(ج) الخطوط الطيفية للذرات :

عندما نضع غاز الهيدروجين في أنبوبة تحت ضغط مخلخل وتخضعه لتفريغ عالي الفولتية فسوف ينبعث ضوء وعند مروره خلال منشور فسوف يتجزأ إلى سلسلة من الخطوط الطيفية كل منها مرتبط بطول موجي أو تردد مختلف .

ولم تتمكن النظرية الكلاسيكية من إعطاء قيم مضبوطة لترددات الخطوط الطيفية أو حتى قيم قريبة منها .

وخلال الفترة من **1885** إلى **1910** توصل بالمر **Balmer** وريد بيرج **Rydberg** وآخرون إلى إيجاد علاقة تجريبية تعطي الترددات المضبوطة لخطوط طيف الهيدروجين .

$$\frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_a^2}\right) \qquad \ldots (3)$$

حيث إن : $n_b = 1,2,3 \ldots\ldots\ldots n_a = 2,3,4 \ldots\ldots\ldots n_a > n_b$

وإن R هو ثابت ريدبيرج ويساوي $109.677\ cm^{-1}$.

ولم يوجد تفسير لهذه العلاقة التجريبية إلى أن جاء بوهر عام 1913 وبين أن انبعاث ترددات معينة من الضوء من ذرات الهيدروجين يشير إلى أن ذرة الهيدروجين موجودة فقط في حالات طاقية معينة . وبذا فقد افترض بوهر الفروض التالية :

١- إن طاقة الهيدروجين توجد بشكل كمات ، أي أن الذرة تتخذ طاقات منفصلة معينة فقط $E_1 , E_2 , E_3 , \ldots$ وقد سمى بوهر هذه الحالات المسموحة ذات الطاقة الثابتة بالحالات المستقرة **stationary states** للذرة (ولا يقصد بهذا التعبير على أن الإلكترون يكون عند سكون في الحالة المستقرة) .

٢- لا تنبعث من الذرة في حالتها المستقرة أشعة كهرومغناطيسية .

٣- إذا حدث انتقال إلكترون من حالة مستقرة E_a إلى أخرى أقل طاقيًا E_b فإن تردد الضوء المنبعث ν يعطى حسب قانون حفظ الطاقة :

$$E_a - E_b = h\nu \qquad \ldots (4)$$

وبصورة مشابهة يحدث انتقال إلكترون من حالة طاقية واطئة إلى أخرى أعلى طاقيًا وذلك بامتصاص ضوء تردده معطى بالمعادلة (5 – 4) والآن عند ربط معادلتي (3) و (4) نحصل على :

$$E_a + E_b = Rhc\left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_a^2}\right) \qquad \ldots (5)$$

وهذه المعادلة تشير بقوة إلى أن طاقات الحالات المستقرة لذرة الهيدروجين التي تعطي بـ :

$$E = - Rhc / n^2 \qquad (n = 1,2,3, \ldots\ldots) \qquad \ldots (6)$$

٤- يتحرك الإلكترون في ذرة الهيدروجين في مدار دائري حول ويخضع لقوانين الميكانيك الكلاسيكي وإن طاقة الإلكترون تساوي حاصل جمع طاقته الحركية وطاقة جهد التجاذب الكهروستاتيكي بين إلكترون – نواة.

ووفقًا للميكانيك الكلاسيكي تعتمد الطاقة على نصف قطر المدار ، وطالما أن الطاقة هي مكممة (أي موجودة بشكل مضاعفات لكم ثابت) لذا يوجد فقط مدارات معينة مسموحة وقد استخدم بوهر فرضية أخرى لاختيار المدارات المسموحة .

٥- إن المدارات المسموحة هي تلك التي يكون لها عزم الإلكترون الزاوي mvr مساويًا لـ $n\hbar$ (حيث إن $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ وإن m و v هما كتلة وسرعة الإلكترون . أما r فهو نصف قطر المدار وإن $n = 1,2,3, \ldots$) .

ومع هذه الفرضيات تمكن بوهر من اشتقاق التعبير التالي لمستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين :

$$E = - \frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2} \qquad \ldots (7)$$

حيث e شحنة البروتون . وعند مقارنة معادلتي (6) و (7) ينتج لنا :

$$R = - \frac{2\pi^2 me^4}{h^3 c} \qquad \ldots (8)$$

وعند التعويض عن قيم c , h , e , m فإننا سنحصل على قيمة ثابت ويدبيرج R منسجمة مع قيمته التجريبية (العملية) وهو دليل على أن بوهر قد أعطى مستويات طاقته مضبوطة لذرة الهيدروجين .

ثالثًا – فرضية دي بروجلي – De – Broglie hypothesis :

جرت محاولات لتطبيق نظرية بوهر على ذرات تحتوي على أكثر من إلكترون واحد وكانت جميع المحاولات غير ناجحة، وبدا الشعور بأن هناك خطأ جوهريًا في نظرية بوهر والحقيقة بدأ التصور عند البعض بأن نجاح نظرية بوهر مع ذرة الهيدروجين كان محض مصادفة .

وقد كانت نقطة البداية باتجاه إيجاد الحلول لهذه الصعوبات وإعطاء صورة صحيحة عن سلوك الإلكترون في الذرات والجزيئات . ثم جاءت من قبل الفيزيائي الفرنسي دي بروجلي في عام **1923** وتبعه هايزنبرج وشرودنجر في عام **1926** .

حيث إن حقيقة كون الذرات أو الجزيئات المسخنة تبعث أشعة بترددات معينة فقط تبين أن طاقات الذرات والجزيئات هي مكممة ، وإن قيم طاقية معينة ستكون مسموحة .

إن التكمم الطاقي غير موجود في الميكانيكا الكلاسيكية وإن الجسم يمكنه أن يأخذ أي مقدار من الطاقة وإن دخول فكرة التكمم الطاقي في نظرية بوهر جاءت بالتأكيد اعتباطيًا ولم يعط بوهر أي سبب عن وجود مدارات وطاقات معينة فقط .

كما أن التكمم **Quantization** يحدث أيضًا في الحركة الموجية **wave motiom** فمثلاً في حالة سلك مربوط بثبات من نهايته يمتلك هذا السلك نسقًا مكمي **quantized modes** من التذبذب كما هو مبين في الشكل التالي :

نسق تذبذب سلك مربوط النهايتين

وكما هو الحال مع الضوء حيث تظهر سلوك موجي وجسيمي فقد اقترح دي بروجلي بأن المادة **matter** تمتلك أيضًا طبيعة مزدوجة فالإلكترون إضافة إلى ما يملكه من سلوك جسيمي فإنه أيضًا يظهر سلوكًا موجيًا . وهذا السلوك الموجي للإلكترون يعكس نفسه في المستويات الطاقية المكممة للإلكترونات في الذرات أو الجزيئات .

وفي حالة الفوتون : فإن طاقته **E** تساوي **hν** ووفقًا لنظرية أينشتاين النسبية فإن طاقة الفوتون تساوي mc^2 . حيث **c** سرعة الضوء و **m** هي الكتلة النسبية للفوتون .

ويمتلك الفوتون كتلة سكون مساوية للصفر ولكن الفوتونات تتحرك دائمًا بسرعة **c** في الفراغ ولن تكون في سكون . وبذا فعند سرعة **c** يمتلك الفوتون كتلة **m** غير صفرية . وعند مساواة التعبيرين أعلاه نحصل على :

$$H\nu = mc^2 \qquad \ldots (9)$$

وبما أن $\nu = \frac{c}{\lambda}$ حيث λ هو الطول الموجي للضوء ، عندئذ تصبح معادلة (9) بالشكل التالي :

$$\frac{hc}{\lambda} = mc^2$$

أو :

$$\lambda = \frac{h}{mc} \qquad (\text{للفوتون}) \qquad \ldots (10)$$

وبصورة مشابهة اقترح دي بروجلي أن جسيما ماديا كتلته m وسرعته v سيمتلك طولا موجيا λ معطى بالعلاقة التالية :

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} \qquad \ldots (11)$$

(حيث p هو ضغط الجسيم ، $p = mv$) .

ويكون طول موجي دي بروجلي لإلكترون يتحرك بسرعة $1.0 \times 10^8 \text{ cm/s}$ هو :

$$\lambda = \frac{6.6 \times 10^{-27} \text{ erg.s}}{(9.1 \times 10^{-28} \text{ g})(1.0 \times 10^8 \text{ cm/s})} = 7 \times 10^{-8} \text{ cm} = 7\text{A}^{\text{o}}$$

وإن هذا الطول الموجي هو في حدود الأبعاد الجزيئية وهو الأمر الذي يعطي التأثيرات الموجية أهمية في الحركات الإلكترونية في الذرات والجزيئات .

ولكن في حالة جسيم مرئي macroscopic particle ذي كتلة 1.0 g وسرعة 1.0cm s^{-1} نرى بعد استخدام معادلة (11) أن الطول الموجي الناتج يساوي 7×10^{-27} وهو صغير جدًا وهذا يشير إلى أن تأثيرات الكم تكون غير ملحوظة بالنسبة لحركة الأجسام الكبيرة .

وقد لاقت فرضية دي بروجلي تأكيدات عملية من قبل دافيسن Davison وجيرمر Germer اللذين لاحظا ظاهرة الحيود عند مرور الإلكترونات خلال صفيحة رقيقة معدنية .

ظاهرة الحيود تؤكد السلوك الموجي للجسيم (الإلكترون) . وهكذا فعند ظروف عملية معينة يسلك الإلكترون سلوكًا شبيهًا بجسيم وعند ظروف عملية أخرى يسلك سلوكًا شبيهًا بموجة .