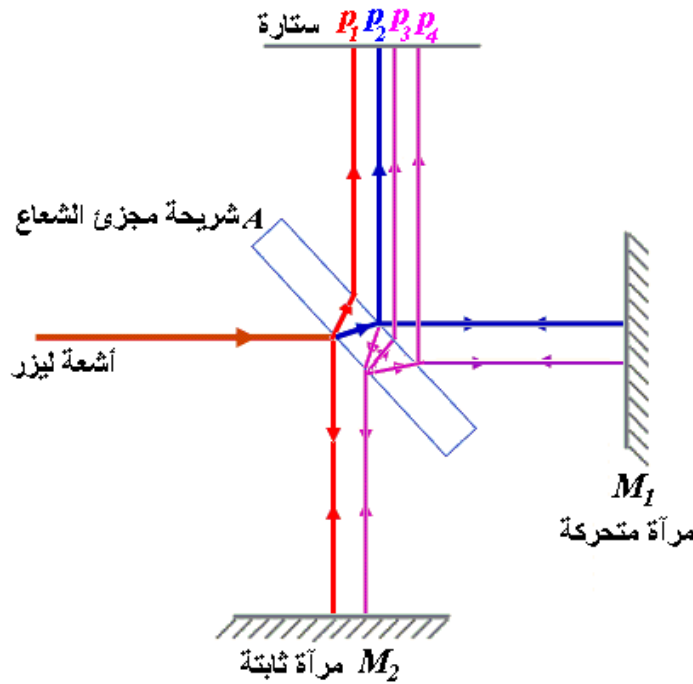
يتكون مقياس التداخل



شكل (2)

لميكلسون كما هو موضح بالشكل (2) من مرآتين  $M_1$ ،  $M_2$  على درجة عالية من الصقل وشريحة زجاجية  $A$  نصف مفضضة تجزئ الشعاع، ومصدر لأشعة الليزر، وعدسة محدبة توضع أمام مصدر الليزر مباشرة، وستارة لرؤية الهدف.

وعند ضبط الجهاز يجب أن تكون المرآتان  $M_1$ ،  $M_2$  متعامدتين وتكون المرآة  $M_1$  عمودية على الشعاع الساقط وعندما تكون الشريحة  $A$  مائلة بزاوية  $45^\circ$  على اتجاه الشعاع الساقط فإنه سوف تظهر أربع صور للمصدر الضوئي كما هو موضح بالشكل (3). فعندما



شكل (3)

يسقط شعاع الليزر علي وجه الشريحة الزجاجية  $A$  الأول فإنه ينقسم إلى جزئيين، جزء منعكس وآخر منكسر. الجزء المنعكس يسقط عمودياً علي المرآة  $M_2$  وينعكس عليها ليسقط علي الستارة مكوناً الصورة  $p_1$ . أما الجزء المنكسر فإنه ينقسم إلى جزئيين آخرين عندما يسقط علي وجه الشريحة  $A$  الثاني، جزء ينكسر ليسقط عمودياً علي المرآة  $M_1$  وينعكس عليها ويكون الصورة  $p_2$ ، أما الجزء الآخر فينعكس ليقابل وجه الشريحة الأول مرة أخرى

لينقسم عندها إلى جزئيين جزء ينعكس علي المرآة  $M_2$  ليكون الصورة  $p_3$  والآخر ينعكس علي المرآة  $M_1$  ليكون الصورة  $p_4$ . ويلاحظ أن كل من الشعاع المكون للصورة  $p_1$ ،  $p_2$  يكون قد

عبر الشريحة  $A$  مرة واحدة فقط أما كل من الشعاع المكون للصورة  $p_3, p_4$  يكون قد عبر الشريحة  $A$  ثلاث مرات ولذلك تكون شدة استضاءة كل من  $p_1, p_2$  أكبر من شدة استضاءة كل من  $p_3, p_4$ . كما يلاحظ أن كل من الصورة  $p_1, p_3$  قد تكونتا نتيجة للانعكاس علي المرآة  $M_2$ ، أما الصورتين  $p_2, p_4$  فقد تكونتا نتيجة للانعكاس علي المرآة المتحركة  $M_1$ .

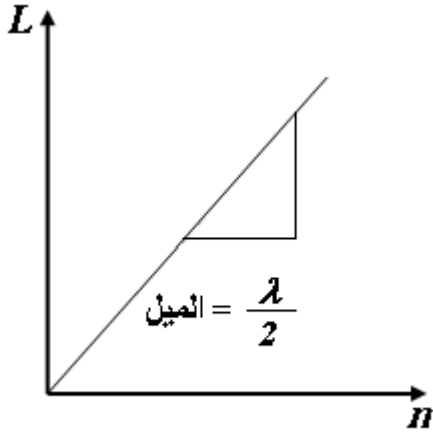


شكل (4)

عند ضبط المرآتان  $M_1, M_2$  بحيث تكونا متعامدتين تماماً تتراكب الصورتان  $p_1, p_2$  معا كما تتراكب الصورتان  $p_3, p_4$  معا وينشأ من ذلك هدب التداخل التي تظهر كما بالشكل (4).

عندما نحرك المرآة المتحركة  $M_1$  مسافة  $(\lambda/2)$  بحيث

تظل عمودية على  $M_2$  وعلى الشعاع الساقط، فإن فرق المسار بين الشعاعين المتراكبين عند الستارة سوف يزداد بمقدار  $\lambda$ . وهذا يعني أن كل هدب مضئية تحل محل الهدب المضئية المجاورة لها. وبالتالي فإذا حركنا المرآة  $M_1$  مسافة  $L$  تساوي عدد صحيح من أنصاف الأطوال الموجية  $(n\lambda/2)$  فإن عدد  $n$  من الهدب المضئية سوف يظهر الستارة، أي أن:



شكل (5)

$$L = \frac{\lambda}{2} n$$

ويوضح الشكل (5) هذه العلاقة بين  $L$  علي المحور الرأسي،  $n$  علي المحور الأفقي وهي عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $(\lambda/2)$  ومنه يمكننا حساب الطول الموجي  $\lambda$ .

### خطوات العمل:

- 1- ركب جهاز مقياس التداخل لميكلسون كما هو موضح بالشكل (2).
- 2- أضبط قراءة الميكرومتر في البداية لكي تكون على الصفر تماماً.

3 -أضبط شعاع الليزر بحيث يسقط عموديا على المرآة المتحركة  $M_1$ . ويتم ذلك – بعد أن يبعد اللوح  $A$  عن مسار الشعاع – وبواسطة مجموعة المسامير المثبتة بقاعدة الجهاز يمكن التأكد من أن الشعاع يسقط عموديا على المرآة  $M_1$  كالآتي:

a. ينعكس شعاع الليزر على نفسه فلا تظهر أي صور له للأشعة المنعكسة بجوار فتحة أنبوبة الليزر.

b. عند وضع ستارة خلف المرآة  $M_1$  فإذا كان الشعاع غير عمودي على المرآة فسوف يظهر على الستارة نقطة أساسية مضيئة مصحوبة بعدة نقاط ثانوية وعندما يكون الشعاع عموديا على المرآة ستظهر نقطة واحدة فقط على الستارة.

4 -حرك شريحة مجزئ الشعاع  $A$  بحيث يصنع زاوية  $45^\circ$  تقريبا مع الشعاع الساقط ويمكن التأكد من ذلك كالآتي:

a. الشعاع المنعكس منه يسقط في مركز المرآة الثابتة  $M_2$ .

b. صور المصدر الأربعة  $p_1, p_2, p_3, p_4$  المتكونة على الستارة تكون قريبة بعضها من بعض.

5 -ح رك المسامير المحويان والموجودان خلف المرآة الثابتة  $M_2$  بحيث تتراكب الصورتان  $p_1, p_2$  معا كما تتراكب الصورتان  $p_3, p_4$  معا، وثأكد من ذلك بأن نري هذب مضيئة ومظلمة رفيعة قريبة داخل النقطة المضيئة بالعين المجردة.

6 -ضع العدسة المحدبة أمام أنبوبة شعاع الليزر وأضبط موضعها حتى يتركز الشعاع المتفرق على مجزئ الشعاع (الشريحة  $A$ ) وعندئذ سوف تظهر الهدب بوضوح على الستارة. إذا لم تظهر الهدب بوضوح حرك مسامير الضبط المثبتة خلف المرآة الثابتة  $M_2$  بعناية فائقة حتى تظهر الهدب واضحة كما بشكل (4).

7 -أدر الميكرومتر ولاحظ عدد الهدب العابرة لمجال الرؤية.

8 -بعد كل مرة تعبر فيها مجال الرؤية 20 هدبه عين قراءة الميكرومتر و هي تساوي المسافة  $L$  التي تحركتها المرآة المتحركة  $M_1$  من بداية التجربة. "يلاحظ أن كل لفه كاملة للميكرومتر يقابلها إزاحة للمرآة المتحركة تساوي 25 ميكرون، أي أن الشرطة الواحدة علي الميكرومتر يقابلها إزاحة للمرآة المتحركة مقدارها 1 ميكرون".

9- دون النتائج بالجدول المرفق وأرسم العلاقة بين  $L$  على المحور الرأسي ،  $n$  على المحور الأفقي ثم عين  $\lambda$  من ميل الخط المستقيم.

**النتائج:**

$n$	$L$
20	
40	
60	
80	
100	

ميل الخط المستقيم  $= (\lambda/2) = \dots\dots$

الطول الموجي  $\lambda = \dots\dots$  أنجسترم

**ملحوظة:**

1 ميكرون  $(\mu m) = 10^{-6}$  متر  $(m)$

1 أنجستروم  $(A^o) = 10^{-10}$  متر  $(m)$

## تحقيق قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج

### الغرض من التجربة:

تحقيق قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج.

### مقدمة :

في الميكانيكا الكلاسيكية يمكن قياس جميع الكميات الفيزيائية في نفس الوقت بدقة متناهية، فمثلاً بمعلومية الموضع الابتدائي والسرعة الابتدائية للجسيم وعجلته يمكن تعيين كل من سرعته وكمية حركته وطاقته وموضعه عند أي لحظة زمنية بدقة عالية. ولكن على النقيض من ذلك فليست جميع الكميات الفيزيائية في ميكانيكا الكم يمكن أن تقاس في نفس الوقت. أي أن هناك بعض الكميات الفيزيائية في ميكانيكا الكم والتي يستحيل أن يكون لها في نفس اللحظة الزمنية قيم محددة تماماً. وهذه الكميات الفيزيائية التي يستحيل تحديد قيمها الذاتية معاً في نفس اللحظة عبارة عن أي زوج من الأزواج المترافقة " any pair of canonically conjugate quantities " ومن أمثلتها (كمية الحركة  $P_x$  والموضع  $x$ ) أو (كمية الحركة الزاوية  $J_z$  angular momentum والموضع الزاوي  $\phi$  في المستوى  $xy$ ) أو (الطاقة  $E$  والزمن  $t$  الذي قيست خلاله).

وفي عام (1927) قدم هيزنبرج قاعدته لعدم التحديد والتي أوضح فيها أنه من المستحيل أن نحدد بدقة تامة وفي نفس اللحظة قيمة كل من الكميتين الفيزيائيتين المترافقتين. ويكون عدم التحديد في الكمية المترافقة الأولى مضروباً في عدم التحديد للكمية المترافقة الثانية أكبر من أو يساوي  $(h / 2\pi)$  حيث  $h$  هو ثابت بلانك. أي أنه يمكن وضع قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج في إحدى الصور الرياضية الآتية:

$$\Delta y \cdot \Delta P_y \geq \hbar \quad (1)$$

$$\Delta \phi \cdot \Delta J_z \geq \hbar \quad (2)$$

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar \quad (3)$$

حيث :

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (4)$$



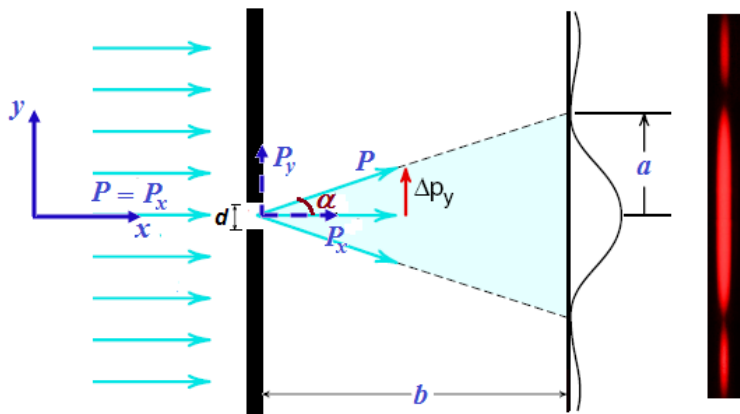
فلذا كان للجسيم كمية حركة  $P_y$  محددة تماماً عند لحظة زمنية معينة أي أن نسبة الخطأ في القياس "عدم التحديد" تساوي صفراً، أي أن  $(\Delta P_y = 0)$ ، فإن العلاقة (1) تعني أن احتمالات موضع الجسيم في الفراغ عند نفس اللحظة تكون متساوية أي لا يمكن تحديد موضعة في الفراغ إطلاقاً مما يعني أي أن  $y$  تأخذ أي قيمة وبالتالي فنسبة الخطأ "عدم التحديد" في موضع الجسيم تساوي ما لا نهاية أي أن  $\Delta y = \infty$ .

والعكس صحيح بمعنى أنه إذا حدد موضع الجسيم  $y$  بدقة متناهية عند لحظة معينة فإننا لا نستطيع بأي شكل أن نحدد كمية حركته  $P_y$  - (أي أننا نفقد جميع المعلومات عن كمية الحركة) - عند نفس اللحظة.

كما أن العلاقة (1) تعني في الحالة الوسط - "الدقة غير متناهية" - أن عملية القياس في الفيزياء الذرية تدفع إلى زيادة عدم الدقة في تحديد المكان  $(\Delta y)$  كلما زادت الدقة في قياس كمية الحركة الخطية  $(\Delta P_y)$  عند نفس اللحظة الزمنية والعكس صحيح.

## نظرية التجربة:

إذا سقطت حزمة من الأشعة المتوازية على فتحة مستطيلة ضيقة وكانت تلك الحزمة أحادية اللون "Monochromatic" ومتحدة في الطور "Coherent" وتحققت شروط حيود فرنهوفر فإنه يظهر على الشاشة هـ دب الحيود لفرنهوفر.



شكل (1)

وطبقاً للخاصية الثنائية لدى برولي فإنّه يمكن النظر لتلك الحزمة الضوئية على أنها مجموعة من الفوتونات "جسيمات كمية" تسير بسرعة الضوء  $c$  في خطوط مستقيمة موازية لمحور  $x$  وأن الفتحة المستطيلة الضيقة تكون عمودية على هذا المحور كما بالشكل (1).

وإذا فرضنا أن إحداثيات حافتي الفتحة هي  $y_1, y_2$  فإن:

$$d = y_2 - y_1 \quad (5)$$

حيث  $d$  هو عرض الفتحة.

وإذا درسنا حركة أحد الفوتونات بالتفصيل كما بالشكل (1) نجد أن حركته تكون موازية لمحور  $x$  قبل دخوله للفتحة ولأن طاقة الفوتون محددة تماماً "لأن الشعاع أحادي اللون" فإن كمية حركته تكون أيضاً محددة تماماً مقداراً وإتجاهاً حيث إتجاهها هو إتجاه محور  $x$  أي أن:

$$P_x = P = \frac{h}{\lambda} \quad (6)$$

وبالتالي فإن مركبة كمية الحركة  $P_y$  في إتجاه محور  $y$  تكون محددة تماماً وتساوي الصفر:

$$P_y = 0 \quad (7)$$

$$\therefore \Delta P_y = 0 \quad (8)$$

وحيث أننا قد حددنا إحدى الكميتين المترافقتين بدقة متناهية فإننا نفقد جميع المعلومات عن الكمية المترافقة الثانية. وبالتالي فإن موضع الفوتون لا يكون معروفاً إطلاقاً ، أي أن  $y$  محصورة ما بين  $(-\infty \rightarrow +\infty)$  أي أن:

$$\Delta y = \infty \quad (9)$$

ولكن أي فوتون يصل إلى الشاشة لابد وأن يكون قد مر خلال الفتحة ، أي أننا نستطيع تحديد موضع الفوتون عند الفتحة لأنه عند مروره منها لابد وأن تكون إحداثياته محصورة ما بين  $(y_1 \rightarrow y_2)$ . وبالتالي فإن مقدار الدقة يتناسب عكسياً مع عرض الفتحة ويكون عدم التحديد مساوياً لعرض الفتحة  $d$  أي أن:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = d \quad (10)$$

ونتيجة لإمكانية تحديد الموضع - (الدقة في تحديد الموضع زادت من لاشيء إلى قيمة ما تساوي  $d$ ) - فإن مركبة كمية الحركة  $P_y$  لن تظل مساوية للصفر - (لن تظل محددة بدقة متناهية ولكن سوف تقل دقة تحديدها) - ولكن ستصبح لها مدى معين قيمتها محصورة فيه.

ونحن لا نستطيع تحديد النقطة التي سيصطدم بها الفوتون على الشاشة ولكن نعلم أن المنطقة الأكثر احتمالاً ليصطدم بها هي الهدبة المركزية المضيئة وهي المنطقة على الشاشة المحصورة بين الهدبة المظلمة الأولى يميناً ويساراً والتي تتحدد في حيود فرنفور من العلاقة:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d} \quad (11)$$

ولذلك فإنه من الممكن تقبل القول بأن مركبة كمية الحركة  $P_y$  للفوتون بعد مروره من الفتحة تكون محصورة بين  $(0 \rightarrow P \sin \alpha)$  ومعنى ذلك أن عدم التحديد في كمية الحركة  $P_y$  للفوتون عند مروره من الفتحة هو:

$$\Delta P_y = P \sin \alpha - 0 = P \sin \alpha \quad (12)$$

ولكن من مسلمة دي برولي  $\lambda = h/p$  نجد أن:

$$\Delta P_y = \frac{h}{\lambda} \sin \alpha \quad (13)$$

ومن شرط حيود فرنفور "العلاقة (11)" تصبح العلاقة (13) علي الصورة:

$$\Delta P_y = \frac{h}{d} \quad (14)$$

ومن العلاقة (12)، (14) يتضح أنه كلما قل عرض الفتحة  $d$  زاد عدم التحديد في  $P_y$  فنييد إتساع هدب الحيود لزيادة  $\sin \alpha$  ومن العلاقتين (10)، (14) نجد أن:

$$\Delta y \cdot \Delta P_y = h \quad (15)$$

ومن الشكل (1) نجد أن:

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \quad (16)$$

$$\therefore \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right) \quad (17)$$

ومن العلاقتين (13)، (17) نجد أن:

$$\Delta P_y = \frac{h}{\lambda} \sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right) \right) \quad (18)$$

بالتعويض من العلاقتين (10)، (18) في العلاقة (15) نجد أن:

$$\frac{d}{\lambda} \sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right) \right) = 1 \quad (19)$$

فإذا تحققت تلك العلاقة فإن قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج تكون صحيحة.

### ملحوظة:

في العلاقة (13) حيث أن الزاوية  $\alpha$  زاوية صغيرة يمكن استخدام التقريب:

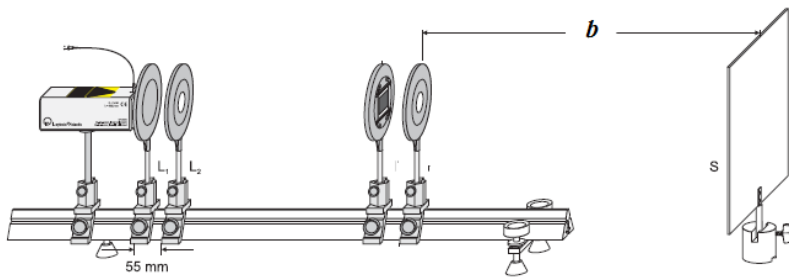
$$\sin \alpha \cong \tan \alpha \cong \frac{a}{b} \quad (20)$$

وبالتالي يمكن الحصول على العلاقة (19) في الصورة التقريبية:

$$\frac{d}{\lambda} \frac{a}{b} = 1 \quad (21)$$

والتي بواسطتها هي أو المعادلة (19) يمكن تحقيق قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج.

### خطوات العمل:



شكل (2)

1- رتب أدوات التجربة كما

هو موضح بالشكل (2)،

فضع أنبوبة الليزر على يسار

الحامل البصري وضع أمامها

فتحة مستطيلة ضيقة عرضها

معلوم  $d$ . ثم ضع خلف الفتحة مباشرة عدسة لامة بعدها البؤري  $(b=12.7cm)$ . ثم ضع في

الطرف الأيمن للحامل البصري ستارة الرؤية المدرجة علي بعد  $b$  من العدسة المحدبة.

2- اضبط وضع كل من الفتحة وأنبوبة الليزر حتى يسقط كل شعاع الليزر على عرض الفتحة

المستطيلة الضيقة وحتى يظهر على الستارة نمط حيود فرنهوفر.

3- بواسطة التدريج الموجود علي ستارة الرؤية عين عرض الهدبة المركزية المضيئة  $a$  والذي

يساوي المسافة بين موضعي الهدبة المظلمة الأولى جهة اليمين والهدبة المظلمة الأولى جهة

اليسار.

4- عوض بالنتائج في الطرف الأيسر لكل من العلاقاتين (19)، (21) فإذا ساوى كل منهما الواحد الصحيح تقريباً نكون بذلك قد حققنا قاعدة عدم التحديد لهيزنبرج.

5- كرر ما سبق مستخدماً عدة فتحات مستطيلة ضيقة عرض كل منها  $d$  مختلف عن الأخرى ودون النتائج بالجدول المرفق.

### النتائج:-

$$b = 50.0 \text{ cm}$$

$$\lambda = 6328 \text{ Å}$$

$d$	$a$	$\frac{d}{\lambda} \sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right) \right)$	$\frac{d}{\lambda} \frac{a}{b}$

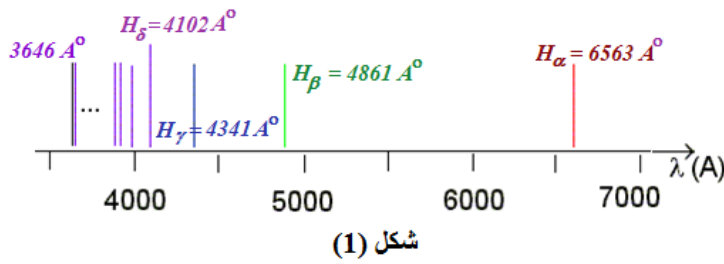
## تعين ثابت ريديرج

### الهدف من التجربة:

- 1- دراسة نظرية بوهر لتركيب ذرة الهيدروجين.
- 2- تعيين الأطوال الموجية لخطوط متسلسلة بالمر للهيدروجين.
- 3- تعيين ثابت ريديرج.

