

الفصل الثالث: البنية الالكترونية للذرة (2022-2023)

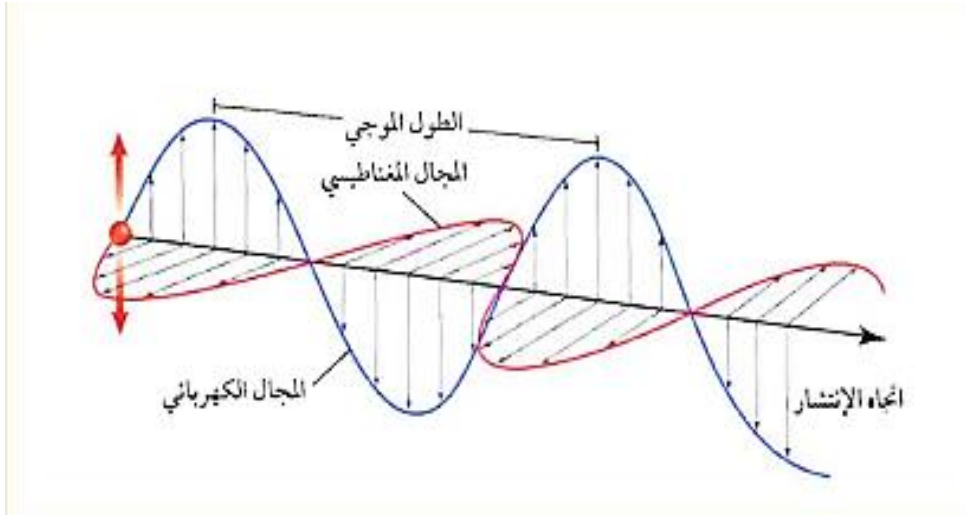
بعد اكتشاف الجسيمات الثلاث المكونة للذرة واصل العلماء جهودهم لفهم تركيب الذرة وتوزيع الالكترونات داخلها بعدما فشل نموذج رذرفورد في تفسير ذلك.

1. الخواص الموجية والجسيمية للضوء

اختلف العلماء عبر العصور في طبيعة الضوء. فمنهم من كان يعتقد أن الضوء عبارة عن جسيمات صغيرة تتحرك بسرعة مذهلة (نيوتن، أنشطاين، بلانك....) ومنهم من كان يرى أن الضوء عبارة عن أمواج (ماكسويل، يونغ، هرتز....). إلى ان جاء العالم دوبر وجلي (De Broglie) الذي أثبت أن للضوء طبيعة ثنائية والتي سميت بإزدواجية الموجة والجسيم.

1.1. الطبيعة الموجية للضوء

إن الضوء هو عبارة عن اهتزاز أو موجة كهرومغناطيسية ذات طاقة تنتشر في الفراغ بسرعة $3 \cdot 10^8$ m/s. تنشأ الموجات الكهرومغناطيسية عن طريق تسخين الذرات مما يؤدي إلى اهتزاز الإلكترونات، وينتج عن حركة هذه الإلكترونات المهتزة مجال كهربائي متغير يولد مجالاً مغناطيسياً في النقطة المجاورة. ينتج عن هذا المجال المغناطيسي مجالاً كهربائياً في النقطة المجاورة، وهكذا ينتشر الاضطراب من نقطة إلى أخرى عن طريق التغير المتناوب للمجالين الكهربائي والمغناطيسي.



انتشار الموجة الكهرومغناطيسية

كل موجة معرفة بطول الموجة λ (هو المسافة الفاصلة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين) و التواتر أو التردد ν (و هو عدد الأمواج المقطوعة خلال ثانية).

$$\begin{cases} \nu = \frac{c}{\lambda} \\ \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \bar{\nu} \end{cases}$$

c: سرعة انتشار الضوء

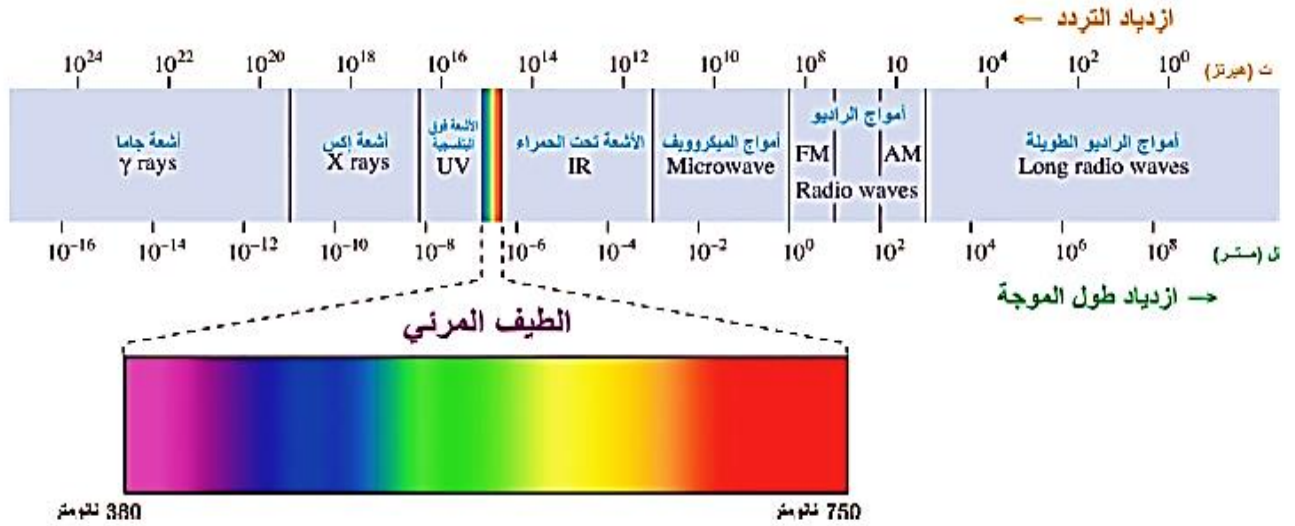
ν : التواتر ($S^{-1} \equiv Hz$)

$\bar{\nu}$: العدد الموجي

في البداية اثبتت صحة نظرية ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية عن طريق التجارب المعملية بما في ذلك ظواهر مثل الانكسار، الانعكاس، التداخل و الحيود ولكن ظلت مشاكل كثيرة لم تحل لعلماء الفيزياء، لأن فكرة ماكسويل للضوء كموجة كهرومغناطيسية بحتة لم تستطع أن تفسر عدة ظواهر مهمة أخرى .

الطيف الكهرومغناطيسي

تحتوي الموجات الكهرومغناطيسية على نطاق واسع جدًا من الأطوال الموجية والترددات. وهي مجمعة فيما يعرف بالطيف الكهرومغناطيسي، ويمثل الطيف المرئي مجالًا صغيرًا من هذا الطيف.



| مناطق الطيف | الطول الموجي nm |
|----------------------|-----------------|
| الاشعة فوق البنفسجية | 10-380 |
| الاشعة المرئية | 380-780 |
| الاشعة تحت الحمراء | 780-300000 |

1. 2. الطبيعة الجسيمية للضوء

أخفقت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير المسائل المتعلقة بالظواهر الذرية والجزيئية ومن أهمها:

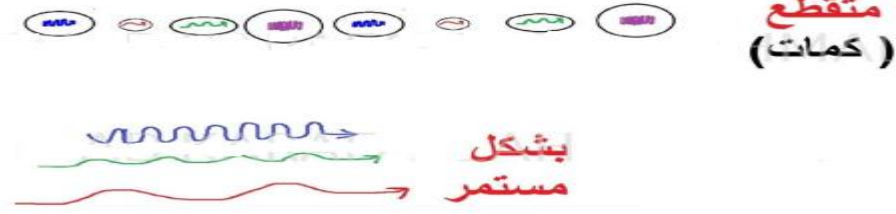
1- إشعاع الجسم الساخن :

لم تستطع النظرية الموجية للضوء تفسير انخفاض شدة إشعاع الجسم الساخن واقترابه من الصفر بانخفاض طوله الموجي وزيادة تردده لأنها اعتبرت أن الضوء موجات كهرومغناطيسية تصدر عن الاجسام على هيئة سيل متصل من الطاقة. لو نقص الطول الموجي لإشعاع يزداد التردد فتزداد الطاقة و تزداد شدة الإشعاع و هذا مخالف لواقع التجارب العملية.

لا شك إن ظاهرة إشعاع الجسم الساخن نلاحظها في حياتنا اليومية فعند تسخين جسم ما مثل الحديد نلاحظ إن الجسم عندما ترتفع حرارته يبدأ في إشعاع لون قريب من اللون الأحمر وعندها تكون درجة حرارة الجسم تقارب 700 درجة مئوية ثم بزيادة الحرارة يتحول إلى اللون البرتقالي وهكذا حتى يصل إلى اللون الأبيض والذي يدل على أن الجسم وصل إلى درجة حرارة 1200 درجة مئوية. -شدة الإشعاع مرتبطة بعدد الفوتونات و ليس تردد الإشعاع.

في عام 1900 اقترح **ماكس بلانك** حل لتفسير هذه الظاهرة حيث افترض أن الموجات الكهرومغناطيسية لا تصدر بشكل مستمر بل على شكل كميات متقطعة سميت الكم او الكوانتا (quanta)والتي أصبحت تعرف لاحقًا بالفوتونات.

حيث يعتبر الكم أصغر مقدار معين من الطاقة يمكن تبادله بين الأجسام وفق **تردد** معين وترتبط طاقة الكم **بتردد** الإشعاع



المرافق له :

$$E = h \nu$$

حيث E تعبر عن طاقة الكم الصادر ، ν عن **تردد** الإشعاع ، h ثابت أصبح يدعى بثابت بلانك $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

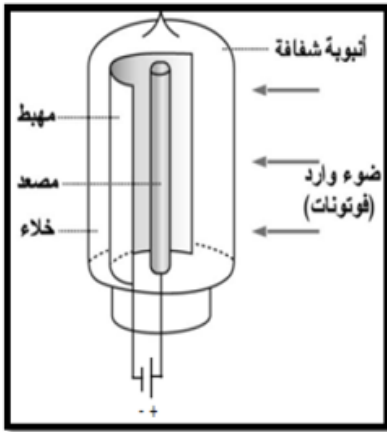
الطاقة الكلية للإشعاع (لعدد n من الفوتونات-عدد صحيح)

$$E_n = nh \nu$$

2- الفعل الكهروضوئي

اكتشف الفعل الكهروضوئي من طرف العالم هرتز 1887 م وهو ظاهرة انبعاث الالكترونات من سطوح المعادن عند سقوط ضوء بطول موجة معين عليها.

تتكون الخلية الكهروضوئية من لوح معدني داخل أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء، ويسمي اللوح المعدني بالمهبط، و



خلية كهروضوئية

السلك بالمصعد وتكون شحنته موجبة موصول بدارة كهربائية تحتوي على مولد كهربائي، وعندما تكون الأنبوبة معزولة عن الضوء بشكل كامل لا يمر تيار في الدارة.

عندما يسقط الشعاع الضوئي على المهبط تتحرر من سطحه إلكترونات تتجه إلى المصعد الموصول بالقطب الموجب للمولد، حيث يقوم المصعد بتجميع الإلكترونات واعادتها إلى المهبط بعد امرارها بالدارة. تسمى الالكترونات المنبعثة بالإلكترونات الضوئية وكذلك التيار المتولد بالتيار الكهروضوئي.

فشلت النظرية الموجية في تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي لأنها رأت أن الانبعاث الكهروضوئي يتوقف على شدة الضوء الساقط وليس على التردد وتوقعت أن:

1- الإلكترونات تمتص الطاقة من الموجات الكهرومغناطيسية على نحو مستمر. فمن المتوقع ان زيادة شدة الضوء الساقط تؤدي الى زيادة معدل امتصاص الإلكترونات للطاقة ما يكسبها طاقة حركية أكبر، ولا علاقة بين تردد الضوء الساقط والطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة. لكن التجربة تبين ان الطاقة الحركية للإلكترونات تعتمد على تردد الضوء الساقط ولا تعتمد على شدته.

2- يحتاج الإلكترون الى بعض الوقت لامتناس الطاقة الكافية ليتحرر من المعدن خاصة عند سقوط ضوء خافت (شدته قليلة) (لان امتصاص الطاقة يحدث بشكل مستمر حتى يحصل على الطاقة الكافية لكي يتحرر). لكن التجربة اثبتت ان الإلكترونات تنبعث فور سقوط الضوء على المعدن.

3- عند سقوط ضوء ذي شدة عالية على معدن ان تحرر منه إلكترونات بغض النظر عن تردد الضوء الساقط عليه. لكن التجربة تبين انه لا تتحرر إلكترونات من المعدن إلا إذا كان تردد الضوء الساقط اعلى من قيمة معينه تسمى تواتر عتبة الإصدار لسطح المعدن مهما بلغت شدة الضوء.

استطاع أينشتاين عام 1905م تفسير الظاهرة الكهروضوئية بالاعتماد على مبدأ تكميم الطاقة لبلانك (مما مكنه من الفوز بجائزة نوبل في الفيزياء).

فروض اينشتاين لتفسير الظاهرة الكهروضوئية

1- اعتبر اينشتاين أن الشعاع الضوئي عبارة عن حزمات او كمات من الطاقة تسمى فوتونات تحمل كل منها كمية محددة من الطاقة $E = h \cdot \nu$ وزيادة شدة الضوء تزيد عدد الفوتونات وكل فوتون يصطدم بإلكترون واحد يعطيه كل طاقته.

2- لكل معدن طاقة تلزم لتحرير الالكترون من سطحه و تسمى هذه الطاقة بطاقة العتبة E_0 بحيث :

$$E_0 = h \cdot \nu_0$$

3- إذا كانت طاقة الفوتون الساقط اقل من طاقة العتبة ($E < E_0$) لا تتحرر أي الكترونات من السطح (مهما كانت شدة الضوء الساقط ومهما كان زمن تعرض السطح له) .

4- اذا كانت طاقة الفوتون الساقط تساوى طاقة العتبة ($E_0 = E$) فان هذا الفوتون يستطيع بالكاد ان يحرر الكترول من سطح المعدن , ويطلق في هذه الحالة على تردد الفوتون التردد الحرج ν_0 او تواتر عتبة الاصدار

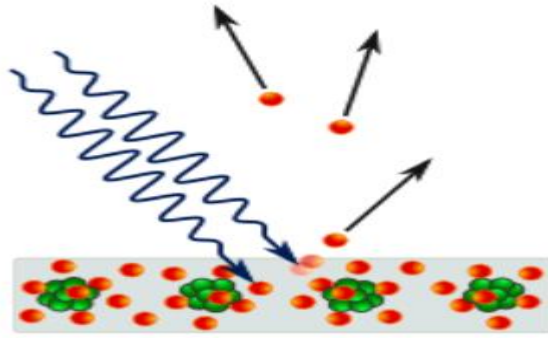
3- اذا كانت طاقة الفوتون الساقط اكبر من طاقة العتبة فان فرق الطاقة يظهر على شكل طاقة حركة E_c يكتسبها الالكترول المنبعث ($E_c = \frac{1}{2} m v^2$) وبالتالي يتحرك بسرعة أكبر ، وتزداد هذه الطاقة الحركية بزيادة التردد حيث:

$$E = E_0 + E_c$$

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} m v^2$$

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

وتتفاوت الالكترولونات المتحررة في طاقتها الحركية تبعا لموقعها. فالالكترولونات القريبة من السطح التي لا تصطدم بذرات المعدن قبل تحررها تملك أكبر قدر من الطاقة الحركية.

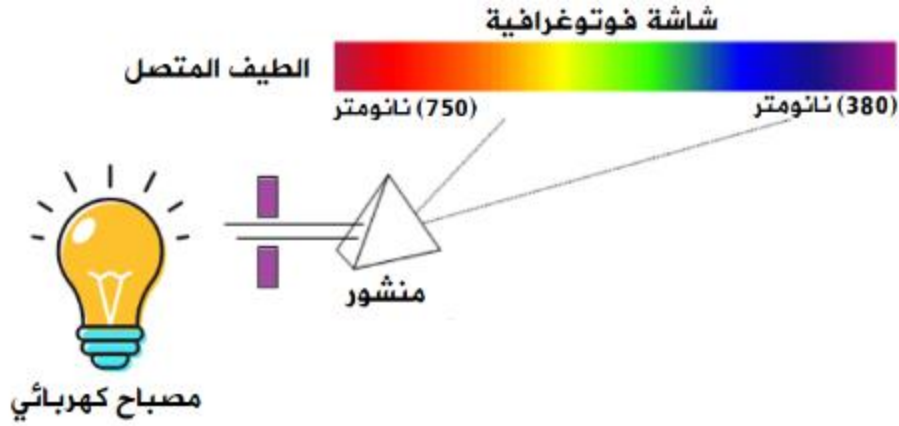


يسطع الضوء على السطح من اليسار. إذا كان تردد الضوء مرتفعًا بدرجة كافية ، أي إذا كان يوفر طاقة كافية ، يتم طرد الإلكترونات سالبة الشحنة من المعدن.

3. الأطياف الذرية

1.3. الطيف المتصل (هو طيف انبعاث)

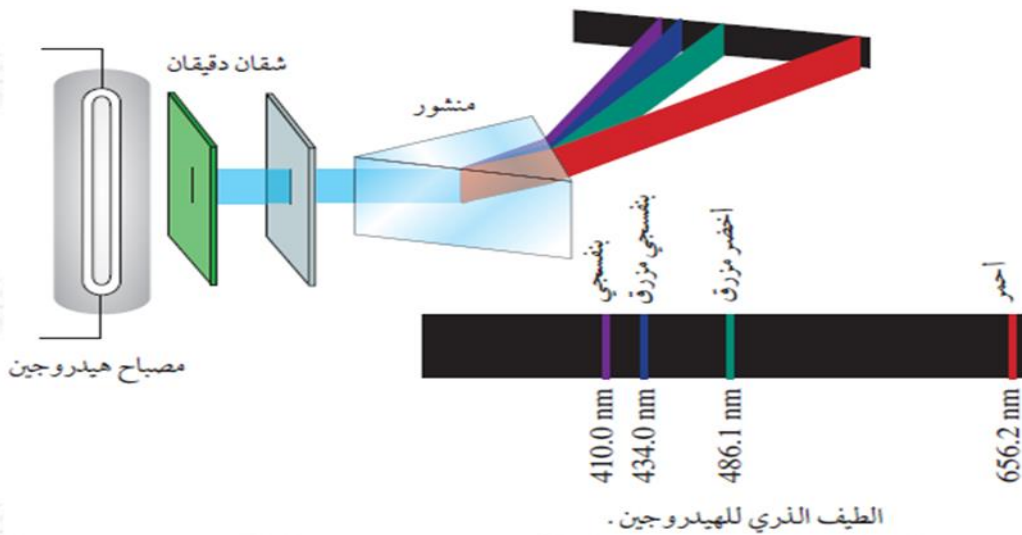
نحصل عليه من تحليل ضوء مصباح كهربائي عادي أو ضوء الشمس، ولا يوجد حدود فاصلة بين ألوانه فهو يضم جميع الأطوال الموجية الواقعة ضمن المدى المرئي (400-700 nm). وهو الذي يصدر عن الأجسام الصلبة المتوهجة إلى درجة البياض أو السائلة المتوهجة (الساخنة) أو الغازات ذات الكثافة العالية التي تكون تحت ضغط مرتفع جدا مثال الطيف الناتج عن فتيلة المصباح الكهربائي وكذلك من قطعة حديد عندما تسخن إلى درجة التوهج الأبيض.



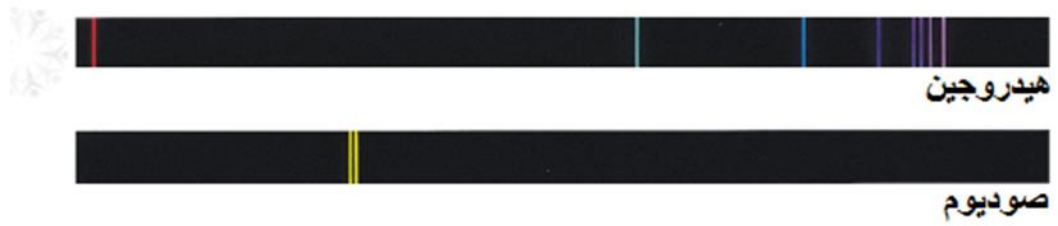
2.3. الطيف المنفصل أو الذري

طيف الانبعاث الخطي

عند تحليل الضوء الصادر عن إثارة ذرات عنصر في الحالة الغازية بواسطة منشور، واستقبال الأشعة الناتجة على الشاشة ينتج ما يُعرف طيف الانبعاث الخطي أو الذري، ويتكون من خطوط ملونة متباعدة لها أطوال موجية محددة، يفصلها عن بعضها مناطق معتمة. إلا أن بعض خطوط الطيف تظهر في المنطقة غير المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي، لذا تسمى مجموعة الخطوط التي تظهر في المنطقة المرئية وتلك التي تظهر في المنطقة غير المرئية بالطيف الذري.

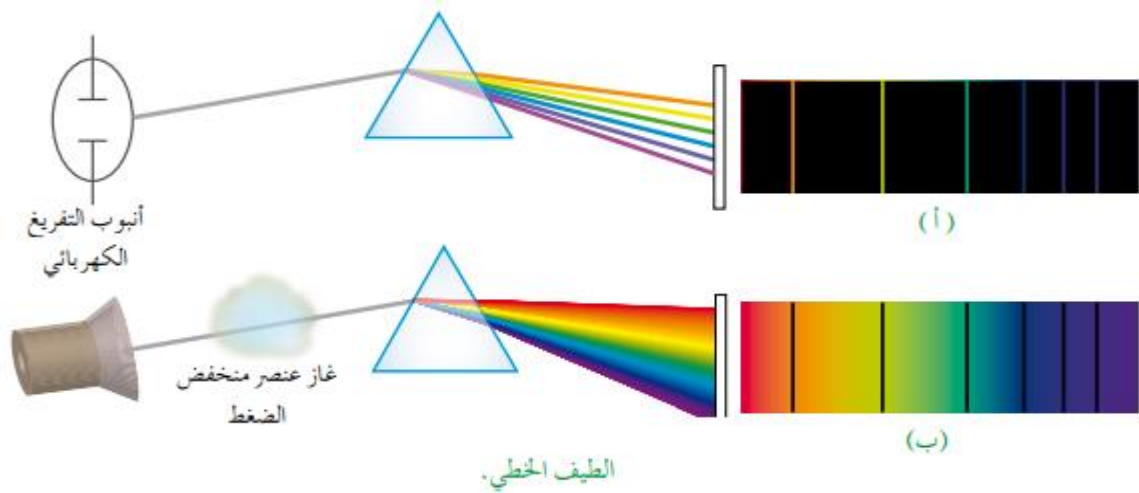


وإذا وضعنا مكان المصباح الهيدروجيني مصباح آخر كمصباح نيون أو صوديوم، فإن الطيف يختلف، وتتكون خطوط ملونة مختلفة بمواقع مختلفة، وهذا يعني أن لكل عنصر طيفاً خاصاً به يميزه عن غيره.



طيف الامتصاص

ينتج طيف الامتصاص الخطي عند إمرار ضوء أبيض خلال بخار أحد العناصر، فتتكون خطوط معتمة متباعدة، في المكان نفسه الذي تظهر فيه الخطوط الملونة في طيف الانبعاث الخطي.



من دراسة العلماء لطيف الهيدروجين لوحظ ظهور أربعة خطوط ملونة في منطقة الضوء المرئي حيث أمكن قياس الطول الموجي لهذه الخطوط لاحظ العالم بالمر توافقا في هذه الأرقام فوضع سنة 1885م علاقة رياضية تجريبية تعطي أطوال أمواج خطوط الطيف المرئي للهيدروجين:

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

$$n = (3, 4, 5, 6, \dots)$$

ثم توصل الفيزيائي ريدبرغ 1890م الى وضع العلاقة العامة لكل السلاسل:

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

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

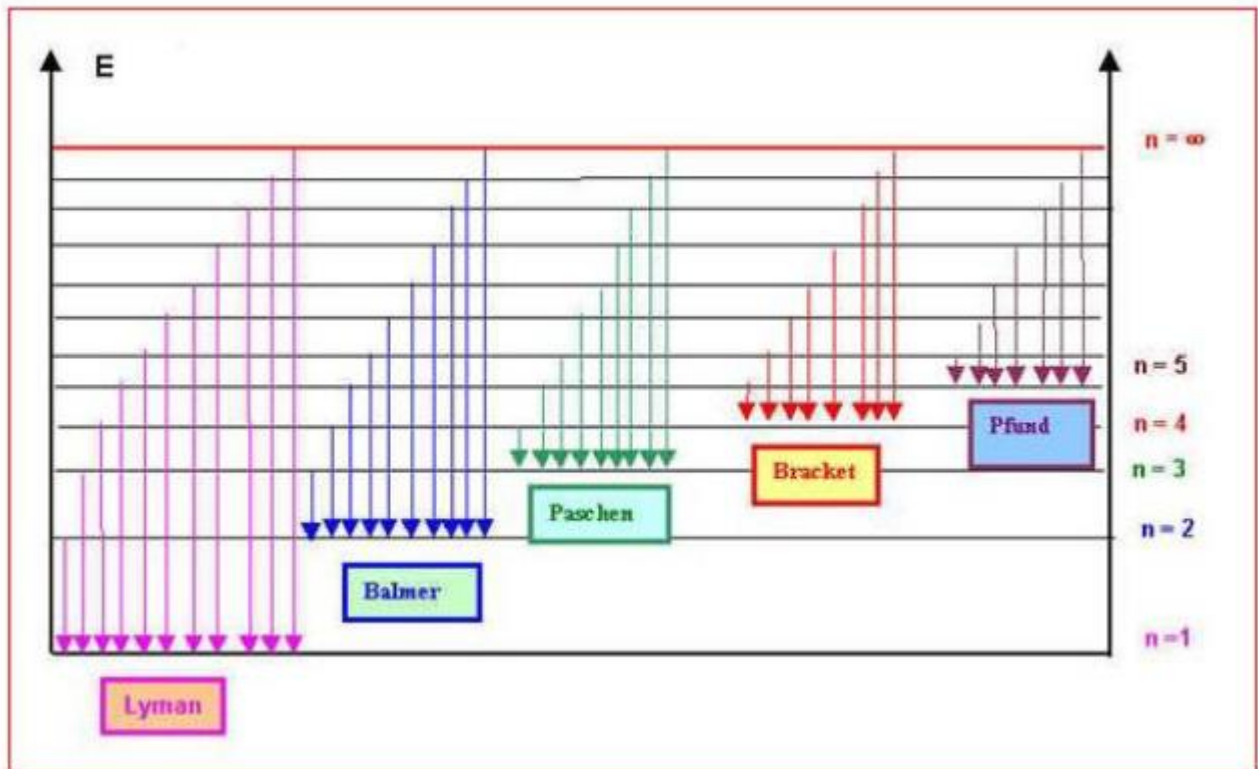
R_H ثابت ريديبرغ لذرة الهيدروجين =

$$R_H = 1.096777 \times 10^7 m^{-1}$$

تواصل اكتشاف مجموعات خطوط طيفية اخري لذرة الهيدروجين تحقق جميعها العلاقة السابقة:

| السنة | السلسلة | المنطقة الطيفية | n_1 | n_2 |
|-------|---|----------------------|-------|--------------|
| 1916 | ليمان-Lyman | الاشعة فوق البنفسجية | 1 | 2,3,4,.....∞ |
| 1885 | بالمر-Balmer | الضوء المرئي | 2 | 3,4,5,.....∞ |
| 1908 | باشن-Paschen | الاشعة تحت الحمراء | 3 | 4,5,6,.....∞ |
| 1922 | براكت-Brackett | الاشعة تحت الحمراء | 4 | 5,6,7.....∞ |
| 1924 | بفوند-Pfund | الاشعة تحت الحمراء | 5 | 6,7.....∞ |
| 1953 | همفريز-Humphreys | الاشعة تحت الحمراء | 6 | 7,8.....∞ |
| 1973 | هانسن- هانسن- سترونج-Hansen- strong, سترونج | الاشعة تحت الحمراء | 7 | 8,9.....∞ |

ونستطيع تلخيص مختلف الانتقالات لإلكترون ذرة الهيدروجين في المخطط التالي:



.3.1

مخطط الطاقة لمختلف السلاسل الطيفية للهيدروجين

1.3. الازدواجية موجة-جسيم (دي بروي . دوبروغي) Louis de Broglie

نجح النموذج الموجي للضوء في تفسير ظاهرة التداخل والانعكاس والحيود... ونجح النموذج الجسيمي من تفسير الظاهرة الكهروضوئية واشعاع الجسم الساخن... فأصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة الضوء هل هو موجة أم جسيم، وظل هذا الغموض حتى عام 1924 عندما تقدم العالم دي بروي "de Broglie" بفكرته عن الخاصية الثنائية للمادة وفيها أوضح أن للضوء صفة مزدوجة فهو يسلك سلوك موجة تحت بعض الظروف ، وجسيم أو فوتون تحت ظروف أخرى . بتطبيق نظرية الكم في حالة فوتون:

$$\begin{cases} E = h \cdot \nu & \text{حسب بلانك} \\ E = m \cdot c^2 & \text{حسب انشطين} \end{cases}$$

$$\Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda} = m \cdot c^2$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{m \cdot c}$$

من هذه المعادلة نرى أن الطول الموجي وهو خاصية للموجات، يمكن التعبير عنه بكمية الحركة وهو خاصية للجسيمات أي أن الفوتون أو الإشعاع يسلك سلوك مزدوج موجي جسيمي فهو موجات لها طول موجي و يحقق خواص الموجات مثل التداخل والحيود وغيرها وهو جسيمات لها كمية حركة و يحقق خواص الجسيمات كما في الظاهرة الكهروضوئية ويظهر أي من السلوكين تبعا لنوع التفاعل.

وقد اقترح دوبروغي تعميم هذه العلاقة لتشمل الجسيمات المادية، أي أنه يوجد موجات تصاحب حركة الجسيم المادي و تعرف بموجة دوبروغي

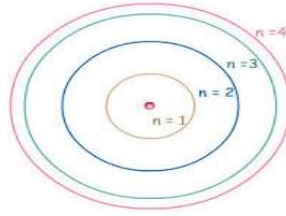
$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

λ : طول الموجة المصاحبة للجسيم المادي (m).
m : كتلة الجسيم ب kg
h : ثابت بلانك J.s
 v : سرعة الجسيم ب m/s

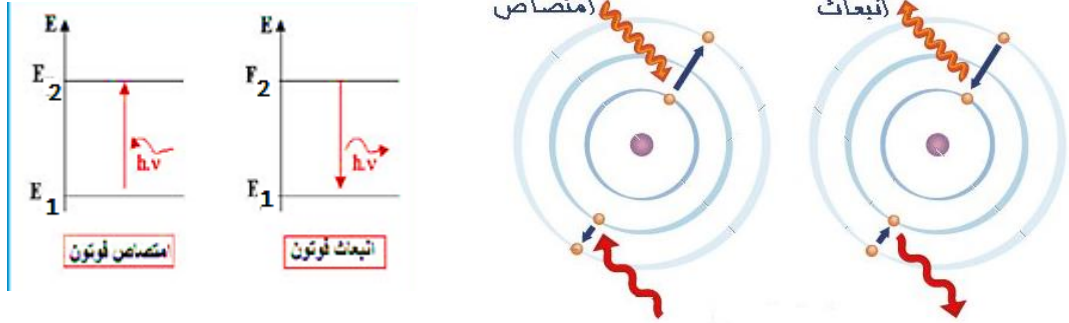
II. نموذج بور لذرة الهيدروجين

• بالرغم من ان معادلة ريديبرغ تصف النتائج التجريبية بدقة الا انه لم يكن مفهوم من اين جاء هذا الثابت كما انه لم يكن مفهوم ما هي هذه الاعداد الصحيحة حتى سنة 1913 حيث قدم بور تفسير نظري للأطياف الذري وكانت نظريته مزيج من نظرية بلانك، أينشتاين (يعطي كل فوتون طاقته لإلكترون واحد) ونموذج رذرفورد. درس بور طيف ذرة الهيدروجين لأنها أبسط الذرات وظيفها أبسط الأطياف. ويتلخص نموذج بور في الفرضيات التالية:

1- يدور الكترون حول النواة في مدارات دائرية ثابتة حسب فرضية رذرفورد ولا يمكن ان يتواجد بينها دون ان يفقد شيئاً من طاقته واطلق عليها بور اسم مستويات الطاقة او سويات الطاقة ولكل مستوى رقم يشار اليه بالرمز n الذي يأخذ قيم عدديه صحيحة $n=1,2,3,\dots,\infty$.



- 2- لا يشع الالكترن طاقة ولا يمتصها مادام يدور في المستوى نفسه حول النواة.
 3- عندما ينتقل الالكترن من حاله ثابتة مسموح بها طاقتها E_2 الى حاله اخرى مسموح بها طاقتها E_1 اقل E_2 من فان هذا النقص في الطاقة يتحول الى اشعاع كهرومغناطيسي له تردد ν .



اما عند انتقال الالكترن من مستوى اقل طاقة الى مستوى اعلى فانه يمتص طاقة.

$$E_{\text{الفوتون}} = |\Delta E| = |E_f - E_i| = h\nu$$

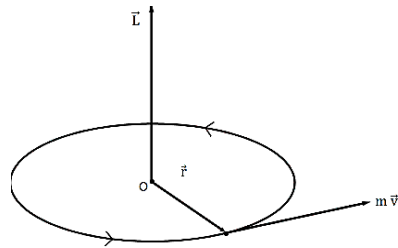
اصدار $\Delta E > 0$

انبعاث $\Delta E < 0$

4- يوافق انتقال الالكترن عزم حركي دائري (زاوي) L مكتم:

$$L_n = P \cdot r_n = m v_n r_n = n h / 2\pi \quad \text{و}$$

حيث r_n نصف قطر مدار الالكترن المسموح و v_n سرعة الالكترن في هذا المدار



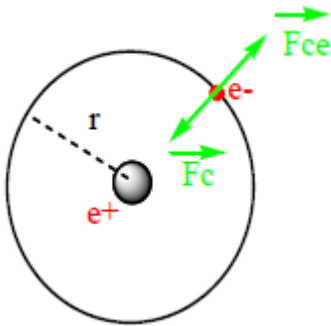
$$\hbar = h / 2\pi$$

حساب نصف قطر مدارات بور

حتى يبقى الإلكترون يدور حول النواة و لا يسقط عليها يجب

أن يكون مجموع القوى المؤثرة عليه معدوما. القوى المؤثرة على

الإلكترون في مداره هي :



$$|\vec{F}_1| = \frac{K|qq'|}{r^2}$$

القوة الكولونية \vec{F}_1 حيث :

| | |
|----------------------------------|------------------------|
| $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} =$ | 9×10^9 (MKSA) |
| | 1 (CGS) |

حيث :

ϵ_0 تسمى سماحة الفراغ

$$F_1 = K \frac{e^2}{r^2}$$

$$F_c = \frac{m_e \cdot v^2}{r}$$

$$F_1 = F_c \Rightarrow K \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e \cdot v^2}{r}$$

$$r = \frac{K \cdot e^2}{m_e v^2} \dots \dots \dots (1)$$

من الفرضية 4 لبور:

$$m_e v r = n h / 2\pi \Rightarrow v = \frac{nh}{2\pi m_e r}$$

$$\Rightarrow r = \frac{K \cdot e^2 \cdot 4\pi^2 \cdot m_e^2 \cdot r^2}{m_e \cdot n^2 \cdot h^2}$$

$$\Rightarrow r = \frac{n^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi^2 K \cdot m_e \cdot e^2} \dots \dots (2)$$

و من هذه العلاقة يمكن أن نحسب نصف قطر كل مدار من مدارات بور. لما $n=1$ نجد:

$$r_1 = \frac{h^2}{4 \cdot \pi^2 K \cdot m_e \cdot e^2} = \frac{(6.626 \times 10^{-34})^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 9.1 \times 10^{-31} (1.6 \times 10^{-19})^2}$$

$$r_1 = a_0 = 0.529 \cdot 10^{-10} m = 0.53 \text{ \AA}$$

و بالتالي فان انصاف اقطار المدارات الأخرى سيكون :

$$r_n = a_0 \cdot n^2 = 0.53 \cdot n^2 \text{ \AA}$$

حساب الطاقة الحركية للإلكترون:

$$F_1 = F_c$$

$$K \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e \cdot v^2}{r} \Rightarrow m_e \cdot v^2 = K \frac{e^2}{r}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \Rightarrow E_c = \frac{1}{2} \frac{K \cdot e^2}{r}$$

حساب الطاقة الكامنة للإلكترون: هي الطاقة الناتجة عن العمل المبذول بواسطة قوة الجذب الكهربائي للإلكترون في مداره .

$$\int_0^{E_p} E_p = \int_{\infty}^r F_c \cdot dr = \int_{\infty}^r \frac{K e^2}{r^2} dr \Rightarrow E_p = - \frac{K e^2}{r}$$

حساب الطاقة الكلية للإلكترون:

$$E_t = E_c + E_p$$

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

$$E_p = - \frac{K e^2}{r}$$

الطاقة الكلية

الطاقة الحركية

الطاقة الكامنة

$$E_t = - \frac{1}{2} \frac{K \cdot e^2}{r} = - \frac{K \cdot 4 \cdot \pi^2 K \cdot m_e \cdot e^2}{2 \cdot n^2 \cdot h^2}$$

$$E_t = - \frac{2 \cdot \pi^2 K^2 \cdot m_e \cdot e^4}{n^2 \cdot h^2}$$

ومن هنا نستنتج ان الطاقة مكتمة. لما n=1 نجد:

$$E_1 = - \frac{2 \cdot \pi^2 (9 \cdot 10^9)^2 \cdot 9.1 \times 10^{-31} (1.6 \times 10^{-19})^4}{(6.626 \times 10^{-34})^2} = -2.173 \cdot 10^{-18} J \cong -13.6 eV$$

(n=1) $E_1 = -13.6 eV$ الحالة الأساسية

$E_2 = - \frac{13.6}{2^2}$ المدار المثار الأول n=2

$E_3 = - \frac{13.6}{3^2}$ المدار المثار الثاني n=3

$E_{\infty} = 0 eV$ و منه n=∞

$$E_n = -\frac{A}{n^2} = \frac{E_H}{n^2} \quad \text{اذن}$$

حساب سرعة الإلكترون:

من الفرضية 4

$$m_e v \quad r = n h / 2\pi$$

$$\Rightarrow v = \frac{nh}{2\pi m_e r} = \frac{n \cdot h \cdot 4\pi^2 \cdot K \cdot m_e \cdot e^2}{2\pi \cdot m_e n^2 \cdot h^2} = \frac{2\pi \cdot K \cdot e^2}{n \cdot h}$$

. لما n=1 نجد:

$$v_1 = \frac{2\pi \cdot K \cdot e^2}{n \cdot h} = \frac{2\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (1.6 \times 10^{-19})^2}{6.626 \times 10^{-34}} = 2.18 \times 10^6 \text{ m/s}$$

ومنه

$$v_n = \frac{v_1}{n}$$

العلاقة بين العدد الموجي ومستويات الطاقة

عندما ينتقل الإلكترون من المستوى n_1 الى المستوى n_2 بحيث $n_2 > n_1$ فإنه يمتص طاقة بحيث :

$$E_{\text{الفوتون}} = |\Delta E| = E_{n_2} - E_{n_1} = h\nu$$

$$\Rightarrow \nu = \frac{1}{h} (E_{n_2} - E_{n_1}) = \frac{1}{h} \left(-\frac{2 \cdot \pi^2 K^2 \cdot m_e \cdot e^4}{n_2^2 \cdot h^2} + \frac{2 \cdot \pi^2 K^2 \cdot m_e \cdot e^4}{n_1^2 \cdot h^2} \right)$$

$$\nu = \frac{2 \cdot \pi^2 K^2 \cdot m_e \cdot e^4}{h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\begin{cases} \nu = \frac{c}{\lambda} \\ \frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} \end{cases}$$

$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{2 \cdot \pi^2 K^2 \cdot m_e \cdot e^4}{c \cdot h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

و بمقارنة هذه العلاقة مع علاقة بالمر :

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

$$R_H = \frac{2 \cdot \pi^2 K^2 \cdot m_e \cdot e^4}{c \cdot h^3} = \frac{2 \cdot \pi^2 (9 \cdot 10^9)^2 \cdot 9.1 \times 10^{-31} (1.6 \times 10^{-19})^4}{3 \cdot 10^8 \cdot (6.626 \times 10^{-34})^3}$$

$$R_H = 1.09557 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

تظهر هذه القيمة توافقا كبيرا مع القيمة التجريبية

$$R'_H = 109677.7 \text{ cm}^{-1} = 1.096777 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

طاقة التأين لذرة الهيدروجين

هي الطاقة اللازمة لرفع الإلكترون من الحالة الأساسية الى ∞ اي تحويل ذرة معتدلة كهربائيا الى شاردة بعد فقد الكترون.

$$E_i = \Delta E = E_{\infty} - E_1 = E_3 - E_1 = -\frac{13.6}{\infty^2} + \frac{13.6}{1} = 13.6 \text{ eV}$$

تطبيق نظرية بور على اشباه الهيدروجين

اشباه الهيدروجين هي شوارد فقدت كل الالكترونات ولم يتبقى لها سوى الكترون واحد في المدار الخارجي غير انها تختلف عن الهيدروجين بالعدد الذري الذي يكون اكبر من الواحد، Be^{3+}, Li^{2+}, He^+ . تبقي فرضيات بور صحيحة بالنسبة لأشباه الهيدروجين بتغيير فقط:

$$F_1 = K \frac{Z.e^2}{r^2}, \quad E_p = -\frac{K.Z.e^2}{r}$$

$$E_n = -\frac{Z^2 A}{n^2} = \frac{Z^2 E_H}{n^2} \quad \text{وتكون الطاقة الكلية لذرات اشباه الهيدروجين}$$

$$r_n = a_0 \cdot \frac{n^2}{Z}$$

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

$$\vartheta_n = \vartheta_1 \cdot \frac{Z}{n}$$

عيوب نظرية بور

على الرغم من النجاحات التي حققها نموذج بور في تفسير طيف ذرة الهيدروجين والايونات المشابهة لها الا انها فشلت في تفسير اطيف الذرات الاخرى عديدة الالكترونات والتي كانت اكثر تعقيدا كما اعتبر النموذج ان الالكترون جسم مادي فقط بينما الالكترون جسم مادي له خصائص موجية كما افترض انه يمكن تعيين مكان وسرعة الالكترون في الوقت نفسه ولكن هذا مستحيل عمليا لذى نشط البحث عن نظرية تصف سلوك الالكترونات في الذرات بشكل افضل فكان الحل في النظرية الميكانيكية الموجية او النظرية الذرية الحديثة.

اقترح بور النموذج التالي للذرة:

