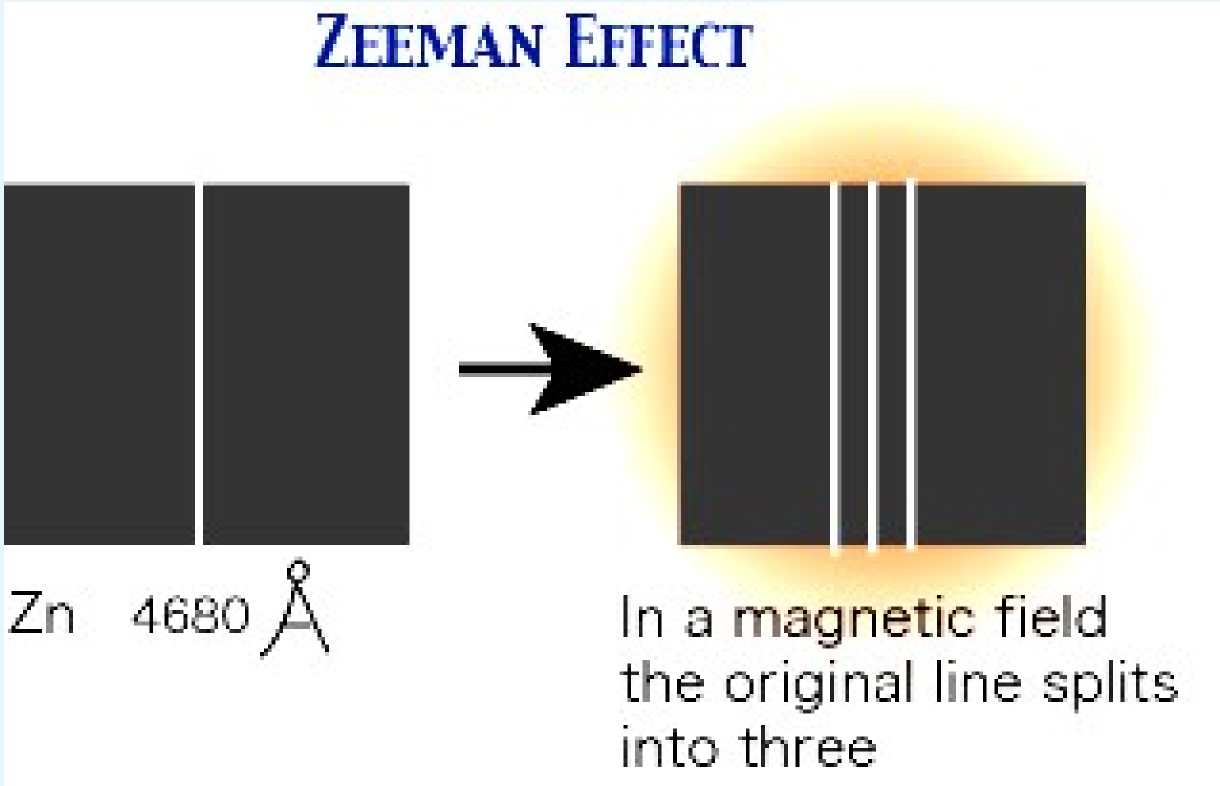
Zeeman effect

Photo of pietez Zeeman



Ôn lại: các hiệu ứng Zeeman

- Nếu $B_{ex} << B_{in}$: Ta có cấu trúc mức năng lượng tinh tế. Lúc đó toán tử nhiễu loạn H’ được xem là rất bé hay **không có nhiễu loạn.** Trường yếu (vẫn tính bổ túc năng lượng TDT và tương tác Spin-quỹ đạo)
- Nếu $B_{ex} >> B_{in}$: Ta có hiệu ứng Zeeman và bài toán xem là **nhiễu loạn.** Trường mạnh.
- Nếu B_{ex} B_{in} : Ta cần xét đến **lý thuyết nhiễu loạn có suy biến** và cần dùng đến bài toán trị riêng và vector riêng của ma trận H’

c. Hiệu ứng Zeemann trường trung bình

- **Trường hợp này thì cả hai bổ chính năng lượng về Zeemann và non Zeemann (TDT + SO) đều có tác dụng gần như nhau**

$$H^1 \quad H^1_Z \quad H^1_{NZ} \qquad (4.14)$$

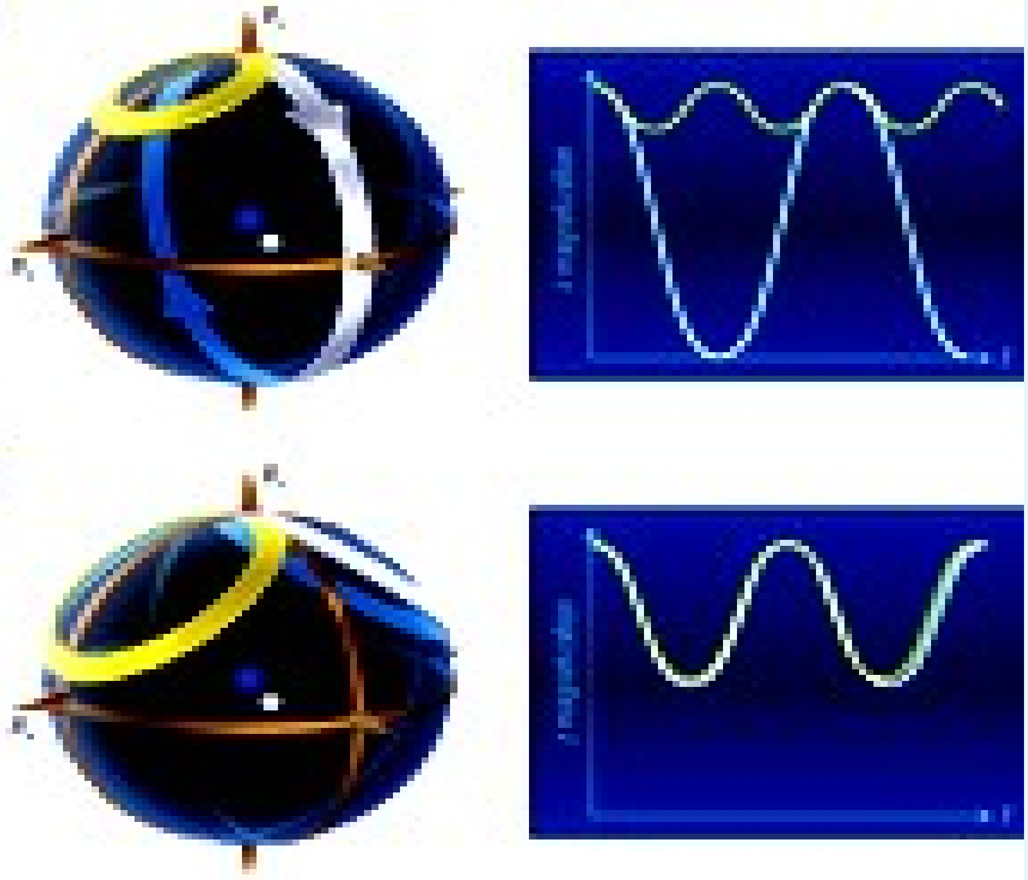
Bài toán xem như sự nhiễu loạn có suy biến năng lượng.

Xét cụ thể mức năng lượng n = 2, bài tập 6wa cho ta 8 trạng thái khác nhau và được mô tả như sau:

$$n \quad 2, \ell \quad 0\,,1; J; m_J$$

Thống nhất ký hiệu các trạng thái

$n, \ell, j, m_j \quad (j = \ell \pm \frac{1}{2}, \quad -J \le m_j \le J) \quad |j\, m_j\rangle$



$$l = 0 \begin{cases} \psi_1 \equiv \left|\tfrac{1}{2}\ \tfrac{1}{2}\right\rangle \\ \psi_2 \equiv \left|\tfrac{1}{2}\ \tfrac{-1}{2}\right\rangle \end{cases}$$

$$l = 1 \begin{cases} \psi_3 \equiv \left|\tfrac{3}{2}\ \tfrac{3}{2}\right\rangle \\ \psi_4 \equiv \left|\tfrac{3}{2}\ \tfrac{-3}{2}\right\rangle \\ \psi_5 \equiv \left|\tfrac{3}{2}\ \tfrac{1}{2}\right\rangle \\ \psi_6 \equiv \left|\tfrac{1}{2}\ \tfrac{1}{2}\right\rangle \\ \psi_7 \equiv \left|\tfrac{3}{2}\ \tfrac{-1}{2}\right\rangle \\ \psi_8 \equiv \left|\tfrac{1}{2}\ \tfrac{-1}{2}\right\rangle \end{cases}$$

Ôn lại 8 mức năng lượng

$$H' \quad H'_{NZ} \quad H'_{Z}$$

$$\frac{13,6(eV)}{n^3} \quad {}^{2} \quad \frac{3}{4n} \qquad \frac{\ell(\ell \quad 1) \quad m_\ell m_s}{\ell(\ell \quad 1/2)(\ell \quad 1)}$$

$${}_{B}B_{ex}(m_\ell \quad 2m_s) \qquad (4.14)$$

Bài tập 7w: Giải tìm trị riêng và vector riêng của matrix H’

$$\begin{pmatrix} 5\gamma-\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5\gamma+\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma-2\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma+2\beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma-\frac{2}{3}\beta & \frac{\sqrt{2}}{3}\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{3}\beta & 5\gamma-\frac{1}{3}\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma+\frac{2}{3}\beta & \frac{\sqrt{2}}{3}\beta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{3}\beta & 5\gamma+\frac{1}{3}\beta \end{pmatrix} = H'$$

$$\gamma \equiv (\alpha/8)^2 13.6\ \text{eV} \quad \text{and} \quad \beta \equiv \mu_B B_{\text{ext}}.$$

Re view :   (MXH'   MX1)   0   (4.14)

Giải phương trình 4.14 ta xác định 8 trị riêng   là năng lượng:

Các nghiệm về năng lượng tương ứng với 8 hàm sóng theo thứ tự trên

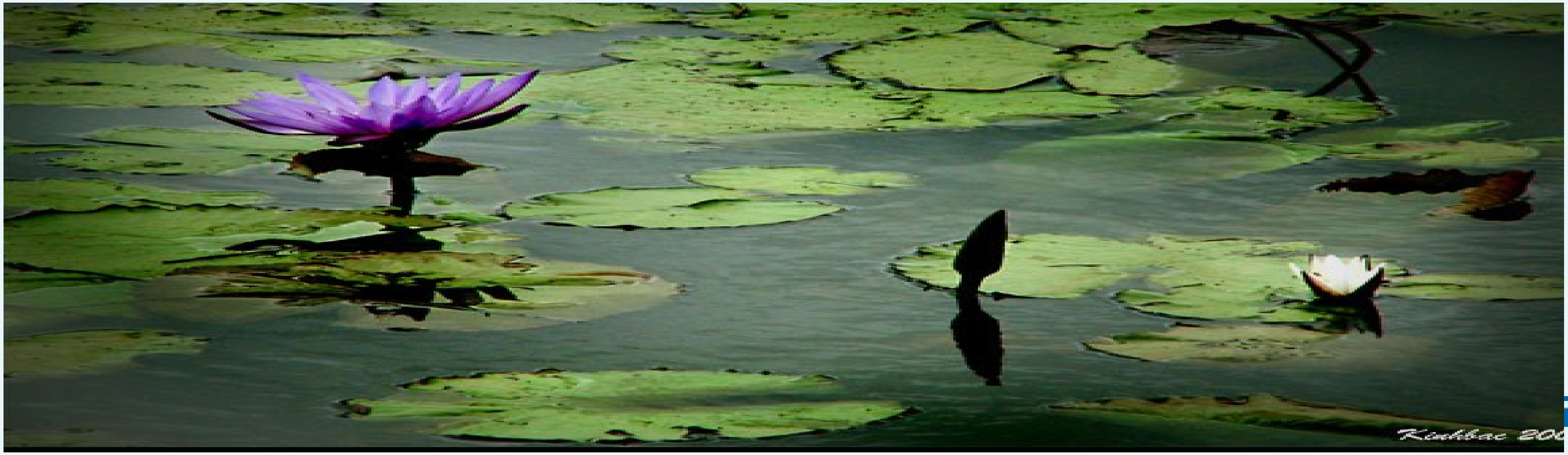
- **Kiểm tra với 8 nghiệm khác nhau ta có 8 mức năng lượng :**

$$\epsilon_1 = E_2 - 5\gamma + \beta$$
$$\epsilon_2 = E_2 - 5\gamma - \beta$$
$$\epsilon_3 = E_2 - \gamma + 2\beta$$
$$\epsilon_4 = E_2 - \gamma - 2\beta$$
$$\epsilon_5 = E_2 - 3\gamma + \beta/2 + \sqrt{4\gamma^2 + (2/3)\gamma\beta + \beta^2/4}$$
$$\epsilon_6 = E_2 - 3\gamma + \beta/2 - \sqrt{4\gamma^2 + (2/3)\gamma\beta + \beta^2/4}$$
$$\epsilon_7 = E_2 - 3\gamma - \beta/2 + \sqrt{4\gamma^2 - (2/3)\gamma\beta + \beta^2/4}$$
$$\epsilon_8 = E_2 - 3\gamma - \beta/2 - \sqrt{4\gamma^2 - (2/3)\gamma\beta + \beta^2/4}$$

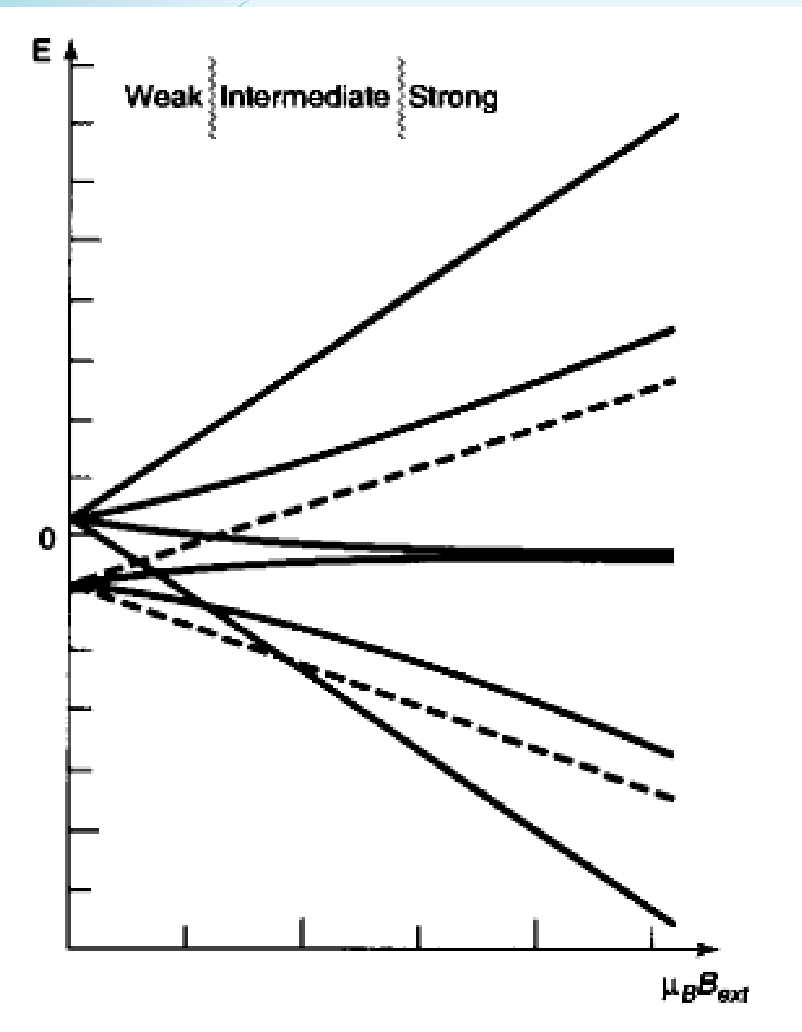
Kết quả tổng hợp các trị riêng

Bài tập 8: Tính toán cụ thể

- Tính ra giá trị 8 mức năng lượng cụ thể cho bài toán Hydrogen với n=2 và từ trường ngoài là B= 1T
- (không giải vector riêng vì không cần xác định các tổ hợp hàm sóng)



Mô phỏng



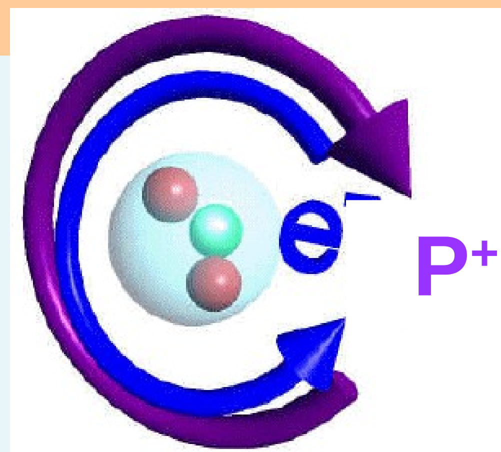
Cho biết việc xếp 8 trạng thái suy biến có theo thứ tự tăng hay giảm của các mức năng lượng tương ứng vừa tính ở câu trên không?

Bài tập 9

- Giải lại tường minh bài toán nhiễu loạn suy biến cho nguyên tử Hydrogen ở mức (n=3). Giả sử từ trường bên ngoài cùng cấp với từ trường quỹ đạo của electron.
- Tính chính xác các mức năng lượng bằng phương pháp giải bài toán trị riêng và vector riêng
- (Hint: giải ma trận có 18 thành phần)

2. Cấu trúc tách vạch siêu tinh tế

- **Thực ra, proton cũng tạo một momen từ Spin do chuyển động tự quay của nó, độ lớn là khá nhỏ so với momen từ của electron vì khối lượng của nó lớn hơn e nhiều lần.**



$$\vec{\ }_{Se} \qquad \frac{e}{m_e}\vec{S}_e \qquad \vec{\ }_{SP} \qquad \frac{g_P.e}{2m_P}\vec{S}_P \qquad (4.16)$$

2. Cấu trúc tách vạch siêu tinh tế

Hằng số g_P trong 4.16 thức ra là số hạt Quarks tạo thành 1 hạt proton và gần đúng có thể tính là 5,592.

Theo Điện động lực học cổ điển, với momen từ 4.16 nó tạo ra một cảm ứng từ tại nơi cách nó một khoảng r (tâm e) là :

$$\vec{B} \quad \frac{{}_0}{4\ r^3}\, 3(\vec{\ }.\hat{r})\hat{r} \quad \vec{\ } \qquad \frac{2\ {}_0}{3}\, \vec{\ } \quad {}^3(\vec{r}) \qquad (4.17)$$

Hàm delta

Bài tập 9w : Xác định Hamiltoian

CANTHO UNIVERSITY

Xét electron khi có từ trường tạo bởi Spin proton

Đưa biểu thức 4.16 (cho electron và cả proton) vào 4.17 rồi biến đổi và chứng minh là:

$$H'_P \quad \frac{{}_0 g.e^2}{8\ \ m_P m_e} \frac{3(S_P.\hat{r})(S_e.\hat{r})\hat{r} \quad S_P S_e}{r^3} \quad \frac{{}_0 g.e^2}{3m_P m_e} \vec{S}_P \vec{S}_e \ {}^3(\vec{r}) \qquad (4.17)$$

Phụ thuộc vào lý thuyết nhiễu loạn cho bổ chính bậc nhất của năng lượng đó là giá trị trung bình của toán tử nhiễu loạn ở trạng thái không NL

CANTHO UNIVERSITY

Bài tập 9w : Xác định Hamiltoian

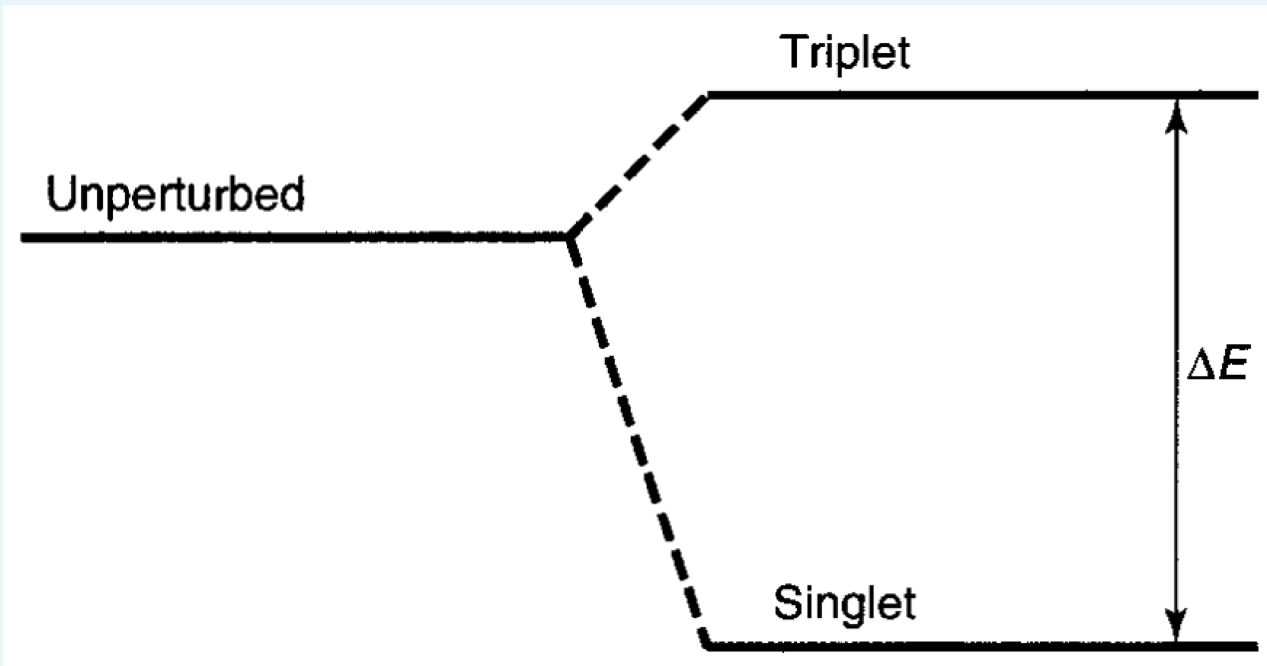
$$E_P^1 \quad \frac{{}_0 g.e^2}{8 \quad m_P m_e} \left\langle \frac{3(S_P.\hat{r})(S_e.\hat{r})\hat{r} \quad S_P S_e}{r^3} \right\rangle$$

$$\frac{{}_0 g.e^2}{3m_P m_e} \left\langle \vec{S}_P \vec{S}_e \right\rangle \left| (0) \right|^2 \qquad (4.18)$$

Với trạng thái cơ bản hay bất kỳ trạng thái mà / là bằng không, hàm sóng là đối xứng cầu. Do đó số hạng đầu trong 4.18 là bằng không, số hạng thứ hai có phần trong dấu tuyết đối là 1/(a^3)

Kết quả tính toán

$$E_P^1 \qquad \frac{{}_0 g.e^2}{3m_P m_e}\,\frac{1}{a^3}\left\{\vec{S}_P\vec{S}_e\right\} \qquad (4.19)$$



Hình ảnh mô tả sự tách vạch năng lượng do có nhiễu loạn Spin của proton

Tương tác Spin -Spin

- Ở đây là tích vô hướng của 2 vector Spin của e và của proton nên khác với tích 2 vector Spin và quỹ đạo . Vì có tương tác 2 Spin này nên momen Spin từng thành phần là không bảo toàn → Cần tính tổng các momen Spin
- Đây là đại lượng bảo toàn: $S \quad S_e \quad S_P \qquad (4.20)$

Bình phương 2 vế và sau đó chuyển vế:

$$\vec{S}_e \vec{S}_P \quad \frac{1}{2}(S^2 \quad S_P^2 \quad S_e^2) \quad \frac{1}{2}(S^2 \quad \frac{3}{2}\hbar^2) \qquad (4.21)$$

$$\sin ce : S_P^2 \quad S_e^2 \quad \frac{3}{4}\hbar^2$$

Độ lệch năng lượng

- **Ở trạng thái bội, hai Spin của e và p là song song nên tổng Spin =1→** $S^2 = 2\hbar^2$

Ở trạng thái đơn, hai Spin là đối song nên tổng Spin =0 và S^2 =0 vì thế:

$$E_P^1 = \frac{4g\hbar^4}{3m_P m_e^2}\,\frac{1}{c^2a^4}\begin{cases}\frac{1}{4} & \text{Boi}\\ -\frac{3}{4} & \text{đon}\end{cases} \qquad (4.20)$$

Như vậy, tương tác Spin- Spin phá vỡ sự suy biến. Do khác nhau về Spin của trạng thái cơ bản làm tách vạch cấu trúc bội ra xa vạch ở trạng thái đơn → sinh ra một độ lệch năng lượng

$$\Delta E = E_B - E_Đ = \frac{4g\hbar^4}{3m_P m_e^2}\,\frac{1}{c^2a^4} = 5{,}88.10^{-6}\,eV$$

Bài tập 10W: Tính tần số và bước sóng của bước xạ chuyển mức

- Sử dụng công thức Einstein:

$$E \quad \square \qquad \frac{E}{\square}$$

$$c/$$

Nhiễu loạn theo thời gian

Vật chất luôn thay đổi theo thời gian

Xuất phát điểm: Ánh sáng LASER

LASER= **L**ight
Amplification
by **S**timulated
Emission
of **R**adiation

là khuếch đại ánh sáng bằng

BỨC XẠ CƯỠNG BỨC

CANTHO UNIVERSITY

Vấn đề kỹ thuật Laser

Điều kiện tạo laser: Tính đơn sắc (chỉ phát một bước sóng) **Cấu trúc môi trường nguyên tử chỉ hai mức năng lượng**→ Môi trường hoạt tính→ Không suy biến về 2 mức năng lượng

Ánh sáng có bước sóng từ 360 nm đến 780 nm.

$$E_B \quad E_A \quad h \quad \frac{hc}{}$$

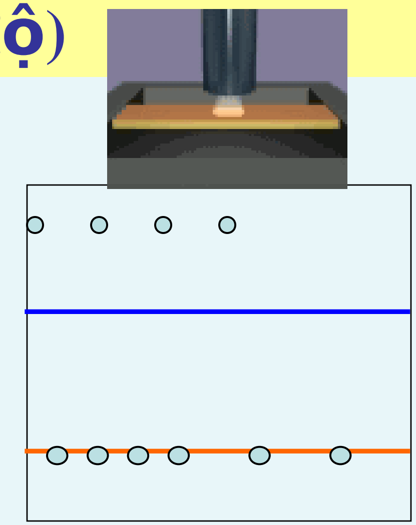
AB

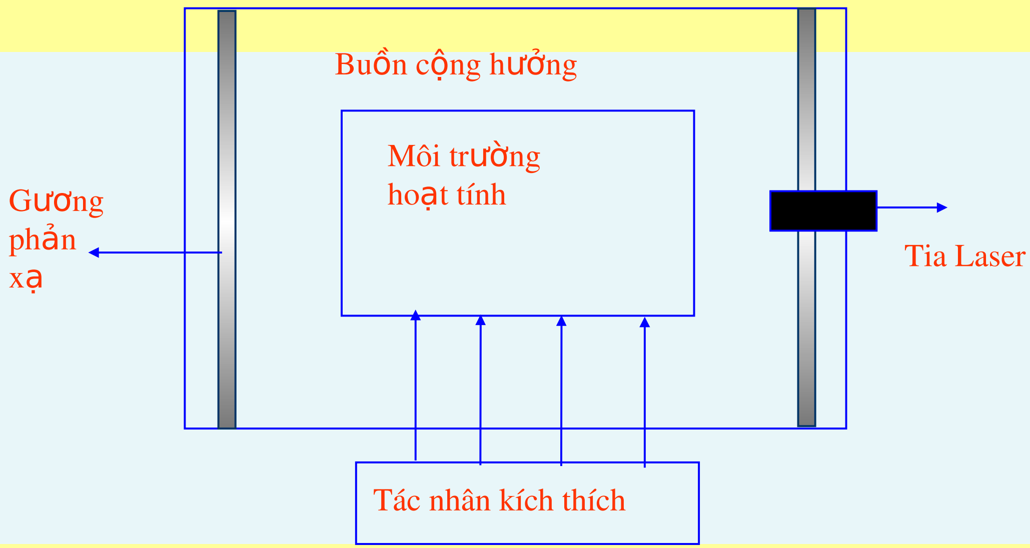
Môi trường hoạt tính có thể là chất Rắn –Laser rắn: hồng ngọc, đá rubi, cẩm thạch, chất bán dẫn…là chất khí-laser khí : He-Ne, Ar, Co_2… Chất lỏng như dung dịch hữu cơ → laser thay đổi màu

HOẠT ĐỘNG LASER

Bình thường: không có năng lượng cung cấp, sự chuyển mức E_A → E_B xảy ra thưa thớt → không có laser

Khi có Pumb: có sự chuyển mức E_A → E_B (Đảo ngược mật độ)



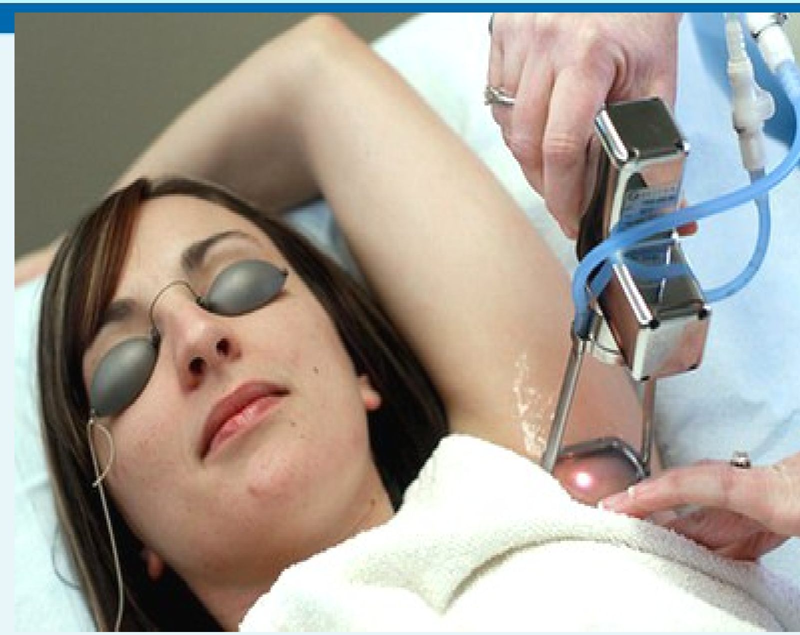


Ngoài ra còn quá trình chuyển xuống tự phát không tạo laser.

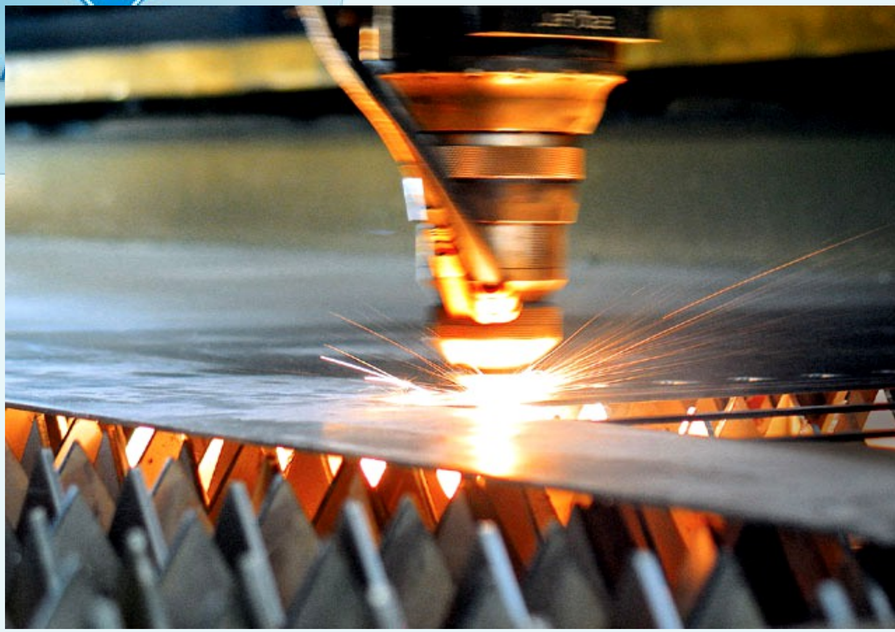
Tóm lại trong Laser có quá trình thay đổi theo thời gian của mật độ hạt ở 2 mức năng lượng, đây là vấn đề nhiễu loạn thay đổi theo thời gian của 2 trạng thái trong môi trường hoạt

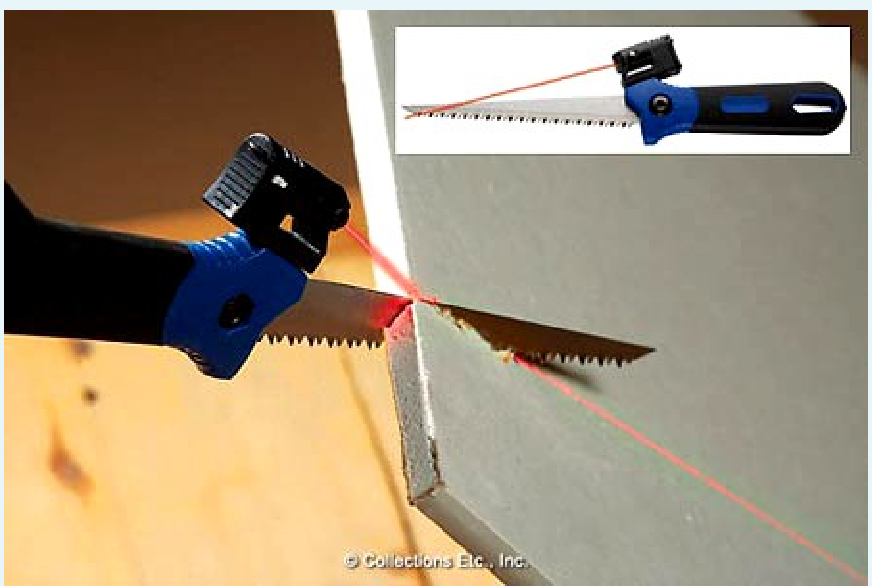
Laser ứng dụng- khoan sâu răng

Dao Laser – xóa vết xâm- cắt bỏ các khối thịt mở thừa- chân lông



Máy cắt laser





Laser giải trí và vũ khí

CANTHO UNIVERSITY

Laser và bài toán nhiễu loạn

- Đây là bài toán chuyển mức của e giữa hai trạng thái có năng lượng khác tạo ra một photon ánh sáng. Ta giới thiệu một thế năng nhiễu loạn phụ thuộc thời gian (nhiễu loạn khá bé) từ đó khảo sát quá trình bức xạ và hấp thụ của nguyên tử gọi là bước nhảy lượng tử
- Tóm lại: Do có nhiễu loạn theo thời gian mà có sự chuyển mức trạng thái lượng tử. Điều này không có qui luật tương ứng nào trong cổ điển

Nhiễu loạn phụ thuộc thời gian

Xét 2 trạng thái (không nhiễu loạn) ứng với hai mức năng lượng khác nhau của Hamiltion H⁰ không NL:

A ’ B

$$\hat{H}^0 \quad {}_A \quad E_A \quad {}_A, \hat{H}^0 \quad {}_B \quad E_B \quad {}_B$$

$$\text{and} \left\langle \; {}_A \right| \; {}_B \rangle \quad {}_{AB} \qquad (4.22)$$

Tồn tại một tổ hợp tuyến tính của 2 hàm sóng này cũng là nghiệm riêng của H^0 :

Nhiễu loạn phụ thuộc thời gian

$$(0) \quad c_A \quad {}_A \quad c_B \quad {}_B$$

$$\hat{H}^0 \quad (0) \quad E^0 \quad (0) \qquad (4.23)$$

4.23 là các hàm sóng không gian, còn hàm sóng tổng quát gồm cả hai thành phần không gian và thời gian

$$^0(t) \quad c_A \quad {}_A \exp\left(\frac{iE_A}{\hbar} t\right)$$

$$c_B \quad {}_B \exp\left(\frac{iE_B}{\hbar} t\right) \qquad (4.24)$$

Nhiễu loạn phụ thuộc thời gian

$|c_A|^2$ and $|c_B|^2$

Lần lượt là xác suất mà hạt ở trạng thái có năng lượng là E_A và ở năng lượng là E_B Điều kiện chuẩn hóa cho ta:

$$|c_A|^2 \quad |c_B|^2 \quad 1 \qquad (4.25)$$

Khi bật thế nhiễu loạn phụ thuộc thời gian H'(t). Hàm sóng có thể biểu diễn ở tổ hợp tuyến tính có dạng 4.24 nhưng các hệ số c là phụ thuộc thời gian

$$(t) \quad c_A(t) \quad {}_A \exp\left(\frac{iE_A}{\hbar} t\right)$$

$$c_B(t) \quad {}_B \exp\left(\frac{iE_B}{\hbar} t\right) \qquad (4.26)$$

Như vậy mục đích của bài toán là giải tìm các hàm c(t).

Vấn đề liên quan đến hoạt động laser

- Nếu chưa có bơm kích thích $c_A(t=0)=1$, $c_B(t=0)=0$: Hạt không ở mức năng lượng cao E_B mà ở mức E_A

  Nếu bật bơm kích thích sau thời gian đủ lớn $c_A(0)=0$, $c_B(0)=1$: Mật độ bị đảo lộn

- Khi phát laser xong → mật độ về trạng thái đầu →kích thích tiếp → cần giải tìm nghiệm chính xác của các hàm $c_A(t)$, $c_B(t)$ theo thời gian với điều kiện là:các hàm sóng thỏa phương trình Schrodinger phụ thuộc thời gian:

$$\hat{H} \quad \hat{H}^0 \quad \hat{H}'(t) \qquad (4.27)$$

$$\hat{H} \quad (t) \qquad i\square \frac{(t)}{t} \qquad (4.28)$$

Từ các phương trình 4.26, 4.27, 4.28

Bài tập 11W

Từ các phương trình 4.26, 4.27, 4.28 đưa vào 2.1 dẫn ra phương trình xác định sự biến đổi theo thời gian của mật độ xác suất của các trạng thái

Hoạt động của tim cũng thay đổi theo thời gian

Hướng dẫn: tìm phương trình nhiễu loạn phụ thuộc thời gian

$$\hat{H} \quad \hat{H}^0 \quad \hat{H}'(t) \qquad (4.27)$$

$$\hat{H} \quad (t) \quad i\hbar \frac{(t)}{t} \qquad (4.28)$$

Vế trái

$$c_A(t)\, H^0 \quad {}_A \exp(\frac{iE_A}{\hbar} t) \quad c_B(t)\, H^0 \quad {}_B \exp(\frac{iE_B}{\hbar} t)$$

$$c_A(t)\, H' \quad {}_A \exp(\frac{iE_A}{\hbar} t) \quad c_B(t)\, H' \quad {}_B \exp(\frac{iE_B}{\hbar} t)$$

Vế phải

$$i\hbar \{ \frac{dc_A}{dt} \quad {}_A \exp(\frac{iE_A}{\hbar} t) \quad \frac{dc_B}{dt} \quad {}_B \exp(\frac{iE_B}{\hbar} t)$$

$$c_A \quad {}_A [\frac{iE_A}{\hbar}] \exp(\frac{iE_A}{\hbar} t) \quad c_B \quad {}_B [\frac{iE_B}{\hbar}] \exp(\frac{iE_B}{\hbar} t) \}$$

Hai số hạng đầu ở vế thứ nhất thì khử hai số hạng cuối ở vế thứ hai

Phương trình còn lại

$$c_A(t)\,H'\quad{}_A\ \exp(\frac{iE_A}{\hbar}t)\quad c_B(t)\,H'\quad{}_B\ \exp(\frac{iE_B}{\hbar}t)$$

$$i\hbar\{\frac{dc_A}{dt}\quad{}_A\exp(\frac{iE_A}{\hbar}t)\quad\frac{dc_B}{dt}\quad{}_B\exp(\frac{iE_B}{\hbar}t)\}\qquad(4.29)$$

Lấy tích trong $_A$ với 2 vế 4.29 ta sau đó dùng điều kiện trực giao ta có A A =1, **A B** =0,

$$c_A(t)\langle{}_A|\hat{H}'|{}_A\rangle\exp(\frac{iE_A}{\hbar}t)\quad c_B(t)\langle{}_A|\hat{H}'|{}_B\rangle\exp(\frac{iE_B}{\hbar}t)$$

$$i\hbar\frac{dc_A(t)}{dt}\exp(\frac{iE_A}{\hbar}t)\qquad(4.30)$$

Phương trình còn lại

Tương tự lấy tích trong ψ_B với 4.29 ta có:

$$c_A(t)\langle \psi_B | \hat{H}' | \psi_A \rangle \exp\left(\frac{iE_A}{\hbar} t\right)$$

$$c_B(t)\langle \psi_B | \hat{H}' | \psi_B \rangle \exp\left(\frac{iE_B}{\hbar} t\right)$$

$$i\hbar \frac{dc_B(t)}{dt} \exp\left(\frac{iE_B}{\hbar} t\right) \qquad (4.31)$$

Sử dụng tích chất Hermitian H’

$$H'_{IK} = \langle I | H' | K \rangle = H'_{KI}{}^{*} \qquad (4.32) \qquad 4.30 \text{ and } 4.31:$$

$$\frac{dc_A(t)}{dt} = -\frac{i}{\hbar}\left[c_A(t)H'_{AA} + c_B(t)H'_{AB}\exp\left(-\frac{i\{E_B - E_A\}}{\hbar}t\right)\right] \quad (4.33)$$

$$\frac{dc_B(t)}{dt} = -\frac{i}{\hbar}\left[c_B(t)H'_{BB} + c_A(t)H'_{BA}\exp\left(\frac{i\{E_B - E_A\}}{\hbar}t\right)\right] \quad 4.34)$$

Hai phương trình 4.33 và 4.34 xác định các hàm c(t) gọi là các phương trình Schrodinger phụ thuộc vào thời gian cho e có hai mức năng lượng.

Sử dụng tích chất Hermitian H’

Ở điều kiện bình thường các thành phần nằm trên đường chéo của matrix H’ là bằng không: $H'_{AA} = H'_{BB} = 0$ Phương trình trở thành:

$$\frac{dc_A(t)}{dt} = \frac{i}{\hbar} c_B(t) H'_{AB} \exp\left(\frac{i\{E_B - E_A\}}{\hbar} t\right) \qquad (4.35)$$

$$\frac{dc_B(t)}{dt} = \frac{i}{\hbar} c_A(t) H'_{BA} \exp\left(\frac{i\{E_B - E_A\}}{\hbar} t\right) \qquad (4.36)$$

Bài tập 12w: Bước sóng photon của Laser

- **Chứng minh từ công thức Einstein, cho c là vận tốc ánh sáng thì:**

$$\frac{dc_A(t)}{dt} \quad \frac{i}{\hbar}\, c_B(t) H'_{AB} \exp\left(\frac{i2\ \ .c}{\ }t\right) \qquad (4.37)$$

$$\frac{dc_B(t)}{dt} \quad \frac{i}{\hbar}\, c_A(t) H'_{BA} \exp\left(\frac{i2\ \ .c}{\ }t\right) \qquad (4.38)$$

Lưu ý ; Trong các trường hợp tổng quát thì các thành phần trên đường chéo của matrix H’ là không triệt tiêu

Bài tập 13 W

- **Giải hệ phương trình 4.37 và 4.38 trong điều kiện ban đầu: $c_A(t=0) = 1$, $c_B(t=0) = 0$, và toán tử H' là một nhiễu loạn nhỏ. Tính gần đúng bậc nhất và bậc hai của nhiễu loạn.**
- **Sử dụng điều kiện chuẩn hóa là:**

$$|c_A|^2 \quad |c_B|^2 \quad 1 \qquad (4.25)$$

Hướng dẫn

- **Trong điều kiện không có nhiễu loạn**

$$c_A(t \quad 0) \quad 1 \quad c_B(t \quad 0) \quad 0 \qquad c_A(t) \quad 1 \quad c_B(t) \quad 0$$

Trong điều kiện có nhiễu loạn, xét gần đúng bậc nhất khi đạo hàm bằng không thì hàm đạt cực đại.

$$\frac{dc_A(t)}{dt} \quad 0 \qquad c_A^{(1)}(t) \quad 1$$

Thay vào 4.38

$$dc_B(t) \quad \frac{i}{\ } \; H'_{BA} \exp\left(\frac{i2 \quad .c}{\ } t \right) \; dt$$

$$c_B^{(1)}(t) \quad \frac{i}{\ } \quad H'_{BA}(t) \exp(\; i \quad {}_0 t) \; dt \qquad {}_0 \quad \frac{2 \quad .c}{\ } \qquad (4.39)$$

Hướng dẫn

Trong điều kiện có nhiễu loạn, xét gần đúng bậc hai

(Đưa kết quả 4.39 vào 4.37)

$$\frac{dc_A^{(2)}(t)}{dt} \quad \frac{i}{\hbar} c_B^{(1)}(t) H'_{BA} \exp(\quad i \quad {}_0 t) \qquad (4.37)$$

$$dc_A^{(2)}(t) \quad \frac{i}{\hbar} \qquad \frac{i}{\hbar} H'_{BA}(t') \exp(\quad i \quad {}_0 t')\, dt' \;\; H'_{AB} \exp(\quad i \quad {}_0 t) \;\; dt$$

$$c_A^{(2)}(t) \quad \frac{i}{\hbar} \quad H'_{AB} \exp(\quad i \quad {}_0 t) \quad \frac{i}{\hbar} H'_{BA}(t') \exp(\quad i \quad {}_0 t')\, dt' \;\; dt$$

Thay vào 4.35

Bài tập 14 (*)
Nhiễu loạn với dạng hình sin

- **Giả sử toán tử nhiễu loạn là một thế tuần hoàn hình sin theo thời gian:**

$$H'_{AB} \quad V_{AB}\cos(\quad t) \qquad (4.41)$$

$$\text{where}: V_{AB} \quad \langle \quad _{A} | V | \quad _{B} \rangle$$

Xác định các phương trình c(t) của các hệ số xác định xác suất của hai trạng thái ứng với 2 mức năng lượng

E_A và E_B

Các lưu ý

$$_{0} \quad \frac{2 \quad .c}{}$$

$$E_{B} \quad E_{A} \quad \frac{hc}{} \quad \square \quad _{0}$$

Sử dụng các phương trình 4.

Thảo luận

- Các vấn đề quan trọng
- 1- Đại số vector – Ma trận – Trị riêng vector riêng
- 2- Nhiễu loạn bậc 1,2,..k Không suy biến
- Nhiễu loạn suy biến bậc 2…
- 3- Ứng dụng tính năng lượng e trong NT Hydrogen với các HC Einstein – Spin-Orbital – Zeemann
- 4- Nhiễu loạn phụ thuộc thời gian.