جامعة الانبار

كلية التربية الأساسية / حديثة

قسم العلوم العامة / فرع الفيزياء

اسم التدريسي: م.م. عبدالرحمن ظافر صباح

المرحلة الدراسية: الثالثة

الفصل الدراسي: الاول

اسم المادة باللغة العربية: ميكانيك الكم

اسم المادة باللغة الإنكليزية: Quantum Mechanics

اسم المحاضرة باللغة العربية: نظرية بور

اسم المحاضرة باللغة الإنكليزية: Bohr's Theory

7-1- نظرية بور(Bohr's Theory):

في عام 1911 ، قدم العالم الدنماركي نيلس بور(Niels Bohr) نظريته الشهيرة لذرة الهيدروجين والتي تشرح وتفسر ببساطة الطيف المنبعث من الذرة.

طبقاً للنموذج النووي للذرة، والذي يقوم على النتائج التجريبية لتطاير جسيمات α يمكن اعتبار أن كتلة الذرة متركزة في النواة والتي تعتبر ثابتة ، ويدور حولها إلكترون. القوة F التي يرتبط بها الإلكترون في مدار دائري هي قوة كولوم حسب قانون كولوم.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_{\circ}} \frac{(ze)(e)}{r^2} \qquad \text{..... (1)}$$

حيث (Ze) هي شحنة النواة لذرة الهيدروجين (Z=1) و e هي شحنة الالكترون

$$\varepsilon_{\circ} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{c^2}{Nm^2}$$

حيث r هو نصف قطر الذرة ، تتوازن قوة كولوم مع القوة الطاردة المركزية أي ان :

$$F = \frac{mv^2}{r} \qquad \text{.....(2)}$$

حيث v هي السرعة الخطية للإلكترون ، وبمساواة القوتان **[نساوي معادلة (1) ومعادلة(2)]** نجد ان:

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_{\circ}} \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \text{.....(3)}$$

طبقاً لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، فإن الجسم المشحون المتسارع يصدر إشعاع مما يؤدي إلى فقدان لطاقته، ولهذا السبب فإن الإلكترون سيفقد طاقته خلال دورانه حول النواة وسيدور في شكل حلزوني ويتلاشى داخل النواة، وعليه فلا يمكن أن يوجد مدار مستقر

للإلكترون. وللخروج من هذا الإشكال اقترح بور فرضياته التي تخالف قوانين الفيزياء التقليدية.

الفرضية الأولى:
المدارات الإلكترونية المستقرة (الثابتة).

وهذه الفرضية هي تَحدٍ بالمفاهيم التقليدية للفيزياء. ولقد حدد بور هذه المدارات باستحداث شرط التكميم وافترض أن كمية الحركة الزاوية مكملة حسب العلاقة.

$$L = mvr = n\hbar \quad ، n = 1,2,3,..... \quad .....(4)$$

من هذه العلاقة نجد أن :

$$\Rightarrow v = \frac{n\hbar}{mr}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{n^2\hbar^2}{m^2r^2} \quad ..... (a)$$

بتعويض معادلة (a) في معادلة (3) :

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2} = \frac{m}{r}\frac{n^2\hbar^2}{m^2r^2}$$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2} = \frac{\cancel{m}}{r}\frac{n^2\hbar^2}{\cancel{m^2}r^2}$$

بالضرب ب r^2

$$[\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2} = \frac{1}{r}\frac{n^2\hbar^2}{mr^2}]\times r^2 \Rightarrow r = \frac{4\pi\varepsilon_\circ\hbar^2}{me^2}\cdot n^2 \quad .....(5)$$

ومن هذه العلاقة نجد أن أنصاف أقطار المدارات لها مقادير محددة أو مكممة. إن أقل نصف قطر للإلكترون يوجد بالتعويض عن n=1.

$$r = \frac{4\pi(8.85\times10^{-12}c^2N^{-1}m^{-2})(1.055\times10^{-34}\,\mathrm{J.s})^2}{(9.11\times10^{-31}kg)(1.602\times10^{-19})^2}\cdot(1)^2$$

$$r = 5.29\times10^{-11}m = 52.9pm \approx 0.53A^\circ$$

وهذه القيمة يرمز لها عادة ب $a_\circ$ **:(نص قطر ذرة بور(Bohr radius)).**

نحسب الآن بالطريقة التقليديّة الطاقة الكلية للإلكترون والتي هي مجموع طاقته الحركية (K.E) وطاقته الكامنة(طاقة الجهد) (V) :الأولى ناتجة عن حركة الإلكترون والثانية نتيجة وجوده في حقل قوّة (أي وقوعه تحت تأثير قوّة ما، وهي قوة التجاذب الكولومية) في حال الالكترون أعلاه:

$$E = K.E + V(r) = \frac{1}{2}m_e v^2 - \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

الإشارة السالبة للجهد V_r تعني أن البروتون والإلكترون يجذب كل منهما الآخر .

من معادلة (3) ..... $\because \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$

$$\therefore m_e v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r^2}r \Rightarrow m_e v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

نعوض معادلة رقم(7) في معادلة رقم (6)، نحصل على :

$$\therefore E = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r}\right) - \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r} = \frac{1}{8\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r}$$

$$E = \left(\frac{1}{\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r}\right)\left(\frac{1-2}{8}\right) \Rightarrow E = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_\circ}\frac{e^2}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

نعوض معادلة رقم(5) في معادلة رقم (8)، نحصل على :

$$\therefore E = -\frac{1}{8\pi\varepsilon_\circ} e^2 \left(\frac{m_e e^2}{4\pi\varepsilon_\circ \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \right)$$

$$E = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \varepsilon_\circ^2 \hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

$$\because \hbar = \frac{h}{2\pi} \Rightarrow \hbar^2 = \frac{h^2}{4\pi^2}$$

$$\therefore E = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \varepsilon_\circ^2} \frac{4\pi^2}{h^2} \frac{1}{n^2}$$

$$E = -\frac{m_e}{8\varepsilon_\circ^2 h^2} \frac{e^4}{n^2} \qquad \text{.....(9)}$$

حيث (n=1,2,3,…..)

الإشارة السالبة في معادلة (9) تدل على أن حالات الطاقة حالات مقيدة.

في حالة n=1 فان المعادلة (9) تعطينا اقل طاقة وتسمى بالطاقة الأرضية او طاقة الحالة الأرضية ground-state اما طاقة الحالات الأعلى تسمى الحالات المستثارة او المتهيجة excited states وتكون غير مستقرة وعندما تكون الذرة او الجزيء في الحالة المتهيجة فإنها ترجع للحالة الأرضية وتعطي طاقة في صورة موجات كهرومغناطيسية.

الفرضية الثانية:

يمكن للإلكترونات أن تنتقل أو تقفز من مداراتها بطريقة غير متصلة وأن التغير في الطاقة ΔE يؤدي لانبعاث إشعاع له تردد $h\nu$ ولهذا السبب لو انتقل إلكترون من المدار الذي له $n_2=1$ إلى المدار ذو $n_1=2$ فان الفرق في الطاقة هو :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = -\left[\frac{m_e}{8\varepsilon_\circ^2 h^2}\frac{e^4}{n_2^2} - \frac{m_e}{8\varepsilon_\circ^2 h^2}\frac{e^4}{n_1^2}\right]$$

$$\Delta E = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_\circ^2 h^2}\left(-\frac{1}{n_2^2} + \frac{1}{n_1^2}\right)$$

$$\therefore \Delta E = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_\circ^2 h^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = h\nu \qquad \text{.....(10)}$$

من معادلة (10) يمكننا الحصول على الصيغة الرياضية للعلاقة العددية المعروفة **بمعادلة ريدبرج والتي تصف جميع خطوط الطيف لذرة الهيدروجين** بالتعويض عن hν ب $\frac{hc}{\lambda}$ في معادلة (10) نحصل على :

$$\Delta E = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_\circ^2 h^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_\circ^2 h^3 c}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad \text{..... (11)}$$

(n_1) : عدد صحيح ياخذ القيم (n=1,2,3,.....) و (n_2): عدد صحيح ياخذ القيم (n=2,3,4,....)

بحيث ان $n_1 > n_2$ وR_H هو ثابت ريدبرج Rydberg constant :

$$R_H = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_\circ^2 h^3 c} = \frac{(9.11\times10^{-31} kg)(1.6\times10^{-19}\,\mathrm{c})^4}{(8)(8.85\times10^{-12}\,\frac{c^2}{Nm^2})^2(6.63\times10^{-34} J.s)^3(2\times10^8\,\frac{m}{s})}$$

$$R_H = 1.089\times10^{-7}\,\frac{1}{m}$$

من معادلة (11) نجد ان العلماء **توصلوا إلى سلاسل طيفية للهيدروجين بالاعتماد على قيم n_1 ، وقد سميت كل مجموعة بإسم مكتشفها وهي كما يلي:**

(1) سلسلة ليمان (Lyman) :

هو الضوء الناتج عن انتقال الإلكترون من إي مستوى رئيسي ($n_2 < 1$) إلى المستوى الرئيسي الأول ($n_1=1$) وتقع سلسلة ليمان في منطقة في منطقة الاشعة فوق البنفسجية (UV) .

