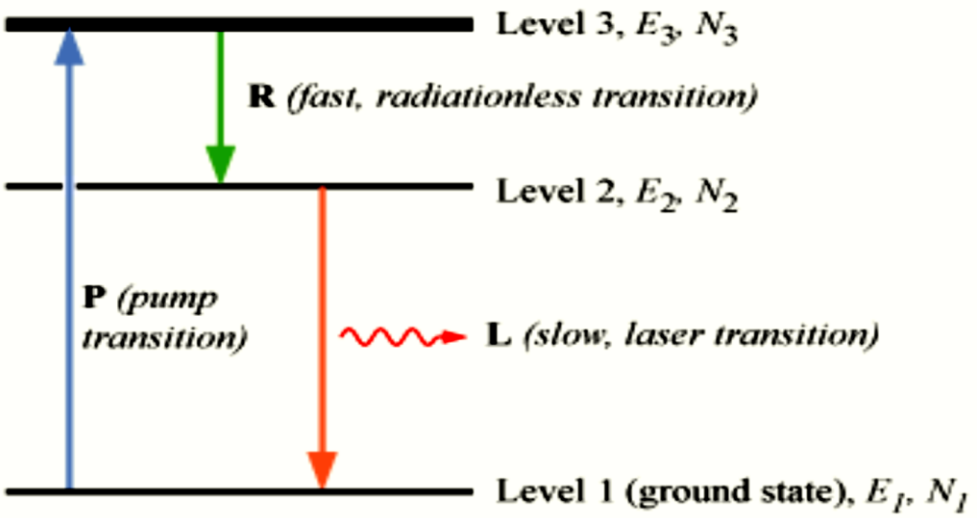
## ٢-٣) خطط الضخ Pumping Plans

ان الهدف من الضخ هو تحقيق التوزيع المعكوس والحصول على الانبعاث المحفز، وهذا الهدف لا يمكن تحقيقه باستخدام نظام ذري ذو مستويين للطاقة فقط لأنه باستخدام إشعاع كهرومغناطيسي شديد ذو تردد مناسب لعملية الضخ فإنه سرعان ما يولد حالة الإشباع، عندها يتساوى تأهيل المستويين ذات العلاقة ويصبح الوسط شفافاً. لذلك يمكن العمل على ليزر ذي ثلاث أو أربع مستويات للطاقة.

### ١) نظام المستويات الثلاثي Triple-Levels System:

يتكون من ثلاث مستويات للطاقة وهي كل من: المستوي الارضي (Ground Level) الذي يمثل المستوي الليزري السفلي ((Lower Laser Level (LLL)) والمستوي المتهيج (Excited Level) الذي يمثل المستوي الليزري العلوي ((Upper Laser Level (ULL)) والمستوي شبه المستقر (Metastable) أو الوسطي. أن مستويات الطاقة التي يحدث بينهما الفعل الليزري هما: المستوي الارضي $E_1$ والمستوي $E_2$ وللحصول على الليزر يجب ضخ نصف عدد الذرات من المستوي الأرضي إلى المستوي العلوي للحصول على التوزيع المعكوس، لذلك نحتاج إلى طاقة ضخ عالية جداً. المستوي شبه المستقر لا يتم اختياره لعملية التوزيع المعكوس لأنه لا يستطيع خزن عدد كبير من الذرات أو الجزيئات المتهيجة مثل المستوي الليزري العلوي الذي يكون عريض جداً.

آلية الضخ في هذا النظام تتلخص بأن الضخ يؤدي الى رفع الذرات من المستوي الارضي الى المستوي العلوي ويكون عمر المستوي المتهيج العلوي اقل بكثير من عمر المستوي الوسطي $\tau_3 << \tau_2$، وبالتالي عند وصول الذرات الى المستوي $E_3$ فإنها تهبط بسرعة الى $E_2$، فتتم تغذية $E_2$ من $E_1$ عبر $E_3$ فيولد الانتقال من $E_2$ الى $E_1$ اشعاع الليزر المطلوب. من امثلة هذا النوع ليزر الياقوت.




