ليزر الموجة المستمرة (CW) والنبضي:

يمكـــن تشـــغيل الليـــزر فـــي أوضـــاع موجـــة مســـتمرة CW أو النبضـــية Pulsing wave. مع ليزر CW ، يتم تطبيق الطاقة بشكل مستمر ، أو يتم ضخه في وسط ليزر ، مما ينتج عنه إخراج ليزر مستمر. تشير عملية شبه CW (وتسمى أيضًا عملية النبض الطويل أو الوضع الطبيعي) إلى الليزر النبضي مع مدة نبضة طويلة.

على الرغم من أن سلوك النظام يشبه CW في نهاية النبض ، بشكل عام ، تختلف تمامًا عن بداية النبضة. الطريقة الأكثر مباشرة للحصول على ضوء نبضي من الليزر هي استخدام ليزر CW بالتزامن بمفتاح أو مُعدِّل خارجي ينقل الضوء فقط خلال الوقت القصير المحدد فترة. ومع ذلك ، فإن هذه الطريقة البسيطة لها عيبان متميزان. أولا ، العملي لها غير فعال لأنه يحجب (وبالتالي يهدر الضوء) الطاقة أثناء توقف النبض قطار. ثانيًا ، لا يمكن أن تتجاوز قدرة الذروة للنبضات القدرة لقيمة معينة لا ترتقي الى تطبيقها في تطبيقات متطورة.

تعتمد مخططات النبض الأكثر كفاءة على تشغيل الليزر وإيقافه عن طريق عملية التعديل الداخلي ، المصممة بحيث يتم تخزين الطاقة أثناء التوقف عن العمل وإطلاقها خلال الوقت المحدد. يمكن تخزين الطاقة إما في المرنان ، في شكل ضوء يسمح دوريًا ، أو في النظام الذري ، في شكل انعكاس سكاني التي يتم تحريرها بشكل دوري عن طريق السماح للنظام بالتذبذب. تسمح هذه المخططات لليزر من توليد النبضات بقدرات ذروة تتجاوز بكثير القدرة الثابتة التي يمكن توصيلها بواسطة الليزر CW. في الليزر النبضي النموذجي ، يؤدي الضخ المكثف في بداية نبضة الطاقة إلى قلب التعداد ، مع كسب عالٍ بناء موجة واقفة في التجويف البصري ، مما يؤدي إلى استنفاد انعكاس السكان (قلب التعداد) ، ويوقف إخراج الليزر بشكل أساسي. هذه العملية تكرر نفسها حتى يتوقف الضخ ، وبالتالي ، يتكون خرج الليزر من سلسلة من انتقالات في الطاقة الشديدة المتداخلة. في ليزر CW ، تستقر هذه العملية بشكل أساسي في حالة مستقرة ، مما يؤدي إلى استمرار حقيقي في انتاج الليزر. لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة ، يتم أيضًا تكوين وتركيز وسيط الليزر حيث يجب تحسين بناء تجويف الليزر والمرايا بطريقة مختلفة للنبض أو عملية CW.

- **قد يختلف خرج الطاقة لشعاع الليزر من بضعة ملي واط إلى بضعة كيلووات. لكن هذه الطاقة تتركز في شعاع ذو مقطع عرضي صغير جدًا. تُعطى شدة شعاع الليزر تقريبًا بواسطة:**

$$I = (10/\lambda)^2 P \qquad W/m^2$$

حيث P هي القدرة التي يشعها الليزر

في احد الليزرت كانت القدرة المشعة لليزر (1Watt) وعند طول موجي محدد فان الشدة تصبح:

$$\lambda = 6328^* 10^{-10}\ \text{m, and}$$

$$I = 100 * 10^{-3}\ W / (6328 * 10^{-10})^2\ m^2$$

$$= 2.5 * 10^{11}\ W/m^2$$

ليـــزر الحالـــة الصلبـــة:

يتكون ليزر الحالة الصلبة من وسط مضيف وأيونات نشطة او فعالة في المادة المضيفة الصلبة. يجب أن يكون للأيون النشط **خط انتقال محدد ونطاقات امتصاص واسعة وكفاءة كمية عالية لطول الموجة**. يجب أن تكون **المادة المضيفة قوية ومقاومة للكسر وذات موصلية حرارية عالية وجودة بصرية عالية**. أظهرت المواد البلورية أن لها هذه الخصائص ، عند مادة بأيونات نشطة. تعتبر مواد السيليكات ، مواد الفوسفات ، المواد البلورية مثل العقيق ، الألومينات ، أكاسيد المعادن ، الفلورايد ، الموليبدات ، مضيفات جيدة جدًا. الأيونات النشطة المهمة هي أيونات النادرة مثل النيوديميوم والإربيوم والهولميوم والمعادن الانتقالية مثل الكروم والتيتانيوم والنيكل وما إلى ذلك. الزجاج ، الكسندريت ، التيتانيوم: الياقوت ، إلخ.

يتم إعطاء الأجزاء الأساسية من ليزر الحالة الصلبة الذي يتم ضخه بمصدر ضخ وميضي. جميع مواد الليزر ذات الحالة الصلبة المستخدمة كوسط نشط لها نطاقات امتصاص في المنطقة المرئية. وبالتالي ، يتم استخدام الضخ البصري بمصابيح فلاش لها أطياف انبعاثها في المنطقة المرئية كآلية إثارة. تعد أشعة الليزر ذات الحالة الصلبة التي يتم ضخها بمصباح فلاش ، بشكل عام ، غير فعالة للغاية ، حيث يتم استخدام منطقة محدودة وضيقة من أطياف الانبعاث في عملية الامتصاص ، حيث يكون نطاق الامتصاص للأيون النشط ضيقًا جدًا ولا يتم استخدام الباقي. أدى الضخ باستخدام ليزر الدايود مع الإخراج المطابق بدقة مع نطاق الامتصاص للوسط النشط إلى تحسين كفاءة ليزر الحالة الصلبة إلى حد كبير ، وفي بعض الأحيان كان يلامس ١٠٠٪ تقريبًا. ولكن نظرًا لأن طاقة خرج ليزر الصمام الثنائي منخفضة نوعًا ما ، فإن إخراج ليزر الحالة الصلبة منخفض أيضًا. للتغلب على هذا العيب ، يتم استخدام مجموعات من الثنائيات لزيادة إنتاجها الإجمالي ، وبالتالي توليد طاقة عالية جدًا من الليزر مثل أنظمة الليزر التي يتم ضخها بمصباح فلاش. الميزة الحقيقية لليزر الحالة الصلبة الذي يتم ضخه بواسطة الصمام الثنائي هي أنه مضغوط جدًا وخفيف الوزن وصغير الحجم وعمر طويل.

يتم عادةً ضخ وسائط الكسب بأحد الأشكال التالية:

الضخ البصري

الضخ الكهربائي

الضخ الكيميائي

بقدر ما يتعلق الأمر بليزر الحالة الصلبة ، يتم استخدام الضخ البصري بشكل أساسي. يستخدم الضخ البصري إما cw أو الضوء النبضي المنبعث من مصباح قوي أو شعاع ليزر. يمكن تحقيق الضخ البصري بالضوء من مصادر قوية غير متشاكهة . يمتص الوسط النشط الضوء غير المتشاكه بحيث يتم ضخ الذرات إلى مستوى الليزر العلوي. هذه الطريقة مناسبة بشكل خاص لليزر الحالة الصلبة أو السائل الذي تكون نطاقات امتصاصه واسعة بما يكفي لامتصاص طاقة كافية من مصادر الضوء غير المتماسكة ذات النطاق العريض.

إذا كانت هناك أشعة ليزر ذات أطوال موجية ضوئية ضمن نطاقات الامتصاص للوسط النشط ، فيمكننا استخدام مصابيح الليزر هذه للضخ. نظرًا لأن عرض النطاق الترددي لضوء الليزر ضيق جدًا ، يمكن أن تكون كفاءة الضخ عالية جدًا. لا يقتصر ضخ الليزر على ليزر الحالة الصلبة ، بل يمكن استخدامه أيضًا لليزر السائل والغاز. في الواقع ، أصبح ضخ ليزر الصمام الثنائي هو الوسيلة السائدة للضخ البصري لأسباب نوقشت أدناه.

تم ضخ أول ليزر على الإطلاق ، وهو ليزر الياقوت الذي أبلغ عنه ميمان ، بمصباح تفريغ. فلاش (وميضي). على الرغم من أنها ليست فعالة للغاية ، لا تزال هناك مزايا قليلة ؛ على سبيل المثال:

تكلفة كل واط من طاقة المضخة المولدة أقل بكثير بالنسبة للمصابيح ، مقارنة بصمامات الليزر الثنائية المستخدمة في ضخ الصمام الثنائي.

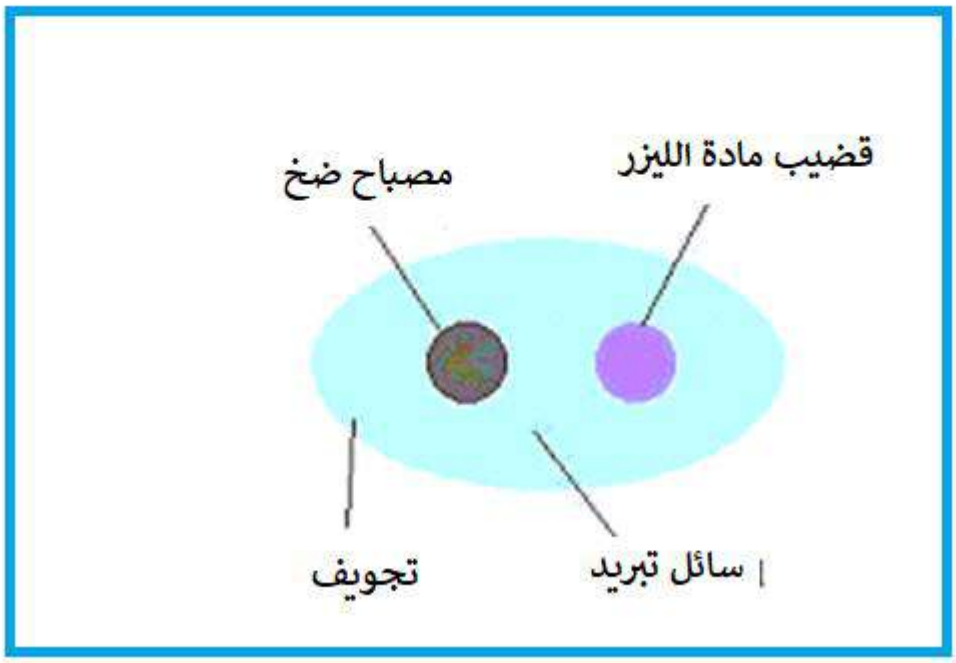
يمكن توليد قوى عالية جدًا للمضخة (خاصة طاقات الذروة).

المصابيح قوية إلى حد ما ، على سبيل المثال محصن تمامًا من الجهد أو المسامير الحالية.

ومع ذلك ، فإن عمر الجهاز وكفاءة الطاقة والتبريد والعدسات الحرارية ليست قضايا مهمة حقًا على سبيل المثال عند تشغيل مصباح الفلاش بمعدل تكرار نبض منخفض وقوة متوسطة منخفضة ، كما هو مطلوب ، على سبيل المثال في أنظمة النقش والنقش.

يمكن تصنيف مصابيح التفريغ المستخدمة في ضخ الليزر في فئتين: مصابيح القوس ومصابيح الفلاش. عادةً ما يتم تحسين مصابيح القوس للتشغيل المستمر ، بينما تجد مصابيح الفلاش تطبيقاتها في المصابيح النبضية.

في معظم الحالات ، يتم وضع قضيب المادة الفعالة والمصباح داخل غرفة مضخة ذات جدران عاكسة ، بحيث يمكن امتصاص نسبة أكبر من ضوء المضخة المتولد في قضيب الليزر (كما هو موضح في الشكل). يتم تدوير الماء المبرد أو خليط جلايكول الإيثيلين لإزالة الحرارة الزائدة. بالإضافة إلى الأشكال الهندسية للقضيب ، يمكن أيضًا ضخ ليزر الألواح من خلال مصابيح الفلاش. هنا ، تضخ مجموعة من المصابيح لوحًا عبر وجهها الكبير ، ربما من كلا الجانبين. يمكن حقن ضوء المضخة من خلال طبقة من سائل التبريد.



تشمل العيوب الرئيسية المرتبطة بضخ مصباح الفلاش منها:

عمر المصابيح محدود للغاية - يصل عادةً إلى بضعة آلاف من الساعات.

تحتوي مصابيح الفلاش على أطياف انبعاث واسعة في حين أن أطياف الامتصاص لوسائط الليزر لها ذروات امتصاص محددة أكثر أو أقل. . نتيجة لذلك ، فإن معظم الطاقة الضوئية المنبعثة من مصباح الفلاش تضيع.

ليزر الياقوت هو ليزر أحمر ذو حالة صلبة يعتمد على بلورة ليزر الياقوت الاصطناعية كوسيط ربح. الياقوت هو اكسيد الالمونيوم مخدر بالكروم (أكسيد الألومنيوم ، Al2O3 :+ Cr3). كان الليزر الأول ،

الذي أظهره ميمان في مختبرات أبحاث هيوز عام ١٩٦٠ ، عبارة عن ليزر ياقوت يعمل بمصباح فلاش يعمل بمضخة ضوئية ويصدر عند ٦٩٤.٣ نانومتر. الضخ البصري ممكن في المنطقة الطيفية الخضراء والزرقاء.

على الرغم من تطوير العديد من ليزرات الحالة الصلبة في وقت لاحق ، إلا أن ليزر الياقوت ينتمي إلى عدد قليل نسبيًا من الليزر المرئي ذي الحالة الصلبة. معظم الآخرين ينبعثون في المنطقة الطيفية للأشعة تحت الحمراء. على عكس أنواع الليزر الأحمر الأخرى ، مثل ليزر الهيليوم والنيون ، فهي مناسبة لتوليد نبضات مكثفة.

تعد الخصائص ذات المستويات الثلاثة والأطوال الموجية غير الملائمة للمضخة هي العوائق الرئيسية التي تحول دون استخدام ليزر الياقوت. **!!!؟؟؟ لماذا واجب بيتي**

تنتمي الياقوت إلى فئة وسائط اكتساب الليزر ثلاثية المستويات ، وبالتالي تتطلب شدة ضخ عالية جدًا لإنتاج اكتساب الليزر. Nd: YAG ، وهو مثال بارز على وسيط كسب رباعي المستويات ، أسهل بكثير في التشغيل. بالإضافة إلى ذلك ، فإن ضوء المضخة الأخضر أو الأزرق المطلوب يجعل ضخ الصمام الثنائي صعبًا بالمثل كما هو الحال بالنسبة لليزر التيتانيوم والياقوت ؛ من الممكن ، مع ذلك ، مع ثنائيات الليزر الأزرق [٢]. في الغالب ، يتم ضخ ليزر الياقوت بمصابيح فلاش ، إما في وضع التشغيل الحر (مع فترات نبضة تصل إلى ١ مللي ثانية) أو مع تبديل Q لنبض نانوثانية مع طاقة ذروة أعلى مقابلة. يمكن تحقيق طاقات نبضة عالية جدًا (على سبيل المثال **1 J**) ، على الرغم من أنه يصعب دمجها مع جودة شعاع عالية.

نظرًا لأدائها المحدود ، لا يتم استخدام ليزر الياقوت على نطاق واسع. كانت التطبيقات الأولية لأجهزة ضبط المدى بالليزر ، والتصوير الفوتوغرافي عالي السرعة ، والتصوير الهولوجرافي النبضي ، والوشم وإزالة الشعر (← الليزر الطبي) ، بصرف النظر عن الضخ النبضي لأشعة الليزر الصبغية. في الوقت الحاضر ، تُستخدم بعض أنواع ليزر الياقوت Q-switched في حفر الماس.أول ليزر الحالة الصلبة في العالم ، اخترعه ميمان عام ١٩٦٠ ، له الآن أهمية تاريخية فقط. مضيف الليزر هو اوكسيد الألومنيوم (Al2O3) مع الكروم المتأين ثلاثيًا (Cr3 +) كأيون نشط.

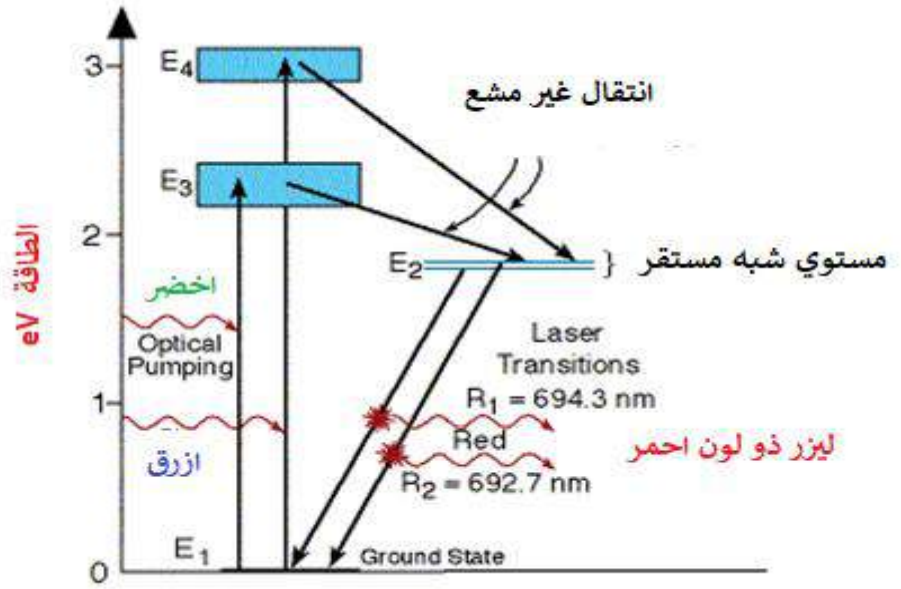
كانت هذه المادة الأولى المستخدمة هي الياقوت الصناعي. الياقوت هو ألومينا بلوري (Al2O3) حيث تم استبدال جزء صغير من أيونات Al3 + بأيونات الكروم ، Cr3 +. إن أيونات الكروم هي التي تؤدي إلى ظهور اللون الوردي أو الأحمر المميز للياقوت ، وفي هذه الأيونات يتم ضبط انعكاس السكان في ليزر الياقوت.

يتم استخدام منطقتي الامتصاص الواسعتين المتمركزة على ٤٠٠ نانومتر و ٥٥٠ نانومتر في الضخ البصري للياقوت. وبالتالي فإن معظم ضوء المضخة المفيدة لقضيب الياقوت يقع في الجزء الأزرق والأخضر من الطيف المرئي. في ليزر الياقوت ، يتم تشعيع قضيب من الياقوت بوميض شديد من الضوء من أنابيب فلاش مليئة بالزينون. تمتص أيونات الكروم الضوء الموجود في المناطق الخضراء والزرقاء من الطيف ، مما يرفع طاقة إلكترونات الأيونات من مستوى الحالة الأرضية إلى نطاقات F واسعة من المستويات. تخضع الإلكترونات الموجودة في نطاقات F بسرعة لتحولات غير إشعاعية إلى مستويين E غير مستقر. لا ينتج عن الانتقال غير الإشعاعي انبعاث الضوء ؛ يتم تبديد الطاقة المنبعثة في الانتقال كحرارة في بلورة الياقوت. تعد المستويات غير المستقرة غير عادية من حيث أن لها عمرًا طويلًا نسبيًا يبلغ حوالي ٤ مللي ثانية (٤ × ١٠-٣ ثوانٍ) ، وعملية الاضمحلال الرئيسية هي الانتقال من المستوى الأدنى إلى الحالة الأرضية. يسمح هذا العمر الطويل لنسبة عالية أكثر من النصف) من أيونات الكروم بالتراكم في المستويات غير المستقرة بحيث يتم ضبط انعكاس السكان بين هذه المستويات ومستوى الحالة الأرضية. هذا الانقلاب السكاني هو الشرط المطلوب للانبعاث المحفز للتغلب على الامتصاص وبالتالي يؤدي إلى تضخيم الضوء. في مجموعة من أيونات الكروم تم فيها إعداد انعكاس تعداد سكاني ، سوف يتحلل بعضها تلقائيًا إلى مستوى

الحالة الأرضية الذي ينبعث منه ضوء أحمر بطول موجي ٦٩٤.٣ نانومتر في هذه العملية. يمكن أن يتفاعل هذا الضوء بعد ذلك مع أيونات الكروم الأخرى الموجودة في المستويات غير المستقرة مما يؤدي إلى إصدار ضوء بنفس الطول الموجي عن طريق الانبعاث المحفّز. نظرًا لأن كل فوتون محفز يؤدي إلى انبعاث فوتونين ، فإن شدة الضوء المنبعث سوف تتراكم بسرعة من خلال هذه العملية المتتالية.

مستويات طاقة ليزر الياقوت:

مخطط مستوى الطاقة لليزر الياقوت موصوف في الشكل التالي:



الشكل التالي مخطط مستوى الطاقة لليزر الياقوت

واجب (احسب عمر الانتقال بين مستويات الطاقة في نظام ليزر الياقوت)

هذا النظام عبارة عن ليزر ثلاثي المستويات مع انتقالات ليزر بين E2 و E1.

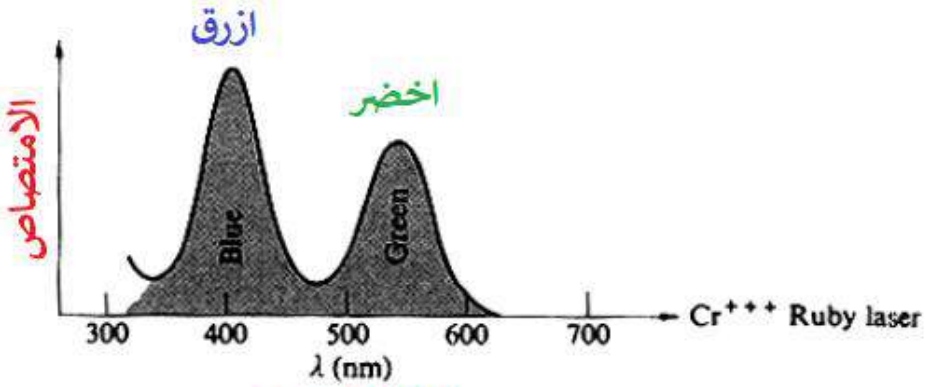
يتم إثارة أيونات الكروم بواسطة نبضات ضوئية من مصابيح الفلاش (عادةً زينون).

تمتص أيونات الكروم الضوء بأطوال موجية حوالي ٥٤٥ [نانومتر] (٥٠٠-٦٠٠ [نانومتر]). نتيجة لذلك ، يتم نقل الأيونات إلى مستوى الطاقة المثارة E3.

من هذا المستوى ، تنخفض الأيونات إلى مستوى الطاقة المستقر E2 في انتقال غير إشعاعي. يتم نقل الطاقة المنبعثة في هذا الانتقال غير الإشعاعي إلى الاهتزازات البلورية وتحويلها إلى حرارة يجب إزالتها بعيدًا عن النظام.

يبلغ عمر المستوى غير المستقر (E2) حوالي ٥ [ملي ثانية].

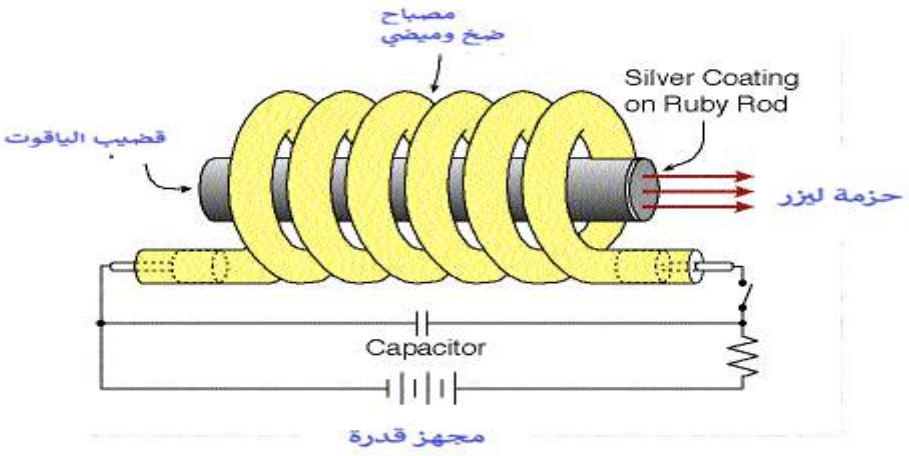
يحتوي ليزر الياقوت على نطاق امتصاص آخر يمكن استخدامه في الضخ ، في نطاق الطيف: ٣٥٠-٤٥٠ [نانومتر].



طيف الامتصاص في ليزر الياقوت

من الصعب تحقيق التشغيل المستمر لليزر الياقوت لأنه ليزر ثلاثي المستويات. ومع ذلك ، في عام ١٩٦٢ ، باستخدام مضخة مكثفة للغاية ، باستخدام مصباح القوس مع بخار الزئبق عالي الضغط ، تم بناء موجة مستمرة من ليزر الياقوت.

غالبًا ما يُشار إلى ليزر الياقوت كمثال على نظام ثلاثي المستويات. يتم تضمين أكثر من ثلاثة مستويات للطاقة في الواقع ولكن يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات. هؤلاء هم؛ شكل المستوى الأدنى الذي يتم فيه الضخ ، ومستويات F التي يتم فيها ضخ أيونات الكروم ، والمستويات غير المستقرة التي يحدث منها الانبعاث المحفّز. إنه ليزر ثلاثي المستويات ، وبالتالي فإن عتبة عمل الليزر تقارب ٣٠٠ إلى ٤٠٠ مرة عند مقارنتها بليزر Nd: YAG (ليزر أربعة مستويات) من نفس الأبعاد. تمت مناقشة عمل هذا الليزر مسبقًا.



تبلغ فجوة الطاقة بين مستوى الليزر العلوي ومستوى الأرض في ليزر الياقوت [1.789 eV]. ما هو الطول الموجي للضوء المنبعث من ليزر الياقوت؟

الحل :عن طريق قيم الطاقة في معادلة الطول الموجي ، نحصل على:

$$\lambda = hc/(E_2-E_1)$$

$$\lambda = (6.626*10^{-34}\ [J\text{-}s])*(3*10^{10}\ [m/s])/(1.789\ [eV])*(1.6*10^{-19}\ [eV^{-1}])$$
$$= 6.943*10^{-7}\ [m] = 694.3\ [nm]$$

الطول الموجي المنبعث من ليزر الياقوت يقع على حافة الطيف المرئي.

تشغيل ليزر الياقوت يستمد مصباح الفلاش طاقته من تفريغ مكثف. يتم قياس مدة التفريغ بالميكروثانية ، وبالتالي فإن مدة نبضة ضوء الإثارة من مصباح الفلاش تكون بنفس المقدار. وبالتالي ، فإن مدة نبضة الإشعاع من ليزر الياقوت تساوي مقدار ميكروثانية. تنبعث بعض الفوتونات عن طريق الانبعاث التلقائي في الانتقال بين مستويات الطاقة E2 إلى E1.

بسبب الانعكاس السكاني بين هذين المستويين من الطاقة ، تتسبب هذه الفوتونات المنبعثة تلقائيًا في انبعاث فوتونات أخرى في انبعاث محفز. يتم تحديد التحكم في اتجاه انبعاث الإشعاع من خلال خصائص التجويف البصري والخرج الليزري. فقط الفوتونات المنبعثة على طول محور الليزر ستستمر في التحرك للخلف والقوة بين مرايا التجويف البصري. وبالتالي سوف يحفزون المزيد والمزيد من الفوتونات التي ستنبعث على طول المحور. **يتم تحديد كمية الطاقة المنبعثة في كل نبضة بواسطة الوسط النشط ونظام الإثارة.**

ليزر النداميوم – ياك (Nd: YAG Laser)

- Yttrium Aluminium Garnet (YAG) Y3Al5O12 أفضل خيار للمضيف
- أيونات النيوديميوم (Nd)
- تقدم YAG عتبة منخفضة ومكاسب عالية
- YAG عبارة عن بلورة صلبة للغاية متناحية الخواص
- خصائص حرارية وميكانيكية جيدة
- يمكن زراعتها وتصنيعها في قضبان ذات جودة بصرية عالية
- التشغيل: CW والوضع النبضي (معدل التكرار العالي)
- كفاءة حوالي ١٠ مرات مقارنة بالياقوت
- استبدال الياقوت في أجهزة تحديد المدى العسكرية ، والتطبيقات الأخرى
- تستخدم في صناعة أشباه الموصلات لتشذيب المقاوم والسيليكون

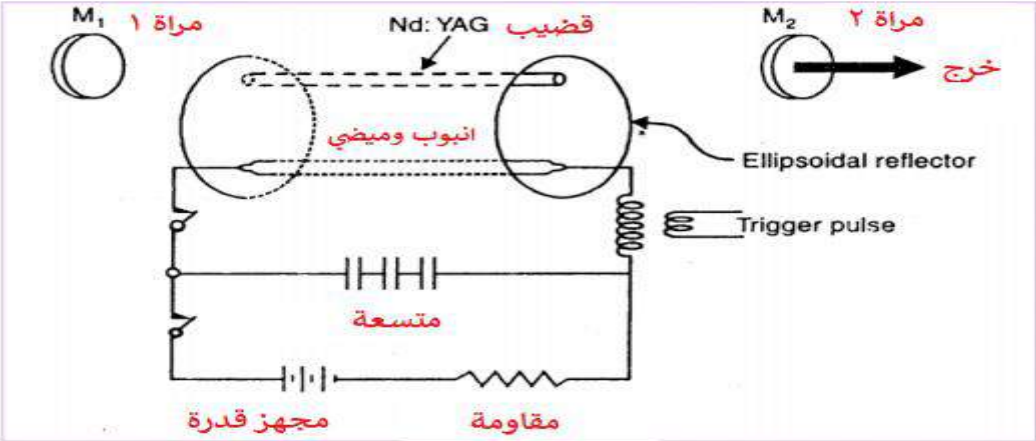
للعملية المستمرة أو العالية جدًا بمعدل التكرار ،بلوري توفر المواد مكاسب أعلى وحرارة أكبر.

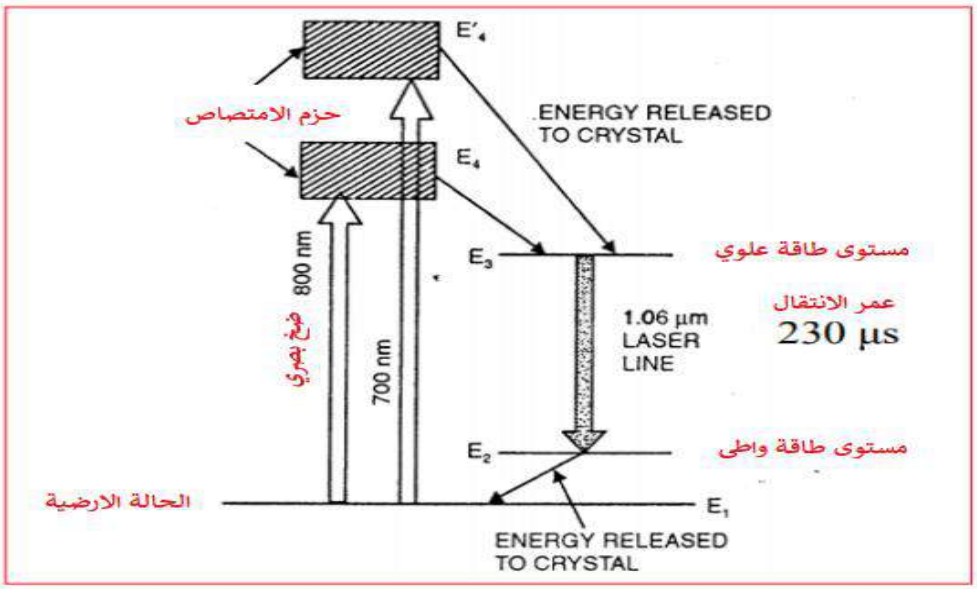
المادة النشطة: أيونات نيوديميوم (Nd) - أيون معدني نادر.

المضيف: YAG .... انبعاث عند ١.٠٦٤ ميكرومتر....في ليزر Nd: YAG ، يتم إجراء أيونات Nd 3+ من أيونات الإيتريوم • القضيب لمادة الوسط الليزري: طوله ١٠ سم وقطره ١٢ ملم

Nd: قضيب مادة الليزر YAG ومصباح فلاش خطي موجود في تجويف بيضاوي الشكل

في الممارسة العملية ، يتم استخدام المرايا الخارجية (١٠٠ ٪ ، ٩٩٪) نظام تبريد بواسطة دوران الماء.





يعتبر ليزر نادكيوم – ياك من الليزرات ذات الانمة رباعية المستويات.

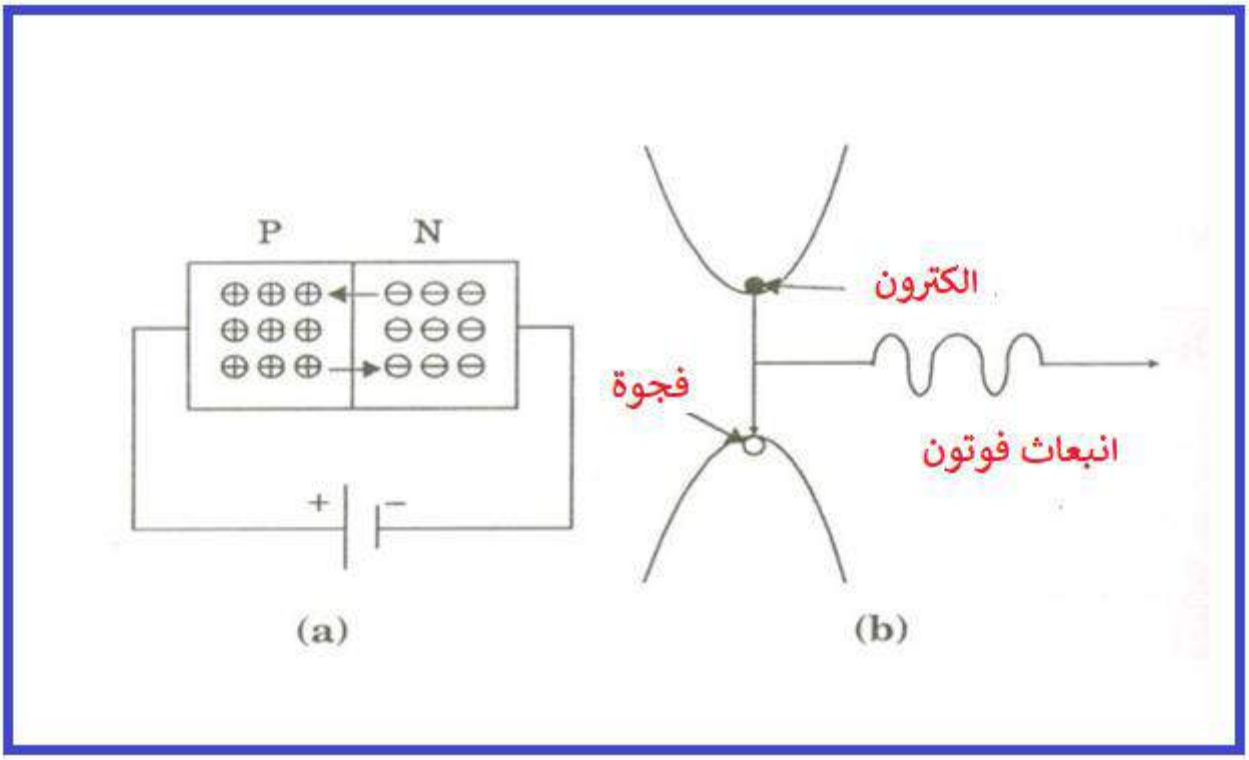
نطاقتان للضخ : ٧٠٠ نانومتر و ٨٠٠ نانومتر

- الضخ: مصباح فلاش زينون مكثف
- مستوى أيونات(Nd3 +) E4 ، يتحلل إلى مستوى الليزر العلوي عند E3
- انقلاب التعداد بسهولة بين المستويات E3 و E2
- محفز لانتاج الضوء بطول طوجي ١٠٦٤ نانومتر.

انتقال ليزرمن E2 ، تنخفض أيونات Nd3 + بسرعة إلى E1 بواسطة تحويل الطاقة إلى البلورة

ليزرات أشباه الموصلات :

ليزر شبه الموصل : هو وصله pn مُصنع خصيصًا ليعمل بانحياز امامي وهذه الوصلة مصنوعة من GaAs (أشباه الموصلات ذات فجوة الطاقة المباشرة) تعمل في درجات حرارة منخفضة وينبعث منها ضوء قريب من منطقة الأشعة تحت الحمراء. يعمل ليزر دايود أشباه الموصلات في درجة حرارة الغرفة وتم إنتاج الموجة المستمرة بحلول عام ١٩٧٠. يتم الآن تصنيع ليزر الوصلات pn لإصدار الضوء في أي منطقة من الطيف اي من **الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء.** ليزر شبه الموصل صغير الحجم (طوله ٠.١ مم) وذو كفاءة ٤٠٪. يستخدم هذا النوع من الليزرات في اتصالات الألياف البصرية ، في مشغلات الأقراص المضغوطة ، وأجهزة الاقراص المضغوطة و غيرها. تصنع اشباه الموصلات من مواد مثل السليكون والجرمانيوم والتي يتم تشويبها بمواد خماسية التكافو او ثلاثية التكافو لغرض الحصول على حاملات شحنة الكترونات (نوع n) او فجوات (نوع p)



يتحقق قلب التعداد في عمل ليزرات أشباه الموصلات عن طرق حزم الطاقة بدلاً من المستويات الطاقية ، يتم تحقيق قلب التعداد عن طريق اثارة الالكترونات الى حزمة التوصيل. يتطلب قلب التعداد وجود كثافة عالية من الإلكترونات في حزمة التوصيل وكثافة عالية من الفجوات في حزمة التكافؤ. عندما يكون الصمام الثنائي للوصلة p-n متحيزًا للأمام ، فإن الإلكترونات من المنطقة N والثقوب من المنطقة P- تعبر الوصلة وتتحد مع بعضها البعض. أثناء عملية إعادة التركيب ، يتم إطلاق إشعاع الضوء (الفوتونات) من أشباه موصلات معينة ذات فجوة نطاق مباشر محددة مثل Ga-As.

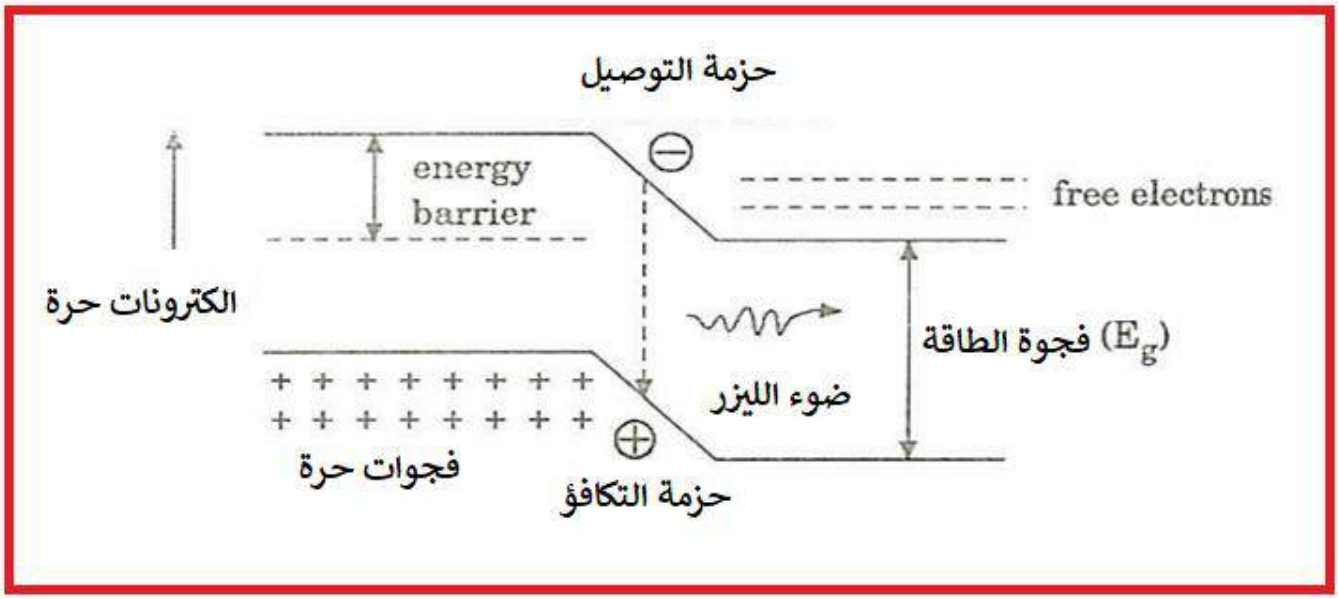
يُعرف هذا الإشعاع الضوئي باسم إشعاع إعادة التركيب. يحفز الفوتون المنبعث أثناء إعادة التركيب الإلكترونات والفجوات الأخرى على إعادة الاتحاد. نتيجة لذلك ، يحدث الانبعاث المحفز الذي ينتج الليزر. يوضح الشكل السابق البناء الأساسي لليزر أشباه الموصلات.

الوسط النشط عبارة عن صمام ثنائي لوصلة PN مصنوع من بلورة مفردة لزرنيخيد الغاليوم. يتم قطع هذه البلورة على شكل طبقة بسمك ٠.٥ ميكرومتر. يتم تحفيز انبعاث الفوتون في طبقة رقيقة جدًا من الوصلة PN

(بترتيب بضعة ميكرونات). يتم تطبيق الجهد الكهربائي على البلورة من خلال اقطاب كهربائية لمجهز قدرة مثبت على السطح العلوي. إن الوجوه النهائية (عند الحافة) للوصلة الثنائية مصقولة جيدًا ومتوازية مع بعضها البعض. تعمل كمرنان بصري يخرج من خلاله الضوء المنبعث.عندما يكون المقطع للوصلة PN متحيزًا للأمام

بجهد كبير مطبق ، يتم حقن الإلكترونات والثقوب (الفجوات) في منطقة الوصلة بتركيز كبير عندما يزداد الجهد المنحاز للأمام ، ينبعث المزيد والمزيد من فوتونات الضوء ويصبح إنتاج الضوء اكثر شدة. ستؤدي هذه الفوتونات سلسلة من إعادة التركيب المحفّز مما يؤدي إلى إطلاق الفوتونات في الطور.

تنتقل الفوتونات التي تتحرك على مستوى الوصلة ذهابًا وإيابًا عن طريق الانعكاس بين جانبين متوازيين وقابل لبعضهما البعض وتزداد قوتهما.



بعد اكتساب القوة الكافية ، يعطي شعاع ليزر بطول موجة ٨٤٠٠ أنكستروم . يتم حساب الطول الموجي لضوء الليزر بواسطة من خلال العلاقة

$$E_g = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

حيث Eg هي فجوة الطاقة بوحدات (J) او (eV).

١. إنها صغيرة جدا في الحجم. الترتيب بسيط ومضغوط.

٢. يظهر كفاءة عالية.

٣. يمكن زيادة خرج الليزر بسهولة عن طريق التحكم في تيار الوصلة.

٤. يتم تشغيلها بطاقة أقل من ليزر CO2 والياقوت.

٥. إنها تتطلب القليل من المعدات المساعدة

٦. يمكن أن يكون لها خرج موجة مستمر أو خرج نبضي.

الفرق الجوهري بين ليزر أشباه الموصلات والليزر على أساس الطاقة الذرية

المستويات هي أن الحاملات في أشباه الموصلات يتم توزيعها في جميع أنحاء المادة. ك

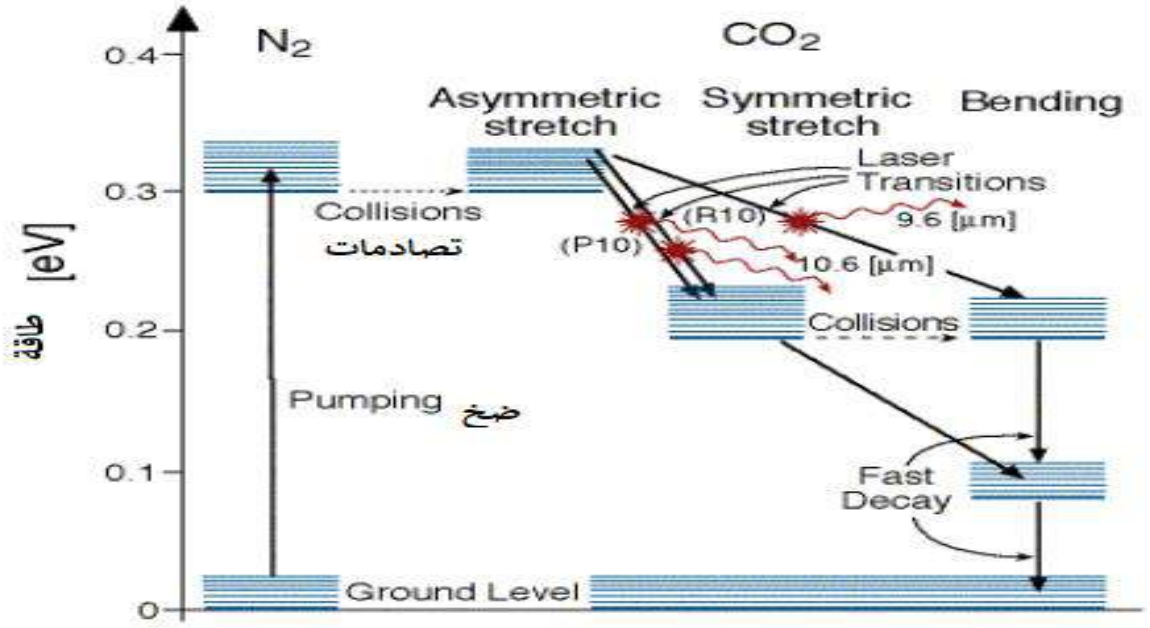
النتيجة ، بينما في حالة وجود مجموعة من الذرات ، يتفاعل النظام فقط مع حزمة مسبار

ترددها يساوي فرق الطاقة بين المستويات الذرية ، أشباه الموصلات يتفاعل مع مسبار (فوتون) طالما أن طاقة الفوتون أكبر من فجوة الفرقة. إذا كان التردد غير المترابط هو فجوة النطاق ، الامتصاص يتناسب المعامل مع كثافة الحالات عند الطاقة .

ليـــزر الغـاز الجزيئـي

في ليزر الغاز الجزيئي ، يتم تحقيق عمل الليزر من خلال التحولات بين المستويات الاهتزازية والدورانية للجزيئات. تصميمه بسيط وإخراج هذا الليزر مستمر.

في ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون الجزيئي ، يحدث الانتقال بين الحالات الاهتزازية لجزيئات ثاني أكسيد الكربون. هذا النوع من الليزرات يعتبر ليزر ذو أربعة مستويات ويعمل عند ١٠.٦ ميكرومتر في منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة. وهو ليزر فعال للغاية. الوسط النشط فيه عبارة عن خليط غازي من CO2 و N2 و He. يحدث انتقال الليزر بين **الحالات الاهتزازية لجزيئات ثاني أكسيد الكربون**.

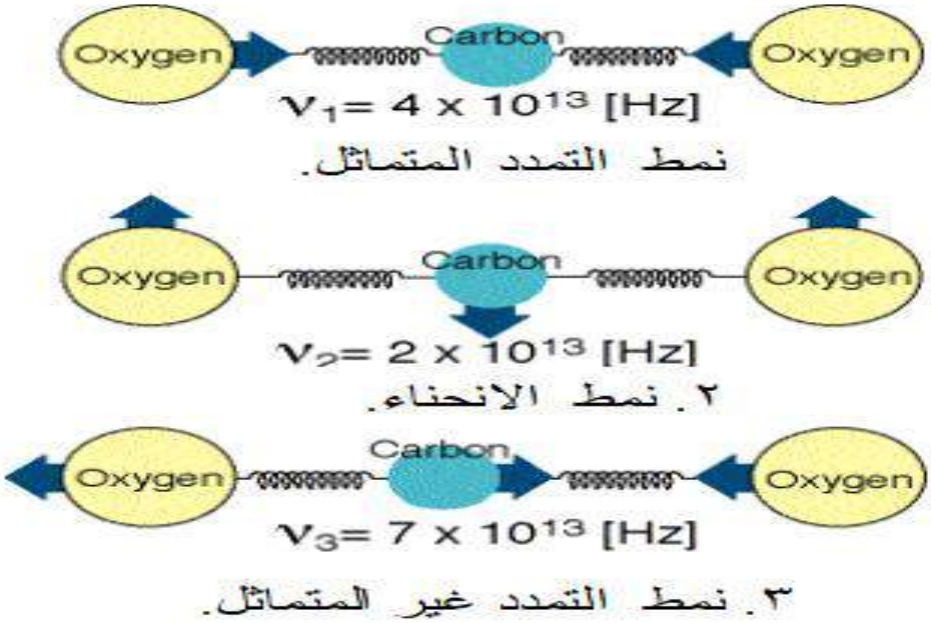


مستويات الطاقة لليزر CO_2

ثاني أكسيد الكربون هو جزيء خطي ، وتقع الذرات الثلاث على خط مستقيم خط مع ذرة الكربون في الوسط.

كما في الشكل التالي الذي يوضح **أنماط** جزيء CO2:

١. نمط التمدد المتماثل ٢ . نمط الانحناء. ٣. نمط التمدد غير المتماثل.



صفات:

١. النوع: ليزر غازي جزيئي.

٢. الوسط النشط: خليط من CO_2 ،N_2 والهيليوم أو بخار الماء يستخدم كوسيط نشط

٣. طريقة الضخ: يتم استخدام طريقة التفريغ الكهربائي لعمل الضخ

٤. مرنان بصري: مرآتان مقعرتان تشكلان تجويف رنيني

٥. انتاج الطاقة: انتاج الطاقة من هذا الليزر حوالي ١٠kW.

٦. طبيعة الإنتاج: قد تكون طبيعة الخرج عبارة عن موجة مستمرة أو موجة نبضية.

٧. الطول الموجي للخرج : الطول الموجي الناتج هو ٠.٦μm و ١٠.٦μm.

مزايا:

١. بناء ليزر ثاني أكسيد الكربون بسيط

٢. إخراج هذا الليزر مستمر.

٣. لها كفاءة عالية

٤. لديها طاقة انتاج عالية جدا.

٥. يمكن زيادة الطاقة الناتجة عن طريق تمديد طول أنبوب الغاز.

الاطياف الجزيئية:

هناك ثلاثة أنواع أساسية من الأطياف التي يمكننا ملاحظتها للجزيئات:

الأطياف الإلكترونية أو الاهتزازية (الأشعة فوق البنفسجية المرئية بالقرب من الأشعة تحت الحمراء)

(انتقالات بين مستوى اهتزازي ودوراني معين لحالة إلكترونية ومستوى اهتزازي ودوراني لحالة إلكترونية أخرى)

أطياف الاهتزازات أو الاهتزازات الدورانية (منطقة الأشعة تحت الحمراء) (التحولات من المستويات الدورانية لمستوى اهتزازي إلى مستويات دوران لمستوى اهتزازي آخر في نفس الحالة الإلكترونية)

أطياف الدوران (منطقة الميكروويف) (انتقالات بين مستويات الدوران لنفس المستوى الاهتزازي لنفس الحالة الإلكترونية)

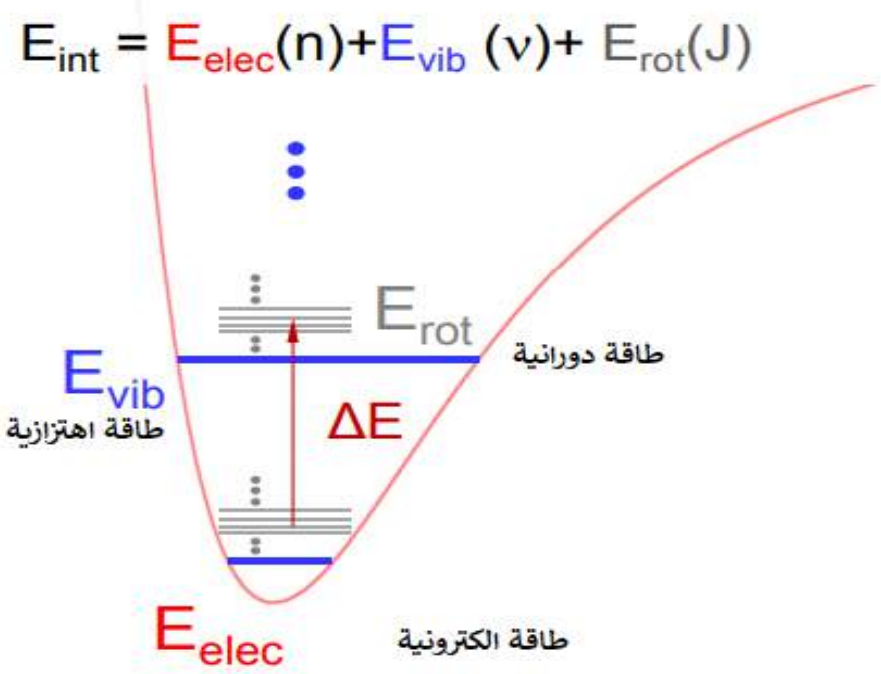
- أطياف الدوران ، حيث تكون الانتقالات بينمستويات الدوران من نفس المستوى الاهتزازي لنفسه الحزمة إلالكترونية.

• يتم عادة ملاحظة أطياف الدوران في منطقة الموجات الدقيقة المايكروية من الطيف.

• أطياف الاهتزاز والدوران في منطقة الأشعة تحت الحمراء اما الأطياف الإلكترونية في الطول الموجي فوق البنفسجي والمرئي والقريب من منطقة الأشعة تحت الحمراء.

• وفقًا لميكانيكا الكم فإن يفترض أن الدالة الموجية للجزيء تكون نتاج ثلاثة دوال موجية تصف حالات او مستويات الكترونية ، مستويات الطاقة الاهتزازية والدورانية.

