الفصل الأول

تركيب الذرة

Atomic Structure

مقدمة الفصل :

تعتبر الذرة لبنات البناء الذى تتكون منه كل المواد الموجودة فى الطبيعة، ولقد شغل الفلاسفة لسنوات عديدة السؤال القديم: هل المادة كتلة واحدة أم أنها تتكون من أجزاء عديدة ؟ وبالتالى فهى تتكون من دقائق (أجزاء دقيقة). ولقد تصور الفلاسفة الإغريق أن المادة تتكون من دقائق صغيرة غير قابلة للانقسام، ولقد سميت هذه الدقائق المفتتة للمادة باسم الذرات، ومعناها غير القابلة للانقسام، ولقد بقى هذا التصور للذرة وذلك حتى عام (1803)، حيث وضع دالتون - بعد فحص نتائج تجاربه - أول نظرية للذرة. وتتلخص نظرية دالتون للذرة فى النقاط التالية :

a- تتكون كل المواد من دقائق متناهية فى الصغر تسمى " الذرات ".

b- تحتوى ذرات العنصر الواحد على نفس الكتلة أو على الأقل متوسط الكتلة المميزة لكل عنصر، بينما تحتوى ذرات العناصر المختلفة على متوسط كتل مختلفة.

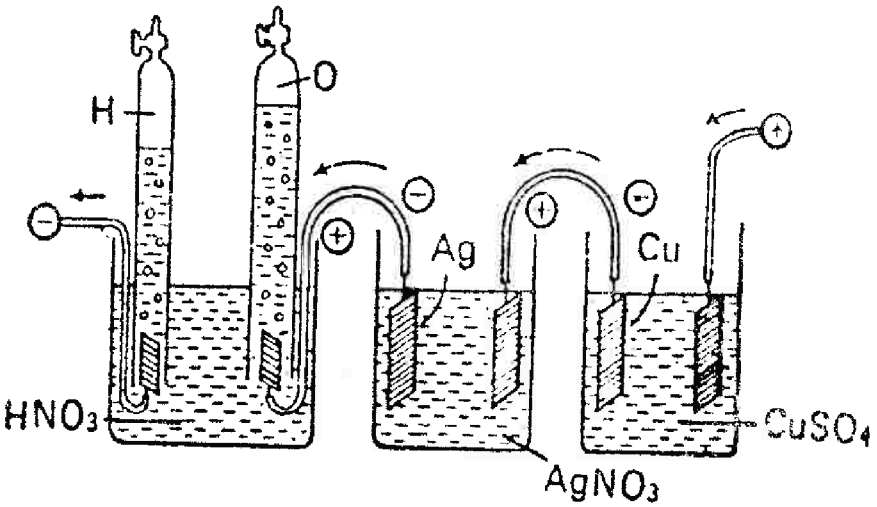
c- فى التفاعلات الكيميائية، تتحد الذرات أو تنفصل أو تتغير أماكنها وذلك بالنسبة للذرة الكاملة وليس لأجزاء منها.

d- تتحد الذرات مع بعضها البعض فى التفاعلات الكيميائية وذلك بنسب عددية بسيطة. وتتم كل الاختبارات فى النظرية الذرية على المواد وهى فى الصورة الكتلية، ويتطلب الأمر طرق تقنيه على درجة عالية من الدقة، وحتى يمكن تفسير النتائج بطريق صحيحة ومفيدة.

1- الطبيعة المركبة للذرة :

بدأ التطور فى النظرية الذرية الحديثة وذلك من خلال مايعرف بالشحنة الكهربية والتى درسها فاراداى فى قوانين التحليل الكهربى، ويمكن أن نعطى نبذة مختصرة عن هذه القوانين. " تتناسب كتلة المادة المترسبة أو المتجمعة على الأقطاب تناسبا طرديا مع كمية الكهربية المارة فى المحلول الالكتروليتى ". وهذا القانون المعروف بقانون فاراداى الأول يوضح أن جميع المواد الكيميائية تتكون من أيونات وهذه الأيونات تحمل شحنة كهربية .

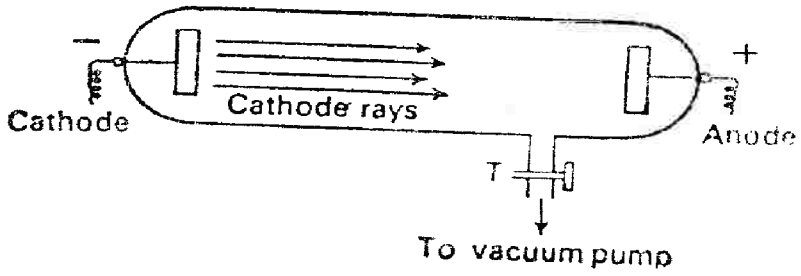
ويوضح الشكل (1) التحليل الكهربى لمحاليل مائية من حمض النيتريك، نترات الفضة، كبريتات النحاس.



شكل (1): التحليل الكهربى لمحاليل مائية لكل من حمض النيتريك، نترات الفضة، كبريتات النحاس بنفس كمية التيار الكهربى.

ونتيجة التحلل الكهربى لحمض النيتريك، يتصاعد غاز الهيدروجين على الكاثود، بينما تترسب كميات معينة من الفضة والنحاس وذلك فى محاليل نترات الفضة وكبريتات النحاس على التوالى، وبمقارنة كميات الفضة المترسبة بنفس التيار الكهربى وفى فترة زمنية محددة بكميات النحاس المترسبة بنفس قيمة التيار خلال نفس الفترة الزمنية، نجد أن النسبة الوزنية للفضة إلى النحاس هى 3 : 40 بدلاً من 1 : 70، ويتضح من ذلك أن أيونات النحاس تحمل شحنة كهربية ضعف الشحنة الكهربية التى تحملها أيونات الفضة، أو بمعنى آخر: تفقد الفضة إلكترونا واحدا بينما يفقد النحاس زوج من الإلكترونات. وكمية الكهربية اللازمة لانفصال مكافئ واحد من المادة هى 96.500 كولوم، وتسمى " الفاراداى ".

