

نموذج بور

اعتمد بور في تكميم الذرة على نظرية الكم، وثابت بلانك لشرح الطيف الذرية ووضع المبادئ الآتية:

- ١- إن تغير طاقة الذرة مكم.
- ٢- لا يمكن للذرة أن تتواجد إلا في حالات طاقة محددة، كل حالة منها تتميز بسوية طاقة محددة.
- ٣- عندما ينتقل إلكترون في ذرة مثارة من سوية طاقة E_2 إلى سوية طاقة E_1 فإن الذرة تصدر فوتوناً طاقته تساوي فرق الطاقة بين السويتين، أي $\Delta E = E_2 - E_1 = h.f$

التكميم في ذرة الهيدروجين:

نشاط:

تتكون ذرة الهيدروجين من إلكترون واحد، يتحرك في الحقل الكهربائي لبروتون واحد كما في الشكل:

يخضع الإلكترون لتأثير قوتين، بإهمال قوة التجاذب الكلي بين البروتون والإلكترون لصغرها وهي:

١- القوة الكهربائية الناجمة عن جذب النواة (البروتون) له

تعطى شدتها بالعلاقة: $F_E = k \frac{e^2}{r^2}$ وهو قانون كولوم.

حيث $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

ϵ_0 سماحية الخلاء الكهربائية ، r نصف قطر المدار الذي يتحرك عليه الإلكترون.

٢- قوة العطالة النابذة: ناجمة عن دوران الإلكترون حول النواة، تعطى شدتها بالعلاقة: $F_C = m_e \frac{v^2}{r}$

إن حركة الكترون ذرة الهيدروجين حول النواة هي حركة دائرية منتظمة لأن القوة الكهربائية الناجمة عن جذب النواة له مساوية لقوة العطالة النابذة الناجمة عن الدوران حول النواة.

*- اكتبى فرضيات بور:

الفرضية الأولى: حركة الإلكترون حول النواة هي حركة دائرية منتظمة.

الفرضية الثانية: بين بور أن هنالك مدارات محددة ذات أنصاف أقطار مختلفة يمكن للإلكترون ذرة الهيدروجين أن يدور فيها حول النواة، وفي أي منها عزم كمية الحركة للإلكترون من المضاعفات الصحيحة لـ $\frac{h}{2\pi}$

أي أن العزم الحركي للإلكترون يعطى بالعلاقة: $m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$

الفرضية الثالثة: لا يصدر الإلكترون طاقة طالما بقي متحركاً في أحد مداراته حول النواة، لكنه يمتص طاقة بكميات محددة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أبعد عن النواة ويصدر طاقة بكميات محددة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة تحسب بالعلاقة: $\Delta E = h.f$

مداره إلى مدار أقرب إلى النواة تحسب بالعلاقة: $\Delta E = h.f$

*- انطلاقاً من فرضيات بور

① استنتجى العلاقة المحددة لنصف قطر المدار r_n بدلالة نصف قطر بور r_0

② استنتجى العلاقة المحددة للطاقة الميكانيكية للإلكترون ذرة الهيدروجين، وما طاقته في الحالة الأساسية؟

ج ① إن حركة الإلكترون حول النواة حركة دائرية منتظمة لأن:

شدة قوة العطالة النابذة = شدة القوة الكهربائية

$$F_E = F_C$$

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

$$v^2 = k \frac{e^2}{m_e r} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

من علاقة العزم الحركي: $m_e v . r = n \frac{h}{2\pi} \Leftrightarrow v = \frac{nh}{2\pi m_e r}$ بالتربيع نجد: $v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e^2 r^2} \dots \dots \dots \textcircled{2}$

بالمساواة بين العلاقتين: (1)، (2) $k \frac{e^2}{m_e r} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e^2 r^2}$

نستنتج: $r = r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}$

ونعتبر: $r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}$ هو نصف قطر بور الذي نحصل عليه عندما $n = 1$ أي: $r_n = n^2 r_0$

ج (2):

إن الطاقة الكلية للإلكترون في مداره في جملة (الإلكترون - نواة) تتألف من قسمين:

(1) الطاقة الكامنة وهي ذات قيمة سالبة	(2) طاقة الحركية ذات قيمة موجبة
$E_p = -F_E \cdot r = -k \frac{e^2}{r}$ لكن $K = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}, r = r_n$ $E_p = -k \frac{e^2}{r}$	$E_k = \frac{1}{2} m_e v_n^2$ وبتعويض العلاقة $v_n^2 = \frac{ke^2}{m_e r}$ نجد أن $E_k = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$

وإن الطاقة الكلية $E_n = E_p + E_k$

وبتعويض كل من الطاقة الكامنة والطاقة الحركية: $E_n = -k \frac{e^2}{r} + \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r_n}$

$$E_n = -k \frac{e^2}{2r}$$

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} \quad \text{نعوض}$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2} \quad \text{فنجد:}$$

إن طاقة الحالة الأساسية عندما $n=1$: $E_0 = \frac{-2\pi^2 e^4 k^2 m_e}{h^2} = -13.6 \text{ eV}$ حيث $E_0 = \frac{-2\pi^2 e^4 k^2 m_e}{h^2}$

إذاً طاقة الحالة الأساسية للهيدروجين ($n = 1$) $E_0 = -13.6 \text{ eV}$

فالطاقة الكلية للإلكترون في مداره $E_n = \frac{E_0}{n^2} \Rightarrow E_n = -\frac{13.6}{n^2}$

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ e.V}$$

وهي طاقة سالبة لأنها طاقة ارتباط طاقة التجاذب الكهربائية الجزء الأكبر منها، والقيمة المطلقة لهذه الطاقة تتناسب عكساً مع مربع رتبة المدار n الذي يدور فيه الإلكترون، وتزداد طاقة الإلكترون بازياد رتبة المدار n أي مع ابتعاد الإلكترون عن النواة وتنقص طاقة الإلكترون باقترابه من النواة.

طاقة التأين في ذرة الهيدروجين:

لكي تتأين ذرة الهيدروجين يجب إعطاؤها طاقة تكفي لنقل الإلكترون من السوية الأساسية إلى حالة عدم الارتباط أي إلى طاقة معدومة، أي يلزم إعطاء طاقة أكبر أو تساوي 13.6 eV

منشأ الطيف الذري

توجد سويات طاقة مثارة كثيرة في ذرة الهيدروجين، يُمكن للإلكترون أن يشغل أي سوية من هذه السويات، وأن انتقل الإلكترون من سوية طاقة إلى سوية طاقة أدنى يؤدي إلى إصدار طاقة (إشعاع) تساوي فرق الطاقة بين السويتين، عند حصول انتقالات مختلفة بين سويات الطاقة سوف نحصل على إصدارات بتواترات مختلفة

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h \cdot f$$

وعند تحليل حزمة ضوئية صادرة عن غاز الهيدروجين المثار بالإنفراغ الكهربائي سوف نجد أن الطيف مكون من عدد من الخطوط الطيفية، كل من هذه الخطوط يمثل انتقال إلكترون بين سويتين طاقيتين في ذرة الهيدروجين .



أنواع الطيف:

نشاط:

أدوات النشاط: صفيحة من الحديد، سلك من القصدير، ملح الطعام، موشور زجاجي، حاجز ذو شق للحصول على حزمة متوازية، شاشة بيضاء، مصباح غازي يحوي غاز الهيدروجين، موقد غولي.

خطوات تنفيذ النشاط:

① أسخن صفيحة الحديد بالتدريج وأفحص الطيف الصادر باستخدام المطياف، يظهر اللون الأحمر عند تسخين قطعة الحديد، وكلما زادت درجة الحرارة ظهر اللون البرتقالي فالأصفر وهكذا، حتى يصل الجسم المسخن إلى درجة البياض فتظهر جميع ألوان الطيف من خلال موشور زجاجي.

② أنثر قليلاً من الملح فوق لهب موقد غولي فيتلون لهب الصوديوم باللون الأصفر الذهبي، وعند فحصة بالمطياف نلاحظ وجود خطين أصفرين متقاربين جداً.

إن الصوديوم لم يشع جميع ألوان الطيف السبعة، وإنما انبعث منه خطان طيفيان يقعان في منطقة الضوء الأصفر.

③ أمرر حزمة من الضوء الصادر عن المصباح الغازي عبر الشق في الحاجز على الموشور فيتكون طيف الهيدروجين المثار بالإنفراغ الكهربائي من عدد من الخطوط الطيفية، ويتغير الطيف المتشكل بتغير نوع الغاز داخل المصباح.

الطيف نوعان:

① الطيف المستمرة: هي الطيف التي تظهر فيها جميع ألوان الطيف على هيئة مناطق متجاورة من دون وجود فواصل بينها، وهذا ما نلاحظه عند تحلل ضوء الشمس بالهواء المشبع بالرطوبة وطيوف الأجسام الصلبة الساخنة متصلة (مستمرة) وتكون قوس قزح .

② الطيف المتقطعة: مثل طيف إصدار ذرات الهيدروجين، يتكون طيف الإصدار لهذه المنابع من خطوط طيفية أو عصابات طيفية منفصلة.

فبينما نجد جميع ألوان قوس قزح في طيف مصباح التنغستين، فإننا نجد خطوط طيفية في طيف بخار الزئبق، ولكن هذه الخطوط منفصلة عن بعضها البعض.

وبشكل عام تكون طيوف المصابيح متقطعة و طيوف إصدارات الأجسام الصلبة الساخنة متصلة (مستمرة)

الطيف الذرية:

يحتوي الطيف الخطي للهيدروجين على عدد من السلاسل هي:

أولاً: سلسلة ليمان (أكبر سلاسل الطيف طاقةً)

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من السويات العليا

أي (.... $n = 2.3.4.5.6$) إلى السوية الأولى.

مميزاتها: أنها أمواج ضوئية غير مرئية بسبب تواترها الكبير،

وأطولها الموجية أقصر من الأطوال الموجية

للضوء المرئي.

ثانياً: سلسلة بالمر

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من السويات العليا

أي (.... $n = 3.4.5.6$) إلى السوية المثارة الثانية.

مميزاتها: أنها أمواج ضوئية يمكن مشاهدتها وقياسها في المختبر.

ثالثاً: سلسلة باشن

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من

السويات العليا أي (.... $n = 4.5.6$) إلى السوية المثارة الثالثة.

ومن مميزاتها أنها أمواج ضوئية غير مرئية بسبب تواترها المنخفض.

التحليل الطيفي:

يستخدم في المخابر الكيميائية، يعتمد عليه أيضاً علماء الفلك في مراقبة النجوم و يستفاد من تقانات التحليل الطيفي

لكشف ما يحلونه، ومعرفة تركيبه الكيميائي.

تعتمد تقانات التحليل الطيفي للمواد على امتصاص أو إصدار ذراتها للطاقة، فالمعادن مثلاً تتوهج أو تصدر ضوءاً عند

تسخينها إلى درجات حرارة عالية، ويتحلل الضوء الصادر عند إمراره عبر موشور زجاجي إلى مكوناته من إشعاعات

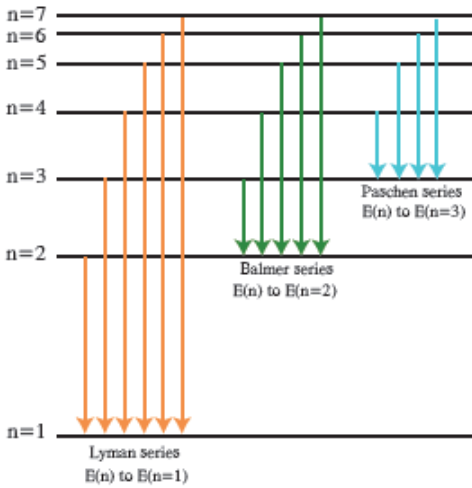
ملونة ذات أطوال موجية مختلفة، تشكل في مجموعها طيفاً خطياً مميزاً للمعدن المدروس.

يعزى تشكل هذا الطيف إلى حركة الإلكترونات الخارجية في الذرات المعبرة التي تمتص طاقة تثار بها، فترتقي إلى

سويات طاقة أعلى من التي كانت تشغلها، إلا أنها لا تلبث أن تعود إلى السويات الطاقة الأساسية التي كانت تشغلها،

مصدرة فائض طاقتها على شكل إشعاع وحيد أو مجموعة من الإشعاعات المتتالية، وتعدّ تواترات هذه الإشعاعات أو

أطولها الموجية مميزة للعنصر المعني ويمكن استخدامها للتعرف عليه.



طاقة انتزاع إلكترون من سطح معدن:

يتحرك الإلكترون الحر داخل المعدن بسرعةٍ وسطيةٍ تتعلّق بدرجة حرارة المعدن، ويكون خاضعاً لقوى جذبٍ كهربائيٍّ، مُحصّلتها قريبةً من الصفرٍ لأنّها تنتج عن الأيونات الموجبة المُبعثرة حوله بعشوائيةٍ دون تفضيلٍ لاتّجاهٍ على آخر. لكن من الواضح أنّه من أجل إلكترونٍ واقعٍ على سطح المعدن يصبح لهذه القوى الجاذبة مُحصّلةً مُختلفةً عن الصفرٍ وجهتها دوماً نحو داخل المعدن، لأنّ الأيونات الموجبة تتوزّع بالنسبة لمثل هذه الإلكترون في الجهة الداخليّة من المعدن فقط .

وعليه لانتزاع إلكترونٍ حرٍ من سطح معدنٍ يحتاج إلى صرفٍ طاقةٍ، تسمّى الطّاقة الدّنيا اللّازمة لانتزاع إلكترونٍ من سطح معدنٍ بطاقةٍ الانتزاع لهذا المعدن، يرمزُ لطاقة الانتزاع بالرمز w_s ، تتعلّق قيمةُ طاقة الانتزاع لمعدنٍ بمُتحوّلات المعدن: العدد الذرّي z ، كثافة المعدن، طبيعة الرّوابط،...، ونتيجةً لاختلاف هذه المُتحوّلات من معدنٍ لآخر، تختلف قيمةُ طاقة الانتزاع من معدنٍ لآخر بحيث يُمكن اعتبار قيمته خاصيّةً مُميّزة للمعدن.

● لانتزاع إلكترونٍ حرٍّ من سطح معدنٍ ونقله مسافةً صغيرةً dl خارج المعدن يجبُ تقديمُ طاقةٍ أكبرٍ من عمل القوّة الكهربائيّة التي تجذبُ الإلكترون نحو داخل المعدن.

$$W_s = F dl \text{ وبالتالي}$$

$$F = e E \text{ لكن}$$

$$W_s = e E dl \text{ نعوض فنجد}$$

$$E dl = U_s \text{ لكن}$$

$$E_s = W_s = e U_s \text{ وبالتالي يكون}$$

حيث إنّ E_s : طاقة الانتزاع.

$$W_s \text{ : عمل الانتزاع}$$

U_s : فرق كمون الانتزاع بين سطح المعدن والسطح الخارجي.

E : الحقل الكهربائي المتولد عن الأيونات الموجبة عند سطح المعدن .

مناقشة:

بفرض E الطاقة التي يمتصها الإلكترون (الطاقة المُقدّمة للإلكترون) ونمَيِّرُ الحالات الآتية:

١. إذا كانت $E < E_s$: لا ينتزع الإلكترون ويبقى منجذباً نحو داخل الكتلة المعدنية.

٢. إذا كانت $E = E_s$: يتحرر الإلكترون من سطح المعدن بسرعة ابتدائية معدومة.

٣. إذا كانت $E > E_s$: يتحرر الإلكترون من سطح المعدن ومعه سرعة ابتدائية v تحسب من العلاقة:

$$E_k = E - E_s$$

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = E - E_s$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E - E_s)}{m_e}}$$

طرقُ انتزاع إلكترون من سطح معدن:

1. الفعلُ الكهروضوئيّ. :

تُقَدَّم الطَّاقَةُ اللَّازِمَةُ لانتزاع الإلكترون من سطح المعدن على شكل طاقة ضوئية تواترُها كافٍ وتُعطى بالعلاقة: $E = hf$
2. الفعل الكهرحراريّ. :

تُقَدَّم الطَّاقَةُ اللَّازِمَةُ لانتزاع الإلكترون على شكل طاقة حرارية حيثُ يسخن المعدن، فتكتسب بعض إلكتروناتِه السطحيّة قدرًا كافيًا من الطَّاقَةِ تزيُد من سرعتها وحركتها وتنبعث خارج المعدن.
3. مفعول الحثّ. :

يُقَدَّم سطح المعدن بحزمة من الجسيمات ذات الطَّاقة الكافية فيؤدّي ذلك إلى تصادم بعض جسيمات هذه الحزمة مع الإلكترونات الحرّة في السطح المعدنيّ، وتؤدّي هذه العمليّة إلى انتقال جزء من طاقة الجسيم الصّادم إلى الإلكترون، وعندما يكون هذا الجزء المُنتقل أكبر أو يساوي طاقة الانتزاع يُمكن للإلكترون الحرّ الواقع عند سطح المعدن أن يقتلَع من هذا المعدن.
مثال محلول:

يُقَدَّم سطح معدن له طاقة انتزاع $W_d = 2 \text{ eV}$ بحزمة من الإلكترونات فيؤدّي ذلك إلى إصدار إلكترونات من سطح المعدن بسرعة ابتدائية مقدارها $v = 5.9 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$ ففرض أنّ الإلكترون السطحيّ قد امتصَّ كاملَ طاقة الإلكترون السّاقط، احسب طاقة كلّ من إلكترون الحزمة السّاقطة وسرّعته إذا علمت أنّ:
 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} / m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$

الحلّ:

يجب أن تكون طاقة كلّ من هذه الإلكترونات السّاقطة مُساوية للطاقة الحركية الابتدائية للإلكترون المُقتلَع مُضافاً لها طاقة الانتزاع، أي:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v'^2 + W_d$$

$$W_d = 2 \text{ eV}$$

$$W_d = 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$W_d = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{1}{2} \times 9 \times 10^{-31} (5.9 \times 10^5)^2 + 3.2 \times 10^{-19} \quad \text{نعوض:}$$

$$E_k = 4.8 \times 10^{-19} \text{ J} \quad \text{وهي طاقة الإلكترون السّاقط:}$$

حساب السرعة:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4.8 \times 10^{-19}}{9 \times 10^{-31}}}$$

$$v = 1.04 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

تسريع الإلكترونات في منطقة حقل كهربائي منتظم:

نشاط:

نفرضُ إلكترونًا شحنته e ، وكتلته m_e ساكنًا في نقطةٍ من منطقةٍ يسودها حقلٌ كهربائيٌّ منتظمٌ بين لبوسَي مُكثَّفَةٍ مستويةٍ مشحونةٍ، لبوساها شاقوليان.

