كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الثانية**

المادة : كيمياء لا عضوية١

المحاضرة : الاولى /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الكيمياء

الكيمياء اللاعضوية 1

القسم النظري
لطلاب السنة الثانية
قسم الكيمياء

المحاضرة الأولى

للعام الدراسي 2024-2025

أستاذ المقرر
د. تمارة شهرلي

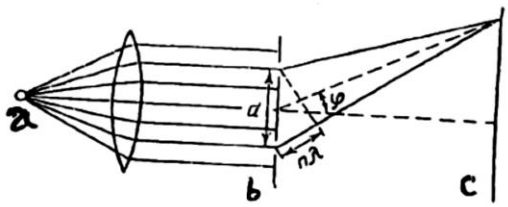
مدخل إلى الميكانيك الكوانتي وبنية الذرة

مقدمة

قبل معظم الفيزيائيين طوال القرن الثامن عشر بأن الضوء يتألف من دقائق صغيرة أو جسيمات تصدر عن المنبع الضوئي كما تصدر الطلقات من فوهة البندقية.

أول من أخذ بالنظرية الجسيمية اسحق نيوتن، أما النظرية الموجية نشأت على يد العالم هويجنز وقد عممها هوك واقترح العالمان أن الضوء يتصف بخواص موجية شبيهة بالخواص الموجية لموجة في الماء. ولكن وفي هذه الفترة تعرضت النظرية الموجية للضعف إلى أن جاء توماس يونغ حيث بيّن أن النظرية الموجية تفوق الجسيمية في قدرتها على تفسير حوادث الانعكاس والانكسار. اكتشف يونغ ظاهرة التداخل واستخدمها في تفسير تشكل حلقات نيوتن. تلك الحلقات التي كان قد فسرها نيوتن بوساطة النظرية الجسيمية.

وجد يونغ أن توجيه حزمة ضوئية وحيدة اللون نحو حاجز يحوي شقين



انفراج حزمة ضوء وحيد اللون عند شقين ضيقين

a: منبع ضوئي، b: حاجز له شقين، C: حاجز

يؤدي إلى تشكل سلسلة من الخطوط يمكن ملاحظتها على حاجز واقع خلف الشقين.

يسهل تفسير هذه الخطوط بواسطة النظرية الموجية بالاعتماد على حادثة التداخل. بعد خروج الاشعاعات الضوئية من الشقين فإذا تلاقى في نفس المكان صدر موجة مع صدر موجة أخرى حدثت تقوية للاشعاع تؤدي إلى تشكل خط مضيء على الحاجز وإذا تلاقى صدر مع تجويف موجة أخرى تفانت الموجتان وظهر خط مظلم على الحاجز. إذاً عندما يتشكل خط مضيء يكون :

$$d\sin\varphi = n.\lambda$$

وعندما يتشكل خط مظلم يكون:

$$d\sin\varphi = \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

حيث:

$$n = 0, \mp 1, \mp 2, \mp 3, \ldots.$$

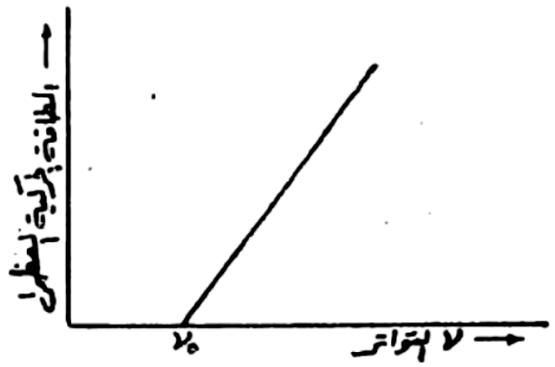
التأثير الكهرضوئي:

يمكن لسطح معدني نظيف أن يصدر الكترونات إذا سقط عليه إشعاع ذو تواتر مناسب. ففي بعض الحالات (كما في المعادن القلوية) يمكن للضوء المرئي إصدار إلكترونات المعدن بينما في أغلب المعادن الأخرى لا بد من استخدام الإشعاع فوق البنفسجي لتحقيق ذلك. والواقع أنه يوجد لكل معدن تواتر حرج υ_o بحيث لا يمكن لأي إشعاع يمتلك دون هذا التواتر أن يسبب إصدار الكترونات ذلك المعدن. وفيما يلي أهم الحقائق التجريبية المتعلقة بهذه الحادثة:

1- لا تصدر الكترونات المعدن ما لم يتجاوز تواتر الإشعاع المستعمل التواتر الحرج υ_o لذلك المعدن.

2- لا تتعلق الطاقة الحركية للالكترونات الصادرة بشدة الإشعاع الوارد ولكنها تتناسب مع تواتره.

3- يتناسب عدد الالكترونات الصادرة في الثانية الواحدة مع شدة الإشـــعاع الوارد.



تغير الطاقة الحركية العظمى للالكترونات الصادرة بتغير تواتر الإشعاع الوارد

يمكن من هذا الشكل التعبير عن الحقيقتين (1و2) السابقتين بالمعادلة:

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = k(\upsilon - \upsilon_0) \qquad (1-1)$$

حيث: T : الطاقة الحركية العظمى.

K : ثابت.

m: كتلة الالكترون الصادر.

v : سرعة الالكترون الصادر.

لا يمكن التوصل إلى العلاقة (1-1) أو تفسير الحقيقتين التجريبيتين (1 و 2) بالاعتماد على النظرية الكلاسيكية للاشعاع وذلك لأن طاقة الإشعاع الكهرطيسي وشدته تتناسبان تبعاً لهذه النظرية، مع مربع المطال الأعظمي لكل من المجال الكهربائي والمجال الكهرطيسي المؤلفين للموجة ولا علاقة لهما بتواتر الإشعاع وهكذا فالنظرية الكلاسيكية للإشعاع تتنبأ بأن طاقة الالكترونات الصادرة يجب أن تزداد بازدياد شدة الإشعاع وهذا مخالف للحقيقة التجريبية (2) يضاف إلى

ذلك أنها لا تستطيع أن تفسر سبب تعلق الطاقة الحركية للالكترونات الصادرة بتواتر الإشعاع الوارد كما أنها تعجز عن تقديم سبب لوجود التواتر الحرج υ_0 . وهنا تصادف النظرية الكلاسيكية للإشعاع فشلاً آخر بعد الفشل الذي واجهته في تفسير توزع الطاقة في طيف اشعاع الجسم الأسود.

في عام 1905 بين أنشتاين أنه يمكن تفسير حادثة التأثير الكهر ضوئي بتطبيق فرضيات بلانك الكوانتية. وبكلام آخر فقد اقترح انشتاين أنه لا ينبغي للفرضيات الكوانتية الاقتصار على تفسير حادثة امتصاص أو إصدار الإشعاع بل لا بد من إمكانية تطبيقها على طبيعة الإشعاع ذاته. وهكذا اعتبر أنشتاين الإشعاع الكهرطيسي مؤلفاً من جسيمات تسمى اليوم فوتونات، يحمل كل منها طاقة قدرها كوانتم واحد $(h\upsilon)$ وتتحرك في الفراغ بسرعة الضوء.

فإذا اصطدم فوتون تواتره υ بسطح معدني قدم جميع طاقته لأحد الالكترونات في المعدن حيث يصرف جزءاً من هذه الطاقة وليكنw ، في فصل الالكترون عن سطح المعدن بينما يصرف القسم الآخر منها لإصدار ذلك الالكترون ويظهر على شكل طاقة حركية، وهكذا نجد ان :

$$h\upsilon = w + \frac{1}{2}mv^2 \qquad (2-1)$$

يتضح مما سبق أن w تمثل أصغر طاقة على الفوتون أن يمتلكها لكي يستطيع فصل الألكترون عن سطح المعدن ولذا تعرف بطاقة ارتباط الالكترون بالذرة ولا يمكن إصدار الالكترون ما لم تتجاوز طاقة الفوتون القيمة w . فإذا عبرنا عن w بدلالة التواتر نكتب:

$$w = h\upsilon_o$$

حيث يمثل υ_0 التواتر الحرج (أصغر تواتر لا بد أن يمتلكه الفوتون لكي يستطيع فصل الالكترون عن سطح المعدن)، ولا يمكن إصدار الالكترون ما لم يتجاوز تواتر الفوتون المستعمل التواتر الحرج υ_0. بتعويض w في المعادلة (2-1) نحصل على :

$$h\upsilon = h\upsilon_o + \frac{1}{2}m v^2$$

$$\frac{1}{2}m v^2 = h(\upsilon - \upsilon_o) \qquad (3-1)$$

تمثل الطاقة الحركية في هذه المعادلة الطاقة الحركية العظمى للالكترون الصادر وذلك لأنها تساوي كامل الطاقة المتبقية من الفوتون بعد صرف القسم اللازم فقط لانتزاع الالكترون من الطبقات الذرية السطحية للصفيحة المعدنية. أما إذا حدث ونزع الالكترون من الطبقات الداخلية للصفيحة وجب عندئذ صرف قسم من الطاقة المتبقية لنقل الالكترون من الطبقات الداخلية هذه إلى الطبقة السطحية وعندئذ ستكون طاقته الحركية أقل من الطاقة الحركية المحسوبة بالمعادلة(1-3) السابقة. يلاحظ أن المعادلة (1-3) تتفق في شكلها مع المعادلة (1-1) التي تم التوصل إليها تجريبياً من الشكل (1-2) وأن ميل الخط في هذا الشكل يساوي ثابت بلانك h.

لقد وجد من تجارب ميليكان عام 1917 في حادثة التأثير الكهرضوئي أن $h - 6{,}56 \times 10^{-27}$ erg.sec وهي تتفق بصورة جيدة مع القيمة الناتجة عن القياسات الإشعاعية.

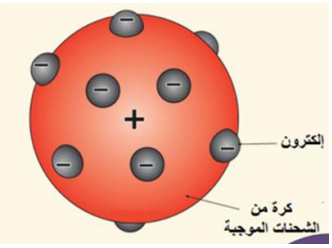
وأخيراً يمكن شرح الحقيقة التجريبية (3) التي تنص على أن عدد الالكترونات الصادرة في الثانية يتناسب مع شدة الإشعاع الوارد إذا تذكرنا أن شدة الإشعاع تتناسب مع عدد الفوتونات الواردة إلى نقطة ما من السطح في واحدة الزمن، فإذا ازدادت شدة إشعاع ذي تواتر مناسب ازداد عدد الالكترونات الصادرة ولكن طاقاتها الحركية تبقى ثابتة.

نماذج بنية الذرة The atom configuration models

أولاً: نموذج تومسون للذرة Thomson's model of the atom

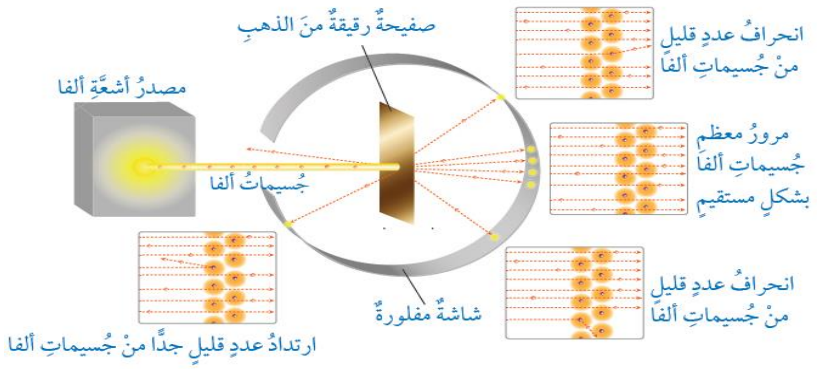
توصل تومسون بعد عدة تجارب قام بها لمعرفه طبيعة وجسيمات الذرة وخصائصها الى ان الذرة تتكون من كره من الشوارد الموجبة مغموس فيها عدد من الشحنات السالبة (الالكترونات) بحيث يتم التعادل الكهربائي كما هو مبين بالشكل الاتي

كما استطاع تومسون حساب النسبة e\m



ثانياً : نموذج رذرفورد Rutherford's model of the atom

قام العالم رذرفورد بتسليط أشعه الفا (نوى الهيليوم He^{+2})على صفيحه رقيقه من الذهب سماكتها$5000A^{o}$ وجد ان معظم الأشعة تخترق الصفيحة وجزء منها ينحرف عن مساره الأصلي، وجزء يرتد كليا بعد اصطدامه بالصفيحة . يمكن تفسير نفاذ معظم الأشعة بأنه يدل على ان معظم الصفيحة فراغ ، أما انحراف الجزء القليل فيعني مرور الأشعة بمراكز تحمل شحنات موجبه ، وارتدادها كليا يعني اصطدام الأشعة بمراكز تحمل شحنه موجبه أيضا . وجزء صغير من الأشعة ينحرف فيعني ان المراكز التي تحمل شحنه موجبه تشغل حيزا صغيرا جدا. هذه المراكز سميت فيما بعد بالنوى حيث تتمركز معظم كتله الذرة فيها وتكون الالكترونات محيطة بها. ونظرا لصغر حجم الالكترونات فان معظم الأشعة تنفذ بسهوله.



نتائج تجربة رذرفورد

❖ **يمكن اجمال نتائج تجربه رذرفورد في النقاط الأتية:**

1- كل ذره عنصر تتألف من نواه تحوي شحنه موجبه وهي تمثل معظم كتله الذرة.

2- حجم الذرة كبير جدا بالنسبة للنواه.

3- عدد البروتونات في نواه الذرة يعرف بالعدد الذري للعنصر وعليه فان العدد الذري لكل الذرات في العنصر الواحد يكون متساويا.

4- في الذرة المتعادلة كهربائيا يكون عدد البروتونات في النواه يساوي عدد الالكترونات خارج النواه.

5- رقم الكتلة يساوي عدد البروتونات +عدد النترونات.

6- يطلق اسم نوكليون على كل من البروتون والنيترون لان النوكليون جسيم ذو حالتين كوانتيتين هما البروتون والنيترون.

7- تسمى الذرات التي تتساوى في العدد الذري وتختلف في رقم الكتلة بالنظائر (Isotopes) ، مثل ^{14}C , ^{12}C ويحتوي النظيران على ثمانية وسته نيترونات على التوالي ، والنظير يكون متشابها في الخصائص الكيميائية ومختلفا في الخصائص الفيزيائية مثل الوزن ، وبعض النظائر قد تعطى اسماء ورموز مختلفة كما في نظائر الهيدروجين.

ثالثاً :نموذج بور للذرة Bohr's model of the atom :

تبعاً لنموذج رذرفورد بقي ان نعرف كيفيه دوران الالكترونات وما هو موقعها ،والسبب في التساؤل هو نظريه ماكسويل التي كانت سائدة يومها ،والتي تنص على ان الالكترون يفقد طاقته

باستمرار في اثناء دورانه حول النواه وهذا يعني ان الالكترون سيسقط ويصطدم النواه وهذا لن يحدث طبعا.

لقد كان لدراسة طيف ذره الهيدروجين من قبل العالم بالمر عام 1885م واخرين ،اثر كبير في اقدام العالم بور عام 1913م على نشر نظريته ، والتي تتألف من النقاط الأتية:

1- عدم صحه نظريه ماكسويل.

2- نموذج رذرفورد صحيح في ان الالكترونات تدور حول النواه بشكل مشابه لدوران الكواكب حول الشمس.

3- تتحرك الالكترونات في مسارات دائريه محدده حول النواه يرمز للمدارات بأعداد صحيحه 1،2،3...

تدعى الاعداد الكوانتية الرئيسية.

فعندما n=1 يعرف ذلك بالسوية الأساسية ، وتعرف المدارات الأعلى ...n=2,3,4 بالسويات المثارة

4- عند اكتساب الالكترون لكمية من الطاقة ينتقل الى مستوى طاقه اعلى (وضع غير مستقر) ،وعند فقده لهذه الطاقة يعود الى موضعه الاصلي فاقدا الكم نفسه من الطاقة الذي اكتسبه في اثناء الإثارة على هيئه اشعاع من الضوء له طول موجي وتردد مميز.

ومقدار الطاقة المكتسبة او المفقودة (الكم او الكوانتم) يساوي فرق الطاقة بين المستويين وتكون على شكل فوتون، كما توضح علاقه ماكس بلانك:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = n.h.\upsilon$$

حيث ΔE الطاقة الصادرة أو الممتصة، E_2 السوية الطاقية الأعلى، E_1 السوية الطاقية الأدنى، n عدد صحيح موجب، υ تواتر الضوء الصادر أو الممتص، h ثابت بلانك.

وعليه فان نظريه الكم تنص على: ان الطاقة لا توجد بشكل سياله مستمرة، ولكن على نحو متقطع تدعى اصغر قيمه لها كوانتم او فوتون .

وكان ماكس بلانك اول من اقترح فكره تكميم الطاقة ثم اثبتها اينشتاين.

5- إن الالكترون يدور وفق مدارات محددة وهذه المدارات يجب أن يكون لهـا عزم زاوي مكمم معرّف بالعلاقة التالية:

$$M = m\,v\,r = n\frac{h}{2\pi} \qquad (6-1)$$

M: عزم زاوي للالكترون على مدار مستقر .

m: كتلة الالكترون.

v : سرعة الالكترون.

r : نصف قطر المدار.

n : عدد صحيح موجب وهو عدد كوانتي .

h : ثابت بلانك.

وهذه النقطة منسجمة مع ما جاء به سمرفيلد لاحقاً.

ولقد مكّن هذا النموذج بور من تفسير الخطوط الطيفية فـي ذرة الهيـدروجين والشوارد شبيهات الهيدروجين ونجح نجاحاً كبيراً في ذلك.

كما استطاع بور من خلال نموذجه أن يحسب نصف قطر مـدار الالكتـرون الوحيد في ذرة الهيدروجين؛ حيث أن هذا الالكتـرون يتعـرض إلـى قـوتين متعاكستين. الأولى قوة جذب النواة الموجبة ذات الشحنة (Ze +) للالكتـرون السالب (e-) ويمكن التعبير عن هذه القوة وفق قـانون كولـون (فـي جملـة الواحدات السغثية):

$$F_1 = \frac{-Ze^2}{r^2}$$

F_1: قوة التجاذب.

e : شحنة الالكترون.

Z: العدد الذري.

r : نصف قطر مدار الالكترون.

والقوة الثانية هي القوة النابذة:

$$F_2 = \frac{m v^2}{r}$$

V : سرعة الالكترون.

ولدينا من شرط استقرار دوران الالكترون حول مداره المحدد تساوي القــوتين المتعاكستين (القوة الجاذبة والقوة النابذة).

$$-F_1 = F_2$$

$$\frac{+Ze^2}{r^2} = \frac{m v^2}{r} \qquad (7-1)$$

$$r = \frac{Ze^2}{m v^2} \qquad (8-1)$$

بتطبيق شرط كون العزم الزاوي للالكترون مكمماً العلاقة (1-6) أي أن:

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

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

بتعويض عن V^2 بقيمتها في العلاقة (1 – 8)نجد

$$r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 mZe^2} \qquad (9-1)$$

وبتعويض r هذه في إحدى العلاقتين (1-6) أو (1-7) نحصل على قيمــة v كما يلي :

$$v = \frac{2\pi\ Ze^2}{n\ h} \qquad (10-1)$$

يمكن بسهولة حساب أنصاف أقطار المدارات – باختلاف n – وسرعة الالكترون عليها لأية جملة تحوي الكتروناً واحداً. ففي حالة الهيدروجين، حيث Z = 1 ومن أجل المدار الطبيعي، حيث n =1 ، يساوي نصف قطر ذرة الهيدروجين القيمة $r = 0{,}529 \times 10^{-8}\ cm$ أو $0{,}529\ A^{o}$.

الطبيعة الموجية للإلكترون- وفرضية دي بروغلي

-الالكترون جسيم مادي متحرك له حركة موجية اي ان للإلكترون طبيعة الجسيمات وطبيعة الموجات.

