

الفصل الرابع : النموذج الكمي للذرة

I- التركيب الإلكتروني للذرة باستخدام الميكانيك الكلاسيكي و الكمي

- مقدمة:

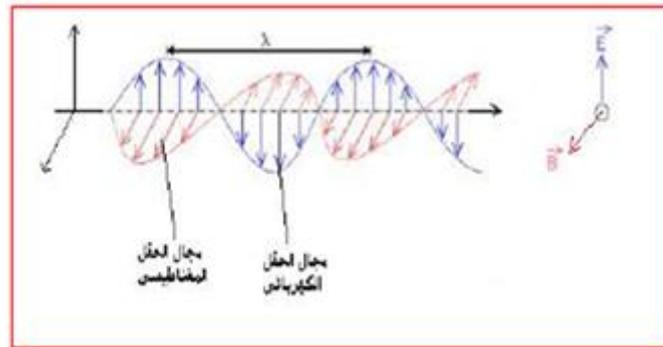
كشفت تجارب **Rutherford** أن المادة تتكون من ذرات، والذرة بدورها تتكون من نواة موجبة الشحنة تتركز فيها كتلة الذرة، تطوف حول النواة جسيمات تدعى إلكترونات وهي سالبة الشحنة مشكلة ما يدعى بالسحابة الإلكترونية كما بينت التجارب أن الذرة مستقرة و متعادلة كهربائياً.

لنحاول تفسير استقرار الذرة اعتماداً على مفهوم الميكانيك التقليدي، نعتبر أن الإلكترونات المحاطة بالنواة ساكنة، في هذه الحالة لا يمكن للذرة أن تكون على حالتها المستقرة لأن إلكتروناتها ستلتصق بالنواة و هذا حسب قانون كولومب للتجاذب. مما سبق يجب أن نعتبر الإلكترونات متحركة في مسار منحنى بسرعة ما حول النواة، عندما يكون لها تسارع، فمن ناحية المفهوم التقليدي لنظرية الكهرومغناطيسية الذي ينص على أن كل جسيم مشحون و متسارع يفقد طاقة. مما تقدم ذكره إذا لم تزود الإلكترونات بطاقة ما و باستمرار فإنه بدون شك يأتي زمن تنفذ فيه هذه الطاقة، و تلتصق الإلكترونات بالنواة. لكن هذا لم يؤكد تجريبياً، بل على العكس أكدت التجربة على أن الذرة مستقرة مهما كان الزمن، نلاحظ أن تفسيرنا التقليدي بات عاجزاً على فهم استقرار الذرة.

نتيجة للظواهر السابقة اقترح بور نموذجاً لذرة الهيدروجين يتكون من مدارات محددة، و مستويات للطاقة غير متواصلة، يعتبر هذا الاقتراح أول خطوة في طريق نظريات الكم.

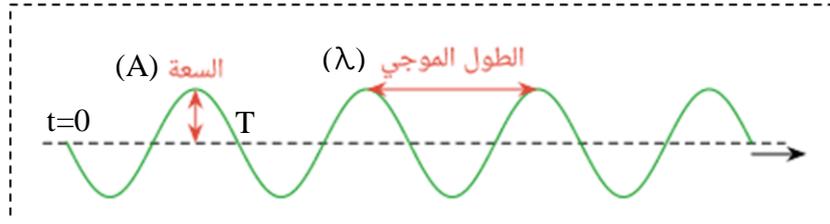
1- الطبيعة الموجية للضوء:

اختلف الفلاسفة و العلماء عبر العصور في طبيعة الضوء، فمنهم من كان يعتقد أن الضوء عبارة عن جسيمات صغيرة تتحرك بسرعة مدهلة و منهم من كان يرى بأن الضوء عبارة عن أمواج. و لقد توصل العالم الإنجليزي ماكسويل (J.C. Maxwell) إلى نظرية تصف الضوء على أنه عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية ناتجة من انتشار اهتزازي لمجالين كهربائي و مغناطيسي عموديان على بعضهما و عموديان على اتجاه الحركة.



-انتشار موجة ضوئية-

يمكن تصوير هذه الموجة في أي لحظة من الزمن فنتحصل على الشكل التالي:



هذه الحركة الموجية تعرف بما يلي:

- طول الموجة الضوئية (λ):

هو المسافة التي تقطعها الموجة في دور زمني يساوي T و تقاس بوحدة الطول (cm, nm, m, A°...)

$$\text{حيث: } 1\text{m} = 10^2 \text{ cm} = 10^9 \text{ nm} = 10^{10} \text{ A}^\circ$$

- الدور (T):

هو الزمن اللازم لشعاع الاهتزاز بأن يأخذ نفس الطول و نفس الاتجاه.

- التواتر (التردد (ν):

هو عدد الاهتزازات خلال وحدة الزمن، و يقاس بالهرتز Hz أو s^{-1} حيث: $1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$

$$\nu = \frac{C}{\lambda} = \frac{1}{T}$$

- سعة الموجة (A):

هي الانتقال الأعظمي عن محور الحركة.

- السرعة (C):

هي المسافة المقطوعة في وحدة الزمن و تساوي: $C = 2,99.10 \text{ m/s}$

- العدد الموجي (ν̄):

هو عدد الأمواج المقطوعة في المتر الواحد حيث:

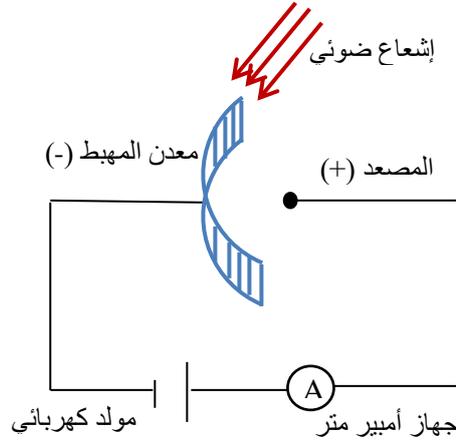
$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} (\text{cm}^{-1}, \text{m}^{-1} \dots)$$

2- الطبيعة المادية أو الجسيمية للضوء (نظرية Planck):

فشلت النظرية الموجية للضوء في تفسير بعض الظواهر الفيزيائية، كتوزيع الطاقة الصادرة من جسم جد ساخن (محمّر) و الفعل الكهروضوئي:

أ- في بداية القرن العشرين استطاع العالم بلانك أن يعلل سبب توزيع الطاقة الصادرة من جسم جد ساخن (محمّر) باعتبار أن الطاقة الصادرة مكممة أي بكميات محددة على شكل فوتونات (photons)، طاقتها E حيث: $E=h\nu$ ، ثابت بلانك و يساوي $6,62.10^{-34} \text{ J.s}$ و ν تواتر الضوء (الفوتون).

ب- عند تسليط أشعة بطول موجة معين على مهبط مطلي بمعدن معين في جهاز كما في الشكل نلاحظ مرور تيار كهربائي.



الظاهرة تسمى ظاهرة الفعل الكهروضوئي، الطاقة الضوئية الممتصة من طرف الكاتود المعدن على شكل فوتونات تسمح لها بالتحرك من المعدن لتعطي تيار كهربائي.

عند تغيير نوع المعدن في المهبط و طول موجة الاشعاع و شدته نلاحظ ما يلي:

- لكل معدن معين تواتر أصغري يسمى التواتر الحرج يؤدي إلى الفعل الكهروضوئي.
- سرعة الإلكترونات المتحررة من المعدن لا تتأثر بشدة الضوء و لكن تتأثر فقط بتواتره.
- عدد الإلكترونات المنزوعة يكون في تناسب طردي مع شدة الضوء.

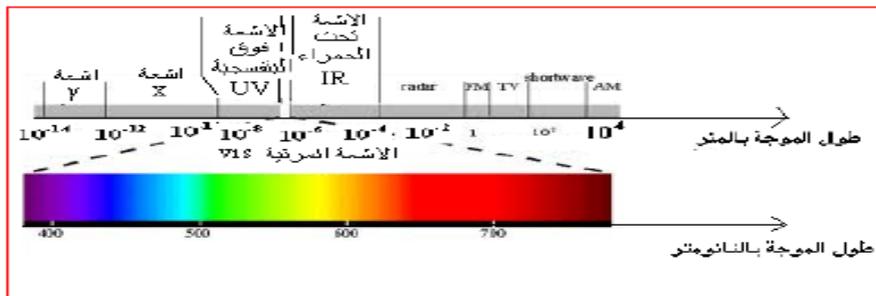
في سنة 1905 قدم العالم أينشتاين Einstein تفسير لهذه الظاهرة بالاعتماد على فرضية الكم لبلاانك، و افترض أن الضوء مشكل من فوتونات طاقتها $h\nu$ ، عند اصطدامها مع الكاتود المعدن جزء من طاقتها يستعمل لنزع الإلكترونات من ذراتها و حملها إلى سطح المعدن (الطاقة اللازمة لنزع الإلكترونات)، و الباقي من الطاقة يأخذه الإلكترون على شكل طاقة حركية.

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow E_c = h (\nu - \nu_0)$$

ν_0 : التواتر الحرج أو التردد الحرج أو تواتر العتبة.

3- طيف الأشعة الكهرومغناطيسية:

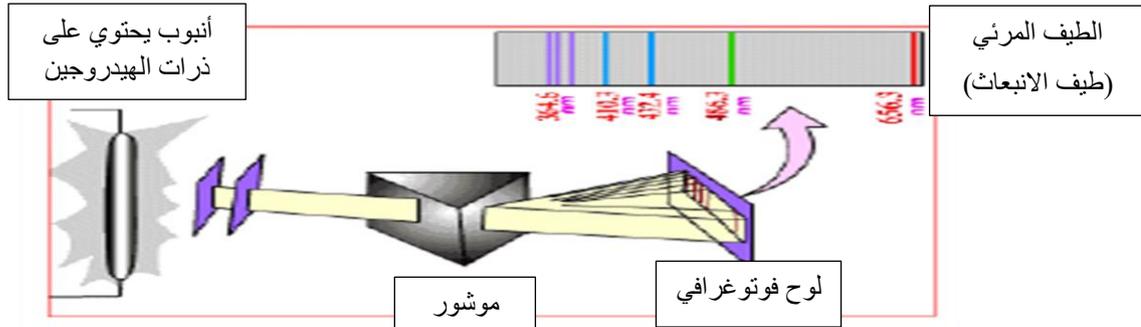
دراسة طيف إشعاع كهرومغناطيسي يمكننا من إيجاد جميع الموجات الضوئية (المجالات الضوئية)، و في هذا الطيف نجد أن المجال المرئي يكون جزء صغير جدا من هذه الإشعاعات.



4- الطيف الذري:

في النصف الثاني من القرن 19 قام العلماء بدراسة الأطياف الصادرة من عدة غازات عند وضعها تحت ضغوط منخفضة و درجات حرارة عالية. عند هذه الشروط جزيئات الغاز تتفكك إلى ذراتها و الطيف المسجل يكون طيف الذرات المكونة للغاز، وجد أن هذه الأطياف جد معقدة للذرات ذات الرقم الذري الكبير و نسبيا بسيطة في حالة بعض العناصر كالهيدروجين.

(أ) الطيف الذري للهيدروجين Spectre d'atome d'hydrogène:



داخل انبوب يحتوي على غاز الهيدروجين و عند ضغط منخفض، تطبق فرق جهد عالي حيث يتم إثارة غاز الهيدروجين، فيتوهج و ينتج ضوء أحمر و عند مرور الحزمة الضوئية خلال مشور فإنها تتحلل إلى مركباتها الأولية لترسم على اللوح الفوتوغرافي خطوط متقطعة غير مستمرة في مناطق الطيف فوق البنفسجي (UV)، و المرئية (V) و تحت الحمراء (IR).

- يمثل كل خط من الخطوط إشعاع كهرومغناطيسي له تواتر و طول موجة معين.
- ففي عام 1885 بين العالم بالمر (Balmer) أن العدد الموجي $\bar{\nu}$ لخطوط طيف الهيدروجين في المجال المرئي يمكن أن يعبر عنه بالعلاقة التجريبية:

$$\bar{\nu} = 1,097 \cdot 10^5 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ cm}^{-1}$$

حيث: $n = 3, 4, 5 \dots$

- كما قام العالم ريدبارغ (Rydberg) بتعميم هذه العلاقة بعد اكتشاف الخطوط الأخرى في المجال غير المرئي:

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

حيث: n_1 و n_2 أعداد طبيعية و $n_2 > n_1$ ، R_H ثابت ريدبارغ

$$R_H = 1,0967758 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1} \text{ (cgs)}, \quad R_H = 1,0967758 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ (MKSA)}$$

بينما طاقة الفوتون المنبعث :

$$\Delta E = h\nu = h \frac{C}{\lambda} = hc \bar{\nu} \Rightarrow \Delta E = hcR_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

توجد خمس سلاسل خاصة بطيف انبعاث ذرة الهيدروجين.

(ب) تفسير طيف انبعاث ذرة الهيدروجين:

عندما تصطدم الإلكترونات الصادرة من المهبط بجزيئات الهيدروجين تفككها كما يلي:



تعرض هذه الذرات إلى التفريغ الكهربائي و الضغط المنخفض يجعلها في حالة إثارة أو تنشيط، حيث أن إلكتروناتها تكتسب كم من الطاقة ينقلها إلى مستويات طاقة أعلى من مستوياتها الأساسية، تلك الإلكترونات المثارة لا تستقر في مستوياتها الجديدة (كل جملة تفضل أن تكون في حالة الاستقرار)، بل سرعان ما تفقد جزء من طاقتها المكتسبة لتعود من جديد إلى مستوياتها الأساسية إما في خطوة واحدة أو أنها تمر بمستويات الطاقة الأخرى مع إصدار ضوء.

ملاحظة:

- ذرة مستقرة من الطاقة يعني أن إلكتروناتها تشغل أدنى مستويات الطاقة.
 - ذرة نشطة (غير مستقرة) يعني أن إلكتروناتها تشغل أعلى مستويات الطاقة.
- عندما يسقط الإلكترون من أي مستوى إثارة إلى:

✚ **المستوى الأساسي:** $n_1 = 1, n_2 > 1$ حيث n عدد طبيعي

يعطي خطوط في طيف انبعاث ذرة الهيدروجين خاصة بسلسلة ليمان **Lyman**

✚ **المستوى الثاني:** $n_1 = 2, n_2 > 2$

يعطي خطوط في طيف انبعاث ذرة الهيدروجين خاصة بسلسلة بالمر **Balmer**

✚ **المستوى الثالث:** $n_1 = 3, n_2 > 3$

يعطي خطوط في طيف انبعاث ذرة الهيدروجين خاصة بسلسلة باشن **Paschen**

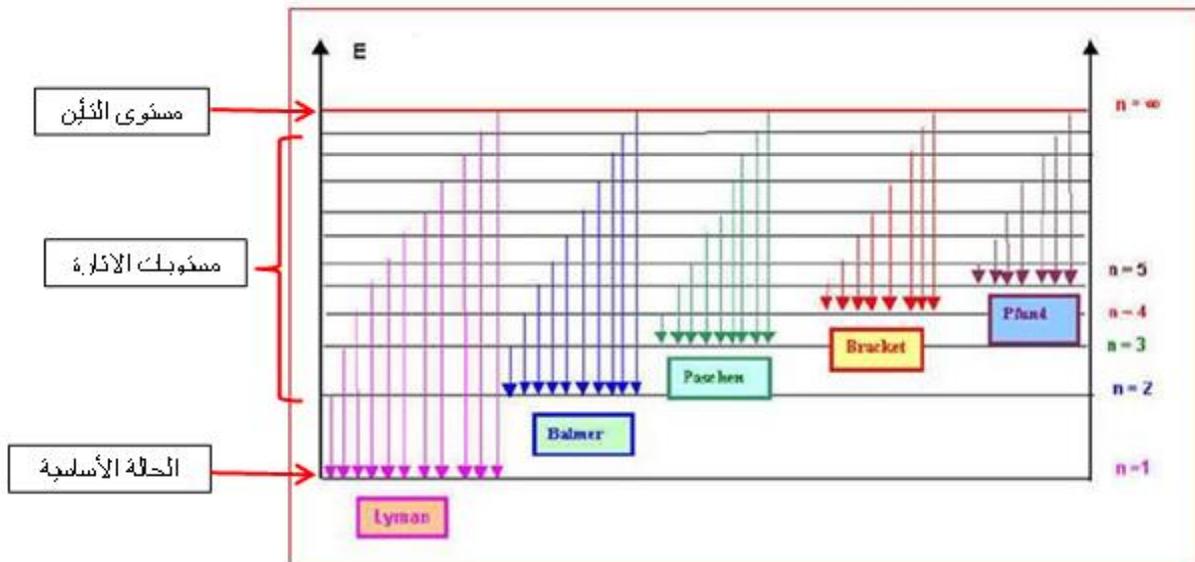
✚ **المستوى الرابع:** $n_1 = 4, n_2 > 4$