• ما جهةُ شعاعِ الحقلِ الكهربائيِّ. (جهة من اللبوس الموجب إلى اللبوس السالب)

• اكتب عبارةً هذا الحقلِ $E = \frac{U}{d}$.

• ما القوةُ التي يخضعُ لها الإلكترون؟ وما عناصرُها؟ $\vec{F} = \vec{E}$

• إلى أيِّ لبوسٍ يتَّجهُ الإلكترون. نحو اللبوس الموجب.

تخضعُ الشحنةُ الكهربائيَّةُ النَّقطيَّةُ e عندَ وضعها في حقلٍ كهربائيٍّ ساكنٍ \vec{E} لقوةٍ كهربائيَّةٍ \vec{F} تُعطى بالعلاقة :

$$\vec{F} = q \vec{E} = m \vec{a}$$

يُعتبرُ الإلكترونُ الشحنةَ الأكثرَ تحقيقاً لتعريفِ الشحنةِ النَّقطيَّةِ، وذلكَ لأنَّه أصغرُ شحنةٍ موجودةٍ في الطَّبيعةِ وامتدادهُ الفراغيُّ نقطيٌّ، لذلكَ يُمكنُ القولُ إنَّ الإلكترونَ هو أفضلُ الشُّحن التي تنطبقُ عليها العلاقتانِ السَّابقتانِ، بالإضافةِ لبقيةِ علاقاتِ الشُّحن النَّقطيَّةِ.

لنستنتجِ العلاقةَ المُحدَّدةَ لسرعةِ خروجِ الإلكترونِ من نافذةٍ مُقابِلةٍ في اللبوسِ المُوجبِ؟

جملةُ المُقارَنةِ: خارجيَّة

الجملةُ المدروسةُ: الإلكترون شحنته $q=e$ داخلَ منطقةِ الحقلِ الكهربائيِّ وذلكَ بإهمالِ ثقلهِ.

القوى الخارجيّة المؤثرة:

\vec{F} : القوةُ الكهربائيَّةُ حيثُ لها حاملُ \vec{E} وتعاكسهُ بالجهةِ وشدَّتُها ثابتةُ $F = e E$
لكن:

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

نعوض:

$$F = e \frac{U}{d}$$

بحسبِ قانونِ نيوتنِ الثَّاني: $F = m_e a$
بمساواةِ العلاقتينِ السَّابقتينِ:

$$a = \frac{eU}{m_e d} = \text{const}$$

بما إنَّ الحركةَ بدأت من الشُّكونِ، والتَّسارعُ ثابتٌ، فالحركةُ مُستقيمةٌ مُتسارعةٌ بانتظام.

الأشعة المهبطية

أجرب وأستنتج:

تجربة (1)

الأدوات اللازمة: مجموعة أنابيب الانفراغ - منبع تغذية لتيار متواصل (أو آلة ويمشورت -) أسلاك توصيل.

خطوات التجربة:

1. أطبق على كل أنبوب من أنابيب الانفراغ (تحتوي غازات مختلفة، وضغط الغاز فيها متساوٍ من مرتبة 10 mmHg) التوتّر ذاته 300 V . ماذا ألاحظ؟

لا يظهر ضوء، التوتّر غير كاف

2. أرفع قيمة التوتّر إلى 500 V . ماذا يحدث؟

يظهر ضوء لونه حسب نوع الغاز.

3. أكرّر التجربة السابقة من أجل توتّر 1310V وألاحظ ماذا يحصل في أنابيب الانفراغ.

تزداد شدة الإضاءة فيها.

أستنتج:

• لا يظهر الضوء في أنابيب الانفراغ عند تطبيق توتّر بقيمة أقل من 500 V.

• تظهر في أنابيب الانفراغ أضواءً بألوان مختلفة عند تطبيق توتّر 500 V مع سماع صوت طقطقة، فإذا كان الغاز هو النيون يكون اللون أحمر برتقالياً، وإذا كان الغاز هو بخار الزئبق يكون اللون أزرق مخضّر.

• 500 V تزداد شدة الحزمة الضوئية في الأنابيب، ولا يتغير لونها بزيادة التوتّر عن القيمة

النتيجة:

أنبوب التفريغ الكهربائي في الغازات هو عبارة عن أنبوب زجاجي متين ومغلق تماماً بطول 50 cm

وقطر 4 cm ، مملوء بالغاز المطلوب دراسته. يثبت في الطرفين قطبين كهربائيين أحدهما المهبط (cathode)

والثاني المصعد (anode) كما هو موضح في شكل. في أحد الجانبين توجد فتحة توصيل إلى مخلية ضغط P

بوساطتها يمكن التحكم بضغط الغاز داخل الأنبوب. يتم توصيل طرفي الأنبوب أي القطبين إلى دائرة تيار

عالي التوتّر من مرتبة 50 kv.

أجرب وأستنتج:

تجربة (2)

الأدوات اللازمة: أنبوب كروكس - منبع تغذية لتيار متواصل - أسلاك توصيل.

خطوات التجربة:

أطبّق على الأنبوب توتراً متواصلًا بـ 1000 V ، وأشعلُ مخلية الهواء بحيثُ يكونُ قيمُ الضَّغَطِ داخلَ الأنبوبِ على التَّوالي 110mmHg , 100mmHg , 10 mmHg ، قيمة قريبة من 0.01 mmHg ، أراقبُ ما يحصلُ في الأنبوبِ، وأسجّلُ ملاحظاتي.

أستنتج

• إنَّ مظهرَ الانفراج الكهربائي يتغيّر بتغيّرِ ضغطِ الغازِ داخلَ الأنبوبِ.

• من أجلِ الضَّغَطِ حوالي 110mmHg لا نلاحظُ انفراجاً في الأنبوبِ.

• عندما يصبحُ الضَّغَطُ داخلَ الأنبوبِ حوالي 100 mmHg نسمعُ طقطقاتٍ تدلُّ على حدوثِ تفريغٍ كهربائي في الأنبوبِ.

• عندَ الضَّغَطِ 10 mmHg تختفي الطقطقاتُ ، ونلاحظُ عموداً ضوئياً مُتجانساً يمتدُّ من المهبط إلى المصعد.

• بمتابعة تخفيضِ الضَّغَطِ داخلَ الأنبوبِ إلى قيمةٍ قريبةٍ من 0.01mmHg يختفي الضَّوُّ كلياً، ويحلُّ محله ظلامٌ حالِكٌ

داخلَ الأنبوبِ، عندَ هذه المرحلة تتألقُ جدرانُ الأنبوبِ بلونٍ أخضرَ، وهذا ناتجٌ عن أشعةٍ غيرِ مرئيةٍ صادرةٍ عن المهبط، ولذلك سُميت بالأشعة المهبطية.

• شرطا توليد الأشعة المهبطية:

1. فراغٌ كبيرٌ في الأنبوبِ يتراوحُ الضَّغَطُ فيه بين (0.01 - 0.001mmHg).

2. توتّرٌ كبيرٌ نسبياً بينَ قطبي الأنبوبِ حيثُ يولّدُ حقلاً كهربائياً شديداً بجوار المهبط.

آلية توليد الأشعة وطبيعتها:

١. ماذا يحوي انبوب الأشعة المهبطية عندَ ضغط يقل عن (0.01mmHg) ؟

يحتوي أنبوبُ الأشعة المهبطية على كتلةٍ غازية تتكوّنُ من ذرّاتٍ غازيةٍ وأيوناتٍ موجبةٍ.

٢. ما دورُ التوتّر الكهربائي الكبير المُطبّق بينَ قطبي الأنبوبِ؟

عندَ تطبيقِ توتّرٍ كهربائي كبيرٍ بينَ قطبي الأنبوبِ تتجّهُ هذه الأيونات الموجبة نحوَ المهبط بسرعةٍ كبيرةٍ، وتؤينُ ما تلاقيه في طريقها من ذرّاتٍ غازيةٍ حتّى تصلَ إلى المهبط وتصدمه. يساعدُ هذا الصّدْمُ على انتزاعِ بعضِ من الإلكتروناتِ الحرّةِ من سطحِ معدنِ المهبطِ الذي يقومُ بدفعها لتبتعدَ عنه نظراً لشحنتها السالبة ويسرّعُها الحقلُ الكهربائي لتصدّم من جديدٍ، في أثناء توجُّهها نحوَ المصعد، ذرّاتٍ غازيةٍ جديدةٍ وتُسبّبُ تأينها، وتتشكّلُ أيوناتٌ موجبةٌ جديدةٌ تتجّهُ نحوَ المهبط لتولّدَ إلكتروناتٍ جديدةً وهكذا.

٣. ممّا تتكوّنُ الأشعة المهبطية المتولّدة في الأنبوبِ؟

تتكوّنُ الأشعة المهبطية من إلكتروناتٍ مُنتزعةٍ من مادّة المهبط ومن إلكتروناتٍ تأين الذرّاتِ الغازيةِ بجوار

المهبط يسرّعُها الحقلُ الكهربائي الشديّدُ الناتجُ عن التوتّر المُطبّق بينَ قطبي الأنبوبِ.

خواصّ الأشعة المهبطية:

1. تنتشرُ وفق خطوطٍ مُستقيمةٍ ناظميةٍ على سطحِ المهبط، لذا يختلفُ شكلُ حزمةِ الأشعة بحسبِ شكلِ المهبط.
- إذا كانَ المهبطُ مستويًا فالحزمةُ مُتوازية.
- إذا كانَ المهبطُ مُقرَّراً فالحزمةُ مُتقاربة.
- إذا كانَ المهبطُ مُحدَّباً فالحزمةُ مُتباعدة.
2. تُسببُ تآلقَ بعضِ الاجسام: تهيجُ الأشعة المهبطية ذراتِ بعضِ المواد التي تسقطُ عليها فتتألقُ بألوانٍ مُعيَّنة. عندمَا تسقطُ الأشعة المهبطية على الزجاجِ العادي يتألقُ بالأخضر، وعلى كبريتاتِ الكالسيوم بالأصفر البرتقالي. يُستفادُ من هذه الخاصية في الكشفِ عن الأشعة المهبطية.
3. ضعيفةُ النفوذ: لا تنفذُ من خلالِ صفيحةٍ من المعدنِ وتكوّنُ ظلًّا على الزجاجِ المُتألقِ خلفها.
4. تحملُ طاقةً حركيةً: سرعةُ الأشعة المهبطية تقتربُ من سرعةِ انتشارِ الضوء في الخلاء إذ تتراوحُ سرعتها بين 2×10^7 m/s و 6×10^7 m/s، لذلك يُمكنُها أن تديرَ دولاباً خفيفاً، وهذه الطاقة الحركية يُمكنُ أن تتحوّلَ إلى أشكالٍ أُخرى مثل طاقة كيميائية، حرارية، إشعاعية.
5. تتأثّرُ بالحقلِ الكهربائي: تنحرفُ نحوَ اللبوسِ الموجبِ المُكثَّفِ مشحونةٍ ممّا يدلُّ على أنها مشحونةٌ بشحنةٍ سالبة.
6. تتأثّرُ بالحقلِ المغناطيسي: تنحرفُ بتأثيرِ قوّة لورنز المغناطيسية عمودياً على خطوط الحقل المغناطيسي الذي يُوثّرُ عليها.
7. تنتجُ أشعةً سينية: إذا صدمت صفيحةً مصنوعةً من معدنٍ ثقيل.
8. تؤيّنُ الغازات: عندمَا تنتشرُ الأشعة المهبطية في غازٍ ما فإنّها تقومُ بتأيينه؛ أي تنزعُ إلكتروناتٍ من الدّرة الغازية وتحوّلُ إلى أيونٍ ممّا يؤدي إلى توهجِ الغاز.
9. تعملُ عملَ الأشعة الضوئية في تأثيرها بالأواح التصوير الضوئي الحساسة للضوء.

خلاصة:

- الانفراغ الكهربائي هو شرارة كهربائية تحدثُ عبرَ العازل (هواء، غازات) الفاصل بينَ جسمين مشحونين بفرق كمون كاف.
- يتغيّرُ مظهرَ الانفراغ الكهربائي بتغيّرِ ضغطِ الغازِ داخلِ الأنبوب.
- تتكوّنُ الأشعة المهبطية من إلكتروناتٍ مُنتزعةٍ من مادّة المهبط ومن إلكتروناتٍ تأيّنُ الدّرات الغازية بجوارِ المهبط يسرّعها الحقلُ الكهربائي الشّديدُ الناتج عن التّوترِ المُطبّق بينَ قطبي الأنبوب.

خواصّ الأشعة المهبطية:

1. تنتشرُ وفق خطوطٍ مُستقيمةٍ ناظميةٍ على سطحِ المهبط.
2. تُسببُ تآلقَ بعضِ الأجسام
3. ضعيفةُ النفوذ.

4. تحمل طاقةً حركيةً.

5. تتأثرُ بالحقلِ الكهربائيّ.

6. تتأثرُ بالحقلِ المغناطيسيّ.

7. تُنتجُ أشعةً سينيةً.

8. تؤينُ الغازات.

9. تعملُ عملَ الأشعةِ الضوئيةِ في تأثيرها بألواح التصوير الضوئي الحساسة للضوء.

أختبر نفسي

أولاً: علّل ما يأتي:

1. الأشعةُ المهبطيةُ تتأثرُ بالحقلين الكهربائيّ والمغناطيسيّ.

2. إذا سقطت الأشعةُ المهبطيةُ على دولايبٍ خفيفٍ تستطيعُ تدويره.

ثانياً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

احسب السرعةَ التي يغادرُ بها الإلكترونُ المهبط المعدنيّ إذا كانت طاقته الحركيةُ تساوي $J = 10^{-18} E_k$ لحظةً خروجه من المهبط وطاقته الانتزاع 3ev للمعدن المدروس، إذا علمت أن $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

المسألة الثانية:

A إذا كانت شدة التيار داخل أنبوب الانفراغ 4.8×10^{-12} ، أوجد عدد الأيونات (أزواج الأيونات المتشكّلة) خلال وحدة الزمن من جراء الحقل الخارجيّ علماً أنّ شحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

المسألة الثالثة:

إذا علمت أنّ طاقة تآين جزيئات الهواء هي 10 ev ، أوجد المسار الحرّ الوسطي (L) للإلكترون في الهواء علماً أنّ $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ وأنّ الانفراغ الشرريّ يظهرُ عندما تصلُ شدة الحقلِ الكهربائيّ إلى $E = 3 \times 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}$.

الفعل الكهرحراري

نشاط:

- نسخنُ سلكاً معدنيّاً إلى درجة حرارة مُعيّنة، ترتفع درجة حرارة السلك وتزداد سرعة الإلكترونات الحرة .
- وعند استمرار التسخين تغادر الإلكترونات الحرة السلك ويكتسب السلك شحنة موجبة لا تسمح للإلكترونات بالابتعاد كثيراً عن السلك ليحيط بالسلك كثافة الكترونية ثابتة نتيجة الفعل المتبادل بين المعدن والإلكترونات وبتأثير حقل كهربائي تتحرك الإلكترونات عكس جهة الحقل الكهربائي.

النتيجة:

- تكتسبُ بعضُ الإلكتروناتِ الحرّةِ للسّطحِ المعدنيّ قدرّاً من الطّاقة تزيد من سرعتها وحركتها العشوائية.
- تكتسبُ بعضُ الإلكتروناتِ الحرّةِ طاقةً كافيةً لتنتقلَ من ذرّاتِ السّطحِ المعدنيّ.
- يكتسبُ سطحُ المعدنِ شحنةً موجبةً.
- باستمرار التسخين يزدادُ خروجُ الإلكتروناتِ من ذرّاتِ سطحِ المعدنِ (إلى حدّ مُعينٍ) وتزدادُ شحنةُ المعدنِ ممّا يزيدُ من قوّة جذبِ المعدنِ للإلكتروناتِ المُنتزعةِ وفي لحظةٍ ما يتساوى عددُ الإلكتروناتِ المُنتزعةِ مع عددِ الإلكتروناتِ العائدةِ لسطحِ المعدنِ، فتنشكُلُ سحابةٌ إلكترونيّةٌ، كثافتها ثابتةٌ حولَ سطحِ المعدنِ.
- نسمّي هذه الظّاهرة الفعلَ الكهرحراريّ حيث لاحظ العالم توماس أديسون تحوّل الهواءِ المُحيطِ بسلكِ المعدنِ المُتوهّجِ إلى وسطٍ ناقلٍ.

- وعند تطبيق حقلٍ كهربائيّ، فإنّ الإلكتروناتِ الخارجةً من سطحِ المعدنِ لا تعودُ إليه. وإنّما تتحرّكُ في نحو المصعدِ ويساعدُ هذا على إصدارِ إلكتروناتٍ جديدةٍ، وتستمرُّ العمليّةُ و بسرعةٍ كبيرةٍ جدّاً، الحقلُ حيثُ تتسارعُ الإلكتروناتُ مُكوّنةً حزمةً إلكترونيّةً.

• يزدادُ عددُ الإلكتروناتِ المُنتزعةِ في الثّانية الواحدة من سطحِ المعدنِ كلّما:

1. قلَّ الضّغطُ المُحيطُ بسطحه.

2. ارتفعت درجة حرارة المعدن.