شكل (٢-١): رسم تخطيطي يوضح نظام الليزر ثلاثي المستويات

يمكن حساب قدرة الليزر الخارجة من نظام ثلاثي المستويات كما في المعادلة الآتية:

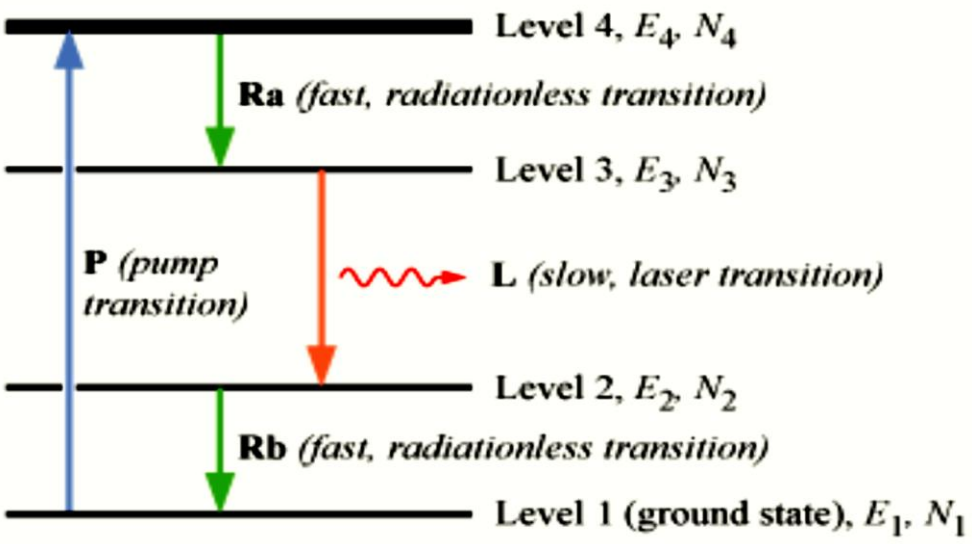
$$P_L = h\nu(w_P\beta N_1 - A_{21}N_2) \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}1)$$

حيث $h\nu$ هي طاقة الفوتون المنبعث (الليزر) ($h$ ثابت بلانك، $\nu$ تردد الفوتون)، $w_p$ تمثل معدل ضخ الذرات الى المستوي العلوي، $\beta$ هي كفاءة المستوي $N_2$ و $A_{21}$ هي احتمالية الانبعاث التلقائي من المستوي شبه المستقر الى المستوي الارضي.

## ٢) نظام المستويات الرباعي Four-Level System:

يتكون من اربع مستويات للطاقة وهي كل من: المستوي الارضي، والمستوي الليزري السفلي، والمستوي المتهيج، والمستوي الليزري العلوي. المستوي الأرضي هو ليس نفسه المستوي الليزري السفلي، لذلك فإننا لا نحتاج إلى مصدر ضخ قوي جدا لتحقيق التوزيع المعكوس، فبالمقارنة مع نظام ليزر ذي ثلاث مستويات هناك مستوى طاقة إضافي فوق المستوى الأرضي، وهذا المستوى الإضافي له عمر زمني قصير جداً. إن عملية الضخ في نظام الأربع مستويات مشابهة لعملية الضخ فيال نظام ثلاثي المستويات، وهذا يتم من خلال الحصول على التوزيع المعكوس للمستوى $E_3$ من خلال المستوي الطاقي $E_4$. أكثر المواد المستخدمة لتوليد الليزر تكون ذات نظام مستويات رباعية. اهم مميزات النظام رباعي المستويات هي ان حد العتبة يكون اقل والكفاءة اعلى ويحتاج الى طاقة ضخ اقل ويمكن ان يعمل بالنمط المستمر.

