الباب السابع

ذرة الإلكترون الواحد

يتحرك الإلكترون فى ذرة الأيدروجين حول النواة فى مجال قوة كهربائى F

$$F = -\frac{Ze^2}{r^2} \quad (Z = 1 \text{ for } H_2)$$

إذا كان V هو جهد الإلكترون

$$\therefore F = -\frac{dV}{dr}$$

$$\because \quad dV = -F\,dr = \frac{e^2}{r^2}\,dr$$

$$\therefore V = -\frac{e^2}{r}$$

حيث r هو بعد الإلكترون عن النواة (ويساوى بالإحداثيات المتعامدة $(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ وتصبح معادلة شرودنجر لإلكترون ذرة الأيدروجين :

$$\nabla^2 \Psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left(E + e^2 (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}\right)\Psi = 0$$

يعطى حل هذه المعادلة قيمة الدالة الموجية بدلالة Ψ x , y , z فى أى مكان حول النواة . يكون احتمال وجود الإلكترون كبيرا كلما زادت قيمة $|\Psi|^2$

ويستخدم عادة لحل المعادلة السابقة الإحداثيات القطبية الكرية r φ θ Spherical polar coordinates المبينه شكل (٧ – ١) حيث :

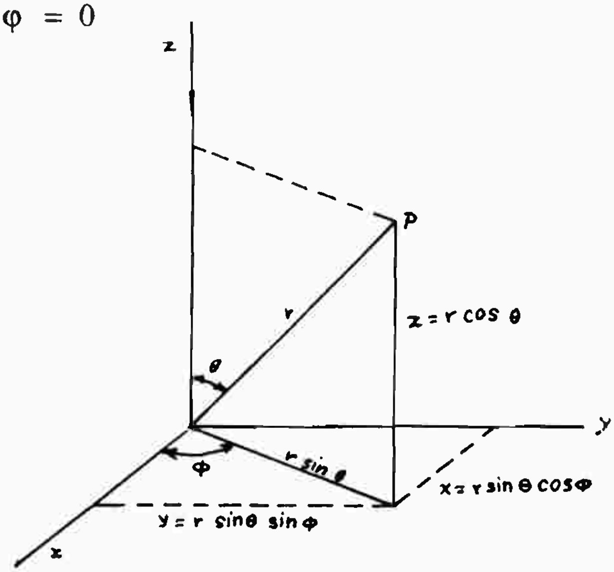
$$r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

وباستخدام الاحداثيات x , y , z بالاحداثيات القطبية r φ θ فى معادلة شرودنجر نجدها قد انفصلت الى ثلاثة معادلات تفاضلية معتادة : —

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{d}{dr} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left(E + \frac{e^2}{r}\right) - \frac{\lambda}{r^2}\right] R = 0 \qquad \ldots\ldots (a)$$

$$\left| \frac{d^2}{d\theta^2} + \cot \frac{d}{d\theta} + \lambda - \frac{m_l^2}{\sin^2\theta} \right| \Theta = 0 \qquad \ldots\ldots\ (b)$$

$$\left| \frac{d^2}{d\phi^2} + m_l^2 \right| \varphi = 0 \qquad \ldots\ldots\ (c)$$



شكل (٧ - ١)

حيث λ يسمى Separation parameter عـامل الانفـصـال وحـيث الدوال $R\ \Theta\ \varphi$ تبين تغير الدالة الموجية في هذه الاتجاهات $r\ \theta\ \phi$

أولا : حل المعادلة الثالثة (c) سهل ويعطى دالة جيب أو جيب تمام أى :

$\varphi = e^{i m_l^2} . \phi$

ويجب أن يكون m_l صحيحا integer وإلا كانت الدالة الموجية φ متعددة القيمة .

ويسمى m_l **بالعدد الكمى المغناطيسى** .

ثانيا : قيم المتغير λ التى لا تعطى حلولا للمعادلة (b) بحيث تكون الدالة الموجية Θ محدودة ومتصلة وأحادية القيمة هى :

$\lambda = l(l+1)$

ويكون بذلك عدد المعاملات التى لا تتوقف على بعضها هى $(2l+1)$

وهذه تناظرالقيم المقبولة من العدد الكمى المغناطيسى m_l

ثالثا : حل المعادلة الأولى (a) يشبه حل بئر الجهد القائم .

أى إننا لا نجد قيما مقبولة للدالة الموجية إلا إذا خضعت طاقة الإلكترون E للمعادلة :

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \qquad n = 1,2,3, \ldots$$

وهذه هى نفس معادلة الطاقة التى تحصل عليها بوهر من نظريته الخاصه بالمسارات الإلكترونية .

أى أن الميكانيكا الموجية أعطت نفس مستويات الطاقة الإلكترونية ، ولكن لم يعد العدد الكمى النصف قطرى n , radial q.N ، يصف مسار معينا ، ولكنه يعبر عن كثافة الاحتمال (الاحتمال لوحدة الحجوم) لوجود الإلكترونات على أبعاد مختلفة من النواة .

