كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء الليزر

المحاضرة : الرابعة /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

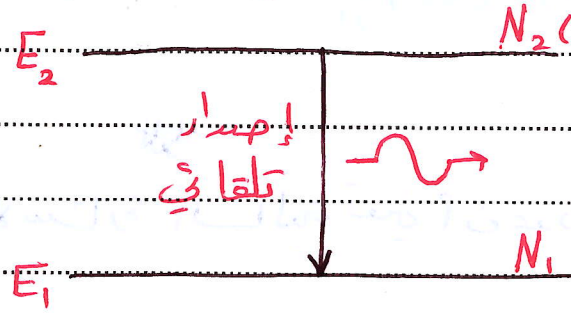
كلية العلوم

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

الإصدار التلقائي والعمر الوسطي (متوسط زمن حياة الذرة المثارة τ)

لتكن لدينا منظومة ذرية مؤلفة من سويتي طاقة الأرضية E_1 والمثارة E_2 بحيث $E_2 > E_1$



وليكن N_1 و N_2 هو عدد الذرات في السوية الأرضية والمثارة على الترتيب كما في الشكل

نعرف العمر الوسطي τ (متوسط زمن حياة الذرة المثارة) بأنه الزمن t الذي يتناقص خلاله عدد الذرات المثارة في السوية E_2 بمقدار e مرة ($e=2,7$ العدد النبري)

إذا كان عدد الذرات المثارة في اللحظة الابتدائية $t=0$ هو $N_2(0)$ وعدد الذرات في اللحظة $t=\tau$ فإن عدد الذرات المثارة في السوية الثانية

$$N_2(\tau) = \frac{N_2(0)}{e} \quad \ldots (1)$$

العلاقة (1) تعني أن عدد الذرات المثارة في السوية الثانية تتناقص مع الزمن تلقائياً وكما وجدنا سابقاً أن عدد الذرات المثارة التي تنتقل تلقائياً إلى السوية الغير مثارة (الأرضية) خلال واحدة الزمن

تعطى بالعلاقة: $R_2 = N_2 A_{21}$ ...(2) حيث A_{21}: ثابت الإصدار التلقائي

بما أن العلاقة (2) تمثل عدد الذرات لذلك تكتب بالشكل التالي

$$(2) \Rightarrow N_2(t) = N_2 A_{21} \quad ...(3)$$

ويكون معدل انتقال الذرات خلال الزمن t بشكل تلقائي هو

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -N_2(t) A_{21} \quad ...(4)$$

الإشارة السالبة تعني أن عدد الذرات يتناقص مع الزمن

$$(4) \Rightarrow \frac{dN_2(t)}{N_2(t)} = -A_{21}\, dt \quad ...(5)$$

نكامل طرفي العلاقة (5)

$$\int \frac{dN_2(t)}{N_2(t)} = -A_{21} \int dt + C \longrightarrow \text{ثابت التكامل}$$

$$\Rightarrow \ln N_2(t) = -A_{21} t + C \quad ...(6)$$

نجد ثابت التكامل C من شروط البدء أي عندما $t = 0$ نعوض في (6):

$$\ln N_2(0) = -A_{21}(0) + C \Rightarrow C = \ln N_2(0)$$

نعوض في (6):

$$(6) \Rightarrow \ln N_2(t) = -A_{21} t + \ln N_2(0)$$

$$\Rightarrow \ln N_2(t) - \ln N_2(0) = -A_{21} t$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

2- يعطى عرض الخط الطيفي بالعلاقة

$$\Delta\nu = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2(3,14)\,10^{-7}s} = 0,16.10^{7}\,s^{-1}$$

3- يعطى عرض الخط الطيفي النسبي بالعلاقة:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu}$$

حيث ν

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times10^{8}\,m.s^{-1}}{632,8\times10^{-9}\,m} = 474.10^{12}\,s^{-1}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{0,16.10^{7}\,s^{-1}}{474.10^{12}\,s^{-1}} = 3,38\times10^{-9}$$

نلاحظ أن عرض الخط الطيفي النسبي مقدار صغير جداً هذا يعني أن التعزات في الإشعاع الناتج عن الليزر ستكون مفيدة بالتالي الليزر يعمل بشكل ممتاز.

تمرين:

في ليزر Nd:YAG يتم ضخ ذرات النيوديميوم إلى سوية طاقة عليا E_2 وفي اللحظة $t=0$ كان عدد الذرات المثارة في السوية الثانية E_2 هو $N_2(0) = 5.10^{18}$ وتردد شعاع الليزر $\nu = 2,82.10^{14}\,s^{-1}$ والعمر الوسطي للذرة المثارة $\tau = 230\,\mu s$ والمطلوب:

1- احسب ثابت الإصدار التلقائي لليزر A_{21}

2- احسب عدد الذرات $N_2(t)$ في اللحظة $t = 460\,\mu s$

3- احسب القدرة الاستطاعية لليزر في اللحظة $t=0$

4- احسب الطاقة الكلية المنبعثة عند عودة جميع الذرات المثارة إلى السوية الأرضية.

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\ln\left[\frac{N_2(t)}{N_2(0)}\right] = -A_{21}\,t \Rightarrow \frac{N_2(t)}{N_2(0)} = e^{-A_{21}\cdot t}$$

$$\Rightarrow N_2(t) = N_2(0)\, e^{-A_{21}\cdot t} \quad \dots(7)$$

وبعد مرور زمن $t = \tau$ تصبح العلاقة (7) كما يلي:

$$N_2(\tau) = N_2(0)\, e^{-A_{21}\cdot \tau} \quad \dots(8)$$

وحسب العلاقة (1):

$$\frac{N_2(0)}{e} = N_2(0)\, e^{-A_{21}\tau} \Rightarrow e^{-1} = e^{-A_{21}\cdot\tau}$$

$$\Rightarrow -1 = -A_{21}\cdot\tau \Rightarrow A_{21}\tau = 1 \Rightarrow \tau = \frac{1}{A_{21}} \quad (*)$$

$\Leftarrow$ العمر الوسطي للذرة المثارة يساوي مقلوب ثابت الإصدار التلقائي

تمرين:

في ليزر الهيليوم - نيون (He-Ne) تثار ذرات النيون إلى سوية طاقة E_2 (مثارة) بحيث ينبعث إشعاع كهرطيسي (ليزر) طول موجته $\lambda = 632{,}8\ nm$ وثابت الإصدار التلقائي $A_{21} = 10^7\ s^{-1}$

والمطلوب:

1- احسب العمر الوسطي للذرة المثارة

2- احسب عرض الخط الطيفي للإشعاع المنبعث

3- احسب عرض الخط الطيفي النسبي لهذا الليزر

الحل:

1- $\tau = \frac{1}{A_{21}} = \frac{1}{10^7\ s^{-1}} = 10^{-7}\ s = 10^{-7}\cdot 10^9\ ns = 10^2\ ns = 100\ ns$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

الحل:

1- $A_{21} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{230.10^{-6}s} = 43.10^{2}\,s^{-1}$

2- $N_2(t) = N_2(0)\, e^{-A_{21}t} = N_2(0)\, e^{-\frac{t}{\tau}}$

$\Rightarrow N_2(t) = 5\times10^{18}\, e^{-\frac{460\times10^{-6}}{230\times10^{-6}}} = 5\times10^{18}\, e^{-\frac{480\,\mu s}{230\,\mu s}}$

$= 5\times10^{18}\, e^{-2} = \frac{5}{e^2}.10^{18} = \frac{5}{7,3}.10^{18} = 0,68.10^{18}$

نلاحظ أن عدد الذرات المثارة يتناقص مع الزمن بسبب الإصدار التلقائي للذرات أي عودة الذرات تلقائياً إلى السوية الغير مثارة.

3- المقصود بالقدرة الإشعاعية هي الطاقة المصروفة خلال زمن

$P = \frac{N_2(0).h\nu}{\tau} = \frac{N_2(0)\,h\nu}{\frac{1}{A_{21}}}$

$= N_2(0).A_{21}.h\nu = 5\times10^{18}\times43\times10^{2}\,s^{-1}\times6,62\times10^{-34}\,J.s\times$
$\times2,82\times10^{14}\,s^{-1}$

$= 4,013\times10^{3}\,\frac{J}{s} = 4,013\times10^{3}\,W$

4- بما أن جميع الذرات تعود إلى السوية الأساسية فإن كل ذرة تفقد فوتون طاقته $h\nu$ وبالتالي تكون الطاقة الكلية المنبعثة

$E = N_2(0)\,h\nu = 5\times10^{18}\times6,62\times10^{-34}\,J.s\times2,82\times10^{14}\,s^{-1}$

$= 933,4\times10^{-3}\,J$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة