

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC CÔNG NGHỆ TP.HCM  
KHOA VẬT LÝ  
Bộ Môn Vật Lý Giảng dạy

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

BÀI TIỂU LUẬN

**TƯƠNG TÁC GIỮA BỨC XẠ  
ĐIỆN TỪ VỚI HỆ LƯỢNG TỬ**

**GVHD: TS. Phan Bách Thành**  
**HVTH: Nguyễn Thanh Tú**  
**Nguyễn Duy Khánh**

TP.HCM

THÁNG 1/2010

## M Ụ C L Ộ C

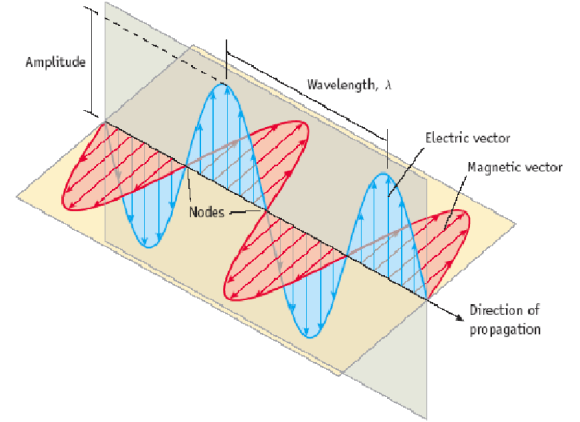
I	NH Ợ N G KH Ậ I NI M C B N .....	2
1.	B ố c x ỉ n t ợ n g t .....	2
1.1	nh ợ n g h ợ a:.....	2
1.2	Ph ậ n lo ợ i .....	2
1.3	N ợ n g l ợ n g.....	2
2.	H ợ l ợ n g t .....	3
2.1	S ợ l ợ n g t h ợ a n ợ l ợ n g c ợ h t.....	3
2.2	Ng ợ y ệ n t .....	3
2.3	Ph ậ n t .....	4
3.	T ợ n g t ợ c c ợ a b ố c x ỉ n t v i h l ợ n g t .....	5
3.1	D ợ c h ch ợ y n ợ p ợ t q ợ u ợ n g.....	6
3.2	D ợ c h ch ợ y n ợ k ợ n g p ợ t q ợ u ợ n g:.....	7
4.	C Ậ C Q Ự Y T C Ớ H N Ợ L C.....	7
5.	M ợ t s ợ kh ậ i ni m .....	8
5.1	N ợ n g ợ t r ợ n g th ợ i.....	8
5.2	Ph ợ n g tr ợ n h ợ n g h ợ c x ắ c ợ n h s ợ p ợ n b ợ n ợ n g h ợ t .....	8
5.3	Th ợ i g ợ n s ợ n g.....	8
5.4	M ợ c s ợ i ợ u b ợ n.....	10
II	C Ậ C Q Ự Ậ TR Ợ N H D Ớ C H CH Ợ Y N Ợ L Ợ N G T .....	11
1.	D Ớ C H CH Ợ Y NH Ợ P TH .....	12
2.	B ố c x ỉ n t ợ p ợ t.....	13
3.	B ố x ỉ c m ợ n g.....	13
4.	L ợ i n h ệ g ợ i ợ t h ợ i g ợ n s ợ n g v ợ h s ợ e i n s t e i n .....	16
5.	H ợ s h ợ p th ợ c ợ m ợ i t r ợ n g v ợ t ợ c h t .....	17
6.	S ợ l ợ c v ợ m ợ i t r ợ n g m ợ t ợ l ợ n .....	19
III	R ợ n g c ợ a v ợ c h p h .....	21
1.	R ợ n g c ợ a m ợ c n ợ l ợ n g.....	21
2.	R ợ n g t ợ n h ợ i ệ n c ợ a v ợ c h p h .....	21
3.	GI Ậ N R Ợ N G D O P P L E R C Ợ A V Ớ C H Q Ự Ậ N G P H .....	23
3.1	H ợ u ợ n g D o p p l e r- ợ i ậ n r ợ n g D o p p l e r.....	23
3.2	M ợ i q ợ u ợ n h ợ g ợ i ợ n h ợ t v ợ ợ i ậ n r ợ n g D o p p l e r.....	25
3.3	S ợ s ợ n h ợ i ậ n r ợ n g D o p p l e r s ợ v ợ i ợ n g t ợ n h ợ i.....	25
3.4	H ợ n h d ợ n g p h ợ k h ợ x ắ t n ợ i ậ n r ợ n g D o p p l e r.....	27
4.	GI Ậ N R Ợ N G D O V Ớ C H M .....	28
T Ậ I L Ợ U T H Ậ M K H Ợ		

## I Nh ng khái ni m c b n

### 1. B c x i n t

#### 1.1 nh ngh a:

**B c x i n t** (hay **sóng i n t**) là s k t h p c a dao ng i n t r ng và t r ng vuông góc v i nhau, lan truy n trong không gian nh sóng. Sóng i n t c ng b l ng t hoá thành nh ng " t sóng" có tính ch t nh các h t chuy n ng g i là **photon**.

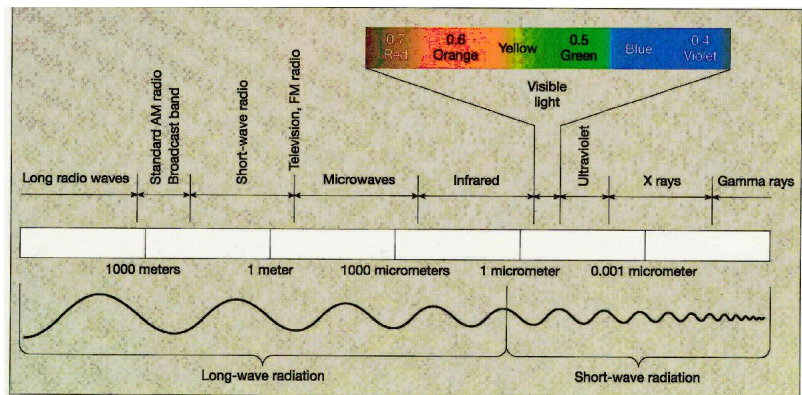


Khi lan truy n, sóng i n t mang theo n ng l ng, ng l ng và thông tin. Sóng i n t v i b c sóng n m trong kho ng 400 nm và 700 nm có th c quan sát b ng m t ng i và g i là ánh sáng.

#### 1.2 Phân lo i

Sóng i n t c phân lo i theo b c sóng, t dài n ng n:

- Dao ng i n
- Radio
- Tia h ng ngo i
- Ánh sáng kh ki n
- Tia t ngo i
- Tia x
- Tia gamma



#### 1.3 N ng l ng

$$E = h\nu$$

N ng l ng c a m t h t photon có b c sóng là

v i h là h ng s Planck và  $c=299.792.458$  m/slà v n t c ánh sáng trong chân không. Nh v y, b c sóng càng dài thì n ng l ng photon càng nh .

## 2. H ả l ả n g t

### 2.1 S ả l ả n g t h ả o n ả n g l ả n g c ả h ả t

Theo quan ả i m ả l ả n g t th ả n ả n g l ả n g c ả h ả t (c ả c ph ả n t ả , nguy ả n t ả h ả o c ion) ả u b ả l ả n g t h ả o ả , ngh ả l ả h ả nh ả n nh ả n g giá t ả n ả n g l ả n g giá n ả o n

M ả i tr ả n g th ả i đ ả n g c ả h ả t s ả n g v ả i m ả t giá t ả n ả n g l ả n g xác ả nh ả t p h ả p nh ả n g giá t ả n ả y c ả m ả t h ả t ri ả n g r ả s ả c m ả t đ ả y c ả c giá t ả n g giá n ả o n ả c g ả i l ả gi ả n ả n ả n g l ả n g.

