

جمهورية العراق
وزارة التربية
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

تتقيق

لجنة من المديرية العامة للتعليم المهني

2025 - 1447

الطبعة الخامسة

المقدمة

بتوجيه من المديرية العامة للتعليم المهني وتنفيذاً " 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 الليزر وخلال السنوات العشرة الأخيرة موقعا في الحديث عن جوانب العلوم والتقنيات المختلفة.

ولقد وضع هذا الكتاب كي يكون منهجيا" لطلبة المرحلة الاولى/صناعي على أمل 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 وأنواعه ، إما الفصل الخامس فتضمن نتاج الليزر وتحويراته،إما الفصل السادس فقد تم عرض خصائص أشعة الليزر وأنواع التشاكه ،إما الفصل السابع فخص أنواع الليزرات الصلبة والغازية والسائلة.

ولايسعنا الا ان نتقدم ببالح شكرنا وتقديرنا للأساتذة الأفاضل الذين ساهموا بتقييم الكتاب وإبداء ملاحظاتهم وتوجيهاتهم من الخبراء العلميين والخبير اللغوي ونخص بالذكر السادة الأفاضل :

د.عباس كاظم منسف

د.شفاء مجيد المرسومي

أ.د. حازم لويس منصور

معهد الجوادين لإعداد

خبيرة

خبير

المعلمين

المديرية العامة للمناهج

الجامعة المستنصرية

المؤلفون

ومن الله التوفيق

1433هـ / 2012م

الفهرس

ت	الفهرس	رقم الصفحة
1	الفهرست	4
2	الفصل الأول	8
3	المقدمة	9
4	بعض مفاهيم الموجات الضوئية	9
5	خواص الموجات الضوئية	10
6	انعكاس الضوء	12
7	أنكسار الضوء	14
8	تداخل الضوء	18
9	التداخل الضوئي	20
10	استقطاب الضوء	29
11	طرق استقطاب الضوء	30
12	استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي	30
13	استقطاب الضوء بالانعكاس	31
14	استقطاب الضوء بالتشتت (الاستطارة)	32
15	الفصل الثاني	35
16	المقدمة	36

36	فكرة الليزر	17
37	ارتباط الليزر والضوء بالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز	18
38	الانبعاث والامتصاص	19
38	الانبعاث التلقائي	20
39	الانبعاث المحفز	21
39	الامتصاص	22
40	معدل الامتصاص والانبعاث	23
40	الانتقالات المسموحة والممنوعة	24
47	الفصل الثالث	25
48	المقدمة	26
48	التأهيل العكسي وشرط العتبة	27
48	اسباب الخسائر في الليزر	28
48	شرط العتبة	29
49	خطط الضخ	30
50	قدرة الضخ	31
50	طرائق الضخ	32
51	الضخ البصري	33
53	الضخ الكهربائي	34

54	الضخ الكيميائي	35
56	الفصل الرابع	36
57	المقدمة	37
57	تصاميم المرنان	38
60	الترصيف البصري	39
61	صيغ التذبذب للمرنان	40
64	الفصل الخامس	41
65	المقدمة	42
67	التشغيل المستمر والتشغيل المعتمد على الزمن	43
68	انتخاب خطوط الطيف لانبعاث الليزر	44
74	الفصل السادس	45
75	المقدمة	46
75	النقاوة الطيفية	47
76	الاتجاهية	48
79	التشاكه	49
79	التشاكه الزمني	50
79	التشاكه الفضائي	51
80	نموذج التلاؤم لنتاج الليزر	52

81	السطوع	53
81	الموافقة	54
81	نبضات شديدة القصر	55
82	قياس خرج الليزر النبضي	56
84	الفصل السابع	57
85	المقدمة	58
85	ليزر الحالة الصلبة	59
87	ليزر الياقوت	60
91	ليزر النديميوم	61
92	الليزرات الغازية	62
92	ليزر الغاز الذري	63
94	ليزر الغاز الايوني	64
96	ليزر الغاز الجزيئي	65
98	ليزر السائل	66
99	ليزر الكيمياوي	67
100	ليزر شبة الموصل	68

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 :-

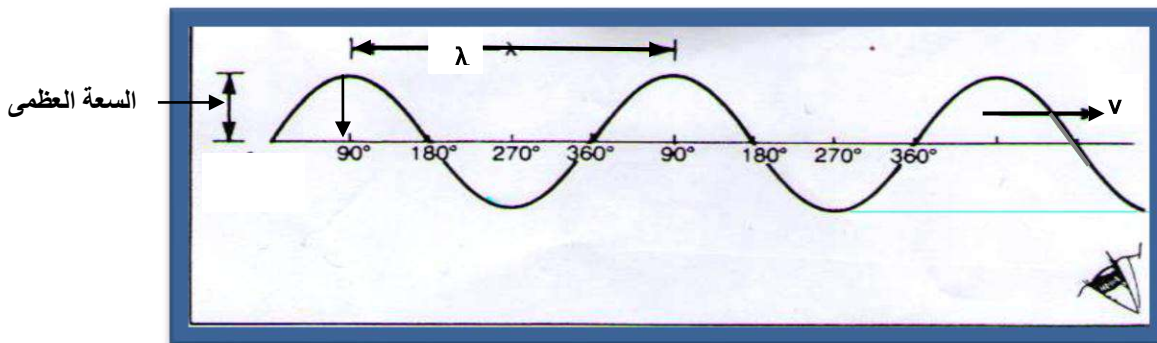
ما هو الضوء ؟ كيف ينتقل من مكان إلى آخر ؟ هذه هي الأسئلة التي سوف تطرح في هذا الفصل ، ولكن الأجابة على هذه الأسئلة هي ليست بالبسيطة . وليست طبيعة الضوء بالأمر السهل الفهم إذ لايتصرف الضوء دائما بالطريقة نفسها ، فهو يتصرف أحيانا وكأنه موجة ، وأحيانا أخرى وكأنه مكون من جسيمات. ولندرس الآن تصرف الضوء الموجي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

(2-1) بعض مفاهيم الموجات الضوئية :-

((الضوء هو موجة كهرومغناطيسية مستعرضة)) لنتفحص هذه العبارة التي تصف الضوء بشكل مختصر . الشكل (1-1) يمثل رسماً تخطيطياً للموجة بصورة عامة ، وتحرك 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 :-

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

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



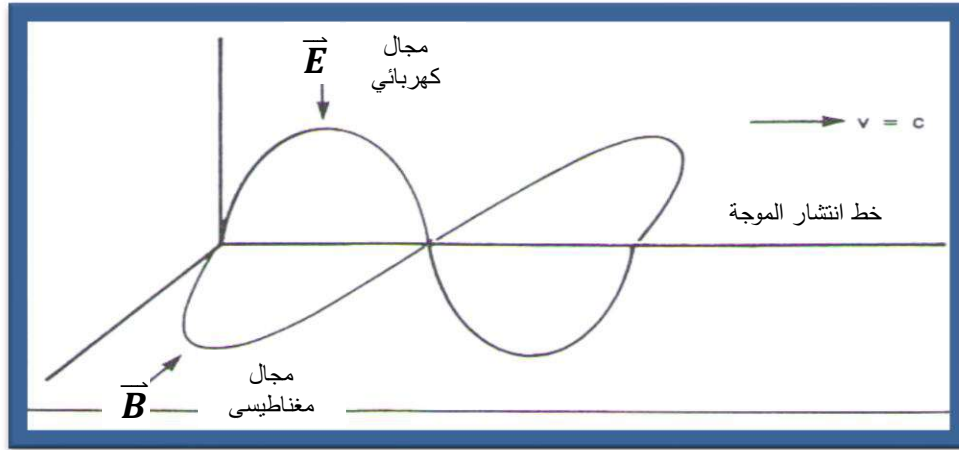
شكل (1-1) : موجة ومراقب

أما السعة فتمثل المسافة العمودية من خط انتشار الموجة إلى قمته ، أما الطور فيمثل جزءاً 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 و 270° 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 باتجاه عمودي لخط انتشار الموجة كـ (موجات الضوء) . وفي الثانية تهتز جزيئات الوسط باتجاه موازي لخط انتشار الموجة كـ (موجات الصوت) .

(3-1) خواص الموجات الضوئية:-

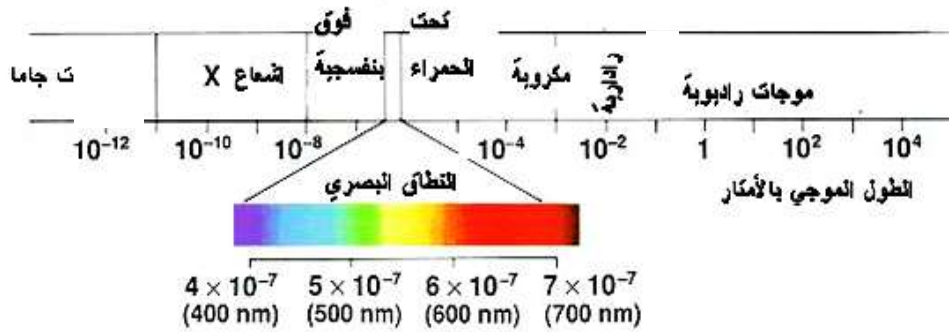
يُعدّ الضوء من الموجات المستعرضة التي تنتقل بالفراغ والتي لا تحتاج الى وسط مادي لانتقالها بخلاف الموجات الصوتية والموجات المائية التي تحتاج الى وسط مادي لانتقالها، فالضوء يُعدّ من الموجات الكهرومغناطيسية التي تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي ويكونان متلازمين ومتفقين في الطور أي (بالطور نفسه) وعمودين على خط انتشار الموجة وكما موضح بالشكل (2-1) إذ يمثل المجالين الكهربائي ($\vec{E}$) بالاتجاه الشاقولي والمغناطيسي ($\vec{B}$) بالاتجاه الأفقي لموجة ضوئية . وإنّ الموجات الكهرومغناطيسية تنتقل في الفراغ بسرعة ثابتة تساوي $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ وهي نفسها سرعة الضوء في الفراغ .



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

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 (3-1) والتي تمثل

جميعها موجات كهرومغناطيسية مستعرضة، لا تختلف فيما بينها سوى بالاطوال الموجية التي تتراوح بين عدة مئات من الامتار في الامواج الراديوية الطولية إلى أجزاء من المليون من السنتيمتر في أشعة كاما ، ولهذا يختلف تصرف الموجات في المناطق المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي اختلافاً كبيراً. وسنوجه اهتمامنا في هذا الفصل على ما يسمى بالجزء البصري من الطيف .



شكل (3-1) : 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 :

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

إذ ان :-

ν : تردد الضوء

h : كمية ثابتة تسمى ثابت بلانك ومقدارها هو $6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

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

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

الحل/

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\nu = 3.2 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$E = h\nu$$

$$E = 6.63 \times 10^{-34} \times 3.2 \times 10^{14}$$

$$E = 2.12 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(4-1) الانعكاس :-

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

هل تعلم أن المرأة التي تستعمل بكثرة في حياتنا اليومية هي عبارة عن سطح أملس مفضض ، يصنع بترسيب طبقة رقيقة من الفضة على السطح الخلفي للوح زجاجي .

ويعتمد مقدار الضوء المنعكس من سطح الجسم على :-

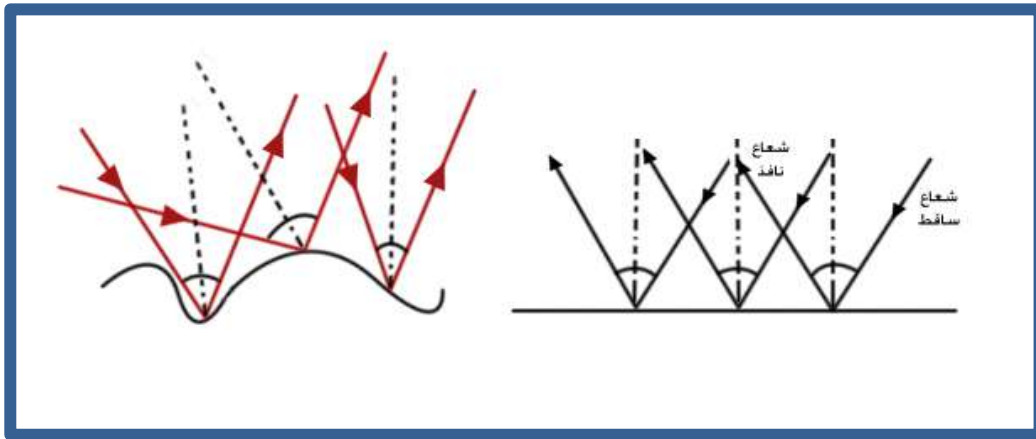
1- المادة المصنوع منها السطح .

2- الزاوية التي يصنعها الضوء مع السطح .

3- لون الضوء الساقط .

4- طبيعة السطح .

ويكون الانعكاس منتظماً 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 الأشعة المنعكسة في جميع الاتجاهات الممكنة لتكون ما يعرف بظاهرة التشـتت .



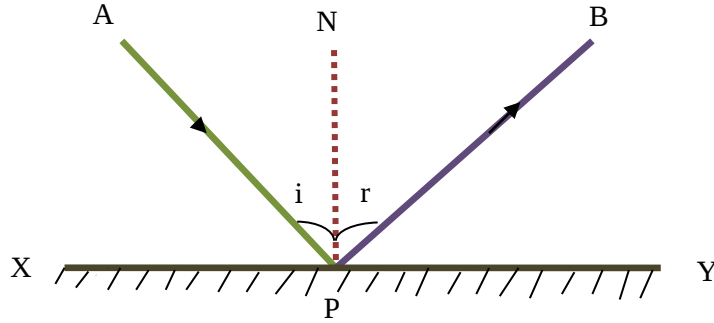
(B) الانعكاس غير المنتظم

(A) الانعكاس المنتظم

شكل (4-1) انعكاس الأشعة على الأسطح

وجدير بالذكر أن جميع الأشياء التي نراها في حياتنا اليومية، كالزهور والكتب والملابس وغيرها من المرئيات، إنما ترى نتيجة لتشتت الضوء الساقط عليها بسبب خشونة السطح إلا أن زاوية سقوط الأشعة عند نقطة ما تختلف عنها عند نقطة أخرى، بخلاف ما يحدث عند سطح مصقول . وانعكاس ضوء الشمس على دقائق الغبار المنتشرة في الجو هذا يؤدي إلى انتشار الضوء المنعكس في جميع الاتجاهات فتغمر الأرض 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 (5-1) .



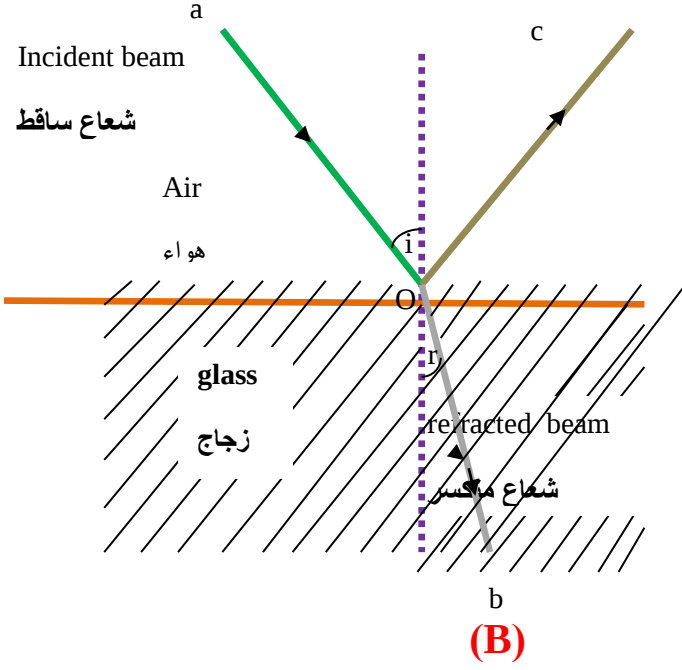
شكل (5-1) يبين ظاهرة الانعكاس من على سطح مرآة مستوية وتمثل (i) زاوية السقوط ، (r) زاوية الانعكاس عند النقطة (P) على سطح المرآة
وبناءً على ذلك يمكن تلخيص قانوني الانعكاس بما يأتي:-

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 آخر فإنه يعاني انحرافا عند السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين ،ويتبع مساراً جديداً كما موضح في الشكل (6-1). تعرف هذه الظاهرة بـ (انكسار) الضوء.



شكل (6-1)

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

B- مسار الشعاع المنكسر b داخل الزجاج والجزء المنعكس c عند السطح

قانونا الانكسار:-

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

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

ثانياً:- النسبة بين جيب زاوية السقوط الى جيب زاوية الانكسار لأيّ وسطين شفافين تكون دائماً ثابتة بثبات الوسطين .

ومن الشكل (6-1) نجد أن :-

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

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

وعليه فإن :

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

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \quad \text{قانون سنيل}$$

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

الحل/

$$n_1 = 1$$

$$\theta_r = 56^\circ$$

$$\theta_i = 30^\circ$$

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \quad \text{قانون سنيل}$$

$$1 * \sin 56 = n_2 * \sin 30$$

$$n_2 = \sin 56^\circ / \sin 30^\circ$$

$$n_2 = 1.66$$

(6-1) معامل الانكسار:-

تعرف النسبة المعرفة بالعلاقة (3-1) بمعامل الانكسار (n_2) النسبي للوسطين الشفافين المعطيين . إذ إن هذه النسبة تعتمد على لون الضوء الساقط (الطول الموجي للضوء) فقد جرى العرف على حساب هذه النسبة باستخدام اللون الاصفر ذي الطول الموجي $5890 \text{ \AA}$ وإذا ميزنا وسط السقوط بالرقم (1) ووسط الانكسار بالرقم (2) فإن معامل الانكسار النسبي يمكن كتابته على الصورة n_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 .

وبين الجدول (1-1) في صفحة (17) معامل الانكسار المطلق لعدد من المواد ، وذلك عند الطول الموجي $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ والخاص بضوء الصوديوم .

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

$$n_2 = \frac{n_2}{n_1} \dots \dots \dots (4 - 1)$$

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

$$n_2 = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \dots \dots \dots (5 - 1)$$

مثال/ إذا 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

$$n_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_2 = \frac{1.5}{1.33}$$

$$n_2 = 1.13$$

من الزجاج الى الماء.2

$$n_2 = \frac{1.33}{1.5}$$

$$n_2 = 0.887$$

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

الوسط	معامل الانكسار (n)
ماء	1.33
كحول إيثيلي	1.36
ثاني كبريتيد الكربون	1.63
يوريد الميثيلين	1.74
زجاج تاجي	1.52
زجاج صخري كثيف	1.66
كلوريد الصوديوم	1.53
بولي إيثيلين	1.52
فلوريت	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:

$$n_2 = \frac{v_1}{v_2} \dots \dots \dots (6 - 1)$$

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

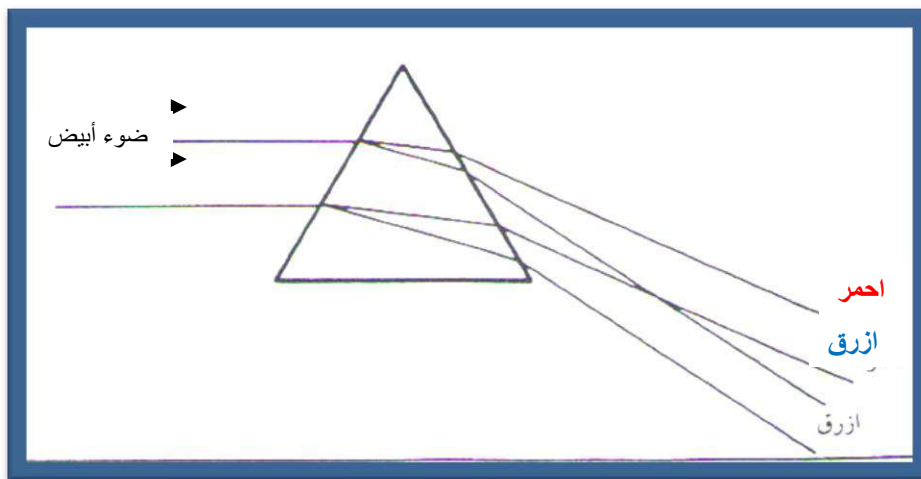
ولكون:

$$n_2 = \frac{c}{v} \dots \dots \dots (7-1)$$

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

الموشور عبارة عن قطعة زجاجية مثلثة الشكل عند سقوط الضوء الأبيض 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.

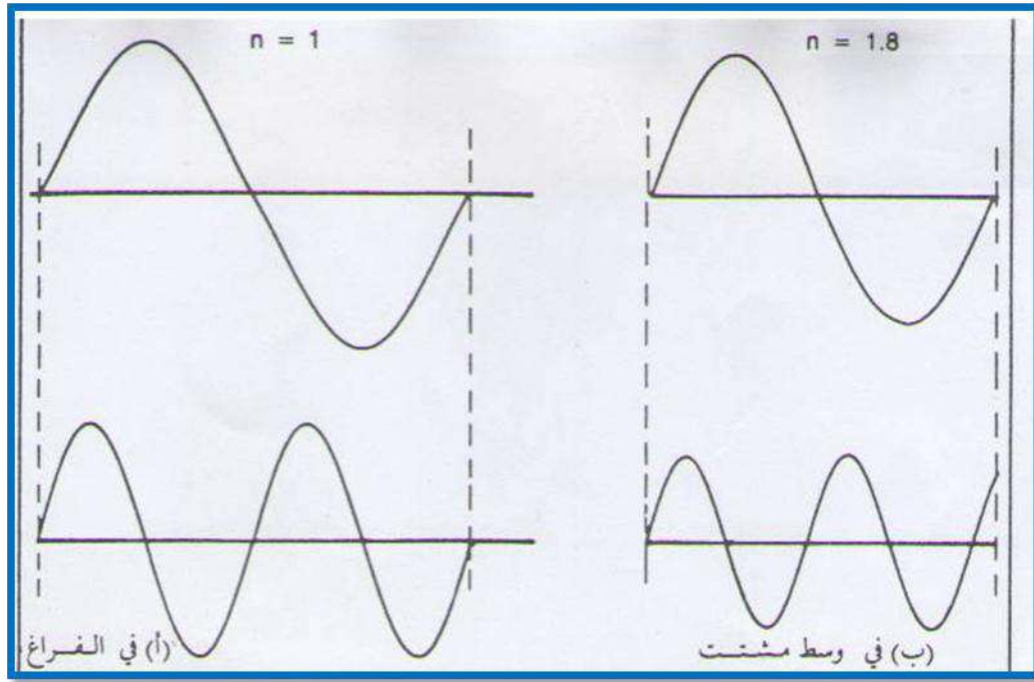
ويوضح الشكل (7-1) كيفية قيام الموشور بتفريق الضوء الأبيض الى مكوناته ، اذ تصل جبهتا الضوء الأحمر والأزرق الى الموشور في وقت واحد، فيتباطىء الضوء الأزرق اكثر قليلاً من الضوء الأحمر داخل مادة الموشور، مما يؤدي الى انكساره بزواوية أكبر من زاوية انكسار الضوء الأحمر، و لذلك يخرج اللونان بزواوية مختلفة من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



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

يُعدّ تردد الضوء مقياساً لطاقته ، و لكون الطاقة محفوظة ، فإن الطول الموجي للضوء هو الذي يتغير فضلاً عن سرعته عند انتقاله من وسط الى اخر ، وهذا التغير يتناسب مع النسبة بين معامل انكسار 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 (8-1) .



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

مثال :-

إذا كانت سرعة الضوء في الماء (225000 Km/s) فكم هو معامل الانكسار المطلق للماء إذا علمت أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3×10^5 km/s ؟

الحل :-

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

$$n_2 = \frac{v_1}{v_2}$$

$$300000 / 225000 = 4/3$$

(7-1) التداخل في الضوء

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

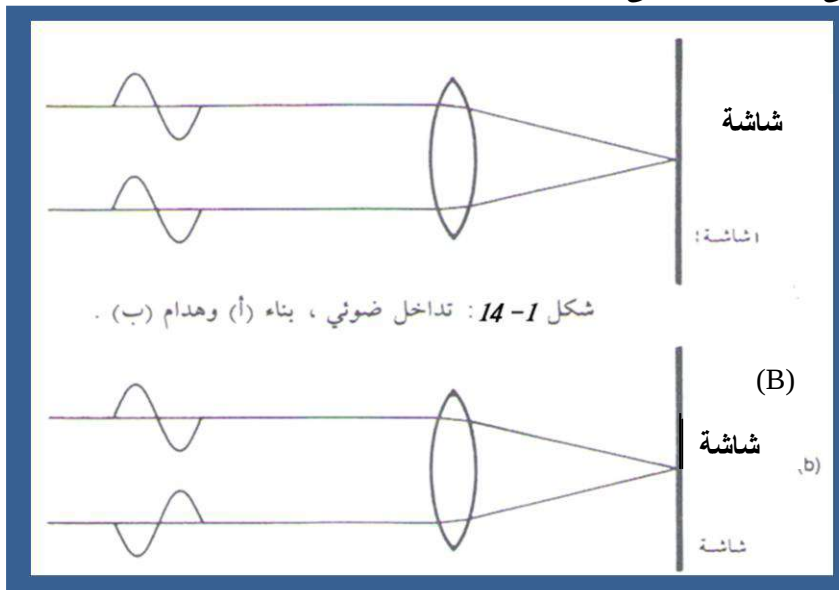
وسندرس في هذا الفصل تفاصيل هذه الظاهرة ونتطرق الى بعض الأمثلة التي نستلهمها من حياتنا اليومية ، واخيرا سنعرض مثالين مهمين لهذه الظاهرة في تكنولوجيا الليزر، و هما :

١- تداخل الأغشية الرقيقة.

٢- تجربة يونك ذات الشق المزدوج .

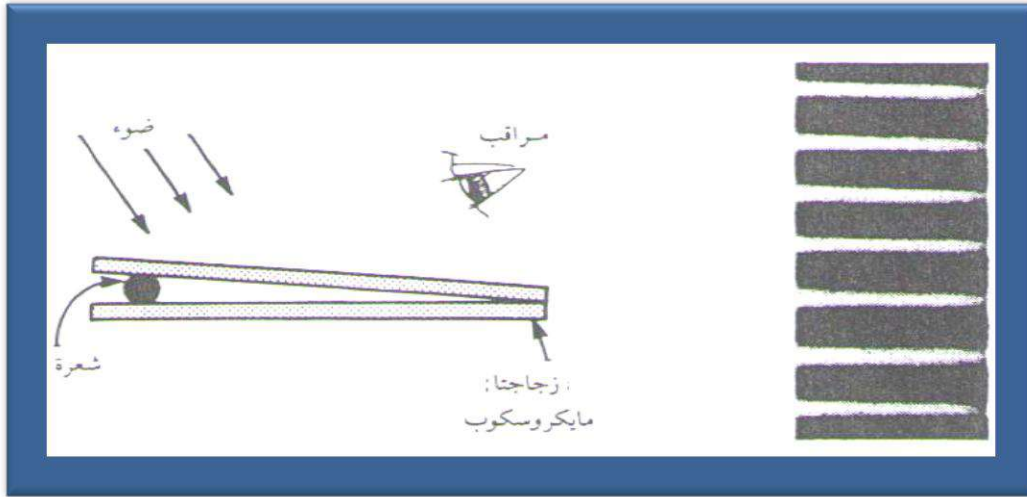
يُعرف التداخل (Interference) بأنه إذا التقى شعاعان من الضوء لهما نفس التردد، والتقت قمة الموجة لأحدهما بقعر الموجة للثاني، فإن مُحَصِّلَة شدة الاستضاءة تكون في نهايتها الصغرى. فإذا التقت القمة بالقمة، أو القعر بالقعر، فإن المُحَصِّلَة تكون في نهايتها الكبرى. والشكل الناتج عن مناطق الاضاءة العالية ومناطق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

وهذه الظاهرة تشاهد في الحركات الموجية المختلفة. وتتداخل الموجات الضوئية فيما بينها عند تقاطعها 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 (9-1 A) الموجتان في طور واحد فسنحصل على بقعة مضيئة على الشاشة . واما الشكل (9-1 B) فالموجتان بطور مختلف فلا نحصل على أية اضاءة على الشاشة .



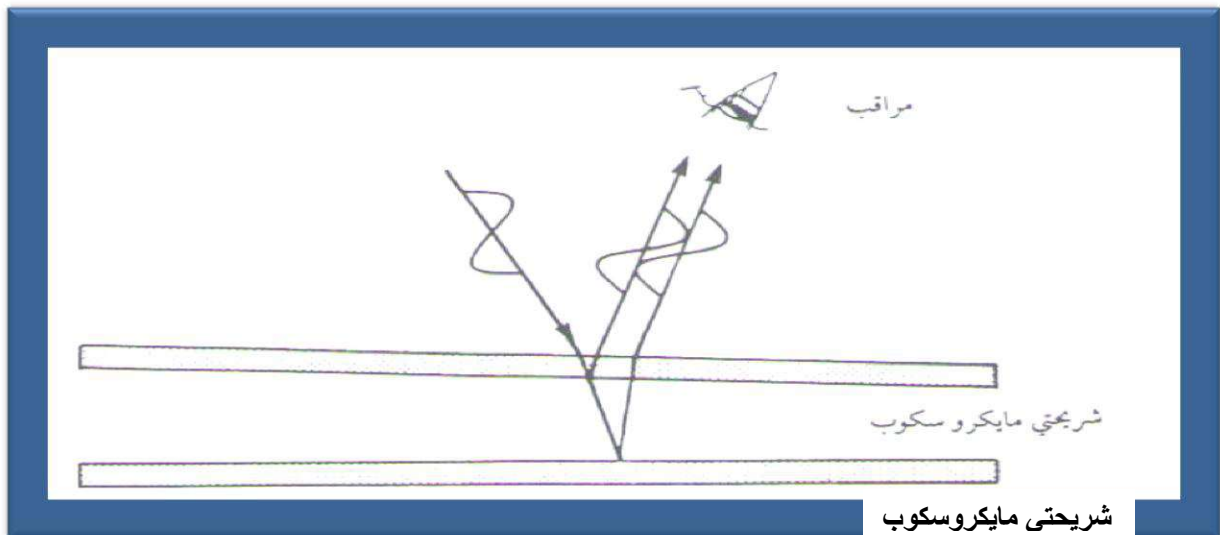
(9-1): تداخل ضوئي (A) تداخل بناء (B) تداخل هدام (اتلافي)

ومن ابسط الأمثلة على التداخل الضوئي المثال المبين في الشكل (10-1) فإذا 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 .



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

ونلاحظ في الشكل (11-1) مصدر الموجتين ، إذ تصدر الأولى من الشريحة العليا ، والأخرى من الشريحة السفلى (هذا بأهمال الانعكاس من السطحين الآخرين للشريحتين و اللذين يعملان بالمبدأ نفسه) وتسقط الموجتان على شبكية العين بواسطة عدستها .

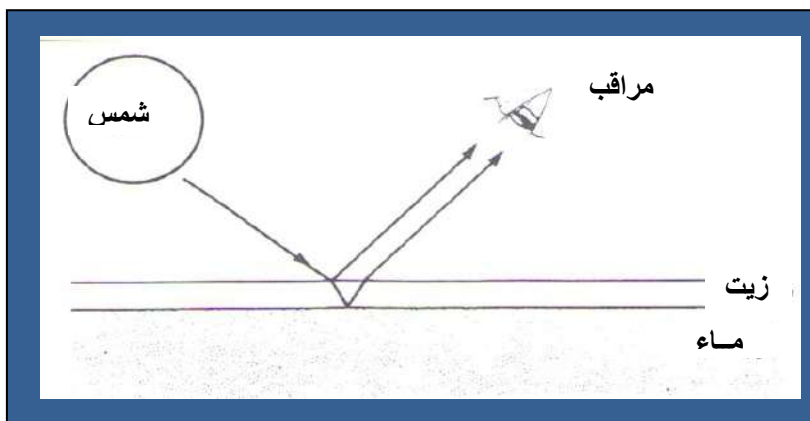


شكل (11-1) يبين التداخل البناء عندما يكون فرق المسار بين الموجتين مساوياً لعدد صحيح من الأطوال الموجية

فالموجتان صدرت من موجة واحدة ، فشطرت الى جزئين نتيجة الانعكاس 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 بناءً 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 بناءً وهداماً إذ تحركنا قليلا، وهذا نتيجة إختلاف فرق المسار بين الموجتين وبأستمرار تحركنا سنلاحظ سلسلة من الأهداب المضيئة و المظلمة ، كالتى لاحظناها في الشكل (10-1) .

أمثلة يومية عن التداخل الضوئي:-

لو وضعت طبقة من الزيت على سطح بركة ماء فسوف تشاهد ألواناً زاهية ناتجة عنها ، وكذلك تظهر هذه الالوان على جوانب فقاعات الصابون، فإن هذا يعني حصول تداخل ضوئي ناتج عن الأغشية الرقيقة . فوجود طبقة الزيت الرقيقة في الشكل (12-1) 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 بناءً عندما يكون فرق المسار بين الموجتين مساوياً عدداً صحيحاً من طوله الموجي**، ولو غيرنا زاوية النظر نشاهد لوناً آخر نتيجة لتغير فرق المسار الضوئي بين الشعاعين. وينطبق المبدأ ذاته على فقاعة الصابون ايضاً، إذ يكون أحد الإنعكاسات من السطح الخارجي للفقاعة بينما يكون الآخر من السطح الداخلي لها.



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

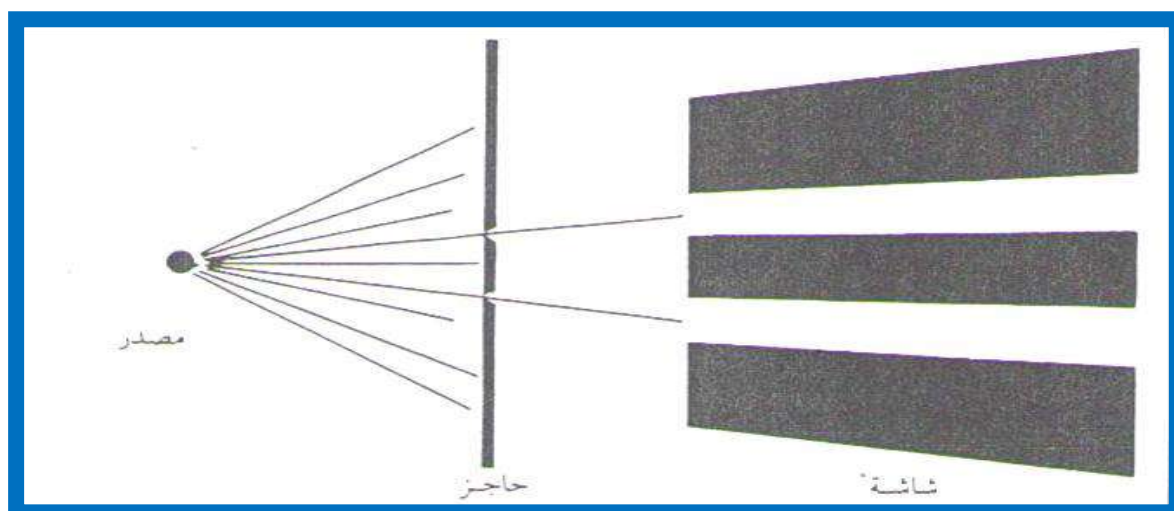
عندما ننظر الى صورة فوتوغرافية أمام أشعة الشمس ، نشاهد ألوان الطيف الشمسي تنعكس نحونا عند تحريكها وهذا ناتج عن حيود أشعة الشمس من الخطوط الموجودة على سطح الصورة .

ويعرف الحيود : بأنه انبساط الضوء على المناطق التي تقع خلف العائق قد يكون شق أو سلك رقيق أو جسم ذو حافة حادة إذ بتحريكها يتغير فرق المسار الضوئي الواصل إلى العين وبذلك نحصل على تداخل هدام أو بناء اعتماداً على الطول الموجي للأشعة فتعمل الصورة عمل محرز.

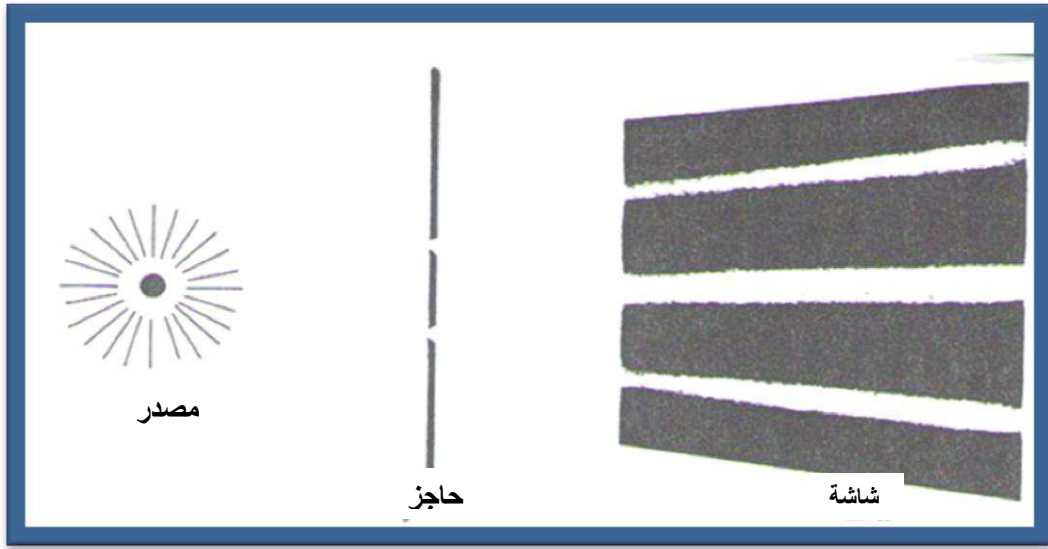
وهناك أنواع أخرى من المحزرات التي تصنع على شكل لصقات تلصق على زجاج وأبدان السيارات ، إذ تتغير ألوانها بمجرد تغير زاوية النظر ، وهناك الكثير من أنواع الحلي الصناعية تستخدم هذه الظاهرة لنحصل منها على ألوان زاهية وبراقة .

تجربة يونك ذات الشق المزدوج:

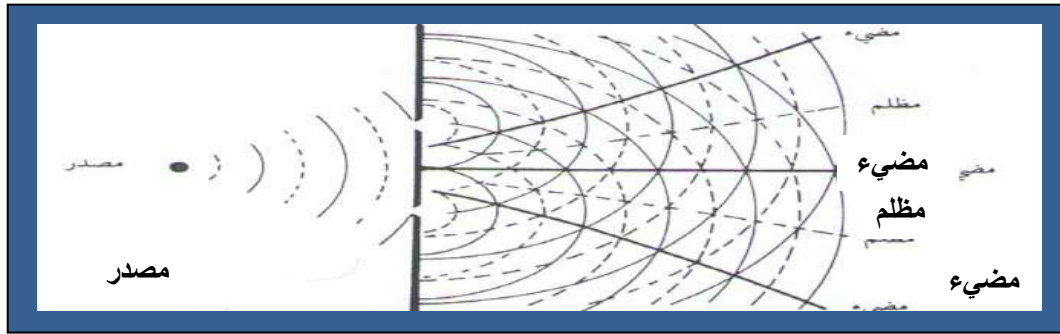
عند وضع ورقة سميكة تحتوي على شقين متقاربين أمام مصدر ضوئي أحادي اللون كما موضح في الشكل (13-1) فسوف تظهر لنا سلسلة من الخطوط (الأهداب) المضيئة والمظلمة على الشاشة التي أمامها بدلاً من صورة الشقين الموضحة في الشكل (14-1) فتكون المنطقة الأكثر إضاءة في منتصف الشاشة. والشكل (15-1) يبين الموجات الساقطة على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



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



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



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

الموجية للضوء

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

والسؤال يطرح نفسه كيف يتم توزيع الضوء بين النقطتين P_1 المضيئة و P_2 المظلمة ؟

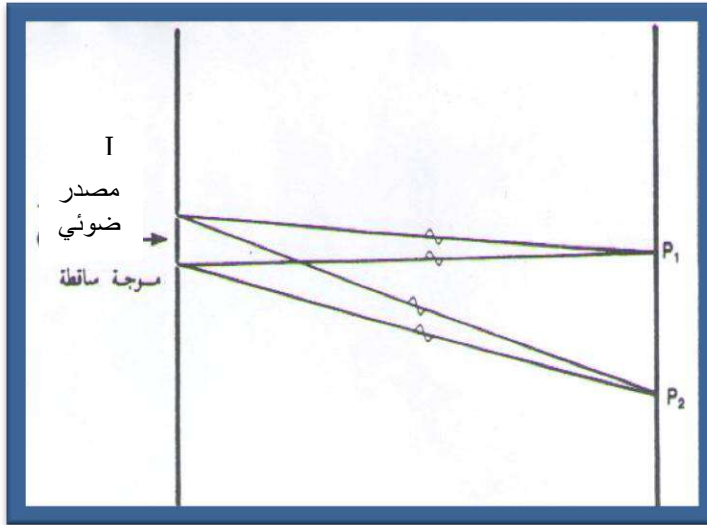
فكلما تحركنا من النقطة P_2 باتجاه النقطة P_1 تصبح الشاشة أكثر إضاءة ، إذ يتقارب طوراً الموجتين من بعضهما وكذلك الحال بالنسبة للنقاط الأخرى على الشاشة ، ولحساب مواقع المناطق المضيئة والمظلمة على الشاشة ،

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

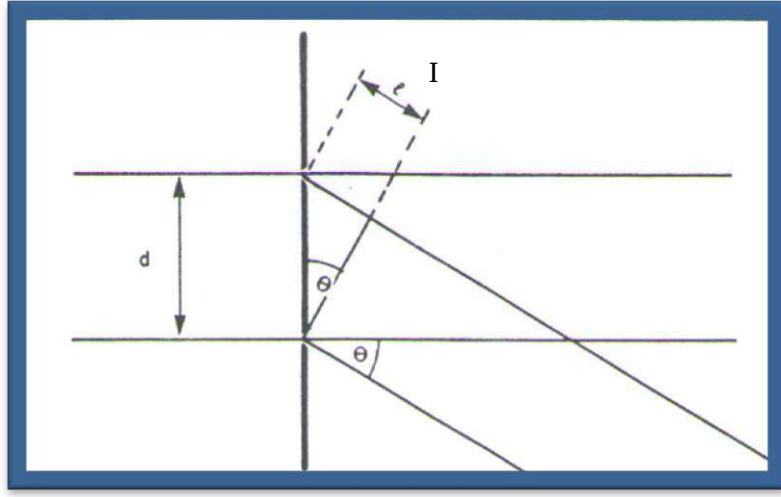
$$n\lambda = d \sin \theta \quad \dots \quad (8-1a) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{تداخل بناء (اهداًب مضيئة)}$$

كما نحصل على التداخل الاتلافي (اهداًب مظلمة) عندما :

$$(n + \frac{1}{2})\lambda = d \sin \theta \quad \dots \quad (8-1b) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad \text{تداخل اتلافي (اهداًب مظلمة)}$$



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



شكل (17-1): شكل مكبر لتجربة يونك

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

$$\lambda = \frac{dY_n}{nx} \quad \dots\dots (9-1)$$

اذ أن :-

(d) البعد بين الشقين

(Y_n) بعد صورة الهدب المضيء عن الهدب المركزي المضيء

(n) رقم المرتبة (عدد صحيح)

(x) بعد الشاشة عن كل من الشقين

مثال :- ما طول موجة الضوء المقاسة بتجربة يونك اذا 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 .

الحل :-

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

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

$$n = 4 \text{ (رقم المرتبة)}$$

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

$$\lambda = \frac{24 \times 10^{-5} \times 16 \times 10^{-3}}{4 \times 1.6} = 6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}$$

$$(1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm})$$

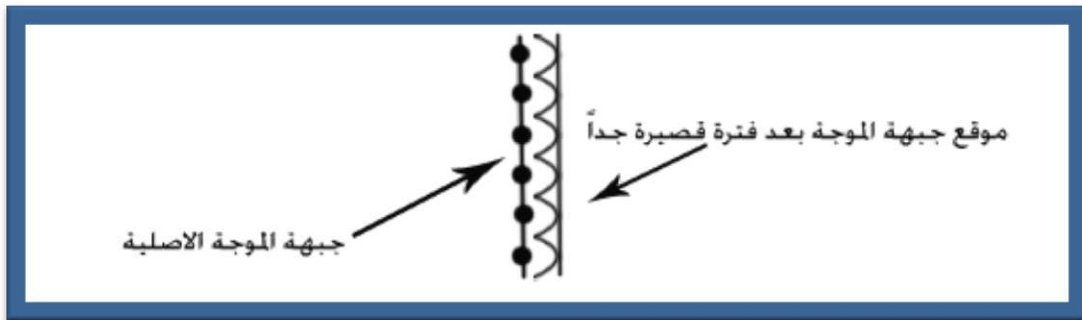
تحصل ظاهرة الحيود للموجات الضوئية عند عبورها شقوق ضيقة جداً أو عند اصطدامها بجزيئات عالقة الجو احجامها صغيرة مقارنة للطول الموجي للضوء الساقط وهذه الظاهرة وضحاها العالم الفيزيائي هاكنز عام 1678.

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

وبحسب مبدأ هاكنز 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 حالياً ، ويمكن بواسطتها 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 لأسطح كروية (الخط المنقط) الموضح في الشكل ادناه.



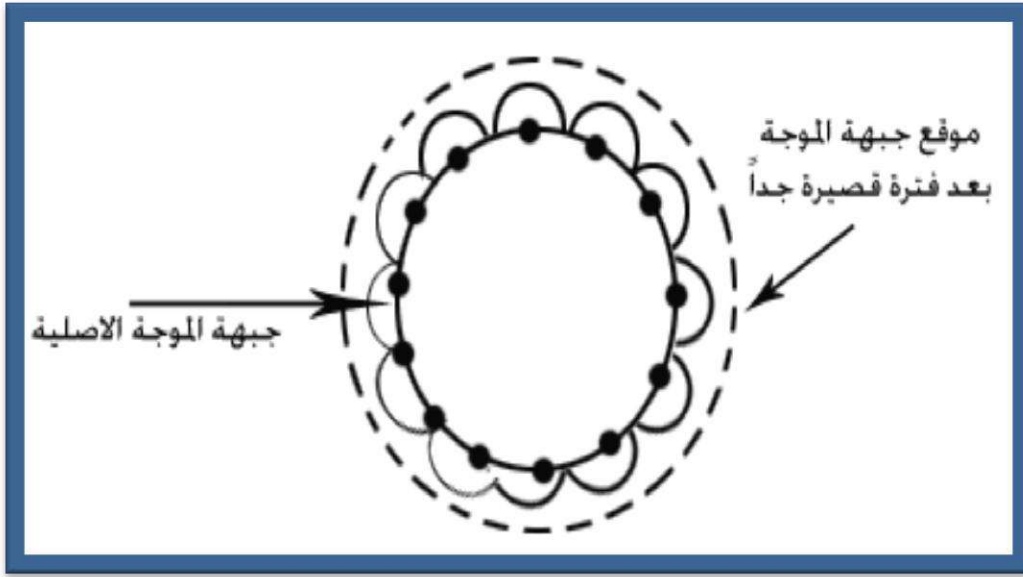
شكل (18-1) : مبدأ هاكنز والموجات المستوية

إذا ما تساءلنا أين ذهبت جبهة الموجة الجديدة والناجمة 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 هاينز سؤال كهذا ليعد الأجوبة له ، ولم تكن لديه معلومات كافية عن طبيعة الضوء في ذلك الوقت ، والأجوبة الكاملة على هذا السؤال نجدها عندما ندرس معادلات ماكسويل MAXWELL والتي هي خارج مستوى هذا الكتاب . ويمكن الحصول على جواب مقنع بأسلوب آخر أبسط .

وكمثال آخر على مبدأ هاينز هو ما نراه في الشكل (19-1) إذ أن هناك موجة كروية تولد النقاط التي على سطحها موجات جديدة ، تبتعد عن مصادرها.

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



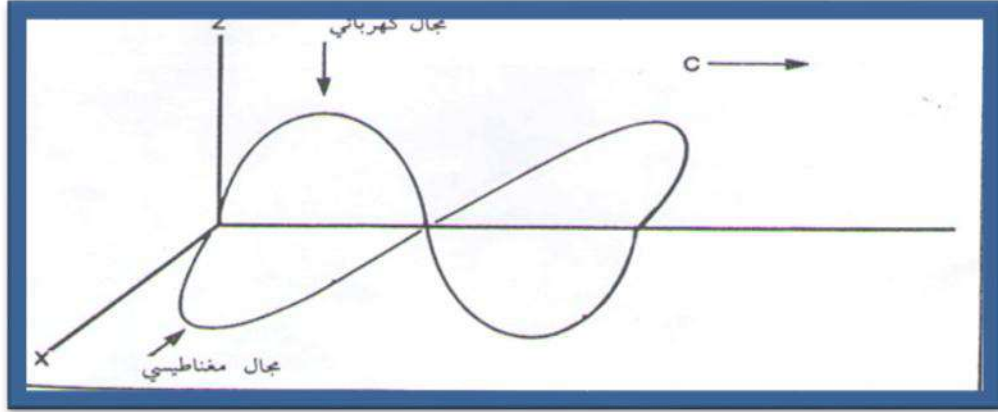
شكل(19-1) : مبدأ هاينز والموجات الكروية

(9-1) استقطاب الضوء

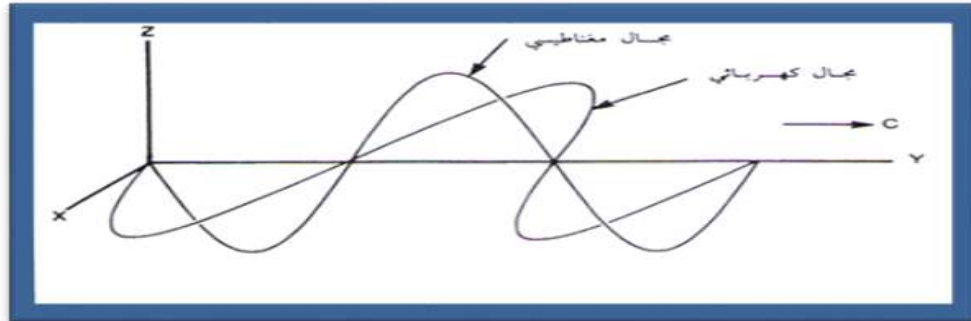
يعرف الاستقطاب بأنه الضوء الذي يهتز مجاله الكهربائي لمستوي واحد فقط عمودي على خط الانتشار.

يتكون الضوء المستقطب من مجموعة موجات تمتلك نفس اتجاه الاهتزاز بينما يتكون الضوء غير 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 الآلة الموسيقية الغيتار



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



شكل (21-1) شعاع ضوئي مستقطب افقياً

انواع الضوء المستقطب

1-الضوء المستقطب الخطي

2-الضوء المستقطب الدائري

3-الضوء المستقطب الاهليجي

يشار الى أنه من الممكن خلق ضوء مستقطب من الضوء الغير مستقطب بالاعتماد على مايسمى بمرشح الاستقطاب ،فعندما يمر ضوء اعتيادي خلال بلورة مستقطبة فإن 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.

(10-1) طرق استقطاب الضوء

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

1-الانعكاس

2-الانكسار

3-الانكسار المزدوج

4-الاستطارة

5-الامتصاص الانتقائي

(11-1) 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 :

1-مركبة ذات اهتزاز افقي حيث تمتص بقوة من البلورة

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

ويكون الضوء الخارج من البلورة مستقطبا خطيا .

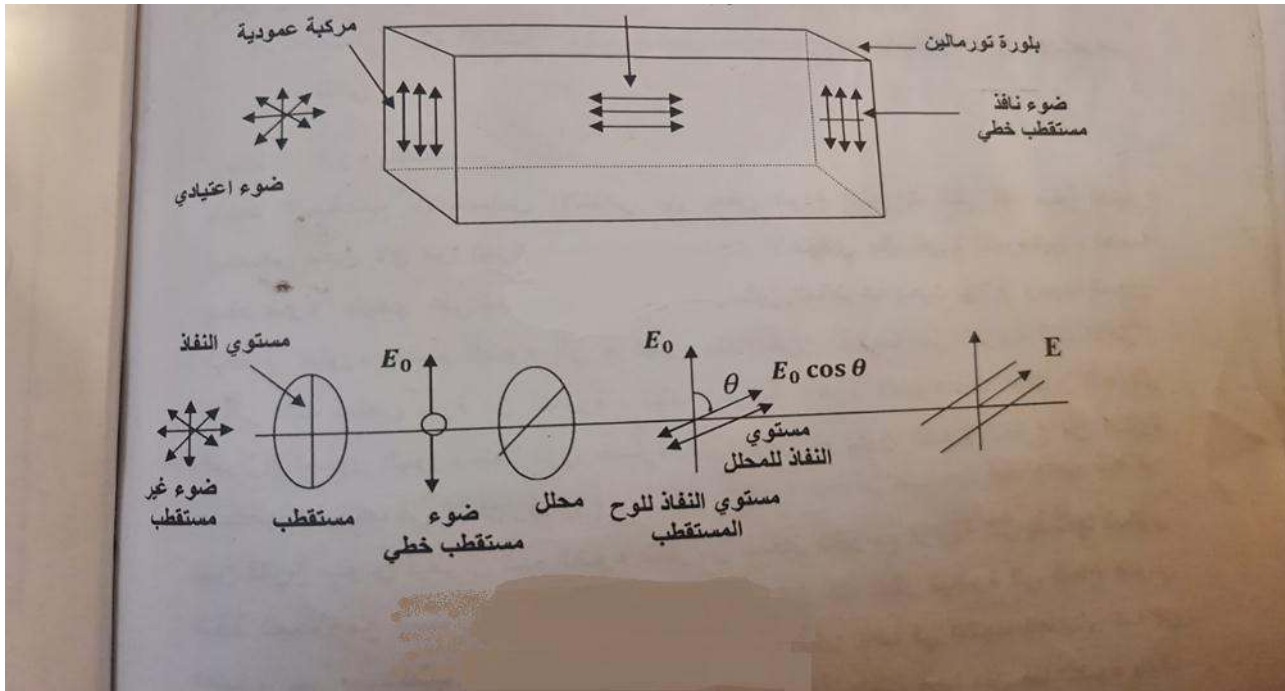
نص قانون مالوس

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

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

يعطى بالعلاقة

**يسمى مرشح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس بالمحلل



شكل (22-1) : استقطاب الضوء بالامتصاص الانتقائي

(12-1) استقطاب الضوء بالانعكاس

أبسط الطرق المتبعة لتوليد ضوء مستقطب استقطاباً خطياً هي طريقة الانعكاس على سطح زجاجي (الانعكاس عن السطح الفاصل بين وسطين عازلين كالهواء والزجاج مثلاً)، حيث يختلفان في معامل انكسارهما .

ويمكن أيضاً هذا الاستقطاب بإسقاط ضوء طبيعي وحيد اللون على السطح المستوي للوح زجاجي، فتعكس إحدى موجتي المجال الكهربائي أو المغناطيسي على السطح، وتبقى الأخرى داخل اللوح الزجاجي. ويصبح لدينا شعاعين مستقطبين أحدهما معكوس على السطح الزجاجي والآخر 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 الغاز.

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 اتجاه 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 :-**

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

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

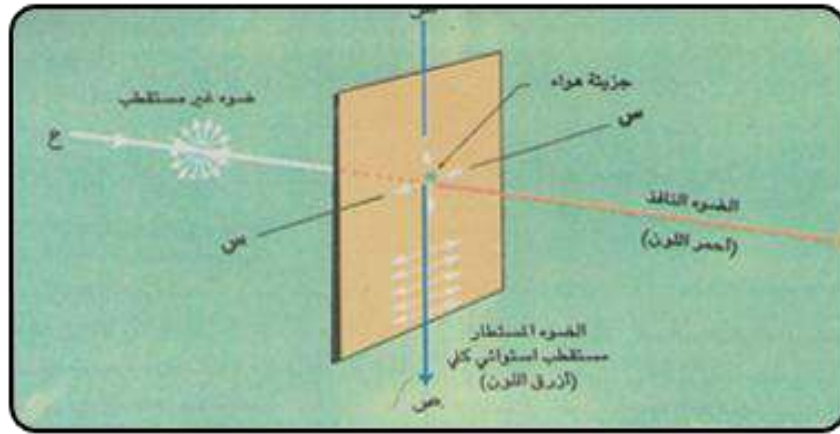
بنفسجي	أزرق	أخضر	أصفر	برتقالي	أحمر
10	6	3	2.5	2	1

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 بواسطة الدقائق الموجودة في جو الأرض، 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 قليلة فتكون أهتزازت المجال الكهربائي للضوء المستطار بمستوى عمودي على المستوى المحدد بواسطة مسار الضوء الساقط وخط النظر إليه الشكل (1-23) .



الشكل (1-23): الضوء المستطار ضوء مستقطب استوائياً كلياً

أسئلة ومسابئلة 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 فإن 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 حدوثه ؟

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 فوق البنفسجية 225 nm 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 تاجي بزاوية 30 درجة مع العمودي احسب زاوية الانكسار علما بأن معامل انكسار زجاج تاجي 1.52 ؟

س11: اشرح تجربة يونك مع الرسم؟

الفصل الثاني

ارتباط الليزر بالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز

(1-2) : المقدمة

(2-2) : فكرة الليزر

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

(4-2) : الأنواع و الأمتصاص

(1-4-2) : الأنواع الذاتي

(2-4-2) : الأنواع المحفز

(3-4-2) : الأمتصاص

(5-2) : معدل الأمتصاص والأنواع

(6-2) : الإنتقالات المسموحة والإنتقالات الممنوعة

الفصل الثاني

ارتباط الليزر بالانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز

(1-2) المقدمة :

تعني كلمة ليزر هي التضخيم بوساطة الانبعاث المحث للإشعاع. ويقصد بالانبعاث المحث هو انبعاث كم ضوئي مقداره $h\nu$ (h ثابت بلانك و ν التردد) من ذرة متهيجة بتأثير موجة كهرومغناطيسية ذات تردد وطور معينين.

(2-2) فكرة الليزر:

ان لأشعة الليزر العديد من المنتجات التكنولوجية فتجدها عنصراً أساسياً في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو في آلات 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 1917 إذ 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 مستوى 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 الليزر عبارة 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 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 انشأتين ان الذرات المكونة للمادة موزعة على مستويين طاقة هما مستوى الطاقة الارضي (E1) ويعرف باسم Ground state ومستوى طاقة الاعلى (E2) أو المستوى المحفز ويعرف باسم Excited state، حيث تتصادم الالكترونات مع بعضها فتتحفز الذرات وتنتقل من مستوى 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:

$$\text{معدل الانبعاث الذاتي} = -A_{21}N_2 \quad \dots\dots(1-2)$$

إذ أن :-

N_2 : عدد الذرات المثارة في المستوى الثاني

A_{21} : معامل انبعاث التلقائي

وتحسب قيمة A_{21} من المعادلة الآتية:

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

إذ أن :-

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

الانبعاث المحفز (Stimulated emission):

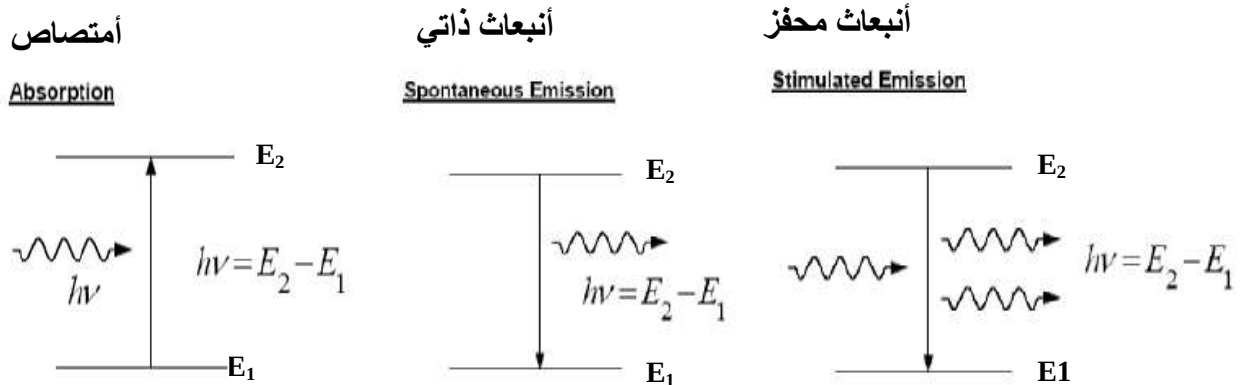
هو عملية فقدان الطاقة من المادة على شكل ضوء تحت تأثير خارجي، وهو أساس عمل الليزر. في هذه العملية تتحفز الذرات في المستوى الطاقة الاعلى (E_2) لكي تنتقل الى المستوى الارضي قبل انتهاء فترة بقائها في المستوى (E_1).

يعطى معدل الانبعاث المحفز بالمعادلة الآتية:

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

إذ أن :-

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



شكل (2-2) يوضح مستويات الطاقه في العمليات الثلاثه

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 والانبعاش:-

تعتمد عملية الامتصاص على تعداد المستوي E_1 كلما ازداد N_1 كلما زادت عملية الامتصاص ، ويعتمد هذا الانتقال على المعامل B_{12} الذي يعبر على احتمالية حدوث عملية الامتصاص . يكون معدل التغير في تعداد المستوي E_2 بالنسبة للزمن بالموجب لأن كلما زاد معدل التغير كلما N_2 . وأن عملية الامتصاص تحدث اذا توافر فوتون (Photon) ذو طاقة تساوي فرق الطاقة بين المستويين E_1 و E_2 أي أن

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

وللتعبير عن مدى تحقق المعادلة السابقة في عملية الامتصاص فإننا نعبر عنها بكثافة الاشعاع بالدالة $\rho(\nu)$ كمتغير في التردد (Density Of Radiation) والتي تعطي مدى احتمالية وجود فوتونات عند التردد ويمكن التعبير عن تأثير معدل الامتصاص على تغير تعداد المستوي E_1 بالمعادلة الآتية :

$$\text{معدل امتصاص الفوتونات} = B_{12} N_1 \rho(\nu) \quad (5-2)$$

عندما تكون الذرة في حالة إثارة أي في مستوى طاقة عال (E_2) فقد تشع طاقتها تلقائيا وتهبط الى مستوى طاقة منخفض (أو المستوي الأرضي) ولتكن طاقته E_1 ، ويتم ذلك بأصدار فرق الطاقتين على هيئة فوتون.

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

$$\text{معدل انبعاش الفوتونات} = -A_{21} N \quad (6-2)$$

إذ أن :

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 إذ أن لكل عنصر من العناصر الموجودة في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به ولا يوجد عنصران لهما الطيف نفسه .

إن العالم اينشتاين 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 :-

عملية الامتصاص

Absorption process

إنبعاث ذاتي

Spontaneous Emission

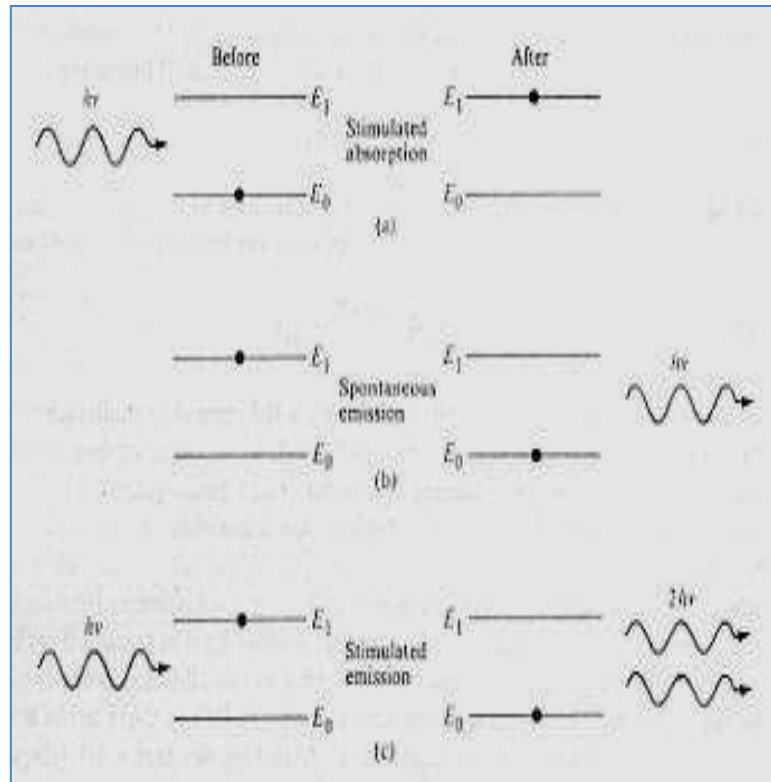
إنبعاث محفز

Stimulated Emission

افترض اينشتاين أن الذرات المكونة للمادة موزعة على مستويين للطاقة هما E_1 , E_2 إذ أن مستوى الطاقة الارضي E_1 يعرف باسم Ground State أما مستوى الطاقة E_2 فيعرف بالمستوي المثيج 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 لا توجد انتقالات)

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

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



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

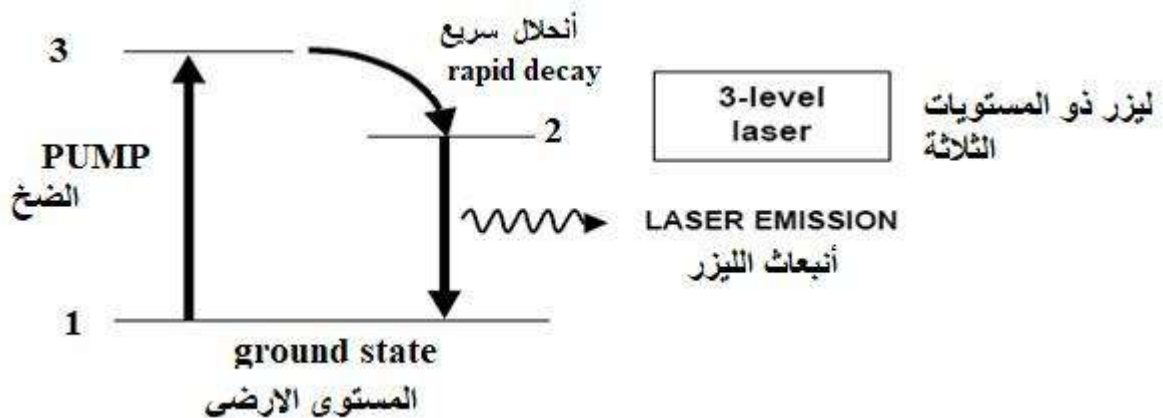
عندما ينتقل الإلكترون إلى المدار ذي مستوى الطاقة الأعلى فإنه ما يلبث إلا أن يعود وينتقل إلى المستوى الطاقة الأدنى، وعندها فإن الإلكترون يحرر طاقة في صورة فوتون (ضوء) .

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 المستويات الثلاثة ونظام المستويات الأربعة ، إذ ان الانتقالات الثلاثة المذكورة انفا وهي (الامتصاص والانبعث المحتث والانبعث التلقائي) تتحقق باشتراك ثلاثة مستويات في النظام الاول وأربعة مستويات في النظام الثاني. 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 الانبعث 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 المثيج (Excited) الذي يمثل المستوى الليزري العلوي (Upper Laser Level) ويرمز له (ULL) والمستوى شبه المستقر (Metastable) أو الوسطي



شكل (4-2) : نظام المستويات الثلاثية

خصائص المستويات الثلاثية :-

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 المثيعة مثل المستوى الليزري العلوي الذي يكون عريضاً جداً.

$$P_L = hv(w_p \beta N_1 - A_{21} N_2) \text{ (PL)} \quad (7-2)$$

اذ ان :-

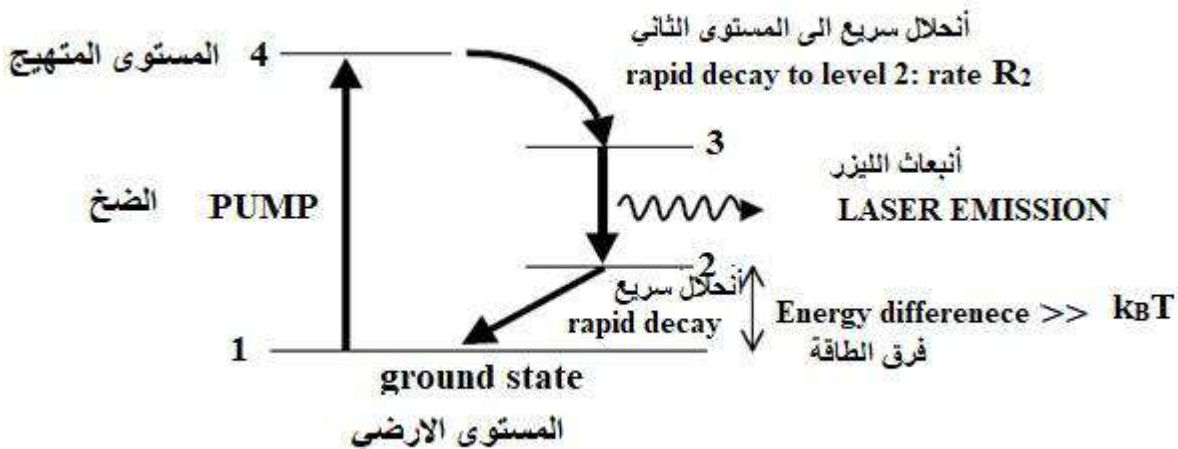
hv : طاقة الفوتون المنبعث (الليزر)

w_p : 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 السفلي (Lower Laser Level) ويرمز له (LLL)، والمستوى المثييع (Excited)، والمستوى الليزري العلوي (Upper Laser Level) ويرمز له (ULL).



شكل (5-2): نظام المستويات الرباعية

خصائص المستويات الرباعية :-

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

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

أذن :-

$h\nu$: 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 : قدرة الضخ المؤثرة

وتحسب كالاتي:

إذا كان عدد الذرات أو الجزيئات N_2 أكبر من N_1 (واحد) فإن هذا يعني حدوث التوزيع المعكوس ما بين المستويين E_1 و E_2 .

نظام المستويات الرباعية	نظام المستويات الثلاثية
يتكون من أربعة مستويات	يتكون من ثلاثة مستويات
يتطلب ضخ عدد قليل من الذرات من المستوى الأرضي إلى المستوى المتهيج للحصول على التوزيع المعكوس	يتطلب ضخ نصف عدد الذرات من المستوى الأرضي إلى المستوى المتهيج للحصول على التوزيع المعكوس
المستوى الأرضي ليس هو المستوى الليزري السفلي	المستوى الأرضي هو نفسه المستوى الليزري السفلي
يحدث الفعل الليزري بين E_2 و E_3	يحدث الفعل الليزري بين E_1 و E_2
لا يحتاج إلى مصدر لطاقة ضخ عالية	يحتاج إلى مصدر لطاقة ضخ عالية
عمر المستوى E_3 صغير جداً	عمر المستوى E_3 صغير جداً
عمر المستوى E_2 طويل نسبياً	عمر المستوى E_2 طويل
يحدث انتقال سريع بين E_3 و E_4	يحدث انتقال سريع بين E_2 و E_3
قانون قدرة الليزر الخارجية هو: $P_L = hv(P_2' - w_{21}\Delta N_c)$	قانون قدرة الليزر الخارجية هو: $P_L = hv(w_p\beta N_1 - A_{21}N_2)$
أعلى كفاءة من نظام المستويات الثلاثية	أقل كفاءة من نظام المستويات الرباعية
تعتمد قدرة الليزر على: ١. تردد شعاع الليزر (ν) ٢. احتمالية الانتقال المحفز (w_p) ٣. معدل الضخ المؤثر $\frac{1}{2}$ ٤. الفرق في عدد الذرات في المستويين ١ و ٢ $\Delta N_c N_2$	تعتمد قدرة الليزر على: ١. تردد شعاع الليزر (ν) ٢. احتمالية الانتقال المحفز (w_p) ٣. كفاءة المستوى E_2 (β) ٤. احتمالية الانبعاث التلقائي A_{21} ٥. عدد الذرات في المستويين N_1 و N_2
تحت شرط التوازن الحراري تكون ١ و N_2 قليلة جداً يمكن إهمالها	تحت شرط التوازن الحراري تكون ٢ قليلة جداً يمكن إهمالها
يوجد انتقال بين المستوى ١ والمستوى الأرضي	لا يوجد انتقال بين المستوى ٢ 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 سنةبواسطة العالمويعرف بليزر.....

2-يقصد بكلمة الليزر.....

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

4-نظام المستويات الثلاثية يكونكفاءة من نظام المستويات الرباعية

5-من خصائص ضوء الليزرو.....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

(3-4) : 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 الكيميائي

(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 أجهزة عملية غير مثالية تتضمن مسببات الخسارة الكثير ، وهي ذات أجهزة 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 بسبب فقدان الوسط الفعال التجانس البصري

ب- النفاذية في مرايا المرنان : ان نفاذية أحدهما 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

1- إذا كان الربح اكبر من واحد، فإن الشعاع يتذبذب وينمو (نحصل على التضخيم)

2- في حالة كون الربح اقل من واحد فإن التذبذب لا يستمر ويتلاشى ولا نحصل على التضخيم (لا يوجد

شعاع ليزر)

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

(5-3) خطط الضخ:

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

يستخدم للضخ الإلكتروني ضوء فلاش قوي أو بواسطة 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 بانقلاب 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 مناسب 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 المناسب التي تدخل في إجراءات الضخ ومستوى كل منها واختيار ما يتوافر عمليا من أشكال طاقة الضخ التي تلائمها.

(3-6) قدرة الضخ:

إن الضخ هو عملية نقل الطاقة من مصدر الطاقة إلى الوسط الفعال المولد 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 ، كيميائي ، 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 مثلاً طاقة كل منها $h\nu$ 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 المحث والانبعاث التلقائي تتحقق باشتراك ثلاثة مستويات في النظام الأول وأربعة مستويات في النظام الثاني.

(3-7) طرائق الضخ

1- الضخ الكهربائي للغازات

2- الضخ البصري بوساطة المصباح ألوميضي للمواد الصلبة والسائلة

3- الضخ بوساطة التفاعلات الكيميائية للمواد السائلة والغازات

4- الضخ بوساطة إمرار تيار كهربائي للمواد أشباه الموصلات

5- الضخ بوساطة التسخين للغازات

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

يحتاج الليزر إلى تهيج الإلكترونات من المستوى الأرضي إلى مستويات أخرى فيرتفع بذلك مقدار الطاقة في ذرات الوسط إلى مستويات طاقة أعلى تهبط بعد مدة معينة إلى مواقعها الأصلية من خلال الانتقالات المختلفة أهمها الانتقال المحتث الذي ينتج عنه الانبعاث الليزري وتسمى عملية رفع كمية الطاقة في الوسط بالضخ. ويتم الضخ إما بالأسلوب النبضي أو بالأسلوب المستمر، ويكون التشغيل بالأسلوب الأول أسهل من الثاني (لأن كمية الحرارة التي تتراكم في العنصر النشط تكون أقل بكثير مما يتراكم في حالة التشغيل المستمر ولهذا لا يتطلب سوى نظام تبريد بسيط).

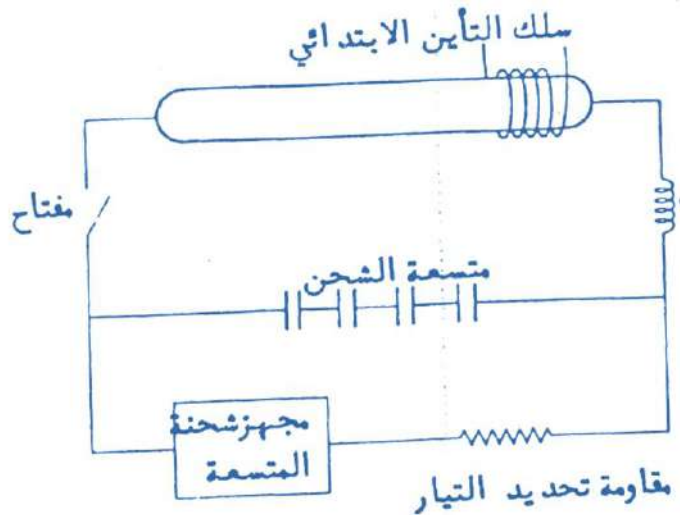
يعد مصباح الزينون الومضي من أكثر مصادر الضخ الضوئي النبضي شيوعاً فهو يتكون من أنبوبة من الكوارتز تحتوي على غاز الزينون بضغط يتراوح بين (1-450) Torr في طرفي الأنبوبة قطبان لإحداث تفريغ كهربائي في الغاز إذ يرتبطان بمصدر قدرة كهربائية عالي الفولتية لإحداث تفريغ كهربائي له متسعة كبيرة تتراوح قيمتها بين (10-1000) μF ويكون فرق الجهد على طرفيها (1-5) kV وتجرى عملية تأين ابتدائي للغاز بواسطة فرق جهد عال بحدود (20) kV يسלט على سلك معدني ملفوف حول المصباح وفي هذا الاثناء يتم تفريغ شحنة المتسعة بسرعة خلال أنبوبة الغاز فتتولد ومضة ضوئية ذات شدة عالية جداً. ويؤدي تفريغ

شحنة المتسعة بسرعة كبيرة إلى تلف المصباح أحياناً أو تقصير عمره لهذا يوضع ملف صغير في الدائرة الكهربائية لتقليل سرعة التفريغ، إن تبريد المصباح يؤدي إلى زيادة ساعات عمله، لاحظ الشكل (3-1)، لذلك يستحب تبريده بالماء أو الهواء .

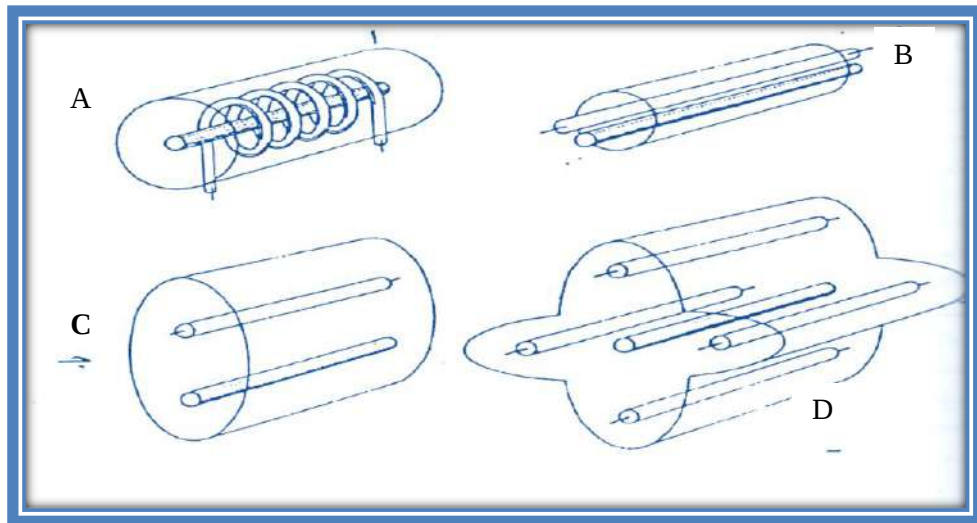
وأما أسلوب التشغيل المستمر فيطلب معدات قدرة كبيرة لأن القدرة الداخلة إلى مصابيح الضخ المستمر تكون عالية جداً تقدر بالآلاف الواط . وعند اختيار الوسط الفعال يجب أن يحقق استفادة كفوءة من الضوء المنبعث (أي امتصاصية عالية). فيوضع الوسط الفعال داخل حجرة مصقولة من الداخل لتعكس الأشعة المنبعثة من المصباح وتوجهها نحو الوسط الفعال بشكل يزيد من كفاءة امتصاصه. وقد ظهرت عدة تصاميم هندسية للحجرة لضمان أقصى استفادة من المصباح سواء كان شكله خطياً أو حلزونياً.

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 إحدى البورتين ويوضع الوسط الفعال في البورة الأخرى وذلك لتجميع الضوء المنبعث من إحدى البورتين إلى البورة الأخرى فيتحقق ضخ طاقي جيد .

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



شكل (1-3) جهاز القدرة



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

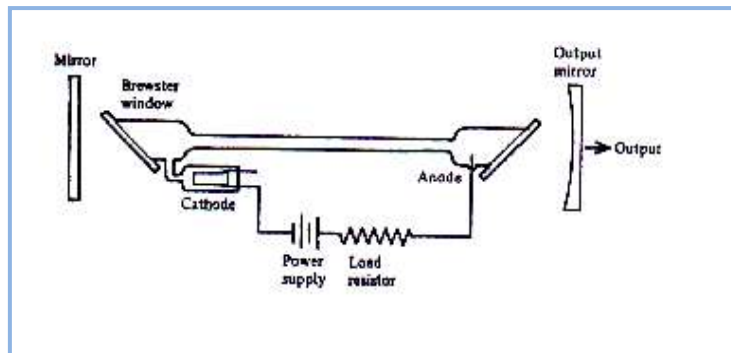
(2-7-3) الضخ الكهربائي

تعدُّ المواد الغازية أكثر تجانسا من المواد الصلبة وان حركة جزيئاتها تسهل من عملية التبريد الذي يتم بواسطة غلاف زجاجي يمرر فيه الماء وكذلك فإن 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 نهايتها قطبي تفريغ الكاثود والانود.

وتستخدم نافذتا بروستر اللتان تمرران الاستقطاب المعني للطول المنبعث من دون خسائر في الانعكاس عند نهايتي الانبوبة خصوصا اذا تم استخدام مرايا خارجية لحجرة الرنين وتبسيط 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 بتبسيط فولتية إضافية على احد القطبين من مصدر ثان او بواسطة سلك معدني ملفوف حول الانبوبة تسلط عليه فولتية المصدر الثاني .

تتعمل الالكترونات الناتجة من عملية التفريغ الكهربائي باتجاه الأنود بفعل المجال الكهربائي وتؤدي الاصطدامات المختلفة الى اكتساب الذرات المتعادلة أو الايونات 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 غير المستقر بـ (البلازما) أو الحالة الرابعة للمادة .

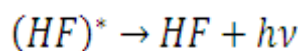
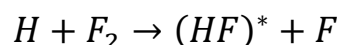
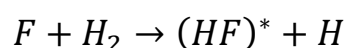
فيؤدي اكتساب الطاقة بالنسبة لكثير من الذرات المتهيجة (غير المستقرة) الى حصول توزيع معكوس بالنسبة لمستويات الطاقة وهذا هو الشرط المطلوب لليزر.



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

هناك انواع من الليزررات تحتوي على مواد كيميائية تدخل في التفاعلات فتننتج 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 تقدر عملية التفاعل فقط و بعدها يمكن للمنظومة ان تشتغل ذاتيا بالاعتماد على نواتج التفاعلات .

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



إذ أن :

$(h\nu)$ طاقة الفوتون المنبعث

$(HF)^*$ جزيئة متهيجة فلوريد الهيدروجين

فعند هبوط الجزيئة المتهيجة الى مستوى طاقة اوطى يؤدي الى انبعاث ليزري طاقته $(h\nu)$. يتميز ليزر فلوريد الهيدروجين بمدى واسع من الاطوال الموجية يمتد بين $(2.5-3.4) \mu m$ 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 تقدر التفاعل. وهكذا فان منظومات الليزر الكيميائية تعتمد على التوليد الذاتي للطاقة في مجموعة التفاعلات التي تنتج مركبات ذرية وجزيئية بتوزيعات طاقة غير متساوية فإذا تحقق شرط التوزيع المعكوس امكن انتاج الليزر.

أسئلة ومسائل الفصل الثالث

س1: املأ الفراغات الآتية

1- يقصد بقدرة الضخ.....

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

3- يتكون مصباح زينون من انبوبة مصنوعة من مادة

4- تستعمل نافذتا بروسر لتمرير.....

5- يعد ليزر من أشهر أنواع الليزرات الكيميائية

6- لاهداث 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 ولا نستخدم ضخ ضوئي؟

س5: ماهي مميزات ليزر فلوريد الهيدروجين؟

س6 : ظهرت عدة تصاميم هندسية للحجرة لضمان اقصى استفادة من المصباح عدد هذه التصاميم؟ وما هو

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

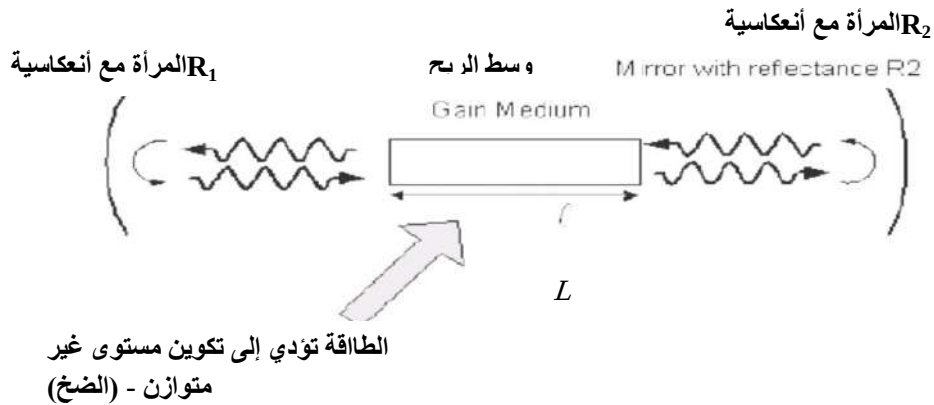
الفصل الرابع المرنان البصري

(1-4) المقدمة:

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

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

(2-4) تصاميم المرنان:



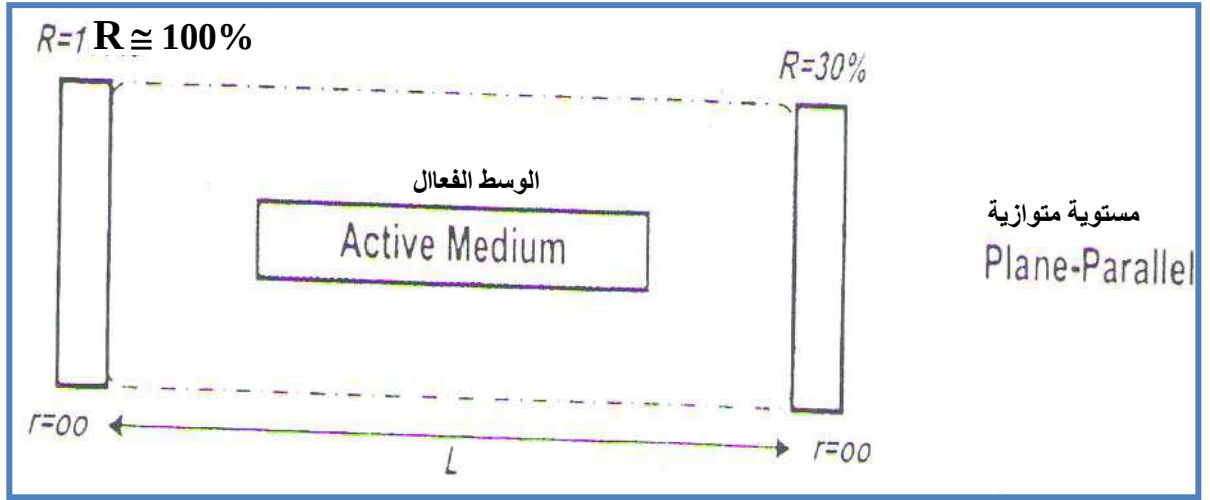
شكل (1-4) : المرنان البصري

تصنع مرايا الليزر عادة من الألمنيوم (Al) أو الفضة (Ag) أو النحاس (Cu) وتطلى بالذهب (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):

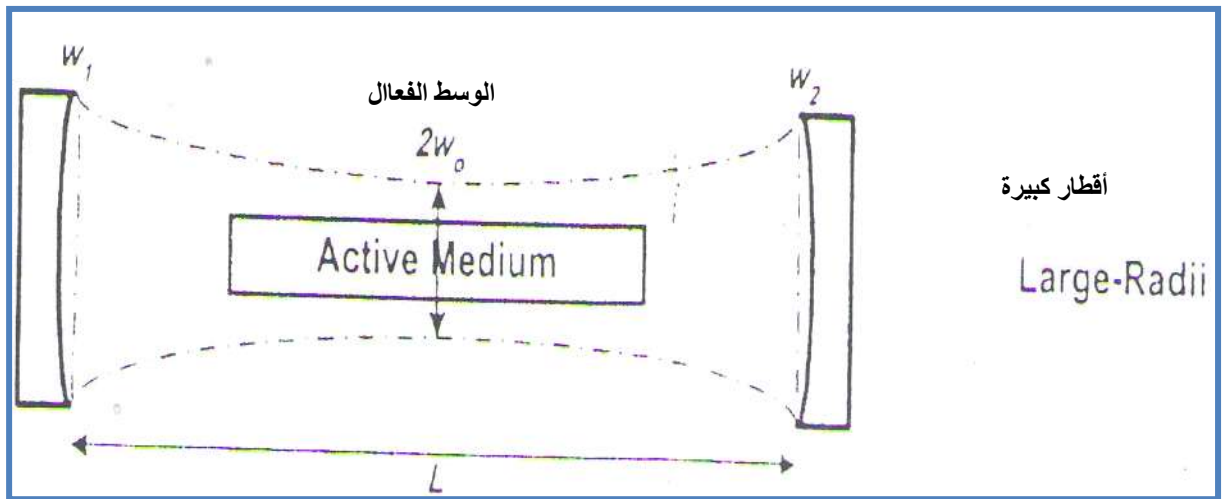
يمتاز هذا النوع في الصفحة التالية بكبر حجم شعاع الليزر الخارج وكفاءة عالية لتهييج الوسط الفعال فتكون احتمالية تلف المرايا قليلة وصعوبة السيطرة على نوعية النمط المستعرض الخارج.



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.

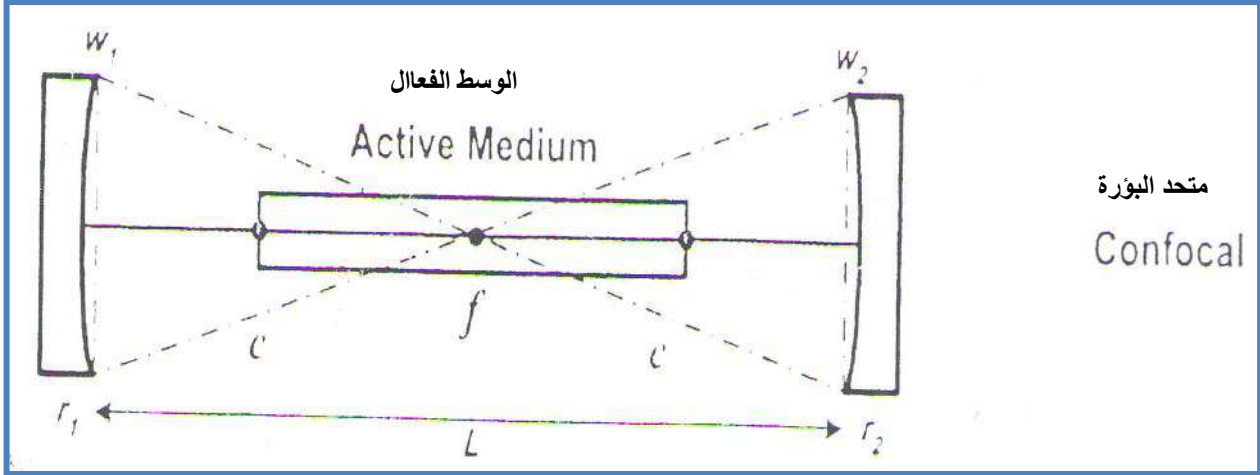


شكل (3-4) المرنان ذو الأقطار الكبيرة

ويمتاز هذا النوع بسهولة عملية الترصيف البصري وإن 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 .

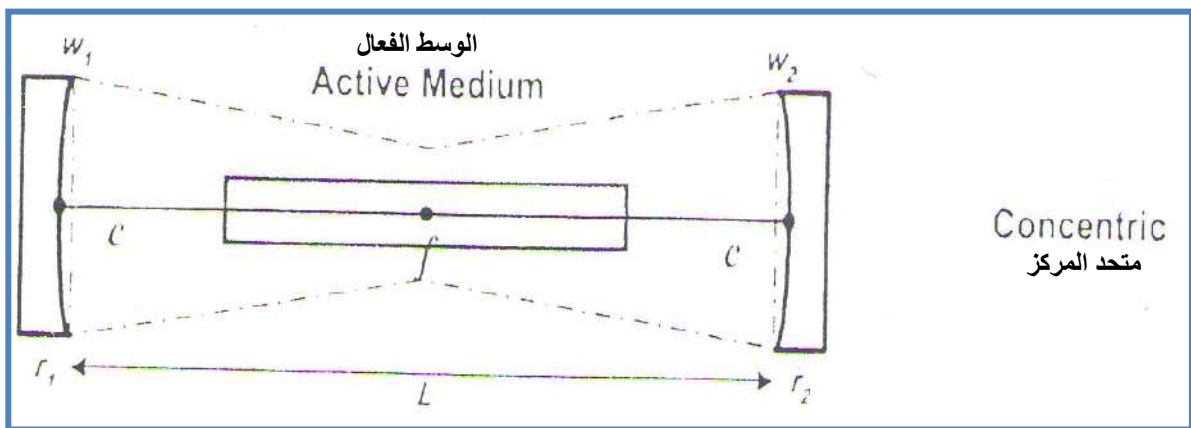


شكل (4-4) المرنان متحد البؤرة

يمتاز هذا النوع بسهولة الترصيف البصري

4. المرنان متحد المركز (concentric):

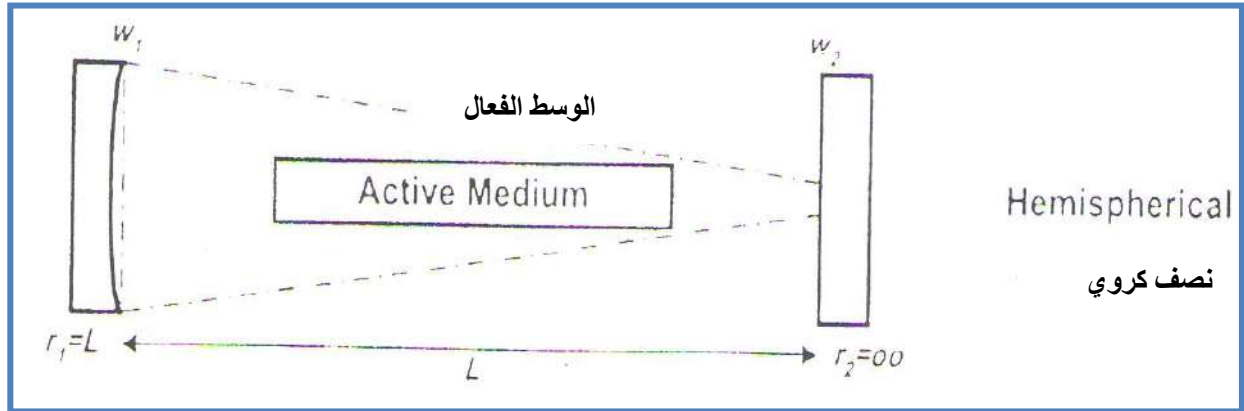
يمتاز هذا النوع بصعوبة الترصيف البصري وإن النمط المستعرض الخارج منه يكون كبيراً.



شكل (5-4) المرنان متحد المركز

5. المرنان نصف الكروي (Hemispherical)

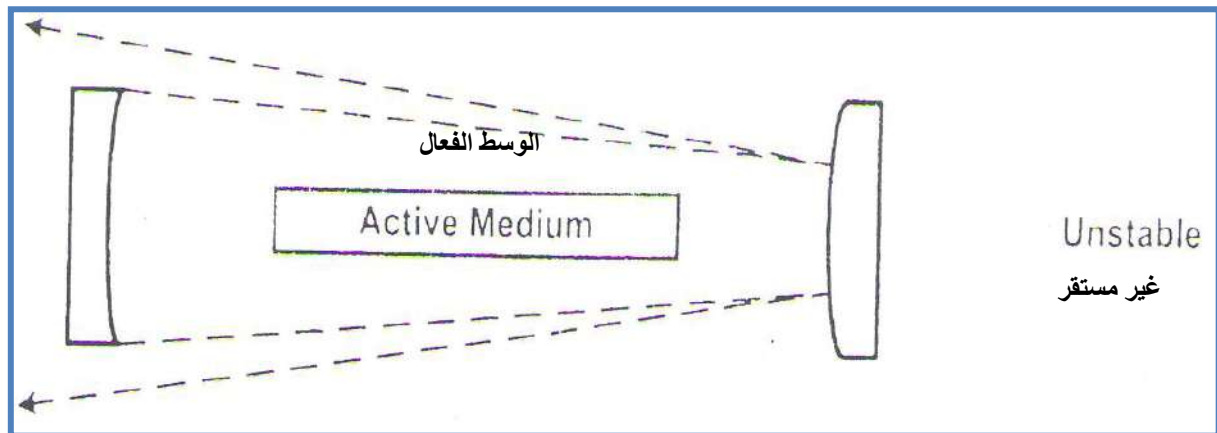
يتكون هذا النوع من مرآة مستوية وأخرى مقعرة .لذلك يكون حجم النمط المستعرض عند المرآة المقعرة أكبر ما يمكن وعند المرآة المستوية أصغر ما يمكن.



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

(3-4) الترصيف البصري

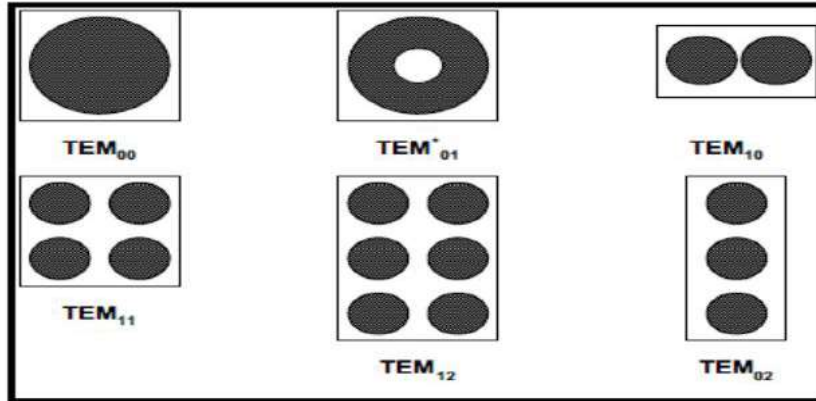
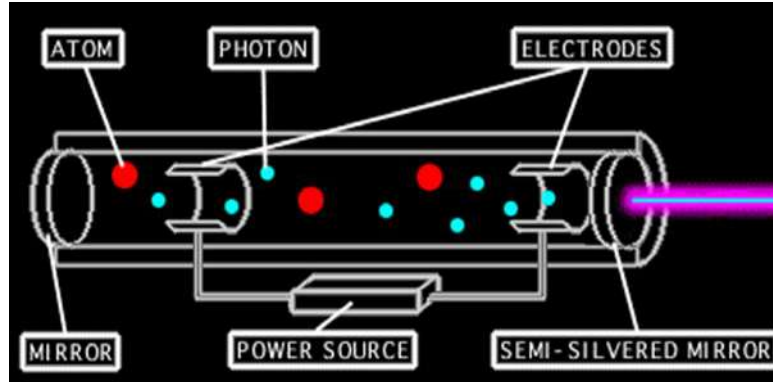
هو عملية وضع المرآتين على إستقامة واحدة تماما بحيث يكون المحور البصري مستقيما . وتعتمد عملية الترصيف البصري على :-

أ- نوع الوسط الفعال

ب- حجم المنظومة

(4-4) صيغ التذبذب للمرنان

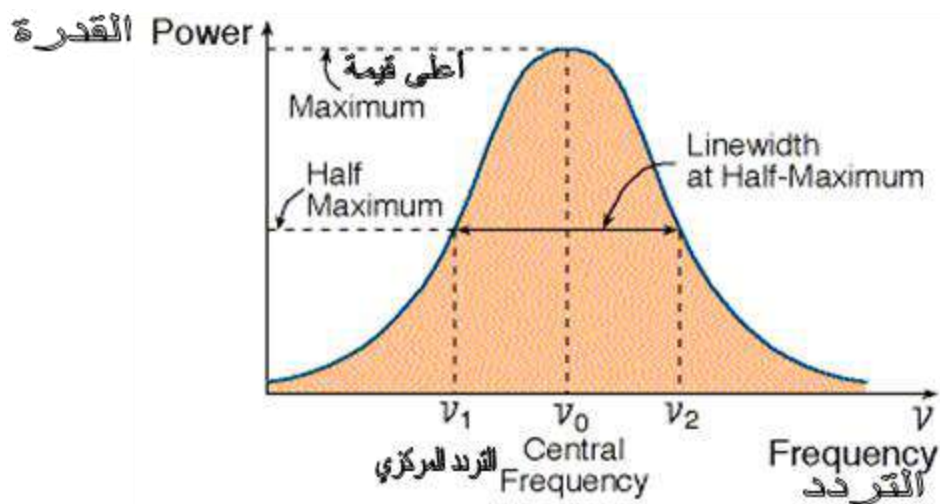
إن تولد الفوتونات بواسطة الانبعاث التلقائي يعني احتمالية انتقال الإلكترونات في الاتجاهات كافة فيعني هذا ان مجموعة الفوتونات التي تسير باتجاه عمودي على محور الحجرة سوف لن تتضخم في حالة وجود عناصر الكسب الارجاعي (Feedback Element) أي المرايا وإنها ستفتقد من الحجرة كما موضح في الشكل (8-4) وخلافا لذلك فإن مجموعة الفوتونات التي تحيد قليلا عن محور الحجرة ستكون لها إمكانية الانعكاس عدة مرات بين المرأتين لتمر عبر الوسط الفعال و في كل مرة تستنزف جزءا من فوتوناته المخزونة في المستوى العالي لتكون شعاع الليزر والذي يتميز بتوزيع فوتوني يختلف عن التوزيع الذي تكونه مجموعة الفوتونات التي تسير باتجاه 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(8-4) يبين أشكال توزيعات الأنماط المستعرضة

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

1. لها شكل دائري منتظم تزداد الشدة فيه كلما كانت اقرب الى المركز، وكما موضح في الشكل (4-10).
2. يحتوي النمط الكاوسي المستعرض على 85 % من الطاقة الكلية للشعاع الخارج وأما الباقي فموزع على بقية الانماط المستعرضة.
3. سهولة فصل النمط الكاوسي عن بقية الانماط باستخدام صفيحة مثقوبة ذات قطر يسمح بمرور الفوتونات المتوجهة نحو مركزي المرآتين بامتداد المحور.
4. للنمط الكاوسي طاقة عتبة اقل بكثير من الانماط الاخرى اي طاقة الضخ التي تحتاجها واطنة . 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 يأتي :-

1-المرنان هو منظومة تتكون من :-

ا-مراتين على محورين بصريين متعامدين ب- مرآة 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 تظلي؟

س4 : عرف الترصيف البصري ؟ وعلى ماذا يعتمد؟

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

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

س7: ماهي مميزات التوزيع الكاوسي؟

الفصل الخامس

نتاج الليزر وتحويلاته

(1-5): المقدمة

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

(3-5): انتخاب خطوط الطيف لأنبعاث الليزر

(4-5): التشغيل بصفة تذبذب مفردة

الفصل الخامس

نتاج الليزر وتحويلاته

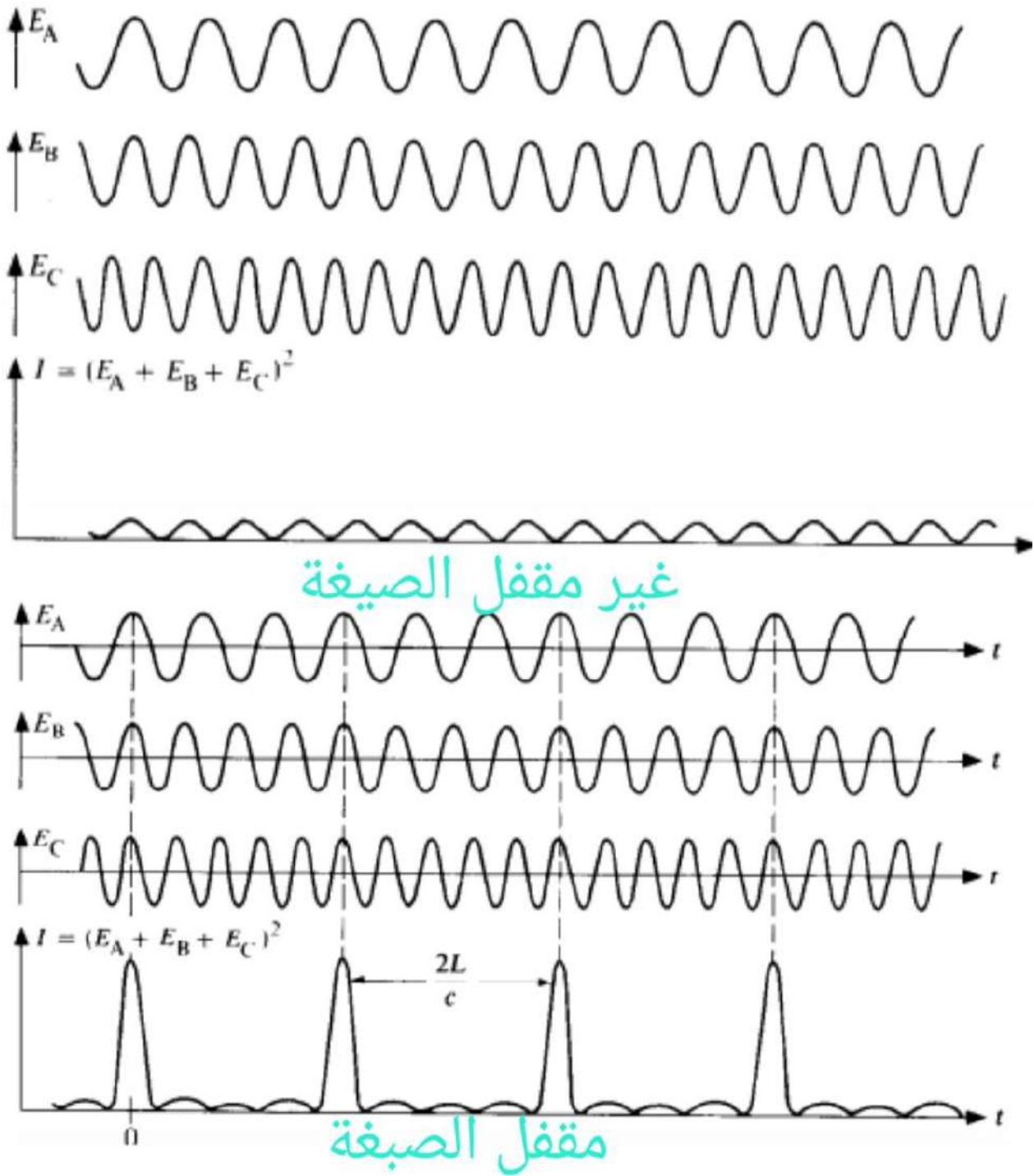
(1-5) المقدمة

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 إذا ما قورنت مع الكمية التي نحصل عليها من الشعاع المستمر ولمدة الزمنية نفسها ويتم ذلك بعدة طرق أهمها (تنظيم معامل الكفاءة النوعية Q-SWITCHING) .

كما يمكن الحصول على نبضات عالية الطاقة في أغلب أنواع الليزر باستخدام طريقة السيطرة على معامل الكفاءة Q.S . وهي بوابة توضع داخل المرنان للحصول على نبضات ذات طاقة عالية جداً حيث تغلق البوابة عندما تكون الطاقة المخزونة أعلى (معامل النوعية واطئ) وتفتح البوابة عندما تكون الطاقة المتبددة أعلى للخروج نبضة ذات طاقة عالية جداً (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 استخدام عملية تثبيت النمط (اقفال الصيغة) MODE LOCKING للحصول على الترددات العالية ، 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 (1-5) يوضح عملية تثبيت النمط

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

وسنتطرق في هذا الفصل إلى طرائق تضيق عرض نطاق شعاع الليزر للحصول على شعاع أحادي اللون بصورة أكثر دقة مما هو عليه في منظومات الليزر الاعتيادية ويُعدّ الليزر من المصادر الضوئية احادية اللون ولكن هذه الأحادية في اللون تبقى قاصرة في بعض الاستخدامات 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 قلته ، وكيفية أخضاع الشعاع إلى التذبذب بنمط طولي واحد .تمر علينا عدة مصطلحات في تكنولوجيا الليزر كعرض النطاق **band width** وعرض الخط **line width** وعرض الطيف **spectra width** وهذه جميعها تعني الشيء ذاته ، أي درجة أحادية الطول الموجي لشعاع الليزر .

(2-5) التشغيل المستمر والتشغيل المعتمد على الزمن

إنّ للطاقة والقدرة معنيين مختلفين لدى الفيزيائيين. 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 استخدم لمدة خمس دقائق ، فإنه 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 ، فإن 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 تكون 500000 W .

$$p = \frac{E}{t}$$

أي :

$$p = \frac{0.5}{1 \times 10^{-6}}$$

$$P = 0.5 \times 10^6 \text{ J/S}$$

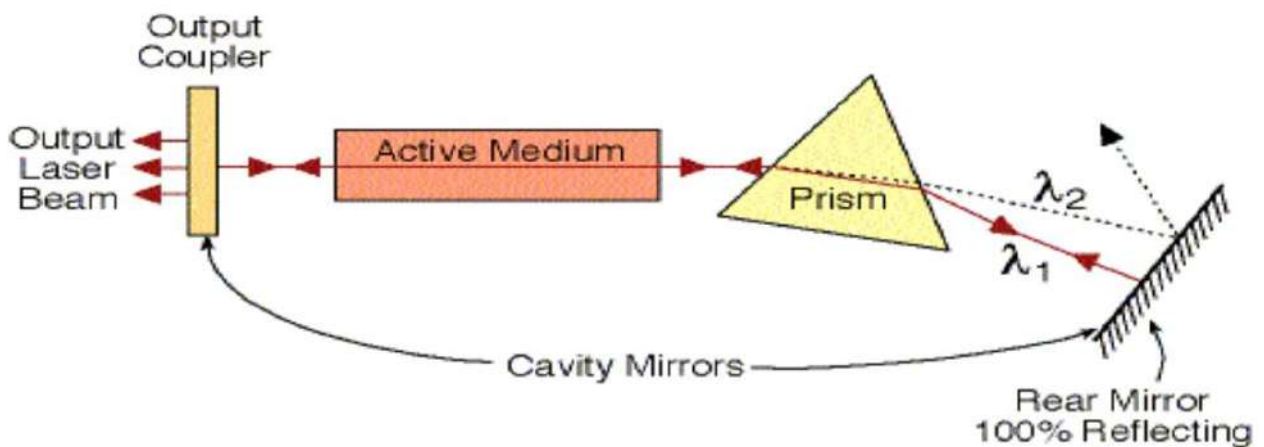
$$P = 500000 \text{ J/S}$$

$$P = 500000 \text{ W}$$

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 النيودميوم / ياك ، المجهز بتنظيم معامل الكفاءة والمستخدم للمصباح الوهاج في عملية ضخ الطاقة ، وطاقته 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

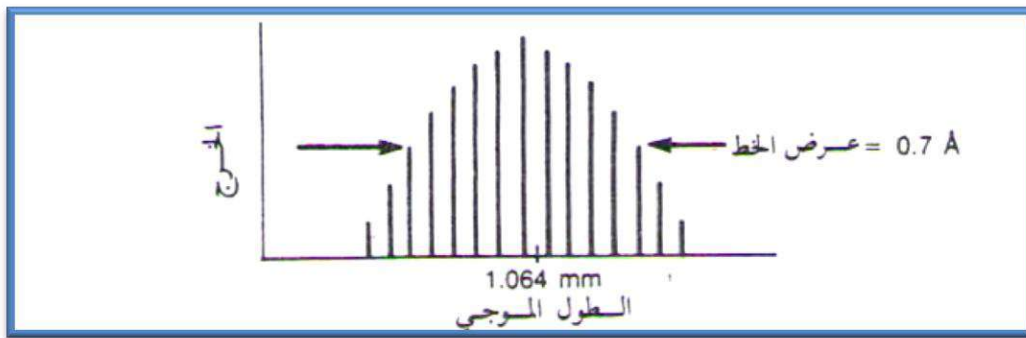
هناك بعض انواع الليزرات تعطينا اكثر من طول موجي واحد فنقوم بوضع موشور للحصول على طول موجي واحد وذلك من خلال تفريق الاطوال الموجية عن بعضها كل طول موجي بزاوية انكسار تختلف عن الطول الموجي الاخر حيث نقوم وضع الموشور بزاوية معينة بحيث يبقى الطول الموجي المطلوب وينعكس الطول الموجي الغير مرغوب خارج المرنان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



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

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

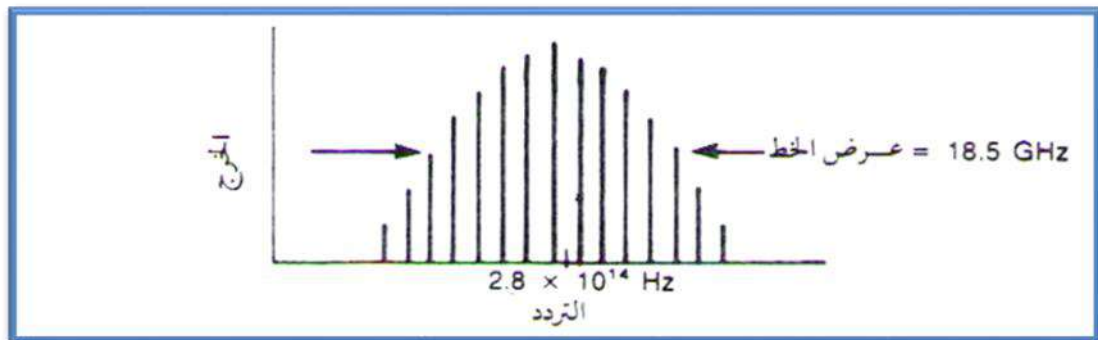
يبين الشكل (3-5) قياس عرض النطاق بالأطوال الموجية ، إذ أننا نلاحظ أن أعلى قيمة لقدرة ليزر النيودميوم / ياك بالطول الموجي هي 1.064 mm ، وإن هناك قسماً من القدرة موزع على جانبي القمة ، وعرض النطاق يساوي عرض المنحني في منطقة تساوي القدرة فيها نصف القدرة العظمى ، ويعرف بـ " العرض الكامل لمنتصف القمة " Full 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 أن الشكلين (3-5) و (4-5) متشابهان وأن قمة القدرة تقع في التردد $2.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ، وهناك قدرة أقل تقع على جانبي التردد . ويتمثل عرض النطاق بـ " العرض الكامل لمنتصف القمة " FWHM .

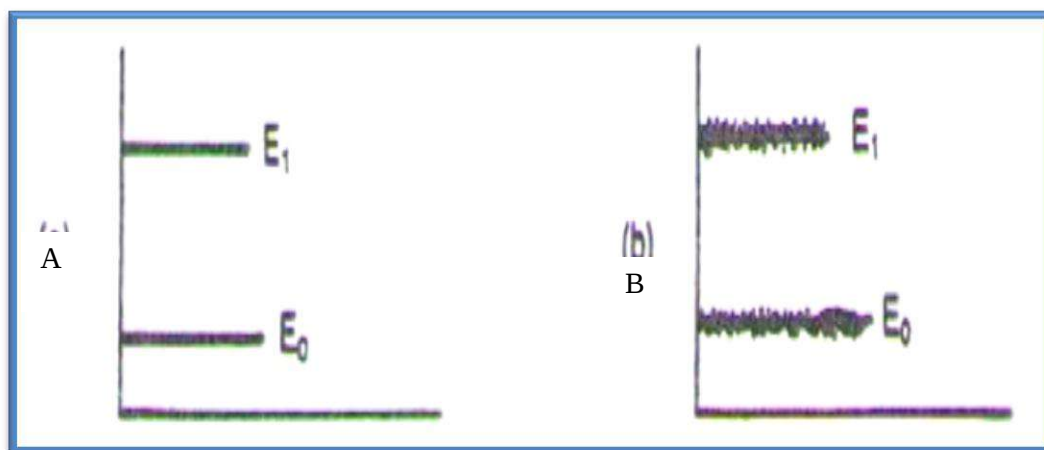


شكل (4-5) : مخطط لخرج الليزر مع التردد

عرض النطاق :-

لماذا يكون لشعاع الليزر عرض نطاق ضيق ؟

عرض نطاق شعاع الليزر ناتج أساساً من سمك مستويات الطاقة التي تشترك في عملية الانبعاث المحفز فلا يمكن 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 لاتنتقل الفوتونات المنتقلة من هذه المستويات إلى مستويات أوطأ بالطاقة نفسها أو الطول الموجي .



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

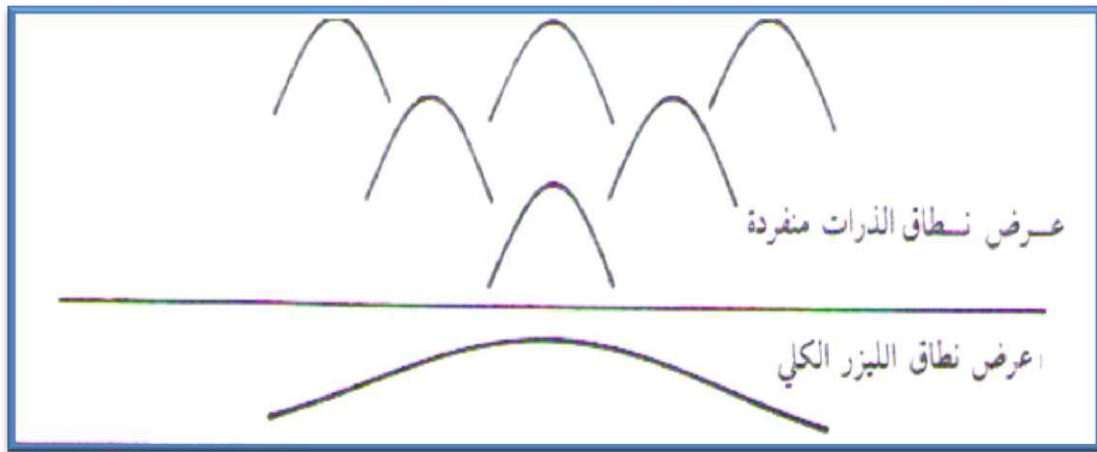
هناك العديد من المسببات لسمك مستويات الطاقة فمثلا الليزرزات الغازية فتكون الذرات أو الجزيئات في الغاز في حالة حركة دائمة لأنها حرة وغير مرتبطة بمواقع معينة.

وان تأثير ظاهرة دوبلر (هي التغير 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 فإن حدة الصوت تزداد بأقترابها . لأن هذا يعني أن عدداً أكثر من الموجات الصوتية تدخل في أذاننا في الثانية ومن جانب آخر 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. وإذا كنا نقف في مكان فيه عدد كبير من السيارات التي يقترب بعضها منا ، ويبتعد البعض الآخر عنا ، وتطلق مزاميرها في الوقت نفسه ، فعندها سنسمع مدى واسع من الترددات على الرغم من أن السيارات جميعها تطلق مزاميرها بتردد واحد ،

فالسيارات المبتعدة يقل تردد مزمراها ، 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 الاتجاهات 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 مكانية لتحفيز ذرة واحدة في الموقع المحدد ولا يمكن 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) .

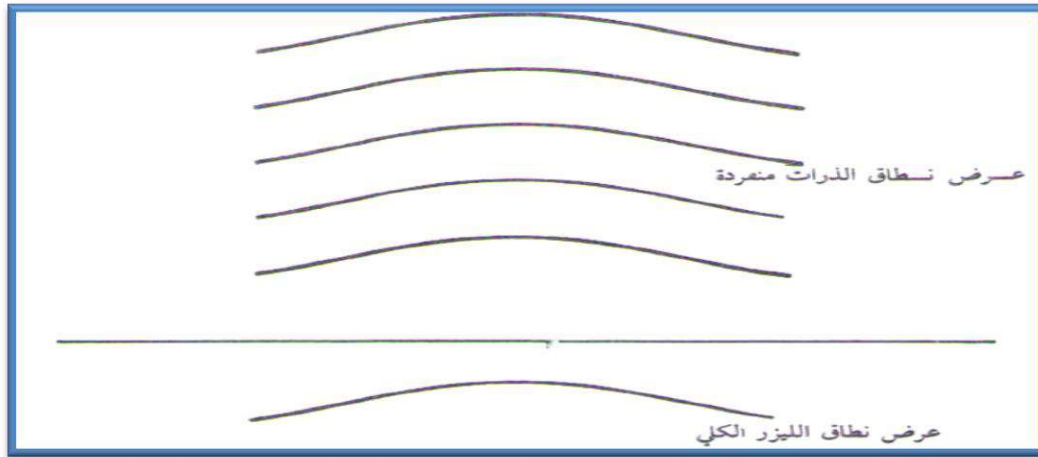


شكل (5-6) : يبين عرض النطاق غير المتجانس لشعاع الليزر

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

ومن الأمثلة على عرض النطاق المتجانس في الليزر 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 عكسياً مع الوقت بين تصادمين " أو بمعنى آخر كلما أستطاعت الذرة السير مسافة أطول من دون اصطدام 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 يزداد عرض النطاق المتجانس لشعاع الليزر .

أما ذرات ليزرات الحالة الصلبة فلا تتمكن من الحركة لأنها مرتبطة ضمن الهيكل البلوري للمادة ، وبذلك لا تحصل 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 إذ أن جميع الذرات عرضة للاهتزاز 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 أيضاً نتيجة لوجود الشوائب في التركيب البلوري للمادة ، وتكون الشوائب مختلفة التراكيب والشكل ، وتتنوع في أماكن مختلفة من التركيب البلوري ، فتكون الزيادة في عرض النطاق غير متجانسة .

مسائل الفصل الخامس

س1:- عرف ظاهرة دوبلر ثم اذكر كيف تؤثر في الذرات المتحركة؟

س2:- على ماذا ينص مبدأ اللادقة لهايزنبرك ؟

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: ما الفرق 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

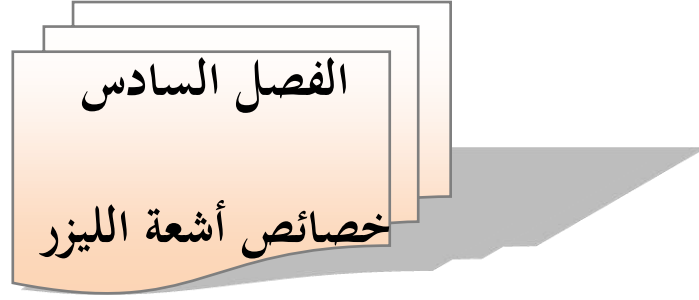
1- هناك مقياسان لطاقة الليزر النبضيو.....

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

3- يمكن حساب عرض نطاق الليزر بعدة طرق منهاو.....

4- الزمن بين التصادمين يزداد كلماضغط الغاز

5- زيادة ضغط الغاز يؤدي الىعرض 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 الاستقطاب والتداخل ، هذه الخواص والسلوك يسلكها شعاع الليزر أيضاً ولكن لهذا الشعاع بعض الخواص الأخرى التي لا نجدها في الضوء الاعتيادي، إذ يكون شعاع الليزر مثلاً ذا لون نقي لا يمكن ان نحصل عليه من مصادر الضوء الأخرى ، ولذلك يسمى شعاع الليزر بالشعاع الأحادي اللون.

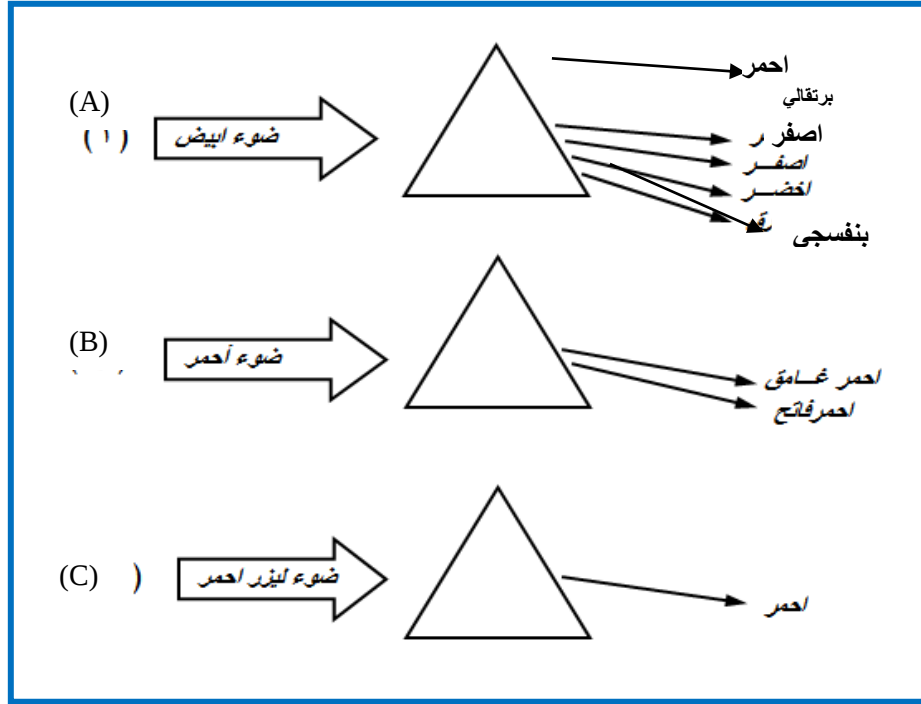
من الخواص الأخرى المهمة لأشعة الليزر هي اتجاهيته العالية. إذ تتجه الأشعة الخارجة من جهاز الليزر جميعها باتجاه واحد تقريباً وبذلك يمكن تركيز أشعة الليزر في نقطة صغيرة جداً تتركز فيها كمية كبيرة من الطاقة .

ونتيجة لخاصيتي أحادية اللون والاتجاهية العالية ، وبأخذ طور أشعة الليزر بنظر الاعتبار أيضاً ، فتظهر خاصية الليزر الأساسية ، وهي التشاكه COHERENCE وهي التي تميز أشعة الليزر عن الضوء الاعتيادي .

(2-6) النقاوة الطيفية

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

بحيث لا يتجاوز النانومتر الواحد بالنسبة لشعاع ليزر الهليوم نيون الاحمر ، ويُعدُّ شعاع الليزر احادي اللون تماماً بالنسبة للمصادر الاخرى لكنه يبقى له عرض نطاق ولو بشكل قليل جداً " مبدأ اللادقة لهايزنبرك Uncertainty principle " ومن دون الاعتماد على هذا المبدأ ، فمعرفةنا بالطول الموجي للشعاع تفقدنا الى عدم معرفة بداية الشعاع ، والى متى سيستمر ؟

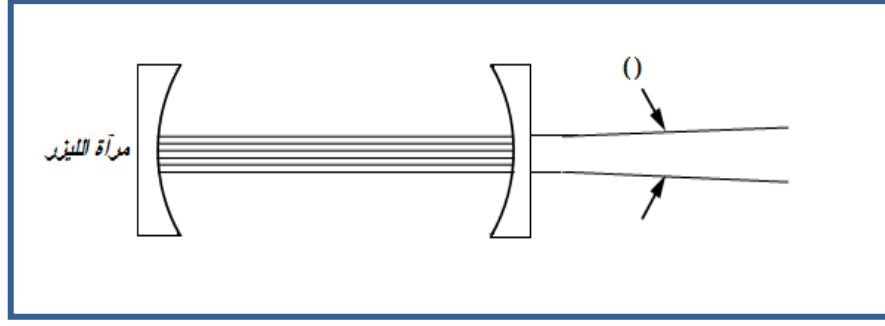


شكل(6-1): يبين عمل الموشور في توضيح خاصية احادية اللون

(3-6) الاتجاهية:

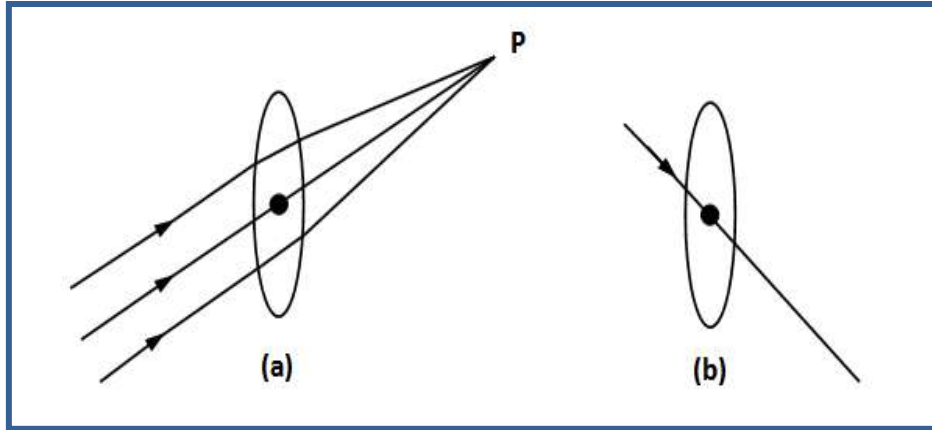
إنَّ الانوار الكاشفة المستخدمة في المسار والتي يكون ضوؤها على شكل حزمة ، تتبعثر بعد عدة مئات من الامتار، بعكس شعاع الليزر إذ يسير مئات الكيلومترات بخط مستقيم من دون ان ينتشر.

ان لحركة شعاع الليزر التذبذبية داخل المرنان يعاني من انعكاسات عديدة قبل ان يخرج من المرآة الامامية ، فيخرج بانفراجية قليلة جداً بحيث تقاس باجزاء الزاوية القطرية milliradians لأنه لا يخرج 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 (2-6): يبين اتجاهية شعاع الليزر مع انفراجية قليلة نتيجة لحركته التذبذبية بين المرآتين

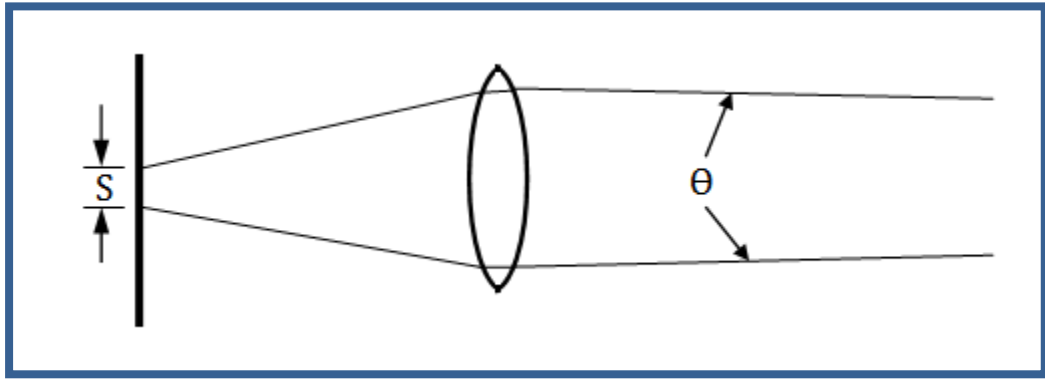
وهذه الانفراجية القليلة ناتجة عن الحيود (Diffraction) حيث وضحها العالم الفيزيائي الألماني هاينز عام 1678 . فعندما يخرج شعاع الليزر من فتحة صغيرة ، وهذا يؤدي هذا الى انفراجية عالية في شعاع الليزر أما اذا ما كانت الفتحة اكبر كثيراً من الطول الموجي المار من خلالها فإن الانفراجية تكون قليلة . تكون انفراجية شعاع الليزر قليلة جداً اقل من انفراجية الموجة المستوية 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 (3-6) ففي (a) تتركز جميع الاشعة المتوازية المارة من خلال عدسة في نقطة واحدة . وفي (b) لا يحصل انحراف للشعاع المار من مركز العدسة .



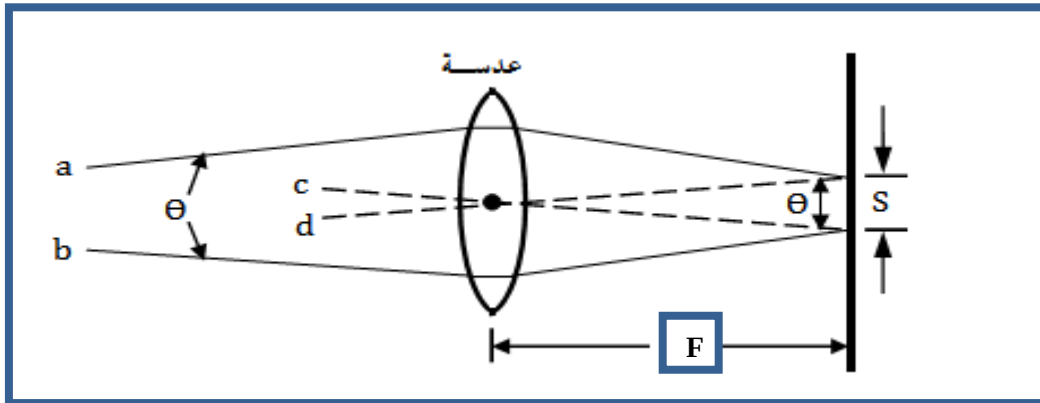
شكل (3-6) : العدسات اللامعة : (a) تتجمع الاشعة المتوازية الساقطة على عدسة في نقطة واحدة ،

(b) لا يحصل انحراف للشعاع المار من مركز العدسة

اما في الشكل (4-6) فنلاحظ شعاعاً منفرجاً ذا انفرجية 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 لا يحصل 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 c, d مساوية للزاوية بين الشعاعين a, b . 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 الانفرج للاشعة ، وكلما قل قطر الشعاع ازدادت شدته .

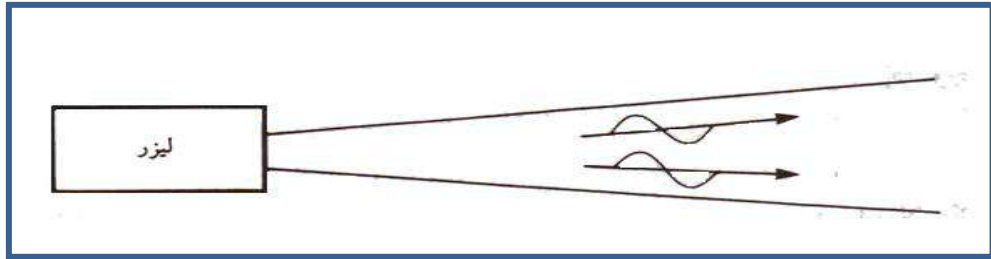


شكل (4-6): شعاع ذو انفرجية مقدارها θ



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

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 بالطور 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 الكيماوية ، 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

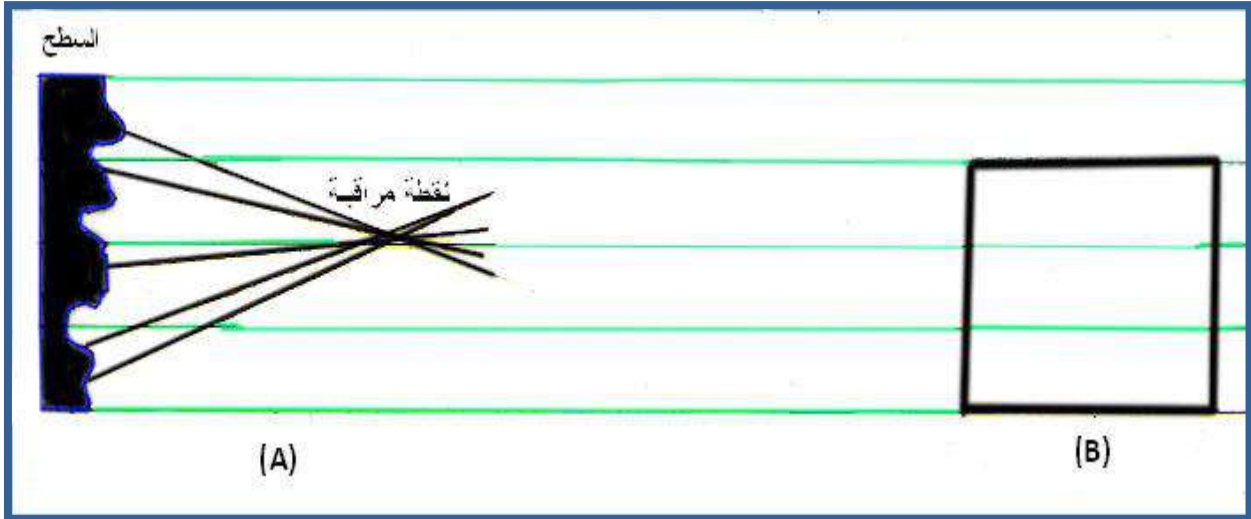
ويقصد به ان الموجات المتشاكهة في الشعاع الليزر يجب ان يكون ترددها قريب جدا من كونه احاديا ومن هذا نستنتج انه كلما كان الشعاع ذا لون احادي اكثر أصبح ذا تشاكه زماني أكبر .

(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 .

(5-6) نموذج التلؤلؤ لانتاج الليزر

يمكن مشاهدة نموذج التلؤلؤ عند النظر إلى ضوء مشئت عن سطح خشن كالجدار مثلاً أو من خلال مشئت شفاف للضوء ، ويمكن وصف هذا النموذج للضوء المشئت بأنه متألف من مجموعة بقع مضيئة براقية وبقع سوداء داكنة فتظهر للمشاهد كتنوعات أو حبيبات براقية متلئنة عشوائية التوزيع على خلفية داكنة لاحظ الشكل (7-6A) . إنَّ السطح الخشن يمكن أن نعدّه كمجموعة كبيرة من مصادر نقطية وإنَّ الموجات المنبعثة عن هذه المصادر تختلف فيما بينها بشكل عشوائي في الطور والسعة (مصادر غير متشاكهة) ولكن عندما يضاء السطح بضوء ليزر فإنَّ جميع هذه المصادر النقطية ستبعث موجات متشاكهة ولهذا فإنَّها ستولد نموذج تداخل عشوائي في جميع النقاط ما بين السطح والمشاهد لذا فإنَّ هذا التلؤلؤ لا يكون عند السطح فقط لاحظ الشكل (7-6B) وإنَّ حجم الحبيبات المتلئنة 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 أساساً 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 A بالشدة (Intensity) . وعلى سبيل المثال تكون شدة مصباح التنكستن الأعتيادي ذي القدرة (100W) حوالي (2000 W/cm²) بينما شعاع ليزر بالقدرة نفسها تصل شدته إلى حوالي (2×10⁹W/cm²) أي ان شدة شعاع الليزر أكبر بمقدار مليون مرة من مصباح التنكستن الأعتيادي بسبب صغر مساحة تجمع شعاع الليزر .

$$I = \frac{P}{A}$$

$$2000 = \frac{100}{A}$$

$$A = 0.5 \text{ cm}^2$$

(7-6) الموالفة :

يمكن موالفة نتاج بعض أنواع الليزر لغرض الحصول بشكل مستمر وتدرجي على أطوال موجية مختلفة تقع ضمن نطاق الانبعاث 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 تحويل انبعاث 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 ، اهمها طريقة (تنظيم معامل الكفاءة – النوعية) (Q SWITCHING) وتثبيت النمط .

(9-6) قياس خرج الليزر النبضي

عند قياس خرج الليزر النبضي 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 حيث أننا عندما نقيس القدرة الخارجة لشعاع الليزر المستمر فإننا نقيس كمية الطاقة الخارجة في مدة زمنية محددة ، وتقاس الطاقة بوحدات تسمى الجول Joule ويرمز لها بـ J ، ويقاس الوقت بالثانية .

اما المعدل الزمني للطاقة الخارجة من الليزر فيقاس بالجول / ثانية (J/S) ، وهذه تمثل القدرة (POWER) وتقاس بالواط ويرمز لها بـ W .

أسئلة و مسائل الفصل السادس

س1: املأ الفراغات الآتية:

1- يستعمل الموشور لفصل.....

2- هناك نوعين من التشاكه.....و.....

3- السطوع هو.....

4- من التطبيقات التي تدخل فيها عملية الموائفة 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 الأحمر والليزر الأحمر؟

س3: عدد خصائص اشعة الليزر؟

س4: ما سبب حدوث ظاهرة التلؤلؤ؟

س5: ماذا نقصد بالموائفة؟

س6: لماذا يخرج الليزر بانفراجية قليلة جداً؟

الفصل السابع

أنواع الليزرات

(1-7) : المقدمة

(2-7) : ليزر الحالة الصلبة

(1-2-7) : ليزر الياقوت

(2-2-7) : ليزر نديميوم

(3-7) : ليزر الغاز

(1-3-7) : ليزر الغاز الذري

(2-3-7) : ليزر الغاز الأيوني

(3-3-7) : ليزر الغاز الجزيئي

(4-7) : ليزر السائل

(5-7) : الليزر الكيميائي

(6-7) : ليزر شبه الموصل

الفصل السابع

أنواع الليزرات

(1-7) المقدمة

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

أكثر أنواع الليزر شيوفاً بالتاكيد هو ليزر الهيليوم - نيون He - Ne حيث وجدت لشعاعه الاحمر الساطع العديد من التطبيقات . فإنه يستخدم في المخازن التجارية لقراءة الاسعار المسجلة على البضائع ، وأجهزة فيديو الاسطوانة ، والطابعات الليزرية ، وأجهزة الترصيف والموازنة وغيرها من الأجهزة الكثيرة وسنلقى نظرة على عمل هذا النوع وكذلك خواصه التي نستفيد منها في تطبيقاتنا العملية .

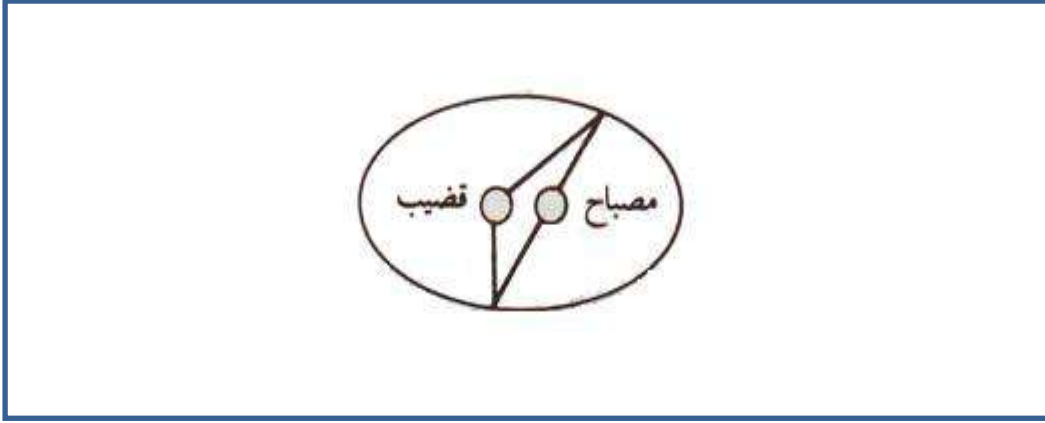
وسندرس الليزرات الجزيئية ايضاً ، ويكون ليزر ثنائي أوكسيد الكربون CO₂ مثلاً لها، حيث له العديد من التطبيقات الصناعية والطبية وكذلك سنتطرق الى ليزرات الصبغة والليزرات الايونية .

(2-7) ليزر الحالة الصلبة

تتكون ليزرات الحالة الصلبة من جسم زجاجي أو 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 المرتبطة ببلاورات اليا تريوم المنىـــــــــــــــــــــوم كرانيت، (Yatrium Aluminum Granet (YAG . والنبيوديوم مع الزجاج Glass، والكروم مع الياقوت Cr:Ruby ونحصل من النيديميوم على طول موجي قدره $1.06\mu m$ ، والكروم مع الياقوت $694.3nm$. وتصنع المادة الوسطية الرابطة والتي سمينها 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 الأكثر استخداماً هو ما نلاحظه في الشكل (1-7) حيث 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 الأشعة الصادرة من إحدى بؤرتي القطع المكافئ تتركز في بؤرته الثانية . وبذلك تتركز الأشعة الصادرة من المصباح جميعها في قضيب الليزر .

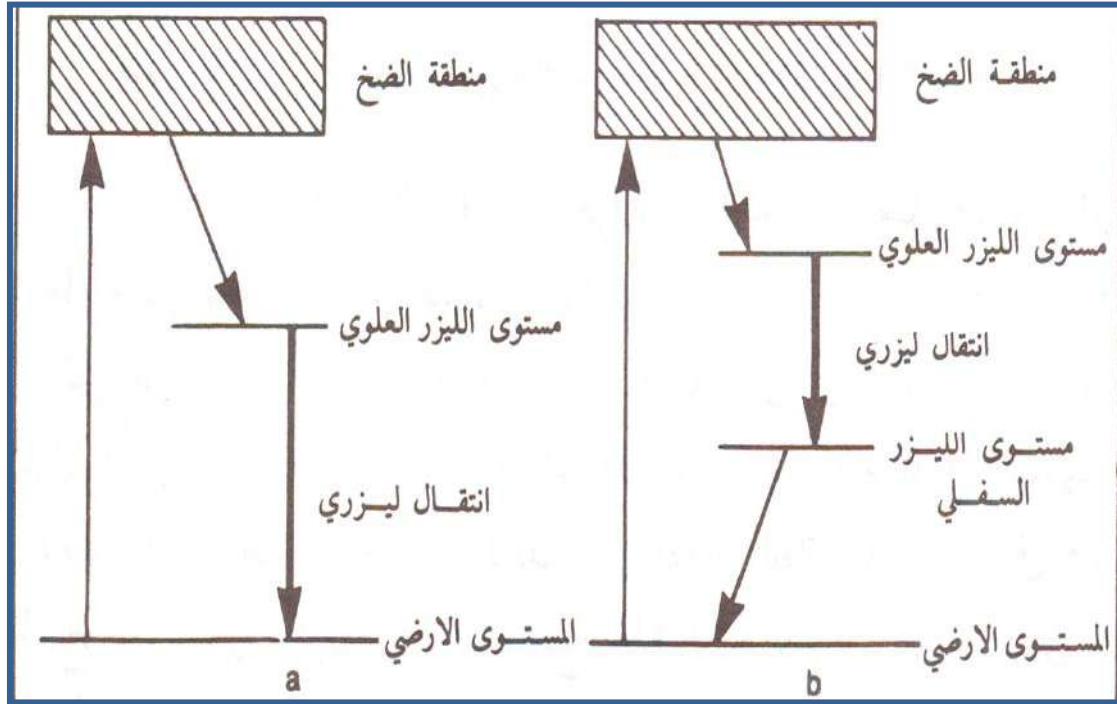


شكل (1-7) : فجوة الضخ الضوئي لليزرات الحالة الصلبة على شكل قطع مكافئ

يبين الشكل (2-7a) مخططاً مبسطاً لمستويات الطاقة في بلورة الكروم / الياقوت ، والشكل (2-7b) 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 الكربون ، 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 ، ولأسيما في الليزرات المستقطبة (ذات الأشعة 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 المرايا الخارجية . ويعتمد مقدار التركيز على (موقع الاجهاد في القضيب ، ومقدار الاستقطاب للشعاع ، ومقدار الطاقة المستخدمة في عملية الضخ) .

وبصورة عامة لا يمكن 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 .

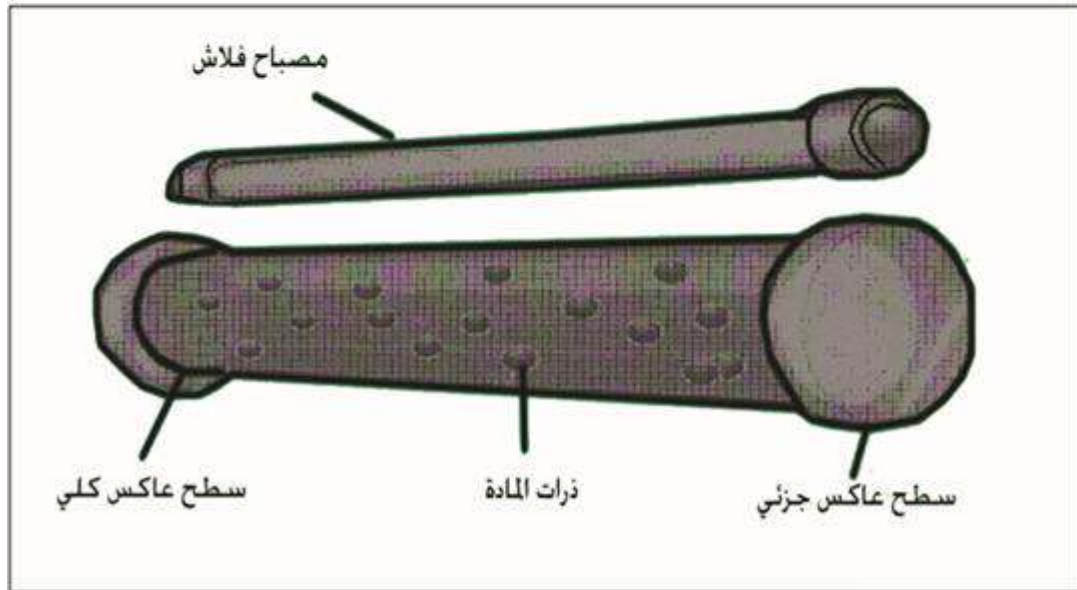
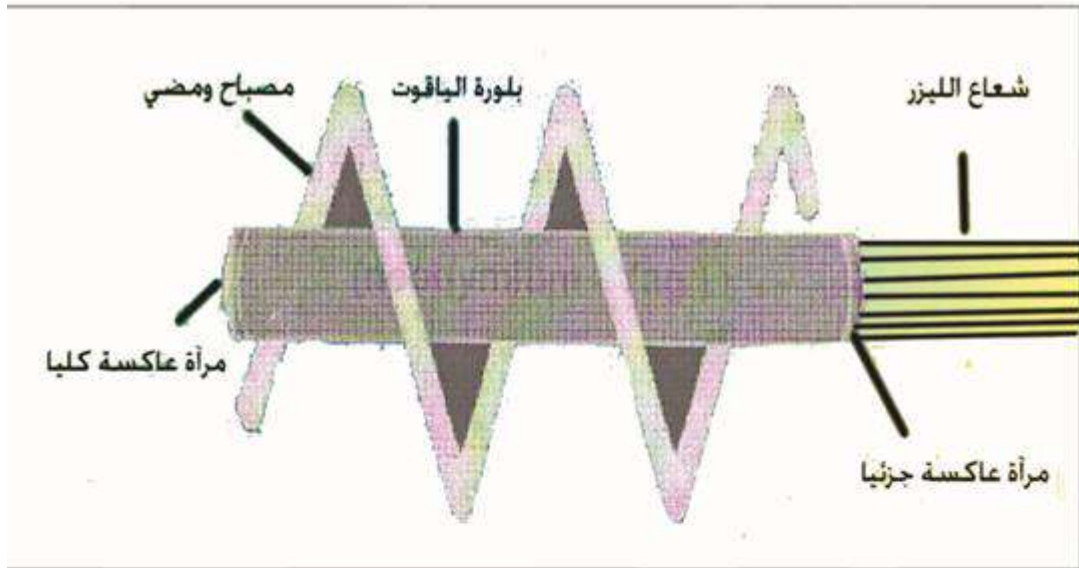


شكل (2-7): مخطط لمستويات الطاقة (a) الكروم : الياقوت (b) النيوديميوم /ياك او زجاج

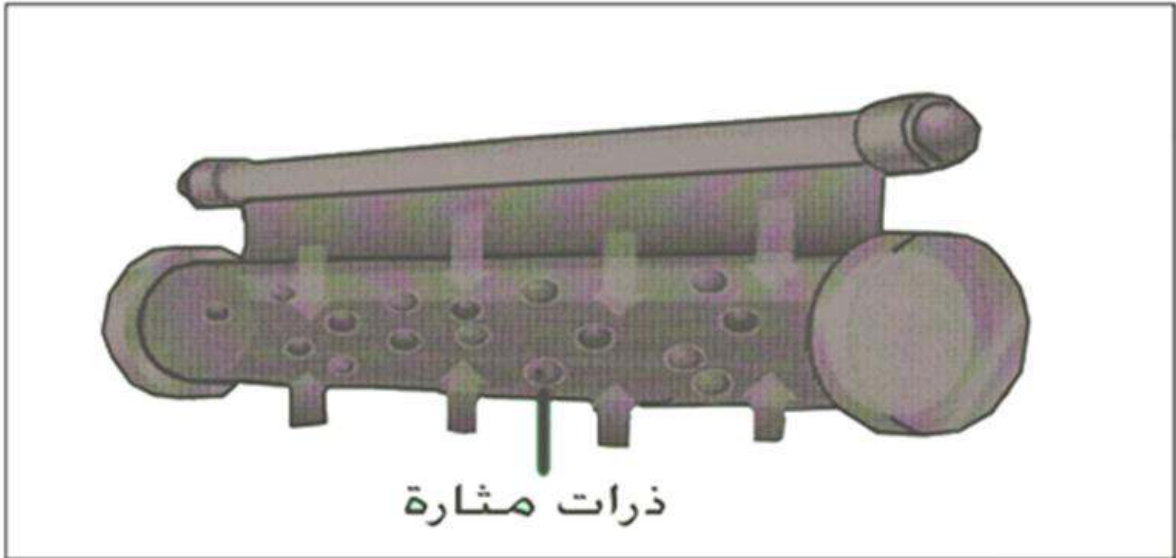
(1-2-7) ليزر الياقوت:-

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 التآين (Cr^{+3}) التي تحل محل أيونات الألمنيوم في داخل التركيب البلوري وتعطي اللون الوردي الفاتح لبلورة الياقوت . تصنع البلورة مختبرياً لغرض استخدامها كوسط فعال لعمل الليزر، فأيونات الكروميوم هي المسؤولة عن توليد مستويات طاقة جديدة في داخل التركيب البلوري وتكون مؤثرة في عمليات الانتقال المصحوبة بتوليد الليزر ، ويستخدم في أنبوب توليد الليزر بلورة أسطوانية اذ تقطع نهايتها المتقابلتان وتطليان بالفضة لتكون مرآتين من المادة نفسها فأحدهما تكون عاكسة كلياً والأخرى عاكسة جزئياً.

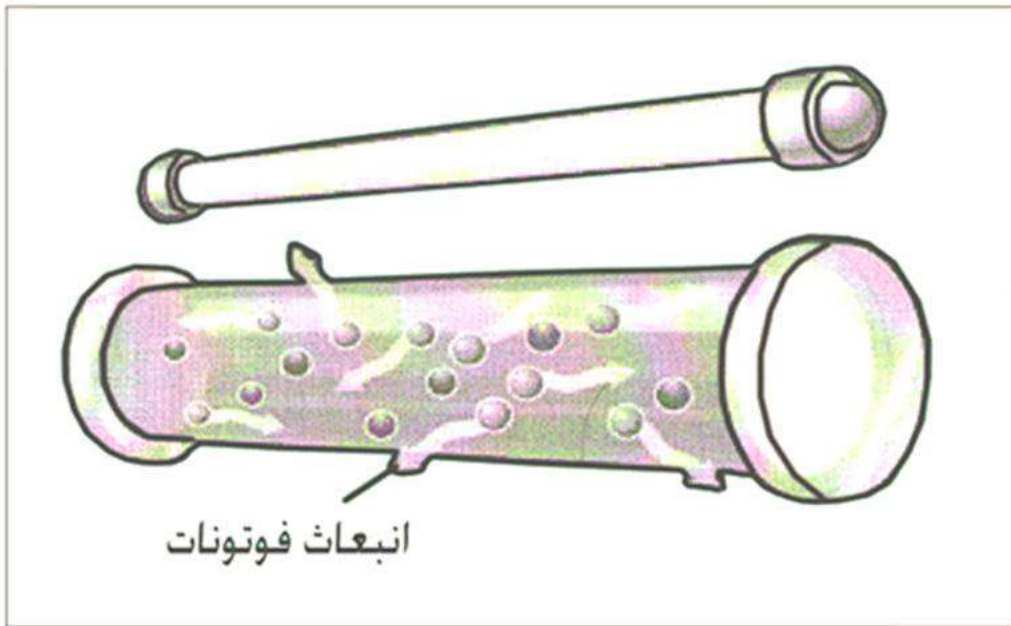
ويعُدُّ المصدر الضوئي مسؤولاً عن عملية الضخ وساق الياقوت هو مادة لإنتاج الليزر كما مبين في الأشكال الأتية (3-7), (4-7), (5-7), (6-7), (7-7) إذ توضح مكونات ليزر الياقوت وكيفية عمله .



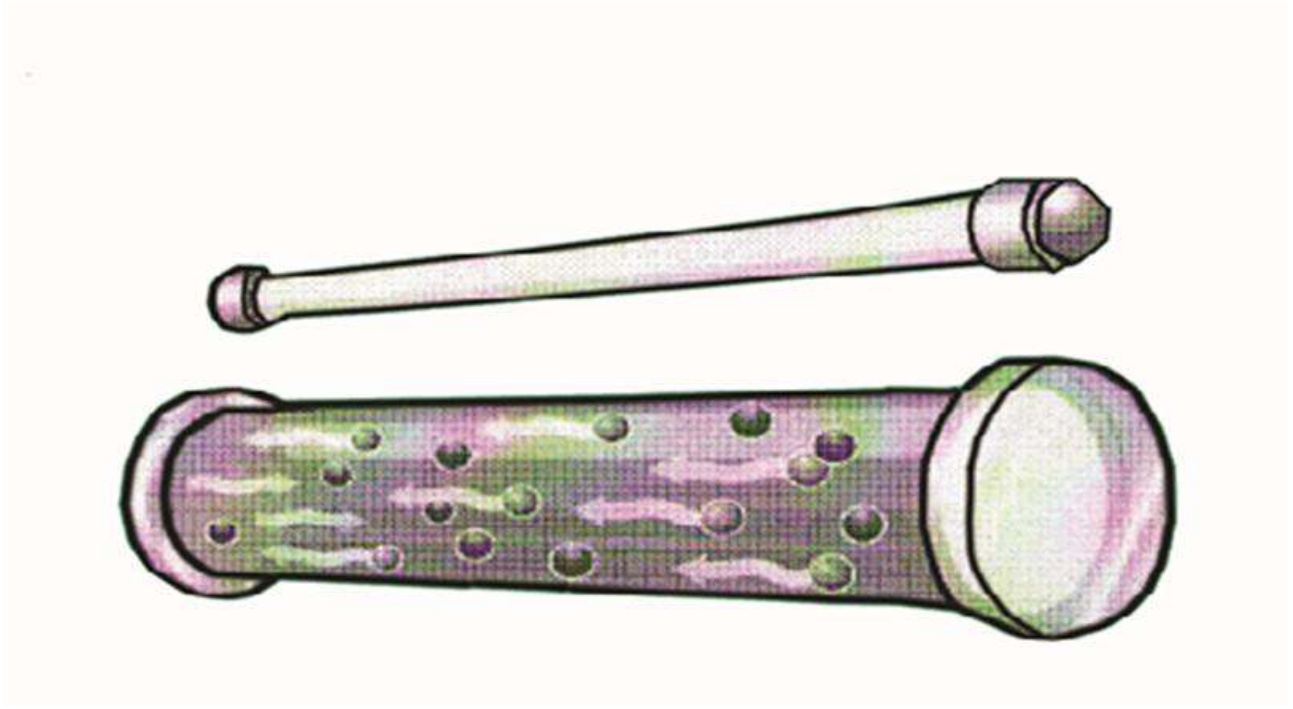
شكل (3-7) : مكونات ليزر الياقوت



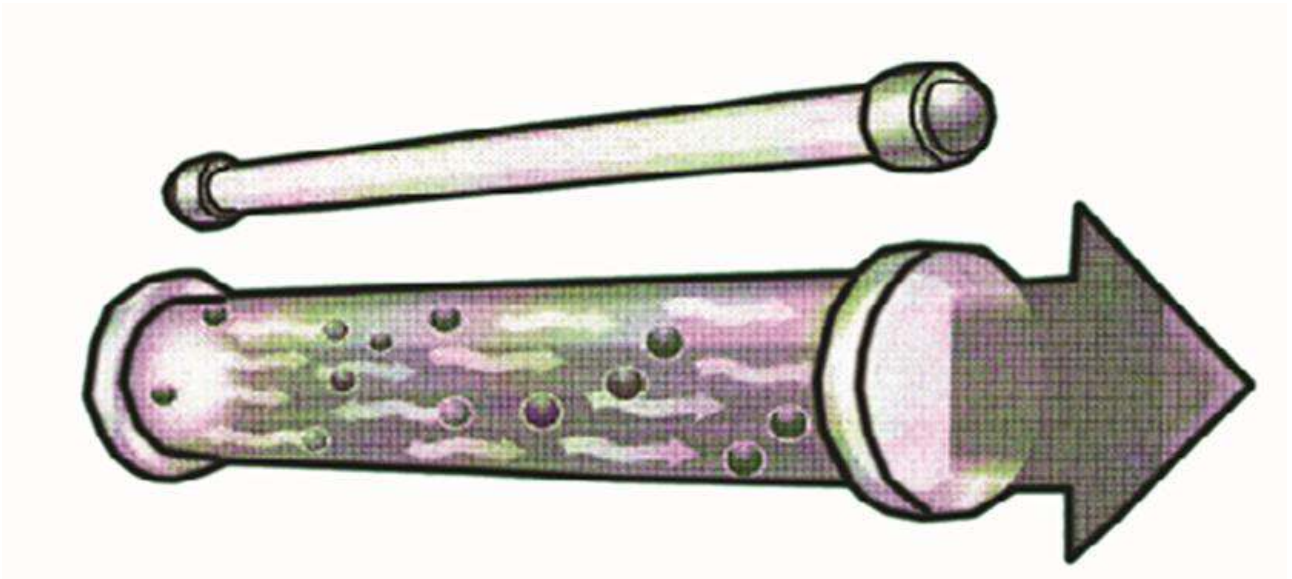
شكل (4-7) فرق جهد عالي يعمل على تزويد الفلاش بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذي شدة عالية ولدة زمنية قصيرة هذا الضوء يعمل على إثارة الذرات في بلورة الياقوت لمستويات الطاقة الأعلى



شكل (5-7) تطلق بعض الذرات فوتونات



شكل (6-7) تطلق الفوتونات بموازية محور ساق الياقوت لتصطدم بالمرآة وتنعكس الى داخل الياقوت عدة مرات لتستحدث الالكترونات اخرى لتطلق فوتونات



شكل (7-7) الفوتونات بطول موجي واحد وفي الطور نفسه ومجمعه في حزمة تعبر المرآة لتعطي ضوء الليزر

ويستخدم مصباح ومضي لولبي يحيط بالياقوت فعندما يبعث المصباح وميضاً عالي الشدة فإن 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 694nm. 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 . إن لليزر الياقوت تطبيقات عملية في التصوير المجسم وتجارب تعيين المدى لأغراض عسكرية .

(2-2-7) 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 التآين (Nd^{+3}) ويدعى بليزر نديميوم : زجاج (Nd:Glass)Laser .

وتعمل بلورة عقيق اليوتريوم ألنيوم ($Y_3Al_5O_{12}$) (Yttrium Aluminum Garnet) والتي تدعى مختصراً بالياك كوسط مضيف لأيونات النديميوم (Nd^{+3}) ويدعى الليزر الناتج بليزر نديميوم ياك (Nd:YAG) Laser 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 الطول الموجي 1.06 μm 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 600-2000 mbar ومصباح الكربتون (Kr) بضغط عال (4-6) جو للضخ النبضي والمستمر على التوالي .

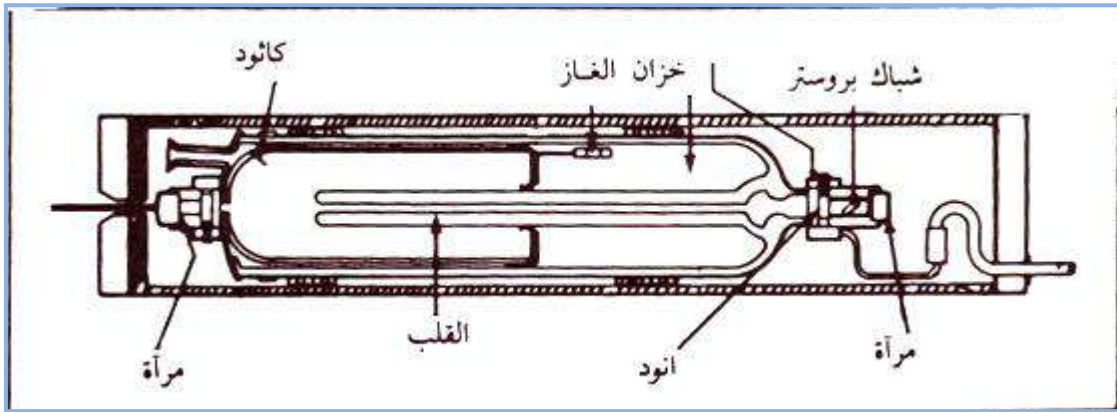
إن لهذا الليزر تطبيقات كثيرة ومتنوعة فمثلاً يستخدم في تصنيع المعادن وتعيين المدى وفي الجراحة الليزرية ويستخدم ليزر نديميوم:زجاج كمضخم ليزر في أنظمة توليد الطاقة العالية المستخدمة في تجارب الاندماج النووي .

(3-7) الليزرز الغازية:-

(1-3-7) ليزر الغاز الذري:-

يعد ليزر الهليوم – نيون من أول الليزرز الغازية الذرية ويستخدم التيار الكهربائي في عملية الضخ ، ليعطي شعاعاً احمر اللون ، وبطول موجي قدره $632.8\mu\text{m}$ وكذلك اشعة تحت الحمراء بطول موجي قدره $3.39, 1.5\mu\text{m}$ ويصمم الجهاز بحيث يحصل التضخيم بالطول الموجي الاول ، ويوضح الشكل (8-7) مخططاً لأنبوب ليزر الهليوم – نيون حيث تُضخ الطاقة في الغاز بوساطة التفريغ الكهربائي .

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



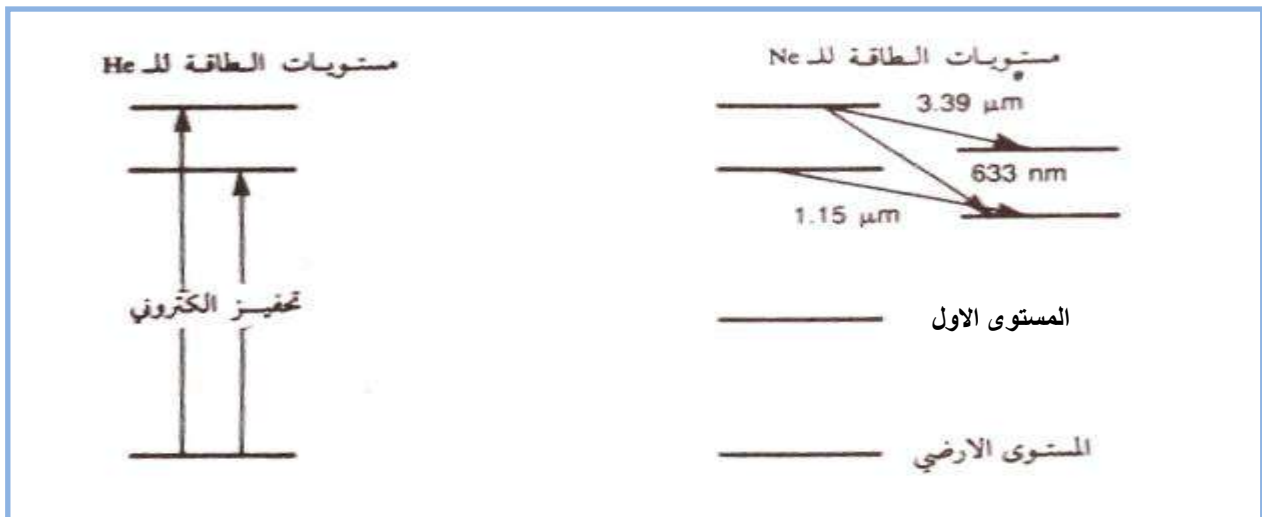
شكل (8-7) : مخطط ليزر الهليوم – نيون

تنقل الطاقة الالكترونيات 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. إن ذرات النيون إمكانية قليلة جداً لامتصاص الطاقة من الالكترونات فقط، أما ذرات الهليوم ذات المقطع التصادمي الكبير فلها احتمالية اكبر للتصادم مع الالكترونات. لذلك ستنقل 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 .

وبين الشكل (7-9) مخططاً 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 مقتصرأ على الأشعة المرئية او بالعكس ومن ثم تنتقل الذرات من المستوى الاول الى المستوى الارضي انتقالاً تلقائياً Spontaneous 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 الأشعة تحت الحمراء اذ مهما قلت انعكاسية المرايا لهذه الأشعة فيمكن ان نحصل على ربح ولو بشكل ضئيل جداً ، فتستخدم قطع من المغناط الثابتة على طول الانبوب للتقليل من التضخيم الحاصل في الأشعة 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

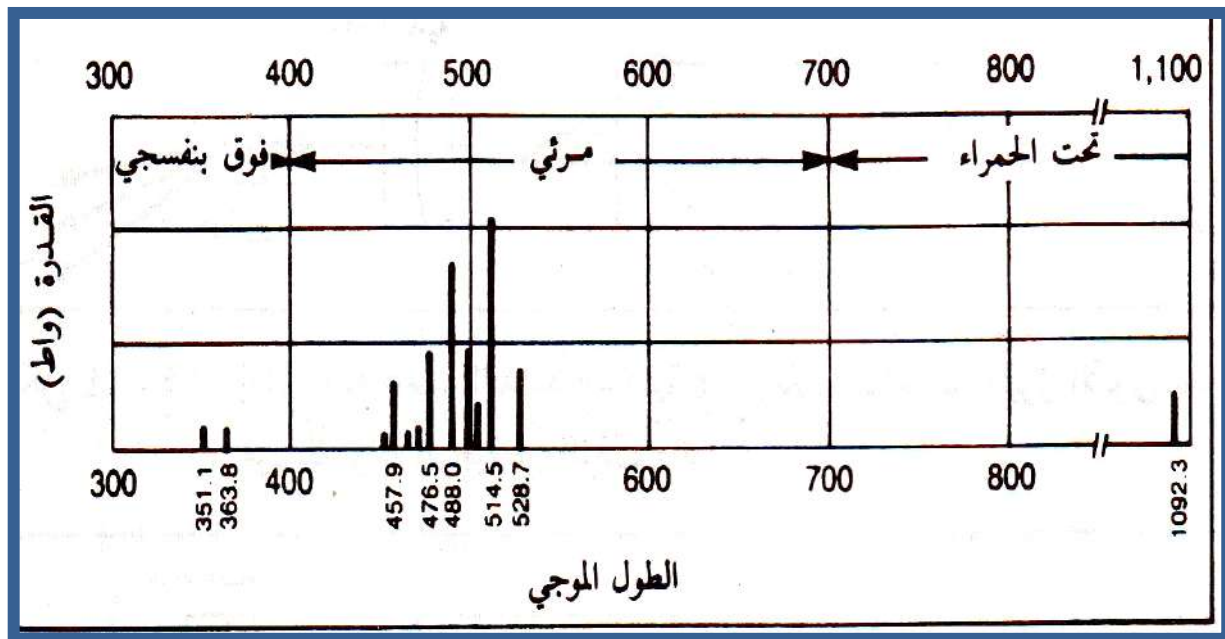
وتستخدم في اغلب ليزرات الهليوم - نيون التجارية مرايا داخلية ملتصقة على الانبوب مباشرة ، وتستخدم مع بعض انواع المرايا الخارجية ، وفي هذه الحالة يتطلب وجود شبابيك غير عاكسة في نهاية الانبوب ، ولذلك توضع هذه بزواية خاصة تسمى زاوية بروستر Brwster angles وتفضل المرايا الداخلية لأنها اكثر ثباتاً وأتزاناً ولكن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

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

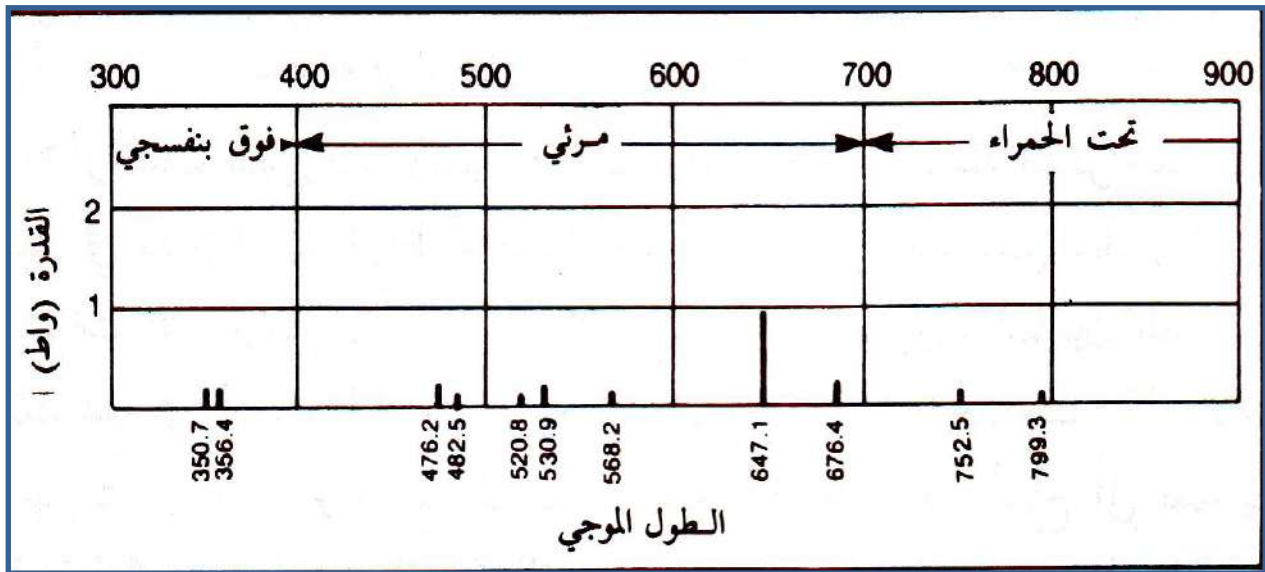
والمشكلة التي لم يكن من السهولة السيطرة عليها هي تسرب ذرات الهليوم من خلال جدران الانبوب . هذا وان ساعات العمل المحددة لهذا النوع من الليزرات هي بين (15000) و (20000) ساعة ، واكثر الاجزاء تعرضاً للتلف هو الكاثود ، اذ ان هناك علاقة بين طول الانبوب وعمره، فإذا ما كان الانبوب طويلاً فإن جزءاً من الكاثود فقط يبعث الالكترونات. وهذا ما يؤدي الى تلفه بسرعة اما إذا كان الانبوب قصيراً فإن الكاثود بأكمله 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 (10-7) و (11-7) ناتج عن الانبعاث من الوسط الفعال . والأطوال الموجية الأكثر شيوعاً والناتجة من ليزر الأركون هي الازرق (488) nm والأخضر (514.5) nm ، وأما أقوى الأطوال الموجية في ليزر الكربتون فهو الاحمر (647.1) nm 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 (12-7). ويستخدم المؤشور لتحديد الطول الموجي المطلوب وكما هو مبين ذلك في الشكل (13-7).

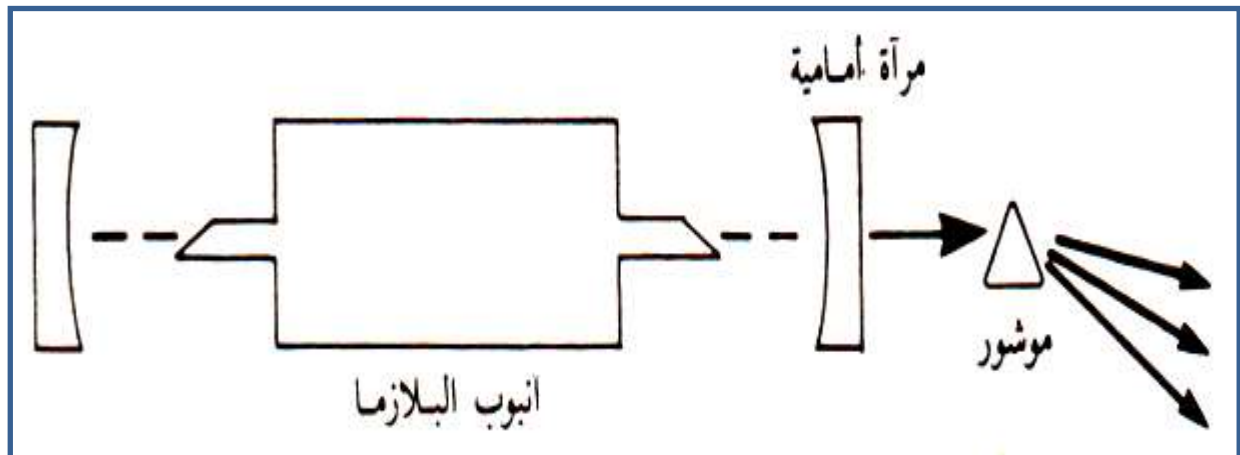


شكل (10-7): الأطوال الموجية التي يمكن الحصول عليها من ليزر الاركون

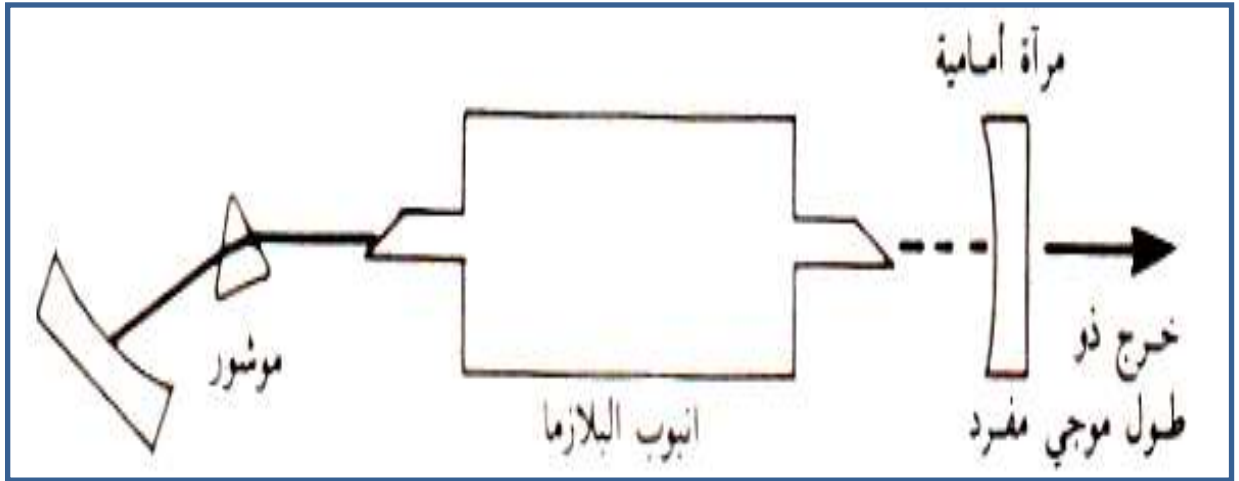


شكل (7-11) : الأطوال الموجية التي يمكن الحصول عليها من ليزر الكربتون

وتختلف الليزرز الأيونية عن الليزرز الغازية إذ إنها تعمل في مدى الجهد الواطء نسبياً (بضعة آلاف من الفولطيات) والتيار العالي (عشرات الأمبيرات)، فيكون هذا التيار ضروري لتأيين الغازات المستخدمة في انبوب البلازما. وتصل كثافة التيار الى حد مئات أو آلاف الأمبيرات في السنتيمتر 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 إذ يتذبذب الليزر الأيوني بعدد من الأطوال 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 لتتعاقل ، فإذا لم نتمكن من إعادة هذه الايونات الى داخل البلازما فإنها ستتجمع حول الكاثود لتمنع عملية استمرار التفريغ الكهربائي.

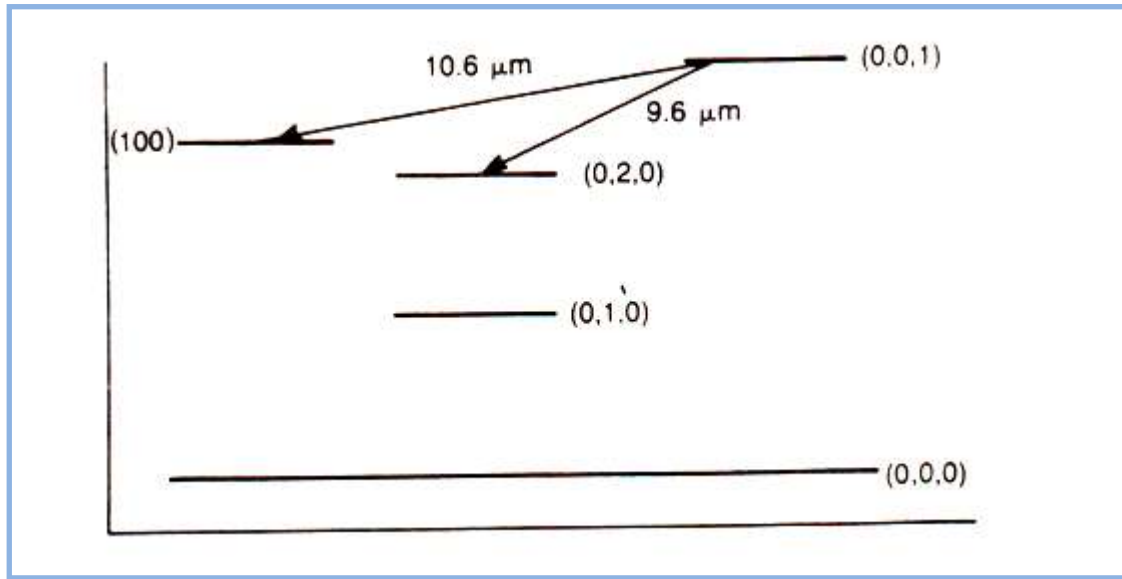
ولكل مصمم طريقته الخاصة في إعادة الايونات الى الوسط البلازمي. وتستخدم ملفات كهربائية تلف حول الانبوب لغرض زيادة التيار الكهربائي فيه وذلك بتوليد مجال مغناطيسي طويل في البلازما حيث يؤدي ذلك الى تجمع الالكترونات والأيونات في داخل الانبوب من دون أن تصطدم بجدرانها .

(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 الكربون من أهم الليزرات من الناحية الاقتصادية ،حيث يعتمد في عمله على المستويات التذبذبية لجزيئة ثنائي اوكسيد الكربون .

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



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

كيف تحصل عملية الليزر في ليزر ثنائي أوكسيد الكربون ؟

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 الكربون ان تحفز على اطلاق فوتون ، ويكون الفوتون بطول موجي قدره $10.6\mu\text{m}$ ، لتنتقل الى المستوى الأوطأ (0,0,1) ، وكذلك يمكن لها ان تحفز لإطلاق فوتون بطول موجي قدره $9.6\mu\text{m}$ ، 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 .

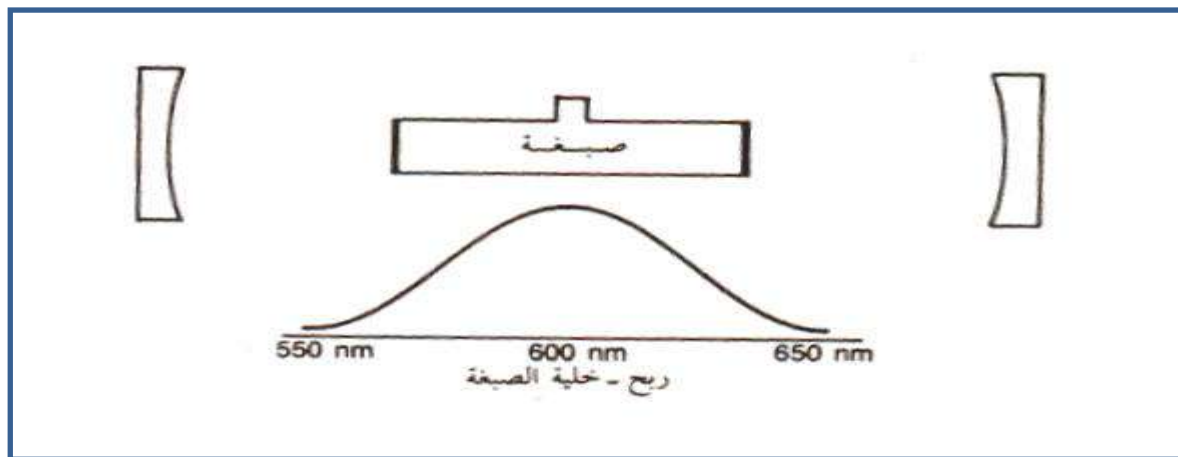
يستعمل في ليزر ثنائي أوكسيد الكربون خليط من ثلاثة غازات هي (ثنائي أوكسيد الكربون ، النايتروجين ، الهليوم) فتقوم جزيئات النايتروجين بنقل الطاقة الى جزيئات ثنائي أوكسيد الكربون، أما الهليوم فيستخدم في الخليط للمحافظة على درجة حرارته حيث ان معامل التوصيل الحراري عال وبذلك ينقل الحرارة الزائدة نحو الخارج .ويمكن لجزيئة ثنائي أوكسيد الكربون أن تعطي قدرة عالية تصل الى حد 20 KW أو أكثر .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 الأكزيمر Excimer والتي تحضر فيها جزيئة من ذرات لا يمكن 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:-

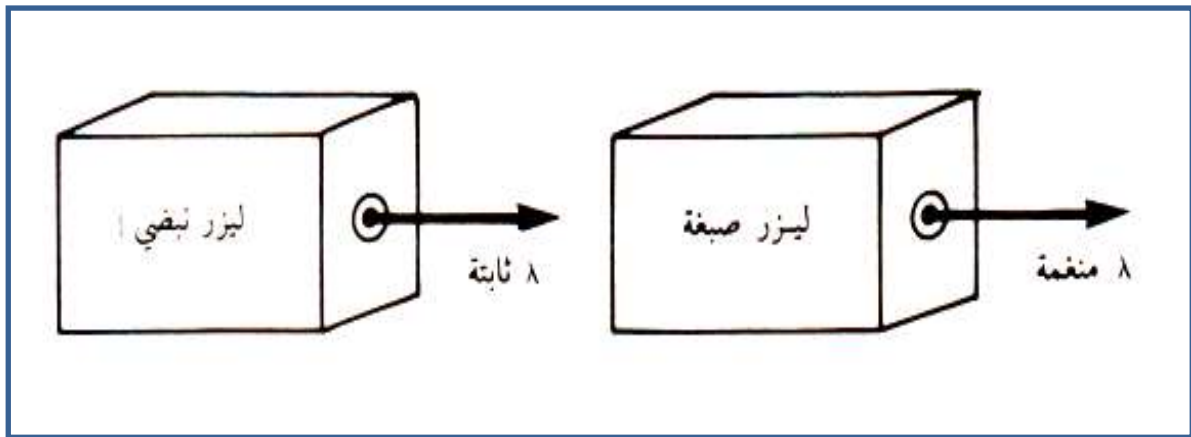
ناقشنا في الفصول السابقة المنظومات غير الخطية التي يمكن بواسطتها التحكم بالطول الموجي لشعاع الليزر الخارج (اي يمكن تنعيم الطول الموجي) ، وفي ليزرات الصبغة تتوفر هذه الخاصية ايضاً، اذ يمكن تنعيم الطول الموجي للشعاع الخارج منها ، وتستخدم جزيئات المواد العضوية كوسط فعال فيها، وتكون هذه مذابة في وسط مائي. 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 الليزر، ونظراً لأن عرض نطاق التردد لليزر الصبغة كبير فيمكن تنعيم شعاع الليزر على التردد المطلوب، فإذا ما وضعنا موشوراً أو أكثر في الليزر المبين في الشكل (7-15) أمكننا الحصول على عرض نطاق اقل من الـ 100 nm).



شكل (7-15) : يبين عرض النطاق في الليزر الصبغة كبيراً جداً

تضخ الطاقة في ليزرات الصبغة بطريقة ضوئية غالباً، وتستخدم المصابيح الوهاجة أو أنواع أخرى من الليزرات، كما مبين في الشكل (7-16)، وكذلك في عملية الضخ الضوئي في الأنواع الأخرى من الليزرات فيتوجب استخدام طول موجي أقصر من الطول الموجي للشعاع الصادر من الليزر (هل تعلم لماذا؟) تستعمل ليزرات تقع أطوالها 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 للتنعيم أداة فاعلة في دراسة الأطياف والكيمياء الضوئية، وتستخدم في عملية فصل النظائر ولاسيما نظائر اليورانيوم.



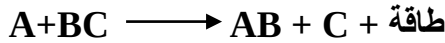
شكل (7-16) : يبين شعاع الليزر في عملية ضخ الطاقة في الليزر الصبغي

(5-7) الليزر الكيميائي

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 الكيميائية المستخدمة للتفاعل بحالة صلبة أو سائلة أو بحالة غاز وأنه غالباً ما يستخدم الغاز في أنواع هذا الليزر، ففي الليزر الكيميائي تتكون جزيئة الوسط الفعال نتيجة التفاعل الكيميائي بين المواد المستخدمة وتؤدي الطاقة المتحررة عن التفاعل إلى تهيج هذه الجزيئات مسببة الانبعاث المحفز بين مستوياتها التذبذبية، لذا يقع معظم الأشعاع في مدى الأشعة تحت الحمراء أي بين $1-10 \mu\text{m}$. وتتميز الليزرات الكيميائية كليزر الهيدروجين والفلور والاكسجين واليود بقدرتها على توليد نبضات ذات قدرات عالية قد تصل إلى الميكرواواط 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 إلى إمداد مستمر بالمواد الكيميائية لكي تعمل ولهذا فإنه يصعب نقلها إلا من خلال تركيبها في السفن أو في الطائرات الكبيرة.

إن أهمية هذا الليزر تقع في أن تشغيله لا يحتاج إلى دوائر إلكترونية معقدة ولا إلى مصادر خارجية لضخ الطاقة باستمرار كما يتوقع أن تؤدي الطاقة العالية الناتجة عن التفاعل الكيميائي لوحدة الحجم والكتلة إلى إنتاج ليزر ذي قدرة عالية ، وإن الليزر الكيميائي يمكن أن ينتج نبضات ليزر بقدرة أعلى مما تنتجها الأنواع الأخرى .

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



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

(6-7) ليزر شبه الموصل :-

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

يختلف ليزر شبه الموصل عن ليزر الحالة الصلبة في أغلب الصفات الفيزيائية والهندسية وأبرزها الاختلاف في الحجم ، فلا يتجاوز أكبر بعد في ليزر شبه الموصل عن 1mm قد يصل مادون حجم حبة العدس ومن مميزات سهولة عملية الضخ فيها من خلال استخدام التيار الكهربائي وبسبب هذه المميزات انتشر استخدامها في التطبيقات التي تحتاج ليزرات صغيرة الحجم ولا تستهلك كمية كبيرة من الطاقة كما في أنظمة الاتصالات الضوئية وفي الأقراص الضوئية المدمجة وفي الطابعات وأجهزة المساحة ، وقد انتج من الليزرات شبه الموصلة في عام 2004م فقط ما يقارب من 750 M ليزر، بينما كان مجموع ما انتج من بقية أنواع الليزرات 150 M ليزر وإن 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 ومسابيل الفصل السابع

س1: اختر العبارة الصحيحة لكل ما يأتي ؟

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 الكربون

d- تفاعل كيميائي

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

a- عدسات ذات بعد بؤري كبير

b- قطع من المغناط 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 الكربون؟

س7: ماهي طريقة الضخ في الليزرات الاتية:

1-ليزر فلوريد الهيدروجين

2-ليزر الصبغة

3-ليزر ثنائي اوكسيد الكربون

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 الكيميائي

3-ليزر السائل

4-ليزر الغاز الجزيئي

5-ليزر الغاز الايوني

س9- ماهي عيوب الليزر الكيميائي؟

س10- اذكر اسعمالات ليزر شبه الموصل؟