الفصل الثانى

نموذج ميكانيكا الموجة للذرة

Wave Mechanical Model of the Atom

مقدمة الفصل :

درس نيوتن فكرة الميكانيكا الكلاسيكية والتى تعتمد على الاستمرار، ولكن تم استبعاد هذه الفكرة وذلك لوجود بعض العيوب التى ظهرت فيها ، والتى أمكن تفسيرها فيما بعد بفكرة الاستمرار التى عرضها نيوتن وهذه هى :

(a) الأشعة تحت الحمراء (إشعاع الجسم الأسود) :

كمية الطاقة التى يمتصها الجسم تام السواد عند مختلف الأطوال الموجية لا يمكن تفسيرها على ضوء الميكانيكا الكلاسيكية، اقترح بلانك (1900) أن هذه الطاقة يمكن أن تتواجد على شكل مضاعفات لكم ثابت، أى أنها ذرية فى طبيعتها والطاقة المصاحبة لإشعاع تردده ν تعطى بالقيمة التالية :

$$E = h\nu \qquad (26)$$

حيث h هو ثابت بلانك، ويأخذ وحدات (الطاقة × الزمن)، وتسمى هذه القيمة أحياناً بـ " الفعل "، ويطلق عليها : ثابت الفعل.

$$(h = 6.6252 \times 10^{-27} \text{ erg.sec.})$$

(b) الأشعة فوق البنفسجية (التأثير الكهروضوئى) :

عندما يسقط شعاع ضوئى على سطح معدن منظف حديثاً، مثل: الخارصين، السيزيوم، تنطلق إلكترونات من سطح المعدن. ويميز الضوء خاصتان هما : (i) التردد (ii) الطاقة.

وتعتمد الإلكترونات المنطلقة على طبيعة المعدن (الفلز) المستخدم، وعلى تردد الشعاع الساقط. ويعرف تردد الشعاع الضوئى الذى يكفى لانبعاث الإلكترونات من على سطح الفلز بالتردد المشرفى (ν_o)، وإذا استخدم شعاع ضوئى يكون تردده أعلى من التردد المشرفى (ν_o)، فإن الطاقة الزائدة تعطى كطاقة حركة للإلكترونات المنبعثة، ويمكن التعبير عن العلاقة بالمعادلة التالية :

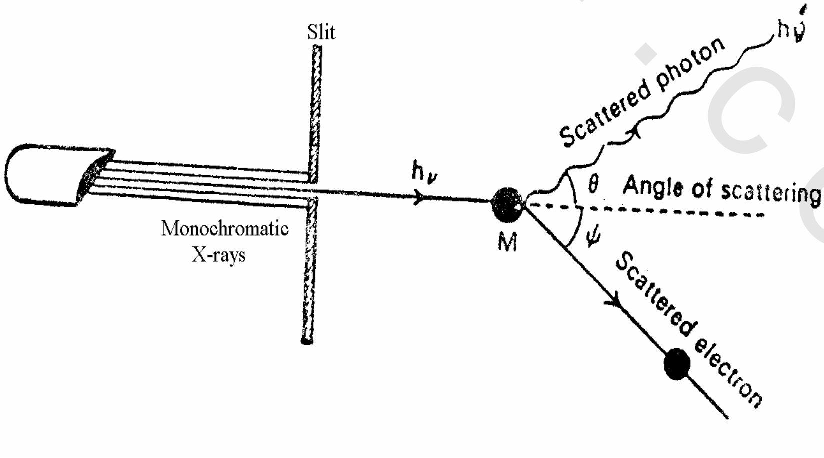
$$h\nu = h\nu_o + \tfrac{1}{2}mv^2 \qquad (27)$$

والقيمة $(1/2mv^2)$ هى طاقة الحركة المعطاة للإلكترونات، وهى المسئولة على انسياب الإلكترونات. ومن المعادلة (2) فإنه عندما تتساوى $\nu = \nu_o$ ، فإن الإلكترونات تنبعث فقط من على سطح الفلز. ويبدو القصور فى العملية لأن الانبعاث الكهروضوئى لايتم إلا إذا زادت قيمة تردد الضوء الساقط ν على الفلز عن التردد المشرفى ν_o.

c) نظرية بوهر لطيف ذرة الهيدروجين :

تأثير كومبتون Compton effect

لاحظ كومبتون عام (1922) أنه إذا اعترض الكربون أو أى عنصر خفيف آخر مسار أشعة أكس (الموحدة الموجة)، فإن أشعة إكس المشتتة الناتجة تختلف فى طولها الموجى عن الطول الموجى للأشعة الساقطة وهذه الأشعة الناتجة والمحورة تكون ترددها منخفض ν وذات طول موجى عالى λأكبر عن الطول الموجى لأشعة X الساقطة ويعرف باسم أثر كومبتون. وهذه الزيادة الناتجة فى الطول الموجى للشعاع المشتت من سطح الفلز مرجعه إلى الانخفاض فى الطاقة، وذلك نتيجة للتداخل الذى حدث بين أشعة X والإلكترونات.



شكل (10): تشتت أشعة أكس

وفى الشكل السابق شكل (10) فإن $h\nu$ هى طاقة الفوتون الذى يصطدم مع السطح (M)، $(h\bar{\nu})$ هى طاقة الفوتون المشتت λ , $\lambda`$ هى الأطوال الموجبة للترددات $\nu$، $\bar{\nu}$. وقد وجد العالم كومبتون أن $(d\lambda)$ أى الفرق فى الأطوال الموجية $(\lambda` - \lambda)$، يعبر عنه بالعلاقة التالية :

$$d\lambda = \frac{2h}{mc} \sin^2 \theta/2 \qquad (28)$$

حيث m هى كتلة الإلكترون، و C سرعة الضوء، و θ هى زاوية التشتت. وتوضح العلاقة (3) أن الفرق فى الطول الموجى $d\lambda$ لايعتمد على الطول الموجى للضوء الساقط λ كما أنه لايعتمد على طبيعة المادة المشتتة.

ظاهرة دى بروجلى لموجات المادة :

تبعاً لدى بروجلى تعتبر المادة والطاقة من الصور المهمة والتى تظهر فيها طبيعة المادة. وحيث إن الطاقة الإشعاعية لها طبيعة مزدوجة وهى المادة (الدقائق الصغيرة) والموجة. فلا بد أن تظهر المادة هذه الطبيعة المزدوجة، وقد كوفئ " دى بروجلى " على ذلك بحصوله على جائزة نوبل عام (1929)، وقد نص على أن هناك علاقة حميمة بين الموجات والجسيمات ليس فقط فى حالة الإشعاع ولكن أيضاً فى المادة. وقد اقترح هذه العلاقة لتوضيح مدى الترابط بين الموجة وطبيعة الإلكترون.

$$\lambda = \frac{h}{m\nu} \qquad (29)$$

حيث (m) هى كتلة الإلكترون الذى يتحرك بسرعة ν والطول الموجى λ هو طول الضوء المنبعث وعليه فإنه فى نموذج دى بروجلى للتركيب الذرى نجد أن الإلكترون يتواجد كأنه موجة ثقف فى كل مدار. وقد لوحظ أن المدار يمكنه أن يحتوى على موجه كاملة، وعلية يكون تبعا لفرضية بوهر ومن وجهة النظر الرياضية فإن محيط المدار والذى نصف قطره (r) تكون قيمته هى $2\pi r$، $2\pi r = n\lambda$ حيث أن n هو رقم صحيح .

وحيث إن :

$$\lambda = \frac{h}{m\nu}$$

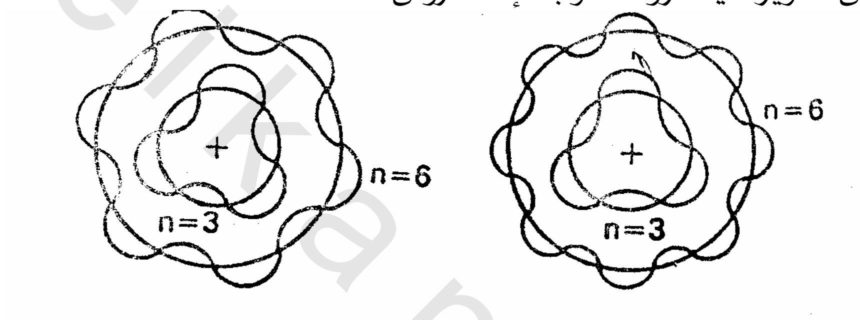
$$\therefore \quad 2\pi r = \frac{nh}{m\nu} \qquad (30)$$

أو :

$$m\nu r = n.h/2\pi \qquad (31)$$

وهذه هى فرضية بوهر للمضاعفات.

