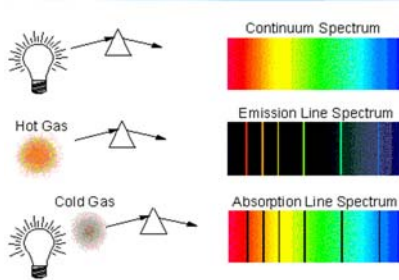


# Laser Physics

## Width and Shape of Spectral lines

اتساع وشكل الخط الطيفي

### Lecture 6



Dr. Hazem Falah Sakeek

[www.hazemsakeek.com](http://www.hazemsakeek.com)

[www.physicsacademy.org](http://www.physicsacademy.org)

## Width and Shape of Spectral lines

يتولد الليزر داخل المادة عند أطوال موجية محددة تساوي أحد الأطوال الموجية لخطوط الطيف المنبعثة من المادة. ولتمثيل خطوط الطيف نرسم شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من المادة كدالة في التردد أو الطول الموجي.

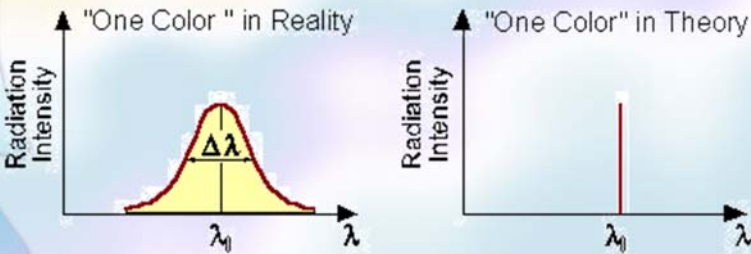
**Emission line** is described by plotting spontaneous emission radiation intensity as a function of frequency (or wavelength), for the specific lasing transition.

افتراضنا سابقاً أن الطيف المنبعث من الذرة المثارة يتركز فقط عند تردد وحيد وهو  $\nu_0$  والذي يدعى Resonance Frequency

ولكن في الحقيقة فإن عمليتي الامتصاص والانبعاث لا تحدثان عند تردد وحيد فقط ولكن عند حزمة من الترددات التي تشكل اتساع في الخط الطيفي  $\Delta\nu$  وهذا الاتساع في الخط الطيفي emission line يعتمد على الكثير من العوامل سنذكرها بالتفصيل خلال هذه المحاضرة.

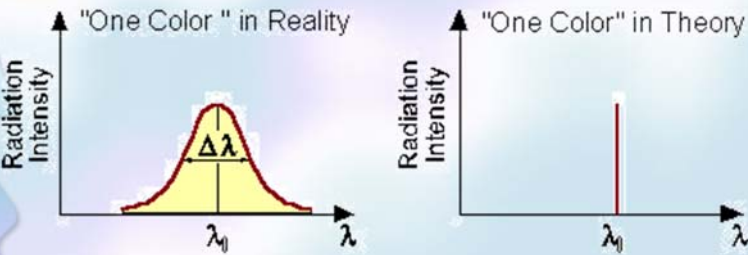
### المقصود بمصطلح أحادي اللون Monochromatic

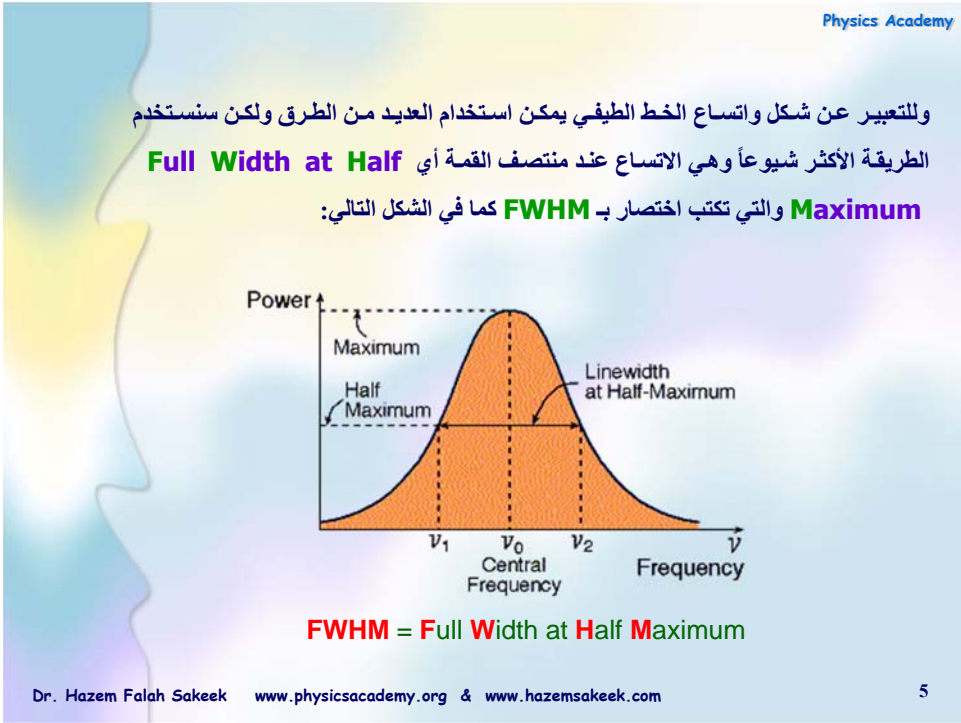
نظريا فإن مصطلح أحادي اللون يعني طول موجي محدد  $\lambda_0$ ، وعند رسم منحنى التغير في شدة الطيف المنبعث للمستويين طاقة مع الطول الموجي ينتج خط يعرف بالخط الطيفي **spectral line** كما في الشكل الموضح على الجانب الأيمن حيث أن شدة الأشعة عند أطوال موجية خارج  $\lambda_0$  تساوي صفر.



Width of spectral line (laser radiation) in Theory and in Reality

أما في الحقيقة فإن عند تمثيل العلاقة بين شدة الطيف المنبعث والطول الموجي نلاحظ أن للخط الطيفي اتساع معين مقداره  $\Delta\lambda$  يعرف بـ **spectral width** بحيث تكون أعظم قيمة عند  $\lambda_0$  وتتناقص على الأطوال الموجية المجاورة بجوار  $\lambda_0$  كما في الشكل على الجانب الأيسر من الشكل التوضيحي





Physics Academy

**Broadening the of emission line**

Certain mechanisms are responsible for broadening the linewidth of a laser:

- **Natural Broadening (Lifetime Broadening)**
- **Doppler Broadening**
- **Collision Broadening (Pressure Broadening)**

سنقوم بدراسة كل عامل بالتفصيل لتوضيح تأثيره على اتساع الخط الطيفي

Dr. Hazem Falah Sakeek    [www.physicsacademy.org](http://www.physicsacademy.org) & [www.hazemsakeek.com](http://www.hazemsakeek.com)    6

## Natural Broadening (Lifetime Broadening)

لقد سلمنا بأن مستويات الطاقة  $(0,1)$  التي تعاملنا معها بأنها حادة تماماً أي أن قيمة الاحتمالية (الشك) يساوي صفر  $\Delta E = 0$  لكل منهما، وهذا يشكل تناقض مع مبدأ هايزنبرج للشك حيث أن من مبدأ الشك فإن الذرة المثارة إلى المستوى  $E_1$  يجب أن تبقى زمن لانتهائي حتى يكون الشك في تحديد مستوى الطاقة  $E_1$  يساوي صفر .

### Heisenberg uncertainty principle:

$$\Delta E \cdot \Delta t > h$$

$$\Delta E = h \cdot \Delta \nu$$

$$\Delta \nu > 1 / \Delta t$$

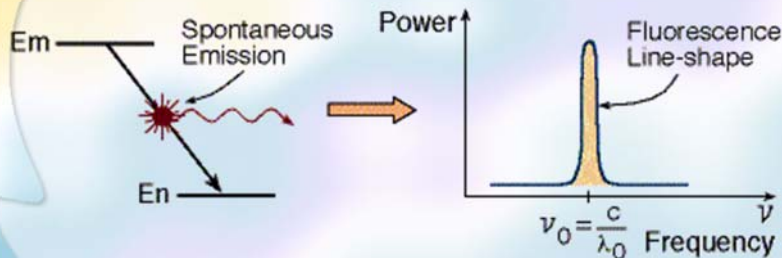
### Numerical examples:

$$\Delta t = 10^{-8} [s] \quad \Rightarrow \quad \Delta \nu = 10^8 [Hz]$$

$$\Delta t = 10^{-4} [s] \quad \Rightarrow \quad \Delta \nu = 10^4 [Hz]$$

The longer the specific energy level transition lifetime, the narrower its linewidth  $\Delta \nu$  .

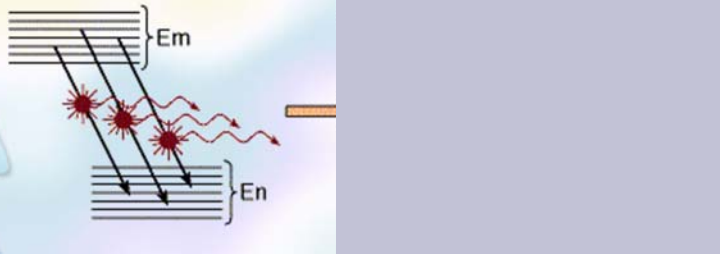
نعلم أن الزمن الذي تبقى فيه الذرة في الحالة المثارة غير محدد بشكل لانتهائي. فإذا أثيرت ذرة إلى مستوي طاقة ما فسوف تبقى فيه فترة زمنية محددة ثم تعود إلى المستوى الأرضي للطاقة **Ground level** وتطلق فوتونات.



Emission line between narrow (ideal) energy levels

Physics Academy

وللتغلب على هذا التناقض بين مبدأ الشك والعمر المحدود لبقاء الذرة مثارة نفرض أن مستويات الطاقة لها اتساع وأن الذرات تتوزع باحتمالية أكبر ما يمكن عند التردد  $\nu_0$  كما في الشكل الموضح، ولذلك فإن احتمالية الانتقال  $\nu$  أقل من احتمالية  $\nu_{21}$  لأن احتمالية توزيع الذرات في منتصف مستوى حزمة الطاقة أكبر ما يمكن.



Emission line between wide (real) energy levels

Dr. Hazem Falah Sakeek    www.physicsacademy.org & www.hazemsakeek.com    9

Physics Academy

بأخذ متوسط عمر المستوى **Average life time  $\tau$**  لمستوى الطاقة كمقياس للشك في الزمن  $\Delta t$ .

ويمكن تقدير اتساع الخط الطيفي نتيجة الاتساع الطبيعي **Natural Broadening** لمستوى طاقة بالمعادلة التالية:

$$\Delta \nu_i = \frac{1}{2\pi\tau_i}$$

Where as  $\Delta \nu_i = 0$  for the ground state since  $\tau_i = \infty$ . The upper state (excited state) have life time in the range of  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  sec.

In the case of both levels involving the transition are broadened then the line width is given by

$$\Delta \nu_{21} = \Delta \nu_1 + \Delta \nu_2$$

The life time of an excited state is the inverse of the spontaneous emission probability ( $A_{21}$ )

In general case

$$\tau = \frac{1}{A_{21}}$$
$$\tau = \frac{1}{\sum A_{21}}$$

Dr. Hazem Falah Sakeek    www.physicsacademy.org & www.hazemsakeek.com    10

Physics Academy

The shape of spectral line due to the natural broadening is given by the line shape function  $g(\nu)$

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

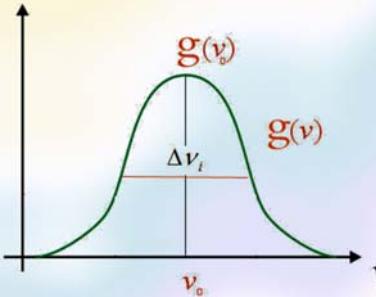
$g(\nu)$  دالة تعطي احتمالية حدوث الانتقال عند تردد ما.

$\Delta\nu$  هي منتصف القيمة العظمى للاحتتمالية وتسمى اتساع الخط الطيفي.

Dr. Hazem Falah Sakeek    www.physicsacademy.org & www.hazemsakeek.com    11

Physics Academy

Summary  
Natural Broadening



Width of spectral line due to natural broadening	Shape of spectral line due to natural broadening
$\Delta\nu_i = \frac{1}{2\pi\tau_i}$	$g(\nu) = \frac{\Delta\nu_n}{2\pi} \frac{1}{(\nu - \nu_o)^2 + (\Delta\nu_n/2)^2}$

Lorentzian function

Dr. Hazem Falah Sakeek    www.physicsacademy.org & www.hazemsakeek.com    12



Physics Academy

Examples

For Sodium

$T_{sp} = 16\text{ns}$  then  $\Delta \nu_i = \frac{1}{2\pi\tau_i} = \frac{1}{2\pi \times 16 \times 10^{-9}} = 10\text{MHz}$

For Ruby

$T_{sp} = 3 \times 10^{-3}\text{sec}$  (metastable state)

$\Delta \nu_i = \frac{1}{2\pi\tau_i} = \frac{1}{2\pi \times 3 \times 10^{-3}} = 53\text{Hz}$

For Semiconductor

$T_{sp} = 10^{-9}\text{sec}$

$\Delta \nu_i = 100\text{Hz}$

Dr. Hazem Falah Sakeek    [www.physicsacademy.org](http://www.physicsacademy.org) & [www.hazemsakeek.com](http://www.hazemsakeek.com)

13