جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

ليزر الحالة الصلبة

بحث مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في قسم الفيزياء

من قبل الطالب

(مجبل جبر شويش)

بأشراف

د. خالد حسن بدر

1445

2024

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾﴾

صدق الله العلي العظيم

«سورة المجادلة: الآية 11»

الاهداء

الى من بلغ الرسالة وأدى الامانة، ونصح الامة، الى نبي الرحمة والنور سيدنا

محمد (صلي الله علًيه واله وسلم)

الى من علمني العطاء بدون انتظار، الى من احمل اسمه بكل افتخار

(والدي العزًيز)

الى معنى الحنان والتفاني، الى بسمة الحًياة وسر الوجود. الى من كان وعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي

(امي الحبًيبة)

الى من حبهم يجري في عروقي يًلهج بذكراهم فؤادي

(اخوتي)

الى من سرنا سوًيا ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح والابداع

(زملائي)

الى الذًين امدوني بالعلم والمعرفة والثقافة على مر أربع سنوات

(اساتذتي الاعزاء جميعا)

الشكر والتقدير

الحمد الله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد (صلى الله عليه واله وسلم)، وبعد فاني احمد الله كثيرا واشكره شكرا وفيرا لما وفقني له واعانني في اتمام بحثي هذا وان اسجل اجلالا وعرفانا عظيم شكري وامتناني للدكتور الفاضل (د .خالد حسن بدر) المشرف على هذا البحث لما بذله من جهد علمي صادق، ولما غمرني به من خلق علمي وتوجيهات رشيدة كما ان شكري موجه الادارة كلية التربية للعلوم الصرفة بجامعة بابل قسم الفيزياء للمجهودات المبذولة من قبل اساتذتنا الكرام في الجامعة لتوفير أفضل بيئة للتدريس في افضل الاحوال التي تلائم طلبة العلم .

كذلك شكري وحبي الى اسرتي وبالأخص ابي وامي واخوتي لما قدموه من تعاون ومشقة وصبر اثناء الانشغال بالدراسة .

	الفهرست
1	الفصل الاول :الليزر
2	المقدمة
3	مبدا عمل الليزر
7	ضوء الليزر
7	نظرية الليزر
10	خواص الليزر
11	أنواع الليزر
12	استعمالات الليزر
13	تصنيف الليزر
16	مميزات شعاع الليزر
16	عيوب استخدام الليزر
17	الفصل الثاني : الليزر الحالة الصلبة
18	ليزر الحالة الصلبة
19	مكونات الليزر الحالة الصلبة
23	أنواع الليزر الحالة الصلبة
26	المصادر

الخلاصة

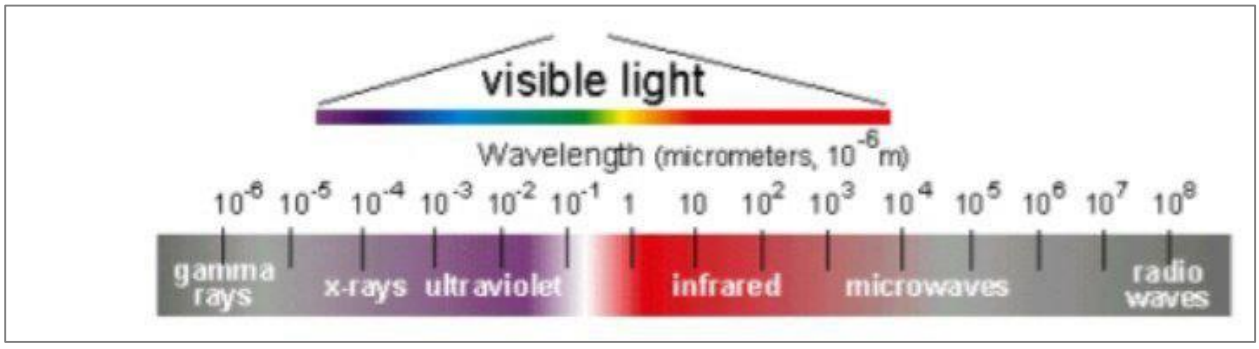
لقد تناولنا في هذا البحث فصلان الفصل الاول كان يتحدث عن الليزر ومن اهم المواضيع الذي تحدثنا عنها وهي مبدأ عمل الليزر و ضوء الليزر ونظرية الليزر وخواص الليزر وأنواع الليزر واستعمالات الليزر وتصنيف الليزر ومميزات شعاع الليزر وعيوب استخدام الليزر واما الفصل الثاني يتحدث عن ليزر الحالة الصلبة ومن اهم المواضيع الذي تطرقنا اليه وهي ليزر الحالة الصلبة و ومكونات الليزر الحالة الصلبة وأنواع الليزر الحالة الصلبة هذا ماتطرقنا الية في البحث

الفصل الاول

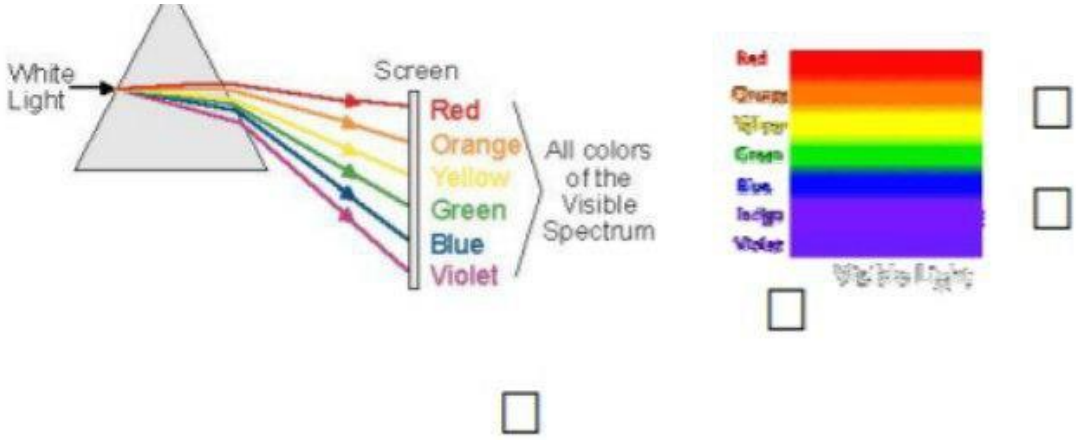
الليزر

(2-1) المقدمة

وتعني تضخيم الضوء بإنبعاث الإشعاع المحفز وهو عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية ، بينما يشع المصدر الضوئي العادي موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة فلا يكون لها قوة الليزر . وباستخدام بلورات لمواد مناسبة مثل الياقوت(الأحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز انتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد أي ذو طول موجة واحدة وكذلك في طور موجي واحد ، وعند تطابقها مع بعضها وانعكاسها عدة مرات بين مراتين داخل بلورة الليزر فتنتظم الموجات وتتداخل وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب فيها وتستخدم كلمة الليزر للتعبير عن أية منطقة من مناطق الطيف، ولمعرفة الليزر يجب في الواقع التعرف على الطيف الكهرومغناطيسي والذي يبدأ من الموجات الراديو الطويلة إلى الموجات القصيرة لأشعة جاما العالية الطاقة كما هو موضح في شكل رقم (1) . وكما هو معروف فإن المنطقة الضيقة من الطيف. والمعروفة لنا بالمرئية أو الضوء الأبيض. تتكون من الألوان الضوئية التالية: أحمر، برتقالي، أصفر، أخضر، أزرق، وبنفسجي كما هو موضح في شكل رقم(2). كما أن ترددات هذه الإشعاعات وأطوالها الموجبة مختلفة ومضطربة، فهي أشبه بالضوضاء بمقارنتها مع الموجات الصوتية، بينما نجد أن ضوء أشعة الليزر منظم ومركز. وفي الليزر عمل الاضطراب الطبيعي للموجات على ترابطهاCoherence ، حيث تنبعث الفوتونات، الوحدات الأساسية لكل الإشعاعات الطيفية على شكل دفعات منتظمة ذات تردد واحد، ونظرا لأن الموجات تترابط فإن الفوتونات تقوي بعضها البعض وتزيد من قدرتها على نقل الطاقة أن تقنية الليزر توسعت لتشمل ما وراء منطقة الموجات فوق البنفسجية باتجاه الطاقة العالية للأشعة السينية، وكل طول موجي في هذه المناطق يعطي القدرة والمساعدة للإنسان على ابتكار تطبيقات متنوعة



شكل رقم (1)



شكل رقم (2)

والليزر ينتج حزمة ضوئية رفيعة جدا وقوية. وبعض الأحزمة رفيعة لدرجة أنها قادرة على ثقب مانتي حفرة فوق نقطة في حجم رأس الدبوس . وبسبب إمكانية تركيز أشعة الليزر إلى هذا الحد من الدقة وعلية فإن هذه الأشعة تكون قوية جدا. فبعض الأحزمة، على سبيل المثال، تستطيع اختراق الماس ، وهو أصلب مادة في الطبيعة، وبعضها تستطيع إحداث تفاعل نووي صغير . ويمكن أيضا نقل حزمة الليزر إلى مسافات بعيدة دون أن تفقد قوتها وهذا يقودنا لدراسة خصائص شعاع الليزر، أي كانت مادته أو منطقة طيفه[1]

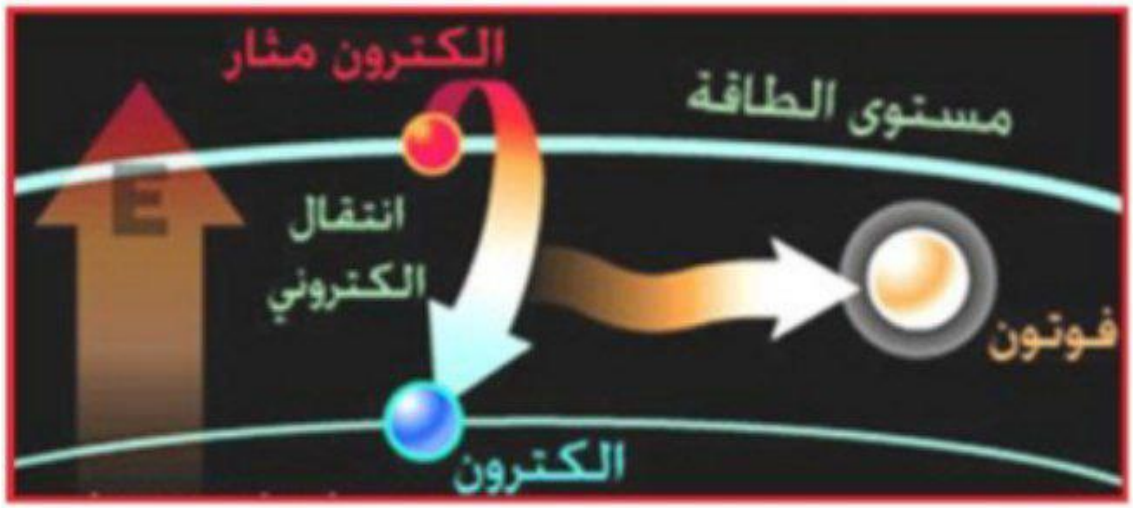
(2-1) مبدأ عمل الليزر

قام اينشتاين في عام 1917 بدراسة تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية أو ما يسمى اختصاراً بالإشعاع مع ذرات المادة ووجد أن هناك ثلاثة أنواع من التفاعلات و هي

1- **الإمتصاص** :**(Ahsorption)** و فيها تقوم ذرات المادة بامتصاص فوتونات الإشعاع المسلط عليها و تعمل طاقة الإشعاع الممتص على رفع الإلكترونات من مدارات منخفضة الطاقة إلى مدارات عالية(excited state) ، و لا يتم امتصاص الفوتونات من قبل المادة الطاقة و تصبح الذرات في حالة الإثارة إلا إذا كانت طاقتها تزيد عن فرق الطاقة بين مدارات الإلكترونات لدرات تلك المادة و لذا تكون المواد شفافة لجميع الإشعاعات التي تقل ترددتها عن قيم محددة تتحدد من التركيب الذري لتلك المواد كما هو الحال مع الزجاج.[2]

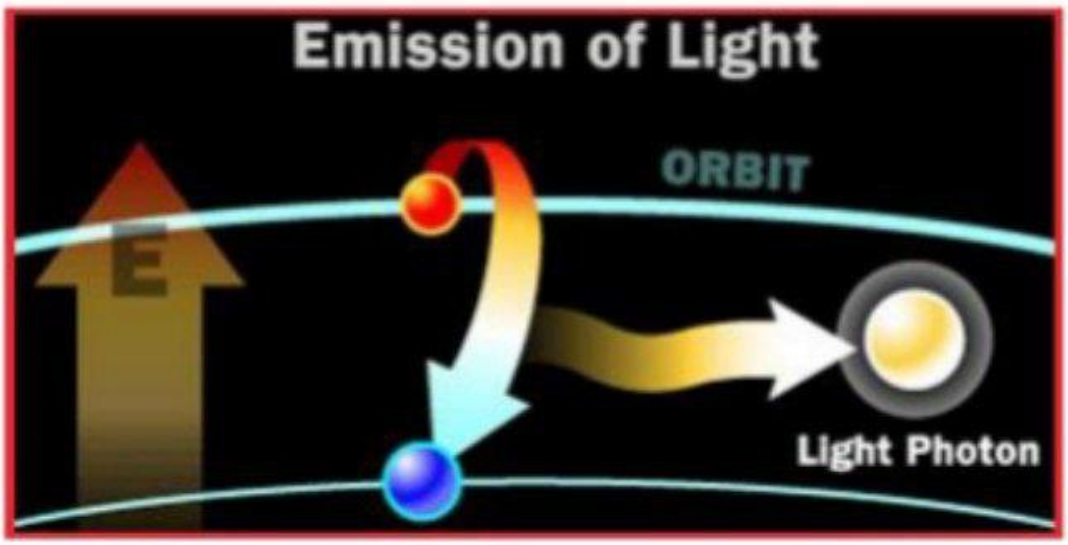
شكل رقم (3) يمثل حالة الامتصاص

2-الإنبعات التلقائي :(Spontaneous Emission) و فيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من المدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة . إن الإشعاع التلقائي الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاعا غير متشاكه (Noncoherent radiation) و ذلك لأن الالكترونات تنزل من تلقاء نفسها و بطريق عشوائية بين مدارات الترة المختلفة و لذلك فإن هذا الإشعاع يحتوي على عدد كبير جدا من الترددات و تعتمد مصادر الضوء العادية على ظاهرة الانبعاث التلقائي في عملها.



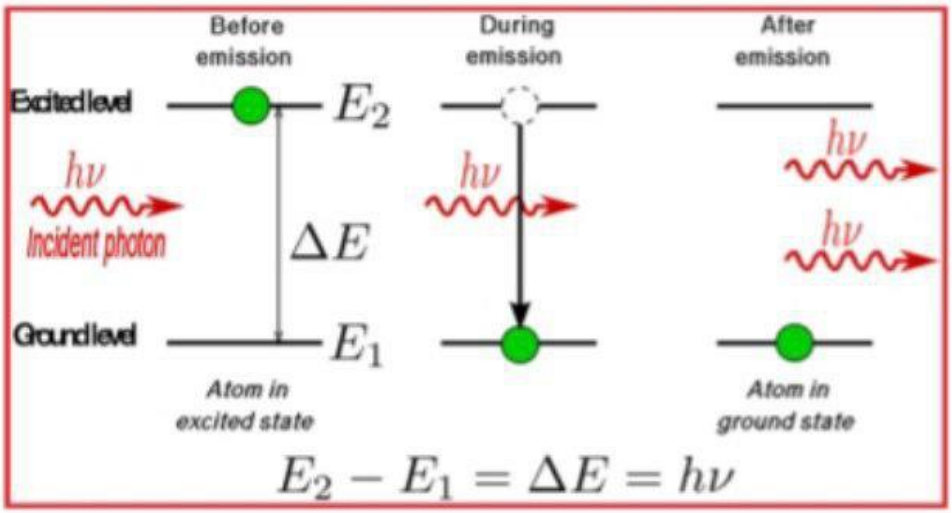
شكل رقم (4) يمثل حالة الانبعاث التلقائي

3-الانبعات المحفز (Stimulated Emission): و فيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من المدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة و لكن ليس بطريقة تلقائية و عشوائية كما في الإنبعاث التلقائي بل نتيجة لحثها بإشعاع له تردد محدد إن الإشعاع المحفز الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاع متشاكه (Coherent) و ذلك لأن الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن نزول الإلكترونات لها تردد (Frequency) و طور (Phase)تماما يساويان تردد وطور الأمواج التي قامت بحث الإلكترونات على الإشعاع و لذلك فإن هذا الإشعاع له تردد واحد من الناحية النظرية. و يمكن حساب تردد الإشعاع المنبعث من المادة من حال تقسيم فرق الطاقة بين المدارين الذي انتقل بينهما الإلكترون بثابت بلانك.



شكل رقم (5)يمثل حالة انعباث المحفز

يمكن ايجاز مراحل هذا الظاهرة بالشكل التالي



شكل رقم (6)يمثل مراحل الامتصاص والانبعاث التلقائي و الانبعاث المحفز للاكترون

ان المبدأ الرئيسي الذي يقوم عليه عمل الليزر هو ظاهرة الانبعات المحفز التي شرحناها آنفا و هناك شروط ثلاثة أساسية لكي يولد الليزر ضوءاً متشاكها من خال هذه الظاهرة. الشرط الأول فهو توفر ما يسمى بالتوزيع العكسي (Population inversion) للإلكترونات في ذرات المادة التي ستولد الضوء و الذي يعني أن عدد الإلكترونات في الحالة المثارة يجب أن يكون أعلى منها في الحالة غير المثارة. و هذا الشرط لا يتحقق إلا في مواد معينة تسمى الوسط الفعال (active medium)التي يكون عدد المدارات في نطاق توصيلها (conduction band)ثلاثة أو أكثر وبحيث يوجد مدار شبه مستقر metastable بين المدار منخفض الطاقة و المدار عالي الطاقة. توجد شروط معينة كي يحدث ضمنها الإصدار المحثوث و هي توازي ما تنها به اينشتاين. فلو

كان لدينا N ذرة ذات مستويين للطاقة N و E في الحالة الأساسية و N و E في الحالة المثارة. و الانبعات المحفز يتناسب مع عدد الذرات في المستوى العلوي و للحصول على إنبعاث محفز كبير يجب أن يكون Ne > N: أي يجب قلب التوزيع الإلكتروني و يطلق عليه في حالة اثارة خارجية اسم الضخ[2]

(3-1)ضوء الليزر (Laser's Light)

يختلف عن الضوء العادي حيث يكون له الخصائص التالية:

الضوء المنبعث أحادي اللون monochromatic أي أن له طول موجي واحد، يحدد الطول الموجي لون الضوء الناتج وكذلك طاقته. الضوء المنبعث من الليزر يكون متزامن coherent أي ان الفوتونات كلها في نفس الطور مما يجعل شدة الضوء كبيرة فلا تلاشي الفوتونات الضوئية بعضها البعض نتيجة لاختلاف الطور بينها. الضوء المنبعث له اتجاه واحد directional حيث يكون شعاع الليزر عبارة عن حزمة من الفوتونات في مسار مستقيم بينما الضوء العادي يكون مشتت وينتشر في أنحاء الفراغ . المسؤول عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الإستحثاثي stimulated emission بينما في الضوء العادي يكون الإنبعاث تلقائي حيث يخرج كل فوتون بصورة عشوائية لا علاقة له بالفوتون الآخر.

(4-1)نظرية الليزر (Laser Theory)

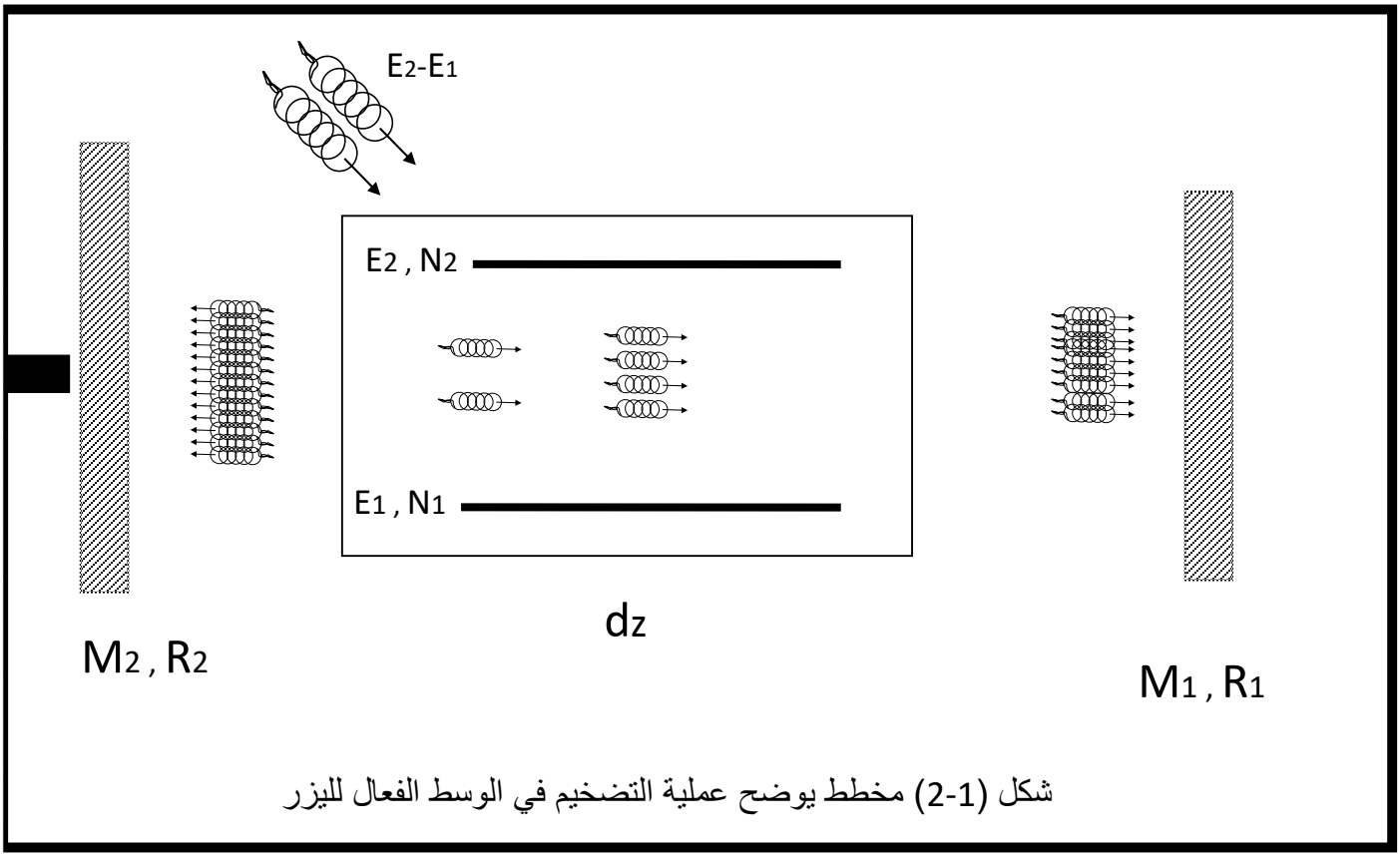
في حالة مستويي الطاقة (E_2, E_1) لمادة معينة فيهما عدد الذرات لوحدة الحجم (N_2, N_1) على التوالي , وسقط فيض من الفوتونات (Ø) ذو طاقة (E_2-E_1) على هذه المادة باتجاه المحور (Z) كما في الشكل (1-2) وكان سمك المادة (dz) , فان التغيير الحاصل في قيمة الفيض لهذه الفوتونات (Ø) أما ان ينتج عن امتصاص الطاقة أو الانبعاث المحفز (على فرض إهمال الانبعاث التلقائي) ، كما في المعادلة [3] .

$$d\emptyset / dz = \sigma \emptyset (N_2 - N_1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}6)$$

وهذه المعادلة توضح ان هذه المادة تسلك سلوك الوسط المضخم لفيض الفوتونات (Ø) لسمك المادة (dz) عند تحقق الشرط ($N_2 > N_1$) أي ان [1] :

$$d\Phi / dz > 0 \quad \text{.....(1-7)}$$

في هذه الحالة يزداد فيض الفوتونات الخارجية من الوسط .



شكل (1-2) مخطط يوضح عملية التضخيم في الوسط الفعال لليزر

اما اذا كان ($N_2<N_1$) فان المادة تسلك سلوك الوسط الممتص (Absorber) وفي حالة الاتزان الحراري

(عند درجة حرارة الغرفة مثلا) فان N_2 تكون دائماً أقل من N_1 وفق إحصاء بولتزمان حسب المعادلة الآتية [3] :

$$N_2/N_1 = \exp [-(E_2-E_1) /K_B T] \quad \text{..... (1-8)}$$

حيث ان T درجة الحرارة المطلقة (K^o) , K_B ثابت بولتزمان (1.38×10^{-23} J/K^o).

ان الشـــرط ($N_2>N_1$) هـــو شـــرط التوزيـــع المعكـــوس (Population inversion) وان المـــادة التـــي يمكـــن إحـــداث توزيـــع معكـــوس للمســـتويات الطاقيـــه فـــي الـــذرات أو الجزيئـــــــــــــــــات المكونـــــــــــــــــة لهـــــــــــــــــا يمكن ان تكون وسطاً فعالاً (Active medium) لإنتاج الليزر .

بشـكل عـام يحـدث التوزيـع المعكـوس بـين مسـتويات الطاقـة للمـادة مـن خـلال عمليـات الضـخ التـي تـتم بواسـطة الموجـات الكهرومغناطيسـية (مصـدر ضـوئي أو ليـزر آخـر) أو التصـــادم الالكترونـــي , أو التصـــادم بـــين جـــزيئتين متشـــابهتين أو مختلفتـــين , أو بواسطة تفاعل كيمياوي معين .

ان عمليـــة التذبـــذب الفوتـــوني (Photonic oscillation) تتطلـــب وجـــود تغذيـــة عكســـية (Feedback) لإدامـــة التذبـــذب. وان التغذيـــة العكســـية فـــي منظومـــة الليـــزر تـــتم باســـتخدام تجويـــف بصـــري يســـمى المرنـــان (Resonator) ويتـــألف مـــن مـــرآتين تنقـــل بينهمـــا الفوتونات المتولدة ذهابا وإيابا على طول المحور البصري للتجويف .

مـــن خـــلال إجـــراء التكامـــل علـــى المعادلـــة (1-6) يمكـــن وصـــف مقـــدار الـــربح (Gain) الحاصل في الفيض الفوتوني بالمعادلة الاتية [3] :

$$\int d\emptyset / \emptyset = \int \sigma (N_2 - N_1)\, d_z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}9)$$

حيث L تمثل طول الوسط الفعال , ($N_2 - N_1$) قيمة التوزيع المعكوس بين مستويات الطاقة الليزرية .

وبأخذ الخسائر الناجمة عن انعكاسية مرآتي المرنان البصري بنظر الاعتبار , فإن التذبذب يحدث عندما يتحقق شرط العتبة والذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$R_1R_2 \exp[2\sigma (N_1\text{-}N_2)] = 1$$

$$R_1R_2 \exp (G_l) = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}10)$$

حيث ان R_1 و R_2 انعكاسية المرآة الأمامية والخلفية على التوالي , و g الربح لوحدة الطول اذا كانت إحدى المرآتين عاكسة تماماً (الرماة الخلفية) أي ان $R_1= 1$ وكانت الاخرى عاكسة جزئياً (الأمامية) , فان الحد R_1R_2 يمكن ان يعبر عنه بمقدار الانعكاسية R , وتصبح المعادلة (1-9) كالآتي [3] :

$$R \exp [2\sigma (N_2 – N_1) L] = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}11)$$

هنالك قيمة حرجة للتوزيع المعكوس عند قيمة معينة للانعكاسية (R) يبدأ عندها أو أعلى منها تذبذب شعاع الليزر وتعطى هذه القيمة بالمعادلة الاتية [3] :

$$(N_2\text{-}N_1) = - Ln (R) / 2\sigma L \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1\text{-}12)$$

يمكن ان يقوم فوتون منبعث تلقائياً باتجاه المحور (Z) وعمودي على محور مراتي التجويف البصري بإحداث عملية الانبعاث المحفز اللازمة لبدء تذبذب شعاع الليزر .

(1-5)خواص الليزر

يمتاز شعاع الليزر بأربعة مميزات أساسية هي:

1-أحادية الطول الموجي (Monochromatic) (أحادية التردد)، وتعني أن شعاع

الليزر له طول موجي واحد فقط أي تردد منفرد.

2-التشاكه(Coherency) ، ويعني أن الفرق بين أي نقطتين على موجة شعاع

الليزر يكون ثابت عند حركة الشعاع زمانياً ومكانياً. يعتبر الليزر المصدر الضوئي

الوحيد الذي يمتلك صفة التشاكه مقارنة بالمصادر التقليدية الأخرى.

3-الاتجاهية(Directionality) ، وهي انتشار الحزمة باتجاه واحد ولمسافات طويلة جداً دون إنفراجها عن محورها (أو إنفراج قليل جداً لا يتجاوز بضعة سنتمترات لكل كيلومتر.

4-السطوع(Brightness) ، وهو يعني أن كثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة تكون عالية جداً. تسمى كثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة بالشدة(Intensity)وعلى سبيل المثال تكون شدة مصباح التنجستن الاعتيادي ذي القدرة(100)حوالي ($200\ w/cm^2$) بينما شعاع ليزر بنفس القدرة تصل شدته إلىحوالي $22 \times 10\ w/cm^2$أي أكبر بمقدار مليون مرة من مصباح التنجستن الاعتيادي[4].