وتعتبر فرضية بوهر للمضاعفات أحد النجاحات لهذا النموذج، وقد أدى ذلك إلى تطوير الميكروسكوب الإلكترونى.



شكل (11): موجات دى بروجلى

ولقد برهن كل من " دافيسون " و " جيرمر " على صحة معادلة دى بروجلى عمليا وذلك بتجربة الحيود الإلكترونى.

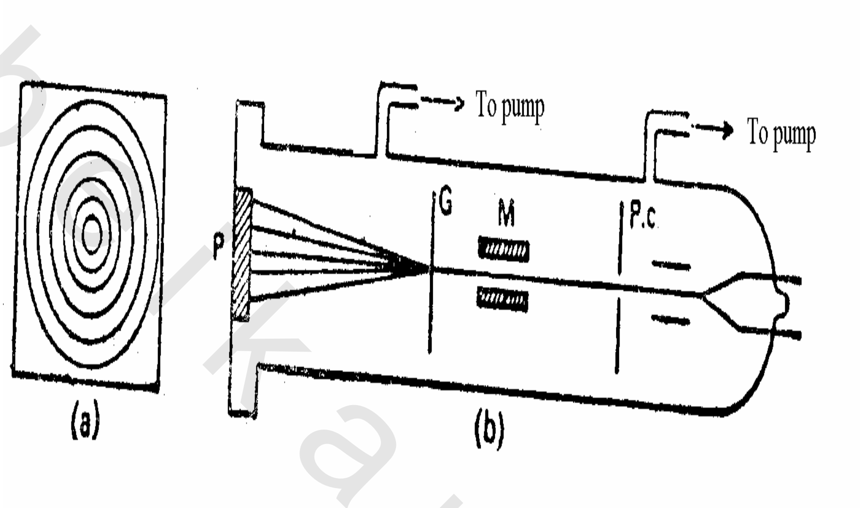
وقد وجد أنه من الممكن تسريع أو تبطئ حركة الإلكترونات؛ أى من الممكن تغيير عزم الإلكترونات وذلك بإمرارها عبر مجال كهربى. فإذا زاد العزم إلى الضعف ينقص الطول الموجى إلى النصف، فى حين أن الحلقات المتداخلة تصغر إلى نصف حجمها. ومن حجم الحلقات يمكن القول بأن الطول الموجى للإلكترونات يكون مساويا فى القيمة للطول الموجى لأشعة إكس. ويتضح ذلك فى الشكل (11).

تجربة طومسون :

عندما يسمح لشعاع من الإلكترونات (المسرعة) للمرور خلال فتحة ضيقة تظهر حلقات متتابعة على الفيلم الفوتوغرافى (فيلم التصوير الفوتوغرافى)

ويظهر نموذج للصورة. فى الشكل (12a) الجهاز المستخدم موضح فى الشكل (12b).

وقد وجد أن أنصاف أقطار الحلقات تقل بزيادة سرعة الإلكترونات كما هو متوقع من علاقة دى بروجلى.



شكل (12): جهاز طومسون

الفيلم الفوتوغرافى $P =$

شريحة ذهب رقيقة $G = (10^{-6}\ cm)$

سد معدنى لعمل حزمة $M =$

كاثود مثقب لتسريع الحزمة P.C.

مبدأ هيزنبرج لعدم التأكد :

أوضحت ميكانيكا الكم أنه يمكن التعرف على موضع الدقيقة (الالكترون) وعزمها فى حدود ضيقة. وهو ما يبدو ذات أهمية قصوى فى العالم التحت ميكروسكوبى للذرات والدقائق الذرية.

ونصت قاعدة عدم التأكد على أنه: " فى القياسات الخاصة بموضع وعزم الجسيم أى أن حاصل ضرب عدم التأكد $\Delta p.\Delta q$ يساوى أو أكبر من ثابت بلانك h ".

$$\Delta p.\Delta q \geq h \qquad (32)$$

حيث Δp هو عدم التأكد من تقدير عزم الجسيم، أما Δq فهى عدم التأكد من تقدير موضع الجسيم.

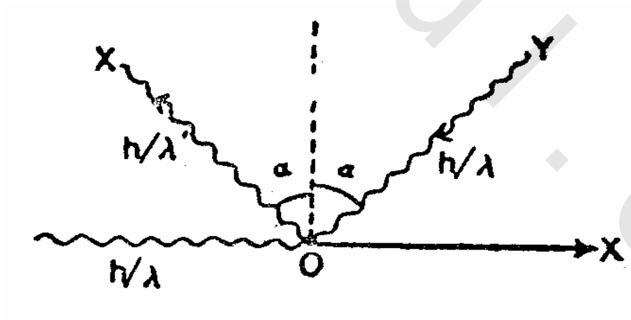
ويمكن تطبيق هذا المبدأ لأى كميتين متلازمتين أى الطاقة والزمن وفى الوقت الحاضر يعتبر هذا المبدأ من المبادئ الأساسية فى الطبيعة.

ولشرح هذا المبدأ رياضياً نجرى ما يلى :

(a) نفرض أن إلكترونا فى موضع ما عند (O)، يمكن متابعة هذا الإلكترون بمساعدة ميكروسكوب الأشعة السينية والذى يعطى قوة تكبيره بالعلاقة التالية :

$$\Delta q = \frac{\lambda`}{2 \sin \alpha} \qquad (33)$$

حيث Δq هى عدم التأكد من تقدير موضع الإلكترون، $\lambda`$ هى الطول الموجى للفوتون الداخل إلى الميكروسكوب بزاوية قدرها α، والآن يسمح لفوتون طوله الموجى λ (أى أن عزمه h/λ) بأن يصطدم بالإلكترون. سوف يتشتت الفوتون نتيجة اصطدامه بالإلكترون.



شكل (13): تشتت الضوء بالإلكترون

ويدخل الميكروسكوب إما على طول الخط OX أو OY (شكل 13) فإذا كان طول موجة الفوتون المشتت هو $\lambda`$ (أى أن العزم يساوى $h/\lambda`$) نحصل على المعادلات التالية :

عزم الإلكترون عندما يتشتت الفوتون على طول الخط OX أى أن :

$$\frac{h}{\lambda} + \frac{h}{\lambda'} \sin\alpha \qquad (34)$$

أما عزم الإلكترون عندما يتشتت الفوتون على طول الخط OY، فيعطى بالعلاقة :

$$\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \sin\alpha \qquad (35)$$

من المعادلتين (32) ، (33)، يتضح أن الإلكترون يمكن أن يأخذ أى قيمة بين القيمتين المعطيتان فى المعادلتين (34) ، (35). وعليه فإن عدم التأكد فى العزم يعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$\Delta P = \left(\frac{h}{\lambda} + \frac{h}{\lambda'} \sin\alpha\right) - \left(\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \sin\alpha\right) = \frac{2h}{\lambda'} \sin\alpha \qquad (36)$$

ومن المعادلتين (33) ، (36) نحصل على العلاقة التالية :

$$\Delta p.\Delta q = \frac{2h}{\lambda'} \sin\alpha \;.\; \frac{\lambda`}{2\sin\alpha} = h$$

وفى التقدير الحقيقى يكون الخطأ دائماً أكثر من أقل قيمة ممكنة للمعامل (h) وعليه فإن :

$$\Delta p.\Delta q \geq h \qquad (37)$$

معادلة شرودنجر للموجة :

استخدم شرودنجر فكرة دى بروجلى عن موجات المادة، وحاول وضعها فى صورة نظرية رياضية. وعليه أمكن دمج علاقة دى بروجلى فى معادلة الموجه الكلاسيكية.ويوضح الشكل العام لنظرية الكم أنه يمكن معاملة المادة كأنها موجه، وأنه أمكن وصف هذه الموجات بالمعادلة الخاصة (بالخيط المهتز) أى أن :

$$\psi = A \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \qquad (38)$$

حيث ψ تسمى دالة الموجة ويمكن التعبير عنها رياضياً فى صورة دالة مثلثية جيبية للإزاحة x والطول الموجى λ. وأشار شرودنجر لمعادلة الجيب الموجية إلى الالكترون على أنه الشئ الذى يصف سلوك الالكترون فى صورة طاقة حركته وطاقة وضعه. وبمفاضلة المعادلة (38) نحصل على :

