جامعة الموصل
كلية التربية للعوم الصرفة
قسم الفيزياء

المادة : الليزر (Laser)

المرحلة الرابعة

مدرس المادة
أ . م . د . رغيد ميخائيل ابراهيم

المحاضرة الاولى

تركيب مستويات الطاقة والانتقالات الاساسية بالتي تحدث بينها

معنى الميزر والليزر

ان كلمة ميزر هي مختصر للعبارة

Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Maser

ومعناها تضخيم الموجات الميكروية بوساطة الانبعاث المحفز للاشعاع

وان كلمة ليزر هي مختصر للعبارة

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Laser

ومعناها تضخيم الضوء بوساطة الانبعاث المحفز للإشعاع

*ان الأطوال الموجية التي يمكن الحصول عليها وبطريقة عمل الليزر من حيث الأساس تمتد من منطقة الأشعة المايكروية (والمسماة بالميزر Maser) ($\lambda \cong 1.25$ cm) مرورا بمنطقة الأشعة تحت الحمراء والمنطقة المرئية ومنطقة الأشعة فوق البنفسجية ولغاية الأشعة السينية ضعيفة النفوذية (λ=21 nm) (يعرف الانبعاث في هذه المناطق الأربعة بالليزر)

الأسباب التي أدت الى ظهور الميزر قبل الليزر والصعوبات التي واجهت العلماء في تصنيع الليزر بعد اكتشافهم للميزر

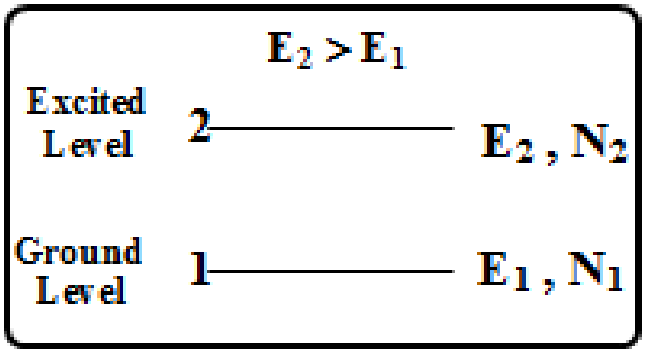
1- عند درجة حرارة الغرفة يكون الفرق في مستويات الطاقة اللازمة لتوليد أشعة مرئية كبيرا مقارنة بالمقدار (KT) . بينما يكون فرق الطاقة بين المستويات اللازمة لتوليد الميزر قليلا مقارنة بالكمية (KT)، وهذا يطلب البحث عن أساليب أخرى لزيادة تعداد المستوى المتهيج للطاقة في حالة الليزر.

2- في حالة تهيج الذرة والانبعاث واقع ضمن نطاق الإشعاع المرئي ، يكون الانبعاث التلقائي هو المهيمن على عملية الإشعاع . الا ان المطلوب هو تقليص الانبعاث التلقائي وزيادة الانبعاث المحفز.

3- في حالة الميزر يمكن بسهولة تصميم مرنان يناسب طول الموجة الميكروية والذي يسمح باحتواء نمط تذبذب واحد. أما في حالة الليزر يكون طول الموجة صغير جدا (متوسط طول الموجة 5×10^{-5} cm) وبذلك فان التجويف سوف يضم عدد كبير من أنماط التذبذب تقع ضمن النطاق الترددي للخط الطيفي والتي من شأنها ان تضعف عمل الليزر وتؤثر على استقراريته.

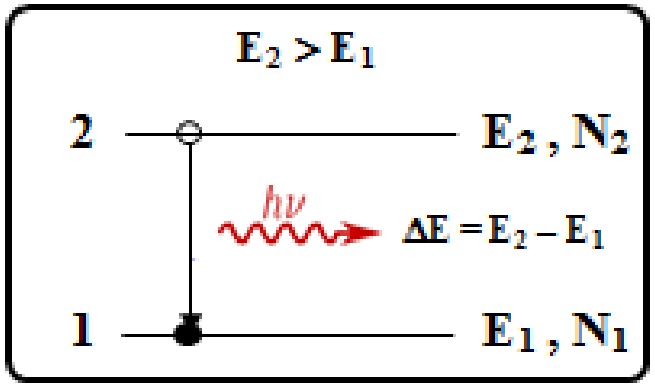
وبذلك نجد ان جميع هذه الصعوبات كان لها الدور في ظهور الميزر قبل الليزر.

عمليات الانبعاث التلقائي والمحفز والامتصاص



لتوضيح هذه المفاهيم سوف نختار نظام ذري مكون من مستويين للطاقة حيث ان E_1 طاقة المستوى الاول و E_2 طاقة المستوى المتهيج $E_2 > E_1$

اولاً: الانبعاث التلقائي



ينتج عن انتقال الذرة من المستوى الثاني الى المستوى الاول بشكل طبيعي ومن دون مؤثر.

اذ في حالة وجود الذرة في المستوى الثاني(المستوى المتهيج) ، فان احتمال اضمحلال الذرة الى المستوى الاول بشكل طبيعي ومن دون مؤثر خارجي ينتج عنه تحرر فوتون طاقته

$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1$$

هذه الظاهرة تعرف بالانبعاث التلقائي.

Ahmed M Ibrahim

* تكون الفوتونات المنبعثة بهذه الطريقة عشوائية الاتجاه والطور ومختلفة في السعة.

* ان المعدل الزمني لانحلال الذرات بطريقة الانبعاث التلقائي الذي هو $\frac{dN_2}{dt}$ يتناسب طرديا مع تعداد المستوى الثاني N_2.

كلما زاد تعداد المستوى الثاني N_2 زاد الانبعاث التلقائي

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{sp} \propto -N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -A\ N_2$$

A : هو ثابت اينشتين للانبعاث التلقائي .

N_2 :هو تعداد المستوى الثاني والذي يمثل عدد الذرات الموجودة لكل وحدة حجم في المستوى الثاني عند زمن معين.

Dr. Ragher

ملاحظة : الاشارة السالبة تدل على نقصان تعداد المستوى الثاني مع الزمن بسبب عملية الانبعاث التلقائي.

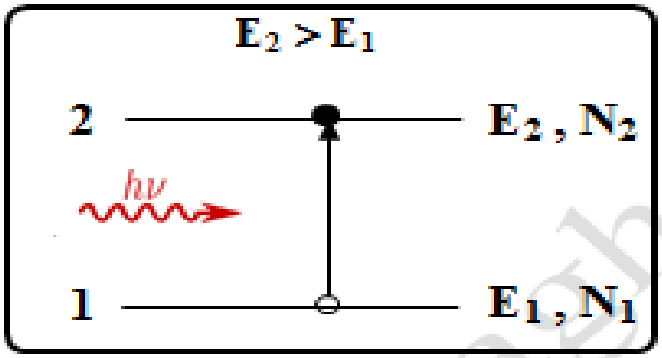
A : يعرف بانه احتمالية الانبعاث التلقائي و وحدته مقلوب الزمن (1/sec)

$$A = \frac{1}{\tau_{sp}} \quad , \quad \tau_{sp} = \frac{1}{A}$$

τ_{sp} : هو متوسط عمر الانبعاث التلقائي وهو يمثل متوسط زمن بقاء الذرة في المستوى المتهيج.