### مقدمة:

أثبتت تجربة طومسون لتعيين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  وتجارب التحليل الكهربائي لفاراداي أن الذرة المتعادلة تتكون من شحنات سالبة وأخرى موجبة، وبالرغم من وجود قوى تجاذب بين الشحنات المختلفة "قوة كولوم" إلا أن الذرة ثابتة. كما أثبتت تجارب كل من بالمر ورايديرج أن طيف ذرة الهيدروجين طيف خطي يتكون من خطوط منفصلة بعضها عن بعض بمسافات تتناقص تدريجياً كلما قل طولها الموجي إلى أن تصبح الخطوط متزاحمة



ومتجمعة لا نستطيع تم ييزها كما بالشكل (1). وسميت تلك الخطوط الطيفية بسلسلة بالمر وقد وضع كل من بالمر ورايديرج علاقة تجريبية تحكم قيم العدد الموجي  $\bar{\nu}$  وهي:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_{\infty} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) ; n > 2 \quad (1)$$

كما أثبتت التجارب الطيفية أن ذرة الهيدروجين تمتص فقط الأطوال الموجية التي تبعثها.

فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير ثبات الذرة وفي تفسير الطيف الخطي لذرة

الهيدروجين، كما فشلت في تفسير لماذا ذرة الهيدروجين تمتص فقط الأطوال الموجية التي

تبعثها. فمؤيد رذرفورد لتركيب الذرة الذي وضعه علي أسس كلاسكية عام 1911، أفترض

فيه أن الشحنة الموجبة للذرة وكتلتها تتمركز في حجم صغير للغاية في مركز الذرة سماه النواة

وأن معظم حجم الذرة فراغ تنتشر فيه الإلكترونات . ولتفسير ثبات الشحنات السالبة

"الإلكترونات" أفترض رذرفورد أن الإلكترونات تدور في مدارات دائرية حول النواة بسرعة  $v$  وأن قوة الطرد المركزية تتعادل مع قوة الجذب الكهربائي لكولوم:

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{Z e^2}{r^2} \quad (2)$$

حيث:  $m$  كتلة الإلكترون،  $r$  نصف قطر المدار،  $k$  ثابت كولوم،  $Z$  العدد الذري،  $e$  شحنة الإلكترون. إلا أن نموذج رذرفورد تحطم علي صخرة الكهرومغناطيسية، فطبقاً للنظرية الكهرومغناطيسية "أحد أفرع الفيزياء الكلاسيكية" فالأجسام المشحونة تصدر عند تسارعها إشعاعاً كهرومغناطيسياً وبالتالي فإن الإلكترون يصدر أثناء دورانه حول النواة إشعاعاً كهرومغناطيسياً تكون طاقة الإشعاع علي حساب طاقة الحركة للإلكترون مما يؤدي لنقص سرعة الإلكترون  $v$  وبالتالي نقص القوة الطاردة المركزية عن قوة جذب كولوم مما يؤدي إلي إقتراب الإلكترون من النواة أثناء دورانه حولها وأخذ مساراً حلزونياً وسقوطه في النواة وتفني الذرة. وهذا بالطبع يتناقض مع الواقع وثبات الذرة. وفشل نموذج رذرفورد في تفسير الطيف الخطي لذرة الهيدروجين، فطبقاً لنموذج رذرفورد نتيجة لدوران الإلكترون حول النواة يعمل كمذبذب يشع موجة كهرومغناطيسية ترددها  $\nu$  حيث:

$$\nu = \frac{v}{2 \pi r}$$

ولأن الإلكترون طبقاً لنموذج رذرفورد يمكنه أن يتواجد علي أي مسافة  $r$  من النواة ولأنه كلما أقترب من النواة تزداد سرعته  $v$  وبالتالي يكون طيف الذرة هو طيف مستمر علي عكس النتائج المعملية.

### نظرية التجربة:

صاغ بوهر في عام 1913 نموذجه لتركيبة الذرة الذي نجح في تفسير كل من استقرار ذرة الهيدروجين والطيف الخطي لها، كما تتنبأ بسلاسل طيفية أخرى غير سلسلة بالمر التي تقع في المنطقة المرئية. ويعتبر نموذج بوهر مزيجاً من الفيزياء الكلاسيكية وفرضية بلانك الكمية. ولقد افترض بوهر ما يلي:

1. تتكون الذرة من نواة متناهية في الصغر تقع في مركز الذرة وأن معظم حجم الذرة فراغ تنتشر فيه الإلكترونات. وتدور الإلكترونات حول النواة بسرعة  $v$  في مدارات دائرية معينة وتتعاذل قوة الطرد المركزية مع قوة الجذب الكهربائي لكولوم:

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{Z e^2}{r^2} \quad (2)$$

2. تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات دائرية محددة بحيث تكون كمية حركتها الزاوية "عزم كمية الحركة"  $L$  مساوية لأحد مضاعفات الثابت  $\hbar$ :

$$L = m v r = n \hbar \quad (3)$$

حيث:

$$n = 1, 2, 3, \dots \text{ عدد صحيح}$$

$$\hbar = h/2\pi, \quad h \text{ ثابت بلانك.}$$

3. طالما الإلكترون يدور في تلك المدارات المسموحة والمحددة بالشرط (3) فإن قوانين النظرية الكهرومغناطيسية تكون مُعطلة، أي تكون طاقة الإلكترون في مداره المسموح مقداراً ثابتاً فلا يشع موجات كهرومغناطيسية أثناء دورانه حول النواة.

4. يشع الإلكترون موجات كهرومغناطيسية عند إنتقاله من مدار ابتدائي مسموح ذو طاقة أعلى إلي مدار آخر أقل في الطاقة، وتكون طاقة الفوتون المنبعث مساوية لفرق الطاقة بين المدارين:

$$\Delta E = E_i - E_f = h \nu \quad (4)$$

حيث  $E_i > E_f$ .

واضح من الفروض 1، 3 نجاح نظرية بوهر في التغلب علي عقبة "صخرة" الكهرومغناطيسية، وسنوضح فيما يلي كيف نجح بوهر في إثبات وتفسير الطيف الخطي لذرة الهيدروجين وذلك باستخدام فروضه الأربعة في حساب طاقة المدارات المسموحة ومنها نحسب الأطوال الموجية التي يمكن للذرة أن تبعثها.

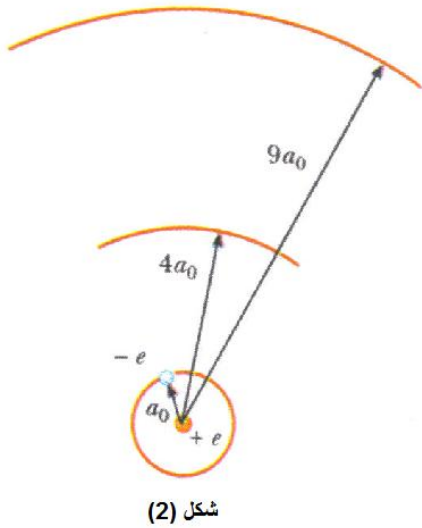
فبضرب طرفي العلاقة (2) في الوسطين وضرب الناتج في  $m$  نحصل علي:



$$m^2 v^2 r^2 = r k Z e^2 m$$

وبمقارنة الناتج بالعلاقة (3) نحصل علي:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{k Z e^2 m} n^2 \quad (5)$$



أي أن فرض بوهر الثاني "عزم كمية الحركة مكتم" جعل أنصاف أقطار المدارات المسموحة مكتمة ايضاً، وتتناسب طردياً مع  $n^2$ . بمعنى أنه إذا كان نصف قطر المدار الأول  $r_1 = a_0$  فإن نصف قطر المدار الثاني  $r_2 = 4a_0$  والثالث  $r_3 = 9a_0$  ولا يمكن للإلكترون أن يتواجد في المسافات بين تلك المدارات المسموحة، كما هو موضح بالشكل (2). بالتعويض من العلاقة (5) في العلاقة (3) نحصل علي:

$$v_n = \frac{k Z e^2}{\hbar} \frac{1}{n} \quad (6)$$

أي أن سرعة الإلكترون  $v_n$  أيضاً مكتمة، وتكون أكبر ما يمكن في المدار الأول وتتناقص ببعد المدار عن النواة أي بزيادة العدد الكمي  $n$ .

ومن العلاقة (6) يمكننا الحصول علي طاقة حركة الإلكترون  $T$ :

$$T_n = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{m k^2 Z^2 e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (7)$$

ونتيجة لوجود الإلكترون في المجال الكهربائي للنواة موجبة الشحنة، يكتسب طاقة جهد "طاقة كامنة أو طاقة وضع"  $V$ :

$$V_n = -k \frac{Z e^2}{r} = -\frac{m k^2 Z^2 e^4}{\hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (8)$$

والطاقة الكلية للإلكترون  $E$  تساوي مجموع طاقتي الجهد والحركة، أي أن:

$$E_n = T_n + V_n = - \frac{m k^2 Z^2 e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (9)$$

ونلاحظ من تلك العلاقة أن طاقة الإلكترون الكلية مكتمة، أي تأخذ قيمة محددة فقط تبعاً لقيمة العدد الصحيح  $n$ . ونلاحظ أيضاً أن الطاقة تتناسب تناسباً عكسياً مع مربع العدد الكمي  $n$ . وبالتعويض عن  $n=1$ ،  $Z=1$ ، وباقي قيم الثوابت في العلاقة (9)، نحصل على طاقة ربط ذرة الهيدروجين:

$$E_1 = -21.7 \times 10^{-19} \text{ J} = -13.6 \text{ e.V.}$$

وطبقاً لفرض بوهر الرابع، يشع الإلكترون موجات كهرومغناطيسية عند إنتقاله من مدار ابتدائي مسموح  $n_i$  ذو طاقة أعلى، إلى مدار آخر  $n_f$  ذو طاقة أقل وتكون طاقة الفوتون المنبعث مساوية لفرق الطاقة بين المدارين:

$$\Delta E = E_{n_i} - E_{n_f} = h \nu \quad (4)$$

حيث  $n_i > n_f$ .

وبالتعويض من العلاقة (9) في العلاقة (4) نحصل على:

$$h \nu = \frac{m k^2 Z^2 e^4}{2 \hbar^2} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (10)$$

والعلاقة بين الطول الموجي  $\lambda$  والتردد  $\nu$  للموجة التي يشعها الإلكترون هي:

$$\lambda \nu = c \quad (11)$$

حيث  $c$  سرعة الضوء. ومن العلاقتين (10)، (11) نحصل على علاقة تشبه العلاقة التجريبية التي وضعها بالمر ورايدبرج:

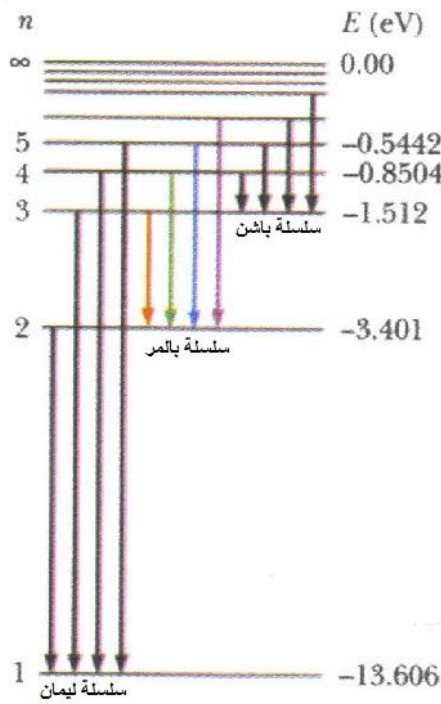
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m k^2 Z^2 e^4}{4 \pi \hbar^3 c} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$= R_{\infty} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (12)$$

حيث  $R_{\infty}$  ثابت رايدبرج ويساوي:

$$R_{\infty} = \frac{m k^2 Z^2 e^4}{4 \pi \hbar^3 c} = 1.097 \times 10^7 m^{-1}$$

وبوضع  $n_f = 2$ ،  $n_i > 2$  تؤول العلاقة (12) إلى علاقة بالمر ورايدبرج (1)، ونحصل علي الخطوط الطيفية لسلسلة بالمر مما يثبت نجاح بوهر في تفسير طيف ذرة الهيدروجين وإثبات أن الطيف بالفعل طيف خطي يتكون من خطوط منفصلة



شكل (3)

بعضها عن بعض بمسافات تتناقص تدريجيا كلما قل طولها الموجي كما بالشكل (1). كما أن نظرية بوهر تنبأت بوجود سلاسل طيفية أخرى عندما تأخذ  $n_f$  قيمة غير 2، كما هو موضح بالشكل (3).

كما أثبتت نظرية بوهر أن ذرة الهيدروجين تمتص فقط الأطوال الموجية التي تبعثها، حيث يمكن للإلكترون في الذرة أن ينتقل من المدار الأقل طاقة إلى المدار الأعلى طاقة وذلك باكتساب طاقة تساوي الفرق بين طاقة المدارين وفي هذه الحالة نقول أن الذرة مثارة. ولذلك يمكن تعديل العلاقة (4) لتمثل طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص والتي تكون مساوية لفرق الطاقة بين المدارين الابتدائي والنهائي:

$$\Delta E = E_i - E_f = \pm h \nu \quad (13)$$

حيث الإشارة الموجبة تكون في حالة الإشعاع والسالبة في حالة الإمتصاص. ويمكننا أن نضع علاقة بالمر ورايدبرج (1) علي الصورة:

$$\bar{v} = \frac{1}{\lambda} = -R_{\infty} \frac{1}{n_i^2} + \frac{R_{\infty}}{4} \quad ; n_i > 2 \quad (14)$$

والعلاقة بين  $\bar{v}$  علي المحور الرأسي،  $1/n_i^2$  علي المحور الأفقي هي علاقة خط مستقيم ميله يساوي  $-R_{\infty}$  ويقطع جزء موجب من محور الصادات يساوي  $R_{\infty}/4$ . كما يمكننا أن نضع علاقة بالمر ورايدبرج (1) علي الصورة:

$$\lambda = \frac{1}{R_{\infty}} \left( \frac{4n_i^2}{n_i^2 - 4} \right) \quad ; n_i > 2 \quad (15)$$

والعلاقة بين  $\lambda$  علي المحور الرأسي،  $\left( \frac{4n_i^2}{n_i^2 - 4} \right)$  علي المحور الأفقي هي علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $1/R_{\infty}$ .

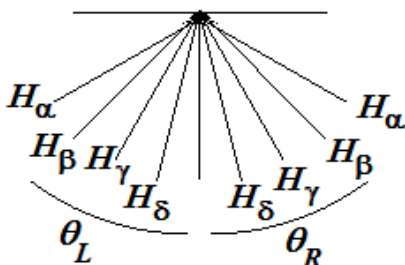
لتعيين الأطوال الموجية لخطوط طيف سلسلة



شكل (4)

بالمر المنبعثة من ذرات الهيدروجين المثارة في مصباح الهيدروجين، نستخدم جهاز المطياف ومحزوز الحيود. فلذا سقطت حزمة متوازية من ضوء مصباح الهيدروجين في اتجاه عمودي على مستوى محزوز الحيود من مجمع المطياف كما بالشكل (4)، فإن الضوء الخارج من محزوز الحيود يتحلل إلى

ألوان الطيف ويكون كل لون له زاوية حيود خاصة به ونشاهد خلال التلسكوب لكل رتبة حيود  $n$  جميع الخطوط الملونة التي يتكون منها طيف الهيدروجين كما بالشكل (5). ويكون شرط تكون الهدب المضئية هو:



شكل (5)

$$d \sin \theta = n \lambda \quad (16)$$

حيث  $d$  عنصر المحزوز ويساوي مقلوب عدد خطوط المحزوز  $N$  في وحدة الأطوال أي أن:  $d = 1/N$

وتكون الهدبة المركزية عبارة عن صورة فتحة مجمع الضوء والتي تنتج عن التداخل البناء لجميع الأشعة النافذة من المحزوز بدون حيود.

## الأدوات المستخدمة:

مطياف للضوء ( سبكترومتر ) - محزوز الحيود - مصباح الهيدروجين.

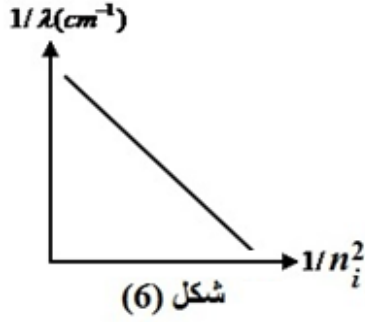
## خطوات العمل:

- 1 - اضبط الاسبكترومتر كالاتي:  
 أ - اضبط تدريج قاعدة الاسبكترومتر بأن تجعل صفر التدريج عند المجمع واجعل الخط  
 الواصل بين الصفر، 180 موازياً لمحور المجمع.  
 ب - اضبط التلسكوب بأن توجه التلسكوب لجسم بعيد وعدل طول قسبة التلسكوب حتى  
 تحصل علي أوضح صورة مقلوبة ومصغرة للجسم البعيد.  
 ت - اضبط المجمع بأن تنتظر من خلال التلسكوب للفتحة الضوئية الموجودة أمام لمبة  
 الهيدروجين وعدل طول قسبة المجمع حتى تحصل علي أوضح صورة للفتحة  
 الضوئية.
- 2 - ضع محزوز الحيود على منضدة المطياف بحيث يكون عمودي على الخط الواصل من  
 المجمع إلى التلسكوب فتحصل على نفس صورة الفتحة الضوئية وهي تمثل هدبه الحيود  
 ذات الرتبة  $n = 0$ .
- 3 -حرك التلسكوب في جهة اليمين واضبط نقطة تقاطع الخطين المتقاطعين في عينية التلسكوب  
 علي منتصف هدبه اللون البنفسجي  $H_\delta$  ذات الرتبة  $n = 1$ ، ثم عين قراءة التدريج  $\theta_R$   
 وسجل القراءة في الجدول المرفق.
- 4 -كرر الخطوة 3 مع باقي ألوان الهدبة الأولى  $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma$ .
- 5 -كرر الخطوات 3، 4 من جهة اليسار وعين قراءة التدريج  $\theta_L$  لكل لون في الهدبة الأولى  
 جهة اليسار، وسجل القراءات في الجدول المرفق.
- 6 -عين قيمة زاوية الحيود  $\theta$  لكل لون من العلاقة:

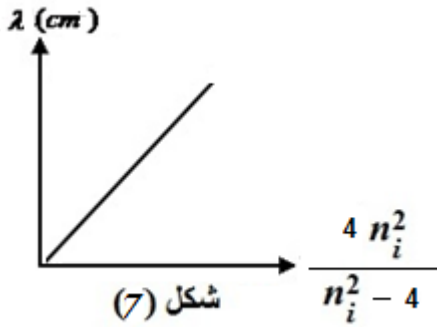
$$\theta = \left| \frac{\theta_R - \theta_L}{2} \right|$$

ثم احسب  $\sin\theta$  وسجل النتائج في الجدول المرفق.

7 -بمعرفة قيمة  $d$  احسب قيم  $\lambda$  باستخدام العلاقة  $d \sin\theta = \lambda$ .



8- ارسم العلاقة بين  $\bar{\nu}$  علي الرأسى،  $1/n_i^2$  علي الأفقي  
تحصل علي خط مستقيم ميله يساوي  $-R_\infty$  ويقطع جزء  
موجب من محور الصادات يساوي  $R_\infty/4$  كما هو  
موضح بالشكل (6).



9- أو ارسم العلاقة بين  $\lambda$  علي المحور  
الرأسى،  $\left(\frac{4n_i^2}{n_i^2-4}\right)$  علي المحور الأفقي تحصل علي  
خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $1/R_\infty$   
كما هو موضح بالشكل (7).

### النتائج:

$$N = \dots\dots \text{line/cm}$$

$$d = 1 / N = \dots\dots$$

اللون	الرمز	$n_i^2$	$\theta_R$	$\theta_L$	$\theta$	$\lambda$	$\bar{\nu}$	$\frac{1}{n_i^2}$	$R_\infty = \left(\frac{4n_i^2}{n_i^2 - 4}\right) \frac{1}{\lambda}$
بنفسجي	$H_\delta$	6							
أزرق	$H_\gamma$	5							
أخضر	$H_\beta$	4							
احمر	$H_\alpha$	3							

$$R_\infty = \dots\dots \text{متوسط قيم}$$

$$R_\infty = \dots\dots \text{الميل}$$

$$R_\infty = 4 \times \dots\dots \text{الجزء المقطوع من محور الصادات}$$

## الظاهرة الكهروضوئية

### تعيين ثابت بلانك

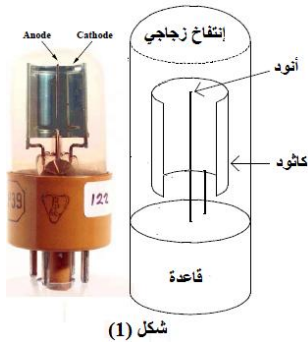
#### الغرض من التجربة:

- 1 - دراسة الظاهرة الكهروضوئية.
- 2 - تعيين ثابت بلانك.
- 3 - تعيين قيمة دالة الشغل للبوتاسيوم "مادة الخلية الكهروضوئية".
- 4 - إثبات أن جهد الإيقاف يتوقف على تردد الضوء الساقط ولا يتوقف على شدته.

#### نظرية التجربة:

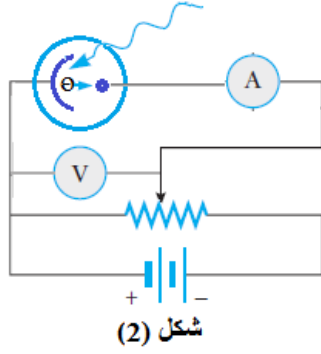
يرجع اكتشاف ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي إلى عام (1887) حينما لاحظ هيرتز أن فرق الجهد اللازم لأمرار شرارة كهربية بين قطبين فلزيين بينهما مسافة معينة يمكن أن يتغير إذا أضيء القطبان بالأشعة فوق البنفسجية. وقد اكتشف هالفاكس عام (1888) أنه إذا تعرض لوح متعادل من الخارصين للأشعة فوق البنفسجية فإنه يكتسب شحنة موجبة، وإذا كان اللوح مشحوناً بالكهربية السالبة فإن سقوط الأشعة فوق البنفسجية عليه يسبب تناقص شحنته السالبة، أما إذا كان مشحوناً بالكهربية الموجبة فإن الأشعة فوق البنفسجية تسبب زيادة شحنته الموجبة. وقد فسر هالفاكس هذه الظاهرة على أنها انبعاث شحنات سالبة من لوح الخارصين إذا سقطت عليه أشعه فوق بنفسجية.

ولقد دلت القياسات التي أجراها طومسون ولينارد عام (1897) والتي ع ين بها الشحنة النوعية  $e/m$  لتلك الشحنات باستخدام الانحراف الكهرومغناطيسي، أن هذه الشحنات ما هي إلا إلكترونات.

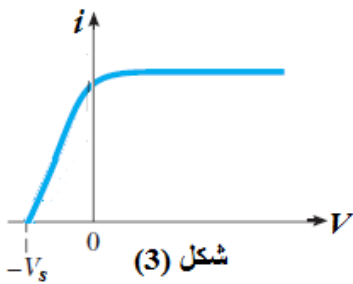


شكل (1)

تستخدم الخلية الكهروضوئية الموضحه بالشكل (1) لدراسة الظاهرة الكهروضوئية بالتفصيل ومعرفة خصائصها ، وهي عبارة عن أنبوبة من الكوارتز مفرغة من الهواء بداخلها الكاثود والأنود ويثبت الجميع على قاعدة عازلة، ويستخدم الكوارتز بدلاً من الزجاج الذي يمتص الأشعة فوق بنفسجية. والكاثود عبارة عن



صفحة معدنية نصف اسطوانية مغطاه بفلز حساس للضوء مثل السيزيوم أو البوتاسيوم أما الأنود فهو عبارة عن سلك معدني في محور الاسطوانة. الدائرة الموضحة بالشكل (2) نستخدم لرسم المنحني المميز للخلية الكهروضوئية "العلاقة بين شدة التيار الكهربائي  $i$  وفرق الجهد بين المصعد والمهبط  $V$  مع التحكم في كل من شدة إستضاءة الضوء الساقط  $I$  وتردده  $\nu$  ونوع مادة المهبط كل علي حده لمعرفة خصائص الظاهرة الكهروضوئية ووجد الآتي:



أولاً: عند تثبيت كل من شدة إستضاءة الضوء الساقط  $I$  وتردده  $\nu$  ونوع مادة المهبط، يكون المنحني المميز للخلية كما هو موضح بالشكل (3) ومنه نستنتج أن:

- 1 - الإلكترونات الضوئية تنبعث من سطح الفلز مباشرة بمجرد سقوط الضوء.
- 2 - الإلكترونات الضوئية تنبعث من سطح المهبط بسرعات مختلفة، ويمكن استنتاج ذلك كالاتي:

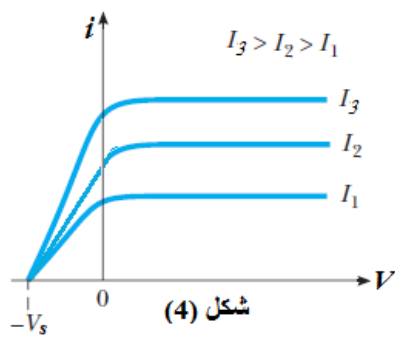
- a. عندما يكون جهد الأنود  $V$  موجباً بالنسبة لجهد الكاثود تتزايد شدة التيار  $i$  بتزايد فرق الجهد الموجب حتى تصل إلى قيمة معينة يقف التيار بعدها عن الزيادة ويسمى التيار عندئذ تيار التشبع. ويعني ذلك أن المجال الكهربائي بين المصعد والمهبط أصبح كافياً لجذب كل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود إلى الأنود.
- b. عندما يكون فرق الجهد صفراً ينحرف مؤشر الجلفانومتر الحساس برغم عدم وجود فرق جهد بين القطبين وإن قل التيار عن تيار التشبع. ويعني ذلك أن الضوء الساقط لا يكون سبباً في إنتزاع الإلكترونات من سطح الفلز فحسب بل ويمد بعض هذه الإلكترونات بطاقة حركة تكفل لها الوصول إلى الأنود فيمر تيار في الدائرة نتيجة لذلك.
- c. عندما يكون جهد الأنود سالباً وجهد الكاثود موجباً نلاحظ تناقص شدة التيار  $i$  بزيادة فرق الجهد السالب بين القطبين تدريجياً ويرجع ذلك إلى أن سالبية الأنود تعمل على رد الكثير من الإلكترونات حتى لا تصل إلى الأنود فتقل تبعاً لذلك شدة التيار. عندما يصبح



فرق الجهد السالب  $V_s$  بين الأنود والكاثود كافياً لرد أسرع هذه الإلكترونات تنعدم شدة التيار المار في هذه الحالة وتسمى  $V_s$  عندئذ بجهد الإيقاف.

ويلاحظ أن فرق الجهد السالب لا يمنع انبعاث الإلكترونات من الكاثود بتأثير الضوء ولكن لأن الإلكترونات تنبعث من السطح بسرعات مختلفة تبدأ من الصفر إلى سرعة عظمى  $v_{max}$  فإنه لكي تصل الإلكترونات إلي الأنود السالب لابد أن تبذل شغلاً ضد المجال الكهربائي الناشئ بين الكاثود والأنود، فلا يصل إلى الأنود سوى الإلكترونات ذات طاقة الحركة الأكبر من الشغل المطلوب بذله وبالتالي فإن طاقة الحركة لأسرع الإلكترونات  $K_{max}$  هي:

$$K_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2 = e V_s \quad (1)$$



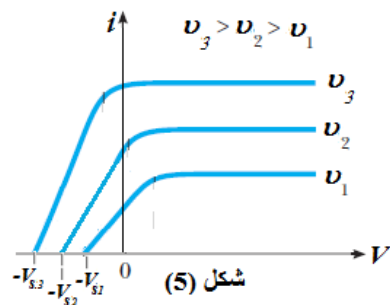
ثانياً: عند تثبيت كل من مادة المهبط والتردد  $\nu$  وتغيير شدة إستضاءة الضوء الساقط  $I$  فإن تغير التيار  $i$  مع فرق الجهد  $V$  يكون كما هو موضح بشكل (4) ومنه نستنتج أن:

1 - شدة التيار وبالتالي عدد الإلكترونات المنبعثة في وحدة الزمن يتناسب طردياً مع شدة الضوء الساقط عند ثبوت جهد المصعد.

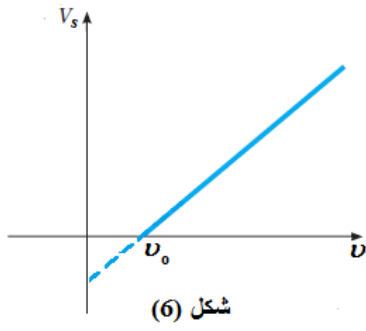
2 - جهد الإيقاف  $V_s$  يظل ثابتاً ولا يتغير بتغير شدة الضوء الساقط  $I$ ، مما يدل على أن طاقة الحركة للإلكترونات المنبعثة من سطح المعدن لا تتغير بتغير شدة الضوء الساقط ولكن فقط بتغير عدد الإلكترونات المنبعثة.

وواضح هنا التعارض التام بين هذه الخاصية والنظريات الكلاسيكية والتي طبقاً لها لابد أن تزيد طاقة الإلكترونات المنبعثة بزيادة الطاقة الضوئية الساقطة على سطح المعدن "شدة الإستضاءة".

3 - مهما كانت شدة إستضاءة الضوء الساقط ضعيفة فإن هناك تياراً محسوساً طالما جهد المصعد أكبر من جهد الإيقاف.



ثالثاً: عند تثبيت كل من مادة المهبط وشدة الإستضاءة  $I$  وتغيير تردد الضوء الساقط  $\nu$  فإن العلاقة بين التيار  $i$  وفرق الجهد  $V$  تكون كما هو موضح ب الشكل (5)، كما أن العلاقة بين جهد

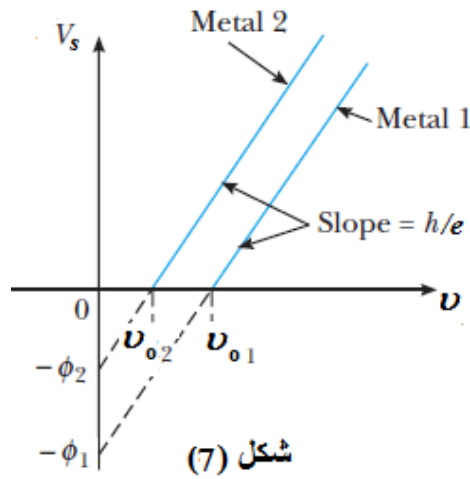


الإيقاف  $V_s$  وتردد الضوء الساقط  $v$  تكون كما هو موضح بالشكل (6)، ونستنتج من ذلك أن:

1 - الطاقة العظمى للإلكترونات المنبعثة  $K_{max}$  تتناسب مع تردد الضوء الساقط  $v$ .

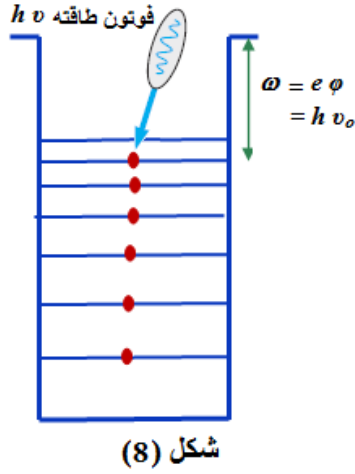
2 - العلاقة بين جهد الإيقاف  $V_s$  وتردد الضوء الساقط  $v$  هي علاقة خطية.

3 - لكل مادة مهبط تردد حرج  $v_0$  يسمى تردد العتبة، إذا كان تردد الأشعة الساقطة أكبر منه تنبعث الإلكترونات الضوئية من سطح المهبط، وتزداد طاقة حركتها العظمى بزيادة تردد الشعاع الساقط. أما إذا قل تردد الضوء الساقط عن تردد العتبة فإنه لا يمكن أن تنبعث أي إلكترونات من سطح المهبط مهما كانت شدة الضوء الساقط قوية.



رابعاً: عند تثبيت شدة الإضاءة  $I$  وتغيير كل من مادة المهبط والتردد  $v$  تكون العلاقة بين جهد الإيقاف  $V_s$  وتردد الضوء الساقط  $v$  لكل نوع مادة المهبط كما هو موضح بالشكل (7). ومنه نستنتج أن ميل العلاقة بين جهد الإيقاف  $V_s$  وتردد الضوء الساقط  $v$  ثابت ولا يتوقف على نوع مادة المهبط أي أن الميل يعتمد على طبيعة الضوء وليس على نوع مادة المهبط.

في عام 1905 نجح البرت اينشتاين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية بأن اعتبر الضوء عبارة عن كمات صغيرة من الطاقة وسمى كل كمية بالفوتون وقد افترض أن طاقة كل فوتون هي  $h\nu$  حيث  $h$  ثابت بلانك،  $\nu$  تردد الضوء الساقط. كذلك افترض أن هذه الفوتونات دائماً تتحرك بسرعة ثابتة  $c$  هي سرعة الضوء ويتلاشى وجودها إذا توقفت عن الحركة، ومعنى ذلك أن الفوتونات لا توجد إلا متحركة بسرعة الضوء وإذا توقفت عن الحركة تلاشت كتلتها وتحولت إلى طاقة يمتصها الجسم الذي أوقف حركة الفوتون.



أفترض أينشتاين أن تلك الطاقة يمتصها إلكترون واحد فقط من الإلكترونات أحد ذرات مادة المهبط، وأن الإلكترون لا يمتص إلا طاقة فوتون واحد فقط. ولما كان الإلكترون المرتبط بنواة الذرة يمثل بجسيم داخل بئر جهد كما هو موضح ب الشكل (8)، وإذا افترضنا أن الإلكترون الذي اكتسب طاقة الفوتون  $h\nu$  موجود في أعلى مستوى ممتلئ داخل البئر وأن هذه الطاقة  $h\nu$  أكبر من طاقة ربط الإلكترون والتي تسمى بدالة الشغل  $\omega = e\phi$  {وهي أقل طاقة كافية لتحرير إلكترون من سطح المهبط}. فإن الإلكترون سوف يكسر الرابطة بينه وبين النواة ويتحرر من سطح المهبط ويتحول فرق الطاقة إلى طاقة حركة  $K_{max}$  أي أن:

$$K_{max} = \frac{1}{2} m v_{max}^2 = h\nu - e\phi \quad (2)$$

ومن المعادلة (1)، (2) نحصل على:

أما إذا كان الإلكترون في مستوى طاقة أقل فإنه سوف يستنفذ طاقة أكبر لكسر الرابطة بينه وبين النواة وبالتالي تكون طاقة حركته  $K$  بعد التحرر أقل من  $K_{max}$  وهذا يفسر انبعاث الإلكترونات من سطح المهبط بسرعات مختلفة. وإذا كانت طاقة الفوتون مساوية لطاقة الربط " دالة الشغل  $e\phi$  " أي أن تردد الضوء الساقط مساوياً لتردد العتبة  $\nu_0$  أي أن:

فإن الإلكترون سوف يتحرر فقط من سطح المهبط وتكون طاقة حركته مساوية للصفر. وإذا كان تردد الضوء الساقط أقل من التردد الحرج  $\nu_0$  فإنه لا يمكن أن تنبعث أي إلكترونات من سطح المعدن مهما كانت شدة الضوء الساقط قوية، لأن طاقة الفوتون  $h\nu$  تكون أقل من الطاقة اللازمة لنزع الإلكترون من سطح المعدن  $e\phi$ . ومن المعادلتين (3)، (4) نحصل على معادلة أينشتاين:

ومنها يتضح أن:

- 1- لكل مادة نهاية صغرى  $\nu_0$  لتردد الإشعاع الضوئي القادر على تحرير الإلكترونات.
  - 2- سرعة الإلكترون المنبعث تزداد كلما زاد تردد موجة الضوء الساقط.
  - 3- سرعة الإلكترونات تزداد باستخدام معدن ذي دالة شغل أقل.
  - 4- كل فوتون يحرر إلكترون واحد. ولما كانت شدة الضوء الساقط تعرف بأنها حاصل ضرب عدد الفوتونات  $N$  التي تسقط عمودياً على وحدة المساحات في الثانية مضروباً في طاقة الفوتون  $h\nu$ . فبالتالي تزداد شدة التيار المنبعث بزيادة شدة الضوء الساقط.
- ويمكن وضع المعادلة (5) على الصورة:

$$V_s = \frac{h}{e} \nu - \frac{h}{e} \nu_0 \quad (6)$$

ومنها يمكن تعيين ثابت بلانك ، فالعلاقة بين جهد الإيقاف  $V_s$  وتردد الضوء الساقط  $\nu$  هي علاقة خط مستقيم ميله يساوي  $h/e$  ويقطع جزء سالب من محور الصادات يساوي  $\phi$  ويقطع جزء موجب من محور السينات يساوي  $\nu_0$  كما هو موضح بالشكل (6).

لتعيين  $V_s$  في تلك التجربة

يتم توصيل طرفي الخلية

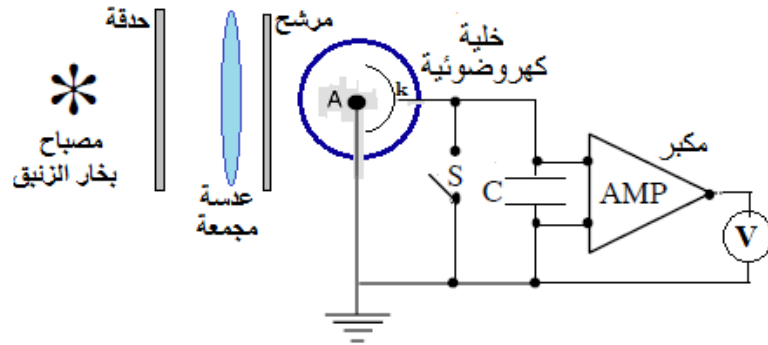
الكهروضوئية بمكثف  $C$  سعته

$100 \text{ pf}$  كما بالشكل (9)، فيقوم

التيار الكهربائي الناشئ من

الإلكترونات الضوئية المنبعثة من

الكاثود والساقطة على الأنود



شكل (9)

بشحن هذا المكثف، وعندما يصل جهد المكثف إلى  $V_s$  تقف الإلكترونات الضوئية ولا تستطيع الوصول إلى الأنود. ويتصل المكثف  $C$  بمكبر جهد لتعيين جهد الإيقاف  $V_s$ .

### الأدوات المستخدمة:

- خلية كهروضوئية – مكبر جهد – فولتمتر – مصباح بخار الزئبق – مرشحات ضوئية – عدسة مجمعة – حدقة "قزحية" – حامل.

### تحذير:

- 1- مصباح بخار الزئبق يشع أشعة فوق بنفسجية وهي خطيرة علي العين فلا تنظر مباشرة إلي الأشعة الصادرة من مصباح بخار الزئبق.
- 2- كما أن الأشعة الفوق بنفسجية مضرّة بالبشرة "الجلد" فلا تعرض بشرتك لفترة طويلة لأشعة مصباح بخار الزئبق.
- 3- شغل مصباح بخار الزئبق واتركه يسخن حوالي 10 دقائق لتصل شدة الأشعة الصادرة منه إلي أقصى قيمة.

### خطوات العمل:

- أولاً: تعيين ثابت بلانك وقيمة دالة الشغل للبوتاسيوم "مادة الخلية الكهروضوئية".
- 1 - وصل مصباح بخار الزئبق بمصدر التيار الكهربائي واتركه ليسخن.
- 2 - رتب الأدوات المستخدمة علي الحامل كما هو موضح بالشكل (10). فضع مصباح بخار الزئبق علي يسار الحامل وضع أمامه الحدقة لنتحكم في شدة إستضاءة الضوء الساقط علي الخلية الكهروضوئية، ثم ضع العدسة المجمعة ثم المرشح الضوئي وأخيراً ضع الخلية الكهروضوئية علي يمين الحامل.
- 3 - إضبط إتساع الحدقة لتكون أوسع ما يمكن.
- 4 - إنزع غطاء الخلية الكهروضوئية، ثم أضبط إرتفاع كل من مصباح بخار الزئبق والحدقة والعدسة المجمعة والمرشح الضوئي والخلية الكهروضوئية لتسقط الأشعة الضوئية علي الكاثود.
- 5 - حرك العدسة المجمعة قريباً وبعداً من الخلية الكهروضوئية حتي تتجمع أشعة مصباح بخار الزئبق وتكون بقعة ضوئية حادة في مركز الكاثود كما هو موضح بالشكل (11)، وتأكد أن الضوء لا يسقط علي حواف الكاثود أو علي سلك الأنود.

- 6 - أعد غطاء الخلية الكهروضوئية، ولا تحاول تحريك أي قطعة من أدوات التجربة "مصباح بخار الزئبق والحدقة والعدسة المجمعة والمرشح الضوئي والخلية الكهروضوئية" بعد ضبط إرتفاعاتها والمسافات بينها.
- 7 - صل طرفي الخلية الكهروضوئية بمكثف  $C$  سعته  $100\text{ pf}$  ثم صل طرفي المكثف بطرفي الدخل لمكبر الجهد وصل فولتميتر في طرفي خرج مكبر الجهد كما بالشكل (9).
- 8 - ضع أحد المرشحات الضوئية في الحامل المخصص له أمام العدسة.
- 9 - اضغط علي المفتاح  $S$  فترة زمنية "حوالي 30 ثانية" لتفريغ المكثف  $C$  ثم أتركه.
- 10 - أنتظر حوالي 30 ثانية حتي يتم شحن المكثف  $C$  وعندئذ تقف الإلكترونات الضوئية ولا تستطيع الوصول إلي الأنود ويكون فرق الجهد بين طرفي المكثف مساوياً  $V_s$ .
- 11 - سجل كل من الطول الموجي للمرشح الضوئي  $\lambda$  و قراءة الفولتميتر  $V_s$  في الجدول المرفق.
- 12 - ارسم العلاقة بين جهد الإيقاف  $V_s$  علي المحور الرأسي و تردد الضوء الساقط  $\nu$  علي المحور الأفقي نحصل علي خط مستقيم ميله يساوي  $h/e$  ويقطع جزء سالب من محور الصادات يساوي  $\phi = h\nu_0/e$  ويقطع جزء موجب من محور السينات يساوي  $\nu_0$  كما هو موضح بالشكل (6).

$\lambda \text{ \AA}$	$\nu$	$V_o$
4050		
5460		
5780		

### النتائج:

$$h/e = \text{الميل}$$

$$h = \text{ثابت بلانك}$$

$$\nu_0 = \text{تردد العتبة}$$

$$\phi =$$

ثانياً: إثبات أن جهد الإيقاف يتوقف علي تردد الضوء الساقط ولا يتوقف علي شدته.

- 1 - النتائج في الجزء السابق كانت مع أكبر شدة إستضاءة  $I_1$  حيث إتساع الحدقة أوسع مايمكن.
- 2 - قلل من شدة الإستضاءة عن طريق إضبط إتساع الحدقة لتكون نصف أقصى إتساع لها.
- 3 - كرر الخطوات من 8 إلي 9 في الجزء السابق وسجل النتائج في الجدول المرفق.
- 4 - إضبط إتساع الحدقة لتكون أقل ما يمكن.
- 5 - كرر الخطوات من 8 إلي 9 في الجزء السابق وسجل النتائج في الجدول المرفق.
- 6 - من تلك النتائج ستجد أن قيمة  $V_o$  لكل تردد ثابتة ولا تتغير بتغير شدة الإستضاءة.

$\lambda \text{ \AA}$	$v$	$I_1$ الحدقة أوسع ما يمكن	$I_2$ إتساع الحدقة وسط	$I_3$ الحدقة أضيق ما يمكن
		$V_o$	$V_o$	$V_o$
4050				
5460				
5780				

**النتائج:**

جهد الإيقاف يتوقف علي تردد الضوء الساقط ولا يتوقف علي شدته.