يعطي خطوط في طيف انبعاث ذرة الهيدروجين خاصة بسلسلة براكت **Brackett**

✚ **المستوى الثاني:** $n_1 = 5, n_2 > 5$

يعطي خطوط في طيف انبعاث ذرة الهيدروجين خاصة بسلسلة بفوند **Pfund**

و على هذا الأساس يمكن تمثيل طيف انبعاث ذرة الهيدروجين كما يلي:



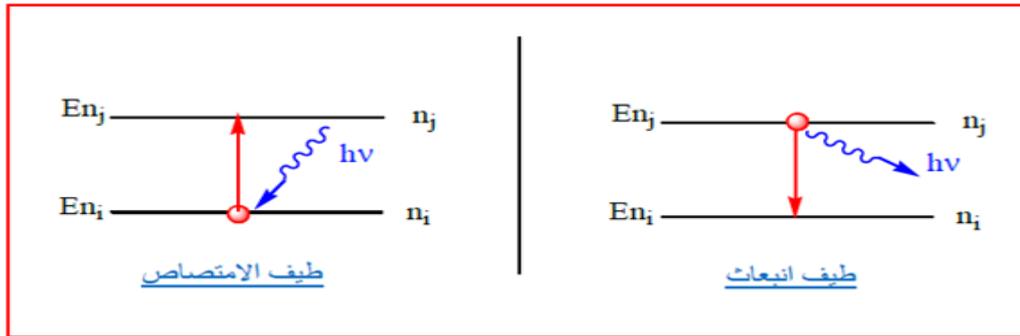
- يطلق اسم الخط الأول لسلسلة ما الخط الموافق لأصغر قيمة للطاقة ΔE و أكبر قيمة لطول الموجة λ_{max} ، فمثلا الخط الأول في سلسلة ليمان يوافق الانتقال من $1 \leftarrow 2$ في طيف الامتصاص و $1 \leftarrow 2$ في طيف الانبعاث.
- يطلق اسم الخط الحدي أو النهائي لسلسلة ما الخط الموافق لأكبر قيمة للطاقة ΔE و أصغر قيمة لطول الموجة λ_{min} ، فمثلا الخط الحدي في سلسلة ليمان يوافق الانتقال من $1 \leftarrow \infty$ في طيف الامتصاص و $1 \leftarrow \infty$ في طيف الانبعاث.

تختلف السلاسل الطيفية باختلاف قيم n_1 :

نحصل على طيف الامتصاص عندما ينتقل إلكترون من مدار n_i ذو مستوى طاقي أقل إلى مدار n_j ذو مستوى طاقي أكبر بحيث $i < j$ ، و العكس بالنسبة طيف الانبعاث. الفرق في الطاقة بين المدارين ΔE يسمح بمعرفة تواتر الاشعاع الصادر بحيث:

n_1	اسم السلسلة	مجال الطيف	مجال قيم λ (nm)
1	ليمان	UV فوق البنفسجي	97,25-121,97
2	بالمر	V المرئي	434,1-656,3
3	باشن	IR تحت الحمراء	1094-1875
4	براكت	IR تحت الحمراء القريبة	2630-4050
5	بفوند	IR تحت الحمراء البعيدة	7400.....

$$\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}} = h\nu = hc\bar{\nu}$$



5- تطبيق نظرية بور على ذرة الهيدروجين:

يقصر هذا النموذج (النموذج الذري لبور) على دراسة الأنظمة ذات الإلكترون الواحد منها الهيدروجين و أشباه الهيدروجين.

- أشباه الهيدروجين: هي شوارد تتشابه مع الهيدروجين من حيث عدد الالكترونات و تختلف من حيث عدد البروتونات Z مثل: ${}^4_2\text{He}^+$, ${}^6_3\text{Li}^{+2}$, ${}^9_4\text{Be}^{+3}$

5-1- اقتراحات بور:

لما كانت النظريات القديمة وحدها لا تسمح بوصف حركة الإلكترون حول النواة، اعتمد بور على استعمال ميكانيك الكم في دراسة ذرة الهيدروجين، عندئذ استطاع أن يحسب نظريا تردد خطوط طيف الهيدروجين بعدما جاء باقتراحاته الأربعة التالية:

- 1- يدور الإلكترون حول النواة في مسارات دائرية مغلقة سماها مدارات.
- 2- عندما يدور الإلكترون في نفس المدار فإنه لا يمتص و لا يفقد طاقة فيقال أنه في حالة ثبات للطاقة.
- 3- عندما ينتقل الإلكترون من مدار طاقته E_2 إلى مدار آخر طاقته E_1 بحيث $E_2 > E_1$ فإن هذا يؤدي إلى اصدار إشعاع معين يحسب تواتره بالعلاقة $E_2 - E_1 = h\nu$ ، حيث: $E_2 - E_1$ هي كمية الطاقة المفقودة من طرف الإلكترون.

$$4- \text{ يحسب العزم الدائري (الزاوي) للإلكترون بالعلاقة التالية: } mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

m: كتلة الإلكترون.

v: سرعة الإلكترون.

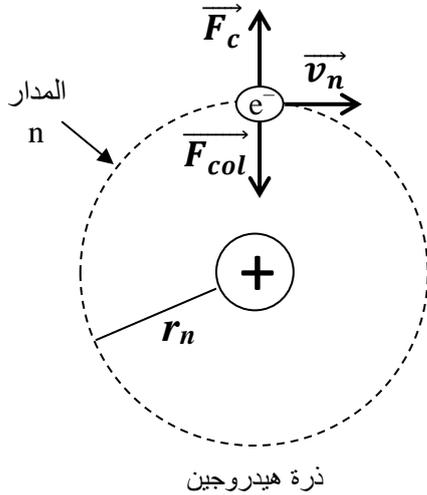
r: نصف قطر المدار.

n: العدد الكمي ($n=1, 2, 3, \dots$)

و بهذا لقيت نظرية المدارات و الحالات الثابتة لبور نجاحا كبيرا في الأوساط العلمية.

5-2- تحديد عبارة نصف قطر مدارات بور:

الإلكترون ذو الكتلة m يتحرك بسرعة v_n و يرسم مدارا مستقرا نصف قطره r_n ، هذا الإلكترون يخضع لقوتين متساويتين في الشدة و متعاكستين في الإتجاه و هما: القوة الكولومبية \vec{F}_{col} و قوة الطرد المركزي \vec{F}_c كما هو موضح في الشكل:



حيث يمكن كتابة:

$$\vec{F}_c = \vec{F}_{col} \text{ et } F_c = F_{col}$$

$$\text{ou } F_c = \frac{m v^2}{r} \text{ et } F_{col} = \frac{K Z e^2}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{m v^2}{r} = \frac{K Z e^2}{r^2}$$

$$\Rightarrow m v^2 = \frac{K Z e^2}{r}$$

$$\Rightarrow m^2 v^2 = \frac{K Z e^2 m}{r} \dots \dots (1)$$

$$m v = \frac{h}{2\pi r} \dots \dots (2) \text{ و لدينا من خلال الفرضية 4 لبور:}$$

نعوض (2) في (1) نجد:

$$\frac{K Z e^2 m}{r} = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 r^2} \Rightarrow r_n = \frac{n^2}{Z} \left(\frac{h^2}{4 \pi^2 m K e^2} \right) \dots \dots (3)$$

يرمز بـ r_1 لنصف قطر ذرة الهيدروجين في حالتها الأساسية:

$$\Rightarrow r_1 = \frac{1^2}{1} \left(\frac{(6,62 \times 10^{-34})^2}{4 (3,14)^2 (9,1 \times 10^{-31}) (9 \times 10^9) (1,6 \times 10^{-19})^2} \right)$$

$$\Rightarrow r_1 = 0,53 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,53 \text{ \AA}$$

بالتعويض في المعادلة (3):

$$\Rightarrow r_n = \frac{n^2}{Z} (r_1) \text{ où } r_1 = 0,53 \text{ \AA}$$

و هي العلاقة العامة التي نحسب بواسطتها نصف قطر ذرة الهيدروجين $Z = 1$ و أشباه الهيدروجين $Z \neq 1$ في أي مدار.

بالنسبة للهيدروجين $Z = 1, {}^1_1H$:

$$n = 1 \Rightarrow r_1 = \frac{1^2}{1} (0,53) = 0,53 \text{ \AA}$$

$$n = 2 \Rightarrow r_2 = \frac{2^2}{1} (0,53) = 2,12 \text{ \AA}$$

$$n = 3 \Rightarrow r_3 = \frac{3^2}{1} (0,53) = 4,77 \text{ \AA}$$

بالنسبة لشوارد الهيليوم $Z = 2, {}^4_2He^+$:

$$n = 1 \Rightarrow r_1 = \frac{1^2}{2} (0,53) = 0,265 \text{ \AA}$$

$$n = 2 \Rightarrow r_2 = \frac{2^2}{2} (0,53) = 1,06 \text{ \AA}$$

$$n = 3 \Rightarrow r_3 = \frac{3^2}{2} (0,53) = 2,385 \text{ \AA}$$

3-5- تحديد عبارة سرعة الإلكترون في ذرة بور:

لتحديد عبارة السرعة v_n لدينا كذلك من خلال الفرضية 4 لبور:

$$m v r = \frac{n h}{2 \pi} \Rightarrow v_n = \frac{n h}{2 \pi m r}$$

و لدينا:

$$r_n = \frac{n^2}{Z} \left(\frac{h^2}{4 \pi^2 m K e^2} \right)$$

بتعويض قيمة n في عبارة v_n نجد:

$$v = \frac{n h}{2 \pi m} \left(\frac{Z 4 \pi^2 m K e^2}{n^2 h^2} \right) \Rightarrow v_n = \frac{Z}{n} \left(\frac{2 \pi K e^2}{h} \right) \dots \dots (4)$$

يرمز بـ v_1 لسرعة الكترون ذرة الهيدروجين في حالتها الأساسية:

$$\Rightarrow v_1 = \frac{1}{1} \left(\frac{2 (3,14) (9 \times 10^9) (1,6 \times 10^{-19})^2}{(6,62 \times 10^{-34})} \right) = 2,18 \times 10^6 \text{ m/s}$$

بالتعويض في المعادلة (4):

$$\Rightarrow v_n = \frac{Z}{n} (v_1) \quad \text{où} \quad v_1 = 2,18 \times 10^6 \text{ m/s}$$

و هي العلاقة العامة التي نحسب بواسطتها سرعة الالكترين في ذرة بور بالنسبة للهيدروجين $Z = 1$ و أشباه الهيدروجين $Z \neq 1$.

بالنسبة للهيدروجين $Z = 1, {}^1_1H$:

$$n = 1 \Rightarrow v_1 = \frac{1}{1} (2,18 \times 10^6) = 2,18 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$n = 2 \Rightarrow v_2 = \frac{1}{2} (2,18 \times 10^6) = 1,092 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$n = 3 \Rightarrow v_3 = \frac{1}{3} (2,18 \times 10^6) = 0,728 \times 10^6 \text{ m/s}$$

بالنسبة لشوارد الهيليوم $Z = 2, {}^4_2He^+$:

$$n = 1 \Rightarrow v_1 = \frac{2}{1} (2,18 \times 10^6) = 4,36 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$n = 2 \Rightarrow v_2 = \frac{2}{2} (2,18 \times 10^6) = 2,18 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$n = 3 \Rightarrow v_3 = \frac{2}{3} (2,18 \times 10^6) = 1,453 \times 10^6 \text{ m/s}$$

4-5- تحديد طاقة الكترون ذرة بور:

من الفرضية الثانية لبور (المدارات مستقرة يعني أن طاقتها ثابتة)، أي أن الالكترين على نفس البعد من النواة إذن الطاقة متساوية على جميع نقاط المدار.

إن الطاقة الكلية لأي نظام تتكون من الطاقة الحركية E_c و الطاقة الكامنة E_p حيث:

$$E_T = E_p + E_c$$

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{و} \quad E_p = - \frac{K Z e^2}{r}$$

نعلم أنه لكي لا يسقط الالكترين على النواة يجب أن يتم التعادل بين القوة الجاذبة و القوة الطاردة:

$$\overrightarrow{F_{\text{الطاردة}}} = \overrightarrow{F_{\text{الكولومبية}}} \Rightarrow \frac{m v^2}{r} = \frac{K Z e^2}{r^2}$$

$$\Rightarrow m v^2 = \frac{K Z e^2}{r}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{K Z e^2}{2 r}$$

$$E_c = \frac{K Z e^2}{2 r} \text{ أي}$$

$$E_T = E_c + E_p = \frac{K Z e^2}{2 r} - \frac{K Z e^2}{r} \Rightarrow E_T = -\frac{K Z e^2}{2 r}$$

بتعويض قيمة r_n في عبارة T نجد:

$$E_T = E_n = -\frac{K Z e^2}{2} \left(\frac{Z 4 \pi^2 m K e^2}{n^2 h^2} \right)$$

$$E_n = \frac{Z^2}{n^2} \left(-\frac{2 \pi^2 m K^2 e^4}{h^2} \right) \dots \dots (6)$$

يرمز بـ E_1 لطاقة ذرة الهيدروجين في حالتها الأساسية:

$$\Rightarrow E_1 = \frac{1^2}{1^2} \left(-\frac{2 (3,14)^2 (9,1 \times 10^{-31}) (9 \times 10^9)^2 (1,6 \times 10^{-19})^4}{(6,62 \times 10^{-34})^2} \right)$$

$$\Rightarrow E_1 = -21,74 \times 10^{-19} J = -13,6 \text{ ev}$$

بالتعويض في المعادلة (6):

$$\Rightarrow E_n = \frac{Z^2}{n^2} (E_1) \text{ où } E_1 = -13,6 \text{ ev}$$

و على هذا الأساس تكون طاقة مستويات الكترون ذرة الهيدروجين حسب نظرية بور كما يلي:

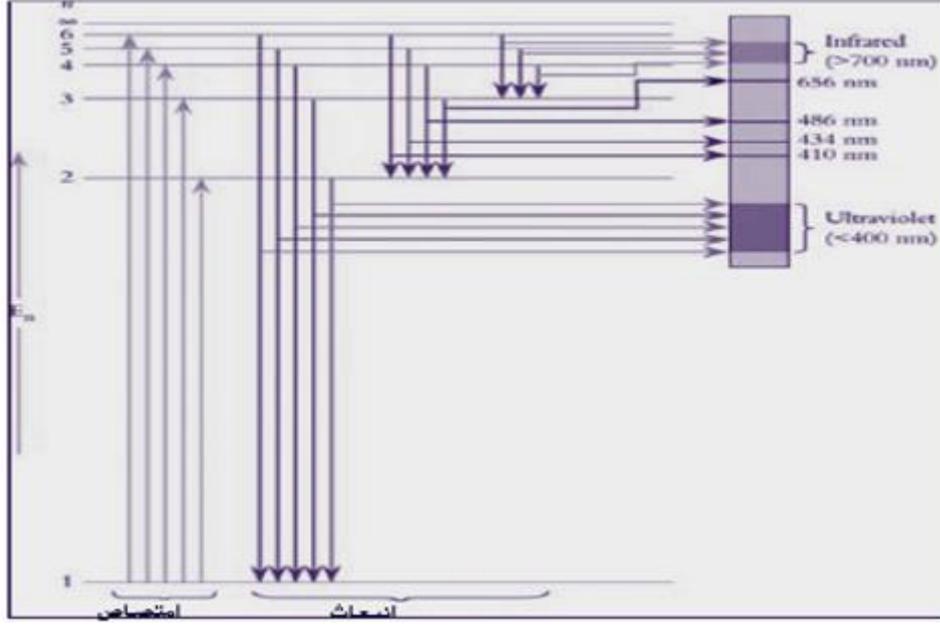
$$n = 1 \Rightarrow E_1 = \frac{1^2}{1^2} (-13,6) = -13,6 \text{ ev}$$

$$n = 2 \Rightarrow E_2 = \frac{1^2}{2^2} (-13,6) = -3,42 \text{ ev}$$

$$n = 3 \Rightarrow E_3 = \frac{1^2}{3^2} (-13,6) = -1,51 \text{ ev}$$

$$n = 4 \Rightarrow E_4 = \frac{1^2}{4^2} (-13,6) = -0,85 \text{ ev}$$

و منه يمكن تمثيل مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين حسب بور:



بنفس الطريقة يمكن تمثيل الطاقة لشوارد أشباه الهيدروجين حسب بور.

ملاحظة: تعطى علاقة ريديبارغ لأشباه الهيدروجين بالعلاقة التالية:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = Z^2 R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

تطبيق:

✚ إيجاد عبارة ثابت ريديبارغ:

$$\Delta E = E_f - E_i \quad \text{لدينا}$$

$$\Delta E = h\nu \quad \text{و}$$

عند انتقال الالكترون من مستويين محددتين الطبيعيين n_1 و n_2 حيث: $n_2 > n_1$

$$E_{n_1} = \frac{Z^2}{n_1^2} \left(- \frac{2 \pi^2 m K^2 e^4}{h^2} \right)$$

$$E_{n_2} = \frac{Z^2}{n_2^2} \left(- \frac{2 \pi^2 m K^2 e^4}{h^2} \right)$$

$$\Delta E_n = E_{n_2} - E_{n_1} = h\nu = \frac{Z^2 \times 2m \times \pi^2 \times K^2 \times e^4}{h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\Delta E_n = \frac{hC}{\lambda} = hC\bar{\nu} \Rightarrow \bar{\nu} = \frac{\Delta E_n}{hC}$$

$$\Rightarrow \bar{\nu} = \frac{Z^2 \times 2m \times \pi^2 \times K^2 \times e^4}{Ch^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

حسب علاقة بالمر السابقة:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = Z^2 R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

بالمطابقة نجد:

$$R_H = \frac{2m \pi^2 K^2 e^4}{Ch^3} = 1,097 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$$

$$= 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

6- عبارة الخط الحدي و الخط الأول:

يميز كل سلسلة من السلاسل الخمسة السابقة خطين أساسيين هما:

الخط الأول: يتميز بفرق في الطاقة أصغر و تواتر أصغر و طول موجة أكبر (أعظمي λ_{\max}) حيث:

$$\frac{1}{\lambda_{\max}} = Z^2 R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{(n_1 + 1)^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{\max}} = Z^2 R_H \left(\frac{(n_1+1)^2 - n_1^2}{n_1^2(n_1+1)^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{\max}} = Z^2 R_H \left(\frac{2n_1 + 1}{n_1^2(n_1 + 1)^2} \right) \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{n_1^2(n_1 + 1)^2}{Z^2 R_H(2n_1 + 1)}$$

الخط الحدي: يتميز بفرق في الطاقة أكبر و تواتر أكبر و طول موجة أصغر (أعظمي λ_{\min}) حيث:

$$\frac{1}{\lambda_{\min}} = Z^2 R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{\min}} = Z^2 R_H \left(\frac{1}{n_1^2} \right) \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{n_1^2}{Z^2 R_H}$$

7- طاقة التأيين لذرة الهيدروجين و أشباه الهيدروجين:

هي الطاقة اللازمة لنقل الالكترين من المستوى الذي يتواجد فيه إلى المستوى اللانهائي.

$$E_n = \frac{Z^2}{n^2} E_1, \quad E_i = E_\infty - E_n$$

حيث:

$$1 \leq n < \infty$$

• بالنسبة لذرة الهيدروجين في حالتها الأساسية $E_i = E_\infty - E_1$

$$E_i = -\frac{2}{n^2} E_1, \quad E_1 = -13,6 \text{ eV} \quad \text{طاقة التأين تكون دوما موجبة}$$

مثال:

ما هي طاقة تأين شاردة الهيليوم في حالتها الأساسية (بعبارة أخرى أحسب الطاقة اللازمة لإزالة الإلكترون من أدنى مستوى طاقة في شاردة الهيليوم).

الحل:

$$E_i = E_\infty - E_1, \quad E_\infty = 0$$

$$\Rightarrow E_i = -E_1 = -\frac{Z^2}{n^2}(-13,6) = -\frac{4}{1}(-13,6) = 54,4 \text{ eV}$$

8- مدى صحة نظرية بور:

قام بور بإدخال تعديلات مهمة على نموذج ريدرفورد حيث تمكن من تفسير طيف الهيدروجين و أشباه الهيدروجين باعتمادها على العدد الكمي n إلا أنه اتضح أن طيف العناصر و حتى الهيدروجين و أشباه الهيدروجين أكثر تعقيدا على تصور بور إذ عند خضوع ذرات الهيدروجين مثلا لمجال مغناطيسي يلاحظ تضاعف الخطوط الطيفية التي كانت من قبل على شكل خطوط صحيحة و كل خط من تلك الخطوط الطيفية كان عبارة عن خطوط متقاربة من بعضها البعض فنظرية بور عجزت عن تفسير تلك الخطوط المضاعفة.

كما أن نظرية بور اقتصرت على الهيدروجين و أشباهه أي الذرات ذات الإلكترون الواحد فقط و لم تدرس أطياف باقي الذرات، كما أنها عجزت عن تفسير كيفية تكون الروابط الكيميائية، أيضا لوحظ تجريبيا أنه لا يمكن تحديد سرعة إلكترون في مدار حدد نصف قطره في حين و حسب بور يمكن تحديد الموقع و السرعة للإلكترون في آن واحد و بدقة مقبولة.

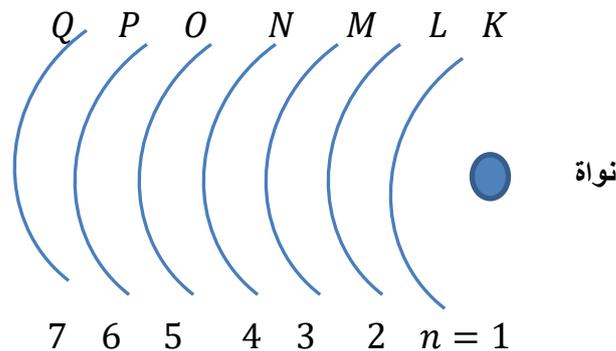
9- الأرقام الكمية:

9-1- رقم الكم الرئيسي n (le nombre quantique principal):

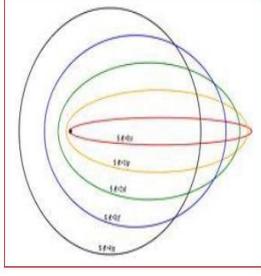
حسب بور فإنه تتوزع الإلكترونات في مدارات مستقرة تعرف بالطبقات الإلكترونية يرمز لها بـ:

$$K, \quad L, \quad M, \quad N, \quad O, \quad P, \quad Q$$

$$n = 1, \quad 2, \quad 3, \quad 4, \quad 5, \quad 6, \quad 7$$



بهذا الترتيب و كل طبقة توافق مستوى طاقي محدد بالعدد الطبيعي n و الذي يسمى بالعدد الكمي الرئيسي.



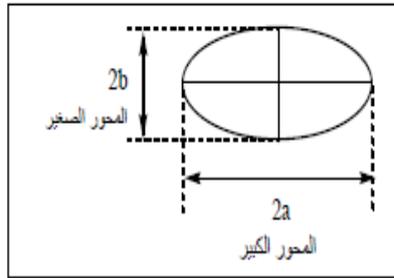
2-9- رقم الكم الثانوي l (le nombre quantique secondaire):

هذا الرقم وضعه العالم سومرفالد (Sommerfeld) ليعمم نظرية بور.

• نظرية Sommerfeld:

إلى جانب المسار الدائري المستقر بإمكان الإلكترون أن يشغل مسارات

بيضاوية أو اهليجية (شكل قطع ناقص).



(a,b) نصف القطرين الصغير و الكبير للمسار البيضاوي على الترتيب، بينما مقدار الانحراف على المسار الدائري هو e

$$\text{حيث: } a = r_n = \frac{n^2}{Z} r_1, \quad e = \frac{b}{a} = \frac{l+1}{n},$$

n : رقم الكم الرئيسي.

l : رقم الكم الثانوي حيث $l \in [0, n - 1]$.

$$l \in [0, n - 1] \Rightarrow 0 \leq l \leq n - 1$$

قيم l :

$$K \Rightarrow n = 1 \Rightarrow l = 0$$

$$L \Rightarrow n = 2 \Rightarrow l = 0, 1$$

$$M \Rightarrow n = 3 \Rightarrow l = 0, 1, 2$$

$$N \Rightarrow n = 4 \Rightarrow l = 0, 1, 2, 3$$

مثال تطبيقي:

بالنسبة لذرة الهيدروجين، أحسب نصفي القطرين الكبير و الصغير في الطبقات التحتية K, L, M.

الحل:

$$K \Rightarrow n = 1 \Rightarrow l = 0 \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{l+1}{n} = \frac{0+1}{1} = 1 \Rightarrow b = a = 0,53 A^\circ \quad \text{مسار دائري}$$

$$L \Rightarrow n = 2 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0 \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{0+1}{2} = \frac{1}{2} \Rightarrow b = \frac{a}{2} = 1,06 A^\circ \quad \text{مسار اهليجي} \\ l = 1 \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{1+1}{2} = 1 \Rightarrow b = a = 2,12 A^\circ \quad \text{مسار دائري} \end{array} \right.$$

$$M \Rightarrow n = 3 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0 \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{0+1}{3} = \frac{1}{3} \Rightarrow b = \frac{a}{3} = 1,59 A^\circ \quad \text{مسار اهليجي} \\ l = 1 \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{2}{3} \Rightarrow b = \frac{2a}{3} = 3,18 A^\circ \quad \text{مسار اهليجي} \\ l = 2 \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{2+1}{3} = 1 \Rightarrow b = a = 4,47 A^\circ \quad \text{مسار دائري} \end{array} \right.$$

➤ الطبقات التحتية (les sous couches):

يعبر رقم الكم الرئيسي n عن الطبقات الالكترونية الرئيسية أو الأساسية K, L, M, N...، بينما يحدد رقم الكم الثانوي l الطبقات الالكترونية الثانوية (التيهية)، يرمز لها بـ:

$$l = 0, \quad 1, \quad 2, \quad 3$$

$$\quad \quad \quad ns \quad np \quad nd \quad nf$$

تطبيق:

$$K \Rightarrow n = 1 \Rightarrow l = 0 \Rightarrow 1s$$

$$L \Rightarrow n = 2 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0 \Rightarrow 2s \\ l = 1 \Rightarrow 2p \end{array} \right.$$

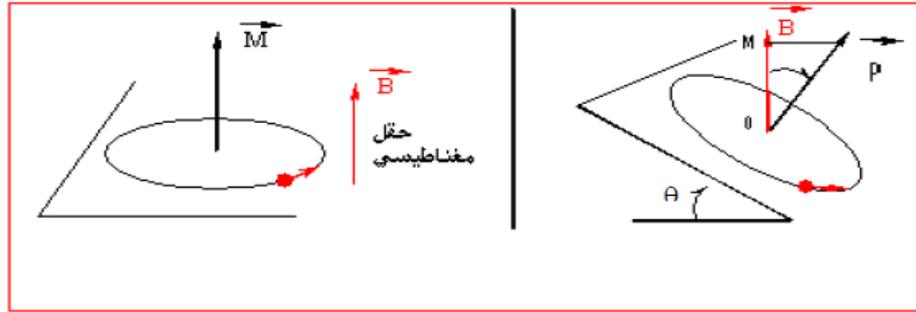
$$M \Rightarrow n = 3 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0 \Rightarrow 3s \\ l = 1 \Rightarrow 3p \\ l = 2 \Rightarrow 3d \end{array} \right.$$

$$N \Rightarrow n = 4 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0 \Rightarrow 4s \\ l = 1 \Rightarrow 4p \\ l = 3 \Rightarrow 4d \end{array} \right.$$

3-9- رقم الكم المغناطيسي m (تأثير زيمان Zeeman):

(le nombre quantique magnétique)

يحدد هذا العدد اتجاه مسار الالكترون في الفضاء عندما يكون هذا الالكترون تحت تأثير مجال مغناطيسي، أي يحدد عدد الاتجاهات التي يمكن أن يأخذها المحط في الفضاء.
و العدد الكمي المغناطيسي m عدد صحيح يأخذ القيم من $-l$ إلى $+l$ أي $-l \leq m \leq +l$.



$$\|\vec{OM}\| = p \cos\theta$$

$$\frac{mh}{2\pi} = \frac{\ell h}{2\pi} \cos\theta$$

$$\frac{mh}{2\pi} = p \cos\theta$$

$$\|\vec{OM}\| = \frac{mh}{2\pi}$$

P العزم الحركي.

$\|\vec{OM}\|$ مكتم و يأخذ القيم

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

ومنه :

و من جهة أخرى :

$$-1 \leq \cos\theta \leq +1$$

\Rightarrow

$$-1 \leq \frac{m}{\ell} \leq +1$$

\Rightarrow

$$-l \leq m \leq +l$$

4-9- رقم الكم اللفي او عدد اللف الداتي للالكترون S (le spin):

لقد وجد أن الالكترون وهو يدور حول النواة فإنه يلف كذلك حول نفسه و هناك اتجاهان محتملان إلى الأعلى $+\frac{1}{2}$ و إلى الأسفل $-\frac{1}{2}$.

$$S = -\frac{1}{2}, \quad S = +\frac{1}{2}$$

-II- البنية الإلكترونية للذرة حسب الميكانيك الموجي و الكمي

- مقدمة:

رغم النجاح الذي حققته دراسة بور لبنية الذرة إلا أن العلماء كانوا يعيرون عليه استخدامه بطريقة عشوائية، هذا بالإضافة إلى عجز النموذج أمام مستجدات علمية لاحقة. من أجل هذا كله كان من اللازم البحث عن نموذج جديد بمفاهيم غير مفاهيم الميكانيك الكلاسيكي لفهم بنية الذرات و الجزيئات، يعرف بالميكانيك الموجي الذي طوره العالم شرودنجر (*Shrodinger*) انطلاقاً من أعمال لويس دي بروغلي (*Lewis De Broglie*). الميكانيك الموجي يقود إلى قيم الطاقة التي وجدها بور و يحافظ على الأرقام الكمية.

1- الطبيعة الموجية للإلكترون:

بين بلانك و أينشتاين أن للأمواج الكهرومغناطيسية خاصية جسمانية (فوتونات)، افترض العالم *De Broglie* عكس ما جاء به بلانك حيث قال بما أن كل حركة موجية تقدم مظهر جسيمي ألا يكون لكل دقيقة مادية في حالة حركة خاصة موجية. و في سنة 1924 أرفق دي بروغلي بكل جسم متحرك موجة تسمى موجة دي بروغلي.

انطلق دي بروغلي من علاقة أينشتاين $E=hc/\lambda$ في الفوتونات حيث: $v = \frac{c}{\lambda}$ و تصبح علاقة طاقة الفوتون $E = \frac{hc}{\lambda}$

النظرية النسبية التي تربط بين طاقة جسيم (الفوتون) و الكتلة المكافئة لها m تعطى بالعلاقة: $E=mc^2$

حيث C سرعة الضوء، و بالتالي تصبح العلاقة بين طول الموجة و الكتلة (بمساواة العلاقتين السابقتين) وهي: $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$mC^2 \Rightarrow \lambda = \frac{h}{mC} = \frac{h}{P}$$

حيث $P = mC$ هي كمية حركة الجسيم (الفوتون).

تمثل العلاقة السابقة العلاقة بين طول موجة الفوتون و كمية حركته، و اقترح دي بروغلي تعميمها بحيث تنطبق على أي دقيقة أو جسيم له كمية الحركة $P = mC$ ، و بتعبير آخر فإن أي دقيقة كتلتها m و تسير بسرعة v ترافقها موجة طولها λ و تعطى بالعلاقة العامة:

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

- مثال تطبيقي:

أ- أحسب طول موجة دي بروغلي الموافقة لرصاصة بندقية كتلتها 2غ تتحرك بسرعة تساوي

300م/ثا.

ب- إلكترون مسرع تحت فرق جهد قدره 600 فولط.

- الحل:

أ-

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot 300 \text{ m/s}}$$

$$\lambda = 1,1 \cdot 10^{-33} \text{ m} = 1,1 \cdot 10^{-23} \text{ \AA}$$

ب- لدينا:

$$\lambda = \frac{h}{mv} \dots \dots (1)$$

إذا أخضع الإلكترون إلى التسارع الناتج عن فرق في الجهد V فإن طاقته الحركية E_C :

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

$$m^2v^2 = 2meV \Rightarrow mv = \sqrt{2meV}$$

بالتعويض في (1) نجد:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9,1 \cdot 10^{-31} \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 600}}$$

$$\lambda = 0,5 \text{ \AA}$$

التعليق:

طول موجة الرصاصة صغير جداً مقارنة مع حجمها، في حين طول موجة الإلكترون كبير مقارنة مع حجمه و هذا يعني أنه لا يمكن إهمال المظهر الموجي للإلكترون.

خلاصة:

نعتبر علاقة دي بروغلي صالحة الاستخدام في حالة الأنظمة الميكروسكوبية و دون أهمية في حالة الأنظمة الماكروسكوبية.

2- مبدأ الشك أو عدم التأكد لهايزنبرغ (Heisenberg):

بما أن كتلة الإلكترون متناهية في الصغر، يصبح من الصعب جداً تحديد مكان مثل هذه الدقيقة التي تسلك سلوكاً موجياً. ولحل هذا الإشكال صاغ الفيزيائي هايزنبرغ المبدأ المعروف باسمه والذي ينص على التالي: "من غير الممكن (يستحيل) معرفة وفي آن واحد عزم (m.v) ومكان دقيقة متناهية الصغر، إذا عرفنا السرعة لا نستطيع تحديد بدقة الموقع".

بتطبيق هذا المبدأ على ذرة الهيدروجين، نجد أنه غير مناسب تصور أن الإلكترون يدور حول النواة في مدار محدد.

التعبير الرياضي لهذا المبدأ:

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

حيث: $P = mv$

ΔP : الإرتياب المطلق على قياس كمية الحركة.

Δx : الإرتياب المطلق على تحديد الموقع.

كما يمكن كتابة العلاقة السابقة على الشكل:

$$\Delta x \cdot m \Delta v \geq \frac{h}{2\pi}$$

Δv : الإرتياب المرتكب على تحديد السرعة.

- مثال:

إذا كان $\Delta x = 0,05 \text{ \AA}$ هو الارتياب في الفاصلة لإلكترون ذرة الهيدروجين. أحسب الارتياب في السرعة و ماذا تستنتج بالنسبة للمسار.

- الحل:

$$\Delta x = 0,05 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\Delta x \cdot m \Delta v \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta x \cdot m \Delta v = \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta v = \frac{h}{2\pi \times \Delta x \times m} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \times 2\pi \times 0,05 \times 10^{-10}}$$

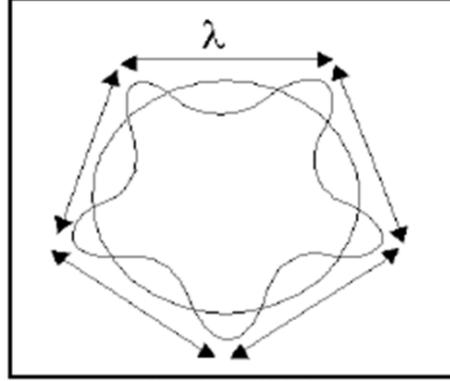
$$\Delta v = 2,31 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

أي أن الشك في سرعة الإلكترون تقارب سرعة الضوء في الفراغ، فهي أكبر من السرعة التي توقعها بور أو أن سرعة الإلكترون مشكوك بقيمتها لدرجة أنه لا يمكن تحديد مسار و سرعة الإلكترون و هذا فشل آخر لنظرية بور (المدارات المستقرة)، و عليه أمكن تعويض المدارات المستقرة لبور بالمحطات الذرية (orbital atomique). و النتيجة كلما كان الشك صغيرا في مكان الإلكترون كان احتمال وجوده في هذا المكان أكبر.

3- نموذج المحط الذري:

أ- مقدمة:

قام العالم شرودنجر (*Shrodinger*) عام 1926 م بإعادة دراسة بنية الذرة وفق نموذج بور و بإضافة فرضية دي بروغلي حيث واكب للإلكترون موجة مستقرة.



موجة إلكترونية مستقرة

لكي يتمكن الإلكترون الذي يتحرك على مدار بور الدائري أن يشكل موجة مستقرة، يتعين طولها من علاقة دي بروغلي، يجب أن يتحقق على محيط المدار الدائري ($2\pi r$) عدد صحيح موجب من طول الموجة المرافقة للإلكترون.
أي أنه يجب أن تتحقق العلاقة الآتية:

$$2\pi r = n\lambda$$

حيث n عدد طبيعي غير معدوم.

بتعويض عبارة طول موجة دي بروغلي نتحصل على:

$$2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv} \Rightarrow mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

هذه العبارة تمثل شرط العزم الزاوي الذي فرضه بور على إلكترون ذرة الهيدروجين.

ب- الوصف الرياضي لموجة:

يؤدي هذا الأخير إلى معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية، هذه المعادلة مهمة جدا في الميكانيك الموجي و حلها يمكن أن يحدد موقع الإلكترون في الذرة:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \psi = 0$$

$$\Delta \psi + \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \psi = 0$$

حيث Δ معامل يدعى لابلاسيان (Laplacien)

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

تحكم هذه المعادلة حركة الأمواج المستقرة المنتشرة في الفضاء.

ج- معادلة شرودنجر:

اختار شرودنجر المعادلة الرياضية التي تصف إنتشار موجة مستقرة أساس نموذج لبنية الذرة. ثم أدخل في هذه العبارة فرضية دي بروغلي ليحصل على ما يلي:

$$\Delta\psi + \frac{4\pi^2}{\left(\frac{h}{mv}\right)^2}\psi = 0$$

$$\Delta\psi + \frac{4\pi^2 m^2 v^2}{h^2}\psi = 0 \dots \dots \dots (1)$$

الطاقة الحركية للإلكترون يدور حول النواة تكتب:

$$E = E_p + E_c \Rightarrow E_c = E - E_p$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = E - E_p$$

$$\Rightarrow mv^2 = 2(E - E_p)$$

$$\Rightarrow m^2v^2 = 2m(E - E_p)$$

بالتعويض في المعادلة (1):

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - E_p)\psi = 0$$

و هي معادلة شرودنجر.

- حل معادلة شرودنجر يعطي عبارة ψ التي تمثل سعة الموجة المواكبة للإلكترون و ليس معادلة مسار، كما كان الحال مع بور، في الميكانيك الموجي نفقد مفهوم المسار.
- حسب الميكانيك الموجي يكون احتمال وجود الإلكترون في تناسب طردي مع مربع السعة (ψ^2)، حيث: كثافة احتمال وجود دقيقة في الحجم العنصري dV تعطى بالعلاقة:

$$dP = \psi^2 dV$$

- إيجاد عبارة ψ يمكننا من إيجاد المجال في الفضاء الذي يكون فيه احتمال وجود الإلكترون أعظمي، هذا الحيز من الفضاء يدعى المحط (orbital).
- الميكانيك الموجي يسمح بحساب احتمال وجود الإلكترون في مكان ما حول النواة و لكنه لا يبين كيفية تحرك الإلكترون- موجة.

- الحل الدقيق لمعادلة شرودنجر لم يحصل إلا لذرة الهيدروجين و أشباهه حيث كانت النتائج في توافق تام مع القياسات التجريبية.

- حل المعادلة لذرات كثيرة الإلكترونات اصطدم بالكثير من المشاكل، لوجود تأثيرات كثيرة و غير معلومة كليا (عباراتها) بين الدقائق المشحونة في الذرة، ويصبح من الضروري إدخال عدة تقريبات لنحصل على نتائج تسمح بالتنبؤ بسلوك و بنيات الذرات المتعددة الإلكترونات إلى حد مقبول.

د- وصف المحطات الذرية:

1) الأعداد الكمية الثلاثة السابقة الذكر n, l, m تحدد عبارة سعة الموجة المواكبة للإلكترون المتحرك حول النواة

ψ_{nlm} حيث:

n : العدد الكمي الرئيسي يعرف الطاقة الكلية للإلكترون و مقاس المحط.

l : العدد الكمي الثانوي يحدد شكل المحط (نوعه).

m : العدد الكمي المغناطيسي يحدد إتجاه المحط في الفضاء (عددتها).

- أمثلة:

l	0	1	2	3
نوع المحط	nS	np	nd	nf
تابعه الموجي	ψ_{nS}	ψ_{np}	ψ_{nd}	ψ_{nf}
m	0	-1 0 1	-2 -1 0 1 2	-3 -2 -1 0 1 2 3
عدد المحطات الذرية	1	3	5	7

المحط nS:

$$n \geq 1 \Rightarrow l = 0 \Rightarrow m = 0$$

المحطات هي:

$$\psi_{100} = \psi_{1S}, \psi_{200} = \psi_{2S} \dots \dots \dots \psi_{n00} = \psi_{nS}$$

المحط np:

$$n \geq 2 \Rightarrow l = 1 \Rightarrow m = -1, 0, 1$$

المحطات هي:

$$\psi_{21-1} = \psi_{2x}, \psi_{210} = \psi_{2py}, \psi_{211} = \psi_{2pz} \dots \dots \dots \psi_{n1-1} = \psi_{np_x},$$

$$\psi_{n10} = \psi_{np_y}, \psi_{n11} = \psi_{np_z}$$

المحط nd:

$$n \geq 3 \Rightarrow l = 2 \Rightarrow m = -2, -1, 0, 1, 2$$

المحطات هي:

$$\psi_{n2-2}, \psi_{n2-1}, \psi_{n20}, \psi_{n21}, \psi_{n22} \equiv \psi_{nd}$$

المحط nf :

$$n \geq 4 \Rightarrow l = 3 \Rightarrow m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$$

المحطات هي:

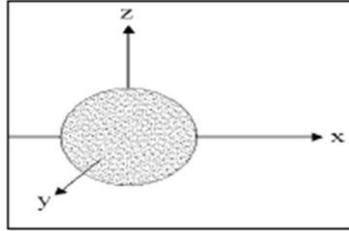
$$\psi_{n3-3}, \psi_{n3-2}, \psi_{n3-1}, \psi_{n30}, \psi_{n31}, \psi_{n32}, \psi_{n33} \equiv \psi_{nf}$$

(2) شكل المحطات الذرية:

يعطي الشكل الهندسي لأي محط برسم الغلاف الذي يحدد الفضاء الذي يكون احتمال وجود الإلكترون فيه أعظمي (أكبر من 99%)، أي أن شكل المحط يحدد بمربع بيسي (ψ^2)

■ شكل المحط S :

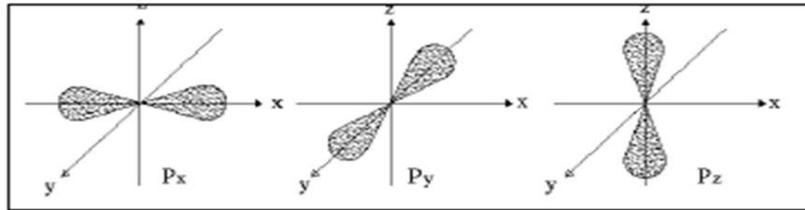
من أجل إلكترونات المحط ($l=0$) S تكون هناك قيمة واحدة ممكنة للعدد الكمي المغناطيسي هي $m = 0$ ، وبالتالي فهناك توضع واحد ممكن للسحابة الإلكترونية العائدة للمدار الثانوي S ، كما هو موضّح في الشكل التالي:



وضع السحابة الإلكترونية للمدار S في الفراغ

■ شكل المحط p :

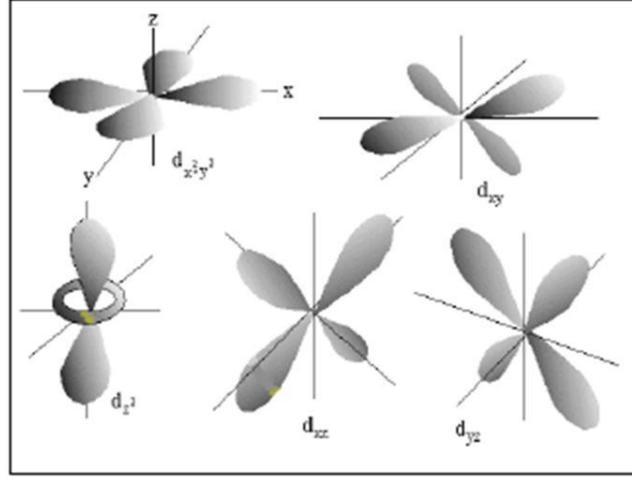
من أجل إلكترونات المحط ($l=1$) p يأخذ العدد الكمي المغناطيسي ثلاث قيم ممكنة هي $m = -1, 0, 1$ وبالتالي تكون هناك ثلاثة أوضاع مختلفة في الفراغ للسحب الإلكترونية العائدة للمدار الثانوي p ، يُشار إليها بالرموز P_x, P_y, P_z ، كما هو مبين في الشكل التالي:



أوضاع السحب الإلكترونية للمدارات p في الفراغ

■ شكل المحط d :

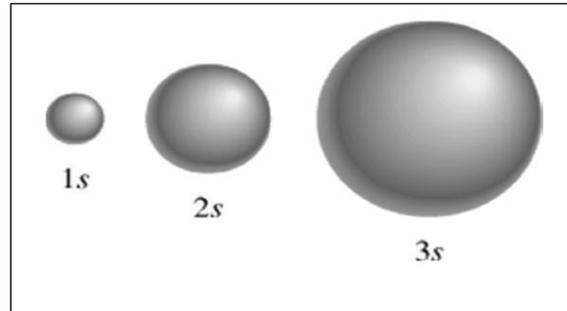
من أجل الإلكترونات هناك خمس قيم ممكنة للعدد الكمي المغناطيسي ($l=2$) d ، وهي $m = -2, -1, 0, 1, 2$ و تقابلها خمسة أوضاع مختلفة في الفراغ للسحب الإلكترونية العائدة للمدار الثانوي d ، موضحة في الشكل التالي:



وضع السحب الإلكترونية للمحطات d في الفراغ

أمثلة:

- لما $n = 1$ ، $l = 0$ ، $m = 0$ ومنه فإن حل معادلة شرودنجر يكون ψ_{100} أو ψ_{1s} المحط الذري شكله كروي.
- لما $n = 2$ ، $l = 0$ أو $l = 1$
- لما $l = 0$ ، $m = 0$ ومنه فإن حل معادلة شرودنجر يكون ψ_{200} أو ψ_{2s} المحط الذري شكله كروي و حجمه أكبر من حجم المحط ψ_{1s} .



- لما $l = 1$ ، $m = -1, 0, 1$ ومنه فإن الحلول المقبولة لمعادلة شرودنجر هي ψ_{211} ، ψ_{210} ، ψ_{21-1} لها نفس الشكل الهندسي و لكن باتجاهات مختلفة كما هي موضحة في الشكل (أوضاع السحب الإلكترونية للمدارات p في الفراغ).