وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة سومر
UNIVERSITY OF SUMER

تجارب مختبر
الفيزياء الذرية

م.م. فؤاد نمر عجيل

جامعة سومر – كلية التربية الأساسية

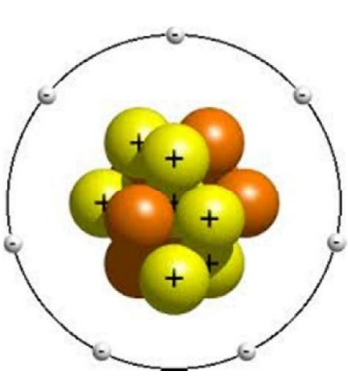
2016 - 2015

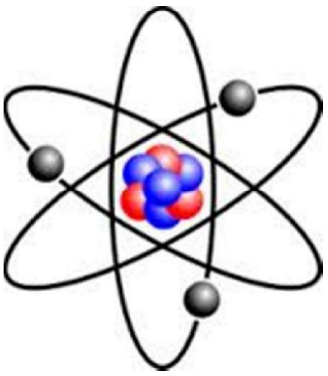
جمهورية العراق – وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

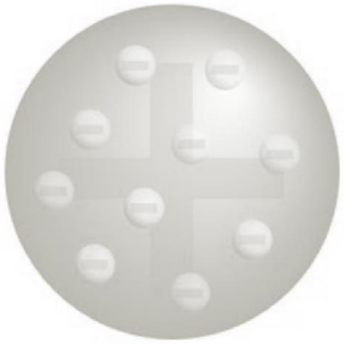
جامعة سومر– كلية التربية الاساسية – قسم العلوم الطبيعية – فرع الفيزياء

تجارب في الفيزياء الذرية

Experiments in Atomic Physics







المحتويات :

التجربة الأولـــى : تعييـن قيمة ثابت ريدبرج.

التجربة الثـانيـة : ايجاد الشحنة النوعية للإلكترون (e/m_e) بطريقة المغنترون.

التجربة الثالـثـة : تكمم الشحنة وقياس شحنة الالكترون.

التجربة الرابعـة : دراسة التأثير الكهروضوئي.

التجربة الخامسة : سلوك الحزمة الالكترونية في المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي.

التجربة السادسة : فرانك هيرتز.

التجربة السابعة : تأثير زيمان.

مدرس المادة : م.م. فؤاد نمر عجيل

التجربة رقم (1)

تعيين قيمة ثابت ريدبرج

Determine the value of the Rydberg constant

الغرض من التجربة

1- تعيين قيمة ثابت ريدبرج.
2- دراسة الطيف المرئي للهيدروجين ومقارنته بنتائج ريدبرج.
3- تعيين مجموعة من العناصر بدراسة أطيافها الذرية.

النظرية :

استناداً إلى النظرية الكمية فإن الإلكترونات في الذرات تشغل مستويات الطاقة الأدنى ويقال عن الذرات في هذه الحالة بأنها في المستويات الأرضية. فإذا اكتسبت هذه الإلكترونات طاقة من أي مصدر من مصادر الطاقة فإنها تثار وتحتل مستويات طاقة أعلى ويقال حينئذ أن الذرات في الحالة المثارة. والذرات المثارة إلى مستوى طاقة أعلى ليست مستقرة ولذلك ستحاول العودة إلى وضعها السابق وذلك ببعث طاقة.

وبما ان الذرات تحوي على نواة موجبة الشحنة والكترونات سالبة الشحنة لذلك فان القوة الكهربائية التجاذبية بين الإلكترون والنواة تعطى بقانون كولوم :

$$F = k\frac{Ze^2}{r^2} \qquad (1)$$

حيث k ثابت كولوم و r المسافة الفاصلة بينهما. ونتيجة لدوران الإلكترون حول النواة بمسار دائري تنتج قوة مركزية مقدارها $(m_e v^2/r)$. فاذا كان للذرة

إلكترون واحد كتلته m_e وشحنته $-e$ يدور في مدار دائري حول نواة موجبة كتلتها M وشحنتها $+Ze$ حيث Z العدد الذري ويساوي 1 بالنسبة لذرة الهيدروجين .

تبعاً لقوانين الميكانيكا التقليدي وقوة كولوم الكهربية:

$$\frac{m_e v^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2} \qquad (2)$$

حيث $k = 1/4\pi\varepsilon_0$ و r نصف قطر مدار الإلكترون و e شحنة الإلكترون . وقد اعتبر بوهر هذا الفرض الأول لنموذجه . ثم أدخل في نموذجه نظرية الكم والذي يعتبر الفرض الثاني، إذ فرض أن كمية الحركة الزاوية للإلكترون mvr يجب أن تساوي عدداً صحيحاً لـ $\hbar$ أي:

$$m_e v r = n\hbar \qquad (3)$$

حيث $\hbar = h/2\pi$، h ثابت بلانك و n عدد صحيح يعرف بعدد الكم الأساسي principle quantum number وهذا يعني أن الإلكترون مقيد بالحركة في مدار معين ومن المعادلتين (2 و3) يمكن أن نجد نصف قطر المدار r_n:

$$r_n = \frac{h^2}{m_e e^2 Z k}.n^2 \qquad (4)$$

وعندما $n = 1$ تكون قيمة $r_1 = 0.529 \times 10^{-10} m$.

أما الفرض الثالث في نموذج بوهر ذو علاقة بإنبعاث وإمتصاص الضوء من قبل الذرة، إذ افترض بوهر أنه لا يمكن للإلكترونات الموجودة في المدارات الثابتة أن يبعث أو يمتص الضوء، إنما يحدث ذلك فقط حينما يقفز الإلكترون من مدار إلى مدار أخر. وتردد الضوء المنبعث يعطى بالعلاقة:

$$h\upsilon = E_f - E_i \qquad (5)$$

حيث E_i الطاقة الكلية للإلكترون في المدار الإبتدائي وE_f الطاقة الكلية للإلكترون في المدار النهائي وh ثابت بلانك وυ تردد الضوء المنبعث. يلاحظ هنا أن فروض بوهر هي مزيج من الفيزياء التقليدية (قانون نيوتن وكولوم) والفيزياء الكمية (الفوتون وتكمم الحركة الزاوية). ويمكن حساب الطاقة الكلية للإلكترون E_t في أي مدار من المدارات بجمع الطاقة الحركية وطاقة الوضع والحصول على الصيغة الآتية:

$$E_t = \frac{-m_e e^4 Z^2 k^2}{2n^2 h^2} \qquad (6)$$

الإشارة السالبة تدل إلى ضرورة بذل الشغل على الإلكترون لنزعه من الذرة ويمكن كتابة المعادلة (6) على الشكل الآتي:

$$E_t = -\omega_0 \frac{1}{n^2} \qquad (7)$$

حيث قيمة ω_0 تكون على النحو الآتي:

$$\omega_0 = -\frac{m_e e^4 Z^2 k^2}{2\hbar} = 2.1793 \times 10^{-19} J = -13.6 eV$$

تعد المعادلة (6) معادلة مهمة في دراسة تركيب الذرة إذ تعطى طاقة مستويات ذرة الهيدروجين عندما تشغل أياً من مستوياتها المسموحة .

عندما يحدث الانتقال من المستوى النهائي E_f إلى المستوي الابتدائي E_i حيث إن n_f أكبر من n_i فطاقة الفوتون المنبعث نعطي بالعلاقة:

$$h\upsilon = \omega_0 \left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i} \right) \qquad (8)$$

وبدلالة الأعداد الموجية $(1/\lambda)$ تكون المعادلة بالصيغة الآتية:

$$\overline{v} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\omega_0}{hc}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

أو

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \qquad (9)$$

نلاحظ أن هذه المعادلة تشبه المعادلة (1) عندما يكون $n_f =$.
يتضمن سلسلة بالمر ($n_i = 3,\ 4,\ 5;\ \ldots,\ n_f = 2$) عدداً من الخطوط الطيفية المنظورة والموضحة في الجدول رقم (1).

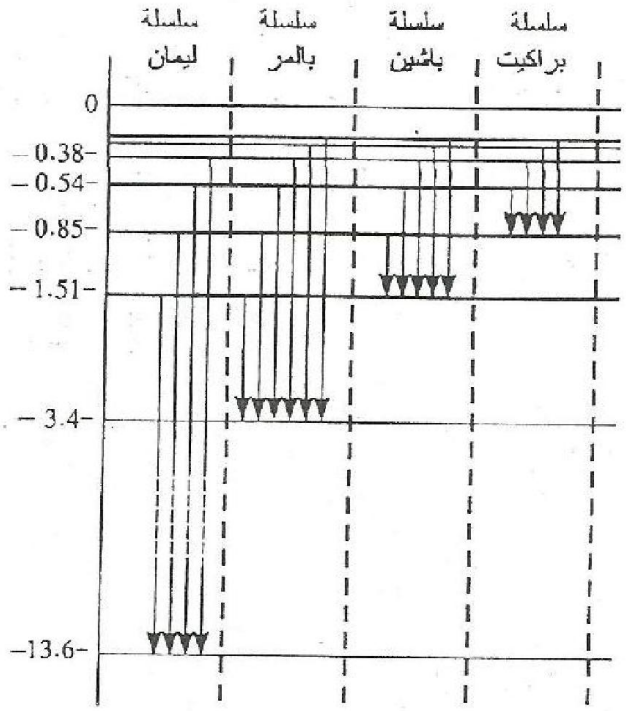
لون الخط	الطول الموجي Å	n_f	n_i
أحمر H_α	6562	2	3
أزرق مخضر H_β	4861	...	4
أزرق H_γ	4340	...	5
بنفسجي H_δ	4102	...	6

جدول (1)

بالإضافة إلى سلسلة بالمر المنظورة هناك سلاسل أخرى لخطوط طيف الهيدروجين كما هي موضحة في الشكل (1 ـ 1) والمدرجة تفاصيلها في الجدول (2)

اسم السلسلة	n_f	n_i	منطقة الطيف
ليمان Lyman	1	2, 3, 4...	فوق بنفسجية
بالمر Balmer	2	3, 4, 5...	منظورة
باشن Pachen	3	4, 5, 6...	تحت الحمراء
براكيت Bracket	4	5, 6, 7...	تحت الحمراء
فوند Pfund	5	6, 7, 8...	تحت الحمراء

جدول (2)



شكل (1 ـ 1)

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

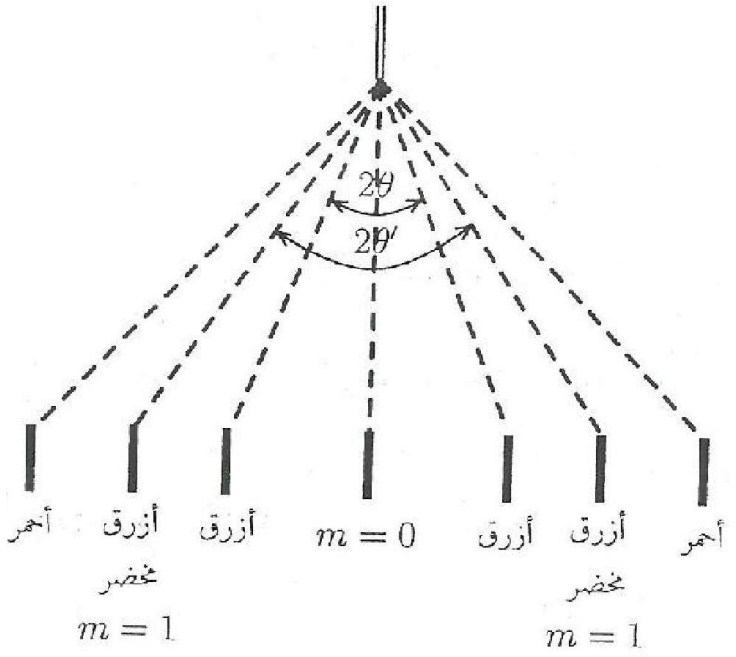
مصباح الهيدروجين مع مجهز القدرة الكهربية، مطياف ،عدسة محدبة بعدها البؤري $5cm$، محزوزة حيود، منضدة لترتيب الأجهزة .

خطوات العمل:

1. ثبت مصباح الهيدروجين على بعد حوالي $20cm$ من الشق المثبت في نهاية مجمع الأشعة collimeter. بحيث يكون المصباح على مستوى المطياف نفسه.
2. عدل المطياف [يمكن هنا الرجوع إلى التجربة (1) بالجزء الأول من هذا الكتاب] بصورة جيدة وعدل عرض الشق حتى تشاهد الصورة التقديرية للخط اللوني النافذ من الشق بوضوح على الشعرتين المتقاطعتين للتلسكوب.
3. ثبت العدسة المحدبة بين المصباح والشق على نقطة البؤرة

للعدسة تماماً وذلك للأشعة المنبعثة من مصباح الهيدروجين.

4. دوّر التلسكوب تدريجياً حتى تجد زاوية كل من الرتبة الأولى ($m = 1$) والرتبة الثانية ($m = 2$) كما موضح في الشكل (1 ـ 2). ورتب نتائجك بالجدول (3).



شكل (1 ـ 2)

	الخط الطيفي	θ_R	θ_L	$\theta = (\theta_L + \theta_R)/2$	$\lambda = a \sin \theta/m$
الرتبة الأولى $m = 1$	أحمر				
	أزرق مخضر				
	أزرق				
	بنفسجي				
الرتبة الثانية $m = 2$	أحمر				
	أزرق مخضر				
	أزرق				
	بنفسجي				

جدول (3)

5. أوجد قيمة R مستخدماً المعادلة (1) لكل خط وفي كل رتبة ثم أوجد متوسط قيمة R لهذه السلسلة.

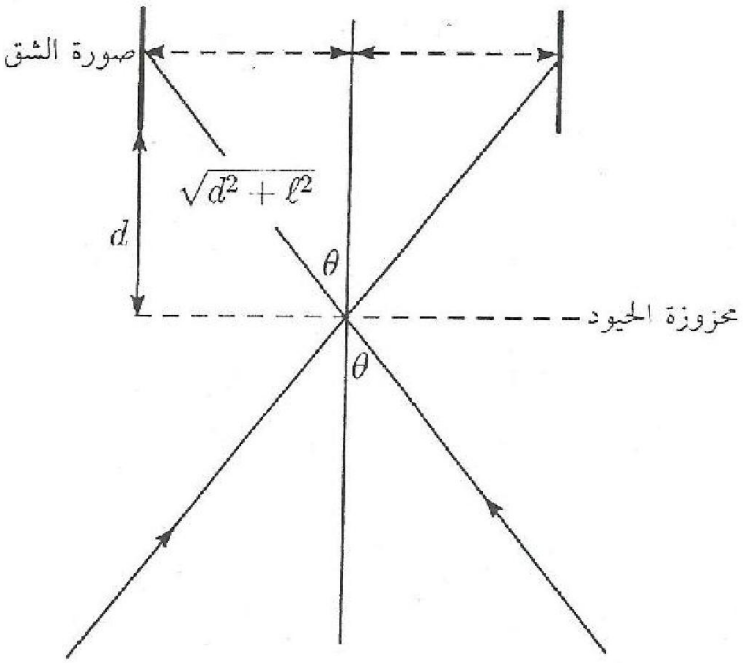
إضافة :

في حالة عدم توفر جهاز المطياف في المعمل يمكن إتباع الخطوات الآتية :

1. ضع الشق الضيق أمام مصباح الهيدروجين .
2. ضع المحزوزة على بعد معين من الشق .
3. ثبت شاشة على بعد d من المحزوزة كما موضح في الشكل (1 ـ 3)

يمكن الآن التقاط صور الخطوط على الشاشة كما موضح في الشكل ومن الشكل نلاحظ :

$$\sin\ \theta = \frac{\ell}{\sqrt{d^2 + \ell^2}}$$



شكل (1 ـ 3)

وباستخدام معادلة الحيود من الرتبة الأولى $a \sin \theta = \lambda$ حيث a ثابت المحزوزة نجد أن:

$$\lambda = \frac{a.\lambda}{\sqrt{d^2 + \ell^2}}$$

حيث d المسافة بين الشق والمحزوزة وl هي المسافة بين صورة الشق والخط الطيفي في الرتبة الأولى. ومن قياسات d وl وحساب a يمكن إيجاد قيمة الطول الموجي λ ومن ثم حساب قيمة R باستخدام معادلة ريدبرج (معادلة رقم1).

الأسئلة

- ما المقصود بالمعادلة التجريبية؟
- لماذا إستخدمنا سلسلة بالمر في هذه التجربة دون السلاسل الأخرى؟
- أحسب قيمة R نظرياً. وقارن نتائجك بهذه القيمة؟
- علام يعتمد لون الخط في سلسلة بالمر في ذرة الهيدروجين؟
- ماذا تمثل قيمة ω_0؟

التجربة رقم (2)

إيجاد الشحنة النوعية للإلكترون (e/m_e) بطريقة المغنترون

Determination of the specific charge (e/m_e) for electrons using the magnetron method

الغرض من التجربة:

قياس الشحنة النوعية $\left(\frac{e}{m_e}\right)$ للإلكترون

النظرية:

عندما يؤثر مجال مغناطيسي منتظم شدته B على إلكترون يتحرك بسرعة v وعمودياً على إتجاه خطوط المجال المغناطيسي فإن الإلكترون يتحرك في مسار دائري نصف قطره R تبعاً للعلاقة الآتية :

$$Bev = \frac{m_e v^2}{R} \qquad (1)$$

حيث إن m_e كتلة الإلكترون، e شحنته ونصف قطره $r_A/2$ بإستبدال شدة المجال B بشدة المجال الحرج B_c (أنظر إلى فقرة وصف المغنترون) تصبح المعادلة بالصيغة الآتية :

$$B_c ev = \frac{m_e v^2}{(r_A/2)} \qquad (2)$$

بإستخدام المعادلة الإعتيادية لطاقة الإلكترون تحت تأثير جهد المصعد V_a نحصل على:

$$eV_a = \frac{1}{2} m_e v^2 \qquad (3)$$

بحذف v من المعادلتين 2، 3 نجد أن:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8V_a}{r_A^2 B_c^2} \qquad (4)$$

إذا مثلنا التيار خلال الملف، عندما ينخفض تيار المصعد إلى الصفر، بـ I_c يكون:

$$B_c = \frac{\mu_0 N I_c}{L} \qquad (5)$$

حيث أن μ_0 السماحية المغناطيسية للفراغ وN عدد اللفات وL طول الملف. بالتعويض عن قيمة B_c من المعادلة (4) نحصل على:

$$\frac{e}{m_e} = \left(\frac{8L^2}{\mu_0^2 N^2 r_A^2}\right)\frac{Va}{I_c^2} \qquad (6)$$

وعليه بقياس V_a وI_c يمكن إيجاد قيمة e/m_e.

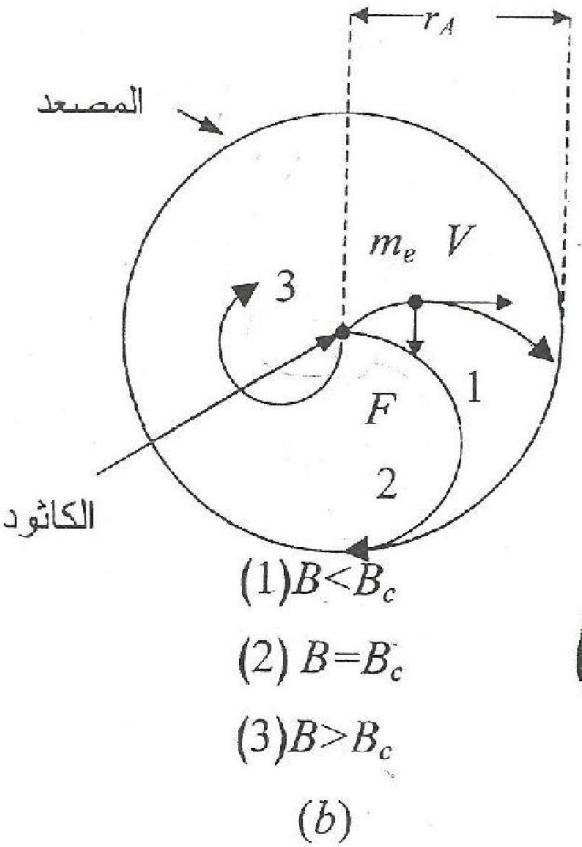
الأجهزة والأدوات المستخدمة:

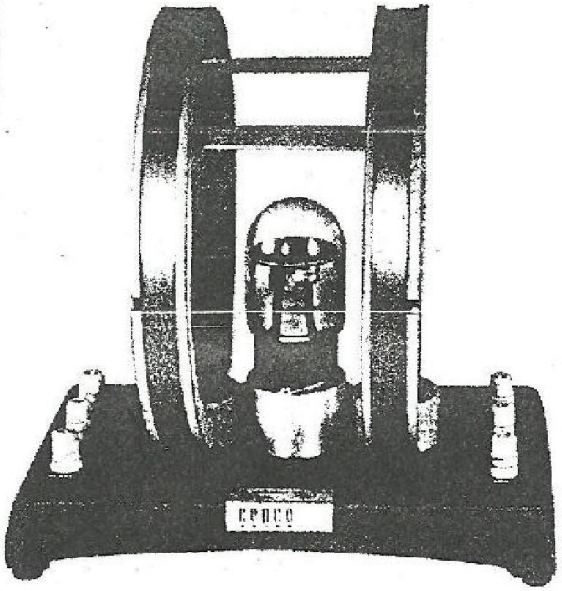
المغنترون، مجهز القدرة المستمرة، ملي أميتر عدد 2، فولتميتر عدد2، أسلاك توصيل .

وصف المغنترون:

المغنترون هو صمام ثنائي مفرغ من الهواء، يتكون من الفتيلة F التي يتم تسخينها مباشرة من خلال توصيلها بمجهز القدرة جهده حوالي $8V$، وتقع هذه الفتيلة في وسط الصمام وعلى طول المصعد A الأسطواني الشكل (شكل 2 - b1) ويثبت الصمام بين الملفين - أنظر إلى شكل (2 - a1). عند مرور التيار الكهربي خلال الملف يتكون مجال مغناطيسي حول الصمام. في حالة عدم وجود المجال المغناطيسي B فإن الإلكترون ينبعث من الفتيلة ويتحرك عمودياً تحت تأثير المجال الكهربي بإتجاه المصعد الأسطواني. وفي حالة مرور الإلكترونات المنبعثة حرارياً من الفتيلة سيكون تحت تأثير المجال المغناطيسي B بالإضافة إلى المجال الكهربي E وبالتالي نجد أن تأثير القوة تجبره على الحركة في مسار

منحني نحو المصعد ـ مسار 1 شكل (2 - b1) وبزيادة شدة المجال B يتناقص نصف قطر الإنحناء وعندما يصل المجال B إلى القيمة معينة. فإن الإلكترون لا يستطيع الوصول إلى المصعد (مسار 2) وسينخفض تيار المصعد فجائياً إلى الصفر وتعرف هذه القيمة للمجال B بالقيمة الحرجة B_c ويكون مسار الإلكترون دائرياً بنصف قطر $(r_A/2)$ حيث r_A نصف قطر المصعد إن هذه النقطة هي المراد الوصول إليها في هذه التجربة.

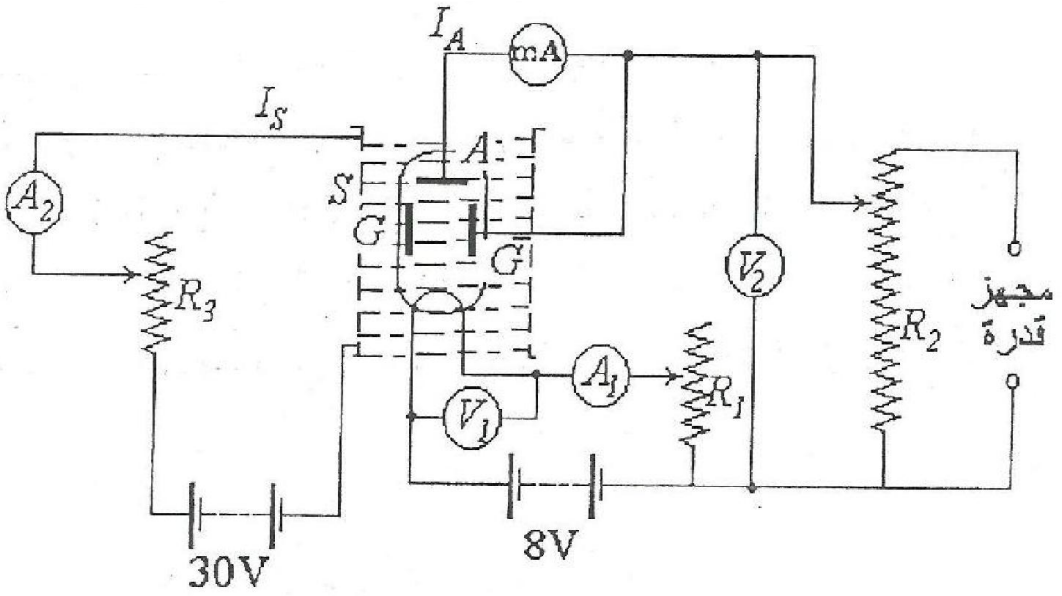



(a)

شكل (2 ـ 1) المغنترون

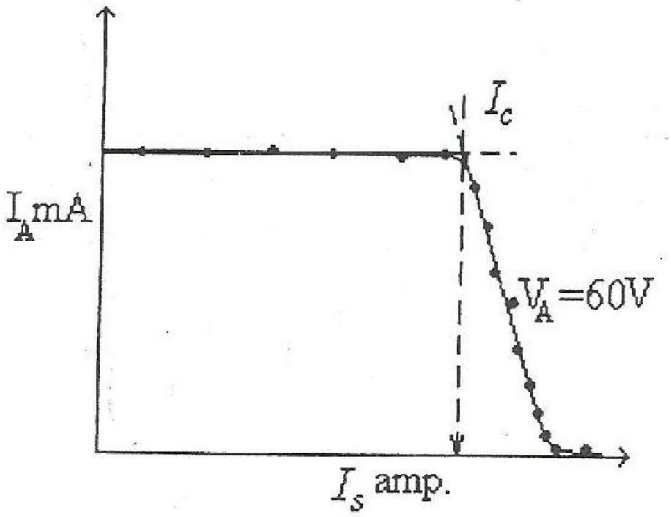
خطوات العمل:

1. أوصل دائرة الصمام الثنائي والمجال المغناطيسي كما موضح في الشكل (2 ـ 2).



شكل (2 ـ 2)

2. باشر بتسخين فتيلة الصمام وذلك بتوصيلها الجهد بحدود 8 فولت. وأوصل المصعد بجهد قدره 60 فولت.



شكل (2 ـ 3)

3. إبدأ بزيادة تيار الملف I_s تدريجياً بخطوات وكل خطوة بـ $(0.5A)$ وسجل تيار المصعد المقابل I_A. عندما يبدأ تيار

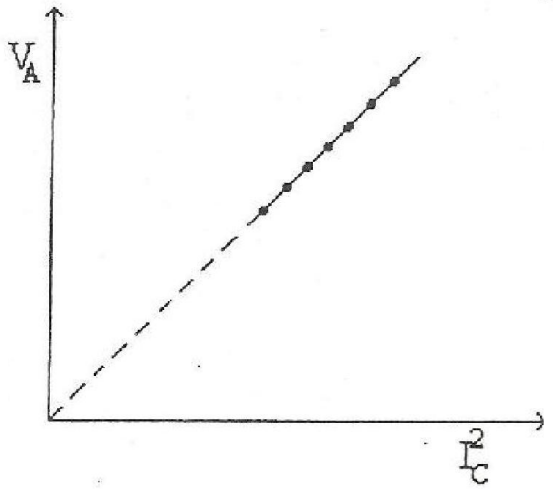
المصعد بالإنخفاض سجل I_s بخطوات صغيرة ولتكن $0.1A$ إلى أن ينقطع تيار المصعد ـ أنظر إلى الشكل (2 ـ 3).

4. كرر الخطوة الثالثة وذلك بتغيير جهد المصعد وليكن 70 و80 و90 و100 فولت. ودون النتائج في جدول على النحو التالي:

$I_A(mA)$					
$V_A = 100V$	$V_A = 90$	$V_A = 80V$	$V_A = 70V$	$V_A = 60V$	$I_s Amp$

5. ارسم العلاقة بين I_A وI_s لهذه المجموعة من النتائج ثم عين I_c لكل منحنى كما موضح في الشكل (2 ـ 3).

6. أرسم العلاقة بين كلاً من V_a وI_c^2 بيانياً كما في الشكل (2 ـ 4) وبإيجاد ميل الخط المستقيم يمكن حساب معدل قيمة V_a^2/I_c^2 وإستخدم هذه القيمة في المعادلة رقم (6) للحصول على قيمة e/m_e. وقارن هذه القيمة مع القيمة النظرية للشحنة النوعية للإلكترون.



شكل (2 ـ 4)

الأسئلة

- علام تعتمد قيمة e/m_e؟
- اذكر طرق أخرى تستخدم لحساب .
- ماذا يحدث لجسيم غير مشحون عندما يتحرك تحت تأثير مجالين متعامدين أحدهما كهربي والأخر مغناطيسي .
- ما التغير الذي يطرأ على شعاع إلكتروني يسير في خط مستقيم عندما يؤثر عليه مجال كهربي عمودي على إتجاه مسار الشعاع؟

التجربة رقم (3)

تكمم الشحنة وقياس شحنة الإلكترون

Charge quantization and measurement of electron charge

الغرض من التجربة:

فهم تكمم الشحنة وقياس شحنة الإلكترون.

مقدمة:

قام ميليكان سنة 1913 بوضع هذه التجربة التي تؤكد تكمم الشحنة وتساعد على قياس مستقل للشحنة الأساسية (e) للإلكترون وتعتمد فكرتها على تحليل القوى المؤثرة على قطرة زيت صغيرة ومشحونة تحت تأثير المجال الكهربي.

النظرية:

نفترض أن قطرة زيت كتلتها m وشحنتها q تسقط في الفراغ الموجود بين لوحي جهاز ميليكان وتحت تأثير الجاذبية الأرضية. تخضع القطرة إلى ثلاث قوى مختلفة شكل (3 - a1) وهي:

1. وزن القطرة الزيتية mg.
2. قوة دفع الهواء (f_B) بعكس اتجاه حركة القطرة.
3. مقاومة لزوجة الهواء f_B (قانون ستوكس Stock's law) أي محصلة القوى المؤثرة على القطر ستكون على النحو الأتي:

$$F = mg - f_B - k\nu \qquad (1)$$

حيث m كتلة القطرة الزيتية وg العجلة الأرضية و$k\nu$ قوة مقاومة

الزوجة وطبقاً لقانون ستوكس قوة اللزوجة تعطى بالعلاقة الآتية :

$$k\nu_t = 6\pi\eta r \qquad (2)$$

حيث r نصف قطر القطرة الزيتية وη معامل اللزوجة viscosity coefficient للهواء ويساوي $1.5 \times 10^{-5} N.S.m^{-2}$ وν سرعة القطرة وk ثابت.

عند وصول سرعة قطرة الزيت ν سرعة المنتهى terminal velocity ν_t ستكون $F = 0$ ويمكن كتابة المعادلة (1) بالصيغة الآتية:

$$mg - f_B = k\nu_t \qquad (3)$$

أو

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \left(\rho_o - \rho_A\right) g = 6\pi\eta r\nu_t \qquad (4)$$

حيث إن ρ_o كثافة الزيت $(796\ kg/m^3)$

ρ_A كثافة الهواء $(1\ kg/m^3)$

بحل المعادلة (4) بالنسبة لـ r

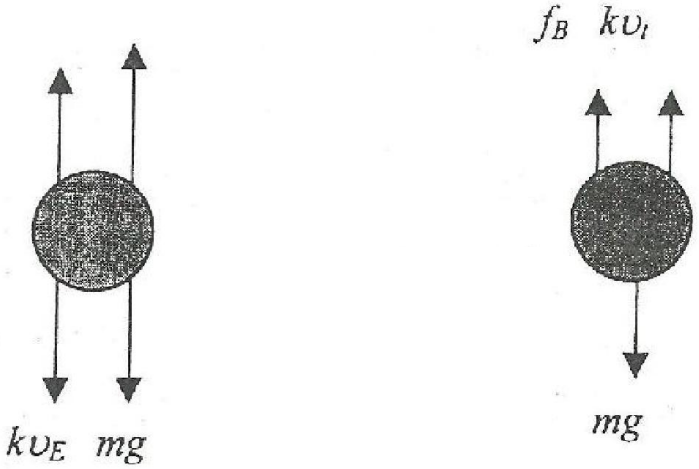
$$r = 3\left[\frac{\eta\nu_t}{2g\left(\rho_o - \rho_A\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (5)$$

بالتعويض عن (r) في المعادلة (2) نجد أن:

$$k = 18\pi\left[\frac{\eta^3\nu_t}{2g\left(\rho_o - \rho_A\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (6)$$

يمكن استخدام هذه المعادلة لحساب ثابت k

إذا سلط فرق الجهد V بين اللوحين بحيث يوصل اللوح العلوي بالقطب الموجب شكل (3 ـ 2) واللوح السفلي بالقطب السالب فإنه سيتولد مجال كهربي E بين اللوحين. وهذا المجال يؤثر على قطرة الزيت المشحونة فإنها ستتحرك إلى الأعلى بسرعة المنتهى قدره v_E شكل (3 - b1) وتكون قوة المجال الكهربي qE.



(a) سقوط قطرة الزيت في الهواء

(b) حركة قطرة الزيت تحت تأثير المجال الكهربي

شكل (3 ـ 1)

حيث إن $E = \frac{V}{d}$ و d المسافة بين اللوحين.

ومحصلة القوى المؤثرة على قطرة الزيت ستعطى بالعلاقة الآتية:

$$F = qE + f_B - mg - kv \qquad (7)$$

وعندما تصل سرعة القطرة سرعة المنتهى أي $F = 0$، وبالتالي تصبح المعادلة (7) على النحو الآتي:

$$qE - kv_E = mg - f_B \qquad (8)$$

بربط المعادلة (8) مع المعادلة (3) نحصل على الصورة

$$qE - k\nu_E = k\nu_t$$

أو

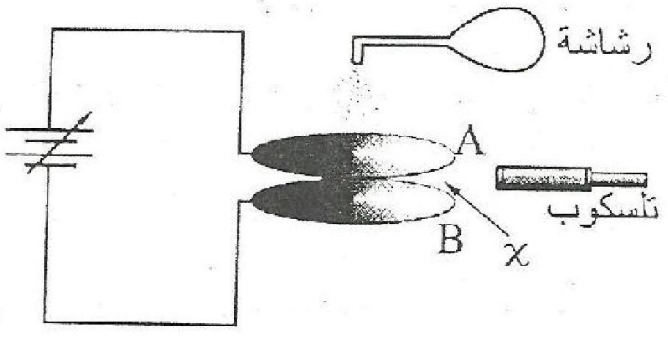
$$q = \frac{k}{E}(\nu_t + \nu_E) \qquad (9)$$

يمكن قياس جميع الكميات الموجودة في الطرف الأيمن من المعادلة (9) عملياً وحساب قيمة q ونجد إن q هي دائماً مضاعفات عددية صحيحة لشحنة الإلكترون.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جهاز ميليكان ومرذاذ (رشاش)

وصف جهاز ميليكان: يتكون جهاز ميليكان من لوحين A وB أفقيين ومتوازيين موضوعين داخل صندوق معدني لتجنب تأثير التيارات الهوائية الخارجية كما هو موضح في الشكل (3 ـ 1) يستخدم مرذاذاً Atomizer بسيطاً لرذ قطرات الزيت بين اللوحين. تكون هذه القطرات عادة مشحونة بشحنة سالبة بسبب تأثيرات



شكل (3 ـ 2)

الاحتكاك مع فتحة المرذاذ. يضاء الفراغ الموجود بين اللوحين والقطرات الزيتية بواسطة مصباح مثبت في جانب الصندوق حتى يتمكن من رصد حركة قطرات الزيت بواسطة التلسكوب.

خطوات العمل:

1. تأكد من نظافة اللوحين والغطاء الخارجي من بقايا الزيت وكذلك من عدم انسداد الفتحة التي يدخل الزيت من خلالها.
2. اضبط عدسة التلسكوب حتى تتمكن من رؤية اللوحة المدرجة بوضوح.
3. أوصل طرفي اللوحين بقطبي مصدر كهربي - شكل (3 - 2) بحيث يوصل اللوح العلوي بالقطب الموجب واللوح السفلي بالقطب السالب.
4. رش قطرات قليلة من الزيت من خلال الثقب بحيث تدخل بعض القطرات إلى الفتحة الموجودة بين اللوحين. ولاحظ حركة القطرات من خلال الميكروسكوب (ملاحظة: تظهر القطرات الساقطة صاعدة إلى الأعلى لأن التلسكوب يظهر صورة مقلوبة) فعند تسليط الجهد بين اللوحين ستلاحظ أن القطرات المشحونة تسقط إلى الأسفل (وهي في الحقيقة تتحرك نحو الأعلى).
5. اختر أحسن قطرة يمكن التحكم بحركتها بسهولة واترك القطرة تسقط تحت جاذبية الأرض. واحسب الزمن اللازم لتقطع بضع تدريجات اللوحة المدرجة ثم أحسب سرعته v_t المنتهى.
6. سلط جهد مناسب على اللوحين وأحسب الزمن اللازم لتقطع قطرة الزيت بعض التدريجات. ثم أحسب السرعة v_E.
7. كرر الخطوة السابقة لعدد من القطرات وسجل النتائج في الجدول الآتي:

η	q	ν_E	$E = V/d$	k	ν_t	القطرات
						1
						2
						3
						4
						5
						...

و استخدام المعادلة (9) لحساب q بعد حساب قيمة k من المعادلة (6).

الأسئلة

- ما المقصود بسرعة المنتهى؟
- ما المقصود بالشحنة الأساسية وما هي قيمتها؟
- ما النتائج التي أمكن التوصل إليها من تجربة ميليكان؟
- هل يمكن استخدام جهد متناوب في هذه التجربة؟ ولماذا؟

رقم التجربة (4)

دراسة التأثير الكهروضوئي

The study of photoelectric effect

الغرض من التجربة:

تعيين ثابت بلانك h ودالة الشغل ϕ_m للمعدن وتردد العتبه ν_o.

النظرية:

من المعروف أن الموجات الكهرومغنطيسية ذات الأطوال الموجية القصيرة تسبب انبعاث الإلكترونات من سطح المعدن وهذه الظاهرة تعرف بتأثير الكهروضوئي (Photoelectric effect).

ولقد فسر إينشتين ظاهرة التأثير الكهروضوئي بالاعتماد على النظرية الكمية للضوء وتبعاً لهذه النظرية فإن الضوء يتكون من كمات صغيرة متقطعة من الطاقة وتعرف هذه الكمات بالفوتونات. وطاقة كل فوتون تعطى بالعلاقة:

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

حيث h ثابت بلانك Plank's Constant وν تردد الضوء المستخدم.

عندما يصطدم فوتون طاقته $h\nu$ بسطح المعدن فإنه يتم امتصاص طاقة هذا الفوتون بالكامل من قبل الإلكترون ويتحرر الإلكترون السطح بطاقة حركية قصوى T_{max} تعطى بالعلاقة:

$$T_{max} = h\nu - \phi_m \qquad (2)$$

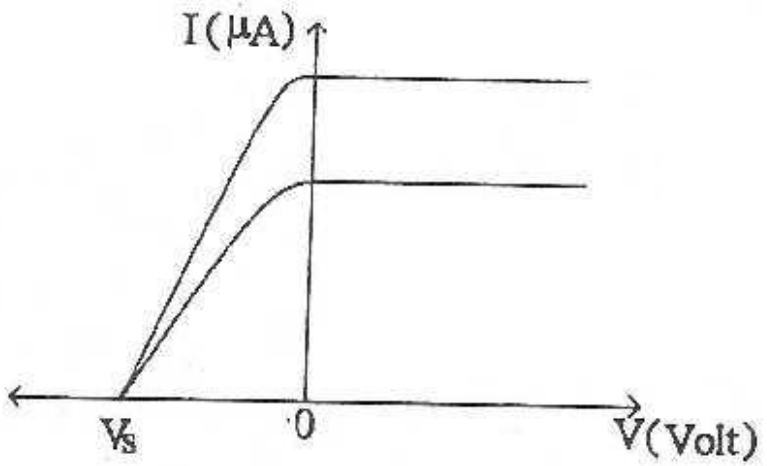
حيث إن ϕ_m دالة الشغل work function لمعدن الكاثود ملحق (4) يعطى دالة الشغل لبعض المعادن. ويقصد بدالة الشغل هي أقل طاقة لازمة لنزع إلكترون من سطح معدن معين، ν تردد الضوء المستخدم.

إذا عبرنا عن دالة الشغل بالصيغة $\phi_m = h\nu_o$ حيث ν_o تردد العتبة threshold frequency وهو التردد اللازم لانبعاث الإلكترون من سطح المعدن فاءنة يمكن كتابة المعادلة (2) بالصيغة الآتية:

$$T_{max} = h\,(\nu - \nu_o) \qquad (3)$$

تعرف هذه المعادلة بمعادلة آنيشتين.

يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة عملياً وذلك بتسليط جهد كهربي سالب على الأنود، فبزيادة الجهد السالب تناقص حركة الإلكترونات إلى أن يصبح تيار الأنود يساوي صفر. والجهد الذي عنده تيار الأنود يساوي صفر، يعرف بجهد الإيقاف stopping potential V_s أنظر الشكل (4 ـ 1):



شكل (4 ـ 1)

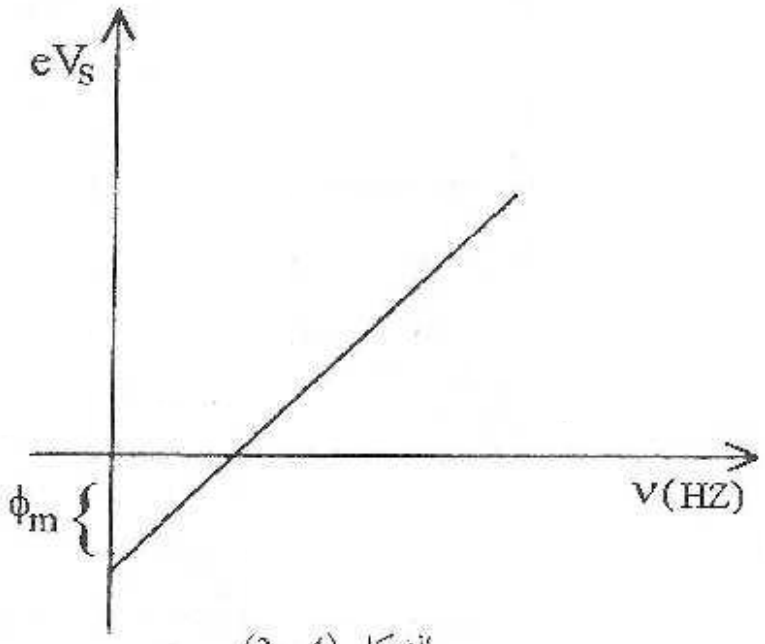
وعند هذا الجهد فإن:

$$T_{max} = e\, V_s \qquad (4)$$

حيث e شحنة الإلكترون، V_s جهد الإيقاف. ونلاحظ من المعادلة (4) أن جهد الإيقاف لا يعتمد على شدة الضوء الساقط. ومن ثم يمكن كتابة المعادلة (3) على الصورة الآتية:

$$e\, V_s = h\,(\nu - \nu_o) \qquad (5)$$

يمكن استخدام هذه المعادلة لحساب ثابت بلانك h ودالة الشغل للمعدن ϕ_m. وكذلك تردد العتبة ν_o. وذلك برسم العلاقة بين eV_s على محور الصادات وν على المحور السينات كما هو موضح بالشكل (4 ـ 2):



الشكل (4 ـ 2)

الأجهزة المستخدمة:

مصباح الزئبق ذو ضغط عالي مع مجهز القدرة، منشور المنظور المباشر، مضخم تيار مستمر، فولتميتر، ميكروأميتر، عدستين، شقين، خلية كهروضوئية، بطارية، مقاومة متغيرة.

وصف الأجهزة:

1. الخلية الكهروضوئية :

تتكون الخلية الكهروضوئية من أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء وداخل الأنبوبة صفيحة معدنية على شكل نصف اسطوانة مغطاة بطبقة من أحد العناصر أو المركبات الحساسة للضوء (دالة الشغل واطئة) مثل السيزيوم أو أكسيد السيزيوم والفضة وتسمى بالكاثود Cathode. ينبعث منها الإلكترونات عندما يسقط عليها الضوء. كما يوجد في محور الأسطوانة (الكاثود) سلك رفيع يدعى الأنود Anode. يقوم الأنود بجذب الإلكترونات المنبعثة من سطح الكاثود. وذلك بتوصيله بجهد موجب.

2. مضخم التيار المستمر :

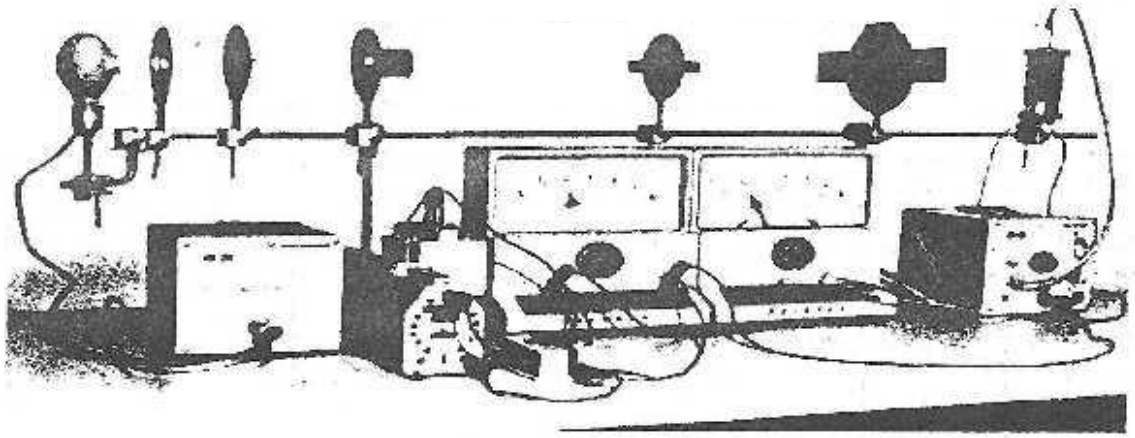
جهاز إلكتروني بسيط يقوم بتضخم التيار المستمر ويمتلك هذا الجهاز مستويات مختلفة للتضخم والمستوى المستخدم لهذه التجربة هو (10^{-10}) ويوجد على الواجهة الأمامية للجهاز زران أحدهما للتحكم بالحساسية والأخر للتصفير.

3. مصباح الزئبق :

يمتاز هذا المصباح بشدة إضاءة قوية وطاقة عالية والمصباح مطلي في الخارج باللون الأسود باستثناء فتحة دائرية قطرها حوالي $2.5cm$. وهذا التصميم يساعد على حماية العين من الأشعة البنفسجية. لهذا المصباح غلاف خارجي من الكوارتز وهو مفرغ من الهواء وتعتمد نظرية عمله على التفريغ في بخار الزئبق. تحتوي خطوط طيف الزئبق على مدى واسع من الأطوال الموجية.

