وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/1

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة التاسعة:

عنوان المحاضرة: تأثيرات تعريض الخط الطيفي

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

1- تعريض دوبلر

وهو مثال لتعريض غير متجانس للخط الطيفي حيث تتوزع الترددات للانبعاث على نطاق ضيق يتمركز حول القيمة (υ_o) المحددة بفرق الطاقة بين المستويين ذات العلاقة. ان تعريض دوبلر للخط الطيفي سببه الحركة العشوائية للذرة التي تكون حركتها باتجاه موافق او مغاير لاتجاه الاشعاع الكهرومغناطيسي وبهذا يكون التردد الذي تراه الذرة أكثر او اقل من (υ_o) وحسب ظاهرة دوبلر يكون:

$$\boldsymbol{\upsilon_o = \nu\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \boldsymbol{(1-55)}$$

v انطلاق الذرة و c سرعة الضوء. اما شكل الخط الطيفي $g(\nu - \nu_o)$ فيوصف بدالة كاوس، لاحظ الشكل $(17-1)$، والذي يُعبر عنه بالدالة:

$$\boldsymbol{g(\nu-\nu_o)_G = \frac{2}{\Delta\upsilon_o}\left(\frac{ln2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} exp\left[-ln2\left(\frac{\nu-\nu_o}{\frac{\Delta\upsilon_o}{2}}\right)^2\right]} \ldots\ldots\ldots\ldots \boldsymbol{(1-56)}$$

بهذا تكون قيمة الدالة عند القمة، أي عند الموضع $\nu = \nu_o$ كالتالي:

$$g(0) = \frac{2}{\Delta\upsilon_o}\left(\frac{ln2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

أما عرض الخط الكلي عند منتصف الشدة $(\Delta\upsilon_o)$ فيعبر عنه بالشكل التالي:

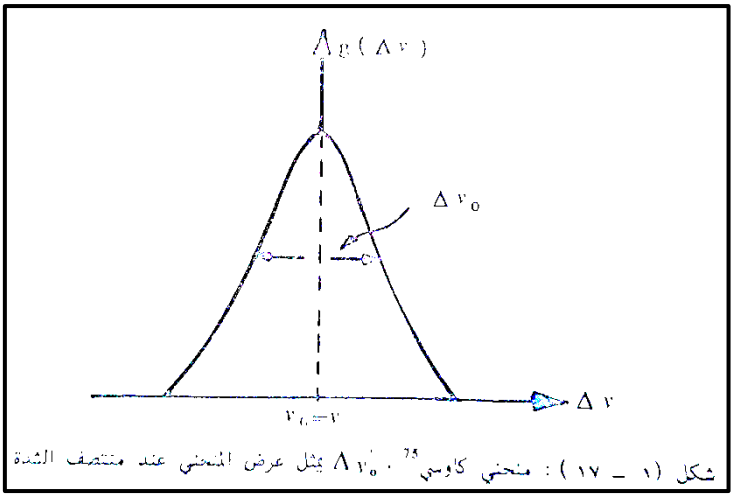
$$\Delta\upsilon_o = \frac{2\,\upsilon_o}{c}\left(\frac{2\,K\,T}{m}\,ln2\right)^{\frac{1}{2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-57,a)$$

T درجة الحرارة المطلقة للوسط و K ثابت بولتزمان و m كتلة جزيئة او ذرة الوسط . ولما كان المقدار $\left(\frac{2\,K\,T}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$ يساوي المقدار $\left(\frac{2\,R\,T}{M}\right)^{\frac{1}{2}}$ حيث ان R الثابت العام للغازات و M الوزن الجزيئي لدقيقة الوسط وكلاهما يعبر عن السرعة الأكثر احتمالية لدقائق الوسط (V_p) لذا فان :

$$\Delta\upsilon_o = \frac{2\,\upsilon_o\,V_p}{c}\,(\,ln2)^{\frac{1}{2}}$$

أو أن:

$$\Delta\upsilon_o = 7.16\times10^{-7}\,\upsilon_o\sqrt{\frac{T}{M}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-57,b)$$



شكل (١ – ١٧) : منحني كاوسي[75] . $\Delta\nu_0'$ يمثل عرض المنحني عند منتصف الشدة

فاذا ما حسبنا تأثير هذه العملية في تعريض خط طيفي لغاز النيون ولانتقال الليزر المعروف بطول موجة (632.8 nm) لوجدنا بان تعريض دوبلر لهذا الخط مساويا الى:

$$\Delta\upsilon_o = 1.3\ GHz$$

فلو قارنا هذه القيمة بتلك الناتجة عن التعريض الطبيعي للخط الطيفي ذاته وكذلك بتلك الناتجة عن تعريض التصادم له لوجدنا بان تعريض دوبلر هو المهيمن. ويغدو هذا مهملا في درجات الحرارة الواطئة (أي عند تبريد الغاز) بينما يهيمن تعريض التصادم في ظروف الضغط العالي للغاز (مثلا في ليزر CO_2 حيث يكون الضغط في حدود واحد جو).