(2) سلسلة بالمر(Balmer) :

هو الضوء الناتج عن انتقال الإلكترون من أي مستوى رئيسي ($n_2 < 2$) إلى المستوى الرئيسي الثاني ($n_1=2$) وتقع سلسلة بالمر في منطقة الطيف المرئي (VL) .

(3) سلسلة باشن (Paschen):

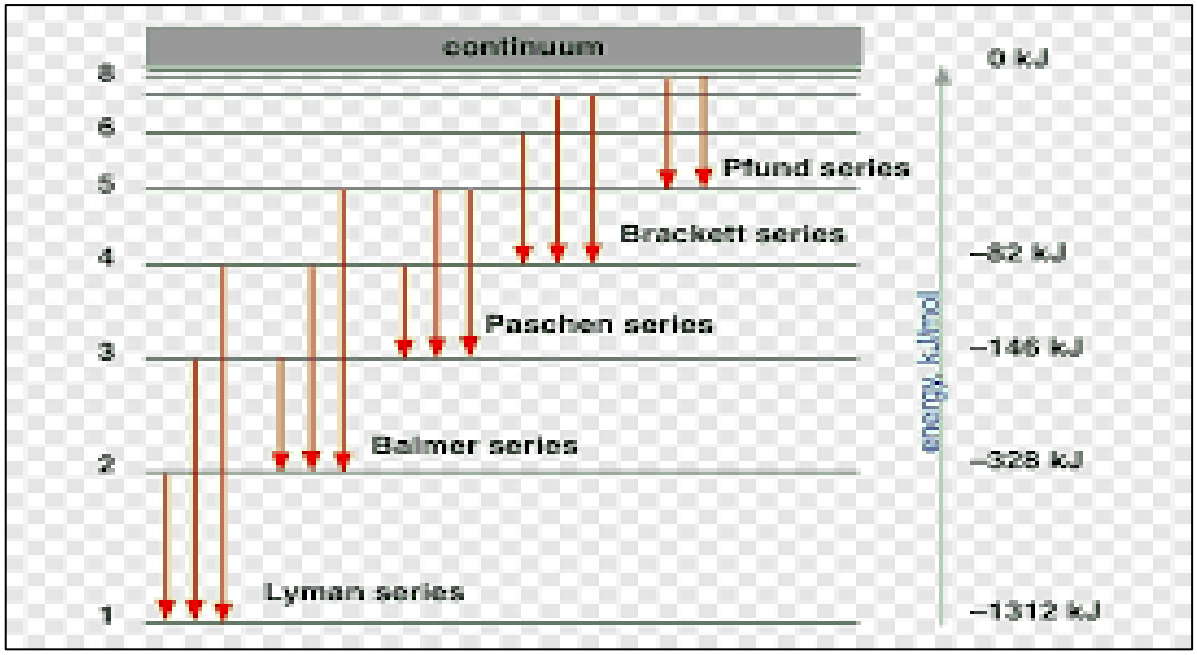
هو الضوء الناتج عن انتقال الإلكترون من أي مستوى رئيسي ($n_2 < 3$) إلى المستوى الرئيسي الثالث ($n_1=3$) وتقع سلسلة باشن في منطقة الاشعة تحت الحمراء(IR) .

(4) سلسلة براكت(Bracket) :