تعريف الفعل الكهرحراريّ؟

هو انتزاعُ إلكتروناتِ حرّةٍ من سطحِ معدنٍ بتسخينه إلى درجة حرارةٍ مُناسبةٍ.

رأسم الاهتزاز الإلكترونيّ:

أجزاؤه الرئيّسيّة:

المدفعُ الإلكترونيّ - الجملة الحارفة- الشّاشة المتألّفة.

يتألّف رأسم الاهتزاز الإلكترونيّ من أنبوبٍ زجاجيّ متينٍ يتحمّلُ الضّغطُ، أسطوانيّ ضيّقٍ في بدايته، ومخروطيّ مُنّسعٍ في نهايته ومُحلّى من الهواء، ويحتوي على الأقسام الثلاثة الآتية:

أولاً: المدفعُ الإلكترونيّ :

يتألّف المدفعُ الإلكترونيّ من الأجزاء الآتية:

1. المهبط: صفيحة معدنية يُطبَّق عليها توتُّرٌ سالب، يُصدِرُ إلكتروناتٍ بالفعل الكهرحراريَّ عن طريقِ تسخينه

تسخيناً غيرِ مُباشرٍ بوساطةِ سلكٍ تسخينٍ من التنغستين حيثُ يَمُرُّ فيه تيارٌ مُتواصلٌ.

2. شبكة وهنلت: وهي أسطوانة تحيط بالمهبط في قاعدتها ثقب ضيق، وتوصل بتوتر سالب قابل للتغيير، ولها دورٌ مُزدوجٌ لضبطِ الحزمة الإلكترونية:

• تجميع الإلكترونات الصادرة عن المهبط في نقطة تقع على محور الأنبوب.

• التَّحْكُمُ بعددِ الإلكترونات النافذة من ثقبها من خال تغيير التوتُّر السالب المُطبَّق على الشَّبكة ممَّا يغيِّرُ من شدَّة إضاءةِ الشَّاشة.

3. مصعدان: لتسريع الحزمة الإلكترونية على مرحلتين؛

• الأولى: بين الشَّبكة والمصعد الأول بتطبيق توتُّر عالٍ موجبٍ قابلٍ للتغيير.

• الثانية: بين المصعدين بتطبيق توتُّر عالٍ موجبٍ ثابت.

ثانياً: الجملة الحارفة. :

تتألَّف من:

1. مُكثِّفة، لبوساها أفقيان " حقلها الكهربائي شاقولي " تحرَّف الحزمة الإلكترونية شاقولياً.

2. مُكثِّفة مُستوية، لبوساها شاقوليان " حقلها الكهربائي أفقي " تحرَّف الحزمة الإلكترونية أفقياً.

و يُمكنُ استخدامُ زوجين من الوشائع بدلاً من الصَّفائح إحداهما أفقية والأخرى شاقولية.

ثالثاً: الشَّاشة المُتألِّفة. :

تتألَّف من:

1. طبقة سميكة من الزجاج.

2. طبقة رقيقة ناقلة من الغرافيت.

3. طبقة رقيقة من مادة مُتألِّفة " كبريت الزنك ".

• تغطى الشَّاشة من الداخل بوريقة من الألمنيوم لا يتجاوز ثخنها بضعة ميكرونات.

• تسمحُ وريقة الألمنيوم للإلكترونات المُسرَّعة بالعبور فتصطدمُ بالمادة القابلة للتألق وينعكسُ التألق على وريقة الألمنيوم الذي تعكسه بدورها خارج الأنبوب.

• يُطلَى الأنبوبُ الزجاجيُّ من الدَّاخل بطبقةٍ من الغرافيت تعملُ دورَ الواقي للحزمة الإلكترونية من الحقول الخارجيّة كما أنَّها تعيدُ الإلكترونات التي سببت التألق إلى المِصعد وتُغلق الدَّارة.

استخدامات راسم الاهتزاز:

يستخدمُ في دراسة الحركات الدَّورية كالتيارات المُتناوبة والاهتزازات الصَّوتية، حيثُ يُظهر تحولات التوتُّر بتابعيّة

الزَّمن فيتشكّل مُنحنٍ بيانيٍّ له تواتر الحركة المدروسة نفسه، ويُمكنُ للجهازِ قياسَ فرق الكمون المُستمرِّ أو المُتناوب

خلاصة:

- الفعل الكهرحراري هو انتزاع إلكترونات حرّة من سطح معدنٍ بتسخينه إلى درجة حرارةٍ مُناسبة.
- يُستخدَم راسمُ الاهتزاز الإلكتروني في دراسة الحركات الدورية السريعة كالتيارات المتناوبة والاهتزازات الصوتية، حيثُ يُظهرُ تحولات التوتّر بتابعيّة الزمن على شكل مُنحنٍ بيانيّ له تواترُ الحركة المدروسة نفسه.
- يتألّفُ راسمُ الاهتزاز الإلكتروني من ثلاثة أقسام:

أولاً: المدفع الإلكتروني:

يتألّفُ المدفع الإلكتروني من الأجزاء الآتية :

١. المهبط.

٢. شبكة وهنت.

٣. مصعدان

ثانياً: الجملة الحارفة.

ثالثاً: الشاشة المتألّقة.

- لشبكة وهنت دورٌ مزدوجٌ لضبطِ الحزمة الإلكترونية:

1. تجميع الإلكترونات الصادرة عن المهبط في نقطةٍ تقعُ على محورِ الأنبوب.

2. التّحكُّمُ بعددِ الإلكتروناتِ النافذة من ثقبها من خالِ تغييرِ التوتّر السالب المُطبّق على الشّبْكة ممّا يغيّرُ من شدّة إضاءة الشاشة.

أختبر نفسي:

ألاً: اختاري الاجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

١. الفعل الكهحراري هو انتزاع:

- النيوترونات من سطح المعدن بتسخينه.
- الالكترونات الحرة من سطح المعدن بتسخينه لدرجة حرارة مناسبة.
- البروتونات من سطح المعدن بتسخينه.

d. الفوتونات عند اصطدام الالكترونات بسطح مادة مفلورة.

٢. يتم التحكم بشدة إضاءة شاشة راسم الاهتزاز بوساطة التحكم:

- بتوتر الجملة الحارفة.
- بدرجة حرارة المهبط.
- بالتوتر المطبق على المصعد. بالتوتر السالب المطبق على الشبكة.

٣. مهمة شبكة وهنت هي:

a. ضبط الحزمة الالكترونية.

b. تسخين السلك (الفتيل).

c. إصدار الالكترونات.

d. حرف الحزمة الالكترونية.

٤. تطلّى شاشة راسم الاهتزاز الالكتروني بطبقة من الغرافيت:

a. لحماية الشاشة من الحقول الخارجية.

b. لالتقاط الفوتونات.

c. لامتصاص النترونات.

d. لإصدار البروتونات الزائدة.

ثانياً: اشرحى الدورَ المُزدوجَ لشبكة وهنت في جهازِ راسمِ الاهتزازِ الإلكترونيِّ.

ثالثاً: حلّي المسألة الأتية:

تبلغُ الطّاقةُ الحركيّةُ لحزمةٍ من الإلكترونات المُنتزعة $9.6 \times 10^{-14} \text{ J}$ ، وشدّتها $10 \mu\text{A}$.

المطلوبُ:

1. احسبي سرعة الإلكترونات في هذه الحزمة.

2. احسبي كمّيّة الحرارة المُنتشرة خالَ 30 ثانيةً عندَ اصطدامِ هذه الحزمة بصفيحة معدنيّة وتحولِ طاقتها الحركيّة بالكاملِ إلى طاقةٍ حراريّة.

3. احسبي عدد الإلكترونات التي تصلُ الصّفيحة المعدنيّة في الثّانية الواحدة.

(كتلة الإلكترون $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، شحنةُ الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19}$)

ينصح بعدم تقريب المغناط من شاشة التلفزيون أثناء تشغيلها.

أبحث أكثر

تختلف شاشات راسم الاهتزاز بقياسها، هل هناك علاقة بين قياس الشاشة وعدد الالكترونات المنتزعة. ابحث في ذلك.

نظرية الكمّ والفعل الكهرضوئيّ

إنّ تطبيق قوانين الفيزياء التقليديّة لتفسير بعض الظهور لا يكفي لذلك استخدمت نظرية الكم التي تقوم على الأسس الآتية:

1. فرضية بلانك: افترض بلانك أنّ الضّوء والمادّة يُمكنهما تبادل الطّاقة من خلال كمّيات مُفصّلة من الطّاقة سمّيت

$$(كمّات الطّاقة)، تُعطى طاقة كلّ كمّة بالعلاقة : $E = h \cdot f = \frac{h c}{\lambda}$$$

2. فرضية أينشتاين:

افترض أينشتاين أنّ الحزمة الضّوئية مُكوّنة من فوتونات (كمّات الطّاقة) يحمل كلٌّ منها طاقةً تُساوي $E = h \cdot f$ ،

ويحصل تبادل للطّاقة مع المادّة من خلال امتصاص أو إصدار فوتونات.

ويتمتع الفوتون بالخواص الآتية:

1. الفوتون أو (حبيبة الطّاقة) هو جسيم يواكب موجة كهربيّة ذات التواتر f .

2. شحنته الكهربائيّة معدومة.

3. يتحرّك بسرعة انتشار الضّوء.

4. طاقته تُساوي $E = h \cdot f$ حيث $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ثابت بلانك.

5. يمتلك كمّة حركة $P = m c$:

$$E = m c^2$$

$$m = \frac{E}{c^2}$$

$$P = \frac{E}{c^2} c$$

$$P = \frac{E}{c}$$

$$P = \frac{h f}{\lambda f}$$

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

الفعل الكهرضوئيّ:

يعتمد في عمله على تحويل الطّاقة الضّوئية إلى طاقة كهربائيّة، كالخلايا الشمسيّة التي يُستفاد منها في إنارة الشوارع

وغير ذلك.

أتساءل:

ما المبدأ الذي تعتمد عليه عمل هذه الأجهزة؟

إن عمل هذه الأجهزة يقوم على انتزاع الإلكترونات الحرّة من المادّة عند تعرّضها لإشعاعاتٍ كهرومغناطيسيّةٍ مناسبة، وهذا ما يسمّى بالفعل الكهروضوئيّ، وأوّل من لاحظ هذه الظاهرة عمليّاً هو العالمُ هرْتز عام 1887.

تجربةُ هرْتز:

أدواتُ التّجربة: صفيحةُ توتياء - كاشفُ كهربائيّ - مصباحُ بخارِ زئبقيّ - لوحُ زجاج.

وصفُ التّجربة:

• نثبُ صفيحةً من التوتياء فوق كاشفٍ كهربائيّ.

• نعرّضُ الصفيحةَ للأشعة الصّادرة عن مصباحِ بخارِ الزئبقِ كما في الشّكل.

خطواتُ تنفيذِ النّشاط:

1. نقومُ بشحنِ الصّفيحةِ بشحنةٍ سالبةٍ، ماذا نلاحظُ؟

2. نسلطُ ضوءَ المصباحِ على صفيحةِ التوتياء، ماذا نتوقّع أن يحدثَ لوريقتي الكاشفِ؟

3. نعيّدُ التّجربةَ السّابقةَ بعد أن نضعَ بينَ المصباحِ وصفيحةِ التوتياء لوحاً زجاجيّاً، ماذا نلاحظُ؟

4. نقرّبُ المصباحَ من الصّفيحةِ معَ بقاءِ اللّوحِ بينهما، هل يتغيّرُ انْفراجُ الوريقتينِ؟

5. نسحبُ اللّوحَ الزّجاجيّ، هل تفقدُ الصّفيحةُ شحنتها؟

6. نشحنُ الصّفيحةَ بشحنةٍ موجبةٍ، ثمّ نعرّضُها لضوءَ مصباحِ الزئبقِ، ماذا يحدثُ لشحنةِ الصّفيحةِ؟

نتائجُ التّجربة:

• تنفجُ وريقتا الكاشفِ دالّةً على شحنةِ الصّفيحةِ.

• تُنتزَعُ بعضُ الإلكتروناتِ من صفيحةِ التوتياء بالفعل الكهروضوئيّ، وتدفعُهم شحنةُ الصّفيحةِ السّالبة فتبتعدُ الإلكتروناتُ

عن الصّفيحةِ ممّا يؤدّي إلى فقدانها تدريجيّاً لشحنتها السّالبة حتّى تتعادلُ، فتتقاربُ وريقتا الكاشفِ حتّى تنطبقا.

• لا يتغيّرُ انْفراجُ وريقتي الكاشفِ الكهربائي لأن اللّوحَ الزّجاجيّ يمتصُّ الأشعةَ فوق البنفسجيّةَ المسؤولة عن انتزاع

الإلكترونات، ويمنعها من الوصولِ إلى الصّفيحةِ بينما يسمحُ بمرورِ الأشعةِ المرئيّةِ والأشعةِ تحت الحمراء التي لا تمتلكُ

الطّاقة الكافية لانتزاعِ الإلكترونات.

• إنَّ الإلكتروناتِ التي يجري نزعها يُعاد جذبُها إلى الصّفيحةِ بسببِ شحنتها الموجبة، فنجدُ أنّ وريقتي الكاشفِ لا تتأثّرُ

فلا يتغيّرُ انْفراجها.

شرحُ الفعلِ الكهروضوئيِّ بالاستنادِ إلى فرضيةِ أينشتاين:

اقترحَ أينشتاين أنه عندما يسقطُ فوتون على معدنٍ فإنَّ هذا الفوتون يُمكنُ أن يصادفَ إلكترونًا ويُقدِّمُ له كاملَ طاقته، والفوتون يكونُ بذلك قد جرى امتصاصه،

وهنا لدينا ثلاثُ إمكانيات:

1. إذا كانت طاقةُ الفوتون مُساويةً لعملِ الانتزاع

$E_s = h \cdot f$ ، فإنَّ ذلك يؤدي إلى انتزاعِ الإلكترون،

وخروجه من المعدن، ولكن بطاقةٍ حركيةٍ معدومة،

وتؤثر الموجة عندئذٍ يمثُلُ تواترُ العتبة اللزّمة

لنزع الإلكترون.

2. إذا كانت طاقةُ الفوتون أكبرَ من عملِ النزع، والجزء الآخرُ، E_s ، فإنَّه يجري انتزاعُ الإلكترون من المعدن باستهلاك

جزءٍ من طاقةِ الفوتون يُساوي بيبقى مع الإلكترون على شكلِ طاقةٍ حركية، أي يخرجُ الإلكترونُ من المعدن بطاقةٍ

حركية تُساوي $E_k = h \cdot f - E_s$.

3. إذا كانت طاقةُ الفوتون أصغرَ من طاقةِ الانتزاع يكتسبُ الإلكترونُ طاقةً حركيةً، ويبقى مُرتبطاً بالمعدن.

النتيجة:

يجري انتزاعُ الإلكترونات من المعدن إذا كان طولُ موجةِ الحزمة الضوئية الواردة على المعدن أصغرَ أو مساوياً لطول

موجة العتبة اللزّمة للانتزاع.

نجدُ في الجدول عملَ انتزاعِ الإلكترون من عددٍ من المعادن، وطولَ موجةِ العتبة الموافق.

إضاءة:

حصلَ أينشتاين على جائزة نوبل عام 1921 لشرحِهِ الفعلِ الكهروضوئيِّ.

1. لا يحدثُ الفعلُ الكهروضوئيُّ إذا كان تواترُ الضوء الوارد أقلَّ من تواترِ العتبة المعدن، أما النظرية الموجية، فتعتبرُ أنَّ

الفعلُ الكهروضوئيُّ يحدثُ عندَ جميعِ التواترات بحسبِ شدةِ الضوء الوارد.

2. لا تزدادُ الطاقةُ الحركيةُ العظمى للإلكترون المنتزع E_k بزيادةِ شدةِ الضوء لأنَّ الإلكترون لا يمتصُّ سوى فوتون

واحدٍ من الفوتونات الواردة، بينما اعتبرتِ النظرية الموجية أنَّ الضوء ذا الشدة العالية يحملُ طاقةً أكثرَ للمعدن وبالتالي

تزدادُ الطاقةُ الحركيةُ للإلكترون المنتزع بزيادةِ شدةِ الضوء الوارد.

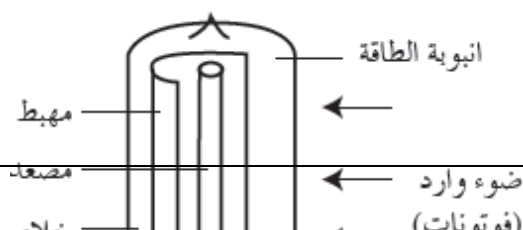
3. تزدادُ الطاقةُ الحركيةُ العظمى للإلكترون المنتزع بزيادةِ تواترِ الضوء الوارد، بينما اعتبرتِ النظرية الموجية أنَّه لا

علاقةٌ بينَ طاقةِ الإلكترون وتواترِ الضوء الوارد.

4. يحدثُ انتزاعُ للإلكترونات من سطح المعدن أنياً مهما كانت قيمةُ شدةِ الضوء الوارد، وبحسبِ النظرية الموجية يحتاجُ

الإلكترونُ لزمٍ امتصاصِ الفوتون الوارد حتى يُنتزع.

الخلية الكهروضوئية:



تتألف الخلية الكهروضوئية من حبابة زجاجية من الكوارتز مُحلّة من الهواء، تحتوي مسرى معدنيًا يُغطّي سطحه طبقة رقيقة من معدنٍ قلويّ تتلقّى الضوء، يُسمّى المهبط C، كما تحتوي على مسرى آخر يُسمّى المصعد A.

