

# بسم الله الرحمن الرحيم



الجامعة التكنولوجية

قسم العلوم التطبيقية/ فرع علم المواد

المرحلة/ الثانية – علم مواد

محاضرات في مادة الفيزياء الحديثة

إعداد مدرس المادة / أ.م رولا عبد الخضر عباس

مصادر مادة الفيزياء الحديثة:-

- 1- الفيزياء الحديثة.  
تأليف / د. محمد أحمد (1983).
- 2- مقدمة في الفيزياء الحديثة.  
تأليف / د. فخري إسماعيل حسن.
- 3- أسئلة محلولة في الفيزياء النووية.  
*Solved problems in nuclear physics*  
تأليف / د. محمد كاشف الغطاء (1977).
- 4- النظرية النسبية الخاصة.  
تأليف/ د. ناظم حسون أحمد، د.مفتاح شاحوت و د. بثينة عبد المنعم (2006).
- 5- الفيزياء التطبيقية الحديثة.  
تأليف/ د. علاء الدين عبد الله النعيمي، د. قاسم محمود علي. إبراهيم علي الجوادي (1999).
- 6- مفاهيم في الفيزياء الحديثة.  
تأليف/ د. منعم مشكور، شاكور جابر شاكور (1980).
- 7- مبادئ الفيزياء النووية.  
تأليف/ سعدي جعفر حسن وسعيد سلمان كمون (1989).
- 8- الوقاية من الإشعاعات المؤينة.  
تأليف/ الدكتور بهاء الدين حسين معروف (1989).

## الفصل الأول / فيزياء الذرة *Physics of Atom*

### (1-1) التركيب الذري (Atomic Structure)

الذرة هي أصغر وحدة في العنصر وتكون خواصه وتساهم في تركيب مختلف المواد وهي قابلة للكسر إلا أن أجزائها لا تتفاعل كيميائياً مع أية مادة أخرى. ولهذا السبب تعتبر الوحدة الأساسية للعنصر.

### الذرة (Atom)

أن جميع المواد مؤلفة من ذرات وتؤلف الذرة أصغر وحدة ذات مواصفات يمكن تمييزها من العناصر الكيميائية. وهي تتألف من نواة كثيفة ذات شحنة موجبة تتركز فيها معظم كتلة الذرة وتكون محاطة بالكترونات مدارية ذات شحنة سالبة. أن قطر الذرة الكلي بحدود  $(3 \times 10^{-10} \text{ m})$  بينما يبلغ قطر نواتها نحو  $(10^{-14})$  وجميع الالكترونات تحمل نفس الشحنة الكهربائية والتي يكون مقدارها  $(1.602 \times 10^{-19} \text{ C or Coulomb})$  ويكون لها نفس الكتلة البالغة  $(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})$ .

أن الذرة لا تشكل جسيمة من المادة بل مجموعة من الجسيمات المرتبطة بواسطة القوة الكهرومغناطيسية (force Electromagnetic) المتوازنة. ويمكن حساب أو تقدير أو مقارنة كتلة الذرة (Atomic mass) بالطرائق الكيميائية لعلاقتها بكتلة ذرة الكربون التي لها العدد (12).

أن الغرام ذرة الذي يرمز له بالحرف (A) هو كتلة العنصر بالغرامات والذي يساوي كتلته الذرية. ومقدار الشحنة الكهربائية اللازمة لتحرير غرام ذري واحد من أية شحنة مفردة يساوي وحدي فرادي (Faraday) التي تساوي (96487) كولومب (c) وكتلة الذرة المفردة (M) تساوي.

$$M = \frac{A}{FLe} = \frac{eA}{F} \dots\dots(1)$$

حيث أن (F) = وحدة فرادي.

(e) = شحنة الإلكترون.

وبهذا فإن قيمة (M)

$$M (\text{gm}) = 1.66 \times 10^{-24} A$$

ويعرف الثابت في هذه المعادلة بوحدة كتلة النواة وهو ما يعرف بعدد افوكادرو (Avogadro's number) الذي تكون قيمته.

$$\text{عدد افوكادرو} = \frac{A}{M} = 6.02217 \times 10^{23} \text{ gm}^{-1}$$

$$\therefore M = \frac{A}{\text{عدد افوكادرو}}$$

(M): كتلة لذرة المفردة بوحدة (kg). (A): العدد الكتلي. عدد افوكادرو وقيمته  $6.02217 \times 10^{26} \text{ kg}^{-1}$ .

### النواة (Nucleus)

وهي قلب الذرة وتكون صغيرة وتتركز الكتلة فيها ولها شحنة كهربائية موجبة. أن نواة الذرة مكونة من جسيمات تدعى النيوكليونات (Nucleons) وهناك نوعان منها كتل متساوية وهما النيوترونات والتي تكون متعادلة الشحنة والبروتونات التي

تكون متعادلة الشحنة والبروتونات التي تكون شحنتها موجبة. وهناك عدد من المصلحات المتعلقة بعدد البروتونات وعدد النيوترونات التي في النواة منها.

#### العدد الذري (Atomic number)

ويرمز له بالحرف (Z) وهو عبارة عن عدد البروتونات التي في النواة ويمثل كذلك عدد الإلكترونات التي في المدارات الخارجية في الذرة المتعادلة.

#### العدد الكتلي (Mass number)

ويرمز له بالحرف (A) وهو يساوي الكتلة الذرية كلها يساوي عدد البروتونات التي في النواة وعدد النيوترونات في النواة كذلك (N).

#### العدد النظائري (Isotopic number)

ويرمز له بالحرف (I) وهو يمثل عدد النيوترونات التي في النواة.

#### النوييدة (Nuclide)

وهي نواة المحتوية على عدد معين من البروتونات والنيوترونات وتكتب على هيئة  $(^A_Z X^N)$  حيث يمثل X الرمز الكيميائي للعنصر.

حيث أن (A): العدد الكتلي. (Z): العدد الذري = عدد البروتونات = عدد الإلكترونات في الذرة. (N): عدد النيوترونات.

#### النيوترونات (Neutrons)

النيوترونات التي يرمز له بالرمز  $(^1_0 n)$  كتلتها  $(1.675 \times 10^{-27} \text{ kg})$  هي جسيمات ليست لها شحنة متعادل كهربائياً وأن النيوترونات تزيد من كتلة النواة في الذرة فقط، ولا تؤثر في الشحنة الذرية أو الطبيعة الكيميائية للذرة كما هو الحال في البروتونات وتطور حول نفسها وتعمل كعمل مغناطيس صغير. في الذرة الاعتيادية هناك عدد من الإلكترونات مساوٍ لعدد البروتونات في النواة بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً.

#### البروتونات (Protons)

أما البروتونات التي يرمز لها بـ  $(^1_1 H)$  أو  $(^1_1 P)$  هي جسيمات لها شحنة كهربائية موجبة واحدة وتكون مستقرة في نواة الذرة وربما يكون هنالك بروتون واحد أو أكثر في النواة.

أن كتلة البروتون تبلغ هي  $(1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg})$  و أن البروتون يدور حول نفسه وله كما للأرض قطب شمالي و قطب جنوبي. أن جميع الذرات عدا ذرة الهيدروجين تحتوي نواتها على نيوترونات والفرق بين العدد الكتلي للذرة والعدد الذري لها يمثل عدد النيوترونات. في الذرات ذات العدد الذري الكبير يزداد عدد النيوترونات لزيادة استقرارية الذرة كما في ذرات اليورانيوم  $^{238}_{92}U$  فأن عدد النيوترون هو  $(A-Z=146)$ .

كما أن ازدياد طاقة الارتباط يؤدي إلى ازدياد استقرار النواة لان هذه الطاقة يجب أن تجهز إلى النواة قبل أن تتمكن من التجزئة.

#### الإلكترونات (Electrons)

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية سالبة عادة. وتبلغ كتلة الإلكترون  $(1/1850)$  من كتلة البروتون وهي تدور في مدارات حول النواة و يكون عدد الإلكترونات مساوٍ إلى عدد البروتونات التي في النواة في الذرات المتعادلة. أن الإلكترونات التي حول

النواة لا تتحرك بمدار واحد ولكن اعتماداً على عددها فإن مجاميع معينة تتحرك في مدارات مختلفة حول النواة ويدعى كل واحد من هذه المدارات القشرة الإلكترونية (Electron shell). أن الإلكترونات تدور بسرعة عظيمة جداً ولولا قوة الجذب المسلطة عليها من قبل كتلة النواة الأثقل وخاصة التجاذب بين الشحنات المختلفة للإلكترونات والبروتونات التي في النواة (مما يجعلها كجزء من التركيب الذري) لا نطلقت في الفضاء.

### (1-2) القشرات الإلكترونية (Electron Shells)

الإلكترونات المحيطة بالنواة تتجمع في مستويات طاقة محددة توصف بأنها قشرات أو مدارات ويرمز لها بالحروف (K، L، M، N، O) ابتداءً من النواة إلى الخارج والإلكترونات في القشرة الواحدة لها مستويات طاقة محددة لذلك فإن هذه القشرات تصنف إلى قشرات ثانوية. أن الإلكترونات التي تحتل القشرات الداخلية القريبة من النواة لها طاقات واطئة نسبياً ولذلك فإنها مستقرة بينما الإلكترونات التي تحتل القشرة النهائية في الذرة أو الكثرونات التكافؤ فإنها تمتلك طاقة أكبر لذلك فإنها تكون أقل ارتباطاً بالنواة وتتوزع هذه الإلكترونات على القشرات المختلفة.

بصورة عامة أن تنظيم الإلكترونات في القشرات يمكن أن يلخص كمايلي:-

a- أكبر عدد من الإلكترونات التي يمكن أن تحتويها قشرة رئيسية هو  $(2n^2)$ ، حيث  $(n)$  هو الرقم الكمي الرئيسي للقشرة.

b- العدد الأقصى للإلكترونات في القشرة الخارجية هو (8) والقشرة التي تسبق الخارجية هو (10).

c- ليس من الضروري أن تمتلئ أية قشرة قبل أن تبدأ القشرة التالية بالتكوين.

d- القشرة الخارجية لا يمكن أن تحتوي على أكثر من الكترونين والقشرة التالية لها لا يمكن أن تحتوي على أكثر من (9) الكترونات.

### (1-3) القوى داخل الذرة (Force Inside the Atom)

a- (القوى النووية) جميع الجسيمات داخل النواة تتماسك بعضها بواسطة قوى التبادل التي تنتج عن تبادل جسيمات أساسية دقيقة جداً بين البروتونات والنيوترونات وتسمى بالميزونات.

أن التحطم هذه القوى سوف يؤدي إلى توليد طاقة عالية في حالة تحطم الذرة وهذه القوى لا تعتمد على نوع الشحنات التي تحملها الجسيمات.

b- (القوى الكهربائية) ترتبط الإلكترونات والبروتونات مع بعضها بالقوى الكولومية التي تكون مؤثر في مديات أكبر من مديات القوى النووية.

### (1-4) النظائر (Isotopes)

أن ذرات بعض العناصر تختلف من حيث الكتلة مع أنها تمتلك نفس العدد الذري وقد سميت هذه الذرات بالنظائر وكتل هذه النظائر هي مضاعفات ذرة الهيدروجين ولهذه الذرات نفس الخواص الكيميائية لأن أعدادها الذرية واحدة ولذلك فإنها تحتل نفس المكان في الجدول الدوري أما الزيادة في الكتلة فإنها تأتي عند وجود بعض النيوترونات في النواة.

### (1-5) جسيمات أخرى في نوى الذرات (Other particles of the Nuclear)

بالإضافة إلى الجسيمات الأساسية الموجودة في الذرات التي مر ذكرها وهي الإلكترونات والبروتونات والتي مر ذكرها وهي الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات فقد تكون هناك جسيمات أخرى مثل:-

- a- جسيمات ألفا ( $He^4_2$ ).
- b- جسيمات الديوتريون ( $He^2_1$ ).
- c- البوزترون ( $e^0_+$ ): هو جسيم له كتلة الإلكترون إلا أن شحنته الالكترونية موجبة وهو جسيم غير مستقر قد يتحد مع إلكترون في يضع ثوانٍ مكوناً فوتون  $\gamma$ .
- d- الميزونات (Masons) ( $\mu, \pi, k$ ): هي جسيمات نووية لا يعرف عنها الكثير في الوقت الحاضر ويعتقد بأنها تكون قوى التبادل القوية داخل النواة والتي تمسك الجسيمات النووية إلى بعضها.
- e- أشعة  $\beta$  ( $e^0_-$ ): وهي الكترونات سريعة تقذف من النوى في ولكنها تتولد عندما يتحول النيوترون إلى بروتون وإلكترون (جسيمة  $\beta$ ) ويقذف الإلكترون حالاً إلى خارج النواة لأن النواة ليست كبيرة لاستيعابه. أما جسيمة  $\beta$  الاعتيادية فإنها تشبه، من حيث الطبيعة، الإلكترون الاعتيادية الذي يدور في مدارات حول النواة.
- f- النيوترينو: هذا الجسيم لا يحمل شحنة وكتلته قليلة جداً حوالي (2%) من كتلة الإلكترون.

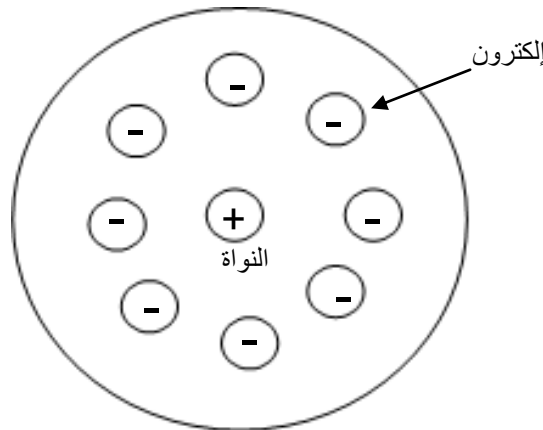
## (1-6) النماذج الذرية:-

هنا سوف نتطرق إلى الفرضيات التي تم وضعها لوصف شكل الذرة النموذجي بعد اكتشاف الإلكترون في (1897) من قبل توميسون وحدث تطور هام في الفيزياء مطلع القرن الماضي وكمايلي:-

### 1- نموذج رذرفورد للنواة والذرة (Rutherford's Nuclear and Atom Model)

افترض بعض الكيميائيون نموذجاً للذرة تتوزع فيه شحناتها السالبة والموجبة بطريقة مختلفة على أمل أن يربطوا بين الشحنات الالكترونية وبين تكافؤ العناصر المختلفة، ثم جاءت بعد ذلك تجارب رذرفورد على تشتت دقائق ألفا من سطح بعض الأغشية المعدنية الرقيقة ومنها توصل إلى مايلي:-

- a- أن كل الشحنة الموجبة للذرة ومعظم كتلتها يجب أن تتركز في حيز مركزي صغير نصف قطره ( $10^{-14}$ ) متر تسمى النواة وتقع الالكترونات على بعد معين منها الشكل (1).



الشكل (1) يوضح نموذج رذرفورد للذرة.

- b- الذرة هي فضاء فارغ ولذلك من السهل أن نرى كيف أن أغلب جسيمات ( $\alpha$ ) ألفا تمر باستقامة خلال غشاء رقيق فالالكترونات المنتشرة وصغر كتلتها لا تؤثر في حركة جسيمات ألفا الساقطة.

c- مقارنة الاستطارة النسبية لجسيمات ألفا ( $\alpha$ ) خلال أغشية من مواد مختلفة أعطت معلومات عن الشحنات والنوى في الذرات المكونة للمواد المختلفة لأن انحراف جسيمة ألفا عندما يمر قرب نواة يعتمد على مقدار شحنة النواة.

d- أن جميع الذرات في العنصر الواحد تمتلك نفس الشحنة كما وأن هذه الشحنة تزداد بانتظام من عنصر لآخر في الجدول الدوري.

e- الشحنات النووية دائماً هي مضاعفات صحيحة وموجبة للشحنة الالكترونية و أن العدد الذري كما هو مذكور سابقاً عبارة من عدد من وحدات الشحنات الموجبة في نوى الذرات.

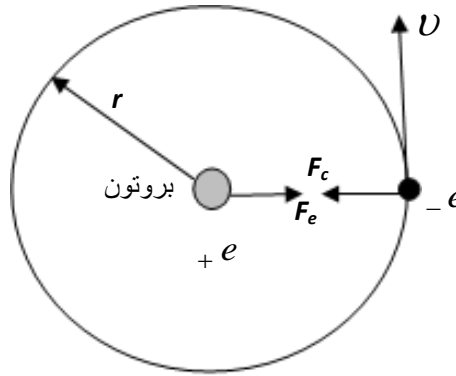
f- لتحقيق استقرار الذرة وللمنع الإلكترونات من السقوط على النوى المركزية تحت تأثير القوى الكولومية فقد افترض بأن الإلكترونات تدور بسرعة كبيرة حول النواة بحيث أن القوة الطاردة الناتجة عن الدوران تعادل القوى الكولومية بين النواة والإلكترونات.

### صعوبات هذا النموذج من وجهة النظرية الكلاسيكية:

أن رذرفورد اقترح بأن الإلكترونات تدور حول النواة لصيانة استقرارية الذرة وأن القوة الطاردة هي التي تمسك هذه الإلكترونات في أماكنها بالتعاون مع جذب النواة، ولحساب القوى الكلية للاحتفاظ باستقرارية الذرة هذه بالاعتماد على نموذج رذرفورد للنواة والذرة تم اتباع الخطوات التالية:-

لنأخذ ذرة الهيدروجين التي هي أبسط أنواع الذرات والتي تتكون من إلكترون يدور حول النواة المكونة البروتون واحد ( ${}^1_1H$ ) مثلاً لحساب الطاقة الكلية للاحتفاظ باستقرارية ذرة الهيدروجين ( ${}^1_1H$ ) ولنفرض أن مدار الإلكترون دائري نصف قطر ( $r$ ) كما هو موضح بالشكل (2) وأن قوة التجاذب بين الإلكترون والنواة ذات الشحنة ( $+e$ ) هي:-

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$



الشكل (2) يوضح توازن القوى في الذرة الهيدروجين.

( $F_c$ ): القوة الطاردة المركزية (Centripetal Force) الناتجة من دوران الإلكترون حول النواة وتعطي من العلاقة التالية :-

( $v$ ): سرعة الإلكترون والتي يجب أن تكون كبيرة جداً لتحقيق استقرارية الذرة وعدم سقوط الإلكترونات على النواة.

( $F_e$ ): القوى الكهربائية أو الكولومية التي تربط البروتونات أو النواة بالإلكترونات والتي تعطي من العلاقة التالية:-

$$F_e = \frac{Z^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$$

( $Z = 1$ ) لذرة الهيدروجين.

وحتى تحقيق شرط استقرارية الذرة لابد أن

$$F_e = F_c$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \frac{e^2}{r} = \frac{mv^2}{1} \dots\dots(1)$$

ومن المعادلة (1) نحصل على

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_o mr}}$$

( $v$ ): حساب سرعة الإلكترون في المدار الإلكتروني.

أن الطاقة الكلية للذرة هي مجموع طاقتها الحركية ( $K$ ) والكامنة ( $P$ ) وكما مبين ادناه:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots(2)$$

$$P = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_o} \dots\dots(3)$$

$P$  : هي عبارة عن الشغل اللازم صرفه من قبل الجذب الكهروستاتيكي إلكترون من اللانهائية إلى مسافة ( $r$ ) من النواة والإشارة السالبة تشير إلى أن اتجاه القوة المؤثرة هو عكس اتجاه زيادة البعد ( $r$ ).  
أذن فالطاقة الكلية:

$$E = K + P \dots\dots(4)$$

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_o r}$$

ومن المعادلة (1) وبضرب طرفيها ب ( $m$ ) تصبح

$$mv^2 = \frac{me^2}{4\pi\epsilon_o r} \dots\dots(5)$$

وبتعويض المعادلة (5) في (4) نحصل على :-

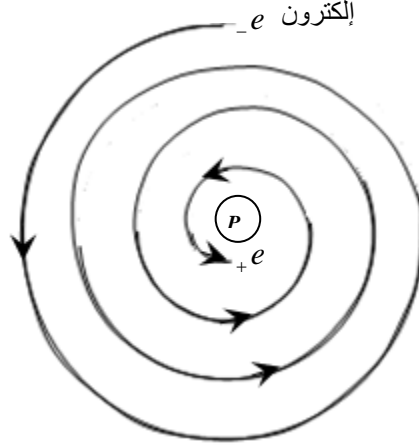
$$E = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_o r} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_o r}$$

$$E = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_o r}$$

أن الطاقة الكلية سالبة وهذا ضروري للاحتفاظ باستقرارية الذرة وإذا كانت ( $E$ ) اكبر من الصفر فأن الإلكترون سوف يحصل على طاقة كبيرة لا تساعد على بقائه في مدار المغلق حول النواة.

أن الصورة الدينامية المقترحة للذرة من قبل رذرفورد كافية لتوضيح استقرارية الذرة ولكنها تخالف بعض الفرضيات الأساسية للنظرية الكهرومغناطيسية والتي تقترح بأن الشحنات المعجلة تشع طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية والإلكترون الذي

يدور في مدار دائري يكون شحنة معجلة وعلية فأنه يجب أن يشع طاقة بصورة مستمرة مما يؤدي إلى فقدان طاقته وسقوطه حلزونياً على النواة. وعلى هذا الأساس فإن الحسابات تبين أن الإلكترون يجب أن ينطبق على النواة خلال أجزاء قليلة جداً من الثانية. أذ سرعان ما تفقد الذرة طاقتها وينهار نظامها وهذا لا يتم حتماً كما أن الهبوط المستمر في الطاقة يجب أن ينتج عنه طيف مستمر من الإشعاع بجميع الأطوال الموجية وهذا يناقض الملاحظات التجريبية في طيف الهيدروجين والذي يبين خطوط طيفية مميزة جيداً والحقيقة أن المبادئ الكلاسيكية التي تصح عياناً لا تنطق مجهرياً في عالم الذرة.



الشكل (3) يدور إلكترون الذرة تقليدياً في مدار حلزوني نحو النواة كلما بعث طاقة لتعجيله.

مثال/ جد تردد الدورات للإلكترون في النموذج الكلاسيكي لذرة الهيدروجين في أي منطقة من الطيف الكهرومغناطيسي يقع هذا التردد.  
الحل:-

$$V = \frac{e}{\sqrt{4\pi \epsilon_0 mr}} \dots (1)$$

$$V = 2\pi r \gamma \dots (2) \quad \text{سرعة الإلكترون}$$

$\gamma$  : تردد الدوران.

