جمهورية العراق
وزارة التربيـــــة
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

صناعي/ صيانة منظومات الليزر

الأول

المؤلفون

أ.د. عدوية جمعة حيدر د. علوان محمد علوان

وداد عبد الحسين

ضحى سعدي احمد بشار عبد الجبار عبد الرسول

تنقيح

لجنة من المديرية العامة للتعليم المهني

الطبعة الرابعة
1445هـ - 2023م

المقدمة

بتوجيه من المديرية العامة للتعليم المهني وتنفيذا" للنهج الجديد الذي وضعه قسم المناهج في التعليم المهني قمنا بعون من الله تعالى في تأليف كتاب العلوم الصناعية إختصاص صيانة منظومات الليزر وذلك لما احتل موضوع الليزروخلال السنوات العشرة الأخيرة موقعا في الحديث عن جوانب العلوم والتقنيات المختلفة.

ولقد وضع هذا الكتاب كي يكون منهجيا" لطلبة المرحلة الاولى/صناعي على آمل أن يدرس مفرداته خلال عام واحد بمعدل ساعتين او ثلاث ساعات في الاسبوع .

وقد شمل الكتاب سبعة فصول : تضمن الفصل الاول بعض مفاهيم الموجات الضوئية وخواصها إما الفصل الثاني تناول تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة وإنبعاث وإمتصاص الطاقة ,إما الفصل الثالث فقد تم عرض فكرة الليزر واسس عمل الليزر,وركزنا في الفصل الرابع على المرنان البصري وإنواعه , إما الفصل الخامس فتضمن نتاج الليزر وتحويراته,إما الفصل السادس فقد تم عرض خصائص أشعة الليزر وإنواع التشاكه ,إما الفصل السابع فخص أنواع الليزرات الصلبة والغازية والسائلة.

ولايسعنا الا ان نتقدم ببالغ شـكرنا وتقديرنا للأساتذة الأفاضل الذين سـاهموا بتقييم الكتاب وإبداء ملاحظاتـهم وتوجيهاتهم من الخبراء العلميين والخبيراللغوي ونخص بالذكر السادة الأفاضل :

أ.د. حازم لويس منصور	د.شفاء مجيد المرسومي	د.عباس كاظم منسف
خبيـــــــــر	خبيـــــــرة	معهد الجوادين لإعداد
الجامعة المستنصرية	المديرية العامة للمناهج	المعلميـــــــــــــن

ومن الله التوفيق

المؤلفون

١٤٣٣هـ/٢٠١٢م

الفصل الأول
البصريات الموجية

(1-1): المقدمة

(2-1): بعض مفاهيم الموجات الضوئية

(3-1): خواص الموجات الضوئية

(4-1): انعكاس الضوء

(5-1): انكسار الضوء

(6-1): معامل الانكسار

(7-1): تداخل الضوء

(8-1): حيود الضوء

(9-1): استقطاب الضوء

(10-1) طرق استقطاب الضوء

(11-1) استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي

(12-1) استقطاب الضوء بالانعكاس

(13-1): استقطاب الضوء بالتشتت (الاستطارة)

(1-1) المقدمة :-

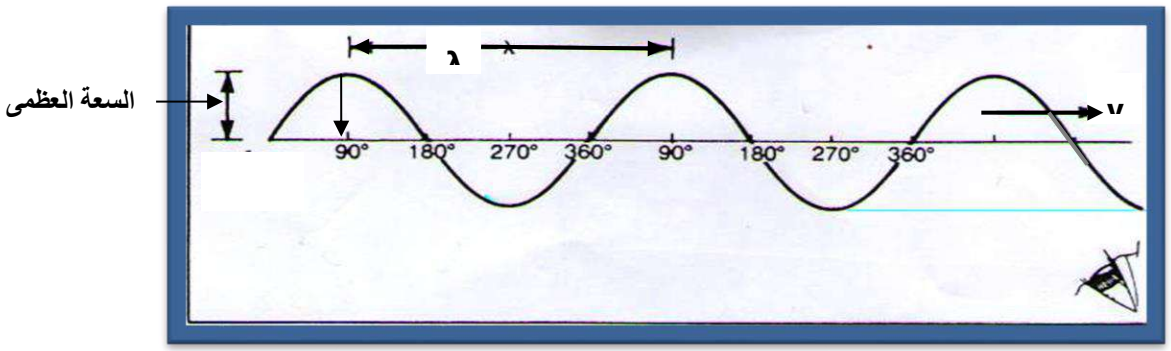
ما هو الضوء ؟ كيف ينتقل من مكان إلى أخر ؟ هذه هي الأسئلة التي سوف تطرح في هذا الفصل ، ولكن الأجابة على هذه الأسئلة هي ليست بالبسيطة .وليست طبيعة الضوء بالأمر السهل الفهم إذ لايتصرف الضوء دائما بالطريقة نفسها ، فهو يتصرف أحيانا وكأنه موجة ، وأحيانا أخرى وكأنه مكون من جسيمات. ولندرس الأن تصرف الضوء الموجي ، ومن ثم التصرف المادي له ، وأخيراً سوف نناقش الطبيعة الثنائية لـــه .

(2-1) بعض مفاهيم الموجات الضوئية :-

((الضوء هو موجة كهرومغناطيسية مستعرضة)) لنتفحص هذه العبارة التي تصف الضوء بشكل مختصر . الشكل (1-1) يمثل رسما تخطيطيا للموجة بصورة عامة ، وتتحرك هذه الموجة بشكل دوري ، وبسرعة محددة ومميزة لها مقدارها(v). ولهذه الموجة طول موجي ثابت(λ)، ويمثل هذا طول الدورة الواحدة للموجة ، أما التردد (f) فيمثل عدد تذبذبات الموجة الكهرومغناطيسية في الثانية الواحدة. والعلاقة الرياضية التي تربط بين سرعة الموجة وطولها الموجي هي :-

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad \text{..... (1-1)}$$

فنلاحظ أنه كلما قصر الطول الموجي أزداد التردد. وفي حالة الموجة الكهرومغناطيسية فإن سرعة الموجة (v) هنا تساوي سرعة الضوء في الفراغ (c) .



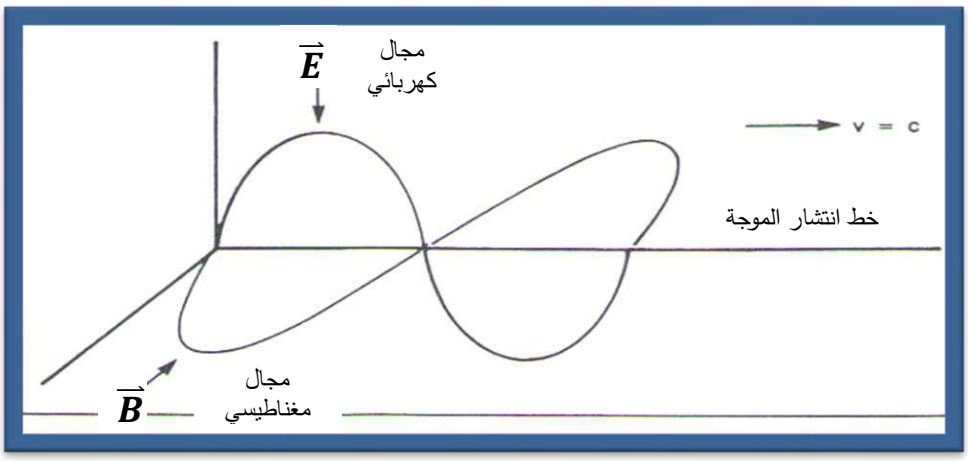
شكل (1-1) : موجة ومراقب

أما السعة فتمثل المسافة العمودية من خط انتشار الموجة إلى قمتها ، أما الطور فيمثل جزءا معيناً من الموجة يمر أمامنا ويعرف الطور بأنه المسافة التي تفصل بين ظاهرتين دوريتين لهما نفس التردد وتقاس عادة بالدرجات حيث تناظر الدورة الكاملة 360˚ . في الشكل السابق فإن طور الموجة يساوي 90˚ في القمة و270˚ في القعر وهكذا . لقد عرفنا فيما سبق كلمة موجة ، ولكن ماذا نعني بكلمة ((موجة مستعرضة)) ؟

هناك نوعان من الموجات ، الموجات المستعرضة ، والموجات الطولية . ففي الأولى تهتز جسيمات الوسط بأتجاه عمودي لخط انتشار الموجة كـ (موجات الضوء) . وفي الثانية تهتز جزيئات الوسط بأتجاه موازِي لخط انتشار الموجة كـ (موجات الصوت) .

(3-1) خواص الموجات الضوئيـــــة:-

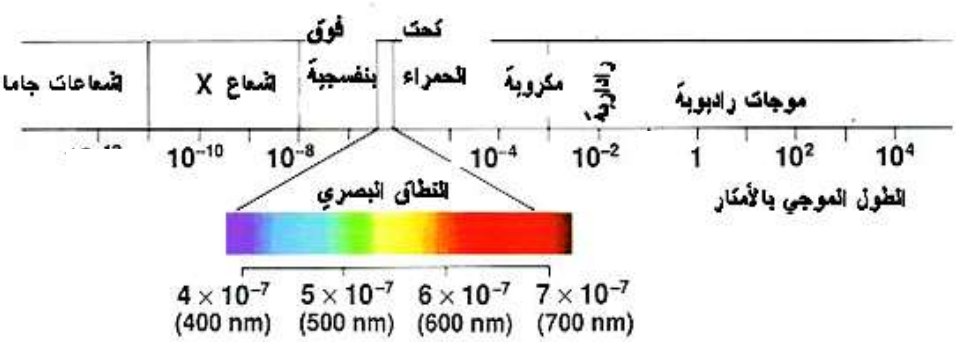
يُعدّ الضوء من الموجات المستعرضة التي تنتقل بالفراغ والتي لاتحتاج الى وسط مادي لأنتقالها بخلاف الموجات الصوتية والموجات المائية التي تحتاج الى وسط مادي لأنتقالها, فالضوء يُعدُّ من الموجات الكهرومغناطيسية التي تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي ويكونان متلازمين ومتفقين في الطور أي (بالطور نفسهِ) وعمودينِ على خط انتشار الموجة وكما موضح بالشـــكل (2-1) إذ يمثل المجالين الكهربائي ($\vec{E}$) بالاتجاه الشاقولي والمغناطيسي ($\vec{B}$) بالاتجاه الافقي لموجة ضوئية . وإنّ الموجات الكهرومغناطيسية تنتقل في الفراغ بسرعة ثابتة تساوي $3x10^8$ m/s وهي نفسها سرعة الضوء في الفراغ .



شكل (2-1) : المجالان الكهربائي E والمغناطيسي B لموجة ضوئيةْ

إنّ مدى الاطوال الموجية الكهرومغناطيسية يمتد من الموجات ذات الطول الموجي الأطول (الموجات الراديوية) الى الموجات ذات الطول الموجي الاقصر (موجات كاما) وكما مبين في الشكل (1-3) والتي تمثل

جميعها موجات كهرومغناطيسية مستعرضة، لاتختلف فيما بينها سوى بالاطوال الموجية التي تتراوح بين عدة مئات من الامتار في الامواج الراديوية الطولية إلى أجزاء من المليون من السنتمتر في أشعة كاما ، ولهذا يختلف تصرف الموجات في المناطق المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي آختلافاً كبيرا. وسنوجه أهتمامنا فيهذا الفصل على ما يسمى بالجزء البصري من الطيف .



شكل (1-3) : الطيف الكهرومغناطيسي

الضوء :- هو ذلك الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمكن أن تدركه وتكشفه وتستجيب له العين البشرية إذ يتكون من جسيمات صغيرة جداً تسمى الفوتونات ، و لكل فوتون طاقة مقدارها E و التي تساوي:

$$E=h\upsilon \text{ ---------- (2-1)}$$

إذ ان :-

υ : تردد الضوء

h : كمية ثابتة تسمى ثابت بلانك ومقدارها هو $6.63x10^{-34}$ J.S

ويمتد مدى الاطوال الموجية الضوئية (380-780) nm من اللون البنفسجي الى اللون الاحمر .

مثال/اذا كان تردد الفوتون يساوي $3.2*10^{14}$ Hz فما هي طاقة الفوتون ؟

الحل/ h=6.63*10^-34 J.s

υ =3.2*10^14 Hz

E= hυ

E=6.63*10^-34*3.2*10^14

E=2.12*10^-19J

(4-1) الأنعكـــاس :-

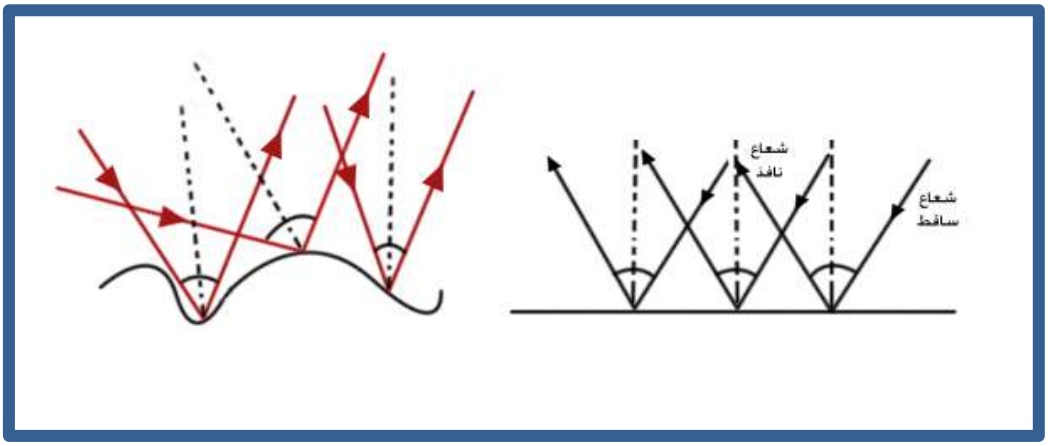
عند سقوط أشعه ضوئية على سطح يفصل بين وسطين فإن جزءاً منه يرتد (ينعكس) الى الوسط الذي سقط منه وتتوقف نسبة ماينعكس من ضوء على طبيعة السطح العاكس . فسطح الزجاج مثلا يعكس 5% من الاشعة الساقطة عليه ، بينما يعكس سطح أملس مفضض حوالي 90% من الاشعه الساقطة عليه ويمتص مابقى منها .

هل تعلـــم أنّ المرآة التي تستعمل بكثرة في حياتنا اليومية هي عبارة عن ســـطح أملس مفضـــض , يصنع بترسيب طبقة رقيقة من الفضة على السطح الخلفي للوح زجاجي .

ويعتمد مقدار الضوء المنعكس من سـطح الجســـم علـــى :-

١ـ المادة المصنوع منها الســـطح .
٢ـ الزاوية التي يصنعها الضوء مع الســطح .
٣ـ لـــون الضـــوء الســـاقط .
٤ـ طبيعـــــــة الســـطح .

ويكون الأنعكاس منتظما عند الأسطح المصقولة كما هو موضح في الشكل (1-4A) بينما يكون غير منتظم على الأسطح الخشنة كالخشب والورق غير الصقيل كما هو في الشكل (1-4B) ،إذ تنتشر الأشعه المنعكسة في جميع الاتجاهات الممكنة لتكون مايعرف بظاهرة التشـــتت .

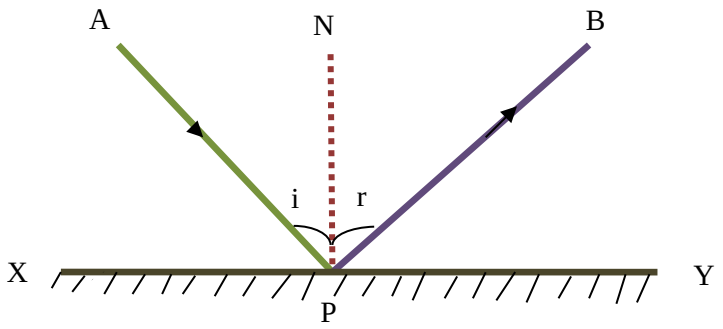


B A

شكل (4-1) A- الانعكاس المنتظم B - الانعكاس غير المنتظم

وجدير بالذكر أن جميع الاشياء التي نراها في حياتنا اليومية، كالزهور والكتب والملابس وغيرها من المرئيات،إنما ترى نتيجة لتشتت الضوء الساقط عليها بسبب خشونة السطح الا أن زاوية سقوط الأشعه عند نقطة ماتختلف عنها عند نقطة اخرى، بخلاف مايحدث عند سطح مصقول . وانعكاس ضوء الشمس على دقائق الغبارالمنتشرة في الجوهذا يؤدي الى أنتشار الضوء المنعكس في جميع الأتجاهات فتغمرالأرض بالضياء.

وتُعرف الزاوية المحصورة (i) بين الشعاع الساقط والعمود المقام عند نقطة السقوط (P) على السطح الأملس المستوى بزاوية السقوط . وكذلك تعرف الزاوية (r) بين الشعاع المنعكس والعمود المقام عند نقطة السقوط بزاوية الانعكاس . وكما موضح بالشكل (١-٥) .



شكل (5-1) يبين ظاهرة الانعكاس من على سطح مرآة مستوية وتمثل (i) زاوية السقوط ، (r) زاوية الانعكاس عند النقطة (P) على سطح المرآة

وبناءاً على ذلك يمكن تلخيص قانوني الانعكاس بما يأتي:-

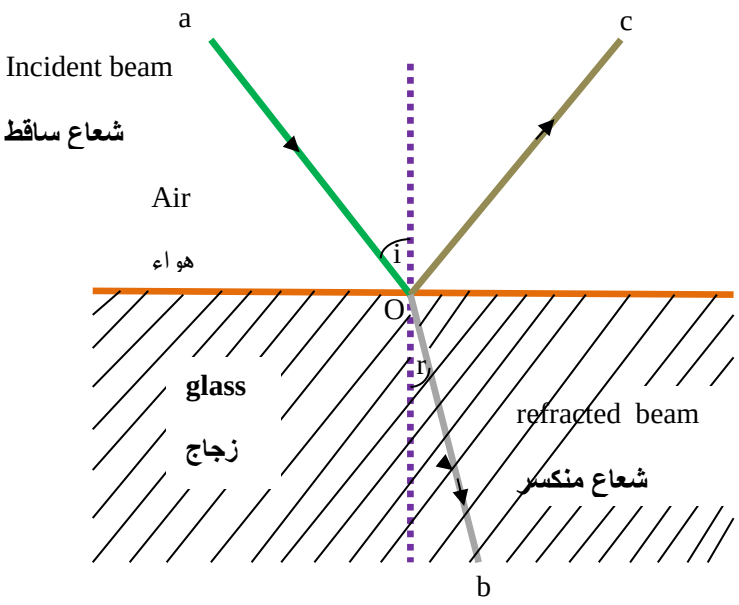
أولاً : زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

ثانياً : الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود على السطح العاكس من نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .

(5-1) أنكسار الضوء:-

إذا سقط شعاع ضوئي من وسط شفاف متجانس إلى أخر فإنه يعاني انحرافا عند السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين ،ويتبع مسارا جديدا كما موضح في الشكل (6-1). تعـرف هـذه الظاهـرة بـ (انكسار) الضوء.

(B)



(A)

شكل (1-6)

A- صورة لقصبة وضعت في كأس ماء فظهر الانكسار في مسار القصبه عند سطح الماء

B- مسار الشعاع المنكسرb داخل الزجاج والجزء المنعكس c عند السطح

قانونا الانكســـار :-

تخضع ظاهرة انكسار الضوء لقانونين أساسيين صاغهما ابن الهيثم ، ومن بعده نيوتـــن ،ثم سنيل ،على النحو الآتـــــــــي:-

اولا:- الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل عند نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين .

ثانيا:- النسبة بين جيب زاوية الســـقوط الى جيب زاوية الانكســـار لأيّ وســـطين شفافين تكون دائما ثابتة بثبات الوســـطين .

ومن الشكل (1-6) نجد أن :-

زاوية السقوط (i): هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح عند نقطة الســـقوط .

زاوية الانكسار(r) : هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح عند نقطة الســقوط .

وعليــه فإن :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = (Constant \text{ ثابت}) \dots \dots \dots \dots (3-1)$$

$$n1 \ \sin\theta i = n2 \sin \theta r$$ **قانون سنيل**

مثال/ اذا كانت زاوية سقوط للشعاع الساقط هي 56 º من الهواء الى زجاج صخري كثيف ويصنع زاوية مقدارها 30º اوجد معامل انكسار زجاج صخري كثيف ؟

الحل/ **n1=1**

θr=56

θi=30

$$n1 \ \sin\theta i = n2 \sin \theta r$$ **قانون سنيل**

$$1 * \sin 56 = n2 * \sin 30$$

$$n2 = \sin 56 / \sin 30$$

n2= 1.66

(6-1) معامل الانكســـــار:-

تعرف النسبة المعرفة بالعلاقة (3-1) بمعامل الانكسار ($_1n_2$) النسبي للوسطين الشفافين المعطيين . إذ إن هذه النسبة تعتمد على لون الضوء الساقط (الطول الموجي للضوء) فقد جرى العرف على حساب هذه النسبة بأستخدام اللون الاصفر ذي الطول الموجي Å(5890) وإذا ميزنا وسط السقوط بالرقم (1) ووسط الانكسار بالرقم (2) فإن معامل الانكسار النسبى يمكن كتابته على الصورة $_1n_2$.

وقد أعد العلماء جداول لمعاملات انكسار المواد المختلفة بوصف وسط السقوط هو الفراغ ،وفي هذه الحالة يعرف المعامل (n_1) بمعامل الانكسار المطلق لوسط الانكسار .

ويبين الجدول في صفحة (9) معامل الانكسار المطلق لعدد من المواد ،وذلك عند الطول الموجي Å(5890) والخاص بضوء الصوديوم .

إذا انتقل الضوء من وسط (1) ذى معامل انكسار مطلق n_1 الى وسط (2) ذى معامل انكسار مطلق n_2،فإن معامل الانكسار النسبي بين الوسطين (1)،(2) يعطى بالعلاقة الآتيـــة:-

$$_1n_2 = \frac{n2}{n1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4-1)$$

وإذا كانت زاوية سقوط الشعاع في الوسط (1) هي θ_1 وزاوية الانكسار في الوسط (2) هي θ_2 فإن:

$$_1n_2 = \frac{\sin\theta_{\ 1}}{\sin\theta_{\ 2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5-1)$$

مثال/ اذا كان معامل انكسار الماء 1.33 ومعامل انكسار الزجاج 1.5 احسب معامل الانكسار النسبي من الماء الى الزجاج ثم من الزجاج الى الماء ؟

الحل/ من الماء الى الزجاج.1

$$_1n_2 = \frac{n2}{n1}$$

$$_1n_2 = \frac{1.5}{1.33}$$

$$_1n_2 = 1.13$$

من الزجاج الى الماء**.2**

$$_1n_2 = \frac{1.33}{1.5}$$

$$_1n_2 = 0.887$$

جدول (1-1) معامل الانكسار المطلق لعدد من المواد عند الطول الموجي Å(5890) الخاص بالضوء الأصفر للصوديوم

الوســـط	معامل الانكسـار(n)
مـــــــــــــــاء	1.33
كحـــــــول إيثيلـــــــي	1.36
ثانـــي كبريتيد الكربـــــون	1.63
يوديـــــد المثيليـــــــن	1.74
زجـــــاج تاجـــــــى	1.52
زجاج صخرى كثيـــــــف	1.66
كلوريـــــد الصوديـــوم	1.53
بولـــــى إيثليـــــــــن	1.52
فلوريـــــــــــــت	1.43

ويحدث الانكسار في شعاع الضوء عند انتقاله من الوسط (1) الى الوسط (2) لاختلاف سرعة الضوء باختلاف الوسط . فإذا كانت سرعته في الوسط (1) هي v_1 وسرعته في الوسط (2) هي v_2 فإن:

$$_1n_2 = \frac{v_1}{v_2} \dots\dots\dots\dots\dots (6-1)$$

فإذا كان الوسط (1) هو الفراغ وكانت سرعة الضوء فيه هي c ،وسرعته في الوسط (2) هي v، فإن معامل الانكسار المعرف بالعلاقة السابقة يصبح في هذه الحالة معامل مطلق للوسط المواجـــه للفراغ .

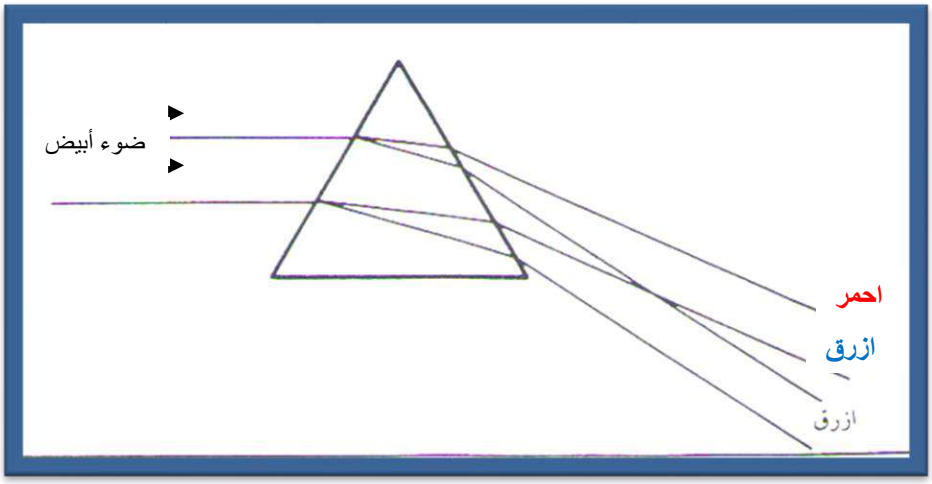
ولكـــــــون:

$$n_2 = \frac{c}{V} \text{.....(7-1)}$$

وقد جرى العرف على جعل سرعة الضوء في الفراغ مساوية لسرعته في الهواء من دون خطأ يذكر عند تطبيق هذه العلاقـــــة .

الموشور عبارة عن قطعة زجاجية مثلثة الشكل عند سقوط الضوء الابيض عليه تقوم بتحليله الى الوانه السبعة كل لون تختلف سرعته عن اللون الاخر مما يؤدي الى انكسار كل لون بزوايا مختلفة عن اللون الثاني فتخرج الالوان بزوايا مختلفة من الموشور

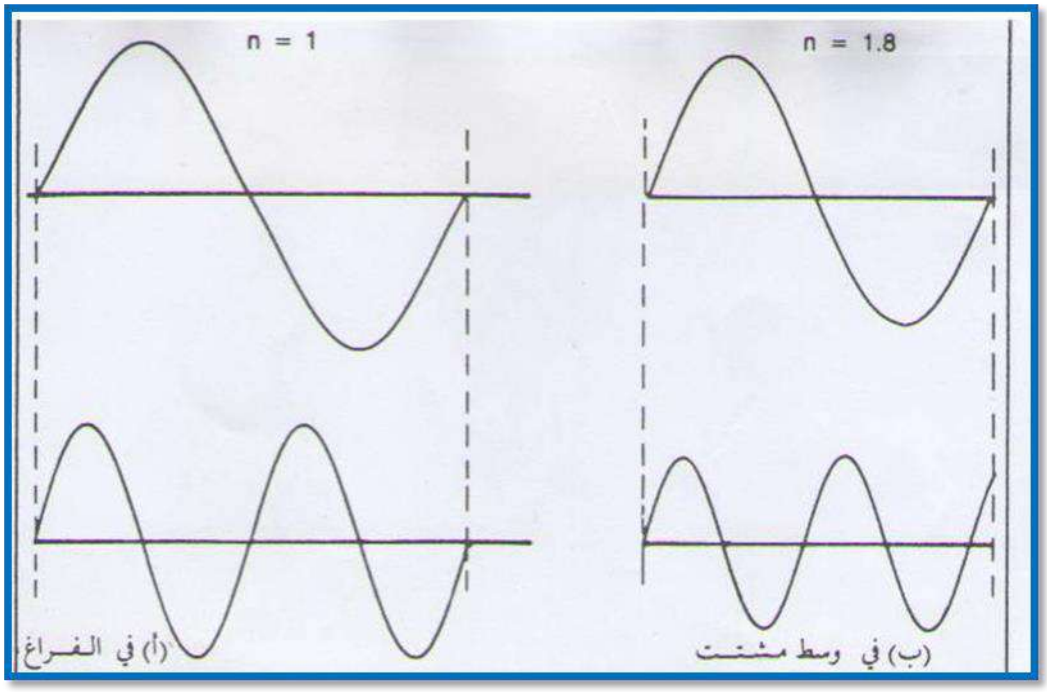
ويوضح الشكل (1-7) كيفية قيام الموشور بتفريق الضوء الأبيض الى مكوناته ، اذ تصل جبهتا الضوء الأحمر والأزرق الى الموشور في وقت واحد، فيتباطىء الضوء الأزرق اكثر قليلاً من الضوء الأحمر داخل مادة الموشور، مما يؤدي الى انكساره بزاوية أكبر من زاوية انكسار الضوء الأحمر، و لذلك يخرج اللونان بزاوية مختلفة من الموشور .



شكل (1-7) يبين عمل الموشور بتحليل الألوان المختلفة بزوايا مختلفة بوصفهِ عنصراً مشتتاً

يُعدّ تردد الضوء مقياساً لطاقته ، و لكون الطاقة محفوظة ، فأن الطول الموجي للضوء هو الذي يتغير فضلاً عن سرعتهِ عند انتقاله من وسط الى اخر ، وهذا التغير يتناسب مع النسبة بين معامل انكســـار الوسطين .

إنّ ظاهرة تغير الطول الموجي لها أهمية كبيرة في حالة تفريق الضوء ، إذ أنه اذا تداخلت موجتان ضوئيتان في وسط شفاف وكانت الموجة الأولى تمتلك طولاً موجياً يساوي ضعف الطول الموجي للموجة الثانية ، فإنّ هذه الأطوال ستتغير وبنسب مختلفة كما في الشكل (1-8) .



شكل (1-8) يبين الطول الموجي للأول هو ضعف الطول الموجي للثاني في الفراغ ، إذ لا يكون كذلك في الوسط الشفاف المشتت

مثال :-

أذا كانت سرعة الضوء في الماء (225000 Km/s) فكم هو معامل الانكسار المطلق للماء أذا علمت أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $3x10^5$ km/s ؟

الحـــل :-

معامل الأنكسار المطلق للماء = سرعة الضوء في الفراغ /سرعة الضوء في الماء

300000 / 225000 = 4/3

(1-7) التداخل في الضوء

يمكن ملاحظة تأثير التداخل الضوئي بوساطة الضوء الأعتيادي (غير المتشاكه) وذلك بأستخدام أشعة الليزر، وتفسر هذه الظاهرة بالأعتماد على الطبيعة الموجية للضوء فقط ،

وسندرس في هذا الفصل تفاصيل هذه الظاهرة ونتطرق الى بعض الأمثلة التي نستلهمها من حياتنا اليومية ، واخيرا سنعرض مثالين مهمين لهذه الظاهرة في تكنولوجيا الليزر، و هما :

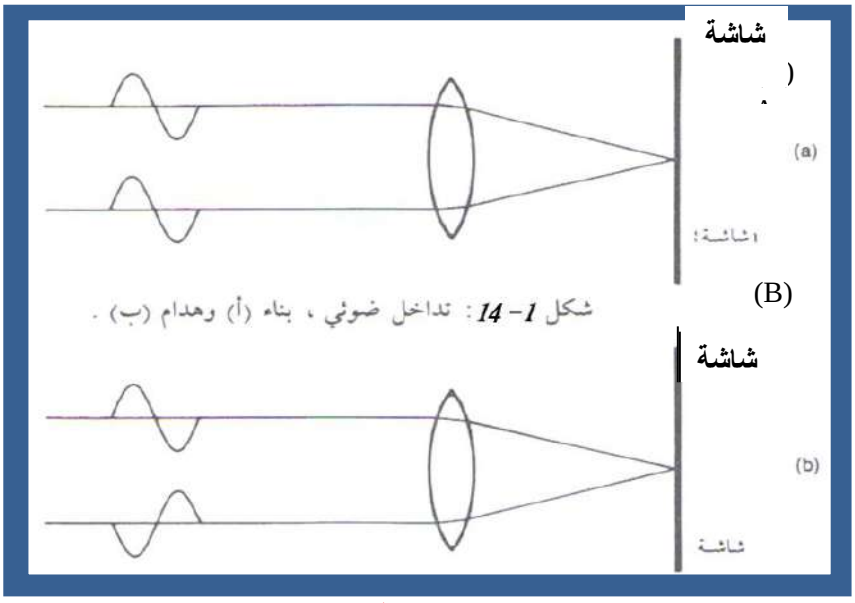
١ـ تداخل الأغشية الرقيقة.

٢ـ تجربة يونك ذات الشق المزدوج .

(1 – 7 a) التداخل الضوئي

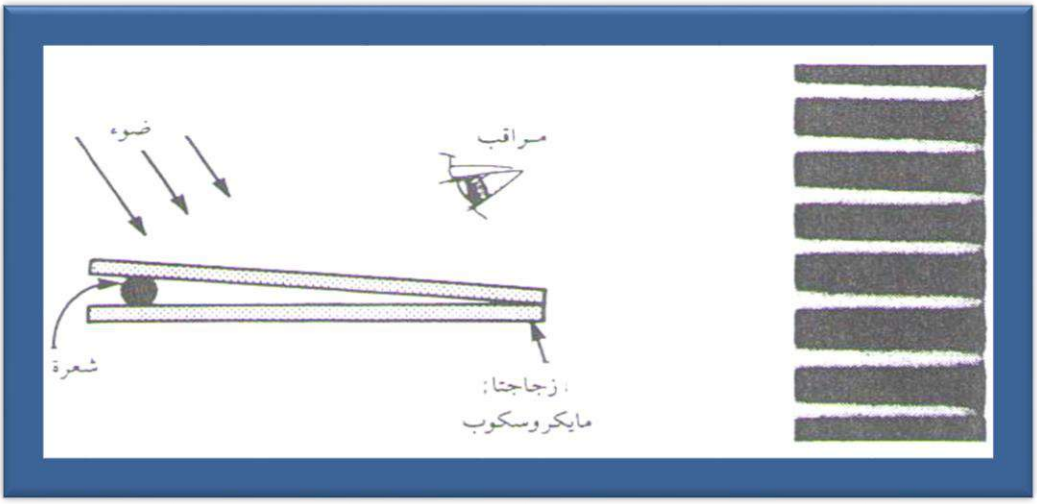
يُعرف التداخل (Interference) بأنه إذا التقى شعاعان من الضوء لهما نفس التردّد, والتقت قمة الموجة لأحدهما بقعر الموجة للثاني, فإن مُحصِّلة شدّة الاستضاءة تكون في نهايتها الصغرى. فإذا التقت القمة بالقمة, أو القعر بالقعر, فإن المحَصَّلة تكون في نهايتها الكبرى. والشكل الناتج عن مناطق الاضاءة العالية ومناطق الاضاءة المنخفضة يسمى (شكل التداخل).

وهذه الظاهرة تشاهد في الحركات الموجية المختلفة. وتتداخل الموجات الضوئية فيما بينها عند تقاطعهما في الفضاء ، فيحصل الجمع الجبري للمجالات الكهربائية لها ، ويكون التداخل هداما (اتلافي) اذا كانت الموجتان في طور مختلف (فرق بالطور) ، و بناءً على ذلك اذا كانتا في (طور واحد). ونلاحظ ذلك في الشكل (A 1-9) الموجتان في طور واحد فسنحصل على بقعة مضيئة على الشاشة . واما الشكل (B 1-9) فالموجتان بطور مختلف فلا نحصل على أيةِ اضاءة على الشاشة .



شكل 1- 14 : تداخل ضوئي ، بناء (أ) وهدام (ب) .

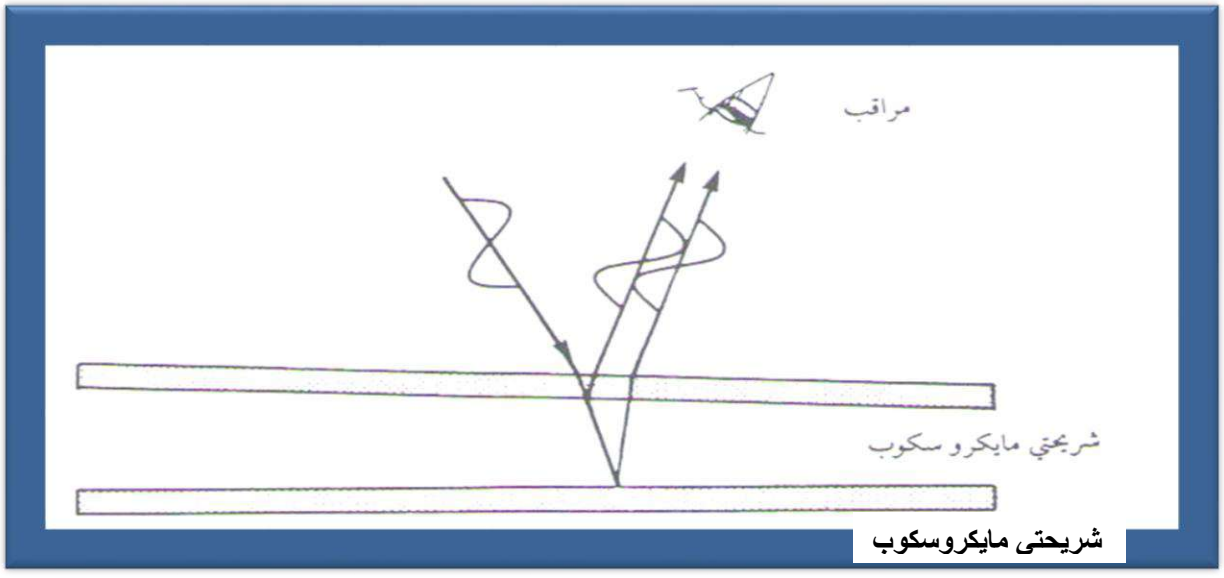
(9-1): تداخل ضوئي (A) تداخل بنّاء (B) تداخل هدام (اتلافي)



شكل (1-10) يوضح تجربة التداخل الضوئي ومشاهدة ازواج من الأهداب المضيئة والمظلمة في الجهة اليمنى من الشكل

ومن ابسط الأمثلة على التداخل الضوئي المثال المبين في الشكل (1-10) فأذا ما باعدنا أحد طرفي شريحتي المايكروسكوب الموضوعتين فوق بعضهما قليلاً (بوضع شعرة بينهما) ، وأضائتهما فنحصل على سلسلة من الخطوط المضيئة والمظلمة ، وهذا التداخل يحصل على شبكية العين .

ونلاحظ في الشكل (1-11) مصدرالموجتين ، إذ تصدر الأولى من الشريحة العليا ، والأخرى من الشـــريحة السفلى (هذا بأهمال الأنعكاس من السطحين الأخرين للشريحتين و اللذين يعملان بالمبدأ نفسه) وتسقط الموجتان على شبكية العين بوساطة عدستها .

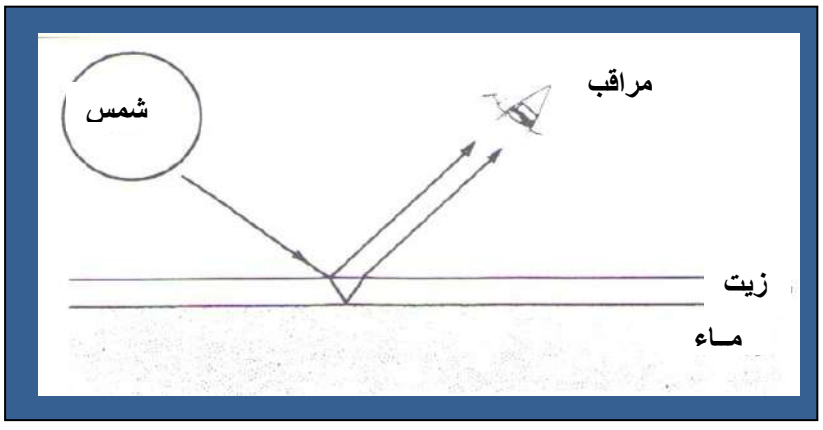


شكل (1-11) يبين التداخل البنّاء عندما يكون فرق المسار بين الموجتين مساوياً لعدد صحيح من الأطوال الموجية

فالموجتان صدرت من موجة واحدة ، فشطرت الى جزئين نتيجة الأنعكاس الجزئي للشريحة العليا ، فبذلك تكون الموجة المنعكسة من الشريحة السفلى قد قطعت مسافة اطول قبل ان تصل الى عين المشاهد وهذا ما يسمى بفرق المسار. و لفرق المسار أهمية كبيرة في عملية التداخل ، فأذا ساوى عددا صحيحا من الأطوال الموجية سيحصل تداخل بنّاءاً للموجتين، أما اذا ساوى عددا صحيحا من الأطوال الموجية مضافاً إليه نصف الطول الموجي ، فسنحصل على تداخل هداماً (اتلافي) للموجتين وذلك لإختلاف الطور بينهما تماما . ونلاحظ تداخل بناءاً وهداماً إذ تحركنا قليلا، وهذا نتيجة إختلاف فرق المسار بين الموجتين وبأستمرار تحركنا سنلاحظ سلسلة من الأهداب المضيئة و المظلمة ، كالتي لاحظناها في الشكل (1-10) .

أمثلة يومية عن التداخل الضوئي:-

لو وضعت طبقة من الزيت على سطح بركة ماء فسوف تشاهد ألواناً زاهية ناتجة عنها ، وكذلك تظهرهذه الالوان على جوانب فقاعات الصابون، فإنّ هذا يعني حصول تداخل ضوئي ناتج عن الأغشية الرقيقة . فوجود طبقة الزيت الرقيقة في الشكل (1-12) على سطح إناء فيه ماء، يؤدي إلى أنعكاس أشعة الشمس على السطح الفاصل بين الهواء والزيت ، والسطح الفاصل بين الزيت والماء ، فتحصل عملية التداخل بين الموجتين، فيكون التداخل بنّاءً عندما يكون فرق المسار بين الموجتين مساوياً عدداً صحيحاً من طوله الموجي، ولو غيّرنا زاوية النظر نشاهد لوناً أخر نتيجة لتغير فرق المسار الضوئي بين الشعاعين. وينطبق المبدأ ذاته على فقاعة الصابون ايضا، إذ يكون أحد الإنعكاسات من السطح الخارجي للفقاعة بينما يكون الأخر من السطح الداخلي لها.



شكل (1-12) : التداخل الضوئي الناتج عن الأغشية الرقيقة

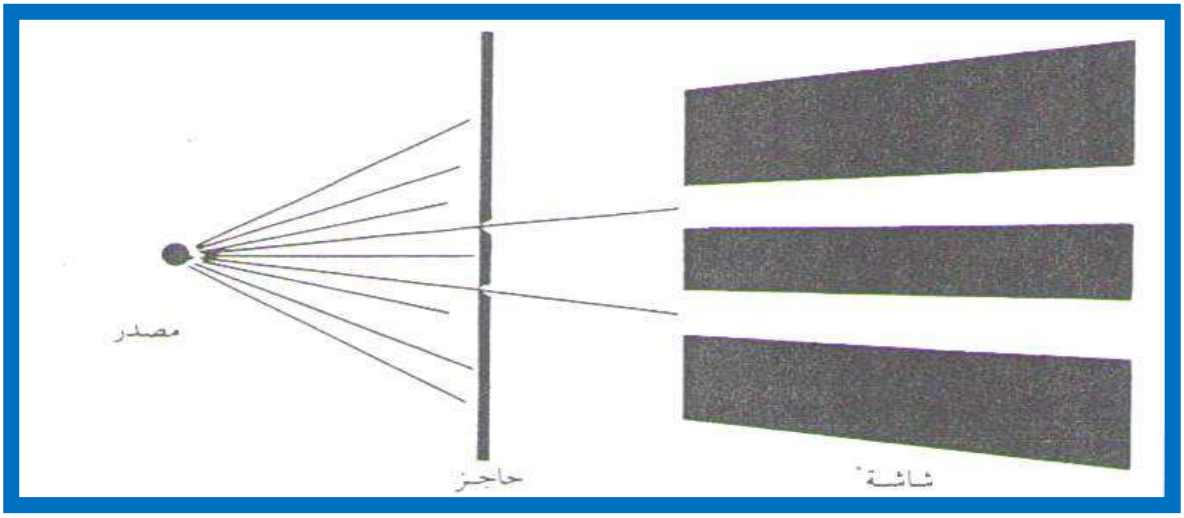
عندما ننظر الى صورة فوتوغرافية أمام أشعة الشمس ، نشاهد ألوان الطيف الشمســـي تنعكس نحونا عند تحريكها وهذا ناتج عن حيود أشعة الشمس من الخطوط الموجودة على سطح الصورة .

ويعرف الحيـــــــود : بأنه انبساط الضوء على المناطق التي تقع خلف العائق قد يكون شق او سلك رقيق أوجسم ذو حافة حادة إذ بتحريكها يتغير فرق المسار الضوئي الواصل إلى العين وبذلك نحصل على تداخل هدام أو بنّاء أعتماداً على الطول الموجي للأشعة فتعمل الصورة عمل محزز.

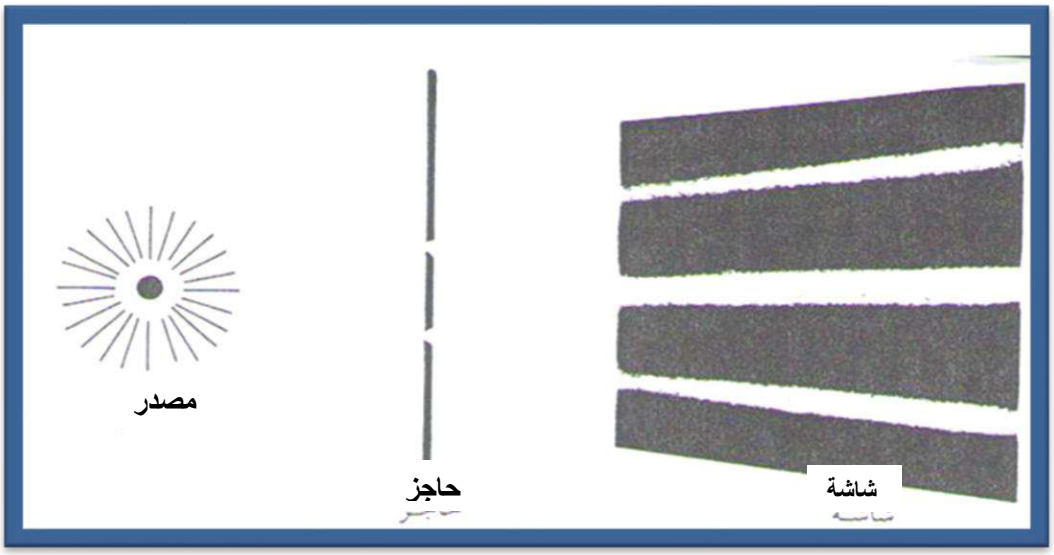
وهناك أنواع اخرى من المحززات التي تصنع على شكل لصقات تلصق على زجاج وأبدان السيارات ، اذ تتغير ألوانها بمجرد تغير زاوية النظر ، وهناك الكثير من أنواع الحلي الصناعية تستخدم هذه الظاهرة لنحصل منها على ألوان زاهية وبراقة .

تجربة يونك ذات الشق المزدوج:

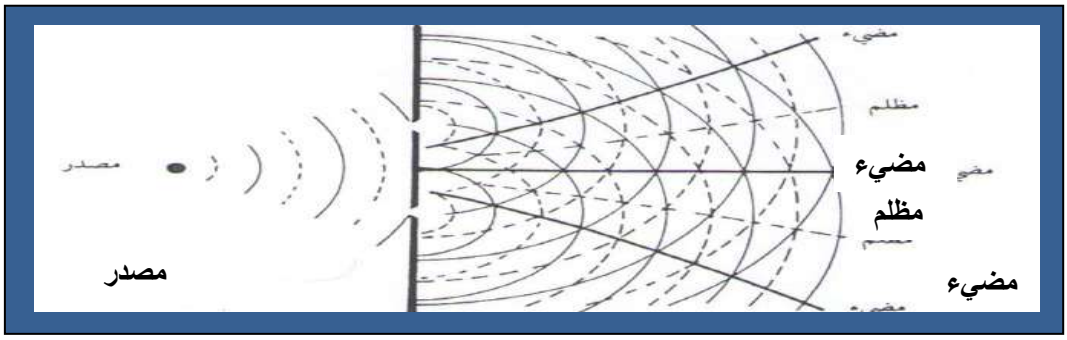
عند وضع ورقة سميكة تحتوي على شقين متقاربين أمام مصدر ضوئي أحادي اللون كما موضح في الشـكل (1-13) فسوف تظهر لنا سلسلة من الخطوط (الأهداب) المضيئة والمظلمة على الشاشة التي أمامها بدلا من صورة الشقين الموضحه في الشكل (1-14) فتكون المنطقة الأكثر إضاءة في منتصف الشاشة. والشـــكل (1-15) يبين الموجات الساقطة على الشقين وكذلك الخارجة منهما. فعند ألتقاء نقاط قمم هذه الموجات نحصل على التداخل البناء، الذي يحدده الخط السميك في الشكل، اذ يعين المناطق المضيئة على الشاشة الموضوعة أمام الشقين. ويحدد الخط المنقط المناطق المظلمة على الشاشة والناتجة من ألتقاء قمة أحدى الموجتين مع قعر الأخرى .



شكل (1-13): تجربة يونك ذات الشق المزدوج



شكل (1-14): يبين الخطوط المضيئة على الشاشة



شكل (1-15) : يبين التداخل الضوئي وظهور الخطوط (الأهداب) المضيئة والمظلمة أعتماداً على النظرية الموجية للضوء

والشكل (1-16) يوضح طريقة أخرى لتفسير الظاهرة إذ تنقسم الموجة الساقطة على الشقين إلى موجتين تتجهان نحو الشاشة الموضوعة أمام الشقين ، اذ يصل شعاعا النقطة P_1 الواقعة في منتصف الشاشة بعد أن يقطعا المسافة نفسها ، فيكونان بطور واحد أي يحصل (تداخل بناء) ، فنحصل على منطقة (أهداب) مضيئة. أما النقطة P_2 والتي تقع على مسافة معينه من النقطة P_1، فإن الأشعة الواصلة إليها من أحد الشقين تقطع مسافة أكبر من الأشعة الواصلة من الشق الأخر ، فتكون منطقة (أهداب) مظلمة أي (تداخل اتلافي)، أعتماداً على فرق الطور بين الموجتين .

والسؤالُ يطرح نفسه كيف يتم توزيع الضوء بين النقطتين P_1 المضيئة وP_2 المظلمة ؟

فكلما تحركنا من النقطة P_2 بإتجاه النقطة P_1 تصبح الشاشة أكثر إضاءة ، اذ يتقارب طورا الموجتين من بعضهما وكذلك الحال بالنسبة للنقاط الأخرى على الشاشة ، ولحساب مواقع المناطق المضيئة والمظلمة على الشاشة ،

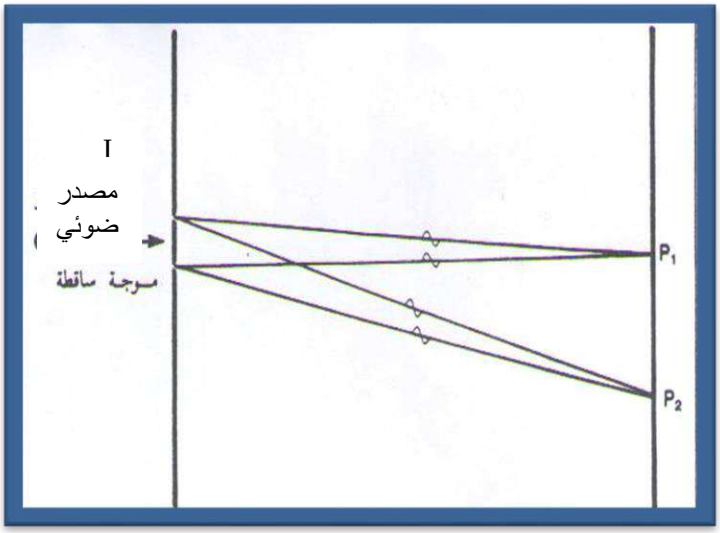
بأفتراض أن المسافة بين الشقين والشاشة أكبر كثيرا من المسافة بين الشقين ، وأعتبار مسار الموجتين متوازياً تقريبا كما موضح في الشكل (1-18) وبالإعتماد على الزاوية يمكن حساب المسافة التي يقطعها الشعاع العلوي والشعاع السفلي ، فإذا ساوى هذا الفرق عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية فيكوّن التداخل بناءً (اهداب مضيئة) عند نقطة ألتقاء الشعاعين على الشاشة وإذا ما نظرنا إلى المثلث في الشـــــــــكل (1-18) نجد أن $I = d \sin\theta$. اذ تمثل d المسافة بين الشعاعين ، أي البعد بين الشقين و I فرق المسار . فيمكن كتابة المعادلة على النحو الآتي :

$$n\lambda = d \sin\theta \quad .... \quad (8\text{-}1\ a)$$

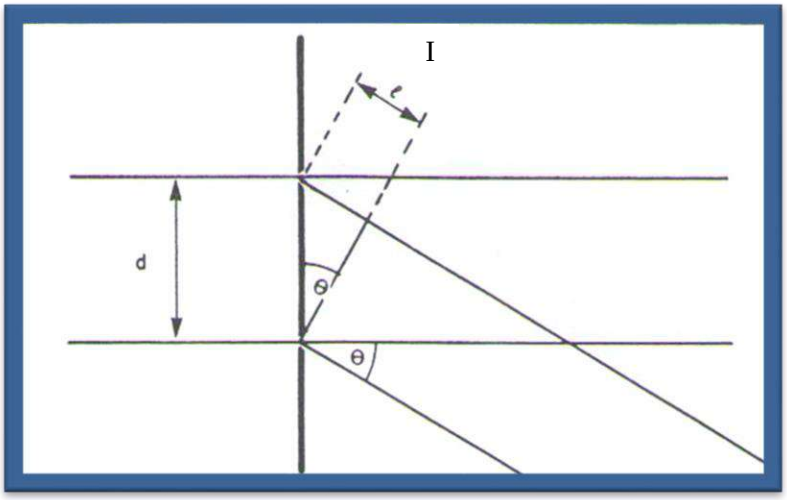
تداخل بناء (اهداب مضيئة) $n= 0, 1,2, \ldots\ldots$

كما نحصل على التداخل الاتلافي (اهداب مظلمة) عندمـــا :

تداخل اتلافي (اهداب مظلمة) $n= 0, 1,2, \ldots\ldots$ $\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda = d \sin\theta$ ... (8-1b)



شكل (1-16): يبين فرق المسار بين الشعاعين الصادرين من الشقين



شكل (1-17):شكل مكبر لتجربة يونك

كما يمكن ايجاد طول موجة الضوء (λ) وذلك بأستعمال العلاقة :-

$$\lambda = \frac{d Y_n}{nx} \qquad \ldots\ldots \quad (9\text{-}1)$$

اذ أن :-

(d) البعد بن الشقين

(Y_n) بعد صورة الهدب المضئ عن الهدب المركزي المضئ

(n) رقم المرتبة (عدد صحيح)

(x) بعد الشاشة عن كل من الشقين

مثال :- **ما طول موجة الضوء المقاسة بتجربة يونك أذا كان البعد بين الشقين (0.24) mm وبعد الشاشة عن كل من الشقين (1.6)m وبعد صورة الهدب الرابع المضيء عن الهدب المركزي المضيء (16)mm.**

الحـــــــل:-

$d = 0.24 \text{ mm} = 24 \times 10^{-5} \text{ m}$ ، $x = 1.6 \text{ m}$

$Y_n = 16 \text{ mm} = 16 \times 10^{-3} \text{ m}$

n = 4 (رقم المرتبة)

$$\lambda = \frac{dY_n}{nx}$$

$$\lambda = \frac{24x10^{-5}x16x10^{-3}}{4x1.6} = 6x10^{-7}\ m = 600\ nm \qquad (1m=10^9\ nm)$$

(8-1) حيـــود الضـــوء

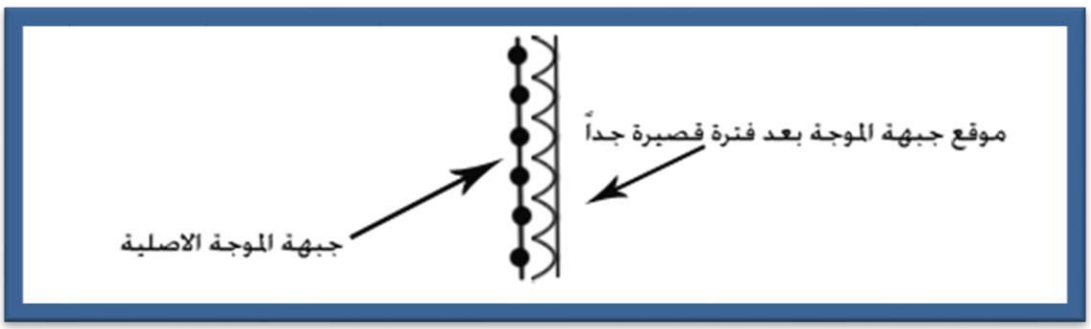
تحصل ظاهرة الحيود للموجات الضوئية عند عبورها شقوق ضيقة جداً أو عند أصطدامها بجزيئات عالقة الجو احجامها صغيرة مقاربة للطول الموجي للضوء الساقط وهذه الظاهرة وضحها العالم الفيزياوي هايكنز عام 1678.

ويعرف الحيود إنّه (إنفراج (أنتشار) الحركة الموجية او (جسيمات) في المنطقة الواقعة خلف حاجز ما) .

وبحسب مبدأ هايكنز الذي ينص على :-

(أن جميع النقاط التي تقع على جبهة الموجة يمكن اعتبارها مصادر لموجات نقطية ثانوية تصدر منها موجات ثانوية كروية وأن السطح المماس لكل هذه الموجات الثانوية يشكل جبهة موجة جديدة) .

ويمكن معرفة مكان جبهة الموجة بعد مدة إذا ما علمنا مكانها حاليا ، ويمكن بوساطتها معرفة كيفية أنفراج الأشعة الضوئية ، اذ يمكن جعل كل نقطة على جبهة الموجة مصدراً جديداً لموجة كروية ويمكن تحديده بالمماس للأسطح الكروية لجبهات الموجات. ولدراسة هذه الحالة ، نأخذ جبهة موجة مستوية كما في الشكل (18-1) اذ ان هناك عدة نقاط على جبهة الموجة المستوية والتي يمكن جعلها مصدراً لموجات ثانوية. وهذه الموجات تنتشر بعد مدة وجيزة، ويمكن حساب موقع الموجة الجديدة من المماس لأســطح كروية (الخط المنقط) الموضح في الشكل ادنـــاه.



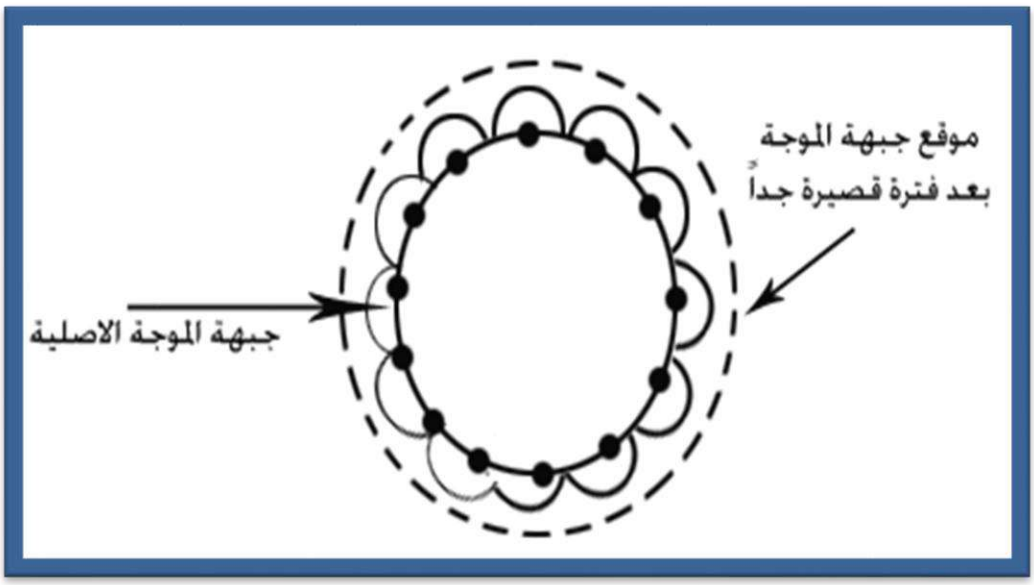
شكل (18-1) : مبدأ هايكنز والموجات المستوية

إذا ما تساءلنا أين ذهبت جبهة الموجة الجديدة والناتجة من المماس للأسطح الكروية من الجانب الخلفي ؟ فهل هذا يعني أن هناك موجة تذهب نحو الخلف ؟

نعم ليست هناك أية موجة . وفي الحقيقة لم يطرأ على فكر هايكنز سؤال كهذا ليعد الأجابة له ،ولم تكن لديه معلومات كافية عن طبيعة الضوء في ذلك الوقت . والأجابة الكاملة على هذا السؤال نجدها عندما ندرس معادلات ماكسويل MAXWELL والتي هي خارج مستوى هذا الكتاب . ويمكن الحصول على جواب مقنع بأسلوب أخر أبسط .

وكمثال أخر على مبدأ هايكنز هو ما نراه في الشكل (1-19) اذ ان هناك موجة كروية تولِّد النقاط التي على سطحها موجات جديدة ، تبتعد عن مصادرها.

والسطح المماس لها يكوِّن كرة جديدة ، وكما موضح في الشكل، اذ أن الموجة الكروية (الخط المتصل) وَلَدتْ موجة كروية جديدة (الخط المتقطع)، وفي حالة الموجة المستوية ليست هناك موجات تتجه نحو الداخل.



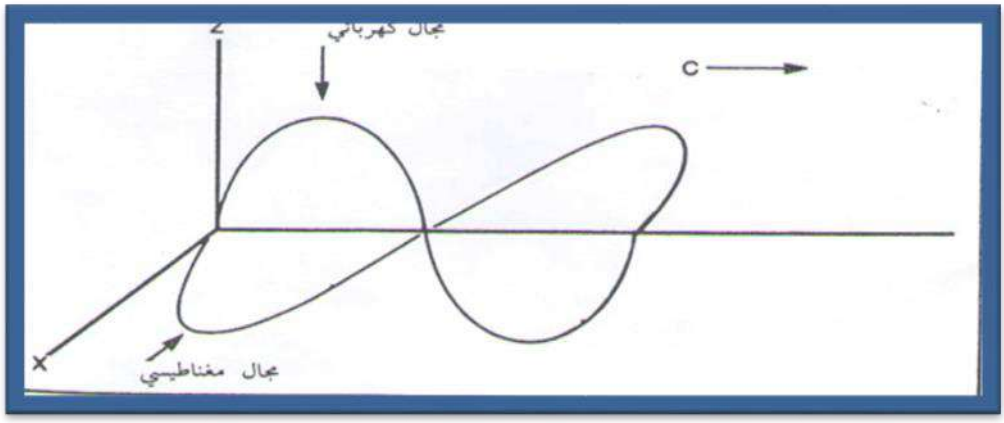
شكل(1-19) : مبدأ هايكنز والموجات الكروية

(1-9) استقطاب الضوء

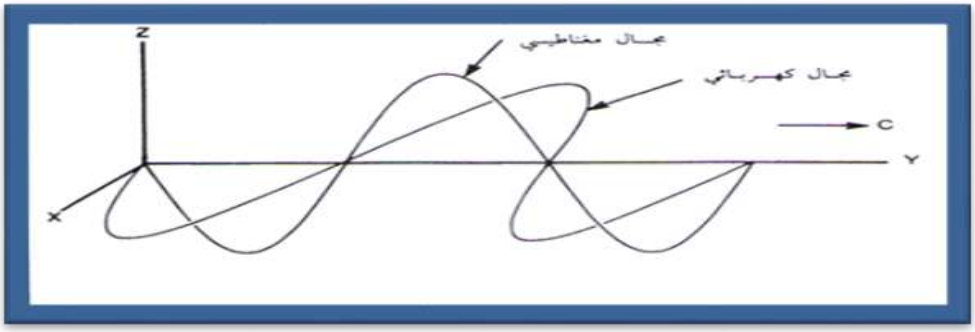
يعرف الاستقطاب بأنه الضوء الذي يهتز مجاله الكهربائي لمستوي واحد فقط عمودي على خط الانتشار.

يتكون الضوء المستقطب من مجموعة موجات تمتلك نفس اتجاه الاهتزاز بينما يتكون الضوء الغير مستقطب من مجموعة من الموجات التي تتحرك في اتجاهات عشوائية حول محور الانتشار .

يطلق مصطلح الضوء المستقطب على تلك الموجات الضوئية التي تخضع لترتيب بسيط ومنظم, أما في حال كانت معقدة وغير منتظمة فتعتبر بمثابة ضوء عادي .من اشهر الأمثلة على الموجات المستقطبة هي الاهتزازات التي تنتقل على طول سلسلة مشدودة مثل الالة الموسيقية الغيتار



شكل (1-20) يتكون الضوء من مجالين متعامدين كهربائي و مغناطيسي . والضوء مستقطب افقياً لكون مجاله الكهربائي عمودياً



شكل (1-21) شعاع ضوئي مستقطب افقيا

انواع الضوء المستقطب

١-الضوء المستقطب الخطي

٢-الضوء المستقطب الدائري

٣-الضوء المستقطب الاهليجي

يشارالى أنه من الممكن خلق ضوء مستقطب من الضوء الغير مستقطب بالاعتماد على مايسمى بمرشح الاستقطاب ,فعندما يمر ضوء اعتيادي خلال بلورة مستقطبة فأن المركبات الموازية لمحور البلورة هي التي تنفذ فقط,اي ان مركبات الضوء النافذ من خلال بلورة مستقطبة تتذبذب في اتجاه واحد فقط لذلك يسمى هذا الضوء النافذ بالضوء المستقطب لانه اخذ خاصية التذبذب باتجاه واحد فقط مقارنة مع اتجاه الموجات الساقطة على البلورة.