الدالة الموجية للهيدروجين :

يمكن كتابة الدالة الموجية للهيدروجين التى تصف حالته الأولى

$$\Psi_{1\,st}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$

حيث a_0 هو نصف قطر بوهر ويعطى بالمعادلة

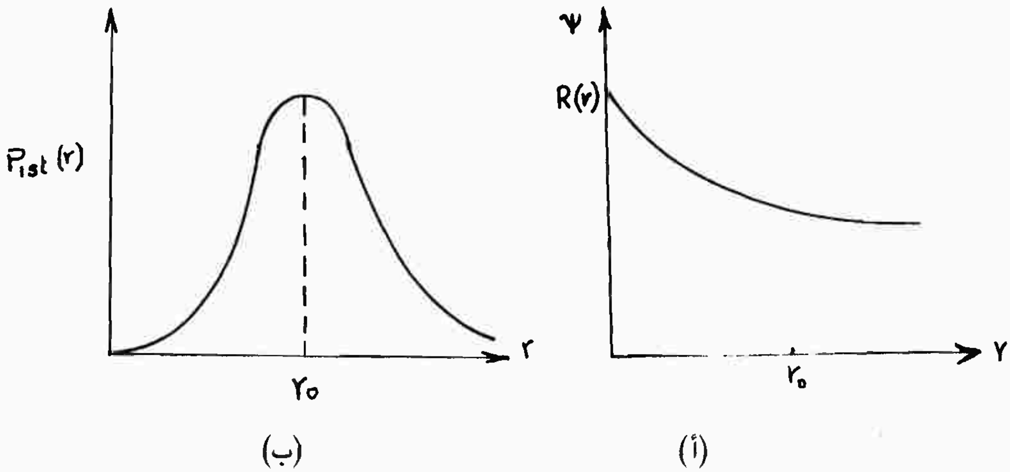
$$a_0 = \frac{(h/2\pi)^2}{mke^2} = 0.0529 \quad \text{n m}$$

وفى هذه المعادلة k هو ثابت كولوم ويساوى :

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$$

ويلاحظ أن الدالة الموجية $\Psi_{1\,st}(r)$ تتناقص مع r وتقترب قيمتها من الصفر عند البعد $r = \infty$ كما مبين بشكل (٧ –٢أ) .

وتعرف كثافة الاحتمال Probability density بأنها الاحتمال لوحدة الحجوم لوجود الإلكترون فى أى مكان ، وتساوى مربع الدالة الموجية (normalized) أى $|\Psi_{1\,st}|^2$ ،



شكل (٧ - ٢)

وعلى ذلك تكون كثافة الاحتمال لوجود الإلكترون في المستوى الأول 1s state هو

$$\left|\Psi_{1\,st}\right|^2 = \left(\frac{1}{\pi a_0^3}\right) e^{-2r/a_0}$$

إذا اعتبرنا الحجم dV تكون كثافة الاحتمال لوجود الإلكترون فيه هو .

$$P(r)\,dr = \left|\Psi\right|^2 dV = \left|\Psi\right|^2 4\pi r^2\,dr$$

وذلك باعتبار قشرة حول النواة تبعد مسافة r من المركز وسمكها dr أى أن كثافة الإحتمل فى اتجاه نصف القطر r هى :

$$P(r) = 4\pi r^2 \cdot \left|\Psi\right|^2$$

وبالتعويض بدلا عن $\left|\Psi\right|^2$ نحصل على كثافة الاحتمال النصف قطرى لذرة الهيدروجين فى حالتها الأرضية

$$P_{1\,st}(r) = \left(\frac{4r^2}{a_0^3}\right) e^{-2r/a_0}$$

ويبين الشكل (٧ - ٢ ب) تغير $P_{1\,st}(r)$ مع r وقمة المنحنى تبين أكبر احتمال

للبعد r عند حالة معينة .

مثال : أوجد احتمال وجود الإلكترون خارج المسار الأول لبوهر فى ذرة الهيدروجين فى حالتها الأرضية .

الحل : نوجد الاحتمال بإجراء تكامل لكثافة الاحتمال $P_{1st}(r)$ ابتداء من نصف قطر بوهر a_0 وحتى مالانهاية .

$$P = \int_{a_0}^{\infty} P_{1st}(r)\, dr = \frac{4}{a_0^3} \int_{a_0}^{\infty} r^2 e^{-2r/a_0}\, dr$$

وبتغير المتغير r ووضع بدلا منه $x = \frac{2r}{a_0}$ يكون $dr = \left(\frac{a_0}{2}\right) dx$ مع مراعاة أن

$x = 2$ عند $r = a_0$

$$\therefore P = \frac{1}{2} \int_{2}^{\infty} x^2 e^{-x} dx = -\frac{1}{2} (x^2 + 2x + 2) e^{-x} \Big|_2^{\infty}$$

$$\therefore \quad P = 5 e^{-2} = 0.677$$

أى أن درجة احتمال وجود الإلكترون خارج المدار الأول هى ٧و ٦٧ ٪ .