-الحركة الموجية للإلكترون تسمى الموجات المادية، وهي تختلف عن الموجات الكهرومغناطيسية في:

1- ان سرعتها اقل من سرعه الضوء .

2-انها لا تنفصل عن الجسم المتحرك اي مصاحبه له.

-أوحت هذه المفاهيم للعالم دي بروغلي في العام 1924 م بتعميم المفاهيم الموجية الجسيمية على جميع الجسيمات الدقيقة والتوصل الى علاقة لحساب طول موجات الاجسام . وذلك بالمساواة بين علاقه اينشتاين وعلاقه ماكس بلانك.

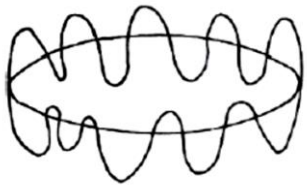
$$\Delta E = \Delta m.C^2$$

$$\Delta E = h.\nu$$

وبالمساواة نجد:

$$m.C^2 = mC.C = h.\nu = \frac{h.C}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{m.C}$$

حيث إن λ طول موجة الفوتون الناتج عن تحول الكتلة m إلى طاقة ضوئية.



الطبيعة الموجية للضوء

قاعدة هايزنبرغ في عدم التحديد

نص القاعدة: يستحيل (عمليا) ايجاد سرعه ومكان الالكترون في نفس الوقت وبدقه ،لكن احتمال وجود الكترون في مكان ما وبسرعه ما اقرب للصواب.

ميكانيك الكم – معادلة شرودنغر

اقتصرت نظرية بور في تحديد طيف الذرات على ذرة الهيدروجين فقط ، وعجزت عن تفسير وجود خطوط اضافية في طيف ذرة الهيدروجين في المجال المغناطيسي، وعن كيفيه تحديد مكان الالكترون وسرعته في آن واحد ، ودوران الالكترون حول النواة بمدار محدد ، واعتبار ان ذرة الهيدروجين مستويه .

نتيجةً لهذه التساؤلات كان لابد من ايجاد معادله شرودنغر: وهي معادلة تصف حركة الجسيمات الدقيقة وطاقتها.

وقد تمكن العالم النمساوي شرودنغر من حل هذه المشكلة وذلك بإيجاد معادلة عرفت باسمه:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\frac{8\pi^2 m}{h^2}(E-V)\psi=0$$

حيث إن : E الطاقة الكلية

V الطاقة الكامنة

h ثابت بلانك

m كتلة الإلكترون

ψ التابع الموجي (بسي)

x , y , z المحاور الرئيسية الثلاثة

أعداد الكم Quantum numbers

تحدد هذه الاعداد حجم الحيز من الفراغ الذي يكون احتمال تواجد الالكترون فيه اكبر ما يمكن ،كما تحدد طاقه هذه المدارات واشكالها واتجاهاتها بالنسبة لمحاور الذرة ، وهذه الاعداد هي:

أولاً : عدد الكم الرئيسي The principle quantum number

هو العدد الذي يصف بُعد الالكترون عن النواه . ويرمز له بـ (n) ويأخذ القيم n=1,2,3,4.... وبزياده قيمته تزداد طاقه الالكترون، وتدل قيم (n) على الطبقات الإلكترونية الرئيسية كما يأتي:

عدد الكم الرئيسي	1	2	3	4	5
سويات الطاقة الرئيسية	K	L	M	N	O

ويحدد عدد الالكترونات الأعظمي في كل سوية بالعلاقة: $2n^2$

ثانياً : عدد الكم الثانوي The secondary quantum number

استطاع العالم سمرفيلد ان يكتشف ان خط الطيف والذي يمثل انتقال الكترون بين مستويين مختلفين في الطاقة هو في الواقع عبارة عن عدة خطوط طيفية دقيقة تدعى سويات الطاقة الفرعية ، أي أن كل سوية طاقة رئيسيه تتكون من عدد من سويات الطاقة الفرعية ، والتي يرمز لها بـ s, p, d, f وتأخذ القيم 0,1,2,3 على التوالي.