يمكن تلخيص ألية الضخ في هذا النظام بأن الضخ يؤدي الى رفع الذرات من المستوي $E_1$ ال المستوي $E_4$، ويتم اختيار الوسط الفعال بحيث يحدث فيه هبوط للذرات الى $E_3$ وكذلك هبوطاً سريعاً من $E_2$ الى $E_1$. بهذا يتحقق توزيعاً معكوساً بين المستوي $E_3$ كمستوي اعلى والمستوي $E_2$ كمستوي اوطأ، حيث يولد الانتقال بينهما اشعاع الليزر المطلوب. ومن الامثلة على هذا النوع ليزر النيديميوم.




شكل (٢-٢): رسم تخطيطي يوضح نظام الليزر رباعي المستويات

يفضل استخدام خطة الضخ رباعية المستويات بالرغم من قدرة الخطة ثلاثية المستويات على تحقيق التوزيع المعكوس، لأن تنفيذ هذا التوزيع في النظام الرباعي يكون اسهل حيث ان قدرة الضخ المطلوبة في النظام الرباعي اقل مما في الثلاثي.

يمكن حساب قدرة الليزر الخارجة من نظام رباعي المستويات كما في المعادلة الآتية:

$$P_L = h\nu\Delta N_c w_L = h\nu\Delta N_c\left(\frac{\acute{P}_2}{\Delta N_c} - w_{21}\right) \text{ ..... (2-2)}$$

حيث $\Delta N_c$ تمثل قيمة التوزيع المعكوس، $w_L$ تمثل معدل نزول الذرات من المستوي الليزري العلوي الى المستوي الليزري السفلي و $P`_2$ هي قدرة الضخ المؤثرة وتحسب كما يأتي:

$$\acute{P}_2 = P_2\left[1 - \left(\frac{w_2}{w_{10}}\right)\left(1 + \frac{P_1}{P_2}\right)\right] \text{ ..... (2-3)}$$

اذا كان عدد الذرات $N_2$ اكبر من $N_1$ بمقدار (1) فهذا يعني حدوث التوزيع المعكوس بين المستويين $E_3$ و $E_2$.

يمكن المقارنة بين نظامي المستويات الثلاثي والرباعي كما يأتي:

| ت | نظام المستويات الثلاثي | نظام المستويات الرباعي |
|---|---|---|
| ١ | يتكون من ثلاث مستويات | يتكون من اربع مستويات |
| ٢ | يتطلب ضخ نصف عدد الذرات من المستوي الأرضي إلى المستوي المتهيج للحصول على التوزيع المعكوس | يتطلب ضخ عدد قليل من الذرات من المستوي الأرضي إلى المستوي المتهيج للحصول على التوزيع المعكوس |
| ٣ | المستوي الأرضي هو نفسه المستوي الليزري السفلي | المستوي الأرضي ليس هو المستوي الليزري السفلي |
| ٤ | يحدث الفعل الليزري بين $E_2$ و $E_1$ | يحدث الفعل الليزري بين $E_3$ و $E_2$ |
| ٥ | يحتاج إلى مصدر لطاقة ضخ عالية | لا يحتاج إلى مصدر لطاقة ضخ عالية |
| ٦ | عمر المستوي $E_3$ صغير جداً | عمر المستوي $E_4$ صغير جداً |
| ٧ | يحدث انتقال سريع بين $E_3$ و $E_2$ | يحدث انتقال سريع بين $E_4$ و $E_3$ |
| ٨ | اقل كفاءة من نظام المستويات الرباعي | اعلى كفاءة من نظام المستويات الثلاثي |
| ٩ | يمكن حساب قدرة الليزر الخارجة من المعادلة: $P_L = h\nu(w_P\beta N_1 - A_{21}N_2)$ | يمكن حساب قدرة الليزر الخارجة من المعادلة: $P_L = h\nu\Delta N_c\left(\frac{\acute{P}_2}{\Delta N_c} - w_{21}\right)$ |