الدالة الموجية للمستويات الأعلى من المستوى الأرضى

لكل قيمة من قيم n أى لكل حل من المعادلة (a) يوجد حل أو أكثر للمعادلة (b) وتوصف هذه الحلول بعدد كمى آخر ℓ يأخذ القيم

$\ell = 0, 1, 2, \ldots\ldots, (n-1)$.

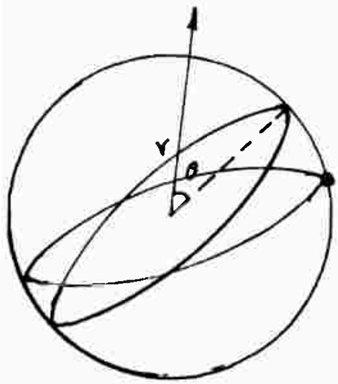
ويعين هذا العدد مدى تغير الدالة الموجية φ مع الزاوية Θ عند ثبوت r . فكلما كبرت قيمة ℓ تتغير قيمة φ بسرعة مع الزاوية θ ولذلك فإن احتمال وجود الإلكترون بالقرب من النواة يكون قليلا.

وبالمثل وجد أنه لكل قيمة من قيم ℓ أى لكل حل من حلول المعادلة يوجد حل أو أكثر للمعادلة c . وتعطى هذه الحلول المختلفة بعدد كمى آخر m_ℓ يمكن أن تأخذ القيم :

$m_\ell = -\ell, -(\ell-1), -(\ell-2), ..., 1, 0, 1, ..., \ell$

وتصف الدالة الموجية ϕ كيفية تغير الدالة الموجية الكلية بتغير الزاوية ϕ

∴ يمكن وصف الحالة الكمية quantum state للاكترون فى الذرة بثلاثة أعداد كمية n, ℓ, m_ℓ ويكون بذلك قد تحدد تماما تغير الدالة الموجية الكلية من نقطة إلى أخرى فى الفراغ .



شكل (٧ – ٣)

التعبير الطيفى spectroscopic notation :

تسمى الحالات الإلكترونية المقابلة للأعداد الكمية :

$\ell = 0, 1, 2, 3$

بالمستويات s , p ,d , f على الترتيب .

فمثلا :

$1s$ تكافئ $n = 1 ; \ell = 0$

$3d$ تكافئ $n = 3 ; \ell = 2$

وهكذا

المعنى الطبيعى للأعداد الكمية n, ℓ, m_ℓ :

١ – يحدد العدد الكمى n مستوى الطاقة كما فى معادلة بوهر :

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2} \qquad n = 0, 1, 2, 3, ...$$

وتغيير ℓ , m_ℓ عند ثبوت قيمة n لا يغير من مستوى طاقة المجموعة ، وإن كان يسبب تحلل المستوى Degeneracy :

٢ – يحدد العدد الكمى المدارى لكمية الحركة الزاوية ℓ orbital angular - momentum quantum number

كمية الحركة الزاوية L لحركة الجسيم حول المركز الجاذب . حيث

$$L = \ell \frac{h}{2\pi}$$

وتأخذ ℓ القيم من 0 إلى $(n - 1)$

٣ - يرتبط العدد الكمي المغناطيسي m_ℓ بمركبة متجه كمية الحركة الزاوية L على المحور الرأسي z

∴ مركبة L على الرأسي هي

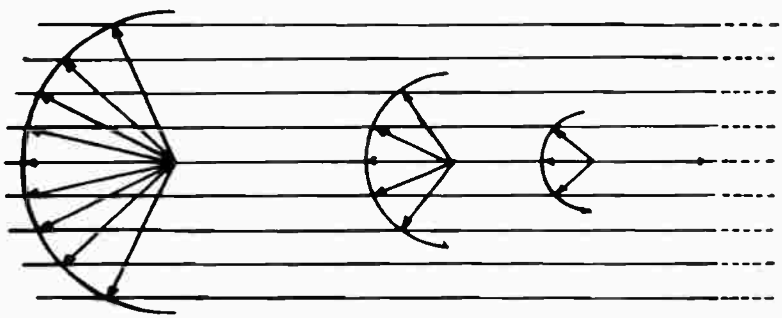
$$L_Z = m_\ell . \frac{h}{2\pi}$$

اتجاه متجه كمية الحركة الزاوية :

من حل معادلة سرودنجر نجد أنه عندما تكون قيمة $\ell = 1$ يمكن لمتجه كمية الحركة الزاوية L أن يأخذ ثلاثة أوضاع في الفراغ تكون مركباتها على محور z هي :

$$+\frac{h}{2\pi} \;, o \;, \; -\frac{h}{2\pi}$$

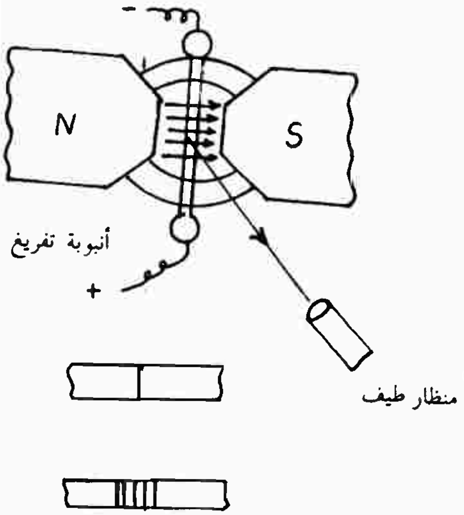
انظر الشكل (٧ –٤) .



شكل (٧ – ٤)

أى أن $m = +1 , 0 , -1$

وهذا يعنى أن لكل ℓ يوجد $(2\ell + 1)$ طريقة لوضع المتجه L فى الفراغ وهذا يعنى أن هناك أوضاعاً معينة فقط فى الفراغ يمكن أن يأخذها وهذه الأوضاع هى فقط التى يكون فيها مسقط L على الرأسى z عددا صحيحا $0 \;؛\; \pm 1 \;؛\; \pm 2$ .....



شكل (٧ – ٥)

ويسمى ذلك التحديد بكمية الفراغ Space quantization ، وذلك لأن ليس كل اتجاه فى الفراغ ممكنا للمتجه L

وإثبات مبدأ كمية الفراغ نحصل عليه بدراسة تأثير المجال المغناطيسى على خطوط الطيف كما فى تأثير زيمان Zeeman's effect

وضع زيمان أنبوبة تفريغ كهربائى فى مجال مغناطيسى وفحص الضوء بواسطة مطياف له قوة تفريق كبير شكل (٧ – ٥) وجد أن خطوط الطيف قد انقسمت إلى عدة خطوط متقاربة كما وجد أن مقدار الانشطار magnitude of splititting يتوقف على شدة المجال المغناطيسى .

ولتفسير ظاهرة زيمان Zeeman effect :

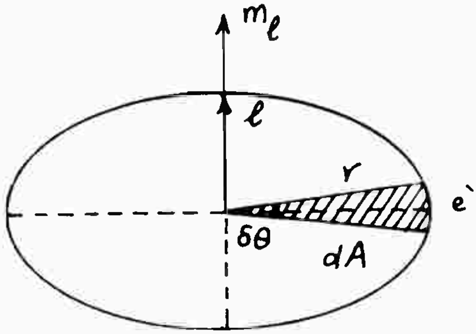
نفرض إلكترون سرعته v يتحرك فى مسار نصف قطره r ، ويعمل عدد من الدورات فى الثانية $= \dfrac{v}{2 \pi r}$ هذه الحركة تكافئ تيارا كهربائيا I يمر فى اتجاه مسار الإلكترون .

$$\therefore I = \frac{-e\,v}{2\pi r c} = \frac{-e}{c\,T} \qquad \left(\frac{v}{2\pi r} = \frac{1}{T}\right)$$

فيتكون مجال مغنطيسى عمودى على مستوى المسار .

ويمكننا اعتبار وجود مغنطيسى محوره عمودى على مستوى المسار عزمه المغنطيسى $M_\ell = IA$ و يعطى نفس التأثير . من شكل (٧ - ٦)

تكون مساحة المسار A تساوى :



شكل (٧ - ٦)

$$A = \int_0^{2\pi} 1/2\, r^2\, d\Theta = \int_0^T 1/2\, r^2\, \frac{d\Theta}{dt}\, dt$$

حيث T هو زمن الدورة فى المسار .

ولكن كمية الحركة الزاوية m v r تخضع للمدأ الكمى . أى أن :

$$m\,v\,r = m\,r^2\,\dot{\Theta} = \ell\,\frac{h}{2\pi}$$

∴ تكون مساحة المسار :

$$A = \int_0^T \frac{\ell h}{4\pi m}\, dt = \frac{\ell h}{4\pi m} .T .$$

ويكون العزم المغناطيسى المصاحب لحركة الإلكترون

$$\overline{M_l} = -\frac{e}{c.T} \cdot \frac{l\,h}{4\pi m} . T$$

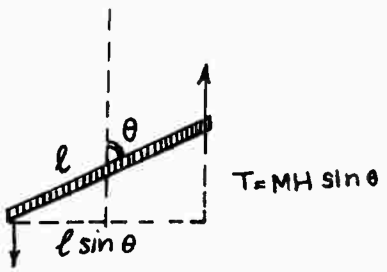
$$\therefore\ \overrightarrow{M_l} = \frac{-e\,h}{4\pi m c} . l = -B.\vec{l}$$

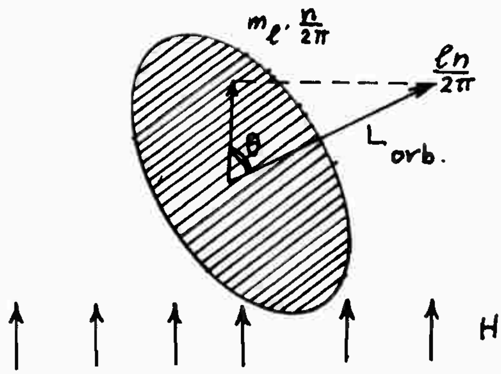
حيث B هو بوهر ماجنتون Bohr magneton ، ويساوى العزم المغنطيسى الناتج عن إلكترون يدور فى المسار الأول لذرة الأيدروجين .(وهو وحدة العزم المغنطيسى) كمية حركته الزاوية هى $\frac{h}{2\pi}$. $(B = 9.27 \times 10^{-24}\ amp / m^2)$

ولما كان $\overrightarrow{M_l}$ كمية متجهة عمودية على مستوى المسار ، ولما كانت $\vec{B}$ مقداراً ثابتاً لذلك يجب أن يكون l كمية متجهة .

طاقة الموضع المغنطيسية :

عند التأثير بمجال مغناطيسى خارجى يدور مستوى الملف ، وتتوقف طاقة الموضع المغنطيسية على مقدار الميل θ بين اتجاه المجال المغنطيسى والعمودى على مستوى الملف.





شكل (٧ – ٧)

إذا كان T هو الأزدواج المؤثر على المغنطيس الجزيئى عندما تؤثر بمجال مغنطيسى H

يكون :

$$T = MH \sin\theta$$

حيث θ هى زاوية الميل مع اتجاه المجال : شكل (٧ - ٧)

إذا حركنا المغنطيس زاوية صغيرة θ يتغير الجهد المغنطيسى بمقدار :

$$dV = T\,d\Theta$$

وبفرض أننا بدأنا التأثير بالمجال عندما كان محور المغنطيسى الجزيئى متعامدا مع المجال (أى أن مستوى المسار للإلكترون فى اتجاه المجال) يكون الجهد المغنطيسى لإدارة محور المغنطيس ليصنع زاوية θ مع المجال

$$V = \int_{1/2\pi}^{\Theta} T\,d\Theta$$

$$= \int_{1/2\pi}^{\theta} MH \sin\theta\,d\theta = -MH\cos\theta$$

ولكن

$$\cos\theta = m_{\ell} \cdot \frac{h}{2\pi} L\,(orb.)$$

$$\therefore V = -MH\,m_{\ell}\,\frac{h}{2\pi} L\,(orb.)$$

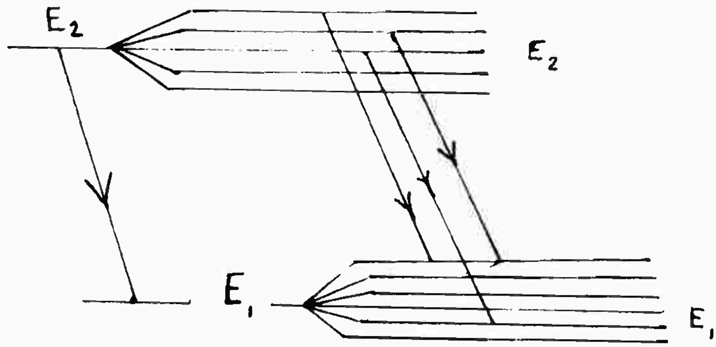
$$= +\frac{eh}{4\pi mc} \cdot H \cdot m_{\ell}$$

$$V = B \cdot m_{\ell} \cdot H$$

حيث B هو بوهر ماجنتون ، m_{ℓ} هو العدد الكمى المغناطيسى ، ولما كانت قيم m_{ℓ} أعداداً صحيحة فقط ، يكون التغير فى الجهد المغنطيسى على مراحل ، ولا يكون التغير متصلا .

وينتج عن ذلك ما يأتى :

عند التأثير بمجال مغناطيسى خارجى على الإلكترون فى ذرة ما فإن كل مستوى من مستويات الطاقة يتحلل degenerates إلى عدد من المستويات شكل (٧ – ٨) ، مما يتسبب عنها ظهور عدة خطوط طيفية مكان الخط الواحد الذى كان يميز مستوى الطاقة $E_2 - E_1 = hf$ قبل إدخال المجال المغنطيسى .



شكل (٧ – ٨)

وبالرغم من أن هذه النظرية قد فسرت عددا من خطوط الطيف الدقيقة إلا أنها عجزت عن تفسير الجميع ، ولذلك بدأ التفكير فى حركة الإلكترون مغزليا بالإضافة لحركته المدارية .

حركة الإلكترون مغزليا Electron spin (لف الإلكترون)

حسب النظرية الكلاسيكية للكهرومغنطيسية ، إذا أديرت كرة عليها شحنة منتظمة فى حركة مغزلية يكون لها عزم مغنطيسى ، إذ يمكن اعتبارها كأنها مغطاة بتيارات كهربائية ، ويكون لها أيضا كمية حركة زاوية بسبب كمية حركة المجال الكهرمغنطيسى المحيط بها .

وعلى هذا الأساس فرض أو هلنبك وجود حركة مغزلية للالكترونات ، أما موازية أو عكس موازية للمجال المغنطيسى . parallel or anti parallel

ويمكن اثبات أن كمية الحركة الزاوية المصاحبة للحركة المغزلية هى :

$$P_s = S \cdot \frac{h}{2\pi}$$

حيث S هو العدد الكمى المغزلى ، ويساوى $\pm 1/2$ ويكون العزم المغناطيسى المصاحب هو :

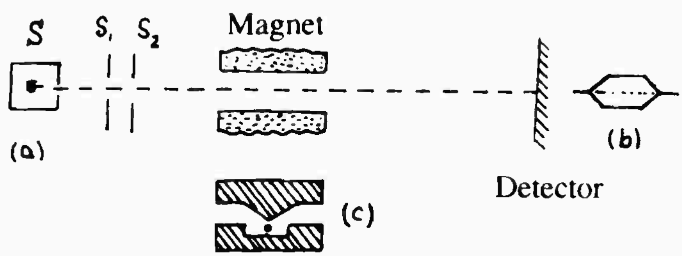
$$\frac{eh}{2\pi mc} \cdot S$$

وبإدخال العدد الكمى المغزلى تكون حالة الإلكترون قد عينت تماما بأربعة أعداد كمية هى n , ℓ , m_ℓ , S

تحقيق وجود الحركة المغزلية للإلكترون عمليا :

تجربة شتيرن وجيرلاخ Stern & Gerlach

تمرر حزمة من ذرات الفضة المتعادلة ذات الطاقة الواحدة بين قطبى مغنطيسى قوى مفرق « diverging » غير منتظم ، شكل (٧ - ٩)



شكل (٧ - ٩)

و قد صممت الأقطاب بحيث تحرف الذرات التى تحتوى على عزم مغنطيسى .

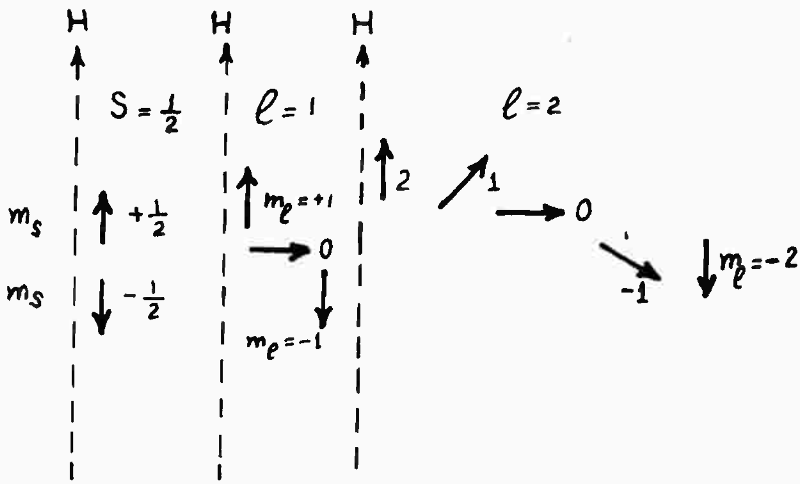
وقد وجد أن عدد من هذه الذرات قد انحرف إلى أعلى ، بينما انحراف الباقى إلى أسفل ، وظهر الشعاع على حاجز الوميض وكأنه اثنان منفصلان كما وجد أن الإزاحة

لأعلى تساوى تماما الازاحة لأسفل .

ولما كانت ذرات الفضة هنا متعادلة ، فإن هذا الانحراف قد نشأ عن الإلكترون الوحيد في المسـار الخـارجى . single - valence electron ، فـالتـجربة تثبت أن تركيب هذه الإلكترونات ليست واحدة ، بدليل الاختلاف فى اتجاه الانحراف .

وبذلك يؤثر المجال المفرق على الإلكترونات بقوة تعتمد فى اتجاهها على اتجاه الحركة المغزلية للإلكترون ، وبالتالى فهو ينحرف إما إلى أعلى أو إلى أسفل .

وقد أمكن إثبات بالتجربة أن مركبة الحركة الزاوية المغرلية للإلكترون فى اتجاه المجال هى :



شكل (٧ - ١٠)

$$P_{SH} = S \frac{h}{2\pi} \qquad ; S = \pm 1/2$$

ومن نتائج هذه التجربة أيضا إثبات نظرية تكمية الفرا غ (شكل ٧ - ١٠) space quantization .

مبدأ باولى : Pauli exclusion principle :

تعالج جميع الحالات السابقة حالة جسيم واحد فى المجموعة مثلا إلكترون واحد فى مسار حول نواة . ولكن ليست هذه هى الحالة العامة .

فى حالة الذرة متعددة الإلكترونات يعالج كل إلكترون على حدة ، ثم تجمع الحلول للحصول على حل عام . وتكون طاقة الذرة هى مجموع طاقات الإلكترون فى حالاتها المختلفة . ولما كان هناك عدد من الإلكترونات فقد وجد باولى أنه **لا يمكن لأكثر من إلكترون واحد أن يكون على حالة كمية واحدة** .أى أنه **لا يمكن لأى إلكترونين أن يشتركا فى نفس الأعداد الكمية الأربعة** n, ℓ, m, s ، وهذا يعنى أن مستوى الطاقة الأول يشغله الكترونان فقط $S = \pm 1/2$ ، وإذا وجد أكثر من إلكترونين فى الذرة فإن الثالث يأخذ مكانه فى مستوى الطاقة الأعلى ، وبعد أن يتم شغل هذا المستوى أيضا ننتقل للمستوى التالى وهكذا .

ومن الجدير بالذكر أن مبدأ باولى قد تم اكتشافه قبل تطور ميكانيكا الكم والتى أثبتته فيما بعد .

الجدول الدورى : Shells and subshells :

The periodic table :

اعتبر ذرة متعادلة بها عدد Z من الإلكترونات فى مستويات الطاقة المنخفضة lowest states

أول إلكتونين يشغلان $1S$ وهى الحالة الكمية الأولى التى يعرفها

$(n = 1 ; \ell = 0 ; m_\ell = 0 , S = \pm 1/2)$

وباعتبار مبدا بأولى لا يجوز أن يتواجد فى هذه الحالة أكثر من هذين الإلكترونين . ولكن يمكن للإلكترونات أن توجد على مستويات الطاقة الأعلى .

$n > 1$

تكون الإلكترونات التى يكون لها نفس العدد الكمى n ما يسمى قشرة إلكترونيه Shell

تنقسم كل قشرة الكترونية shell إلى تحت قشرات subshells حسب قيمة l

وعدد الإلكترونات التى توجد فى كل subshell تحت قشرة هو $N_l = 2\,(2l + 1)$

لأن m_l تأخذ القيم

$-l, -(l-1) \ldots ; -1, 0, +1, \ldots +l$

وهذه تعطى عدد $(2l + 1)$ قيما مختلفة لقيم m_l المختلفة وبما أن فى كل حالة قيمة $s = \pm \frac{1}{2}$ ، لذلك تكون عدد الإلكترونات الكلية فى الـ (subshell) تحت صدفة هو $2\,(2l + 1)$

<< S = 2 ; p = 6 ; d = 10 ; f = 14 .... >>

أى أن عدد الإلكترونات الكلى الذى يوجد فى القشرة shell هو $2n^2$

ونحصل على هذه القيمة بتجميع الإلكترونات الموجودة فى sub shells تحت القشرات لجميع قيم l

$$\therefore N_n = \sum_{l=0}^{l=n-1} N_l$$

$$= \sum_{l=0}^{n-1} 2\,(2l + 1) = 4 \sum_{0}^{n-1} l + 2 \sum_{0}^{n-1} 1$$

لكن المتسلسلة

$$\sum_{0}^{n-1} l = 0 + 1 + 2 + \ldots + (n-1)$$

وبما أن عدد المتسلسلة n ومتوسط قيمة الحد $\frac{n-1}{2}$ يكون مجموع المتسلسله هو

$$\sum_{0}^{n-1} l = n\left(\frac{n-1}{2}\right)$$

أيضا $\sum_{0}^{n-1} 1 = n \times 1$

وبالتعويض فى معادلة Nn نحصل على عدد الإلكترونات الذى يملأ القشرة :

$$\therefore \quad N_n = 4\,\frac{n\,(n-1)}{2} + 2\,n = 2\,n^2$$

ويبين الجدول الآتى أعداد الإلكترونات فى مستويات الطاقة المختلفة :

n	l	m_l		m_s	Number	of electrons
1	0	0	...	± 1/2	----2	---1 S^2
2	0	0	...	± 1/2	----2	--- 2 S^2
	1	1	...	± 1/2		
		0	...	± 1/2	----6	--- 2 P^6
		-1	...	± 1/2		
3	0	0	...	± 1/2	----2 -	--- 3 S^2
	1	1	...	± 1/2		
		0	...	± 1/2	----6	--- 3 P^6
		-1	...	± 1/2		
	2	2	...	± 1/2		
		1	...	± 1/2		
		0	...	± 1/2	---- 10	--- 3 d^{10}
		-1	...	± 1/2		
		-2	...	± 1/2		

وبترتيب العناصر حسب أعدادها الذرية ، أى حسب عدد الإلكترونات الموجودة بكل ذرة نحصل على ما يسمى بالجدول الدورى .

إذا بدأنا بالأيدروجين $Z = 1$ ويشغل الإلكترون الوحيد هنا المستوى الأول $n = 1$ ويكون رمز الالكترون هو $1S^1$ ، بالنسبة للهيليوم يوجد الكترونان $1S^2$ ، ويصبح مستوى الطاقة الأول $n = 1$ عندئذ مشبعا ، أى لايقبل أى الكترون أضافى ، ويكون شكل الدالة

الموجية Ψ فى هذه الحالة كريا تقريباً ، ولذلك لايقبل الهيليوم الاتحاد مع أى عنصر آخر ولذلك يسمى خاملاً (inert gas) . وكذلك الحال كلما امتلا أحد مستويات الطاقة عن آخرها فإننا نصل إلى عنصر خامل . العنصر الخامل التالى بعد الهيليوم هو النيون ويحتوى على عشرة إلكترونات لكل ذرة (ls2 + 2s2 + 2p6) . والتالى هو الأرجون ويحتوى ٢٨ ويطلق عادة على الأغلفة الأولى الحروف

K ; L ; M ; N ;

(n = 1) (n = 2) (N = 3) (n - 4)

الجدول الدورى

N	M			L		K		
	3 d $l = 2$	3 P $l = 1$	3 S $l = 0$	2 P $l = 1$	2 S $l = 0$	1 S $l = 0$		
First short period						1	H	1
						2	He	2
					1	2	Li	3
					2	2	Be	4
				1	2	2	B	5
				2	2	2	C	6
				3	2	2	N	7
				4	2	2	O	8
				5	2	2	F	9
				6	2	2	Ne	10
Second short period			1	6	2	2	Na	11
			2				Mg	12
		1	2		Neon core		Al	13
		2	2				Si	14
		3	2				P	15
							S	16
							Cl	17
							A	18

مسائل علي لباب السابع

١ - أوجد التردد الكلاسيكى لإلكترون يدور فى مسار دائرى حول بروتون بدلالة نصف قطر المسار .

٢ - عندما يرى خط الصوديوم $(\lambda = 5890\ A^{o})$ فى اتجاه خطوط مجال مغنطيس شدته $(10{,}000\ \ O_e)$ يظهر هناك خطان يفصلها مسافة $d\lambda$. أوجد هذه المسافة .

٣ - إذا كان العمر الزمنى لذرة مثارة هو 10^{-8} s أوجد أقل تردد للفوتون المنبعث منها باستخدام مبدأ عدم التحديد (اعتبر هذا الزمن هو زمن انبعاث الفوتون ثم أوجد طاقته ومن ثم تردده)

٤ - عندما يتحد الكترون وجسيم الفاء وكلاهما فى حالة سكون لتكوين أيون هليوم ينبعث فوتون . أوجد الطاقة التى يحملها هذا الفوتون .

٥ - إذا علم إن ميزون باى $(\pi$ - meson) له نفس شحنة الإلكترون ولكن كتلته 275 ضعفا . وإذا فرض أن هذا الميزون يكون مع بروتون ذرة تشبه ذرة الهيدروجين . أوجد طاقة المسار ونصف قطره ($n = 1$) .

٦ - إذا علم أن طول موجة الخط الأول لطيف ذرة الهيدروجين فى سلسلة بالمرهو $6563\ A^{o}$ وإذا وجد أن الاختلاف فى هذا الطول عندما يكون الطيف للهيدروجين الثقيل (ديوتيريوم) هو $1.8\ A^{o}$. أوجد النسبة بين كتلة ذرة الديوتيريوم وذرة الهيدروجين .

٧ - أوجد الأعداد الكمية المصاحبة للحالات الممكنة لذرة الهيدروجين التى تقابل العدد الكمى الرئيسى $n = 2$.

٨ - اعتبر الكترون له الأعداد الكمية التالية

$n = 4 \quad ; \quad \ell = 3 \quad ; \quad m_\ell = 3$

أوجد القيمة العددية لكمية الحركة الزاوية المدارية ومركبتها فى اتجاه z

٩ - ينشأ الضوء الأصفر للصوديوم من انتقال الكترون من المستوى 3p إلى المستوى 3 S .

أوجد طول موجة الضوء الناتج إذا علم أن فرق مستوى الطاقة هو

$E_{3p} - E_{3S} = 2.1$ ev