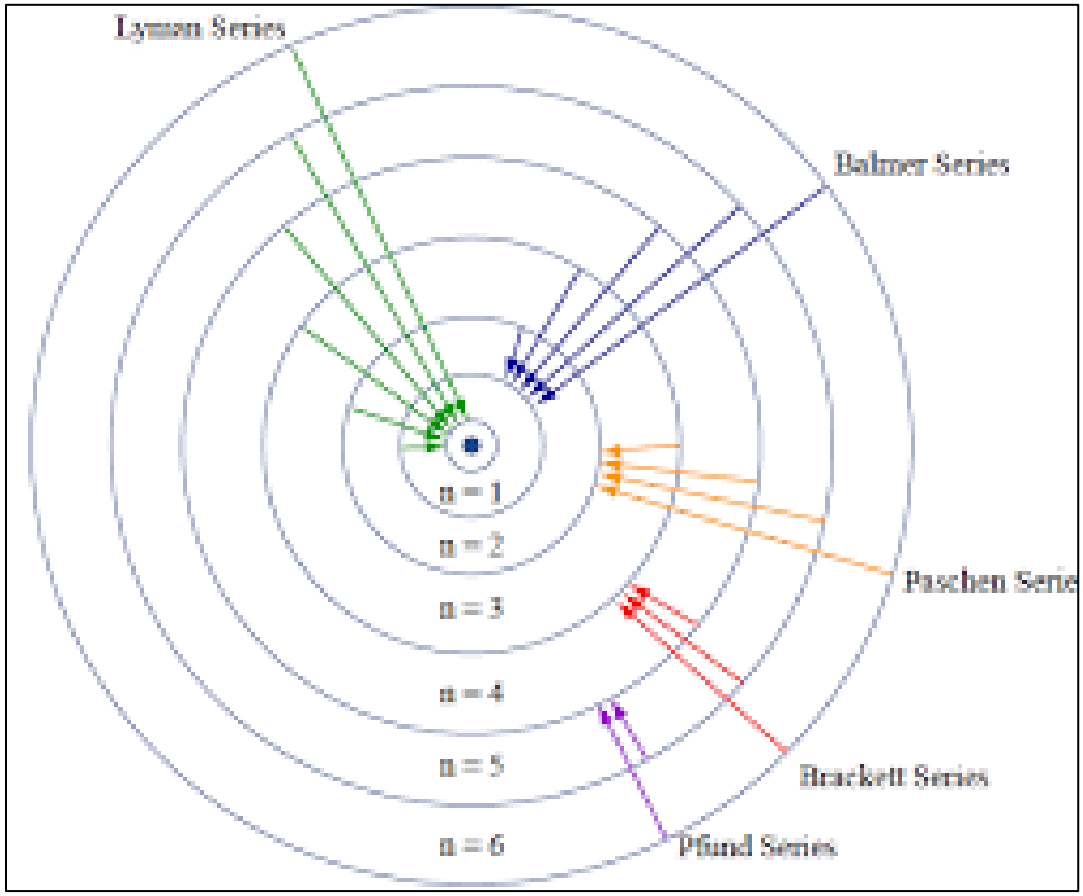
هو الضوء الناتج عن انتقال الإلكترون من أي مستوى رئيسي ($n_2 < 4$) إلى المستوى الرئيسي الرابع ($n_1=4$) وتقع سلسلة براكت في منطقة الاشعة تحت الحمراء القريبة (IR).

(5) سلسلة فوند (Pfund):

هو الضوء الناتج عن انتقال الإلكترون من أي مستوى رئيسي ($n_2 < 5$) إلى المستوى الرئيسي الخامس ($n_1=5$) وتقع سلسلة فوند في منطقة الاشعة تحت الحمراء البعيدة (IR) .



الشكل (1) يمثل مخطط مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين ويظهر الانتقالات خلال المستويات ويوضح السلاسل الطيفية لذرة الهيدروجين.



الشكل (2) يمثل مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين

بالنظر لخطوط الطيف في الشكل (1) يمكن أن نلاحظ التوافق بين نموذج بور وهذه الخطوط المتفقة مع النتائج التجريبية .فمثلاً خطوط سلسلة ليمان Lyman تنشأ من رجوع (استرخاء) الإلكترونات المستثارة من المستويات العليا للمدار الأول (n=1) ، وكذلك خطوط سلسلة بالمر Balmer series تحدث من استرخاء الإلكترونات المستثارة من كل المستويات العليا للمستوى الثاني (n=2).

مثال / احسب طاقة التأين لذرة الهيدروجين؟

الحل / طاقة التأين هي الطاقة اللازمة لإزالة الإلكترون من مستوى الحالة الأرضية $n_1=1$ إلى الحالة غير المقيدة أي $n_2=\infty$.

$$\Delta E = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_\circ^2 h^2}\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right) = \frac{(9.11\times10^{-31}kg)(1.6\times10^{-19}\,c)^4}{(8)(8.85\times10^{-12}\frac{c^2}{Nm^2})^2(6.63\times10^{-34}J.s)^3}\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{\infty^2}\right)$$

$$\Delta E = 2.18\times10^{-18}J = 13.6eV$$

مثال: طبقا لنموذج بور لطيف ذرة الهيدروجين. احسب فرق الطاقة بوحدة الجول عند انتقال الالكترون بين المستويات التالية:

1- من المستوى الخامس الى المستوى الاول؟

2- من المستوى الرابع الى المستوى الثاني؟

3- من المستوى الثالث الى المستوى الثاني؟

الحل:

(1)

$n = 5 \rightarrow 1$

$$E = 13.64(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2})$$

$$E = 13.64(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{5^2}) = 13.09\,\text{eV}$$

$$E = (13.09\,\text{eV})(1.6\times10^{-19}\,\frac{J}{eV}) = 20.94\times10^{-19}\,J$$

(2)

$n = 4 \rightarrow 2$

$$E = 13.64(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})$$

$$E = 2.56\,\text{eV} = (2.56\,\text{eV})(1.6\times10^{-19}\,\frac{J}{eV})$$

$$E = 4.09\times10^{-19}\,J$$

(3) H.w