

الفصل الثالث

المطيافية الذرية

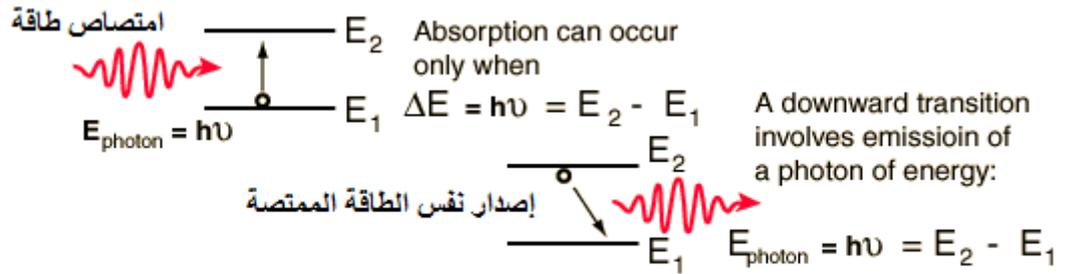
1. كمون الإثارة
2. الأطياف الذرية
2. 1 طيف الهيدروجين
3. مبدأ التراكب لريتز
4. تعريض الخطوط الطيفية
5. مبدأ الارتياح لهايزنبرغ

1. كمون الإثارة

1-1 إثارة الذرات

لمشاهدة خطوط الطيف الذرية لعنصر ما لابد من إثارة ذرات ذلك العنصر، وتتم عملية الإثارة بعدة طرق منها الضوئية والكهربائية والمغناطيسية والحرارية والتصادمية... الخ. ولكن ما هو مفهوم الإثارة الذرية؟ الإثارة تعني انتقال أحد الإلكترونات (ربما أكثر) من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى فتصبح الذرة في حالة مثارة، ولكي تتخلص الذرة من عدم الاستقرار هذا يعود الإلكترون إلى حالته المستقرة مع التخلص من الطاقة التي اكتسبها بشكل إطلاق فوتون (كم طاقة، شعاع ضوئي) يتم التعرف على طول موجته وطاقته بأجهزة قياس الطيف.

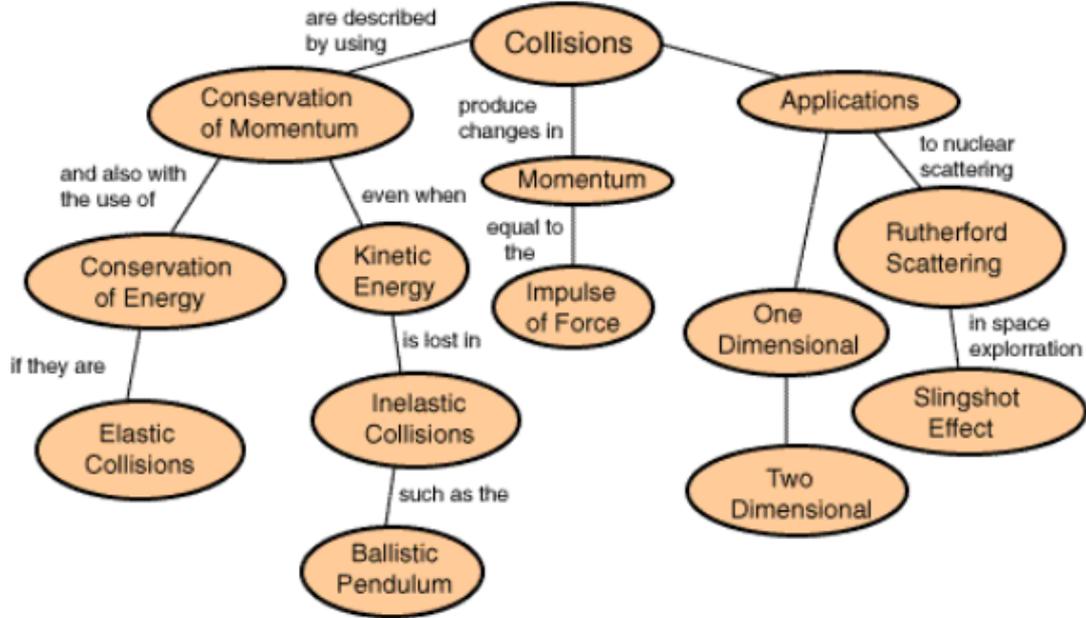
ومعنى هذا يرافق الإثارة امتصاص طاقة هذه الطاقة الممتصة يجب ان تكون رتبة الفاصل الطاقوي (مستويات الطاقة منفصلة) بين المستويين الطاقويين، والا فان العملية لا تحصل ويعقب عملية الامتصاص عملية الإصدار.