وتتضمن الخطوة الثانية دراسة الطبيعة الكهربية للمواد والتى أجراها العالم الروسى الشهير طومسون (1940- 1856)، وذلك من خلال دراسته لظاهرة التفريغ الكهربى خلال الغازات. والجهاز الموضح فى الشكل (2) هو المستخدم فى هذه التجربة.



شكل (2): استخدام تيار كهربى فى أنبوبة التفريغ.

2- استخدام تيار كهربى فى أنبوبة التفريغ :

تتكون أنبوبة التفريغ المستخدمة من أنبوبة من زجاج البيركس طولها حوالى 60 سم، مثبت بها أقطاب من فلز الألومنيوم ويتصل بها أنبوبة جانبية T لتوصيلها إلى أسطوانة التفريغ. لا يحدث أى تفريغ كهربى عند استخدام جهد قدره 10,000 فولت عند الضغط الجوى المعتاد. وإذا تم الإنقاص التدريجى للضغط داخل الأنبوبة وذلك بالاستعانة باسطوانة التفريغ، يبدأ التفريغ وذلك لظهور الأيونات التى تنتج بالمجال الكهربى. وإذا قل الضغط داخل الأنبوبة إلى حوالى 1 mm Hg تظهر منطقة سوداء قرب الكاثود، وتسمى هذه المنطقة " المنطقة السوداء لفاراداى ".

وإذا نقص الضغط إلى 0.01 mm Hg، ينطلق تياراً من الأشعة من الكاثود وتسمى هذه الأشعة بـ " أشعة الكاثود ".

خواص أشعة الكاثود:

تتلخص خواص أشعة الكاثود فى النقاط التالية:

(1) تنطلق أشعة الكاثود فى خطوط مستقيمة، وتلقى ظلالا على الأغراض التى تعترض طريقها.

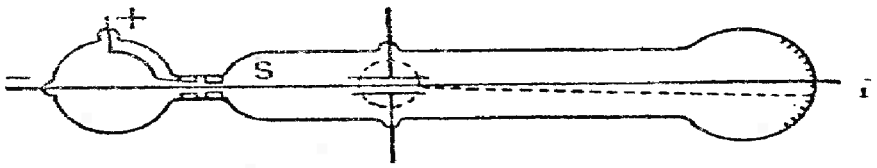
(2) لأشعة الكاثود تأثير ميكانيكى؛ وذلك من تسببها فى إدارة عجلة صغيرة عندما تقع فى مسار الأشعة. وهذا يدل على أن أشعة الكاثود تحتوى على دقائق مادية.

(3) تنحرف أشعة الكاثود فى المجالين الكهربى والمغناطيس عن مسارها المستقيم، ويدل انحرافها على أنها تحمل شحنة سالبة.

وبدراسة الخصائص العامة لأشعة الكاثود، يتضح أنها عبارة عن دقائق تحمل شحنة سالبة تنطلق من ناحية الكاثود بسرعة فائقة وهذه الدقائق سميت الإلكترونات والشحنة التى تحملها هذه الدقائق هى وحدة الشحنة الكهربية.

3- نسبة الشحنة إلى الكتلة للإلكترون:

صمم طومسون تجربة لتعيين نسبة الشحنة إلى الكتلة للإلكترون وتعتمد هذه الطريقة على أن الإلكترونات المتحركة تتميز بخصائص التيار الكهربى، حيث يخضع هذا التيار للقوانين الخاصة بالموصلات التى تحمل تيارا كهربيا فى مجالين كهربى أو مغناطيسى. ويوضح الشكل (3) الجهاز المستخدم فى هذه التجربة.

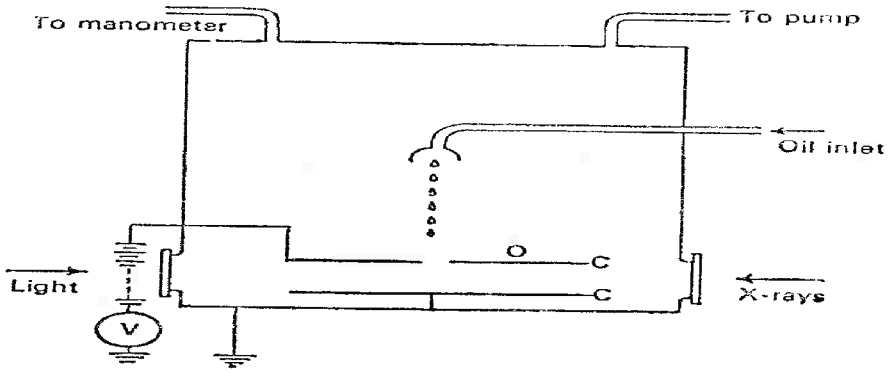


شكل (3): جهاز طومسون لتعيين نسبة e/m للإلكترون.