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{2\pi A}{\lambda} \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \qquad (39)$$

وبمفاضلة المعادلة رقم (39) مرة ثانية، نحصل على :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{4\pi^2 A}{\lambda^2} \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \qquad (40)$$

حيث إن ψ تعطى بالقيمة :

$$\psi = A \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$$

ويمكن كتابة المعادلة (40) فى الصورة التالية :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{4\pi^2}{\lambda^2} \psi \qquad (41)$$

وطاقة الحركة لجسيم كتلته m يتحرك بسرعة قدرها ν يمكن التعبير عنها بما يلى :

$$K.E. = \tfrac{1}{2} m \nu^2 \qquad (42)$$

حيث m هى الكتلة، ν هى السرعة. وبضرب وقسمة الطرف الأيمن للمعادلة (42) فى (m) نصل إلى :

$$K.E. = \tfrac{1}{2} \frac{m^2\nu^2}{m} \qquad (43)$$

وهكذا أمكن التعبير عن معادلة دى بروجلى فى الصورة التالية :

$$m\nu = \frac{h}{\lambda} \qquad (44)$$

وبتربيع طرفى المعادلة (44) نصل إلى :

$$m^2\nu^2 = \frac{h^2}{\lambda^2} \qquad (45)$$

وبمقارنة المعادلة (43) بالمعادلة (45) نحصل على :

$$K.E. = \frac{1}{2m} \frac{h^2}{\lambda^2} \qquad (46)$$

ومن المعادلة (41) نحصل على العلاقة التالية :

$$\lambda^2 = -\frac{4\pi^2\psi}{\frac{d^2\psi}{dx^2}} \qquad (47)$$

وبالتعويض عن قيمة λ^2 من المعادلة (47) فى المعادلة (46)، فإن :

$$\therefore \quad K.E. = -\frac{1}{2m} \frac{h^2}{4\pi^2\psi} \cdot \frac{d^2\psi}{dx^2}$$

$$K.E. = \frac{-h}{8\pi^2 m\psi} \cdot \frac{d^2\psi}{dx} \qquad (48)$$

وتكون الطاقة الكلية للدقيقة E هى مجموع طاقتى الحركة والوضع، وهكذا نصل إلى العلاقة التالية :

$$K.E. = (E - V) = -\frac{h^2}{8\pi^2 m\psi} \frac{d^2\psi}{dx^2} \qquad (49)$$

وبإعادة ترتيب هذه العلاقة نحصل على المعادلة التالية :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)\,\psi = 0 \qquad (50)$$

وهذه هى معادلة شرودنجر ذات البعد الواحد.

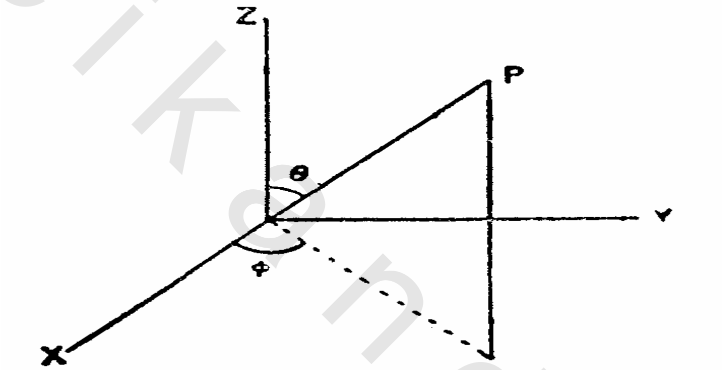
وعندما نتناول تركيب الذرة فإننا نستخدم الثلاثة أبعاد وذلك باستخدام إحداثيات ديكارتية x, y, z، وهكذا يمكن كتابة المعادلة (50) فى الصورة التالية:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} + \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)\,\psi = 0 \qquad (51)$$

حيث ψ ترمز إلى ما يسمى دالة الموجة أو دالة الاحتمال، E هى الطاقة الكلية للنظام والتى تعتبر قيمتها ثابتة للقيمة المعطاة λ، V هى طاقة الوضع

والتى تعتمد على وضع النظام. وحيث إن E ثابتة ، V متغيرة لذا تكون القيمة $(E - V)$ متغيرة أيضاً.

ودالة الموجه هى معادلة تفاضلية من الرتبة الثانية. ويمكن التعبير عن معادلة شرودنجر بإحداثيات قطبية ϕ, θ, r حيث r هى المسافة الشعاعية للنقطة من نقطة الأصل، θ هى ميل الخط الشعاعى إلى المحور x، ψ هى الزاوية الناتجة من المحور x وذلك من إسقاط الخط الشعاعى فى المستوى $(x-y)$. شكل (14) والحلول للدالة ψ تسمى دوال الموجة ويمكن أن يعبر عنها بحاصل ضرب ثلاث دوال كل واحدة فيها تعتمد فقط على أحد الاحداثيات.



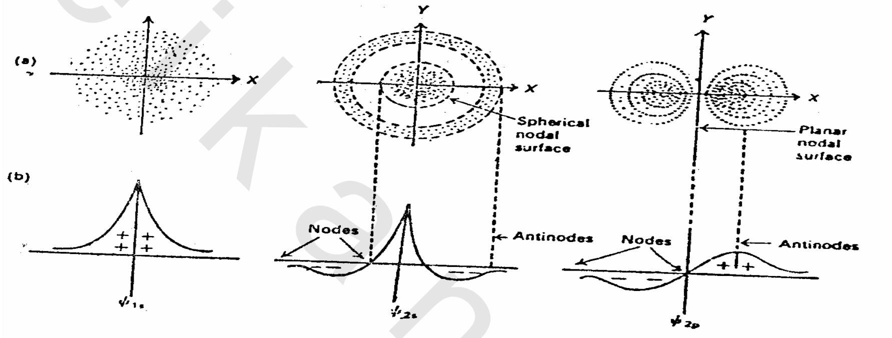
شكل (14): إحداثيات قطبية

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\, \theta(\theta)\, \phi(\phi) \qquad (52)$$

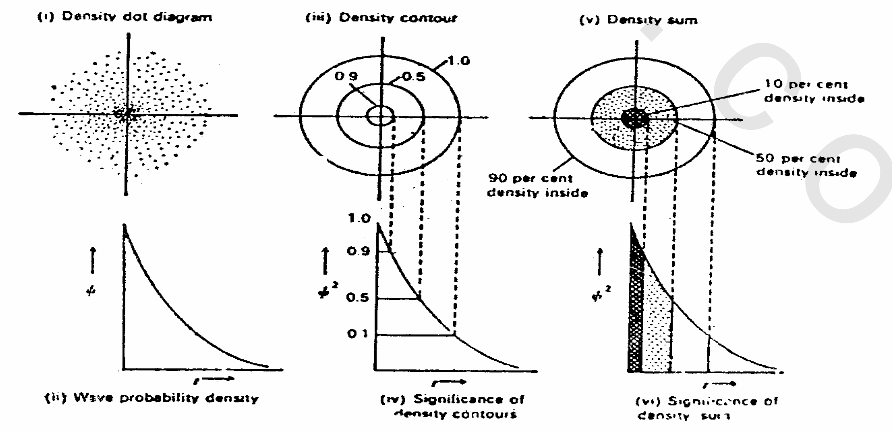
طبيعة دالة الموجه :

تعتبر دالة الموجة ψ أنها نوع من سعة الموجة. فهى ليست قيمة مشاهدة ولكن القيمة التالية $|\psi\psi^*|$ هى المشاهدة حيث إن ψ^* هى القيمة التبادلية للقيمة ψ وهى تعطى احتمال لتواجد الإلكترون فى حجم معين. فإذا كانت قيمة ψ^2 عالية يدل ذلك على زيادة احتمال تواجد الإلكترون أما إذا كانت قيمة ψ^2 منخفضة ويدل ذلك على ندرة وجود الإلكترون. فالمعلومات المتواجدة فى القيمة ψ^2 تشبه إلى حد كبير المعلومات المتواجدة فى فجوة فى سبورة مسننة فبالنظر إلى نمط الفجوات يتضح أن هناك احتمالا قويا أن التسنين

سيكون موجودا فى الدائرة المحتوية على العديد من الفجوات المسننة. ويكون الاحتمال ضعيفا لتواجد دائرة ذات مساحة متساوية ولكنها تحتوى على عدد قليل من الفجوات المسننة. وكثافة هذه الفجوات تعطى معلومات عن الاحتمال. والشكل (15) يظهر الطرق التى يحدث بها احتمال توزيع الإلكترون 1S دالة الموجة لذرة الهيدروجين والتى يمكن التعبير عنها ببعدين. فالشكل (16-i) يمثل كثافة هذه النقط كدالة للوضع على السبورة وتعطى هذه الصورة تصور كيفى عن تواجد الإلكترون أما الشكل (16-ii) فيمثل رسم لكثافة النقط ψ^2 والتى تعتبر دالة للمعامل r وهى المسافة من النواة.



