كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء الليزر

المحاضرة : الثالثة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

٣

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

* نسبة الإشعاع المستحث إلى الإشعاع التلقائي للإشعاع الكهرطيسي (الليزر)

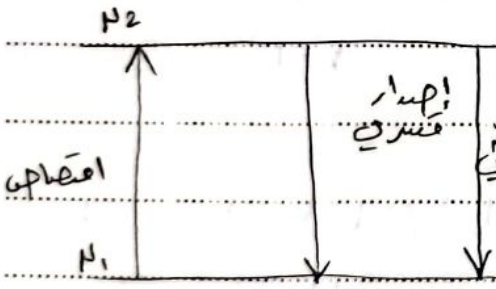
وجدنا في الفقرة الأولى أن معدل الإشعاع التلقائي (احتمال الإشعاع التلقائي) يعطى بالعلاقة $R'_2 = A_{21} \cdot N_2$ حيث N_2 عدد الذرات في السوية المثارة و A_{21} ثابت الإشعاع التلقائي يمثل المقدار السابق ويرمز $A = A_{21} \cdot N_2$ ... ① في $(A = R'_2)$

ويسمى احتمال الإشعاع التلقائي أي عدد الذرات في السوية 2 التي تنتقل تلقائياً للسوية ① E_1 وقد رمزنا لها بالرمز A.

$R_2 = N_2 B_{21} \rho(\nu)$; $R_2 = \omega \Rightarrow \omega = N_2 B_{21} \rho(\nu)$ ... ②

ω احتمال الإشعاع المستحث للإشعاع الكهرطيسي.

$\rho(\nu)$ كثافة الطاقة الإشعاعية في مدى الترددات الواقعة ν



نستنتج من ① و ② ما يلي:

$$\frac{\omega}{A} = \frac{N_2 B_{21} \rho(\nu)}{N_2 A_{21}} = \frac{B_{21} \rho(\nu)}{A_{21}}$$

$$= \frac{\rho(\nu)}{\frac{A_{21}}{B_{21}}}$$

وحسب * في الفقرة ① $\frac{\omega}{A} = \frac{\rho(\nu)}{\frac{8\pi h}{\lambda^3}}$; $\lambda \nu = c \Rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$

$$\frac{\omega}{A} = \frac{\lambda^3}{8\pi h} \rho(\nu) = \frac{\lambda^3}{8\pi h} \cdot \frac{8\pi \nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$\frac{\omega}{A} = \frac{\lambda^3 \cdot \nu^3}{\lambda^3 \cdot \nu^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1} \Rightarrow \frac{\omega}{A} = \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad \cdots (3)$$

الحظ

نعلم أن الطاقة الوسطى للنمط (mode) : النمط هو أي موجة مستقرة داخل الجويف البلوري للرنان أو أي نوع من الاهتزاز معين داخل الجويف البلوري.

ويعطى الطاقة الوسطى للنمط بالعلاقة: $\bar{E}_m = E_{mode}$ و $\bar{E} = \langle E \rangle$

$$\bar{E} = \frac{h \cdot \nu}{e^{h\nu/KT} - 1} \Rightarrow \frac{\bar{E}_m}{h \cdot \nu} = \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad \cdots (4)$$

نعوض (4) في (3):

$$\frac{\omega}{A} = \frac{\bar{E}_m}{h \cdot \nu} \quad \cdots (5)$$

إذا كان النمط يحتوي على فوتون واحد فإن طاقته $E_m = h\nu$ أما إذا كان النمط يحتوي على n فوتون فإن طاقته $E_m = n \cdot h \cdot \nu$ وبالتالي: $\bar{E}_m = \bar{n} \cdot h \cdot \nu \quad \cdots (6)$

نبدل (6) في (5)

$$\frac{\omega}{A} = \frac{\bar{n} \cdot h \cdot \nu}{h \cdot \nu}$$

$$\boxed{\frac{\omega}{A} = \bar{n}} \quad \cdots (7)$$

الحظ

المعنى الفيزيائي للعلاقة (7):