(6-1)أنواع الليزرات (Types Of LASER)

تصنّف الليزرات تبعا لنوع مادة الوسط الفعّال فيها إلى عدة أنواع وهي :

1- ليزر الحالة الصلبة (مثل ليزر الياقوت ، وليزر النيدميوم) .

2- ليزر الحالة الغازية (مثل ليزر الهيليوم- نيون ، وليزر ثنائي أوكسيد الكاربون) .

3- ليزر الحالة السائلة (مثل ليزر الصبغة العضوية) .

4- ليزر شبه الموصّل (ليزر زرنيخيد الكاليوم) .

5- الليزر الكيمياوي (مثل فلوريد الديتريوم) .

(7-1)إستعمالات الليزر (Uses Of LASER)

من الطبيعي أن تكون لأشعة الليزر إستخدامات وتطبيقات متعددة في كثير من المجالات وذلك نظرا للمميّزات الخاصة لهذه الأشعة ، ومن هذه الإستعمالات :

- **المجالات التقنية (Technical Fields)**

1- لحام الصفائح والقطع المعدنية من غير تشويه يعيبها .

2- قطع وتثقيب المعادن والخزف بفضل الحرارة التي تولّدها .

3- الإنارة في المسارح .

4- إثارة بعض التفاعلات النووية .

5- تستعمل في التصوير المجسّم للحصول على صورة ذات أبعاد ثلاث .

6- قياس المسافة وتحديد المدى لأغراض مختلفة منها (مسح المحيطات ، التخطيط الزلزالي ، المسوحات الجغرافية ، تعيين مدارات التوابع الأرضية) .

7- توجيه المكائن بمسارات مستقيمة وقيادة الالات التي تحفر الأنفاق والجسور .

- **المجالات الطبية (Medical Fields)**

1- تستخدم في الجراحة كأداة للقطع .

2- تجميل الجلد وعلاج بعض أمراضه كالأورام الخبيثة .

3- علاج بعض أمراض العيون .

4- تستخدم في مجال طب الأذن والأنف والحنجرة .

5- معالجة بعض أمراض الأسنان .

(8-1)-تصنيف الليزرات

تنقسم الليزرات الى عدة أنواع رئيسية تبعاً لطبيعة الوسط الفعال المستخدم , وهذه الأنواع هي ليزرات الحالة الصلبة (Laser-Solid-State) ليزرات الصبغة (Laser-Dye) , الليزرات الكيمياوية (Laser-Chemical) ليزر الإلكترون الحر (Laser-Free-Electron) ليزر الأشعة السينية (X-ray Laser) والليزرات الغازية (Gas Laser) , والتي احد أنواعها هو ليزر Co_2 . الليزرات الغازية عموما تستخدم الغازات كأوساط فعالة لإنتاج الليزر , وهي تنقسم بدورها الى عدة أنواع اعتماداً على طبيعة الغاز المستخدم , إذ يمكن ان يكون الوسط الغازي الفعال ذرات متعادلة (He – Ne) أو ايونات (Ar) .أو جزيئات تعتمد الانتقالية الدورانية – الاهتزازية (Co_2) , أو الانتقالات الالكترونية (N_2) , أو أناه تعتمد انتقالات الترابط الحـــــــر (Bound–Free Transition) مثل ليزرات الاكسايمر (Excimer) .

يتم عادة تهيج معظم الليزرات الغازية بواسطة امرار تيار كهربائي مناسب (مستمراو نبضي) خلال الوسط الغازي الفعال , تتهيج الذرات المتعادلة نتيجةً تصادمها مع الالكترونات إذ تكتسب الذرة المتعادلة الطاقة من الإلكترون . عندما تتهيج الذرات الى مستويات طاقة عليا فاناه قد تهبط الى مستويات أدنى , ومن ضمنها الحالة الأرضية .

ان عملية الحصول على توزيع معكوس في الغازات هي أكثر تعقيداً مما في المواد الصلبة والصبغات السائلة بسبب الظواهر العديدة المنتضمة في عمليات تهيج الغازات (Excitation) , ويمكن القول ان التوزيع المعكوس بين أي مستويين في الغاز يحدث تحت احد أو كلا الشرطين الآتيين :

1- ان معدل التهيج للمستوي العلوي أكبر مما هو للمستوي السفلي .

2- ان عمر المستوي العلوي أطول من المستوي السفلي .

والشرط الثاني هو الشرط الضروري لتشغيل الليزر بالنمط المستمر (CW Operation) [5] .

معادلة المعدل للحقن و التغذية الضوئية

سنبين هنا الأضافات المطلوبة للتعامل مع الحقن الضوئي و التغذية المرتدة الضوئية. بسبب دوران مستوي الأستقطاب ، معادلة المعدل لحاملات التيار لاتحتاج الى أية تغييرات ولكن فقط معادلة المجال و معادلة الفوتونات بحاجة الى تغييرات مناسبة و مهمة لتلائم التشويشات الضوئية (optical perturbations) [6] .

1. الحقن الضوئي

المجال المعقد لثنائي الليزر تحت حقن ضوئي يكتب بالصيغة الآتية :

$$\frac{d}{dt}E(t)=\frac{1}{2}(1+i\alpha)\Gamma G_N(N-N_{th})E(t)+\kappa E_i\, exp(-i\Omega t)) \quad \text{.....(1-13)}$$

حيث E_i المجال المحقون، Ω تردد المنظومة بالنسبة للتردد الحر، و κ هو (feed-in rate) معدل الإرجاع الى فجوة الليزر و يعطى بالمعادلة التالية [4] :

$$\kappa=\frac{1}{\tau_L}\left(\frac{1}{r}-r\right) \quad \text{.....(1-14)}$$

و قد إفترضنا أن فجوة الليزر متناظرة في الأنعكاسية ($r_1 = r_2 = r$) .

2. التغذية المرتدة الضوئية

في حالة تغذية مرتدة ضوئية من عاكس خارجي له إنعكاسية قدرة ($R_3 = r_3^{\,2}$) ، و يقع على مسافة ($L_{ext} = \frac{c\tau}{2}$) من وجه ثنائي الليزر، و (τ) زمن دورة كاملة في الفجوة الخارجية، يمكن معالجتها كما يأتي؛ سـعة الموجة عند الوجه (r_2) ، و الذي يواجه الفجوة الخارجية هو نتيجة كلتا الأنعكاس عند الوجه و دخول سـعة الموجة من داخل الفجوة الخارجية. ، المجال الكلي [6] هو:

$$= r_2 E_i \, \boldsymbol{exp}\,(i\omega t) + \left(1 - r_2^{\,2}\right) r_3 E_i (t-\tau)\, \boldsymbol{exp}\,(i\omega(t-\tau)$$

$$+ \left(1 - r_2^{\,2}\right) r_2 r_3^{\,2} E_i (t-2\tau)\, \boldsymbol{exp}\, i\omega(t-2\tau) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}15)$$

كما يمكن كتابة المجال كما يأتي:

$$E_r \, \boldsymbol{exp}\,(i\omega t) = E_i \, \boldsymbol{exp}\,(i\omega t)\left[r_2 + (1 - r_2^{\,2}) r_3 \exp(-i\omega\tau)\right.$$

$$\left. + (1 - r_2^{\,2}) r_2 r_3^{\,3} \exp(-2i\omega\tau) + \cdots \right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}16)$$

إذ $\omega\tau$ هو الإزاحة في الطور الذي يحدث في دورة واحدة، r_3 هو معامل الأنعكاس للمرآة الخارجية [6] .

(1-9)مميزات شعاع الليزر:

- الحزمة الضوئية لشعاع الليزر لا تملك كتلة. نظرا لأن كتلة الفوتونات المكونة لهذا الشعاع الليزري تساوي صفرا.
- يمكن أن تكون الحزمة الضوئية مستمرة التدفق(Continuous wave (C. W)، أو نبضةpulse ، وتتخذ هذه النبضات أشكالا متعددة ومعدلات إعادة مختلفة، تبدأ من نبضة في الثانية الواحدة أو أجزائها إلى ملايين النبضات في الثانية.
- سهولة السيطرة على حزمة الليزر خصوصا ذات الترددات الضوئية المرئية للعين المجردة.
- سهولة إدارة وإدامة الليزر إذا ما قورنت بالإشعاعات الذرية والنووية الأخرى[1].

(1-10)عيوب استخدام الليزر:

- حزمة خطرة وخصوصا عند تعرضها لحاسة البصر.
- تحتاج إلى قدرة عالية للتشغيل، وحيث أن طرق البحث يمكن أن تأخذ أشكالا متنوعة، وهي في مجملها تحويل الطاقات المختلفة إلى طاقة ضوئية.
- . تحتاج إلى دقة متناهية في تطابق المستويات البصرية لبدء الانبعاث الليزري.**[1]**

الفصل الثاني

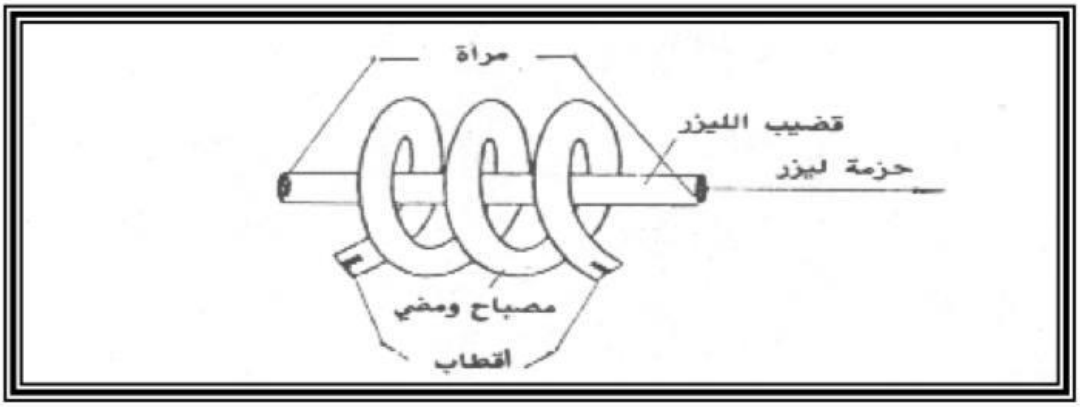
ليزر الحالة الصلبة

2.1 ليزر الحالة الصلبة

ليزر الحالة الصلبة ليزر فيه الوسط الفعال بلورة عازلة او زجاج . اول ليزر اكتشف وعمل بنجاح هو ليزر الحالة الصلبة وكان ذلك في حزيران عام 1960 وهو ليزر الياقوت وما زال استخدامه مستمرا منذ ذلك الحين ، وعلى العموم تكون مواد ليزر الحالة الصلبة شفافة عازلة تقاوم الحرارة وهي بلورات صلبة او قطع زجاجية وتدعى بالمواد المضيفة تحوي نسبة من ايونات الفلز ، فمثلا ايون الكروميوم الثلاثي التاين (Cr^{3+}) في بلورة الياقوت وايون النديميوم الثلاثي التاين (Nd^{3+})في الزجاج.ان هذه الايونات موجودة بنسبة قليلة حوالي 0.01 -0.1 % في البلورة او الزجاج وهي مسؤولة عن توليد وتكبير شعاع الليزر . فعمل الليزر ياخذ محله بين مستويات الطاقة لهذه الايونات وان تردد الاشعة المحفزة هي ميزة من ميزات الايون المفرد المتواجد في البيئة البلورية والمندمج فيها على العموم . تكون مادة الليزر في شكل قضيب صقل طرفاه وجعلا بدرجة عالية من النعومة ليشكلا سطحين متوازيين يطلق عليه قضيب الليزر يوضع هذا القضيب بين مرآتين متقابلتين(او يطلى طرفاه بمادة عاكسة ليشكلا مرآتي المرنان). يسلط عليه اشعاع كهرومغناطيسي ذو شدة عالية من قبل مصباح ومضي والذي يكون غالبا على شكل لولبي يحيط بقضيب الليزر لاحظ شكل (1) ان استخدام طريقة

الضخ البصري الاكثر شيوعا في عمل الليزر الحالة الصلبة كما ان الضخ الومضي أي المتقطع يؤدي الى انتاج ليزر نبضي أيضا

.اما ابعاد الليزر نموذج فتبلغ (6cm) طولا و (6mm) في القطر واحيانا تستخدم قضبان طولها اقل من (1cm) او اطول من (30cm) [7]



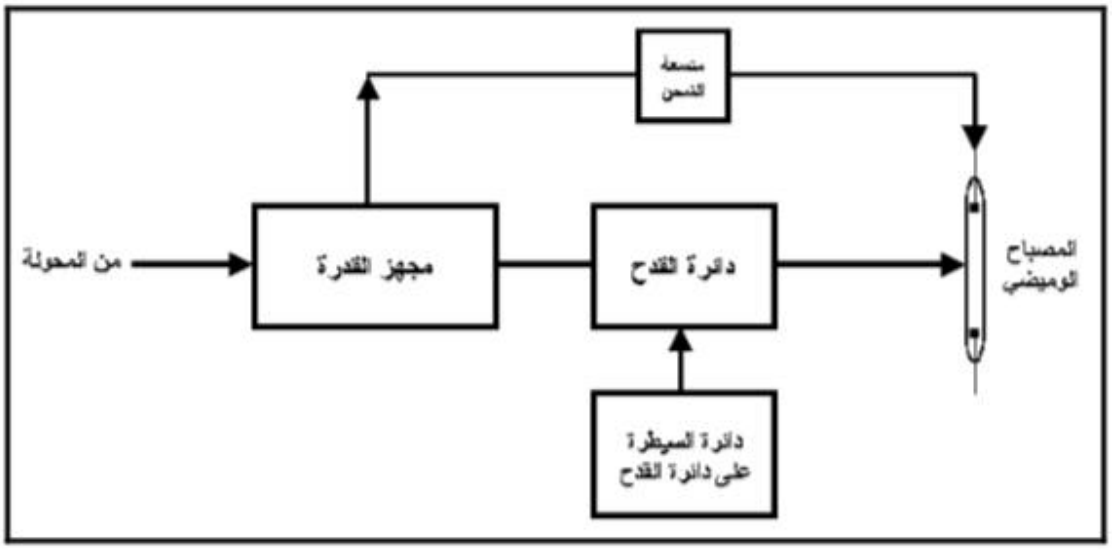
شكل (1)نموذج مبسط ليزر الحالة الصلبة

2.2 مكونات الليزر الحالة الصلبة

يتكون ليزر الحالة الصلبة من الوسط الفعال ومصدر الضخ ومجهز القدرة والأجزاء الملحقة هي الياقوت

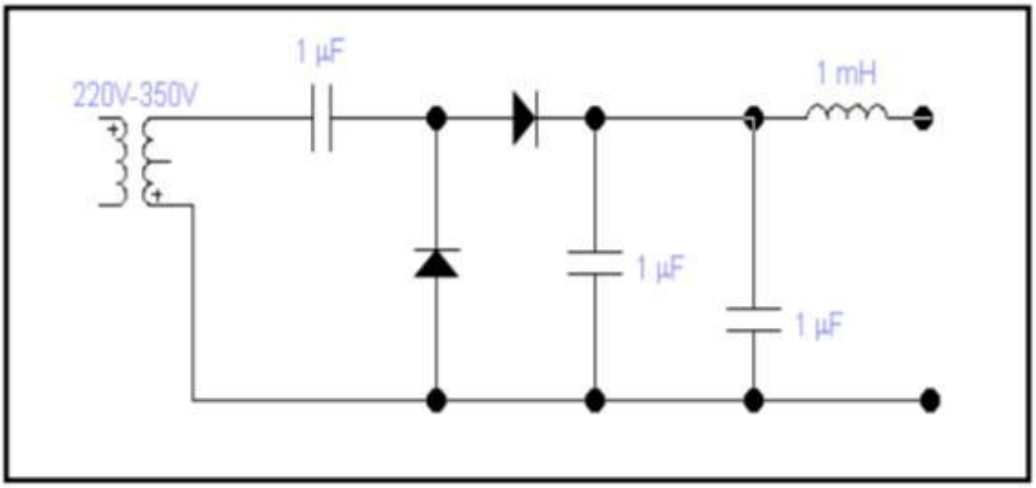
الوسط الفعال :(Active Medium) هو عبارة عن بلورة من مادة صلبة يتم إدخال أيونات فعالة فيها لغرض توليد الليزر. من أكثر بلورات الليزر الشائعة ، والنيديميوم-ياك (Nd:YAG) والنيديميوم-زجاج والألكسندرايت (Alexandrite) والتيتانيوم-زفير .(Ti:Sapphire) كما يعتبر ليزر أشباه الموصلات من ليزرات الحالة الصلبة ولكنه لا يستخدم بلورة وإنما تراكيب من أشباه الموصلات ويتم ضخها بواسطة التيار الكهربائي[8].

مصدر الضخ (Pumping Source): يستخدم في الغالب المصباح الوميضي(Flash Lamp) إذ يتم تسليط جهد كهربائي بين طرفي المصباح الوميضي فينتج المصباح الوميضي أشعة ضوئية تمتصها بلورة الوسط الفعال لتنهيج. يمكن أن يتم ضخ بلورة الوسط الفعال باستخدام شعاع ليزر آخر مثل ليزر أشباه الموصلات وهذه الطريقة تكون ذات كفاءة أعلى من طريقة الضخ بالمصباح الوميضي[8].



شكل (2)مخطط كتلي لدائرة مجهز القدرة النبضي لليزر الحالة الصلبة

مجهز القدرة (Power Supply): هو دائرة كهربائية تقوم بتجهيز المصباح الوميضي بالقدرة اللازمة لتشغيله. يمكن أن يعمل مجهز القدرة بشكل نبضي(Pulsed) أو بشكل مستمر وهذا يؤثر على نمط تشغيل الليزر. هنالك دوائر بسيطة لمجهزات القدرة ودوائر أخرى أكثر تعقيداً حسب متطلبات منظومة الليزر مثل قدرة التشغيل وسرعة التشغيل[8]

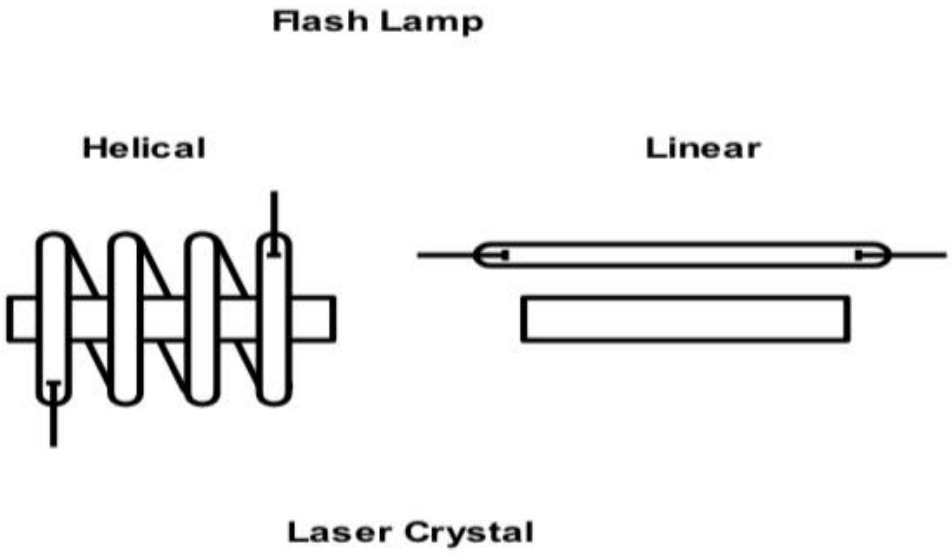


شكل (3) دائرة مجهز القدرة لليزر الحالة الصلبة

الأجزاء الملحقة :**(Accessories)** وتتحدد هذه الملحقات حسب حاجة منظومة الليزر إليها مثل منظومة التبريد ومنظومة التثبيت الميكانيكي والمنظومات البصرية للتركيز والتوجيه وغيرها. كفاءة منظومة الليزر (η): هي النسبة بين القدرة الخارجة (p_{out}) من منظومة الليزر (قدرة الليزر) والقدرة الداخلة (p_{in}) إلى هذه المنظومة (قدرة الضخ) وكالآتي[8]:

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_{in}}$$

المصباح الوميضي: هو عبارة عن أنبوب زجاجي يحتوي على أقطاب كهربائية في نهايتيه ويتم ملئه بأحد الغازات الخاملة (Inert Gas) غالباً الزينون أو الكربتون .(يصنع المصباح الوميضي على شكل خطي (Linear) أو لولبي (حلزوني)[8]



ان هذه المصابيح لها مواصفات قياسية كالاتي

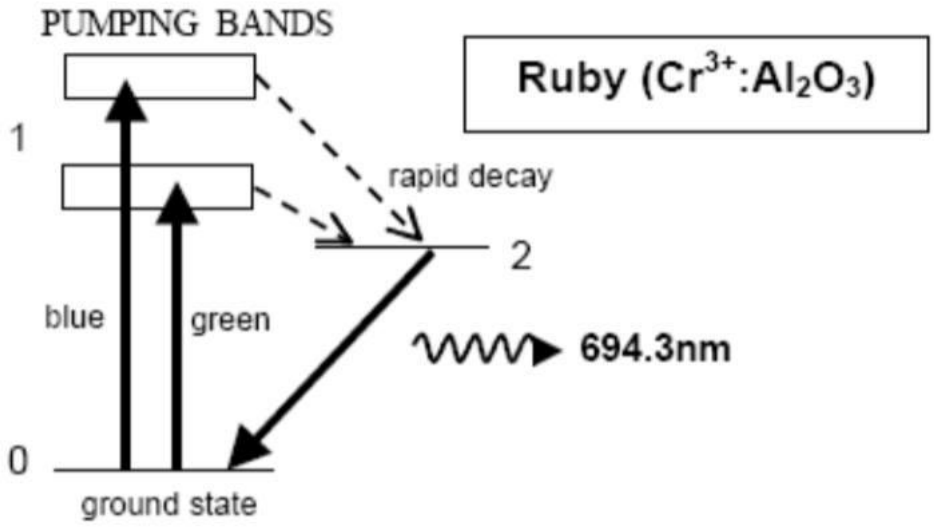
سمك جدار المصباح الوميضي	**1-2 mm**
القطر الداخلي للمصباح الوميضي	**3-19 mm**
طول المصباح الوميضي	**5-50 cm**
ضغط الغاز الخامل داخل المصباح الوميضي	**400-1000 Torr**

الأقطاب الكهربائية في المصباح الوميضية تصنع من معادن تتحمل درجات حرارة عالية وتيارات كهربائية عالية وإن نوع المادة وشكل الأقطاب يؤثر على عمل المصباح الوميضي. عادة يستخدم معدن التنجستن أو سبائك التنجستن لتصنيع هذه الأقطاب .الغلاف الزجاجي للمصباح الوميضي يجب أن يكون شفافاً لكي يسمح بمرور الأشعة المنبعثة من المصباح الوميضي إلى خارجه باتجاه الوسط الفعال. كما يجب أن تتحمل مادة الغلاف درجات الحرارة العالية والصدمات الميكانيكية .يعتبر زجاج الكوارتز (Quartz) أكثر أنواع الزجاج استخداماً في تصنيع غلاف المصابيح الوميضية في منظومات الليزر لأنه يسمح بمرور الأشعة ما بين - 200nm-400nmويتحمل درجات حرارة تصل إلى 1300°C.[8]

2.3 أنواع ليزر الحالة الصلبة

2.3.1 ليزر الياقوت(Ruby Laser)

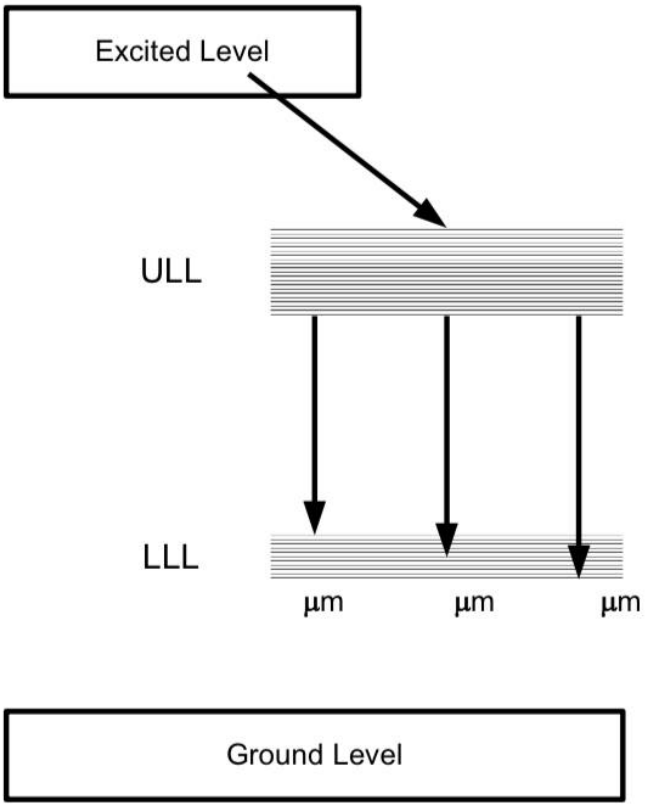
أكتشف عام 1960 والوسط الفعال هو بلورة الياقوت (Ruby) وهي عبارة عن أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) المطعم بأيونات الكرومCr^{3+}*بنسبة تطعيم حوالي 5%من الوزن الكلي بتركيز أيونات فعالة $10^{22}m^{-3}$يكون لون البلورة أحمر وقطر بلورة الياقوت يتراوح ما بين 1-20mm وطولها 50-200mmيتم الضخ باستخدام المصباح الوميضي. ويعمل بنظام المستويات الثلاثية.Triple Level System– ويحتاج تبريد جيد جداً. نمط التشغيل نبضي والطول الموجي لشعاع الليزر الخارج (694.3) (الأقوى) و (692.9).



شكل (4)ليزر الياقوت

2.3.2 ليزر النيديميوم-ياك(Neodymium:YAG)

يعتبر واحد من أهم أنواع الليزرات عموماً وقد أكتشف عام ١٩٦٤. الوسط الفعال هو بلورة الياك (YAG) وهي عبارة عن أوكسيد اليتريوم ألمنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) المطعم بأيونات النيديميوم (Nd^{3+}) بنسبة تطعيم لا تتجاوز (1.5%). يكون لون البلورة أرجواني. يتم الضخ باستخدام المصباح الوميضي بكفاءة لا تتجاوز (1.5%) أو باستخدام ليزر أشباه الموصلات بكفاءة تصل إلى (70%) وهو يعمل بنظام المستويات الرباعية ويحتاج تبريد جيد ونمط العمل مستمر ونبضي. الأطوال الموجية لشعاع الليزر الخارج ثلاثة هي 1.4 um و 1.06 um (الأقوى) و 0.9 um. تمتاز بلورة الياك بمقاومة عالية ضد التلف وصلادة ضد الكسر ونوعية بصرية عالية [8]



شكل (5) ليزر النيديميوم-ياك

2.3.3 ليزر النيديميوم-زجاج(Neodymium:Glass)

الوسط الفعال هو الزجاج المطعم بأيونات النيديميوم Nd^{3+}(الأيونات الفعالة) بنسبة تطعيم تصل إلى (6%). يكون لون البلورة أرجواني. وأبعاد البلورة من بضعة مايكرون (10) إلى طول 2mوقطر8cmالضخ باستخدام المصباح الوميضي بكفاءة لا تتجاوز (1.5%) أو باستخدام ليزر أشباه الموصلات بكفاءة تصل إلى (70%). يعمل بنظام المستويات الرباعية. وتحتاج تبريد جيد. ونمط العمل نبضي. والأطوال الموجية لشعاع الليزر الخارج ثلاثة هي 1.4 umو 1.06 um (الأقوى) و 0.8 um [8]

2.3.4 ليزر ألكساندرايت(Alexandrite)

أكتشف عام ١٩٧٣ والوسط الفعال هو بلورة (BeAl2O4) المطعمة بأيونات الكروم .(cr^{3+})الطول الموجي لشعاع الليزر الخارج هو680 nm إذا تم تشغيل المنظومة بنظام المستويات الثلاثية، ويعطي مدى من الأطوال الموجية nm (700-820) إذا تم تشغيلها بنظام المستويات الرباعية[8]

المصادر

1-سعود بن حميد اللحياني –الليز وتطبيقاته –الأستاذ المارك بسم الفيزياء كلية التربية للعلوم الصرفة –جامعة ام القرى

2-رسل احمد-تطبيقات الليزر الطبيه –كلية التربية للعلوم الصرفة قسم فيزياء – جامعة بابل – 2920

3- عدي عطا حمادي الياسين / 2001م / ليزر Co_2 المستمر لقطع البلاستيك / الجامعة التكنولوجية

4-عدي عطا حمادي – اساسيات لليزر وتقنيات - رسالة ماجستير –موقع الفريد في الفيزياء - 2004

5- مصطفى الأطروشي و يوسف مولود حسن/الطبعة الاولى2007 / تقنية الليزر واستخداماته

6- مزاحم إبراهيم عزاوي / تقنية عددية لتحديد الديناميكية اللاخطية في ليزر أشباه الموصلات بوجود تغذية مرتدة ضوئية /جامعة الموصل كلية التربية.

7-محاظرات احمد كريم سمير كلية التربية الأساسية قسم العلوم فيزياء المادة الليزر جامعة الانبار 2016,

8. عدي عطا حمودي , اساسيات الليزر و تقنياتة لطلبة الدبلوم الفني في الاتصالات ماجسير الليزر 2004