شكل (15): السطوح العقدية لذرة الهيدروجين (a) احتمال الكثافة الإلكترونية (b) دوال الموجة الإلكترونية (+)، (−) هى علامات تدل على الصنف.



شكل(16):التمثيل البيانى ذى البعدين لاحتمال التوزيع لذرة الهيدروجين للدالة الموجية (1s)

أما الشكل (16-iii) فيمثل مناسيب الكثافة على قطاع عرضى خلال الشكل المبين فيه نقطة الاحتمال شكل (15-a) ومعنى مناسيب الكثافة يوضح فى الشكل (16-iv) وهى تمثل خريطة كونتورية حيث يقضى الإلكترون معظم وقته. هذه الخريطة توضح كيفياً شكل التوزيع كما أنها توضح كمياً كيف يقل الاحتمال سريعا من النواة.

أما الأشكال (16-v)، (16-vi) فهى تمثل حاصل الكثافة فالخط الكونتورى الداخلى هو الخط الذى يحوى داخله 10% من الاحتمال. أما الخط التالى فهو يحوى داخله 50% من الحجم الممكن وبالنسبة للخط الثالث والأخير فهو يمثل 90%. وهذه الكنتورات من الأهمية بمكان حيث أنها تعطى فكرة عن أماكن تواجد الإلكترون وأيضا عن حجم الذرة المدروسة.

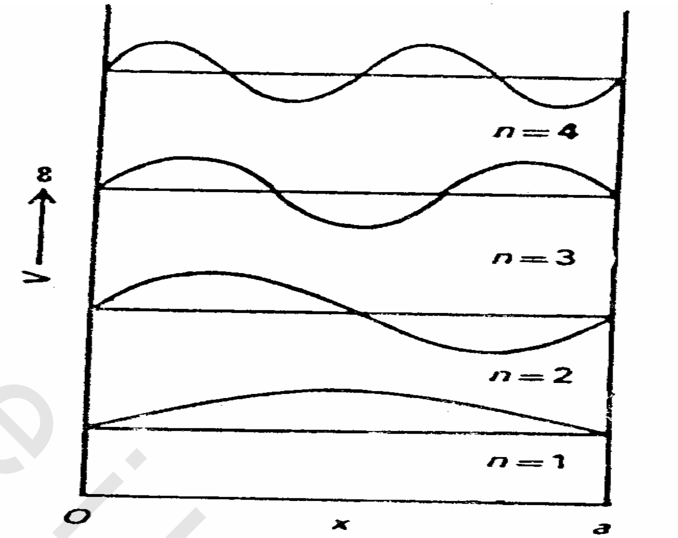
أما دالة الموجة ψ فيجب أن تخضع لبعض التعبيرات الرياضية أى أن $\psi(x)$ لها قيمة منفردة، محددة، ومستمرة لكل القيم الممكنة للمعامل (x). فهى يجب أن تكون منفردة وذلك لأن احتمال تواجد الإلكترون عند أى نقطة (×) لا تأخذ إلا قيمة واحدة. لا يمكن لها أن تكون محددة عند أى نقطة، لأن هذا معناه أنها ثابتة عند هذه النقطة.

وهذا لا يتفق مع خواص الموجة ومعيار دالة الموجة المستمرة تساعد فى اختيار الحلول الفيزيائية الممكنة لدالة الموجة.

تطبيق معادلة شرودنجر للدقيقة فى الصندوق أحادى البعد :

من التطبيقات الهامة لمعادلة شرودنجر، دراسة تأثير فرض إلزامى على الدقيقة الحرة وذلك بما يتطلبه أن تكون حركة الدقيقة محددة فى حيز ثابت (حدود ثابتة) ففى الثلاثة أبعاد تكون هناك مشكلة الدقيقة المتواجدة فى الصندوق ويمكن تبسيط المشكلة إذا كان الصندوق أحادى البعد.

وفى هذه الحالة يكون المطلوب هو حركة الدقيقة بين مجموعة نقاط على خط مستقيم ودالة الجهد المتعلقة بهذه الظروف يمكن توضيحها فى شكل (17).



شكل (17): حركة الإلكترون فى صندوق أحادى البعد الموجات الإلكترونية ومستويات الطاقة المسموح بها.

يمكن كتابة معادلة شرودنجر ذات البعد الواحد كما يلى :

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\,\psi = E_n\psi \qquad (53)$$

يتحدد الصندوق ذات البعد الواحد (أحادى البعد) بالجهد الذى يأخذ القيمة صفر.

$$o \le x \le a$$

ويكون غير محدود ومن وجهة نظر المعادلات الجبرية فالجهد يعبر عنه القيم التالية :

$$\begin{aligned} v(x) &= \infty \qquad x < o \\ v(x) &= o \qquad o \le x \le a \\ v(x) &= \infty \qquad a < x \end{aligned} \qquad (54)$$

وحيث إن الجسيم لا يمكن أن يتحرك خارج الصندوق فإننا يكون لدينا الظروف التالية، أى أن :

$$\psi(x) = o \; x < o \quad , \qquad x > a \qquad (55)$$

ويمكن كتابة معادلة شرودنجر داخل الصندوق هكذا :

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\frac{d^2\psi}{dx^2} = E_n\,\phi \qquad (56)$$

حيث إن E_n تكون حقيقية وتأخذ قيمة موجبة ويمكن إدخال متغير جديد يعبر عنه هكذا :

$$\frac{8\pi^2 m\, E_n}{h^2} = \lambda^2 \qquad (57)$$

وتأخذ معادلة شرودنجر الصورة التالية :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\lambda^2\, \psi \qquad (58)$$

وتعتبر المعادلة (58) معادلة تفاضلية ويمكن أن تحل بطريقتين وهما :

$$\psi_1 (x) = \sin \lambda x \qquad (59)$$

$$\psi_2 (x) = \cos \lambda x \qquad (60)$$

ويكون الحل العام تجمع خطى للحلين، ويكتب هكذا :

$$\psi(x) = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x \qquad (61)$$

وتحتوى هذه العلاقة على ثلاث متغيرات هى A، B، λ وتنطبق معادلة شرودنجر عند أى قيمة لهذه المتغيرات

تتماشى المعادلة (61) مع حيثيات دالة الموجة.

وهى قياسية لأنها لا تأخذ القيمة الصفرية (الصفر) فى الفترات المحدودة. $o \le x \le a$ وهى محدودة فى كل مكان فى هذه الفترات ويمكن تلخيص هذه النتائج كما يلى :

$$\psi(x) = o \qquad x < o \qquad (62)$$

$$\psi(x) = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x \qquad o \le x \le a$$

$$\psi(x) = o \qquad a < x$$

وهذه الدالة مستمرة فى حدود أى من الثلاث المتغيرات، ولكنها ليس من الضرورى أن تكون مستمرة إذا انتقلنا من فترة زمنية إلى أخرى. أى أنه عند النقط $x = o$، $x = a$.

ولفرض ظروف الاستمرارية على هذه النقاط نحصل على :

$$\lim_{x \to o} (A \sin \lambda x + B \cos \lambda x) = B = o \qquad (63)$$

$$\lim_{x \to a} (A \sin \lambda x + B \cos \lambda x)$$

$$= A \sin \lambda a + B \cos \lambda a = o \qquad (64)$$

وعندما تساوى (B) الصفر، فإنه يمكن كتابة المعادلة (64) فى الصورة التالية :

$$A \sin \lambda a = o \qquad (65)$$

وفى المعادلة (65) لا يمكن للمتغير A أن يأخذ القيمة الصفر؛ لأن هذا يعنى أن قيمة دالة الموجة تأخذ القيمة الصفر فى أى مكان، وأيضا تؤدى إلى القول بأن الاحتمال لتواجد الجسيم يساوى الصفر، وهذا لا يعطى أى معنى وهكذا نحصل على المعادلة :

$$\text{Sin } \lambda a = o \qquad (66)$$

ولهذه المعادلة عدد غير محدود من الحلول أى إن :

$$\lambda a = n\pi \;،\quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \qquad (67)$$

ومعنى أن $n = o$ ، أن دالة الموجة تأخذ القيمة الصفر فى أى مكان، وهذا غير مسموح به. وعندما $n = \nu$ ، $n = -\nu$ ، يؤدى ذلك إلى نفس احتمال دالة الكثافة، ومن ذلك نرى أن n تأخذ القيم التالية: $n = 1, 2, 3, 4$.