ولنأخذ فى الاعتبار شعاعاً من الإلكترونات، كل إلكترون شحنته e وكتلة m ويتحرك بسرعة v وذلك فى خط مستقيم، وباستخدام مجالين كهربى ومغناطيسى فى نفس المسار بحيث يكونان متعامدان على بعضهما البعض. يمر شعاع الإلكترونات الصادر من الكاثود خلال الفتحة (s) ويدخل المجالين الكهربى والمغناطيسى ويعانى انكسارا يتحرك المجالان للحصول على نقطة الصفر؛ بمعنى أن يكون أحد المجالين عكس الآخر (فى وضع متعاكس) يسمح للشعاع بالمرور، فيمر ذلك الشعاع بدون أن يعانى أى انكسار ويتسبب فقط فى ظهور نقطة فلوريسية على سطح الزجاج. وقد اتضح من تجارب طومسون أن قيمة (e/m) هى $1.76 \times 10^{+8}$ coulomb/gm

4- الشحنة على الإلكترون (تقدير قيمة e ,m للإلكترون):

استخدم ميليكان قطرات الزيت الصغيرة فى غرفة السحاب وذلك لحساب القيمة الصحيحة لشحنة الإلكترون e ويتركب الجهاز المستخدم فى هذه التجربة والموضح فى الرسم للشكل (4).



شكل (4): تجربة قطرة الزيت لميليكان.

سوف تنطلق قطرات زيتية من رشاش يعمل تحت ضغط منخفض تمر بعض هذه القطرات إلى الجزء العلوى من الغرفة، وحيث إن هذه القطرات صغيرة جداً يمكن أن تضاء عن طريق لمبة. وتظهر القطرات على هيئة نقط لامعة عند ملاحظتها باستخدام تليسكوب. ويمكن جعل أحد الصفيحتين C، C^1 موجبا بالنسبة للصفيحة الأخرى، وتدرس حركة قطرة الزيت فى هذا المجال بالاستعانة بالتليسكوب. وعندما تمر قطرة الزيت من الفتحة O وتدخل فى الفراغ بين الصفيحتين تقفل الفتحة وتتحمل القطرة بشحنة نتيجة لوجود أيونات الغاز فى داخل الغرفة. بالتحكم فى المجال الكهربى بين الصفيحتين سواء فى القيمة أو فى الإشارة، يمكن لقطرة الزيت الارتفاع إلى أعلى. وعند تلامس القطرة لعلامة ثانية يتم وقف المجال وتبدأ القطرة فى السقوط لأسفل تحت تأثير مجال الجاذبية.

ويسجل الزمن اللازم لسقوط القطرة الزيتية وتجرى الحسابات كما يلى:

عندما تسقط قطرة زيت نصف قطرها " a " تحت تأثير مجال الجاذبية فقط يكون وزنها هو $(4/3\ \pi\ a^3\ \rho g)$ حيث ρ هى كثافة الزيت، و g هى عجلة الجاذبية الأرضية.

والدفع العلوى نتيجة الهواء المزاح يعطى بالقيمة $(4/3\ \pi\ a^3\ \rho_o\ g)$ حيث ρ_o هى كثافة الهواء. أما القوة المعاكسة لحركة القطرة أثناء تحركها فى الهواء فتعطى بالقيمة $(6\pi\ \eta\ a\ v_o)$، حيث إن η هى لزوجة الهواء، v_o هى سرعة القطرة. عندما تكون السرعة متجانسة تتساوى القوتان كما يلى:

$$4/3\ \pi\ a^3\ (\rho - \rho_o)\ g = 6\ \pi\ \eta\ a\ v_o \qquad (1)$$

تتحرك القطرة إلى أعلى (عند استخدام المجال الكهربى) بسرعة ثابتة قدرها v_x وتئول القوة للصفر عندما تتجانس السرعة أى أن :

$$4/3\ \pi\ a^3\ (\rho - \rho_o)\ g + 6\ \pi\ \eta\ a\ v_x = x\ q$$

$$\therefore \qquad q = \frac{6\pi\eta a}{x}\ (v_o + v_x) \qquad (2)$$

وقد وجد ميليكان أن القيمة q لمختلف القطرات عبارة عن تكرار للقيمة العامة (e)؛ أى أن: $q = ne$ حيث إن n هى عدد صحيح.

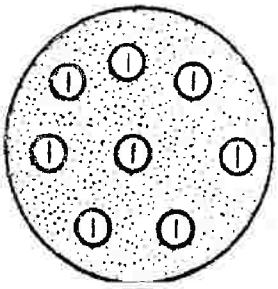
وتعتبر القيمة العامة لعدد كبير من القطرات أنها الشحنة الكهربية e. وتقرر هذه التجربة أن الكهربية يمكن لها أن تذرى والقيمة العددية لوحدة الشحنة e هى 1.602×10^{-19} كولوم. وفى العلاقة السابقة اتضح أن القيمة (e/m) هى: 1.76×10^{11} كولوم/كجم ومنها أمكن حساب قيمة الكتلة (m) وهى 9.108×10^{-31} كجم.

5- نموذج طومسون لتركيب الذرة :

أوضح طومسون من تجاربه فى التفريغ خلال الغازات أن الذرات تتركب من دقائق تحمل شحنات موجبة وأخرى سالبة، وحيث إن الذرة متعادلة كهربياً تتساوى الشحنة الموجبة الكلية مع الشحنة السالبة الكلية وطبقاً لنموذج طومسون، تشتمل الذرة على مادة موجبة الشحنة موزعة بالتجانس على الكتلة الكلية للذرة.

الإلكترونات السالبة الشحنة تكون مطمورة فى هذه الشحنة الموجبة. مثل بذور البطيخ المطمورة فى ثمرة البطيخ ويتضح ذلك فى الشكل (5). وقد اقترح طومسون أن الإلكترونات تشغل أماكن محددة فى داخل جسم الذرة.

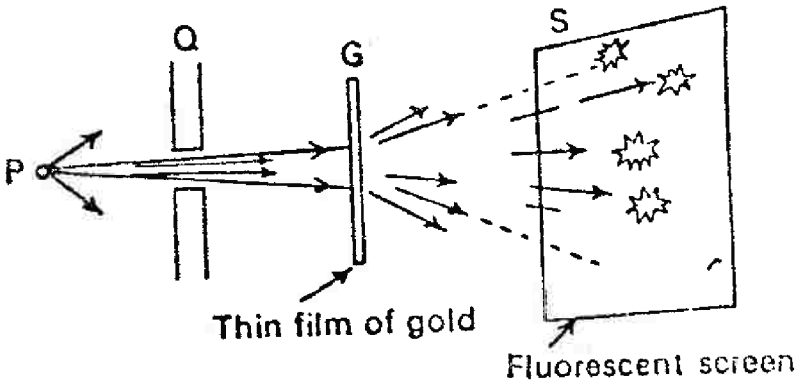
وعلى ضوء ذلك فقد تمكن طومسون من تفسير بعض الظواهر، مثل: التأثير الكهروضوئى، والنظرية الحركية للغازات، وانبعاث الموجات الكهرومغناطيسية، بينما فشل نموذج طومسون لتركيب الذرة فى تفسير انتشار دقائق ألفا وطيف الانبعاث للعناصر المختلفة.



شكل (5): نموذج طومسون للذرة

6- نموذج رذرفورد لنواة الذرة:

من تجاربه على الضوئية تمكن زذرفورد من تعميم نموذج رذرفورد الديناميكى بدلاً من نموذج طومسون لثمرة البطيخ. وشكل (6) يوضح تركيب الجهاز المستخدم :

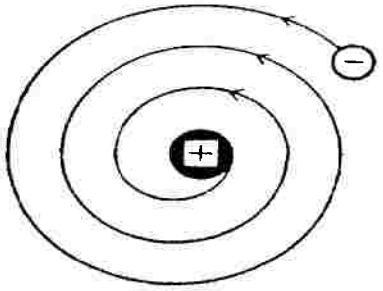


شكل (6): تجربة رذرفورد على دقائق ألفا.

يسمح لشعاع دقيق من دقائق ألفا المنطلقة من المادة المشعة بالمرور خلال الحاجز Q وتسقط على صفيحة رقيقة من الذهب يصل سمكها إلى 0.01 mm، حيث تتسبب دقائق ألفا فى إحداث نقط فلوريسية على الشاشة. ففى

تجربة رذرفورد لاحظ أن معظم دقائق ألفا مرت خلال شريحة الذهب بدون أى انكسار وأن قليل منهم (واحد لكل 10,000) انحرفت بزوايا مختلفة.

من هذه الملاحظات أتضح أنه يمكن أن يتم ذلك إذا اصطدمت دقائق ألفا بكتلة كبيرة موجبة الشحنة. وقد طور فكرة الذرة على أن الشحنة الموجبة للذرة تتركز فى منطقة مستديرة يصل قطرها إلى 10^{-12}cm وسميت الكتلة التى تتركز فيها الشحنة الموجبة بالنواة وحيث أن الذرة متعادلة كهربيا فإن هناك عدد مساوى من الشحنات السالبة والمتمثلة فى الإلكترونات تدور حول النواة فى الفراغ. وبذلك يكون نموذج رذرفورد أكثر واقعية عن نموذج طومسون، ولكن هناك عيباً كبيراً يمكن أن نجده فى نموذج رذرفورد وذلك من ناحية أنه بدوران الإلكترون حول النواة الموجبة الشحنة فإنها تنجذب إليها، كما أنها تنبعث منها فى نفس الوقت أشعة كهرومغناطيسية وحيث إن الإلكترون يتجه فى دورانه حول النواة إلى أسفل ناحية النواة كما هو مبين فى الشكل (7) وعلى العكس من ذلك فقد وجد تجريبياً أن الذرات، مثل: ذرة الهيدروجين ينبعث منها خطوط طيفية ذات طول موجى ثابت وهذا أدى إلى أن اقتراح بوهر يعتبر نموذجاً أكثر دقة.



شكل (7): الدوران المغزلى للإلكترون.

7- **شحنة النواة:** The Nuclear Charge

الدقائق الموجودة بالنواة تسمى " النيوكليونات "، وتحتوى النواة على النيوترونات والبروتونات ويماثل شكل النواة قطرة من سائل نصف قطرها

2×10^{-13} A. وقد اقترح " فادين بروك " عام (1913) أن عدد الشحنات على نواة الذرة يساوى العدد الذرى، فإذا كان هناك عنصرا ما وزنه الذرى هو (A) وعدده الذرى هو Z، فإن نواة هذه الذرة تحتوى على (Z) بروتونات وبالتالى يكون عدد النيوترونات هو (A-Z).

وطبيعة القوى التى تربط النيوكلونات مع بعضها تعتبر أحد أهم المشاكل فى فيزياء النواة، وتبعاً لنظرية يوكاوا عام(1935) توجد دقائق تسمى " الميزونات " كتلتها وسط بين كل من الإلكترونات والبروتونات.

وقد اكتشفت الميزونات لأول مرة فى دراسة للأشعة الكونية وتميز الميزونات إلى نوعين يرمز إليهما على التوالى بالرموز π، μ.

وكتلة البروتون هى μ 1.00758 a m وحدة كتلة ذرية، وكتلة النيوترون هى μ 1.00899 a m وحدة كتلة ذرية.

8- **الطيف الذرى :** Atomic spectra

عندما يسخن عنصر ما فى اللهب أو عندما يحدث تفريغ كهربى خلال غاز ما، يظهر لون للضوء المميز للعنصر. فعلى سبيل المثال: تعطى أنابيب التفريغ المحتوية على غاز النيون عند ضغط منخفض وهجا بلون أحمر، أما عنصر الصوديوم فيشع ضوءاً أصفر، والزئبق وهجا أخضر اللون. وعندما يمرر هذا الضوء خلال جهاز الطيف المسمى " سبكتروسكوب " يعطى طيفاً يسمى " طيف الانبعاث ".

ويشتمل طيف الانبعاث على مجموعة من الخطوط تسمى" خطوط الطيف " ويسمى خط الطيف أيضاً بالطيف الذرى، حيث إنه صادر من ذرة العنصر ويعطى كل عنصر طرازا مميزا من خطوط الطيف ولكل خط طول موجى معين. ويعطى الهيدروجين طيفاً حيث إنه أبسط العناصر فى الجدول الدورى. الجزء من طيف ذرة الهيدروجين الذى يظهر فى منطقة الضوء المرئى ويحتوى على خطوط وتقترب الأطوال الموجية لهذه الخطوط من بعضها البعض إلى أن نصل إلى ما يسمى بالضوء الخافت المستمر.

على سبيل المثال: عندما تسخن ذرة الصوديوم فى اللهب، فإنها تمتص قدراً من الطاقة المطلوبة لرفع طاقة الإلكترون إلى مستوى طاقة أعلى، وعليه تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة إلكترونية. ولا يبقى الإلكترون فى مستوى الطاقة الجديد (العالى) كثيرا ولكنه يعود مرة ثانية إلى مستوى طاقته قبل عملية الإثارة أو إلى مستوى طاقة يكون متوسط المستوى. وفى هذه العملية يفقد الإلكترون طاقة مساوية للفرق بين مستويى الطاقة.

ويتميز خط الطيف لذرة الهيدروجين بتردده (ν) وطوله الموجى (λ) أى أن :

$$\nu = \frac{C}{\lambda} \ sec^{-1}$$

حيث إن C هى سرعة الضوء ويكون عدد الموجة $\bar{\nu}$ هو :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \ cm^{-1}$$

وقد اقترح العالم Ritz (1908) أنه يمكن التعبير عن تردد أى خط من خطوط الطيف فى مجموعة الطيف لأى ذرة بالفرق بين كميتين إحداها يكون ثابتا والأخرى متغيرة خلال المجموعة، وسميت قاعدة " ريتز التجمعية "، ويعبر رياضياً عن هذه القاعدة كالتالى :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad (3)$$

حيث إن n_1، n_2 هى أعداداً صحيحة $(n_1 > n_2)$ ويرمز الثابت R إلى ثابت ريدبرج للهيدروجين.

وللمجموعة الواحدة فإن العدد n_2 يبقى ثابتا أما n_1 فيتغير من خط إلى آخر ومن التجربة اتضح وجود خمس مجموعات من الخطوط وهى كالتالى :

(a) مجموعة ليمان :

عندما يقفز الإلكترون من المدار الخارجى إلى المدار الأول تنتج هذه المجموعة من الخطوط، وتقع فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية للطيف وهنا $n_2 = 1$، $n_1 = 2, 3, 4, 5,$ ويمكن كتابة العلاقة (3) فى الصورة التالية :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad (4)$$

وقد اكتشف هذه المجموعة العالم بوهر أما العالم ليمان فقد قام بتصوير تلك المجموعة.

(b) مجموعة بالمر :

هذه المجموعة تقع فى منطقة الضوء المنظور، وتتكون عندما يقفز الإلكترون من المدار الخارجى إلى المدار الثانى حيث $n_2 = 2$ ، $n_1 = 3, 4, 5, \ldots$ وتأخذ المعادلة (3) الصورة التالية :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad (5)$$

(c) مجموعة باشن :

تقع هذه المجموعة فى المنطقة تحت الحمراء وتأتى نتيجة لانتقال الإلكترون من المدار الخارجى إلى المدار الثالث أى أن: $n_2 = 3$ ، $n_1 = 4, 5, 6, \ldots$ وتكتب العلاقة (3) فى الشكل التالى :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad (6)$$

(d) مجموعة براكت :

وهذه أيضاً تقع فى المنطقة تحت الحمراء، وتتكون نتيجة لقفز الإلكترون من المدار الخارجى إلى المدار الرابع أى أن: $n_2 = 4$ ، $n_1 = 5, 6, 7, \ldots$ ويعبر عن المعادلة (3) بالصورة التالية :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad (7)$$

(e) مجموعة فوند :

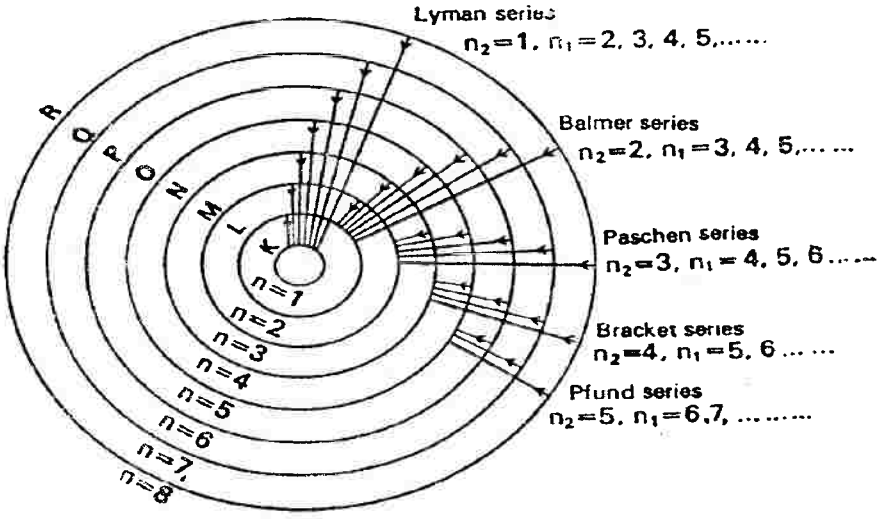
وهذه أيضاً تقع فى المنطقة التحت الحمراء وتأتى نتيجة لقفز الإلكترون من أحد المدارات الخارجية إلى المدار الخامس أى أن $n_2 = 5$ ، $n_1 = 6, 7, \ldots$ ويمكن أن تأخذ المعادلة (3) الشكل التالى :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad (8)$$

وفى بداية مناقشة نظرية بوهر كانت مجموعتا " بالمر " و " باشن " فقط هما المعروفتان، أما باقى المجموعات فأمكن التعرف عليها من خلال العالم بوهر وآخرين.

فعندما يقفز الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى أو أقل، فإنه تنبعث منه إشعاعات معطيا ما يسمى " طيف الانبعاث ".

ومن ناحية أخرى، عندما يقفز الالكترون من مدار طاقته أقل إلى مدار طاقته عالية فإنه يعطى طيفاً يسمى " طيف الامتصاص " ومجموعات خطوط الطيف لذرة الهيدروجين موضحة فى شكل (8).



شكل (8) رسم توضيحى لطيف ذرة الهيدروجين

9- نموذج بوهر لتركيب الذرة :

عمل نيلز بوهر الفيزيائى الشاب الدنمركى مع أرنست رذرفورد فى الدراسات النظرية لتركيب الذرة، وكان منتفعاً بنموذج رذرفور للتركيب الذرى حيث تدور الإلكترونات حول نواة الذرة المركزة فى وسطها، وقد

استطاع فهم التشابه بين نموذج رذرفورد وحركة الكواكب حول الشمس، وذلك أن الكواكب تكون متعادلة كهربياً بينما الإلكترونات تحمل شحنات سالبة.

ومن النظرية الكهربية، نعرف أن الشحنة الكهربية عندما تدور تبعث دائماً بموجات كهرومغناطيسية، ويؤدى انطلاق هذه الموجات الكهرومغناطيسية إلى فقدان فى الطاقة للدقيقة المتحركة، وبهذا، تتجه الإلكترونات فى نموذج رذرفورد نتيجة دورانها فى اتجاه النواة المركزية.

وقد اقترح بوهر نموذج لذرة الهيدروجين مع الاحتفاظ بنموذج رذرفورد للنواة، وقد وضح بوهر الفروض التالية لشرح سلوكيات الإلكترونات :

(i) يدور الإلكترون حول النواة فى مدار دائرى، وحيث إن الشحنة على النواة موجبة $+ve$ ، وتعطى قوة الطرد المركزى اللازمة لحفظ الإلكترون فى حركته وذلك بالتوازن مع قوة التجاذب الإلكتروستاتيكى بين النواة والإلكترون أى أن :

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \qquad (9)$$

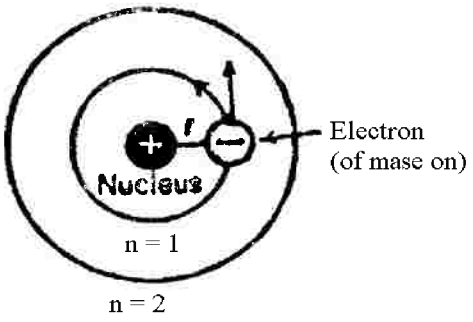
حيث (m) هى كتلة الإلكترون المتحرك بسرعة قدرها (v) فى دائرة نصف قطرها (r) والعزم الزاوى للإلكترون هو مضاعفة للقيمة $(h/2\pi)$ أى أن:

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \qquad (10)$$

حيث إن h ثابت بلانك، و n عدد صحيح يدل على رقم الغلاف الرئيسى بنواة الذرة.

(ii) تحتوى الذرة على عدد من المدارات المستقرة أو الثابتة التى يتحرك فيها الإلكترونات بدون أن تنبعث منها طاقة إشعاعية.

(iii) يمكن للإلكترون أن يقفز من أحد المدارات إلى آخر لذرة الهيدروجين.



شكل (9) نموذج بوهر.

حيث إن الفرق فى الطاقة بين الحالتين ينبعث على هيئة كوانتم طيف ضوئى منفرد ، يطلق عليها بلانك أينشتين.

$$h\nu = E_2 - E_1 \qquad (11)$$

حيث (h) هى ثابت بلانك، و E_1، E_2 هما: الطاقة الإبتدائية والنهائية. وذلك فى حالة ذرة الهيدروجين التى تحتوى على إلكترون واحد يدور حول النواة كما هو مبين فى الشكل (9).

10- حساب نصف القطر :

من الإلكترون المتواجد فى ذرة الهيدروجين، يتضح أن قوة الجذب المركزى هى قوة التجاذب الإلكتروستاتيكى بين الإلكترون والبروتون الموجب الشحنة المكون للنواة. وحيث إن كلا من الإلكترون والبروتون يحمل شحنة e وعلى مسافة r cm. وعند حالة التوازن تتساوى قوتا الجذب المركزى والطردى المركزى، بمعنى أن :

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{m\nu^2}{r}$$

أو :

$$e^2 = \frac{m\nu^2 r^2}{r} = m\nu r\ (\nu) \qquad (12)$$

وبالتعويض عن القيمة mvr من علاقة بوهر الكوانتية للعزم الزاوى من العلاقة (10) نحصل على :

$$e^2 = \frac{nh\nu}{2\pi}$$

أو :

$$\nu = \frac{2\pi e^2}{nh} \qquad (13)$$

وبالتعويض عن قيمة ν من المعادلة (13) فى المعادلة (10) نحصل على :

$$\frac{m \times 2\pi e^2 \times r}{nh} = \frac{nh}{2\pi}$$

أو :

$$r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2me^2} \qquad (14)$$

مثال :

احسب نصف قطر ذرة الهيدروجين حيث $h = 6.62 \times 10^{-27}$ erg sec.، كتلة الإلكترون $m = 11 \times 10^{-23}$ gm، $e = 4.80 \times 10^{-10}$ وحدة كتلة ذرية.

الحل :

حيث إن نصف القطر r يعطى بالقيمة :

$$r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2me^2}$$

ولأصغر نصف قطر فإن $n = 1$.

$$\therefore \quad r = \frac{(6.62 \times 10^{-27})^2}{4\pi^2 \times 9.11 \times 10^{-28} \times (4.80 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 5.3 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

$$r = 0.53 \text{ Å}$$

والقيمة الصغرى لنصف قطر ذرة الهيدروجين تسمى" نصف قطر بوهر ".

11- حساب الطاقة :

الطاقة الكلية للإلكترون هى مجموع طاقة الحركة وطاقة الوضع له :

$$E_T = K.E. + P.E.$$

ومن العلاقة رقم (11) :

$$mv^2 = \frac{e^2}{r} \qquad (15)$$

$$\therefore \quad K.E. = \frac{e^2}{2r} \qquad (16)$$

ويمكن حساب طاقة وضع الإلكترون كما يلى :

$$P.E. = \int \left(\frac{e^2}{r^2} \right) dr$$

$$= \text{constant} - \left(\frac{e^2}{2r} \right) \qquad (17)$$

ثابت التكامل هو مقدار اعتبارى ويمكن اختياره بفرض طاقة الوضع = الصفر، وذلك عندما تأخذ r قيمة لا نهائية، وعلى هذا الأساس نحصل على طاقة الوضع.

$$P.E. = - \frac{e^2}{r} \qquad (18)$$

الطاقة الكلية = E_T

$$E_T = \frac{e^2}{2r} - \frac{e^2}{r} = - \frac{e^2}{2r} \qquad (19)$$

وإذا كانت $m = 1$ فإن طاقة الإلكترون فى المدار الأول E_1 يمكن أن تأخذ القيمة التالية :

$$E = \frac{-2\pi^2 me^4}{h^2}$$

$$E_1 = \frac{-2\pi^2 \times 9.11 \times 10^{-28} \times (4.80 \times 10^{-10})^4}{(6.62 \times 10^{-27})^2}$$

$$= -2.18 \times 10^{-11} \text{ erg.}$$

وعندما ينتقل الإلكترون من مستوى أعلى إلى مستوى أقل، فإن فرق الطاقة ينبعث على هيئة كم ضوئى :

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

أو :

$$h\nu = -\frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left(\frac{1}{n_2^2}-\frac{1}{n_1^2}\right)$$

$$h\nu = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (20)$$

أو :

$$\nu = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (21)$$

حيث :

$$\nu = \frac{C}{\lambda}$$

حيث C هى سرعة الضوء والعلاقة (16) يمكن كتابتها فى الصورة التالية:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 me^4}{Ch^3}\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (22)$$

كل القيم فى الكسر $\frac{2\pi^2 me^4}{Ch^3}$ ثوابت ويمكن أن تقيم من قيم الثابت

أى :

$$\frac{2\pi^2 me^4}{Ch^3} = 109{,}700\ cm^{-1} = R \qquad (23)$$

العلاقة (23) تشبه المعادلة العامة للطول الموجى لأى خط طيف فى خطوط الطيف لذرة الهيدروجين، وتقييم ثابت ريدبرج يعطى للمرة الأولى علاقة بين الثوابت الفيزيائية الأساسية الأربعة وهى شحنة الإلكترون e، كتلة الإلكترون m، ثابت بلانك h وسرعة الضوء C.

12- نظرية سمرفيلد- ويلسون :

تقدم بوهر بثلاثة فروض تختص بحركة الإلكترون فى الذرة وانبعاث الضوء بطريقة القفز، وذلك لتفسير القانون المشاهد لخط الطيف الذرى؛

بمعنى تفسير لنموذج بوهر. ويمكن تفسير كثير من الحقائق، ولكن هناك بعض العيوب كما يلى :

(a) نظرية بوهر أوضحت أن الطيف هو خط طيفى ولكن التجربة أثبتت أن خطوط بالمر لها تركيب معقد.

(b) اعتبر بوهر أن النواة ساكنة وتدور الإلكترونات فى مسار دائرى، ولكن فى الحقيقة وجد أن كلا من النواة والإلكترون تتحركان فى مدارات مغلقة حول مركز كتلتها.

(c) لم تعط النظرية إلى أى حالة ينتقل الإلكترون المثار إلى أسفل عندما يرسل الطاقة التى أمتصها. فالخطوط فى مجموعة بالمر على سبيل المثال ليست خطاً منفرداً ولكن مجموعة خطوط يصل عددها إلى ستة خطوط مفصولين عن بعضهم ومحددين، ولكنها جميعاً تقريباً فى تردد بوهر.

وللتغلب على هذه الاعتراضات لنظرية بوهر – سمرفيلد وويلسون تقدمت فكرة المدارات الاهليجية، والغرض من ذلك التطوير هو أن يعطى حرية أكثر فى اختيار المدارات المسموح بها. وذلك فى الذرات المتعدد التركيب وطيف الانبعاث لعنصرى الصوديوم والبوتاسيوم أعطت خطوطاً وكل خط يشتمل على مكونات عديدة متلاصقة سميت التراكيب المعقدة. والتركيب المتعدد لخطوط الطيف مرجعه إلى الحقيقة أنه فى وجود إلكترونات أخرى فإن الطاقة فى المدارات الاهليجية تكون مختلفة عنها فى المدارات الدائرية، وهذا يؤدى إلى التغير فى الترددات الدائرية وبالتالى إلى التغير فى الترددات للطيف المنبعث أثناء انتقال الإلكترون من أحد هذه المدارات إلى المدار الآخر.

13- جهد التأين :

طاقة الذرة فى الوضع العادى لها يعطى بالقيمة :

$$E_1 = -\frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2} \qquad (24)$$

وعندما $n = 1$

$$\therefore \quad E_1 = -\frac{2\pi^2 me^4}{h^2} \qquad (25)$$

وظروف (الصفر) الطاقى هى الظروف التى يتواجد فيها الإلكترون فى الذرة ويتحرك إلى مسافة بعيدة، أو بمعنى آخر عندما تتأين الذرة ويحتاج الإلكترون إلى قدر من الطاقة يساوى $\frac{2\pi^2 me^4}{h^2}$ وذلك لينتقل إلى مسافة لا نهائية وبالتالى تكون هى طاقة التأين.

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖

أسئلة على الفصل الأول

1- أذكر ما تعرفه عن أشعة الكاثود. ماهى خواص هذه الأشعة ؟

2- ما المقصود بالنموذج ؟ اشرح نموذج رذورفورد للذرة ؟ ما عيوب هذا النموذج ؟

3- اشرح معنى الحالة الثابتة ؟ فسر نموذج بوهر لتركيب الذرة ؟

4- احسب طاقة ذرة الهيدروجين مستخدماً نظرية بوهر فى طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين سميت السلسلة التى فيها $(n = 3)$ باسم سلسلة باشن وظهرت فى منطقة الأشعة تحت الحمراء. احسب عدد الموجة لهذه السلسلة من الخطوط ؟

5- على اعتبار أن ذرة الهيدروجين مثارة، حيث يوجد الالكترون فى مستوى الطاقة $(n = 4)$. ماهى الانتقالات المحتملة فى هذه الذرة للوصول إلى الحالة المستقرة حيث $(n = 1)$. ارسم الشكل لتوضيح ذلك ؟

6- (a) احسب قيمة ثابت ريدبيرج R وقارنه بالقيمة المقدرة عملياً ؟

(b) احسب نصف قطر مدار بوهر حيث $(n = 1)$، $(n = 2)$ ؟

7- ما المقصود بالعدد الذرى للعنصر؟ كيف يمكن تقديره اشرح للعبارة القائلة بأن " العدد الذرى للعنصر ذات أهمية أكثر من الوزن الذرى للعنصر ". ماهى أهمية هذه العبارة ؟

8- اشتق تعبيراً لمستويات الطاقة للأرض حول الشمس مستخدماً نظرية بوهر؟ ما رقم الكم التقريبى المقابل لحركة الأرض حول الشمس ؟ حيث إن ثابت الجاذبية الشاذ قدره $6.670 \times 10^{-8}\ cm^{-3}\ g^{-1}\ sec^{2+}$ وكتلة الأرض قدرها $5.983 \times 10^{24}\ kg$ وكتلة الشمس هى 3.2939×10^{5} مرة قدر كتلة الأرض ؟

9- (a) اشرح طريقة ميليكان لتقدير شحنة الالكترون ؟

(b) فى تجربة قطرة الزيت لميليكان حصلنا على القيم التالية :

المسافة بين الصفيحيتين هى 1.60 cm، الجهد = 4550/300

كثافة الهواء $1.2 \times 10^{-3}\ gm/cm^3$. مسافة الهبوط = 0.60 cm

لزوجة الهواء = $1.824 \times 10^{-4}\ gm\ cm^{-1}\ sec^{-1}$. كثافة الزيت

هى gm/cm^3 0.90. متوسط زمن الهبوط = 21.2 sec. الأزمنة المتتابعة للارتفاع هى على التوالى :

46.2, 27.8, 15.7, 13.0, 45.0, 21.7 sec ?

10- احسب نصف قطر قطرة الزيت ؟

11- احسب متوسط الشحنة على الالكترون وقارنها بالقيمة المقبولة لهذه الشحنة ؟

12- وجد أن الطول الموجى لأشعة أكس المميزة k_α لكل من الحديد والبوتاسيوم هى على التوالى 1.931×10^{-8} cm، 3.737×10^{-8} cm، احسب العدد الذرى ومسمى العنصر لأشعة أكس المميزة $K\alpha$ ذات الطول الموجى 2.289×10^{-8} cm حيث إن سرعة الضوء هى 3×10^{10} cm/sec ؟

13- اشرح ما يلى :

(a) لاتوجد شحنة على ذرة العنصر !!

(b) إشارة شحنة الالكترون !!

(c) الفرق بين الطيف المتصل والطيف الخطى !!

(d) العدد الذرى للعنصر !!

14- اكتب مذكرات مختصرة عن كل مما يأتى :

(a) تركيب النواة !!

(b) تقدير نسبة الشحنة : الكتلة e/m للعنصر !!

(c) اكتشاف الالكترونات !!

(d) نموذج سمرفيلد للذرة !!

15- اشرح ما يلى على ضوء تركيب الدقائق المقصودة :

(a) شعاع من أشعة الكاثود يعانى انحرافات فى الاتجاه المضاد لشعاع من الأشعة الموجبة عندما يمر الأثنان فى مجال مغناطيسى !!

(b) كل الدقائق فى أشعة الكاثود لها نفس الكتلة !!

(c) الدقائق فى حزم مختلفة من الأشعة الموجبة لها كتل مختلفة !!

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