ملاحظة : هناك طريقة ثانية لاضمحلال الذرة من المستوى الثاني الى المستوى الاول والذي يحدث دون انبعاث موجات كهرومغناطيسية ويدعى بالاضمحلال غير المشع حيث تخسر الذرة الفرق في الطاقة بين مستوياتها عن طريق التصادم مع الذرات المجاورة او مع جدران الاناء الذي يحتويها.

ثانيا: الامتصاص



عندما تكون الذرة في المستوى الارضي مع وجود فوتون ساقط على المنظومة الذرية طاقته مساوية لفرق الطاقة بين المستويين فان هناك احتمالية لامتصاص الفوتون الساقط وانتقال الذرة الى المستوى الثاني ، هذه العملية تعرف بالامتصاص وتعطى بالعلاقة التالية:-

$$\frac{dN_1}{dt} = -W_{12}\, N_1$$

$\frac{dN_1}{dt}$: المعدل الزمني للامتصاص

N_1 : تعداد المستوى الاول

W_{12} : تمثل احتمالية الامتصاص و وحدتها مقلوب الزمن (1/sec) وتعتمد على

1- شدة الفيض الفوتوني الساقط على المنظومة الذرية

2- على طبيعة الانتقال بين مستويي الطاقة وتعطى بالعلاقة

$$W_{12} = \sigma_{12}\, F$$

F : مقدار الفيض الفوتوني الساقط على المنظومة الذرية

σ_{12} : مساحة المقطع العرضي للامتصاص.

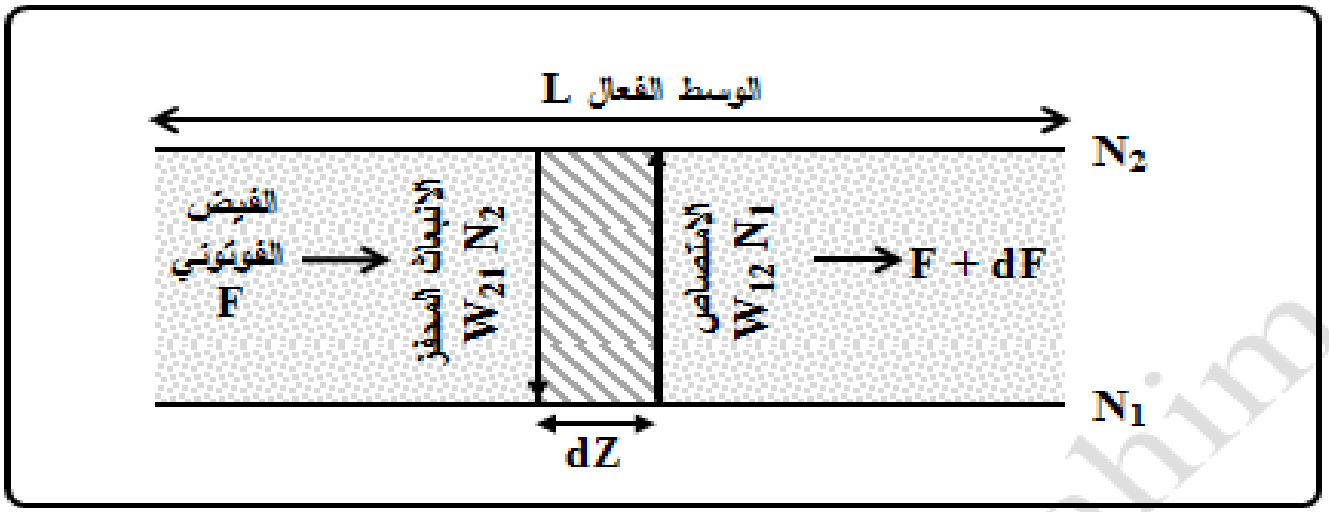
Dr. Rasheed M

المحاضرة الثانية

منظومة الليزر كمكبر

منظومة الليزر كمكبر (مكبر الليزر)

نفرض انه لدينا وسط فعال طوله L



اذا انتشرت حزمة من الفوتونات كثافة فيضها $\vec{F}$ باتجاه المحور Z في المادة فان مقدار التغير في الفيض dF ولمسافة dZ والناتج من عمليتي الابعاث المحفز والامتصاص يعطى كما يأتي

$$\frac{dF}{dZ} = W_{21}N_2 - W_{12}N_1$$

$W = W_{21} = W_{12}$ ، $W = \sigma F$

احتمالية الامتصاص = احتمالية الابعاث المحفز

Saeed M. Ibrahim

$$\frac{dF}{dZ} = W(N_2 - N_1) \Rightarrow \frac{dF}{dZ} = \sigma F (N_2 - N_1)$$

1- عندما يكون $N_2 > N_1$ فان المقدار $\frac{dF}{dZ}$ سيكون موجب وبذلك تعمل المادة كمكبر.

2- عندما يكون $N_2 < N_1$ فان المقدار $\frac{dF}{dZ}$ سيكون سالب وبذلك فان المادة تعمل كوسط ماص.

3- عندما يكون $N_2 = N_1$ فان المقدار $\frac{dF}{dZ}$ يساوي صفر عندها فان المادة تعمل كوسط شفاف.

ان قيمة الفيض الفوتوني المنتقل خلال مسافة مقدارها L داخل المادة يعطى كما يلي:-

Dr. Rag

$$dF = \sigma F\,(N_2 - N_1)dZ$$

$$\frac{dF}{F} = \sigma\,(N_2 - N_1)dZ$$

$$\int_{F_o}^{F} \frac{dF}{F} = \int_{0}^{L} \sigma\,(N_2 - N_1)dZ$$

$dZ \Rightarrow L$

$$\boxed{F = F_o\, e^{[\sigma\,(N_2 - N_1)L]}}$$

العلاقة اعلاه تمثل الشدة الخارجة بعد مرورها خلال وسط طوله (L) حيث ان

F_o : هي الشدة الساقطة على الوسط

L : طول الوسط الفعال.

ان قيمة الربح في الفيض الفوتوني عند مروره خلال وسط طوله L تعطى كما يلي:

$$\text{الربح} = \frac{\text{الشدة الخارجة}}{\text{الشدة الداخلة}}$$

ed M. Ibrahim

$$\frac{F}{F_o} = e^{[\sigma\,(N_2 - N_1)L]}$$

المعادلة السابقة تمثل الربح في الفيض الفوتوني خلال نصف دورة أي خلال طول L.

*تعطى قيمة الربح لدورة واحدة خلال الوسط الفعال كما يلي :

$$\frac{F}{F_o} = e^{[\sigma\,(N_2 - N_1)2L]}$$

ان معامل الامتصاص (α) يرتبط مع مقطع الانتقال (σ) بحسب العلاقة التالية

$$\alpha = \sigma\,(N_1 - N_2)$$

عندما يكون ($N_2 > N_1$) فان معامل الامتصاص يأخذ قيمة سالبة وفي هذه الحالة تتضخم الموجة ، عندها يطلق على هذه الكمية بمعامل الكسب

$$G\ (\text{gain coefficient}) = -\alpha = \sigma\,(N_2 - N_1)$$

Dr. Raghe

شرط العتبة Threshold Condition

هي الحالة التي يتساوى فيها ربح الوسط الفعال مع خسائر الليزر الكلية.

ان الخسارات الكلية في اجهزة الليزر ناتجة من حاصل جمع الخسارات التالية :-

1- خسارات مرايا المرنان:

ان الخسارة في مرايا المرنان ناتجة من عمليات النفوذ والتي تكون مقصودة في احدى المرايا اضافة الى الخسارة الناتجة من عمليات الامتصاص والاستطارة والحيود. لتقليل خسارات مرايا المرنان يتم استخدام طلاءات عازلة وبطبقات متعددة ذات سمك ($\frac{\lambda}{4}$) ويكون لها معاملات انكسار متعاقبة (معامل انكسار عالي يليه معامل انكسار واطئ) ترسب بالتعاقب على مادة الزجاج ، وعند موقع التلامس لأي طبقتين تكون جميع الاشعة المنعكسة بطور واحد وتتداخل بشكل بناء ، عادة يتم استخدام اكثر من عشرين طبقة للحصول على انعكاسية عالية تقريبا 99%.

2- خسارة الوسط الفعال:

تكون هذه الخسارة ناتجة من عمليات الامتصاص في الوسط الفعال لنطاق واسع من طاقة الضخ مسببة حدوث انتقالات اخرى ليس لها علاقة بالفعل الليزري ، اضافة الى الخسارة الناجمة من الاستطارة في الوسط الفعال بسبب فقدان التجانس البصري.

المادة المتجانسة بصريا : هي المادة التي يكون معامل انكسارها ثابت في جميع مناطق المادة.

*ان مقدار الربح نتيجة عبور وسط فعال طوله (L) هو $\frac{F}{F_o}$:

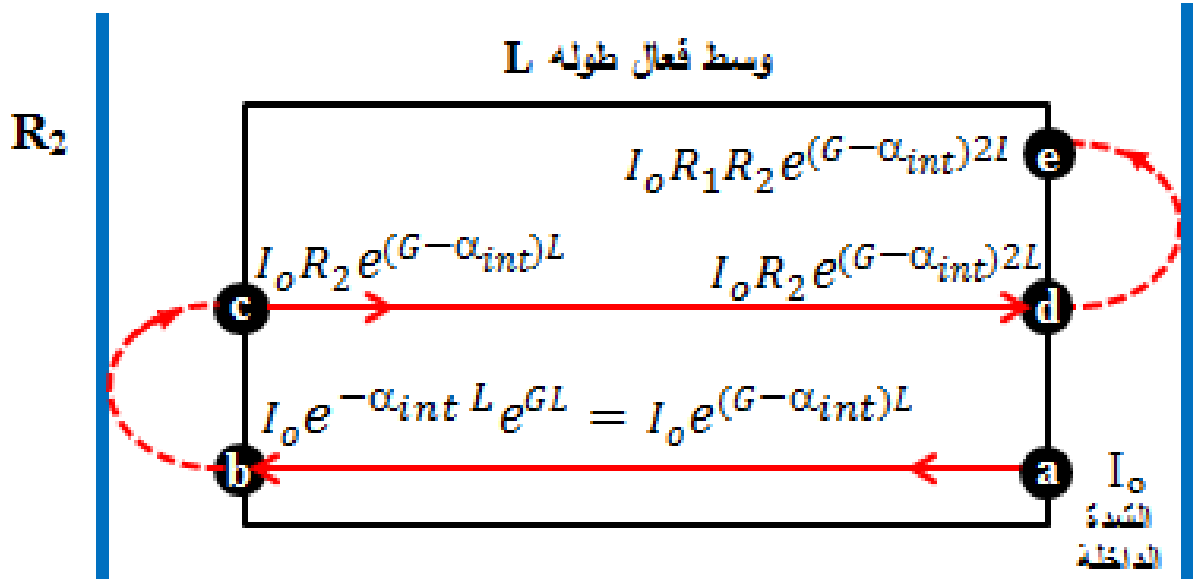
$$\frac{F}{F_o} = e^{[\sigma\,(N_2 - N_1)L]} = e^{GL}$$

*ان خسائر النفوذية في المرايا هي (R_1 , R_2) حيث ان R_1 ، R_2 هي انعكاسية المرايا.

*يعبر عن جميع خسائر النظام الليزري باستثناء خسائر النفوذية في المرايا بدلالة المعامل (α_{int}) أي

$$e^{-\alpha_{int} L}$$

Dr. Rasheed



والشكل التالي يوضح قيمة الشدة الضوئية عند مواقع مختلفة داخل التجويف الليزري ولدورة كاملة

$$\Gamma = \frac{\text{الشعاع النهائي}}{\text{الشعاع البدائي}} = \frac{I_o R_1 R_2 e^{(G-\alpha_{int})2L}}{I_o}$$

$$\boldsymbol{\Gamma = R_1 R_2 e^{(G-\alpha_{int})2L}}$$

- اذا كانت $\Gamma > 1$ فان التذبذب الليزري ينمو
- اذا كانت $\Gamma < 1$ فان التذبذب الليزري يضمحل ويختفي
- اذا كانت $\Gamma = 1$ يمثل حالة الربح الحرج او شرط العتبة

$$\boldsymbol{\Gamma = R_1 R_2 e^{(G-\alpha_{int})2L} = 1}$$ ← شرط العتبة

يمكن كتابة شرط العتبة بدلالة التعداد وكما يلي

المحاضرة الثالثة

شرط العتبة في منظومة الليزر

الصيغة الرياضية لشرط العتبة

$$R_1 R_2 \; e^{-2\alpha_{int} L} \; e^{[\sigma (N_2 - N_1)_c 2L]} = 1$$

ربح الوسط الفعال — خسائر داخلية — خسائر النفاذية

بدلالة معامل الربح

$$R_1 R_2 \; e^{-2\alpha_{int} L} \; e^{2LG_{th}} = 1$$

ربح الوسط الفعال — خسائر داخلية — خسائر النفاذية

$$R_1 R_2 \; e^{2L(G_{th} - \alpha_{int})} = 1 \quad \Rightarrow \quad e^{2L(G_{th} - \alpha_{int})} = \frac{1}{R_1 R_2}$$

بأخذ ln الطرفين

$$2L(G_{th} - \alpha_{int}) = ln \left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

$$G_{th} = \alpha_{int} + \frac{1}{2L} ln \left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

M. Ibrahim

نعوض عن قيمة $G_{th} = \sigma(N_2-N_1)_c$ في المعادلة اعلاه فحصل على ما يلي

$$(N_2 - N_1)_c = \frac{G_{th}}{\sigma} = \frac{\alpha_{int}}{\sigma} + \frac{1}{2L\sigma} ln \left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

← التعداد الحرج

لنفرض ان معامل خسائر النفوذية في المرايا ولدورة واحدة يعطى بالرمز (γ)

$$R_1 R_2 = e^{-2\gamma}$$

وبالتالي فان معامل الخسارة بسبب النفوذية تعطى كما يلي

$$\gamma = -\frac{1}{2} ln (R_1 R_2)$$

يمكن كتابة شرط العتبة بدلالة معامل الربح ومعامل خسائر النفوذية في المرايا ومعامل الخسائر الداخلية في الوسط الفعال وكما يلي:

$$e^{-2\gamma}\ e^{-2L\alpha_{int}}\ e^{2LG_{th}} = 1$$

$$e^{2LG_{th}} = e^{2\gamma}\ e^{2L\alpha_{int}}$$

$$G_{th}\ L = \alpha_{int}\ L + \gamma$$

← شرط العتبة بدلالة المعاملات

Dr. Ragheed

$$G_{th} = \alpha_{int} + \frac{\gamma}{L}$$

حالة خاصة: بإهمال خسائر النظام الاخرى واعتبار ان الخسارة الاساسية ناتجة من المرايا فقط فان شرط العتبة بدلالة معامل الربح يعطى كما يأتي:

$$R_1 R_2 e^{2L\,G_{th}} = 1$$

$$e^{2L\,G_{th}} = \frac{1}{R_1 R_2} \Rightarrow \boxed{G_{th} = \frac{1}{2L}\ ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)}$$

← معامل الربح الحرج

$$\boxed{R_1 R_2 e^{[\sigma\,(N_2 - N_1)_c\ 2L]} = 1}$$

← بدلالة التعداد

$$e^{\sigma\,(N_2 - N_1)_c\,2L} = \frac{1}{R_1 R_2}$$

Ibrahim

نأخذ ln الطرفين

$$\sigma\,(N_2 - N_1)_c\,2L = ln\frac{1}{R_1 R_2}$$

لذلك نجد ان شرط العتبة يتحقق عندما يصل انقلاب التعداد (التأهيل العكسي) الى قيمة حرجة تسمى الانقلاب الحرج

$$(N_2 - N_1)_c = \frac{1}{2L\sigma} ln\frac{1}{R_1 R_2}$$

← انقلاب التعداد الحرج

يمكن كتابة شرط العتبة وبدلالة المعاملات وكما يأتي

$$e^{-2\gamma}\ e^{2L\,G_{th}} = 1 \quad \Rightarrow \quad e^{2L\,G_{th}} = e^{2\gamma}$$

$$G_{th}\,L = \gamma \quad \Rightarrow \quad G_{th} = \frac{\gamma}{L}$$

← شرط العتبة بدلالة المعاملات

في حالة $\left(G_{th} > \frac{\gamma}{L}\right)$ فان التذبذب الليزري يبدأ بالنمو وينبعث الشعاع الليزري

في حالة $\left(G_{th} < \frac{\gamma}{L}\right)$ فان التذبذب الليزري يضمحل ولا ينبعث أي شعاع من المصدر

Dr. Rasheed M.

مثال: تجويف ليزري يتكون من مرآتين ذو انعكاسية $R_1 = 1$ ، $R_2 = 0.5$ وطول الوسط الفعال $L=7.5\ cm$ والمقطع العرضي للانتقال $\sigma = 8.8 \times 10^{-19}\ cm^2$ ، احسب انقلاب التعداد الحرج ومعامل ربح حد العتبة.

الحل: سوف نستخدم قوانين الحالة الخاصة لعدم وجود α

$$(N_2 - N_1)_c = \frac{1}{2L\sigma} ln \frac{1}{R_1 R_2} = \frac{1}{2 \times 7.5 \times 8.8 \times 10^{-19}} \ ln\left(\frac{1}{0.5}\right)$$

$$(N_2 - N_1)_c = 5 \times 10^{16} \ \ atom/cm^3$$

$$G_{th} = \frac{1}{2L} \ ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) = \sigma(N_2 - N_1)_c = 8.8 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^{16}$$

$$\therefore \ G_{th} = 0.046\, cm^{-1}$$

Ibrahim

مثال : احسب معامل الربح عند العتبة (G_{th}) لليزر الياقوت اذا علمت بان مقدار التعداد الحرج $(N_2\text{-}N_1)_c=5\times10^{22}/m^3$ ومعامل انكسار الوسط الفعال n=1.5 وعرض خط الانتقال $\Delta\nu = 7\times10^{11}$ Hz ومعامل اينشتاين $A= 300\ sec^{-1}$ لطول موجة $\lambda=694.3$ nm.

الحل :

$$G_{th} = \sigma(N_2 - N_1)_c \quad , \quad \sigma = \frac{B_{21}\ n\ h\upsilon}{\Delta\upsilon\ c} \quad , \quad B_{21}\ ?$$

$$\frac{A}{B} = \frac{8\pi\ h\ \upsilon^3}{c^3} = \frac{8\pi h}{\lambda^3} \Rightarrow \qquad B_{21} = \frac{\lambda^3\ A}{8\pi h}$$

$$B_{21} = \frac{\lambda^3\ A}{8\pi h} = \frac{(694.3\times10^{-9})^3\times300}{8\times3.14\times6.6\times10^{-34}} = 6.03\times10^{15}\ \frac{m^3}{j\ sec^2}$$

$$\sigma = \frac{6.03\times10^{15}\ \times1.5\times6.6\times10^{-34}}{7\times10^{11}\times694.3\times10^{-9}} = 12.28\ \times\ 10^{-24}\ m^2$$

$$G_{th} = 12.28\ \times\ 10^{-24}\ \times5\ \times10^{22} = 61.4\ \times10^{-2} = 0.61\ m^{-1}$$

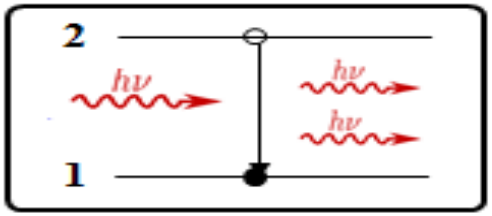
Dr. Ragheed

المحاضرة الرابعة

خصائص اشعة الليزر

خصائص اشعة الليزر

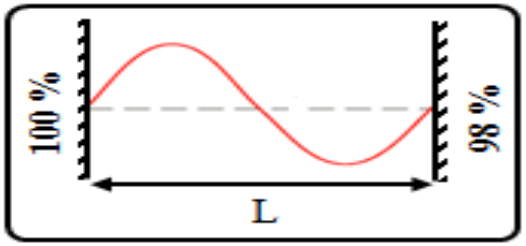
1- احادية الطول الموجي : ان صفة احادية الطول الموجي ناتجة من



1- ان الانتقالات الليزرية تكون محددة ضمن مستويين محددين

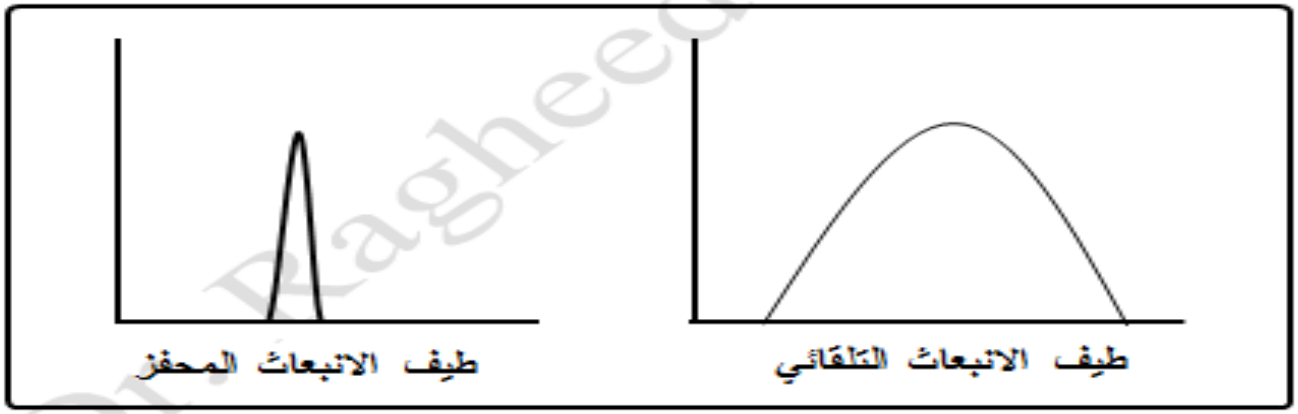
$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad , \quad h\nu = \Delta E \quad , \quad \nu = E_2 - E_1 / h$$

2- ان الوسط الفعال موضوع بين مرآتين تكونان تجويفا رنانا وبذلك فان التذبذب يحدث فقط عند الترددات الرنينية والتي تكون محققة لشرط الموجات الواقفة.



شرط الموجات الواقفة هو ان طول التجويف يساوي عدد صحيح من انصاف طول الموجة

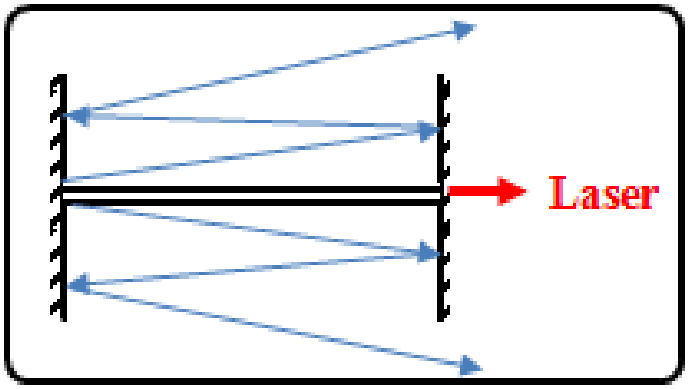
$$L = m\frac{\lambda}{2}$$



Dr. Ragheed M. Ibrahim

2- الاتجاهية

يمتلك شعاع الليزر اتجاهية عالية حيث تكون زوايا الانفراج صغيرة جدا بحدود (10^{-3} Rad). تنشأ صفة الاتجاهية نتيجة وضع الوسط الفعال داخل تجويف رنان ، اذ ان الاشعة التي تتحرك على طول محور التجويف(والتي تسقط عموديا على المرايا)هي التي سوف تتقوى وتبقى داخل التجويف ،اما التي تتحرك بزوايا معينة فأنها تتعكس وتخرج خارج المرنان ويتم خسارتها.



تكمن اهمية هذه الصفة في امكانية تجميع الطاقة التي تحملها حزمة الليزر في مساحة صغيرة ولمسافات كبيرة في حين تكون انبعاثات طاقة المصادر التقليدية في جميع الاتجاهات أي بزاوية مجسمة مقدارها (4π) من الزوايا النصف القطرية المجسمة.

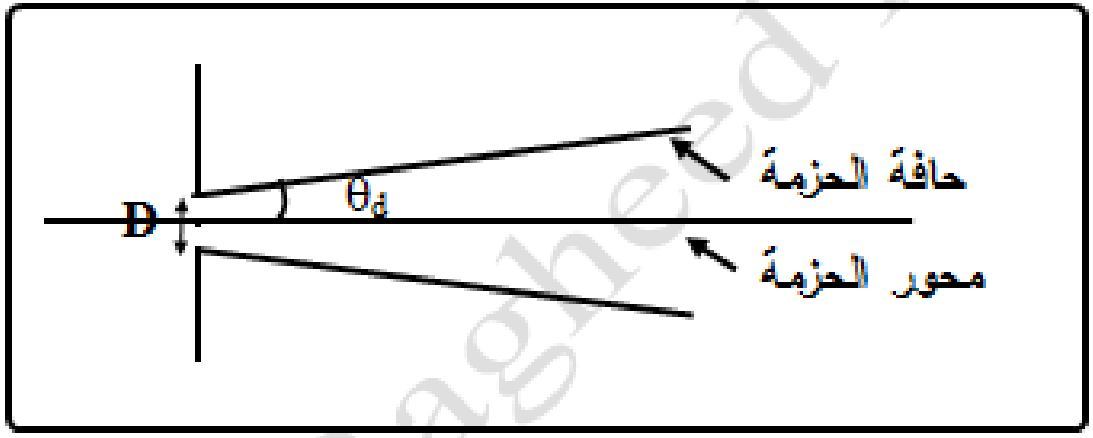
يعبر عن صفة الاتجاهية بمقدار زاوية الانفراج وهي الزاوية المستوية المحصورة بين حافة الحزمة ومحورها وتعطى كما يأتي:

$$\theta_d = \beta \frac{\lambda}{D}$$

θ_d : هي زاوية الانفراج وتقاس بوحدة الملي راد (m Rad)

D : قطر حزمة الشعاع الليزري

β : معامل عددي قيمته تساوي تقريبا واحد ويعتمد على شكل الشق.



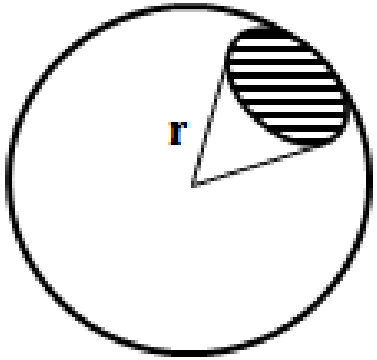
ان حافة الحزمة هي المنطقة التي تهبط فيها شدة الحزمة الى المقدار $\left(\frac{1}{e^2}\right)$من قيمتها القصوى

3- السطوع Brightness

هي القدرة المنبعثة لكل وحدة مساحة من السطح ولكل زاوية مجسمة

$$B = \frac{P}{A\ \Omega} \quad \rightarrow \quad \text{الوحدة } \left(\frac{W}{m^2\ Sr}\right)$$

الزاوية المجسمة : هي النسبة بين مساحة السطح المقابل لها ومربع نصف قطر الشكل الكروي الذي يكون هذا السطح جزءاً منه وهي عديمة الوحدة.



الزاوية المجسمة لكرة : هي مساحة الكرة على مربع نصف قطرها ويكون مقدارها 4π وكما يلي

$$\frac{4\pi\ r^2}{r^2} = 4\pi$$

تبعث المصادر التقليدية والتي تستخدم في الانارة الطاقة في جميع الاتجاهات أي ضمن زاوية مجسمة مقدارها (4π) زاوية نصف قطرية مجسمة في حين ينبعث ضوء الليزر والذي لا يفيد في الانارة التقليدية ضمن حزمة ضيقة ذي انفراجية قليلة.

Ibrahim M. Ibrahim

4- التشاكه Coherence

لأشعة الليزر درجة عالية من صفة التشاكه ، هناك نوعان من التشاكه والذي يجب ان يمتلكهما الشعاع الضوئي لكي يطلق عليه صفة التشاكه.

1- التشاكه المكاني Spatial Coherence

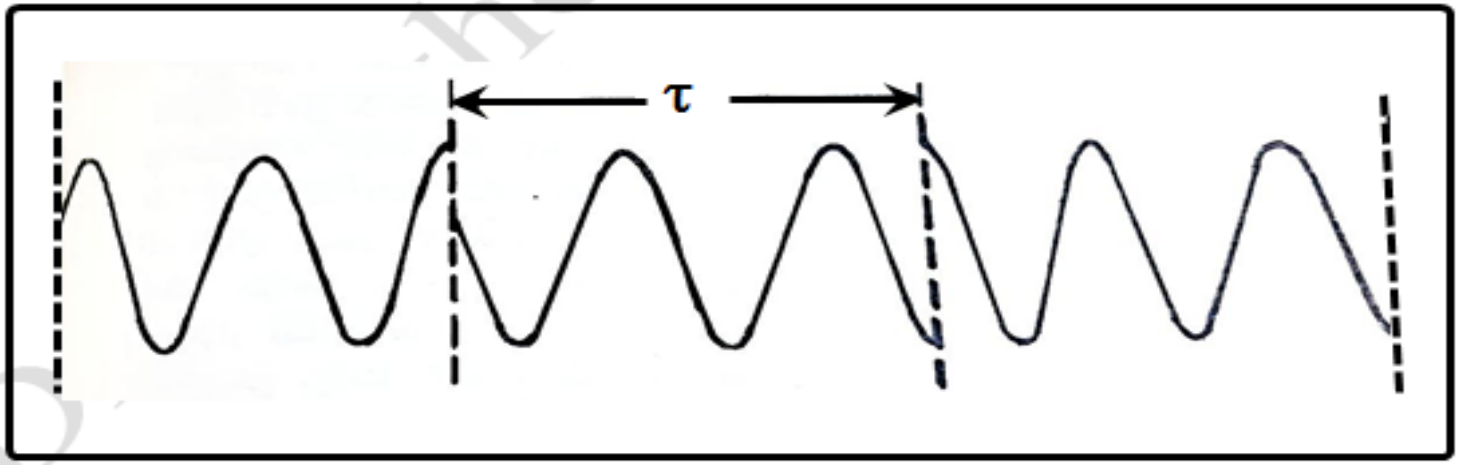
لتوضيح التشاكه المكاني نفرض نقطتين P_1 و P_2 موجودتان على نفس جهة الموجة وان فرق الطور للمجال الكهربائي عند هاتين النقطتين يساوي صفر عند زمن $(t = 0)$ ، والان اذا بقي فرق الطور صفر عند أي زمن اخر عندها يقال بانه يوجد تشاكه تام بين النقطتين واذا تحقق هذا الشرط لأي نقطتين على جبهة الموجة يقال بان الموجة لها تشاكه مكاني تام.

وبشكل عام يكون زمن التشاكه المكاني غير محدد لذلك يكون التشاكه المكاني تام تقريبا.

Ibrahim

2- التشاكه الزماني Temporal Coherence

عندما نتكلم عن التشاكه الزماني فأننا نتكلم عن طور الموجة الكهرومغناطيسية في نقطة معينة وعند زمن معين (t) وبعد فترة زمنية لاحقة (τ) ، فاذا بقي فرق الطور ثابتا لاي زمن فيقال بان للموجة تشاكه زماني وان (τ) هو زمن التشاكه.



*ان التشاكه الزماني مرتبط بصفة احادية الطول الموجي حيث يكون للموجة الكهرومغناطيسية التي لها زمن تشاكه (τ) تعريضا مقداره $(\Delta\nu)$

$$\Delta\nu = \frac{1}{\tau}$$

*وبذلك نجد انه كلما كان التعريض في الخط الطيفي قليل فان زمن التشاكه يكون كبير والعكس صحيح.

*ان طول التشاكه (L_c) يعطى بالعلاقة التالية

$$L_c = c\,\tau$$

كما تعطى العلاقة بين طول التشاكه وعرض الخط الطيفي كما يلي

$$\boxed{L_c = c\,\tau = \frac{c}{\Delta\nu}}$$

لدينا

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \Rightarrow \qquad \Delta\nu = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

$$\boxed{L_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}}$$

مثال: ضوء اخضر طوله الموجي $\lambda = 5000$ A° و وعرض الخط الطيفي $\Delta\lambda = 0.001$A° . احسب طول التشاكه لهذا المصدر.

$$L_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = \frac{5000 \times 10^{-10}}{0.001 \times 10^{-10}} = 2.5\ m$$

M. Ibrahim

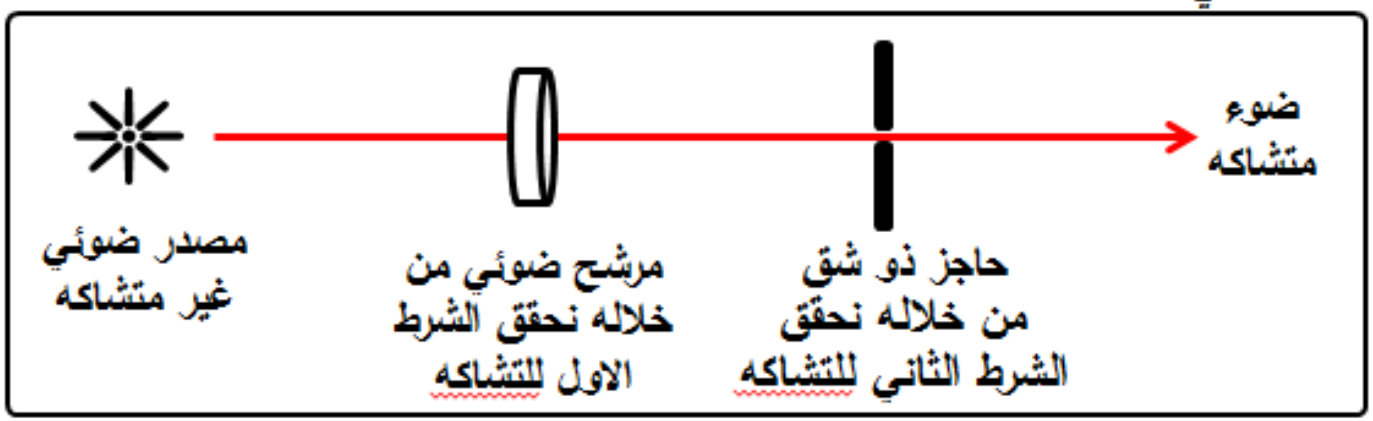
ملاحظة : بذلك وجد ان زمن التشاكه المكاني غير محدد وعليه تكون مسافة التشاكه المكاني غير محددة ، على العكس من التشاكه الزماني الذي يكون زمنه محدد وعليه تكون مسافة التشاكه له قصيرة ومحددة .

لكي تتصف الامواج بصفة التشاكه يجب ان يتحقق شرطان:

1- ان يكون لها تقريبا قيمة واحدة للتردد (أي تعريض الخط الطيفي $\Delta\nu$ صغير جداً)

2- ان تحافظ جبهة الموجة على شكلها مع الزمن.

اخيرا نجد انه بالإمكان الحصول على ضوء متشاكه من مصدر ضوئي غير متشاكه وكما موضح في الشكل ادناه ، لكن ذلك يكون على حساب الشدة ، ومثل هذه المصادر تكون غير مفيدة في الجوانب العملية والتطبيقية.



طريقة الحصول على ضوء متشاكه من مصدر ضوئي غير متشاكه

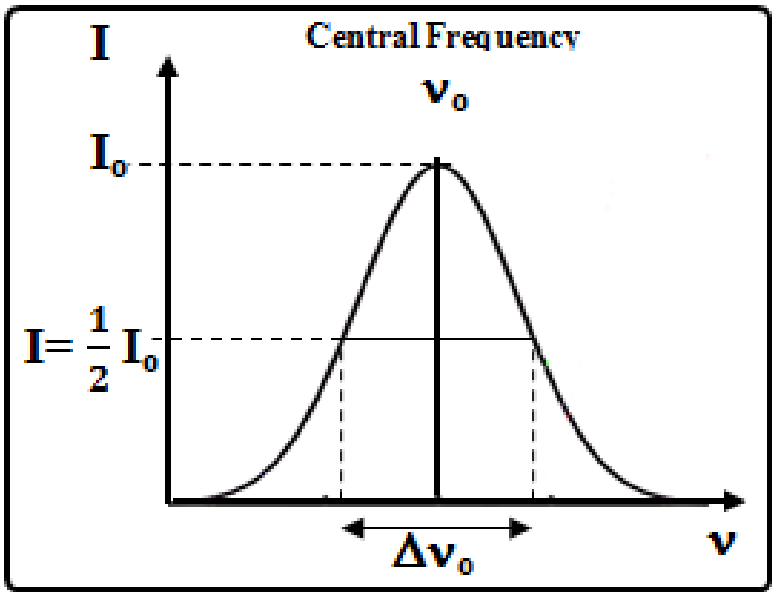
Dr. Rasheed

المحاضرة الخامسة

عمليات التعريض في الخط الطيفي

عمليات تعريض الخط الطيفي

عندما نتكلم عن الخط الطيفي وكأنما هو خط مثالي احادي اللون او التردد ، لكن في الحقيقة لا يوجد مثل هذا الخط عند الانبعاث او الامتصاص في أي مصدر ضوئي فأي انتقال في الذرة او الجزيئة لابد وان يصاحبه اتساع او تعريض ***Broadening*** حول الطول الموجي المركزي هذا الاتساع او التعريض هو عبارة عن نطاق ضيق من الاطوال الموجية تتوزع على طرفي الطول الموجي المركزي وبشكل متناظر يعين عرض الخط الطيفي عادة بعرض المنحني عند الموضع الذي تهبط عنده الشدة الى النصف أي في الموضع $\left(I = \frac{1}{2} I_o\right)$ ويدعى المقدار $\Delta\nu_o$ بعرض الخط عند منتصف الشدة (FWHM) Full Width at Half Maximum

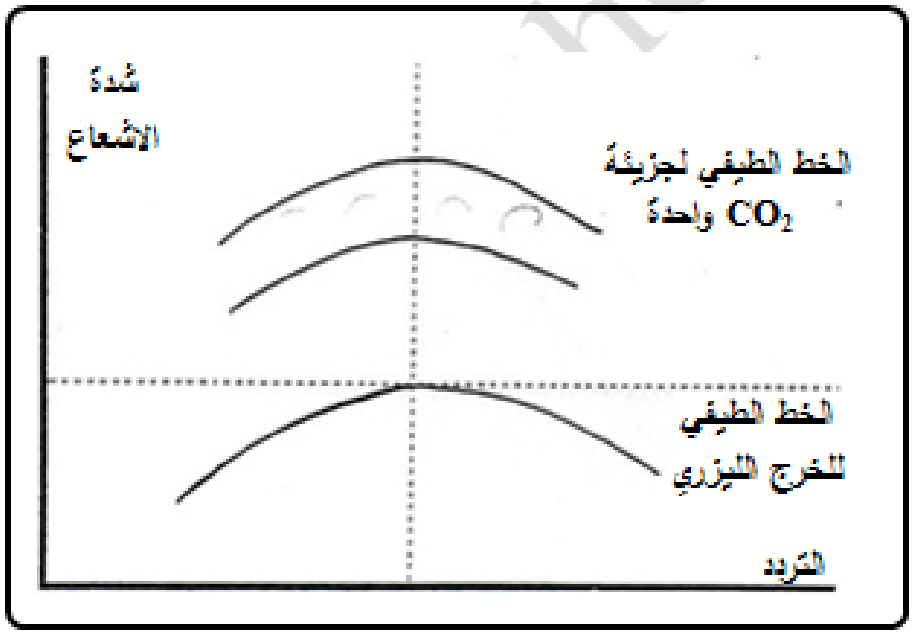


ν_o : هو التردد الرنيني للخط الطيفي.

M.Ibrahim

تصنيف عمليات التعريض في الخط الطيفي الى

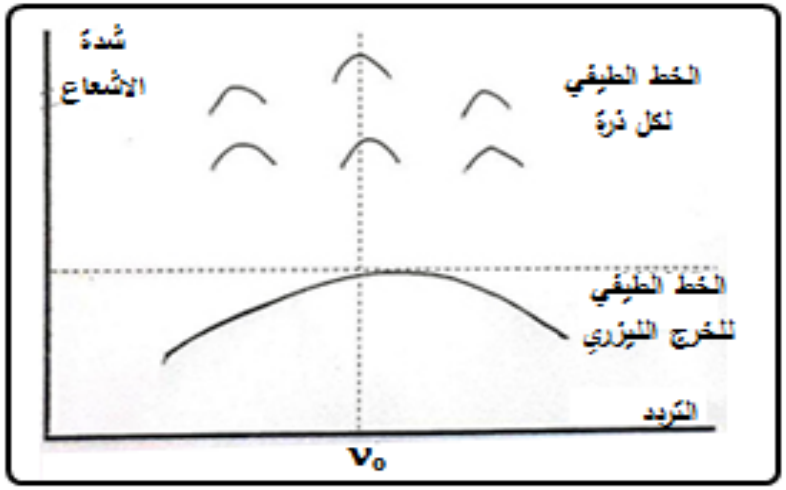
1- التعريض المتجانس Homogeneous Broadening

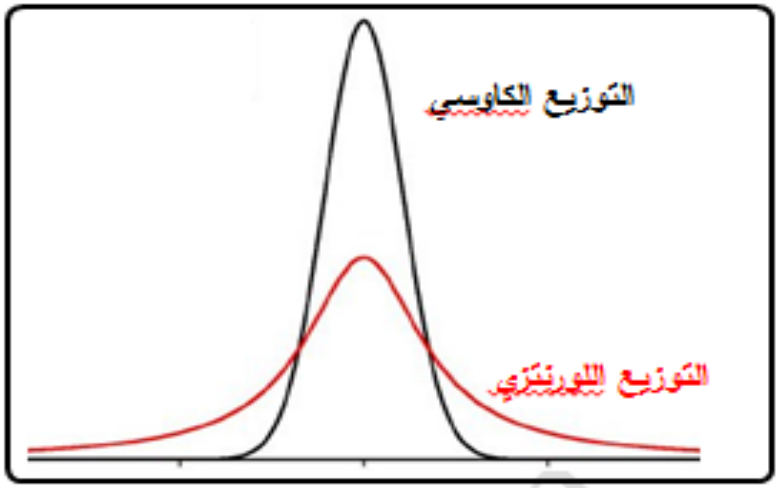


في هذا النوع يتم تعريض (توسيع) خط طيف الانتقال لكل ذرة من ذرات المادة بنفس الصيغة وبشكل متماثل أي ان لجميعها نفس التردد الذي تتمركز حوله وهو تردد الخط الطيفي نفسه ν_o.

2- التعريض غير المتجانس Inhomogeneous Broadening

في هذا النوع تتوزع ترددات الرنين على مدى ضيق من الترددات (أي ضمن حزمة) ولذلك فأنها تؤدي الى خط طيفي واسع يمثل النظام ككل بدلا من توسيع خط طيف كل ذرة على انفراد.

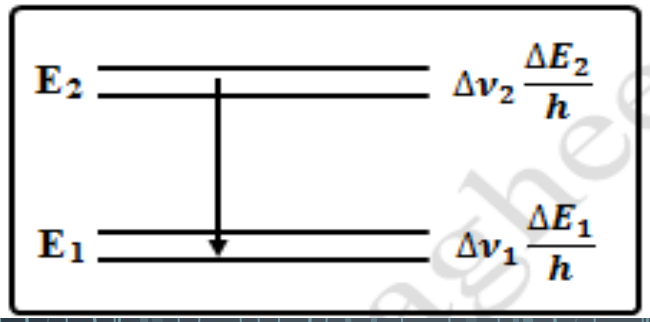




اسباب (اليات) تعريض الخط الطيفي

1- التعريض الطبيعي Natural (Intrinsic) Broadening

وهو تعريض متجانس للخط الطيفي حيث يعاني الخط الطيفي للانبعاث التلقائي تعريضا نتيجة زمن العمر المحدد لمستويي الطاقة ذات العلاقة بعملية الانبعاث. فمستوى الطاقة لا يمكن ان يأخذ قيمة محددة من الطاقة (لان ذلك يخالف مبدأ هايزنبرك في اللاتحديد) لكن في الواقع له توزيع ضيق للطاقة يتمركز حول هذه القيمة ويوصف عادة بالمقدار ΔE.



حسب مبدأ اللادقة

$$\Delta E \,.\, \Delta t \cong \hbar \;\Rightarrow\; \Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}$$

Δt : هو احتمالية الزمن لوجود الذرة في مستوى الطاقة وتقاس هذه الاحتمالية بمتوسط عمر المستوى (τ_{sp})

وبذلك نجد ان التردد ($\Delta\nu$) المرافق لتوزيع الطاقة (ΔE) هو

$$\Delta\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{h}{h\,2\pi\ \tau_{sp}} = \frac{1}{2\pi\ \tau_{sp}} = \frac{A_{21}}{2\pi}$$

$$\Delta\nu_o = \Delta\nu_1 + \Delta\nu_2 = \frac{1}{2\pi\ \tau_1} + \frac{1}{2\pi\ \tau_2}$$

ان الدالة التي تعبر عن شكل الخط الطيفي الناتج بسبب التعريض الطبيعي هي دالة لورنتز.

وتعطى بالصيغة التالية

$$g_L(\nu) = \frac{\Delta\nu_o}{2\pi}\ \frac{1}{(\nu-\nu_o)^2 + (\Delta\nu_o/2)^2}$$

حيث ان $g_L(\nu)$ هي دالة تعطي احتمالية حدوث الانتقال عند تردد ما.

ان قيمة الدالة عند القمة أي عند الموضع $(\nu = \nu_o)$ هي :

$$g_L(\nu_o) = \frac{2}{\pi\ \Delta\nu_o}$$

2- تعريض التصادم Collision Broadening

هو تعريض متجانس للخط الطيفي سببه تعرض الذرة للتصادم مع ما جاورها من الجزيئات والذرات . ففي الغاز تتصادم الذرة مع الذرات او الايونات او الالكترونات او جدران الاناء الحاوي لها ، وفي المواد الصلبة ينتج من تفاعل الذرة مع النسق البلوري.

* ان عملية التصادم تؤثر على الاشعاع وتحدث فيه تغيراً فجائيا في الطور.

*ان مقدار التعريض يعتمد على متوسط الفترة الزمنية بين تصادمين (τ_c) حيث ان

$$\Delta\nu_o = \frac{1}{\pi\,\tau_c}$$

لذلك نجد انه كلما كانت (τ_c) كبيرة كلما كان التعريض قليلا وبذلك يزداد زمن التشاكه وطول التشاكه الزماني. في حالة الغازات فان (τ_c) يعبر عنها كما يأتي

$$\tau_c = \frac{(m\,k\,T)^{\frac{1}{2}}}{(8\pi)^{\frac{1}{2}}\;p\;d^2}$$

حيث ان

p ضغط الغاز ، d قطر الجزيئة او الذرة ، T درجة الحرارة المطلقة ، m كتلة الجزيئة او الذرة

3- تعريض دوبلر Doppler Broadening

وهو تعريض غير متجانس للخط الطيفي وسببه الحركة العشوائية لذرات او جزيئات الوسط الفعال التي تكون اما باتجاه موافق او مغاير لاتجاه الاشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث وبهذا يكون التردد الذي تراه الذرة (ν') اقل او اكثر من ν وحسب ظاهرة دوبلر

$$\nu' = \nu\left(1 \mp \frac{V}{c}\right)$$

ν : تردد الاشعاع الكهرومغناطيسي ، V: سرعة الجزيئة.

ان شكل الخط الطيفي يوصف بحسب دالة كاوس والتي يعبر عنها بالصيغة التالية: –

$$g_G(\nu) = \frac{2}{\Delta\nu_o}\left(\frac{ln2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} exp\left[-ln2\left(\frac{\nu-\nu_o}{(\Delta\nu_o/2)}\right)^2\right]$$

ان قيمة الدالة عند القمة أي عند الموضع ($\nu = \nu_o$) هي :

$$g_G(\nu_o) = \frac{1}{\Delta\nu_o}$$

ان مدى الاتساع في الخط الطيفي الناتج عن ظاهرة دوبلر يعطي كما يأتي.

$$\Delta\nu = 7.16 \times 10^{-7}\ \nu_o \left(\frac{T}{M}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ν_o : التردد الاصلي للطيف المنبعث ، T: درجة الحرارة بالكلفن ، M: كتلة الذرة.

نلاحظ ان الاتساع يزداد مع زيادة التردد الاصلي ومع درجة الحرارة لكنه يقل مع زيادة كتلة الذرة.

Dr. Bagheer M. Ibrahim