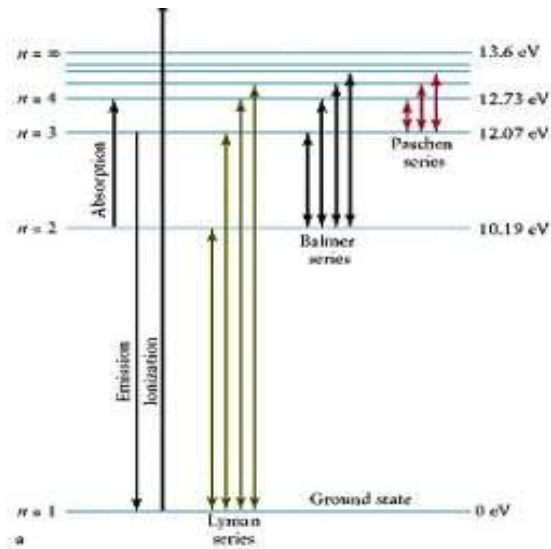
Tr ả n g th ả i n g v ả i m ả c n ả n g l ả n g c ả c t ả u l ả tr ả n g th ả i n ả nh g ả i l ả **tr ả n g th ả i c ả b ả n**. C ả n nh ả n g tr ả n g th ả i kh ả c c ả n ả n g l ả n g cao h ả n g ả i l ả **tr ả n g th ả i k ả i c h ả t h ả i c h**. Tr ả n g h ả p m ả t s ả tr ả n g th ả i k ả i c h ả t h ả i c h c ả c ả n ả n g l ả n g th ả i g ả i l ả **tr ả n g th ả i suy b ả i n**

V ả y m ả t h ả l ả n g t th ả i c ả th ả l ả nguy ả n t ả , ph ả n t ả h ả o c ion. Đ ả i ả y ta tìm h ả i u c ả c m ả c n ả n g l ả n g c ả nguy ả n t ả v ả ph ả n t ả

### 2.2 Nguy ả n t ả

C ả c m ả c n ả n g l ả n g c ả nguy ả n t ả v ả ion đ ả o s ả ph ả n b ả i n t ả c ả c qu ả o kh ả c nh ả u

H ả i nh ả minh h ả c ả c m ả c n ả n g l ả n g c ả nguy ả n t ả h ả i đ ả o , khi c ả c electron c ả c qu ả o kh ả c nh ả u s ả c ả n ả n g l ả n g kh ả c nh ả u , v ả c ả c giá t ả n g l ả n g l ả giá n ả o n



### 2.3 Phân tử

Phân tử có cấu tạo phức tạp hơn nguyên tử. Trong phân tử thì các trạng thái năng lượng phân tử do:

- Sự phân bố lại các quỹ đạo khác nhau
- Chuyển động dao động trong phân tử
- Chuyển động quay của phân tử
- Chuyển động của ion

Đối với nguyên tử, phân tử có các mức năng lượng riêng biệt khác nhau tùy theo sự phân bố lại trên quỹ đạo

- Chuyển động dao động phân tử

Đó là sự biến thiên tuần hoàn của phân tử trong các hướng khác nhau trong phân tử. Năng lượng của dao động không liên tục mà có giá trị bất kỳ mà nó bị lượng tử hóa nên năng lượng riêng biệt, nghĩa là chỉ hấp thụ và bức xạ photon có năng lượng riêng biệt dao động thích hợp

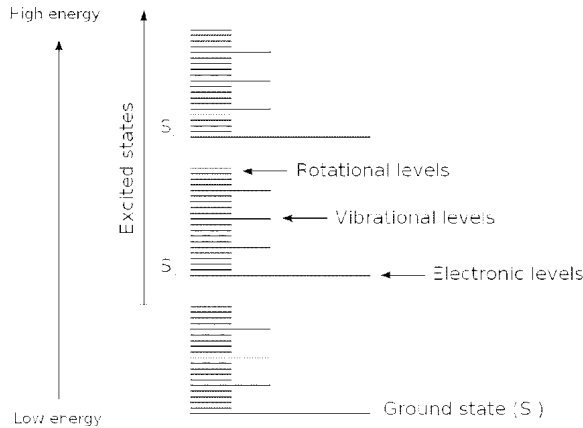
Khoảng cách giữa các trạng thái năng lượng dao động nhỏ hơn nhiều so với trạng thái riêng biệt, nói cách khác năng lượng kích thích dao động rời rạc hơn

- Chuyển động quay của phân tử

Là sự biến thiên tuần hoàn không liên tục của phân tử trong không gian. Trong cơ học lượng tử, năng lượng quay của nó không liên tục mà có giá trị

xác định. Tuy nhiên không cách gì để các mức năng lượng quay bé hơn nhiều so với mức năng lượng dao động

Sơ đồ minh họa các mức năng lượng của phân tử



Trên hình vẽ ta thấy mức năng lượng điện tử (electronic level) lại có những mức năng lượng dao động (vibration levels), và trên mức năng lượng dao động lại có các mức năng lượng do sự quay (rotational levels)

### 3. Tác động của ánh sáng tới vật chất

Trong quá trình tác động của ánh sáng tới vật chất, ta cần phân biệt những hiện tượng xảy ra bên trong và không xảy ra bên ngoài

Giả sử chiếu ánh sáng có cường độ  $I_0$  vào vật thì ta sẽ nhận được

Mật độ photon tới phản xạ trên bề mặt vật chất,  $I_R$

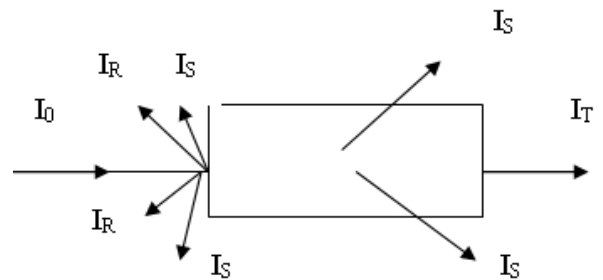
Mật độ photon tới tán xạ  $I_S$

Mật độ photon tới bị vật chất hấp thụ.

$I_A$

Mật độ photon còn lại truyền qua,  $I_T$

Đây chúng ta chỉ quan tâm đến hiện tượng phản xạ, nghĩa là xét phần bị chiếu tới bị hấp thụ và những nguyên tố cơ bản phân tử trong vật chất



Khi h t nh n n ng l ng c a b c x i n t thì h t s chuy n t tr ng thái n ng l ng th p  $E_i$  lên tr ng thái kích thích có n ng l ng cao h n  $E_k$

Vì quá trình này x y ra trong ph m vi phân t ho c nguyên t nên nó ch tuân theo các nh lu t l ng t , ngh a là nó ch nh n nh ng giá tr n ng l ng xác nh

Nh v y b c x i n t s b h p th ch khi nào n ng l ng c a nó úng b ng hi u n ng l ng gi a hai tr ng thái  $E_i$  và  $E_k$

Các h t không lâu trên tr ng thái kích thích mà do nh ng tác nhân v t lý h t s chuy n t tr ng thái này sang tr ng thái khác . Ta g i ó là nh ng d ch chuy n và c m i d ch chuy n l i h p th hay b c x m t n ng l ng tuân theo nh lu t b o toàn n ng l ng.

Có hai lo i d ch chuy n là d ch chuy n phát quang và d ch chuy n không phát quang

### 3.1 D ch chuy n phát quang

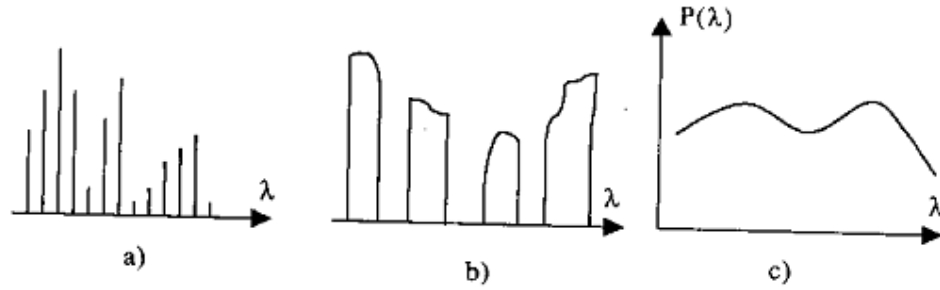
- Các d ch chuy n t m c n ng l ng th p n n ng l ng cao t o thành ph h p th
- Các d ch chuy n t cao xu ng th p t o thành ph phát x
- Trong d ch chuy n phát quang thì t n s b c x hay h p th c tính b ng

$$\omega = \frac{\Delta E}{h}$$

Ph h p th và b c x c a nguyên t g m nh ng v ch riêng r t o thành ph v ch

V i phân t do c u trúc gi n n ng l ng ph c t p nên các v ch ph phân b sát nhau tao thành ph ám

V i ch t bán d n th ng cho ph liên t c ph n ánh c u trúc vùng n ng l ng c a chúng



**Hình B9.** Các dạng phổ : a) Phổ vạch ; b) Phổ đám ; c) Phổ liên tục.

### 3.2 Dịch chuyển không phát quang:

Là dịch chuyển thể hiện trong quá trình tương tác với các hạt khác bên ngoài

Ví dụ: do nguyên tử va chạm với các ion trong phóng xạ khí khi có phần năng lượng bị mất mà nguyên tử có thêm là do năng lượng của ion bị mất đi khi va chạm. Còn nếu hạt dịch chuyển từ mức năng lượng cao xuống mức năng lượng thấp thì phần năng lượng chuyển thành năng lượng nhiệt của hạt thì là năng lượng hạt chuyển năng lượng

**ây chúng ta chỉ quan tâm đến các dịch chuyển phát quang**

### 4. Các quy tắc chọn lọc

Trong các hệ thống chuyển mức năng lượng, tất cả các mức năng lượng có thể chấp nhận là phải thỏa mãn nó. Sự chênh lệch vì không phải tất cả các dịch chuyển năng lượng đều có xác suất dịch chuyển như nhau.

Chúng ta cần dịch chuyển nào thì phải thỏa mãn điều kiện nhất định rút ra từ nguyên lý bảo toàn năng lượng mới có thể xảy ra. Chúng ta gọi là **dịch chuyển cho phép**

Các dịch chuyển khác không thỏa mãn các điều kiện trên đều có xác suất bằng không hay xảy ra không gọi là **dịch chuyển cấm**

Nhưng điều kiện xác định dịch chuyển là dịch chuyển cấm hay cho phép gọi là **quy tắc chọn lọc**

Điều kiện nguyên tử tuân theo liên kết (L,S), quy tắc chọn lọc có viết như sau  $\Delta L = \pm 1$



$$\Delta S = 0$$

$$\Delta J = 0, \pm 1 \text{ (tr d ch chuy n t } J=0 \text{ n } J=0)$$

Vì trong phân tử có hai mức năng lượng nên quy tắc chọn lọc có vị trí riêng cho từng loại

Chọn hướng trục z của các mức năng lượng dao động, các d ch chuyển cho phép là d ch chuyển giữa hai mức năng lượng gần nhau, tức là

$$\Delta v = \pm 1$$

trục z dao động quay

$$\Delta J = \pm 1$$

## 5. Một số khái niệm

### 5.1 Năng trạng thái

Nếu trong môi trường có nhiệt độ thì trạng thái cân bằng và trạng thái kích thích sẽ tồn tại nhiệt độ.

Số hạt trong một mức năng lượng trong trên một trạng thái thì gọi là năng trạng thái. Trong điều kiện bình thường các hạt tuân theo phân bố Boltzman

### 5.2 Quá trình chuyển hóa xác suất phân bố năng lượng

Trong quá trình chuyển hóa dùng khái niệm vận tốc của quá trình

Vận tốc tích lũy của mức kích thích nào đó có tính bằng

$$\sum_{k \neq i} \gamma_{ki} N_k \text{ trong đó } \gamma_{ki} \text{ là xác suất d ch chuy n t m c k x u n g m c i}$$

Vận tốc nghèo hóa của mức kích thích nào đó có tính bằng

$$\sum_{k \neq i} \gamma_{ik} N_i \text{ trong đó } \gamma_{ik} \text{ là xác suất d ch chuy n t m c i x u n g m c k}$$

Quá trình chuyển hóa cân bằng

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_{k \neq i} N_k \gamma_{ki} - \sum_{k < i} N_i \gamma_{ik}$$

### 5.3 Thời gian sống

Khi quá trình tích lũy nồng độ thì nồng độ mồi bắt đầu giảm xuống, và cuối cùng đi đến theo phương trình

$$\frac{dN_i}{dt} = - \sum_{k < i} N_i \gamma_{ik}$$

Như vậy nồng độ sẽ giảm theo hàm mũ theo thời gian

$$N_i(t) = N_{i0} \exp \left[ - \left( \sum_{k=1} \gamma_{ik} \right) t \right]$$

Tốc độ biến thiên nồng độ phụ thuộc vào xác suất chuyển hóa các mức

$$\gamma_i = \sum_{k < i} \gamma_{ik}$$

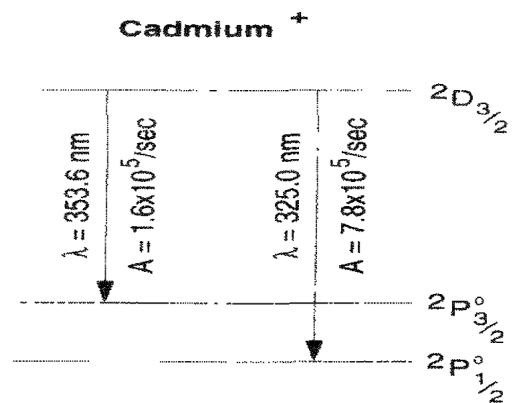
Thời gian sống của trạng thái chuyển hóa là thời gian trung bình trên trạng thái giảm đi một lần và được xác định bằng biểu thức

$$\tau_{ik} = \frac{1}{\gamma_i} = \frac{1}{\sum_{k=1} \gamma_{ik}}$$

Ví dụ: Thời gian sống của mức laser trong trạng thái phụ thuộc vào xác suất chuyển hóa phát xạ ngược trạng thái thấp hơn, tức là xác suất chuyển hóa các mức.

Ví dụ: tính thời gian sống mức laser trên của laser He-Cd: khi biết có hai dữ kiện chuyển vị các xác suất chuyển hóa như hình vẽ

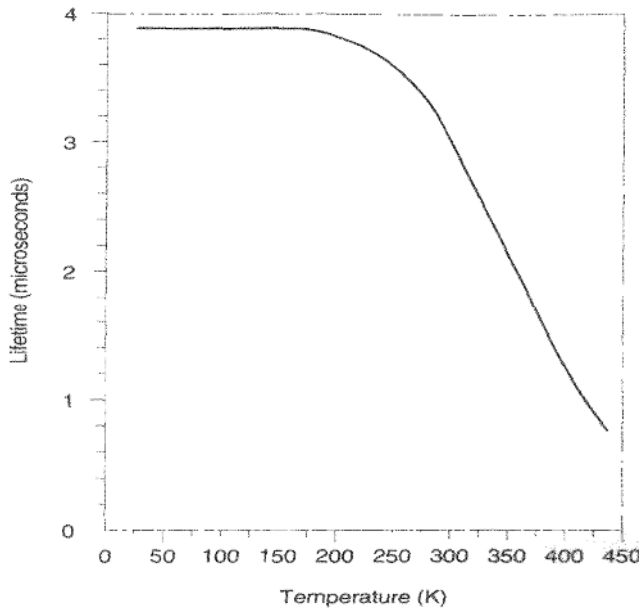
**Figure 4-2(a)** Two laser transitions of the He-Cd laser, along with their associated radiative transition probabilities



Dựa vào những thông tin đã cho, ta tính được:

$$\begin{aligned} \tau_u &= \frac{1}{\sum_i A_{ui}} = \frac{1}{7.8 \times 10^5 \text{ s}^{-1} + 1.6 \times 10^5 \text{ s}^{-1}} \\ &= \frac{1}{9.40 \times 10^5 \text{ s}^{-1}} = 1.06 \times 10^{-6} \text{ s.} \end{aligned}$$

Thời gian sống của trạng thái thì phụ thuộc theo nhiệt độ, khi nhiệt độ tăng thì thời gian sống sẽ giảm. Hình sau đây minh họa cho kết luận này



**Figure 4-6** Decay time of the upper laser level of a titanium sapphire laser material as a function of temperature (K)

hình trên cho thấy sự thay đổi của thời gian sống của mức trên laser titan sapphire theo nhiệt độ

Khi nhiệt độ tăng thì thời gian sống sẽ giảm đi.

⇒ Chính vì vậy trong kỹ thuật laser người ta phải ghi nhận nhiệt độ môi trường laser có thể hoạt động như thế nào trong quá trình làm việc.

### 5.4 Mức siêu bền

Khi nghiên cứu về laser mức trạng thái siêu bền (metastable level)

Các trạng thái bình thường có thời gian sống rất ngắn khoảng  $10^{-10}$  s

Các trạng thái có thời gian sống lớn gọi là trạng thái siêu bền khoảng  $10^{-3}$  -  $10^6$  s

#### Ý nghĩa mức siêu bền

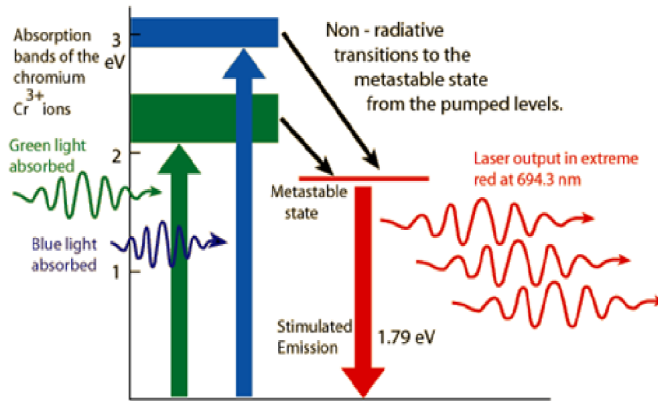
- Mức siêu bền có thể gian ngắn do có r ng m c n ng l ng nh và v ch ph h p ( n s c)
- t o c m t o l n thì m c laser trên ph i có th i gian s ng l n do ó th ng ch n m c siêu b n

**Ví dụ :**

Trong laser Nd:YAG:  $\tau_2 \approx 2.3 \times 10^{-4} s$

Trong laser Ruby  $\tau_2 \approx 3 \times 10^{-3} s$

Sau cho thấy mức laser trên  $E_2$  trong laser ruby là mức siêu bền và mức này có thể gian ngắn 0.003s.



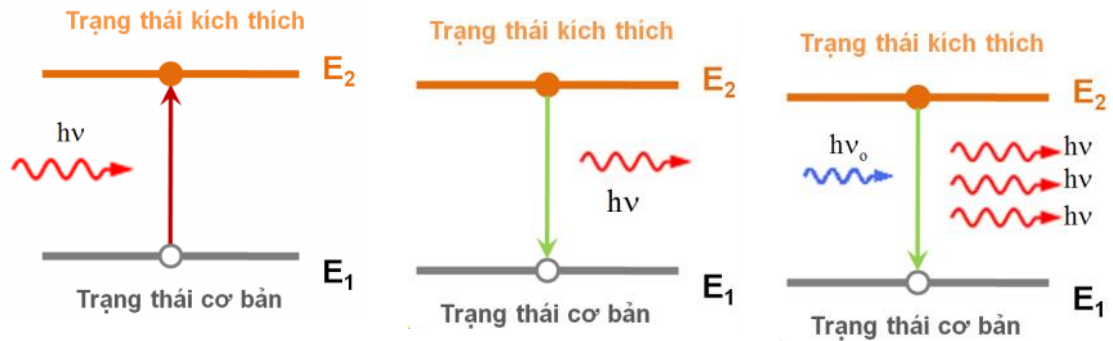
**II Các quá trình dịch chuyển năng lượng**

Khi hệ thống ở trạng thái cân bằng, không tiếp nhận các kích thích từ môi trường bên ngoài, thì chỉ có các mức năng lượng thấp nhất, gọi là các mức năng lượng cơ bản.

Khi xuất hiện các kích thích từ bên ngoài, chúng như tác động của ánh sáng, electron, ion khác hoặc các ion trung tính, ... thì tiếp nhận các kích thích và chuyển lên các mức năng lượng cao hơn, gọi là các trạng thái kích thích.

Xét hệ thống các nguyên tử cùng loại và bỏ qua các tương tác với nhau. Trong hệ thống có hai trạng thái năng lượng chính: trạng thái cơ bản có năng lượng  $E_1$  và trạng thái kích thích có năng lượng  $E_2$ , với các mật độ hạt trung tính là  $N_1$  và  $N_2$ . Hệ thống tác dụng với môi trường xung quanh có một phân bố năng lượng  $\sigma(\nu)$ . Một phân bố năng lượng của ánh sáng tới là cường độ trung bình cho năng lượng của ánh sáng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian có giá trị trung bình xác định. Một phân bố năng lượng thì hình thành và sự phân bố năng lượng theo tần số ánh sáng.

Theo Einstein, nếu hệ thống cân bằng nhiệt động với môi trường xung quanh thì có thể xảy ra 3 loại chuyển dời giữa các mức năng lượng là hấp thụ, bức xạ phát và bức xạ cưỡng bức (cưỡng bức).



**Hình 1.** Minh họa các quá trình hấp thụ, bức xạ phát và bức xạ cưỡng bức (cưỡng bức) (theo thứ tự từ trái sang phải)

### 1. Dạng chuyển tiếp

Là dạng chuyển tiếp của nguyên tử từ trạng thái năng lượng thấp  $E_1$  lên trạng thái năng lượng cao  $E_2$  dưới tác động của trường ngoài khi hấp thụ một photon có năng lượng ứng bằng hiệu năng lượng giữa hai mức:

$$h\nu_{12} = E_2 - E_1$$

Số lượng các chuyển dời phụ thuộc vào số nguyên tử  $N_1$  ở mức  $E_1$  và số photon có năng lượng  $h\nu_{12}$ . Số photon có tần số  $\nu_{12}$  phụ thuộc vào mật độ photon năng lượng  $\sigma(\nu)$ . Khi xảy ra dạng chuyển tiếp thì số nguyên tử ở trạng thái năng lượng  $E_1$  là  $N_1$  giảm. Số nguyên tử  $N_1$  giảm do dạng chuyển tiếp xác định bằng biểu thức:

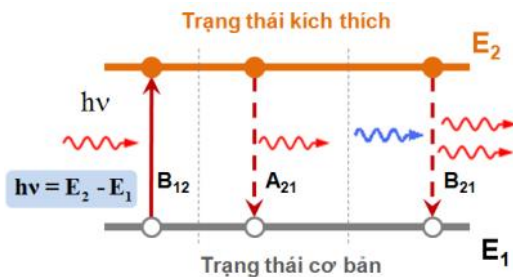
$$dN_1 = -B_{12}N_1 - \sigma(\nu_{12})dt$$

trong đó  $B_{12}$  là hằng số xác suất dạng chuyển tiếp.

## 2. Bức xạ phát

Trong quá trình này, nguyên tử chuyển từ trạng thái kích thích có năng lượng  $E_2$  về trạng thái cơ bản có năng lượng  $E_1$  một cách tự phát và bức xạ ra photon có tần số  $\nu$ . Chuyển dời này xảy ra một cách ngẫu nhiên và không chịu ảnh hưởng của trường ngoài. Do đó nguyên tử bức xạ các photon có lập vi nhau, mật độ cùng tần số nhưng khác pha và hướng truyền, hướng phân cực khác nhau. Vì vậy, bức xạ phát không đồng bộ, không nhúng và có lập vi bức xạ bên ngoài.

## 3. Bức xạ cảm ứng



**Hình 2.** Các dạng chuyển tiếp tự phát, bức xạ và bức xạ cảm ứng và các hệ số chuyển cho xác suất d chuyển.

Là chuyển dời của các nguyên tử từ trạng thái kích thích có năng lượng  $E_2$  về trạng thái cơ bản có năng lượng  $E_1$  dưới tác động của photon của trường bức xạ bên ngoài có tần số  $\nu_{12}$ , làm bức xạ một photon có tần số  $\nu$ , có pha dao động, một phân cực và hướng chuyển ngẫu nhiên với photon kích thích. Như vậy bức xạ đồng bộ có sóng đồng bộ và cùng hướng với bức xạ kích thích bên ngoài, có tính nhúng, đồng bộ và kết hợp.

Số các chuyển dời đồng bộ phụ thuộc vào số nguyên tử mật độ năng lượng cao  $E_2$  và số photon có tần số  $\nu_{12}$  trong trường bức xạ tới, nghĩa là phụ thuộc mật độ năng lượng của bức xạ. Trong khi đó số các chuyển dời tự phát chỉ phụ thuộc vào số nguyên tử mật độ năng lượng cao  $E_2$  mà không phụ thuộc mật độ năng lượng

b c x bên ngoài. C hai quá trình b c x t phát và b c x kích thích làm s l ng nguyên t m c E<sub>2</sub> gi m i m t l ng :

$$dN_2 = dN_{2sp} + dN_{2st} \approx N_2[A_{21} + B_{21}\sigma(v_{12})]dt$$

trong ó, dN<sub>2sp</sub> là s chuy n d i t phát

dN<sub>2st</sub> là s d ch chuy n c ng b c

A<sub>21</sub> là h s c tr ng cho xác su t d ch chuy n t phát

B<sub>21</sub> là h s c tr ng cho xác su t d ch chuy n c ng b c

$\sigma(v_{12})$  là m t ph n ng l ng b c x

V i gi thi t h tr ng thái cân b ng nhi t ng v i môi tr ng và h ch t n t i hai m c n ê n s nguyên t tr ng thái E<sub>1</sub> t ng bao nhiêu thì s nguyên t tr ng thái E<sub>2</sub> gi m b y nhiều và ng c l i, do ó ta có :

$$dN_1 = -N_1B_{12}\sigma(v_{12})dt + N_2[A_{21} + B_{21}\sigma(v_{12})]dt$$

$$dN_2 = -N_2[A_{21} + B_{21}\sigma(v_{12})]dt + N_1B_{12}\sigma(v_{12})dt$$

Trong i u ki n cân b ng nhi t ng v i môi tr ng bên ngoài, m t các tr ng thái n ng l ng không thay i theo th i gian, ngh a là :

$$\frac{dN_1}{dt} = 0 \text{ và } \frac{dN_2}{dt} = 0$$

Do ó ta có :  $N_2[A_{21} + B_{21}\sigma(v_{12})] = N_1B_{12}\sigma(v_{12})$

$$\text{hay : } \frac{N_2}{N_1} = \frac{B_{12}\sigma(v_{12})}{A_{21} + B_{21}\sigma(v_{12})}$$

i u ki n cân b ng nhi t ng, s l ng các h t tuân theo phân b Boltzmann, ngh a là :

$$N_i = \frac{1}{Z} N_i g_i e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$$

v i Z : h ng s chu n hoá

N : t ng s h t

g<sub>i</sub> : l ng th ng kê hay b c suy bi n c a tr ng thái có n ng l ng E<sub>i</sub>

vì v y t s m t gi a hai tr ng thái n ng l ng có d ng :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{E_2 - E_1}{k_B T}} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{h\nu_{12}}{k_B T}}$$

