كلية الكوت الجامعة
مركز البحوث والدراسات والنشر

ISBN: 978-9922-612- 23-2

مقدمة في
تكنولوجيا الليزر وتطبيقاته

Introduction of Laser Technology and it's applications

تأليف

أ. د. كريم علي الساعدي
جامعة بغداد
كلية التربية ابن الهيثم - قسم الفيزياء

أ. م. د. طالب زيدان الموسوي
رئيس مجلس ادارة كلية الكوت الجامعة
نائب رئيس جمعية الليزر العراقية

أ.م.د. قاسم مهدي السعيدي
كلية المأمون الجامعة/ قسم هندسة تقنيات القدرة الكهربائية
عضو جمعية الليزر العراقية

2022

منشورات

مركز البحوث والدراسات والنشر

كلية الكوت الجامعة

٦٢١ /٣٦٦

س ٢٦٤ الساعدي، كريم علي

مقدمة في تكنولوجيا الليزر وتطبيقاته/

كريم علي الساعدي، طالب زيدان، قاسم

مهدي السعيدي. - ط١. - بغداد: مطبعة الرفاه، ٢٠٢٢

١٦٥ ص ؛ ٢٤سم

١- أشعة الليزر - تكنولوجيا- أ- زيدان ، طالب

(م.م)- ب- السعيدي، قاسم مهدي (م. م)

ب- العنوان.

م. و.

١٩٢٣/ ٢٠٢٢

جميع الحقوق محفوظة للمؤلفين ولايسمح بنسخ أو استعمال أو اعادة اصدار اي جزء من الكتاب سواء ورقيا أو الكترونيا دون أذن خطي من المؤلفين.

رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد

١٩٢٣ لسنة ٢٠٢٢ م

مطبعة الرفاه

07902823204

المقدمة Introduction

جاءت تسمية الليزر(laser) من أختصار للاحرف الاولى لفكرة عمل الليزر المتمثله بالكلمات الانكليزية الاتية:

(Light Amplification by Simulated Emission of Radiation)

وتعني تكبير(تضخيم) الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للاشعاع. وهو اشعاع كهرومغناطيسي فوتوناته متساوية في التردد ومتطابقة في الطور الموجي. موجاته تتداخل تداخلاً بناءً للتحول الى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية وشديدة التماسك زمانياً ومكانياً. وزاوية انفراج صغيرة جداً. يتضمن الليزر انواع مختلفة مثل ليزرات الصبغة (السوائل) والليزرات الكيمائية ،ليزر اشباه المواصلات، الليزرات الغازية، تستخدم الليزر في عدة مجالات مثل قياس المسافات الصغيرة جداً والكبيرة جداً بدقة عالية، وفي عمليات القطع الصناعي والعمليات الجراحية وخاصة العين، وفي الاجهزة الالكترونية لتنفيذ الاقراص الضوئية، وفي التسليح العسكري. يتكون جهاز الليزر من مادة، لتوليد الليزر، مصدر طاقة، عاكس قوي ومخرج انبوبي، وشعاع الليزر..... تم تأليف هذا الكتاب لغرض اغناء المكتبة العراقية بمصادر باللغة العربية وتسهيل فهم تقنيات الليزر حيث يشمل على ستة فصول. يتطرق الفصل الاول الى تفاعل الاشعاع مع المادة والتأهيل المعكوس والتأهل الطبيعي. اما الفصل الثاني فيتطرق الى عرض المفاهيم الاساسية عن الليزر. والفصل الثالث يعرض مفهوم المرنان البصري. اما الفصل الرابع يتضمن شرح تكنلوجيا الليزر.. اما الفصل الخامس فيتناول شرح انواع الليزر والفصل السادس يشرح تطبيقات الليزر في المجالات الصناعية، والطبية، والعسكرية والبيئية نأمل ان ينال هذا الكتاب رغبة القارئ العربي ومن الله سبحانه وتعالى التوفيق.

المؤلفــون

الفصـــل الاول

تفاعل الاشعاع مع المادة

(Interaction between Metal and Radiation)

1-1 المقـــدمة Introduction

الإشعاع طاقة تطلق بشكل موجات، أو جسيمات مادية صغيرة. يوجد الإشعاع في كل أنحاء الكون، وله أشكال عديدة. مثل الأشعة السينية، وأشعة جاما، والإشعاع الصادر عن المفاعلات النووية. وأكثر أنواع الإشعاع شيوعًا الضوء الذي نراه حولنا، مثل ضوء الشمس وضوء البرق. ومن أشكال الإشعاع أيضًا الأشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس، وبالإضافة إلى ذلك هناك أشكال أخرى كثيرة، مثل الحرارة المنبعثة من النار، والإشارات الراديوية، وضوء الليزر، والموجات الدقيقة.

يوجد الإشعاع حيثما كان هناك انتقال للطاقة من مكان إلى آخر. فالذرات والجزئيات تطلق الطاقة الزائدة في شكل إشعاع. وقد ينقل الإشعاع، عند اصطدامه بمادة ما، جزءًا من طاقته إلى المادة، وتكون هذه الطاقة عادة في شكل حرارة ترفع درجة حرارة المادة. ومعظم أنواع الإشعاع، باستثناء الضوء، تكون غير مرئية.

هناك نوعان أساسيان من الإشعاع، احدهما يسمى الإشعاع الكهروضوئي على هيئة موجات. اما النوع الآخر يسمى الإشعاع الجسيمي، والمكون من جسيمات مادية دقيقة.

توجد عدة مصادر للإشعاع الكهروضوئي. فكل المواد عند تسخينها تصبح مصادر لمثل هذا النوع من الإشعاع. تنتج الشمس إشعاعًا كهرومغناطيسيًا من التفاعلات النووية التي تحدث في مركزها، وتسخن هذه الطاقة الطبقة الخارجية من الشمس، مما يؤدي إلى توهج الغازات الساخنة، منتجة الضوء وغيره من أنواع الإشعاع. ينتقل الإشعاع الشمسي عبر الفضاء إلى الأرض وغيره من الكواكب.

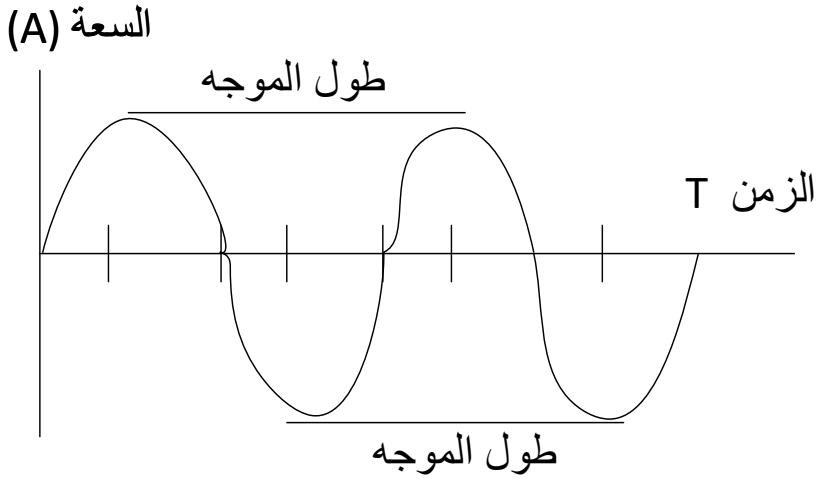
ويأتي الإشعاع الجسيمي من المواد النشطة إشعاعيًا، التي يوجد بعضها في الطبيعة، ومنها، على سبيل المثال، الراديوم واليورانيوم وغيرهما من العناصر الثقيلة التي توجد في الصخور والتربة. وبالإضافة إلى ذلك يستطيع العلماء تحضير أشكال العناصر النشطة إشعاعيًا في المعمل بقذف العنصر بالجسيمات النووية، وتعتمد كل أشكال الحياة على الأرض على الإشعاع، ويتضمن الاشعاع عدد من المصطلحات يمكن تعريفها بالشكل التالي:

1-2 الموجات waves

هي احد اشكال انتقال الطاقة. او وسيلة من وسائل تقل الطاقة او المعلومات او هي دالة لمسار مكان وزمان الطاقة المنتقلة الموجات اما ميكانيكية وتنتقل في وسط مادي مرن وهي موجات طولية مثل الموجات المائية والصوتية او موجات كهرومغناطيسة ناتجة عن تغيير مجالين كهربائي ومغناطيسي كل منهما عمود على الاخر، وكذلك عموديان على اتجاه مسار الموجه وتنتقل في الفراغن وهي موجات مستعرضة مثل الموجات الراديوية. الموجه هي أي نمط يتكرر مع الوقت. فمثلا أمواج البحر. والموجات الصوتية و موجات الجهد الكهربائي هم تتكرر بنمط معين. والشكل رقم (1-1) يمثل الموجة

1-3 الشكل الموجي(waveform)

الشكل الموجي هو الرسم البياني بين الزمن اللازم لاتمام هزة كاملة والسعة والتي هي اعظم ازاحة للجسم المهتز عن موضع استقراره. فمثلاً الشكل الموجي للجهد الكهربائي يوضح العلاقة بين متغير الوقت على المحور الأفقي ومتغير الجهد على المحور العمودي .عندما تلاحظ تغيراً في ارتفاع الموجه في الرسم البياني فهذا يدل على تغير الجهد مع الزمن والشكل(1-1) يمثل تغيير السعة مع الزمن. جميع الموجات تأخذ شكل الموجة الجيبية (sin wave form) اي يمكن تمثيلها بمنحي دالة الجيب(sin curre) او منحي دالة جيب تمام (cosin curre) مثل موجات الماء وموجات الضوء



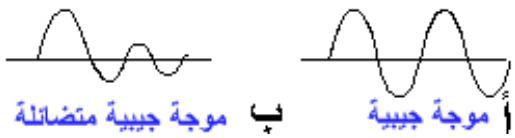
الشكل (1-1) يمثل تغيير السعة مع الزمن

1-4 أنـــواع المـــوجات

تأخذ الموجه الاشكال الاتية:

1. الموجات الجيبية (sine waves)

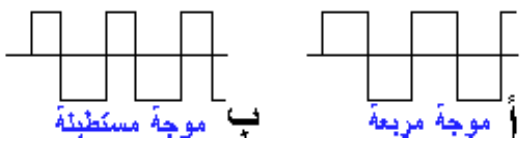
هي منحني رياضي يصف تذبذباً دورياً لموجات تغير نفسهابفترات زمنية منتظمة.سميت نسبة الى منحني دالة الجيب (sin curre) او منحي الجيب تمام(cosin curre) . فمثلا معظم مصادر التيار المتناوب تعطي موجات جيبية. هناك نوع خاص من الموجات الجيبية تسمى الموجـــات الجيبية المتضـــائلة (damped sine wave) وهي الموجات التي لا تستمر او تتلاشى سعة اهتزازها تدريجياً نتيجة لقوة معرقلة والشكل رقم (1-2) يمثل (أ)موجة جيبية، (ب)يمثل موجة متضائلة.



شكل رقم (1-2) أ-يمثل الموجه الجيبية ب- يمثل موجة جيبية متضائلة

2. الموجات المربعة والمستطيلة (square & rectangular waves)

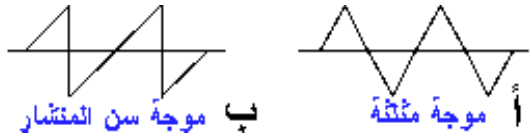
تدل الموجة المربعة على وجود جهد يرتفع وينخفض بفترات زمنية ثابتة أما الموجه المستطيلة فتعني أن فترات الإرتفاع والانخفاض غير متساوية. تستعمل الموجات المربعة لاختبار المضخمات والدوائر المستخدمة في التلفزيون والراديو والكمبيوتر وكإشارات توقيت. أما الموجات المستطيلة فتستخدم لتحليل الدوائر الرقمية والشكل (1-3)، أب يمثل الموجات المربعة والمستطلية.



شكل (1-3) أ – تمثل الموجه المربعة ، ب- يمثل الموجه المستطيلة

3. الموجات المثلثة وموجات سن المنشار(triangular and sawtooth waves)

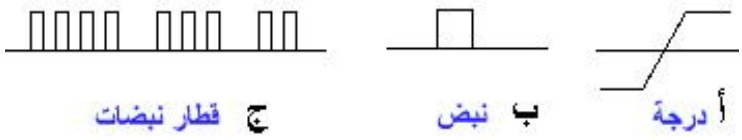
هذه الموجات تنتجها الدوائر المصممة للتحكم بالجهد ويحدث الانتقال بين مستويات الجهد في هذه الموجات بمعدلات ثابتة كما في الشكل (1-4) أ، ب حيث (أ) يمثل موجات مثلثة (ب) يمثل موجة سن المنشار



شكل (1-4) أ تمثل موجه مثلثة ، ب تمثل موجه سن المنشار

4. الموجات الدرجية والموجات النبضية (step & pulse waves)

توجد الموجات النبضية في الكمبيوتر حيث تتخاطب أجزاء الكمبيوتر الرقمية مع بعضها باستخدام النبضات. كذلك يمكن أن نجد الموجات النبضية في أجهزة الاتصالات . أما الموجات الدرجية تعني تغيير مفاجئ في الجهد فالنبض يمثل ما يمكن أن نراه عند تشغيل ثم واطفاء المفتاح الكهربائي. كمايطلق على مجموعة نبضات تتحرك سوياً: بقطار نبضات كما في الشكل (1-5) أ.ب.ج يمثل الموجات النبضية ، وموجات قطار نبضات و الموجات الدرجية.



شكل (1-5) أ يمثل موجة درجية ب. يمثل نبض ج.يمثل قطار نبضات

1-5 خصائص الموجات waves charctristis

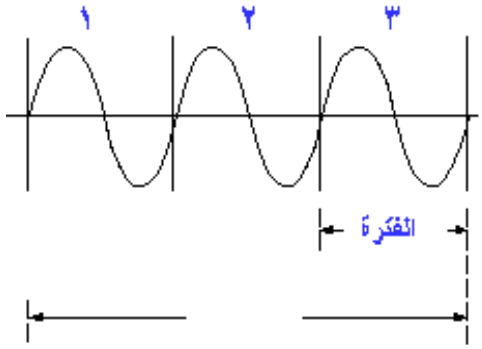
تتصف الموجات بالخصائص الاتية:

1- التردد (الذبذبة)(frequency)

هو عبارة عن عدد الدورات في الثانية الواحدة أو عدد هزات الجسم في الثانية الواحدة ويرمز لها(v) ووحدة قياس الذبذبة على الثانية تسمى بالهرتز(HZ) وترتبط مع الزمن بالعلاقة الاتية: $V=1/T$ حيث T يمثل الزمن و v يمثل التردد.

2- زمن الدورة اوالفترة (period)

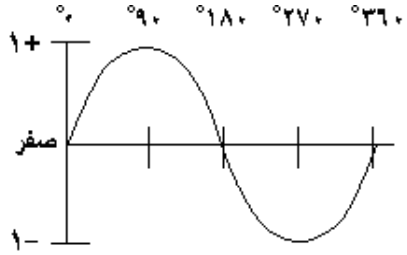
هي الزمن الذي تحتاجه الموجة لاكمال دورة واحدة أو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز في هزة واحدة. والشكل (1-6) يمثل زمن الذبذبة



شكل رقم (1-6) تمثل زمن الذبذبة

3- طور الموجة (phase)

هو حالة الموجة الكهرومغناطيسة في مكان وزمان محدد في الفضاء أو جزء من طول موجة له اهمية من وجه توافق الموجات ذات الطول الموجي الواحد، او عدم توافقها. أن الموجة الجيبية تعتمد على حركة دائرية. مقدارها 360 درجة. إذا فدورة واحدة من الموجة الجيبية تحتوي على 360 درجة كما هو موضح بالشكل رقم(1-7) يمثل طور الموجي



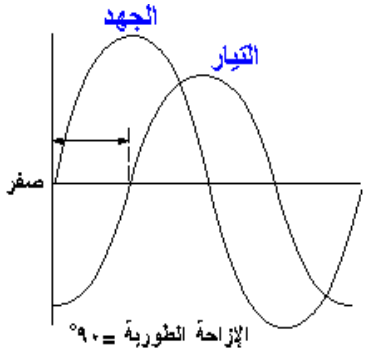
شكل رقم (1–7) يمثل طول الموجة

4– زاوية الطور (phase angle)

هي جزء من طول موجه بالدرجات وهو الجزء الذي انتهى من فترة الموجة. أو زاوية الطور هي الفرق الجبري بين زاوية الجهد وزاوية التيار وتساوي صفر في التيار المستمر.

5– الإزاحة الطورية (phase shift)

الفرق في التوقيت بين موجتين متشابهتين. في الشكل رقم (1–8) نجد أن الإزاحة الطورية بين موجة الجهد و موجة التيار هي 90 درجة أي أن الموجتين تصلان إلى نفس النقطة في دورتهما بعد ربع دورة أو 4 /360 = 90 درجة. أو هو الانحراف عندما يكون رسم الزاوية دالة



شكل (1–8)

6– سرعة الموجة: المسافة التي تقطعها الموجة في ثانية واحدة وسرعة الموجة (v) = طول الموجة ƛ * التردد (f)

$$f * ƛ = v$$

7- جبهة الموجة

8- سعة الموجه (A)

هي اقصى ازاحة تصلها دقائق الوسط عن موضع استقراره او اكبر مسافة يبتعد بها الجسم المهتز عن موضع استقراره ويرمز لها(A)

9- **طول الموجه (λ)**

المسافة التي تقطعها الموجة في وحدة الزمن او المسافة بين قمتين متتاليتين او قعرين متتالين او بين نقطتين متتاليتين تتحرك بنفس الاتجاه والسرعة.

10- القمة والقعر:

القمة اعلى نقطة تصلها الدقائق المهتزة اما القعر فهي اوطئ نقطة تصلها الدقائق المهتزة

11- المسار البصري أو مسار الموجة:

هو الخط المستقيم الذي يسلكه الضوء عند الانتقال خلال الوسط او طول الممر البصري ويساوي ضرب طول المسار في معامل انكسار الوسط.

12- **التداخل (Interference):**

التداخل اوالتراكيب ظاهرة تحدث بين الموجات المتماثلة فيحدث بينهما تراكيب او تداخل نتيجة صدورهما من مصدر واحد او تقاربهما في قيمة التردد ويكون على نوعين :

أ. التداخل البناء اي تعزز الوحدة الاخرى، ويشكلان موجة ثالثة، ويحدث عندما تكون للموجتين تردد واحداو عندما يكون الفرق بين مسلكين الموجات مساوياً لعدد زوجي من انصاف الموجات او مساوياً للصفر.

ب. التداخل الهدام اي ان الموجة الاولى تدمر الاخرى ويحدث عندما تكون ازاحة الطور 180 درجة فتكون الموجة المتشكله صفرياً وكذلك تحدث تحث عندما يكون الفرق بين كلا الموجات مساوي لعدد فردي من انصاف الموجات

1-6 الإشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiation

أ. الاشعة الكهرومغناطيسية

الاشعاع الكهرومغناطيسي (الموجات الكهرومغناطيسية): هو احد اشكال الطاقة تطلقه او تمتصه الجسيمات المشحونة وتسلك سلوك مشابه للموجات اثناء انبعاثها في الفضاء.

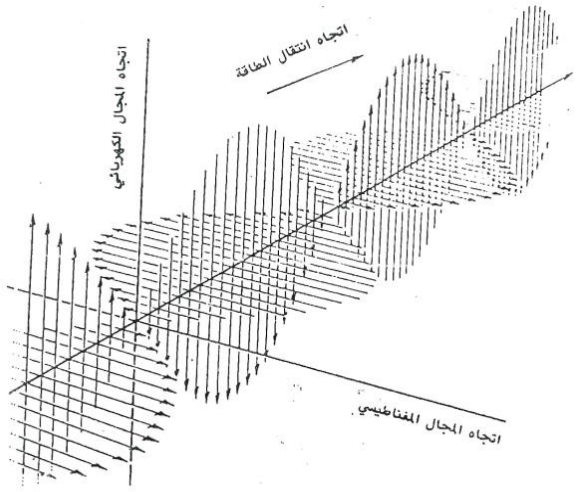
يتكون الإشعاع الكهرومغنطيسي من الطاقة الكهربائية والمغناطيسية. فكل جسم مشحون كهربائيًا محاط بمجال كهربائي، وهو المنطقة التي تؤثر فيها القوة الكهربائية للجسم. وكل جسم مغناطيسي محاط أيضًا بمنطقة مشابهة تسمى المجال المغناطيسي. ويولد التيار الكهربائي، أو (المجال الكهربائي المتغير)، مجالاً مغناطيسيًا، كما يولد المجال المغناطيسي المتغير مجالاً كهربائيًا. ويعمل المجالان الكهربائي والمغناطيسي المتعامدان كلا منهما على الاخر وعموديان على مسارهما لإنتاج الإشعاع الكهرومغناطيسي.

يسلك الإشعاع الكهرومغناطيسي عبر الفراغ في شكل موجات،كما في الشكل (1-9) ولكنه ذو خصائص جسيمية أيضًا. وتطلق الذرات الإشعاع الكهرومغناطيسي في شكل حزمة دقيقة من الطاقة تسمى الفوتون. يشغل الفوتون مساحة محددة من الفراغ، مثل الموجات، ذو تردد وطول موجي يمكن قياسهما. وتتفاوت طاقة فوتون للإشعاع الكهرومغناطيسي حسب التردد والطول الموجي. حيث تزداد بزيادة تردد الإشعاع وقصر طوله الموجي، ويقل بانخفاض التردد و الطول الموجي. تنتقل كل أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي بسرعة الضوء في الفراغ،

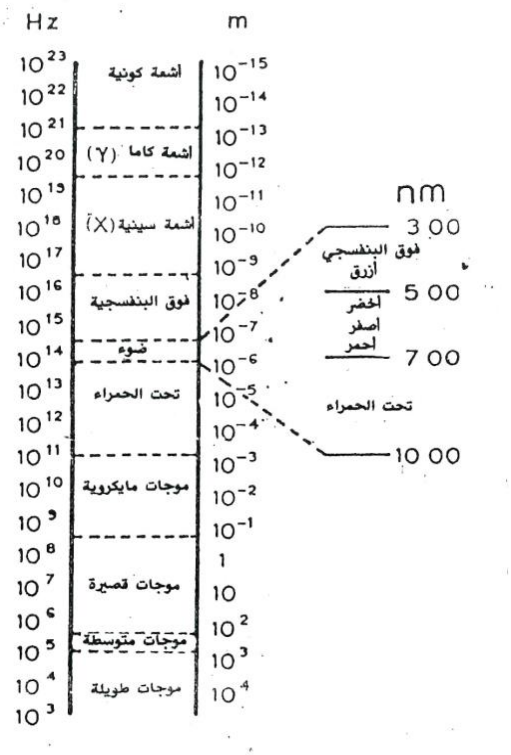
ب. الطيف الكهرومغناطيسي

ولكن الأنواع المختلفة من الإشعاع تختلف في التردد والطول الموجي، وتصنف حسب ترتيب يسمى الطيف الكهرومغناطيسي. فالأشعة الكهرومغناطيسية أو الطيف الكهرومغناطيسي أو

الامواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل نفس المعني الفيزيائي وحين التحدث عن جزء خاص من هذا الطيف الكهرومغناطيسي مثل الضوء المرئي والمايكروويف واشعة اكس واشعة جاما وموجات التلفزيون والراديو والاشعة فوق البنفسجية وهي عبارة اشعة تعرف باسم الاشعة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Radiation) ولها نفس الخصائص ولكنها تختلف في الطول الموجي Wavelength أوالترددFrequency . والشكل رقم (1-10) يمثل نوع الطيف. ان الامواج المائية المنتقلة في وسط مائي فإن جزيئات الوسط (الماء) هي التي تتذبذب فتنتج اضطرابات تنتشر في وسط الماء. وكذلك الحال في الامواج الصوتية حيث ان الصوت ينتقل من خلال اضطراب في جزيئات الهواء على شكل تضاغط وتخلخل خلال انتشاره في الفراغ. ولكن الحال مختلف في الامواج الكهرومغناطيسية حيث أن الذي يتموج (يتذبذب) في هذه الحالة هو المجال الكهربائي الذي ينشئ من تذبذب الجسيمات المشحونة مثل الإلكترون ذو الشحنة السالبة أو البروتون ذو الشحنة الموجبة. فإذا افترضنا شحنة سالبة (إلكترون) مرتبطة بزنبرك لنجعلها تتذبذب تحت تإثير قوة الزنبرك كما في الشكل رقم (1-11) حيث يمكن زيادة قوة الزنبرك من خلال ازاحة صغيرة للشحنة السالبة وتركها تتذبذب فينتج عن ذلك انبعاث اشعة الكهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء وتتأثر بها الشحنة الموجبة على الطرف المقابل.



الشكل (1-9) يمثل الموجة الكهرومغناطيسية



الشكل (1–10) يمثل الطيف الكهرومغناطيسي

شكل (1–11) يمثل حركة الشحنة السالبة

وهذا سبب تكون الاشعة الكهرومغناطيسية حيث ان تذبذب الشحنات المكونة للذرة يؤدي إلى انبعاث الطيف الكهرومغناطيسي والذي يقوم بدور الزنبرك هو درجة الحرارة التي تمد الشحنات بالطاقة أو اي نوع من انواع الإثارة Excitation مثل التصادمات وغيره. ويعتمد الطول الموجي للاشعة

الكهرومغناطيسية على درجة اثارة الشحنة ومن هنا نجد ان الطبيف الكهرومغناطيسي له مدى واسع وللتميز بين الاطوال الموجية حسب الشكل (1-10) اعطيت اسماء مختلفة مثل اشعة المايكروويف والاشعة المرئية واشعة اكس واشعة جاما.الاشعة الكهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة ثابتة هي سرعة الضوء وقيمتها$3x10^8m/sec$. وتنقل الطاقة من المصدر (source) إلى المستقبل(receiver). تم اكتشاف باقي انواع هذه الاشعة على مراحل حيث كان العالم هيرتز 1887 Hertz أول من عمل في هذا المجال وكان في ذلك الوقت فقط اشعة الراديو والاشعة المرئية ومن ثم تم اكتشاف باقي الطيف الكهرومغناطيسي.

1-7 انواع الموجات (الاشعة الكهرومغناطيسية)

ان الاشعة الكهرومغناطيسية تمثل انواع مختلفة من الامواج منها الامواج الراديوية ذات الطول الموجي الطويل والتردد القصير ، منطقة الاشعة المايكروويفية ،منطقة الاشعة تحت الحمراء، منطقة الاشعة المرئية ، منطقة الاشعة فوق البنفسجية، منطقة اشعة اكس، ومنطقة اشعة جاما. وهذا التسلسل وفقاً لزيادة تردد هذه الموجات. ولكل منطقة من مناطق الطيف الكهرومغناطيسي خصائص تميزها عن بعضها البعض وبناء عليه نتجت تطبيقات مختلفة لهذه الاشعة .ان منطقة الطيف المرئي هي التي منحنا الله سبحانه وتعالى القدرة على رؤيتها وهي المنطقة التي تستجيب لها شبكية العين لتتمكن من رؤية الاشياء من حولنا. وفي ما يلي انواع الموجات الكهرومغناطيسة

1- موجات الراديو

هي موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجي اكبر من ضوء الاشعة تحت الحمراء ولها ترددات بين 30 هرتز- 300 ميكا هرتز. ونابجة عن اهتزاز الكترونات الهوائي المرسل للامواج.

تم اكتشافها من قبل العالم ماركوني Marconi وتستخدم في نقل الاصوات، واشارة التلفزيون، والتلفون و الراديو والصور أو الأصوات. وفيما يلي انواعها:

أ. الموجات الطويلة والمتوسطة

هي الموجات التي تستطيع الحيود حول العوارض مما جعل امكانية استخدامها في أجهزة الراديو و التقاطها حتى في أخفض الأودية.

ب. الموجات ذات التردد العالي (VHF) Very High Frequency Waves

هي الموجات الكهرومغناطيسة التي تستخدم في أنظمة الراديو الصوتية المجسمة ذات الجودة العالية.

ج. الموجات فائقة التردد (Ultra High Frequency Waves UHF)

تستخدم هذه الموجات في التلفاز. لذا لا يمكن استقبالها بصورة ناجحة ما لم يكن هوائي التلفاز أو المذياع على طريق مستقيم من محطة الارسال لعدم حيودها عن المواقع بصورة دقيقة.

2- الموجات الدقيقة :Micro Waves (المايكروية)

هي موجات كهرومغناطيسية راديوية قصيرة الطول الموجي يتراوح طولها بين (10^{0} نانومتر إلى 3 ×10^{0} نانومتر) ويمكن توليدها بوساطة أجهزة الكترونية خاصة. ولقصر طولها الموجي فإنها تستثمر في أنظمة البث الإذاعي وفي التلفاز والرادار وملاحة الطيران وأنظمة الاتصالات مثل أجهزة الهاتف النقال. وأفران الميكروويفة عمليات الطبخ المنزلي بوقت قصير.

3- الموجات تحت الحمراء : Infrared Waves

تعني كلمة Infra red تحت الحمراء والتي ترددها اقل من تردد الاشعة الحمراء في الطيف الكهرومغناطيسي المرئي .الاشعة تحت الحمراء تستخدم في اجهزة الرؤية الليلية لأنها تعتمد على الاشعاع الحراري المنطلق من الاجسام .(ويسمى الجهاز المستخددم للرؤية الليلية بالبالوميتر Balometers) تطلق الاشعة الحمراء من الأجسام الحارة بنسب متفاوتة .ان هذا الإشعاع ناتج عن الاهتزاز السريع للجزيئات.يقع طيف الاشعة تحت الحمراء بين الطيف المرئي وطيف اشعة المايكروويف. وتقسم إلى ثلاثة مناطق وهي على النحو التالي:

أ. **الاشعة تحت الحمراء القريبة Near infrared** وهي الاقرب إلى الاشعة المرئية وبالتحديد اللون الأحمر.

ب. الاشعة تحت الحمراء البعيدة Far infrared وهي التي تكون الاقرب إلى اشعة المايكروويف.

ج. الاشعة تحت الحمراء الوسطى Med infrared تقع بين الاشعة تحت الحمراءالقريبة والاشعة تحت الحمراء البعيدة.

4 –الضوء (الأشعة المرئية): Visible Light

هو اشعاع كهرومغناطيسي مرئي طوله الموجي يتراوح بين (400-700 نانومتر) يتحلل الى عدة اطياف عند مروره بالمنشور او التي تظهر في السماء بعد سقوط المطر (وتعرف بقوس قزح)، لكل لون من هذه الألوان طول موجي خاص يكون فيها اللون الأحمر اطول طول موجي في الطيف المرئي بينما يكون اللون الأزرق أقصر الأطوال الموجية. اجتماع هذه الألوان مع بعضها البعض يعطي اللون الأبيض. ولتحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف نستخدم منشور حيث ينحرف (ينكسر) كل لون بزاوية خاصة حسب طوله الموجي. لشمس مصدر اساسي للاشعة المرئية. حيث أن عملية الابصار تعتمد على انعكاس هذا الطيف الكهرومغناطيسي من الاجساء وسقوطها على العين فاللون الاحمر يعكس اللون الاحمر ويمتص باقي الألوان ولذالك نراه احمر وهكذا بالنسبة لبقية الألوان وتتكون الصورة المرئية بتجميع هذه الانعكاسات على شبكية العين. كذلك تعمل كاميرا التصوير الفوتوغرافية أو الفيديو بنفس الآلية.

5– الموجات فوق البنفسجية : Ultraviolet waves

الأشعة فوق البنفسجية لها طول موجي أقصر من الطول الموجي للضوء الأزرق.. اكتشفت الاشعة فوق البنفسجية في العام 1801 من قبل العالمJohann W. Ritter .لا تستطيع العين الكشف عن الاشعاعات فوق البنفسجية على الرغم من توافرها بكثرة في الاشعاع الشمسي. وهذا النوع من الأشعة هو المسؤول عن تلوين جلدك باللون الذي تراه. ولكن التعرض بكثرة للاشعاعات فوق البنفسجية يؤدي إلى حروق في الجسم وضرر كبير على العينين.

وبعض المواد الكيميائية عندما تمتص الاشعاع فوق البنفسجي فإنها تطلق الضوء. وهو ما يعرف بظاهرة التهيج "الفلورسنت" (النور الاستشعاعي). وهذا هو سر " الأكثر بياضاً من اللون الأبيض" لمساحيق الغسيل، حيث تمتص هذه المواد الموجات فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس. وتصبح بعد ذلك أكثر اشعاعاً مما يجعل الملابس تبدو أكثر نضارة مما قبل.

6- الأشعة السينية: (X – Rays)

وهي اشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجي يتراوح بين 10 كيلومتر الى 10 نانومتر وذات تردد مابين $H210^{8}\times30-30\times10^{15}m$ وطاقتها تتراوح مابين 124 الكتروفولت- 124 كيلوالالكتروفولت وتستخدم في التصوير الشعاعي، يستخدم أنبوب خاص لانتاج هذا النوع من الموجات حيث تقذف الالكترونات السريعة جداً على هدف معدني مما ينتج عنه انطلاق أشعة قصيرة الموجة وتتميز بقدرة عالية على الاختراق. تستطيع هذه الأشعة الانتقال عبر المواد عالية الكثافة مثل الرصاص. وكلما كان الطول الموجي للأشعة السينية كبيراً كلما قلّت قدرتها على الاختراق وعندئذ تستخدم لاختراق اللحم داخل جسم الإنسان ولكنها لا تستطيع اختراق العظم. ولذلك فإن الصورة باستخدام الأشعة السينية تظهر صورة العظام واضحه. وجميع أنواع الأشعة السينية ضارة حيث أنها تتلف الخلايا الحية في جسم الإنسان.

7 – أشعة جاما: ɣ -Rays

اكتشف اشعة جاما العالم الفرنسي فيلارد Villard في العام 1990م. اشعة كاما هذه الاشعة ذات الطول الموجي الاقصر في الطيف الكهرومغناطيسي وذات الطاقة الأعلى وذلك لأنها تنتج من التصادمات النووية ومن العناصر المشعة. وكما هو الحال في انتاج اشعة اكس (x-rays) ومن تعجيل الالكترونات في فرق جهد عالي حيث يتم تعجيل الأنوية بطاقة عالية جداً باستخدام المعجلات، مثل السيكلترون cyclotron والسنكلترون synchrotron. كذلك تنتج اشعة جاما من الشمس نتيجة للتفاعلات النووية ان طاقة اشعة جاما تصل إلى مليون الكترون فولت. وتعتبر المجرات السماوية والنجوم المنتشرة في الفضاء مصدر لها. يدرس علماء الفلك هذه الاشعة بواسطة مراصد مخصصة لهذا الغرض لفهم اسرار هذا الكون.. تقطع اشعة جاما مسافات فلكية في الفضاء وتمتص هذه الاشعة فقط عند اصطدامها بالغلاف الجوي للكرة الأرضية. وبهذا يشكل الغلاف الجوي حماية للمخلوقات الحية من هذه الاشعة المدمرة. تحدد خواص الاشعة الكهرومغناطيسية طولها

الموجي (λ) وترددها(ν) وترتبط سرعتها(c) مع التردد والطول الموجي من خلال المعادلة الاتية:-

$$\chi = \nu \lambda \ldots\ldots\ldots 1-1$$
$$E = h \nu \ldots\ldots\ldots 2-1$$

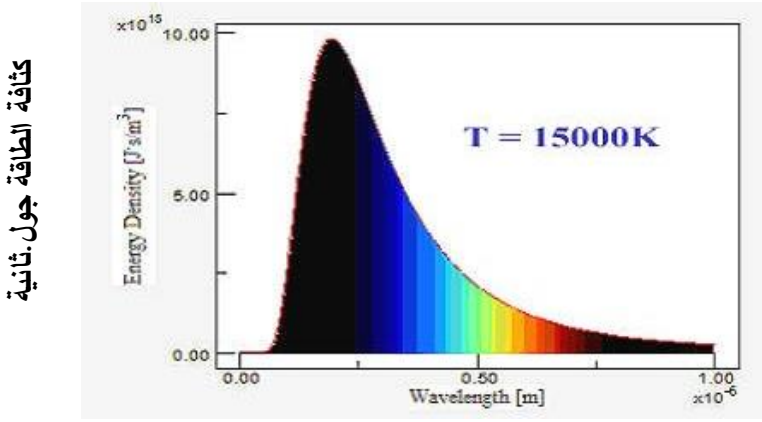
تحسب طاقة الاشعة الكهرومغناطيسية(E) لها طاقة تعطى بالمعادلة الاتية

حيث ان: cسرعة الضوء ، ν التردد ، λ طول الموجي، E مستوى الطاقة η

من العلاقات (2-1) تزداد طاقة الاشعة عند زيادة التردد ان جسم الانسان يتحمل طاقة اقصاها طاقة الطيف المرئي وتعتبر طاقة الطيف فوق الازرق ضارة للجلد البشري والتعرض لها يسبب خطورة كبيرة. إن للأشعة الكهرومغناطيسية لها خاصية مزدوجة ها خصائص موجية عندما نتحدث عن ظواهر فيزيائية مثل الحيود والتداخل وهذه الظواهر لا يمكن تفسيرها إلا إذا تعاملنا مع الأشعة الكهرومغناطيسية على أساس إنها تتصرف كموجة لها الخصائص الجسيمية للأشعة الموجية.. ولكن ظواهر أخرى مثل انعكاس الأشعة الكهرومغناطيسية على أسطح المرايا أو انكسارها عند مرورها في وسط له معامل انكسار مختلف عن الوسط الذي انبعثت منه مثل العدسات والمنشور الزجاجي فإن الأشعة الكهرومغناطيسية تتصرف بخاصيتها الجسيمية ولا يمكن هنا التعامل مع الأشعة الكهرومغناطيسية إلا على إنها جسيمات مادية.. وهذا ما جعل العلماء ينقسموا إلى قسمين الأول مؤيد للخاصية الموجية والآخر مؤيد للخاصية الجسيمية..ولكن مع التقدم العلمي في مطلع القرن العشرين تم اكتشاف ظواهر أخرى غير التي سبق ذكرها مثل إشعاع الجسم الأسود أو الظاهرة الكهروضوئية أو ظاهرة كمبتون وغيرها وهذه الظواهر لا يمكن التعامل معها أو تفسيرها إلا إذا اعتمدنا الخاصية الجسيمية للأشعة الكهرومغناطيسية والاستعانة بمفهوم فيزياء الكم Quantum Physics.

1-8 إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation

ينبعث إشعاع كهرومغناطيسي من كل الأجسام عند أية درجة حرارة يتواجد عندها ويسمى بالإشعاع الحراري. تزداد كمية الإشعاع الحراري المنبعث من الجسم بزيادة درجة الحرارة ويقل بنقصانها. أن الأجسام تتبادل الحرارة بينها وبين الوسط المحيط بها إذا اختلفت درجات الحرارة بينهما, فإذا كانت درجات الحرارة متساوية ففي هذه الحالة يكون الجسم في حالة اتزان حراري Thermal Equilibrium أي إن ما يمتصه الجسم من أشعة حرارية من الوسط المحيط به خلال وحدة زمن تساوي ما ينبعث منه. إن توزيع الأشعة المنبعثة من الجسم عند درجة حرارة معينة كدالة في الطول الموجي كانت مسألة محيرة للعلماء حيث إنهم لم يجدوا تفسيراً علمياً للنماذج العملية التي توضح علاقة توزيع الأشعة مع الطول الموجي ولم تكن النظرية الكلاسيكية قادرة على إيجاد تفسير لها وذلك حتى مطلع القرن العشرين. الشكل رقم (1-12) يوضح العلاقة بين لتوزيع شدة الأشعة المنبعثة من الجسم الأسود كدالة في الطول الموجي بوحدة النانومتر.



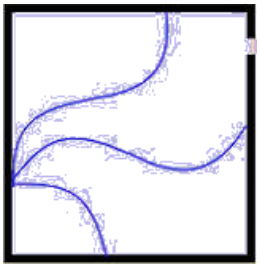
طول الموجه

شكل رقم (1-12) يوضح الانبعاث الحراري

تعتمد الأشعة المنبعثة من الجسم الاسود على:-

1. درجة حرارته
2. نوع مادة الجسم .ان الجسم الاسود هو نظام مثالي قادر على امتصاص كافة الأشعة الساقطة عليه ومشع مثالي وهذا الجسم عبارة عن صندوق مجوف له ثقب صغير فإذا نفذ شعاع إلى داخل الصندوق من خلال الثقب فإن الشعاع ينعكس على جدران الصندوق الداخلية حتى

يتم امتصاصه بالكامل، والشكل رقم (1–13) يمثل الجسم الاسود.



شكل (1–13) يمثل صندوق مجوف فيه نفق

عند دراسة الانبعاث الحراري من الجسم الأسود عند الدرجات حرارة مختلفة عملياً يظهر مايلي:

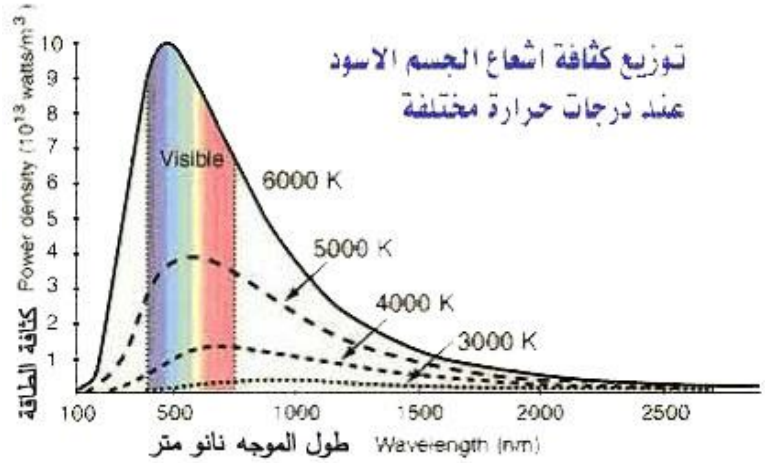
1. **النتيجة الأولى**: ان شدة الإشعاع المنبعث من الصندوق الأسود دالة بين الطول الموجي (λ) والسرعة (c) وفق العلاقة الاتية :

$$E = hc / \lambda \quad .....3–1$$

يظهر ان شدة الاشعاع تتناسب طردياً مع التردد وفق العلاقة الاتية:–

$$E = \eta\nu \quad .....4–1$$

2. **النتيجة الثانية**: عند زيادة درجة الحرارة للجسم الأسود تسبب نقص في الأطوال الموجية(λ) ويزداد مقدار الإشعاع بزيادة درجة الحرارة. الشكل رقم (1–14) يوضح رسم بياني بين طول الموجة وشدة الاشعاع



شكل رقم (1–14) يمثل العلاقة بين الشعاع الجسم الاسود ودرجة الحراة

إن ظاهرة إشعاع الجسم الأسود تحدث بصورة يومية فعند تسخين جسم ما مثل الحديد نلاحظ إن

الجسم عندما ترتفع حرارته يبدأ في إشعاع لون قريب من اللون الأحمر وعندها تكون درجة حرارة الجسم تقارب 700 درجة مئوية ثم بزيادة الحرارة يتحول إلى اللون البرتقالي وهكذا حتى يصل إلى اللون الأبيض والذي يدل على أن الجسم وصل إلى درجة حرارة 1200 درجة مئوية. فمثلاً فتيلة المصباح الكهربائي التي تعطي الضوء الأبيض فإن حرارتها ترتفع بمرور التيار الكهربي فيها إلى إن تصل درجة الحرارة إلى 1200 درجة مئوية. لقد حاول بعض العلماء وضع تفسيرات للطيف المنبعث من الجسم الأسود ومن هذة التفسيرات :-

1- قانون ستيفان بولتزمان

ينص قانون ستيفان بولتزمان على أن الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود لكل وحدة مساحة تتناسب طردياً مع القوة الرابعة لدرجة جرارة الجسم.

$$E(T) = \sigma T^4 \quad \text{.....5-1}$$

σ تمثل ثابت ستيفان= 5.67 يعتمد على المادة أو طبيعتها أو شكلها وهو ثابت عام.

2- قانون وينز(Winz Displacement Law)

ينص قانون وينز على أن التردد يزداد بزيادة درجة الحرارة (يتناسب طردياً) كما هو موضح في العلاقة الاتية

$$v_{max} = \text{constant} \times T \quad \text{.....1-6}$$

حيث إن قيمة الثابت تساوي 5.88×10^{10}Hz/K وT= درجة الحرارة قام العالم وينز بوضع معادلة لتفسير توزيع كثافة الطاقة على الأطوال الموجية في حدود المدى من $\lambda \to \lambda + d\lambda$ وهي على النحو التالي:

$$E(\lambda)d\lambda = c_1\lambda^{-5}e^{-c_2/\lambda T}d\lambda \quad \text{.....7-1}$$

حيث أن c_1, c_2 ثوابت اختيارية لمطابقة المعادلة مع النتائج العملية ووجد أن هذه المعادلة تنطبق على إشعاع الجسم الأسود للترددات العالية فقط (الأصول الموجية القصيرة).

3- نظرية رايلي _ جينز

اعتبر العالمان رايلي وجينز أن الجسم الأسود مكون من عدد كبير من المتذبذبات المشحونة التي تتحرك حركة توافقية بسيطة(simple harmonic motion) وهذه المتذبذبات المشحونة تطلق أشعة كهرومغناطيسية أثناء حركتها بحيث تكون كثافة توزيع الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود مساوية لكثافة الطاقة للمتذبذبات عند الاتزان الحراري.

الامواج الكهرومغناطيسية الواقفة في أي حيز متوازن حرارياً يجب ان تحقق معادلة الموجة ذات الابعد الثلاثة التالية :-

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 E}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 E}{\partial z^2}=\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \ldots\ldots 8\text{-}1$$

حل هذة المعادلة يعطي قيمة صفرية عند جدران الصندوق، في حين تكون لها قيمة غير صفرية في مواقع اخرى داخل الصندوق. وبالنسبة الى الموجة الواقفة مع انعكاسها تكون مغلق. وعند تطبيق الشروط الحدية فان الحل العام لمعادلة الموجة يكون بالشكل التالي :-

$$E = E_0 \sin\frac{n_1\pi x}{L}\sin\frac{n_2\pi y}{L}\sin\frac{n_3\pi z}{L}\sin\frac{2\pi ct}{\lambda} \quad \ldots\ldots 9\text{-}1$$

وباخذ المشتقة الاولى ل x للمعادلة(1-8) نحصل على

$$\frac{\partial E}{\partial x}=\left(\frac{n_2\pi}{L}\right)E_0\cos\frac{n_1\pi x}{L}\sin\frac{n_2\pi y}{L}\sin\frac{n_3\pi z}{L}\sin\frac{2\pi ct}{\lambda} \quad \ldots\ldots 10\text{-}1$$

وباخذ المشتقة الثانية للمعادلة (1-10) نحصل على

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \left(\frac{n_1\pi}{L}\right)^2 E_0 \sin\frac{n_1\pi x}{L} \sin\frac{n_2\pi y}{L} \sin\frac{n_3\pi z}{L} \sin\frac{2\pi ct}{\lambda} = \left(\frac{n_1\pi}{L}\right)^2 E$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = \left(\frac{n_2\pi}{L}\right)^2 E_0 \sin\frac{n_1\pi x}{L} \sin\frac{n_2\pi y}{L} \sin\frac{n_3\pi z}{L} \sin\frac{2\pi ct}{\lambda} = \left(\frac{n_2\pi}{L}\right)^2 E$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \left(\frac{n_3\pi}{L}\right)^2 E_0 \sin\frac{n_1\pi x}{L} \sin\frac{n_2\pi y}{L} \sin\frac{n_3\pi z}{L} \sin\frac{2\pi ct}{\lambda} = \left(\frac{n_3\pi}{L}\right)^2 E$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \left(\frac{2\pi c}{\lambda}\right)^2 E_0 \sin\frac{n_1\pi x}{L} \sin\frac{n_2\pi y}{L} \sin\frac{n_3\pi z}{L} \sin\frac{2\pi ct}{\lambda} = \left(\frac{2\pi c}{\lambda}\right)^2 E$$

وبتعويض المشتقة الثانية للابعاد الثلاثة وللزمن في معادلة الموجة نحصل على :-

$$\left[\frac{n_1\pi}{L}\right]^2 + \left[\frac{n_2\pi}{L}\right]^2 + \left[\frac{n_3\pi}{L}\right]^2 = \left[\frac{2\pi}{\lambda}\right]^2 \quad \text{.....11-1}$$

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = \frac{4L^2}{\lambda^2} \quad \text{.....12-1}$$

ومن الواضح بان البعد(r) في هذا الترتيب من الاحداثيات يعطى بالعلاقة التالية

$$\mathbf{n_1^2 + n_2^2 + n_1^2 = r^2} \quad \text{.....13-1}$$

لذا فان

$$\mathbf{r = 2L/\lambda = 2Lv/c} \quad \text{.....14-1}$$

$$\mathbf{dr = (2L/c).dv} \quad \text{.....15-1}$$

بيد ان المقدار $N_r dr$ يساوي حجم القشرة الكروية مضروبا في الكثافة العددية لنقاط الشبيكة.ولما كانت هذة الكثافة مساوية الى الواحد حسب تشكيل الشبيكة.لذا تكون

$$\mathbf{N.dr = 1/8.\ 4\pi r^2 dr} \quad \text{.....16-1}$$

$$\mathbf{N.dr = 1/2\ \pi r^2 dr = \rho_V.d\nu} \quad \text{....17-1}$$

$$\mathbf{\rho_V\ d\nu = 1/2\ \pi\ 2\ (2L/c)^3.\ \nu^2 d\nu} \quad \text{....18-1}$$

$$\rho_{V.}\, d\,\nu = 8\,\pi\,\,(L/c)^3 .\,\nu^2 d\nu \;....19–1$$

بما ان معدل الطاقة E لمتذبذب واحد حسب النظرية الكلاسيكية هي :

$$\mathbf{E=KT}\;\ldots\ldots..20\text{-}1$$

لهذا تكون الطاقة لطيف الاشعاع لجسم اسود(dv) (ρ (V)) ولتجويف بدرجة حرارة (T) هي حاصل ضرب معدل الطاقة لصيغة تذبذب واحدة و عدد صيغة التذبذب المتواجدة في هذا المدى(v.+ dv) مقسوما على حجم التجويف, أي ان:

$$\rho_{(V)} d\,\nu = (8\,\pi\,/c^3)\,\nu^2\,KT\,d\nu .....21–1$$

$$\rho(\lambda)\,d\,\lambda = 8\pi\,KT\;\lambda^{-4}\,d\,\lambda ......22–1$$

4– نظرية بلانك لإشعاع الجسم الأسود

وضع بلانك نظريته لتفسير ظاهر إشعاع الجسم الأسود وكانت نظريته ناجحة لاعتماده على استخدام مبدأ تكميم الإشعاع. وضع بلانك بعض الافتراضات على أساس النظرية الكمية للإشعاع وهي على النحو التالي:

(1) كمية الطاقة المنبعثة أو الممتصة من المتذبذب في الجسم الأسود تتناسب طردياً مع تردده أي أن $\Delta E \;\alpha\; \nu$ **حيث أن التردد=ν**، ثابت برانك=**h** (6.6×10^{-34}J.s) =

(2) طاقة المتذبذب تأخذ قيم محددة (مكممة) أي أن

$\mathbf{E_n = nh\nu}$ حيث أن n تمثل الارقام الكمية الأساسية(n = 0,1,2,3, ……)

فإذا كانت n=0 يكون المتذبذب في أدنى قيمة له في الطاقة ويسمى Ground Level أما إذا كانت n=1 فإن المتذبذب يكون في مستوى طاقة رقم (1) وهكذا...من هنا نلاحظ أن بلانك ادخل مبدأ التكميم على المتذبذبات في الجسم الأسود . وله طاقات محددة وبقيم محددة بالعدد الكمي (n) وعدم وجود لقيم متصلة للطاقة. افترض العالمان رايلي جينز. عند امتصاص أشعة أو انبعاثها من الجسم الأسود فإن طاقتها تساوي فرق الطاقة بين مستويات

الطاقة للمتذبذبات بحيث إن **E=hv** ويحمل هذا الكم من الطاقة جسيم يسمى الفوتون Photon (p) وتكون كمية حركته **P = h/λ** (حيث أن **λ** تساوي طول الموجة) وعلى أساس هذه الفرضيات تمكن العالم بلانك من اشتقاق قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود عند التعويض عن معدل الطاقة بدلالة دالة التوزيع بوز–اينشتاين والذي فسر النتائج العلمية كما موضح في الشكل (1–15)

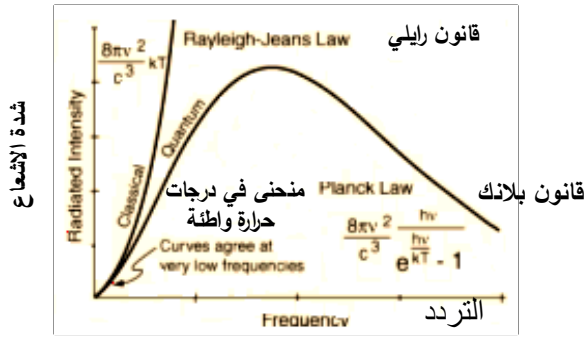
$$\rho(\nu)d\nu = (\frac{8\pi\nu^2}{c^3})d\nu \cdot \{E\} \quad \text{.....23-1}$$

$$\{E\} = \frac{hve^{(-hv/k_BT)} + 2hve^{(-2hv/k_BT)} + 3hve^{(-3hv/k_BT)} + ..}{e^{(-hv/k_BT)} + e^{(-2hv/k_BT)} + e^{(-3hv/k_BT)} + ..} = \frac{hv}{e^{(hv/k_BT)} - 1} \quad \text{.....24-1}$$

والمعادلة الاتية تمثل دالة توزيع آينشتاين

$$\rho(\nu)d\nu = (\frac{8\pi\nu^2}{c^3})(\frac{hv}{e^{(hv/k_BT)} - 1})d\nu \quad \text{.....25-1}$$

$$\rho(\nu)d\nu = (\frac{8\pi hv^3}{c^3})(\frac{1}{e^{(hv/k_BT)} - 1})d\nu \quad \text{.....26-1}$$



شكل (1–15)يوضح دالة توزيع آينشتاين

5 – دراسة اينشتاين

درس العالم اينشتاين تأثير تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة من خلال عمليات الانتقال الثلاثة والتي هي الامتصاص (Absorption) والانبعاث الذاتي (Spontaneous Emission) والانبعاث المحفز (Stimulated Emission) حيث افترض اينشتين أن الذرات المكونة للمادة موزعة على مستويين للطاقة هماE_1 , E_0 ويعرف مستوى الطاقة E_0 باسم المستوى الأرضي (Ground State) أما مستوى الطاقة E_1 فيعرف حالة التهيج. بـ (Excited State) الانتقالات الثلاثة السابقة تحدث في المادة بين مستويي الطاقة عند أي درجة حرارة وهذا ما يعرف بالاتزان الحراري .(Thermal Equilibrium)

1-9- امتصاص الاشعاع الكهرومغناطيسي (Radiation Absorption of electromagnetic)

تتكون المواد من الذرات، ولكن كيف تتحد وترتبط الذرات مع بعضها البعض لتكون مادة من الحديد أو النحاس او الالمنيوم. إن الذرات في حركة مستمرة الذرات حول موضع استقرارها في المادة. لها حركة دائرية أو حركة انتقالية أيضاً. ونتيجة لحركة الذرات التي تكتسبها من الطاقة الحرارية فإنها تتواجد في حالات مختلفة من الأثارة أو بمعنى آخر أن الذرات لها طاقات مختلفة، فأن قصفت بالليزر (بكمية من الطاقة) تنتقل من المستوى الأرضي (state ground) الذي تتواجد فيه إلى مستوى طاقة أعلى يسمى بمستوى الإثارة (excited state). يعتمد مستوى الإثارة على كمية الطاقة التي اكتسبتها الذرة. أن مصدر الطاقة إما حرارة أو ضوء أو كهرباء.تحتوي الذرة على النواة (المكونة من البروتونات والنيوترونات) والإلكترونات التي تدور حول النواة في مدارات مختلفة كل مدار هو عبارة عن مستوى طاقة. إذا زودت الذرة بطاقة حرارية قليلة من مصدر ضوئي أو كهربائي تتحرر الإلكترونات من الذرة و تنتقل من المدار ذو مستوى الطاقة الأدنى إلى مدار طاقته أعلى.عند أنبعاث الإلكترون إلى المدار ذو مستوى الطاقة الأعلى فإنه ما يلبث ولكنه يعود إلى المستوى الطاقة الأدنى، ويحرر طاقة في صورة فوتون (ضوء). تصدر الإلكترونات الفوتونات عند اثارتها وعلى سبيل المثال عند تسخين معدن مثل سلك المصباح الكهربائي

فإنه يتحول لونه من اللون المعتم إلى اللون المتوهج وهذا التوهج ناتج من الفوتونات التي انطلقت بعد اثارة ذرات مادة سلك المصباح الكهربائي. ان فكرة عمل شاشة التلفزيون التي تعطي الصورة من فوتونات التي تنتجها مادة الشاشة عند اثارتها بشعاع إلكتروني.

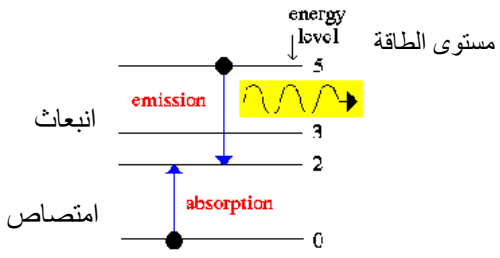
أن عملية امتصاص فوتون (photon absorption) من قبل ذرة فإن حالة الذرة تتغير من ذرة غير مثارة إلى ذرة مثار بطاقة تساوي طاقة الفوتون الذي اكتسبته. لوصف عملية الامتصاص(macroscopic system) بالعين المجردة فإن جزء من الشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على المادة سوف يمتص وفي الحالة العادية أي التوازن الحراري (Thermal Equilibrium)فإن شدة الشعاع النافذ **I** أقل من الشعاع الساقط $\mathbf{I_o}$.

إن العلاقة التي تربط شدة الشعاع النافذ مع الشعاع الساقط وسمك المادة (x) هو قانون لامبرت(Lambert Law) وفق العلاقة الاتية

$$\mathbf{I = I_o \exp(-\alpha x)} \qquad \mathbf{(27\text{-}1\ )}$$

ومن هذه المعادلة نستنتج أن شدة الاشعة النافذة تتناسب مع سمك المادة (x)

درس العالم آينشتاين تفاعل الامواج الكهرومغناطيسية مع ذرات المادة فوجد ان تأثير كل عملية من عمليات الامتصاص و الانبعاث الذاتي والمحفز. تعتمد على معدل تغير تعداد الذراتN_1 في مستوي الطاقة المثار E_1. عند حالة الاتزان الحراري dN_1/dt. أن الشكل رقم (1–16) يمثل عمليات الامتصاص الذاتي والمحفز للذرات الموزعة على مستويين للطاقة E_1 , E_0.