## قانون إستيفان

**الهدف من التجربة :** تحقيق قانون استيفان للإشعاع الحراري وتعيين ثابت استيفان

### نظرية التجربة:

ينص قانون استيفان على أن معدل إشعاع ( انبعاث ) الطاقة الحرارية  $P_e$  من جسم ساخن يتناسب طردياً مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة  $T_e^4$ :

$$P_e \propto T_e^4$$

$$P_e = \varepsilon \sigma A T_e^4 \dots\dots\dots(1)$$

حيث  $\sigma = \dots\dots\dots w/m^2 k^4$  هو ثابت ستيفان – بولتزمان و  $\varepsilon$  معامل الانبعاثية ويتراوح بين الصفر والواحد الصحيح ,  $A$  مساحة الجسم .

إذا وضع نفس الجسم في حيز مغلق درجة حرارة جدرانه  $T_a$  فإنه سيمتص الإشعاع من الجدران بمعدل :

$$P_a = \varepsilon \sigma A T_a^4 \dots\dots\dots(2)$$

إذا كانت  $T_e^4 > T_a^4$  تكون الطاقة الحرارية المنبعثة الصافية :

$$P = P_e - P_a = \varepsilon \sigma A (T_e^4 - T_a^4) \dots\dots\dots(3)$$

إذا كان معامل الانبعاثية للجسم  $\varepsilon = 1$  تصبح المعادلة (3) في الصورة:

$$P = \sigma A (T_e^4 - T_a^4) \dots\dots\dots(4)$$

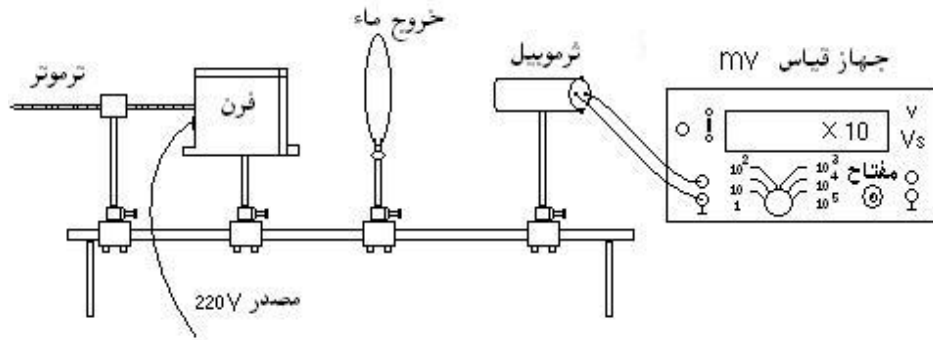
فإن الجسم يمتص الطاقة الإشعاعية الساقطة عليه. أما إذا كان  $\varepsilon = 0$  فإنه يعكس كل الطاقة الساقطة عليه:

### الأدوات:

فرن كهربائي يعمل بجهد 220 فولت وبداخلة الجسم الأسود.

ترمومتر لقياس درجة حرارة الفرن - قرص مشع وصلات تبريده بالماء - ثرموبيل لقياس

القدرة المفقودة  $P$  ؛ حساسية  $0.16mV/mW$  - مللي فولتميتر - منضدة ضوئية - أسلاك توصيل



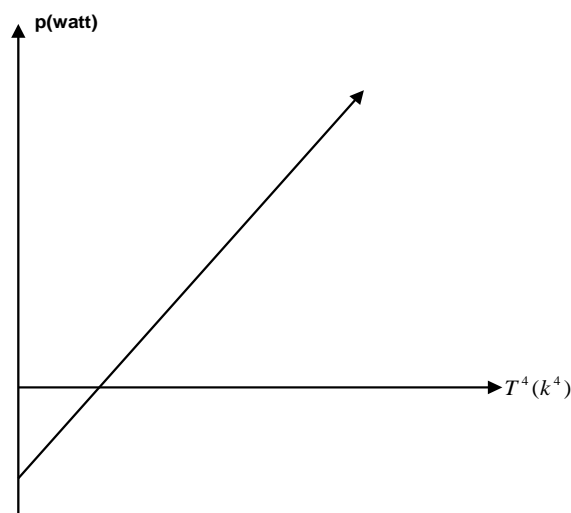
1 - صل الدائرة الكهربائية كما هو موضح بالشكل السابق.

2- شغل الفرن الكهربائي وعندما تصل درجة حرارة الجسم الأسود إلى  $200^{\circ}\text{C}$  درجة مئوية أطفئ الفرن ( لاحظ ارتفاع درجة الحرارة حتى تصل إلى  $230^{\circ}\text{C}$  درجة تقريباً بعدها تبدأ الانخفاض ) .

3- سجل كل من قراءة الفولتميتر  $V$  عند كل درجة حرارة  $t$  وذلك عند انخفاض درجة الحرارة.

$$t = 230^0, 220^0, \dots, c$$

4- دون النتائج في جدول وارسم العلاقة بين  $(p)$  على محور الصادات و  $(T^4)$  على محور السينات تحصل على خط مستقيم يقطع محور الصادات.



5- من الرسم اوجد ثابت استيفان  $\sigma$  حيث :  $\sigma = \frac{\text{الميل}}{A}$

حيث  $A$  مساحة سطح الجسم الأسود داخل الفرن وتساوي  $A = 3.1 \times 10^{-7} m^2$

**النتائج:**

$t(^{\circ}C)$	$T(^{\circ}K)$	$T^4(K^4)$	$V(v)$	$P = V \times 0.16(watt)$
230				
220				

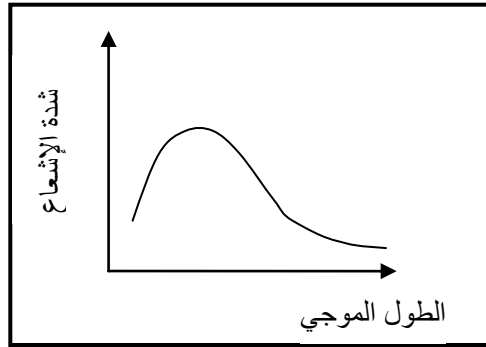
$\sigma = \dots\dots\dots$

الميل =  $\dots\dots\dots$

## ظاهرة إشعاع الجسم الأسود

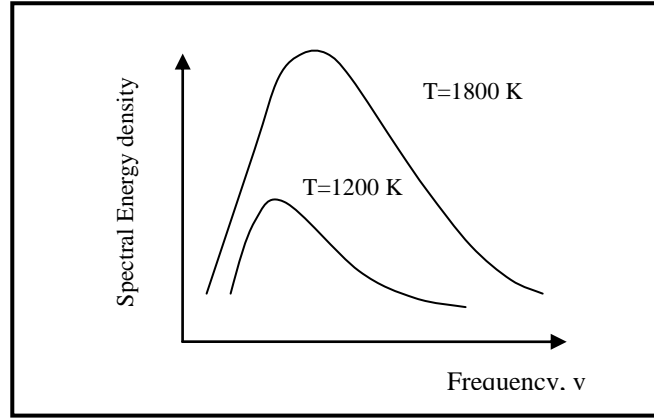
### مقدمة:

عند رفع درجة حرارة جسم ما إلى درجة الإحمرار فإنه يبدأ في الإشعاع الحراري وإذا ما استمر رفع درجة الحرارة فإنه يتوهج وينبعث منه ضوءاً أبيض اللون أي أن الجسم يبدأ بإرسال الأشعة الحمراء في بادئ الأمر ثم تتوالى جميع ألوان الطيف حتى اللون البنفسجي ثم تختلط جميع الألوان لتعطي وهجاً أبيض للجسم الساخن.



شكل (1)

ولقد توصل العلماء إلى وجود علاقة بين درجة الحرارة والإشعاع ووجد أن إشعاع الجسم الأسود عبارة عن طيف مستمر له نهاية عظمى للطاقة كما هو مبين بالشكل (1) وأن رفع درجة حرارة الجسم يتسبب عنه إزاحة هذه النهاية نحو الطول الموجي القصير ويمكن تعريف قدرة الانبعاث أحادية الطول الموجي ( $W_\lambda$ ) لجسم متوهج بأنه كمية الطاقة المشعة في وحدة الزمن لكل وحدة مساحة من الجسم الباعث في مدى الطول الموجي  $d\lambda$  ويمكن اعتبار أي جسم باعث للطاقة جسماً ماص في نفس الوقت لها. إذا كان هناك جسماً درجة حرارته أعلى من درجة الوسط المحيط به فإن معدل إبعث الطاقة الإشعاعية منه سوف يزيد عن معدل إمتصاص هذا الجسم للطاقة إلى أن يحدث الإتزان الحراري بين الجسم والوسط مالم يسخن الجسم بطريقة أخرى والعكس صحيح، ولقد وجد أن قدرة الانبعاث تتناسب مع المساحة الواقعة تحت المنحنى شكل (2).



شكل (2)

### فرض ستيفان:

كما وجد ستيفان اعتماداً على التجربة العملية وحدها أن هذه الطاقة تتناسب مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة:

$$E = \delta T^4$$

حيث  $\delta$  هو ثابت ستيفان بولتزمان. وسميت هذه المعادلة بقانون الأس الرابع .

### فرض فين:

ولقد وجد فين أنه إذا تغيرت درجة حرارة الجسم الأسود فإن موضع قمة المنحنى يتغير مع درجة الحرارة بحيث يتناسب  $\lambda_{\max}$  عكسياً مع درجة الحرارة ويعرف بقانون الإزاحة لفين

$$\lambda_{\max} = \frac{const}{T}$$

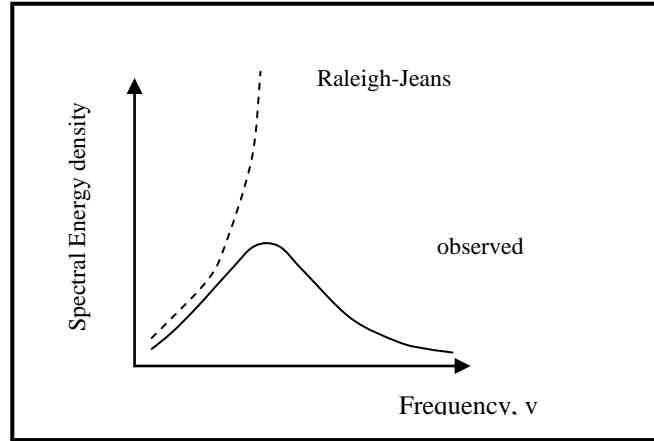
وقد حصل فين على علاقة لكثافة الطاقة أحادية الطول الموجي  $\psi_\lambda$  داخل سياج جسم أسود متساوي الحرارة في المدي  $\lambda, \lambda + d\lambda$  وهي:

$$\psi_\lambda d\lambda = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{C_2 \lambda T} d\lambda \quad (*)$$

حيث  $\lambda$  الطول الموجي ,  $T$  درجة الحرارة المطلقة ,  $C_1, C_2$  ثوابت إختيارية وقد إختار فين قيم هذه الثوابت بحيث تكون متفقة مع المنحنيات جيداً ماعدا حالة الأطوال الموجية الكبيرة وقد وجد فين أن قوة الإشعاع المقابلة لقيمة عظمى تتناسب مع  $T^5$ :

$$R_{\lambda_{\max}} = BT^5$$

ويوضح شكل (3) قانون فين مرسوماً بالخط المتصل إلا أن هذا المنحنى الذي يتفق بشكل جيد والمعادلة (\*) لا يناقش شيئاً عن طبيعة الإشعاع.



شكل (3)

### فرض رالي جينز:

إستطاع رالي إستخلاص قانون توزيع للإشعاع ولكن بشكل دقيق معتمداً على أن الإشعاع الكهرومغناطيسي داخل تجويف جسم أسود متساوي الحرارة ينعكس في جميع الإتجاهات بواسطة الجدران ليكون مجموعة من الأمواج المستمرة لكل تردده على حدة . وقد توصل رالي علاقة لكثافة الطاقة أحادية الطول الموجي  $\psi_{\lambda}$ :

$$\psi_{\lambda} d\lambda = 8\pi KT \frac{d\lambda}{\lambda^4}$$

والشكل (3) يبين رسم هذه العلاقة ويتضح أن قانون رالي جينز يتفق جيداً مع قانون فين في حالة الأمواج الطويلة الطويلة إلا أنه في الأطوال الموجية القصيرة يتجه إلى مالا نهاية فيما يعرف بالفاجعة الفوق بنفسجية.

### فرض بلانك:

في محاولة جادة لحل التناقض بين التفسير النظري والنتائج العملية في المحاولات السابقة وضع بلانك الفروض الآتية :

1- الإشعاع ينتقل من الجسم الساخن إلى جدار الكرة عن طريق ذرات الغاز الذي يشغل الفراغ بين الجسم وجدار الكرة.



2- ذرات الغاز يمكن إعتبارها متذبذبات.

3- كل ذرة تأخذ كمية محددة *quanta* من الطاقة الإشعاعية أي أن الذرات لايمكنها أن تمتص أي كمية من الطاقة الساقطة عليها بل يمكنها فقط أن تمتص الطاقة الإشعاعية على هيئة كمات طاقة

$$E = nh\nu$$

هذا وقد وجد بلانك أن كثافة الطاقة تعطى بالعلاقة:

$$\psi_\nu(T)d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{C^3} K T d\nu$$

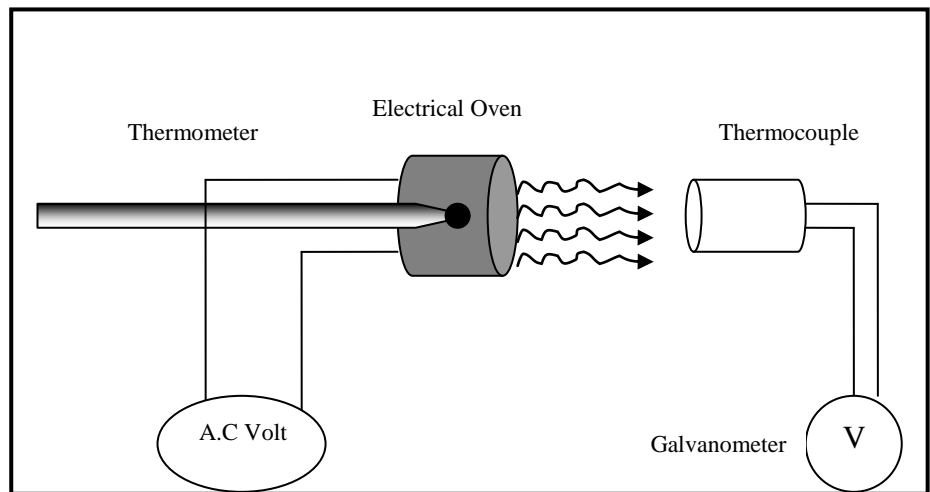
حيث  $\nu$  التردد ,  $T$  درجة الحرارة,  $K$  ثابت بولتزمان,  $C$  سرعة الضوء.

### تحقيق قانون ستيفان بولتزمان:

ينص قانون ستيفان بولتزمان على أن طاقة الإشعاع تتناسب مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة:

$$E = \delta T^4$$

حيث يمكن قياس طاقة الإشعاع الحراري  $E$  بواسطة *Thermocouple* كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل (4)

وحيث أن طاقة الإشعاع تتناسب مع فرق الجهد المقروء بواسطة الجلفانومتر فيمكننا كتابة المعادلة السابقة كما يلي:

$$CV = \delta T^4$$

حيث  $C$  مقدار ثابت وبأخذ لوغاريتم الطرفين نحصل على:

$$\log V = \log \frac{\delta}{C} + 4 \log T$$

وبرسم العلاقة بين  $\log V$  على المحور الرأسي ,  $\log T$  على المحور الأفقي نحصل على خط مستقيم يقطع جزء من محور الصادات وميله يساوي 4.

### خطوات العمل:

بإستخدام الأجهزة الموجودة الشكل (4) يمكن تعيين فرق الجهد المسجل بواسطة الجلفانومتر عند درجات حرارة مختلفة بإستخدام الترمومتر

### النتائج:

T (K)	V	T (K)	V





## تحقيق قانون ستيفان للإشعاع الحراري

ينص قانون ستيفان للإشعاع الحراري على أن معدل فقد الحرارة بالإشعاع من جسم ساخن يتناسب مع الأس الرابع لدرجة حرارته

$$P = A T^4$$

والغرض من هذه التجربة تحقيق العلاقة السابقة. ولعمل ذلك سوف ندرس علاقة الطاقة المفقودة من فتيلة مصباح كهربائي متوهج بدرجة حرارة فتيلة المصباح ويمكن اعتبار الطاقة المفقودة من فتيلة المصباح أنها نوعان:-

(1) طاقة فقدت عن طريق التوصيل.

(2) " " " " الإشعاع.

أما الفقد عن طريق الحمل فيمكن إهماله خاصة في حالة المصباح المفرغ

$$P = P_c + P_r$$

إشعاع + توصيل = كلي

$$P_c = A_1 (T - T_0)$$

$$P_r = B_1 (T^n - T_0^n)$$

حيث  $T_0$  درجة الحرارة المطلقة للوسط

$T$  " حرارة الفتيلة.

وحيث أن مقاومة الفتيلة تتناسب طردياً مع درجة حرارتها أي  $T \propto r$

لذلك يمكن كتابة

$$P_c = A_2 (r - r_0)$$

$$P_r = B_2 (r^n - r_0^n)$$

$$\therefore P_c = A_2 r - (A_2 r_0) \quad (1)$$

$$y = a x - b$$

أي أن معدل فقد الطاقة بالتوصيل دالة خطية في مقاومة الفتيلة وتصفها المعادلة (1) وصفاً تاماً.

$$\therefore r > r_0 \Rightarrow r^n \gg r_0^n$$

لذلك لا يمكن إهمال  $r_0^n$  بالمقارنة بقيمة  $r^n$

$$\therefore P_r = B_2 r^n \quad (2)$$

أي أن معدل فقد الطاقة بالإشعاع من فتيلة المصباح يتناسب مع الأس "النوني" لمقاومتها والمطلوب في هذه التجربة حساب قيمة الأس "n".  
من العلاقة (2) نحصل على

$$\log P_r = n \log r + \log B_2$$

$$y = a x + b$$

برسم العلاقة بين معدل فقد الطاقة بالإشعاع  $\log P_r$  ولو غار يتم المقاومة  $\log r$  نحصل على خط مستقيم ميله " n "

### طريقة تعيين $P_r$ :-

نعلم من قانون بقاء الطاقة أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ولكنها تتحول من صورة إلى أخرى وبالتالي فإن الطاقة الكهربائية المعطاة للمصباح تتحول إلى طاقة حرارية يفقدها المصباح على هيئة حرارة بالتوصيل والإشعاع أي أن :

$$P = I^2 r = P_c + P_r$$

ولتعيين قيمة P نستخدم قنطرة هونيستون التي سبق للطالب دراستها في الفرقة الأولى وهي تتكون كما بالشكل من أربعة أزراع. الأزراع الثلاثة الأولى عبارة عن مقاومات متغيرة ومعلومة القيمة أما الزراع الرابع فهو يمثل المقاومة المجهولة المراد تعيينها وفي تلك التجربة يتكون الزراع الرابع من مقاومة الفتيلة المجهولة ومقاومة الأميتر الذي يستخدم لتعيين شدة التيار المار بالفتيلة. ومقاومة الأميتر معلومة وهي حوالي  $0.1 \Omega$ .  
أي أن

$$R_4 = r + 0.1 \quad \therefore r = R_4 - 0.1$$

وفي تلك التجربة بدلاً من أن نحصل على الأتزان بالطريقة المألوفة المطولة فإننا سوف نستفيد من تغير مقاومة الفتيلة بتغير شدة التيار المار بها. ولذا فإننا سوف نثبت قيمة  $R_1$  عند  $1000 \Omega$  ونثبت قيمة  $R_2$  عند  $10 \Omega$  ونجعل  $R_3$  مساوية  $2210 \Omega$  ونغير في شدة التيار المار بالفتيلة بواسطة صندوق المقاومات R إلى أن نحصل على الاتزان

نسجل قيمة شدة التيار  $I$  من الأميتر الموصل على التوالي مع الفتيلة وبذلك يمكن حساب الطاقة الكلية  $P$  المستنفذة في فتيلة المصباح

$$P = I^2 r$$

يتضح مما سبق أننا نجحنا في حساب قيمتي  $r$ ,  $P$  عملياً لكن بالطبع نقطة واحدة لا تكفي لكن يلزمنا على الأقل عشرة قيم لكل منهما لذلك سوف نلجأ لما يلي :

نصغر قيمة المقاومة  $R_3$  بمقدار العشر على عشرة خطوات أي إذا كانت  $R_3 = 2210$  أننا في كل مرة نطرح منها 200 أي تكون 12010 ثم 1810 ثم ... 210.

عند وضع أي قيمة جديدة لـ  $R_3$  نجد أن الاتزان يزول لذلك يلزمنا تصغير  $R_4$  للحصول على الاتزان مرة أخرى كذلك يجب إنقاص مقاومة الفتيلة أي إنقاص التيار " $I$ " المار بها ويتم ذلك عن طريق إدخال مقاومات بين الصندوق الموصل بوحدة الجهد بالتدريج حتى نحصل على الاتزان ونسجل قيمة شدة التيار وكذا قيمة الطاقة

$$P = I^2 r$$

نرسم العلاقة بين  $r$ ,  $P$  فنحصل على الرسم الموضح

من الرسم نلاحظ أن النقاط الأخيرة (1, 2, 3, 4) يقعوا على خط مستقيم هذا الخط يصف معدل فقد الطاقة بالتوصيل راجع المعادلة (1) أما باقي النقاط فتمثل معدل فقد الطاقة بالتوصيل والإشعاع معاً.

يتم هذا الخط على استقامته يمكن حساب الفروق الراسية بينه وبين المنحنى عند قيم مختلفة لـ "r" وبالتالي يمكن حساب "P".

ندرس العلاقة بين  $\log r$ ,  $\log P$  فنحصل على خط مستقيم ميله "n".

### خطوات العمل:-

(1) وصل الدائرة كما بالرسم واجعل صندوق المقاومات R على الصفر ليمر أقصى تيار عندما يكون فرق الجهد المستخدم "8" فولت.

(2) ثبت قيمة  $R_1$  عند  $1000 \Omega$  وقيمة  $R_2$  عند  $10 \Omega$  وأجعل  $R_3$  مساوية  $2210 \Omega$ .

(3) غير في قيمة صندوق المقاومات R برفق (كسور الأوم ثم الأوم وهكذا) حتى تحصل على الاتزان وسجل قيمة I وأحسب  $P = I^2 r$  ودون النتائج في الجدول التالي.

(4) انقص قيمة  $R_3$  بمقدار  $200 \Omega$  على عدة مرات وفي كل مرة غير من قيمة المقاومة R إلى أن نحصل على الاتزان وسجل قيمة I في كل خطوة ودون النتائج بالجدول المرفق

رقم التجربة	$R_3$	$R_4$	r	I	$I^2 r$
1	2210	22.1	22		
2	2010	20.1	20		
3	1810	18.1	18		
4	1610	16.1	16		
5	1410	14.1	14		
6	1210	12.1	12		
رقم التجربة	$R_3$	$R_4$	r	I	$I^2 r$
7	1010	10.1	10		
8	810	8.1	8		
9	710	7.1	7		
10	610	6.1	6		



11	510	5.1	5		
12	410	4.1	4		
13	310	3.1	3		
14	210	2.1	2		

(5) ارسم العلاقة بين  $P = I^2 r$  والمقاومة  $r$  من الرسم صمم الجدول الآتي

$r$	$P_r$	$\text{Log } P_r$	$\text{Log } r$

(6) ارسم العلاقة بين  $\text{Log } r, \text{Log } P_r$  واحسب ميل الخط

Slope =

$n =$



### تأثير هول

**هدف التجربة:** دراسة تأثير هول وتعيين كل من كثافة الشحنات  $n$  ومعامل هول  $R_H$ .

**نظرية التجربة:** إذا وضع موصل في مجال مغناطيسي عمودياً على اتجاه التيار الكهربائي فإن

مجالاً كهربياً و فرق جهد سوف يتولد ويسمى فرق الجهد المتولد بجهد هول  $V_H$  و يعطى بالعلاقة:

$$V_H = \frac{I_Q}{ned} B \quad \rightarrow (1)$$

حيث  $B$  = المجال المغناطيسي ،  $I_Q$  = التيار الكهربائي

المر في الشريحة ،

$d$  = سمك الموصل،

$e$  = شحنة الإلكترون وتساوي  $1.6 \times 10^{-19} c$  ،  $n$  = كثافة الشحنات الحرة.

والمقدار:  $R_H = 1/ne$   $\rightarrow (2)$

يسمى معامل هول ويعتمد على كل من درجة الحرارة ونوع الموصل، ويتحدد نوع الشحنات

(إلكترونات أو ثقب موجبة) طبقاً لاتجاه التيار واتجاه جهد هول وينشأ جهد هول نتيجة

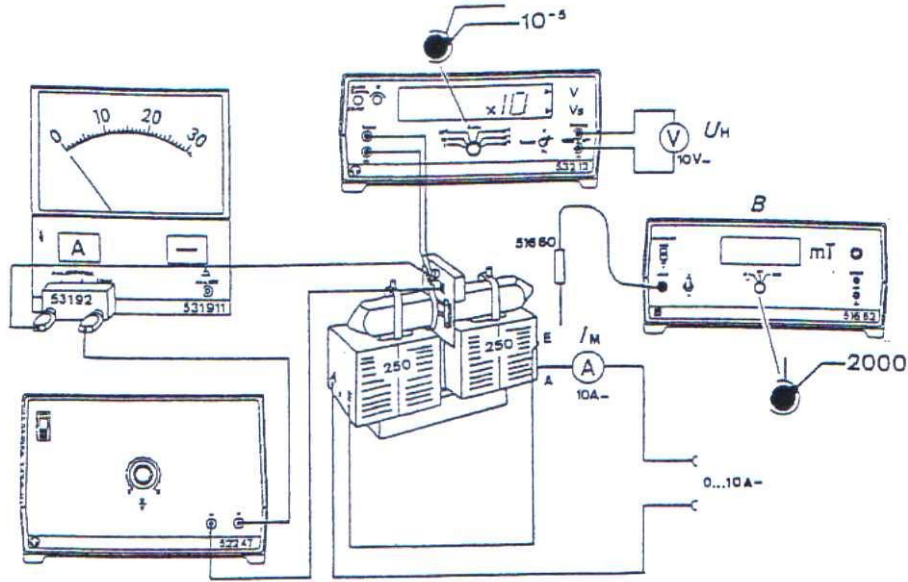
لأنحراف الشحنات الحرة بتأثير المجال المغناطيسي الخارجي حيث يتحدد اتجاهه بواسطة

قاعدة اليد اليمنى .

### أدوات التجربة:

شريحة من الفضة أو التنجستين – زوج من الملفات – قلب حديدي على شكل حرف U يركب

عليه الملفين – ميكروفولتميتر رقمي – أميتر – منبع جهد متغير القيمة – مصدر جهد 20 أمبير



### خطوات العمل: ( أولاً )

- 1 - صل الدائرة الموضحة بالرسم أعلاه.
- 2 - ثبت التيار  $I_Q$  عند  $15A$ , وصفر قراءة الميكروفولتميتر ( $V_H$ )
- 3 - غير قيمة تيار المجال المغناطيسي  $I_B = 0.5, 1, \dots, 3A$  وفي كل مرة أوجد قيمة جهد هول ( $V_H$ ) من الميكروفولتميتر .
- 4 - أوجد قيمة المجال المغناطيسي  $B$  المناظرة لكل قيمة من قيم التيار  $I_B$  من جدول معايرة المجال المغناطيسي ( جدول 1 ) وسجل قراءاتك في الجدول الآتي.

$$I_Q = 15A$$

$$d = 5 \times 10^{-5} m$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} c$$

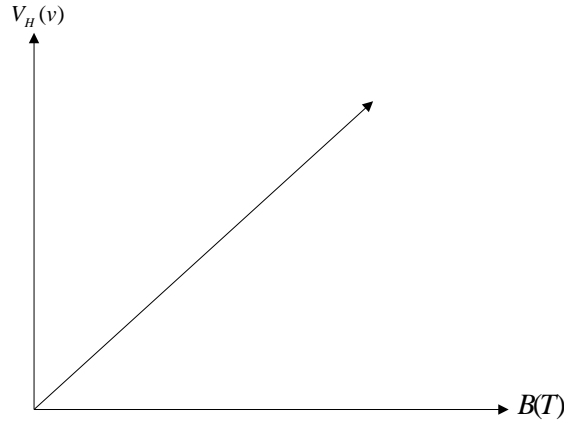
$I_B (A)$	0.5	1	1.5	2	2.5	3
$B (T)$						
$V_H (V)$						

5 -

ارسم

العلاق

ة بين المجال المغناطيسي  $B$  على محور السينات, و جهد هول  $V_H$  على محور الصادات  
تحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل كما في الشكل الآتي.



6 - استنتج قيمة كثافة الشحنات  $n$  من الميل حيث الميل  $= \frac{I_Q}{ned}$

7- احسب معامل هول  $R_H$  من العلاقة (2)

### (ثانياً)

1- ثبت قيمة تيار المجال المغناطيسي  $I_B$  عند واحد أمبير واحسب قيمة المجال المغناطيسي  $B$  المناظر من جدول المعايرة.

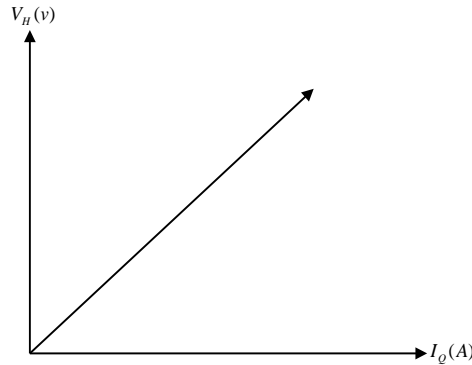
2- غير قيمة  $I_Q$  وفي كل مرة سجل قيمة جهد هول  $(V_H)$  المناظرة في الجدول التالي .

$$I_B = 1A$$

$$B = \dots\dots$$

$I_Q (A)$	0.5	1	1.5	2	2.5	3
$V_H (v)$						

3- ارسم العلاقة البيانية بين  $I_Q$  على المحور السيني و  $(V_H)$  على المحور الصادي.



4- استنتج قيمة كثافة الشحنات  $n$  من الميل حيث الميل  $= \frac{B}{ned}$  .

5- احسب معامل هول  $R_H$  من العلاقة (2)

جدول معايرة المجال المغناطيسي عند مسافة بين قطبيه  $3.5mm$ 

$I_B (Amp)$	$B(Tesla)$
0.5	0.118
1	0.200
1.5	0.295
2	0.374
2.5	0.455
3	0.520
3.5	0.585
4	0.630
4.5	0.665
5	0.695
5.5	0.715
6	0.735
6.5	0.748
7	0.760
7.5	0.780
8	0.790
8.5	0.800

جدول (1)

## تعيين شحنة الإلكترون (e) بطريقة قطرة الزيت لميلكان

### الغرض من التجربة :-

تعيين شحنة الإلكترون (e) وإثبات أنها الوحدة .

### مقدمة :-

فى عام ( 1911 ) استطاع ميلكان عن طريق تجربة قطرة الزيت أن يعين شحنة الإلكترون ( e ) كما استطاع أن يثبت أن شحنة الإلكترون هي الوحدة. أي أقل مقدار للشحنة وأن أي شحنة تكون مضاعف صحيح لها .

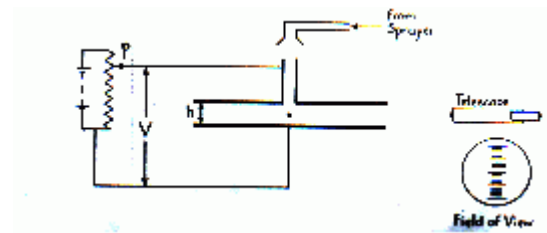
### نظرية التجربة :-

يتكون الجهاز المستخدم كما هو موضح بالشكل ( 1 ) من مكثف ذى لوحين أفقيين متوازيين المسافة بينهما d صغيرة بالنسبة لأبعادهما فعند وضع فرق جهد بينهما V ينشأ في الحيز بينهما مجال كهربى منتظم تحسب شدته من العلاقة :

$$E = \frac{V}{d}$$

ويكون هذا المجال رأسياً طالما اللوحين أفقيين تماماً.

واللوح العلوي به ثقب ضيق في مركزه يسمح بمرور قطرات الزيت المشحونة للحيز بين اللوحين والذى يضاء بواسطة مصباح قوى جداً وترصد قطرات الزيت بواسطة ميكروسكوب



شكل (1)

فإذا فرضنا أن إحدى القطرات مشحونة بشحنة q فإنه بتغيير إتجاه المجال الكهربى " بواسطة عكس جهد اللوحين بالمفتاح العاكس " وتغيير قيمته عن طريق تغيير فرق الجهد V بين لوحى المكثف يمكن تثبيت تلك القطرة. وتكون القطرة عندئذ متزنة تحت تأثير قوة المجال الكهربى (



$E$  (q) لأعلى ووزنها الظاهري لأسفل - " والوزن الظاهري للقطرة يساوي الوزن الحقيقي للقطرة مطروحاً منه قوة الدفع لأرشميدس " .  
أى أن شرط إتزان القطرة هو :-

$$q \frac{V}{d} = \frac{4}{3} \pi \rho \partial^3 (\rho - \sigma) g \quad (2)$$

$$\therefore q = \frac{4}{3} \pi \partial^3 (q - \sigma) g \frac{d}{V} \quad (3)$$

حيث  $q$  شحنة القطرة

$a$  نصف قطرها

$\rho$  كثافة مادة الزيت

$\sigma$  كثافة الهواء

$g$  عجلة الجاذبية الارضية

$d$  المسافة بين اللوحين

$V$  فرق الجهد بين اللوحين

$\pi$  النسبة التقريبية

و بالنظر إلى المعادلة (3) نجد أن جميع القيم بالطرف الأيمن معلومة ماعدا نصف قطر القطرة  $a$  و لتعيين نصف قطر القطرة - والتي تأخذ شكل الكرة نتيجة لقوي التوتر السطحي فأننا نلغي المجال الكهربائي فتبدأ القطرة فى السقوط تحت تأثير وزنها الظاهري و تكتسب سرعة  $v$  ونتيجة للزوجة الهواء تظهر قوة معاكسة تتناسب مع السرعة و طبقا لقانون ستوكس فإن مقدار هذه القوة يساوي  $(6 \pi a \eta v)$  حيث  $\eta$  معامل اللزوجة للهواء ونتيجة لهذا القوي المعاكسة تكتسب القطرة عجلة إلى أن تصل سرعتها إلى قيمة ثابتة  $u$  عندها تتساوى وزنها الظاهري مع قوة اللزوجة أى أن :-

$$\frac{4}{3} \pi a^3 (\rho - \sigma) g = 6 \pi a \eta u$$

$$\therefore a = \left[ \frac{9 \eta u}{2 (\rho - \sigma) g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

وبالتالي فإذا عينا السرعة المنتظمة  $u$  "وذلك عن طريق تعيين الزمن الذي تستغرقه القطرة لتقطع مسافة  $x$  خلال الحيز بين اللوحين حيث  $u=x/t$ " ومعلومية كل من  $\eta, \sigma, \rho$  يمكن تعيين  $a$  و بالتالي يمكن تعيين  $q$  من المعادلتين (3),(4) حيث :-

$$q = \left\{ \frac{4}{3} \cdot \pi (\rho - \sigma) g \cdot d \left[ \frac{9 \cdot \eta \cdot x}{2(\rho - \sigma) g} \right]^{\frac{2}{3}} \right\} \cdot \frac{1}{\frac{3}{2} V \cdot t}$$

$$q = 6 \pi \eta x d \left[ \frac{9 \eta x}{2(\rho - \sigma) g} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{V \cdot t^{\frac{3}{2}}}$$

### خطوات التجربة:-

يمكن إجراء التجربة بطريقتان وهما:-

### أولاً: طريقة مشاهدة أكثر من قطرة:-

- (1) جمع الجهاز كما هو موضح بالشكل (2).
- (2) اضبط لوحى المكثف بحيث يكونا فى وضع أفقي تماماً بوضع ميزان الماء على اللوح العلوي و تحريك المسامير المحوي بقاعدة الجهاز.

### ملحوظة:-

هذه الخطوة هامة جداً وذلك للاتي:-

- (1) حتى تكون قوة المجال الكهربى راسية لأنها دائماً تأخذ اتجاه المجال الكهربى العمودي على الألواح وبالتالي يكون خط عملها على استقامة خط عمل الوزن الظاهري وبالتالي تنطبق المعادلة (2).
- (2) إذا لم يكن اللوحان أفقيان فإن مركبة قوة المجال الكهربى الراسية سوف تنزن مع الوزن الظاهري ولكن المركبة الأفقية سوف تسبب حركة القطرة أفقياً مما يبعدها عن بؤرة الميكروسكوب و اختفائها من مجال الرؤية.
- (3) ضع سلك رفيع فى الفتحة الموجودة فى اللوح العلوي و اضبط الميكروسكوب بحيث يظهر السلك الحاد أوضح ما يمكن وعند ذلك ابعد السلك من الفتحة.

### ملحوظة هامة:-

يجب أن تتأكد أن الجهد العالي غير مطبق على لوحى المكثف أثناء الخطوات (2),(3).

(4) طبق فرق جهد عالي (في حدود 300volt) على لوحى المكثف و تأكد أن فرق الجهد يتغير بواسطة موزع الجهد

(5) ضع المفتاح العاكس في الوضع الوسطى (N) ثم ضع مصدر مشع فوق سطح الغرفة (A) المحتوية على لوحى المكثف بحيث لا يحجب الفتحة (B) وفائدة المصدر المشع انه يساعد على سرعة تأين قطرات الزيت.

### ملحوظة:

عند وضع المفتاح العاكس فى الوضع N يكون كل جهد لوحى المكثف مسأويا للصفر و بالتالى تستطيع القطرات المشحونة أن تنفذ من خلال الثقب الضيق في اللوح العلوي إلى الحيز بين اللوحين.

(6) اسقط بعض قطرات الزيت مستخدما الرشاش بحيث تمر إلى الفتحة الموجودة باللوح العلوي و أنظر فى الميكروسكوب ستجد بقع مضيئة كثيرة تتحرك إلى أعلى لأن الميكروسكوب يعكس الصورة و هذه البقع تمثل القطرات الساقطة و عندئذ ارفع المصدر المشع ثم حرك المفتاح العاكس إلى أي اتجاه فستجد احد الاحتمالات الآتية :-

(i) سرعة صعود البقع المضيئة تزيد و عندئذ يجب عكس المفتاح.

(ii) سرعة صعود البقع المضيئة ثابتة ولا تتأثر بعكس المفتاح ومعنى ذلك أن القطرات لم تشحن وإذا تكرر الخطوة (5) مع استخدام مصدر مشع أقوى.

(iii) بعض البقع المضيئة تتحرك إلى أعلى.

(v) إختار إحدى البقع المتحركة لأسفل وعدل بسرعة فرق الجهد بواسطة موزع الجهد حتى تسكن تلك البقعة ثم عين مقدار فرق الجهد بين لوحى المكثف V بواسطة الفولتметр.

(8) ضع المفتاح العاكس فى الوضع N واحسب الزمن (t) بواسطة ساعة إيقاف والذى تستغرقه القطره لعبور خطين من الخطوط الموجودة فى مجال الرؤية وبمجرد إنتهاء الزمن إرجع المفتاح إلى وضعه لتثبيت القطره.

(9) سجل الزمن t وفرق الجهد V فى الجدول المرفق.

(10) كرر الخطوات (7)، (8)، (9) مع عدة قطرات أخرى. وإذا أخفت كل البقع الضوئية من مجال الرؤية فكرر الخطوات من الخطوة (5) إلى الخطوة (10).

ملحوظة :

(i) نظراً لصعوبة ضبط لوحى المكثف فى الوضع الأفقى تماماً فقد تحتاج أثناء التجربة إلى تغيير دقيق جداً فى بؤرة الميكروسكوب.

(ii) قد تؤدى بعض قطرات الزيت إلى إنسداد الفتحة الضيقة فى اللوح العلوى ولذا يجب تجفيفها وتنظيفها جيداً من حين لآخر مع التأكد من أن المفتاح العاكس فى الوضع (N) قبل لمس المفتاح العلوى.

م	V	t	$Q \times 10^{-9}$	n	م	V	t	$Q \times 10^{-9}$	N
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

(11) بمعلومية كل من :-

$$\rho = 860 \text{ kgm/m}^3 \text{ لزيت البرافين}$$

$$\sigma = 1 \text{ kgm / m}^3$$

$$\eta = 1.83 \times 10^{-5} \text{ N Sm}^{-2}$$

$$q = 9.81 \text{ m s}^{-2}$$

$$d = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x = 4.166 \times 10^{-4} \text{ m}$$

حيث  $x$  هي المسافة التي تقطعها قطرة الزيت عندما تقطع البقعة الضوئية خطين مماليين على عينة الميكروسكوب.

و بالتعويض في المعادلة (5) نحصل على

$$q = 1.45 \times 10^{-15} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{C}{V \cdot t^2}$$

و بمعلومية كل من  $V, t$  يمكن حساب الشحنة  $q$  على كل قطرة وتسجيلها بالجدول المرفق (12) ولحساب شحنة الإلكترون ( $e$ ) لابد من حساب الشحنة  $q$  لعدد كبير جدا من القطرات ونحن نعلم أن أي شحنة  $q$  هي مضاعف صحيح للشحنة  $e$  و لذا نفترض أن اقل شحنة حصلنا عليها هي شحنة الإلكترون فإذا كان فرضنا صحيح فأن جميع قيم الشحنات التي حصلنا عليها تقبل القسمة عليه فإذا لم تقبل احدي القيم القسمة عليه فأن هذا الفرض يكون خطأ فنفرض أن اقل شحنة حصلنا عليها تساوي ( $2e$ ) ومنها نعين ( $e$ ) وإذا كان هذا الفرض صحيح فأن باقي القيم لابد وأن تقبل القسمة على  $e$  فإذا لم تقبل احدي القيم القسمة عليه فأن هذا الفرض يكون خطأ ونفرض أن اقل شحنة حصلنا عليها تساوي ( $3e$ ) وهكذا حتى نحصل على قيمة  $e$  التي تقبل جميع القيم لـ  $q$  القسمة عليها

ويمكن إثبات أن شحنة الإلكترون ( $e$ ) هي الشحنة الأساسية " الوحدة بتكرار التجربة عدد كبير جدا فلن نحصل على ( $q$ ) اقل من ( $e$ )

**ثانياً: طريقة مشاهدة قطرة واحدة:-**

(8-1) فى هذه الطريقة يتم أجراء الخطوات من الخطوة الأولى إلى الخطوة ( 8 ) بنفس الكيفية فى الطريقة الأولى مع الاهتمام بجعل اللوحين أفقيين تماماً.

(9) سجل الزمن  $t$  وفرق الجهد  $v$  فى الجدول المرفق.

(10) ضع المصدر المشع على السطح العلوي للجهاز ثم حرك المفتاح العاكس بسرعة إلى المنتصف و أرجعة بسرعة إلى وضعة فإذا بدأت البقعة في الحركة فمعنى ذلك أن الشحنة على القطرة قد تغيرت و عندئذ عدل فرق الجهد  $V$  حتى تنزن القطرة و عين مقدار فرق الجهد  $V$  ثم كرر الخطوتين ( 9 ) , (10) اكبر عدد من المرات و يلاحظ هنا أنه إذا كان اللوحين أفقيين تماماً لأمكننا ذلك من اخذ عدد كبير جدا من القطرات لأن القطرة في تلك الحالة سوف تتحرك دائماً راسياً في بؤرة الميكروسكوب و بالتالي فلن تختفي من مجال الرؤية .

م	V	t	n	nV	م	V	T	N	nV
1					11				
2					12				
3					13				
4					14				
5					15				
6					16				
7					17				
8					18				
9					19				
10					20				

(11) إذا فرضنا أن أي شحنة  $q$  هي مضاعف صحيح لشحنة أساسية هي شحنة الإلكترون ( $e$ ) أى أن

$$(7)$$

$$q = n e$$

ولأننا نجري التجربة على قطرة واحدة فقط و لن نغيرها فأن نصف قطرها  $a$  ثابت و لن يتغير وهذا سيكون واضحا في أن قيم الزمن  $t$  متساوية تقريبا وبالتالي فمن المعادلتين (6), (7) :-

$$n V = 6 \pi \eta \times d \left( \frac{9 \eta x}{2(\rho - \sigma)g} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{e t^{\frac{3}{2}}}$$

$$= 1.45 \times 10^{-15} \cdot \frac{1}{e t^{\frac{3}{2}}}$$

ولذلك نعين عدد الشحنات

$$= \text{const.}$$

الأساسية الموجودة على كل قطرة في كل حالة بأن نعين العدد الصحيح الذي يجعل  $nV$  في كل الحالات مقدارا ثابتا تقريبا و عندئذ نعين متوسط  $nV$  ثم نعين متوسط  $t$  و بالتعويض بهما في المعادلة (8) نحصل على شحنة الإلكترون (e).

### ملاحظة عامة على الطريقتين :-

ستجد أن قيمة (e) كبيرة ويرجع السبب في ذلك إلى أن حجم قطرات الزيت يكون صغير جدا وفي تلك الحالة فأن معامل اللزوجة المؤثر للهواء  $\eta$  يختلف عن قيمة معامل اللزوجة  $\eta$  المعطي ويرتبط بالمعادلة:-

حيث :-

$$\eta' = \eta \left( 1 + \frac{b}{pa} \right)^{-1}$$

$b$  مقدار ثابت و يساوي  $(10^{-6} \times 617)$

$P$  الضغط الجوي معبرا عنه بـ سم زئبق.

$a$  نصف قطر القطرة

ومن المعادلتين (5), (6) نجد أن القيمة الصحيحة لشحنة الإلكترون  $e^-$  :-

$$e' = e \left[ \frac{\eta'}{\eta} \right]^{\frac{3}{2}} \\ = e \left[ 1 + \frac{b}{pa} \right]^{\frac{-3}{2}}$$

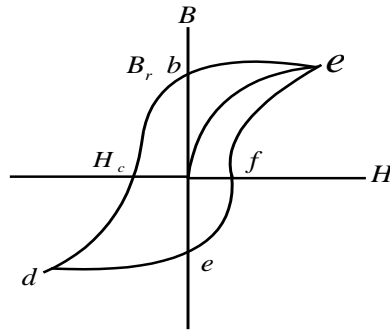
## منحنى التخلف المغناطيسي

### هدف التجربة:

استنتاج قيمة القابلية المغناطيسية لساق من الحديد باستخدام ساق حديدية معلومة القابلية المغناطيسية (ساق مرجعية).

### نظرية التجربة:

عندما تتعرض مادة فيرومغناطيسية (ساق من الحديد) لمجال مغناطيسي  $H$  فإنها تتمغنط وتزداد كثافة الفيض  $B$  بطريقة غير خطية كلما زاد المجال  $H$ , وعند إزالة المجال المغناطيسي فإنها تستبقى بعض المغناطيسية التي اكتسبتها وتسمى هذه بظاهرة التخلف المغناطيسي ويسمى المنحنى الناتج من تغيير شدة المجال  $H$  وكثافة الفيض  $B$  بمنحنى التخلف المغناطيسي كما في الشكل التالي.

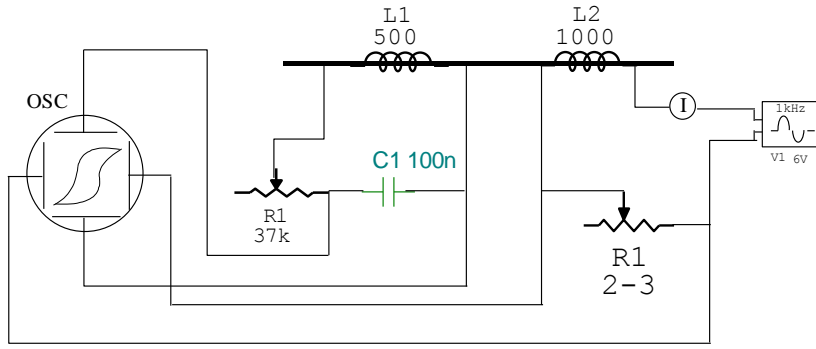


ولنبدأ المنحنى من نقطة الأصل  $O$  والتي عندها  $H = 0$  وعند زيادة  $H$  تزداد  $B$  إلى أن تصل إلى حالة التشبع  $a$  وعندما تنخفض  $H$  تدريجياً تقل تبعاً لذلك  $B$  ولكنها لا تعود في نفس مسارها بل تأخذ المسار  $b$  ثم  $c$  ثم  $d$  ثم  $f$  ثم  $a$  مع تغيير اتجاه وشدة المجال المغناطيسي  $H$ . وتسمى النقطة  $b$  التي عندها  $H = 0$  بالمغناطيسية المتبقية  $B_r$ . بينما نقطة  $c$  التي عندها المادة قد فقدت مغناطيسيتها أي ( $B = 0$ ) بينما مازال المجال  $H$  له قيمة  $H_c$  في الاتجاه المضاد, وقيمة هذا المجال تسمى بالممانعة المغناطيسية وخلال هذه الدورة الكاملة تتولد حرارة داخل هذه المادة تنشأ من احتكاك الذرات ويمكن إثبات أن كمية الحرارة المتولدة في وحدة الحجم من المادة تتناسب مع المساحة المحاطة بمنحنى التخلف المغناطيسي.

**الأدوات:** مكثف – ملفان كهربيان – مصدر تيار متردد – صندوق مقاومات

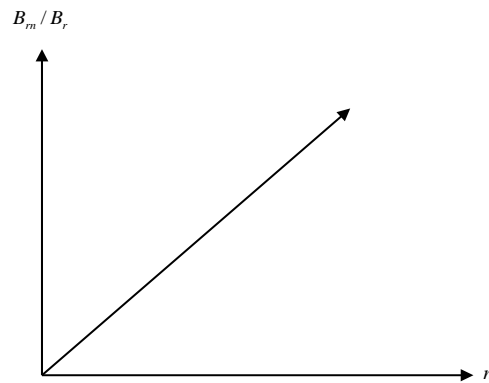
سيقان حديدية – راسم ذبذبات





### خطوات العمل:

- 1- صل الدائرة كما في الشكل السابق وهيئ الأجهزة للعمل .
- 2- ضع الساق المرجعية داخل الملفين . ثم حاول الحصول على صورة لمنحنى التخلف المغناطيسي على راسم الذبذبات مع ملاحظة أن تكون الصورة متماثلة لنقطة الأصل الموضحة على شاشة راسم الذبذبات.
- 2- من منحنى التخلف سجل قيمة المغناطيسية المتبقية للساق المرجعية  $B_r$  .
- 3- أخرج الساق المرجعية وضع ساق حديدية واحدة ( $n=1$ ) حيث  $n =$  عدد السيقان ثم سجل قيمة المغناطيسية المتبقية للساق الحديدية  $B_m$  . ثم احسب النسبة  $B_m / B_r$
- 4 - كرر الخطوات السابقة مع زيادة ساق حديدية في كل مرة ( $n = 2, 3, \dots, 7$ )
- 5 - دون النتائج في الجدول التالي ثم ارسم العلاقة البيانية بين  $n$  على محور السينات و  $B_m / B_r$  على محور الصادات تحصل على الرسم التالي.



- 6 - احسب ميل الخط المستقيم الذي حصلت عليه.
- 7 - احسب نصف قطر الساق المرجعية  $r_1$  ، وكذلك نصف قطر الساق الحديدية  $r_2$
- 8 - بمعلومية القابلية المغناطيسية للساق المرجعية ( $\mu = 1.3 \times 10^{-4} \text{ V.S / Am}$ ) استنتج قيمة القابلية المغناطيسية لساق الحديد من العلاقة :

$$\mu_n = \mu \times \frac{r_1^2}{r_2^2} \times \text{ميل الخط المستقيم}$$

### النتائج:

نصف قطر للساق المرجعية  $r_1 = \dots\dots\dots cm$

نصف قطر للساق الحديدية  $r_2 = \dots\dots\dots cm$

(  $Br = \dots\dots\dots$  ) للساق المرجعية

n	$B_{rn}$	$B_{rn} / B_r$
1		
2		

## الخلية الشمسية

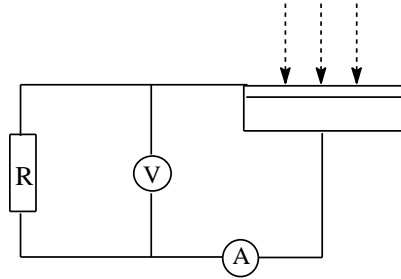
**هدف التجربة:** - إيجاد مقاومة الحمل  $R_0$  , و تيار التشبع  $I_0$  للخلية.

### نظرية التجربة:-

الخلية الشمسية الأكثر استخداما تتكون من بلوره رقيقه من السليكون مساحة سطحها كبيره نسبيا قد تصل إلى  $1000mm^2$  أو أكثر ويبلغ سمكها حوالي  $5mm$ . وإحدى جانبي الخلية يحتوي على شوائب من ذرات خماسية التكافؤ ولذلك يعتبر من النوع السالب N من أشباه الموصلات. أما الجانب الآخر فيحتوي على ذرات ثلاثية التكافؤ ويعتبر لذلك من النوع P الموجب. والجانب ذو السطح المعرض للأشعة الشمسية يكوّن عادة رقيق السمك جدا ويحتوي سطحه على أشراطه معدنية رقيقه متصلة ببعضها لعمل اتصال كهربى جيد تكون أحد أقطاب الخلية. أما الجانب الآخر فتحتوي قاعدة على طبقة معدنية رقيقه واحدة تكوّن القطب الآخر للخلية.

### الأدوات:

خلية شمسيه - مصدر ضوئي - صندوق مقاومات - فولتمتر - ملي أمبير.



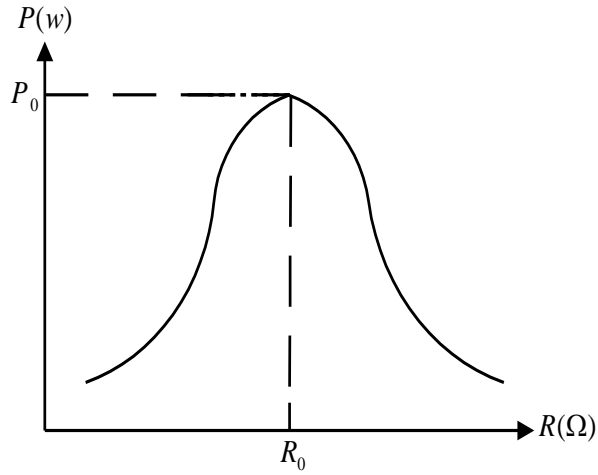
### خطوات العمل :

- 1- صل الدائرة الكهربائية الموضحة في الرسم السابق.
- 2- شغل المصباح الكهربى وغير المسافة بينه وبين سطح الخلية حتى نحصل على تيار مناسب عندها لا تدمج مقاومات من صندوق المقاومات ( $R = 0$ ) ويبقى هذا البعد ثابت طول مدة التجربة ثم أحسب مقدار تيار التشبع  $I_0$ .
- 3- إ فصل الأميتر من الدائرة بعد قراءة تيار التشبع  $I_0$ .
- 4- ادمج مقاومات من صندوق المقاومات على خطوات وفي كل مره سجل قراءة الفولتمتر
- 5- احسب قيمة القدرة الكهربائية  $p = \frac{V^2}{R}$  في كل مره ودون نتائجك في الجدول التالي:

$$I_0 = \dots\dots\dots A$$

$R(\dots\dots\dots)$	$V(\dots\dots\dots)$	$P(\dots\dots\dots)$
200		
400		

6- ارسم العلاقة بين القدرة  $P$  على المحور الراسي و المقاومة  $R$  على المحور الأفقي تحصل على الرسم التالي:



7- استنتج من الرسم أقصى مقاومة للحمل  $R_0$  المناظرة لأقصى قدرة  $P_0$ .

8- احسب أقصى قيمه للتيار  $I_0$  من العلاقة :

$$P_0 = I_0^2 R_0$$



## تعيين ثابت ريديرج

### الهدف من التجربة

4 -مشاهدة خطوط طيف الانبعاث للهيدروجين (متسلسلة بالمر) وربطها بنظرية بوهر

لتكوين الذرة

5 -قياس الأطوال الموجية لخطوط متسلسلة بالمر للهيدروجين

6 -تعيين ثابت ريديرج

### نظرية التجربة:

عند اتباع الضوء من غاز مستثار مثل غاز الهيدروجين فاننا نحصل على طيف خطي لهذا الغاز. وعند فحص هذا الطيف الخطي نجده يتكون من خطوط منفصلة بعضها عن بعض بمسافات تتناقص تدريجيا كلما قل طولها الموجي، الى ان تصبح الخطوط متزاحمة ومتجمعة لا نستطيع تمييزها. ومن الخطوط التي يمكن تمييزها بصورة واضحة اربعة خطوط وهي على النحو التالي:

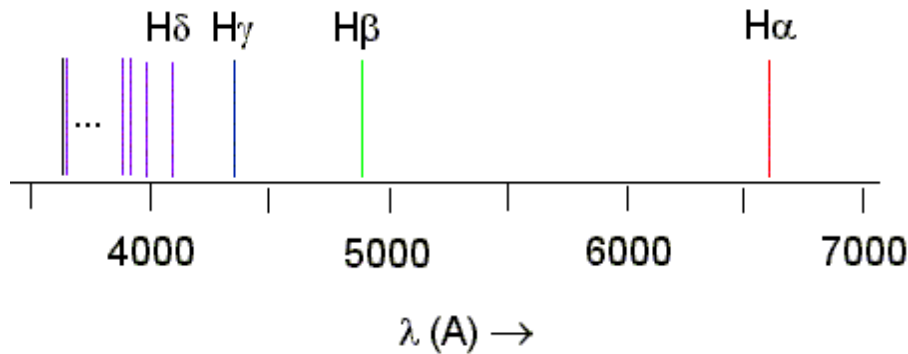
الخط الاول : الخط الاحمر ويرمز له بالرمز  $H_{\alpha}$

الخط الثاني: الخط الاخضر ويرمز له بالرمز  $H_{\beta}$

الخط الثالث: الخط الازرق ويرمز له بالرمز  $H_{\gamma}$

الخط الرابع : الخط البنفسجي ويرمز له بالرمز  $H_{\delta}$

وتسمى مجموعة هذه الخطوط بسلسلة بالمر والتي توضح في الشكل التالي:



ولقد تم تفسير هذا الطيف باستخدام نظرية بوهر الذرية.

## نظرية بوهر لذرة الهيدروجين

صاغ بوهر في عام 1913 نظرية تمكنت من تفسير استقرارية الذرة ، و نجحت هذه النظرية بالتنبؤ الصحيح عن الطيف الذرية المتقطعة .و تعتبر هذه النظرية مزيجاً من الفيزياء الكلاسيكية و فرضية بلانك الكمومية ، لذلك تسمى النظرية النصف كلاسيكية .و قد نجحت هذه النظرية في تفسير طيف ذرة الهيدروجين ، لأنها بنيت على الفروض الأساسية الثلاث التالية :

**الفرضية الأولى :**

يمكن أن يتحرك إلكترون في ذرة حول النواة على مدارات دائرية محددة دون أن يشع طاقة ، و تدعى هذه المدارات بالحالات المستقرة المتقطعة للذرة .

### الفرضية الثانية :

إن الحالات المستقرة المسموحة توافق :

$$L = m v r = n \hbar \quad (1)$$

$L$  : كمية التحرك الزاوية ،  $h$  : ثابت بلانك ،  $\frac{h}{2\pi} = \hbar$  ،  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  و يدعى بالعدد الكمي الرئيسي .

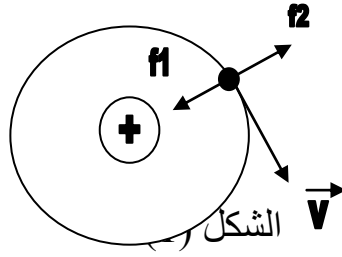
### الفرضية الثالثة :

عندما يقفز ( ينتقل ) إلكترون من حالة ابتدائية طاقتها  $E_f$  إلى حالة نهائية طاقتها  $E_i$  فإنه يصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً ( فوتوناً ) تردده  $\nu$  بحيث يمكن أن نكتب :

$$E_i - E_f = h \nu \quad (2)$$

## مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين

بفرض أن إلكترونات مستقر في مدار دائري نصف قطره  $r_n$  و يمتلك سرعة  $V_n$  فتكون قوة الجذب الكهربائية  $f_1$  تساوي قوة الطرد المركزية  $f_2$  ( لاحظ الشكل 1 ) ، :



و يكون

$$f_2 = m \frac{V_n^2}{r} = k \frac{e^2}{r_n^2} = f_1$$

و لكن من الفرضية الثانية لدينا :

$$m V_n r_n = n \hbar \quad (3)$$

و بالتالي:

$$V_n = \frac{n}{m r_n} \quad (4)$$

وباستخدام العلاقتين الأخيرتين نجد أن :

$$r_n = n^2 \frac{\hbar}{k m e^2} = n^2 r_1 \quad \square \quad (5)$$

حيث :  $r_1 = \frac{\hbar^2}{k m e^2}$  نصف قطر مدار بور الأول لذرة الهيدروجين .

و لو حسبنا قيمة نصف قطر بور الأول بتبديل قيمة الثوابت  $k, m, e, h$  لوجدنا أن :

$r_1 = 0.528 \text{ \AA}$  و هي توافق القيمة التجريبية .

وباستخدام العلاقتين (5) و (4) نجد أن :

$$V_n = \frac{1}{n} \frac{k e^2}{\hbar} = \frac{V_1}{n} \quad (6)$$

حيث :  $V_1 = \frac{k e^2}{\hbar}$  سرعة الإلكترون في مدار بور الأول.

إن الطاقة الكلية  $E_n$  للإلكترون في المدار  $(n)$  , تساوي مجموع الطاقة الحركية و الطاقة

الكامنة ، أي أن :



$$E_n = \frac{1}{2} m V_n^2 + \left( -k \frac{e^2}{r_n} \right) \quad (7)$$

و بتعويض ( 2 ) ، ( 3 ) في ( 5 ) فنجد :

$$E_n = \frac{-k^2 e^4 m}{2n^2 \hbar^2} \quad (8)$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \left( \frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \right) \quad (9)$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad (10)$$

$$E_1 = \left( -\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \right) = -13.6 \text{ eV} \quad \text{حيث :}$$

تمثل طاقة الإلكترون في مدار بور الأول لذرة الهيدروجين وهي تمثل طاقة الارتباط .

### طيف ذرة الهيدروجين

باستخدامنا الفرضية الثالثة يمكن أن نحسب طاقات و ترددات الإنتقالات المحتملة ، فإذا كان إلكترون في الحالة الابتدائية ذات الطاقة المثارة  $E_i$  و انتقل إلى حالة نهائية ذات طاقة  $E_f$  فإن طاقة الفوتون الصادر تعطى بالعلاقة التالية :

$$h \nu = E_i - E_f \quad (11)$$

و من المعادلة (9) لدينا :

$$E_i = -\frac{E_1}{n_i^2}, E_f = -\frac{E_1}{n_f^2} \quad (12)$$

$$E_1 = \left( -\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \right) \quad \text{حيث :}$$

و بالتبديل بالمعادلة (11) نجد أن :

$$\bar{\nu} = \frac{E_i}{h} - \frac{E_f}{h} = \frac{E_1}{h} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (13)$$

و باستخدام العلاقة ( ) فإن العدد الموجي  $\frac{1}{\lambda}$  يعطى بالعلاقة التالية

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (14)$$

يمكن للإلكترون في الذرة ان ينتقل من المدار (مستوى) الاقل طاقة الى

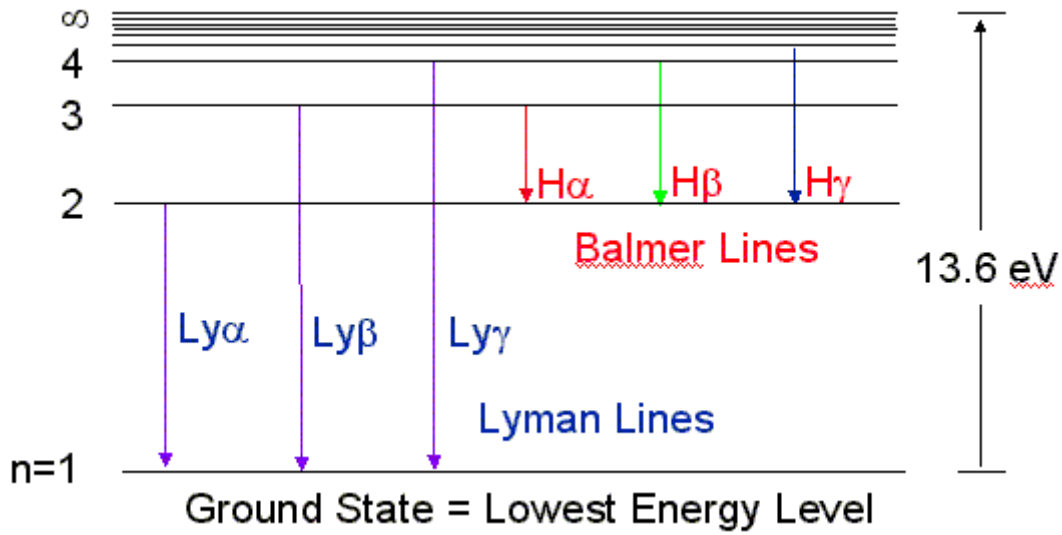
المدار الاعلى طاقة وذلك باكتساب طاقة تساوي الفرق بين طاقة المدارين وفي هذه نقول على ان الذرة مثارة. أما عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة مرتفع رتبة  $m = n_i$  الى مستوى طاقة منخفض رتبة  $n = n_f$  في هذه الحالة تشع الذرة فوتونا (ضوء) يعطى مقلوب طوله الموجي من المعادلة التالية:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (15)$$

حيث  $R_H = 1.0974 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$  ثابت رايدبيرج. يمكن الحصول على الاطوال الموجية لخطوط بالمر من المعادلة (15) وذلك بوضع  $n = 2$  و  $m = 3, 4, 5, 6, \dots$ . اذا تصبح المعادلة في الصورة:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (16)$$

وقد وجد فيما بعد أن ذرة الهيدروجين تبعث أطوالا موجية أخرى غير تلك التي وجدت في متسلسلة بالمر ويوضح الشكل التالي من هذه السلاسل. والتي يمكن الحصول على اطوالها الموجية من المعادلة (15) - راجع نظرية بوهر لذرة الهيدروجين.



الخطوط الافقية تمثل المستويات المختلفة بينما الخطوط الراسية تمثل عملية الانتقال من مدار لمدار آخر. ففي تجربتنا هذه نستخدم محزوز الحيود في تعيين الخطوط الطيفية من الرتبة الاولى بدلالة زاوية الحيود  $\theta$  والتي ترتبط مع الطول الموجي لاي لون بالعلاقة التالية:

$$\lambda = d \sin \theta$$

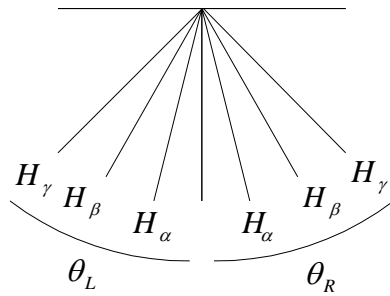
حيث  $d$  ثابت المحزوز والذي يمثل المسافة بين كل خطين في المحزوز.

### أدوات التجربة:

لمبة بالمر بالمحول الخاص بها - إسبكتروسكوب - محزوز حيود

### خطوات العمل:

- 1- تأكد من وضع لمبة بالمر أمام فتحة المجمع .
- 2- أدر التلسكوب يميناً حتى تشاهد الألوان البنفسجي, تركواز , أحمر على الترتيب كم هو موضح في الشكل التالي.



- 3 - اضبط التلسكوب بحيث تنطبق الشعرة الرأسية على كل لون على حده وعندها أوجد قراءة كل لون  $\theta_R$ .

4 - أدر التلسكوب يساراً وكرر الخطوتين 3 , 4 , واوجد قراءة نفس الألوان  $\theta_L$  .

5 - سجل القراءات في الجدول الآتي :

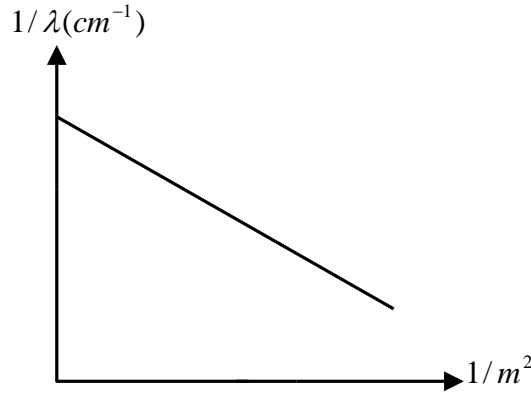
$$d = 1.666 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

اللون	$m$	$\theta_R$	$\theta_L$	$\theta = \frac{\theta_R - \theta_L}{2}$	$\lambda = d \sin \theta$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{m^2}$	$R_H = \left( \frac{4m^2}{m^2 - 4} \right) \frac{1}{\lambda}$
احمر	3							
تركواز	4							
بنفسجي	5							

6 - من الجدول أوجد متوسط  $R_H$  .

7- ارسم العلاقة البيانية بين كل من  $\frac{1}{\lambda}$  على محور الصادات و  $\frac{1}{m^2}$  على محور السينات

تحصل على الرسم التالي:



8 - من الرسم اوجد  $R_H$  حيث: الميل  $= R_H$  .

## تعيين الشحنة النوعية للإلكترون $e/m$ بطريقة كوفمان

### الهدف من التجربة:

- 1- دراسة حركة إلكترون يتحرك عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم.
- 2- تعيين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  بطريقة كوفمان.

### نظرية التجربة:

في عام 1897 استطاع كوفمان أن يعين الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$  مستخدماً أنبوبة أشعة الكاثود ومجال مغناطيسي وحصل على نتائج أكثر دقة من نتائج طومسون. وأنبوبة أشعة الكاثود عبارة عن انتفاخ زجاجي مفرغ تقريباً من الهواء ويوجد بها بندقية للإلكترونات، يتم الحصول على الشعاع الإلكتروني فيها بتسخين الكاثود بواسطة فتيلة ثم تعجيل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود بواسطة جهد الأنود  $V_a$  فولت. بفرض أن الإلكترونات تنبعث من الكاثود بطاقة حركة تساوي الصفر، فإن طاقة الجهد  $eV_a$  بين الكاثود والأنود تتحول إلى طاقة حركة  $mv^2/2$  يكتسبها الإلكترون أي أن:

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

وبالتالي تكون سرعة الإلكترون  $v$  مساوية:

$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad (1)$$

حيث:  $e$  شحنة الإلكترون،  $m$  كتلته.

وفي هذه التجربة نحصل على المجال المغناطيسي المنتظم بواسطة ملفي هلمهولتز وهما ملفان دائريان "طول الملف مهمل بالنسبة لنصف قطره"، ونصف قطر كل منهما متساوي ويساوي  $r$  متر، والمسافة بينهما تساوي نصف قطر كل منهما  $r$ ، وعدد اللفات في كل منهما متساوي ويساوي  $n$  لفة، ومستوياتهم  $a$  متوازيان، ومحوريهما متطابقان، وشدة التيار في كل منهما متساوي ويساوي  $I$  أمبير، واتجاه مرور التيار في كل منهما واحد. فإذا تحققت هذه

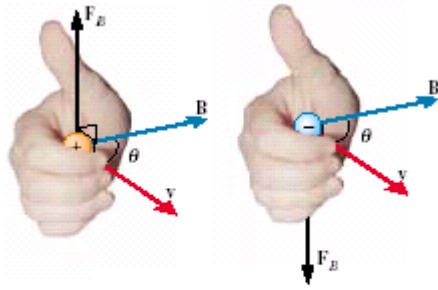
الشروط الثمانية نحصل في المنطقة الممتدة بين الملفين علي مجال مغناطيسي منتظم يكون اتجاه موازياً لمحور الملفين وكثافة فيضه  $B$  تسلا:

$$B = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 n}{r} I \quad (2)$$

حيث  $\mu_0$  معامل النفاذية المغناطيسية للفراغ ويساوي  $4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير.

عندما يتحرك الإلكترون بسرعة  $v$  عمودياً علي المجال المغناطيسي المنتظم فإنه يتأثر بقوة لورنتز  $F_B$  نيوتن:

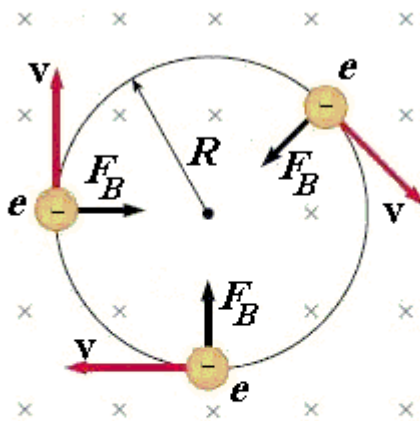
$$\vec{F}_B = -e \vec{v} \times \vec{B}$$



شكل (1)

حيث  $\times$  علامة الضرب الإتجاه ي، وتكون القوة  $F_B$  ثابتة في المقدار واتجاهها عمودياً علي كل من المجال المغناطيسي  $B$  وسرعة الإلكترون  $v$  ويتم تحديده طبقاً لقاعدة بريمة اليد اليمنى كما بالشكل (1). وحيث أن سرعة الإلكترون عموديه علي المجال المغناطيسي يكون مقدار القوة  $F_B$  مساوياً:

$$|\vec{F}_B| = e v B \quad (3)$$



$\times$  يمثل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه  $B$  عمودياً علي مستوي الصفحة ويتجه إلي الداخل

الشكل (2)

ولها كانت القوة  $F_B$  دائماً عمودية علي مسار الإلكترون فإنها لن تبذل أي شغل علي الإلكترون وبالتالي فمقدار سرعته  $v$  س يظل ثابت ولكن سيتغير فقط اتجاهها. ومعني ذلك أنه عندما تؤثر القوة المغناطيسية  $F_B$  علي الإلكترون فإن اتجاه كل من  $v$ ،  $F_B$  سيتغير باستمرار كما بالشكل (2)، وبالتالي فإن الإلكترون سيتحرك في مسار دائري عمودي

علي المجال المغناطيسي ونصف قطرة  $R$  ويكتسب الإلكترون عجلة مركزية مقداره  $v^2/R$ . ويتزن الإلكترون في مساره الدائري تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومضادتين في الاتجاه وخط عملهما واحد، وهما القوة  $F_B$  التي تتجه دائماً نحو مركز الدائرة والقوة الطاردة المركزية  $mv^2/R$  وبالتالي فلن:

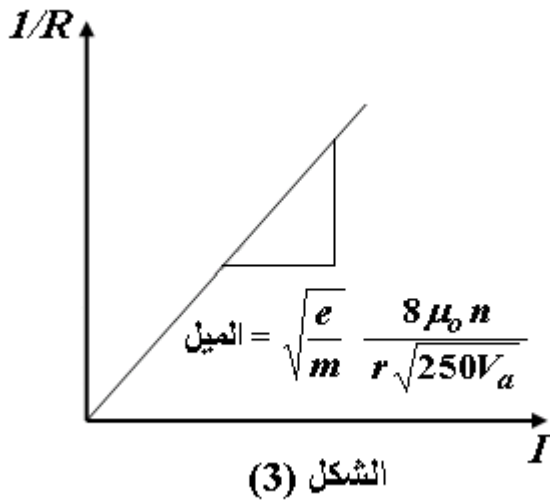
$$F_B = e v B = m \frac{v^2}{R}$$

ومنها نجد أن:

$$R = \frac{m v}{e B} \quad (4)$$

ويلاحظ من ذلك أن نصف القطر  $R$  يتناسب طردياً مع سرعة الإلكترون  $v$  وعكسياً مع كثافة الفيض المغناطيسي  $B$ . بالتعويض عن قيمة كل من  $v$ ،  $B$  من العلاقتين (1)، (2) في العلاقة (4) نحصل علي:

$$\frac{1}{R} = \sqrt{\frac{e}{m}} \frac{8 \mu_0 n}{r \sqrt{250 V_a}} I \quad (5)$$



ويوضح الشكل (3) العلاقة بين

$1/R$  علي المحور الرأسي،  $I$

علي المحور الأفقي وهي عبارة

عن خط مستقيم يمر بنقطة

الأصل وميله يساوي

$$\sqrt{\frac{e}{m}} \frac{8 \mu_0 n}{r \sqrt{250 V_a}}$$

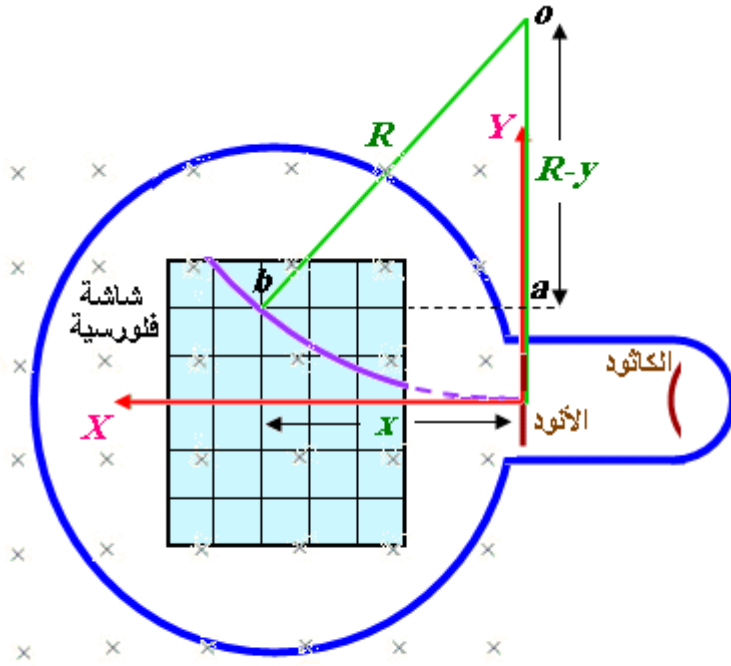
كل من  $\mu_0$ ،  $r$ ،  $n$ ،  $V_a$  يمكننا

حساب الشحنة النوعية للإلكترون

$e/m$

ويتم تعيين نصف قطر

المسار الدائري  $R$  في هذه التجربة بواسطة شاشة فلورسيه كما بالشكل (4) عبارة عن لوح رقيق مدرج رأسياً وأفقياً بالسنتيمتر ويقع في المنطقة الممتدة بعد الأنود ومستواه موازي تقريباً لمسار الشعاع الإلكتروني، وسطحه مغطي بطبقة فلورسيه تضئ عند مرور الشعاع الإلكتروني فيظهر مسار الشعاع الإلكتروني. ويمكن



الشكل (4)

بواسطة التدرج الموجود علي الشاشة تعيين إحداثيات أي نقطه علي مسار الشعاع الإلكتروني  $(x, y)$  بالنسبة لنقطة أصل تقع في مركز الفتحة المستديرة الضيقة الموجودة في مركز الأنود. وفي الشكل (4) نلاحظ أن المثلث  $oab$  قائم الزاوية  $a$ ، وبتطبيق قاعدة فيثاغورث نجد أن:

$$R = \frac{x^2 + y^2}{2y} \quad (6)$$

### الأدوات المستخدمة:

- أنبوبة أشعة الكاثود - ملفي هلمهولتز -
- مصدر جهد مستمر عالي  $V_a$  - مصدر
- جهد متردد 6.3 فولت، 5 أمبير للفتيلة -
- مصدر جهد مستمر منخفض لملفي
- هلمهولتز - أميتر - فولتمتر لقياس جهد



الشكل (5)



مرتفع. ويوضح الشكل (5) الأجهزة المستخدمة.

### تحذير:

- الجهد المستخدم في هذه التجربة جهد مرتفع عدة كيلو فولتات ونظراً لخطورته وحفاظاً علي سلامتك وسلامة زملائك وسلامة الأجهزة نرجو إتباع الآتي
- 1- لا توصل التيار الكهربائي قبل أن يراجعها عضو هيئة التدريس.
  - 2- لا تحاول لمس أي طرف توصيل أثناء التجربة.
  - 3- الأنبوبة تتكون من زجاج رقيق ومفرغة من الهواء فهي عرضة للكسر بسهولة فلا تعرضها لأي صدمة ميكانيكية.
  - 4- إذا زاد جهد الأنود  $V_a$  عن 5 kV فإن الأنبوبة تشع أشعة سينية فلا ترفع جهد الأنود عن 5 kV.
  - 5- عند حدوث أي خطأ لا قدر الله أنزع قابس الكهرباء بسرعة.
  - 6- لضمان رؤية جيدة لمسار الشعاع الإلكتروني تجري التجربة في مكان مظلم.

### خطوات العمل:

6. وصل الأجهزة كما هو موضح بالشكل (5) وتأكد أن تيار ملفي هلموهلتز  $I$  مساوياً للصفر ولاحظ أن مسار الشعاع الإلكتروني عبارة عن خط مستقيم موازي لمحور الأنبوبة.
7. مرر تيار  $I$  شدته 0.2 أمبير في ملفي هلموهلتز ستجد أن الشعاع الإلكتروني ينحرف ويأخذ قوس من دائرة.
8. عين الإحداثيات  $(x, y)$  لأي نقطة علي مسار الشعاع الإلكتروني "قوس الدائرة" وسجل قيمة كل من  $I, x, y$  في الجدول المرفق.
9. مستخدماً العلاقة (6) عين نصف قطر المسار الدائري  $R$  ثم احسب قيمة  $I/R$  وسجل النتائج في الجدول المرفق.

10. كرر الخطوات 2، 3، 4 عدة مرات مع قيم مختلفة للتيار  $I$ .

11. أرسم العلاقة بين  $I/R$  علي المحور الرأسي،  $I$  علي المحور الأفقي تحصل

علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $\frac{8\mu_o n}{r\sqrt{250V_a}}$  وبمعلمية  $\sqrt{\frac{e}{m}}$

كل من  $V_a$ ،  $n$ ،  $r$ ،  $\mu_o$  احسب الشحنة النوعية للإلكترون  $e/m$ .

**النتائج:**

$I$	$x$	$y$	$R$	$I/R$
0.2				
0.4				
0.6				
0.8				
1.0				

$V_a = 4000 \text{ volt}$

$n = 320$  لفة

$r = 6.8 \times 10^{-2}$  متر

$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$  تسلا.متر/أمبير

$\text{الميل} = \dots$

$e/m = \dots \text{ C/kg}$

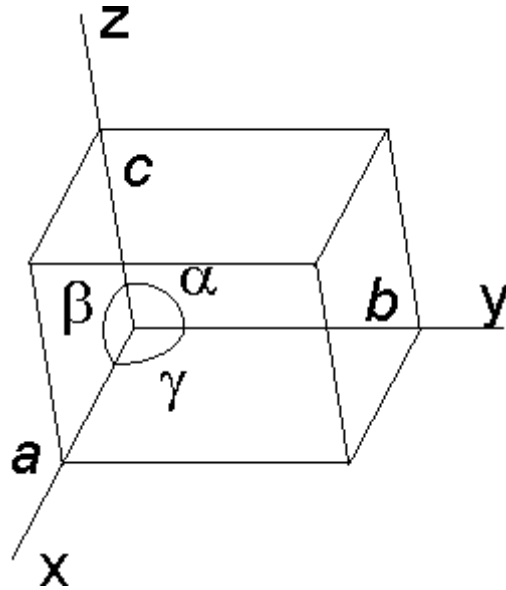
## تعين الثوابت البلورية لبلورة ذات تركيب مكعبي باستخدام حيود الأشعة السينية

### الهدف من التجربة:

إيجاد ثابت الشبكة البلورية لبلورة ذات تركيب مكعبي.

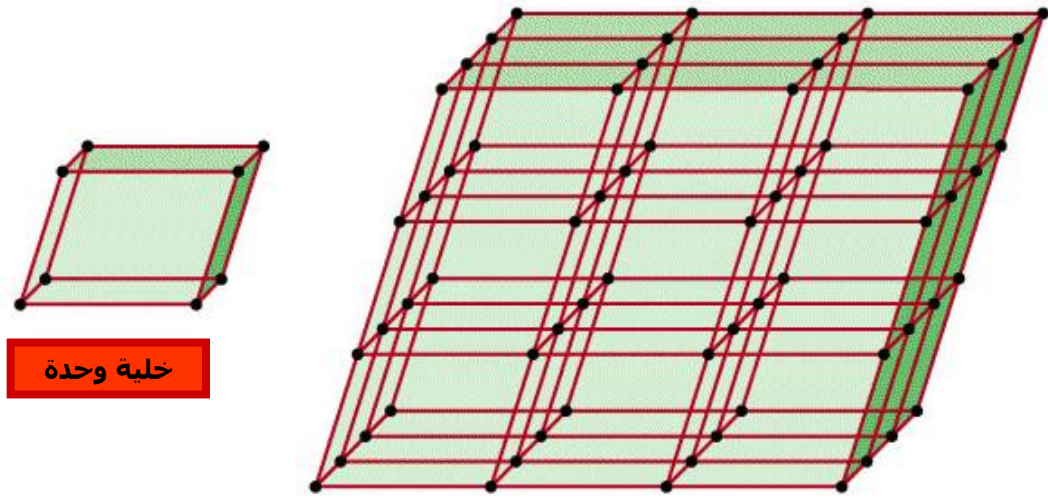
### مقدمة:

التركيب البلوري للجوامد هو التركيب الذي تكون فيه ذرات العنصر الجامد في ترتيب منتظم وتكون المسافات بين الذرات منتظمة ومتكررة وتترتب الذرات في مستويات تسمى المستويات البلورية ومجموعة المستويات البلورية تشكل ما يسمى بالشبكة البلورية (crystal lattice). وتكون الذرات في ترتيبها أشكال مكرره في كل المادة. هذا الشكل المتكرر يسمى خلية الوحدة (unit cell) وتحدد خلية الوحدة بمعرفة ثلاثة أضلاع  $a, b, c$  تسمى ثوابت الشبكة البلورية (انظر شكل 1).



شكل (1-a): خلية الوحدة و الثوابت البلورية

مع تكرار خلية الوحدة تتشكل المادة الجامدة انظر شكل 1-b.

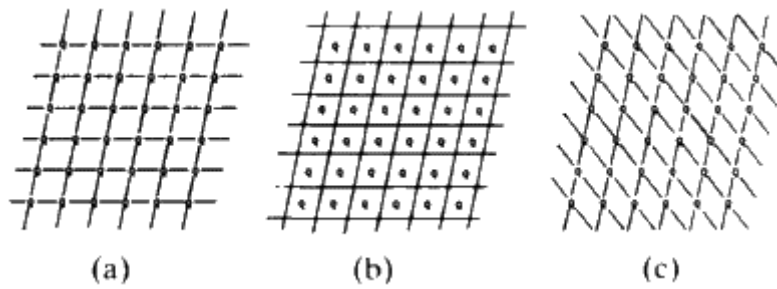


شكل (b-1): خلية الوحدة و تكوين الشبكة البلورية

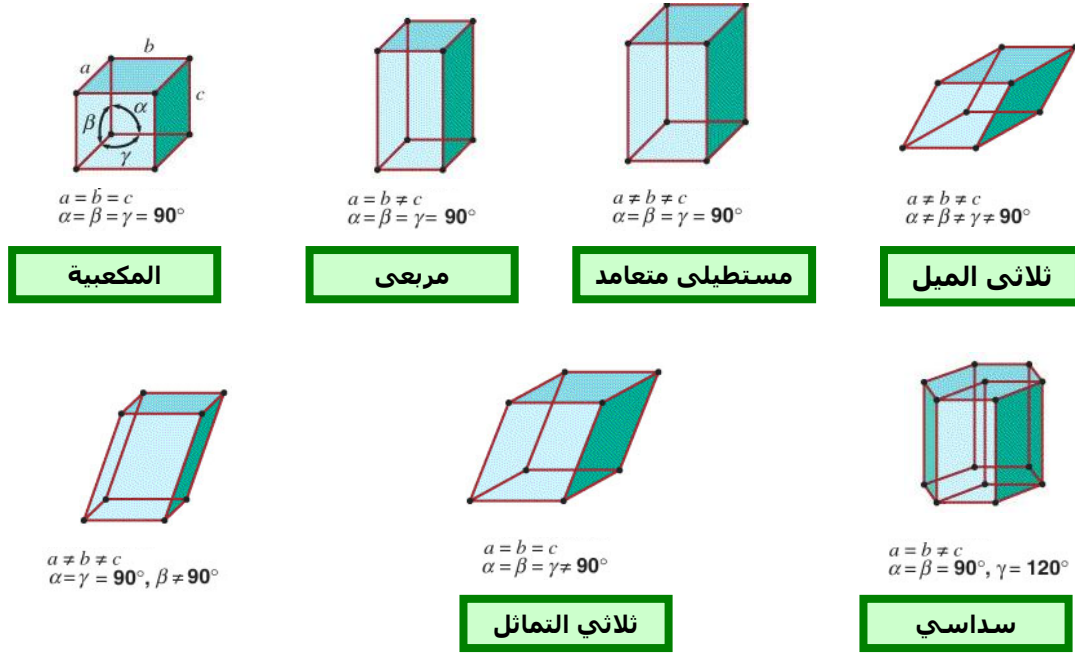
وحسب شكل خلية الوحدة يسمى التركيب البلوري فإذا كانت خلية الوحدة على شكل مكعب ( في الثلاثة أبعاد ) سميت الشبكة البلورية بالتركيب المكعبى (cubic structure) حيث يكون  $a = b = c$ .

