وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة الثالثة عشر:

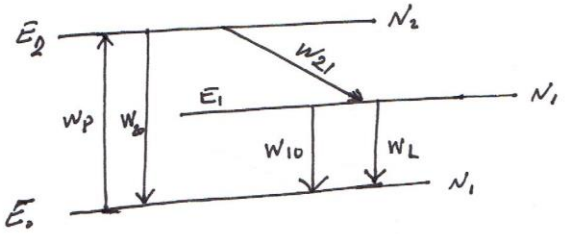
عنوان المحاضرة: قدرة وخطط الضخ

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

مبدأ الضخ :-

١- نظام المستويات الثلاثة



$$\frac{dN_0}{dt} = -W_p(N_0 - N_2) + W_{20}N_2 + W_{10}N_1 + W_L(N_1 - N_0)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = W_{21}N_2 - W_{10}N_1 - W_L(N_1 - N_0)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = W_p(N_0 - N_2) - W_{20}N_2 - W_{21}N_2$$

وعلما انه في حالة التوازن فان العدد الكلي للذرات يبقى ثابتا لذلك

$$\sum N_i = \text{constant} \quad \text{and} \quad \frac{dN_i}{dt} = 0$$

ولحل هذه المعادلة نجد N_1 و N_2 هما المعادلات الثلاثة والفرق بينهما عبر التاهين المتكوس

اما عتبة تضاعف الليزر في حالة المستويات الثلاثية تتعلق بالعلاقتين

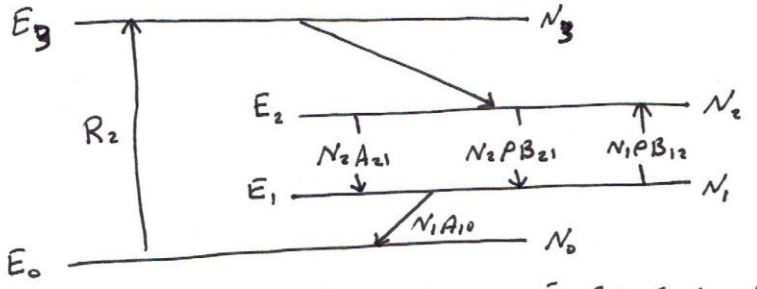
$$P_{L3} = h\nu(W_p \eta N_0 - W_{10}N_1) \quad , \quad \eta = \frac{W_{21}}{W_{21} + W_{20}}$$

or

$$P_{L3} = \frac{N}{2} h\nu V \frac{1}{\tau_{spot.}} \quad *$$

تتميز ليزرات المستويات الثلاثة بحاجتها لعتبة ضخ عالية لانها تتطلب ضخ 50% من مجموع الذرات في اقل تقدير الى المستوى المتهيج لتحقيق شرط التوزيع العكسي .

٥- نظام المستويات الاربعة



ان المعادلات التي تعبر عن معدل التغير في التعاهيل العكسي لوسط ليزر ذي اربع مستويات مع فرض ان طاقة المستوي E_1 اصغر بكثير من KT وان الضخ انتقائي وحيث ينقط للمستوي E_3 بمعدل R_2 تعطى بالشكل :-

$$\frac{dN_2}{dt} = R_2 - N_2 A_{21} + N_1 P B_{12} - N_2 P B_{21} \quad \text{---- (1)}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = N_2 A_{21} + N_2 P B_{21} - N_1 P B_{12} - N_1 A_{10} \quad \text{---- (2)}$$

وعندما يكون معدل الضخ ثابت فان :-

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = 0 \quad \text{---- (3)}$$

وبحل المعادلتين (1) و (2) لايجاد N_1 و N_2 نحصل على :-

$$N_1 = \frac{R_2}{A_{10}} \quad \text{---- (4)}$$

$$N_2 = R_2 \left(1 + \frac{P B_{12}}{A_{10}}\right) / \left(A_{21} + P B_{21}\right) \quad \text{--- (5)}$$

وبذلك يكون فرق التعاهيل بين المستويين هو :-

$$N_2 - N_1 = R_2 \left(\frac{1 - \frac{A_{21}}{A_{10}}}{A_{21} + P B_{21}}\right) \quad \text{---- (6)}$$