- فرضية بلانك: افترض بلانك أن الضوء والمادة يُمكنهما تبادل الطاقة من خلال كميات منفصلة من الطاقة.
- فرضية أينشتاين: افترض أينشتاين أن الحزمة الضوئية مكونة من فوتونات (كمات الطاقة) يحمل ويحصل تبادل للطاقة مع المادة من خلال امتصاص أو إصدار، $E = h \cdot f$ كل منها طاقة تساوي فوتونات. ويتمتع الفوتون بالخواص الآتية:

1. الفوتون أو (حبيبة الطاقة) هو جسيم يواكب موجة كهربيسية ذات التواتر f .
2. شحنته الكهربائيه معدومة.
3. يتحرك بسرعة انتشار الضوء.
4. طاقته تساوي $E = h \cdot f$.
5. يمتلك كمية حركة $P = \frac{h}{\lambda}$.

• الفعل الكهرضوئي: انتزاع الإلكترونات الحرة من المادة عند تعرضها لإشعاعات كهربيسية مناسبة، يجري انتزاع الإلكترونات من المعدن إذا كان طول الموجة الضوئية الواردة على المعدن أصغر أو يساوي طول موجة العتبة اللازمة للانتزاع.

• الخلية الكهرضوئية: تتألف الخلية الكهرضوئية من حبابه زجاجية من الكوارتز مُخلّاة من الهواء، تحتوي مسرى معدني يغطي سطحه طبقة رقيقة من معدن قلوي تتلقى الضوء، يسمى المهبط C، كما تحتوي على مسرى آخر يسمى المصعد A.

أختبر نفسي:

أولاً: اختاري الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. الحزمة الضوئية حزمة من الجسيمات غير المرئية تسمى:
 - أ. نترونات. ب. فوتونات. ج. الكترونات. د. برتونات.
2. يزداد عدد الإلكترونات المُقتلعة من مهبط الحُجيرة الكهرضوئية بازدياد:
 - أ. تواتر الضوء الوارد. ب. شدة الضوء الوارد. ج. كتلة صفيحة مهبط الحُجيرة. د. تواتر العتبة.
 3. تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة مغادرته مهبط الحُجيرة الكهرضوئية بازدياد:
 - أ. تواتر الضوء الوارد. ب. شدة الضوء الوارد. ج. سماكة صفيحة مهبط الحُجيرة. د. تواتر العتبة f_s .
 4. يحدث الفعل الكهرضوئي بإشعاع ضوئي وحيد اللون تواتره:
 - أ. $f = 0$. ب. $f < f_s$. ج. $f = f_s$. د. $f > f_s$.
 5. يجري انتزاع الإلكترون من سطح معدن ما إذا كانت طاقة الفوتون:
 - أ. معدومة. ب. تساوي طاقة الانتزاع. ج. أكبر من طاقة الانتزاع. د. أصغر من طاقة الانتزاع.

ثانياً:

يسقط فوتون طاقته E على معدن، ويصادف إلكتروناتاً طاقته انتزاعه E_s ، ويقدم له كامل طاقته.

المطلوب:

1. اشرح ما يحدث للإلكترون إذا كانت:

a. طاقة الفوتون أقل من طاقة الانتزاع.

b. طاقة الفوتون أكبر من طاقة الانتزاع.

2. ما الشرط الذي يجب أن يحققه طول موجة الضوء الوارد لتعمل الحجرة الكهروضوئية؟

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يسقط ضوء بتواتر 7.3×10^{14} Hz على معدن، طاقة الانتزاع لديه 3.2×10^{-19} J.

المطلوب:

1. بيّن بالحساب، أتنزغ الإلكترونات من سطح المعدن أم لا؟

2. احسب طاقتها الحركية في حال انتزاعها.

المسألة الثانية:

يضيء منبع ضوئي وحيد اللون طول موجته $0.5 \mu\text{m}$ حجرة كهروضوئية، طاقة انتزاع الإلكترون فيها $E_s = 33 \times 10^{-20}$ J.

المطلوب:

1. احسب تواتر العتبة.

2. احسب طول موجة عتبة الإصدار.

3. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحجرة وسرعته.

المسألة الثالثة:

إذا كان أكبر طول موجة يلزم لانتزاع الإلكترون من سطح مهبط حجرة كهروضوئية يساوي 66×10^{-8} m.

المطلوب:

1. طاقة انتزاع الإلكترون من مادة المهبط.

2. كمية حركة الفوتون الوارد عندما يضاء سطح صفيحة المهبط بضوء وحيد اللون، طول موجته 44×10^{-8} m.

3. الطاقة الحركية للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحجرة الكهروضوئية.

4. قيمة كمون إيقاف.

المسألة الرابعة:

احسب تواتر العتبة لخلية كهروضوئية تحوي صفيحة من معدن السيزيوم عندما يرد عليها ضوء وحيد اللون، طول موجته

5×10^{-7} m، علماً أنّ طاقة الانتزاع لدى السيزيوم تساوي 3×10^{-19} J. ثمّ احسب الطاقة الحركية للإلكترون المنتزاع

وسرعة الإلكترون.

$h = 6.64 \times 10^{-34}$ Js ثابت بلانك، $c = 3 \times 10^8$ m.s⁻¹ سرعة انتشار الضوء في الخلاء، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

كتلة الإلكترون.

ابحث في مكتبة مدرستك أو في الشبكة عن ظاهرة الإصدار الكهروضوئي باستخدام نموذج بئر الكمون.
أبحث أكثر

إن نظرية الكم وفرضية دبرولي وما ترتب عليهما تؤكدان وجود الخاصّة الثنائيّة في كلّ من الضوء و المادّة .
اعتماداً على فرضيات دوبرولي فسر تشكّل أهداب التداخل للإلكترونات عند إمرار حزمة منها خال شريحة رقيقة من الألمنيوم.

الفيزياء الطبيّة الأشعة السينيّة X-Ray

يقوم طبيب الأسنان بمعالجة أسنانك بالاعتماد على صورة شعاعيّة للفكين، تظهر فيها الأسنان وعظام الفكّين بوضوح،
فيتبيّن منها أماكن التسوّس والنخر، والاعوجاج فيها.
ما طبيعة الأشعة المستخدمة في التصوير الشعاعيّ؟
وكيف يمكنها تجاوز النّسج الحيّة في الوجه؟
ولماذا يرتدي العاملون في مراكز التصوير ألبسة خاصة بهم؟
اكتشف وليم رونتجن الأشعة السينيّة عام (1895) م مُصادفة في أثناء دراسته الأشعة المهبطيّة في أنبوب كروكس، فقد لاحظ أثرها، وقدرتها العالية على النفاذ من خال بعض المواد، وأطلق عليها اسم (X - Rays)، وأدرك رونتجن أنّ هذه الأشعة تتولّد عندما تسقط حزمة من الإلكترونات ذات الطّاقة العالية على هدف من معدن ثقيل.
آلية توليد الأشعة السينيّة:

يستخدم لتوليدها أنبوب كوليديج، وهو أنبوب زجاجيّ مملّئ من الهواء تخليةً شديدةً، حيث يبلغ الضّغط داخله 10^{-6} mmHg تقريباً، ويحوي الأنبوب سلكاً مصنوعاً من التنغستين، يُسخن لدرجة

التوهج بوساطة تيار كهربائيّ، وذلك بوصله
بمجموعة مولّدات، يحيط بالسلك مهبط معدنيّ
مُقعّر الشكل يعمل على عكس حزمة الإلكترونات
المنبعثة من السلك وتجميعها على الهدف الموصول
بالمصعد (مقابل المهبط)، ويصنع الهدف من معدن
ثقيل، درجة حراره انصهاره مرتفعة جداً مثل
الموليبيدين، ويوضع بحيث يميل بزواوية 45 % على
محور الأنبوب، ويثبت على أسطوانة نحاسيّة أكبر منه حجماً متصلةً بمبرّد. إذن كيف تتولّد الأشعة السينيّة؟

(نشاط 1)

أنظر إلى الشكل المجاور، وأجيب:

1.1 أعدد ما يحدث عند تسخين سلك التنغستين؟

2.2 أعدد ما يحدث عند تطبيق توتر عالٍ متواصل

(105 - 104 بين المصعد V من رتبة UAC)

والمهبط.

3.3 ماذا ألاحظ عند اصطدام الإلكترونات المُسرَّعة

بذرات الهدف، وما تفسير ذلك؟

4.4 أعلِّ سبب وجود المُبرِّد المُتصلِ بأسطوانة النحاس.