وبتربيع طرفى المعادلة (67)

نحصل على :

$$\lambda^2 a^2 = n^2 \pi^2 \qquad (68)$$

ومن المعادلة (57) نصل إلى :

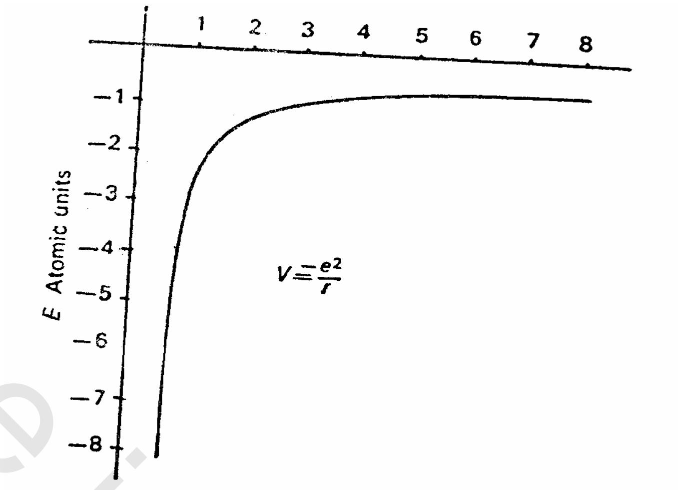
$$\lambda^2 = \frac{8\pi^2 m\, E_n}{h^2} \qquad (69)$$

وبمقارنة المعادلتين (68)، (69) نحصل على المعادلة التالية :

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8\, m\, a^2} \qquad (70)$$

ويوضح الشكل (18) الأربع مستويات الطاقة الأولى ويتضح من المعادلة السابقة أن طاقة الحركة (E_n) تقل بزيادة قيمة (a).

E(atomic units)



شكل (18): طاقة الوضع الكولومية للإلكترون السالب فى مجال البروتون الموجب.

وهذا معناه: أنه كلما كبرت الغرفة التى يتحرك فيها الإلكترون قلت طاقة حركته وهذا يعطى استقراراً أكبر للنظام. وهذا التبادل فى حركة الإلكترون يمكن أن يحدث فى عدد من المركبات، مثل: بعض المركبات الاليفاتية التبادلية والمحتوية على عدد من الروابط الأحادية والثنائية بالتبادل (C=C-C=C) وبعض المركبات الأروماتية.

وتؤدى المعادلة (70) أيضا إلى ظاهرة الحالة الثابتة وذلك لأن قيم معينة مسموح بها، والقيم الأخرى غير مسموح بها لأن هذه القيم تؤدى إلى نتائج ليس لها معنى من الوجهة الفيزيائية.

ذرة الهيدروجين :

إذا أخذنا فى الاعتبار ذرة الهيدروجين والمحتوية على بروتون واحد فى النواة، وإلكترون واحد يدور حول النواة وإذا أهملنا كلا من الحركات الانتقالية للذرة كذلك حركة النواة فإنه يمكن اعتبار ذرة الهيدروجين أنها تحتوى على إلكترون مفرد كتلته m فى مجال كولومبى، وحركة النواة، ويمكن الأخذ فى الاعتبار ما سمى بالكتلة المختزلة u بدلا من m، وتشبه المشكلة الحالية مشكلة جسيم متحرك فى صندوق ثلاثى الأبعاد. وفى هذه الحالة يكون هناك تماثل دائرى بدلا من الجدر المائلة ومن قيمة طاقة الوضع

الصفرية يكون هناك زيادة تدريجية فى الوضع على اعتبار أن المسافة من النواة.

$$r = \infty \qquad , \qquad V = o$$

$$V = -\infty \qquad r = o \qquad \text{عندما}$$

طاقة الوضع للإلكترون المتواجد فى مجال النواة ذات الشحنة Ze هى كالتالى: $V = -Ze^2/r$ وهى موضحة فى الشكل (18) ويمكن كتابة معادلة شرودنجر هكذا :

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\psi + \frac{8\pi^2 u}{h^2}\left(E + \frac{ze^2}{r}\right)\psi = o \qquad (71)$$

أو :

$$\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2 u}{h^2}\left(E + \frac{ze^2}{r}\right)\psi = o \qquad (72)$$

حيث تأخذ ∇^2 القيمة التالية :

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

التماثل الدائرى لدالة طاقة الوضع يقرر أن المعادلة يمكن حلها بسهولة فى إحداثيات قطبية دائرية r، θ، ϕ كما هو موضح فى الشكل (14) وبالانتقال إلى الإحداثيات القطبية يمكن كتابة المعادلة (71) فى الصورة التالية :

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2} + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\right)$$

$$\frac{8\pi^2 u}{h^2}\left(E + \frac{ze^2}{r}\right) + \psi = 0 \qquad (73)$$

والمتغير فى هذه المعادلة يمكن فصله وذلك لأن الجهد هو دالة فى r فقط.

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\,\theta(\theta)\phi(\phi) \qquad (74)$$

حيث إن R هى دالة فى r فقط، θ هى دالة فى θ فقط، ϕ هى دالة فى ϕ.

وهكذا يمكن تفصيل المعادلة (73) إلى ثلاث معادلات تفاضلية :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial \phi^2} + m^2 \phi = o \qquad (75)$$

$$\frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} (\sin\theta \frac{\partial\theta}{\partial\phi}) - \frac{m^2}{\sin^2\theta} \theta + \beta\,\theta = o \qquad (76)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r}(r^2 \frac{\partial R}{\partial r}) — \frac{\beta}{r^2} R + \frac{8\pi^2 u}{h^2} (E + \frac{ze^2}{r}) \; R = 0 \qquad (77)$$

حيث إن كلا من m، β ثوابت، والظروف المحددة لحلول المعادلة (75) تؤكد أن القيم المرضية للمتغير ϕ يمكن الحصول عليها فقط عند قيم $m = 0, \pm1, \pm2$.

وبالتعويض عن قيم m فى المعادلة (76) وبحل هذه المعادلة لـ θ، فإنه يمكن الحصول على القيم المسموح بها فقط للقيمة $\beta = l\ (l + 1)$

حيث إن :

$$l = |m|\ , |m| + 1, |m| + 2 \text{ etc.}$$

وتكون $|m|$ هى قيمة m المطلقة ومن قيم للمعامل β فى المعادلة (77) نحصل على حلول مرضية للقيم وذلك لإعداد الكم (n) $n = 1, 2, 3, ...$.

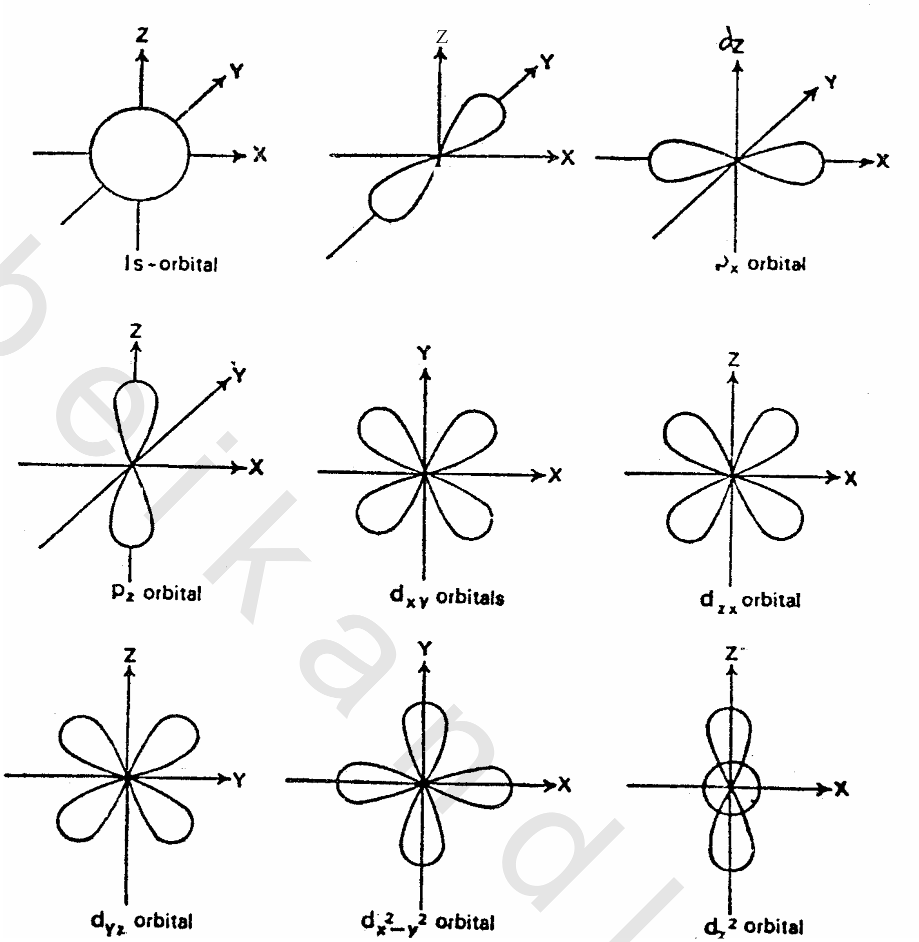
حل المعادلة (73) ينتج طاقة كلية للإلكترون فى الذرة يعبر عنه بالمعادلة :