• إجمالي الطاقة E_{int} لجزيء معين الحالة تساوي تقريبًا مجموع الطاقة الإلكترونية و طاقة المتذبذبات (الطاقة الاهتزرازية) (Ev) ، والطاقة الدورانية (E_{rot} أو Ej).



٥

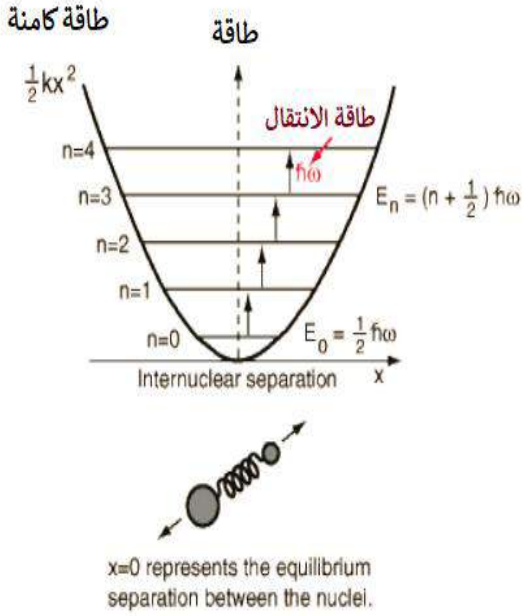
$$\Delta E_{rot} < \Delta E_{vib} < \Delta E_{elec}$$

مميزات الطاقة الاهتزازية للجزيئات مثل (ثاني اوكسيد الكاربون)

١. الطاقة الاهتزازية مكممة

٢. طاقة نقطة الصفر

٣. طاقات منفصلة لمتذبذب توافقي.



$$E_v = \left(v + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega \qquad v = 0,1,2,3 \ldots$$

$\omega = 2\pi$(التردد)

$\hbar =$ ثابت بلانك $/2\pi$

v العدد الكمي الاهتزازي

س ٢: ما هي مستويات الاهتزازات التي تشغلها درجة حرارة الغرفة عند الانتقال من المستوي الاهتزازي (v=0) الى (v=1). الحل:

$$\frac{V=1}{V=0} = \exp(-\Delta E/kT)$$

$k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K
T ~ 300 K (room temp)
kT $= 4.14 \times 10^{-21}$ J
$= 4.14$ e-21 / 1.6 e-19 eV = 0.0258 eV

E = h ν = 6.626 e-34 . (c/λ) . = 6.626 e-34 J. s x 3 e10 cm/s x 4160 cm^{-1}

$$\frac{V=1}{V=0} = \exp(-\Delta E/kT) = e^{-19.97} = 2.115 \text{ e } -09$$

ملاحظة: يسمى مقدار مقلوب الطول الموجي بالعدد الموجي ويقاس بوحدات مقلوب وحدات الطول.

س/ احسب الطاقة عندما V=0,1,2,3,4 في جزيئة CO_2

عند تردد مساوي الى الترددات في كل نزع من الانماط الثلاثة.

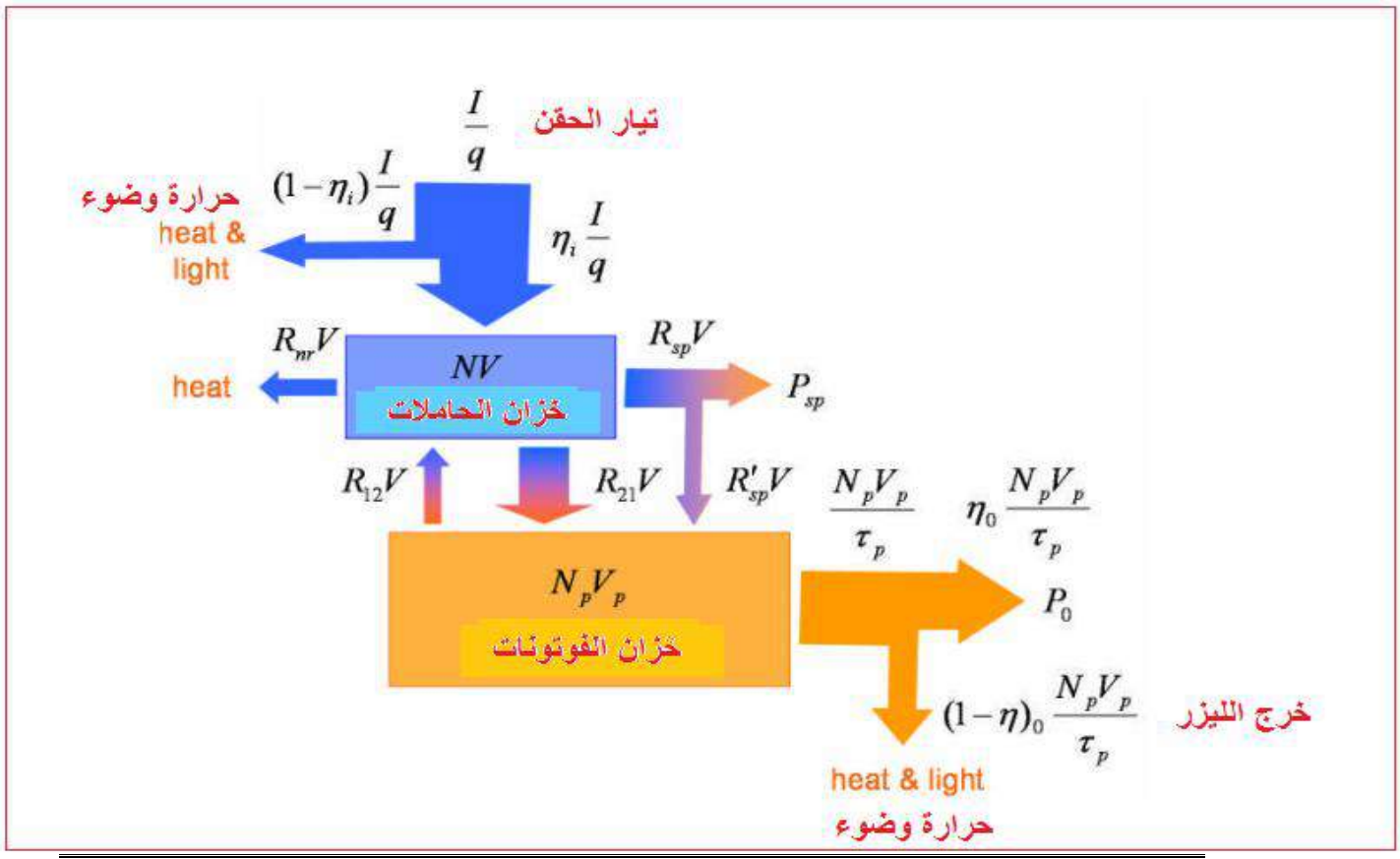
ملاحظة: v تمثل رتبة المستوي الاهتزازي.

ملاحظة لحل المثال اعلاه:

استخدم علاقة احتساب الطاقة للمستويات الاهتزازية لجزيئات ثاني اوكسيد الكاربون و التي تمثل المادة الفعالة في ذلك الليزر في الشكل السابق.

الوصف الرياضي لمعادلات المعدل (المنسوب) لليزرات أشباه الموصلات:

ان دراسة تغير كثافة الحاملات والفوتونات في ليزرات أشباه الموصلات تتم من خلال دراسة معادلات المعدل (المنسوب). وعند حقن المنطقة الفعالة بتيار حقن (ضخ كهربائي) سوف يؤدي الى الميكانيكيات التالية .الشكل التالي يوضح مخطط الية انتاج الفوتونات في ليزرات اشباه الموصلات



ان معادلات المعدل او المنسوب هي معادلات تفاضلية تعطي وصفا كاملا للسلوك الزمن للحاملات (N) وكثافة الفوتونات (N_P) بالإضافة الى القيم الأخرى كالربح والخسارة داخل الوسط الفعال.

