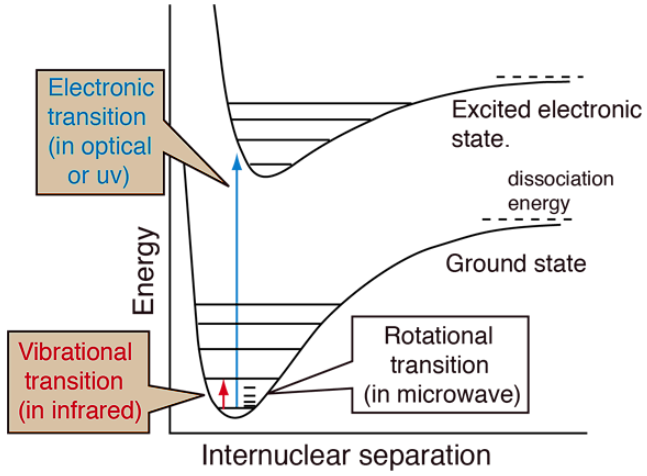
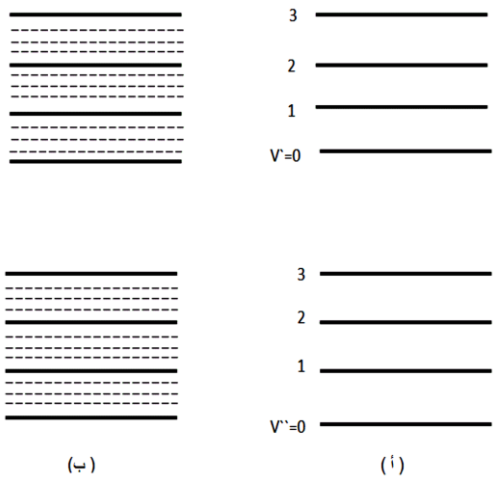
٤-٦) مستويات طاقة الجزيئة Molecule Energy Levels

الجزيئة تركيب ناتج من ترابط ذرتين أو أكثر متشابهة أو مختلفة، وفيزياء الجزيئة أكثر تعقيداً وتشعباً من فيزياء الذرة. تتألف الطاقة الكلية للجزيء من طاقة الإلكترونات E_e (وهي المدارات الأخيرة غير المشبعة) في الحالة الذرية، وكذلك بالإضافة الى هذه الطاقة تتخذ الجزيئة طاقة اهتزازية E_v وطاقة دورانية E_r. بمقارنة فرق الطاقة بين المستويات الإلكترونية والاهتزازية والدورانية في جزيئة ثنائية نجد أن المسافة الفاصلة بين مستويات الطاقة الدورانية تشكل (1%) من المسافة الفاصلة بين المستويات الاهتزازية، أما هذه المسافة (الاهتزازية) تشكل هي الأخرى (1%) من المسافة الفاصلة بين مستويات الطاقة الإلكترونية ($E_e > E_v > E_r$). نستنتج أن:

١- الانتقالات بين المستويات الإلكترونية في مدى يتراوح بين الموجات تحت الحمراء القريبة الى المدى المرئي وكذلك فوق البنفسجية.
٢- الانتقالات بين المستويات الاهتزازية في مدى الموجات تحت الحمراء.
٣- الانتقالات بين المستويات الدورانية تقع في مدى الموجات الميكروية.



شكل (٤-٦): مستويات الطاقة لجزيئة ثنائية الذرة



شكل (٤-٧): أ) مستويات التذبذب، ب) مستويات التذبذب والدوران

إن تأهيل مستويات الطاقة للجزيئة في حالة التوازن الحراري يخضع الى إحصائية بولتزمان، أي أن تأهيل مستوى اهتزازي دوراني لحالة الكترونية معينة يعبر عنه بالمعادلة:

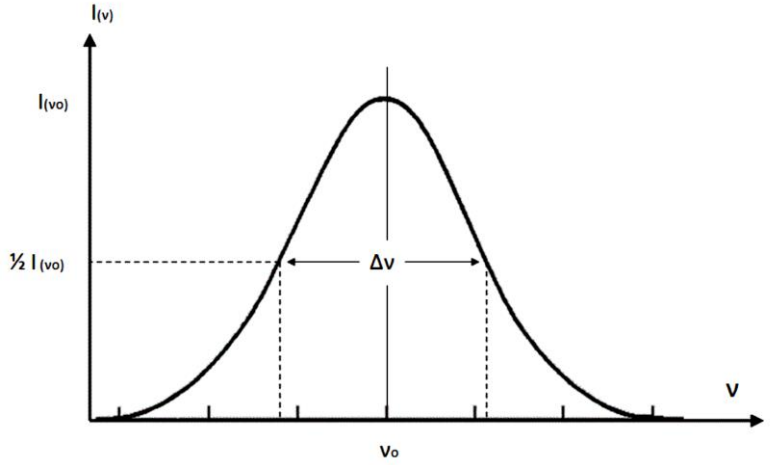
$$N \propto g e^{-\frac{\Delta E}{KT}} \text{ .....(4-22)}$$

حيث يكون الانقسام g في هذه الحالة مساوياً الى g_e، g_v، g_r وان الطاقة الكلية للجزيء:

$$E = E_e + E_v + E_r \text{ .....(4-23)}$$

٤-٧) ميكانيكية تعريض الخط الطيفي Spectral Line Broadening Mechanism

يعطى التوزيع الطيفي الساقط على الذرة بدالة تسمى دالة توزيع الخط الطيفي $g(\Delta\omega)$، وعندما تنتقل الذرة من مستوى طاقة الى مستوى طاقة آخر توصف بدالة شكل الخط الطيفي للانبعاث او الامتصاص. يعيّن عرض الخط الطيفي عادة بعرض الشكل في الموضع الذي تهبط فيه شدة الانتقال الى النصف فيدعى هذا المدى $\Delta\nu_o$ بعرض الخط الكلي عند منتصف الشدة FWHM.



شكل (٤-٨): شكل خط الانبعاث

ينقسم تعريض الخط الطيفي الى نوعين:

١- التعريض المتجانس: هنا يكون تعريض خط الانتقال لكل ذرة من الذرات بنفس الكيفية وبشكل متماثل، اي ان لجميعها نفس التردد الذي تتمركز حوله وهو تردد الخط الطيفي نفسه.

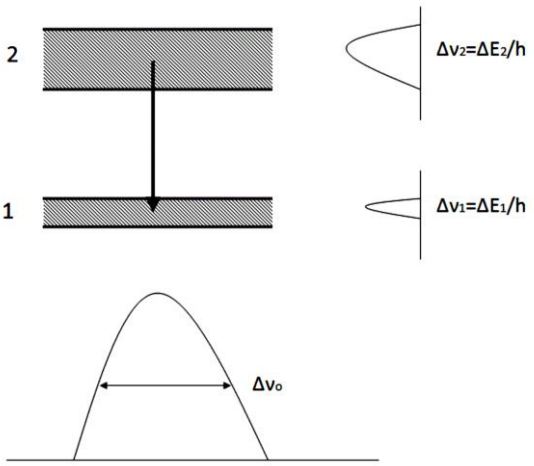
٢- التعريض غير المتجانس: هنا يتوزع التردد للانتقال على مدى ضيق من الترددات، بهذا تعطي ذرات الجهاز ككل خطاً طيفياً بعرض معين من دون ان يعاني خط الانتقال لكل ذرة على انفراد اي تعريض.

اما اسباب تعريض الخط الطيفي فتشمل:

١) التعريض الطبيعي Natural Broadening:

ان عرض شعاع الليزر ناتج من سمك مستويات الطاقة التي تشترك في عملية الانبعاث المحفز. لا يمكن تمثيل مستويات الطاقة لعدد من الذرات بخط حاد بل يكون لها سمك محدد.

$$Sharp\ line\ width \rightarrow \Delta E = 0 \quad \text{.....(4-24)}$$



شكل (٤-٩): التعريض الطبيعي للخط الطيفي

كلما كان العمر الزمني Life time للمستوى اطول كلما كان عرض النطاق اضيق كما في المعادلة:

$$\Delta\nu = \frac{1}{2\pi\Delta t} \text{ .....(4-25)}$$

وبهذا يكون التعريض الطبيعي للخط الطيفي الذي تردده يساوي ν_0 والحاصل بين مستويين للطاقة وفق العلاقة:

$$\Delta\nu_\circ = \Delta\nu_1 + \Delta\nu_2 \text{ .....(4-26)}$$

$$\Delta\nu_\circ = \frac{1}{2\pi\tau_1} + \frac{1}{2\pi\tau_2} \text{ .....(4-27)}$$

فتكون قيمة الدالة عند القمة عند الموضع ($\nu = \nu_\circ$) هي:

$$g_{(0)} = \frac{2}{\pi\nu_\circ} \text{ .....(4-28)}$$

❖ **مثال:** ما قيمة التعريض الطبيعي لخط النيون الاحمر (طوله الموجي يساوي 632.8 nm) الحاصل بين مستويي طاقة بحيث يكون (τ_c = 19.6 ns) و(τ_c = 18.7 ns)؟

الحل:

$$\Delta\nu_\circ = \frac{1}{2\pi\tau_1} + \frac{1}{2\pi\tau_2}$$

$$\Delta\nu_\circ = \frac{10^9}{2\pi 19.6} + \frac{10^9}{2\pi 18.7} = 16.6\ MHz$$

٢) تعريض التصادم (تعريض الضغط) Pressure Broadening:

هو تعريض متجانس للخط الطيفي سببه تعرض الذرة المشعة او الممتصة للتصادم مع ما يجاورها من الذرات او مع جدران الاناء الذي يحويها (كما في حالة الغاز)، وهذه التصادمات ينتج عنها قوة مؤثرة لوحدة المساحة (تمثل ضغطاً) يؤثر على خطوط الطيف مما يسبب تعريضاً للخط الطيفي، ويعتمد مقداره على الزمن ما بين تصادمين τ_c وشكل الخط الطيفي الناتج فيعطى بدالة لورنتز، حيث يكون عرض الخط الطيفي عند منتصف الشدة.

$$\Delta\nu_\circ = \frac{1}{\pi\tau_c} = \frac{\nu_{coll}}{\pi} \quad \text{.....(4-29)}$$

يمكن حساب τ_c من النظرية الحركية للغازات حيث يقدر هذا الزمن بالنسبة بين معدل المسار الحر ومعدل الانطلاق:

$$\tau_c = \frac{(mKT)^{\frac{1}{2}}}{(8\pi)^{\frac{1}{2}}Pd^2} \quad \text{.....(4-30)}$$

حيث P تمثل ضغط الغاز، d قطر الجزيئة او الذرة، T درجة الحرارة المطلقة وتمثل m كتلة الجزيئة او الذرة. من الواضح ان يتناسب المقدار τ_c تناسباً عكسياً مع الضغط، ولذلك يزداد تعريض الخط بازدياده أي مع زيادة تردد التصادم.

❖ مثال: احسب عرض الخط الطيفي عند منتصف الشدة لليزر هيليوم – نيون في درجة حرارة الغرفة اذا كان ضغط الغاز فيه (0.67 mbar) وقطر ذرة النيون يساوي (2.7×10^{-10}m).

الحل:

$$\tau_c = \frac{(mKT)^{\frac{1}{2}}}{(8\pi)^{\frac{1}{2}}Pd^2} = 0.5\times10^{-6}\ sec$$

$$\Delta\nu_\circ = \frac{1}{\pi\tau_c} = 0.64\ MHz$$

٣) تعريض دوبلر Doppler Broadening:

هو مثال لتعريض غير متجانس للخط الطيفي حيث تتوزع الترددات للانبعاث على نطاق ضيق يتمركز حول القيمة $\nu_\circ$. ان تعريض دوبلر للخط الطيفي سببه الحركة العشوائية للذرة التي تكون حركتها باتجاه موافق او مغاير لاتجاه الاشعاع الكهرومغناطيسي وبهذا يكون التردد اكثر او اقل من $\nu_\circ$، وحسب ظاهرة دوبلر تكون:

$$\nu_\circ = \nu\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \quad \text{.....(4-31)}$$

تمثل v انطلاق الذرة و c سرعة الضوء، ويعطى تعريض الخط الطيفي بالمعادلة:

$$\Delta\nu_\circ = 7.16\times10^{-7}\nu_\circ\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{.....(4-32)}$$

٤-٨) تفاعل الليزر مع المادة Laser-Matter Interaction

يختلف تفاعل الليزر مع المادة باختلاف الطول الموجي لشعاع الليزر من ليزر إلى آخر، وينتج تأثير طاقة الليزر في المادة من عدد من العمليات المختلفة:

١) التأثير الحراري Thermal Effect:

قد تمتص طاقة الليزر بواسطة الخلايا الملونة ويكون ناتج امتصاص الأشعة خروج طاقة حرارية، وهذا هو التأثير الحراري لمعظم الليزرات المستخدمة.

٢) التأثير الضوئي الكيميائي Photochemical Effect:

يتفاعل الليزر مع الجزيئات داخل الخلية وبعد حدوث التفاعل بينها تحدث تغيرات كيميائية، وكمثال لهذا النوع من التأثير الليزري حقن بعض الأدوية المنشطة للحساسية الضوئية في بعض الأنسجة.

٣) التأثير الميكانيكي Mechanical Effect:

ان استخدام النبضات لبعض الليزرات ذات القدرة الكهربائية العالية قد يؤدي الى تصدع البناء الخلوي نتيجة لحدوث موجات ضوئية وسمعية، ويعد هذا النوع الميكانيكي مثالاً للتأثيرات غير الحرارية لليزر.

يتفاعل الضوء الساقط على المادة مع الخلايا من خلال أربع آليات وهي الانعكاس والانكسار والتشتت والامتصاص. ولكي تكون الأشعة ذات تأثير على نسيج ما فيجب ان يقوم النسيج بامتصاصها، وفي حالة النفاذ او الانعكاس فليس هناك تأثير. اما تشتت الاشعة فيعني امتصاصها من مساحة اكبر من المادة مع ضعف تأثرها به.

يتوقف تأثير الاشعاع الليزري على مختلف المواد على معلمين اساسيين هما:

- مادة التفاعل مع النسيج.
- قدرة الشعاع من ناحية الطاقة.

عند تعرض الانسجة الى قدرات صغيرة ولمدة طويلة يحدث تأثير ضوئي كيميائي عن طريق امتصاص الضوء والذي يؤدي الى التأثير الحراري على الأنسجة. يقل وقت التفاعل عند التعرض الى قدرات عالية ويحدث الاحتراق الضوئي.

يستخدم الليزر من أجل تأثيره الحراري على الأنسجة، ويحدد لون شعاع الليزر طاقة هذا الفعل الحراري، وبذلك فإنه يستخدم عند قطع الأنسجة عن طريق تبخيرها وتُفسر ميكانيكية التبخر على أساس الانتقال السريع من الإشعاع الى الخلايا. يحدد لون الشعاع الليزري مدى كفاءة هذا التأثير في الأنسجة المختلفة.