$$E = — \frac{2\pi^2 u\, z^2 e^4}{n^2 h^2} \qquad (78)$$

حيث u هى الكتلة المختزلة للنواة والإلكترون. وتشبه هذه القيم، القيم المستنبطة من نظرية الكم لبوهر والظروف المحدودة تتطلب ثوابت معينة تستخدم فى حل معادلة شرودنجر وتسمى هذه الثوابت بأعداد الكم.

وتسمى دوال الموجة ψ والتى تعطى حلولا لمعادلة الموجة بالأوربتالات. فالأوربتالات التى تأخذ القيم ℓ تساوى $0, 1, 2, 3$، وتسمى على التوالى أوربتالات f, d, p, s والأوربتالات المستخدمة تأخذ شكل ثلاثى الأبعاد.

ويبين الشكل (19) الحدود السطحية للأوربتالات d, p, s على الترتيب.



شكل (19): السطوح المحددة للأوربتالات المختلفة

أعداد الكم : Quantum Numbers

لتحديد إلكترون فى ذرة معينة بطريقة متكاملة ولتفسير الطيف المركب للعناصر المختلفة نحتاج لمعرفة أربعة كميات تسمى بأعداد الكم. وبطريقة مبسطة فإن هذا يشبه عنوان مكتب البريد.

ولتحديد مكان شخص ما أسمه السيد (إكس) فإنه من الضرورى أن يكون له عنوان معروف فعلى سبيل المثال:

السيد/إكس، 256 ش: شارع بارليامنت، نيودلهى، الهند، فالدولة ترمز إلى رقم الكم الأساسى، والمدينة ترمز إلى رقم الكم الثانوى، الشارع يرمز إلى رقم الكم المغزلى أما رقم الشارع فيرمز إلى رقم الكم المغناطيسى.

(i) رقم الكم الأساسى :

لقد عبرت معادلة الموجة لشرودنجر لذرة الهيدروجين عن موجة الإلكترون بثلاثة أبعاد فمن الضرورى إذن أن يكون هناك ثلاثة أرقام صحيحة لوصف كل حالة لطاقة ذرة الهيدروجين أهم تلك الأعداد هو رقم الكم الأساسى ويرمز له بالرمز (n) ولا تأخذ n الرقم صفر ولكن تأخذ أرقام عددية صحيحة بمعنى أن n تأخذ أرقام 1 ,2 ,3 , ...

ورقم الكم الأساسى يوضح الخصائص العقدية للأوربتال، فذرة الهيدروجين لها سطوح عقدية.

وعند هذا السطح فإن دالة الموجة ψ تغير الصنف. وعند السطح العقدى تكون قيمة ψ^2 هى الصفر.

بمعنى أن الإلكترون لا يتواجد عند هذا الموضع وقيمة n تساوى رقم السطوح العقدية.

عندما تأخذ n الرقم (1) أى عندما $n = 1$ يقال أن الإلكترون متواجد فى المدار الأول أو المدار k وأقصى عدد من الإلكترونات فى المدار الواحد يعطى بالقيمة $2n^2$.

رقم الكم الأساسى	1, 2, 3, 4, 5, ... (n)
الرموز بالحروف	K, L, M, N, O
أقصى عدد من الإلكترونات ($2n^2$)	2 8 18 32 50
دوال الموجة الإشعاعية للأوربتالات	$n = 1, 2, 3,$

تعطى فى الجدول المرفق (جدول رقم 1) دوال الموجة الإشعاعية للذرات أحادية الإلكترون.

جدول (1): دوال الموجة الإشعاعية للذرات أحادية الإلكترون

n	0	1	2
1	$2e^{-\rho/2}$	--	--
2	$(\frac{1}{2}\sqrt{2})\ (2 - \rho)e^{-\rho/2}$	$(\frac{1}{2}\sqrt{6})\rho e^{-\rho/2}$	--
3	$(1/9\sqrt{3})\ (6 - 6\rho + \rho^2)e^{-\rho/2}$	$(1/9\sqrt{6})\ \ (4\rho - \rho^2)e^{-\rho/2})e^{-\rho/2}$	$(1/9\sqrt{30})\ \rho^2 e^{-\rho/2}$

حيث
$$\rho = \left(\frac{8\pi^2 me^2}{nh^2}\right)r$$

(ii) **رقم الكم السمتى (الجانبى)** Azimuthal quantum number

يسمى رقم الكم الثانوى أو رقم الكم الإضافى وهو مهم لتحديد المدار الاهليلجى الذى اقترحه سمرفيلد وهو مقياس للاتمركزية للاهليليج (أو للقطع الناقص) ويأخذ الرقم أى قيمة تتراوح من $\ell = o$ إلى $\ell = (n - 1)$ وهى تتعلق بالطراز العقدى للأوربتال، فيوجد عدد من السطوح العقدية يساوى ℓ وهو يعتمد على الزاوية. وحيث أن العدد الكلى هو n سطوح عقدية فيجب أن يكون هناك $(n - \ell)$ سطوح عقدية لا تعتمد على الزاوية أى متماثل دائريا وعندما تأخذ n القيمة 2 $(n = 2)$ تأخذ ℓ القيمة (0) و (1). فإذا كانت $\ell = 0$ فلا توجد سطوح عقدية تعتمد على الزاوية، وعليه فإن السطحين العقدين الشعاعين يكونان مستديران فى الشكل.

أحد هذه السطوح عندما $r = \text{infinity}$ (قيمة r لا نهائية). وعندما تكون ℓ قيمتها (1)، يوجد هناك سطح عقدى واحد يعتمد على الزاوية أما مستوى السطح العقدى الثانى، $(n - \ell = 2 - 1 = 1)$ فيكون كروى الشكل ويقع السطح العقدى عندما لا نهاية ويوضح الشكل (15) منظر لقطاع عرضى لاحتمال التوزيع الحادث عندما $n = 1$، $n = 2$.

التغير فى الوسط عند السطح العقدى يرمز له بالعلامة (+) أو (-) فإذا كانت $n = 1$، $\ell = 0$ تمثل أوربتال 1s. يعطى العزم الزاوى للإلكترون بالقيمة التالية:

$$\sqrt{\frac{\ell(\ell+1)h}{2\pi}} \qquad (79)$$

حيث ترمز h إلى ثابت بلانك.

(iii) **رقم الكم المغناطيسى** Magnetic Quantum Number

كما رأينا فى دراسة تاثير زيمان. توجد خطوط أخرى تظهر فى المجال المغناطيسى ولتفسير هذا التفصيل لخطوط الطيف فقد ظهر رقم كم جديد يسمى رقم الكم المغناطيس m ويمكن أن يأخذ أرقام $(2\ell + 1)$ قيم مختلفة لقيم ℓ وذلك ابتداءا من $+\ell$, 0, $-\ell$ وكلا منهم يشير إلى أوربتال واحد.

فنجد أن تحت المدار (S) يكون له أوربتال واحد عندما $m = 0, \ell = 0$ أما تحت المدار p تمتلك ثلاث أوربتالات. d لها خمس أوربتالات، f لها سبع أوربتالات. وفى هذه الأوربتالات يكون الفرق فى الطاقات صغير جدا للانتقال من أوربتال إلى الآخر.

