

قام العالم الفيزيائي الفرنسي لويس دي برولي Louis de Broglie عام 1924 بدراسة لطبيعة الضوء والمادة وقد وضع فرضيته التي اشار فيها الي ان الدقائق الصغيرة للمادة (الجسيمات المادية) تمتلك خواصاً موجية (Wave) كما يمتلك الضوء خواصاً جسيمية (particle) وتنتقل الجسيمات المادية هذه بواسطة موجات مصاحبة لها ذات طول موجي تحدده المعادلة التالية :

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

حيث تمثل  $mv$  (الكتلة  $\times$  السرعة) زخم الجسيم المتحرك  $p$  وهو مقياس القصور الذاتي او ميل الدقيقة للبقاء في حالة حركة .  
ان نتائج دراسة العالمين دافيسن Davison وجيرمر Germer في الحيوذ الالكتروني باستعمال البلورات عام 1927 بطريقة معادلة لحيوذ الاشعة السينية (X - rays diffraction) دعمت فرضية دي برولي للموجات المادية .  
وهكذا اثبتت التجارب الحديثة بأن الصفات الموجية والصفات الجسيمية من خصائص جميع المواد وهذا يصح ايضاً على الكترون مدار بور الذي يمتلك خواصاً جسيمية بنفس الوقت الذي يمتلك فيه الخواص او الطبيعة الموجية وبدلاً من ان نفكر بوجود الكترون يدور في مدار ثابت ، علينا ان نفكر بوجود سلسلة من الامواج تتحرك ضمن هذا المدار شكل (1-19) ، ولاجل ان يكون المدار مستقراً لابد من افتراض اساسي وهو ان الامواج بعضها يقوي البعض بحيث تكون موجة واقفة . ولكي يحدث ذلك ضمن مدار نصف قطره  $(r)$  ، لابد ان يشمل محيط المدار عدداً صحيحاً من طول الموجة اي ان :

$$2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{p}$$

وعند اعادة صياغة هذه المعادلة نحصل على :

$$mvr = n \frac{h}{2}$$

وهذه هي احدى فرضيات بور الاعتباطية في حساب الزخم الزاوي  
للالكترون دعمت من قبل نظرية الميكانيك الموجي .

مثال : ماهو الطول الموجي المصاحب لالكترون يتحرك بمعدل واحد  
مئة من سرعة الضوء ؟

الحل :

$$m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg.}$$

كتلة الالكترون مقاسة بالكيلوغرام

$$v = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

سرعة الالكترون

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.S.}$$

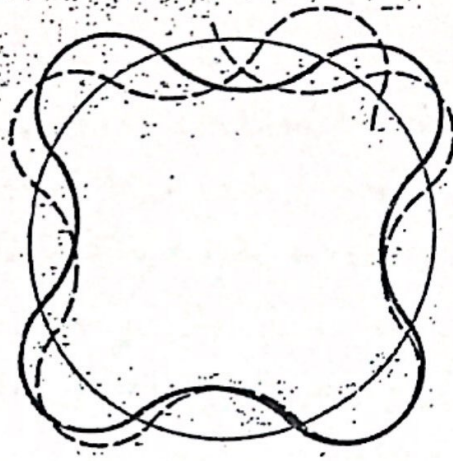
ثابت بلانك

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

نعوض في المعادلة :

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \cdot \text{s}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})}$$
$$= 2.42 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.242 \text{ nm}$$





شكل 19-1 : تمثيل لموجة الكترون . الخط الصلب يمثل موجة مستقرة ، بينما يمثل الخط المنقط الطريقة التي تتحطم بها موجة ذات اطوال موجية مختلفة نتيجة للتداخل .

### The Uncertainty Principle

### قاعدة اللادقة

في مبدأ اللادقة الذي تقدم به هايزنبرك عام 1927 أورد نصاً مفاده استحالة معرفة سرعة ( او اي صفة ذات علاقة بها مثل الطاقة او الزخم) وموقع اي جسم (مثل الالكترون) ، لاية درجة من الدقة في آن واحد . وهذا يعني بتفسير أعم ، انه يسبب الطبيعة المزدوجة ، الموجية والجسيمية ، للالكترون نجد ان اي تحديد لموقع الالكترون سيعني بالضرورة عدم تحديد لكمية حركته والعكس بالعكس . ويبين هايزنبرك انه اذا كان  $(\Delta X)$  يمثل مقدار الشك او عدم الدقة الذي يتضمنه تعيين موقع الالكترون وكان  $(\Delta P)$  يمثل الشك او عدم الدقة الذي يتضمنه تعيين كمية الحركة ، فعندئذ :-

$$\Delta X \cdot \Delta P \geq \frac{h}{2\pi}$$

ولهذا يوصف اوربيتال الالكترون بكونه حجماً معيناً يحتمل وجود الالكترون ضمنه .

## Schrodinger Equation

## معادلة شرودنجر

لقد كان شرودنجر اول من استغل عام 1925 فرضية دي برولي لانه تفسير لبنية الذرة . وقد انطلق شرودنجر من فكرة امتلاك الالكترون للصفات الموجية حيث تمكن من وصف سلوكه بدلالة الموجة ( $\psi$ ) التي تحدث احداثيات الموقع وكذلك الزمن الذي يتواجد فيه الكترون ما في اوروبا ما . وتمثل هذه الدالة الحل الصحيح لمعادلة الموجة التي تصف سعة موجة الالكترون . اما قيمة مربع دالة الموجة ( $\psi^2$ ) فهي مقياس مباشر للاكتملة للالكترون في اي موقع من فضاء الذرة . وبعبارة اخرى ياحتمال وجود الالكترون في منطقة ما بازياد قيمة السعة الموجية  $\psi$  تلك المنطقة .

لقد وضعت العلاقة التي تربط بين طاقة الالكترون في ذرة الهيدروجين ودالته الموجية لأول مرة من قبل العالم شرودنجر Schrodinger . ان العلاقة التي تعتمد على نظرية ميكانيك الكم الحديثة تعرف بعد شرودنجر لوصف الحركة الموجية للالكترون في الذرة . ويمكن ان نذكر كمايلي :-

$$\nabla^2 \psi + \frac{8\pi^2 \mu}{h^2} (E - V)\psi = 0$$

وتمثل  $\mu$  الكتلة المصححة Reduced mass للالكترون :

$$\mu = \frac{mM}{m + M}$$

حيث  $M =$  كتلة النواة و  $m =$  كتلة الالكترون . وتمثل  $E$  الطاقة الكلية

للالكترون بقسميها الطاقة الكامنة  $V$  والطاقة الحركية  $(\frac{1}{2} mv^2)$  .

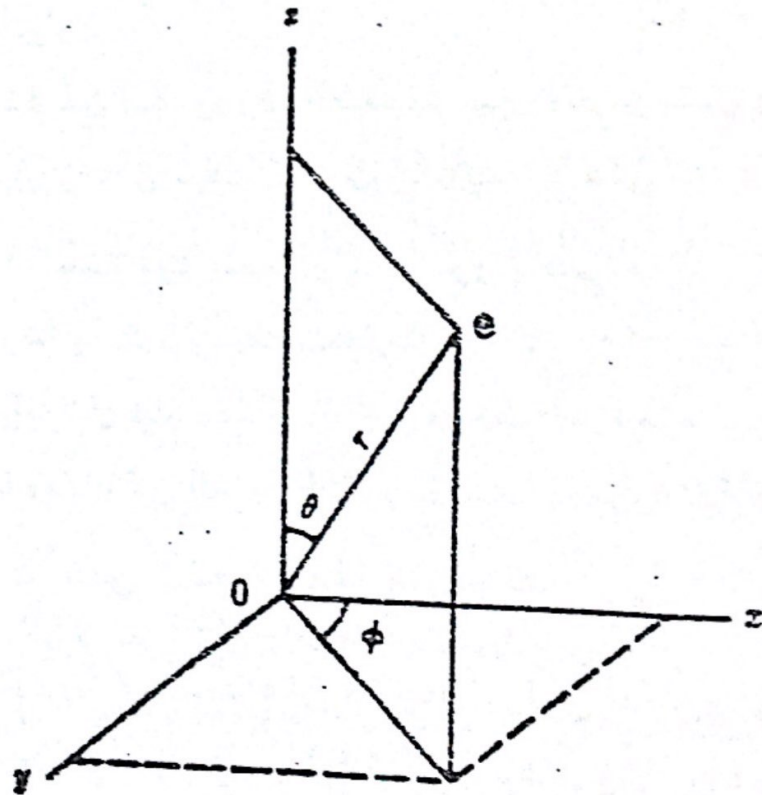
يمكننا الحصول على حلول مقبولة لمعادلة شرودنجر لدالة موجية معقدة باستخدامنا للمعادلة التالية :

$$\Psi_{n,l,m_l}(\tau, \theta, \phi) = R_{nl}(\tau) \cdot \theta_l(\theta) \cdot \phi_{ml}(\phi)$$



نجد ان المعادلة السائفة قد كتبت بدلالة المحاور القطرية Polar-Co-ordinates  $r, \theta, \phi$  ، حيث تمثل  $r$  بعد الالكترون عن النواة (نصف القطر) اما  $\theta$  و  $\phi$  فتمثلان الزوايا المعصورة بين موقع الالكترون ( $e$ ) ومحاور ديكارت شكل (20-1).

اما  $n, l$  و  $m$  فهي تمثل اعداد الكم الرئيسي والثانوي والمغناطيسي على التوالي . وهذا ما يجعل معادلة الموجة تنقسم الي دالة قطرية للموجة  $R_{nl}(r)$  وتعتمد على بعد الالكترون من النواة ولها حلول محددة بمقادير  $n$  و  $l$  فقط . ودالتين زاوية للموجة  $\theta_{nlm}(\theta)$  و  $\phi_{nlm}(\phi)$  وتعتمدان على الموقع الفضائي للالكترون ولهما حلول مقبولة ومحددة بمقادير  $l$  و  $m$  فقط بالنسبة للدالة الاولى ولماقادير  $m$  فقط بالنسبة للدالة الثانية .



شكل 20-1 : يوضح موقع الالكترون  $e$  نسبة الى المحاور القطرية .

ويمكننا الحصول على عدد لامتناه من الحلول لمعادلة شرودنكر ، إلا ان  
الحلول المعقولة هي تلك التي تفي بالشروط الثلاثة الآتية :-

1- يجب ان تكون قيمة دالة الموجة ( $\psi$ ) محددة ومستمرة . وان لاتأخذ  
القيمة مالانهاية ( $\infty$ ) ، ولكن يمكنها ان تأخذ القيمة صفر .

2- يجب ان يكون هناك قيمة واحدة للحل .

3- يجب ان تكون الاحتمالية الكلية لوجود الالكترتون ضمن مجموع  
الفضاء المحيط بالنواة (من الصفر الى مالانهاية) مساويا الواحد الصحيح .