النتائج:

- تُنتزع إلكترونات من سلك التنغستين نتيجة تسخينه لدرجة مناسبة.
- تُسرَّع الإلكترونات المنتزعة بالحقل الكهربائي الشديد المُطبَّق بين المصعد والمهبط.
- تصطدم الإلكترونات المُسرَّعة بذرات الهدف، يؤدي جزء منها إلى انتزاع إلكترون من إلكترونات الطبقة الداخليَّة في ذرات الهدف، ويُخلَّف وراءه ثقباً.
- ينتقل أحد إلكترونات من الطبقات الأعلى (العليا) لذرات مادَّة الهدف بسرعة ليحلَّ في الثقب، ويترافق ذلك بإصدار فوتونات ذات طاقة عالية جداً (أمواج كهرومغناطيسية) هي الأشعة السينية.
- عندما يمر الإلكترون بسرعة عالية بالقرب من النواة فإنه سوف ينحرف عن مساره بفعل القوة الكهربائية ويطلق عليها أشعة الكبح (X). الجاذبة فيفقد جزء من طاقته وتتحول إلى أشعة
- يؤدي اصطدام الجزء الأكبر من الإلكترونات المُسرَّعة بذرات الهدف إلى تحوُّل كامل طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية في مادَّة الهدف فترتفع حرارتها، ممَّا يستدعي تبريدها. طالما أنَّ الأشعة السينية هي يُمكن أن تنطلق بها فوتونات الأشعة السينية؟ وعلى ماذا $mmin$ أمواج كهرومغناطيسية، فما أقصر طول موجة يتوقَّف ذلك؟

241

- طاقة الفوتونات تُساوي بقيمتها العظمى الطاقة الحركية للإلكترونات المُسرَّعة التي تُسبَّب إصدارها 1

()

()

E E

hf eU

1

2

fff

fff

=

max =

 k

AC

(1) و (2) نجدُ (:بالمساواة بين 1

 $h c eU$ eU $h c$ m m

=

=

min

min

AC

AC

وهي علاقة طول الموجة الأصغري للأشعة السينية 1 .

سرعة انتشار الضوء $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي الأنبوب، UAC 1 حيثُ في الخلاء.

• أستنتج أن أقصر طول موجة لفوتون الأشعة السينية يتوقف على فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي أنبوب توليد الأشعة السينية.

• يمكن تغيير قيمة فرق الكمون الكهربائي بين المصعد والمهبط بتغيير وضع الزاوية (ق)، فيغير ذلك من طاقة تسريع الإلكترونات، فتتغير الطبقة الذرية التي يفتلح منها إلكترونات في ذرات صفيحة الهدف وتتغير الصادرة. أما تغيير وضع الزاوية (م) فيغير من حرارة سلك التسخين مما يغير من X بالتالي طاقة أشعة X . عدد الإلكترونات التي يصدرها، فتتغير شدة (كثافة) الأشعة المهبطية وتتغير بالتالي شدة أشعة الصادرة عن أنبوب انقراض أنه عبارة عن طيفين أحدهما مستمر (مجال • - X يُظهر تحليل طيف أشعة مستمر من الأطوال الموجية)، والآخر عبارة عن خطوط متميزة حادة وساطعة ومنفصلة عن بعضها تقع

فوق الطيف الأول، تُسمّى الأشعة التي تُسبب الطيف الأول (المُستمر) بأشعة الكبح الإلكتروني، وتنتج عن فقدان الإلكترونات المُسرّعة لطاقاتها عندما تكبح (تبطئ) عند اصطدامها بصفحة الهدف، أما الأشعة التي تُسبب الطيف الآخر المُؤلف من الخطوط الحادة المُنفصلة فتنتج عن الانتقالات الإلكترونية لملء الثغوب الداخليّة في الذرات المُهيجّة في صفحة الهدف.

خواصّ الأشعة السينيّة:

13.6 nm و 0.001 nm ذات طبيعة موجيّة، فهي أمواج كهرومغناطيسيّة، أطوال موجاتها قصيرة جداً، تتراوح بين لذلك تكون طاقتها عالية جداً وهي أقصر بكثير من أطوال الأمواج الضوئية.

2.2 ذات قدرة عالية على النفاذ بسبب قصر طول موجتها.

إلّا من ذرات العناصر الثقيلة نسبياً بعد تهيجها بطريقة مناسبة، أو من 3.3 - X لا يمكن أن تصدر أشعة الإلكترونات المُسرّعة بعد كبحها ضمن وسط ماديّ.

4.4 تشبه الضوء المرئي من حيث الانتشار المُستقيم والانعكاس والتداخل والانعراج، وسرعة انتشارها تساوي سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

5.5 لا تملك شحنة كهربائيّة، فلا تتأثر بالحقلين الكهربائي والمغناطيسيّ.

6.6 تسبب تألق المواد التي تسقط عليها: بسبب قدرتها على إثارة ذرات هذه المواد، وتؤثر في أفلام التصوير.

7.7 تؤثر في الأنسجة الحيّة: تتخرب الخلايا الحيّة إذا استمرّ تعرّضها لهذه الأشعة، (تستطيع جرح أو قتل

الخلايا الحيّة وأحيانا إحداث تغييرات عضويّة فيها). لذا تُستعمل الألبسة التي يدخل في تركيبها الرصاص

242

للوّاقية من الحروق التي تسببها هذه الأشعة.

8.8 تويّن الغازات: فوتونات الأشعة السينيّة ذات طاقة كبيرة تكفي لتأيين الغاز الذي تخترقه.

قابليّة امتصاص ونفاذ الأشعة السينيّة:

تنوّف قابليّة امتصاصها ونفاذها على:

1.1 ثخن المادّة: تزداد نسبة الأشعة المُمتصّة وتقلّ نسبة النافذة منها كلّما ازداد

ثخن المادّة.

2.2 كثافة المادّة: تزداد نسبة الأشعة المُمتصّة بازدياد كثافة المادّة، كالرصاص و

الذهب والعظام، وتقل نسبة النافذة منها بنقصان كثافة المادّة، كالخشب

والبلاستيك وجلد الإنسان، لذلك يستخدم نوع منها في تشخيص الكسور

عند تعرّض الإنسان لحادث.

بطاقتها المرتبطة بقيمة فرق الكمون 3.3 - X طاقة الأشعة: تتعلّق نفوذية أشعة

المطبّق على أنبوب توليدها.

نميز نوعين من الأشعة المستخدمة من حيث الطاقة:

1 طاقتها منخفضة نسبياً وامتصاصها كبير ونفوذها 1.1 nm و 13.6 nm المادّة اللينة: أطوال موجاتها

قليل.

0.01 طاقتها عالية وامتصاصها قليل ونفوذها كبير 2.2 nm 1 m 1 nm الأشعة القاسية: أطوال موجاتها
- استخدامات أشعة X
الاستخدامات الطبية:

والتي يُمكن تبويب بعضها بما يأتي: ، - X يوجد الكثير من الاستخدامات الطبية لأشعة
1.1 في التصوير للكشف عن الكسور والتشوهات في العظام، وكذلك عن الأورام أو الاختلالات في
أعضاء الجسم المختلفة، وكذلك في الكشف عن نخر الأسنان والتشوهات في جذورها.
أن تقتل الخلايا السرطانية 2.2 - X في معالجة الأورام السرطانية، حيث يُمكن لجرعات صغيرة من أشعة
في حين يكون ضررها أقل بكثير على الخلايا السليمة، لأن الخلايا السرطانية تكون ضعيفة كونها
تنتج عبر انقسامات سريعة وغير منتظمة لخلايا غير مكتملة.
المزود بشاشة تلفزيونية مشاهدة الأعضاء الداخلية لجسم المريض في 3.3 - X يُمكن بواسطة جهاز أشعة
أثناء أداؤها لوظائفها كفيلم متحرك، حيث يُعطى المريض عن طريق الفم، في البداية، مادة غير ضارة
فتمتص كبريتات الباريوم أشعة - X مثل محلول كبريتات الباريوم ثم يعرض جهازه الهضمي لأشعة
بكثافة مما يجعل صورة الأعضاء التي تحوي هذه المادة أقل تعتيماً ما يجاورها، الأمر الذي - X
يُمكن من مراقبة فعاليتها وحركتها والتعرف إن كانت طبيعية أم مريضة.
في تعقيم بعض المعدات الطبية التي لا يُمكن تعقيمها بالحرارة، مثل القفازات 4.4 - X تُستخدم أشعة
الجراحية اللدنة أو المطاطية، والمحقنات البلاستيكية وغيرها.

إثراء:

243__

إضافة:

الطاقة الميكانيكية (الكلية) للإلكترون (2) $E = E_k + E_p$

حيث: E_p الطاقة الكامنة الكهربائية (3) $E_p = -k \frac{e^2}{r}$

E_k الطاقة الحركية: $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$

وبتعويض (1) $E_k = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$ (4)

بتعويض (3)، (4) في (2) نجد: $E = -k \frac{e^2}{2r}$ وهي علاقة الطاقة الميكانيكية للإلكترون ذرة الهيدروجين في مداره.

سوية الطاقة في ذرة الهيدروجين:

انطلاقاً من فرضيتي بور الأولى و الثانية، استنتجنا علاقة نصف قطر المدار (r_n) بدلالة نصف قطر بور (r_0) متوصلة إلى علاقة الطاقة الكلية للإلكترون (E_n) بدلالة رتبة المدار (n)

إنّ الطاقة الحركية: $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$ نعوض العلاقة (1) $E_k = \frac{1}{2} m_e \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e^2 r^2}$

وكذلك الطاقة الحركية (3) $E_k = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$ (2) $E_k = \frac{1}{2} \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e r^2}$

وبالمساواة نجد علاقتين (2)، (3) $\frac{1}{2} k \frac{e^2}{r} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e r^2}$

وبالتعويض في علاقة الطاقة الكلية: $E_n = -k \frac{e^2}{2r}$ فنجد: $E = E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2}$