(iv) **رقم الكم المغزلى** Spin Quantum Number

يصف رقم الكم المغزلى غزل الإلكترون حول محوره حيث يكون الغزل أو الدوران إما مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة رقم الكم المغزلى له قيمتان فقط هما 1/2+، 1/2- وتوضح كما يلى $(\uparrow,\downarrow)$.

مبدأ باولى للاستثناء Pauli`s Exclusion Principle

هذه القاعدة وضعت قيوداً على قيم مختلف أرقام الكم للإلكترونات المختلفة فى نفس الذرة وقد نصت هذه الفكرة على أنه :

" لا يوجد إلكترونان فى نفس الذرة يكون لهما نفس قيم أعداد الكم الأربعة أى أنه لابد أن يختلفان على الأقل فى قيمة أى واحد منهم ".

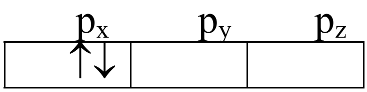
وتخضع السعات أو القدرات التى تضع الإلكترونات فى مختلف المدارات لهذا المقياس. فعلى سبيل المثال تبعا للقاعدة $2n^2$ إذا كانت $n = 2$ يوجد 8 إلكترونات. وتبعاً لمبدأ باولى للاستثناء يمكن ترتيب هذه الإلكترونات الثمانية كما يلى :

n = 2	l = 0	m = 0	s = +½
n = 2	l = 0	m = 0	s = -½
n = 2	l = 1	m = 0	s = +½
n = 2	l = 1	m = 0	s = -½
n = 2	l = 1	m = +1	s = +½
n = 2	l = 1	m = +1	s = -½
n = 2	l = 1	m = -1	s = +½
n = 2	l = 1	m = -1	s = -½

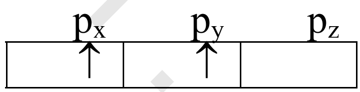
وبنفس الطريقة يمكن إجراء نفس الترتيب للمستويات الأخرى.

قاعدة هوند للتعددية القصوى :

تنص هذه القاعدة على أنه : " فى الذرة الواحدة تميل الإلكترونات فى تحت المدارات المختلفة إلى أن تبقى غير متزاوجة لأكبر فترة ممكنة ". يمكن تمثيل الثلاث أوربتالات من الصنف p على هيئة صناديق ويمكن تمثيل التعبير عن الإلكترونات بأسهم فمثلا السهم ↑ يمثل ½+ بينما السهم ↓ يمثل (½-)
إذا أضيف إلكترونان فى تحت المدار p يوجد احتمالان II, I.

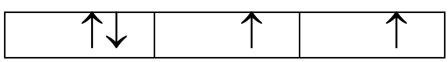


(I)



(II)

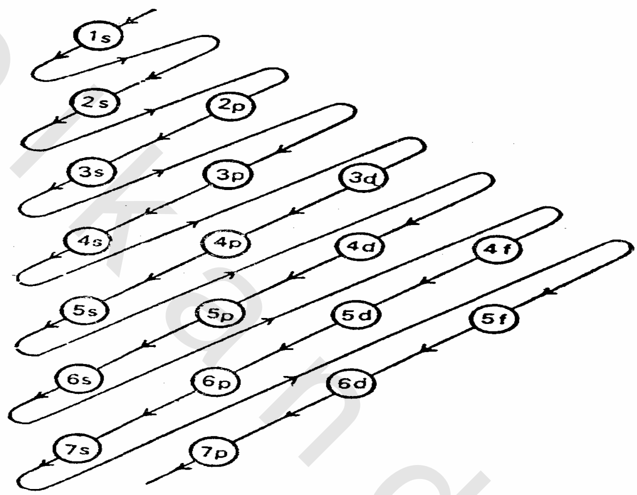
الشكل رقم (I) يوجد به إلكترونان فى نفس الأوربتال أى (p_x) ولكنه لا يتفق مع قاعدة هوند، وعليه يعتبر النموذج (II) هو الصحيح وهو يتفق مع قاعدة هوند. فإذا كان هناك إلكترون ثالث فى نفس التحت مدار فإنه يذهب إلى المدار p_z (الأوربتال الثالث الفارغ) وذلك أكثر من توجهه إلى p_x أو p_y يحدث التزاوج إذا وجد إلكترون رابع ويوضح ذلك الشكل III.


(III)

قاعدة التصفية Screening rule

تبعاً لهذه القاعدة فإن الإلكترونات فى المدارات الداخلية يكون لها فعل التصفية على الإلكترونات الخارجية وذلك للحد من التجاذب بينها وبين النواة.

وهذه القاعدة هى المسئولة عن السبب فى أن الأوربتال الذى يرمز له بالرمز ns يمتلئ أولا قبل أوربتال (n-1)d، وعليه فإن الأوربتالات 6s, 5p, 5s تمتلئ قبل الأوربتال $4f$.



شكل (20): نظام ملئ الأوربتالات بالإلكترونات

مستويات الطاقة والتركيب الإلكترونى للعناصر :

يخضع توزيع الإلكترونات فى الأوربتالات للذرات المعقدة لقواعد معينة كما أشرنا من قبل يحتوى كل مدار على الحد الأقصى من الإلكترونات وتأخذ القيمة $2n^2$، وحيث أن كل مدار إلكترونى يمتلك عددا من التحت المدارات التى يكون فرق الطاقة بينهما صغير جدا. تملأ الأوربتالات ذات الطاقة المنخفضة أولا وقد وجد أن ترتيب الاوربتالات تبعا لطاقاتها يخضع للنظام التالى :

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d$

وللتبسيط يمكن توضيح الترتيب السابق فى الشكل رقم (20) ويسمى نظام أوف باو لتسكين الإلكترونات فى الأوربتالات المختلفة.

ويخضع التركيب الإلكترونى للعناصر للقاعدة السابقة وذلك بجانب الالتزام بمبدأ باولى للاستثناء وقاعدة هوند يعطى الجدول رقم (2) التركيب الإلكترونى للعناصر المختلفة.

من دراسة الجدول السابق، يتضح أن هناك بعض الحيود عن قاعدة أوف باول، ويختلف الترتيب عندما تمتلئ الأوربتالات (d) تماما كما فى عناصر Au, Pt, Ag, Pd, Cu أو نصف ممتلئ كما فى الكروم Cr والميولبدنيوم Mo ويمكن تفسير معظم هذه الحالات فى ضوء الحقيقة القائلة بأنه الذرات التى تمتلئ مداراتها تماما بالإلكترونات أو تلك التى تمتلئ نصف امتلاء أو تلك التى تكون فارغة تماماً.

وتعتبر هذه الأنظمة أكثر استقرارا وثباتا عن الحالات الأخرى وعليه فإن الاوربتالات d^{10}, d^{5} والتى فيها يحتوى الاوربتال d على (5)، أو (10) تكون أكثر استقراراً وثباتاً عن تلك المدارات المحتوية على إلكترونات تبعا للنظام التالى: d^{9}, d^{8}, d^{4}.

فلنأخذ على سبيل المثال لا الحصر النظام الذى يحتوى فيه الاوربتالات $5s^{2}$, $4d^{4}$ كما يلى :

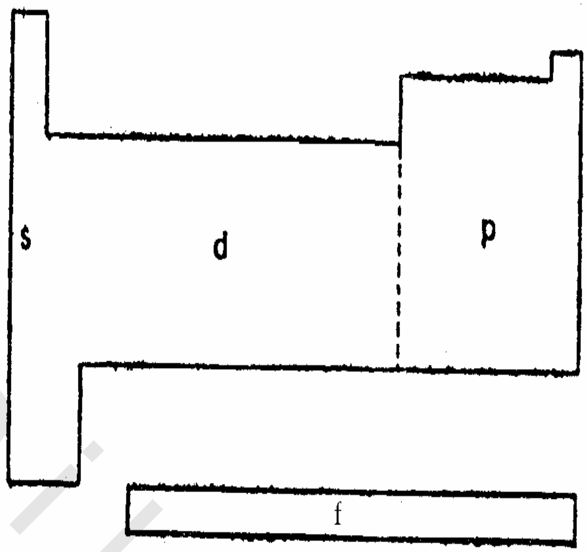
↑	↑	↑	↑			↑↓
		4d				5s

إذا انتقل إلكترون واحد من الأوربتال 5s إلى الأوربتال 4d نصل إلى الصورة التالية :

↑	↑	↑	↑	↑		↑
		4d				5s

وفى هذه الحالة يكون المدار (الاوربتال) 4d نصف ممتلئ وهذا الترتيب يكون أفضل كثيرا من غيره.