اي ان  $\int_0^{\infty} \psi^2 d\tau = 1$  ، تمثل وحدة الحجم التي يتواجد فيها الالكترتون . وهذا

يدل على ان قيمة دالة الموجة ( $\psi$ ) تقرب من الصفر كلما ابتعد الالكترتون  
عن النواة .

انه لمن الضروري التمييز بين الاوربيتال وبين احتمالية انتشار  
الالكترتون . ان شكل أي اوربيتال يعتمد على تغيير  $\psi$  نسبة الى  $r$  في حين  
تعتمد احتمالية انتشار الالكترتون على تغير  $\psi^2$  مع  $r$  وهذه من الممكن  
تصورها بشكل غيمة مشحونة .

فللاوربيتال  $s$  يتخذ كل من الاوربيتال واحتمالية انتشار الالكترتون شكلا  
كرويا وذلك لان الحلول المقبولة لمعادلة شرودنكر لاتعتمد على  $\phi$  و  $\theta$  وان  
تعتمد على  $r$  فقط . ولما كان المقدار  $\int \psi^2 d\tau$  (الممثل لاحتمالية وجود

الالكترتون) لايعتمد على الاتجاه الزاوي لذلك يكون شكل الاوربيتال  $s$   
تماثل كروي حول النواة شكل (a 21-1) . وتكون احتمالية وجود الالكترتون  
على غلاف الكرة اكبر من 90% شكل (c,b 21-1) من الاحتمالية الكلية . ا  
نصف قطر الاوربيتال  $s$  الذي يتضمن 100% من الاحتمالية الكلية فيه



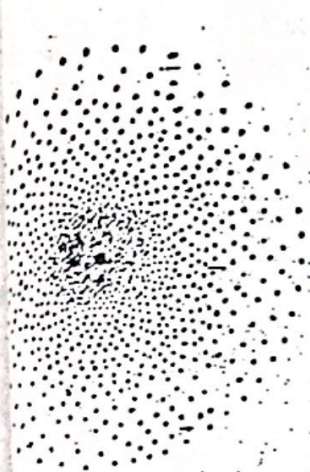
الى اللانهاية كما يتبين من العلاقة  $(\int_0^{\infty} \psi^2 d\tau = 1)$  . واما بالنسبة

للاحتمالية 90% تكون العلاقة  $\int_0^{\infty} \psi^2 d\tau$  مساوية الى 0.90 ، حيث  $r$  تمثل

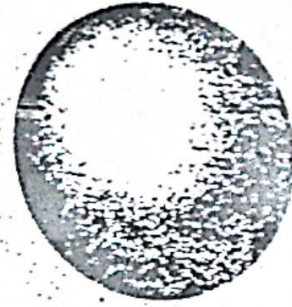
نصف القطر الاختياري للكروية الممثلة للاوربييتال ونستطيع توضيح الوصف الفيزيائي للاوربييتال  $s$  من خط بياني يبين العلاقة بين المقدار  $(4\pi r^2 \psi^2(r))$  وبين المسافة  $r$  من النواة . ويمثل هذا الخط البياني احتمالية التوزيع القطري Radial probability distribution الذي يمثل احتمالية وجود الالكتران ضمن غلاف كروي رقيق للغاية سمكه  $dr$  يبعد بمسافة  $r$  من النواة شكل (22-1) .

اما بالنسبة الى اوربييتالات  $p$  و  $d$  التي تعتمد دالة الموجة فيها ليس فقط على مقدار  $r$  (كما في حالة الاوربييتال  $s$ ) بل تعتمد ايضا على مقادير  $\phi$  و  $\theta$  اللتان تعتمدان بدورهما على قيم  $l$  و  $m_l$  . فان اشكال اوربييتالات  $p$  الثلاثة و  $d$  الخمسة ليس لها تماثل كروي وانما تتكون من عدد من الفصوص المتعامدة على بعضها البعض .

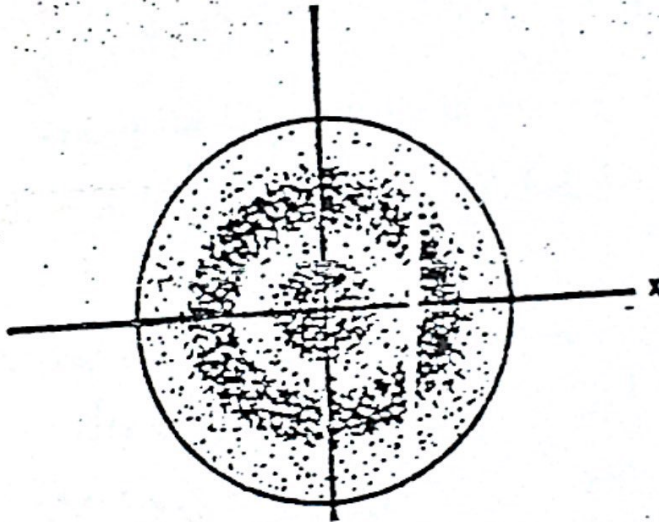
عندما  $(l = 1)$  يكون للمستوى الثانوي  $p$  (كما لاحظنا سابقا) ثلاث قيم لعدد الكم المغناطيسي  $m_l$  وهي  $(+1, 0, -1)$  وهذا يدل على ان هناك ثلاثة اوربييتالات  $p$  متشابهة تماما في كل مستوى كمي رئيسي واحد . وتتخذ الكثافة الالكترونية لاوربييتالات  $p$  شكلا ثنائي الفص شكل (23-1) متمركزة على ثلاثة محاور عمودية  $x$  و  $y$  و  $z$  بحيث تقع النواة في نقطة التقاطع وتدعى هذه الاوربييتالات  $p_x, p_y, p_z$  على التوالي شكل (24-1) وتكون