وان المعادلات التفاضلية الرياضية التي تصف العمليات داخل تجويف الليزر تعطى بالشكل التالي:

1

$$V\frac{\mathrm{dN}}{\mathrm{dt}} = \frac{\eta_i\ I}{q} - (R_{sp} + R_{nr})V - (R_{21} - R_{12})V \qquad \text{_____(1)}$$

$$V_P\frac{\mathrm{dN_p}}{\mathrm{dt}} = (R_{21} - R_{12})V - \frac{\mathrm{N_p}\,V_P}{\tau_p} + R'_{sp}\,V \qquad \text{_____(2)}$$

الحد I/q يمثل تيار الحقن (I تيار الحقن و q شحنة الالكترون و N عدد الحاملات و $\mathrm{N_p}$ هي كثافة الفوتونات وان V تمثل حجم المنطقة الفعالة) ، وان المقدار $\frac{\eta_i\,I}{q}$ يمثل الجزء الذي يصل الى الوسط الفعال حيث: η_i تمثل الكفاءة الداخلية. ان عملية اعادة اتحاد الالتحام المشع بين الحاملات تحصل في خزان الحاملات (NV) بالاضافة الى وجود اعادة الالتحام غير المشع $R_{nr}V$ والجزء الذي يبقى سوف تتم اعادته ليتحد بشكل تلقائي بالنسبة $R_{sp}V$ ، والجزء الاخر يمثل انبعاث محفز يعطى بالمقدار $R_{st}V$ وتتم عملية امتصاص جزء من الحاملات في خزان الفوتونات ($\mathrm{N_P\ V_P}$) بمقدار $R_{12}V$ و R_{21} معامل الانبعاث المحفز و R_{12} معامل الامتصاص و V_P حجم النمط المشغول بالفوتونات (حجم التجويف) و τ_p زمن عمر الفوتون و R_{sp} معدل الانبعاث التلقائي و R_{nr} معدل اعادة الالتحام غير المشع و R_l معدل تسرب الحاملات و R_{st} معدل اعادة الالتحام المحفز يتضمن كل من الامتصاص والانبعاث المحفز وR'_{sp} معدل الانبعاث التلقائي لوحدة الحجم في النمط الليزري. في المنطقة الفعالة، يعطي تيار الحقن حد التوليد وعمليات الالتحام. المعادلة (1) يمكن ان تكتب بالشكل التالي:

$$\frac{\mathrm{dN}}{\mathrm{dt}} = \mathrm{G}_{gen} - \mathrm{R}_{rec} \qquad \text{_____(3)}$$

إذ أن: G_{gen} نسبة الالكترونات التي يتم حقنها الى المنطقة الفعالة و R_{rec} معدل اعادة الالتحام لوحدة الحجم في المنطقة الفعالة. G_{gen} تعطى بالعلاقة:

$$G_{gen} = \frac{\eta_i I}{q V} \qquad \text{_____ (4)}$$

يلاحظ ان عمليات اعادة الالتحام R_{rec} تمثل حاصل جمع معدل الانبعاث التلقائي R_{sp} ومعدل اعادة الالتحام غير المشع R_{nr} ومعدل تسرب الحاملات R_l ، وان صافي معدل اعادة الالتحام المحفز R_{st} يتضمن كل من الامتصاص والانبعاث المحفز . وعندها يمكن كتابة :

$$R_{rec} = R_{sp} + R_{nr} + R_l + R_{st} \qquad \text{_____(5)}$$

$$R_{rec} = \frac{N}{\tau} + R_{st} \qquad \text{_____(6)}$$

الحدود الثلاثة الاولى من المعادلة (5) من جهة اليمين تشير الى عمليات اضمحلال الحاملات غير المشعة . اما الحد الرابع R_{st} فيشير الى وجود الفوتونات. τ زمن عمر الحاملات.

وبمقارنة المعادلتين (5) و (6) نحصل على:

$$R_{sp} + R_{nr} + R_l = \frac{N}{\tau} \qquad \text{_____(7)}$$

نعوض المعادلات (7) و (4) في المعادلة (3) تنتج الصيغة التالية:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\eta_i I}{q V} - \frac{N}{\tau} - R_{st} \qquad \text{_____ (8)}$$

وان معدل اعادة الالتحام المحفز R_{st} يعطى بالعلاقة :

$$R_{st} = V_g \; g \; N_p \qquad \text{_____(9)}$$

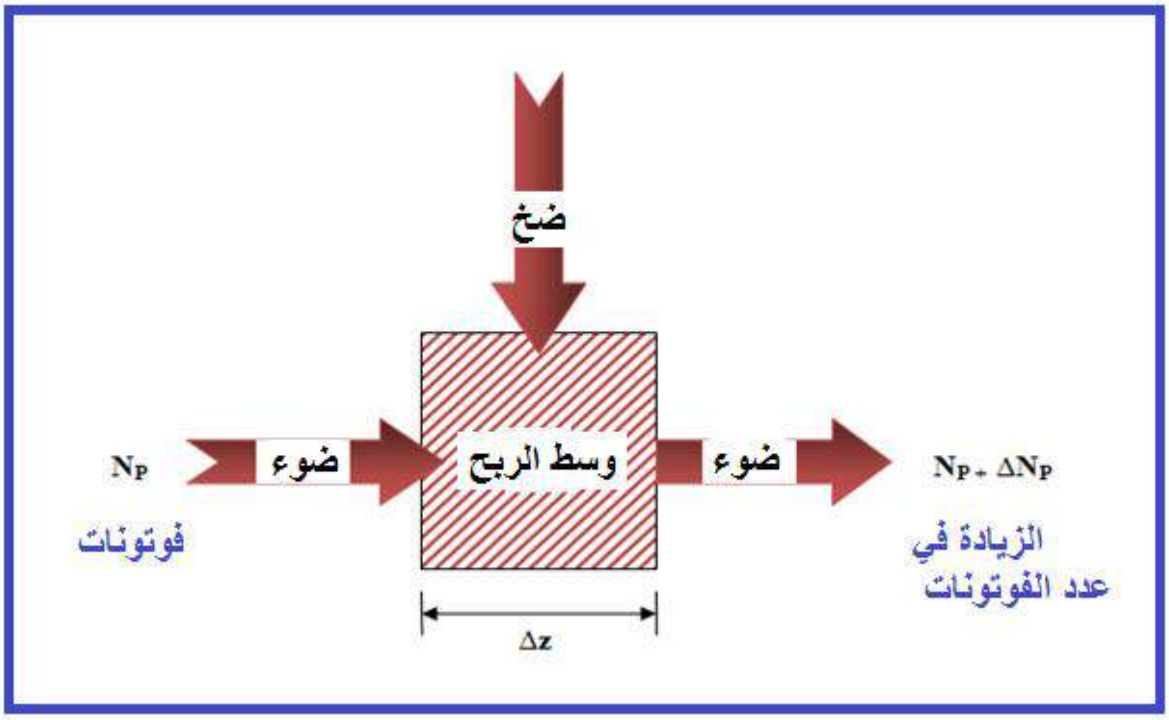
إذ أن: g الربح و V_g سرعة المجموعة

وبتعويض المعادلة (9) في (8) نحصل على معادلة المعدل الاولى الخاصة بوصف تغير الحاملات في الوسط الفعال لليزرات اشباه الموصلات:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\eta_i I}{q V} - \frac{N}{\tau} - V_g \; g \; N_p \qquad \text{_____(10)}$$

في المحاضرة القادمة سنقوم باشتقاق العلاقة الرياضية لكثافة الفوتونات.

لاشتقاق معادلة المعدل لكثافة الفوتونات : إن كثافة الفوتونات N_p يمكن ان تكتب بالشكل $(N_p + \Delta N_p)$ عند مسافة مقدارها Δz في الوسط الفعال كما يلاحظ بالشكل التالي:



إن الوصف الرياضي لتغير الفوتونات عند مرورها خلال وسط فعال (وسط الربح ولمسافة ما) تعطى بالعلاقة التالية

$$\Delta N_p + N_p = N_p e^{g \Delta z} \qquad \text{_____(1)}$$

ويمكن كتابة الدالة الآسية بالشكل التالي:

$$e^{g \Delta z} \approx (1 + g \ \Delta z) \qquad \text{_____(2)}$$

وبتعويض علاقة ٢ في ١ :

$$\Delta N_p + N_p = N_p (1 + g \ \Delta z)$$

$$\Delta N_p + N_p = N_p + g \ \Delta z \ N_p$$

$$\Delta N_p = g \ \Delta z \ N_p$$

وعلى اعتبار أن المسافة Δz صغيرة جدا :

1

$$\Delta z = V_g \, \Delta t \qquad \text{(3)}$$

$$\Delta N_p = N_p \, g \, V_g \, \Delta t$$

إن العلاقة الخاصة بكثافة الفوتونات يمكن إن تكتب على أنها معدل تغير الانبعاث المحفز :

$$\left(\frac{dN_p}{dt}\right)_{gen} = R_{st} = \frac{\Delta N_p}{\Delta t} = V_g \; g \; N_p \qquad \text{(4)}$$

من المعادلة التي ذكرت في المحاضرة السابقة (لكثافة الفوتونات):

$$V_P \frac{dN_p}{dt} = (R_{21} - R_{12})V - \frac{N_p V_P}{\tau_p} + R'_{sp} V \qquad \text{(5)}$$

حيث: $R_{21} - R_{12} = V_g \; g \, N_P$

وان : $R_{st} = (R_{21} - R_{12}) = V_g \; g \; N_p$

وبقسمة المعادلة (5) على V_P يتم الحصول على الصيغة النهائية لمعادلة المعدل للفوتونات:

$$\frac{dN_p}{dt} = \Gamma V_g \; g \; N_p - \frac{N_p}{\tau_p} + \Gamma \; R'_{sp} \qquad \text{(6)}$$

عند الحصول على خرج ليزر مستقر وهو ما يسمى بالحالة المستقرة وهي الحالة التي يكون فيها خرج الليزر ذو سلوك ثابت مع الزمن : رياضيا يوصف الوسط بانه مستقر عندما يتم مساواة معادلات المعدل للحاملات والفوتونات واستخراج قيم كثافة الفوتونات والحاملات:

$$dNp/dt = 0 \quad \text{و} \quad dN/dt = 0$$

الواجب: استخرج كثافة الفوتونات (N_p) وكثافة الحاملات(N) ؟

ملاحظة : تتم الإجابة على منصة الـ (CLASSROOM)

2