K t h p các ph ng trình trên, ta có :

$$\frac{B_{12}\sigma(\nu_{12})}{A_{21} + B_{21}\sigma(\nu_{12})} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{h\nu_{12}}{k_B T}}$$

$$B_{12}\sigma(\nu_{12}) = [A_{21} + B_{21}\sigma(\nu_{12})] \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{h\nu_{12}}{k_B T}}$$

Từ đó suy ra: 
$$\sigma(\nu_{12}) = \frac{A_{21}}{\frac{g_1}{g_2} B_{12} e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - B_{21}}$$

Các hằng số  $A_{21}$ ,  $B_{12}$  và  $B_{21}$  gọi là các hằng số Einstein. Tính các số chuyển mức bức xạ, ta phải xác định các hằng số Einstein này. Khi nhiệt độ cao thì nhiệt độ vô cùng,  $T \rightarrow \infty$ , một phần năng lượng  $\sigma(\nu_{12})$  cũng phải tăng vô cùng. Do đó mô tả biểu thức trên phải tiến tới 0 khi  $T \rightarrow \infty$ . Từ đó ta có liên hệ giữa các hằng số Einstein:

$$\frac{g_1}{g_2} B_{12} = B_{21} \text{ hay } g_1 B_{12} = g_2 B_{21}$$

Trong trường hợp các năng lượng này không suy biến, ta có  $B_{12} = B_{21}$  ( $g_1 = g_2 = 1$ ). Thay các giá trị này vào biểu thức mật độ phần năng lượng, ta có:

$$\sigma(\nu_{12}) = \frac{A_{21}}{\frac{g_1}{g_2} B_{12} e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

Một khác, có thể xác định mật độ phần năng lượng theo công thức Planck:

$$\sigma(\nu) = \frac{8\pi n^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

Vậy nên là các khúc xạ

Từ đó rút ra: 
$$A_{21} = \frac{g_1}{g_2} \cdot \frac{8\pi n^3}{c^3} \cdot B_{12}$$

Như vậy, biểu thức cho ta mối quan hệ giữa các hằng số Einstein, tức là mối liên hệ giữa xác suất chuyển dịch bức xạ phát, xác suất chuyển dịch hấp thụ và xác suất dịch chuyển bức xạ ngược bức xạ. Biểu diễn quá trình hấp thụ và bức xạ năng lượng của nguyên tử thực tế cần xác định mật độ trong ba hằng số Einstein, các hằng số còn lại có thể tìm được thông qua các hằng số quan hệ trên. Thông thường, người ta xem xác suất dịch chuyển bức xạ phát  $A_{21}$  là hằng số chính và các tính toán lý thuyết đều dựa trên hành theo hằng số này. Các kết quả tính toán cũng cho



th y xác su t chuy n d i b c x t phát c bi u di n qua bình ph ng y u t ma tr n c a mô men l ng c c c tr ng cho chuy n d i

$$A_{21} = \frac{64\pi^4 v_{12}^3}{3hc^3 g_2} |P_{21}|^2$$

v i  $P_{21} = \int \psi_2^* \vec{P} \psi_1 dV = e \int \psi_2^* \vec{r} \psi_1 dV$

trong ó h s  $A_{21}$  có th xác nh b ng th c nghi m.

#### 4. Liên h gi a th i gian s ng và các h s Einstein

Gi s b ng cách nào ó, nguyên t c a t tr ng thái  $E_1$  n tr ng thái  $E_2$ . N u không có tác ng c a tr ng ngoài thì ch có th x y ra các b c x t phát, khi ó các nguyên t ch t n t i tr ng thái  $E_2$  trong m t kho ng th i gian ng n nào ó và tr v tr ng thái  $E_1$  sau khi b c x photon có t n s  $v_{21}$ . S nguyên t  $E_2$  gi m i do b c x t phát trong kho ng th i gian dt b ng  $dN_2 = -N_2 A_{21} dt$ . M t khác ta có :

$$N_2(t) = N_2(0) \cdot e^{-A_{21}t}$$

Theo nh ngh a, th i gian s ng trung bình mà nguyên t t n t i tr ng thái  $E_2$ , c g i là th i gian s ng c a tr ng thái ó, c xác nh theo bi u th c :

$$\tau_2 = \frac{1}{N_2(0)} \int_0^\infty t \cdot dN_2$$

$$\text{Hay } \tau_2 = -A_{21} \int_0^\infty t e^{-A_{21}t} dt = -\frac{1}{A_{21}} \int_0^\infty x e^{-x} dx = \frac{1}{A_{21}}$$

V y, th i gian s ng trong tr ng thái kích thích c a nguyên t là i l ng ngh ch o v i xác su t chuy n d i b c x t phát c a nguyên t t tr ng thái ó v tr ng thái c b n. Nh v y, n u xác nh c  $\tau_2$ , ta s d dàng tìm c  $A_{21}$ .

Vì c ng b c x t phát I t l v i m t h t tr ng thái kích thích v à xác su t chuy n d i, do ó ta có :

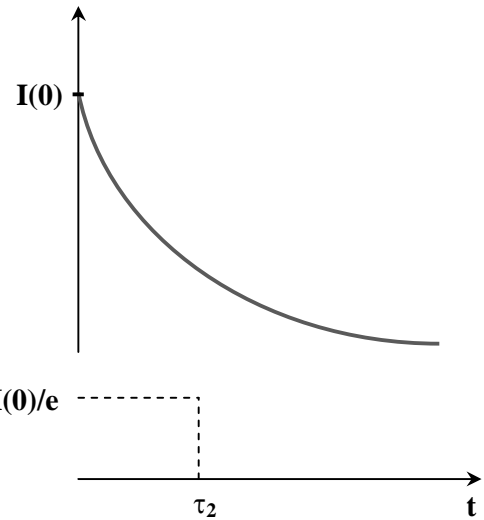
$$I = A_{21} N_2 h v_{12}$$

Do ó ta có th suy ra bi u th c cho th i gian s ng  $\tau_2$  t bi u th c I :  $I(t) = I(0) e^{-\frac{t}{\tau_2}}$

$$I(t)$$

Chúng ta có thể thấy rõ hơn ý nghĩa vật lý của thời gian sống  $\tau_2$ . Trong khoảng thời gian  $\tau_2$ , cường độ bức xạ phát (hoặc mật độ nguyên tử trong trạng thái  $E_2$ ) giảm đi e lần.

Đưa vào suy giảm cường độ bức xạ phát của nguyên tử khi chuyển về trạng thái cân bằng, ta có thể xác định thời gian sống trung bình của nguyên tử trong trạng thái kích thích, đó chính là xác suất chuyển dời tự phát. Thông thường, với các hệ nguyên tử, thời gian sống trung bình  $\tau_2$  thường  $10^{-8}$  s, do đó xác suất chuyển dời  $A_{21} \sim 10^8 \text{ s}^{-1}$ .



**Hình 3.** Sự phụ thuộc của  $I(t)$  vào  $t$  và phương pháp xác định thời gian sống

### 5. Hệ số hấp thụ của môi trường vật chất

Đưa vào các tính toán trên, ta có thể tính được suy giảm cường độ khi ánh sáng truyền trong môi trường vật chất, hay hệ số hấp thụ của môi trường. Xét ánh sáng đơn sắc, tần số  $\nu_{12}$  truyền trong môi trường chứa các nguyên tử có hai mức năng lượng  $E_{12}$  và  $E_{21}$  sao cho

$$E_2 - E_1 = h\nu_{12}$$

Khi bức xạ ion hóa truyền trong môi trường vật chất có bề dày  $dx$  thì cường độ của nó suy giảm một lượng  $-dI = I \cdot \alpha dx$ , với  $\alpha$  là hệ số truyền cho hệ số hấp thụ của môi trường, khi đó ta tính được:

$$I_v(x) = I_v(0) e^{-\alpha x}$$

Mặt khác, để tác động của bức xạ hồng ngoại có thể xảy ra hai quá trình chuyển dời năng lượng là hấp thụ và bức xạ cưỡng bức của photon. Sự thay đổi năng lượng của bức xạ khi bức xạ đi qua môi trường vật chất gây ra do các dịch chuyển trên bằng:

$$-dI = [B_{12}N_1\sigma(v_{12}).hv_{12} - B_{21}N_2\sigma(v_{12}).hv_{12}]dx$$

Thay  $B_{21} = \frac{g_1}{g_2}B_{12}$  và  $\sigma(v_{12}) = \frac{I}{v} = \frac{nI}{c}$  với  $n$  là chiết suất môi trường,  $v$  là vận tốc lan truyền của bức xạ. Khi đó ta có:

$$-dI = \frac{nI}{c} B_{12}hv_{12}[N_1 - \frac{g_1}{g_2} N_2]dx$$

Lấy vi phân biểu thức  $I_v(x) = I_v(0)e^{-\alpha x}$  rồi so sánh với hệ thức trên, ta có hệ số hấp thụ

$$\alpha = B_{12}[N_1 - \frac{g_1}{g_2} N_2] \frac{nhv_{12}}{c}$$

Nếu  $g_1 = g_2$  thì  $\alpha = B_{12}[N_1 - N_2] \frac{nhv_{12}}{c}$

Trong môi trường trạng thái cân bằng nhiệt động thì sự phân bố các mức năng lượng của nguyên tử tuân theo phân bố Boltzmann. Nếu mức năng lượng cao hơn  $E_2$ , nghĩa là  $N_1 > N_2$  và hệ số hấp thụ  $\alpha$  bao giờ cũng là một lượng dương. Trong trường hợp này bức xạ hồng ngoại sẽ giảm dần khi lan truyền trong môi trường vật chất.

Ngược lại, nếu bằng một cách nào đó, ta phá vỡ sự cân bằng nhiệt động, làm cho một các trạng thái có năng lượng  $E_2$  lớn hơn một trạng thái có năng lượng  $E_1$ , hay  $N_2 > N_1$ , hệ số hấp thụ  $\alpha$  sẽ nhận giá trị âm. Điều này có nghĩa là môi trường truyền năng lượng đi cho bức xạ ngoài và khuếch đại bức xạ ngoài khi lan truyền trong môi trường vật chất có một trạng thái  $N_2 > N_1$ . Môi trường như vậy được gọi là môi trường hoạt tính (hay hoạt chất) và các trạng thái này được gọi là trạng thái metastable (ổn định).

Một cách hình thức, môi trường hoạt tính còn được gọi là môi trường nhiệt âm, bởi vì theo định luật Boltzmann, ta có  $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2-E_1}{k_B T}}$ . Nếu  $E_2 > E_1$  và muốn cho

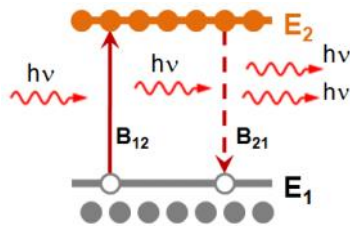
$N_2 > N_1$  thì giá trị nhiệt độ phải âm. Nhiệt độ âm giả thiết này chỉ có tính hình thức,

do hình thức trong điều kiện không cân bằng nên không thể mô tả bằng thống kê Boltzmann.

Như vậy, khi bức xạ i n t t r u y n trong môi trường hoạt tính thì sẽ có khuếch đại và điều này chính là cơ sở của laser.

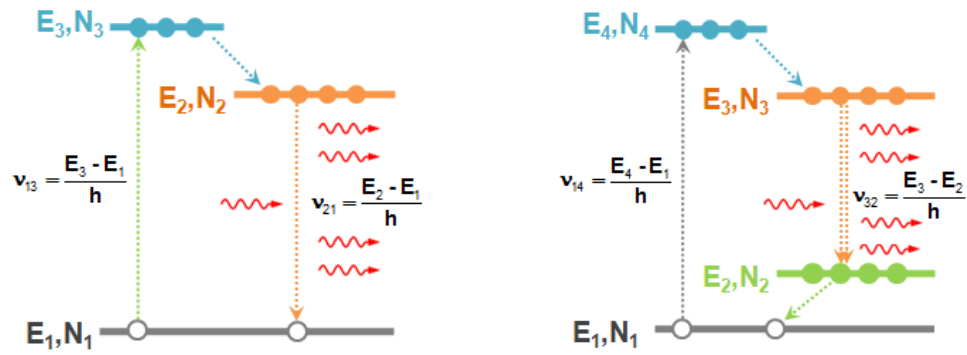
### 6. Sự l o n của môi trường m t o l n

Nếu môi trường hoạt tính có hai mức năng lượng  $E_1$  và  $E_2$ , ta có thể kích thích một số nguyên tử chuyển trạng thái có mức năng lượng  $E_1$  sang mức năng lượng  $E_2$ , kết quả là  $N_1$  giảm và  $N_2$  tăng dần. Tuy nhiên, khi  $N_2$  tăng thì xác suất xảy ra quá trình phát xạ ngược, nghĩa là quá trình nguyên tử chuyển trạng thái kích thích về trạng thái cân bằng và làm giảm  $N_2$ . Cuối cùng hệ thống đạt trạng thái cân bằng và không thể tạo ra môi trường  $N_2 > N_1$ , hay hình thành hai mức năng lượng  $E_1$  và  $E_2$  không thể tạo ra môi trường m t o l n.



Hình 4. Sự l o n và các dịch chuyển i v i h 2 m c.

t o m t o l n, khi đó người ta tạo ra môi trường hoạt tính trong đó nguyên tử có 3 (hoặc 4) mức năng lượng  $E_1, E_2$  và  $E_3$  sao cho thời gian sống của nguyên tử ở mức  $E_3$  rất nhỏ so với thời gian sống ở mức  $E_2$ . Bằng phương pháp bơm quang học hoặc bơm i n, người ta kích thích các nguyên tử chuyển trạng thái có năng lượng  $E_1$  lên mức năng lượng  $E_3$ . Vì thời gian sống của nguyên tử ở mức  $E_3$  nhỏ hơn nhiều so với thời gian sống ở mức  $E_2$  nên nguyên tử nhanh chóng chuyển về mức  $E_2$ . Kết quả là tạo ra trạng thái m t o l n vì  $N_2 > N_1$ .



**Hình 5.** Sơ đồ các mức năng lượng và các dịch chuyển trong hệ laser 3 mức (trái) và 4 mức (phải)

Hiện nay có rất nhiều chất khí, rắn hoặc lỏng được sử dụng làm môi trường hoạt động cho laser. Laser khí có các hoạt chất là các khí nguyên tử (Xe, Ar ...) cùng các ion của chúng hay các phân tử khí nguyên tử như laser He - Ne rất thông dụng hiện nay. Trong môi trường này, người ta còn sử dụng khí phân tử như N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ... hay phân tử khí phân tử như CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub> - Ne hoặc CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O ... . Đối với laser rắn, các hoạt chất có thể là các chất tinh thể hoặc vô định hình có pha tạp các ion nguyên tử điển hình như Nd<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup> ... điển hình là laser rắn hồng ngọc Ruby và laser YAG (Yttrium - Al - Garnet) có hoạt chất là Y<sub>3</sub>La<sub>5</sub>O<sub>12</sub> pha tạp ion Nd<sup>3+</sup> rất thông dụng hiện nay. Một số laser bán dẫn sử dụng hoạt chất là các bán dẫn phát quang như GaAs, RbS hay RbTe ... . Cùng với đó, các laser lỏng sử dụng hoạt chất là các chất màu hữu cơ (laser màu), vì nguyên nhân thế nên là một máy phát laser khác.

### III r ng c a v ch ph

#### 1. r ng c a m c n ng l ng

Các m c n ng l ng c a h t khi không có tác ng t bên ngoài nào vào h thì các m c n ng l ng u có m t r ng nh t nh. r ng c a các m c n ng l ng có th c xác nh b i nguyên lý b t nh Heisenberg

$$\Delta E = \frac{\hbar}{\tau} \text{ trong ó h: } \hbar \text{ : h ng s Plank, } \tau \text{ : th i gian s ng}$$

Nh v y r ng c a m c n ng l ng càng l n n u th i gian s ng càng nh . T ó ta a ra m t s h qu

- i v i m c siêu b n có th i gian s ng l n nên r ng nh .
- M c c b n có r t l n nên coi nên có r ng b ng không
- Các m c kích thích có th i gian s ng nh nên có r ng khá l n.

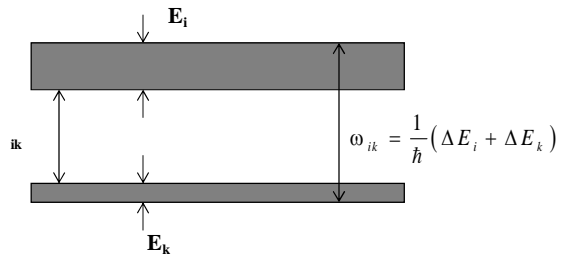
#### 2. r ng t nhiên c a v ch ph

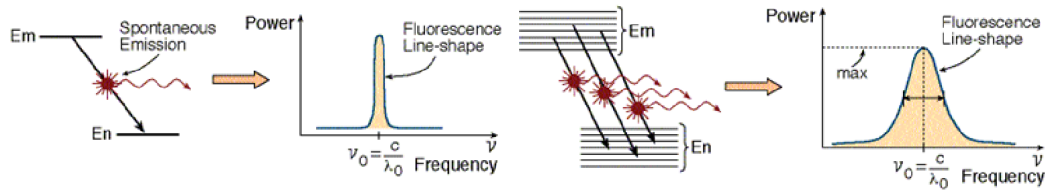
Do có s nhòe hóa m c n ng l ng, nên ngay khi không b kích thích, nh ng v ch ph b c x hay h p th c a nguyên t c ng có r ng nh t nh g i là r ng t nhiên.

Nh v y **r ng t nhiên c nh ngh a là r ng c a v ch ph nguyên t ng yên, cô l p, không b kích thích.**

S không xác nh giá tr t n s chuy n m c gi a hai m c n ng l ng c xác nh b i r ng c a chúng nh hình bên d i

$$\Delta \omega_{ki} = \frac{1}{\hbar} (\Delta E_i + \Delta E_k)$$



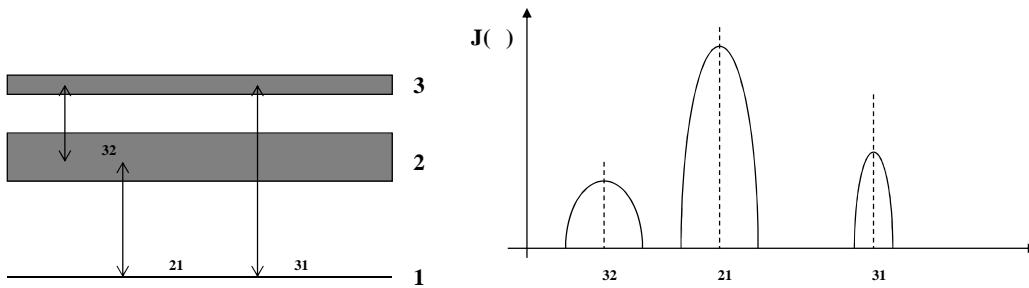


Trên hình vẽ ta thấy nếu các mức năng lượng  $E_m$  và  $E_n$  không có bề dày thì phổ thu được sẽ có dạng như sau

Nếu các mức năng lượng  $E_m$  và  $E_n$  có bề dày nhất định thì hình ảnh phổ thu được sẽ có dạng như sau

Sau đây ta sẽ xét một ví dụ làm rõ hơn vấn đề này

Giả sử có 3 trạng thái như hình vẽ



➤ **So sánh các dạng phổ của 3 quá trình chuyển dời:**

- Với chuyển dời 2-1 có dạng như sau

Giải thích: mức 2 có độ rộng lớn nhất  $\rightarrow$  thời gian sống của nó nhỏ nhất  $\rightarrow$  xác suất d chuyển dời lớn nhất  $\rightarrow$  số d chuyển dời nhiều nhất  $\rightarrow$  số chuyển dời là nhiều nhất  $\rightarrow$  dạng phổ như sau

- Với chuyển dời 3-2 và 3-1 có dạng như sau

Giải thích: mức 3 có độ rộng nhỏ  $\rightarrow$  thời gian sống của nó lớn  $\rightarrow$  xác suất d chuyển dời nhỏ  $\rightarrow$  số d chuyển dời ít nhất  $\rightarrow$  số chuyển dời là thấp  $\rightarrow$  dạng phổ như sau

➤ **So sánh về độ rộng vạch phổ**

- Với chuyển dời 2-1 có độ rộng lớn

Giải thích: vì bất định  $\Delta\omega_{21}$  tính như sau 
$$\Delta\omega_{21} = \frac{1}{\hbar}(\Delta E_2 + \Delta E_1)$$

Mà  $\Delta E_2$  lớn do đó  $\Delta\omega_{21}$  lớn

- Với chuyển dời 3-2 và 3-1 có độ rộng khác nhau, vạch 3-2 rộng hơn vạch 3-1

Giải thích: vì

$$\Delta\omega_{31} = \frac{1}{\hbar}(\Delta E_3 + \Delta E_1) \quad \Delta\omega_{32} = \frac{1}{\hbar}(\Delta E_3 + \Delta E_2)$$

Mà  $\Delta E_3 + \Delta E_2 > \Delta E_3 + \Delta E_1$

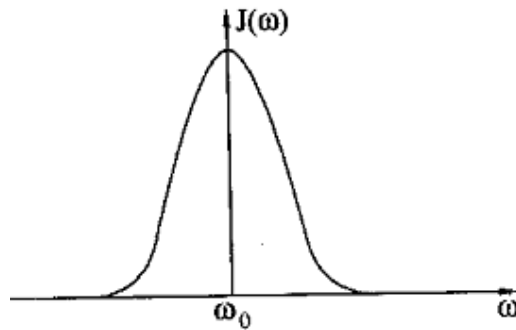
Nên  $\Delta \omega_{32} > \Delta \omega_{31}$

**Tính cường độ và bước sóng vạch phổ**

Dựa trên quan niệm lượng tử ta xác định cường độ vạch phổ theo công thức sau

$$I_{ki} = I_0 \frac{\left(\frac{\gamma_{ki}}{2}\right)^2}{4\pi^2(\nu_0 - \nu_{ki})^2 + \left(\frac{\gamma_{ki}}{2}\right)^2}$$

Trong đó  $\gamma_{ki}$ : Xác suất dãn chuyển từ trạng thái k về trạng thái i  
 Nhận xét ta thấy cường độ vạch phổ tuân theo phân bố Lorentz (phân bố Lorentz theo toán học có dạng) nên đường vi phân vạch phổ còn gọi là đường vi phân Lorentz



Hình 1.3. Đường bao Lorentz.

**nh nghĩa bước sóng vạch phổ**: là khoảng cách tần số giữa hai vạch mà có cường độ vạch phổ bằng 1/2 giá trị cực đại của nó  
 từ biểu thức  $I_{ki} = \frac{I_0}{2}$  thay vào ta có  $\Delta \nu_T = \frac{\gamma_{ki}}{2\pi}$

**3. giãn rộng Doppler của vạch quang phổ**  
**3.1 Hiệu ứng Doppler - giãn rộng Doppler**



Khi các nguyên tử chuyển động với vận tốc  $v_0$  thì vận tốc thu được theo phương làm vi phạm góc  $\theta$ . Theo hiệu ứng Doppler thì tần số thu được là

$$v = v_0 \left(1 + \frac{v \cos \theta}{c}\right)$$

Khi các nguyên tử có vận tốc tuân theo phân bố Maxwell

$$F(v) = \text{const.} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)$$

Số nguyên tử  $dN$

$$dN = \text{const.} \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv_x dv_y dv_z$$

ta có xác suất tìm thấy nguyên tử có vận tốc  $v_x$  trong khoảng  $[v_x, v_x + dv_x]$  là

$$d\rho = \sqrt{\frac{\beta}{\pi}} e^{-\beta v_x^2} dv_x \quad \text{với} \quad \beta = \sqrt{\frac{\mu}{2RT}}$$

$\mu$ : là khối lượng nguyên tử

Hiệu ứng Doppler suy ra:

$$V_x = \frac{c}{v_0}(v - v_0), \quad dv_x = \frac{c}{v_0} dv$$

Cường độ quang phổ  $I_\nu d\nu$  trong khoảng tần số  $\nu, \nu + d\nu$  từ các nguyên tử  $dN$  có vận tốc  $v_x$ , mà số nguyên tử này tỉ lệ với  $d\rho$

Tính ra ta có

$$I_\nu = I_0 e^{-\beta c^2 \left(\frac{\nu - \nu_0}{\nu_0}\right)^2}$$

Như vậy cường độ phân bố theo định luật Gauss

Từ  $I_{ki} = \frac{I_0}{2}$  ta suy ra

$$\Delta\nu_D = \frac{2\nu_0 \sqrt{\ln 2}}{c\sqrt{\beta}} = \frac{2\nu_0 \sqrt{2 \ln 2 RT}}{c\sqrt{\mu}}$$

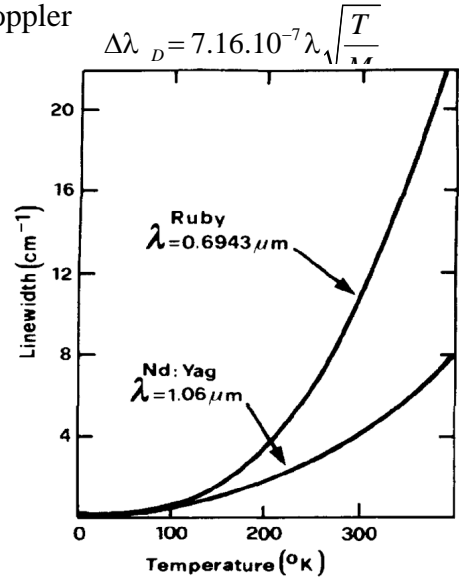
Suy ra  $\Delta\lambda_D = 7.16 \cdot 10^{-7} \lambda \sqrt{\frac{T}{M}}$

### 3.2 Mối quan hệ giữa nhiệt độ và giãn rộng Doppler

Dựa vào công thức xác định giãn rộng Doppler  
Ta thấy khi nhiệt độ càng lớn thì giãn rộng càng tăng

Hình bên mô tả biểu đồ về giãn rộng Doppler theo nhiệt độ của hai loại laser Ruby và Nd: Yag

Như vậy trong kỹ thuật laser ánh sáng laser thu được càng sắc nét (rộng vạch phổ) thì phổ càng rộng do môi trường hoạt động



### 3.3 So sánh giãn rộng Doppler so với rộng tự nhiên

so sánh cả hai giãn rộng này ta xét một ví dụ như sau

Ví dụ: xác định giãn rộng Doppler của vạch 6563 Å của nguyên tử H  
Giả sử:

ion hydro M=1, xét nhiệt độ phòng T=300 K,

Dựa vào công thức  $\Delta\lambda_D = 7.16 \cdot 10^{-7} \lambda \sqrt{\frac{T}{M}}$  ta thu được  $\Delta\lambda_D = 0,045 \text{ \AA}$

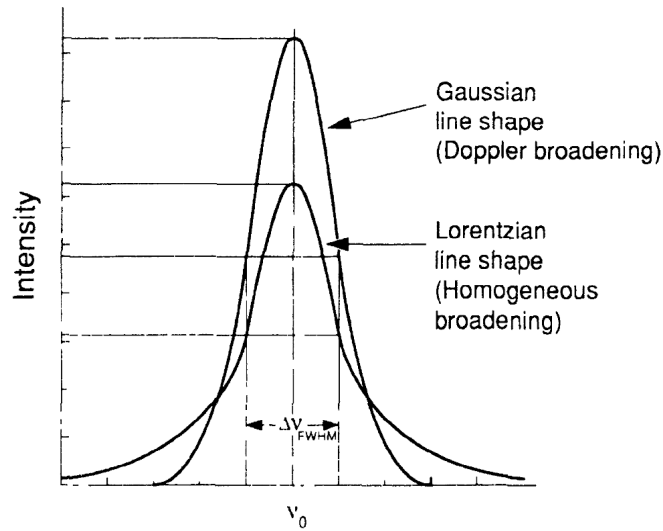
Ngoài ra chúng ta có thể tính được rộng tự nhiên khoảng  $7.10^{-5} \text{ \AA}$

Như vậy ta thấy: **giãn rộng Doppler rất lớn so với giãn rộng tự nhiên**

Bảng dưới đây so sánh giãn rộng Doppler ( $\Delta\nu_D$ ) so với giãn rộng tự nhiên ( $\Delta\nu_N$ ) của Laser thông dụng

**Doppler versus Natural Broadening**

Laser species	$\lambda$ (nm)	$f$	$A$ ( $s^{-1}$ )	$\Delta\nu^N$ (Hz)	$\Delta\nu_D$ (Hz)
Neon (He-Ne)	632.8	0.012	$3.4 \times 10^6$	$1.4 \times 10^7$	$1.5 \times 10^9$
Argon ion	488.0	0.418	$7.8 \times 10^7$	$4.5 \times 10^8$	$2.7 \times 10^9$
Cadmium (He-Cd)	441.6	0.006	$1.4 \times 10^6$	$4.5 \times 10^7$	$1.1 \times 10^9$
Copper	510.5	0.005	$2.0 \times 10^6$	$3.6 \times 10^5$	$2.3 \times 10^9$



**Figure 4-16** Comparison of emission lineshapes from two species radiating at the same center frequency  $\nu_0$ , in which the total emission is the same but with one species homogeneously broadened (Lorentzian shape) and one Doppler broadened (Gaussian shape)

Hình vẽ trên so sánh giãn rộng Doppler (tuân theo phân bố Gauss) và giãn rộng tự nhiên (tuân theo phân bố Lorentz)

### 3.4 Hình dạng phổ khi xét đến giãn rộng Doppler

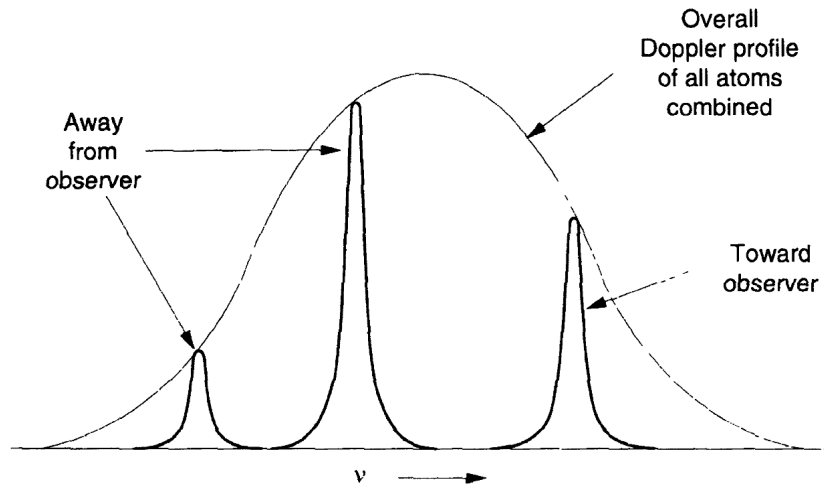
Trong vật chất thì các nguyên tử chuyển động hỗn loạn theo những hướng khác nhau. Khi gặp tia có  $N$  nguyên tử mức kích thích  $E_i$  chuyển xuống mức thấp  $E_k$  và phát ra bức xạ có tần số  $\nu$ .

Vì chuyển động hỗn loạn của nguyên tử nên:

• Ở vị trí nguyên tử chuyển động ra xa máy thu thì tần số máy thu nhận được sẽ nhỏ hơn  $\nu$

• Ở vị trí nguyên tử chuyển động lại gần máy thu thì tần số thu được sẽ có tần số lớn hơn  $\nu$ .

Để minh họa các bức xạ từ những nguyên tử này cho hình ảnh phổ với giãn rộng gây ra do hiệu ứng Doppler như hình bên dưới



**Figure 4-12** Shape of a Doppler-broadened emission line, indicating the natural emission linewidths of individual atoms radiating while traveling in various directions

Natural emission linewidth (Lorentzian profile) of many individual atoms traveling in different directions, thereby producing an overall Doppler profile

**4. gi n r ng do va ch m ( gi n r ng Lorentz)**

Ngoài gi n r ng do chuy n ng c a nguyên t , phân t thì còn có s gi n r ng do va ch m gi a các h t

Khi va ch m các nguyên t trao i n ng l ng và n ng l ng này làm kích thích nguyên t

T ng tác do va ch m gi a các nguyên t làm m r ng v ch quang ph

C ng v ch quang ph khi có s gi n r ng do va ch m c tính b ng

$$I_v = I_0 \frac{\left(\frac{1}{\tau_0}\right)^2}{4\pi^2(v_0 - v)^2 + \left(\frac{1}{\tau_0}\right)^2} \qquad \tau_0 = \frac{1}{vN_0\pi\sigma^2}$$

D ng phân b Lorentz

Trong ó  $\tau_0$ : là th i gian trung bình c a qu ng ng t do

Và c ng t ng t nh trên thay  $I=I_0/2$  ta tính c r ng v ch ph

$$\Delta\lambda_L = 5.10^9 \frac{P\sigma^2}{\sqrt{\mu T}} \lambda^2 \quad \text{Trong ó: P là áp su t}$$

Nh v y: m r ng v ch ph do va ch m ph thu c v ào áp su t, khi áp su t t ng thì m r ng t ng

## TÀI LI U THAM KH O

1. Nguy ñn H u Chí và Tr ñn Tu ñn, *V t lý laser*, NXB HQG TP.HCM, 2002.
2. Tr ñn c Hân, Nguy ñn Minh Hi ñn, *C s k thu t laser*, NXB GD, 2005.
3. Nguy ñn V n ñn, *Quang ph ñnguyên t và ñng d ñng*, NXB HQG TP.HCM, 2002.
4. D ñng Ái Ph ñng, *Quang ph ñ phân t và ñng d ñng*, NXB HQG TP.HCM, 2002.
5. Walter Koechner , Michael Bass, *Solid-state Lasers*, Springer, 2003.
6. W. Demtroeder, *Laser spectroscopy* , Springer, 2003.
7. William T. Silfvast, *Laser Fundamentals*, Cambridge, 2004.
8. O. Svelto, *Principle of laser*, plenum press Co, USA, 1976.
9. W. Miloni, H. Eberty, *Lasers*, New york, 1990.