الشكل (3-1): عمليتا الإصدار و الامتصاص للطاقة

ويجب التمييز بين الإثارة والتأين الذي يعني اقتلاع إلكترون وبشكل نهائي من الذرة لتصبح بشكل أيون. وما يهمنا في دراسة الطيف ان لا نجعل الذرة أثناء تعريضها للمؤثرات الخارجية أن تصل إلى درجة التأين، والا سوف نفشل في كشف مستويات الطاقة. ندرس عملية استكشاف مستويات الطاقة بواسطة آلية التصادم وكما نعلم فإن التصادم نوعان مرن و اللامرّن:

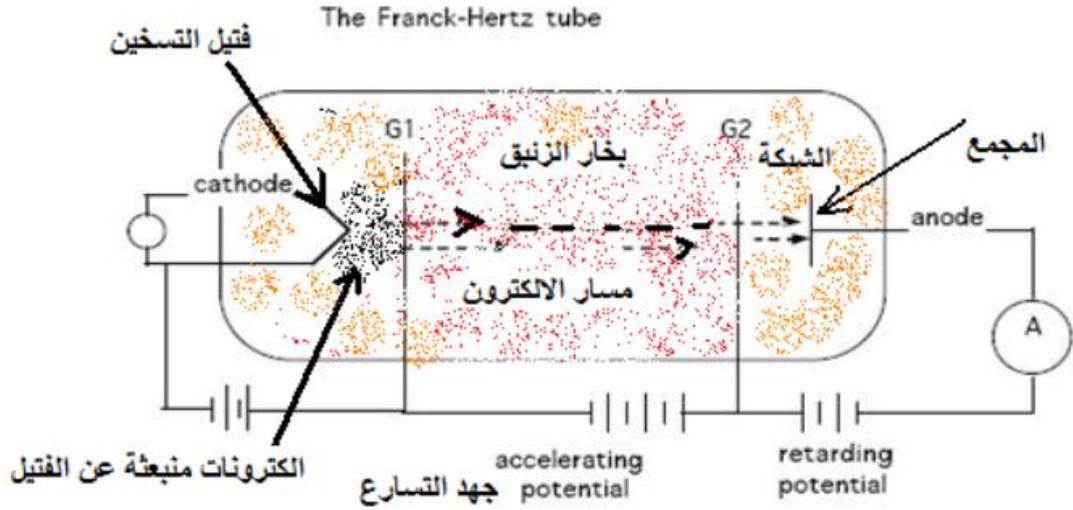
- **التصادم المرن:** ويعني أن الجسمين المتصادمين لا يخسر أي منهما طاقة بعد عملية الصدم وبمعنى آخر طاقة الجسمين وكمية حركتهما هي نفسها قبل وبعد عملية التصادم (حفظ الطاقة).
- **التصادم اللامر:** ويعني ان طاقة الجسمين بعد الصدم ليست نفسها، حيث يخسر أحدهما جزء من طاقته للجسم الآخر.



الشكل (2-3): موقع التصادم المرن و اللامر في موضوع

1-2- تجربة فرانك وهرتز

من نتائج نموذج بور تبين ان مستويات الطاقة للذرة كممة وذلك من خلال قيم محددة لمستويات الطاقة التي يمكن للإلكترون ان يتواجد فيها في الذرات ذات الإلكترون الوحيد. وهذا بالطبع هو نفس الحال للذرات المتعددة الإلكترونات، كذلك ان إشعاع الجسم الأسود فسره العالم بلانك على أساس وجود الذرات في مستويات طاقة كممة، ولإجراء تجربة عملية لإثبات ان مستويات الطاقة في الذرة كممة قام العالمان فرانك وهيرتز 1914 بتصميم تجربة كما في الشكل التالي :



الشكل (3-3): مخطط تجربة فرانك و هرتز

• **هدف التجربة:** تأكيد وجود مستويات الطاقة تجريبيا وذلك عن طريق إثارة الذرات بصدمها بالإلكترونات ذات طاقة معلومة.

• **وصف التجربة :** آلية عمل الإلكترونات لإثارة الذرات

تتكون من أنبوبة مفرغة من الهواء وبها ذرات من الزئبق Hg عند ضغط منخفض، على الجانب الأيسر من الأنبوبة مصدر الكتروني عبارة عن فتيلة تسخن بمرور التيار الكهربائي وينطلق منها إلكترونات باتجاه الكاثود ذو الجهد السالب ليعمل على تعجيل الإلكترونات باتجاه الأنود ذو الجهد الموجب، ويتم التحكم بطاقة التعجيل من خلال تغيير الجهد المطبق على الكاثود والأنود حيث ان طاقة الإلكترونات تعتمد على شحنة الإلكترون وفرق الجهد وفق العلاقة التالية :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = eV \quad (1)$$

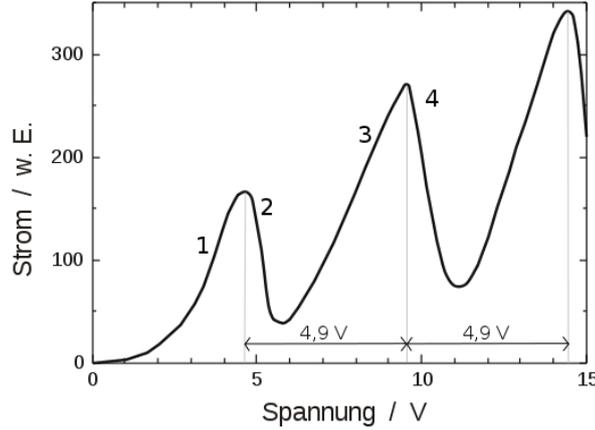
تتفد الإلكترونات من الأنود المكون من شبكة معدنية باتجاه المجمع مطبق عليه جهد سالب متصل بجهاز الامبيرمتر لقياس شدة التيار الناتج عن الإلكترونات التي تصطدم بالمجمع.

• **فكرة التجربة:**

تنتقل الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة الحرارية باتجاه الأنود تحت تأثير فرق جهد التعجيل الذي يكسب الإلكترونات طاقة حركة وإذا كانت طاقة الحركة كافية للتغلب على جهد المجمع

فإنها تعبر في الدائرة الكهربائية التي يمكن قياس شدة التيار الكهربائي المار بها من خلال مؤشر الأمبيرمتر. وبدراسة العلاقة بين فرق جهد التعجيل (طاقة حركة الإلكترونات) مع شدة التيار المار في الدائرة فإنه من المتوقع ان تزداد شدة التيار بزيادة فرق جهد التعجيل، مع العلم ان الإلكترونات المعجلة تتصادم مع ذرات الزئبق في الأنبوبة المفرغة .

- نتائج التجربة : من منحنى العلاقة بين التيار الكهربائي كدالة لتغير فرق جهد التعجيل وجد ان المنحنى يأخذ الشكل التالي :



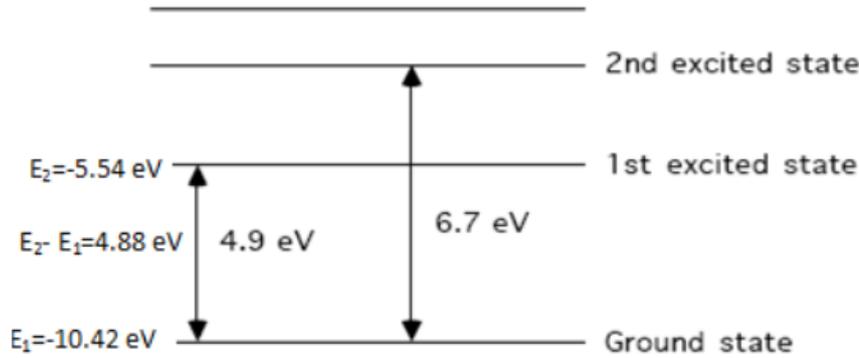
الشكل(3-4): شدة التيار كدالة للجهد

يتضح من المنحنى السابق ان التيار يزداد بزيادة فرق الجهد حتى يصل فرق الجهد إلى القيمة 4.9 V فإن التيار يتناقص فجأة وهذا يشير إلى أن الإلكترونات المعجلة عند هذه القيمة تتفاعل مع ذرات الزئبق الذي يمتص طاقة الإلكترونات وتصبح ذرات الزئبق مثارة وبالتالي فإن هذه الإلكترونات تفقد طاقة حركتها ولا تستطيع التغلب على الجهد السالب المجمع وعند زيادة فرق الجهد تدريجياً تصبح الإلكترونات قادرة على الوصول إلى المجمع وهذا يؤدي إلى زيادة التيار مع فرق الجهد مرة أخرى إلى أن يصل فرق الجهد إلى القيمة 9.8 V اي ضعف القيمة السابقة وهنا أيضا يحدث تناقص حاد في التيار الكهربائي وهذا يشير إلى ان الإلكترون أعطى طاقته لذرة الزئبق بمقدار 4.9 V وبعدها اصطدم بذرة زئبق اخرى والتي امتصت ما تبقى من طاقة الإلكترون وبالتالي يصبح الإلكترون غير قادر على التغلب على جهد المجمع وبالتالي يقل التيار الكهربائي مرة أخرى.