خطوات العمل:

1. رتب المجموعة البصرية كما موضح في الشكل (4 ـ 3) وكذلك أوصل الدائرة الكهربية للخلية الضوئية الموضح في الشكل نفسه.



شكل (4 ـ 3)

2. ابدأ بتشغيل المصباح الزئبقي ومضخم التيار المستمر مع تركهما لمدة خمس دقائق قبل البدء بتسجيل القراءات.
3. حاول الحصول على خطوط طيفية واضحة مفصولة، وذلك بتغير مواقع الآلات البصرية على السكة وتأكد من أن الخلية تلتقط الخط الذي تدرسه (إستخدام الشق القريب من الخلية لاختيار أي خط من الخطوط على الخلية).
4. ثبت مدى مضخم التيار على 10^{-10} وصفر الميكروأميتر وذلك بحجب الضوء كلياً عن الخلية باستخدام زر التصفير واختيار حساسية مناسبة.
5. اجعل الجهد مساوياً للصفر بإستخدام المقاومة المتغيرة، وبعد ذلك إجعل الخط البنفسجي يسقط على الخلية وإبداء بزيادة

الجهد تدرجياً، وسجل قراءة الميكروأميتر المقابلة إلى أن يصبح التيار صفر. عندئذ يعتبر هذا الجهد جهد الإيقاف V_s للخط البنفسجي.

6. كرر الخطوة (5) لباقي خطوط الطيف مع التاكد من عملية التصفير للميكروأميتر وسقوط الخط الطيفي على الخلية بشكل جيد ثم رتب نتائجك في جدول على النحو الأتي:

الخط البنفسجي $\lambda_u = 406\ nm$		الخط الأزرق $\lambda_b = 435\ nm$		الخط الأخضر $\lambda_g = 491.5\ nm$		الخط الأصفر $\lambda_y = 579.7\ nm$	
V	I	V	I	V	I	V	I

7. ارسم العلاقة بين V وI لكل خط. ثم أوجد جهد الإيقاف V_s لكل خط، واحسب التردد ν لكل خط مستخدماً العلاقة $\nu = c/\lambda$ حيث c سرعة الضوء وλ الطول الموجي للخط الطيفي واكتب النتائج في الجدول الآتي:

لون الخط	$\nu = c/\lambda$	جهد الإيقاف V_s
البنفسجي 405 nm		
الأزرق 435 nm		
الأخضر 491.5 nm		
الأصفر 579.7		

8. ارسم العلاقة بين V_s (بالإلكترون فولت eV) وν فتحصل على خط مستقيم مماثل للشكل (4 ـ 2). احسب ميل خط المستقيم

فتحصل على قيمة h، ومن نقطة تقاطع الخط المستقيم مع محور الصادات تحصل على قيمة ϕ_m ومنها يمكن حساب تردد العتبة ν_0.

إضافة:

يمكن إثبات من هذه التجربة أن جهد الإيقاف لا يعتمد على شدة الضوء الساقط. وذلك بتغير شدة الإضاءة وتكرار الخطوة (7) وكذلك يمكن أن توضح أن تيار الإشباع يزداد بزيادة الشدة.

الأسئلة

- ما الذي تدل عليه هذه التجربة بالنسبة لطبيعة الضوء؟
- اكتب دالة الشغل ϕ_m لثلاث معادن مختلفة. ثم بين هل يمكن إستخدامهم لدراسة ظاهرة التأثير الكهروضوئي في مدى الطيف المرئي؟
- هل يمكن استخدام محزوزة الحيود بدلاً من المنشور في هذه التجربة؟
- ضوء طوله الموجي $400nm$ يسقط على خلية ضوئية. إذا علمت أن جهد الإيقاف لهذا الضوء هو 2.5 فولت:
  1. ما الطاقة الحركية لأسرع إلكترون؟
  2. ما دالة الشغل لمعدن الكاثود؟
  3. ما تردد العتبة.

التجربة رقم (5)

سلوك الحزمة الإلكترونية في المجال الكهربي والمجال المغناطيسي

Characteristic of electron beam in electrical and magnetic field

الغرض من التجربة:

دراسة سلوك الإلكترونات تحت

a. تأثير المجال الكهربي E.

b. تأثير المجال المغناطيسي B وإيجاد الشحنة النوعية للإلكترون e/m_e.

مقدمة:

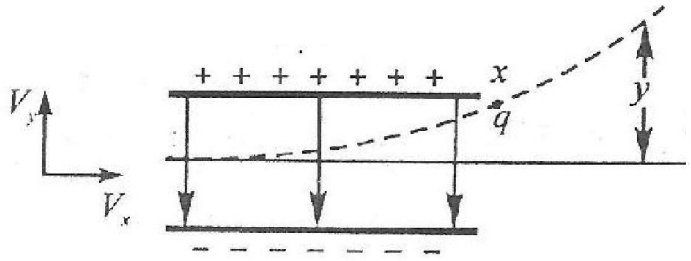
عندما تتحرك حزمة من الإلكترونات بسرعة ثابتة في المجال الكهربي أو المجال المغناطيسي فإنها تنحرف عن مسارها المستقيم لتأخذ مساراً منحنياً وتعتمد قيمة هذا الإنحراف على قيمة المجال المسلط. وتستخدم هذه الخاصية في كثير من الأجهزة الإلكترونية الحديثة مثل جهاز الأشعة الكاثودية وشاشة الأجهزة المرئية.

النظرية:

سلوك الإلكترونات في المجال الكهربي

إذا تحركت حزمة إلكترونية باتجاه المحور x بين لوحين متوازيين البعد بينهما d ومثبتين داخل أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء وبما أن الإلكترونات تتحرك في الفراغ فتكون سرعتها ثابتة ومساوية لـ v_x وإذا وصلتا اللوحين بفرق جهد قدره V_p فإن الحزمة تنحرف عن مسارها وتأخذ

مساراً على شكل القطع المكافئ parabolic بين اللوحين كما هو موضح في الشكل (5 ـ 1).



شكل (5 ـ 1)

والقوة العمودية المؤثرة على كل إلكترون من إلكترونات الحزمة في المجال E هي:

$$F_y = eE \qquad (1)$$

حيث e شحنة الإلكترون وE شدة المجال الكهربي بين اللوحين.

إذا افترضنا أن m_e كتلة الإلكترون فتكون عجلة الإلكترون α_y باتجاه y بالصيغة الآتية:

$$\alpha_y = \frac{eE}{m_e} \qquad (2)$$

بعد الفترة الزمنية t ستنحرف الحزمة عن مسارها باتجاه y مسافة قدرها:

$$y = \frac{1}{2}\alpha_y t^2 \qquad (3)$$

و v_y السرعة العمودية للإلكترونات هي:

$$v_y = \alpha_y t = \frac{eE}{m_e} t^2 \qquad (4)$$

أما المسافة التي تقطعها الإلكترونات خلال الفترة t على المحور x هي:

$$x = \nu_x t \qquad (5)$$

حيث ν_x سرعة الإلكترونات باتجاه x. بحذف t من المعادلتين (4 و5) نجد أن:

$$y = \frac{eE}{2m_e\nu_x^2}.x^2 \qquad (6)$$

والطاقة الحركية التي تكتسبها الإلكترونات تحت تأثير الجهد المسلط على المصعد V_A وباتجاه x هي:

$$\frac{1}{2}m_e\nu_x^2 = eV_A \qquad (7)$$

وبحذف ν_x^2 من المعادلتين (7 و6) نجد أن:

$$y = \frac{V_p}{4dV_A}.x^2 \qquad (8)$$

هذه المعادلة هي معادلة القطع المكافئ ويتم تحقيقها في هذه التجربة.

سلوك الإلكترونات في المجال المغناطيسي :

أما إذا تحركت الحزمة بسرعة ثابتة ν_x في مجال مغناطيسي شدته B عمودياً على اتجاه حركتها فإن المجال سيؤدي إلى توليد قوة قدرها:

$$F_B = Be\nu_x \qquad (9)$$

تؤثر على الحزمة الإلكترونية في اتجاه عمودي على كل من السرعة والمجال ويصبح مسار الحزمة دائرياً، ومن المعادلتين (7 و9) نحصل على.

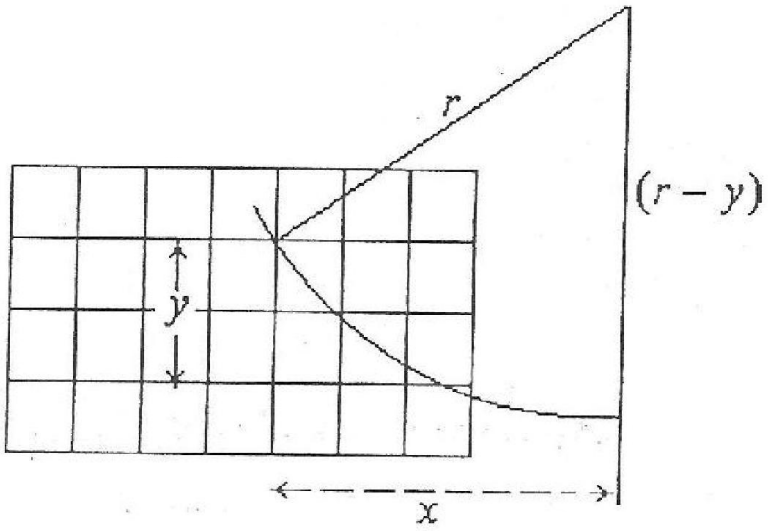
$$\frac{e}{m_e} = \frac{2V_A}{r^2 B^2}$$

ومن ثم يمكن قياس الشحنة النوعية للإلكترون (e/m_e) وذلك بقياس جهد المصعد V_A والمجال B ونصف قطر الحزمة r.

يمكن حساب قيمة شدة المجال المغناطيسي من زوج من ملفات هلمهولتز Helmholts coil باستخدام العلاقة:

$$B = \frac{NR^2 I \mu_0}{(R^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad (11)$$

حيث إن N عدد اللفات لكل ملف من ملفي هلمهولتز وR نصف قطر كل ملف وI التيار-الملف وμ_0 سماحية الفراغ وa المسافة بين الملفين. أما r نصف قطر انحناء مسار الحزمة الإلكترونية على الشاشة يمكن إيجاده بالاستعانة بالشكل (5 ـ 2) إذ نجد من الشكل أن:



شكل (5 ـ 2)

$$r^2 = x^2 + (r - y)^2$$

$$2r = \frac{x^2 + y^2}{y^2}$$

إذا أخذنا مجموعة من النقاط على المنحنى وثبتنا إحداثياتها $(y,\ x)$ ومن ثم رسمنا العلاقة بين y^2 و$(x^2 + y^2)$ نحصل على خط مستقيم ميله يساوي $2r$.

أما عندما تكون الحزمة الإلكترونية تحت تأثير المجالين الكهربي والمغناطيسي المتعامدين على بعضهما فإن الانحراف في مسار الحزمة يعتمد على الفرق بين المجالين. وعندما يتساوى المجالان يصبح مسار الحزمة مستقيماً في هذه الحالة تكون القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي F_B مساوية للقوة الناتجة عن المجال الكهربي F_E أي أن:

$$F_E = F_B$$

أو

$$eE = BcV_x$$

و

$$\nu_x = \frac{E}{B} \qquad (13)$$

يمكن قياس سرعة الإلكترون بقياس المجال $\left(E = \frac{V_P}{d}\right)$ وحساب المجال B من المعادلة (11).

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

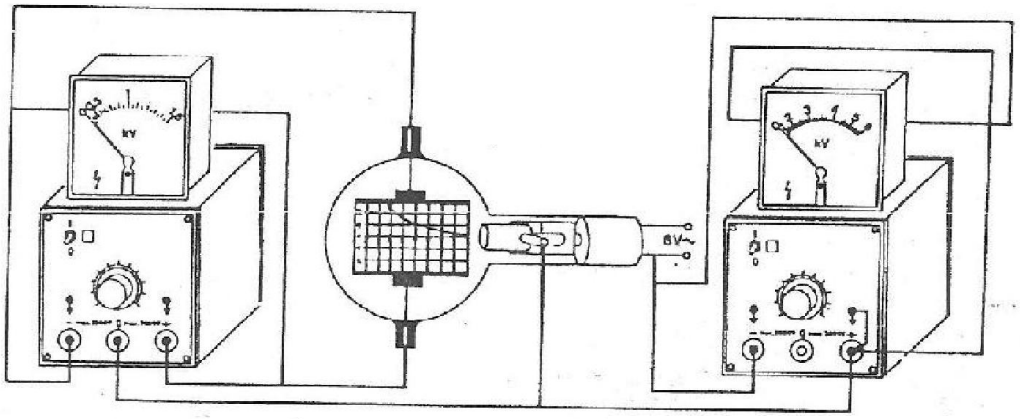
الجهاز الرئيسي الذي يستخدم في هذه التجربة يتكون من أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء تحتوي على قاذفة إلكترونية والتي يتكون من فتيلة يتم تسخينها مباشرة ومصعد على شكل أسطوانة.ويوجد داخل الأنبوبة

لوحان متوازيان المسافة بينهما d وكذلك شاشة متفلورة ومدرجة بالسنتمترات كما أن الأنبوبة مثبتة بين زوج من ملفات هلمهولتز كما موضح في الشكل (5 ـ 3) وتستخدم مع هذا الجهاز مجموعة من مجهزات القدرة المستمرة $(0 - 3000V)$ وكذلك الفولتمترات.

خطوات العمل:

a - لدراسة تأثير المجال الكهربي على حزمة إلكترونية نتبع الخطوات الآتية:

1. أوصل الدائرة الكهربية كما موضح في الشكل (5 ـ 3).



شكل (5 ـ 3)

2. ابدأ بتسخين الفتيلة وذلك بتوصيل فرق جهد قدره $6V$ على طرفي الفتيلة.
3. أوصل المصعد A بجهد قدره $2500V$ فتظهر مباشرة حزمة زرقاء على الشاشة المتفلورة.
4. أوصل اللوحين بجهد ثابت قدره $5000V$ فتلاحظ انحراف الحزمة على اللوحة المدرجة.

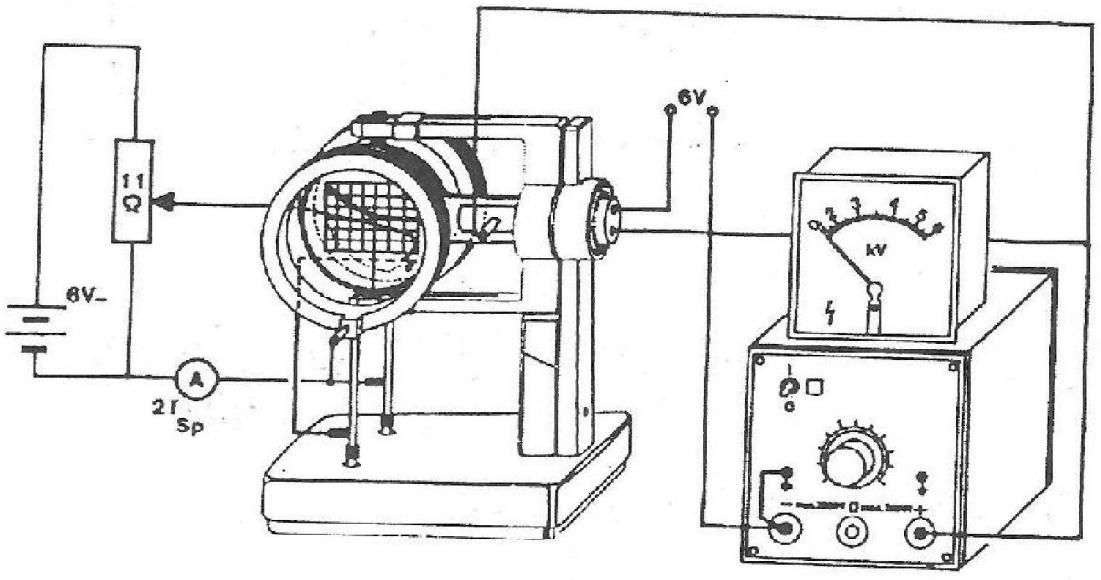
5. اختر عدد من النقاط على هذا المنحنى وعين إحداثيات (x, y) لكل نقطة. ورتب القراءات في الجدول الآتي:

					x
					y
					x^2

6. ارسم العلاقة بين y وx^2 فتحصل على خط مستقيم ميله يساوي $\left(\frac{V_P}{4dV_A}\right)$، وبذلك تحقق العلاقة (8).

b - لدراسة تأثير المجال المغنطيسي على الحزمة الإلكترونية إتبع الخطوات الآتية:

1. أوصل الدائرة الكهربية كما موضح في الشكل (5 ـ 4).



شكل (5 ـ 4)

2. ابدأ بتسخين الفتيلة وأوصل المصعد A بجهد قدره $2500V$ فتظهر حزمة زرقاء على الشاشة المتفلورة.

3. أوصل ملفي هلمهولتز بمصدر التيار وإسمح بمرور التيار في الملف فتشاهد إنحراف الحزمة مكونة قوساً دائرياً على الشاشة.

4. أوجد قيمة r وقيمة B واستخدم العلاقة (10) لإيجاد قيمة الشحنة النوعية.

5. أوصل اللوحين بجهد متغير من صفر إلى $5000V$ وزد من قيمة الجهد تدريجياً حتى يتعادل تأثير المجالين وترجع الحزمة إلى مسارها المستقيم. عند هذه النقطة استخدم العلاقة (13) لإيجاد سرعة الإلكترون v_x.

الأسئلة:

- كيف يمكن الفصل بين حزمة من الإلكترونات وأخرى من النيوترونات؟
- كيف يمكنك السيطرة على سرعة حزمة إلكترونية؟
- ما محتويات الأشعة المهبطية؟

التجربة رقم (6)

تجربة فرانك هيرتز
Frank-Hertz experiment

الغرض من التجربة:

دراسة تكمم مستويات الطاقة في ذرات الزئبق.

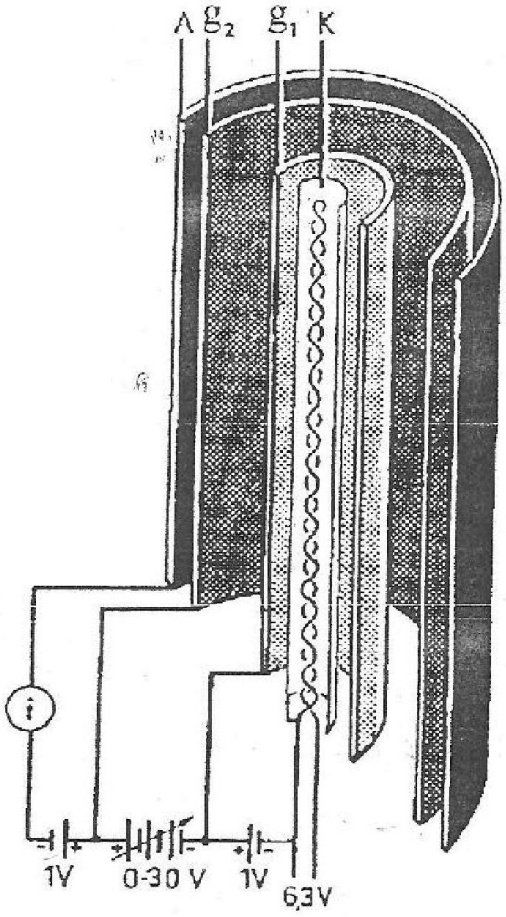
مقدمة:

تؤكد تجربة فرانك هيرتز تكمم مستويات الطاقة في الذرات كما جاء في فرضية بوهر للذرة، يتم في هذه التجربة قصف بخار الزئبق بالإلكترونات ذات طاقة حركية معلومة. وعندما تكون هذه الطاقة الحركية للإلكترون أقل بكثير من الطاقة اللازمة لإثارة ذرة الزئبق إلي المستوى الأول التي تكون بحدود 4.9 eV، ستكون احتمالية فقدان الإلكترونات للطاقة قليلة جداً وهذا النوع من التصادم بين ذرة الزئبق والإلكترونات يعرف بالتصادم المرن elastic collision. ولكن عندما تكون طاقة الإلكترونات أكبر من الطاقة اللازمة لإثارة الذرات إلي المستوى الأول تنتقل جميع الطاقة الحركية للإلكترون إلي ذرات الزئبق وتنتقل ذرة الزئبق من المستوى الأرضي إلي المستوى الأول وهذا النوع من التصادم يعرف بالتصادم غير المرن inelastic collision. وبعدئذ بمقارنة الطاقة الحركية للإلكترونات قبل التصادم مع طاقتها بعد التصادم يمكن تحديد الطاقة المنقولة لذرات الزئبق.

وصف أنبوبة فرانك هيرتز:

يستخدم في هذه التجربة صمام مفرغ كما هو موضح في الشكل (6

ـ 1) ويحتوي الصمام على أربعة أقطاب رئيسية وهي الكاثود (المهبط) K الذي تتحرر منه الإلكترونات بعملية التسخين والشبكة g_1 وظيفتها التحكم في تجمع الشحنات المتراكمة عند الكاثود (المهبط) أما الشبكة g_2 فتستخدم لتعجيل الإلكترونات إلي الأنود (المصعد) A.



شكل (6 ـ 1)

فرق الجهد بين المصعد (الأنود) والشبكة g_2 يكّون جهداً يعرف بالجهد العائق retarding voltage الذي يمنع الإلكترونات ذات الطاقة المنخفضة من الوصول إلي المصعد والمساهمة في I_A. وتوضع أنبوبة فرانك هيرتز في فرن كهربي خاص بها بحيث تصل درجة حرارته $200C^{\circ}$.

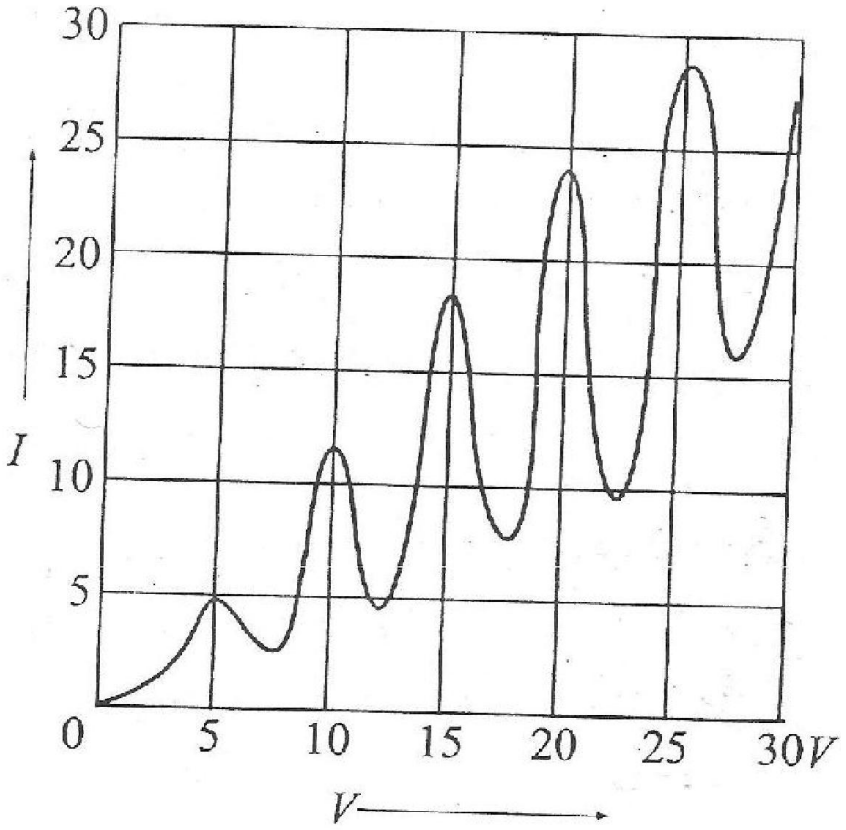
النظرية :

عندما يتم تسليط فرق جهد قدره V بين الشبكة الثانية g_2 والشبكة الأولى g_1 تتعجل الإلكترونات المنبعثة من المهبط K باتجاه الشبكة الثانية g_2، وتدخل الإلكترونات الحيز الموجود بين الشبكتين بطاقة حركية :

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (1)$$

حيث V فرق الجهد بين الشبكتين وv وm سرعة وكتلة الإلكترون على التوالي. إذا كانت هذه الطاقة كافية للتغلب على الجهد العائق الموجود بين الشبكة الثانية والمصعد، فإن الإلكترون سيصل إلي المصعد ويسهم في التيار I_A. تصطدم الإلكترونات في طريقها مع ذرات بخار الزئبق، عندما يكون هذا التصادم من النوع المرن ستبقى فيه الطاقة محفوظة وتحتفظ الإلكترونات بطاقاتها وتصل إلي المصعد عابرة الجهد العائق. وبذلك كلما يزداد الجهد على الشبكة g_2 يزداد تيار المصعد وكذلك تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات إلي أن تصل القيمة الحرجة eV_c، فتحدث هذه القيمة تصادماً غير مرن بين الإلكترونات وذرات الزئبق، والطاقة الحركية في هذه العملية غير محفوظة لذا تعطي الإلكترونات جميع طاقاتها الحركية إلي ذرات بخار الزئبق فينخفض تيار المصعد I_A فجأة - شكل (6 - 2) مما يدل على أن الإلكترونات قد أعطت طاقتها إلي ذرات البخار ولم تعد الإلكترونات قادرة على الوصول إلي المصعد، ويتسنى لنا بتغير تيار المصعد I_A مع تغيير الجهد المعجل تكوين فكرة عن طاقة الإلكترونات التي تمكنت من المرور خلال بخار الزئبق والوصول إلي المصعد. نلاحظ مثلاً إذا كانت طاقة الإلكترونات المعجلة أقل من قيمة الفولتية الحرجة $(4.86V)$ فإنها تستطيع الوصول إلى المصعد ولكن بعد زيادة الجهد المعجل إلى قيمة أكبر من 4.86 فولت

يحدث انخفاض مفاجئ في قيمة تيار المصعد. من وجهة نظر النظرية الكمية للتفاعل بين الإلكترونات والذرات، يمكن القول إن الهبوط المفاجئ في تيار المصعد ناتج عن فقدان الإلكترونات لطاقتها المكتسبة من فرق الجهد بين الشبكتين وامتلاك ذرات الزئبق لها.



شكل (6 ـ 2)

ولا يمكن أن يحدث ذلك الإ إذا كان التصادم بين الإلكترونات وذرات الزئبق من نوع غير المرن. أما في حالة قبل الجهد الحرج Vc فيحدث التصادم من النوع المرن وعند زيادة فرق الجهد على الشبكة g_2 أعلى من الجهد الحرج Vc، فإن التيار يبدأ بالزيادة ثانية إذ أن الإلكترونات بعد أن فقدت طاقتها من عملية التصادم غير المرن الأولى تبدأ بإكتساب الطاقة من جديد إلي أن تفقدها مرة أخرى عند الجهد 10

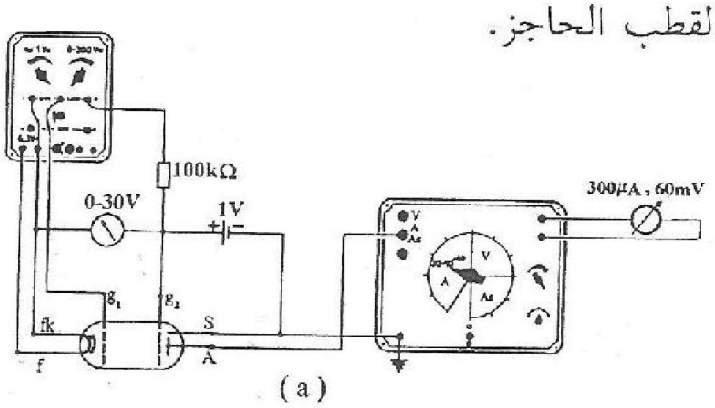
فولت وتتكرر هذه الظاهرة بزيادة فرق الجهد كما موضح في الشكل (6 ـ 2). نلاحظ من المنحنى الموضح في الشكل أن انخفاض التيار يحدث عند مضاعفات الجهد الحرج $4.86V$ وهو ما يدل على أن ذرات الزئبق تأخذ الطاقة من الإلكترونات المصطدمة على شكل كمات متساوية من الطاقة تكون طاقة كل كم مساوية لـ $4.86eV$.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

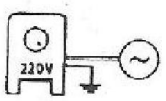
أنبوبة فرانك هيرتز، مضخم تيار المستمر، فرن كهربي صغير، ميكرو أميتر مجهز القدرة، فولتميتر عدد 2، مقاومة بحدود 100Ω، مجموعة من الأسلاك للتوصيل.

خطوات العمل:

1. أوصل دائرة الأنبوبة كما موضح في الشكل (6 - a3) وتأكد من الرموز المستخدمة للأقطاب المختلفة حيث f الفتيلة وfk المهبط والفتيلة g_1 وg_2 الشبكة الأولى والثانية وA المصعد أما S القطب الحاجز.



(a)



(b)

شكل (6 ـ 3)

2. وصل دائرة الفرن الكهربية كما موضح الشكل (6 - a3) وضع الأنبوبة داخل الفرن بعد تغليفه برقيقة معدنية وذلك لحمايتها من المجال الكهربي المتولد داخل الفرن. ويمكن التحكم بدرجة حرارة الفرن بالتحكم بالجهد المسلط عليه.

3. بعد أن تصل درجة حرارة الفرن إلي الدرجة المطلوبة (بحدود $200C°$) وهذه تحتاج إلي حوالي 50 دقيقة. ابدأ بتسخين الفتيلة وذلك بتوصيلها بجهد قدره 6.3 فولت، اجعل الجهد المسلط على الشبكة الأولى والثانية يساوي صفر وشغل مضخم التيار المستمر وتأكد من أن الحساسية مساوية للصفر.

4. بعد مرور 5 دقائق من تشغيل الفتيلة اجعل جهد الشبكة g_1 يساوي فولت واحد وقيمة جهد الشبكة g_2 يساوي 30 فولت ووصل مقاومة قدرها 100Ω على التوالي للحد من التيار المتولد في حالة حدوث التفريغ الفجائي داخل الأنبوبة.

5. زد حساسية المضخم تدريجياً حتى تصل قراءة الميكرومتر المتصل به إلى أعلى قيمة بعد التأكد من تصفير الجهاز فإذا حصلت الزيادة المفاجئة للتيار عليك بإعادة جهد الشبكة g_2 إلى الصفر.

6. ابدأ بزيادة جهد الشبكة g_2 تدريجيا وبخطوات قدرها 0.5 فولت حتى يصل إلي 20 فولت وسجل قراءة تيار المصعد المقابل I_A. ثم ارسم العلاقة بين الجهد V على المحور السيني وI_A على محور الصادي ستحصل على المنحنى الموضح في الشكل (6 ـ 2).

7. عين جهد الإثارة لذرة الزئبق $V_{exi} = eV$ وذلك من خلال الفرق بين الجهود الحرجة المتتالية.

الأسئلة

- أوجد الطول الموجي λ للفوتونات المنبعثة من ذرة الزئبق أثناء عملية إعادة الاتحاد. وفي أي مدى يقع هذا الطول الموجي؟
- اذكر طريقة أخرى من طرق إثارة الذرات إلي المستويات العليا؟
- ما فائدة جهد الارتداد؟
- ارسم مستويات الطاقة التقريبية بالاستفادة من المنحنى الذي تحصلت عليه عملياً؟

التجربة رقم (7)

تأثير زيمان

Zeeman effect

الغرض من التجربة:

دراسة تأثير زيمان وتعيين الفاصلة $\Delta\nu$ للخطوط الطيفية.

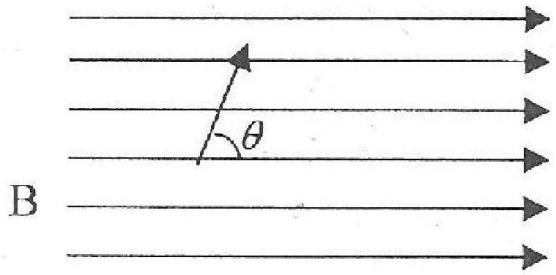
مقدمة:

اكتشف العالم الهولندي زيمان Zeeman عام 1896 ظاهرة انقسام الخط الطيفي للضوء إلى عدد من الخطوط تحت تأثير المجال المغناطيسي وسميت هذه الظاهرة بتأثير زيمان Zeeman effect. يعنى هذا التأثير بدراسة التفاعل بين المجال المغناطيسي الخارجي المسلط والمجال المغناطيسي الداخلي للذرة. لقد وجد عند وضع مجموعة ذرية باعثة للضوء في مجال مغناطيسي شدته B فإن كل خط من خطوطها الطيفية ينشطر إلى عدد من الخطوط المتقطعة Discrete lines وتتناسب المسافة بين الخطوط مع شدة المجال المغناطيسي B.

النظرية:

عند وضع ثنائي قطب مغناطيسي magnetic dipole في مجال خارجي B فإنه يكتسب طاقة إضافية تعتمد قيمتها على كل من قيمة عزم ثنائي مغناطيسي μ واتجاهه بالنسبة للمجال ـ شكل (7 ـ 1). والعزم τ المؤثر على ثنائي قطب مغناطيسي الموضوع في مجال مغناطيسي شدته B هو:

$$\tau = \mu B \sin\theta \qquad (1)$$



شكل (7 ـ 1)

حيث θ الزاوية بين μ وB. وقيمة العزم τ تكون اكبر ما يمكن عندما يكون ثنائي القطب عمودياً على المجال ويساوي صفر عندما يكون موازياً أو معاكساً للمجال. يمكن حساب الطاقة الكامنة u للثنائي بأجزاء التكامل، على τ كما يأتي:

$$u = \int_{90}^{0} \tau d\theta$$

$$= \mu B \int_{90}^{\theta} \sin\ \theta d\theta$$

$$= -\mu B \cos\ \theta \qquad (2)$$

تأخذ u اصغر قيمة وتساوي $(-\mu B)$ عندما يأخذ μ نفس أو عكس اتجاه B وهذه النتيجة منطقية وذلك لأن ثنائي القطبي يحاول أن يأخذ نفس اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي.وبما أن العزم الثنائي المغناطيسي لإلكترون يدور في مدار معين يعتمد على كمية الحركة الزاوية L وAngular momentum فان قيمة واتجاه L بالنسبة للمجال يحددان الطاقة المغناطيسية للذرة في المجال. ويعطى العزم الثنائي المغناطيسي لحلقة من التيار بالعلاقة الآتية:

$$\mu = iA$$

حيث i قيمة التيار، وA المساحة المحصورة داخل الحلقة. إذا أفترضها أن الإلكترون يعمل ν من الدورات لكل ثانية في مدار دائري نصف قطره r فإن :

$$\mu = -e\nu\pi r^2 \qquad (3)$$

وبما أن السرعة الخطية v للإلكترون تعطى بـ $2\pi r\nu$ وعليه فإن الكمية الحركية الزاوية L للإلكترون تكون بالصيغة الآتية:

$$\begin{aligned} L &= m_e v r \\ &= 2\pi m_e \nu r^2 \end{aligned} \qquad (4)$$

ومن المعادلتين (3) و (4) نجد أن:

$$\mu = -\left(\frac{e}{2m_e}\right) L \qquad (5)$$

وبالتالي فإن:

$$u = \left(\frac{e}{2m_e}\right) LB \cos\theta \qquad (6)$$

نجد أن u هي دالة لكل من B وθ. ومن الشكل (7 ـ 2) نلاحظ أن الزاوية بين L والمحور Z تأخذ قيماً معينة بحيث تحقق العلاقة:

$$\cos\theta = \frac{m_l}{L}$$

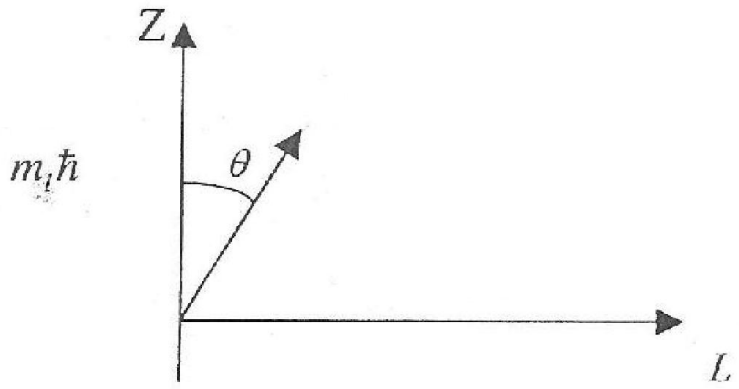
حيث أن القيم المسموحة لـ L هي:

$$L = \sqrt{l(l+1)}$$

نستطيع الآن إيجاد الطاقة المغناطيسية لذرة عددها الكمي المغناطيسى m_l موجودة فى مجال مغناطيسي وذلك بتعويض قيمة $\cos\theta$

وL في المعادلة (6) إذ نجد أن:

$$u = m_l \left(\frac{e\hbar}{2m_e}\right) B \qquad (7)$$

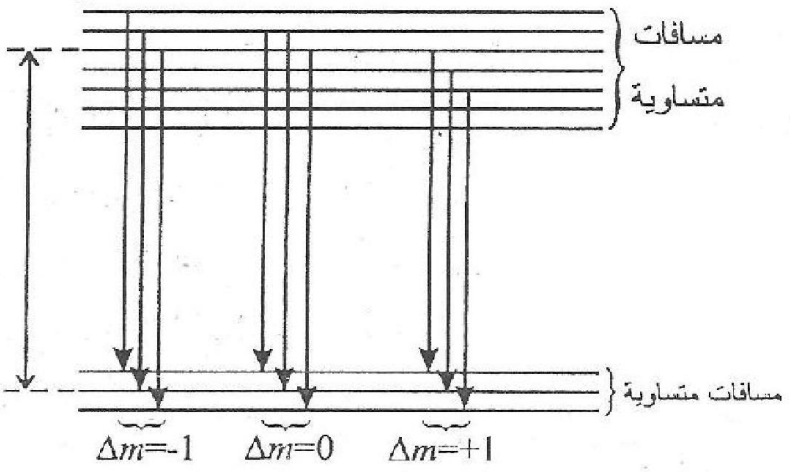


شكل (7 ـ 2)

وتدعى الكمية $2\hbar/2m_e$ بمغنتيون ـ بوهر m_ℓ *Bohr magneton* ويدعى بالعدد الكمي المغناطيسي ويأخذ القيم $(m_\ell = \pm l)$ حيث l العدد الكمي ويأخذ القيم $(l = 0,\ 1,\ 2, \ldots,\ n-1)$ وn العدد الكمي الأساسي Principle quantum number وعليه عندما تكون الذرة في مجال مغناطيسي B فإن الحالة ذات العدد الكمي المداري l تنشطر إلى $(2l+1)$ حالة ثانوية وفرق الطاقة بينها يساوي $2\hbar/2m_e$ والانتقالات المسموحة بين المستويات الثانوية تخضع لقاعدة الإنتقاء Selection rule الآتية :

$$\delta m_\ell = \pm 1$$

من ثم فإن خط الطيف الناتج من الإنتقال بين حالتي ذرتي عددين كميين مداريين (l) مختلفين ينشطر إلى ثلاثة خطوط [انظر إلى الشكل (7 ـ 3)].



شكل (7 ـ 3)

وهذا يعني أن الخط الطيفي الذي تردده ν_0 ينشطر إلى ثلاثة خطوط بترددات :

$$\left.\begin{aligned} \nu_1 &= \nu_0 - \frac{e}{4\pi m_e} B \\ \nu_2 &= \nu_0 \\ \nu_3 &= \nu_0 + \frac{e}{4\pi m_e} B \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

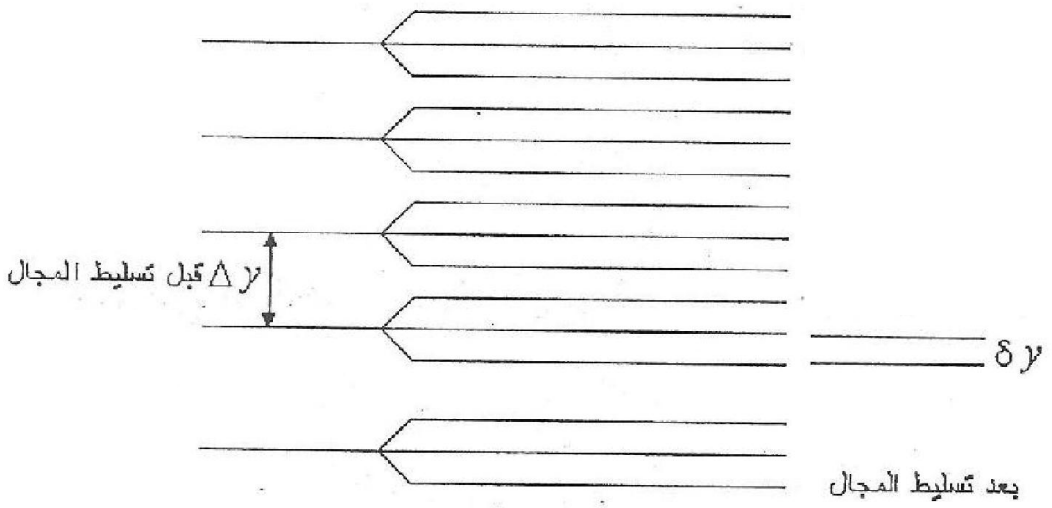
وهذه الظاهرة تسمى بتأثير زيمان العادي Normal Zeeman effect إذ أن التغير في التردد المقاس هو :

$$\Delta\nu = \pm \frac{e}{4\pi m_\ell} B \qquad (9)$$

يمكن ملاحظة الإزاحة الموجية $\Delta\lambda$ باستخدام لوحة لارمور Larmor المركبة على جهاز زيمان وتعطي بالعلاقة الآتية :

$$\Delta\lambda = \frac{\delta y \lambda^2 \sqrt{n^2 - 1}}{\Delta y 2d\ (n^2 - 1)} \qquad (10)$$

إذ إن Δy تمثل المسافة الفاصلة بين خطوط التداخل بدون وجود المجال المغناطيسي وδy هي المسافة بين المركبتين شكل (7 ـ 4) وλ الطول الموجي المستخدم (خط الكادميوم $\lambda = 643.8nm$) وd سمك لوحة لارمور وn معامل انكسار مادة لوحة لارمور.



شكل (7 ـ 4)

وقد وجد أن النسبة $\delta y/\Delta y$ تكون بحدود 1/4 عندما تكون شدة المجال المغناطيسي B بحدود 0.7 تسلا Tesla. وبعدئذ يمكن حساب الفاصلة الترددية $\Delta\nu$ من إزاحة الطول الموجي $\Delta\lambda$ من العلاقة الآتية:

$$\Delta\nu = -\frac{c}{\lambda^2}\Delta\lambda \qquad (11)$$

والفاصلة الترددية $\Delta\nu$ يمكن أن تكون موجبة أو سالبة.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جهاز زيمان مع ملحقاته، موضح في الشكل (7 ـ 5).

خطوات العمل:

1. ثبت المسافة بين قطبي المغناطيس بحدود 10سم وثبت مصباح

الكادميوم بين القطبين وفي حالة عدم تثبيت القطبين بشكل جيد فإن ذلك يؤدي إلى تحطم المصباح.

2. استخدم المرشح filter الأحمر لإنتقاء الخط الأحمر وثبت لوحة لارمور في مكانها المخصص لها. وعدل لوحة لارمور والتلسكوب حتى تظهر أهداب التداخل بوضوح.

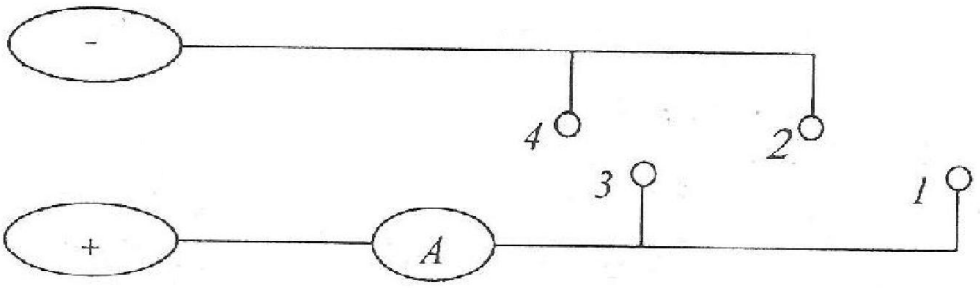
3. أوصل المغناطيس بمصدر التيار وأبدأ بزيادة التيار تدريجياً إلى أن نلاحظ إنقسام الخطوط كما هو موضح في الشكل (7 ـ 3).

شكل (7 ـ 5)

4. احسب قيمة $\Delta\lambda$ مستخدماً العلاقة (10) ومن ثم احسب $\Delta\lambda$ مستخدماً العلاقة (11).

ملاحظة :

استعن بهذا الشكل التوضيحي لتوصيل الملف بالجهد الكهربي.



الأسئلة

- هل للف الإلكترون حول نفسه أي تأثير على تأثير زيمان؟ وضح ذلك.
- كم تكون الإزاحة الموجية $\Delta\lambda$ بالنانوميتر الناتجة من تأثير زيمان العادي لخط طيفي طوله الموجي 491.6 نانوميتر من طيف مصباح الزئبق الموجود في مجال مغناطيسي قدره 0.5 تسلا؟
- ما ترددات الفوتونات الثلاثة التي يمكن ملاحظتها في خط طيفي طوله الموجي 450 نانوميتر عند وضع المصدر في مجال مغناطيسي قدره 0.4 تسلا؟

البطاقة التعريفية :

الاسم : فؤاد نمر عجيل Fouad Nimr Ajeel

الجنسية : عراقي .

مكان وتاريخ الميلاد : العراق - ذي قار-الرفاعي- 1984 .

الوظيفة : تدريسي في جامعة ذي قار - العراق.

محاضر في جامعة سومر - العراق.

المؤهلات العلمية :

بكالوريوس علوم فيزياء (2006) - كلية العلوم - جامعة ذي قار- العراق.

ماجستير علوم فيزياء (2012) - كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة البصرة - العراق.

الاختصاص الدقيق : الإلكترونيات النانوية Nanoelectronic .

- نشر مجموعة بحوث علمية في مجلات عالمية ومحلية.
- المشاركة في عدة مؤتمرات علمية دولية.
- الاشراف العلمي على اكثر من 15 بحث تخرج.
- مشرف على مجموعة ومدونة فيزيائيون.

للأخوة الاعزاء صدر لنا :

- مفاهيم أساسية في تقنية النانو.
- كيف تنشر بحثاً علمياً في مجلة محكمة.
- شرح برنامج الرسام اوريجن 8 المتخصص برسم وتحليل ومعالجة البيانات.
- طريقة كتابة تقارير التجارب الفيزيائية.
- تجارب مختبر الفيزياء الذرية.
- تجارب مختبر الالكترونيات التماثلية.
- تجارب مختبر الالكترونيات المنطقية.
- تجارب مختبر الصوت والحركة الموجية.
- تجارب مختبر الحرارة والثرموداينمك.
- تجارب مختبر الكهربائية والمغناطيسية.
- تجارب مختبر الميكانيك والفيزياء العامة.