$M = 20 \times 1.67 \times 10^{-27}$ kg
$\nu_0 = 3 \times 10^8/632.8 \times 10^{-9}$ Hz
$T = 400$ K

مجموع تأثيرات عمليات توسيع الخط الطيفي

من المفيد ان نلخص نتائج عمليات التوسيع التي تم الحصول عليها حتى الان. لقد لاحظنا ان الدالة $g\ (\nu - \nu_o)$ يمكن ان يكون لها شكل لورنتزي، كما في العلاقة$(51 - 1)$ او ان يكون لها شكل كاوسي كما في العلاقة $(56 - 1)$، وفي كلتا المعادلتين تمثل $\Delta\upsilon_o$ العرض الكلي عند منتصف الشدة. ايجازا نقول ان حصيلة التعريض للعمليات المختلفة تعطي مجتمعة خطا طيفيا ذو عرض محدود $(\Delta\upsilon_o)$. اما شكل الدالة التي تعبر عنه فهي دالة ناتجة من التفاف الشكل اللورنتزي والشكل الكاوسي معا. ان الشكل اللورنتزي ذو العرض $(\Delta\upsilon_1)$ اذا اجتمع مع شكل

لورنتزي ذو عرض $(\Delta\upsilon_2)$ فالشكل النهائي للخط الطيفي شكل لورنتزي أيضا ولكن بعرض يساوي $(\Delta\upsilon_1 + \Delta\upsilon_2)$. اما اذا اجتمع شكل كاوسي ذو عرض $(\Delta\upsilon_1)$ مع شكل كاوسي اخر ذو عرض $(\Delta\upsilon_2)$ فالشكل الناتج يكون شكل كاوسي أيضا ولكن بعرض يساوي $(\Delta\nu_1^2 + \Delta\nu_2^2)^{\frac{1}{2}}$. بهذا يمكن تقليص اية مجموعة من منحنيات تعريض للخط الطيفي الى اجتماع شكل لورنتزي واحد مع شكل كاوسي واحد ونتيجة هذا الجمع هو التفاف معروف بتكامل ((فويت)) وهو محسوب ومبوب في داول خاصة. كما يمكن في كثير من الأحيان اهمال عملية تعريض للخط الطيفي بالمقارنة مع تأثير عملية أخرى وهذا يعتمد على الظروف التي تتم فيها عملية الانبعاث او الامتصاص.

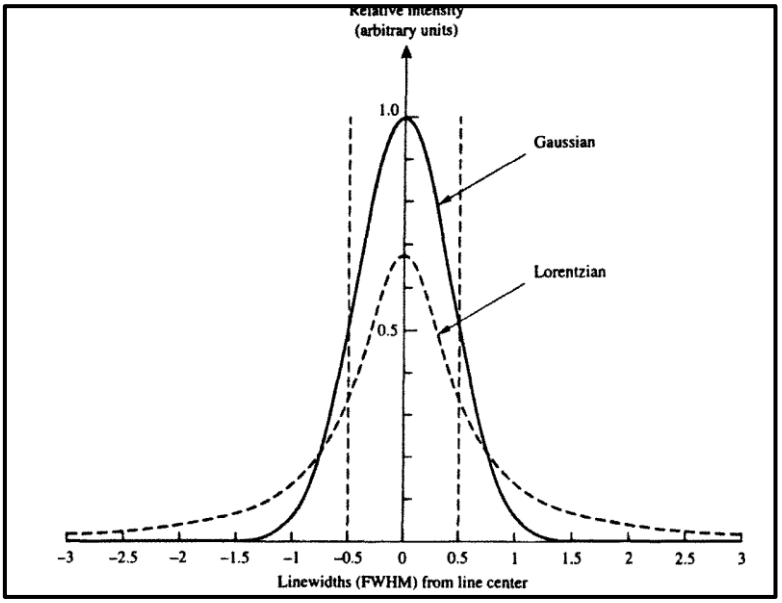
ان المنحني الكاوسي هو اكثر حدة من المنحني اللورنتزي والحقيقة هي ان قيمة ذروة $g(\nu - \nu_o)$ للمنحني اللورنتزي تكون كما يلي:

$$g(0) = \frac{2}{\pi\,\Delta\nu_o} = \frac{0.637}{\Delta\nu_o}$$

بينما للمنحني الكاوسي تكون:

$$g(0) = \frac{2}{\Delta\upsilon_o}\left(\frac{ln2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0.939}{\Delta\upsilon_o}$$

نستنتج ان القيمة القصوى لمنحني كاوس تزيد بمقدار 50% تقريبا عن القيمة القصوى لمنحني لورينتز.



الاشباع:

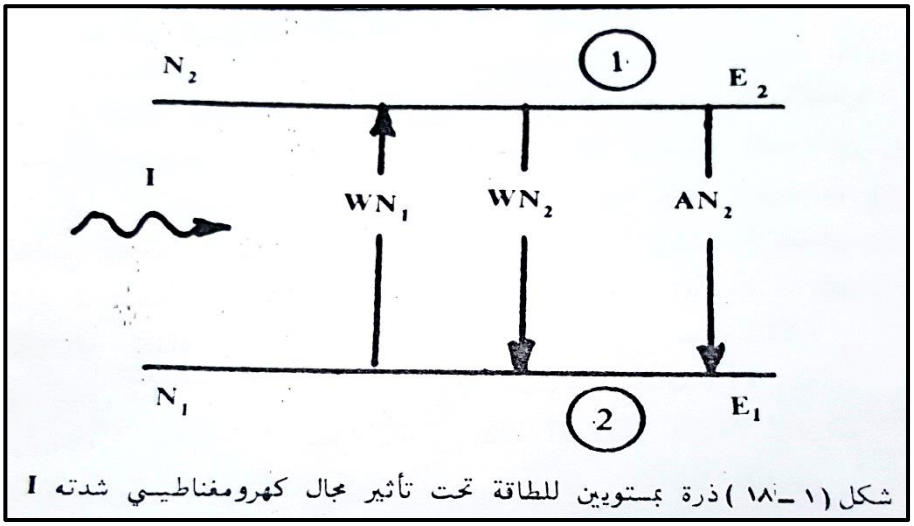
الاشباع حالة تخص وجود ذرات الوسط في مجال كهرومغناطيسي ذو شدة عالية وتردد مناسب. فلو فرضنا وجود مستويين للطاقة لذرات مادة في مجال كهرومغناطيسي ذو شدة (I) وتردد (υ_o) فان تأثير هذا المجال على ذرات الوسط هو ان يجعل تأهيل مستويي الطاقة لها بمقدار متساوي اذ يكون تأهيل المستوي الاوطأ (N_1) عادة اكثر من تأهيل المستوي الأعلى (N_2) وبهذا تكون عملية الامتصاص (WN_1) للانتقال باتجاه نحو الأعلى هو اشد من عملية الانبعاث المحفز (WN_2) للانتقال باتجاه نحو الأسفل. ان محاولة جعل تأهيل مستويي الطاقة للذرة بشكل متساو تحت تأثير مجال كهرومغناطيسي عالي الشدة هو ما نطلق علية بالإشباع. فلو فرضنا بان للذرة مستويين للطاقة فقط، أي ان العدد الكلي لذرات المادة الموجودة في وحدة الحجم (N_t) تساوي $(N_1 + N_2)$. يمكننا كتابة المعادلتين لتعداد المستويين، وبالأخذ بنظر الاعتبار الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز بفعل الموجة الساقطة (لاحظ الشكل 18−1)، كالتالي:

$$N_1 + N_2 = N_t \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-58,a)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -W(N_2 - N_1) - \frac{N_2}{\tau} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-58,b)$$

وحيث أن:

$$\Delta N = N_1 - N_2 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-59)$$



شكل (١ ـ ١٨) ذرة بمستويين للطاقة تحت تأثير مجال كهرومغناطيسي شدته I

لذلك يمكن تبسيط المعادلتين $(1-58,a,b)$ في معادلة تفاضلية واحدة

$$\frac{d\Delta N}{dt} = -\Delta N\left(\frac{1}{\tau} + 2W\right) + \frac{1}{\tau}\, N_t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-60)$$

وفي الحالة المستقرة حيث $\Delta N = 0$ نحصل على:

$$\boldsymbol{\Delta N = \frac{N_t}{1 + 2W\,\tau} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-61)} \quad \boldsymbol{(H.W-4)}$$

وحسب العلاقة أعلاه فان فرق التعداد ΔN بين المسيتويين يعتمدعلى $\boldsymbol{\tau}$ **و** $\boldsymbol{W}$ ، أي على عمر انحلال المستوي العلوي (خواص ذرات المادة) وعلى شدة الاشعاع الساقط (I)، فعندما يزداد (I) تزداد (W) وبالتالي يقل فرق التعداد بين المستويين. وعندما تكون $W\,\tau \gg 1$ فان ΔN تقترب من الصفر وبهذا تكون $N_1 \approx N_2$ وتساوي تقريبا $\left(\frac{N_t}{2}\right)$ وعندها نحصل على حالة الاشباع وبعدها لا يمكن

جعل $N_1 < N_2$ باية حال من الأحوال ومهما زادت شدة الاشعاع الساقط.

المصادر:

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1st Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering. (Graduate Texts in Physics) 2nd Edition.