- الرؤية النظرية للتجربة:

ذرة الزئبق من الذرات الثقيلة، عندها 80 إلكترون موزعة على مستويات الطاقة (سنتعرض للتوزيع الإلكتروني في الذرة لاحقا)، اثنان من الإلكترونات سطحية وهما المعنيان بعملية

الإثارة، وباقي الإلكترونات تعتبر من الإلكترونات الداخلية صعبة الإثارة لأنها مرتبطة مع النواة بشدة. ومن الذرية والأطياف وطاقة بور، يبين الشكل (3-5) توزيعات الطاقة لذرة الزئبق.



الشكل (3-5): مخطط مستويات الطاقة لذرة الزئبق

من الشكل (3-5) يتبين ان صعود الإلكترون من المستوي الأول إلى المستوي الثاني يحتاج إلى طاقة من مرتبة الفاصل الطاقوي بين المستويين، بتطبيق علاقة بور نجد النتائج التالية:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

$$\Delta E = -5.54 - (-10.42) \approx 4.9 \text{ eV}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{12400 \text{ eV} \cdot \text{Å}}{4.9 \text{ eV}} = 2537 \text{ Å}$$

ان عدم استقرار الإلكترون في المستوي الأعلى (الحالة المثارة) يجعله يعود إلى وضعه الأساسي بإطلاق فوتون من المفترض أن تكون طاقة هذا الفوتون الصادر مساوية تماما إلى الطاقة التي اكتسبها الإلكترون أثناء عملية التصادم.

لقد ظهر الخط الطيفي ذي الطول الموجي 2537 Å في تجارب الأطياف الذرية وحسبت طاقته فوجد أنها تساوي إلى 4.9 eV ، وفي تجربة فرانك و هرتز ظهر الفاصل الطاقوي 4.9 eV .

- النتيجة: التجربة تؤكد على ظهور الطيف الخطي للذرة مما يؤكد أن مستويات طاقتها منفصلة (مكممة) وأن التجربة والنظرية في الوضع الحالي تدعم نظرية بور.

2. الأطياف الذرية

1-2 طيف الهيدروجين:

عند تمرير تفريغ كهربائي داخل أنبوب يحتوي على الهيدروجين تحت ضغط ضعيف، نلاحظ أن هناك انبعاث ضوئي. ويمكن ملاحظة كذلك طيف ذرة الهيدروجين. هذا الطيف مكون من خطوط قليلة ولكن ذات شدة عالية وممتلة بالشكل:

$$H_{\alpha} = \text{أحمر (Rouge)} \rightarrow (6563\text{\AA})$$

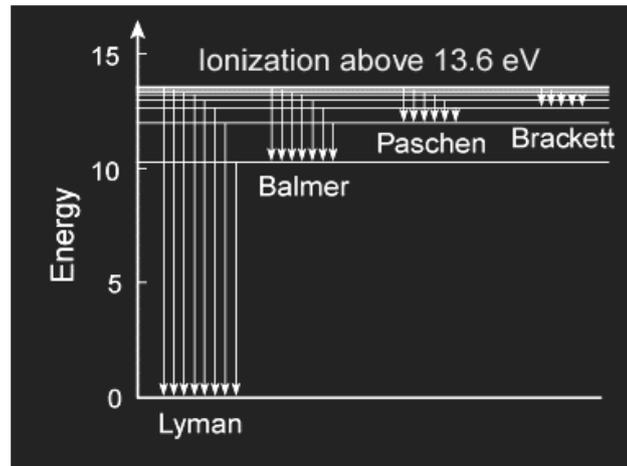
$$H_{\beta} = \text{أزرق (Bleue)} \rightarrow (4861\text{\AA})$$

$$H_{\gamma} = \text{فيروزي (indigo)} \rightarrow (4340\text{\AA})$$

$$H_{\delta} = \text{بنفسجي (Violette)} \rightarrow (4102\text{\AA})$$

عند المجال الفوق البنفسجي القريب، نلاحظ أن الخطوط تتقارب بعض الشيء من بعضها وتميل نحو الطيف المستمر.

- **التفسير:** إن مشاهدة طيف ذرة الهيدروجين أدى إلى العديد من التنبؤات التجريبية وكان يجب الانتظار إلى غاية 1913 أين فسّر بور نموذجة للذرة لفهم وجود هذه الخطوط نظريا. وللفهم الجيد يمكن الرجوع إلى مختلف الدراسات التي أجريت من قبل من ذلك:
- 1885: ركز العلماء على دراسة طيف ذرة الهيدروجين وتوالت الاكتشافات في هذا المجال حيث رصد العالم Balmer في العام 1885 الطيف المرئي لذرة الهيدروجين وهي الانتقالات التي يحدثها الإلكترون إلى المستويات كما في الشكل التالي:



الشكل (3-6): الانتقالات الإلكترونية لطيف ذرة الهيدروجين

- لاحظ كل من بالمير و ريديبارغ أن الطيف المرئي للهيدروجين يكتب:

$$v = Rc \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (3)$$

R : ثابت ريديبارغ

c : سرعة الضوء

كل قيمة لـ n_2 توافق خط معين من قبل:

$$n_2 = 3 \rightarrow H_\alpha$$

$$n_2 = 4 \rightarrow H_\beta$$

$$n_2 = 5 \rightarrow H_\gamma$$

$$n_2 = 6 \rightarrow H_\delta$$

- 1906: أكتشف لييمان سلسلة جديدة من الخطوط في المجال فوق البنفسجي (U.V) البعيد ($\approx 1200 \text{ \AA}$) وكتب:

$$v_{n_2} = Rc \left(1 - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (4)$$

- 1908: اكتشف باشن سلسلة أخرى من الخطوط في ما تحت الأحمر (I.R) القريب ($\approx 18000 \text{ \AA}$) وكتب:

$$v_{n_2} = Rc \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (5)$$

الجدول التالي يلخص المجموعات الطيفية لذرة الهيدروجين ومعادلة Rydberg لكل مجموعة.

The Hydrogen Series

Names	Wavelength Ranges	Formulas
Lyman	Ultraviolet	$\kappa = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, 4, \dots$
Balmer	Near ultraviolet and visible	$\kappa = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$
Paschen	Infrared	$\kappa = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 4, 5, 6, \dots$
Brackett	Infrared	$\kappa = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 5, 6, 7, \dots$
Pfund	Infrared	$\kappa = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 6, 7, 8, \dots$

الجدول (1-3) : المجموعات الطيفية لذرة الهيدروجين

3. مبدأ التوافق لريتر

في عام 1908، أعلن العالم ريتز قاعدته الشهيرة والمتمثلة في مبدأ التوافق لريتر أين جمع كل النتائج السابقة في معادلة بالشكل:

$$v_{n_1, n_2} = Rc \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (6)$$

ولكل قيمة لـ n_1 توافق سلسلة معينة.

$n_1 = 1 \rightarrow$ سلسلة ليمان

$n_1 = 2 \rightarrow$ سلسلة بالمير

$n_1 = 3 \rightarrow$ سلسلة باشن

وهذه القاعدة تدل على ان طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين يمكن ان يحسب من أجل كل السلاسل وذلك بأخذ الفرق بين حدين طيفيين واللذان يكتبان بشكل عام كما يلي: $\frac{Rc}{n^2}$

4. تعريض الخطوط الطيفية

1-4 مقدمة:

تتولد أشعة الليزر داخل المادة عند أطوال موجية محددة توافق الأطوال الموجية لخطوط طيف الإصدار المنبعثة من المادة وذلك من أجل الانتقالات بين سويات الطاقة المختلفة ضمن الذرات أو الجزيئات. وبالتالي يعبر الخط الطيفي عن العلاقة التي تربط بين شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من المادة وبين التردد ν أو الطول الموجي λ ، وذلك من أجل انتقال محدد بين سويتي طاقة E_2, E_1

عند دراسة الانتقالات التي تتم بين السويات الإلكترونية في الذرات نفترض عادة أن الخط الطيفي الصادر عن الذرة المثارة يظهر فقط عند تردد معين ووحيد ν يحد بالعلاقة:

$$E_2 - E_1 = h\nu \quad (7)$$

ولكن في الواقع فان عمليتي الإصدار والامتصاص لا تحدثان عند تردد وحيد محدد بدقة إنما يتم ذلك على حزمة من الترددات القريبة من بعضها البعض لتشكل ما يدعى تعريض (توسع) الخط الطيفي $\Delta\nu$

من المعروف عن أشعة الليزر أنها وحيدة اللون، ويعني هذا المصطلح نظريا طولا موجيا محددًا بدقة λ_0 ، لذلك عند التعبير بيانيا عن قيمة التغير النظرية في شدة الطيف المنبعث عن انتقال ليزري لإلكترون من سوية E_2 الى سوية E_1 كتابع للطول الموجي فانه ينتج خط وحيد يعرف بالخط الطيفي حيث تكون شدة الأشعة عند الأطوال الموجية $(\lambda < \lambda_0)$ و $(\lambda > \lambda_0)$ مساوية للصفر. ولكن في الواقع عند رسم طيف الإصدار، والذي يمثل العلاقة بين شدة الأشعة الصادرة أو المنبعثة من المادة والطول الموجي نلاحظ أن للخطوط الطيفية الناتجة عرضا محددًا مقداره $\Delta\lambda$ (أو تعريض في التردد) يعرف بالعرض الطيفي $(\Delta\nu)$ بحيث تكون القيمة العظمى للشدة عند الطول الموجي λ_0 ولكن تتناقص هذه الشدة في مجال الأطوال الموجية الأصغر والأكبر λ_0 .
ولدراسة شكل وعرض الخطوط الطيفية الليزرية سوف نعتد على العرض عند منتصف قيمة الشدة العظمى.

4-2 أنواع التعريض:

هناك عدة عوامل تؤدي إلى تعريض الخطوط الطيفية لأشعة الليزر وبالتالي ينتج لدينا أنواع مختلفة للتعريض منها:

4-2-1 التعريض الطبيعي:

ويسمى أحيانا التعريض الناتج عن عمر السوية المثارة ويقدر عادة عرض الخط الطيفي الطبيعي لسوية طاقة i بالمعادلة:

$$\Delta\nu_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \tau_i} \quad (8)$$

ويمكن تمثيل شكل هذا التعريض للخط الطيفي بواسطة تابع لورنتز الذي يعطى بالعلاقة:

$$g(\nu) = \frac{\frac{\Delta\nu}{2\pi}}{(\nu - \nu_0)^2 + \left(\frac{\Delta\nu}{2}\right)^2} \quad (9)$$

وبالتالي يمكن الحصول على القيمة العظمى لشدة الأشعة الصادرة من أجل

$$(\nu_0 = \nu) \text{ وعرضه الموافق لنصف قيمة الارتفاع } \Delta$$

2-2-4 تعريض دوبلير

كما نعلم ان ظاهرة دوبلر هي تغير في التردد المقاس نتيجة الحركة النسبية لمنبع الترددات والمراقب. والمعادلة التي تعطي التعريض في الخط الطيفي الناتج عن ظاهرة دوبلر تعطى بالشكل (والتي تمثل تابع غوص):

$$g(v) = \frac{c}{v_0} \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot k \cdot T}} \exp\left(\frac{mc^2 \cdot (v - v_0)^2}{2\pi \cdot k \cdot T \cdot v_0^2}\right) dv \quad (10)$$

ويعطى عرض الخط الطيفي الناتج عن دوبلر بالعلاقة التالية:

$$\Delta v = 2v_0 \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T \cdot \ln 2}{m \cdot c^2}} \quad (11)$$

نلاحظ من هذه العلاقة أن التعريض يتناسب طرذا مع التردد الأساسي للإشعاع الصادر، نستنتج من ذلك أن ظاهرة دوبلر تؤثر على الأشعة الصادرة ذات الترددات الكبيرة مثل الإشعاع الكهرومغناطيسي في مجال اللون الزرق وما فوق أما في مجال الأشعة ذات الترددات الصغيرة أي في مجال اللون الأحمر وما دون فان ظاهرة دوبلر لا تلعب دورا هاما، كما أن التعريض الناتج عن ظاهرة دوبلر يزداد بازدياد درجة الحرارة ويتناقص مع تناقص كتلة الذرات.

3-2-4 التعريض التصادمي:

تؤدي الحركة العشوائية للذرات إلى تصادمات بين بعضها البعض مما يسبب تعريض في الخطوط الطيفية يدعى التعريض التصادمي . وتكون المحصلة النهائية لهذه التصادمات هو اتساع في مجال الترددات الصادرة عن الذرات المتصادمة حول التردد الأساسي وفي هذه الحالة فان التابع الذي يعطي شكل الخط الطيفي هو:

$$g(v) = \frac{\frac{\Delta v}{2\pi}}{(v - v_0)^2 + \left(\frac{\Delta v}{2}\right)^2} \quad (12)$$

وبالتالي فإن التعريض الناتج عن التصادمات يعطى بالعلاقة:

$$\Delta(v) = \frac{1}{\pi \cdot \tau_c} \quad (13)$$

حيث τ_c يمثل الزمن الفاصل بين التصادمات.

والشرط الأساسي لهذا التابع هو أن يكون الزمن بين التصادمات τ_c أكبر من زمن التصادم نفسه t_c أي أن $t_c \gg \tau_c$ ويعتبر هذا الشرط صحيحا عندما تكون السرعة النسبية

للجسيمات المتصادمة كبيرة جدا بحيث ينتج عن تصادمها عندئذ فعل متبادل قوي اذا أخذنا بعين الاعتبار وجهة النظر الكوانتية، أو أن ينتج عن التصادم تغير في طور الاهتزازات من وجهة النظر الكلاسيكية. كما ان هذا التعريض الذي تسببه التصادمات يلعب دورا أساسيا في تحديد عرض الخطوط الطيفية، وذلك لكل من خطوط الامتصاص أو خطوط الإصدار للمواد المختلفة ويأخذ هذا التعريض أشكالا مختلفة وفقا للشروط التي تتواجد فيها الجسيمات المتصادمة أو لنوع التصادمات (مرنة أو لا مرنة).

فعندما يكون التصادم بين الجسيمات من النوع اللامر الذي يؤدي إلى انتقال الذرة من سوية طاقة أدنى انتقالا غير مشع، فان ذلك يساهم في تقصير العمر الوسطي للسوية المثارة، وهذا بدوره يؤدي إلى ازدياد عرض الخط الطيفي. أيضا في حالة التصادم المر حيث تحتفظ الذرة بطاقتها الداخلية بعد الاصطدام يطرأ ازدياد في عرض الخط الطيفي.

ان العوامل السابقة تؤثر كثيرا في شكل الخطوط الطيفية الصادرة عن الذرات المثارة حتى عندما تكون هذه الذرات معزولة عن بعضها البعض، ولكن في حالة الغازات ذات الضغوط العالية وكذلك الأجسام الصلبة نجد أن هناك ظاهرتين يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أيضا:

- الفعل المتبادل بين الذرات مع بعضها البعض الذي يؤدي إلى تعريض سويات الطاقة.

- عدم خضوع جميع ذرات الوسط لنفس الشروط ويعود ذلك أما لتشوه الشبكة البلورية للجسم الصلب أو لاختلاف تركيب الجسم من نقطة إلى أخرى.

4-2-4 التعريض المتجانس وغير المتجانس:

انطلاقا من الدراسة السابقة والأنواع المختلفة من التعريض في الخطوط الطيفية يمكن تقسيم هذا التعريض إلى نوعين:

- **التعريض المتجانس:** مثل التعريض الطبيعي، والتعريض الناتج عن التصادمات بين الذرات مع بعضها البعض أو مع الشوارد، أو مع الإلكترونات الحرة، أو مع جدران الوعاء وكذلك تفاعل الذرة مع فونونات الشبكة البلورية في حالة الأجسام الصلبة. ويوصف شكل الخطوط الطيفية في هذه الحالة بوساطة تابع لورنتز الذي يعطى بالصيغة:

$$g(\omega - \omega_0) = \frac{2}{\pi \cdot \Delta\omega_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(\omega - \omega_0)^2}{(\frac{\Delta\omega_0}{2})^2}} \quad (14)$$

- التعريض غير المتجانس: مثل التعريض الذي ينتج عن مفعول دوبلر، وكذلك التعريض الذي يتم بسبب الشوارد في الشبكات البلورية الشاردية أو الزجاجية حيث تسبب هذه الشوارد توليد حقول كهربائية وتختلف هذه الحقول من شاردة إلى أخرى.

5. مبدأ الارتياب لهايزنبرغ

لم يستطع بور في نظريته أن يعطي تفسيرات أطيايف الانبعاث للعناصر التي تمتلك أكثر من إلكترون مثل الهيليوم والليثيوم كما أنه لم يكن قادراً على تفسير السبب في ظهور خط طيفي جديد في طيف الهيدروجين حين تتعرض لمجال مغناطيسي خارجي.

وقد كان العالم هايزنبرغ هو من حل مشكلة تحديد مكان الجسيم الذي يتحرك حركة موجية حين قدم صياغة لمبدأ عدم التأكد والتي تنص على أنه "من المستحيل أن نحدد بدقة تامة عزم ومكان وجود الإلكترون في نفس الوقت". والصياغة الرياضية لهذا المبدأ هي كمايلي :

$$\Delta x \Delta p = (\Delta x) \cdot m(\Delta v) \geq \hbar \quad (15)$$

حيث أن $p = mv$ ، تمثل p العزم الذي هو حاصل ضرب كتلة الإلكترون m في سرعته v ، Δp الخطأ في تحديد قيمة العزم. h : ثابت بلانك، Δx : الخطأ في تحديد موضع وجود الإلكترون.

تعني المعادلة (15) أنه إذا استطعنا قياس عزم الجسيم بدقة (أي أصبحت قيمة Δp صغيرة جداً) فإن معرفتنا بمكان وجود الإلكترون تصبح أقل دقة (أي يصبح Δx قيمة أكبر)، والعكس بالعكس.

يمكن التساؤل عن مبدأ هايزنبرغ في الميكانيك الكلاسيكي و نكتب

$$p_x = Mv_x$$

$$p_y = Mv_y$$

$$p_z = Mv_z$$

وعليه تصبح المعادلات بالشكل:

$$\Delta x \Delta v_x \geq \frac{\hbar}{M} \sim 0$$

$$\Delta y \Delta v_y \geq \frac{\hbar}{M} \sim 0$$

$$\Delta z \Delta v_z \geq \frac{\hbar}{M} \sim 0$$

أين الطرف الثاني من المتراحة يكون تقريبا معدوما لان ثابت بلانك صغير جدا أمام قيمة الكتلة للجسم.

النتيجة : لا يوجد هناك مجال لتطبيق مبدأ الارتياح لهايزنبرغ في الميكانيك الكلاسيكي.

السلسلة -3-

المطيافية الذرية

التمرين الأول:

- ليكن قطار من الموجات المستوية (train d'ondes) مكونة من تراكيب موجات λ و $\Delta\lambda$ منتشرة على المحور xx' . نرفق لهذا القطار جسيم بكمية حركة $p = \frac{h}{\lambda}$ يتعلق المدى Δx لقطار الموجات بالعرض الطيفي $\Delta k = 2\pi\Delta(\frac{1}{\lambda})$ ، حسب العلاقة التالية: $\Delta x\Delta k = 1$
1. استنتج العلاقة: $\Delta p\Delta x \geq \hbar$
 2. اكتب عبارة Δx بدلالة مدة الإصدار Δt لقطار الموجات وسرعة الطور v .
 3. اذا علمت ان طول الموجة λ يتعلق بسرعة الطور v . والتواتر ν حسب العلاقة التالية: $\lambda = \frac{v}{\nu}$. أوجد علاقة التي تعطي الجداء $\Delta\omega\Delta x$. بدلالة سرعة الطور v ، بحيث أن $\omega = 2\pi\nu$.
 4. استنتج أن: $\Delta\omega\Delta t = 1$ ، واستنتج علاقة تعطي الجداء $\Delta E\Delta T$ بدلالة \hbar ، حيث أن E تمثل الطاقة.

التمرين الثاني:

1. اذا افترضنا أن نصف قطر مدار بور $a_0 = 0.529 \text{ \AA}$ محسوب بتقريب %1. أحسب الارتفاع ΔV على سرعة الإلكترون ذو الكتلة $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ ، ماذا تستنتج ؟.
2. اذا افترضنا ان موضع كرية ذات كتلة $1g$ محسوبة بتقريب mm . ما هو الارتفاع على سرعتها. ماذا تستنتج.
3. قام رادار برصد سائق سيارة مصفحة كتلتها 1500 kg بسرعة 120 km/h . هل لديه الحق في الاستناد إلى مبدأ هايزنبرغ من أجل إنكار الحادث.

التمرين الثالث:

- تنشطر ذرة ذات الكتلة M والسرعة v فتنقل طاقتها الداخلية من القيمة E_m إلى القيمة E_n بحيث أن:
- $$\nu_0 = \frac{E_m - E_n}{h} , \nu_0: \text{تواتر الانتقال}$$
- أكتب معادلات الدفع والطاقة باستعمال الرموز المبينة في الشكل. نكتفي بالحالة غير النسبية في الشروط العادية.
- $h\nu \ll Mc^2$ أين M هي كتلة الذرة.