وهو الذي يصف شكل المدار الذي يوجد فيه الالكترون ويرمز له بـ (ℓ)

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

يوضح الجدول الآتي قيم الأعداد n و ℓ والسويات الموافقة لها:

انقسام السوية n واسم السويات	العدد الكمي الثانوي ℓ	العدد الكمي الرئيسي n
S	0	1
S,p	0,1	2
S,p,d	0,1,2	3
S,p,d,f	0,1,2,3	4

ثالثاً: عدد الكم المغناطيسي The magnetic quantum number

بوجود مجال مغناطيسي قوي وجد ان كل خط طيفي يمثل مستوى فرعي ينقسم الى عدد فردي من المدارات يوضحها العدد الكمي المغناطيسي (m) وهي:

- **المستوى S له مدار واحد ويكون بشكل كروي.**
- **المستوى الفرعي P وهو عباره عن ثلاث مدارات تتخذ محاورها الاتجاهات الفراغية X,Y,Z وهي متعامدة.**
- **المستوى الفرعي d وهو عباره عن خمسه مدارات متعامدة.**
- **المستوى الفرعي f وهو عباره عن سبعه مدارات متعامدة ايضاً.**

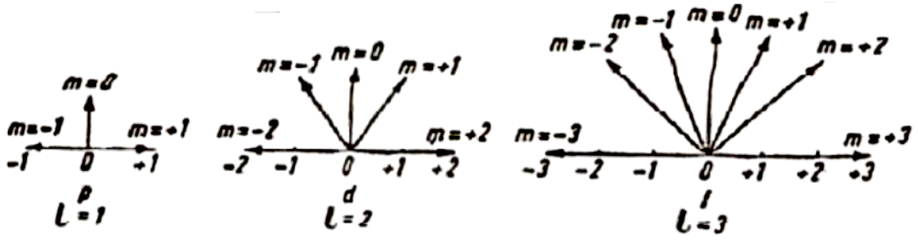
أي أن العدد m يحدد عدد مدارات سويات الطاقة الفرعية واتجاهاتها الفراغية، وهو عدد فردي يأخذ القيم 1,3,5,7 : ($m=(-\ell.....0....+\ell)$

ℓ	0	1	2	3
المدار	s	p	d	F
عدد الانقسامات	–	3	5	7

يوضح الجدول الآتي قيم الأعداد ℓ و m:

ℓ	M
$\ell=0$	0
$\ell=1$	+1 0 −1
$\ell=2$	+2 +1 0 −1 −2

يوضح الشكل الآتي الاتجاهات المغناطيسية للمدارات s(d=0) و p(d=1) و d(d=2):



رابعاً: عدد الكم السبيني (اللف الذاتي) The spin quantum number

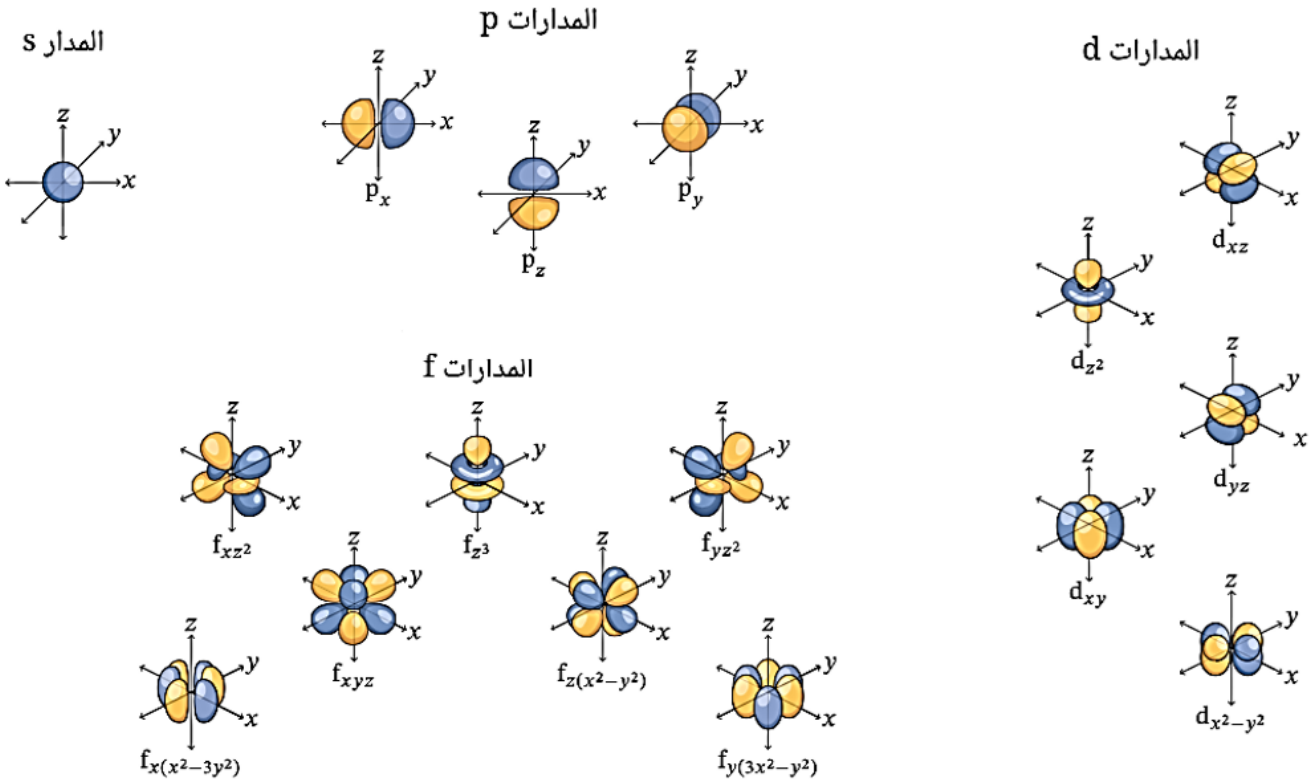
يمكن أيضاً بدون الساحة الكهربائية او المغناطيسية وبوساطة مطياف حساس وقوي ،أن يظهر انقسام الخطوط الطيفية والتي تبدو وكأنها خط واحد.

لشرح هذه الظاهرة يجب الإشارة الى دوران الالكترون حول نفسه إما لليسار أو لليمين ، وكل خط عبارة عن سوية طاقة والفرق بين السويتين هو فرق بين عزمين حركيين زاويين مقداره الكمي $m_e vr$. $h/2\pi$

وهذه القيمة عبارة عن الفرق بين $\frac{+\frac{1}{2}h}{2\pi}$ و $\frac{-\frac{1}{2}h}{2\pi}$.

ولذلك يعبر عن اللف الذاتي للإلكترون بالعدد الكمي للف الذاتي S ويأخذ القيم $S=\pm 1/2$

أشكال المدارات في الفراغ:



توزيع الإلكترونات على مدارات الذرة حتى n=3

n	ℓ	m	s	عدد الإلكترونات $2n^2$	المدار	الترتيب الإلكتروني	الطبقة الرئيسية
1	0	0	$\pm\frac{1}{2}$	2	1S	$1S^2$	K
2	0	0	$\pm\frac{1}{2}$	2	2S	$2S^2$	L
	1	+1	$\pm\frac{1}{2}$	6	$2P_x$	$2P^6$	
		0	$\pm\frac{1}{2}$		$2P_y$		
		−1	$\pm\frac{1}{2}$		$2P_z$		
3	0	0	$\pm\frac{1}{2}$	2	3S	$3S^2$	M
	1	+1	$\pm\frac{1}{2}$	6	$3P_x$	$3P^6$	
		0	$\pm\frac{1}{2}$		$3P_y$		
		−1	$\pm\frac{1}{2}$		$3P_z$		
	2	+2	$\pm\frac{1}{2}$	10	$3d_{x^2-y^2}$	$3d^{10}$	
		+1	$\pm\frac{1}{2}$		$3d_{xz}$		
		0	$\pm\frac{1}{2}$		$3d_{z^2}$		
		−1	$\pm\frac{1}{2}$		$3d_{yz}$		
		−2	$\pm\frac{1}{2}$		$3d_{xy}$		

انتهت المحاضرة