وعلى ضوء التركيب الإلكترونى للذرات يمكن تقسيم العناصر فى الجدول الدورى إلى أربع مجموعات عامة كما هو مبين فى الشكل (21).



شكل (21): تقسيم العناصر فى الجدول الدورى إلى أربع أقسام.

مجموعة العناصر-s (1)

مجموعة العناصر-p (2)

مجموعة العناصر-d (3)

مجموعة العناصر- f (4)

جدول (2): ترتيب الالكترونات فى الذرات.

At. No.	Element	K	L		M			N				O				P				Q
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
1	H	1																		
2	He	2																		
3	Li	2	1																	
4	Be	2	2																	
5	B	2	2	1																
6	C	2	2	2																
7	N	2	2	3																
8	O	2	2	4																
9		2	2	5																
10	Ne	2	2	6																
11	Na	2	2	6	1															
12	Mg	2	2	6	2															
13	Al	2	2	6	2	1														
14	Si	2	2	6	2	2														
15	P	2	2	6	2	3														
16	S	2	2	6	2	4														
17	Cl	2	2	6	2	5														
18	Ar	2	2	6	2	6														
19	K	2	2	6	2	6		1												
20	Ca	2	2	6	2	6		2												
21	Sc	2	2	6	2	6	1	2												
22	Ti	2	2	6	2	6	2	2												
23	V	2	2	6	2	6	3	2												
24	Cr	2	2	6	2	6	5	1												
25	Mn	2	2	6	2	6	5	2												
26	Fe	2	2	6	2	6	6	2												
27	Co	2	2	6	2	6	7	2												
28	Ni	2	2	6	2	6	8	2												
29	Cu	2	2	6	2	6	10	1												
30	Zn	2	2	6	2	6	10	2												
31	Ga	2	2	6	2	6	10	2	1											
32	Ge	2	2	6	2	6	10	2	2											
33	As	2	2	6	2	6	10	2	3											
34	Se	2	2	6	2	6	10	2	4											
35	Br	2	2	6	2	6	10	2	5											
36	Kr	2	2	6	2	6	10	2	6											
37	Rb	2	2	6	2	6	10	2	6			1								
38	Sr	2	2	6	2	6	10	2	6			2								
39	Y	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2								
40	Zr	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2								
41	Nb	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1								
42	Mo	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1								
43	Tc	2	2	6	2	6	10	2	6	6		1								
44	Ru	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1								
45	Rh	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1								
46	Pd	2	2	6	2	6	10	2	6	10										
47	Ag	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1								
48	Cd	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2								
49	In	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1							
50	Sn	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2							

تابع جدول (2):

At. No.	Element	K	L		M			N				O				P				Q
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
51	Sb	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3							
52	Te	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4							
53	I	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5							
54	Xe	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6							
55	Cs	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1				
56	Ba	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2				
57	La	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2				
58	Ce	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6			2				
59	Pr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2				
60	Nd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2				
61	Pm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2				
62	Sm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2				
63	Eu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2				
64	Gd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1		2				
65	Tb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2				
66	Dy	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2				
67	Ho	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2				
68	Er	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2				
69	Tm	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2				
70	Yb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2				
71	Lu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1		2				
72	Hf	2	2	6	2	6	10	2	9	10	14	2	6	2		2				
73	Ta	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2				
74	W	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2				
75	Re	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2				
76	Os	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2				
77	Ir	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2				
78	Pt	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9		1				
79	Au	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1				
80	Hg	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2				
81	Tl	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	1			
82	Pb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	2			
83	Bi	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	3			
84	Po	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	4			
85	At	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	5			
86	Rn	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6			
87	Fr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6			1
88	Ra	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1		2
89	Ac	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2		2
90	Th	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2		2
91	Pa	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1		2
92	U	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1		2
93	Np	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	5	2	6			2
94	Pu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6			2
95	Am	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6			2
96	Cm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1		2
97	Bk	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	8	2	6	1		2
98	Cf	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6			2
99	Es	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6			2
100	Fm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6			2
101	Md	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6			2
102	No	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6			2
103	Lw	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1		2

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖

أسئلة على الفصل الثانى

1- فى التأثير الكهروضوئى على العناصر تسببت طاقة الفوتون الممتص فى طرد الكترون من على سطح عنصر ما ، تساوت طاقة الحركة للالكترون المنفصل مع طاقة الفوتون الممتص مطروحاً منه طاقة أطول الخطوط موجياً التى سببت ذلك الأثر. احسب طاقة الحركة للالكترون الناتج من على سطح عنصر السيزيوم وذلك بضوء طوله الموجى 400 A (وكان الطول الموجى الحرج للتأثير الكهروضوئى على عنصر السيزيوم هو 6.60 A) ؟

2- اشرح مبدأ عدم التأكد.اكتب إلى أى مدى حددت وضع الالكترون فى الذرة؟

3- قوقع كتلته 1 gm تحرك بسرعة قدرها 0.1 cm / sec، ماهو عدم التأكد فى موضعه ؟

4- اكتب مذكرات مختصرة عن :

(a) تأثير الكومبيتون. (b) علاقة دى بروجلى.

(c) تأثير زيمان.

5- ما الطول الموجى للسيارة كتلتها 1.3 x 106 gm تتحرك بسرعة قدرها cm 1.0 x 103 / sec ؟

6- ما المقصود بنموذج ميكانيكا الموجة للذرة ؟ اشرح معنى كل مقطع من المقاطع المستخدمة فى معادلة شرودنجر ؟

7- ما الفرق بين نظرية بوهر لتركيب الذرة ونظرية ميكانيكا الموجة لذرة الهيدروجين ؟

8- ما مبدأ باولى للاستبعاد ؟ إلى أى مدى يؤثر ذلك المبدأ فى التركيب الاليكترونى للذرة ؟

9- ما المقصود بكل مما يلى :

(a) المدار. (b) تحت المدار. (c) اوربتال الالكترون.

10- اشرح ما المقصود بأعداد الكم ؟ اكتب عن أعداد الكم الأربعة ؟

11- بين أن العدد الأقصى للالكترونات فى المدار (M) حيث (n=3) وهو 18 ؟

12- اكتب مذكرات مختصرة عن :

(a) مبدأ أوف باو.

(b) قاعدة هوند.

(c) أشكال الاوربتال S ، P.

13- اكتب التركيب الالكترونى للعناصر التالية :

Ca , Mn , Br , S , Ar

14- إلى أى من الذرات ينتمى التركيب الالكترونى التالى :

(i) 1S2 , 2S2 , 2P6
(ii) 1S2 , 2S2 , 2P6 , 3S2 , 3P6 , 3d5 , 4S1
(iii) 1S2 , 2S2 , 2P6 , 3S2 , 3P6 , 3d10 . 4S1
(iv) 1S2 , 2S2 , 2P6 , 3S2 , 3d7 , 4S
(v) 1S2,2S2,2P6,3S2,3P6,3d10,4S2,4P6,4d10,5S2,2P6,5d1,6S2

15- (a) ما الفرق بين حجم وشكل الاوربتال ؟

(b) هل يوجد هناك فرق فى الطاقة لالكترونات تشغل أوربتالات ممثلة بأرقام الكم التالية :

$n = 3; L = 2; m = +2$
$n = 3; L = 2; m = -1$

(c) وضح رقم الاوربتالات المتشابهة فى مستوى طاقة معين وقيمة أرقام الكم m لهم ؟

16- وضح أى من العبارات التالية تختص بدالة رقمى الكم تكون صحيحة:

(i) n رقم الكم الأسى تحدد شكل الأوربتال.

(ii) رقم الكم (L) عدد حجم الأوربتال .

(iii) رقم الكم الأساسى n يحدد حجم الأوربتال .

(iv) رقم الكم (L) يحدد شكل الأوربتال .

(v) رقم الكم الأساسى (n) يحدد عدد الكثافة الالكترونية فى الأوربتال.

17- اكتب رمز العنصر الذى تحتوى ذراته على الترتيب الالكترونى التالى فى المدار الأخير.

(a) الكترون واحد فى المستوى 1S1 .

(b) الكترونان فى المستوى 1S2 .

(c) الكترونان فى المستوى 2S2 ، ثلاث الكترونات فى المستوى 2P3.

(d) الكترون واحد فى المستوى 3S 1.

❖❖❖ ❖❖❖ ❖❖❖