(b)



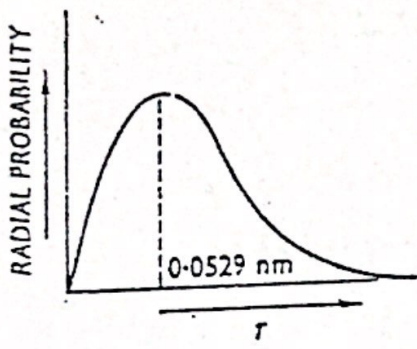
(a)



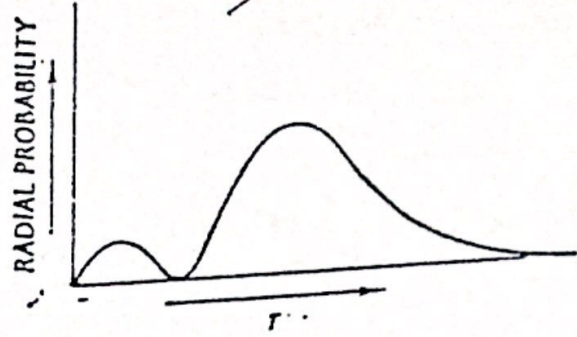
(c)

شكل 21-1 : (a) الشكل الكروي للاوربيتال s . (b) احتمالية وجود  
الالكترون في الاوربيتال 1s . (c) مقطع عرضي في ذرة الهيدروجين يظن  
التوزيع الالكتروني 2s .





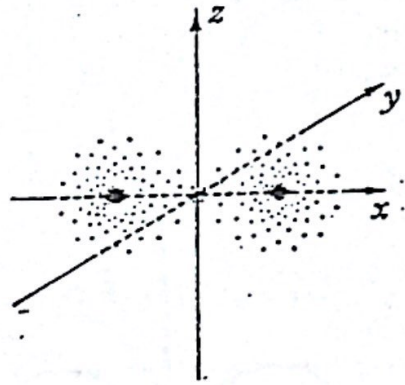
(a)



(b)

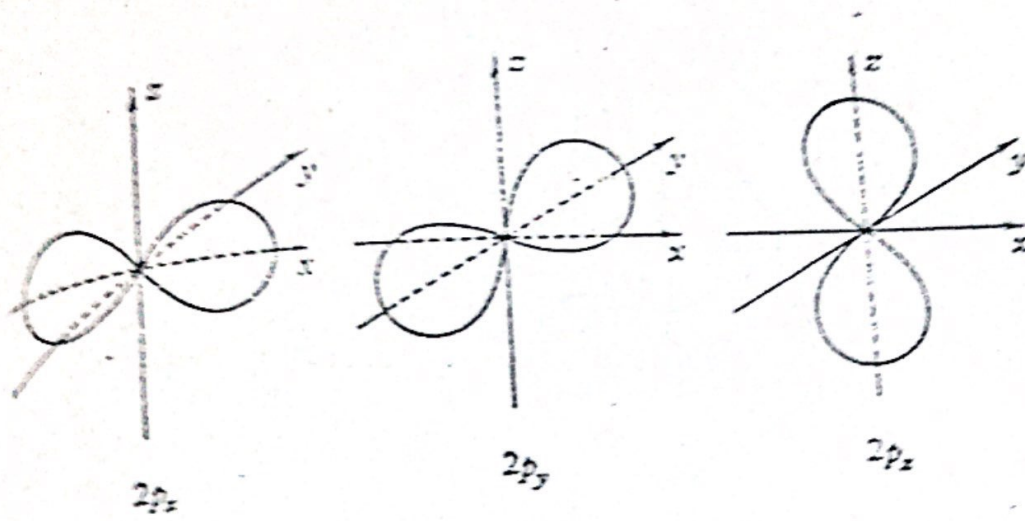
شكل 22-1 : تغيير الدالة القطرية مع  $r$  لـ (a) اوربيتال 1s (b) اوربيتال 2s (2s) .  
 في (a) نجد ان اعلى احتمالية قطرية يمكن الحصول عليها عندما  $r = 0.0529 \text{ nm}$  ، حيث يشير الي نصف القطر الاكثر احتمالا للحالة المستقرة في ذرة بور .

طاقة الاوربيتالات الثلاثة اعلى قليلا من طاقة الاوربيتال s العائد لنفس عدد الكم الرئيسي .

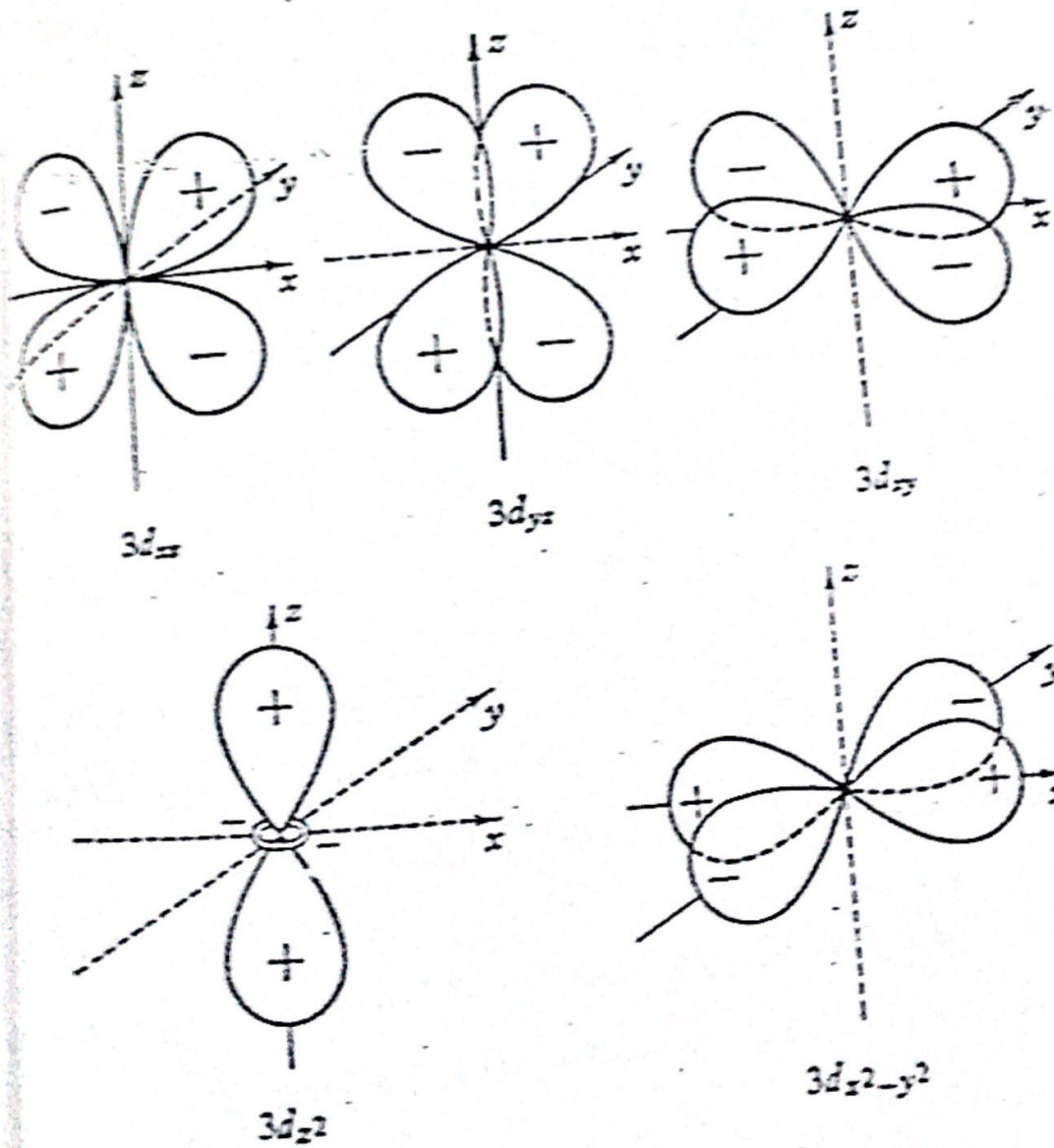


شكل 23-1 : الكثافة الالكترونية لاوربيتال  $2p_x$  .

وعندما (2 -  $l$ ) نتوقع ان يكون للغلاف الثانوي d خمسة اوربيتالات بسبب وجود القيم الخمسة لعدد الكم المغناطيسي  $m_l$  وهذه الاوربيتالات هي  $d_{x^2-y^2}$  و  $d_{z^2}$  ،  $d_{xy}$  ،  $d_{yz}$  ،  $d_{xz}$  وتكون عادة اكثر تعقيدا من اوربيتالات s و p كما يتضح من الشكل (25-1) .



شکل 24-1 : اوربیتالات  $2p$ .



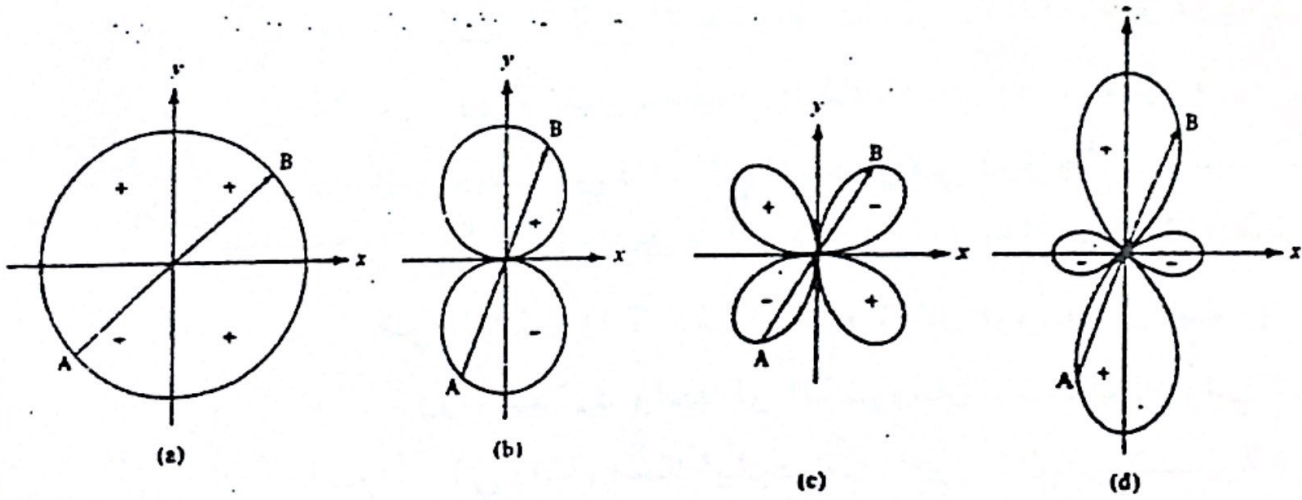
شکل 25-1 : اوربیتالات  $3d$ .