شكل 1–16 يبين عمليات الامتصاص والانبعاث الذاتي والمحفز لتفاعل الاشعاع مع المادة

أن تفاعل الاشعاع الساقط على المادة ينتج العمليات الاتية:

1. الانبعاث التلقائي(الذاتي)Spontaneous Emission

أن عملية الانبعاث التلقائي هي ظاهرة ناتجة من تفاعل الاشعاع الساقط على ذرات أو جزيئات أو أيونات المادة ويعتمد:-

1. تعداد المستوي E_1 أي كلما ازداد N_1 كلما زادت عملية الانبعاث التلقائي.
2. على المعامل A_{10} الذي يعبر على احتمالية حدوث الانبعاث التلقائي.
3. معدل التغير في تعداد المستوى E_1 بالنسبة للزمن بالسالب لأن كلما زاد معدل التغير كلما نقصت N_1. مثل أشعة الفلوريسنت أو التلفزيون ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$dN_1/dt = - A_{10} N_1 \ldots\ldots(28-1)$$

2. الامتصاص المحتث (المحفز) Stimulated Absorption

هو انتقال الذرة من مستوى طاقة واطئ الى مستوى طاقة بأمتصاص فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين ويعتمد على:

1- تعداد المستوي E_0 أي كلما ازداد N_0 كلما زادت عملية الامتصاص.

2- على المعامل B_{01} الذي يعبر على احتمالية حدوث عملية الامتصاص. يكون معدل التغير في تعداد المستوى E_1 بالنسبة للزمن بالموجب لأن كلما زاد معدل التغير كلما زاد N_1. وحيث أن عملية الامتصاص تحدث اذا فوتون (Photon) ذو طاقة تساوي فرق الطاقة بين المستويين E_1 و E_0 كما في العلاقة الاتية.

$$h\nu = (\Delta E) = E_1 - E_0 \ldots\ldots(29\text{-}1)$$

وللتعبير عن مدى تحقق المعادلة (1-29) في عملية الامتصاص. عند التعبير بكثافة الاشعاع (Energy density of radiation)بالدلالة ρ) كمتغير في التردد والتي تعطي مدى احتمالية وجود فوتونات عند تردد ν

ويمكن التعبير عن تأثير عملية الامتصاص على تغير تعداد المستوى E_1 بالمعادلة التالية:

$$dN_1/dt = + B_{01} N_0 \rho (v) \quad 30\text{-}1$$

3. الانبعاث المستحث (المحفز) (Stimulated Emission)

هو أنبعاث فوتون من الذرة عند قصفها بفوتون خارجي وتعتمد عملية الانبعاث الاستحثاثي على:

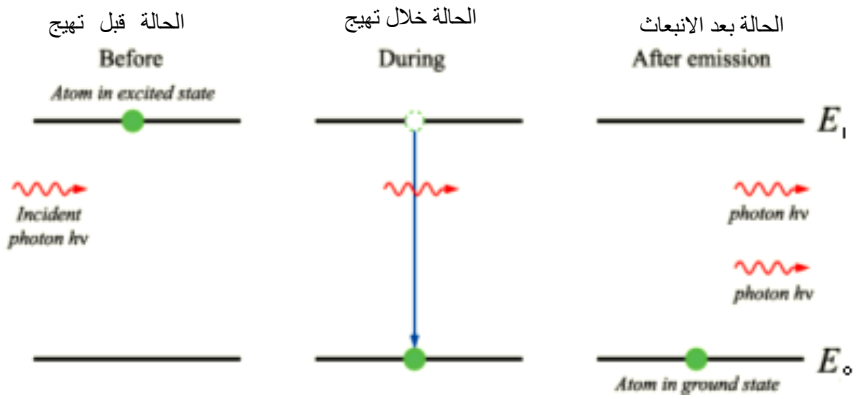
1- تعداد المستوي E_1 أي عند زيادة عدد الذرات في هذا المستوى ما يؤدي الى زيادة عملية الانبعاث الذاتي.

2- المعامل B_{10} الذي يمثل احتمالية حدوث عملية الانبعاث الاستحثاثي.

3- أن عملية الانبعاث الاستحثاثي تحدث عند توفر فوتون (Photon) ذو طاقة تساوي فرق الطاقة بين المستويين E_1 و E_0 وفق العلاقة الآتية:

$$hv = (\Delta E) = E_1 - E_0 \ldots\ldots 31\text{-}1$$

حيث أن h يمثل ثابت بلانك و E تمثل مستوى الطاقة والشكل رقم (1-17) يمثل عمليات الانبعاث المحفز الذاتي



الشكل (1-17) يمثل عملية الانبعاث الذاتي

ويمكن التعبير عن تأثير عملية الانبعاث الاستحثاثي يتغير تعداد المستوى E_1 بالمعادلة التالية:

$$dN_1/dt = - B_{10} N_1 \rho (v) \quad 32\text{-}1$$

حيث أن ρ تمثل كثافة حزمة الاشعاع المعادلتين (1-31) (1-32) تمثلان الحالات المختلفة التي يمكن من خلالها أن تتفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع ذرات المادة. وفي حالة الاتزان الحراري عند درجة حرارة T فإن عدد الذرات N_1 في مستوى الطاقة E_1 يكون ثابت أي أن

N_1 = Constant & dN_1/dt = zero

$dN_1/dt = - A_{10} N_1 + B_{01} N_0 \rho(v) - B_{10} N_1 \rho(v) = 0$

$N_1 (- A_{10} - B_{10} \rho(v) + B_{01} N_0 \rho(v) = 0$

$N_1 (A_{10} + B_{10} \rho(v))) = B_{01} N_0 \rho(v)$

We get تحصل على

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{B_{01}\rho(\upsilon)}{A_{10} + B_{10}\rho(\upsilon)} \quad \text{.....(33-1)}$$

أن المعادلات الثلاث (1-31)، (1-32)، (1-33) تم اشتقاقها تحت شرط الاتزان الحراري الذي يحقق معادلة ماكسويل بولتزمان

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{g_1}{g_0}\ e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} \quad \text{.....(34-1)}$$

وبمقارنة المعادلة (1-33) بالمعادلة (1-34) نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{g_1}{g_0}\ e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} = \frac{B_{01}\rho(\upsilon)}{A_{10} + B_{10}\rho(\upsilon)} \quad \text{....(35-1)}$$

عند درجات الحرارة العالية فإن كثافة الاشعاع تكون كبيرة وهنا يمكن اهمال تأثير عملية الانبعاث التلقائي حيث انها لا تتأثر بتغير درجة الحرارة.

عندما تكون KT >> hv we get نحصل على $g_1/g_0 = N_1/N_0$

$$\frac{B_{01}}{B_{10}} = \frac{g_1}{g_0} \quad \text{.....36-1}$$

ومن المعادلة1-35 نحصل على المعادلة الاتية

$$\frac{g_1}{g_0} e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} A_{10} + \frac{g_1}{g_0} e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} B_{10} \rho(\upsilon) = B_{01} \rho(\upsilon)$$

But $\frac{B_{01}}{B_{10}} = \frac{g_1}{g_0}$

$$\frac{g_1}{g_0} e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} A_{10} + \frac{g_1}{g_0} e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} B_{10} \rho(\upsilon) = \frac{g_1}{g_0} B_{10} \rho(\upsilon)$$

We get

$$e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} A_{10} = B_{10} \rho(\upsilon) \left[1 - e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} \right]$$

$$\frac{A_{10}}{B_{10}} = \frac{\rho(\upsilon) \left[1 - e^{-\frac{h\upsilon}{KT}} \right]}{e^{-\frac{h\upsilon}{KT}}}$$

$$\frac{A_{10}}{B_{10}} = \rho(\upsilon) \left(e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1 \right)$$

$$\rho(\upsilon) = \frac{A_{10}}{B_{10}} \frac{1}{\left(e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1 \right)} \quad \textbf{37–1}$$

تسمى معادلة (1–36) بمعادلة بلانك للجسم الاسود ومن المعادلة (1–37) نحصل على معادلة آينشتاين:

Equation (7) Called Einstein equation for black body radiation

من معادلة بلانك للجسم الاسود

From the Blank equation of black body radiation

$$\rho(\upsilon) = \frac{8\pi h \upsilon^3}{c^3} \frac{1}{(e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1)} \quad 38\text{-}1$$

We get تحصل على

$$\frac{A_{10}}{B_{10}} = \frac{8\pi h \upsilon^3}{c^3} \quad 39\text{-}1$$

المعادلة (1-36) و (1-37) تسميان بعلاقات اينشتاين ، العلاقة (1-37) تعتمد في حساب النسبة بين الانبعاث الذاتي الى الانبعث المحفز اللتان تحدثان بين مستويين للطاقة. ويمكن ايظآ حساب النسبة بين الانبعاث الذاتي والانبعاث المحفز من المعادلة (1-37) حيث نفرض ان

$$\mathbf{R} = (e^{\frac{h\upsilon}{KT}} - 1)$$

لذلك فان

$$\rho(\upsilon) = \frac{A_{10}}{B_{10}} \frac{1}{R}$$

النسبة بين الانبعاث الذاتي الى الانبعاث المحفز تكتب بالشكل التالي :-

$$R = \frac{A_{10}}{B_{10}} \frac{1}{\rho(\upsilon)} \quad \mathbf{40\text{-}1}$$

احسب النسبة بين الانبعاث الذاتي والانبعاث المحفز لمصباح كهربائي إذا كان درجة حرارة 2000K وتردد الإشعاع الصادر منة 5×10^{14} Hz

الحل

The ratio $R = \exp[(6.6\times10^{-34}*5\times10^{14})/(1.38\times10^{-23}*2000)]$

$\mathbf{R = 1.5\times10^{5}}$

مما سبـــق نستنتج أن عمـــــلية الانبعاث المحفز(stimulated emission) تضاهي عمـــــليتي الانبعاث التلقائي وعملية الامتصاص(spontaneous emission) و (absorption). لغرض تكبير اشعاع ضوئي بواسطة الانبعاث المحفز (stimulated emission) يجب زيادة معدل هذه العملية بالنسبة للعمليتين الاخرتيين. وحتى يتحقق ذلك فإنه يجب زيادة كثافة الاشعاع وتعداد المستوى E_1 من خلال عملية التوزيع المعكوس (Population Inversion)

مثال (2) احسب معدل الانبعاث التلقائي B_{21} للانتقال في mm 633 علماً أن معدل الدليل للانكسار هو 1.0 والعمر التلقائي $Rs=1/A_{21}=0.30*10^{-2}$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8h\pi n^3\nu^3}{c_o^3} \rightarrow B_{21} = \frac{A_{21}c_o^3}{8h\pi n^3\nu^3} = \frac{\lambda_o^3}{8h\pi n^3\tau_S}$$

$$B_{21} = \frac{(632.8 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{m})^3}{8h\pi \cdot 1.0^3 \cdot 0.30 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{sec}}$$

$$B_{21} = 5.072 \cdot 10^{19}\mathrm{m}^3/\mathrm{J\text{-}sec}^2.$$

ملاحظة: أن وحدات $B_{21} = 1/SEC$، وأن وحدة $\rho(v)$ تساوي $J.SEC/m^3$

1–10– التأهيل (التوزيع) الطبيعي والمعكوس

التاهيل (التوزيع) شرط اساسي عملية الانبعاث المحتث (stimulated emission) تكبير الضوء، ولتنشيط الانبعاث المحفز لذا تستخدم طرق ضخ معينة للتنفيذ وفق مخططات خاصة تناسب مستويات الطاقة لذرات الوسط الفعال. ان التأهيل هو توزيع للذرات على مستويات الطاقة والتأهيل يتضمن:

1– التأهيل(التوزيع) الطبيعي

عند وجود نظام من الذرات او الجزيئات او الفوتونات متزن تكون معظم الذرات في المستوى الأرضي ground state وقليل منها في مستويات طاقة عالية والشكل رقم (1–17) يوضح

التأهيل الطبيعي. وبزيادة درجة الحرارة في حالة الاتزان تكون الذرات في مستويات الطاقة الواطئة اكثر من عدد الذرات في مستوى الطاقة الاعلى اي ($N_1>N_2$) وهذا خاضع لقانون ماكسويل بولتزمان الاحصائي عند الاتزان الحراري وفق المعادلة الاتية:

$$N_i = const\ exp\ (-E_i/kT) \ldots\ldots (41-1)$$

حيث ان

N_i = عدد الذرات بالنسبة الى وحدة الحجم الموجودة في مستوى الطاقة.E_i

K ثابت بولتزمان والذي يساوي $k = 1.38*10^{23}$ [Joule/^{0}K]

E_i مستوى الطاقة ....i=1,2,3، بفرض ان $E_i > E_{i-1}$، الثابت هو ثابت الاحتمالية وهذا الثابت لا يصبح لة قيمة عند اخذ النسبة بين مستويين.

T درجة الحرارة المطلقة بالكلفن [^{0}K]

معادلة بولتزمان توضح لنا اعتماد رقم التأهيل (N_i) على طاقة المستوى (E_i) درجة الحرارة المطلقة T. ومن خلال هذة المعادلة نلاحظ ان :-

1- التأهيل العالي يكون عند درجة الحرارة العالية

2- التأهيل الواطىء يكون عند مستويات الطاقة العليا

النسبة بين تأهيلين (N_2/N_1)

ان المعادلة (41-1) تبين النسبة بين تأهيلين (N_2/N_1) ذو مستوى الطاقة E_1 E_2 تساوي كما في المعادلة الاتية:-

$$N_2/N_1 = const\ exp\ (-E_2/kT)/\ const\ exp\ (-E_1/kT) \quad (42-1)$$

$$N_2/N_1 = exp\ (-(E_2-E_1)/kT) \quad (43-1)$$

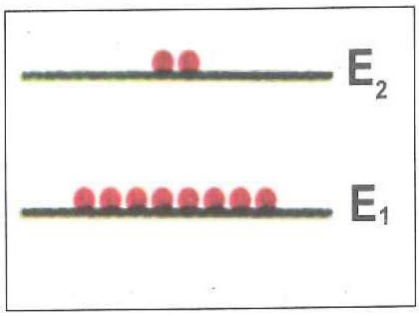
المعادلة 42-1 تبين ما يلي :-

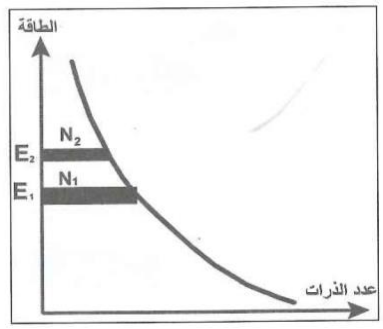
1- النسبة بين تأهيلين (N_2/N_1) لا تعتمد على قيم مستويات الطاقة E_1 و E_2 وانهما

تعتمدان على فرق الطاقة بينهما المستويين E_2- E_1

2- عند ثبوت فرق الطاقة بين المستويين E_2- E_1 تكون النسبة بينهما (N_2/N_1) كبيرة عند درجة الحرارة العالية.

3- الشكل (1-18) يمثل نسبة التأهيل بين مستوى الطاقة الصفري (E_0) والمستوى الاول (E_1). يوضح التأهيل الطبيعي عند التوازن الحراري.





الشكل (1-18) أ،ب حيث (أ) يبين معظم الذرات في مستوى الطاقة الواطئة(التأهيل الطبيعي). و(ب) يمثل عدد الذرات او الجزيئات في مستوى الارض N1 اكثر من عدد الذرات او الجزيئات في المستوى الاعلى اي N1>N2

مثال رقم (3)

أ. احسب النسبة بين عدد ذرات المستوى الأول إلى الثاني (N_1, N_2) عندما يكون فرق الطاقة بين المستويين E_1و E_2 يساوي (0.5 ev) ودرجة حرارة المادة (300 k).

ب. ما هو الطول ألموجي(λ) للإشعاع المنبعثة بين المستويين.

ج. وما نوع التأهيل.

أ.

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{k_B \cdot T}\right) = \exp -\frac{(0.5 \cdot eV) \cdot \left(1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{J}{eV}\right)}{\left(1.38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{J}{K}\right) \cdot (300K)} = 4 * 10^{-9} \quad \text{....44-1}$$

ومن هذه النتيجة يتبين لنا أنه عند درجة حرارة الغرفة يكون التعداد في مستوي الطاقة

الأرضي ground level الف مليون ذرة في حين التعداد في المستوي excited state 4 ذرات فقط. ولحساب الطول الموجي :

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{(6.626 \cdot 10^{-34} \cdot J \cdot sec) \cdot \left(3.10^{8} \cdot \frac{m}{sec}\right)}{(0.5 \cdot eV) \cdot \left(1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{J}{eV}\right)} = 2.48 \cdot \mu m$$

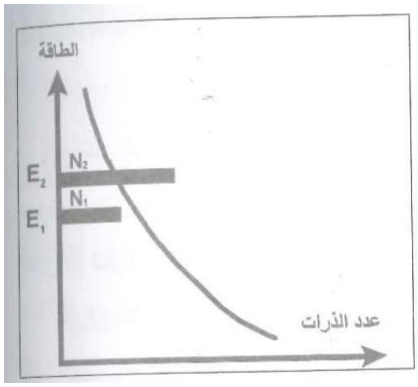
ب. 45-1

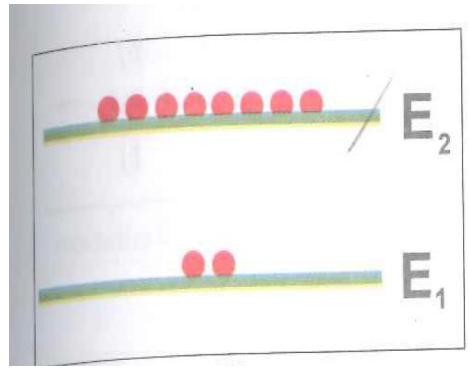
هذا الطول الموجي هو قرب الطيف تحت الحمراء Near Infra-Red (NIR) spectrum

ب – التأهيل (التوزيع) المعكوس:

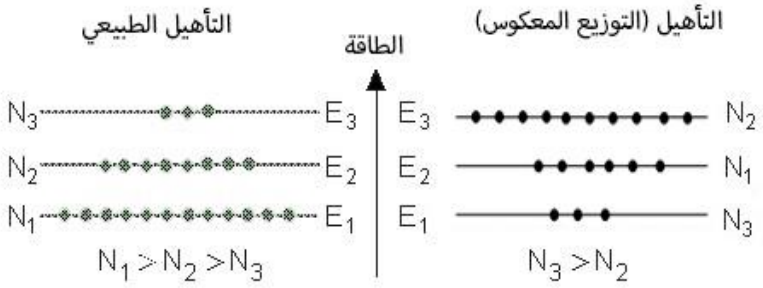
في حالة عدم التوازن الحراري للنظام الذري يكون عدد ذرات المستوى الاعلى للطاقة اكثر من عدد ذرات المسوى الواطئ للطاقة، أي ان $N_1 > N_2 > N_3$ وهذا يخالف توزيع بولتزمان. ويسمى بالتوزيع المعكوس كما في الشكل (1–19).

عندما تكون المادة في حالة التأهيل الطبيعي وتمتص فوتونات ذات طاقة مناسبة فان الذرات سوف تقفز من المستوى الواطئ الى مستوى ذات طاقة اعلى، فاذا استقرت الذرات في ذلك المستوى عندئذ يقال ان المادة ذات تأهيل الطبيعي "Population Inversion" وهذا يعني ان عدد ذرات احد المستويات اصغر من عدد ذرات المستوى الذي يلية وهذا يعني ان تأهيل المستوى ذات الطاقة الاعلى اكبر من تأهيل المستوى ذات الطاقة الادنى. والشكل رقم (1–20) والذي يوضح الفرق بين التأهيل العكسي والتأهيل الطبيعي.





الشكل (1–19) يمثل التوزيع المعكوس



الشكل (1–20) يمثل التأهيل الطبيعي والتأهيل المعكوس

1–11–معامل الحصيلة (الربح) للاشارة الصغيرة Small Signal Gain Coefficient

ان عملية الانبعاث التلقائي والانبعاث المحتث تؤديان الى زيادة شدة الليزر.اما عملية الامتصاص نسبة الى التقليل من شدة اشعة الليزر النافذة. وللحصول على ليزر يجب ان تكون عملية الانبعاث اكثر من عملية الامتصاص. ان النسبة بين اشعة الليزر النافذة الى شدة الاشعاع الساقط تسمى معامل الربحية. وفق المعادلة الاتية:

$$dN/dt = B_{21} N_2 \rho(\nu) - B_{12} N_1 \rho(\nu) + A_{21} N_2$$
$$dN = \{ B_{21} N_2 \rho(\nu) - B_{12} N_1 \rho(\nu) + A_{21} N_2 \} dt$$
$$d\rho(\nu) = dN\, h\nu\, g(\nu)$$
$$dN\, h\nu = \{ B_{21} N_2 \rho(\nu) - B_{12} N_1 \rho(\nu) + A_{21} N_2 \} h\nu\, dt$$
$$d\rho(\nu) = \{ B_{21} N_2 \rho(\nu) - B_{12} N_1 \rho(\nu) + A_{21} N_2 \} g(\nu)\, h\nu\, dt$$
$$dI_\nu = C\, d\rho(\nu)$$
$$C\, d\rho(\nu) = \{ B_{21} N_2 \rho(\nu) - B_{12} N_1 \rho(\nu) + A_{21} N_2 \} g(\nu)\, h\nu\, C\, dt$$
$$dI_\nu = \{ (B_{21} N_2 - B_{12} N_1) \rho(\nu) + A_{21} N_2 \} g(\nu)\, g(\nu)\, h\nu\, C\, dt$$
$$dz = C\, dt$$
$$dI_{\square} = \{ (B_{21} N_2 - B_{12} N_1) I_\nu/c + A_{21} N_2 \} g(\nu)\, h\nu\, dz$$

$$dI_\nu = \frac{h\nu}{C}\{(B_{21}N_2 - B_{12}N_1)g(\nu)I_\nu + h\nu A_{21}N_2 g(\nu)\}dz \quad \textbf{46 –1}$$

أن عملية الانبعاث التلقائي تحدث بوجود أو عدم وجود فوتونات ساقطة على المادة أي انها لا تعتمد على الاشعة الساقطة (1) لذا فإنها تهمل في المعادلة اعلاة. أن قيمة التغير في شدة

الأشعة بالنسبة للمسافة z(محور انتشار الاشعة) تكون قيمة سالبة إذا كانت $N_1 > N_2$. وللحصول على تكبير الأشعة لتوليد ليزر فإنه من الضروري أن تكون $N_2 > N_1$ وهذا مايعرف بانقلاب التعداد (Population Inversion).ان المعادلة 1-66 تمثل معادلات اينشتين ومنها نحصل على:-

$$\frac{B_{01}}{B_{10}} = \frac{g_1}{g_0} \quad \frac{A_{10}}{B_{10}} = \frac{8\pi h \upsilon^3}{c^3} \quad \ldots\ldots 47\text{-}1$$

وبالتعويض عن B_{12} باستخدام معادلة اينشتين(1-66) ينتج التالي:

$$\frac{dI_\nu}{dz} = \frac{h\nu}{C}(B_{21}N_2 - \frac{g_2}{g_1}B_{21}N_1)g(\nu)I_\nu \quad \ldots\ldots 48\text{-}1$$

$$\frac{dI_\nu}{dz} = \frac{h\nu}{C}B_{21}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(\nu)I_\nu \quad \ldots\ldots 49\text{-}1$$

وبالتعويض عن B_{21} باستخدام معادلة اينشتين (1-67) ينتج التالي:

$$\frac{dI_\nu}{dz} = \frac{h\nu}{C}\frac{A_{21}C^3}{8\pi h\nu^3}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(\nu)I_\nu \quad \ldots\ldots 50\text{-}1$$

باختصار المعادلة السابقة ينتج أن

$$\frac{dI_\nu}{dz} = A_{21}\frac{\lambda^2}{8\pi}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(\nu)I_\nu \quad \ldots\ldots 51\text{-}1$$

الثوابت التالية في المعادلة لها وحدة m^{-1} أو cm^{-1} ولهذا تعرف باسم معامل الحصيلة للاشارة الصغيرة (Small signal Gain Coefficient) وقد سميت كذلك لأننا اعتبرنا أن I_ν صغيرة بحيث لاتؤثر على N_2 أي أن N_2ستبقى ثابتة. والحال سيكون مختلف إذا كانت الشدة I_ν كبيرة فإن المعادلة لا تصلح لأن N_2 ستتغير مع الشدة.

$$\gamma_o(v) = A_{21}\frac{\lambda^2}{8\pi}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(v) \quad \ldots\ldots\ldots 52-1$$

وعند تبسيط المعادلة (1-52) نحصل على المعادلة التالية:-

$$\frac{dI_v}{dz} = \gamma_o(v)I_v \quad \ldots\ldots\ldots 53-1$$

بتكامل طرفي المعادلة مع العلم بأن dz يتغير من القيمة 0 إلى h وهو أبعاد المادة التي طولها l

$$\int \frac{dI_v}{I_v} = \gamma_o(v)\int_0^l dz \quad \ldots\ldots\ldots 54-1$$

$$I_v(l) = I_v(0)e^{\gamma_o(v)l} \quad \ldots\ldots\ldots 55-1$$

$$\frac{I_v(l)}{I_v(0)} = Gain \quad \ldots\ldots\ldots 56-1$$

عندما يكون عامل الربحية للاشارة القصيرة (Small signal gain coefficient) كبيراً فإن شدة الاشعاع تزداد بسرعة إلى مستوى التشبع(Saturation level)

ان معادلة التكبير التالية

$$\gamma_o(v) = A_{21}\frac{\lambda^2}{8\pi}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(v) \quad \ldots\ldots\ldots 57-1$$

$$A_{21} \quad \frac{\lambda^2}{8\pi} \quad g(v) \qquad \sec^{-1}.m^2.sec=m^2$$

حيث أن A_{21} =

وتعرف وحدة المساحة باسم مساحة مقطع عملية الانبعاث الاستحثاثي(Cross-section for stimulated emission) وهذه تعبر عن

احتمالية حدوث الانبعاث الاستحثاثي فكلما زادت مساحة المقطع كلما ازدادت عملية الانبعاث الاستحثاثي.

$$\sigma_{SE} = A_{21}\frac{\lambda^2}{8\pi}g(v) \quad \text{..... 58-1}$$

وبهذا يمكن كتابة معادلة التكبير لليزر على النحو التالي:

$$\gamma_o(v) = \sigma_{SE}(v).\Delta N \quad \text{..... 59-1}$$

$$\Delta N = N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1 \quad \text{..... 60-1}$$

$$\mathbf{G(v) = e^{\gamma(v)L} = e^{Cg(v)}} \text{..... 61-1}$$

الدالة G تعرف باسم الربحية Gain والدالة γ تعرف بمعامل الربحية وكلاهما تعتمدان على التردد. حيث أن ΔN تعطي مقدار فرق التعداد بين مستويات الطاقة E_1 وE_2 وفي حالة الليزر يجب أن يكون فارق التعداد موجباً.

مثال رقم (1-1) احسب معامل الربحية لليزر HeNe حيث ان $\sigma = 6.5*10^{-13}$ سم^2 في مركز منحني الربحية والفرق بين $N.N_2=5*10^{11}$ ذرة/سم^3. كثافة التوزيع في الحالة الواطئة مهملة وان $g_1=g_2=1$

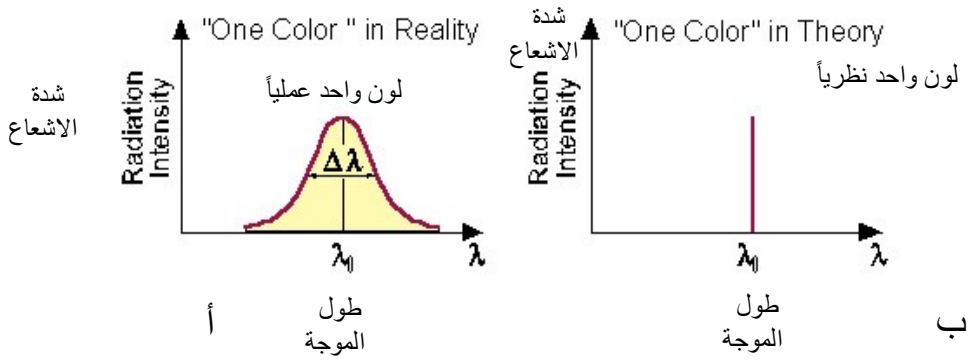
الحل:-

$$\gamma(v) = \sigma(v)\left(N_2 - N_1\left(\frac{g_2}{g_1}\right)\right) = 6.5\cdot 10^{-13}\text{cm}^2 \cdot 5\cdot 10^9 \text{ atoms/cm}^3 = 0.00325 \text{ cm}^{-1}$$

1-12- عرض خط الانبعاث (The broadening of emission line)

ان سعة الحزمة الترددية لموجة الليزر تمثل خط انبعاثها ($\Delta\nu$) وهو رفيع جداً نظرياً . ويمكن توسيعه الى مقدار كبير عملياً من خلال احتوائه على الترددات عديدة . ان عرض الخط $\Delta\nu$

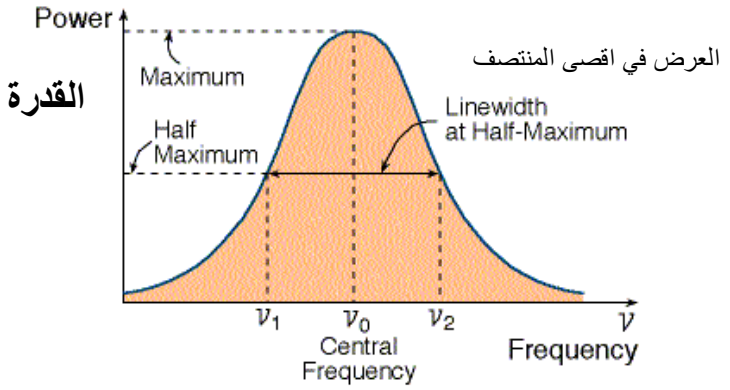
يمثل استجابة ذرات الوسط الفعال للمجال الكهرومغناطيسي. إن مصطلح أحادي اللون يعني طول موجي محدد λ_0، وعند رسم منحني التغير في شدة الطيف المنبعث للمستويين طاقة مع الطول الموجي ينتج خط يعرف بالخط الطيفي(spectral line)كما في الشكل رقم (1-20) أن شدة الأشعة عند اطوال موجية خارج λ_0 تساوي صفر. عند تمثيل العلاقة بين شدة الطيف المنبعث والطول الموجي نلاحظ أن للخط الطيفي اتساع معين مقداره $\Delta\lambda$ يعرف بـ الاتساع الطبيعي(width spectral) بحيث تكون اعظم قيمة عند λ_0 وتتناقص وفقاً للاطوال الموجية المجاورة الى λ_0 كما في الشكل رقم (1-21) أ.ب.



شكل (1-21) أ.يمثل عرض خط الانبعاث للون واحد واقعياً

(ب) يمثل لوناً واحداً نظرياً

وللتعبير عن شكل واتساع خط الانبعاث يمكن استخدام العديد من الطرق ولكن سنستخدم الطريقة الاكثر شيوعاً وهي الاتساع عند منتصف القمة (Full Width at Maximum Half **(FWHM)**) و الشكل رقم (1-22) التالي:



شكل (1–22) يمثل عرض خط الانبعاث

توجد ثلاث عوامل توثر على اتساع الخط الطيفي (خط الانبعاث) هي:

أ. التعـــــريض الطبيعي (Lifetime Broadening) Natural Broadening)

ب. تعريض دوبلر(Doppler Broadening)

ج. تعريض التصادم Collision Broadening (Pressure Broadening) و فيما يلي تفصيل عن كل عامل وكما يلي:-

1- (تعريض العمر الزمني) أو التعريض الطبيعي

Natural Broadening (Lifetime Broadening)

أن مستويات الطاقة (0,1) تكون حادة تماماً أي أن قيمة اللاحتمية (الشك) يساوي صفر $\Delta E = 0$ لكل منهما، وهذا يشكل تناقض مع مبدأ هيزنبرج للشك أن مبدأ الشك للذرة المثارة إلى المستوى E_1 يجب ان تبقى لزمن لانهائي حتى يكون مقدار الشك في حدود مستوى الطاقة E_1 مساوياً الى صفر كما في العلاقات الاتية:-

$$\Delta E * \Delta t > h \quad \ldots\ldots(62\text{-}1)$$

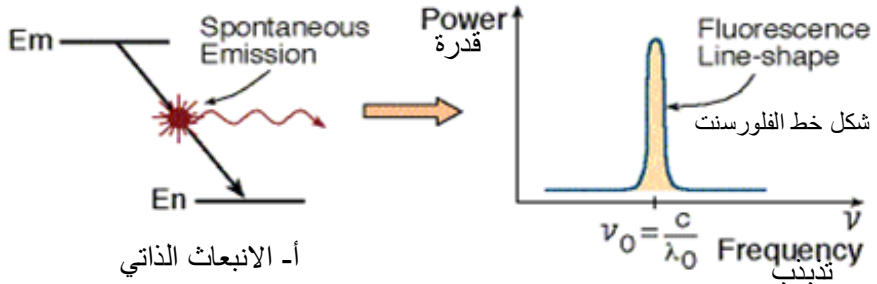
$$\Delta E = h * \Delta \nu \quad \ldots\ldots(63\text{-}1)$$

وبتعويض العلاقة الثانية بالاولى نحصل على:-

$\Delta\nu > 1/\Delta t$…….. (64-1)

العلاقة (1-64) تبين ان الفترة الزمنية لبقاء الذرة في الحالة المثارة كبيرة كلما ضاق عرض الخط الطيفي

وعندما يكون زمن بقاء الذرة في الحالة المثارة بشكل لانهائي. فإذا اثيرت ذرة في المستوى الارضي(Ground level) إلى مستوي طاقة ما فسوف تبقى فيه فترة زمنية محددة ثم تعود إلى المستوى الارضي للطاقة وتطلق فوتونات الشكل (1-23) أ. ب يوضح ذلك



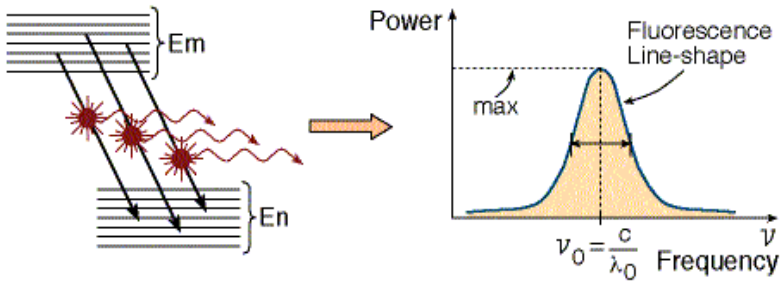
أ- الانبعاث الذاتي

ب- شكل خط الفلورسنت

شكل (1-23) أ- يمثل الانبعاث الذاتي

ب- يمثل شكل خط الفلورسنت

وللتغلب على هذا التناقض بين مبدأ الشك والعمر المحدود لبقاء الذرة مثارة نفرض أن مستويات الطاقة لها اتساع وأن الذرات تتوزع باحتمالية أكبر ما يمكن عند التردد ν_0 كما في الشكل رقم (1-24) ، ولذلك فإن احتمالية الانتقال ν اقل من احتمايةν_{21} لان احتمالية توزيع الذرات في منتصف مستوى حزمة الطاقة اكبر ما يمكن.



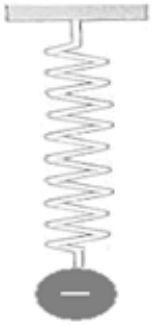
شكل (1-24) يمثل احتمالية ν_0

وعند اختيار متوسط عمر المستوىτ (Average life time) لمستوى الطاقة كمقياس للشك في الزمن. Δt وتقدير اتساع الخط الطيفي نتيجة الاتساع الطبيعي Natural Broadening لمستوي طاقةE_1 وفقاً للمعادلة التالية:-

$$\Delta\nu_i = 1/2\pi\tau_i \ldots\ldots\ldots\ldots (65\text{-}1)$$

ولاثبات ذلك نتبع الطريقة التالية:

نفترض كتلة تحمل شحنة سالبة مقدارها e (شحنة الكترون) متصلة بزنبرك وتتذبذب بتردد (resonance frequency) *w*. كما في الشكل (1-23) اذا اعطيت للكتلة المشحونة ازاحة صغيرة x من وضع الاتزان فإن اشعاع كهرومغناطيسي ينطلق نتيجة لتذبذب الكتلة والتي تشير إلى أن الشحنة المعجلة تطلق اشعاع كهرومغناطيسي. ونفرض ان الكتلة المشحونة مرتبطة بزنبرك فإنه يعمل على اخماد(Damping)الحركة التوافقية مما يؤدى إلى اضمحلال سعة الذبذبة كما موضح في الشكل(1-25) يمثل ذلك.



الشحنة

شكل (1-25) يمثل حركة الشحنة المرتبطة بالزنبرك

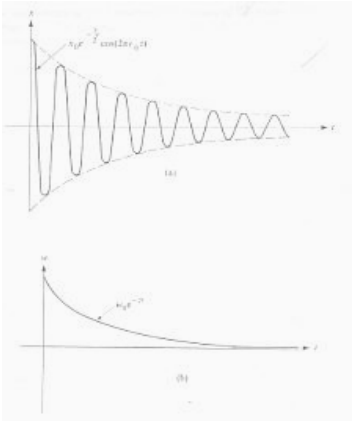
ان حركة النابض الحلزوني يحكمها معادلة حركة توافقية مخمدة (Damped oscillatory motion) الاتية:-

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\gamma\frac{dx}{dt}+w_o{}^2x=0 \quad \ldots\ldots 66\text{-}1$$

و عند حل هذه المعادلة نحصل على

$$x=a_o e^{-(\gamma/2)t}\cos w_o t \quad \ldots\ldots 67\text{-}1$$

ويمكن وصفها في صورة مشابهة لمعادلة الحركة التوافقية البسيطة مع الاخذ بعين الاعتبار أن سعة الاهتزازة Amplitude في هذه الحالة هو دالة اسية في الزمن كما في الشكل (1-25)



الشكل رقم (1-26) يمثل العلاقة بين الزمن والسعة

$$x=a(t)\cos w_o t \quad \ldots\ldots 68\text{-}1$$

$$a(t)= a_o e^{-(\gamma/2)t} \quad \& \; w_o = 2\pi\nu_o \quad \ldots\ldots 69\text{-}1$$

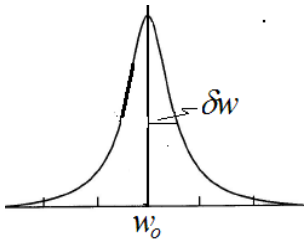
Where γ is called damping rate and its unit is s^{-1}, and w_o is the resonance angular frequency

حيث ان معدل الاخماد ووحدته 1/ ثانية

وباستخدام تحليل فوريه (Fourier analysis)نحصل على دالة توزيع الترددات التي تعطي احتمالية وجود تردد w كما في المعادلة التالية:

$$g(w)=\frac{1}{2\pi}\frac{\gamma}{(w-w_o)^2+(\gamma/2)^2} \quad \ldots\ldots 70\text{-}1$$

وبتمثيل المعادلة(1-71) السابقة بيانياً نحصل على الشكل التالي:



شكل (1-27) يمثل رسم المعادلة (1-73)

ان الشكل (1-27) يوضح ان أكبر احتمالية لحدوث انبعاث عند التردد w_o لأن شدة الانبعاث أكبر مايمكن وتقل الاحتمالية كلما ابتعدنا عن التردد w_o

وعند مركز الخط يكون التردد يساوي $w = w_o, g(w_o) = 2/\pi\gamma$

$$g(w) = g(w_o/2) = \frac{1}{\pi\gamma} = \frac{1}{2\pi}\frac{\gamma}{\delta w^2 + (\gamma/2)^2} \quad .....(72\text{-}1)$$

$$\therefore \delta w = \frac{\gamma}{2}$$

نحصل على أن

من الشكل رقم (1-25) نستنتج المعادلة الاتية:-

$$\Delta w \text{ FWHM} = 2\,\delta\, w = \gamma ....(73\text{-}1)$$

$$\Delta\nu_n = \gamma/2\pi$$

$$\boxed{\Delta\nu_l = 1/2\pi\tau} \quad .....74\text{-}1$$

بالتعويض معادلة رقم (1-73) في معادلة (1-74)

$$g(w) = \frac{\Delta w_n}{2\pi}\frac{1}{(w - w_o)^2 + (\Delta w_n/2)^2} \quad .....75\text{-}1$$

وحيث أننا نقيس عمليا التردد إذا وعند قياس التردد علمياً نحصل على المعادلة دالة لورنشن لعرض خط الطيف

$$g(\upsilon) = \frac{\Delta\upsilon_n}{2\pi}\frac{1}{(\upsilon - \upsilon_o)^2 + (\Delta\upsilon_n/2)^2} \quad .....76\text{-}1$$

Lorentzian function

Width of spectral line $\Delta\nu_n = \gamma/2\pi$

$g(\upsilon)$ دالة تعطي احتمالية حدوث الانتقال عند تردد ما. و $\Delta\nu_i$ هي منتصف القيمة العظمى للأحتمالية وتسمى اتساع الخط الطيفي

2- تعريض دوبلر Doppler Broadening

تم دراسة تأثير العمر المحدود لمستويات الطاقة على اتساع الخط الطيفي للتوسيع الطبيعي Natural Broadening، وعند دراسة تأثير ظاهرة دوبلر على اتساع الخط الطيفي.

أن ظاهرة دوبلر هي تغير في التردد المقاس نتيجة الحركة النسبية بين المصدر والمراقب، مثل الصوت الذي نسمعه لدي مرور سيارة اسعاف مسرعة بالنسبة لنا، فعندما يتحرك المصدر باتجاه مراقب ثابت فإن التردد المقاس بواسطة المراقب يزداد وعندما يبتعد المصدر عن المراقب الثابت يصبح التردد المقاس أقل من تردد المصدر في حالة سكون.

تحدث ظاهرة دوبلر لذرات الباعثة للطيف الكهرومغناطيسي حيث أن الذرات في حالة حركة مستمرة اثناء الانبعاث الضوئي ولهذا فإن المراقب الذي يقيس تلك الترددات المطياف (Spectrometer) سوف يقيس ترددات مختلفة حسب ما إذا كانت الذرات مقتربة من المطياف أو مبتعدة عن المطياف. والترددات المقاسة تعتمد على السرعة النسبية للذرات بالنسبة للمطياف كما في معادلة دوبلر التالية:

$$\nu = \nu_o\left(1 \pm \frac{v}{C}\right) \quad \ldots\ldots 77\text{-}1$$

ومن خلال تأثير دوبلر Classical Doppler Effect يمكن التمييز بين مجاميع من الذرات بموجب سرعاتها وان هذا الاختلاف في السرع يؤدي الى اختلاف الترددات المنبعثة منها وبالتالي يمكن تمييز الترددات نتيجة لأختلاف السرعات. ومن النظرية العامة للغازات فإن احتمالية انتماء ذرة إلى مجموعة من الذرات سرعتها تنحصر في المدى(v to v+dv) وبهذا يمكن يمكن إيجادها من توزيع ماكسويل بولتزمان حسب المعادلة التالية:

$$\frac{dN}{N} = \left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-1/2\frac{mv^2}{kT}} dv \quad \text{.....78-1}$$

يمكن التعبير عن إحتمالية أن تكون سرعة الذرة واقعة في المدى v to v+dv بموجب الدالة g(v)dv الاتية:-

$$g(v)dv = \frac{dN}{N} = \left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-1/2\frac{mv^2}{kT}} dv \quad \text{.....79-1}$$

حيث ان:

dN= العدد الكلي للذرات عندما تكون سرعتها ضمن المدى الى v+dv

N= العدد الكلي للذرات

M= كتلة الذرة

T= درجة الحرارة بالكلفن في حالة التوازن الحراري

أن الترددات المنبعثة من الذرة نتيجة للانتقال بين مستويي الطاقة E_1 و E_2سوف يكون معتمداً على سرعة الذرة من خلال معادلة دوبلر على النحو التالي:

$$\nu = \nu_o\left(1 \pm \frac{v}{C}\right) \quad \text{.....80-1}$$

لايجاد علاقة بين السرعة v والتردد υ من خلال تبسيط (1-80) كما يلي:

$$\nu = \nu_o + \frac{\nu_o v}{C} \longrightarrow \frac{\nu - \nu_o}{\nu_o} = \frac{v}{C} \quad \text{.....81-1}$$

$$\therefore v = C\left(\frac{\nu - \nu_o}{\nu_o}\right) \quad \text{.....82-1}$$

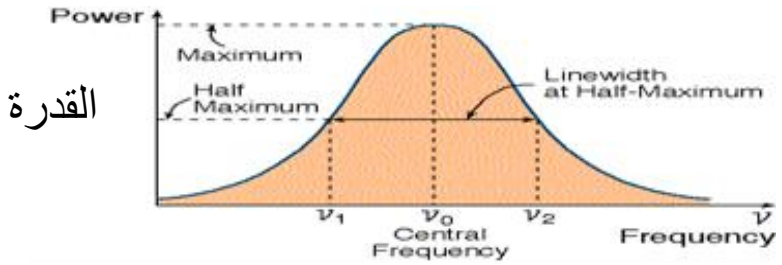
وبأستقامة المعادلة (1-82) نحصل على المعادلة :

$$\therefore dv = \frac{C}{\nu_o} d\nu \quad \text{.....83-1}$$

بالتعويض في المعادلة (1-83) عن v و dv نحصل على

$$g(v)dv = \frac{1}{\nu_o}\left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-1/2\frac{MC^2}{kT}\left(\frac{\nu-\nu_o}{\nu_o}\right)^2} dv \quad \text{(**) ..... 84-1}$$

وهذه المعادلة تسمى معادلة كاوسن (Gaussian Function) والتي تعطي الاتساع في الخط الطيفي نتيجة ظاهرة دبلر والشكل رقم (1- 27) يوضح الاتساع المطلوب إيجاد قيمته. بالتعويض في المعادلة رقم (1-84) عن التردد ν_o ومن الشكل (1-28) أيضا نلاحظ أن عند التردد ν هو نصف قيمة الدالة عند التردد ν_o وعليه نحصل على المعادلتين التاليتين.



شكل رقم (1-28) يمثل رسم كاوسن

$$g(\nu_o) = \frac{1}{\nu_o}\cdot\left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{1/2} \quad \text{.....85-1}$$

$$g(\nu_1) = \frac{g(\nu_o)}{2} = \frac{1}{\nu_o}\cdot\left(\frac{M}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-1/2\frac{MC^2}{kT}\left(\frac{\nu_1-\nu_o}{\nu_o}\right)^2} \quad \text{.....86-1}$$

بالقسمة المعادلتين نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{g(v_1)}{g(v_o)} = \frac{1}{2} = e^{-1/2\frac{MC^2}{kT}(\frac{v_1-v_o}{v_o})^2} \quad \text{.....87-1}$$

للتخلص من الدالة الاسية نأخذ اللوغارتم للطرفين فنحصل على المعادلة التالية:

$$\ln 2 = \frac{MC^2}{2kT}\left(\frac{v_1 - v_o}{v_o}\right)^2 \quad \text{.....88-1}$$

$$\frac{v_1 - v_o}{v_o} = \left(\frac{2kT\ln 2}{MC^2}\right)^{1/2} \quad \text{.....89-1}$$

وحيث أن من الشكل التوضيحي للمنحني اتساع دبلر فإن

$$v_1 - v_o = \frac{\Delta v}{2} \quad \text{.....90-1}$$

$$\Delta v = 2(v_1 - v_o) = 2v_o\sqrt{\frac{2kT\ln 2}{MC^2}} \quad \text{.....91-1}$$

$$(\Delta\lambda) = \frac{2\lambda}{c}\sqrt{\frac{2kT(\ln 2)}{M}} \quad \text{.....92-1}$$

بالتعويض عن الثوابت نحصل على مدى الاتساع الناتج عن ظاهرة دبلر

$$\Delta v \cong 7\times 10^{-7} v_o\sqrt{\frac{T}{M}} \quad \text{.....93-1}$$

لاحظ أن مدى الاتساع يتناسب طردياً مع التردد الأصلي للطيف المنبعث وعليه فإن ظاهرة دوبلر تؤثر على الترددات الكبيرة مثل الانبعاث الكهرومغناطيسي في مدى اللون الأزرق أو أكثر، أما الترددات في مدى الون الأحمر أو أقل فإن ظاهرة دبلر لاتلعب دوراً اساسيا في الاتساع. كما أن الاتساع نتيجة ظاهرة دبلر يزدلد بزيادة درجات الحرارة ويقل بنقصان الكتلة.

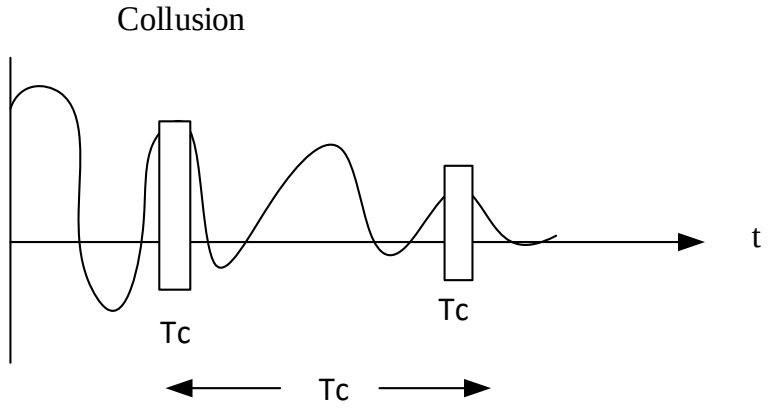
$$\Delta\upsilon = 2\upsilon_0\sqrt{\frac{2k_BT\ln(2)}{Mc^2}} = 2(4.748\times10^{14})\sqrt{\frac{2(1.38\times10^{-23})(400)\ln(2)}{(3.35\times10^{-26})(3\times10^{8})^2}} = 1.51\,\text{GHz}$$

4- التعريض الناتج عن التصادم

Collision Broadening (Pressure Broadening)

هو التعريض الناتج عن التصادمات المرنة بين الذرات الباعثة للأشعاع الكهرومغناطيسي بعضها مع البعض الاخر وبسبب انقطاع القطار الموجي المنبعث من الذرة وهذا الانقطاع يدوم لفترة قصيرة جدا بحدود 10^{-13}sec مما يسبب احداث قفزات عشوائية في طور القطار الموجي كما في الشكل (1-28)، وتكون المحصلة النهائية لهذه التصادمات هو اتساع في مدى الترددات المنبعثة من الذرات المتصادمة حول التردد الأصلي ν_o وفي هذه الحالة فإن الدالة التي تعطي شكل الخط الطيفي حسب المعادلة الاتية:-

$$g(\upsilon) = \frac{\Delta\upsilon}{2\pi}\frac{1}{(\upsilon-\upsilon_o)^2+(\Delta\upsilon/2)^2} \quad \ldots\ldots \quad 94\text{-}1$$



شكل (1-29) يمثل التعريض الناتج عن التصادم

أن الشرط الأساسي لهذه المعادلة هو أن يكون الزمن بين التصادمات أكبر بكثير من زمن التصادم نفسه أي أن $T>>t_c$ حيث ان (TC) يمثل الزمن بين تصادمين ، (tc) يمثل زمن التصادم، و $\Delta\nu$ يمثل موضحة في العلاقات الاتية توسيع خط الطيف نتيجةن العمر الزمني

الطيفي.

$$\Delta\nu = \frac{1}{2\pi}(A_1 + A_2 + 2\nu_{coll})$$

Collision rate

معدل النظام

when $2\nu_{coll} >> A_1+A_2$

For each atomic wave function is interrupted by ν_{coll}

لكل ذرة نووية الدالة تعتمد مقاطع بواسطة فوتر

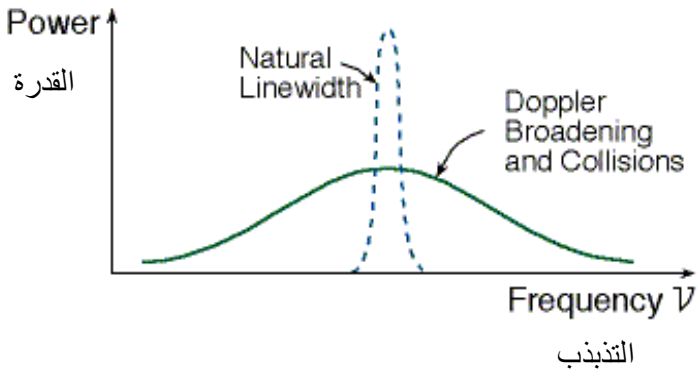
$$\Delta\nu = \frac{\nu_{coll}}{2}$$

وهذا يعطي الاتساع نتيجة للتصادمات وقد تم اهمال الاتساع نتيجة العمر المحدود لمستويات الطاقة وذلك لصغر قيمته بالمقارنة بالاتساع الناتج عن التصادمات بين الذرات.

5- التعريض (التوسيع) المتجانس والغير متجانس

Homogenous & Non-homogeneous Broadening

يصاحب انتقال الذرات او الجزيئات اتساع (تعريض) حول الطور الموجي للخط الطبيعي او حول تردده او هو مدى ضيقه من الاطوال الموجية او الترددات ويتوزع على تردد الموجة كما موضح في الشكل رقم (1-29)



شكل (1-30) يمثل الاتساع

يقسم الاتساع إلى :-

1. الاتساع المتجانس Homogenou Broadening نتيجة الاستجابة المتشابهه لكل ذرات الوسط الفعال لتأثير المجال المغناطيسي

أ. التصادمات المرنة للذرات او الجزيئات.

ب. انتقال الالكترونات الي مستويات طاقة اخرى مختلفة عن مستويات الانتقال الاساسية .مثل الاتساع الناتج عن اتساع العمر الزمني (Life time Broadening) (Pressure Broadening) والاتساع الضغطي الحادث بواسطة مشاركة كل الذرات في عملية التكبير لانتاج الليزر

2. الاتساع الغير متجانس Non-homogeneous Broadening وهو التعريض الناتج عن اختلاف استجابة الذرات الى المجال الكهرومغناطيسي مما يؤدي الى زيادة عرض خط الانبعاث خلال مدى كبير من الطاقة الناتجة من الانتقال المختلف للذرات مثل توسيع دوبلر .(Doppler Broadening) وذلك لعدم التمييز بين مجموعة وأخرى من الذرات حسب سرعاتها، وفي حالة حدوث التكبير لليزر فقط بواسطة مجموعة محددة من الذرات التي تشارك في عملية التكبير لانتاج الليزر.

أسئلة الفصل الاول

1- ما هو الطيف الكهرومغناطيسي (الأشعة الكهرومغناطيسية) وما خصائصها وكيف تتولد ؟

2- ما المفهوم الجديد الذي قدمتة كل من النظرية النسبية و نظرية الكم ؟

3- ما هو الجسم الأسود؟ ارسم طيف الجسم الأسود مع التردد مبينا فية تفسير العلماء؟

4- ما علاقة الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود مع درجة الحرارة في تفسير كل من ستيفان بولتزمان, قانون وينز, رايلي وجينز , قانون بلانك ؟

5- قارن بين عدد وطاقة وشكل المتذبذبات في قانون بلانك و رايلي وجينز ؟

6- فسر العلاقات التالية $I = I_o \exp(-\alpha x)$, $dN_1/dt = - A_{10} N_1$,

7- اشرح كل من أ. الامتصاص ب. الانبعاث الذاتي م. الانبعاث المحفز موضحاً بالرسم والمعادلات ؟

8- اثبت أن

9- $\frac{N_1}{N_0} = \frac{g_1}{g_0} e^{-\frac{h\upsilon}{KT}}$ و $\frac{N_1}{N_0} = \frac{B_{01}\rho(\upsilon)}{A_{10} + B_{10}\rho(\upsilon)}$ و $\frac{B_{01}}{B_{10}} = \frac{g_1}{g_0}$ و $\frac{A_{10}}{B_{10}} = \frac{8\pi h \upsilon^3}{c^3}$.

10- احسب النسبة بين الانبعاث الذاتي والانبعاث المحفز لمصباح كهربائي إذا كان درجة حرارتة 2000K وتردد الإشعاع الصادر منة 5×10^{14} Hz ؟

11- برهن أن

$$\frac{dI_\nu}{dz} = A_{21}\frac{\lambda^2}{8\pi}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(\nu)I_\nu$$

12- أ.برهن على ان تعريض الخط الطيفي للأشعة الكهرومغناطيسية. في حالة التعريض الطبيعي يكون :-

$$\Delta\nu = 1/2\pi t$$

ب. اذكر اسباب تعريض الخط الطبيعي للاشعة الكهرومغناطيسية؟

13- برهن أن التعويض أو الاتساع الناتج عن ظاهرة دبلر هو

$$\Delta\nu \cong 7\times10^{-7}\nu_o\sqrt{\frac{T}{M}}$$

14- ما الفرق بين الاتساع المتجانس و الاتساع الغير المتجانس ؟

15- ارسم الاتساع المتجانس و الاتساع الغير المتجانس ؟

16- فسر معادلة اتساع الخط الطيفي التالية :-

$$\Delta\nu = \frac{1}{2\pi}(A_1 + A_2 + 2\nu \quad)$$

الفصل الثاني

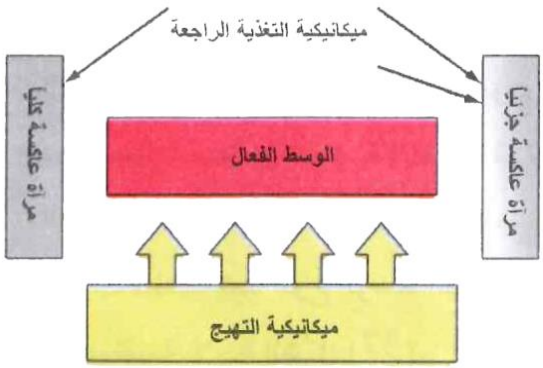
مفاهيم اساسية عن الليزرLASER

2-1- المقدمة (Introduction)

شهد القرن الماضي، تطورات مدهشة في العديد من مجالات العلوم الحديثة في مجال الحاسبات الالكترونية، والأقمار الصناعية والرادار، والأسلحة، والمدافع الليزرية. وهذه التطورات أصبحت اليوم واقعاً نعيشه وحقيقة نلمسها. وبشكل رئيسي عند نجاح العلماء في توليد أشعة الليزر، فبعد الحرب العالمية الثانية وفي بداية خمسينيات القرن العشرين استطاع العلماء المختصون بعد اجراء التجارب ومنهم على وجه الخصوص العالم تاونس(TOWNES) الذي استطاع "تضخيم الموجات الدقيقة بواسطة الأنبعاث المحفز للأشعة".

Microwares Implication by stimulated Emission of radaion

وهذا ما يسمى (بالميزر MASER) وبعد مرور عامين استطاع العالم نفسه مع مجموعة علماء اخرين من الاتحاد السوفيتي تعمل بصورة منفصلة عنه بوضع أساس فكرة الليزر "



شكل (2-1) مخطط لمكونات جهاز الليزر

وهكذا تمكن العلماء من الحصول على اشعة الليزر"Laser" والكلمة مأخوذة من الحروف الاولى لكلمات لفكرة عمل الليزر والمشتقة من العبارة الاتية: **Light**

amplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation ومعناها "تضخيم الضوء بواسطة الأنبعاث المحفز للأشعة". والليزر هو حزمة من الضوء المكثف يسير باتجاه مستقيم عكس الضوء الاعتيادي الذي ينتشر بكل الأتجاهات، وبأطوال موجية قد تختلف فيما بينها. في عام 1960 تم بناء أول جهاز ليزري مولد للأشعة من قبل العالم ميمان (Maiman) حيث يعتبر اول اثبات علمي لتوليد الأشعة الليزرية، بأستعمال بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت (Ruby lazer) وبعدها تم الأستمرار في بناء أنواع جديدة من مولدات الأشعة الليزرية وبدأت بعض الشركات إنتاج انواع عديدة من الليزرات لأغراض متعددة وللاستعمالات الصناعية والطبية والفضاء والابحاث وغيرها من المجالات ومن الجدير بالذكر ان هذه الليزرات مصنفة حسب طبيعة المادة المركبة منها وتعتمد الطاقة المتولدة منها عل نوع المادة المستعملة مثل نوع المادة الصلبة كما هي في نوع الياقوت الأحمر او الليزر الغازي الذي يستخدم " الهليوم ـ نيون" والنوع الثالث يسمى بالليزر الألتصاقي الذي يتركب من مواد شبه موصلة مثل كبريتيد الزرنيخ والكالسيوم وهذا النوع يمكن أستخدامه كموحد ليزريLazer diode ومن خصائص أشعة الليزر مايلي:.

1- أنها اشعة اتجاهية عكس الضوء الاعتيادي الذي ينتشر في جميع الاتجاهات.

2- متماسكة حيث ان الفوتونات فيها ترتبط ببعضها بعلاقات تدعى بالعلاقات الطورية.(Relationship phase) وهذا الامر لا ينطبق على اشعة الضوء الاعتيادي.

3- احادية الطور الموجي، ونستخدم الليزر في المجال الطبي مثل جراحة العيون وعلاج الماء الازرق في العين واعادة لحم او تثبيت شبكة العين ومعالجة عمى الشيخوخة، وأستئصال فيروسات الثآليل في الجلد ومعالجة تصلب الشرايين ومعالجة أمراض السرطان وكذلك ازالة التجاعيد وغيرها من الاستخدامات الطبية حيث ان اشعة الليزر تحولت الى عامل مساعد على استمرار الحياة بدون ألم. وفي المجال التكنولوجي الصناعي تستخدم هذه الأشعة في مجال عمليات قطع ولحام وثقب المعادن وكذلك في صناعة عجلات

السيارات وغيرها.والمجال الزراعي تستخدم في عمليات تسوية الاراضي وتصريف مياه الأمطار ومعالجة البذور النباتية وفي انتاج القمح.ومجال الاتصالات من الاستخدامات المتميزة لأشعة الليزر هو في الألياف البصرية optical fibers وكذلك تستخدم في اجهزة التلفزيون العارضة وفي أنظمة الرادارات وغيرها وهناك استخدامات اخرى متنوعة. ان اكتشاف اشعة الليزر يعتبر من اعظم انجازات القرن الماضي ''القرن العشرين'' لما لها من أثر كبير في تقدم مجالات الحياة.

2-2- فكرة الليزر

إن الليزر/ ينتج بواسطة جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى صورة أشعاع كهرومغناطيسي. انه ضوء يمتلك العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر ضوئي.

أن تركيز كمية الطاقات المتجانسة في مساحة صغيرة يخلق طاقة هائلة تصل إلى مليون ضعف أو أكثرمن قدرة هذه الطاقة غير المركزة. فمثلاً طاقة ضوء الشمس صيفاً تصل إلى 1400واط / م^2، كون المساحة الموزعة عليها هذه الطاقة كبيرة (متر مربع) فلا نشعر بأذى من آشعة الشمس الساقطة علينا، ولكن إذا استخدمنا إحدى العدسات المكبرة في تركيز هذه الأشعة، فإننا نستطيع أن نحرق بسهولة قطعة من القماش أو الورق بوضعها في بؤرة العدسة. وكلما زاد قطر العدسة المجمعة للضوء، كلما زادت درجة الحرارة ولهذا إذا كان قطر العدسة متراً وقطر البؤرة 1ملم، فإن قدرة آشعة الشمس عند البؤرة = 1400×10^8 = 140 ألف مليون واط وهي قدرة عالية جداً قادرة على توليد حرارة تصل إلى عدة آلاف من درجات الحرارة القادرة على صهر كثير من المعادن.

أوضح المثال السابق إذا جمع الضوء بصورة متجانسه ومتآزراً في مساحة صغيرة، فإننا نحصل على آشعة ذات طاقة عالية جداً تسمي آشعة الليزر. ويتم ذلك باختيار مادة تسمى (Active Medium)؛ أي المادة الفعالة وهذه المادة تحوي ذرات طليقة لها عدد من

مستويات الطاقة، يكون أحدها على الأقل مستوى شبه مستقر ثم نضع هذه المادة (سواء غاز أم سائل أم صلب) في وعاء يسمي "وعاء الرنين" وهو يحتوي مرآتين متوازيتين بينهما المادة الفعالة. بإضاءة هذه المادة الفعالة بضوء متألق، يرتفع عدد كبير من الذرات خلال الرنين، من المنسوب الأرضي إلى المناسيب المثارة. وعند هبوط الإلكترونات، يقع معظمها في مصيدة المنسوب شبه المستقر. وعندما يكون الضوء شديداً بدرجة كافية يمكن الحصول على ما يسمي "بالانقلاب السكاني"، أي زيادة الإلكترونات في المنسوب شبه المستقر عن المنسوب الأرضي. وعندما يقفز تلقائياً إلكترون في أحد هذه المناسيب شبه المستقرة إلى المنسوب الأرضي فإنه يشع إشعاعاً وميضاً يسمي "فوتانا". وبمرور الفوتون بذرة أخرى مجاورة في المنسوب شبه المستقر نفسه، يمكنه على الفور تبعاً لمبدأ الرنين أن يستحث تلك الذرة على إشعاع فوتون له التردد نفسه ويعيدها إلى المنسوب الأرضي. ومن المدهش إلى حد كبير أن يكون هذا الفوتون المستحث له نفس التردد والاتجاه والاستقطاب الفوتون الأصلي (ترابط مكاني)، ونفس الطور والسرعة (ترابط زمني). يمكن اعتبار كل من هذين الفوتونين بمثابة أمواج أولية, بمرورها بذرات أخري في مناسيبها شبه المستقرة، فإنها تحثها على الإشعاع في نفس الاتجاه والطور وينشأ تفاعل متسلسل، وينتج عنه إشعاع مترابط عالي الشدة يسمي إشعاع الليزر. ولقد قام ت.هـ ميمان عام 1960 ببناء أول ليزر بنجاح، ومنذ ذلك الوقت أجريت بحوث واسعة لتطوير الليزر، ومجالات تطبيقية سواء في الطب أم الصناعة أم الزراعة.

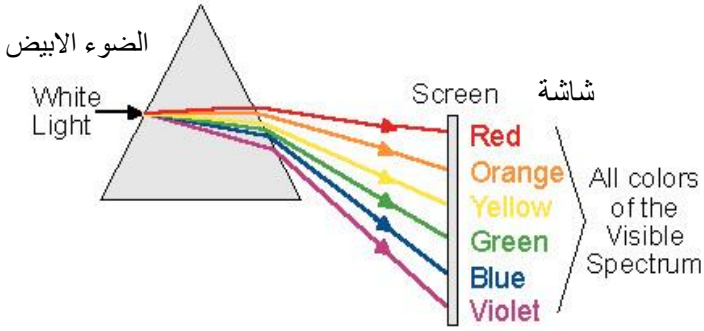
2-3- خصائص أشعة الليزر (properties of laser)

شعاع الليزر يمتلك خصائص تميزه عن أية مصدر من مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي وهذه الخصائص هي:

أحادي الطول الموجي (احادي اللون) Monochromaticity والاتجاهية Directionality و التشاكهة Coherency و السطوع Brightness

2-3-1-أحادي الطول الموجي او (أحادي اللون) Monochromaticity

الليزر له طول موجي واحد ويتميز بالنقاء الطبيعي وهذا ما يميزه عن الضوء العادي الذي يحتوي مدى واسع من الاطوال الموجية عند تحليل الضوء الأبيض الصادر من الشمس أو من مصباح ضوئي يظهر أحتوائه على العديد من الأطوال الموجية، كما هو واضح عند تحليل الضوء المرئي باستخدام المنشور Prism. والشكل (2-1) يوضح ذلك اما الكمية الفيزيائية التي تعبر عن درجة هذة الصفة فهي تعريض الخط الطيفي $\Delta\nu$ او $\Delta \cdot \lambda$

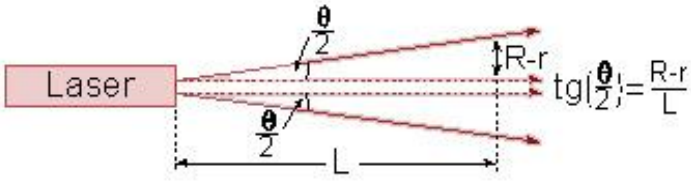


شكل رقم (2-2) يمثل تحليل الضوء الابيض بالموشور

2-3-2- الاتجاهية Directionality

هي ظاهرة انتشار اشعة الليزر بخط مستقيم (أي بأتجاه واحد خلال مسافات بعيدة وبأنفراج قليل). إن هذه الخاصية هي نتيجة مباشرة لكون أن المادة الفعالة موضوعة داخل تجويف رنان مثل التجويف المتكون من المرآتين المستويتين المتوازيتين، وعند انبعاثها أشعة تسير على طول محور التجويف (تسير قريبة منه) الشكل رقم (2-2) يمثل الأشعة المنبعثة من مصباح اليد الصغير أو أشعاع الليزر منفرجة ،إذ يزداد عرض الحزمة كلما ابتعدنا عن المصدر.أن أشعاع الليزر له اتجاه واحد بجيود مهمل وتتصف حزمة اليزر بزوايا انفراج صغيرة (تقدر بحدود10^{-3} زاوية نصف قطرية) لذلك تكون متوازية ونتيجة لتوازى الأشعة فأن كمية الطاقة

المفقودة تكون قليلة جدا, وعدم تقيد مسارها وهذا أحد الأسباب التي جعلت من شعاع الليزر شعاعا ذات طاقة عالية.



الشكل رقم (2-3) يمثل الاتجاهية

2-3-3- التشاكة Coherence

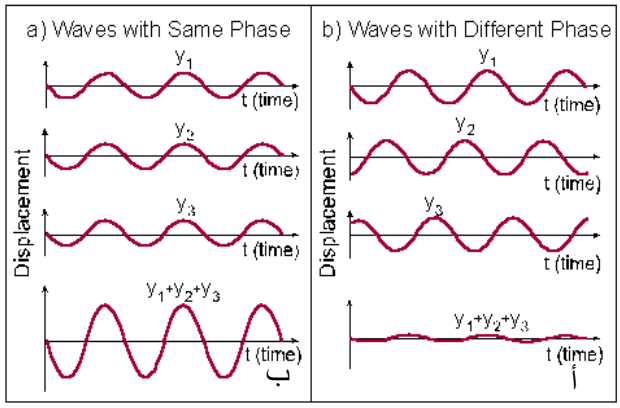
ظاهرة تحصل عندما تتلاقي موجتان متساويتان في التردد والسعة وبينهما فرق طور ثابت ان لاشعة الليزر درجة عالية من التشاكة الزمني (الاشعة لها نفس الطور والسرعة) والتشاكة الفضائي (نفس التردد والاتجاه والاستقطاب), أن الشعاع الكهرومغناطيسي له خاصية موجية يمكن وصفها بالمعادلة التالية:

حيث أن: **$y = A\cos(wt+f)$**.....1-2

A= ثابت القيمة اوثابت المقدار	A = Amplitude سعة الموجة
W= التردد الزاوي	w = Angular Frequency زاوية التردد
(w t + f) = طور الموجة	w (wt+f) = Phase of the wave طور الموجة
الطور الاولي للموجة (بصف نقطة الانطلاق في زمن التذبذب)	f = Initial Phase of the wave (Describe the starting point in time of the oscillation).

ان الخاصية الفيزيائية للتشاكه (Coherent) تعني أن هنالك علاقة ثابتة في فرق الطور بين الأمواج المتداخلة مما تسبب في ظاهرة التراكب البناء. الشكل (2-3) أ،ب ثلاث موجات لها نفس الطور (Phase) تعطي تراكب بناء (Constructive) أما الموجات المختلفة في الطور (Phase) بسبب تلاشي الموجة (disstructive) كما في الشكل (2-3) موجات

موجات مختلفة الطور



شكل (2-4) أ يمثل التلاشي شكل (2-4) ب يمثل التراكب البناء

2-3-4- السطوع Brightness

هو مقدار الطاقة الاشعاعية الساقطة أو المنبعثة لكل وحدة مساحة من السطح و مقدار (شدة) الضوء المنبعث أو الممتص من الجسم المضاء. إن شدة الاشعاع العالية والمركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز الواحد ميليمتر, وهذه ناتجة عن التطابق التام في الطور بين الموجات(قمم الموجات فوق بعضها البعض), مما يجعلها مؤثرة جدا عند سقوطها على المواد والكائنات الحية, كما أن تركيز الطاقة المنبعثة في حزمة ضيقة قليلة الانفراج يجعل الاشعاع الليزري ذو شدة عالية.

2-3-5- شدة الشعاع Intensity of Radialom

هو مقدار الطاقة التي تحملها الاشعة المارة خلال وحدة المساحات لسطح تخيلي في الفراغ.

تقاس شدة أشعة الليزر بنفس وحدات قياس القدرة الكهربائية، وهي "واط" watt. وتتراوح هذه الشدة آلاف الملايين من الوطات. وتعد أشعة الليزر النبضية أقوى أنواع الليزر؛ لأن طاقتها مركزة في شكل نبضات سريعة، ويمكن لأشعة الليزر المستمرة أن تنتج نفس كمية الطاقة مثل الأشعة النبضية، ولكن ذلك يستغرق وقتاً طويلاً. وتستخدم أشعة الليزر القوية في

الأغراض الصناعية، مثل تثقيب وقطع المعادن، بينما تستخدم الأشعة الضعيفة لتشغيل الأقراص البصرية. أما الأشعة متوسطة القوة فتستخدم في الأغراض الطبية. أن جميع هذة الخواص جعلت من اشعة الليزر ذات تطبيقات كثير مقارنة مع مصادرالاشعة الاخرى.

2-4 المكونات الأساسية لجهاز الليزر

إن مبدأ عمل اجهزة الليزر يعتمد على ثلاثة عوامل اساسية هي الوسط الفعال و التاهيل العكسي و التغذية العكسية الضوئية التي تتم بواسطة المرنان البصري

2-4-1- الوسط الفعال The active medium

هو مصدر الالكترونات الرئيسي داخل الليزر لأنتاج الفوتونات، وهو أساس عمل الليزر ويحتوي على عدد كبير من الذرات او الجزيئات او الايونات الباعثة طيفا يقع جزء منة في المدى المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي إن مادة الوسط الفعال تكون أما من ذرات او جزيئات اوايونات في الحالة الغازية ويسمى الليزر وفق المادة المستعملة في الحالة السائلة ويسمى ليزر الحلة السائلة او في الحالة الصلبة ويسمى ليزر الحلة الصلبة. أو في الحالة الغازية بالليزر الغازي.

ومن أمثلة المواد الفعالة الشائعة الاستعمال حالياً هي :-

أ- البلورات الصلبة، مثل الياقوت الصناعي وعقيق الألمنيوم والزجاج المسمى بالياج

ب-المواد الغازية، مثل خليط غاز الهليوم والنيون وخليط غاز الهليوم والكادميوم وبخار الماء

ج- الغازات المتأينة مثل غاز الأرجون وغاز الكربتون.

د- الجزئيات الغازية مثل غاز أول أكسيد الكربون وغاز ثاني أوكسيد الكربون.

هـ- الصبغات السائلة، وهي صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة في الماء.

و- المواد الصلبة شبة الموصلة، مثل أرسنيك الجاليوم.

2-4-2- التاهيل (التوزيع) العكسي او انقلاب التعداد Population Inversion

يتطلب أنبعاث أشعة الليزر زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا، أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية فيها باستخدام طاقة خارجية مثلاً. وعندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا يحصل انقلاب في التعداد أو عكس التعداد، وهو ما سميناه بالتعداد المعكوس. عندما تكون مجموعة من الذرات أو في وضع متهيج، أي تملك طاقة عالية، بمعنى آخر الحصول على تعداد كثيف في مستويات الطاقة العليا، فإن انبعاث فوتون مفرد خلال انتقال الذرة أو الجزيئة إلى متسوى أقل سوف يحث غالبية الذرات الأخرى الموجودة في نفس مستويات الطاقة للانتقال وبعث الطاقة الزائدة على شكل فوتونات بعملية الانبعاث المحتث وفيها يجب ضخ النظام مرة أخرى للحصول على تعداد معكوس آخر ونبضة ليزرية أخرى وذلك بعد إكمال عملية الانبعاث المحتث ورجوع غالبية الذرات المهيجة إلى وضع الاستقرار.

2-4-3- المرنان البصري

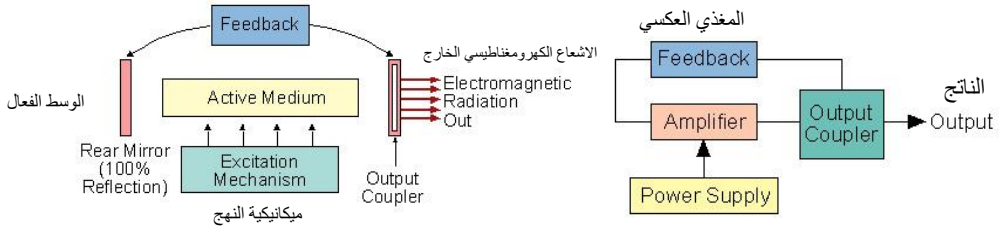
وهو الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التكبير، ويتكون من :

1- مرآتان متوازيتان في نهاية الأنبوب الحاوي للمادة الفعالة، وتكون الانعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية التكبير الضوئي، كما في الليزرات الغازية.

2- طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآة، كما في ليزرات بلورات الياقوت وليزر عقيق الألمنيوم والزجاج، وفي الليزرات الصلبة بصورة عامة.

وفي كلا الحالتين يجب أن تكون إحدى المرآتين عاكسة كلياً للفوتونات الضوئية والأخرى تسمح بالنفاذ الجزئي لكي يتسنى لشعاع الليزر بالخروج خارج المرنان. يعمل الليزر مثل أي مذبذب الكتروني، وفكرة المذبذب هو جهاز ينتج ذبذبات بدون وجود مؤثر خارجي، يعمل مذبذب الليزر حيث يتم إعادة جزء من الفوتونات المكبرة بواسطة عملية الانبعاث

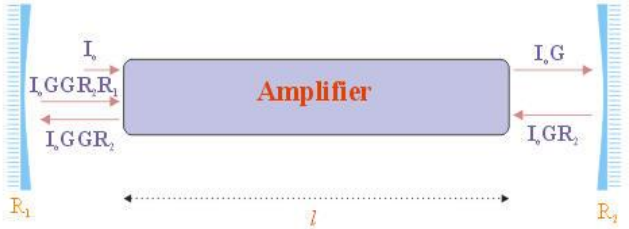
الاستحثاثي باستخدام مرايا لتكبير، أي تجويف رنيني ذو تصميم مناسب يسمى (بالمرنان) الشكل رقم (2-5) يوضح فكرة عمل مذبذب الليزر.



شكل (2-5) أ، ب يمثل فكرة عمل متذبذب الليزر

2-5 فكرة عمل الليزر

عند تزويد الوسط الفعال active medium بضوء ذو شدة عالية ولفترة زمنية قصيرة. يعمل على اثارة الذرات في الوسط الفعال (active medium) إلى مستويات الطاقة الأعلى. حيث تقوم بعض الذرات باطلاق فوتونات وعند انتقالها إلى مستويات طاقة ادنى. هذه الفوتونات تقوم بعملية الانبعاث الذاتي (stimulate emission) لفوتونات من ذرات أخرى وعندها يبدأ تكبير الضوء. فإن الاشعة تكبر بمقدار (G) وتصبح شدتها I_o G كما في الشكل (2-6) وباستخدام مرأة R_2 فإن جزء من الاشعة ينعكس بمقدار R_2 وتصبح شدة الاشعة I_oGR_2 , تعمل المرأة على إعادة الاشعة للمكبر مرة أخرى لتكبيرها بمقدار G مرة أخرى وتخرج I_oGR_2G لتسقط على المرأة الأخرى R_1 وتكون شدة الاشعة عند انعكاسها $I_0GR_2GR_1$. وهذا مايحدث للاشعة عند دخولها للمكبر خلال دورة تكبير واحدة ويكون التكبير المكتسب في المقدار GG والفقد في الاشعة يكون ناتج عن R_2R_1.



