كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء الليزر

المحاضرة : الرابعة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

المحاضرة الرابعة / ليزر / س٤ - ف

ليزرات الحالة الصلبة

الليزر الياقوتي (Ruby Laser).

الليزر الياقوتي هو أول نوع من الليزر تم تشغيله بنجاح، وذلك في عام 1960 بواسطة "ماجمان Maiman" في الولايات المتحدة الأمريكية. ويستخدم (أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 المخدوم بأيونات الكروم Cr^{3+}) كوسط فعال لتوليد الليزر.

مكونات جهاز الليزر الياقوتي:

1- الوسط الفعال (Active Medium):

أ- الياقوت الصناعي (Ruby Rod): قضيب أسطواني من أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) مضاف إليه حوالي 0,05% من أيونات الكروم (Cr^{3+}). عنصر الكروم (Cr) فقد ثلاث إلكترونات، فأصبح أيوناً موجباً ثلاثي الشحنة، وأيونات الكروم الثلاثية هي المسؤولة عن امتصاص الطاقة من مصدر الضخ وإصدار الفوتونات الليزرية في الياقوت.

ب- أيونات الكروم هي التي تمتص الطاقة وتعطي الإشعاع الليزري.

ج- لون القضيب وردي أو أحمر بسبب وجود الكروم.

2- مصدر الضخ (Pumping Soure):

أ- مصباح فلاش (Flash Lamp): يشبه مصباح الزينون، يُلف حول قضيب الياقوت.

ب- يضيء بشدة ويُستخدم لتحفيز أيونات الكروم على الامتصاص والانتقال لمستويات طاقة أعلى.

3- تجويف الرنين (المرنان) (Resonator Optical):

أ- مرآتان موضوعتان على طرفي قضيب الياقوت :
الأولى : مرآة عاكسة كلياً (100%).
الثانية : شبه عاكسة (مثلاً 95%) تسمح بخروج جزء من الإشعاع الليزري.

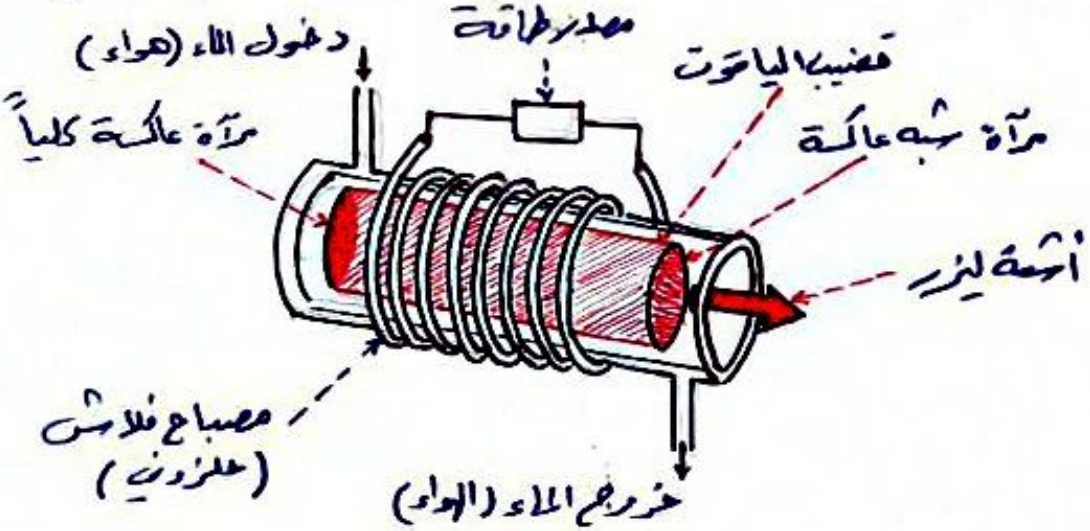
ب - تعكس الفوتونات ذهاباً وإياباً مما يؤدي إلى تضخيم الضوء وإنتاج الحزمة الليزرية.

4 - نظام تبريد (Cooling System) :

أ - لتبريد المصباح والياقوت نتيجة ارتفاع درجة الحرارة أثناء التشغيل، وغالباً يكون تبريداً بالماء أو الهواء.

5 - هيكل الجهاز (Laser Casing) :

أ - يحتوي كل المكونات ويحميها، كما يساعد في التحكم ببيئة التشغيل مثل درجة الحرارة والعزل الضوئي.



آلية عمل الليزر الياقوتي .

1 - الضخ الضوئي (Optical Pumping) :

يتم تشغيل مصباح الفلاش الذي يُصدر ضوءاً قوياً يحتوي على أطوال موجية تمتصها أيونات الكروم في الياقوت .

2 - الامتصاص وانتقال الطاقة :

تمتص أيونات الكروم الطاقة وتنتقل من الحالة الأرضية إلى حالة طاقة عالية (مستويات مثارة).

3 - الانتقال إلى الحالة شبه المستقرة :

تنتقل الأيونات بسرعة إلى حالة شبه مستقرة (متوسطة)، وتبقى فيها لفترة قصيرة (حوالي 3 ميكروثانية)، مما يسمح بتجميع عدد كبير منها هناك.

4 - الانبعاث (الإصدار) القسري (Stimulated Emission) :

عندما يصطدم فوتون بأيون في الحالة شبه المستقرة، فإنه يحفزه للعودة إلى الحالة الأرضية مع إصدار فوتون مطابق (نفس التواتر والطور والاتجاه).

5 - تضخيم الضوء (Light Amplification) :

الفوتونات المحفزة تتضاعف داخل التجويف البصري (الرنان) عبر الانعكاسات بين المرآتين.

6 - خروج الحزمة الليزرية :

بعض الفوتونات تخرج من المرآة شبه العاكسة، مشكّلة حزمة ليزر أحمر (طول موجي $\lambda = 694,3nm$).

مسألة (1):

نصدر ليزر ياقوتي نبضة ضوئية قصيرة تدوم لمدة $\Delta t = 20\ ns$ وطول الموجة لهذا الليزر $\lambda = 694,3nm$. يقوم الليزر بإصدار طاقة كلية لكل نبضة مقدارها $E_{pulse} = 2\ J$، المطلوب :

1) ما عدد الفوتونات التي تحتويها كل نبضة ؟.

2) ما طاقة الفوتون الواحد ؟.

3) ما القدرة اللحظية للنبضة ؟.

الحل : 1- لحساب طاقة الفوتون $E_{photon} = \frac{hc}{\lambda}$

$$E_{photon} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}\ J.s \cdot 3.10^{8}\ m.s^{-1}}{694,3.10^{-9}\ m} = 2,8 \cdot 10^{-19}\ J$$

2 - عدد الفوتونات في النبضة :

$$N = \frac{E_{pulse}}{E_{photon}} = \frac{2\ J}{2,8 \cdot 10^{-19}\ J} = 7 \cdot 10^{18}$$ فوتون

3 - القدرة اللحظية (P) :

$$P = \frac{E_{pulse}}{\Delta t} = \frac{2\ J}{20 \cdot 10^{-9}\ s} = 10^{8}\ \frac{J}{s} = 10^{8}\ W = 100\ MW$$

مسألة (2) :

بلورة الياقوت في ليزر ياقوتي تحتوي على نسبة 0,05 % من أيونات الكروم Cr^{3+} (وهي المسؤولة عن الليزر)، الكتلة الكلية لبلورة الياقوت $m = 150\ g$ ، الكتلة الحجمية النوعية للياقوت $\rho = 4\ g.cm^{-3}$ والكتلة المولية التقريبية للياقوت $M = 102\ g.mol^{-1}$ ، في نهاية الضخ تم إثارة 1% فقط من أيونات الكروم إلى مستوى الإثارة الأعلى.

والمطلوب :

1 - كم عدد مولات الياقوت في البلورة ؟

2 - كم عدد ذرات الكروم الكلية في البلورة ؟

3 - كم عدد ذرات الكروم المثارة بعد الضخ ؟

الحل :

1 - عدد مولات الياقوت :

$$n_{Al_2O_3} = \frac{m}{M} = \frac{150\ g}{102\ g.mol^{-1}} = 1,47\ mol$$

2 - عدد ذرات الياقوت الكلي :

$$N = n.N_A = 1,47\ mol \cdot 6,02.10^{23}\ mol^{-1} = 8,85.10^{23}$$ ذرة

لأنه كل مول من أي مادة يحتوي على عدد أفوكادرو من الذرات أو الجزيئات. ($N_A = 6,02.10^{23}\ mol^{-1}$ عدد أفوكادرو)

وبما أن الكروم يحل محل جزء من ذرات الألمنيوم، بنسبة 0,05 % :

$$N(Cr^{3+}) = 0,05\% \cdot N = \frac{0,05}{100} \cdot 8,85 \cdot 10^{23} = 4,43 \cdot 10^{20}$$ ذرة

3- عدد الذرات المثارة (1 % مثلا) :

$$N(\text{مثارة}) = 1\% \cdot N(Cr^{3+}) = \frac{1}{100} \cdot 4,43 \cdot 10^{20}$$

$$= 4,43 \cdot 10^{18}$$ ذرة مثارة

المسألة (3):

يعمل ليزر ياقوتي بطول موجة $\lambda = 694,3 nm$ ، وتبلغ المسافة بين مرآتي التجويف الرنيني (المرنان) $L = 15 cm$ ، إذا كان معامل الانكسار داخل التجويف $n = 1,76$ ، فما عدد الأمواج الطولية q فيه (عدد صحيح $q \in N$) الكاملة الممكنة داخل هذا التجويف (أي كم نصف طول موجة تتضبط داخله) ؟

الحل:

لحدوث الرنين الكامل داخل التجويف، يجب أن يكون طوله L يساوي عدد صحيح q من نصف طول الموجة λ ، وبما أن سرعة الفوتونات (الضوء) داخل التجويف تختلف عن سرعتها في الفراغ، لذلك يكون شرط التجاوب الكامل هو

$$L = q \cdot \frac{\lambda}{2n}$$

وبالتالي :

$$q = \frac{2n L}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1,76 \cdot 15 \cdot 10^{-2} m}{694,3 \cdot 10^{-9} m} = 760488$$

أي أن المرنان بطول 15 cm يحتوي على أكثر من 760 ألف نصف طول موجي من موجة الليزر داخل الياقوت.

أسئلة وأجوبة

السؤال الأول: ما هو المبدأ الأساسي لعمل الليزر الياقوتي وكيف يتم توليد الضوء فيه؟

الجواب:

الليزر الياقوتي يعتمد على بلورة الياقوت التي تحتوي على شوائب من أيون الكروم (Cr^{3+}) كمادة نشطة. عندما يتم ضخ الطاقة (عادة باستخدام فلاش ضوئي قوي)، تمتص ذرات الكروم الطاقة وتنتقل إلى حالة مثارة. بعد فترة قصيرة، تعود الذرات إلى حالتها الأرضية، مطلقة فوتونات ضوئية متناسقة (متساوية الطور والطول الموجي). هذه الفوتونات تتكاثر داخل البلورة بفضل الانعكاسات بين المرايا الموضوعة عند نهايات البلورة، مما يؤدي إلى تكوين شعاع ليزر نابض (نبضات قصيرة) بطول موجي حوالي 694.3nm.

السؤال الثاني: لماذا يُستخدم الكروم (Cr^{3+}) في بلورة الياقوت لتوليد الليزر، وما دورها في عملية الإصدار القسري في الليزر الياقوتي.

السؤال الثاني: ما نوع نظام الضخ المستخدم في الليزر الياقوتي

الجواب:

الليزر الياقوتي يُضخ عادة باستخدام فلاش ضوئي، وهو مصدر ضوء قوي يولد نبضات قصيرة وعالية الشدة. هذا النوع من الضخ يُعرف بالضخ النبضي، حيث يتم تزويد بلورة الياقوت بطاقة كبيرة خلال فترة قصيرة جداً.

نظراً لأن عملية الضخ ليست مستمرة بل تحدث على شكل نبضات، فإن شعاع الليزر الناتج يكون أيضاً على شكل نبضات ضوئية قصيرة، وليس مستمراً. وتتميز هذه النبضات بأنها ذات طاقة عالية وزمن قصير، وتستخدم في تطبيقات مثل حفر المعادن، أو في التطبيقات الطبية كإزالة الوشم أو معالجة الشبكية.

مكتبة A to Z