## الأوربيتالات المتماثلة وغير المتماثلة

يعتبر أوربيتال  $s$  الكروي المنتظم متماثلاً إذاً إشارة الدالة الموجية الزاوية هي نفسها في كل مكان . فإذا وصلنا خطاً مستقيماً بين نقطة على سطح الأوربيتال  $s$  ونقطة أخرى تقع على نفس البعد في النواة مرورا بالنواة ، نجد أن لدالة الموجة في المنطقة الثانية نفس المقدار ونفس الإشارة الموجبة . يدعى الأوربيتال الذي له هذه الخاصية بأنه أوربيتال متماثل أو ذات تماثل منتظم (gerade) ويرمز له بالحرف (g) .

وتعد أوربيتالات  $d$  متماثلة أيضاً . أما الأوربيتالات التي تختلف إشارة دالة الموجة عند نهايتي الخط المستقيم فيها فتدعى بالأوربيتالات غير المتماثلة أو ذات التماثل غير المنتظم (ungerade) ويرمز لها بالحرف (u) كما في أوربيتالات  $p$  و  $f$  . ويبين الشكل (1-26) مخططاً للجزء الزاوي من الدوال الموجية في هذه الاتجاهات .



شكل 1-26 : الدوال الموجية الزاوية لأوربيتالات  $s$  ،  $p$  ، و  $d$  التي توضح التماثل المنتظم وغير المنتظم (a) أوربيتال  $s$  منتظم (b) أوربيتال ( $p$ ) غير منتظم (c,d) أوربيتالات  $d_{xy}$  و  $d_{z^2}$  وكلاهما منتظم .

## تسلسل مستويات الطاقة الثانوية

إن الترتيب الإلكتروني الأكثر استقراراً في ذرة ما في الحالة الطبيعية أو المستقرة (ground state) هو الذي يجعل طاقتها أقل ما يمكن

ضمن الحدود المقبولة لاعداد الكم الاربعة أنفة الذكر .

لقد تم تحديد مستويات الطاقة للأغلفة الثانوية المختلفة التي يمكن تشغيلها من قبل الكترون معين بواسطة معلومات طيفية . ويمكن التوسع في بناء الترتيب الالكتروني للذرات اعتمادا على مستويات الطاقة هذه وعلى موقع الذرة المعنية في الجدول الدوري بالإضافة الى المعلومات التي توفرها اعداد الكم الاربعة . ان الطاقة النسبية للمستويات الثانوية في ذرة معينة ، كما وجدت من القياسات الطيفية في الشكل (27-1) .

يتغير موقع اي مستوى ثانوي نسبة الى المستوي الثانوي الاخر بتغيير العدد الذري (z) للعنصر . فمثلا يكون تسلسل طاقة المستويات الثانوية المختلفة في ذرة الهيدروجين كالتالي :

$$1s < (2s = 2p) < (3s = 3p = 3d) < (4s = 4p = 4d = 4f) < \dots$$

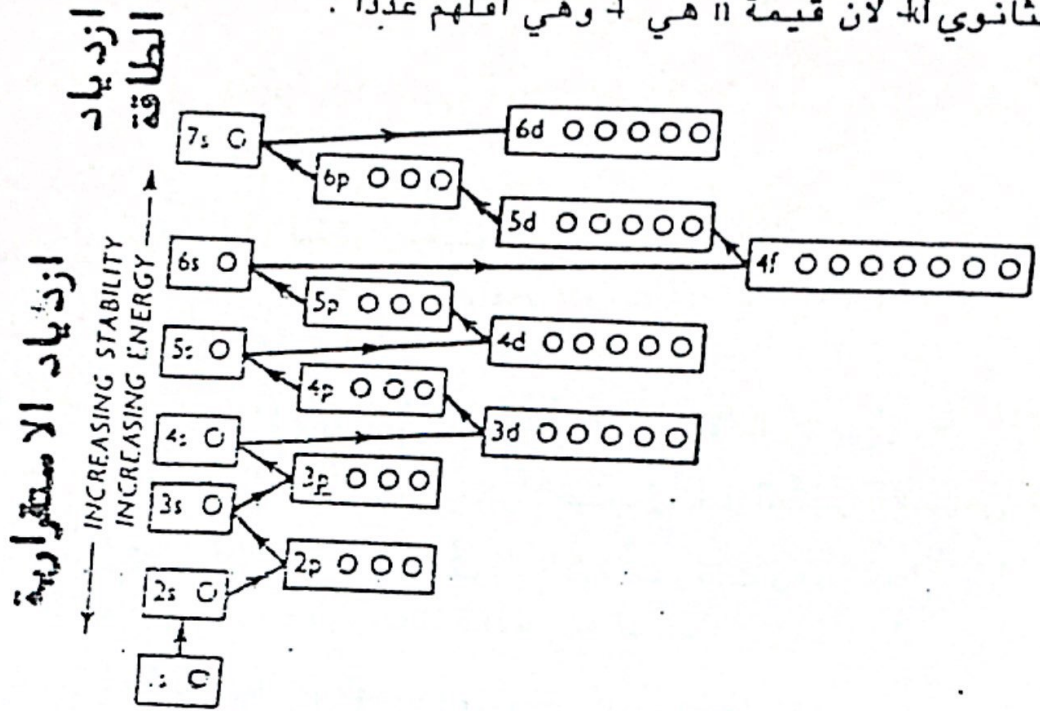
اما في ذرة متعددة الالكترونات كذرات العناصر الاخرى فلا يحتفظ غلاف ثانوي بنفس مستوي الطاقة الذي يكون عليه في ذرة الهيدروجين ويعود السبب في ذلك الي التغيير في قوة جذب النواة للالكترونات كما تغيرت الشحنة الموجبة علي النواة .

في الشكل (27-1) كل دائرة تمثل اوربيتال معين يمكن ان يشغله بالكترون منفرد واحد او الكترونين متعاكسين في البرم . تقع الدوائر في داخل مستطيلات تمثل اوربيتالات متساوية في الطاقة . عند المرور خلال الجدول الدوري للعناصر فان الالكترونات تشغل مستويات الطاقة بالطريقة التي يوضحها السهم في الشكل (27-1) . الترتيب الصحيح الذي يكون ربما اكثر سهولة في التذكر هو المذكور بالشكل (28-1) ويمكن تذكر هذا التسلسل بتطبيق القاعدة التي تعرف على مجموع عددي الكم الرئيسي والثانوي وكما يلي :

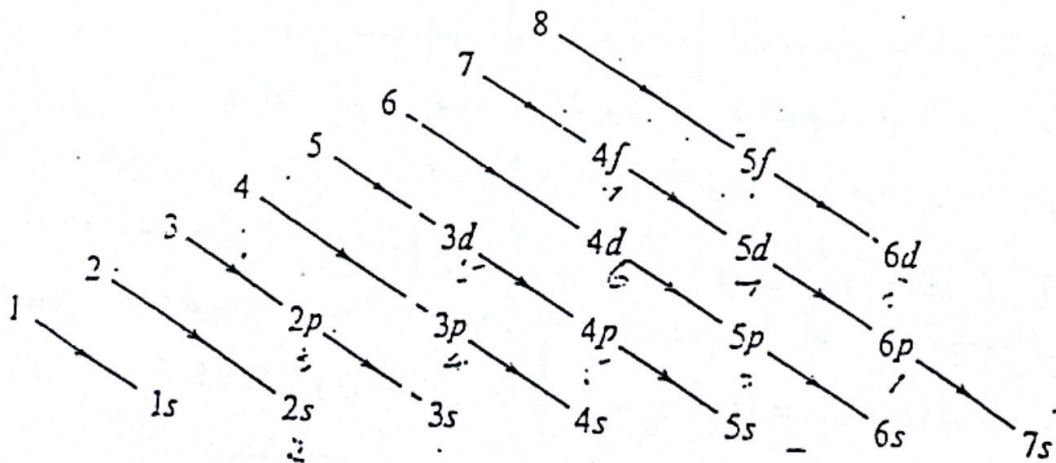
تزداد طاقة المستويات الثانوية كلما ازدادت قيمة  $(n+l)$  واذا تساوى هذا القيمة لمستويين ثانويين او اكثر فاقلهم طاقة من له اقل قيمة للكم  $(n)$  وبتطبيق هذه القاعدة نجد ان طاقة المستوي الثانوي  $3p$  اعلى من طاقة المستوي الثانوي  $3s$  وذلك لان  $(n+l)$  لهما هي 4 و 3 على التوالي



اما مستويات الطاقة الثانوية 6s , 5p و 4d فلها نفس قيمة (n + l) وهي 6، وبتطبيق النصف الثاني من القاعدة المذكورة اعلاه نجد ان المستوى الثانوي (6s) هو اعلاهم طاقة لان قيمة n له تساوي 6 ويتبعه المستوى الثانوي (5p) لكون قيمة n هي 5، واولهم طاقة هو المستوى الثانوي (4d) لان قيمة n هي 4 وهي اقلهم عددا .



شكل 1-27 : المستويات النسبية التقريبية لطاقة الاوربيتالات في ذرة معينة .



شكل 1-28 : الطاقة النسبية للمستويات الثانوية لذرة متعددة الالكترونات .

ان عملية بناء الذرات المتعددة الالكترونات هذه تعود الى قاعدة بناء بقاعدة البناء (Aufbau principle) وتنص على ان احسن موقع هو الذي يشتمل اولا واستنادا الى ذلك فان ملء مستويات الطاقة الثانوية لذرة متمسك الالكترونات يتم وفقا للترتيب التالي :

$$1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f \approx 5d, 6p, 7s, 5f, \approx 6d$$

## ترتيب الالكترونات في الذرات

### The Arrangement of Electrons in Atoms

ان التوزيع الالكتروني الحقيقي لذرة ما يتعين بعدد الكتروناتها و يستند الى قاعدتين يمكن اعتبارهما الحجر الاساس تقريبا لبناء التركيب الذري وطريقة توزيع الالكترونات وهما :-

### 1- قاعدة باولي للاستبعاد

#### Pauli's Exclusion Principle

تنص هذه القاعدة على انه " ليس هناك الكترونان في ذرة واحد يمكن ان يكون لهما نفس اعداد الكم الاربعة من هذا يمكن القول ان يجب الالكترونات في اية ذرة يجب ان تكون متميزة عن بعضها . وهكذا انا اعداد الكم الاربعة لالكتروني ذرة الهيليوم ( $Z=2$ ) في الحالة المستقرة تكون كالتالي :-

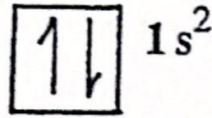
$$\text{للكترون الاول : } n = 1, l = 0, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$$

$$\text{للكترون الثاني : } n = 1, l = 0, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$$

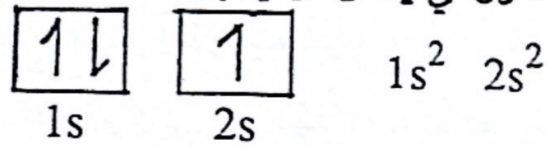
ومنه يتبين لنا بان لالكتروني ذرة الهيليوم في الاوربييتال  $1s$  به مختلف ولا يتعارض وصفهما مع مبدأ باولي ، وسنختصر التركيب

الالكتروني الاوربييتالي للهيليوم  $1s^2$  بالتمثيل التالي :-

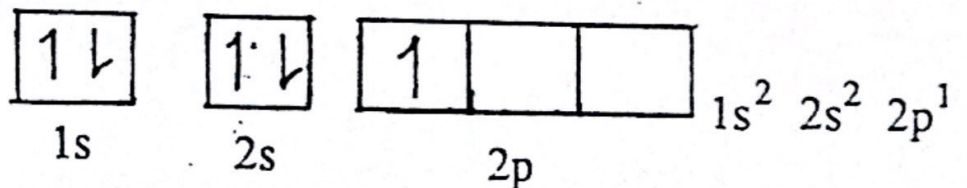




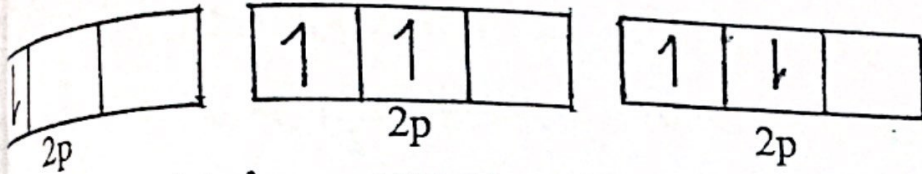
حيث يمثل المربع ( او يرسم على شكل دائرة) الاوربييتال ، وتمثل الاسهم عدد الالكترونات التي يحتويها الاوربييتال . اما اتجاه السهم فانه يمثل عدد كم اليرم للالكترون على اعتبار ان قيمة  $m_s$  لرأس السهم الموجه الى الاعلى هي  $(+\frac{1}{2})$  وان قيمة  $m_s$  لرأس السهم الموجه الى الاسفل هي  $(-\frac{1}{2})$  وعندما نتطرق الى ذرة الليثيوم ذات العدد الذري 3 فأننا سنصادف مشكلة اخرى سببها امتلاء المستوى الثانوي  $1s$  كلياً بالالكترونات ولذلك فان الالكترون الثالث يجب ان نضعه في احد الاوربييتالات التالية والتابعة للمستويات الثانوية لعدد الكم  $(n=2)$  . ولان بهذا العدد مستويات ثانوية متعددة هي  $2s$  و  $2p$  وفقاً لقيم عدد الكم، فلا بد ان نتساءل ايها من هذه الاوربييتالات يجب ان نختار؟ لغرض الاجابة على هذا السؤال علينا ان نتذكر الفروق القليلة في طاقة المستويات الثانوية  $d, p, s$  و  $f$  العائدة الى نفس عدد الكم الرئيسي . وبالعودة الى الشكل (1-28) يصبح باستطاعتنا القول ان المستوى الثانوي  $2s$  هو اوطأ طاقة في وضع استقرارها سيحتل الاوربييتال الوحيد في المستوى الثانوي  $2s$  . اي ان الترتيب الالكتروني يمكن ان يعبر عنه كما يلي :-



ويمتلئ المستوى الثانوي  $2s$  بالعدد المطلوب من الالكترونات في ذرة البريليوم التي عددها الذري  $(Z=4)$  . أما ذرة البورون التي عددها الذري  $(Z=5)$  فسيكون لها الالكترون خامس يحتل احد اوربييتالات المستوى الثانوي  $2p$  كالاتلي



وبزيادة العدد الذري الى 6 ، حيث ذرة الكربون فان لنا الاختيار والاشياء  
 في تحديد الاوربييتال الذي سيدخله هذا الالكترون بسبب توفر عدد  
 الترتيبات الممكنة في اوربييتالات 2p الثلاثة . ومن بين هذه الترتيبات  
 الاحتمالات الثلاثة التالية :



ومع ان جميع هذه الترتيبات المحتملة تتفق ومبدأ باولي وتخضع ل  
 غير ان هناك سؤالاً يطرح نفسه يتمثل في اي من الترتيبات  
 بالضبط هي المعبرة عن الحالة المستقرة لذرة الكربون ؟ ان الاختيار  
 ان يتم بالاستشهاد وتطبيق قاعدة اخرى تسمى بقاعدة هوند .

### قاعدة هوند Hund's First Rule

لقد وضع هوند عدداً من القواعد تنص الاولى منها على ان الالكترون  
 تتوزع باسلوب منفرد في الاوربييتالات المتساوية الطاقة قدر المستطاع  
 وحيث ان الالكترونات سالبة الشحنة ، فان لها ميلاً طبيعياً لان تتنا  
 مع بعضها ، لذلك فهي توزع انفسها بين الاوربييتالات المتوفرة ذات الط  
 المتساوية بطريقة بحيث تكون بعيدة عن بعضها جهد الامكان ، لذلك ن  
 الترتيب الالكتروني الذي يحتوي على اكثر عدد من البرم المتوازي ي  
 اوطاً تنافر الكتروني . ولهذا فعند ملء الاوربييتالات الثلاثة ف  
 والخمسة في d والسبعة في f المحددة بنفس عدد الكم الرئيسي ، ت  
 الالكترونات في الاوربييتالات المتوفرة بصورة مفردة اولاً ، ثم ي  
 الازدواج بعد ان تملأ الاوربييتالات .

وفي ضوء ماتقدم فان الترتيب الاكثر استقراراً لذرة الكربون سيكون