من معادلة (6) يجب ان يكون $A_{10} > A_{21}$ لتحقيق شرط التعاهيل العكسي وهذا يحدث عندما يكون $\tau_2 < \tau_1$ اي ان المستوي الاعلى لانتقال الليزر يكون له متوسط زمن عمر اكبر من المستوي الادنى اي أن :-

$$1 - \frac{A_{21}}{A_{10}} \simeq 1$$

وبذلك تتصبح العلاقة (6) بالشكل :-

$$N_2 - N_1 = \frac{R_2}{A_{21} + P B_{21}}$$

واذا كانت قدرة الضخ لاتكفي للوصول الى العتبة فان مقدار التضاعيل العكسي الناتج لايكفي لدعم التكبير في الوسط وبذلك يمكن اهمال P وتتصبح العلاقة المذكورة بالشكل :-

$$N_2 - N_1 = \frac{R_2}{A_{21}} \quad ----- (7)$$

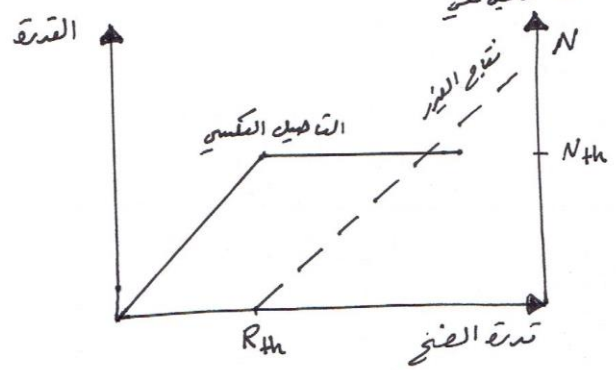
وحيث ان $N_1 << N_2$ بذلك سيقيد بالعدد الكلي للذرات (N) مساويا تقريبا الى N_2 وايضا سيكون N_{th} اي

$$N_2 - N_1 \simeq N_2 = N = N_{th}$$

$$\therefore \quad N_{th} = \frac{R_{th}}{A_{21}} = R_{th}\,\tau_2$$

$$\text{and} \quad R_{th} = \frac{N_{th}}{\tau_2} \quad ----- (8)$$

نستنتج من العلاقة (8) ان التضاعيل العكسي يتم بصورة طردية مع زيادة قدرة الضخ حتى وصول العتبة عندها تصل حالة الاشباع عندما يمكن زيادة التضاعيل العكسي مهما زادت قدرة الضخ



التضاعيل العكسي وقدرة نتائج الليزر كدالة لقدرة الضخ

ان الطاقة التي تختزنها لضخ وحدة الى المستوى (2) تساوي E_3 ولرفع عدد N_{th} من الذرات لوحدة الحجم تختزن الى قدرة P_{th} وهي تعطى بالمقدار

$$P_{th} = \frac{E_3 N_{th}}{\tau_2} \quad \text{---- (9)}$$

$$\therefore N_{th} = \frac{G_{th}\, c}{B_{21}\, h\nu\, g(\nu)} \quad \text{---- (10)}$$

$$\text{and} \quad \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \quad \text{---- (11)}$$

باستخدام العلاقتين (10) و (11) في (9) نحصل على :-

$$P_{th} = \frac{E_3\, 8\pi\nu^3\, \Delta\nu\, G_{th}\, n^2}{c^2} \quad \text{---- (12)}$$

وعند هذا الوضع يكون الربح الناتج من التضخيم المكسبي مساويا الى خسارة الجهاز واذا زادت قدرة الضخ P عن المقدار P_{th} فان هذا يعمل على زيادة المقدار PB_{21} ولكي يبقى المقدار N_{th} ثابت من العلاقة (6) يمكن كتابة

$$N_{th} = R_2 \left(\frac{1 - \frac{A_{21}}{A_{10}}}{A_{21} + PB_{21}} \right) \quad \text{---- (13)}$$

$$\text{or} \quad \frac{R_{th}}{A_{21}} = \frac{R_2}{A_{21} + PB_{21}} \quad \text{---- (14)}$$

وعندنا تتحدد قيمة كثافة طاقة الاشعاع

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left(\frac{R_2}{R_{th}} - 1 \right)$$

وبصورة عامة :

ان قدرة الليزر في حالة المستويات الرباعية تعطى بالشكل

$$P_{L4} = \Delta N_c\, h\nu\, V\, \frac{1}{\tau_{spont.}}$$

مثال :-

احسب الفرق بين قدرة الليزر في حالة المستويات الرباعية وقدرة الليزر في حالة المستويات الثلاثية اذا كانت قيمة التعديم المتكوس $\Delta N_c = 10^{16}\ cm^{-3}$ وعدد الذرات في المستوى الصلوي $N = 2\times10^{12}\ cm^{-3}$

الحل

قدرة الليزر في المستويات الثلاثية هي

$$P_{L3} = \frac{N}{2} h\nu V \frac{1}{\tau_{spont.}}$$

وقدرة الضخ في المستويات الرباعية هي

$$P_{L4} = \Delta N_c\, h\nu V \frac{1}{\tau_{spont.}}$$

لذلك فان النسبة بينهما تكون بالشكل

$$\frac{P_{L4}}{P_{L3}} = \frac{\Delta N_c\, h\nu V \frac{1}{\tau_{spont.}}}{\frac{N}{2} h\nu V \frac{1}{\tau_{spont.}}}$$

$$= \frac{2\Delta N_c}{N} = \frac{2\times10^{16}}{2\times10^{12}}$$

$$= 10^4$$

المصادر:

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1st Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering. (Graduate Texts in Physics) 2nd Edition.