(1-10) طرق استقطاب الضوء

يمكن ان نحصل على ضوء مستقطب من الضوء العادي بالطرق الاتية:

١-الانعكاس

٢-الانكسار

٣-الانكسار المزدوج

٤-الاستطارة

٥-الامتصاص الانتقائي

(1-11) استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي

يشاهد الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي من بعض انواع البلورات التي لها صفة اختيار امتصاص معين لاي من المركبات المتعامدة للضوء الاعتيادي مثل بلورة التورمالين,فعندما يسقط ضوء اعتيادي على شريحة رقيقة من التورمالين ينقسم الضوء الى مركبتين متعامدتين هما :

١-مركبة ذات اهتزاز افقي حيث تمتص بقوة من البلورة

٢-مركبة ذات اهتزاز عمودي موازي لمحور البلورة تنفذ دون خسارة كبيرة

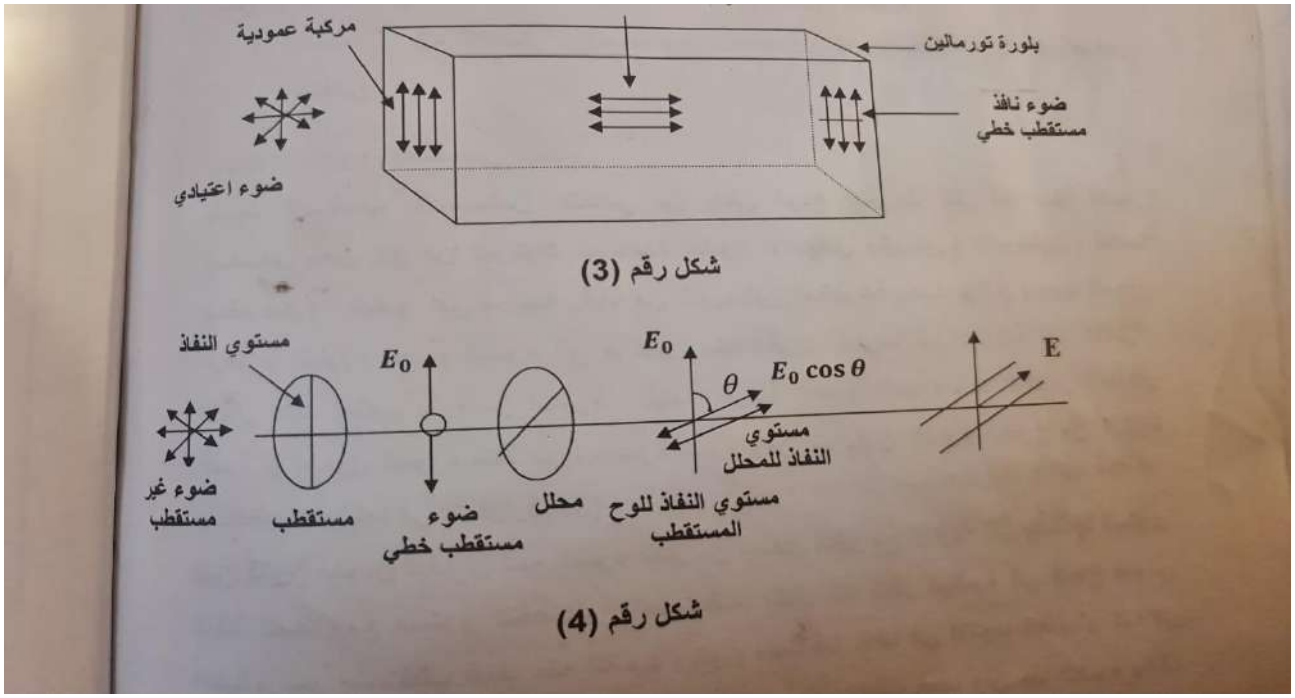
ويكون الضوء الخارج من البلورة مستقطبا خطيا .

نص قانون مالوس

ان شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الثاني يساوي شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الاول مضروبا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشحين.

يعطى بالعلاقة $I_2 = I_1 * \cos^2 \theta$

**يسمى مرشح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس بالمحلل



شكل (1-22) : استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي

(1-12) استقطاب الضوء بالانعكاس

ابسط الطرق المتبعة لتوليد ضوء مستقطب استقطابا خطيا هي طريقة الانعكاس على سطح زجاجي (الانعكاس عن السطح الفاصل بين وسطين عازلين كالهواء والزجاج مثلا),حيث يختلفان في معامل انكسارهما .

ويمكن ايضاح هذا الاستقطاب بإسقاط ضوء طبيعي وحيد اللون على السطح المستوي للوح زجاجي,فتنعكس إحدى موجتي المجال الكهربائي أو المغناطيسي على السطح,وتمر الأخرى داحل اللوح الزجاجي.ويصبح لدينا شعاعين مستقطبين أحدهما معكوس على السطح الزجاجي والاخر نافذ في الزجاج.ان الضوء المنعكس يستقطب بصورة كلية لزاوية سقوط معينة خاصة بالسطح العاكس وتسمى زاوية الاستقطاب (زاوية بروستر)

(13-1) استقطاب الضوء بالتشتت (الاستطارة) :-

عند مرور حزمة ضوئية خلال انبوبة مملوءة بالدخان، وكان إتجاه الحزمة موازيا لمحور الانبوبة ،فإنه يحدث نقص في شدة الضوء النافذ منها، وذلك لسببين :

اولا: امتصاص الضوء بوساطة دقائق الغـــــاز.

ثانيا: تشتت (استطارة)الضوء بوساطة هذه الدقائق الى جوانب الانبوبة. ويكون الضوء المشتت مستقطبا استقطابا خطيا (مستويا).

ويمكن للضوء المستطار جانبيا بفعل دقائق الغاز أن يستقطب كليا في اتجاه عمودى على أتجاه سقوط الأشعة العادية، أو في إتجاهات أخرى غير اتجاه السقوط. وأن الموجات الاكبر طولا اقل استجابة للأستطارة من الموجات الأقصر ، وأن التشتت يتناسب عكسيا مع الأس الرابع للطول الموجي أي أن :-

$$Scattering \propto \frac{1}{4(\text{wavelenght})}$$

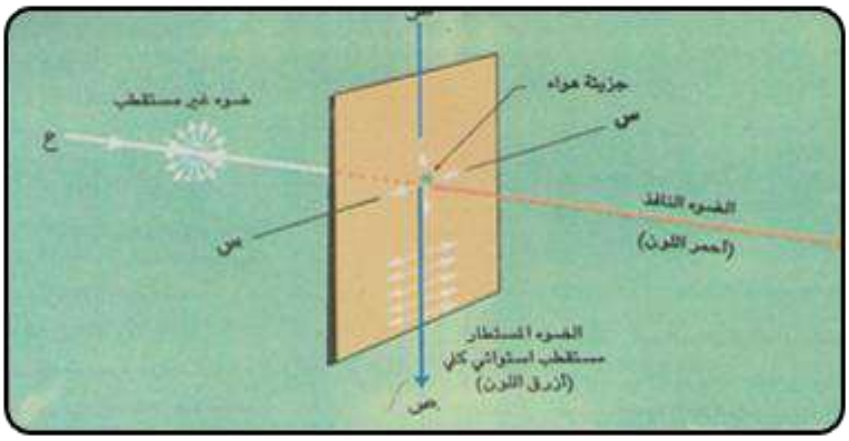
وتبعا لذلك تصل استطارة الضوء البنفسجي الى عشرة أمثال استطارة الضوء الاحمر ، وتستطار الالوان الاخرى بقيم تقع بين هذين الحدين . والجدول الأتي يبين نسبة أستطارة الألوان بالنسبة إلى اللون الأحمر الذي عدده واحد

بنفسجي	أزرق	أخضر	أصفر	برتقالي	أحمر
10	6	3	2.5	2	1

وتعد ظاهرة الأستطارة هي السبب في زرقة السماء وحمرة الشروق أو الغروب وهما من أجمل الظواهر الطبيعية ، إذ أن جزيئات الهواء وبعض دقائق أخرى عالقة في الجو أقطارها تقارب معدل الطول الموجي للضوء الأبيض تسبب الأستطارة في ألوانه بنسب تعتمد على أطوالها الموجية. لذا فأننا نرى قرص الشمس عند شروق الشمس أو غروبها بلون مائل الى اللون الأحمر: لأن أشعة الشمس تقطع مساراً أطول خلال طبقة الهواء، وبذلك

يزداد مقدار الضوء الأزرق المستطار فيها بنسبة عالية لذا يصل الضوء غير المستطار إلى العين ضوءاً أحمر بينما نرى السماء بلون أزرق .

وإن ضوء الشمس يستطار بوساطة الدقائق الموجودة في جو الارض، والتي لولاها لظهرت السماء معتمة ، الا إذا نظرنا مباشرة للشمس . وقد تحقق هذا في مشاهدات رجال الفضاء داخل مركباتهم فوق جو الأرض .ويستعمل الضوء الأحمر كأشارة للخطر وذلك لقلة أستطارته لذا يرى من بعيد لكبر طول موجته فتكون شدة أستطارته قليله فتكون أهتزازت المجال الكهربائي للضوء المستطار بمستوى عمودي على المستوى المحدد بوساطة مسار الضوء الساقط وخط النظر إليه الشكل (1-23) .



الشكل (1-23): الضوء المستطار ضوء مستقطب أستوائياً كليا

أسئلة ومسائل الفصل الأول

س1: املأ الفراغات التالية:

1-الضوء هو عبارة عن موجات ----------

2-يعتمد مقدار الضوء المنعكس من سطح الجسم على ---------و----------

3-عند سقوط ضوء ابيض على موشور فأن زاوية انكسار الضوء الازرق ----------من زاوية انكسار الضوء الاحمر

4-من انواع الانعكاس ----------و----------

5-هناك ظاهرتين تحدث في تجربة يونك هما ----------و----------

6-تتناسب الاستطارة ----------مع الاس الرابع للطول الموجي

س 2 : عرف التداخل , ثم اعط مثالا عليه ؟

س3: اشرح بالتفصيل سبب ظهور الالوان على جوانب فقاعة الصابون ؟

س4 : عرف الحيود ثم بين كيفية حدوثة ؟

س5 : ما هو الاستقطاب ؟ وماهي انواعه ؟

س6 : ما السبب في زرقة السماء وحمرة الشروق والغروب ؟

س7: اشرح تجربة يونك مع الرسم؟

س8:اذا كان الطول الموجي للاشعة الفوق البنفسجية nm 225 فكم ستكون طاقة كل فوتون؟

س9:اوجد زاوية انكسار شعاع ضوئي ينتقل من الهواء الى الماء في وعاء بزاوية سقوط 30 علما بأن معامل انكسار الماء 1.33 ؟

س10 :ينتقل شعاع ضوئي من الهواء الى قطعة زجاج تاجى بزاوية 30 درجة مع العمودي احسب زاوية الانكسار علما بأن معامل انكسار زجاج تاجى 1.52 ؟

س11: اشرح تجربة يونك مع الرسم؟

الفصل الثاني

ارتباط الليزربالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز

(1-2) : المقدمة

(2-2) : فكرة الليزر

(3-2) : ارتباط الليزر والضوء بالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز

(4-2) : الأنبعاث و الأمتصاص

(1-4-2) : الأنبعاث الذاتي

(2-4-2) : الأنبعاث المحفز

(3-4-2) : الأمتصاص

(5-2) : معدل الأمتصاص والأنبعاث

(6-2) : الإنتقالات المسموحة والإنتقالات الممنوعة

الفصل الثاني

ارتباط الليزر بالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز

(1-2) المقدمة :

تعني كلمة ليزرهي التضخيم بوساطة الانبعاث المحتث للاشعاع. ويقصد بالانبعاث المحتث هو انبعاث كم ضوئي مقداره hυ (h ثابت بلانك و ν التردد) من ذرة متهيجة بتأثير موجة كهرومغناطيسية ذات تردد وطور معينين.

(2-2) فكرة الليزر:

ان لأشعة الليزرالعديد من المنتجات التكنولوجية فتجدها عنصراً اساسياً في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو في آلالات طبيب الأسنان أو في معدات قطع ولحام الحديد أو في أدوات القياس وغيرها من المجالات. ولكن ما هو الليزر وما الذي يجعل الليزر مميزاً عن غيره من المصادر الضوئية. في هذه الفصل سوف نقوم بشرح كل ما يتعلق بالليزر بشكل بسيط وواضح .

جاءت تسمية كلمة ليزر LASER من الأحرف الأولى لفكرة عمل الليزر والمتمثلة في الجملة الآتية :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني تكبير الضوء Light Amplification بوساطة الانبعاث الاستحثاثي Stimulated Emission للإشعاع الكهرومغناطيسي Radiation. وقد تنبأ بوجود الليزر العالم البرت اينشتاين في 1917إذ وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث الاستحثاثي stimulated emission وتم تصميم أول جهاز ليزر في 1960 بوساطة العالم ميمان T.H. Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت Ruby laser

شكل (2-1) مختبر ابحاث يستعمل شعاع الليزر

(3-2) ارتباط الليزر والضوء بالانبعاث التلقائي والمحفز

فكرة عمل الليزر مبنية على نظام يحوي عدد كبير من الذرات ,يتم تسليط طاقة على هذه الذرات فتنتقل من المستوى الطاقة الادنى الى مستوى الطاقة الاعلى,ويحدث ذلك بعد امتصاص الذرات للطاقة,وبعد ان تقضي هذه الذرات فترة زمنية محددة في مسنوى الطاقة الاعلى ويسمى هذا الزمن زمن التحفز,تعود الى المستوى الادنى

قبل ان تعود لمستوياتها الارضية,وتطلق فوتونات اثناء هذه العملية,وبالتالي نحصل على عدد كبير من الفوتونات المنتقلة التي تنتقل بين المرآتين من اجل تضخيمها فنحصل على ضوء الليزر ,وخصائص ضوء الليزر لاتشبه اي من خصائص الضوء الاخرى.الضوء المنبعث من الليزر,يكون باتجاه واحد ويكون شعاع الليزرعبارة عن حزمة فوتونات بمسار مستقيم ويكون متزامن ,اي ان الفوتونات جميعها تكون بنفس الطور,بينما الضوء العادي يكون منتشر في جميع انحاء الفراغ ومشتت.المسؤول عن خصائص الضوء في الليزر هو الانبعاث المحفز ,بينما المسؤول عن خصائص الضوء العادي هو الانبعاث التلقائي

الانبعاث و الامتصاص

الانبعاث الذاتي او التلقائي (Spontaneous emission)

هو عملية فقدان الطاقة من المادة بشكل ذاتي (Spontaneous) على شكل ضوء أو حرارة أو حركة من دون تأثير خارجي .

افترض انشـــتاين ان الذرات المكونة للمادة موزعة على مســـتويين طاقة هما مســـتوى الطاقة الارضـــي (E1)ويعرف بإســـم Ground state ومســـتوى طاقة الاعلى (E2)أو المســـتوى المحفزويعرف بأســـم Excited state,حيث تتصـادم الالكترونات مع بعضـها فتتحفز الذرات وتنتقل من مسـتوى طاقة اعلى الى مستوى طاقة ادنى(المستوى الارضي) بعد انتهاء فترة بقائها في المستوى الاعلى (E2) دون تدخل خارجي وتؤدي هذه العملية الى فقدان طاقة على شكل فوتون(ضوء).

يعطى معدل الانبعاث الذاتي بالمعادلة الآتية:

معدل الانبعاث الذاتي = $-A_{21}N_2$ .....(1-2)

إذ أن :-

N_2 : عدد الذ رات المثارة في المستوى الثاني

A_{21}: معامل انيشتاين للآنبعاث التلقائي

وتحسب قيمة A_{21} من المعادلة الآتية:

$$A_{21} = \frac{1}{t_{spont}} \quad \text{----------} \quad (2\text{-}2)$$

إذ أن:-

t_{spont} :- عمر الانبعاث التلقائي وهو المدة الزمنية التي يستغرقها حدوث الانبعاث التلقائي.

الانبعاث المحفز(Stimulated emission):

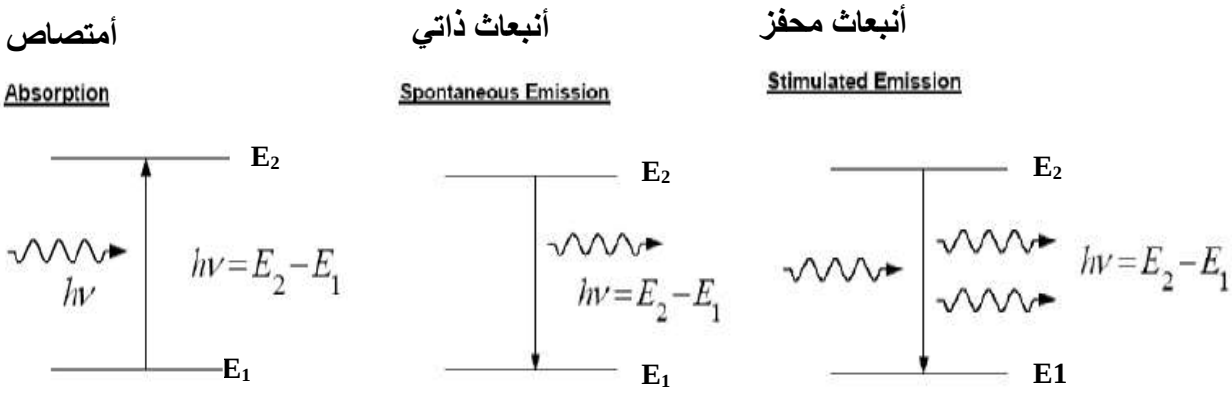
هو عملية فقدان الطاقة من المادة على شكل ضوء تحت تأثير خارجي، وهو أساس عمل الليزر.في هذه العملية تتحفز الذرات في المستوى الطاقة الاعلى(E2) لكي تنتقل الى المستوى الارضي قبل انتهاء فترة بقائها في المستوى (E1).

يعطى معدل الانبعاث المحفز بالمعادلة الآتية:

$$\text{معدل الانبعاث المحفز} = - W_{21} N_2 \text{ ----------} \quad (3\text{-}2)$$

إذ أن :-

W_{21} :- احتمالية الانبعاث المحفز من المستوي E_2 إلى المستوي E_1



شكل(2-2) يوضح مستويات الطاقة في العمليات الثلاثة

الامتصاص

تبقى الذرة في حالة طبيعية ما لم تهيج عن طريق إسقاط طاقة إشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد مناسب لانتقال الذرة إلى المستوى المطلوب في تحريض الانبعاث المحفز وفي الحقيقة فإن الانبعاث المحفز هو مقلوب عملية الامتصاص والعكس صحيح وان لعملية الامتصاص أهمية كبيرة في حدوث الانبعاث التلقائي والمحفز ومن دونها لا يكون لدينا مصادر للإشعاع الكهرومغناطيسي .

معدل الامتصاص والانبعاث:-

تعتمد عملية الامتصاص على تعداد المستوي E1 كلما ازداد N1 كلما زادت عملية الامتصـــاص ، ويعتمد هذا الانتقال على المعامل B12 الذي يعبر على احتمالية حدوث عملية الامتصاص . يكون معـدل التغير في تعداد المستوى E2 بالنسبة للزمن بالموجب لأن كلما زاد معـــــدل التغير كلما N2. وأن عمليـــــــة الامتصاص تحدث اذا توافر فوتون (Photon) ذو طاقة تساوي فرق الطاقة بين المستويين E٢و E_1 أي أن

$(\Delta E) = E_2 - E_1\ h\upsilon$ (4-2)

وللتعبير عن مدى تحقق المعادلة السابقة في عملية الامتصاص فإننا نعبر عنها بكثافة الاشعاع بالدالة ρ(υ) كمتغير في التردد (Density Of Radiation) والتي تعطي مدى احتمالية وجود فوتونات عند التـــردد ويمكن التعبيرعن تأثير معدل الامتصاص على تغير تعداد المستوى E_1 بالمعادلة الآتية :

معدل امتصاص الفوتونات = + B12 N1 ρ(υ) (5-2)

عندما تكون الذرة في حالة إثارة أي في مستوى طاقة عال (E2) فقد تشع طاقتها تلقائيا وتهبط الى مســـتوى طاقة منخفض (أو المستوي الأرضي) ولتكن طاقته E1، ويتم ذلك بأصدار فرق الطاقتين على هيأة فوتون.

ومن ثم فيكون معدل الانبعاث للفوتونات كما موضح بالمعادلة الآتية :-

معدل انبعاث الفوتونات= - A_{21} N ---------- (6-2)

إذ ان :

N: عدد الذرات المثارة

الانتقالات المسموحة والممنوعة :-

إن الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الذرة له من الأهمية في علم الفيزياء الذرية في التعرف على العناصر المختلفة اذ ان لكل عنصر من العناصر الموجودة في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به ولا يوجد عنصران لهما الطيف نفسه .

إن العالم اينشتين في عام 1917 وضع الاساس النظري لعمل الليزر من خلال دراسة تفاعل الطاقة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Radiation) مع المادة (Matter) وذلك من خلال العمليات الإنتقالية الثلاثة الآتية :-

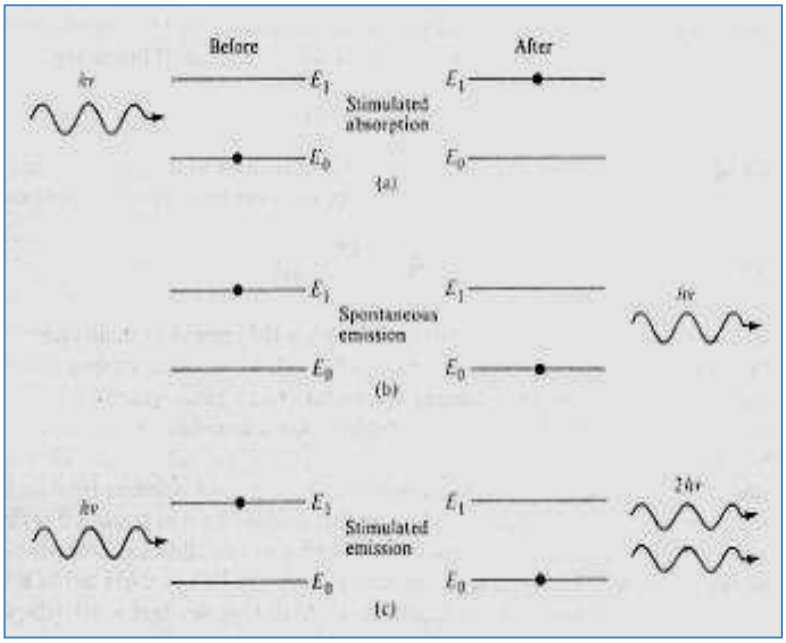
Absorption process عملية الأمتصاص

Spontaneous Emission إنبعاث ذاتي

Stimulated Emission إنبعاث محفز

افترض اينشتاين أن الذرات المكونة للمادة موزعة على مستويين للطاقة هما E1 , E2 إذ أن مستوى الطاقة الارضي E1 يعرف باسم Ground State أما مستوى الطاقة E2 فيعرف بالمستوي المتهيج Excited State. الانتقالات الثلاثة السابقة تحدث في المادة بين مستويي الطاقة عند أية درجة حرارة وهذا ما يعرف بالاتزان الحراري Thermal Equilibrium. (أي يكون معدلا الامتصاص والانبعاث متساويين أي= 0 يعني لاتوجد انتقالات)

الشكل الآتي يوضح مستويي الطاقة وتأثير كل عملية انتقال على الذرة والاشعاع الكهرومغناطيسي .



شكل(3-2) يوضح مستويي الطاقة وتأثيركل عملية انتقال على الذرة

Absorption تكون الذرة في المستوى الأول وتنتقل إلى المستوي الثاني بمعدل B_{12}
Spontaneous Emission تكون الذرة في المستوى الثاني وتنتقل إلى المستوى الأول بمعدل A_{21}
Stimulated Emission تكون الذرة في المستوى الثاني وتنتقل إلى المستوى الأول بمعدل B_{21}

عندما ينتقل الإلكترون إلى المدار ذي مستوى الطاقة الأعلى فإنه ما يلبث إلا أن يعود وينتقل إلى المستوى الطاقة الأدنى، وعندها فإن الإلكترون يحرر طاقة في صورة فوتون (ضوء) .

تصدر الإلكترونات الفوتونات عند اثارتها وعلى سبيل المثال عند تسخين معدن مثل سلك السخان الكهربائي فإنه يتحول لونه من اللون المعتم إلى اللون المتوهج وهذا التوهج ناتج من الفوتونات التي انطلقت بعد اثارة

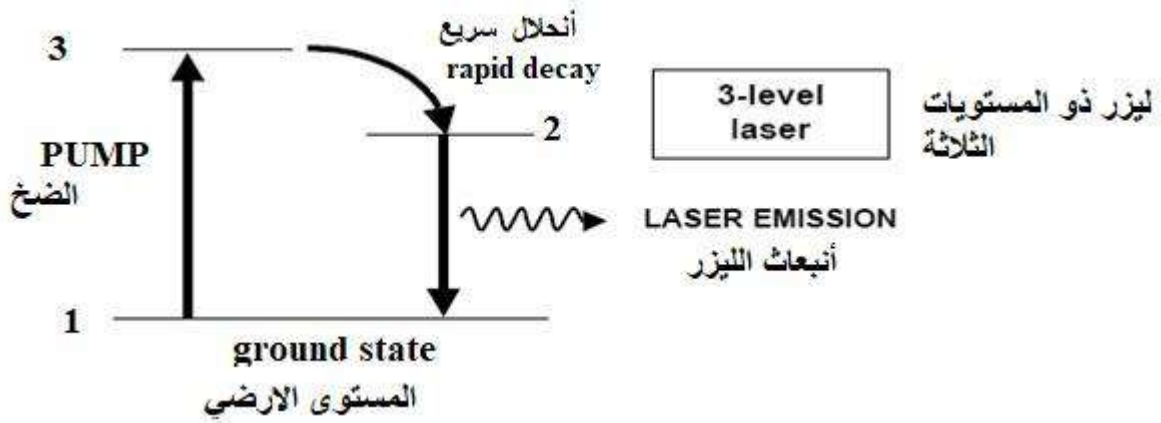
ذرات مادة سلك السخان الكهربائي. كذلك لو فكرنا في فكرة عمل شاشة التلفزيون فهي تعطي الصورة من خلال الفوتونات التي تنتجها مادة الشاشة (الفوسفور) عند اثارتها بشعاع إلكتروني .

يوجد في أوساط الليزر المختلفة عادة عدد كبير من مستويات الطاقة تتمثل بنظام المســـــتويات الثلاثة ونظام المستويات الاربعة ، اذ ان الانتقالات الثلاثة المذكورة انفا وهي (الامتصاص والانبعاث المحتـــث والانبعاث التلقائي) تتحقق باشتراك ثلاثة مستويات في النظام الاول وأربعة مستويات في النظام الثانـــي. والسبب في ذلك يعود الى تعذر الحصول على توزيع معكوس بين مستويين اثنين بشكل مباشر، فالامتصاص الرنيني هو افضل اسلوب لادامة الضخ لا يحقق سوى توزيع متساو بين المستويين في احسن حال و حتى هذا

لا يكون الا عندما يهمل الانبعاث التلقائي و الا فان عدد الذرات ذات المستوى العلوي من الطاقة سوف لن تكون الا اقل من عدد الذرات ذات المستوى الواطئ وهي حالة لا ينعكس بها التوزيع مطلقا

1- نظام المستويات الثلاثية (Triple-Level System):-

يتكون من ثلاثة مستويات طاقة، المستوى الأرضي (Ground) الذي يمثل المستوى الليزري السفلي (Lower Laser Level) ويرمز له (LLL) ، والمستوى المتهيج (Excited) الذي يمثل المستوى الليزري العلوي (Upper Laser Level) ويرمز له (ULL) والمستوى شبه المستقر (Metastable) أو الوســـطي



شكل (2-4): نظام المستويات الثلاثية

خصائص المستويات الثلاثيــة :-

المستوى الأرضي هو نفسه المستوى الليزري السفلي يجب ضخ نصف عدد الذرات أو الجزيئات من المستوى الأرضي إلى المستوى العلوي للحصول على التوزيع المعكوس، لذلك نحتاج إلى طاقة ضخ عالية جداً.والمستوى شبه المستقر لا يتم اختياره لعملية التوزيع المعكوس لأنه لا يستطيع خزن عدد كبير من الذرات أو الجزيئات المتهيجة مثل المستوى الليزري العلوي الذي يكون عريضاً جداً.

تحسب قدرة الليزر الخارجة (PL) :

$$P_L = h\nu\left(w_p \beta N_1 - A_{21} N_2\right) \quad \text{---------- (7-2)}$$

اذ ان :-

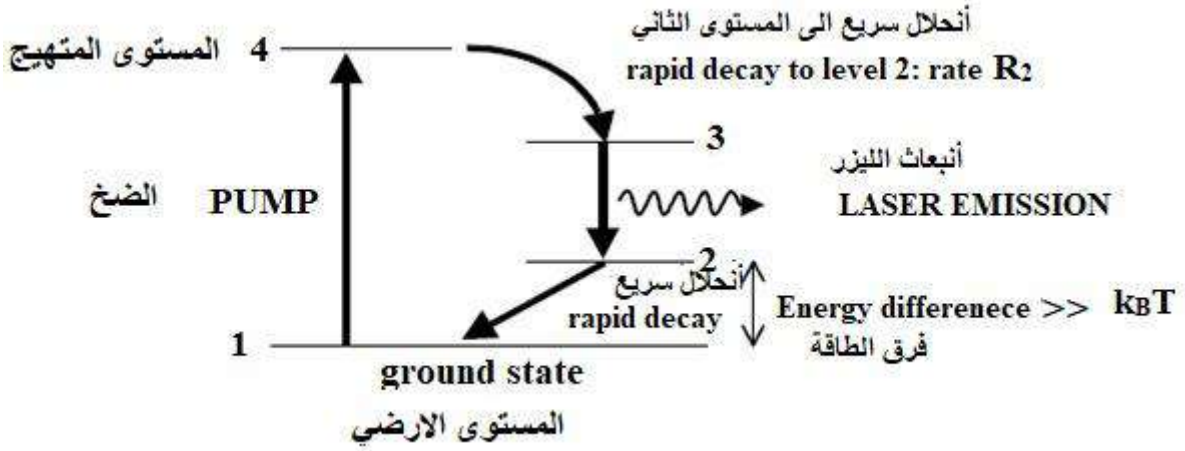
hν : طاقة الفوتون المنبعث (الليزر)

wp : معدل ضخ الذرات أو الجزيئات إلى المستوى العلوي

β : كفاءة المستوى

(2) نظام المستويات الرباعية (Four- Level System) :-

يتكون من أربعة مستويات طاقة، المستوى الأرضي (Ground)، والمستوى الليزري الســـفلي (Lower Laser Level) ويرمز له (LLL) ، والمستوى المتهيج (Excited) ، والمستوى الليزري العلوي (Upper Laser Level) ويرمز له (ULL).



شكل (2-5): نظام المستويات الرباعية

خصائص المستويات الرباعية :-

المستوى الأرضي هو ليس نفسه المستوى الليزري السفلي، لذلك فإننا لا نحتاج إلى مصدر ضـــخ قوي جداً لتحقيق التوزيع المعكوس .أكثر المواد المستخدمة لتوليد الليزر تكون ذات نظام مستويات رباعية.تحسب قدرة الليزر الخارجة (PL) بما يأتي :

$$P_L = h\nu\Delta N_c w_L = h\nu\Delta N_c\left(\frac{P_2^{\cdot}}{\Delta N_c} - W_{21}\right) \text{ ---------- (8-2)}$$

أذ أن :-

$h\nu$: طاقة الفوتون المنبعث (الليزر)

ΔN_c : قيمة التوزيع المعكوس

w_L : معدل ضخ أو نزول الذرات أو الجزيئات من المستوى الليزري العلوي إلى المستوى الليزري السفلي

$P_2^{\cdot}$: قدرة الضخ المؤثرة

وتحسب كالآتي:

إذا كان عدد الذرات أو الجزيئات $_2$ أكبر من N_1 (واحد) فإن هذا يعني حدوث التوزيع المعكوس ما بين المستويين E_2 و E_1 .

نظام المستويات الثلاثية	نظام المستويات الرباعية
يتكون من ثلاثة مستويات	يتكون من أربعة مستويات
يتطلب ضخ نصف عدد الذرات من المستوى الأرضي إلى المستوى المتهيج للحصول على التوزيع المعكوس	يتطلب ضخ عدد قليل من الذرات من المستوى الأرضي إلى المستوى المتهيج للحصول على التوزيع المعكوس
المستوى الأرضي هو نفسه المستوى الليزري السفلي	المستوى الأرضي ليس هو المستوى الليزري السفلي
يحدث الفعل الليزري بين E2 و E_1	يحدث الفعـل الليزري بين E_3 و E_2
يحتاج إلى مصدر لطاقة ضخ عالية	لا يحتاج إلى مصدر لطاقة ضخ عالية
عمر المستوى E_3 صغير جـــداً	عمر المســـــــتوى E_3 صغير جداً
عمر المســـــــتوى E_2 طويل	عمر المســـــــتوى 2 طويل نسبياً
يحدث انتقال سريع بين $E3$ و E2	يحدث انتقال ســـريع بين E4 و E3
قانون قدرة الليزر الخارجة هو: $P_L = h\nu(w_p\beta N_1 - A_{21}N_2)$	قانون قدرة الليزر الخارجـــــة هو: $P_L = h\nu(P_2' - w_{21}\Delta N_c)$
أقل كفاءة من نظام المستويات الرباعية	أعلى كفاءة من نظام المستويات الثلاثية
تعتمد قدرة الليزر على: ١ .تردد شـــــــعاع الليزر (ν) ٢ .احتمالية الانتقال المحفز (w_p) ٣ .كفاءة المســـــتوى E_2 (β) ٤ .احتمالية الانبعاث التلقائي A_{21} ٥ .عدد الذرات في المستويين N_1 و N_2	تعتمد قدرة الليزر على: ١ .تردد شـــــــعاع الليزر (ν) ٢ .احتمالية الانتقال المحفز (w_p) ٣ .معدل الضـــــــخ المؤثر P_2' ٤ .الفرق في عدد الذرات في المستويين 1 و $\Delta N_c N_2$
تحت شرط التوازن الحراري تكون 2 قليلة جداً يمكن إهمالها	تحت شرط التوازن الحراري تكون 1 و N_2 قليلة جداً يمكن إهمالها
لا يوجد انتقال بين المستوى 2 والمستوى الأرضي	يوجد انتقال بين المستوى 1 والمستوى الأرضي

اسئلة الفصل الثاني

س1: ماهو الفرق بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز ؟

س2: قارن بين المستويات الثلاثية ونظام المستويات الرباعية ؟

س3 : عدد الانتقالات المسموحة والممنوعة؟

س 4:أملأ الفراغات التالية

1-تم تصميم اول جهاز ليزر سنة .....بواسطة العالم .....ويعرف بليزر.....

2-يقصد بكلمة الليزر.....

3-.....يكون معدلا الامتصاص والانبعاث متساويين اي لاتوجد انتقالات

4-نظام المستويات الثلاثية يكون .....كفاءة من نظام المستويات الرباعية

5-من خصائص ضوء الليزر .....و.....و.....

6-تكون مصدر طاقة الضخ عالية عندما تعمل منظومة الليزر بنظام .....

(3- 1) : المقدمة

(3- 2) : التأهيل العكسي وشرط العتبة

(3-3) اسباب الخسائر في الليزر

(4-3) شرط العتبة

(3- 5) : خطط الضخ

(3- 6) : قدرة الضخ

(3- 7) : طرق الضخ

(3- 7- 1) : الضخ البصري

(3- 7- 2): الضخ الكهربائي

(3- 7- 3): الضخ الكيمياوي

(1-3) المقدمة

لكي تعمل اجهزة الليزر يجب ان تتوفر لها ثلاثة شروط:

اولا-الوسط الفعال :وهو نظام ذو عدد كبير من الذرات او الجزيئات او الايونات لوسط مادي بحالته(الصلبة او السائلة او الغازية)

ثانيا- التأهيل العكسي : ويتحقق باستخدام طرق ضخ معينة تنفذ وفق مخططات تناسب مستويات الطاقة لذرات الوسط الفعال.

ثالثا-التغذية العكسية: للحصول على عملية تضخيم الاشعة , اي العمل كمكبر للحزمة الضوئية وكذلك الحصول على صفة الاتجاهية , ويتم ذلك باستخدام تجويف رنيني ذي تصميم مناسب يدعى المرنان

(2-3) التأهيل العكسي وشرط العتبة

إن أجهزة الليزر كأية اجهزة عملية غير مثالية تتضمن مسببات الخسارة الكثير , وهي ذات اجهزة ذات كفاءة واطئة, وللاطلاع على هذه المسببات لابد من الدخول في حسابات مقدار الربح والخسارة في الوسط الفعال وتصميم المرنان.

(3-3) أسباب الخسائر في جهاز الليزر:

أ- الخسائر في الوسط الفعال : نتيجة امتصاص الوسط لنطاق عريض من طاقة الضخ فتحدث انتقالات لاعلاقة لها بانتقال الليزر, اضافة الى الخسائر الناتجة عن الاستطارة بسببفقدان الوسط الفعال التجانس البصري

ب- النفاذية في مرايا المرنان : ان نفاذية أحداهما ضروري لأنه يمثل نافذة نتاج الليزر , بالاضافة الى خسائر الامتصاص والاستطارة والحيود

(4-3) شرط العتبة: لحساب الربح عند العتبة , فيجب حساب مقدار التغير في شدة الاشعاع نتيجة دورة واحدة داخل المرنان

١- إذا كان الربح اكبر من واحد, فأن الشعاع يتذبذب وينمو (نحصل على التضخيم)

٢- في حالة كون الربح اقل من واحد فأن التذبذب لايستمر ويتلاشى ولانحصل على التضخيم (لايوجد شعاع ليزر)

٣- إذا كان الربح مساويا للواحد عندها يدعى بمعامل ربح العتبة

(5-3) خطط الضخ:

بالرغم من وجود عدة أنواع من الليزرات إلا انهم جميعاً يشتركون في الخصائص نفسها . فالمادة التي تنتج الليزر يتم اثارتها بوساطة عملية ضخ (pumping) للإلكترونات من المستوى الأرضي إلى مستوى الإثارة.

يستخدم للضخ الإلكتروني ضوء فلاش قوي أو بوساطة التفريغ الكهربائي ويساعد هذا الضخ على تزويد أكبر قدر ممكن من الإلكترونات لتنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى فتصبح مادة الليزر مكونة من ذرات ذات إلكترونات مثارة ونسميها بالذرة المثارة. ومن الجدير بالذكر أنه من الضروري جداً إثارة عدد كبير من الذرات للحصول على ليزر وتسمى هذه العملية بإنقلاب التعداد أو التعداد المعكوس (population inversion) أي جعل عدد الذرات المثارة في مادة الليزر أكبر من عدد الذرات غير المثارة .

إن الإجراءات العملية التي تتخذ لتأمين توزيع معكوس تسمى بعمليات الضخ ، مثل ضخ الماء الى خزان علوي وهو رفع الطاقة الكامنة للماء برفع مستواه و يحتفظ بها لكي يستفاد منها متى دعت الحاجة بتحويلها الى طاقة حركية لإسالة الماء في الأنابيب النازلة .

نحن في هذا الصدد إزاء حالة مشابهة نحتاج فيها إلى رفع حالة الطاقة إلى مناسيب عالية. ومن

الإجراءات المتخذة لرفع الطاقة ما يكون على شكل وميض ضوئي يعرض له الوسط أو على شكل تفريغ

كهربائي يؤدي فيه امتصاص الكمات أو تصادم الجسيمات إلى رفع الطاقة حتى تصل إلى التوزيع المعكوس. أن لكل وسط أسلوب لضخ يلائمه ويمكن أن يتم اختيار أوساط التضخيم على أساس عدد المناسيب التي تدخل في إجراءات الضخ ومستوى كل منها واختيار ما يتوافر عمليا من أشكال طاقة الضخ التي تلائمها.

(6-3) قدرة الضخ:

إن الضخ هو عملية نقل الطاقة من مصدر الطاقة إلى الوسط الفعال المولّد لليزر. وإن نوع المادة المستخدمة لتوليد الليزر(الوسط الفعال) يحدد طريقة الضخ للمنظومة ويعتمد الضخ على :

A- نوع الوسط الفعال : صلب ، سائل ، غاز

B- نمط التشغيل :مستمر أو نبضي

C- طبيعة عنصر الضخ :كهربائي ، كيمياوي ، بصري ، حراري

D- عرض نطاق طيف الامتصاص لشعاع الضخ إذ يجب أن يمتص الإشعاع بشكل جيد

يتطلب التوزيع المعكوس إذن $(N_2 - N_1 > 0)$ عملية ضخ طاقي إلى المستوى E_2 باستخدام طرائق مختلفة. و يتوجب على طاقة ضخ الذرات بين المستويين $E_1 \rightarrow E_2$ وجود فوتونات مثلا طاقة كل منها $h\upsilon$ يساوي فرق الطاقة بين المستويين المعنيين. يوجد في أوساط الليزر المختلفة عادة عدد كبير من مستويات الطاقة تتمثل بنظام المستويات الثلاثة ونظام المستويات الأربعة ، إذ إن الانتقالات الثلاثة المذكورة في الفصل السابق وهي الامتصاص والانبعاث المحتث والانبعاث التلقائي تتحقق باشتراك ثلاثة مستويات في النظام الأول وأربعة مستويات في النظام الثاني.

(7-3) طرائق الضخ

1- الضخ الكهربائي للغازات
2-الضخ البصري بوساطة المصباح ألوميضي للمواد الصلبة والسائلة
3- الضخ بوساطة التفاعلات الكيمياوية للمواد الســـــــائلة والغازات
4- الضخ بوساطة إمرار تيار كهربائي للمواد أشـــــــباه الموصلات
5- الضخ بوساطة التسخين للغازات

وسنقوم بشرح أهم طرائق الضخ المستخدمة بشكل واسع في المنظومات الليزرية وتتمثل بـــ :

(1-7-3) الضخ البصري

يحتاج الليزرالى تهيج الالكترونات من المستوى الارضي الى مستويات اخرى فيرتفع بذلك مقدار الطاقة في ذرات الوسط الى مستويات طاقية أعلى تهبط بعد مدة معينة الى مواقعها الاصلية من خلال الانتقالات المختلفة أهمها الانتقال المحتث الذي ينتج عنه الانبعاث الليزري و تسمى عملية رفع كمية الطاقة في الوسط

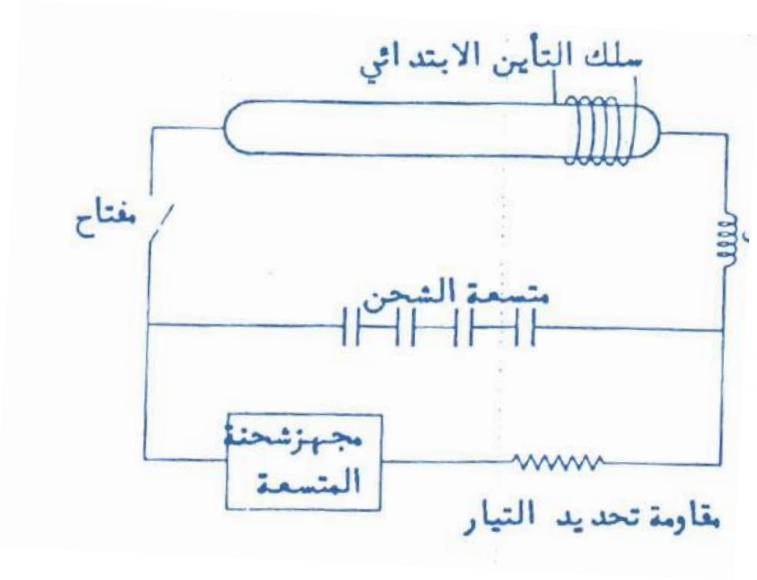
بالضخ. و يتم الضخ اما بالاسلوب النبضي او بالاسلوب المستمر، و يكون التشغيل بالأسلوب الأول أسهل من الثاني (لان كمية الحرارة التي تتراكم في العنصر النشط تكون اقل بكثير مما يتراكم في حالة التشغيل المستمر ولهذا لا يتطلب سوى نظام تبريد بسيط).

يعد مصباح الزينون الومضي من أكثر مصادر الضخ الضوئي النبضي شيوعا فهو يتكون من انبوبة من الكوارتز تحتوي على غاز الزينون بضغط يتراوح بين Torr(450-1) في طرفي الأنبوبة قطبان لإحداث تفريغ كهربائي في الغاز إذ يرتبطان بمصدر قدرة كهربائية عالي الفولتية لإحداث تفريغ كهربائي له متسعة كبيرة تتراوح قيمتها بين µ F (1000-10) ويكون فرق الجهد على طرفيها Kv (5-1) وتجري عملية تأين ابتدائي للغاز بوساطة فرق جهد عال بحدود Kv (20) يسلط على سلك معدني ملفوف حول المصباح وفي هذا الاثناء يتم تفريغ شحنة المتسعة بسرعة خلال انبوبة الغاز فتتولد ومضة ضوئية ذات شدة عالية جدا. ويؤدي تفريغ شحنة المتسعة بسرعة كبيرة الى تلف المصباح احيانا او تقصير عمره لهذا يوضع ملف صغير في الدائرة الكهربائية لتقليل سرعة التفريغ، ان تبريد المصباح يؤدي الى زيادة ساعات عمله، لاحظ الشـــكل (3-1) , لذلك يستحب تبريده بالماء او الهواء .

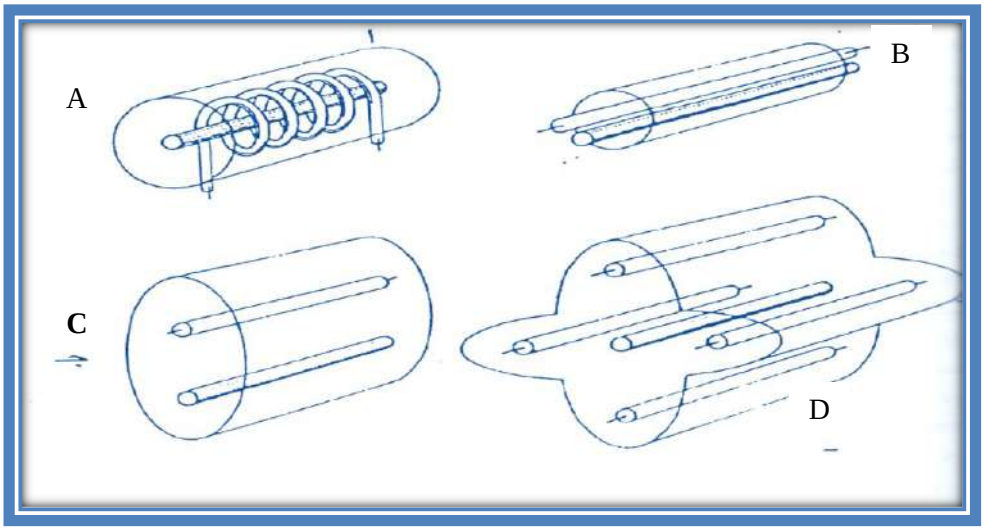
واما أسلوب التشغيل المستمر فيتطلب مجهزات قدرة كبيرة لان القدرة الداخلة الى مصابيح الضخ المستمر تكون عالية جدا تقدر بألاف الواط . وعند اختيار الوسط الفعال يجب ان يحقق استفادة كفوءة من الضوء المنبعث (اي امتصاصية عالية). فيوضع الوسط الفعال داخل حجرة مصقولة من الداخل لتعكس الاشعة المنبعثة من المصباح و توجهها نحو الوسط الفعال بشكل يزيد من كفاءة امتصاصه. و قد ظهرت عدة تصاميم هندسية للحجرة لضمان اقصى استفادة من المصباح سواء كان شكله خطيا او حلزونيا.

ففي حالة المصباح الخطي يوضع الوسط الفعال بموازاته داخل حجرة اسطوانية .أما المصباح المحلزن فيوضع الوسط الفعال داخل الحلزون على امتداد المحور ويوضع الاثنان داخل حجرة اسطوانية. وعند استخدام حجرة اهليجية فيوضع المصباح الخطي في احدى البؤرتين ويوضع الوسط الفعال في البؤرة الاخرى وذلك لتجميع الضوء المنبعث من أحدى البؤرتين الى البؤرة الاخرى فيتحقق ضخ طاقي جيد .

وهناك ترتيب أخر يتم بموجبه وضع العنصر النشط داخل حجرة اهليجية مركبة متعددة البؤر على امتداد المحور في البؤرة المشتركة، لاحظ الشكل (3-2) يوضع كل مجموعة مصابيح خطية في بؤرة من البؤر المناظرة للبؤرة المشتركة وتضاء كلها بتوقيت متزامن وكفوء لتحقيق ضخ عال في الوسط الفعال بوساطة الاشعة الضوئية الكثيفة التي تتجه نحوه.



شكل (3-1) مجهز القدرة



شكل (3-2): (A) مصباح حلزوني حول الوسط الفعال ، (B) مصباح خطي ، (C) حجرة اهليجية يقع المصباح الخطي في احدى بؤرتيها، (D) حجرة اهليجية مركبة

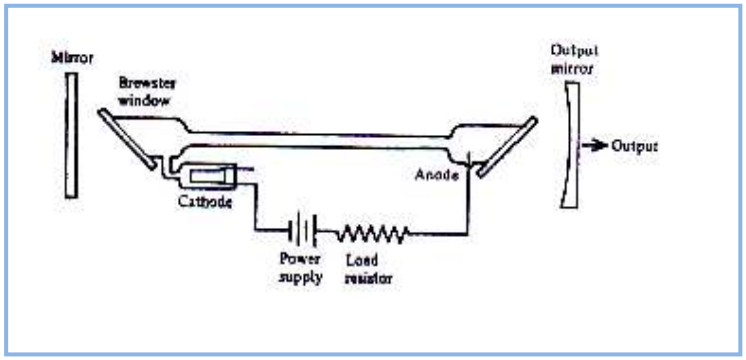
(3-7-2) الضخ الكهربائي

تعدّ المواد الغازية اكثر تجانسا من المواد الصلبة وان حركة جزيئاتها تسهل من عملية التبريد الذي يتم بوساطة غلاف زجاجي يمرر فيه الماء وكذلك فأن ضيق خطوط امتصاص ذرات الغازات يجعل الضخ الضوئي غير عملي لذلك يتم اللجوء الى الضخ بالتفريغ الكهربائي شكل (3-3)، إذ يوضع الغاز تحت ضغط منخفض (6-20)Torr في انبوبة زجاجية وفي نهايتيها قطبي تفريغ الكاثود والانود.

وتستخدم نافذتا بروستر اللتان تمرران الاستقطاب المعني للطول المنبعث من دون خسائرفي الأنعكاس عند نهايتي الانبوبة خصوصا اذا تم استخدام مرايا خارجية لحجرة الرنين وتسليط فرق جهد كهربائي معين تعتمد قيمته على المسافة بين القطبين وعلى ضغط الغاز في الانبوبة. وتتطلب عملية التشغيل في بعض الاحيان إحداث تأين أولي للغاز كما في المصباح الومضي إما بتسليط فولتية أضافية على احد القطبين من مصدر ثان او بوساطة سلك معدني ملفوف حول الانبوبة تسلط عليه فولتية المصدر الثاني .

تتعجل الالكترونات الناتجة من عملية التفريغ الكهربائي بأتجاه الأنود بفعل المجال الكهربائي وتؤدي الاصطدامات المختلفة الى اكتساب الذرات المتعادلة أوالايونات طاقة اضافية تتهيج بموجبها الى مستويات طاقة اعلى. ويكون ضخ المادة في عملية التفريغ خليطا من العديد من المكونات الاساسية فتكون المادة على شكل ذرات متعادلة متهيجة غير مستقرة وايونات موجبة وسالبة والكترونات حرة.ويسمى هذا الخليط غيرالمستقر بـ (البلازما) أوالحالة الرابعة للمادة .

فيؤدي اكتساب الطاقة بالنسبة لكثير من الذرات المتهيجة (غير المستقرة) الى حصول توزيع معكوس بالنسبة لمستويات الطاقة وهذا هو الشرط المطلوب لليزر.



شكل (3-3) مخطط ليزر الحالة الغازية الذي يستخدم الضخ الكهربائي في عملية التفريغ

(3-7-3) الضخ الكيمياوي

هناك انواع من الليزرات تحتوي على مواد كيمياوية تدخل في التفاعلات فتنتج طاقة كافية لتهييج بعض نواتج التفاعل محققة بذلك التوزيع المعكوس لأحداث الفعل الليزري وتمتاز هذه المنظومات بأن التفاعلات تجعلها في غنى عن العمليات المعتادة للضخ و لكنها قد تحتاج في بعض الاحيان الى مصدر خارجي للطاقة مثل الضوء او الاشعة السينية او الطاقة الكهربائية لكي تقدح عملية التفاعل فقط و بعدها يمكن للمنظومة ان تشتغل ذاتيا بالاعتماد على نواتج التفاعلات .

يعد ليزرفلوريد الهيدروجين من أشهر انواع الليزرات الكيمياوية فينتج من اتحاد جزيئتي الهيدروجين H_2 و الفلور F_2 . ولكن هذا الاتحاد لا يتم تلقائيا في حالتهما الجزيئية الا بوجود ذرات منفردة من احد العنصرين الغازيين يؤدي الى إحداث تفاعل متسلسل يمكن ان نوجزه بما يأتي :

$$F + H_2 \rightarrow (HF)^* + H$$

$$H + F_2 \rightarrow (HF)^* + F$$

$$(HF)^* \rightarrow HF + h\nu$$

إذ أن :

$(h\nu)$ طاقة الفوتون المنبعث

$(HF)^*$ جزيئة متهيجة فلوريد الهيدروجين

فعند هبوط الجزيئة المتهيجة الى مستوى طاقة اوطئ يؤدي الى انبعاث ليزري طاقته $(h\nu)$. يتميز ليزر فلوريد الهيدروجين بمدى واسع من الاطوال الموجية يمتد بين (2.5-3.4) µm ويستطيع توليد قدره قد تصل الى بضعة كيلو واط (kW) بنمط التشغيل المستمر كما يمكنها ان تولد نبضات تقدر طاقة كل منها بمئات الجول عندما تشغل بالنمط النبضي على الرغم من صغر كمية طاقة الضخ التي تدخل الى المنظومة لكي تقدح التفاعل. وهكذا فان منظومات الليزر الكيماوية تعتمد على التوليد الذاتي للطاقة في مجموعة التفاعلات التي تنتج مركبات ذرية وجزيئية بتوزيعات طاقية غير متساوية فإذا تحقق شرط التوزيع المعكوس امكن انتاج الليزر.

أسئلة ومسائل الفصل الثالث

س1:املأ الفراغات الاتية

1-يقصد بقدرة الضخ.....

2-يستخدم الضخ بواسطة امرار تيار كهربائي لليزرات.....

3-يتكون مصباح زينون من انبوبة مصنوعة من مادة .....

4-تستعمل نافذتا بروستر لتمرير.....

5-يعد ليزر .....من اشهر انواع الليزرات الكيمياوية

6-لاحداث تفريغ كهربائي في المصباح الوميضي نضع .....على طرفي الانبوبة

7-نوع الوسط الفعال ..... و.....و.....

س 2: على ماذا يعتمد الضخ؟

س3:عدد انواع طرائق الضخ؟

س4 : لماذا نستخدم ضخ كهربائي للغازات ولانستخدم ضخ ضوئي؟

س5:ماهي مميزات ليزر فلوريد الهيدروجين؟

س6 :ظهرت عدة تصاميم هندسية للحجرة لضمان اقصى استفادة من المصباح عدد هذه التصاميم؟وماهو افضل تصميم للحجرة؟ولماذا؟

س7:ممن يتكون مصباح زينون؟

الفصل الرابع

المرنان البصري

(1-4) : المقدمة

(2-4) : تصاميم المرنان

(3-4) الترصيف البصري

(4-4) : صيغ التذبذب للمرنان

الفصل الرابع

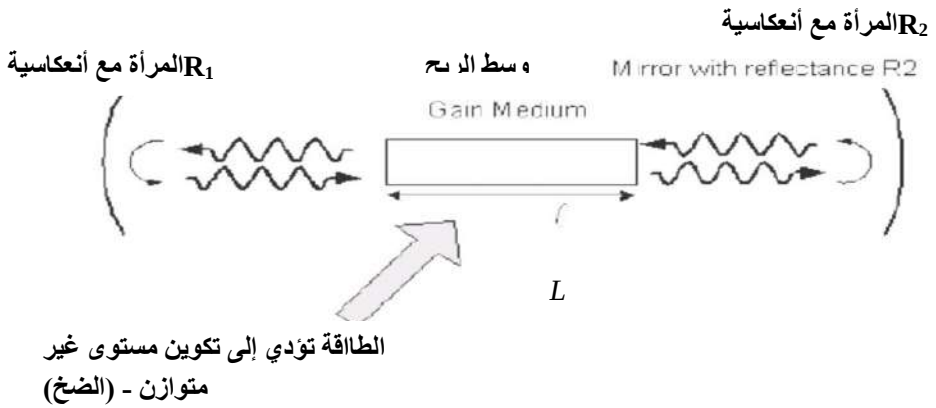
المرنان البصري

(4-1) المقدمـــة:

المرنان (Resonator) : هو منظومة تتكون من مرآتين على محور بصري مشترك فتنتقل فوتونات الليزر بين المرآتين ذهاباً وإياباً من أجل تضخيمها وتعدُّ مكوناً أساسياً من مكونات جهاز الليزر.

يتكون المرنان من مجموعة من المرايا المرصوصة داخل الوسط الليزري ليزود الليزر بتغذية ضوئية خلفية. فيقوم المرنان بمساعدة الفوتونات المنبعثة لتنعكس ملايين المرات في الثانية ذهابا وإيابا بين المرآة الخلفية التي تكون عاكسة بنسبة مقاربة الى 100% للضوء والمرآة الأمامية تتراوح نفاذيتها بيـــــــــن (1-5) % كما في الشكل (4-1) . وإنّ حركة الفوتونات داخل المرنان تعمل على تضاعفها على الرغم من مفاقيد المرنان المختلفة . ويجب التحكم باستدارة المرآة وبعدها البؤري وضبط المســـافة بين المرآة الأولى والمرأة الثانية . فلا يحبذ استعمال المرايا المسطحة لانها تعكس الشعاع على سطح كامل وليس على نقطة, وتصمم المرايا بحيث توفر معامل جودة عالياً . فازدياد معامل الجودة يضّيق الحزام الطيفي فتنعكس الأشعة الليزرية من ضمن الحزام الضوئي عدة مرات من دون توهين

(4-2)تصاميم المرنان:



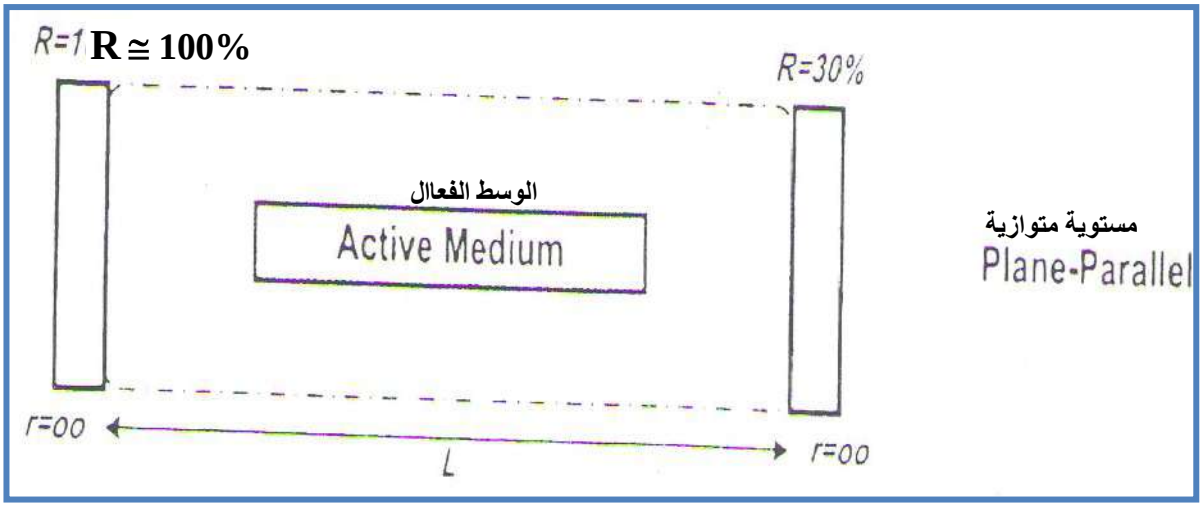
شكل (4-1) : المرنان البصري

تصنع مرايا الليزر عادة من الألمنيوم (Al) أو الفضة (Ag) أو النحاس (Cu) وتطلى بالذهـــــب (Au).
وا لمرايا الخلفية تصنع من مادة عازلة على شكل طبقات متعددة ومتعاقبة

أنواع المرنان الرئيسية:-

1 .المرنان ذو المرايا المستوية المتوازية (Plane-Parallel Resonator):

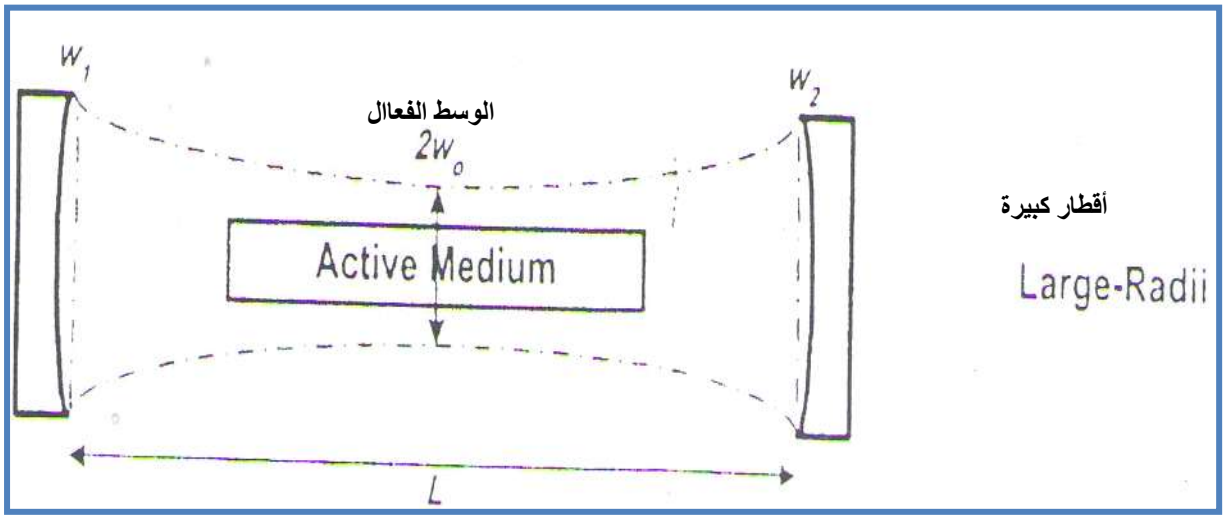
يمتاز هذا النوع في الصفحة التالية بكبر حجم شعاع الليزر الخارج وكفاءة عالية لتهييج الوسط الفعال فتكون احتمالية تلف المرايا قليلة وصعوبة السيطرة على نوعية النمط المستعرض الخارج.



شكل (2-4) المرنان ذو المرايا المستوية

2.المرنان ذو الأقطار الكبيرة (Large-Radii Resonator):

في هذا النوع تكون أنصاف أقطار تكور المرايا أكبر بكثير من طول المرنان.

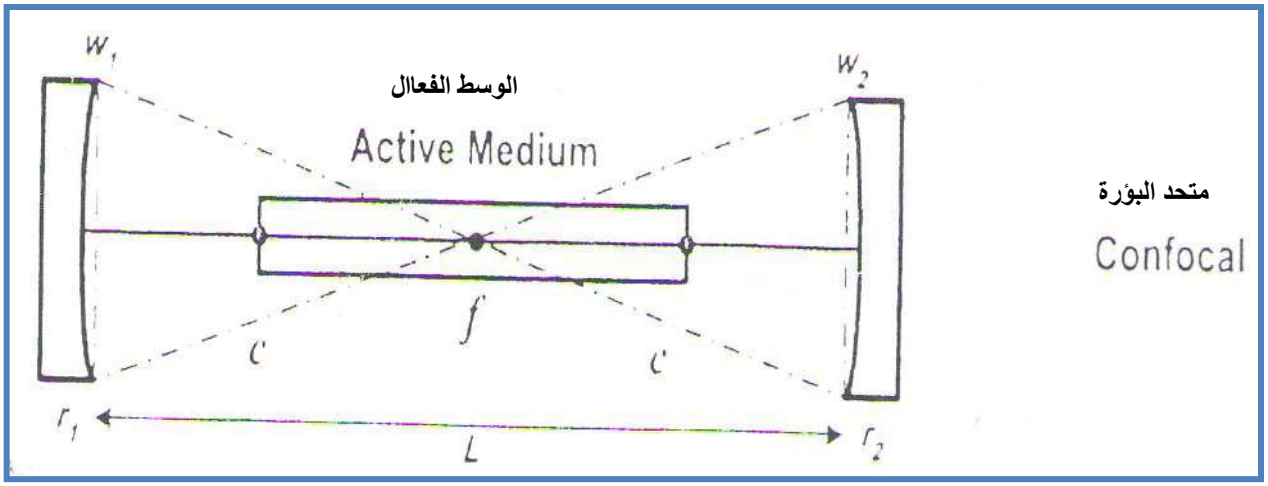


شكل (3-4) المرنان ذو الأقطار الكبيرة

ويمتاز هذا النوع بسهولة عملية الترصيف البصري وإنّ أصغر نصف قطر لحزمة الليزر يكون عند منطقة التخصر(Waist) .

3 .المرنان متحد البؤرة (Confocal Resonator):

في هذا النوع تكون بؤرة المرآة الأولى منطبقة على بؤرة المرآة الثانية فيصبح حجم شعاع الليزر قليلاً .

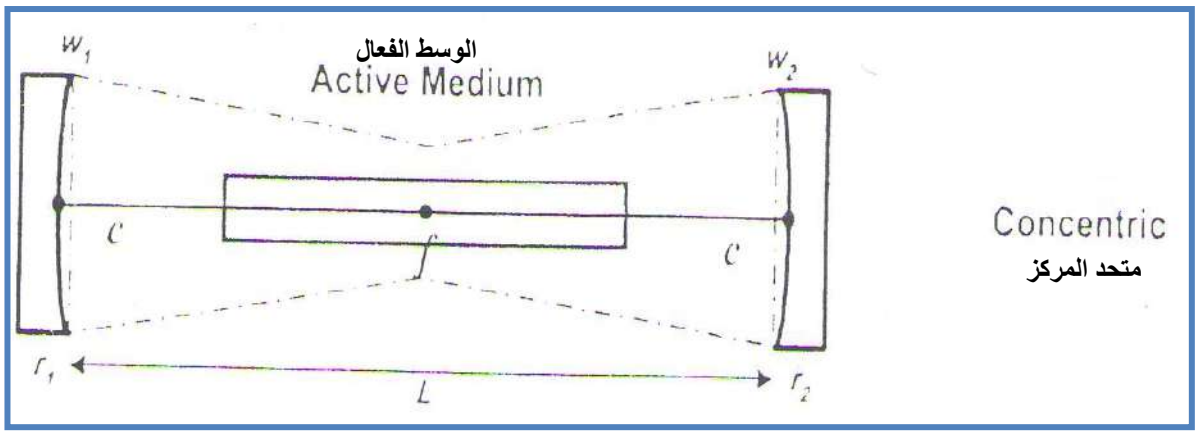


شكل (4-4) المرنان متحد البؤرة

يمتاز هذا النوع بسهولة الترصيف البصري

4.المرنان متحد المركز (concentric)

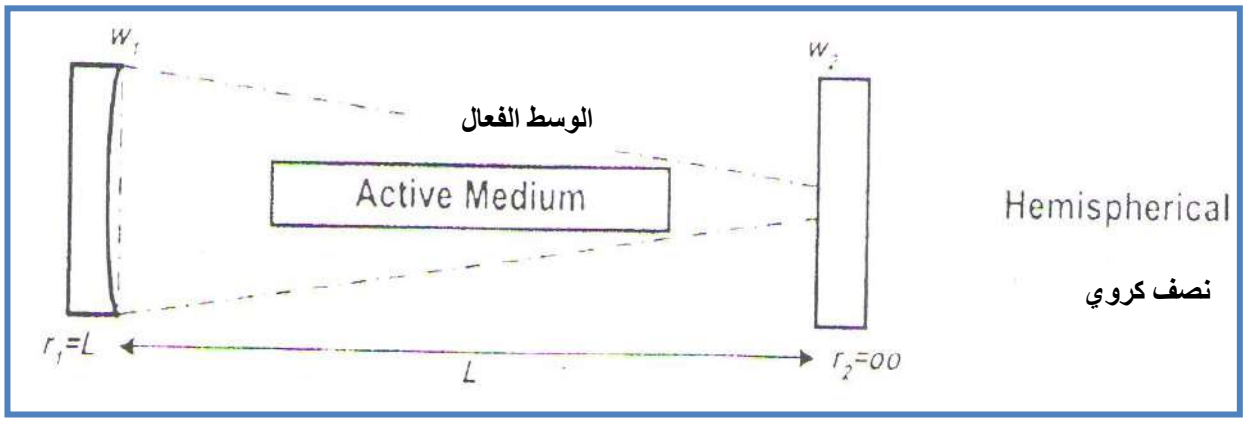
يمتاز هذا النوع بصعوبة الترصيف البصري وإنّ النمط المستعرض الخارج منه يكون كبيراً.



شكل (4-5) المرنان متحد المركز

5.المرنان نصف الكروي (Hemispherical)

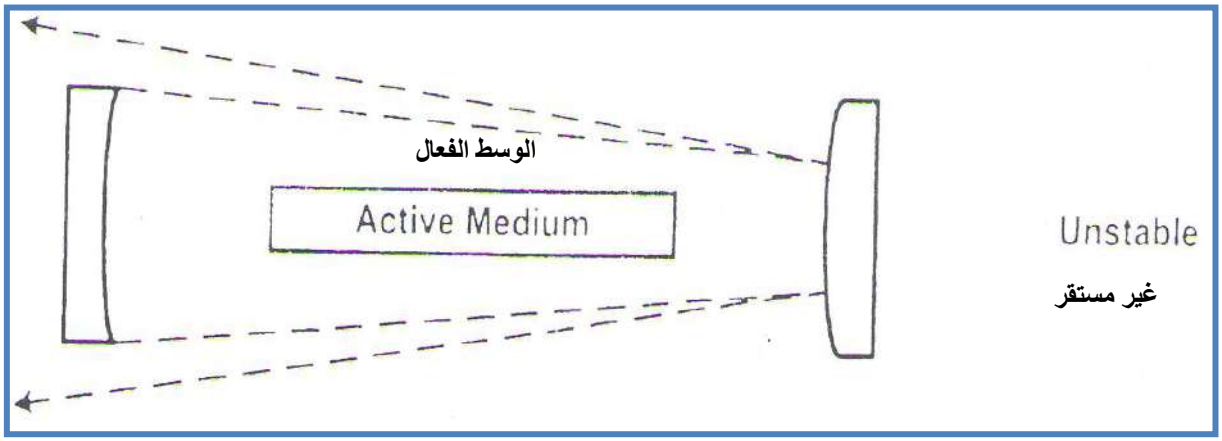
يتكون هذا النوع من مرآة مستوية وأخرى مقعرة .لذلك يكون حجم النمط المستعرض عند المرآة المقعرة أكبر ما يمكن وعند المرآة المستوية أصغر ما يمكن.



شكل (4-6) المرنان نصف كروي

6.المرنان غير المستقر(Unstable Resonator)

يتكون هذا المرنان من مرآتين الأولى مقعرة والأخرى محدبة ويستخدم عند القدرات العالية لمنظومة الليزر.



شكل (4-7) مرنان غير المستقر

(4-3) الترصيف البصري

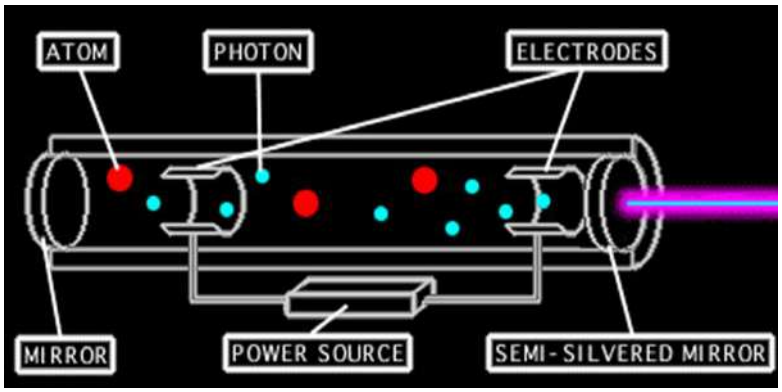
هو عملية وضع المرأتين على إستقامة واحدة تماما بحيث يكون المحور البصري مستقيما . وتعتمد عملية الترصيف البصري على :-

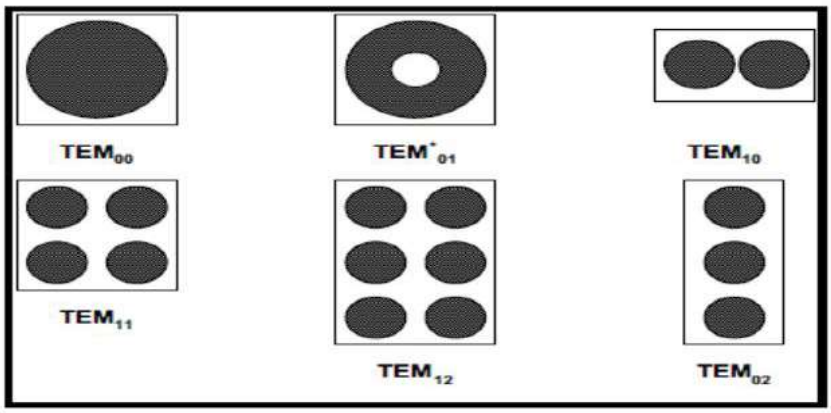
أ- نوع الوسط الفعال

ب- حجم المنظومة

(4-4) صيغ التذبذب للمرنان

إنّ تولد الفوتونات بوساطة الانبعاث التلقائي يعني احتمالية انتقال الالكترونات في الاتجاهات كافة فيعني هذا ان مجموعة الفوتونات التي تسير بأتجاه عمودي على محور الحجرة سوف لن تتضخم في حالة وجود عناصر الكسب الارجاعي (Feedback Element) أي المرايا وإنّها ستفتقد من الحجرة كما موضح في الشكل (4-8) وخلافا لذلك فإنَّ مجموعة الفوتونات التي تحيد قليلا عن محور الحجرة ستكون لها أمكانية الانعكاس عدة مرات بين المرآتين لتمر عبر الوسط الفعال و في كل مرة تستنزف جزءا من فوتوناته المخزونة في المستوى العالى لتكون شعاع الليزر والذي يتميز بتوزيع فوتوني يختلف عن التوزيع الذي تكونه مجموعة الفوتونات التي تسير بأتجاه المحور. ونتيجة لذلك يتكون شعاع الليزر الخارج من عدة توزيعات مختلفة تختلف عن بعضها البعض اعتمادا على مقدار تخلف مسار مجاميع الفوتونات عن مسار الفوتونات المحورية وتسمى هذه التوزيعات بأنماط مستعرضة للمجال الكهرومغناطيسي Transverse Electromagnetic Modes) ((TEM_{nm}) لأنها تتواجد في مستوى عمودي على المحور , إذ تمثل قيم (n) و (m) أعداداً صحيحة لعدد التوزيعات في المحورين .





شكل(4-8) يبين أشكال توزيعات الأنماط المستعرضة

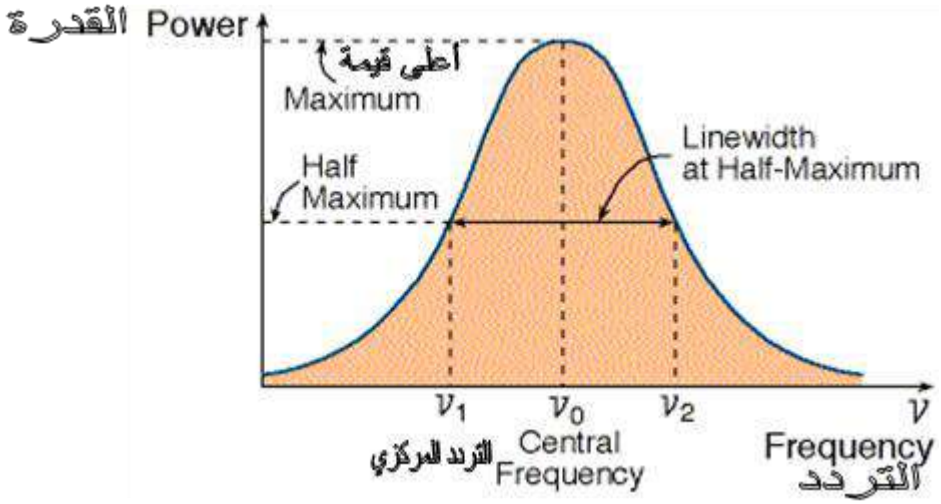
يسمى النمط (TEM_{00}) بالنمط الاحادي او النمط ذي التوزيع الكاوسي حيث يكون توزيع الشدة فيه بشـــكل دائري. وعلى اساس هذا النمط تم تصميم اجهزة الليزر لان مواصفات التوزيع الكاوسي تتفوق على بقية التوزيعات بعدة مزايا اهمها:

١. لها شكل دائري منتظم تزداد الشدة فيه كلما كانت اقرب الى المركز، وكما موضح في الشـــكل (4-10).

٢. يحتوي النمط الكاوسي المستعرض على ٨٥ % من الطاقة الكلية للشعاع الخارج وأما الباقي فموزع على بقية الانماط المستعرضة.

٣. سهولة فصل النمط الكاوسي عن بقية الانماط باستخدام صفيحة مثقوبة ذات قطر يسمح بمرور الفوتونات المتوجهة نحو مركزي المرآتين بامتداد المحور.

٤. للنمط الكاوسي طاقة عتبة اقل بكثير من الانماط الاخرى اي طاقة الضخ التي تحتاجها واطئة . وعلى هذا الاساس يمكن السيطرة على الشعاع الخارج ليحتوي النمط الاحادي الطور فقط من خلال التحكم بعملية الضخ من دون اللجوء الى الصفيحة المثقوبة.



شكل(4-9) يمثل شكل النمط الكاوسي (TEM_{00})

مسائل الفصل الرابع

س1: اختر العبارة الصحيحة لكل ما ياتي :-

1-المرنان هو منظومة تتكون من :-

ا-مراتين على محورين بصرين متعامدين ب- مراة وشق مزدوج

ج- مراتين على محور بصري مشترك د-عدستين محدبتين

2- في المرنان ذو الاقطار الكبيرة, تكون انصاف اقطار تكور المرايا:-

ا- اقل بكثير من طول المرنان ب- مساوية لطول المرنان

ج- اكثر بكثير من طول المرنان د- ولا واحدة منها

3- تعتمد عملية الترصيف البصري على :-

ا- الضخ البصري ب- نوع الوسط الفعال, حجم المنظومة ودرجة التعقيد في المنظومة

ج- التوزيع المعكوس د- منظومة التبريد

س2 : عدد انواع المرنان الرئيسية مع الرسم؟

س3:ماهي المواد التي تصنع منها مرايا الليزر ؟ وبماذا تطلى؟

س4 :عرف الترصيف البصري ؟ وعلى ماذا يعتمد؟

س5:لماذا يتكون شعاع الليزر الخارج من عدة توزيعات مختلفة؟

س6:وضح كيف يكون شكل النمط المستعرض TEM02,TEM11 ؟

س7:ماهي مميزات التوزيع الكاوسي؟

الفصل الخامس

نتاج الليزر وتحويراته

(1-5): المقدمة

(2-5): التشغيل المستمر والتشغيل المعتمد على الزمن

(3-5): أنتخاب خطوط الطيف لأنبعاث الليزر

(4-5): التشغيل بصفة تذبذب مفردة

الفصل الخامس

نتاج الليزر وتحويراته

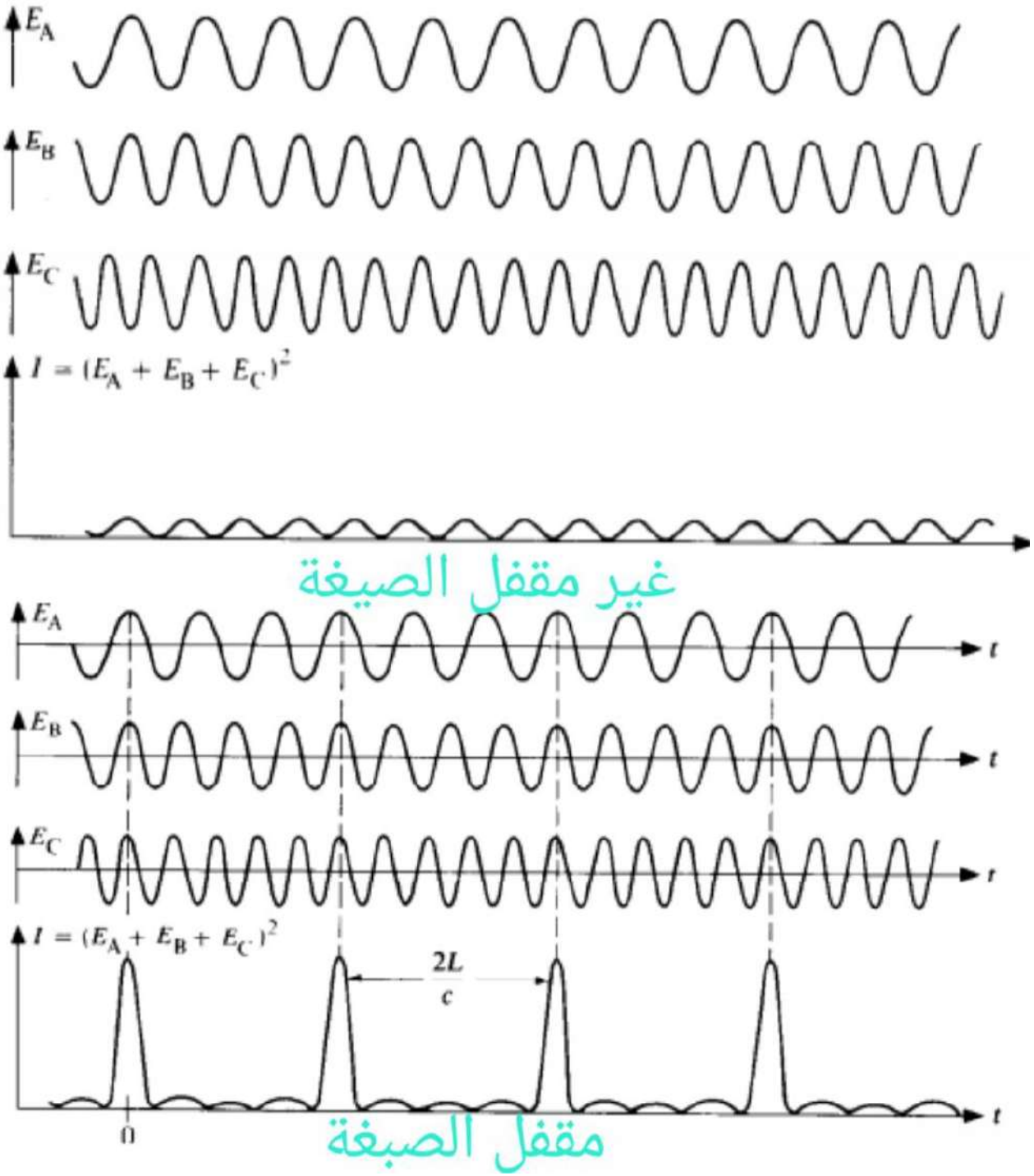
(1-5) المقدمة

قد نحتاج إلى نبضة واحدة أو سلسلة من النبضات من الطاقة العالية بدلاً من شعاع مستمر لتجمع الطاقة في شعاع الليزر لتخرج بكمية كبيرة على شكل نبضة اذا ما قورنت مع الكمية التي نحصل عليها من الشعاع المستمر وللمدة الزمنية نفسها ويتم ذلك بعدة طرق أهمها (تنظيم معامل الكفاءة النوعية-Q SWITHING) .

كما يمكن الحصول على نبضات عالية الطاقة في أغلب أنواع الليزرات باستخدام طريقة السيطرة على معامل الكفاءة Q.S . وهي بوابة توضع داخل المرنان للحصول على نبضات ذات طاقة عالية جدا حيث تغلق البوابة عندما تكون الطاقة المخزونة اعلى (معامل النوعية واطئ) وتفتح البوابة عندما تكون الطاقة المتبددة اعلى للخروج نبضة ذات طاقة عالية جدا (معامل النوعية عالي) .

ويتم السيطرة على الموجات داخل الحجرة وذلك بأخمادها ، وتسمى هذه بـ " كبت أو أخماد الموجات أو تفريغ حجرة CAVITY DUMPING ". ومنها نحصل على موجات ذات عرض (زمن) نبضات مناسبة . ويمكن إستخدامها مع عملية السيطرة على معامل الكفاءة، لنحصل على زمن مناسب للنبضات (نبضات ذات زمن قصير جداً بترددات عالية جداً) .

ويمكن أستخدام عملية تثبيت النمط (اقفال الصيغة) MODE LOCKING للحصول على الترددات العاليـــــة ، والنبضات القصيرة . في حالة ليزر غير مقفل الصيغة (تكون صيغ التذبذب للمرنان مختلفة عن بعضها) بالطور.اما في حالة ليزر مقفل الصيغة (تثبيت النمط)تكون صيغ التذبذب للمرنان متساوية مع بعضها بالطور فينتج نبضة شديدة القصر.



شكل (5-1) يوضح عملية تثبيت النمط

اذ يمكن أستخدام العمليات الثلاثة (تنظيم معامل الكفاءة وتثبيت النمط وإفراغ الحجرة) معاً للحصول على أشعة ذات مواصفات معينة .

وسنتطرق في هذا الفصل إلى طرائق تضييق عرض نطاق شعاع الليزر للحصول على شعاع أحادي اللون بصورة أكثر دقة مما هو عليه في منظومات الليزر الأعتيادية ويُعدُّ الليزر من المصادر الضوئية احادية اللون ولكن هذه الأحادية في اللون تبقى قاصرة في بعض الأستخدامات الخاصة .

كفصل النظائر عن بعضها ، و الدراسات الطيفية للمواد فنحتاج الى عرض نطاق ترددي ضيق جداً وسوف ندرس في هذا الفصل الطرائق المستخدمة لقياس عرض نطاق التردد ، ومعرفة اسباب زيادة عرض النطاق لشعاع الليزر أو قلتهِ ، وكيفية أخضاع الشعاع إلى التذبذب بنمط طولي واحد .تمر علينا عدة مصطلحات في تكنولوجيا الليزر كعرض النطاق band width وعرض الخـــــــط line width وعرض الطيـف spectra width وهذه جميعها تعني الشيء ذاته ، أي درجة أحادية الطول الموجي لشعاع الليزر .

(2-5) التشغيل المستمر والتشغيل المعتمد على الزمن

إنَّ للطاقة والقدرة معنيين مختلفين لدى الفيزياويين. فالطاقة تقاس بالجول وتعرف بأنها القابلية على أنجاز الشغل كالحركة و الحرارة. أما القدرة ، فإنها تمثل المعدل الزمني لأنجاز شغل .فالمصباح ذو المئة واط مثلاً ، يستهلك مائة جول من الطاقة الكهربائية في كل ثانية ، فإذا ما أستخدم لمدة خمس دقائق ، فأنه يستهلك 300000J من الطاقة .

هناك مقياسان لطاقة الليزر النبضي : الأول هو مقياس القدرة العظمى Peak Power ، و الثاني هو مقياس معدل القدرة ، ويمثل معدل القدرة مقياس معدل تدفق الطاقة من جهاز الليزر خلال دورة واحدة ، فإذا كان الجهاز يولد نبضة واحدة ذات طاقة مقدارها نصف جول في كل ثانية ، فأن قدرة الشعاع تكون مساوية إلى 0.5 W ، أما القدرة العظمى فإنها تمثل الطاقة الخارجة خلال النبضة . فإذا كان الليزر ينتج نبضة ذات نصف جول ولزمن مقداره واحد مايكرو ثانية فإن القدرة العظمى تكـــــون 500000 W .

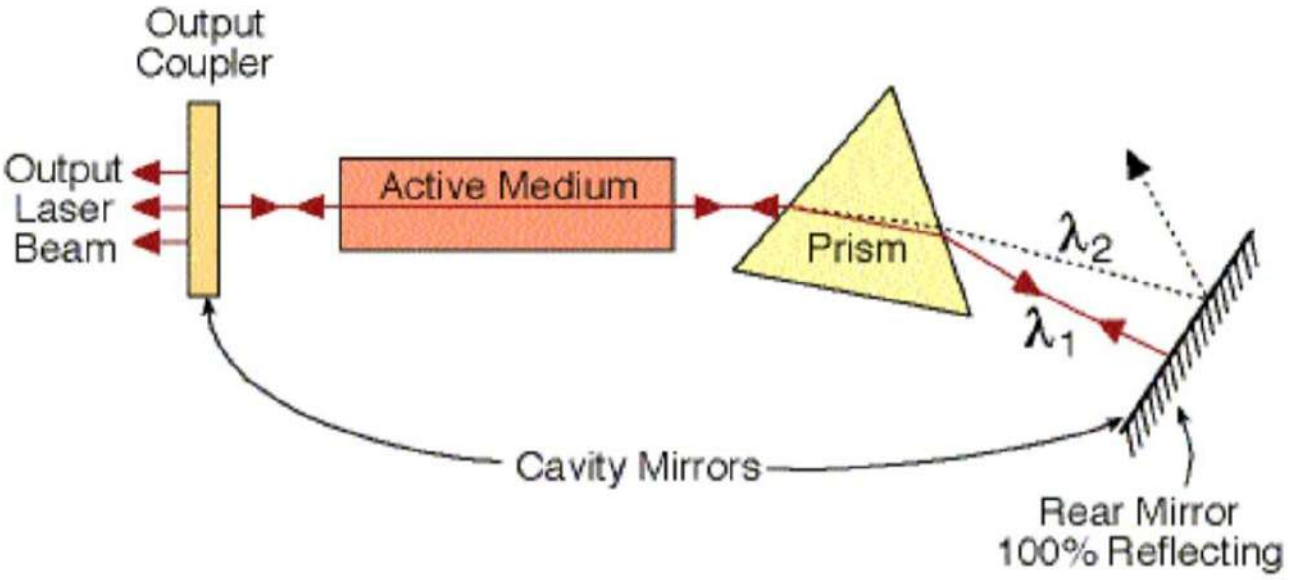
أي :

$$0.5x10^{6}\ J/s = 500000\ J/s$$

ان لعدد النبضات في الثانية أهمية في حساباتنا ، ويمثل زمن الموجة الوقت الذي تستغرقه النبضة منذ بدايتها ، وحتى بداية النبضة التي تليها ، فتمثل دورة عمل الليزر .وكمثال على ذلك ليزر النيوديميوم / ياك ، المجهز بتنظيم معامل الكفاءة والمستخدم للمصباح الوهاج في عملية ضخ الطاقة ، وطاقتهُ مقدارها 100 mJ، وبعرض نبضة مقدارها 20 ns، ومعدل عدد نبضاته هو 10 نبضات في الثانية . وان معدل قدرته واحد واط ، وقدرته العظمى خمسة ميكا واط ولدورة زمنها 0.1s .

(3-5) إنتخاب خطوط الطيف لأنبعاث الليزر

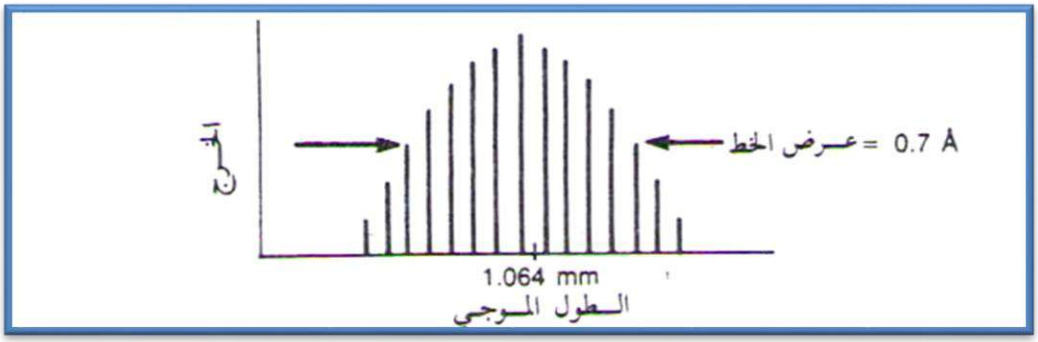
هناك بعض انواع الليزرات تعطينا اكثر من طول موجي واحد فنقوم بوضع موشور للحصول على طول موجي واحد وذلك من خلال تفريق الاطوال الموجية عن بعضها كل طول موجي بزاوية انكسار تختلف عن الطول الموجي الاخر حيث نقوم وضع الموشور بزاوية معينة بحيث يبقي الطول الموجي المطلوب وينعكس الطول الموجي الغير مرغوب خارج المرنان وتسمى هذه العملية (انتخاب خطوط الطيف لانبعاث الليزر)



شكل (2-5) يوضح عملية انتخاب خطوط الطيف لانبعاث الليزر

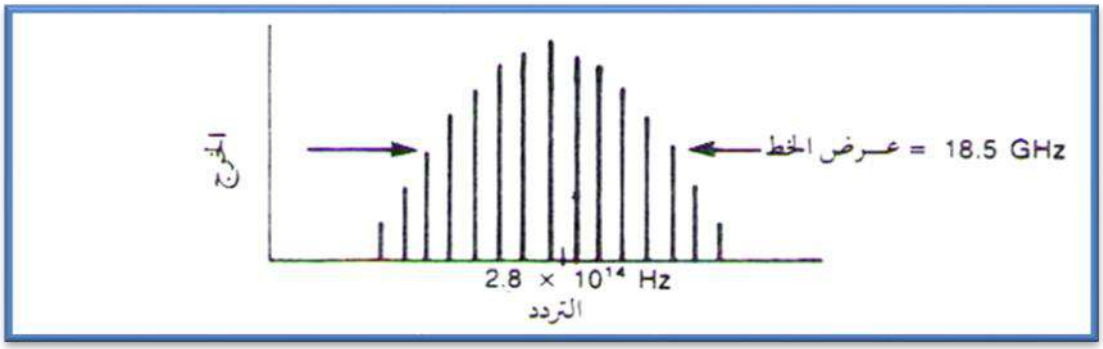
إنّ عرض نطاق التردد إحدى الصفات (المعاملات) المهمة لأشعة الليزرفيتوجب إيجاد الوسيلة لقياس المعامل بصورة دقيقة ، لذلك ظهرت عدة طرائق حسابية يمكن بوساطتها حساب هذا المعامل ، فيمكن حسابه بالطول الموجي أو بالتردد أو بالعدد الموجي أو بطول التشاكه ، وجميعها تقود إلى النتيجة ذاتها .

يبين الشكل (3-5) قياس عرض النطاق بالأطوال الموجية ، إذ أننا نلاحظ أن أعلى قيمة لقدرة ليزر النيوديميوم / ياك بالطول الموجي هي 1.064 mm ، وان هناك قسماً من القدرة موزع على جانبي القمة ، وعرض النطاق يساوي عرض المنحني في منطقة تساوي القدرة فيها نصف القدرة العظمى ، ويعرف بـ " العرض الكامل لمنتصف القمة" Full width at half maximum ويرمز له بـ FWHM ويعدُّ من أكثر الأساليب المتبعة لقياس عرض النطاق .



شكل (3-5) مخطط يوضح العلاقة بين خرج الليزر والطول الموجي يتضح فيه تركيب الأنماط الموجية الطولية

يمكن قياس خصائص الليزر بوساطة التردد ، فنلاحظ ان الشكلين (3-5) و(4-5) متشابهان وأن قمة القدرة تقع في التردد $2.8x10^{14}$ H z ، وهناك قدرة أقل تقع على جانبي التردد . ويتمثل عرض النطاق بـ "العرض الكامل لمنتصف القمة" FWHM .

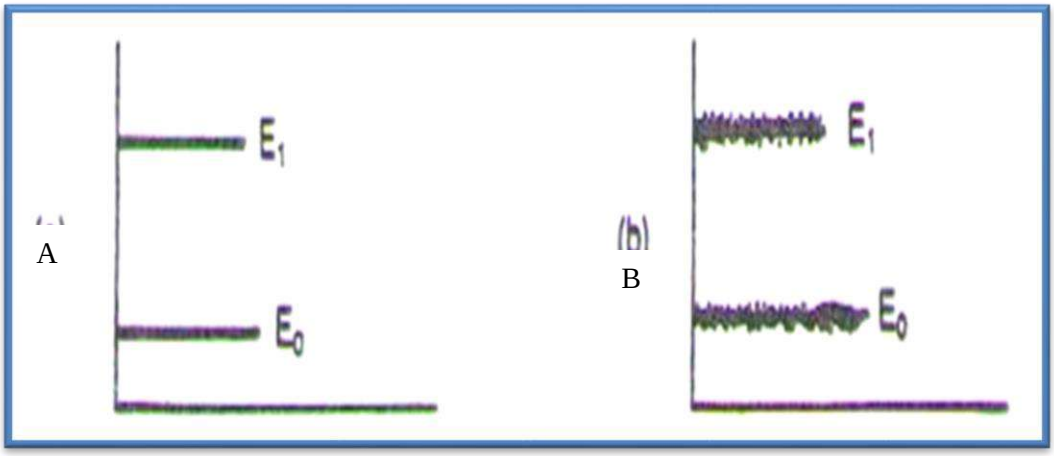


شكل (5-4) : مخطط لخرج الليزر مع التردد

عرض النطاق :-

لماذا يكون لشعاع الليزر عرض نطاق ضيق ؟

عرض نطاق شعاع الليزر ناتج أساساً من سمك مستويات الطاقة التي تشترك في عملية الأنبعاث المحفز فلايمكن تمثيل مستويات الطاقة لعدد من الذرات والجزيئات بخط نحيف كما في الشكل (5-5A) بل يكون لها سمك محدد كما في الشكل (5-5B) فبذلك لاتنطلق الفوتونات المنتقلة من هذه المستويات إلى مستويات أوطأ بالطاقةِ نفسها أو الطول الموجي .



شكل (5-5) : يبين مستويات الطاقة بخط نحيف (A) , بخط سميك (B)

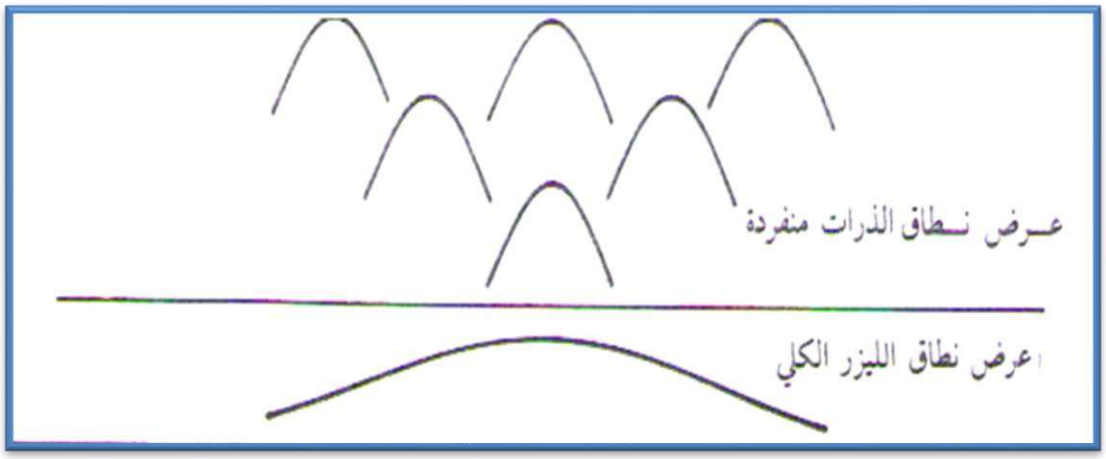
هناك العديد من المسببات لسمك مستويات الطاقة فمثلا الليزرات الغازية فتكون الذرات أو الجزيئات في الغاز في حالة حركة دائمة لأنها حرة وغير مرتبطة بمواقع معينة.

وان تأثير ظاهرة دوبلر (هي التغيُّر في أطوال الموجات الإشعاعية ويتم ملاحظتها نتيجة لحركة المصدر أو المشاهد) في زيادة سمك المستوى يحدث في أغلب الغازات) ، فمثلا السيارة القادمة نحونا وهي تطلق زمارها فأن حدة الصوت تزداد بأقترابها . لأن هذا يعني أن عدداً أكثر من الموجات الصوتية تدخل في أذاننا في الثانية ومن جانب أخر إذا ما كانت السيارة تبتعد عنا ، فهذا يعني أن عدداً أقل من الموجات يصل إلينا في الثانية ، عما لو كانت السيارة واقفة. وبذلك يكون الصوت الواصل إلينا ذا تردد أقل. واذا كنا نقف في مكان فيه عدد كبير من السيارات التي يقترب بعضها منا ، ويبتعد البعض الأخر عنا ، وتطلق مزاميرها في الوقت نفسه ، فعندها سنسمع مدى واسع من الترددات على الرغم من أنّ السيارات جميعها تطلق مزاميرها بتردد واحد ،

فالسيارات المبتعدة يقل تردد مزمارها ، والمقتربة يزداد ، ومقدار الزيادة والنقصان يعتمد على سرعة السيارة وتأثير دوبلر يكون في الذرات المتحركة كما هو في السيارات المتحركة .

تأثير ظاهرة دوبلر (فالذرات والجزيئات تتحرك بجميع الأتجاهات وبسرع مختلفة في أنبوب الليزر وبذلك تغطي مدى واسعا من الترددات فيؤدي هذا إلى زيادة عرض نطاق شعاع الليزر))

فيكون عرض تأثير دوبلر للذرة الواحدة (أو الجزيئة) أقل من عرض نطاق الليزر ، إذ أن للفوتون أمكانية لتحفيز ذرة واحدة في الموقع المحدد ولايمكن له تحفيز ذرة أخرى بل يتوقع وجود فوتون آخر يمكن له ذلك ، وبذلك سنحصل على عدة ترددات ضمن تردد الليزر ، ويسمى هذا العرض بنطاق غير منتظم (غيرمتجانس) كما مبين في الشكل (5-6) .

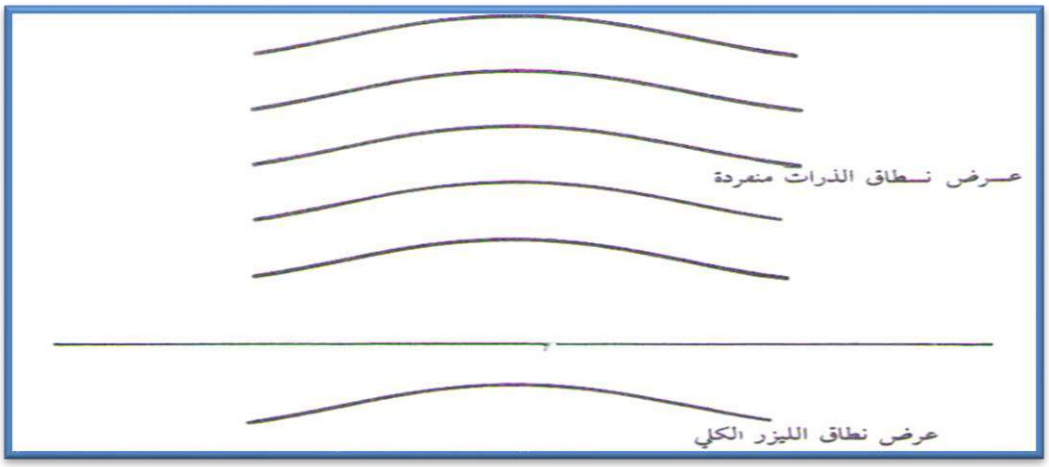


شكل (5-6) : يبين عرض النطاق غير المتجانس لشعاع الليزر

أما عرض النطاق المتجانس لشعاع الليزر، فللذرات عرض نطاق مساو لعرض نطاق الليزر، كما مبين في الشكل (5-7). فالفوتون الممتص من قبل أحدى الذرات يمكن أمتصاصه من قبل أخرى أيضاً. أي يمكن الأقلال من عرض النطاق لان عرض النطاق للذرات جميعها متساو،فيكون عرض النطاق الكلي أقل، وتكون قدرة الليزر الخارجة أقل من الحالة الأولى اذ لا تشترك جميع الذرات في عملية الأنبعاث، بوصفها تقع خارج عرض النطاق للفوتونات المحفزة .

ومن الأمثلة على عرض النطاق المتجانس في الليزرات الغازية هو عرض النطاق المتسبب من الضغط ويسمى (عرض النطاق التصادمي) . والذي ينتج أساساً من مبدأ اللادقة لهايزنبرك والذي ينص على ما يأتي :

"يتناسب عرض نطاق الذرة الطبيعي عكسيامع الوقت بين تصادمين " أو بمعنى أخر كلما أستطاعت الذرة السير مسافة أطول من دون أصطدام بذرة أخرى أو بجدار الأنبوب ، فإننا نحصل على عرض نطاق أقل .



شكل (5-7): يبين عرض النطاق المتجانس لشعاع الليزر

وهذا يعني أن الزمن بين تصادمين متتاليين يزداد كلما قل ضغط الغاز في الأنبوب ، وبزيادة ضغط الغاز في الأنبوب يزدادعرض النطاق المتجانس لشعاع الليزر .

أما ذرات ليزرات الحالة الصلبة فلا تتمكن من الحركة لأنّها مرتبطة ضمن الهيكل البلوري للمادة ، وبذلك لاتحصل فيها ظاهرة دوبلر ، وتظهر الزيادة في عرض النطاق لأسباب أخرى. أهمها زيادة درجة الحرارة فالهيكل البلوري يتحرك ككل نتيجة للطاقة الحرارية ، وهذه الحركة تؤثر في الترددات الطبيعية للذرات . ومن ثمَّ نحصل على زيادة في عرض النطاق وهذه المادة تكون متجانسة اذ أن جميع الذرات عرضة للأهتزاز الحراري .

عندما يعمل ليزر الحالة الصلبة في درجات الحرارة الواطئة نتخلص من الزيادة الحاصلة في عرض النطاق الناتج من زيادة درجة الحرارة ، وتحصل الزيادة في عرض نطاق ليزرات الحالة الصلبة أيضا نتيجة لوجود الشوائب في التركيب البلوري للمادة ، وتكون الشوائب مختلفة التراكيب والشكل ، وتتوزع في أماكن مختلفة من التركيب البلوري ، فتكون الزيادة في عرض النطاق غير متجانسة .

س 1:- عرف ظاهرة دوبلر ثم اذكر كيف تؤثر في الذرات المتحركة؟

س2:- على ماذا ينص مبدا اللادقة لهايزنبيرك ؟

س3:- اذكر بعض اسباب الزيادة في عرض نطاق ليزرات الحالة الصلبة . ثم بين كيف يمكن التخلص من هذه الزيادة ؟

س4: عدد طرق حساب عرض نطاق الليزر ؟

س5:مالفرق بين عرض النطاق المتجانس والغير متجانس في الليزرات الغازية؟

س6: اشرح طريقة معامل الكفاءة النوعية Q.S؟

س7:وضح طريقة اقفال الصيغة (تثبيت النمط)؟

س8:املأ الفراغات الاتية

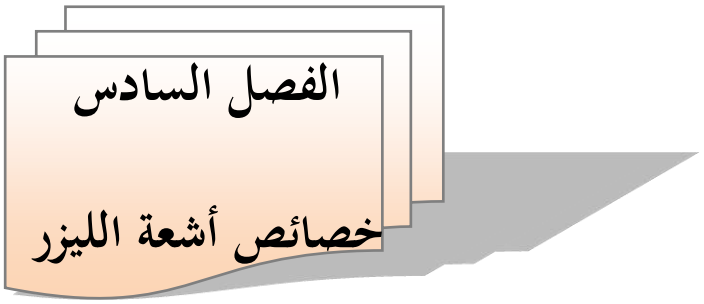
1-هناك مقياسان لطاقة الليزر النبضي .....و.....

2-عرض المنحني في منطقة تساوي القدرة فيها نصف القدرة العظمى يعرف ب.....

3-يمكن حساب عرض نطاق الليزر بعدة طرق منها .....و.....

4-الزمن بين التصادمين يزداد كلما .....ضغط الغاز

5-زيادة ضغط الغاز يؤدي الى .....عرض النطاق المتجانس في الليزرات الغازية



(1-6) : المقدمة

(2-6) : النقاوة الطيفية

(3-6) : الأتجاهية

(4-6) : التشاكه

(1-4-6) : التشاكه الزمني

(2-4-6) : التشاكه الفضائي

(5-6) : نموذج التلؤلؤ لنتاج الليزر

(6-6) : السطوع

(7-6) : الموالفة

(8-6) : نبضات شديدة القصر

(9-6) : قياس خرج الليزر النبضي

الفصل السادس
خصائص أشعة الليزر

(1-6) مقدمة

درسنا في الفصول السابقة بعض خواص الضوء وسلوكه بصورة عامة . الموجية والجسيمية على حدٍ سواء ، وكيفية انتشاره في الأوساط المختلفة وحالتي الأستقطاب والتداخل , هذه الخواص والسلوك يسلكها شعاع الليزر ايضاً ولكن لهذا الشعاع بعض الخواص الاخرى التي لا نجدها في الضوء الاعتيادي, اذ يكون شعاع الليزر مثلاً ذا لون نقي لايمكن ان نحصل عليه من مصادر الضوء الاخرى , ولذلك يسمى شعاع الليزر بالشعاع الأُحادي اللون.

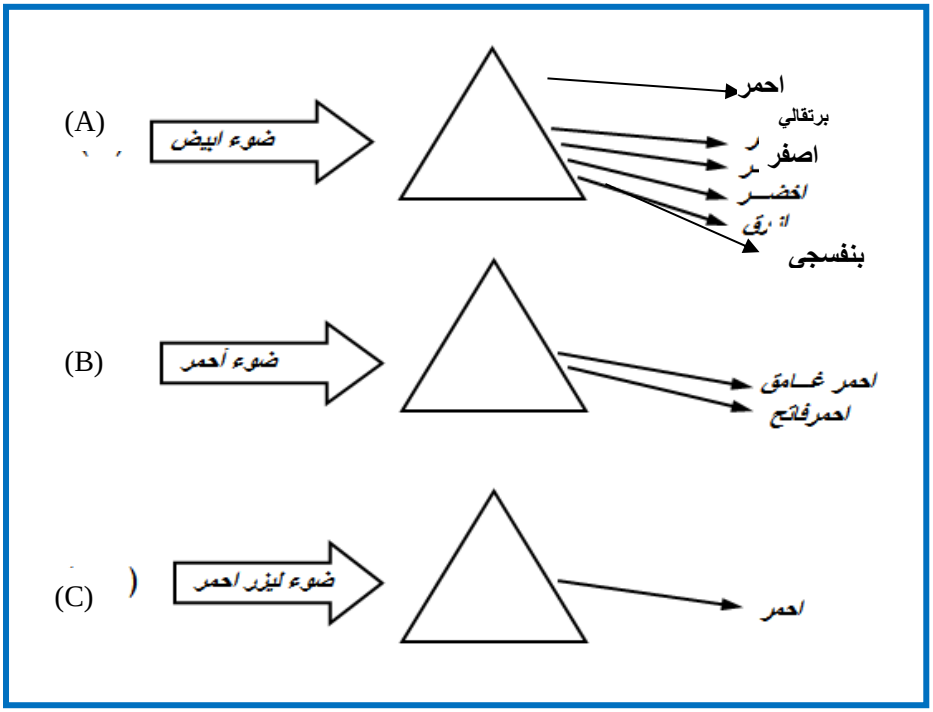
من الخواص الاخرى المهمة لاشعة الليزر هي اتجاهيته العالية.اذ تتجه الاشعة الخارجة من جهاز الليزر جميعها بأتجاه واحد تقريباً وبذلك يمكن تركيز أشعة الليزر في نقطة صغيرة جداً تتركز فيها كمية كبيرة من الطاقة .

ونتيجة لخاصيتي أُحادية اللون والاتجاهية العالية ، وبأخذ طور اشعة الليزر بنظر الاعتبار ايضاً ،فتظهر خاصية الليزر الاساسية ، وهي التشاكه COHERENCE وهي التي تميز أشعة الليزر عن الضوء الاعتيادي .

(2-6)النقاوة الطيفية

يستخدم الموشور لفصل الضوء الابيض الى مكوناته اللونية اذ يكون عرض النطاق كبيراً جدا ويغطي الطيف المرئي بكامله ويصل الى حد (300 nm)، والمبين في الشكل (1-6A) وكذالك بالنسبة للضوء الأُحادي اللون الناتج من مرور الضوء الابيض من خلال موشور. إذ يمكن فصله الى الوانه الاساسية وذلك بأمراره من خلال موشور ، فاللون الاحمر يفصل الى لون احمر غامق ولون احمر فاتح كما موضح في الشكل (1-6B) . والاختلاف في عرض النطاق للون الاحمر قليل جدا لا يتجاوز الـ 20 nm ولا يؤثر الموشور في شعاع الليزر الاحمر شكل (1-6C) فيكون عرض النطاق قليلاً جداً مقارنة باللون الاحمر السابق .

بحيث لايتجاوز النانومتر الواحد بالنسبة لشعاع ليزر الهليوم نيون الاحمر ، وُيعدُّ شعاع الليزر احادي اللون تماما بالنسبةِ للمصادر الاخرى لكنه يبقى له عرض نطاق ولو بشكل قليل جداً " مبدأ اللادقة لهازنبيرك Uncertainty principle " ومن دون الاعتماد على هذا المبدأ ، فمعرفتنا بالطول الموجي للشعاع تقودنا الى عدم معرفة بداية الشعاع ، والى متى سيستمر ؟

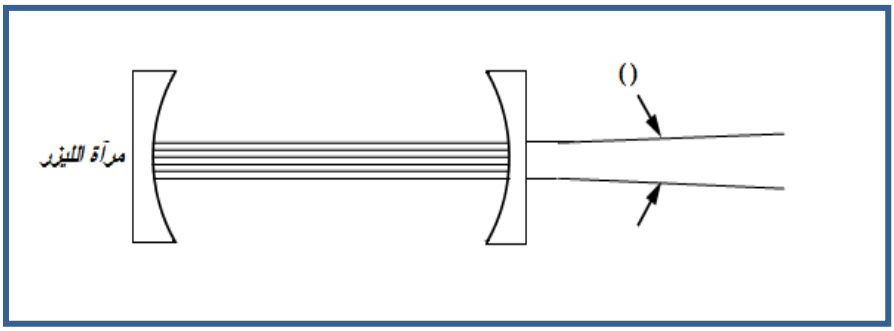


شكل(6-1): يبين عمل الموشور في توضيح خاصية احادية اللون

(3-6) الآتجاهية:

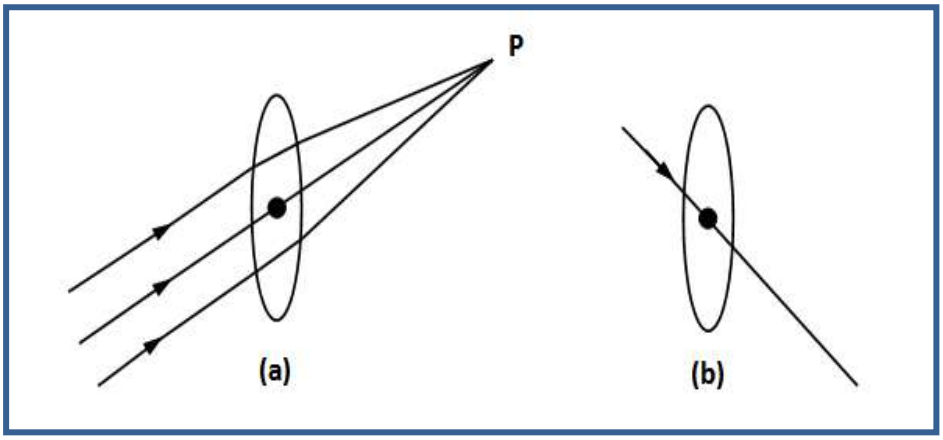
إنّ الانوار الكاشفة المستخدمة في المسار والتي يكون ضوؤها على شكل حزمة ، تتبعثر بعد عدة مئات من الامتار، بعكس شعاع الليزراذ يسير مئات الكيلومترات بخط مستقيم من دون ان ينتشر.

ان لحركة شعاع الليزرالتذبذبية داخل المرنان يعاني من انعكاسات عديدة قبل ان يخرج من المرآة الامامية ، فيخرج بانفراجية قليلة جداً بحيث تقاس باجزاء الزاوية القطرية milliradians لأنه لايخرج من المرآة سوى الشعاع الذي يتذبذب داخل المرنان . وهذا هو فقط الشعاع الموازي لمحور المرنان وبذلك تكون الاشعة الخارجة موازية لمحور المرنان ، ولا تحصل فيها سوى انفراجية قليلة جداً .



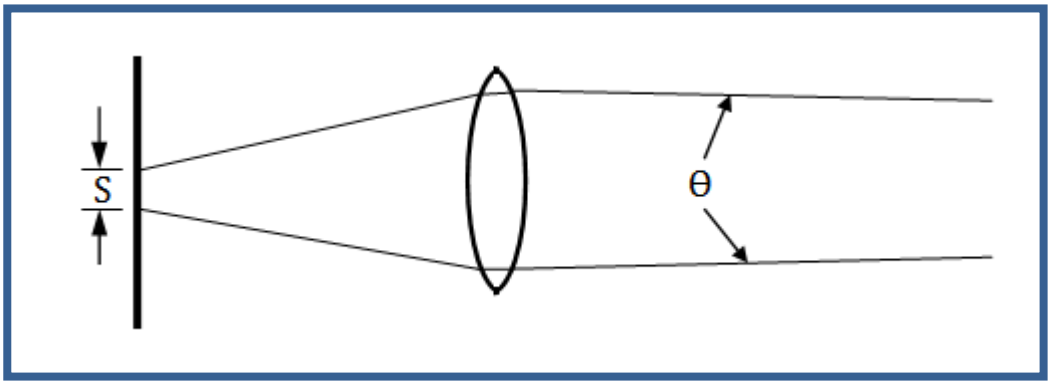
شكل (6-2): يبين اتجاهية شعاع الليزر مع انفراجية قليلة نتيجة لحركته التذبذبية بين المرآتين

وهذه الانفراجية القليلة ناتجة عن الحيود(Diffraction) حيثٌ وضحها العالم الفيزياوي الالماني هايكنز عام ١٦٧٨ . فعندما يخرج شعاع الليزر من فتحة صغيرة ,وهذا يؤدي هذا الى انفراجية عالية في شعاع الليزر أما اذا ما كانت الفتحة اكبر كثيراً من الطول الموجي المار من خلالها فإنّ الانفراجية تكون قليلة .تكون انفراجية شعاع الليزر قليلة جداً اقل من انفراجية الموجة المســتوية المارة من خلال فتحة صغيرة .ومن فوائد الانفراجية القليلة لأشعة الليزر هي امكانية تركيزه في نقطة صغيرة جداً ، اصغر من تلك التي نحصل عليها من مصادر الاشعة الاخرى، ومن الضروري فهم قانونين مهمين من قوانين البصريات . يوضحهما الشكل (6-3) ففي (a) تتركز جميع الاشعة المتوازية المارة من خلال عدسة قي نقطة واحدة . وفي (b) لايحصل انحراف للشعاع المار من مركز العدسة .

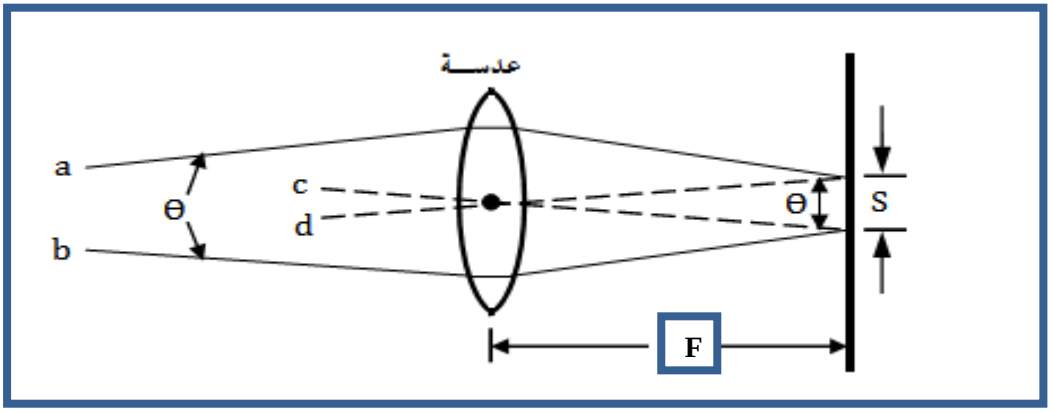


شكل (6-3) : العدسات اللامة : (a) تتجمع الاشعة المتوازية الساقطة على عدسة في نقطة واحدة ، (b) لا يحصل انحراف للشعاع المار من مـركز العدسة

اما في الشكل(4-6) فنلاحظ شعاعاً منفرجاً ذا انفراجية مقدارها (θ) بعد أن يمر من خلال عدسة لامة ، ولحساب قطر هذه الدائرة S ، نضيف شعاعين آخرين c , d موازيين لـ a , b شكل (5-6) ويمران من خلال مركز العدسة ، فنلاحظ انه لايحصل بهما اي تغيير . بوصف الشعاع c موازياً للشعاع b فإنهما يركزان في النقطة ذاتها على الشاشة . وكذلك الحال بالنسبة للشعاعين d , a ونتيجة لتوازي الاشعة فتكون الزاوية بين الشعاعين d ,c مساوية للزاوية بين الشعاعين b , a . والزاوية (النصف قطرية) تساوي S/F ويمثل F البعد البؤري للعدسة ويساوي قطر شعاع المركز . فنستنتج من ذلك ان قطر الشعاع المركز يقل كلما قلت زاوية الانفراج للاشعة ، وكلما قل قطر الشعاع آزدادتْ شدته .



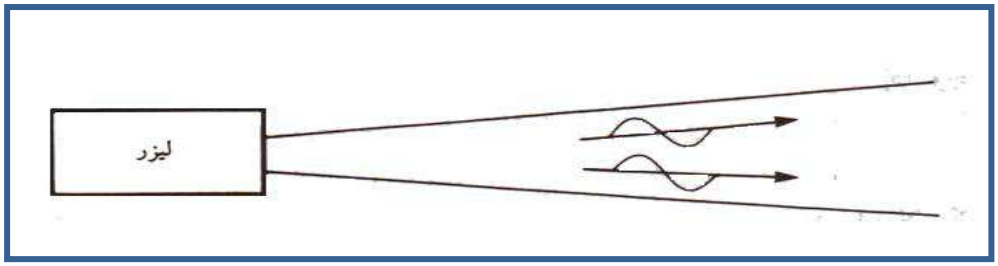
شكل(4-6): شعاع ذو انفراجية مقدارها θ



شكل (5-6): مخطط لقطر دائرة صغيرة التي ركز فيها الشعاع في بؤرة العدسة

(4-6) التشاكه

نلاحظ الشكل (6-6) موجتين لشعاع الليزر لهما صفات مشتركة . فلهما الطول الموجي نفسه ، ويسيران بالاتجاه نفسه، وهما بطور واحد. وهذه الخواص مجتمعة هي التي تجعل الاشعة متشاكهة أي وجود موجتين كهرومغناطيسيتين (فوتونين) أو أكثر بالطورِ نفسه. وهذه خاصية اخرى لشعاع الليزر التي تميزه عن بقية انواع الاشعة ومصادر الضوء الاخرى, فخاصية احادية اللون التي يتميز بها شعاع الليزر لايمكن استخدامها في التحاليل الكيمياوية , وفصل الذرات اذا لم يكن الشعاع متشاكه أي يكون بالطول الموجي وبالاتجاه والطور نفسه.



شكل (6-6) : يبين تشاكه اشعة الليزر

وان اتجاهية شعاع الليزر العالية لم يكن بالامكان الاستفادة منها في نقل المعلومات لولا أنّ الاشعة متشاكهة، وكذلك الصورة المجسمة التي نحصل عليها بوساطة اشعة الليزر لم تكن ممكنة لولا أنّ الشعاع متشاكه.

ويكون التشاكه على نوعين :- فضائي وزماني

(1-4-6) التشاكه الزماني

ويقصد به ان الموجات المتشاكهة في الشعاع الليزر يجب ان يكون ترددها قريب جدا من كونه احاديا

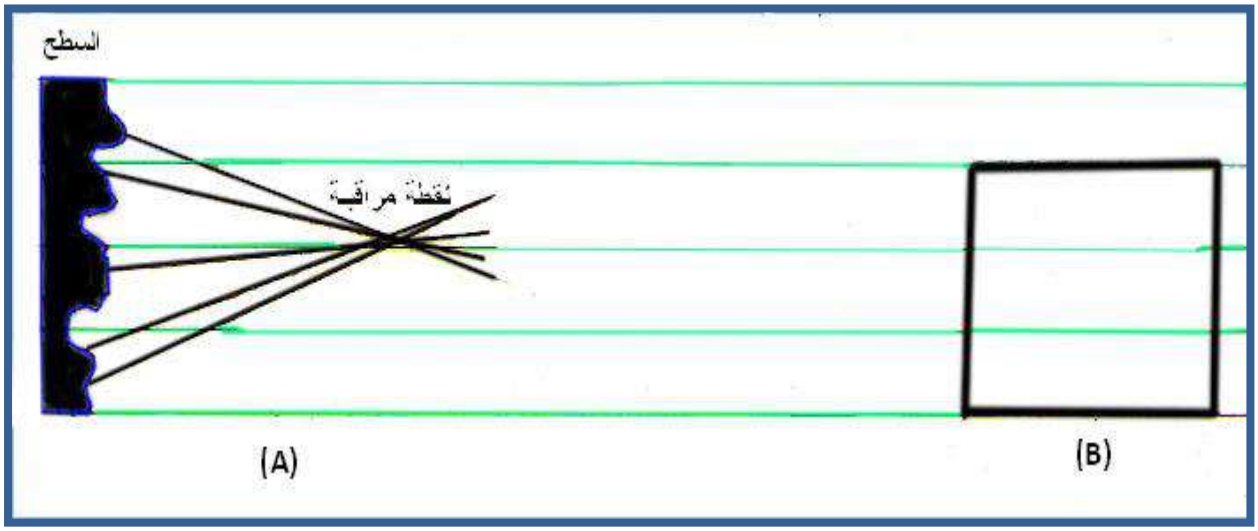
ومن هذا نستنتج انه كلما كان الشعاع ذا لون احادي اكثر أصبح ذا تشاكه زماني أكبر .

(2-4-6) التشاكه الفضائي

ويقصد به ان الموجات المتشاكهة في شعاع الليزر يجب ان يكون فرق الطور فيها ثابت مع الزمن ويسمى بالتشاكه المكاني ا

(5-6) نموذج التلؤلؤ لانتاج الليزر

يمكن مشاهدة نموذج التلؤلؤ عند النظر إلى ضوء مشتت عن سطح خشن كالجدار مثلاً أو من خلال مشتت شفاف للضوء , ويمكن وصف هذا النموذج للضوء المشتت بأنه متألف من مجموعة بقع مضيئة براقة وبقع سوداء داكنة فتظهر للمشاهد كنتوءات أو حبيبات براقة متلِئلئة عشوائية التوزيع على خلفية داكنة لاحظ الشكل (7-6A) . إنَّ السطح الخشن يمكن أن نعدَّهُ كمجموعة كبيرة من مصادر نقطية وإنّ الموجات المنبعثة عن هذه المصادر تختلف فيما بينها بشكل عشوائي في الطور والسعة (مصادر غير متشاكهة) ولكن عندما يضاء السطح بضوء ليزر فإنّ جميع هذه المصادر النقطية ستبعث موجات متشاكهة ولهذا فإنّها ستولد نموذج تداخل عشوائي في جميع النقاط ما بين السطح والمشاهد لذا فأن هذا التلؤلؤ لايكون عند السطح فقط لاحظ الشكل (7-6B) وإنّ حجم الحبيبات المتلئلئة تتغير بتغير قدرة التحليل للناظر ويمكن توضيح ذلك بمشاهدة النموذج من خلال ثقب ضيق يوضع أمام العين فيبدو النموذج أكثر خشونة. وفسرت هذه الظاهرة بأنها نتيجة لحصول التداخل البناء والهدام عند مراكز التشتت في السطح الخشن وتعتمد أساسا على الدرجة العالية لصفة التشاكه التي يتميز بها ضوء الليزر . وتقع أهمية نموذج التلؤلؤ في التصوير المجسم .



(7-6): A - نموذج التلؤلؤ , B- أساس تكون هذا النموذج

(6-6) السطوع :

هو زيادة كبيرة لكثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة وتسمى كثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة بالشدة (Intensity) . وعلى سبيل المثال تكون شدة مصباح التنكستن الأعتيادي ذي القدرة (١٠٠W) حوالـــــي ($٢٠٠٠ W/cm^2$) بينما شعاع ليزر بالقدُرةِ نفسِها تصل شدته إلى حوالي ($2\times10^9 W/cm^2$) أي أكبر بمقدار مليون مرة من مصباح التنكستن الأعتيادي .

(7-6) الموالفة :

يمكن موالفة نتاج بعض أنواع الليزر لغرض الحصول بشكل مستمر وتدريجي على أطوال موجية مختلفة تقع ضمن نطاق الأنبعاث للوسط الفعال لليزر. فمثلاً في ليزر السائل (ليزر محلول الصبغة) يمكن موالفة نتاجه ضمن نطاق عريض من طول الموجة . يمكن أن يمتد ليشمل كامل المدى المرئي للأشعاع الكهرومغناطيسي وان موالفة أشعاع ليزر واقع في مدى الموجات فوق البنفسجية القصيرة بعد الحصول عليه عبر عملية مضاعفة التردد لنتاج الليزر واقع في المدى المرئي .

من جهة أخرى يمكن موالفة أشعاع ليزر واقع في مدى الموجات تحت الحمراء بعد تحوير أنبعاث ليزر واقع في مدى الموجات المايكروية بالعملية ذاتها . إنّ لصفة الموالفة تطبيقات مهمة في الكيمياء الضوئية وأطياف التحليل العالي وكذلك أطياف رامان وفي عملية فصل النظائر .

(8-6) نبضات شديدة القصر:

قد نحتاج الى نبضة واحدة أو سلسلة من النبضات من الطاقة العالية بدلاً من شعاع مستمر . لذلك تجمع الطاقة في شعاع الليزر لتخرج مرة واحدة على شكل نبضة ، وتكون الطاقة كبيرة جداً إذا ما قورنت بالكمية التي نحصل عليها من الشعاع المستمر وللمدة الزمنية نفسها ويتم هذا بعدة طرق ، اهمهـــــا طريقـــة (تنظيم معامل الكفاءة – النوعية) (Q SWITCHING) وتثبيت النمط .

(9-6) قياس خرج الليزر النبضي

عند قياس خرج الليزرالنبضي نحتاج الى بعض المعلومات التي يجب ان نعرفها قبل أن نبدأ بعملية القياس فنحتاج الى معرفة عدد النبضات الخارجة منه ، وكيفية توزيع الطاقة لهذه النبضات حيثُ أنّنا عندما نقيس القدرة الخارجة لشعاع الليزر المستمرفإننا نقيس كمية الطاقة الخارجة في مدة زمنية محددة ، وتقاس الطاقة بوحدات تسمى الجول JOULE ويرمز لها بـ J ، ويقاس الوقت بالثانية .

اما المعدل الزمني للطاقـــة الخارجـــــة من الليزر فيقاس بالجول / ثانية (J/S) ,وهذه تمثل القـــــدرة (POWER) وتقاس بالواط ويرمز لها بـ W .

أسئلة و مسائل الفصل السادس

س1: املأ الفراغات الاتية:

1-يستعمل الموشور لفصل.....

2-هناك نوعين من التشاكه .....و.....

3-السطوع هو.....

4-من التطبيقات التي تدخل فيها عملية الموالفة هي .....و.....و.....

5-القدرة هي .....

6-تقاس الطاقة بوحدات تسمى .....

7-نحصل نبضات شديدة القصر عن طريق .....و.....

س2:وضح عمل الموشور في الضوء الاحمر والليزر الاحمر؟

س3:عدد خصائص اشعة الليزر؟

س4:ماسبب حدوث ظاهرة التلؤلؤ؟

س5: ماذا نقصد بالموالفة؟

س6: لماذا يخرج الليزر بانفراجية قليلة جدا؟

الفصل السابع

أنواع الليزرات

(7–1) : المقدمة

(7–2) : ليزر الحالة الصلبة

(7–2–1) : ليزر الياقوت

(7–2–2) : ليزر نديميوم

(7–3) : ليزر الغاز

(7–3–1) : ليزر الغاز الذري

(7–3–2) : ليزر الغاز الأيوني

(7–3–3) : ليزر الغاز الجزيئي

(7–4) : ليزر السائل

(7–5) : الليزر الكيمياوي

(7–6) : ليزر شبه الموصل

الفصل السابع
أنواع الليزرات

(1-7) المقدمة

تطرقنا فيما سبق الى مبادىء الليزر، والأنواع المختلفة منها ، وسنتطرق في هذا الفصل الى الانواع المهمة من الليزرات . مراعين بذلك تطبيق المبادىء التي درسناها في الفصول السابقة ، على الحالات المختلفة .

أكثر انواع الليزرات شيوعاً بالتاكيد هو ليزر الهيليوم – نيون He – Ne حيثُ وجدت لشعاعه الاحمر الساطع العديد من التطبيقات . فإنّه يستخدم في المخازن التجارية لقراءة الاسعار المسجلة على البضائع ، وأجهزة فيديو الاسطوانة ، والطابعات الليزرية ، وأجهزة الترصيف والموازنة وغيرها من الأجهزة الكثيرة وسنلقي نظرة على عمل هذا النوع وكذلك خواصه التي نستفيد منها في تطبيقاتنا العملية .

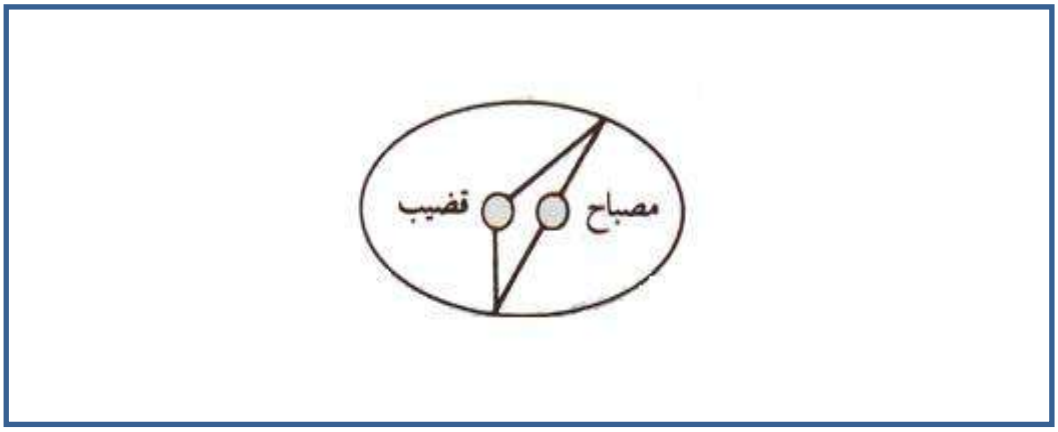
وسندرس الليزرات الجزيئية ايضاً ، ويكون ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون CO_2 مثالاً لها، حيث لَهُ العديد من التطبيقات الصناعية والطبية وكذلك سنتطرق الى ليزرات الصبغة والليزرات الايونية .

(2-7) ليزر الحالة الصلبة

تتكون ليزرات الحالة الصلبة من جسم زجاجي او بلوري او حتى خزفي يتم تطعيمه بذرات مادة فعالة تنطبق عليها شروط الانبعاث المستحث وتكون الذرات في ليزرات الحالة الصلبة مرتبطة مع بعضها بقطع شفافة من مادة تسمى المضيف host ، وأكثر هذه المواد شعبية هي النديميوم Nd المرتبطـــة ببلورات الياتريوم المنيـــــــــــــوم كرانايت، Yattrium Aluminum Granet (YAG). والنيوديوم مع الزجاج Glass، والكروم مع الياقوت Cr:Ruby ونحصل من النيدميوم على طول موجي قدره 1.06µm، والكروم مع الياقوت 694.3nm. وتصنع المادة الوسطية الرابطة والتي سميناها بالمضيف host على شكل قضبان اعتيادية بشكل وحجم مشابه لقلم الرصاص الاعتيادي .

ويستخدم الضخ الضوئي لتجهيز هذه الليزرات بالطاقة اللازمة للحصول على عملية التوزيع العكسي، وفي بعض الأنواع يلف المصباح الهالوجيني الوهاج على قضيب الليزر بشكل حلزوني ،

والنوع الاكثر أستخداماً هو مـا نلاحظه في الشكل (7-1) حيثُ يكون المصباح الهولجيني على شكل قضيب يوضع بجوار قضيب الليزر ، ويكون كل منهما في بؤرة من بؤرتي الفجوة التي تكون على شكل قطع مكافئ فإن الاشعة الصادرة من احدى بؤرتي القطع المكافئ تتركز في بؤرته الثانية . وبذالك تتركز الاشعة الصادرة من المصباح جميعها في قضيب الليزر .

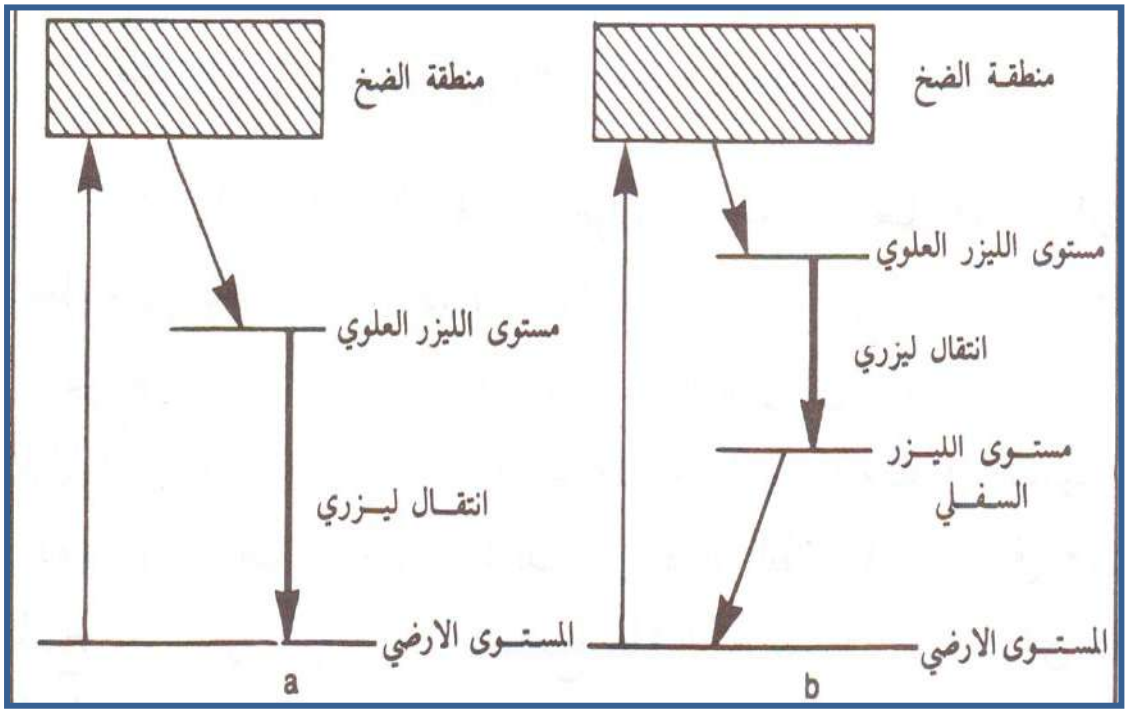


شكل (7-1) : فجوة الضخ الضوئي لليزرات الحالة الصلبة على شكل قطع مكافئ

يبين الشكل (7-2a) مخططاً مبسطاً لمستويات الطاقة في بلورة الكروم / الياقوت ، والشكل (7-2b) مخططاً لبلورة النيوديميوم / ياك أو النيوديميوم / الزجاج . فنلاحظ ان للياقوت ثلاثة مستويات للطاقة ، وللنيوديميوم أربعة مستويات، وهذه الليزرات تختلف عن ليزري الهليوم – نيون وثنائي اوكسيد الكاربون ، اذ تمتص أيونات الكروم أو النيوديميوم الطاقة مباشرة من دون الحاجة الى وجود مادة وسيطة لها . اما الزجاج أو الياك فيعد وسطاً لمسك الأيونات .

ويستخدم الماء في تبريد بلورات ليزرات الحالة الصلبة اذ يمرر بأنابيب زجاجية تحيط ببلورة الليزر، إذ تؤدي الحرارة الزائدة الى حدوث تصدعات في البلورة، وبذلك نحصل على انكسارية مزدوجة birefringes لها فيؤدي الى نقص كبير في الطاقة ، ولاسيما في الليزرات المستقطبة (ذات الاشعة المستقطبة) . وعملياً هذه التصدعات تقلل من قدرة الليزر بمعامل مقداره (2). وتؤدي الاجهادات الناتجة من الحرارة الزائدة الى جعل قضيب الليزر يعمل عمل عدسة ضيقة ايضاً ، وبذلك يزداد تركيز الشعاع المار خلاله ، وهذا التركيز يكون بطبيعة الحال غير منتظم ، فيؤدي الى الاقلال من فاعلية المرآيا الخارجية . ويعتمد مقدار التركيز على (موقع الاجهاد في القضيب ، ومقدار الاستقطاب للشعاع ، ومقدار الطاقة المستخدمة في عملية الضخ) .

وبصورة عامة لايمكن تصحيح هذا التأثير بصرياً ،فيؤدي ذلك الى الاقلال من قدرة الليزر الخارجة وتستخدم ليزرات الحالة الصلبة في المجالات العسكرية ، فمثلا في مقدرات المدى Rangefinders ومميزات الأهداف Target designators وفي المجالات الصناعية كمعالجة المعادن وفي المجالات الطبية والسريرية وفي مجالات الأبحاث الصرفة ايضاً .

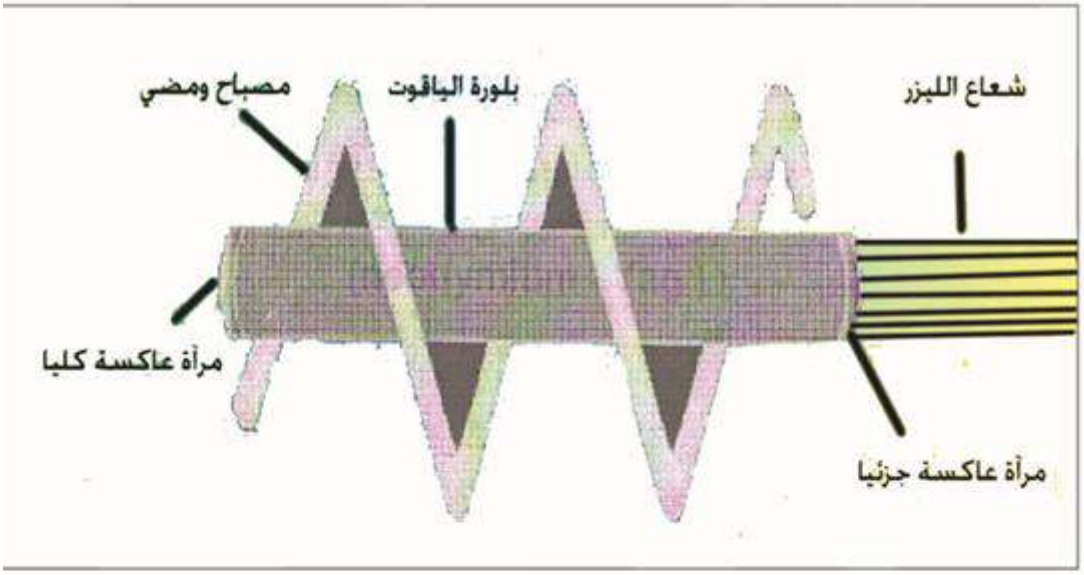


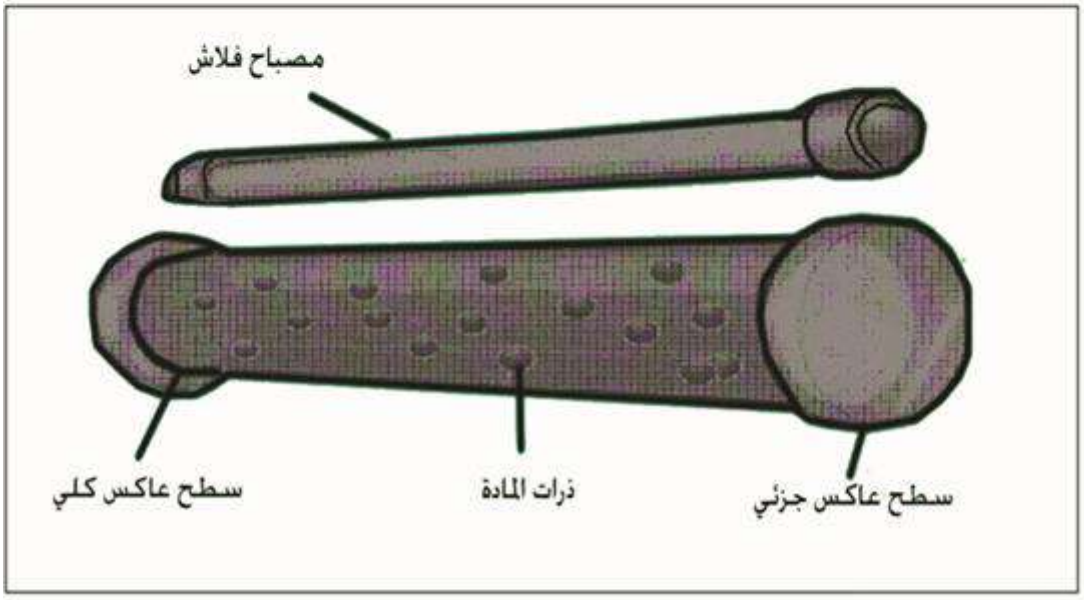
شكل (2-7): مخطط لمستويات الطاقة (a) الكروم : الياقوت (b) النيوديميوم /ياك او زجاج

(1-2-7) ليزر الياقوت:-

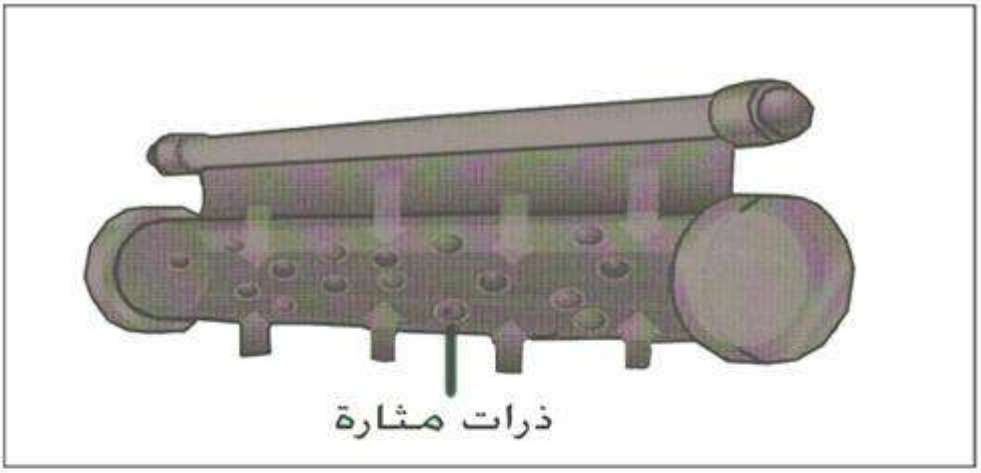
بلورة الياقوت موجودة في الطبيعة بلونها الوردي الفاتح ويكون الوسط الفعال فيها أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) وتحتوي على نسبة (0.01-0.1) وزناً في أيونات الكروميوم الثلاثية التأين (Cr^{+3}) التي تحل محل أيونات الألمنيوم في داخل التركيب البلوري وتعطي اللون الوردي الفاتح لبلورة الياقوت . تصنع البلورة مختبريا لغرض أستخدامها كوسط فعال لعمل الليزر,فأيونات الكروميوم هي المسؤولة عن توليد مستويات طاقة جديدة في داخل التركيب البلوري وتكون مؤثرة في عمليات الأنتقال المصحوبة بتوليد الليزر ، ويستخدم في أنبوب توليد الليزر بلورة أسطوانية اذ تقطع نهايتاها المتقابلتان وتطليان بالفضة لتكون مرآتين من المادة نفسها فأحداهما تكون عاكسة كليا والأخرى عاكسة جزئيا.

ويُعدُّ المصدر الضوئي مسؤولا عن عملية الضخ وساق الياقوت هو مادة لأنتاج الليزر كما مبين في الأشـــــكال الأتيـــــــــة (7-3),(7-4),(7-5),(7-6),(7-7) إذ توضح مكونات ليزر الياقوت وكيفية عمله .



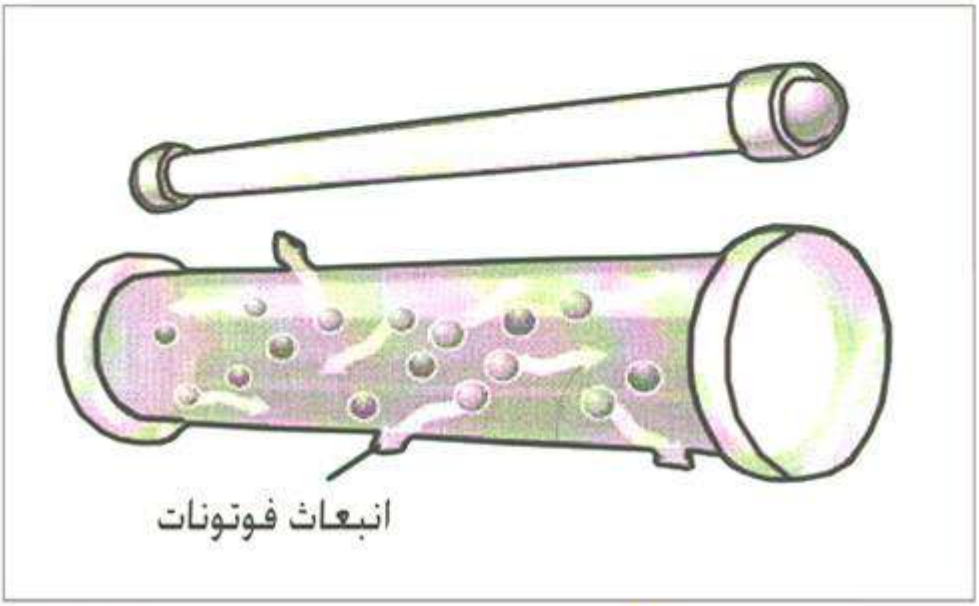


شكل (7-3) : مكونات ليزر الياقوت

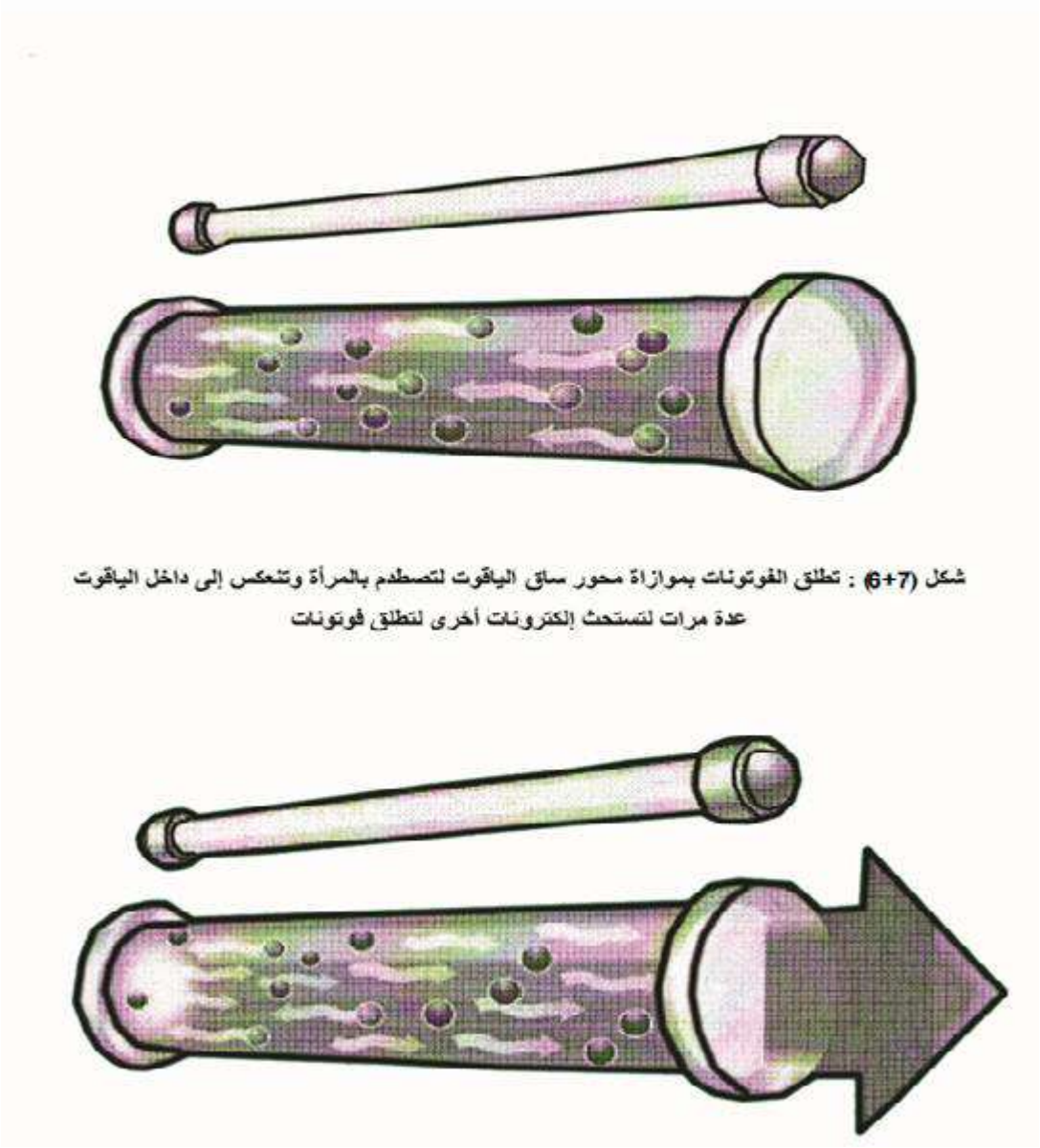


شكل (7-4): فرق جهد عالي يعمل على تزويد الفلاش بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذي شدة عالية ولمدة زمنية قصيرة

هذا الضوء يعمل على أثارة الذرات في بلورة الياقوت المستويات الطاقة الأعلى



شكل (7-5) : تطلق بعض الذرات فوتونات



شكل (6+7) : تطلق الفوتونات بموازاة محور ساق الياقوت لتصطدم بالمرآة وتنعكس إلى داخل الياقوت عدة مرات لتستحث إلكترونات أخرى لتطلق فوتونات

شكل : (7-7) الفوتونات بطول موجي واحد وفي الطور نفسه ومجتمعه في حزمة تعبر من المراة لتعطي ضوء الليزر

ويستخدم مصباح ومضي لولبي يحيط بالياقوت فعندما يبعث المصباح وميضاً عالي الشدة فأن أيونات الكروميوم تمتص الضوء ويرتفع عدد كبير من هذه الأيونات إلى مستويات الطاقة العليا وعند هبوطها إلى مستوى الحالة شبه المستقرة يتحقق شرط التوزيع المعكوس فيتولد شعاع الليزر عند هبوطها إلى مستوى الطاقة الأرضي (Ground State).

وتكون أشعة الليزر الناتجة ذات لون أحمر طولها الموجي (694)nm. إن مخطط مستويات الطاقة لأيونات الكروميوم في البيئة البلورية هو نظام ذو ثلاثة مستويات حيث يقع أمتصاص بلورة الياقوت في المنطقتين الخضراء و البنفسجية من الطيف وتتمثل بحزم طيفية عريضة كل منها بحدود (100) nm تساعد على زيادة كفاءة الضخ لمصابيح الزينون أو الكربتون إذ ما قورنت مع مصادر أخرى يتحدد امتصاص ما ينبعث عنها من ضوء في خط طيفي ضيق . إنّ لليزر الياقوت تطبيقات عملية في التصوير المجسم وتجارب تعيين المدى لأغراض عسكرية .

(7-2-2) ليزر النديميوم

يُعدُّ هذا الليزر من أهم أنواع ليزرات الحالة الصلبة إذ يتألف الوسط الفعال فيه من الزجاج الذي يعمل كوسط مضيف لأيونات الليزر الفعالة أيونات النديميوم الثلاثية التأين (Nd^{+3}) ويدعى بليزر نديميوم : زجاج Laser(Nd:Glass) .

وتعمل بلورة عقيق اليوتريوم ألمنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) (Yttrium Aluminum Garnet) والتي تدعى مختصراً بالياك كوسط مضيف لأيونات النديميوم (Nd^{+3}) ويدعى الليزر الناتج بليزر نديميوم يـــاك Laser (Nd:YAG) الذي يعمل على وفق خطة ضخ ذات أربعة مستويات ولهذا يفضل على ليزر الياقوت وينتج عن الانتقالات الليزرية بين المستويات المختلفة الأكثر كفاءة الذي يعطي الطـول الموجـي m μ (1.06) الواقع في المنطقة تحت الحمراء القريبة .

يشتغل ليزر النديميوم:ياك بموجة مستمرة (CW) أو بشكل نبضي (p) ولزيادة كفاءة الضخ يستخدم مصباح الزينون (Xe) تحت ضغط متوسط يتراوح بين mbar (600-2000) ومصباح الكربتون (Kr) بضغط عال (4-6) جو للضخ النبضي والمستمر على التوالي .

إن لهذا الليزر تطبيقات كثيرة ومتنوعة فمثلا يستخدم في تصنيع المعادن وتعيين المدى وفي الجراحة الليزرية ويستخدم ليزر نديميوم:زجاج كمضخم ليزر في أنظمة توليد الطاقة العالية المستخدمة في تجارب الأندماج النووي .

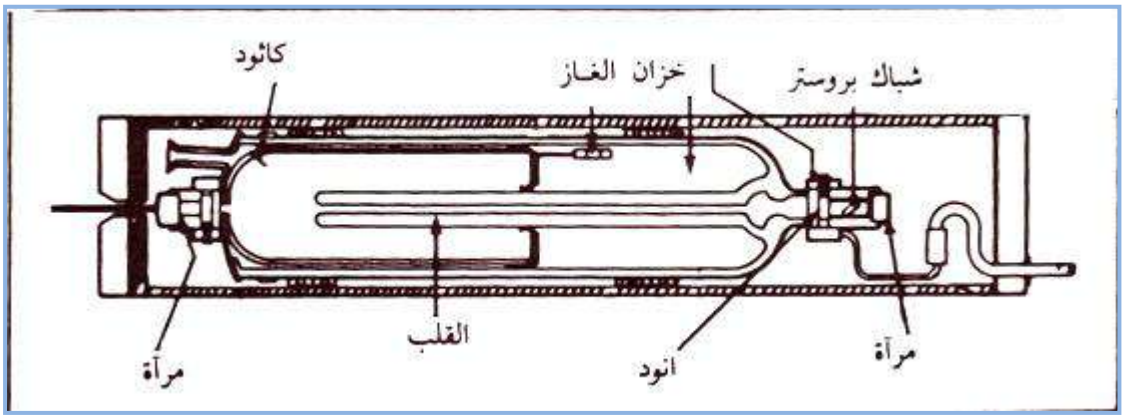
(7-3) الليزرات الغازية:-

(7-3-1) ليزر الغاز الذري:-

يعد ليزر الهليوم – نيون من أول الليزرات الغازية الذرية ويستخدم التيار الكهربائي في عملية الضخ ، ليعطي شعاعاً احمر اللون ، وبطول موجي قدره μm(632.8) وكذلك اشعة تحت الحمراء بطول موجي

قدره μm (1.5),(3.39) ويصمم الجهاز بحيث يحصل التضخيم بالطول الموجي الاول ، ويوضح الشـــــكل (7-8) مخططاً لأنبوب ليزر الهليوم – نيون حيثُ تضخ الطاقة في الغاز بوساطة التفريغ الكهربائـي .

ويستخدم جهد يقدر بعدة فولتات وبتيارٍ قليل (عدة مللي أمبيرات) يسلط بين الكاثود الاسطواني الشكل والانود الابري. فيحدث تفريغ كهربائي في الانبوب الداخلي الصغيروالذي يدعى القلب أو المحور bore فقط. وذلك لتركيز الطاقة في المنطقة التي يتذبذب من ضمنها الشعاع . ذهاباً واياباً بين المرآتين ، ولا تزيد الكفاءة الكهربائية لهذا النوع من الليزرات على 0.1 % اعتيادياً .



شكل (7-8) : مخطط ليزر الهليوم – نيون

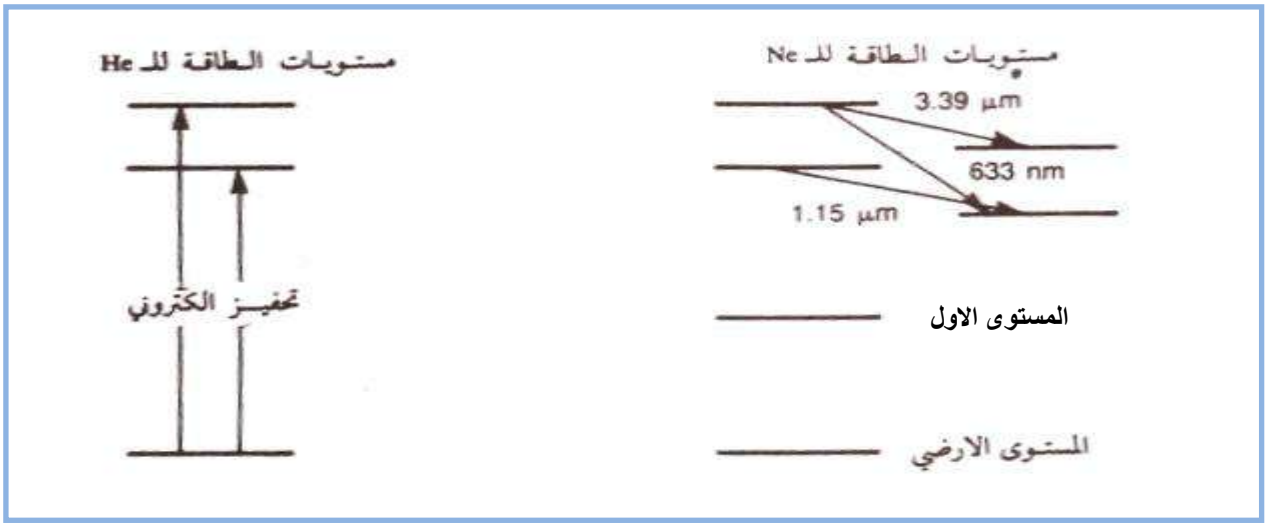
تنقل الطاقة الالكترونات الناتجة عن مرور التيار في الغاز الى ذرات الغاز، فعندما يصطدم احد الالكترونات السريعة بذرة في المستوى الارضي للطاقة فإن جزءاً من طاقته الحركية ينتقل الى الذرة لتنقله الى مستوى طاقة اعلى (متهيج) ولكن عملية التوزيع العكسي للغاز لاتتم بصورة مباشرة. إنّ لذرات النيون إمكانية قليلة جداً لامتصاص الطاقة من الالكترونات فقط، أما ذرات الهليوم ذات المقطع التصادمي الكبير فلها احتمالية اكبر للتصادم مع الالكترونات. لذلك ستنتقل طاقة التيار اليها بسهولة، وبكمية كبيرة، ولحسن الحظ فإن مستويات الطاقة العليا للهليوم تقارب المستويات العليا للنيون.

وبذلك يمكن للطاقة أن تنتقل من ذرات الهليوم الى ذرات النيون نتيجة لتصادمها بها لتنقلها من المستوى الارضي الى مستوى اعلى .

ويبين الشكل (7-9) مخططا لمستويات الطاقة لليزر الهليوم نيون وبعد ان تنتقل الطاقة الى ذرات النيون وتصبح في مستويات عليا ، يمكن ان تسلك أحد الطرق الثلاث المبينة في الشكل لتعود الى المستوى الاول ، ويمكن اختيار انعكاسية المرآتين بحيث تكون قليلة جداً للأشعة تحت الحمراء ليكون التضخيم مقتصراً

على الاشعة المرئية او بالعكس ومن ثم تنتقل الذرات من المستوى الاول الى المستوى الارضي انتقالاً تلقائياً Spontaneus transition .

تتراوح قدرة ليزر الهليوم - نيون التجارية بين اجزاء الملي واط الواحد والخمسين ملي واط في الاستعمالات الخاصة والتي تزداد قدرتها فيظهر شعاع في مدى الاشعة تحت الحمراء اذ مهما قلت انعكاسية المرايا لهذه الاشعة فيمكن ان نحصل على ربح ولو بشكل ضئيل جداً ، فتستخدم قطع من المغانط الثابتة على طول الانبوب للتقليل من التضخيم الحاصل في الاشعة تحت الحمراء، وذلك بالاعتماد على ظاهرة زيمان Zeeman effect ، لنحصل على الشعاع الاحمر(632.8 nm) فقط .



شكل (7-9): مستويات الطاقة في ليزر الهليوم نيون

وتستخدم في اغلب ليزرات الهليوم - نيون التجارية مرايا داخلية ملتصقة على الانبوب مباشرة ، وتستخدم مع بعض انواع المرآيا الخارجية ، وفي هذه الحالة يتطلب وجود شبابيك غير عاكسة في نهاية الانبوب ، ولذلك توضع هذه بزاوية خاصة تسمى زاوية بروستر Brwster angles وتفضل المرايا الداخلية لأنها اكثر ثباتاً وأتزاناً ولكن تستخدم الانواع الخارجية منها مع الليزرات ذات القدرة العالية ، والاستخدامات الخاصة .

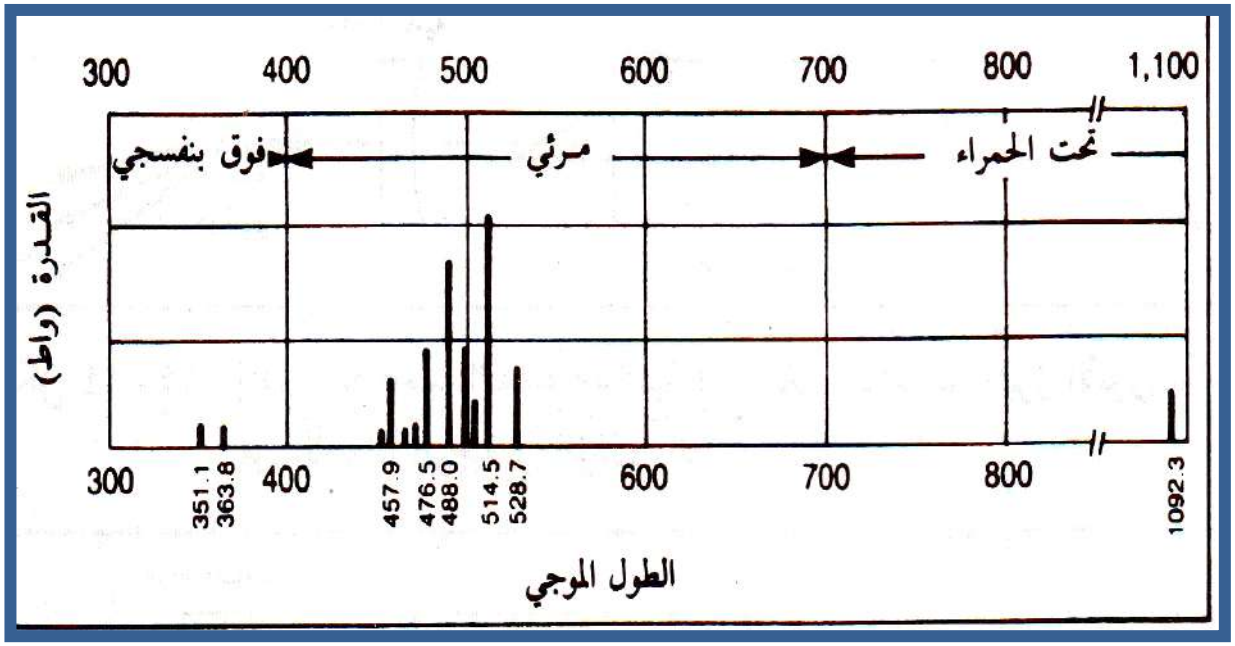
ليست عملية لصق المرآيا بالانبوب بالعملية السهلة . إذ يجب ان تلصق بحيث تكون متوازية تماماً . وكانت المواد الراتنجية epoxy تستخدم سابقاً في عملية اللصق لكنه اتضح اخيراً ان نفاذيتها لبخار الماء عالية جداً ، حيثُ يمكن له ان يتسرب الى داخل الانبوب مع الزمن ويقلل عمر الليزر ، حتى في حالة عدم استخدامه , لذلك استعيض عنها بلحام من الصلب .

والمشكلة التي لم يكن من السهولة السيطرة عليها هي تسرب ذرات الهليوم من خلال جدران الانبوب . هذا وان ساعات العمل المحددة لهذا النوع من الليزرات هي بين (15000) و (20000) ساعة ، واكثر

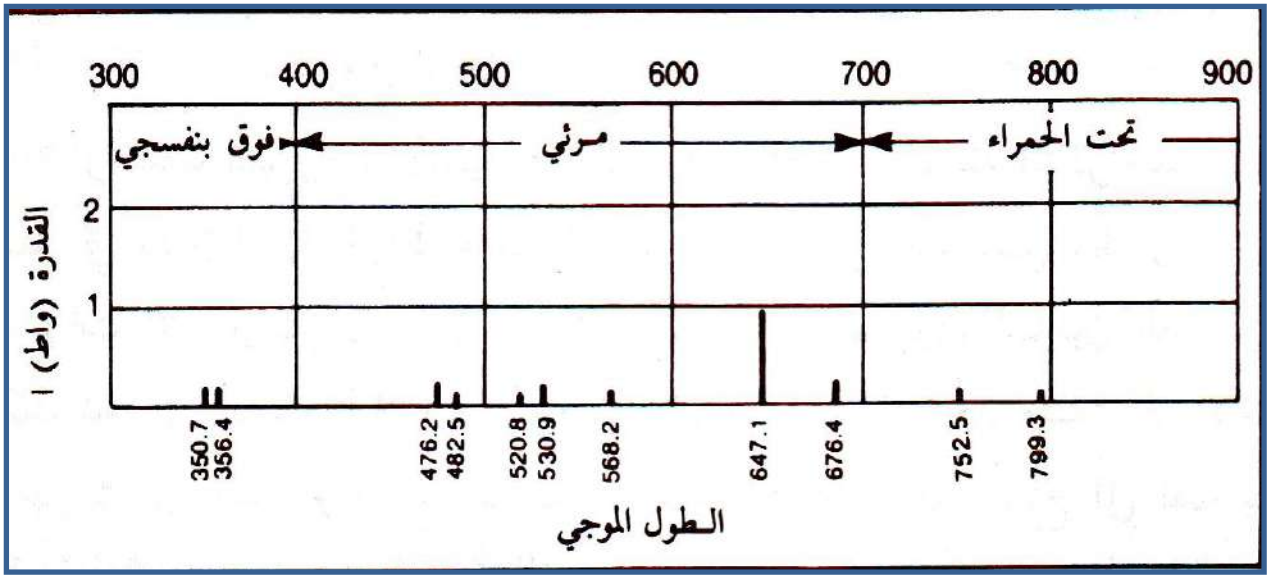
الاجزاء تعرضاً للتلف هو الكاثود ، اذ ان هناك علاقة بين طول الانبوب وعمره، فإذا ما كان الانبوب طويلاً فإن جزءاً من الكاثود فقط يبعث الالكترونات. وهذا ما يؤدي الى تلفه بسرعة اما إذا كان الانوب قصيراً فإن الكاثود بأجمعه يبعث الالكترونات مما يزيد من عمره ولكن هذا يكون على حساب القدرة التي تقل تبعاً لذلك .

(2-3-7) ليزر الغاز الايوني :-

تُعدُّ الليزرات الايونية من أكثر الليزرات ذات الاشعة المرئية قدرة إذ يمكننا الحصول على ليزر ذا شعاع مستمر ذي قدرة 20W من الاسواق العالمية بسهولة ، وتجارياً هناك نوعان اساسيان منها : ليزر الاركون وليزر الكربتون ،ويمكن الحصول من هذين الليزرين على أكثر من طول موجي . فكل خط من الخطوط التي نلاحظها في الشكلين (7-10) و (7-11) ناتج عن الانبعاث من الوسط الفعال . والأطوال الموجية الأكثر شيوعاً والناتجة من ليزر الأركون هي الازرق nm (488) والأخضر nm (514.5) ، وأما أقوى الاطوال الموجية في ليزر الكربتون فهو الاحمر nm (647.1) ويمكن الحصول منه على اطوال موجية تقع ضمن اللونين الأصفر والأخضر، وتظهر عدة اطوال موجية (الوان) في الوقت نفسه من الليزر الأيوني إذا لم يتم تحديد الطول الموجي المطلوب، كما هو موضح ذلك في الشكل (7-12). ويستخدم الموشور لتحديد الطول الموجي المطلوب وكما هو مبين ذلك في الشكل (7-13).

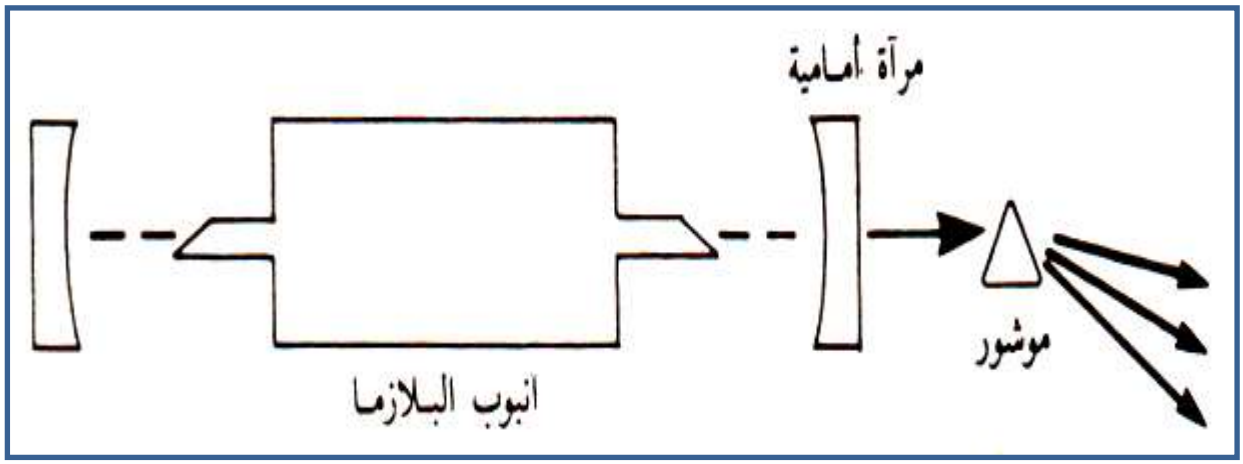


شكل (7-10): الاطوال الموجية التي يمكن الحصول عليها من ليزر الاركون

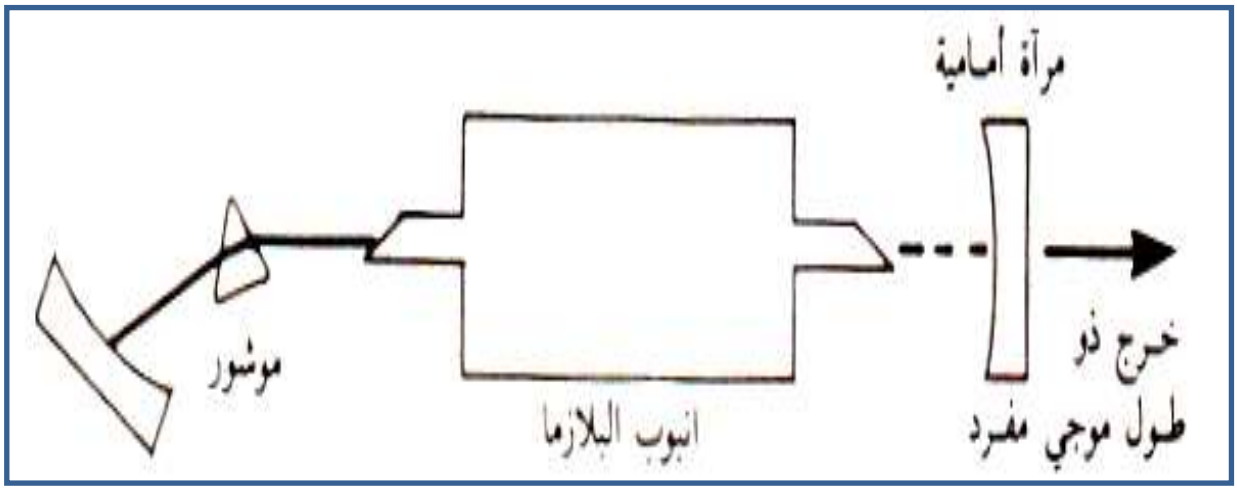


شكل (7-11) : الاطوال الموجية التي يمكن الحصول عليها من ليزر الكربتون

وتختلف الليزرات الأيونية عن الليزرات الغازية اذ إنها تعمل في مدى الجهد الواطىء نسبياً (بضعةالآف من الفولطيات) والتيار العالي (عشرات الأمبيرات)، فيكون هذا التيار ضروري لتأيين الغازات المستخدمة في انبوب البلازما. وتصل كثافة التيار الى حد مئات أوالآف الأمبيرات في السنتمتر المربع الواحد. وهذه الكثافة العالية تحتاج الى تصاميم خاصة للأقطاب electrode وكذلك لمنظومة التبريد ، التي تستخدم الماء غالباً .



شكل (7-12) : يبين عملية التغذية العكسية في المرنان اذ يتذبذب الليزر الأيوني بعدد من الاطوال الموجية في الوقت ذاته



شكل (7-13) : يمكن تحديد تذبذب الليزر الأيوني بطول موجي واحد من خلال تحديد التغذية العكسية في المرنان

تؤدي كثافة التيار العالي في انبوب البلازما الى دفع الايونات نحو الكاثود لتتعادل ، فإذا لم نتمكن من إعادة هذه الايونات الى داخل البلازما فإنها ستتجمع حول الكاثود لتمنع عملية استمرار التفريغ الكهربائي.

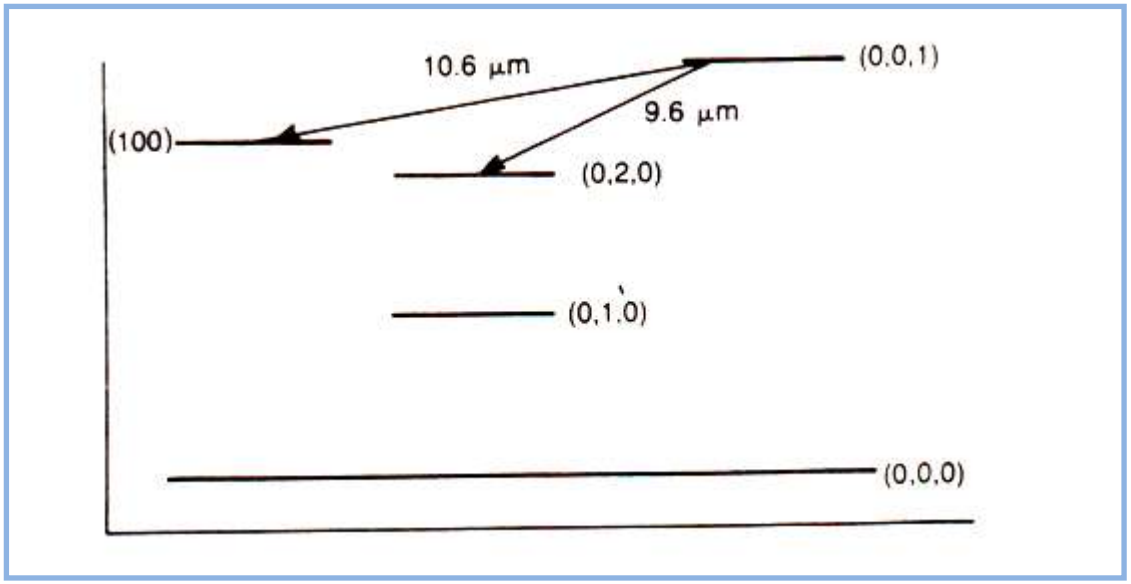
ولكل مصمم طريقته الخاصة في إعادة الايونات الى الوسط البلازمي. وتستخدم ملفات كهربائية تلف حول الانبوب لغرض زيادة التيار الكهربائي فيه وذلك بتوليد مجال مغناطيسي طويل في البلازما حيث ُيؤدي ذلك الى تجمع الالكترونات والأيونات في داخل الانبوب من دون أن تصطدم بجدرانه .

(7-3-3) ليزر الغاز الجزيئي :-

تعتمد الليزرات على عملية التوزيع العكسي لمستويات الطاقة الالكترونية للحصول على الانبعاث المحفز الذي يؤدي الى حصول شعاع الليزر ، وكما نعلم ان للجزيئات مستويات طاقة خاصة بها (غير المستويات الالكترونية). فهناك ليزرات تعمل على مستويات الطاقة الدورانية اوالتذبذبية فضلاً عن المستويات الالكترونية .

ويعد ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون من أهم الليزرات من الناحية الاقتصادية ،حيثُ يعتمد في عمله على المستويات التذبذبية لجزيئة ثنائي اوكسيد الكاربون .

نلاحظ الشكل (7-14) المستويات المحفزة الاربعة الدنيا فقط والتي تحصل فيها عملية الليزر.



شكل (7-14) : مستويات الطاقة التذبذبية لجزيئة ثنائي أوكسيد الكاربون

كيف تحصل عملية الليزر في ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون ؟

لأجل ذلك يجب أن تكون هناك جزيئة متهيجة في المستوى (1,0,0) و تحصل على طاقتها نتيجة اصطدامها بجزيئة النايتروجين حاصلة على طاقتها من جراء اصطدام الكترون سريع بها ناتج من عملية التفريغ الكهربائي في الغاز ،إذ تعمل جزيئات النايتروجين عمل ذرات الهليوم في ليزر الهليوم – نيون . في المستوى المتهيج هذا فقط يمكن لجزيئة ثنائي أوكسيد الكاربون ان تحفز على اطلاق فوتون ، ويكون الفوتون بطول موجي قدره (10.6)µm، لتنتقل الى المستوى الأوطأ (0,0,1) ، وكذلك يمكن لها ان تحفز لإطلاق فوتون بطول موجي قدره (9.6)µm، لتنتقل الى المستوى (0,2,0) .

ومن ثم تنتقل الجزيئات الى المستوى الارضي (0,0,0) من كلا المستويين تلقائياً . ويمكن ان يتم اختيار احد الطولين الموجيين السابقين باختيار المرنان المناسب .

يستعمل في ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون خليط من ثلاثة غازات هي (ثنائي أوكسيد الكاربون ، النايتروجين ، الهليوم) فتقوم جزيئات النايتروجين بنقل الطاقة الى جزيئات ثنائي أوكسيد الكاربون، أما الهليوم فيستخدم في الخليط للمحافظة على درجة حرارته حيث ان معامل التوصيل الحراري عال وبذلك ينقل االحرارة الزائدة نحو الخارج .ويمكن لجزيئة ثنائي أوكسيد الكاربون أن تعطي قدرة عالية تصل الى حد 20 KW أو اكثر .ولهذا اصبحت لها اهمية خاصة من الناحية التجارية والعملية ، اما كفاءتها فتصل الى حد% 10 وبذلك تعد من أكثر الليزرات كفاءة ، فتستخدم في القطع واللحام والتثقيب الدقيق ، والمعالجات الحرارية ، فضلاً عن استخداماتها الطبية والبحثية .

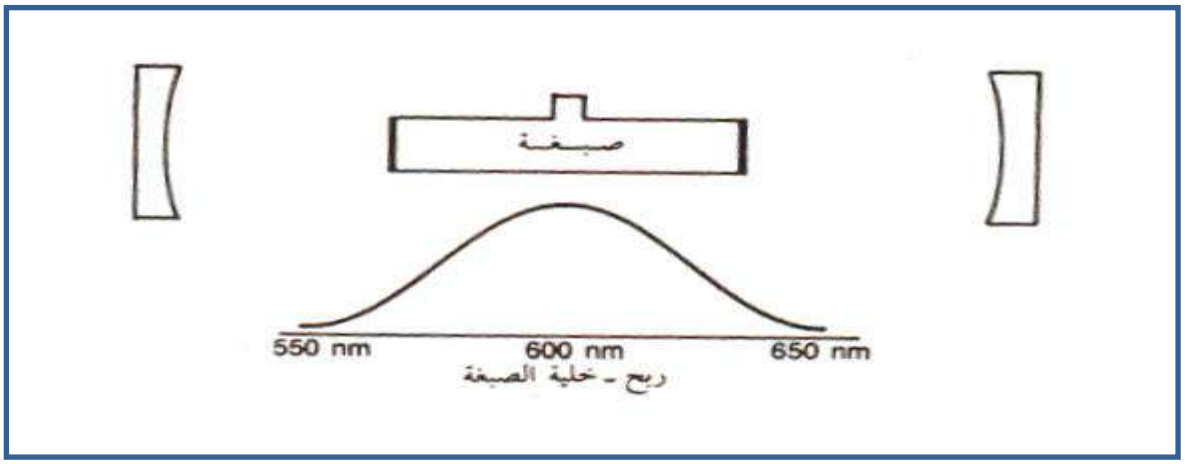
ومن الليزرات البحثية الحديثة التي لديها العديد من التطبيقات. ليزرات الأكزايمر Excimer والتي تحضر فيها جزيئة من ذرات لايمكن لها ان تتحد وتكون جزيئة في الظروف الاعتيادية ، فتحضر مثلاً جزيئة من احدى ذرات الغازات الخاملة، كالأركون، وذرة من الهالوجينات، كالفلور، لتكون جزيئة فلوريد الأركون ArF .

(4-7) ليزر السائل:-

ناقشنا في الفصول السابقة المنظومات غير الخطية التي يمكن بوساطتها التحكم بالطول الموجي لشعاع الليزر الخارج (اي يمكن تنغيم الطول الموجي) ، وفي ليزرات الصبغة تتوفر هذه الخاصية ايضاً، اذ يمكن تنغيم الطول الموجي للشعاع الخارج منها ، وتستخدم جزيئات المواد العضوية كوسط فعال فيها، وتكون هذه مذابة في وسط مائي. تكون هذه الجزيئات طويلة ولها العديد من مستويات الطاقة الدورانية والاهتزازية لكل مستوى طاقة الكترون. وتكون هذه المستويات متقاربة مع بعضها البعض بشكل يظهر المستوى الألكتروني وكأنه مستوى واحد عريض (سميك). فعندما تنتقل جزيئة من هذا المستوى العريض الى مستوى اوطأ منه يعتمد الطول الموجي للضوء الخارج على نقطتي البدء والنهاية لهذين المستويين، ونتيجة لذلك يكون عرض نطاق الشعاع المنبعث كبيراً جداً، بحيث يصل الى حد (100) nm في بعض انواع ليزرات الصبغة، كما هو موضح في الشكل (7-15) .

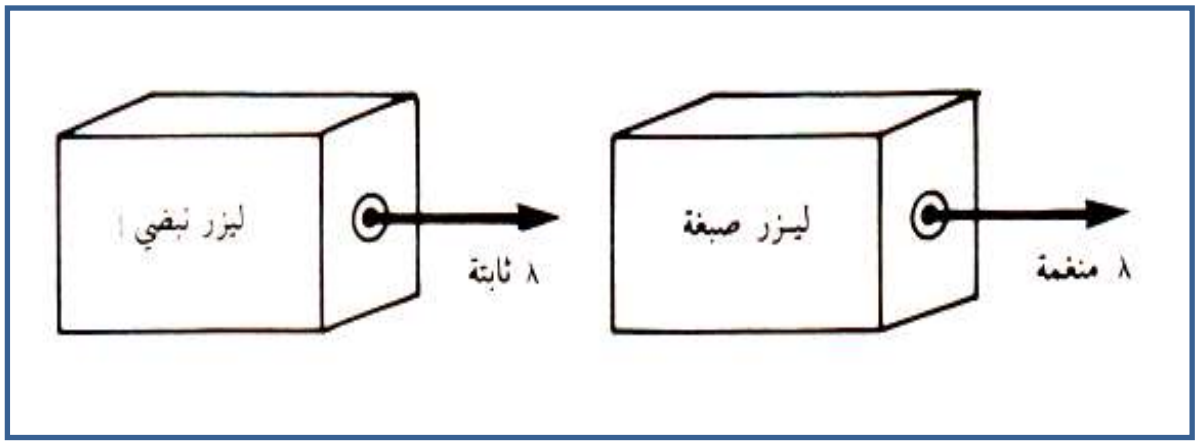
ويتم التحكم بعرض النطاق في ليزر الصبغة بالتحكم بعرض نطاق التغذية العكسية للمرنان، فتستخدم المواشير او المحززات أو المرشحات المزدوجة الانكسارية لذلك الغرض للتقليل من عرض نطاق التردد في هذا النوع من الليزرات, ونظراً لأنّ عرض نطاق التردد لليزر الصبغة كبير فيمكن تنغيم شعاع الليزر

على التردد المطلوب، فإذا ما وضعنا موشوراً أو اكثر في الليزر المبين في الشكل (7-15) أمكننا الحصول على عرض نطاق اقل من الـ (100) nm.



شكل (7-15) : يبين عرض النطاق في الربح لليزر الصبغة كبيرا جدا

تضخ الطاقة في ليزرات الصبغة بطريقة ضوئية غالباً، وتستخدم المصابيح الوهاجة او انواع اخرى من الليزرات ،كما مبين في الشكل (7-16)، وكذلك في عملية الضخ الضوئي في الأنواع الأخرى من الليزرات فيتوجب استخدام طول موجي اقصرمن الطول الموجي للشعاع الصادرمن الليزر (هل تعلم لماذا؟) تستعمل ليزرات تقع اطوالها الموجية في المدى فوق البنفسجي عندما يراد الحصول على شعاع أزرق من ليزر الصبغة مثلاً، وهكذا .تستخدم ليزرات الصبغة بصورة واسعة في مجالات الأبحاث. إذ يعد طولها الموجي القابل للتنغيم أداة فاعلة في دراسة الاطياف والكيمياء الضوئية, وتستخدم في عملية فصل النظائر ولاسيما نظائــر اليورانيوم .



شكل (7-16) : يبين شعاع الليزر في عملية ضخ الطاقة في الليزر الصبغي

(7-5)الليزر الكيمياوي

لايصف هذا النوع من الليزر حالة المادة الفعالة التي تعمل كوسط لليزر ولكنه يشير إلى الطريقة التي تتم فيها عملية الضخ والتأهيل العكسي ، فقد تكون المواد الكيمياوية المستخدمة للتفاعل بحالة صلبة أو سائلة أو بحالة غاز وأنه غالباً مايستخدم الغاز في أنواع هذا الليزر, ففي الليزر الكيمياوي تتكون جزيئة الوسط الفعال نتيجة التفاعل الكيمياوي بين المواد المستخدمة وتؤدي الطاقة المتحررة عن التفاعل إلى تهيج هذه الجزيئات مسببة الأنبعاث المحفز بين مستوياتها التذبذبية ، لذا يقع معظم الأشعاع في مدى الأشعة تحت الحمراء أي بين (1-10) μm. وتتميز الليزرات الكيميائية كليزر الهيدروجين والفلور والاوكسجين واليود بقدرتها على توليد نبضات ذات قدرات عالية قد نصل الى الميكاواط ولذلك فإن أكثر استخداماتها في اسلحة الليزر إذ تستخدم نبضات الليزر عالية الطاقة في تدمير الأهداف بدلاً من القذائف التقليدية ولكن العيب في هذا النوع من الليزرات بأنها كبيرة الحجم قد تحتل عدة غرف وكذلك نحتاج الى إمداد مستمر بالمواد الكيميائية لكي تعمل ولهذا فإنه يصعب نقلها إلا من خلال تركيبها في السفن أو في الطائرات الكبيرة .

إنّ أهمية هذا الليزر تقع في أن تشغيله لايحتاج إلى دوائر ألكترونية معقدة ولا إلى مصادر خارجية لضخ الطاقة بأستمرار كما يتوقع أن تؤدي الطاقة العالية الناتجة عن التفاعل الكيمياوي لوحدة الحجم والكتلة إلى أنتاج ليزر ذي قدرة عالية , وإن الليزر الكيمياوي يمكن أن ينتج نبضات ليزر بقدرة أعلى مما تنتجه الأنواع الأخرى .

يمكن تمثيل التفاعل الكيمياوي المستخدم في هذا النوع من الليزر على النحو الآتي :

$$A+BC \longrightarrow AB + C + \text{طاقة}$$

إنّ الجزيئة AB الناتجة عن التفاعل تمثل جزيئة الوسط الفعال لليزر وإنّ الطاقة المتحررة من التفاعل تعمل على تهيج هذه الجزيئات .

(6-7) ليزر شبه الموصل :-

شبه الموصل مادة صلبة بلورية فيها تشكل الذرات المفردة شبيكة دورية. معامل توصيلها الكهربائي أقل بكثير من معامل التوصيل الكهربائي للفلزات . تختلف عن البلورات الأيونية الصلبة في طريقة تمثيل مستويات الطاقة ومن ثَمَّ ميكانيكية الضخ وعملية الأنبعاث الضوئي .

يختلف ليزر شبه الموصل عن ليزر الحالة الصلبة في أغلب الصفات الفيزيائية والهندسية وأبرزها الأختلاف في الحجم ، فلا يتجاوز أكبر بعد في ليزر شبه الموصل عن (1)mm قد يصل مادون حجم حبة العدس ومن مميزاتها سهولة عملية الضخ فيها من خلال استخدام التيار الكهربائي وبسبب هذه المميزات انتشر اسخدامها في التطبيقات التي تحتاج ليزرات صغيرة الحجم ولاتستهلك كمية كبيرة من الطاقة كما في انظمة الاتصالات الضوئية وفي الاقراص الضوئية المدمجة وفي الطابعات واجهزة المساحة ,وقد انتج من الليزرات شبه الموصلة في عام 2004م فقط مايقارب من 750 M ليزر، بينما كان مجموع ما انتج من بقية انواع الليزرات 150 M ليزر وإنّ الخصائص الفيزيائية لشبه الموصل ذات العلاقة بعمل الليزر تتغير مع الظروف الخارجية كالضغط ودرجة الحرارة وتختلف عن خصائص البلورات الأيونية أو الزجاج في ليزر الحالة الصلبة .

أسئلة ومسائل الفصل السابع

س1: اختر العبارة الصحيحة لكل ما ياتي ؟

1- ان ليزر الياقوت يعطي شعاعا طوله الموجي :

a- 330nm

b- 1046nm

c- 694nm

d- 337nm

2- تتم عملية الضخ لليزر هيليوم – نيون باستعمال :

a- مصباح هالوجيني

b- تيار كهربائي

c- ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون

d- تفاعل كيمياوي

3- لتقليل التضخم الحاصل للاشعة تحت الحمراء لليزر هيليوم – نيون نستعمل :

a- عدسات ذات بعد بؤري كبير

b- قطع من المغانط الثابتة على طول الانبوب

c- صفائح متوازية

d- انابيب يمر بها سائل للتبريد

س2: لماذا نستخدم منظومة تبريد في ليزرات الحالة الصلبة؟

س3:ماهي مميزات ليزر الياقوت؟

س4:ماهي استعمالات ليزر النيديميوم؟

س5:ماذا نستعمل لتحديد الطول الموجي الخارج من الليزر الايوني؟

س6:ماهي وظيفة الهيليوم والنايتروجين في ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون؟

س7:ماهي طريقة الضخ في الليزرات الاتية:

1-ليزر فلوريد الهيدروجين

2-ليزر الصبغة

3-ليزر ثنائي اوكسيد الكاربون

4-ليزر الياقوت

5-ليزر الاركون

6-ليزر النيديميوم ياك

7- ليزر شبه الموصل

س8:اعطي مثال لكل من الليزرات الاتية

1-ليزر الحالة الصلبة

2-الليزر الكيمياوي

3-ليزر السائل

4-ليزر الغاز الجزيئي

5-ليزر الغاز الايوني

س9-ماهي عيوب الليزر الكيمياوي؟

س10-اذكر اسعمالات ليزر شبه الموصل؟

الفهرس

ت	الفهرس	رقم الصفحة
1	**الفصل الأول**	**4**
2	المقدمة	5
3	بعض مفاهيم الموجات الضوئية	5
4	خواص الموجات الضوئية	6
5	انعكاس الضوء	8
6	أنكسار الضوء	9
7	تداخل الضوء	15
8	التداخل الضوئي	18
9	استقطاب الضوء	24
10	طرق استقطاب الضوء	26
11	استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي	26
12	استقطاب الضوء بالانعكاس	27
13	استقطاب الضوء بالتشتت (الاستطارة)	28
14	**الفصل الثاني**	31
15	المقدمة	32
16	فكرة الليزر	32

17	ارتباط الليزر والضوء بالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز	33
18	الانبعاث والامتصاص	33
19	الانبعاث التلقائي	33
20	الانبعاث المحفز	34
21	الامتصاص	35
22	معدل الامتصاص والانبعاث	35
23	الانتقالات المسموحة والممنوعة	36
24	**الفصل الثالث**	**43**
25	المقدمة	44
26	التأهيل العكسي وشرط العتبة	44
27	اسباب الخسائر في الليزر	44
28	شرط العتبة	44
29	خطط الضخ	45
30	قدرة الضخ	46
31	طرائق الضخ	46
32	الضخ البصري	46
33	الضخ الكهربائي	48
34	الضخ الكيمياوي	49

35	**الفصل الرابع**	**52**
36	المقدمة	53
37	تصاميم المرنان	53
38	الترصيف البصري	56
39	صيغ التذبذب للمرنان	57
40	**الفصل الخامس**	**60**
41	المقدمة	61
42	التشغيل المستمر والتشغيل المعتمد على الزمن	63
43	انتخاب خطوط الطيف لانبعاث الليزر	64
44	**الفصل السادس**	**71**
45	المقدمة	72
46	النقاوة الطيفية	72
47	الاتجاهية	73
48	التشاكه	76
49	التشاكه الزماني	76
50	التشاكه الفضائي	76
51	نموذج التلألؤ لنتاج الليزر	77
52	السطوع	78

53	الموالفة	78
54	نبضات شديدة القصر	78
55	قياس خرج الليزر النبضي	79
56	**الفصل السابع**	**81**
57	المقدمة	82
58	ليزر الحالة الصلبة	82
59	ليزر الياقوت	84
60	ليزر النديميوم	88
61	الليزرات الغازية	89
62	ليزر الغاز الذري	88
63	ليزر الغاز الايوني	91
64	ليزر الغاز الجزيئي	93
65	ليزر السائل	95
66	ليزر الكيمياوي	96
67	ليزر شبة الموصل	97
68	الفهرس	100

تم بعون الله