① إذا كان $\bar{n} = 1$

$$(7) \Rightarrow \frac{\omega}{A} = 1 \Rightarrow \boxed{\omega = A}$$

أي أن احتمال الإصدار المستحث يساوي احتمال الإصدار التلقائي وبالتالي عدد الفوتونات المتبعثة غير المترابطة يساوي عدد الفوتونات المترابطة وبالتالي النتيجة تحصل على أسمة ليزر ضعيفة جداً ولا تحصل على تضخيم للضوء ولا وجود للرنان البلوري وبالتالي هذه الحالة لا تنتج أسمة ليزر.

② إذا كان $\bar{n} \gg 1$

$$\Rightarrow \frac{\omega}{A} \gg 1 \Rightarrow \omega \gg 1$$

وبالتالي احتمال الإصدار المستحث للفوتونات أكبر بكثير من احتمال الإصدار التلقائي للفوتونات وبالتالي في هذه الحالة تحصل على عملية تضخيم للضوء وأسمة ليزر ولا تنقص

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

طول الموجة التواتر والطور والاتجاه وبالتالي كفيل على أشعة ليزر مثالية بحتة جودة عالية وهذا يعني أن عدد الذرات المثارة في السوية ② أكبر بكثير من عدد الذرات غير المثارة في السوية ① أي أن $N_2 \gg N_1$

③ إذا كان $\bar{n} \ll 1$

$$\Rightarrow \frac{W}{A} \ll 1 \Rightarrow W \ll A$$

وهذا يعني أن احتمال الإصدار القسري أصغر بكثير من احتمال الإصدار التلقائي وبالتالي معظم الفوتونات المنبعثة في هذه الحالة تكون غير مترابطة زمانياً ومكانياً وبالتالي لا نحصل على تضخيم ضوئي أي لا يوجد أشعة ليزر في هذه الحالة.

ملاحظة هامة: لنربط الآن بين القدرة الإشعاعية P داخل الجويف الليزري للإشعاع الليزري و بين متوسط عدد الفوتونات في النبط الليزري وبالتالي مع زمن بقاء الفوتون داخل النبط τ_p هذا الزمن هو زمن مكوث الفوتون بالنبط

نعلم أن القدرة الإشعاعية لليزر تعني الطاقة خلال واحدة الزمن

$$P = \frac{E_m}{\tau_p} = \frac{\bar{n} \cdot h \cdot \nu}{\tau_p} \Rightarrow P = \frac{\bar{n} \cdot h \cdot \omega}{\tau_p} \Rightarrow \boxed{\bar{n} = \frac{P \cdot \tau_p}{h \cdot \nu}} \quad \text{...⑧ نسمي}$$

$$\boxed{\frac{W}{A} = \frac{P \cdot \tau_p}{h \cdot \nu}} \quad \text{...⑨ نسمي} \quad \text{نعوض ⑧ في ⑦ فنجد:}$$

وتعني العلاقة ⑧ أنه بزيادة القدرة الإشعاعية P فإن $\bar{n}$ يزداد وبالتالي تزداد جودة أشعة الليزر أي كفاءة الليزر وبزيادة زمن مكوث الفوتون في النبط تزداد $\bar{n}$ أي تزداد عملية تضخيم الضوء وبالتالي تزداد كفاءة الليزر

مثال: ليزر Nd:YAG على الطول الموجي $\lambda = 1064nm$ باستطاعة (قدرة إشعاعية) $P = 0.5watt$ وزمن مكوث الفوتون في النبط $\tau_p = 10ns$ والمطلوب:

احسب متوسط عدد الفوتونات في النبط وماذا تستنتج؟

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الحل:

$$\bar{n} = \frac{P \cdot \tau_p}{h \cdot \nu} \quad \ldots (1)$$

لدينا $\nu = \frac{c}{\lambda}$

$$\nu = \frac{3 \times 10^8 \ m \cdot s^{-1}}{1064 \times 10^{-9} \ m} = 0.0028 \times 10^{+17} \ s^{-1}$$

$$= 2.8 \times 10^{14} \ s^{-1}$$

نعوض في (1):

$$\bar{n} = \frac{0.5 \text{ watt} \times 10 ns}{2.8 \times 10^{14} s^{-1} \times 6.62 \times 10^{-34} J \cdot s}$$

$$= \frac{0.5 \ J \cdot s^{-1} \times 10 \times 10^{-9} s}{662 \times 10^{-34} J \cdot s \times 2.8 \times 10^{14} s^{-1}} = 0.27 \times 10^{11} = 27 \times 10^{9}$$

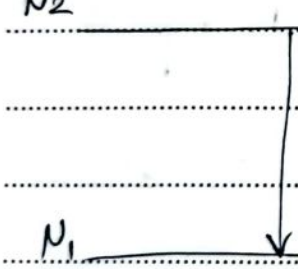
$$= 27 \text{ مليار} \gg 1$$

أي أن $\bar{n} \gg 1 \Leftarrow A \gg B$ وبالتالي يحقق على استمرار الليزر

فهو كفاءة عالية جداً.

* الإشعاع التلقائي والعمر الوسطي (متوسط زمن الحياة)

إذا كان لدينا منظومة ليزرية مؤلفة من سويتي طاقة



يعرف العمر الوسطي للذرة في السوية المثارة E_2 ونرمز له بالرمز τ بأنه الزمن الذي تتناقص خلاله عدد الذرات المثارة N_2 بمقدار e مرة مثل $(e=2.7)$

وهذا يعني أن N_2 مقدار متابع للزمن أي تتغير مع الزمن لذلك نكتب $N_2(t)$

ولنعرف أن عدد الذرات في السوية المثارة هي $N_2(0)$ في اللحظة $(t=0)$ الابتدائية وبالتالي في اللحظة $t=\tau$ يكون عدد الذرات $N_2(\tau)$ مثل $N_2(\tau) = \frac{N_2(0)}{e}$ ... (1)

مثل τ العمر الوسطي (زمن حياة الذرة الوسطي).

• نلاحظ هنا الذرات تتناقص بشكل تلقائي واحتمال الإشعاع التلقائي كما نعلم هو $R'_2 = N_2 A_{21}$ وهذا يعني أن معدل تناقص الذرات مع الزمن تلقائياً في السوية (2) إلى السوية (1) هو

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -N_2(t) \cdot A_{21}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الإشارة السالبة تعني أن عدد الذرات تتناقص مع الزمن

$$\frac{dN_2(t)}{dN_2(t)} = -A_{21}\,dt$$

نكامل الطرفين:

$$\int \frac{dN_2(t)}{N_2(t)} = \int -A_{21}\,dt \Rightarrow \ln N_2(t) = -A_{21}\int dt = -A_{21}t + c \quad \ldots ②$$

حيث c ثابت التكامل ويحدد من شروط البدء في اللحظة $t=0$ يكون

$$\ln N_2(0) = -A_{21}(0) + c \;;\; c = \ln N_2(0)$$

نعوض في ②:

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

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

$$\Rightarrow N_2(t) = N_2(0)\,e^{-A_{21}t} \quad \ldots ③$$

③ تعطي العلاقة $t=\tau$ أي يوجد زمن مقداره τ

$$③ \Rightarrow N_2(\tau) = N_2(0)\cdot e^{-A_{21}\cdot\tau} \quad \ldots ④$$

نعوض ④ في ①

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

$$e^{-1} = e^{-A_{21}\tau} \Rightarrow -1 = -A_{21}\tau$$

$$\Rightarrow A_{21}\tau = 1$$

$$\boxed{\tau = \frac{1}{A_{21}}} \quad \ldots ⑤$$ الحقبة

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner