الفصل الثاني

الطيف الذري ونموذج بور

Niels Bohr
(1885-1962)

1- المبادئ الأساسية للطيف

يقصد بدراسة الطيف توزيع الشدة الضوئية كدالة في التردد. وتعد دراسة الأطياف من أهم الطرق لدراسة التركيب الذري وفي الدراسات الفلكية حيث تستخدم نتائج دراسة الطيف لمعرفة خواص النجوم والمواد المكونة لها ودرجة حرارتها ومعرفة خواص الطبقات المكونة للغلاف الجوي للأرض مثل طبقة الأيونوسفير والتي تعد مهمة جداً في الاتصالات الفضائية .

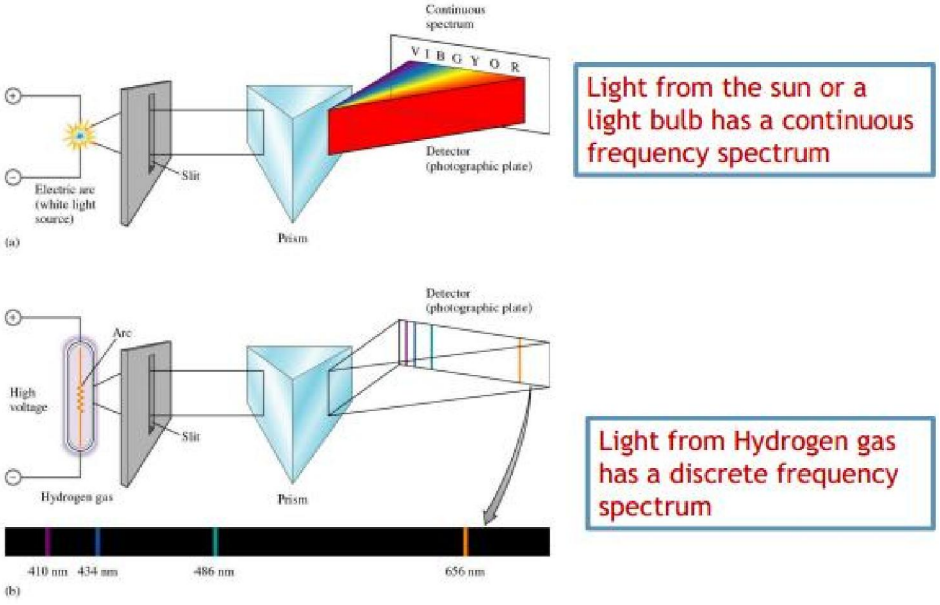
وكان إسحاق نيوتن أول من حلل الضوء إلى ألوان مختلفة باستخدام موشور التشتت الضوئي. وقد قال نيوتن أن الطريقة الوحيدة التي يمكن بها فهم التركيب الداخلي للمادة هي دراسة الأطياف.

وقد أمكن بواسطة هذه الطرق معرفة العناصر الموجودة في الشمس والنجوم وغيرها من الأجسام.

ويقاس الطيف معملياً بواسطة المطياف وهناك أنواع متعددة منها إلا أن المبدأ الأساسي هو نفسه: إذ تتكون هذه الأجهزة على اختلاف أنواعها من ثلاثة أجزاء هي : مصدر ضوئي (الذرات مثلاً) ومحلل الطيف وذلك لفصل الضوء إلى عناصره أي الترددات المختلفة وجهاز يسجل الشدة الضوئية لكل من هذه الترددات المكونة للضوء الأصلي القادم من المصدر الضوئي.

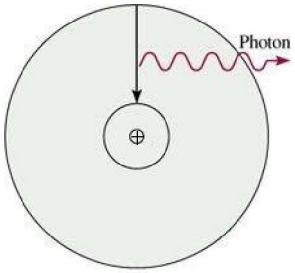
ويوضح الشكل (2-1) أحد هذه الأجهزة وهو محلل الضوء الموشوري. وعادة ما تستخدم فتحة أو شق أمام المصدر الضوئي بهدف توجيه وتحديد الضوء القادم من المصدر وفي هذه الحالة فإن الألوان المختلفة(=الترددات) التي تسجل على الكاشف تظهر صورة الفتحة أو الشق على هيئة خط ومن جاءت تسمية الخطوط الطيفية لتعني الترددات المختلفة المكونة للضوء الأصلي والتي تظهر على جهاز التسجيل أو الشاشة.

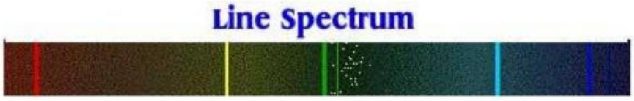
ويقع أغلب الطيف الكهرومغناطيسي للذرات في منطقة الترددات التي تبدأ من الترددات الراديوية ثم الموجات الدقيقة فالطيف المرئي ثم الأشعة السينية.



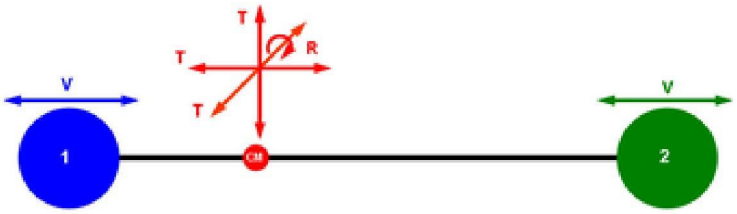
ويصنف الطيف حسب تقارب أو تباعد الخطوط أو حسب المصدر إلى ثلاثة أنواع:

1- الخط الطيفي أو طيف الذرات المفردة: وفي هذا النوع يظهر الطيف على شكل خطوط طيفية متباعدة يمكن تمييزها بسهولة وترتيبها في سلاسل ذات خواص محددة. وينتج هذا الطيف عادة من الذرات المنفردة وذلك عندما تنتقل الإلكترونات في الذرة بين المستويات المختلفة حيث تتبعث في هذه الحالة موجات كهرومغناطيسية ترددها يساوي الفرق بين تردد المستويات التي يحدث بينها الانتقالات، الشكل (2-2).





2- الحزمة الطيفية أو الطيف الجزيئي: ويظهر الطيف في هذه الحالة على شكل حزمة من الخطوط الطيفية المتقاربة جداً بحيث يصعب تمييزها عادة. وتنتج هذه الحزم الطيفية عادة من الجزيئات. وهناك نوعان من الطيف الجزيئي: هما الطيف الجزيئي الدوراني وينتج عندما تدور الذرات المكونة للجزيئات حول مركز ثقلها أو حول محور ما، وهناك الطيف الجزيئي الاهتزازي وينتج عندما تهتز الذرات المكونة للجزيئات حول موضع اتزان فيها . وفي كلتا الحالتين تتبعث موجات كهرومغناطيسية عندما تنتقل الجزيئات بين المستويات الدورانية أو الاهتزازية ، الشكل (2-3).



3- الطيف المستمر : وينتج هذا النوع من الطيف في الأجسام الصلبة التي تصدر أشعة وفي الغازات ذات الكثافة العالية. ويتكون هذا الطيف من خطوط طيفية متصلة متقاربة جداً أكبر من النوع السابق ولا يمكن تمييز هذه الخطوط منفردة. وينتج هذا الطيف المستمر لأن الجسم الصلب مكون من ذرات متراصة بشكل متقارب جداً حيث كثافة الجسم الصلب عالية.

ويعتمد الطيف الناتج على طبيعة المصدر الضوئي نفسه فلكل مصدر ضوئي طيفه الخاص به. فإذا استخدمنا مثلاً مصباحاً هيدروجينياً فإن الطيف الذي يكشف عنه المحلل الطيفي هو طيف الهيدروجين . وقد أمكن التعرف على 14 خطاً طيفياً (14 تردداً) للهيدروجين بواسطة المطياف.

2- طيف الهيدروجين وعلاقة رايدبرغ

في محاولة للتعرف على طبيعة هذه الخطوط الطيفية لذرة الهيدروجين فقد وضع بالمر في عام 1885 م العلاقة التجريبية الآتية لحساب الأطوال الموجية المشاهدة في التجارب التي أجريت على ذرة الهيدروجين :

$$\frac{1}{\lambda}=\frac{4}{B}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right) \qquad (1)$$

حيث λ الطول الموجي للخط الطيفي المشاهد و n=3,4,5,.... وB ثابت عددي تحدد قيمته بحيث توافق هذه العلاقة النتائج العلمية وتساوي 3645.6 A . وقد وجد أن قيم الأطوال الموجية المحسوبة من هذه العلاقة العددية تتفق بشكل كبير مع تلك المقاسة من التجربة في حدود الخطأ التجريبي. وقد سميت العلاقة (1) فيما بعد صيغة بالمر. وتقع جميع الخطوط الطيفية لذرة الهيدروجين والتي تصفها هذه العلاقة في منطقة الضوء المرئي . وبتغيير قيم n نحصل على سلسلة من الترددات أو الخطوط الطيفية والتي تسمى سلسلة بالمر الطيفية .

ولم تكن محاولة بالمر هي الوحيدة في دراسة الخطوط الطيفية فقد ظهر بعد سلاسل طيفية أخرى مشابهة ومنها سلاسل ليمان وباشين وبفوند وغيرها. ولفهم وتفسير هذه السلاسل الطيفية اقترح رايدبرغ في عام 1889 م علاقة أعم من علاقة بالمر لحساب الأطوال الموجية للخطوط الطيفية من تلك السلاسل المختلفة وتوصل إلى العلاقة

$$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{n'^2}\right)$$
$$=T(n)-T(n') \qquad (2)$$

حيث $R=4/B=109721.3\ cm^{-1}$ ثابت يسمى ثابت رايدبرغ . وهذه هي القيمة التجريبية ولكن من غير الواضح لماذا هذه القيمة لهذا الثابت . سنرى في نموذج بور أنه يمكن استنتاج قيمة هذه الثابت بصورة طبيعية ومنطقية.

و n=1,2,3,... و n' عدد صحيح بحيث لكل قيمة من قيم n تأخذ n' القيم $n'=n+1$ و $n'=n+2$ و $n'=n+3$ ،..... .وتسمى الكميات $T(n)=R/n^2$ قيم الحدود (term values) . وتعطي العلاقة 2 جميع السلاسل الطيفية المعروفة.

سلسلة ليمان : بوضع n=1 و $n'=2,3,4,...$ في العلاقة 2 نحصل على مجموعة من الخطوط الطيفية تسمى سلسلة ليمان ، وتقع ترددتها في المنطقة فوق البنفسجية في السلم الطيفي. ويسمى الخط الطيفي الذي نحصل عليه عندما n=1 و $n'=2$ الخط α بينما يسمى الخط المناظر لقيم n=1 و $n'=3$ الخط β وعندما n=1 و $n'=4$ نحصل على الخط γ وهكذا حسب تناقص الطول الموجي . فمثلا الطول الموجي للخط الطيفي الأول (خط α) يساوي 1216A .