وبتعويض المعادلة (1)

$$\gamma = \frac{e}{4\pi r \sqrt{4\pi \epsilon_0 mr}}$$

$$\gamma = \frac{e}{4\pi \sqrt{\epsilon_0 mr^3}} \dots (3)$$

وبالتعويض عن القيم

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} F.m^{-1}$$

$$me = 9.11 \times 10^{-31} kg$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} C$$

$$r = 5.3 \times 10^{-11} m = 0.53 A^0$$

$$\gamma = 6.556 \times 10^{15} Hz$$

أما الطول الموجي:-



$$C = \lambda \cdot \gamma \Rightarrow \lambda = \frac{C}{\gamma}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/sec}}{6.655 \times 10^{15} \text{ 1/sec}}$$

$$\lambda = 457.7 \times 10^{-10} \text{ m}$$

وهذا الطول الموجي يقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي.

## 2- نموذج بور للذرة (*The Bohr Model of the Atom*)

وفي محاولة لحل هذه المشكلة افترض العالم بور عام (1913) نموذجاً للذرة تمديداً ثورياً للنظرية الكمية لتفسير الأطياف الذرية، فهو يقبل نموذج رذرفورد للذرة الذي يقترح دوران الإلكترونات حول النواة ولتفسير الخطوط الحادة في الطيف فإنه ابتعد عن مبادئ الفيزياء الكلاسيكية وقال بأنه في حالة حركة الإلكترونات في الذرة فإن الفرضيات التالية يجب أن تتوفر: -

a- أن الإلكترون لا يمكن أن يوجد إلا في مدار فيه زخم الإلكترون الزاوي مساوياً  $(\frac{h}{2\pi})$  أو مضاعفاتها وبعبارة أخرى يصبح الزخم الزاوي من الكميات (المكممة) كمايلي:

$$mvr = n\hbar$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Joul.sec}$$

$$n=1,2,3, \dots \dots \dots (\text{عدد كمي}) (\text{quantum number})$$

b- أن الذرة لا تشع طاقة ما دام الإلكترون دائراً في مداره ، وأن الإشعاع لا يحدث إلا عندما يقفز إلكترون من مدار إلى مدار آخر في ذره.

c- وأن الذرة تشع مقادير محددة (مكممة) من الطاقة وقد استعار تسميتها من بلانك حيث تصبح هذه الوحدات من الطاقة فوتونات طاقة. وأن التردد للإشعاع المنبعث يحدد بالفرق بين طاقتين المدار الأول والمدار الثاني أي :

$$E_i - E_f = h\gamma \dots (1)$$

حيث  $(E_i)$ : هي قطر الطاقة في الحالة الابتدائية.

$(E_f)$ : هي الطاقة في الحالة النهائية.

$(h)$ : هي ثابت بلانك.

$(\gamma)$ : تردد الشعاع المنبعث.

إن الزخم الزاوي لجسيم كتلته  $(m)$  يتحرك بسرعة مماسيه  $(v)$  في دائرة نصف قطرها  $(r)$  هو:

$$mvr = \frac{n \cdot h}{2\pi} \dots (2)$$

حيث  $(n)$  (هو رقم المدار) هو عدد صحيح قيمته  $(1, 2, 3)$  للمدارات الأولى والثاني والثالث على التوالي. وحيث أن

$$v = w \cdot r \dots (3)$$

باعتبار  $(w)$ : السرعة الزاوية فأن

$$m.r^2\omega = \frac{n.h}{2\pi} \dots (4)$$

والشرط الثاني للحركة المدارية هو أن القوة الطاردة تعطى بقوة التجاذب بين الإلكترون والنواة ولذلك فإن :-

$$\begin{aligned} \text{القوة الطاردة} &= \frac{mv^2r}{r} = \frac{mv^2r^2}{r} \\ &= m r \omega^2 \dots (5) \end{aligned}$$

$$\text{قوة التجاذب بين الإلكترون والنواة} = F = \frac{Z.e^2}{4\pi \epsilon_o r}$$

$$\begin{aligned} \text{قوة التجاذب بين الإلكترون والنواة} &= F_e = \frac{Z.e^2}{4\pi \epsilon_o r} \\ &(\text{قوة التجاذب الكولومية}) \end{aligned}$$

∴ لذرة الهيدروجين  $Z=1$

$$\text{القوة الطاردة المركزية} F_c = \frac{m.v^2}{r}$$

$$F_e = F_c \text{ لاثبات المدار}$$

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_o} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{m.v^2}{r}$$

وحسب نص فرضيات بور ( Bohr's Postulation ) أن الإلكترون لا يمكن أن يوجد إلا في مدار يكون فيه زخم الإلكترون

الزاوي مساوياً لـ  $(\frac{h}{2\pi})$  أو مضاعفاتها وبعبارة أخرى يصبح الزخم الزاوي من الكميات (المكممة) كمايلي :-

$$m.v.r = n.h$$

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_o} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{m.v^2}{r} \cdot \frac{m.r^2}{m.r^2}$$

ملاحظة:-

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_o} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{(m.v.r)^2}{m.r^3}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$\frac{e^2}{4\pi \epsilon_o} = \frac{n^2 \hbar^2}{m.r}$$

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_o} = \frac{n^2 \hbar^2}{m.r \times 4\pi^2}$$

$$\frac{e^2}{\epsilon_o} = \frac{n^2 \hbar^2}{m.r \pi}$$

$$m\pi.e^2r = n^2 \hbar^2 \epsilon_o$$

$$r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_o}{\pi \cdot m \cdot e^2}$$

$$\therefore (n=1)$$

$$h = 6.65 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$$

$$\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F} / \text{m}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C or J/ev}$$

$$\pi = 3.14, m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r_1 = 0.53 \text{ \AA}$$

لأي رقم مداري (n) يعطى نصف قطر بور من المعادلة التالية:

ملاحظة:-

$$r_1 = 0.53 n^2$$

r بوحدات  $\text{\AA}$

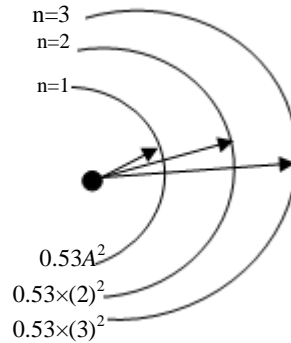
مثال:-

$$n = 2 \Rightarrow r = 0.53 \times (2)^2$$

$$n = 3 \Rightarrow r = 0.53 \times (3)^2 \text{ \AA}$$

$$n = 4 \Rightarrow r = 0.53 \times (4)^2 \text{ \AA}$$

وهكذا  $n=5,6,7,8,\dots$



الشكل (4) يوضح مدارات الإلكترونات في نموذج بور لذرة الهيدروجين.

ما طاقة الإلكترون في مختلف مدارات ذرة الهيدروجين:-

$$E_n = -\frac{m \cdot e^4}{8 \epsilon_o^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \dots (1)$$

حيث  $n = 1, 2, 3, \dots$

$E_n$  = طاقة الإلكترون في مختلف مدارات ذرة الهيدروجين وتقاس هنا في المعادلة بوحدات (Joul).

يمكن كتابة المعادلة (1) بشكل التالي:

$$E_n = -\frac{13.5}{n^2} \text{ (eV)} \dots (2)$$

العلاقة الأخيرة تعطينا مستويات الطاقة (energy levels) لذرة بور.

حيث نرى أن  $(E)$  تصبح صفراً عندما تصبح  $(n = \infty)$  أي عندما تكون المسافة الفاصلة بين الإلكترون والبروتون ما لانهاية ومعنى ذلك أننا نحتاج إلى  $(13.5)$  إلكترون فولت لكي تؤين ذرة الهيدروجين.

ملاحظة:- أن المعادلة (2) يمكن تستعمل في حساب طاقة الإلكترون في مختلف مدارات ذرة الهيدروجين. لذا فإن الطاقة في المدار الأرضي حيث  $(n=1)$  هي:-

$$E_1 = \frac{13.5}{1^2} = -13.5 \text{ ev} = -21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{-13.5 \text{ ev}}{4} = -5.44 \times 10^{-19} \text{ J}$$

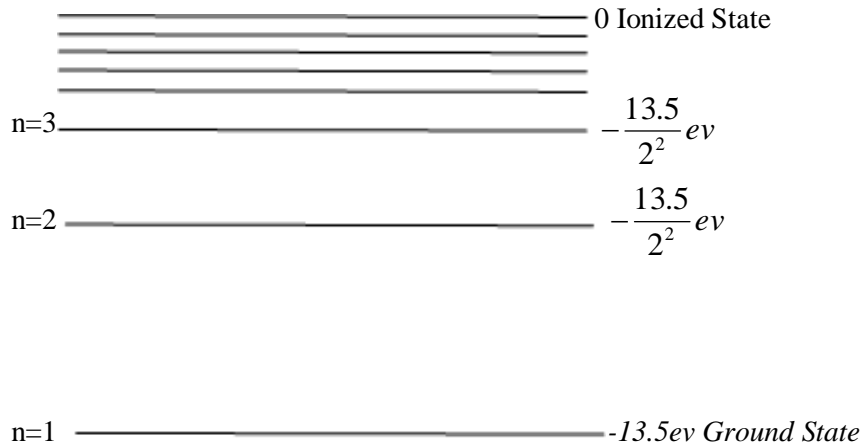
$$E_3 = \frac{E_1}{3^2} = \frac{-13.5 \text{ ev}}{9} = -2.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ملاحظة:- أما العنصر ذي عدد ذري  $Z$  فإن:-

$$E_n = -\frac{Z^2 m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \dots (3)$$

### إشعاع ذرة الهيدروجين:

أن مستويات الطاقة المحدد بالمعادلة (3) الموجودة في الموضوع السابق تسمى بمستويات الطاقة لذرة الهيدروجين، وأن الشكل أدناه يوضح أن جميع مستويات سالبة وتشير إلى أن الإلكترون لا يملك الطاقة الكامنة للهروب من الذرة. أن أوطأ مستو للطاقة يسمى الحالة الطبيعية أو الحالة الأرضية للذرة أما المستويات الأعلى  $E_2, E_3, E_4, \dots$  الخ فإنها تسمى حالات متهيجة وكلما اقتربت الذرة من حالة الطاقة الصفرية وعندما  $(n = \infty)$  فإن  $(E=0)$  ولن يكون الإلكترون مربوطاً بالنواة في هذه الحالة.



الشكل (5) يوضح مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين.

\* وبموجب الفرضية الثانية لبور فإن الطاقة تشع فقط عندما يقفز الإلكترون من مدار خارجي إلى مدار أوطأ وتتحرك طاقة مساوية للفرق بين طاقتي المستويين مرة واحدة بشكل فوتون وليس بطريقة تدريجية فإذا كانت  $(E_2)$  طاقة المدار و  $(E_1)$  طاقة المدار الخارجي الذي ينتقل إليه الإلكترون فإن طاقة الفوتون المتحرر تكون كما في المعادلة التالية:-  
الطاقة الأصلية - الطاقة النهائية = طاقة الفوتون.

$$h\gamma = E_2 - E_1$$

### التهيج الذري (Atomic Exaltation)

عندما يرتفع إلكترون الذرة إلى مستو أعلى من الطاقة فإنه بإمكانه أن يعود ذاتياً إلى مستو أوطأ وربما لن يعود إلى المستوي الأرضي في قفزة واحدة ولكن قد يحدث ذلك على شكل خطوات وفي كل انتقال سيتحرر فوتون طاقته  $(E = h\gamma)$  حيث  $(E)$  هي الفرق بين طاقتي المستويين فعندما ينتقل الإلكترون من المستوي  $(n_2)$  إلى المستوي  $(n_1)$  لدينا المعادلة من الشرح السابق

$$E_2 = -\frac{m.e^4}{8\epsilon_o^2 h^2} \cdot \frac{1}{n_2^2} \text{ الطاقة الأصلية}$$

$$E_1 = -\frac{m.e^4}{8\epsilon_o^2 h^2} \cdot \frac{1}{n_1^2} \text{ الطاقة النهائية}$$

وعليه فإن فرق الطاقة بين المستويين يكون:-

$$E_2 - E_1 = \frac{m.e^4}{8\epsilon_o^2 h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

وإذا تردد الفوتون المتحرر بحسب من المعادلة :-

$$E_2 - E_1 = \frac{m.e^4}{8\epsilon_o^2 h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

وإذا التردد الفوتون المتحرر فإنه يحسب من المعادلة:-

$$\gamma = \frac{m.e^4}{8\epsilon_o^2 h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

أما بدلالة الطول الموجي للفوتون حيث أن:-

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\gamma}{C}$$

أما العدد الموجي  $(\bar{\gamma})$  فإن مقلوب الطول الموجي يسمى بالعدد الموجي

$$\text{Wave.number.}\bar{\gamma} = \frac{1}{\lambda}$$

$$\bar{\gamma} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

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

حيث أن  $(R)$  تسمى هذه الكمية بثابت رايد بيرك (Rydberg constant) ويرمز له بالرمز  $(R)$  الذي يقدر بـ  $(R=1.091 \times 10^7 m^{-1})$ .

كما أن هناك مقدار آخر يستعمل أحيانا ويسمى بالعدد الموجي الزاوي و يستخدم للتعبير عن الزخم الزاوي للإلكترون وهو يساوي:-

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ العدد الموجي الزاوي}$$

### عيوب نظرية بور (*Shortcomings in Boar's Theory*)

لقد تمكنت نظرية بور بنجاح أن تحسب ترددات خطوط طيف ذرة الهيدروجين لكن كان هناك نواقض عندما جرت محاولة تطبيقها على الذرات الأكثر تعقيداً والتي تحتوي على أكثر من إلكترون في مداراتها ونلخص العيوب بالآتي:-

- a- أنها لا تستطيع أن تفسر وجود اختلاف في شدة الخطوط في الطيف أي أنها لا توضح لماذا تكون بعض الانتقالات أكثر احتمالاً للحدوث من غيرها.
- b- أنها لا تستطيع أن تفسر الملاحظة في أن كثيراً من الخطوط الطيف تتكون من بضعة خطوط منفصلة أطوالها الموجية فيها اختلاف طفيفة ولذلك ظهرت الحاجة لوجود أعداد كمية إضافية.
- c- كما أنها لا تقود إلى معرفة سبب التأثير المتبادل بين الذرات لتوليد تجمعات عيانية للمادة مع الخواص الفيزيائية التي تمتلكها.

### 3- نموذج سمرفلد النسبي لذرة (*Somerfield's Relativistic Model of Atom*)

لقد طور سمرفلد النظرية الذرية عام (1916) باقتراح مدارات أهليجية للالكترونات. وقد أوضح بأن الجسم الذي يتحرك بتأثير قوى التناسب العكسي قد يولد بضعة مدارات أهليجية تحت ظروف معينة لها طاقة تختلف جزيئاً عن بعضها لكل عدد كمي. وعندما يدور الجسم في مدار أهليجي فإن سرعته تختلف باختلاف بعده عن النواة فتزداد وتقل بشكل متناوب مما يؤدي إلى تغير نسبي في الكتلة الإلكترون المتحرك. وهذا أدى إلى اقتراح عدد كمي آخر غير العدد الكمي ( $n$ ) الوحيد في نظرية بور. ومن الجدير بالذكر أن حركة الإلكترون في هذه المدارات الأهليجية هي عبارة مجموع مركبتين أحدهما دائرية حول النواة والأخرى تنذببية على نصف القطر، الأولى تسمى حركة سمتية والثانية حركة نصف القطرية.

### 4- النموذج الكمي المتجه للذرة (*Quantum or Vector Model of Atom*)

هذا النموذج ساهم في تفسير ظواهر ذرية أخرى بظهور الإعداد أو الأرقام الكمية. الأرقام الكمية ومعناها:- وهي تلك الأرقام التي تستعمل لتعيين حالة الإلكترون حول النواة بدلالة مواقعها بالنسبة للنواة و الطاقة المصاحبة لها.

وجدير بالذكر أن كل إلكترون يشخص بأربعة أرقام كمية تدعى:-

- a- العدد الكمي الرئيسي أو الكلي ( $n$ ): ( $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ ).
- b- العدد الكمي أو السمتي ( $\ell$ ): ( $\ell = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$ ).
- c- العدد الكمي المغناطيسي المداري ( $M_\ell$ ): ( $M_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$ ).
- d- العدد الكمي الغزلي المغناطيسي (البرمي): ( $M_s = \pm \frac{1}{2}$ ).

أما معناها فإنها تحديد الحجم والشكل والاتجاه للمدارات في الفضاء والبرم وغيرها حول النواة.

#### a- العدد الكمي الرئيسي أو الكلي ( $n$ ):

العدد الكمي الأساس يصف تكم الطاقة ل  $e$  في الذرة (يعني كل  $e^-$  في مدار معين له طاقة معينة).

ويمكن أن يأخذ ( $n$ ) القيم ( $1, 2, 3, \dots, \infty$ ) وهو يحدد المحور الرئيسي للإهليج المصاحب لطاقة الإلكترون لذلك فهو يعود للمستوى الرئيسي للطاقة أو طاقة المدار وهذه الطاقات لها قيم ( $1, 2, 3, 4, \dots$ ) عندما تنتقل من النواة إلى الخارج و أيضاً تسمى بالمدارات ( $K, L, M, \dots$ ).

$$E_n = -\frac{m.e^4}{32\pi^2 \epsilon_o \hbar^2} \left( \frac{1}{n^2} \right) \quad \left\{ \begin{array}{l} \hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{Joul.sec} \\ \hbar = \frac{h}{2\pi} \end{array} \right.$$

أو تكتب بهذا الشكل:-

$$E_n = -\frac{13.5}{n^2} \text{(eV)}$$

حيث (n) يجب أن يكون عدد صحيحاً موجباً والذي يصف تكتم طاقة الإلكترون.

#### -b العدد الكمي أو ألسمتي (Orbital Quantum. no.)

أن العدد الكمي المداري (  $\ell$  ) والذي يأخذ القيم ( 0، 1، 2، 3، .....، (n-1) ) وهو يقسم المدار إلى عدد ( n ) من المدارات الثانوية بسبب التغير النسبي لكتلة الإلكترون وبذلك يصبح عدد المدارات الثانوية في المدار يعطى بعدده الكمي الرئيسي. أن العدد الكمي (  $\ell$  ) يصف الحالة الزخم الزاوي للإلكترون في مدار معين والذي يمثل:-

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)} \cdot \hbar \quad \hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{Joul.sec}$$

وتعتبر الكمية  $\hbar$  كوحدة طبيعية للزخم الزاوي.

\* لذلك فكما أن الطاقة الإلكترون محفوظة ومكممة نجد أن الزخم الزاوي أيضاً محفوظ ومكمم وترمز للحالات الرموز التالية:-

$$\ell = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

حالات الزخم الزاوي S, P, d, f, g, h, I, j

\* أن استخدام العدد الكمي الأساسي مع الزمن الذي يمثل الزخم الزاوي يوضح حالات الذرية المختلفة فمثلاً عند (  $n=2$  ) و (  $\ell=0$  ) نستعمل (2S) وفي حالة (  $n=4$  ) و (  $\ell=2$  ) مثلاً نستعمل الرموز (4d) وهكذا والجدول يوضح ذلك:-

	S $\ell=0$	P $\ell=1$	d $\ell=2$	f $\ell=3$
n=1	1S			
n=2	2S	2P		
n=3	3S	3P	3d	
n=4	4S	4P	4d	4f

\* الترتيب الذي تملأ به المدارات الثانوية في الذرات هو:-

1S, 2S, 2P, 3P, 4S, 3d, 4P, 5S, 4d, 5P, 6S, 4f, 5d, 6P, 7S, 6d.

### c- العدد الكمي المغناطيسي

\*\* أن إلكترون يدور حول النواة يكون حلقة من تيار والذي بدوره يكون مجالاً مغناطيسياً يشبه مجال ثنائي قطب مغناطيسي. بدوره يكون مجالاً مغناطيسياً يشبه مجال ثنائي قطب مغناطيسي.

\*\* وإذا حصل تأثير متبادل بين إلكترونات ذا زخم زاوي  $\vec{L}$  يتفاعل مع مجال مغناطيسي خارجي  $\vec{B}$  الذي افترضنا أنه باتجاه المحور Z فإن مركبة  $\vec{L}$  بهذا الاتجاه تتحدد بالقيم.

$$L_z = m\ell \cdot \hbar$$

الزخم الزاوي باتجاه المغناطيس.

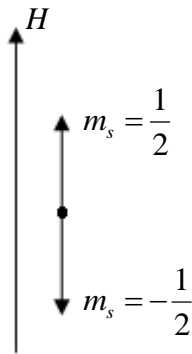
( $m\ell$ ) عدد موجب.

حيث أن ( $m\ell$ ) يسمى بالعدد الكمي المغناطيسي ويحدد بالقيم  $m\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$  وأن هذه القيم ( $2\ell + 1$ ) والتي ترتبط بالعدد الكمي المداري. \*الزاوية بين ( $L$ ) والمجال المغناطيسي تعطى بالعلاقة:-

$$\cos\theta = \frac{m\ell}{\ell}$$

### d- العدد الكمي المغناطيسي اليرمي (المغزلي) ( $m_s = \pm \frac{1}{2}$ )

أنه يحدد اتجاه محور برم الإلكترون بالنسبة إلى الإطار المعتمد لـ ( $m\ell$ ). الزخم الزاوي هنا يمكن أن يحتل موقعين فقط بالنسبة للمجال المغناطيسي. فأمّا أن يكون باتجاه حركة عقرب الساعة أو ضد ومسقطه على امتداد المجال المغناطيسي يرمز له بالرمز ( $m_s$ ) الذي يسمى بالعدد الكمي المغزلي المغناطيسي ويمكن أن يأخذ قيمتين فقط أما ( $\frac{1}{2} +$ ) أو ( $-\frac{1}{2}$ ) كما هو مبين في الشكل.



الشكل يوضح مسقط المتجهات المغزلية باتجاه المغناطيس يبين القيمتين المحتملتين لـ ( $m_s$ ). ملاحظة:-

أن أكبر (6) عدد من الإلكترونات التي يمكن أن تحتل مداراً رئيسياً في وقت واحد هو ( $2n^2$ ) وفي ذرة متعددة الإلكترونات المدارية تحتل أوطاً مستويات طاقة متوفرة.