وإذا كانت خلية الوحدة متوازي مستطيلات سميت الشبكة البلورية بالتركيب المستطيلي (tetragonal structure).... وهكذا.

شكل (2) يبين مجموعة شبكات بلورية و خلية الوحدة لكل شبكة

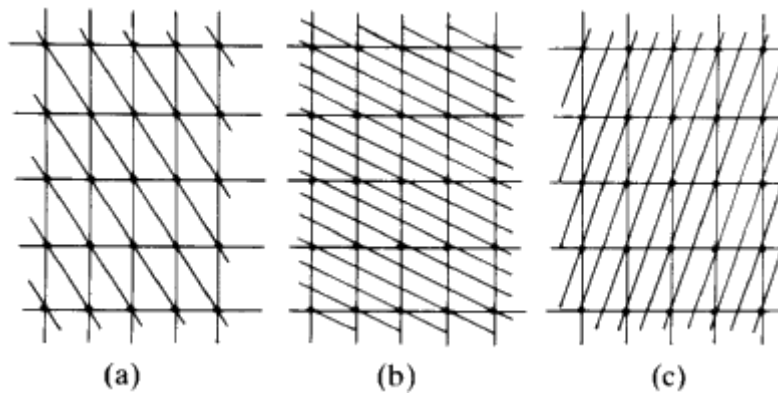


شكل a 2: أمثلة لشبكات بلورية في بعدين



شكل b 2: خلية الوحدة وامتدادها في ثلاثة ابعاد

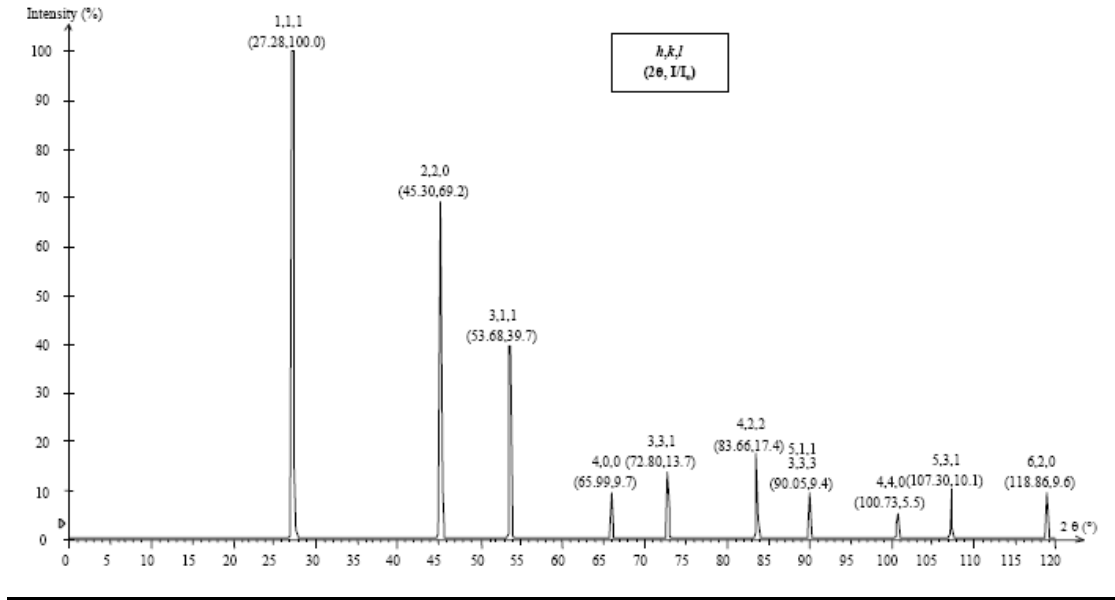
ومن الجدير بالذكر أن كل مجموعة من المستويات البلورية المتوازية تكون ما يسمى بعائلة من المستويات ويتحدد كل مستوى بلوري بثلاثة أرقام  $h, k, l$  وتكتب بين قوسين  $(h, k, l)$  وتسمى معاملات ميلر. شكل 3 يبين مجموعة من عائلات المستويات في شبكات بلورية ذات بعدين.



شكل 3: عائلات من المستويات المتوازية في بلورات ذات بعدين

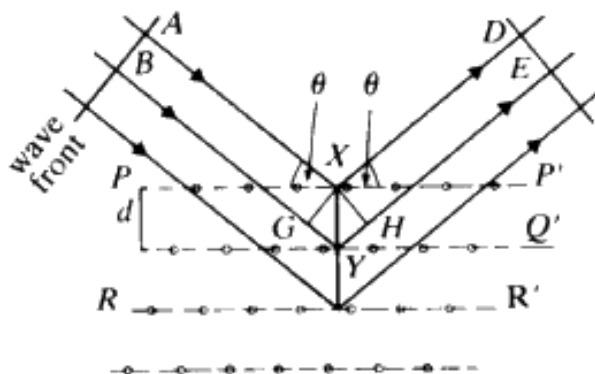
### حيود الأشعة السينية:

عندما تسقط حزمة من الأشعة السينية ذات طول موجي وحيد على سطح بلورة فإنها تخترق البلورة وتسقط على المستويات البلورية وتكون هذه المستويات بمثابة مرآة تعمل على انعكاس الأشعة السينية من هذه المستويات انعكاساً منتظماً وعندما تسقط الأشعة السينية المنعكسة على فيلم حساس سوف تؤثر فيه. ويمكن أن نستقبل الأشعة المنعكسة على مطياف بدلاً من الفيلم الحساس و بذلك نحصل على شريط ورقي مكون من شكل عبارة عن عدة قمم كل قيمة عظمى في تسجيل المطياف تمثل حزمة منعكسة من الأشعة السينية من عائلة من مستويات متوازية. ويمثل شكل (4) أحد الشرائط المأخوذة من حيود الأشعة السينية من بلورة مكعبة.



### قانون براج:

نص القانون على أن موجات الأشعة السينية التي تسقط على سطح بلورة ما تنعكس من المستويات الذرية المتوازية انعكاساً منتظماً ويحدث الحيود من المستويات المتوازية فقط عندما تتداخل الحزمات المنعكسة تداخلاً بناءً (أنظر الشكل)


$$2d \sin \theta = n \lambda$$
 $\lambda < 2d$ 

فإذا استخدمنا طولاً موجياً قدره  $\lambda = 1.541 \text{ \AA}$  (خط الطيف المميز للنحاس) وكانت المسافة  $d = 5 \text{ \AA}$  تكون الزاوية  $\theta$  مساوية لتسعة درجات وهي زاوية صغيرة قريبة من السطح وتقل الزاوية كلما قل الطول الموجي وهذا هو السبب في عدم استخدام أشعة جاما قصيرة الموجة حيث تكون الزاوية صغيرة للغاية كما لا يمكن استخدام أشعة طويلة الموجة لانتفق مع العلاقة :

$$(\lambda \leq 2d)$$

## طريقة حساب الثوابت البلورية للوردة مكعبة من شريط حيود الأشعة السينية

المسافات البينية بين المستويات في التركيب البلوري المكعبى يمكن كتابته بدلالة ثوابت الشبكة البلورية على الصورة

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (1)$$

حيث: d المسافة بين المستويات المتوازية  
a الثابت البلورى للبلورة المكعبة  
h, k, l معاملات ميلر لعائلة المستويات المتوازية

قانون براج يمكن كتابته على الصورة

$$\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (2)$$

بالتعويض من المعادلة (2) في المعادلة (1) نجد أن

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} = \frac{4 \sin^2(\theta)}{\lambda^2} \quad (3)$$

$$\sin^2(\theta) = \left( \frac{\lambda^2}{4a^2} \right) (h^2 + k^2 + l^2) \quad (4)$$

المقدار  $\left( \frac{\lambda^2}{4a^2} \right)$  هو مقدار ثابت و عليه فإن المقدار  $(\sin^2 \theta)$  يتناسب طرديا مع المقدار

$(h^2 + k^2 + l^2)$  ومن هذا التناسب يمكن استنتاج أن المستويات التي لها معاملات ميلر كبيرة سوف يحدث عنها حيود للأشعة السينية بزوايا كبيرة.

يمكن كتابة المعادلة (4) لأي مستويين بلوريين على الصورة.

$$\frac{\sin^2(\theta_1)}{\sin^2(\theta_2)} = \frac{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2}{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2} \quad (5)$$

في التركيب البلورى المكعبى سيكون أول قمة في شريط الأشعة السينية هو نتيجة الحيود من المستويات البلورية ذات أقل قيمة لمعاملات ميلر ويكون قيمها كالتالي:

المكعبي البسيط : (100) و  $h^2 + k^2 + l^2 = 1$



المكعبي متمركز الجسم bcc : (110) و  $h^2 + k^2 + l^2 = 2$

المكعبي متمركز السطح fcc : (111) و  $h^2 + k^2 + l^2 = 3$

وبما أن قيم  $h, k, l$  دائما أعداد صحيحة فإنه يمكن حساب المقدار )

$(h^2 + k^2 + l^2)$  عن طريق قسمة المقدار  $\sin^2 \theta$  للقيم المتعددة في صورة الأشعة السينية على

أقل قيمة للمقدار  $\sin^2 \theta_{\min}$  وهي منظرية لأول قمة ثم ضرب النسبة  $\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_{\min}}$  بالأعداد

الصحيحة 1 او 2 او 3 . الناتج النهائي سوف يعطى قائمة من الأعداد الصحيحة وهي تمثل قيم

متعددة للمقدار  $(h^2 + k^2 + l^2)$  . بعد ذلك يمكن مقارنة هذه القيم بالقائمة المعروفة للتركيب

البلوري المكعبي والتي تتلخص في جدول (1).

$h^2 + k^2 + l^2$			$(hkl)$		
المكعب البسيط	b.c.c	f.c.c	المكعب البسيط	b.c.c	f.c.c
1	2	3	100	110	111
2	4	4	110	200	200
3	6	8	111	211	220
4	8	11	200	220	311
5	10	12	210	310	222
6	12	16	211	222	400
8	14	19	220	321	331
9	16	20	221 و 300	400	420

جدول (1) قيم معاملات ميلر للتركيب البلوري المكعبي نتيجة حيود الأشعة السينية

بعد ذلك يمكن تحديد التركيب البلوري الصحيح سواء كان مكعبي بسيط أم مكعبي متمركز

السطح f.c.c أو مكعبي متمركز الجسم b.c.c بعد ذلك يحسب الثابت البلوري لكل قمة من

العلاقة

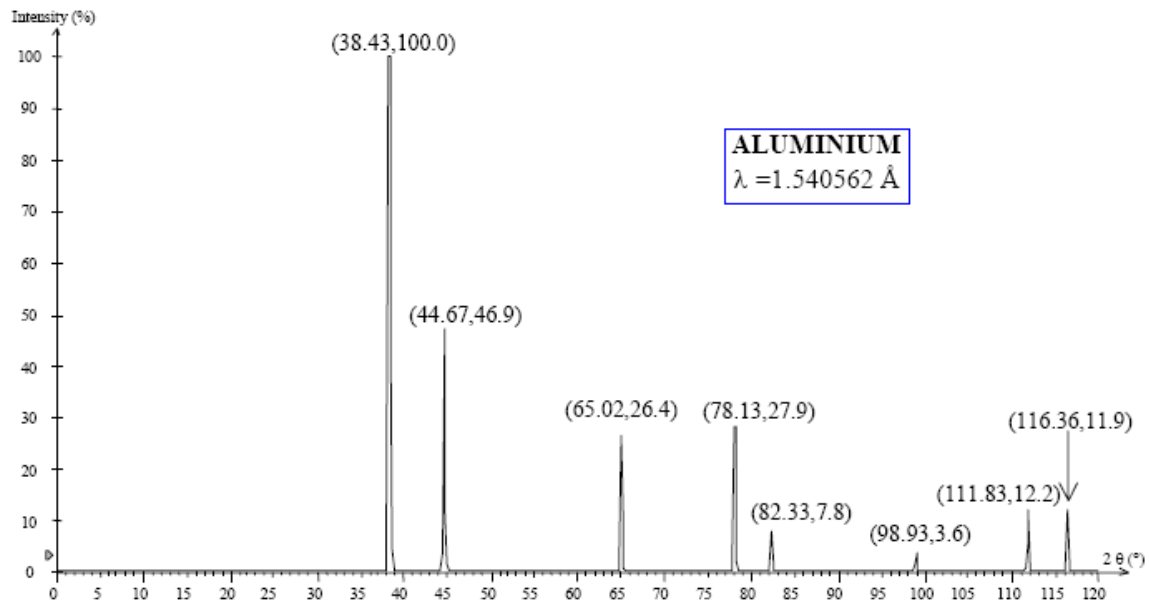
$$a = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta)} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (6)$$

ثم يأخذ القيمة الوسطية للمقدار

### خطوات العمل

- (1) حدد القيم العظمى فى شريط الأشعة السينية واحسب  $\theta$  لكل قمة
- (2) حدد المقدار  $\sin^2 \theta$  لكل قمة
- (3) حدد قيمة  $\sin^2 \theta_{\min}$  لأول قمة فى الشريط
- (4) احسب النسبة  $\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_{\min}}$  لكل قمة ثم احسب حاصل ضرب النسبة بالأرقام 1 و 2 و 3 وضع النتائج في جدول
- (5) اختار القائمة من الخطوة (4) والتي تعطى اقرب مجموعة من الأعداد الصحيحة ومن ذلك حدد المقدار  $(h^2 + k^2 + l^2)$
- (6) قارن النتائج التى حصلت عليها بقيم  $(h^2 + k^2 + l^2)$  للتركيب البلوري المكعبى المعروف من جدول (1) ثم حدد نوع التركيب البلوري المكعبى المناسب.
- (7) احسب الثابت البلورى  $a$  من العلاقة (6) لكل قيمة من المقدار  $(h^2 + k^2 + l^2)$  ثم احسب القيمة المتوسطة.

### النتائج



$$2\theta_{\min} =$$

$$\theta_{\min} =$$

$$\sin^2 \theta_{\min} =$$

$a(\text{Å})$	$h k l$	$h^2 + k^2 + l^2$	$3 \times \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_{\min}}$	$2 \times \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_{\min}}$	$1 \times \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta_{\min}}$	$\sin^2 \theta$	$2\theta$

القيمة المتوسطة  $a(\text{Å})$

## طيف الانبعاث "الإصدار" لبعض العناصر

## Emission Spectra of some Elements

### هدف التجربة:

ملاحظة الطيف المستمر للضوء الأبيض وطيف الإصدار لعدة عناصر وتعيين أطوالها الموجية بالاعتماد على الأطوال الموجية لخطوط طيف الزئبق.

### النظرية:

يتألف الضوء الأبيض من تراكب عدد من الأشعة وحيدة اللون وإذا سقط هذا الضوء على شق ضيق ووجهت الحزمة الناتجة إلى منشور فإن الأشعة الضوئية تنكسر بزوايا متباينة وتبرز متباعدة عن بعضها , تعرف هذه الحادثة بتبديد الضوء ويعود السبب إلى اختلاف الأطوال الموجية لكل لون ومن ثم إلى اختلاف معاملات الانكسار. ويطلق على مجموعة الأشعة الصادرة من المنشور اسم الطيف, وينقسم الطيف عادة إلى نوعين : طيف إصدار وطيف امتصاص.

### أ- طيف الإصدار:

ينتج هذا الطيف عن الضوء الصادر من الأجسام المتوهجة والمتوهجة فمثلا من أجل الأجسام الصلبة نحصل على طيف الإصدار لها بتسخين الجسم الصلب إلى درجات حرارة عالية أو بواسطة قوس كهربائي أما في حالة الغازات وأبخره فتتوهج بواسطة التفريغ الكهربائي تحت ضغط مناسب . ولكل عنصر طيفه المميز له لذلك يمكن الاعتماد على ذلك للتعرف عليه .

تجدر الملاحظة أن طيف إصدار جميع العناصر هو طيف منفصل بينما طيف المصادر المتوهجة مثل الشمس والمصابيح هو طيف متصل(مستمر).

### ب- طيف الامتصاص:

هذا الطيف يكون عادة متصلا أو مستمرا تتخلله خطوط سوداء نتيجة مرور الضوء الأبيض خلال الأجسام الصلبة أو السائلة أو الغازية المدروسة. فإذا مر ضوء أبيض من خلال جسم شفاف غير متوهج ثم بدد الضوء النافذ منه فإنه يتشكل طيف

## طيف امتصاص الأجسام المدروسة:

وهو يتألف عادة من خطوط سوداء تقابل الأشعة الوحيدة التي امتصها الجسم من الضوء الأبيض أثناء مروره فيه. إن الخطوط السوداء هي طيف امتصاص جسم ما تقع في نفس المواقع التي تتواجد فيها الخطوط المضيئة في طيف إصدار هذا الجسم، وبتعبير آخر يمتص الجسم من الضوء الأبيض نفس الأشعة التي يصدرها عندما يكون متوهجا. تأتي أهمية دراسة الطيف من أنها تقدم معلومات تجريبية حول بنية الذرة والجزيئات وكيفية توزيع الإلكترونات داخلها. كما تعطى فكرة عن أشكال الحركات في الجزيء الواحد الاهتزازية والدورانية. كما تمكننا الدراسة الطيفية من الكشف عن وجود العناصر في الخلائط والمركبات.

ولتفسير ظهور هذا الطيف درس نيلز بور عام (1912) طيف ذرة الهيدروجين ووجد أنها تحتوى على مستويات طاقة منفصلة وأن للإلكترونات طاقة معينة ومحددة توافق السوية الطاقة الموجودة فيها. وعندما ينتقل الإلكترون نفسه من مستوى ما  $E_1$  إلى آخر أعلى منه  $E_2$  فإنه يمتص طاقة والطيف الناتج يدعى بطيف الامتصاص. أما عندما يعود هذا الإلكترون نفسه إلى سويته الأصلية  $E_1$  فإنه يصدر الطاقة التي امتصها على شكل إشعاع كهرومغناطيسي والطيف الناتج يدعى بطيف الإصدار أما طاقه الفوتون الصادر فتساوى الفرق بين سويتي الطاقة وتساوى:

$$E_2 - E_1 = h\nu = hc/\lambda$$

حيث:  $c$  سرعة الضوء،  $\nu$  - تردد الإشعاع الصادر،  $\lambda$  - طول موجة الإشعاع الصادر،  $h$  - ثابت بلانك.

مما تجدر ملاحظته أن عودة الإلكترون إلى السوية التي أثير منها يمكن أن يتم مباشرة أو عبر عدة انتقالات أخرى ويوافق كل انتقال خط طيفي معين قد يكون مرئيا أو غير مرئي حسب تواتر الفوتون الصادر.

لنعت أخيرا بعض المصطلحات المستخدمة في الأطياف:

- تقاس الأطوال الموجية في منطقة تحت الحمراء بالميكرون ( $\mu$ )

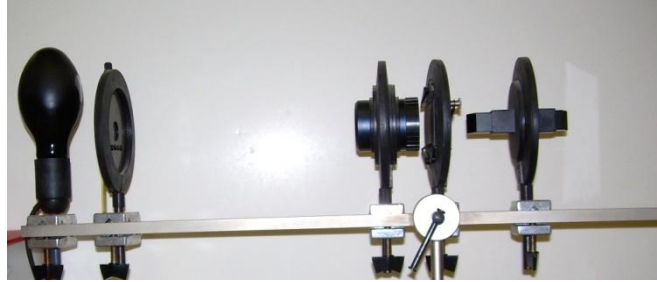
- تقاس الأطوال الموجية في منطقة الضوء المرئي بالانغستروم

أما طول موجة الشعاع الضوئي في الهواء فيختلف عن طول موجته في الخلاء وذلك بسبب اختلاف سرعة انتشار الضوء في الوسطين .  
إن الطاقة التي يحملها فوتون واحد تساوي

$$E = h \nu.$$

### 3- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- أ- مغذي استطاعة للمصابيح الطيفية.
- ب- مصابيح طيفية متعددة : زئبق ( Hg ) , كاديوم ( Cd ).
- ج- حجرة للمصابيح الطيفية السابقة .
- د- مصباح متوهج أبيض .
- هـ \_ جسر ضوئي 75سم مع توابعه .
- و- شاشة متألفة 30سم 30x سم .
- ز- موشور الرؤية المباشرة .
- ح – عدسة مقربة بعدها البؤري  $f=100\text{mm}$
- ط- عدسة مقربة بعدها البؤري  $f=50\text{mm}$



### 4- طريقة العمل :

#### أولا : تدريب المطياف :

- 1- رتب الأجهزة وتأكد من استخدام مصباح بخار الزئبق كمنبع ضوئي .
- 2- صل التغذية إلى مصباح الزئبق وانتظر عدة دقائق حتى يصبح تألقه قويا عندها تلاحظ خطوط طيف الزئبق على الشاشة المتألقة . تحكم بوضع العدسة للحصول على أشد إضاءة للخطوط الطيفية .

3- ثبت ورقة مليمتريّة على الشاشة المتألّقة وعين عليها مواقع الخطوط الطيفية التي نشاهدها .

4- اعتبر بداية الشاشة المتألّقة من طرف الخط الأصفر مبدءاً للإحداثيات وقس بعد كل خط طيفي عنه ورتب النتائج في جدول كالجدول (1):

رقم الخط الطيفي	1	2	3	4	5	6
لون هـ	البنفسجي	الازرق	ازرق مخضر	الاخضر	الاصفر	الاحمر
طوله الموجي $\lambda$	4047	4358	4916	5416	5780	6200
المسافة x						

الجدول ( 1 )

5- ارسم الخط البياني الممثل لتحولات طول الموجه  $\lambda$  بدلالة بعد الخط الطيفي x

ثانياً : قياس الأطوال الموجية لأطياف أخرى:

1- استبدل مصباح الزئبق بمصباح الكاديوم وعين مواقع الطيف وقس أبعادها عن المبدأ

السابق وسجل النتائج في جدول كالجدول (2)

2- اعتماداً على الخط البياني المرسوم في أولاً عين الأطوال الموجية لكل خط طيفي وسجلها في الجدول (2).

المصباح	رقم الخط الطيفي	
الطيفي	لونه	
cd	المسافة x (cm)	
	طول موجة ( $\lambda^\circ$ )	

	لونه	
	المسافة x (cm)	

الجدول (2)