شكل (2–6) يمثل مرنان

والشرط الاساسي ليصبح المذبذب يعمل كمكبر للاشارة هو ان يكون الناتج النهائي بعد دورة واحدة أكبر من الاشارة الاصلية I_o أي أن،

$$\mathbf{I_oGR_2GR_1 \geq Io} \quad \text{.....1-2}$$

$$\mathbf{GR_2GR_1 \geq 1} \quad \text{.....2-2}$$

هذا هو الشرط الاساسي لكي يصبح المتذبذب مكبرا. اي (الربح) يجب ان يكون اكبر او تساوي واحد.

ويمكن يوصف الحصيلة الربح بالدالة التالية :-

$$G(\nu) = e^{\gamma_o(\nu)l} \quad \text{.....3-2}$$

حيث أنγ_o (v) يمثل الربح وبتعويض معادلة (2-2) بالمعادلة (2-3) نحصل على:

$$R_1R_2e^{2\gamma_o(\nu)l} \geq 1 \quad \text{.....4-2}$$

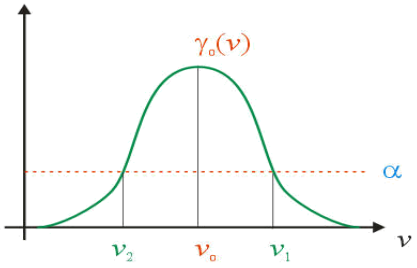
وعند شرط العتبة نحصل على المعادلة الاتية:

$$e^{2\gamma_o(\nu)l} \geq \frac{1}{R_1R_2} \quad \text{.....5-2}$$

$$\gamma_o(v) \geq \frac{1}{2l}\ln\frac{1}{R_1R_2} \quad \ldots\ldots 6\text{-}2$$

الطرف الأيسر من العلاقة (2-6) تمثل الحصيلة (الربح) بالنسبة الى وحدة الطول (length Gain per unit) والطرف الأيمن يمثل الخسارة (الفقدان) بالنسبة الى وحدة الطول (Losses) per unit length.

لنفرض أن الرمز α يعبر عن مقدار الفقد في الاشارة لذا فإن



شكل (2-7) يمثل منحنى الربح

$$\alpha = \frac{1}{2l}\ln\frac{1}{R_1R_2} \quad \ldots\ldots 7\text{-}2$$

نلاحظ أن الخسارة (losses) لا يعتمد على التردد وفي هذه الحالة يمكن تمثيل الخسارة على منحني الربح الـ (Gain) كدالة في التردد بخط مستقيم كما في الشكل (2-7). لاحظ أنه ليس كل الترددات تحت منحني الربح Gain) يمكن ان تنتج ليزر ولكن فقط تلك الترددات التي تحقق الشرط الذي ينص على ان التحصيلة الربحية يجب أن تكون اكبر من أو يساوي الخسارة وهذا يتحقق في المدى الترددي $v_2 - v_1$ كما موضح في الشكل (2-7).

أن دالة الربحية الـ (Gain) يمكن التعبير عنها بثابت مضروباً في دالة (line shape function) كما يلي:-

$$\gamma_o(v) = C\, g(v) \ldots\ldots 8\text{-}2$$

$\gamma_o(\nu_o) = C\, g(\nu_o)$.....9-2

وحيث ان أكبر قيمة ربحية للـ (Gain) تكون عند التردد (ν_o)

بقسمة المعادلتين (2-8) و (2-9) نحصل على:-

$$\gamma_o(\nu) = \gamma_o(\nu_o)\frac{g(\nu)}{g(\nu_o)} \quad .....10\text{-}2$$

الى التوسيع المتجانس

لتعريض طيف متجانس فان الدلة $g(\nu)$ تعطى بالشكل التالي :-

$$g(\nu) = \frac{\Delta\nu}{2\pi[(\nu-\nu_o)^2 + (\Delta\nu/2)^2]} \quad .....11\text{-}2$$

$$g(\nu_o) = \frac{2}{\pi\Delta\nu} \quad .....12\text{-}2$$

عند تعويض الدالة $g(\nu)$, $g(\nu_o)$ في المعادلة 2-12نحصل على :-

$$\gamma_o(\nu) = \gamma_o(\nu_o)\frac{(\Delta\nu/2)^2}{(\nu-\nu_o)^2 + (\Delta\nu/2)^2} \quad .....13\text{-}2$$

وهذه المعادلة تعطي الـ Gain عند أي تردد بدلالة الـ Gain عند التردد ν_o. في حالة الليزر فان الحصيلة عند ترددν_o يجب ان تكون اكبر من الخسارة α

لايجاد المدي الترددي لعرض حزمة الليزر Bandwidth for the laser الذي يتحقق فيه شرط الحصول على الليزر وعلاقته باتساع منحنى الـ Gain Δv

$$\frac{\gamma_o(\nu_o)}{\alpha} > 1 \quad .....14\text{-}2$$

$$\frac{\gamma_o(\nu_o)}{\alpha} = N \qquad N > 1 \quad .....15\text{-}2$$

حيث أن N عدد صحيح يعبر عن النسبة بين مقدار الحصيلة إلى الخسارة، ويكون مقدار الخسارة losses هو

$$\alpha = \frac{\gamma_o(\nu_o)}{N} \quad \ldots\ldots 16\text{-}2$$

From the figure $\alpha = \gamma_o(\nu_1)$

من الشكل (2-7) نحصل على $\alpha = \gamma_o(\nu_1)$

$$\gamma_o(\nu_1) = \gamma_o(\nu_o)\frac{(\Delta\nu/2)^2}{(\nu_1-\nu_o)^2+(\Delta\nu/2)^2} \quad \ldots\ldots 17\text{-}2$$

$$\alpha = \gamma_o(\nu_1) = \frac{1}{N}\gamma_o(\nu_o) \quad \ldots\ldots 18\text{-}2$$

$$\frac{1}{N}\gamma_o(\nu_o) = \gamma_o(\nu_o)\frac{(\Delta\nu/2)^2}{(\nu_1-\nu_o)^2+(\Delta\nu/2)^2} \quad \ldots\ldots 19\text{-}2$$

$$\nu_1 - \nu_o = \frac{\Delta\nu}{2}(N-1)^{1/2} \quad \ldots\ldots 20\text{-}2$$

$$\nu_1 - \nu_2 = 2(\nu_1-\nu_o) = \Delta\nu(N-1)^{1/2} \quad \ldots\ldots 21\text{-}2$$

كما هو موضح في الشكل (2-7)

$$\nu_1 - \nu_2 = \Delta\nu\sqrt{(N-1)} \quad \ldots\ldots 22\text{-}2$$

يمكن الحصول على ليزر لمستويين من الطاقة لهما منحنى Gain في المدى الترددي الذي يعطى بالعلاقة (2-22) , حيث كلما كبرت قيمة N كلما كانت الحصيلة أكبر من الخسارة وهذا افضل لكفاءة الليزر وعندما تكون N=2 يكون المدى الترددي لليزر مساوياً لاتساع منحنى Gain Δv وعندها تكون الحصيلة ضعف قيمة الخسارة، وعندما تكون N=1 تكون الحصيلة تساوي الخسارة ويكون المدى الترددي في هذه الحالة مساوياً

للصـفر $0 = \nu_1 - \nu_2$.

عندما تكون N اقل من 1 فإن المقدار تحت الجذر يصبح سالباً وهذا ليس له معنى فيزيائي ولا يمكن على الاطلاق الحصول على ليزر في هذه الحالة حيث تصبح الخسارة أكبر من الحصيلة

5-3 الحصيلة (الربحية) والخسارة في دورة واحدة Round trip gain with losse

ان الربحية (الحصيلة) الناتجة عن دورة كاملة لليزر خلال المادة وأن انقلاب التعداد شرط اساسي لكي يستمر الحصول على ليزر. ولكن الفقد الخسارة الناتج عن عدة عوامل يسبب في نقصان الحصيلة. ولكي نحصل على ليزر فإن الحصيلة لكل دورة يجب أن تكون على الاقل اكبر من الخسارة في كل دورة.

ترجع الخسارة الكلية في جهاز الليزر الى عوامل مختلفة بالرغم من التباين في مقاديرها لاختلاف انواع الليزر الا انها تبدو مشتركة

1- نفاذ الاشعة من خلال المرأتين Transmission at the mirrors

2- الامتصاص والاستطارة بواسطة المرأتين Absorption and scattering by the mirrors

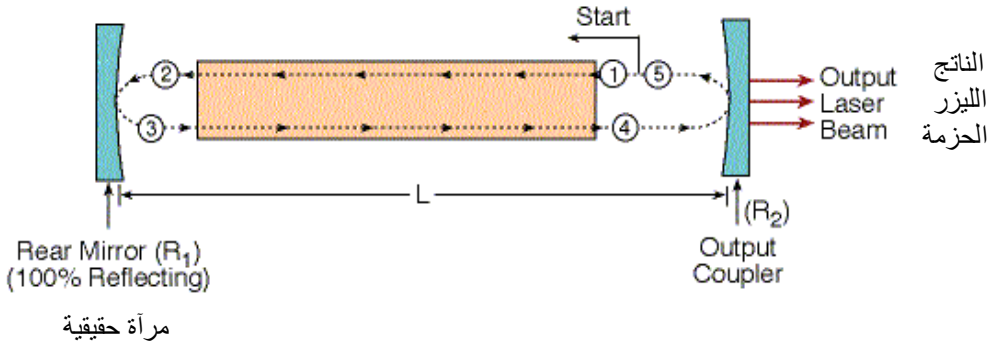
3- امتصاص الاشعة من خلال الوسط الفعال Absorption in the laser medium

4- الخسارة الناتجة عن الحيود في المرأتين Diffraction losses at the mirrors

كل هذة العوامل تودي الى الانخفاض في عامل الحصيلة الفعلي the effective gain coefficient (γ_o- k)

1-5-3 الحصيلة (الربح) في دورة واحدة Round trip Gain (G)

الشكل رقم (2-8) يوضح دورة احدة لخط الاشعاع الحيز البصري الليزري. الدورة مقسمة الى خمسة خطوات تبدأ من الخطوة الاولى وتنتهي في الخطوة الخامسة التي تمثل الخطوة الاولى نفسها.



شكل (2–8) يمثل دورة واحد بالعلاقة الاتية

ممكن تعريف حصيلة دورة واحدة بالعلاقة الاتية:–

$$G = I_5 / I_1 \ldots\ldots 23\text{–}2$$

- Round trip Gain G هي حصيلة دورة واحدة
- Intensity of radiation at the beginning of the loop I_1 هي شدة الاشعة عند بداية الدورة
- Intensity of radiation at the end of the loop I_5 هي شدة الاشعة عند نهاية الدورة

لقد اثبتنا سابقا ان الشدة بعد دورة واحدة توصف بالعلاقة التالية :–

$$I_5 = R_1 * R_2 * G^2 * I_1 \ldots\ldots 24\text{–}2$$

Gain with Losses (G) الحصيلة مع الخسارة

وطبقا الى صيغة لامبرت يعرف عامل الامتصاص بالمعادلة :–

(L) نفرض ان الخسارة تكون منتظمة على طول الحيز

$$k = \exp(-2\alpha L) \ldots\ldots 25\text{–}2$$

حيث k هوعامل الخسارة

- Loss coefficient (in units of 1 over length) α هو معامل الخسارة

- 2L هو طول مسار الاشعة ويساوي ضعف طول الحيز البصري
- (1-k) المجموع الكلي لفقدان الاشعة خلال دورة واحدة هو

$$\mathbf{I_5 = R_1 * R_2 * G_A^2 * I_1 * k} \ldots\ldots 26\text{-}2$$

$$\mathbf{G = I_5/I_1 = R_1 * R_2 * G_A^2 * k} \ldots\ldots 27\text{-}2$$

على (γ)الحصيلة او الكسب توزيع منتظم , يمكن ان نعرف معامل (α)اذا فرضنا ان توزيع معامل الفقدان او الخسارة

تتوزع بشكل منتظم على طول الحيز.active medium gain (G_A) فرض ان الحصيلة الوسط الفعال

$$\mathbf{G_A = \exp(+\gamma L)} \ldots\ldots 28\text{-}2$$

وبالتعويض في معادلة الحصيلة **G** نحصل على :-

$$\mathbf{G = R_1 * R_2 * \exp(2(\gamma - \alpha)L)} \ldots\ldots 29\text{-}2$$

هناك شرط اساسي لاستمرار عملية التكبير داخل جهاز الليزر وهو ان قيمة الحصيلة للدورة الواحدة تساوي او اكبر من الواحد، فاذا كانت الحصيلة تساوي واحد فيسمى هذا بشرط العتبة وهو اقل قيمة للحصيلة عندها ينبعث شعاع الليزر، ويمكن التعبير عنة بالعلاقة التالية:-

$$\mathbf{G_{th} = 1 = R_1 R_2 G_A^2 k = R_1 * R_2 * \exp(2(\gamma - \alpha)L)} \ldots\ldots 30\text{-}2$$

مثـال Example رقم 1

جهاز ليزر طول تجويفة 30 cm و وسطة الفعال يعطي كسب 1.05 ومعامل انكسار مرأتية هو 0.999 و 0.95 و معامل الفقد يساوي $1.34 \times 10^{-4-}$.احسب

1- عامل الخسارة أو الفقد The loss factor k

2- الكسب أو الحصيلة لدورة واحدة round trip gain G

3- معامل الحصيلة (γ) The gain coefficient

الحـــل Solution

1- $k = \exp(-2\alpha L)$ = exp[-2(1.34*10^{-4})*30] = 0.992
2- $G = R_1R_2G_A^2k$ = 0.999*0.95*1.052*0.992 = 1.038
Since $G_L > 1$, this laser operates above threshold.
3- $G = \exp(\gamma L)$
$\ln G = \gamma L$
$\gamma = \ln G/L$ = ln(1.05)/30 = 1.63*10^{-3} [cm^{-1}]

مثـــال Example رقم 2

ليزر هليوم – نيون يعمل عند شرط العتبة. معمل انكسار مرأتية 0.999 و 0.999 طول تجويف الليزر 50 سم وحصيلة الوسط الفعال لة هي 1.02. احسب

1- عامل الخسارة أو الفقد The loss factor k

2- معامل الخسارة او الفقد The loss coefficient α

الحـــل Solution

أي انة يحقق الشرط التالي :-1= G لاحظ ان هذا الجهاز يعمل عند شرط العتبة

$G = 1 = R_1R_2G_A^2k$
1- $k = 1/(R_1R_2G_A^2)$ = 1/(0.999*0.97*1.02^2) = 0.9919
As expected, k < 1.
Since G > 1, this laser operates above threshold.
2- $k = \exp(-2\alpha L)$
$\ln k = -2\alpha L$
$\alpha = \ln k/(-2L)$ = ln(0.9919)/(-100) = 8.13*10^{-5} [cm^{-1}]

مثـــال Example رقم 3

احسب الكسب المتوسط الفعال لجهز ليزر معاملات انعكاس مرأتية 0.999 و 0.95 وكل الخسائر في رحلة ذهاب واياب هي 0.6 %.

الحـــل Solution

لايجاد الكسب الفعال يجب ايجاد عامل الخسار **(K)**

كل الخسارة هي **1-k**

1-k = 0.006
k = 0.994
$G_{th} = 1 = R_1R_2G_A^2k$
$(G_A)_{th} = 1/sqrt(R_1R_2k) = 1/sqrt(0.999*0.95*0.994) = 1.03$

الضخ الفعال يجب ان يكون على الاقل اكبر او يساوي 1.03 لخلق نتاج ليزر مستمر لهذا الجهاز.

6-3 (خطـط) الضـــخ (pump plans)

ان الربحية (الحصيلة) ومعامل الكسب في عملية الانبعاث الاحتثاثي او المحفز والتاهيل العكسي تتم وفق معادلة التكبير لليزر على النحو التالي:

*تسمى العمليات التي من خلالها يتم الحصول على التوزيع المعكوس بعمليات الضخ (pumping process) اي عمليات لرفع الطاقة الى مستويات عالية، من هذه الطرق. عند العتبة يكون للتاهيل العكسي قيمة حرجة، أي ان (الخطط) المعتمدة لرفع الطاقة والحصول على التوزيع المعكوس تكون على استخدام وميض ضوئي، تفريغ كهربائي او تصادم بين الجزيئات.

$$\gamma_o(v) = A_{21}\frac{\lambda^2}{8\pi}(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1)g(v) \quad .....31-2$$

$$(N_2 - \frac{g_2}{g_1}N_1) = \frac{8\pi\gamma_o(v)}{A_{21}\lambda^2 g(v)} \quad .....32-2$$

$$\Delta N_{th} = \frac{8\pi\gamma_{th}(v)\tau_{21}}{\lambda^2 g(v)} \quad .....33-2$$

ملاحظة: ان عتبة الليزر تكون جاهزة عندما تكون g(v) باعلى قيمة وعندما تكون $v=v_0$ بالتناوب مع مركز عرض الخط الطبيعي

$$g(v_o) = \frac{1}{\Delta\upsilon} \quad .....34-2$$

$$\Delta N_{th} = \frac{8\pi \gamma_{th}(v)\tau_{21}\Delta\upsilon}{\lambda^2} \quad .....35\text{-}2$$

ان لكل وسط طريقة (خطة) ضخ مناسبة ونختار وفق الاتي:

أ- اختيار الطاقة المناسبة للضخ

ب_ اختبار المناسيب اللازمة للضخ ومستوياتها.

ان شروط حدوث التوزيع المعكوس ان يكون N2>N1 اي ان مستوى طاقة الضخ بين الذرات او الجزيئات او الايونات مساوية للطاقة المصدر فمثلاً طاقة الفوتون (hv) تساوي الفرق E_2-E_1 للمستويين المعتمدة في عملية الضخ.

لغرض توليد الليزر لابد من تحقيق التأهيل العكسي لمستوى انتقال الذرات في الوسط الفعال لا يمكن تحقيق استمرارية التاهيل العكسي بمقدار يتجاوز القيمة الحرجة لمستويين عند استخدام اشعاع كهرومغناطيسي شديد ذو تردد مناسب لعملية الضخ سرعان ما يتولد حالة الاشباع. لذلك يجب انتخاب اكثر من مستويين للطاقة.

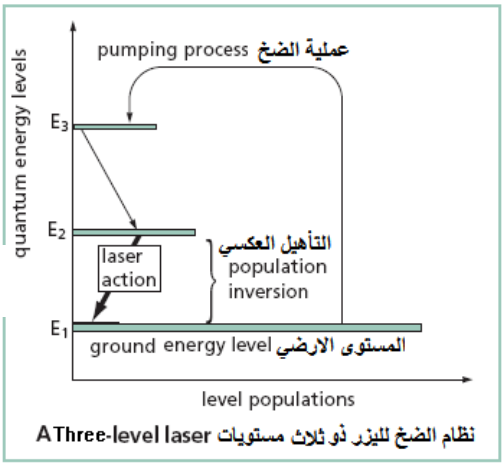
وتشمل الانواع الاتية:

أ. الليزر ذو الثــلاثة مستــويات Three Level Laser

الليزر ذو الثلاثة مستويات موضح في المخطط رقم (2-9) حيث يبين ان شعاع الليزرينتج بين مستويي الطاقة الاول و الثاني ويكون مستوى الطاقة الاول هوالمستوى الادنى والمستوى الثاني هو الاعلى, أي ان المستوى الادنى هوالمستوى الارضي. والذي يحتاج الوسط الفعال لهذا الليزر الى تاهيل عكسي كبير بحيث يصبح عدد الذرات(المتهيجة) اكثر من 50%

The two energy levels between which lasing occur are: the lower laser energy level (E_1), and the upper laser energy level (E_2).

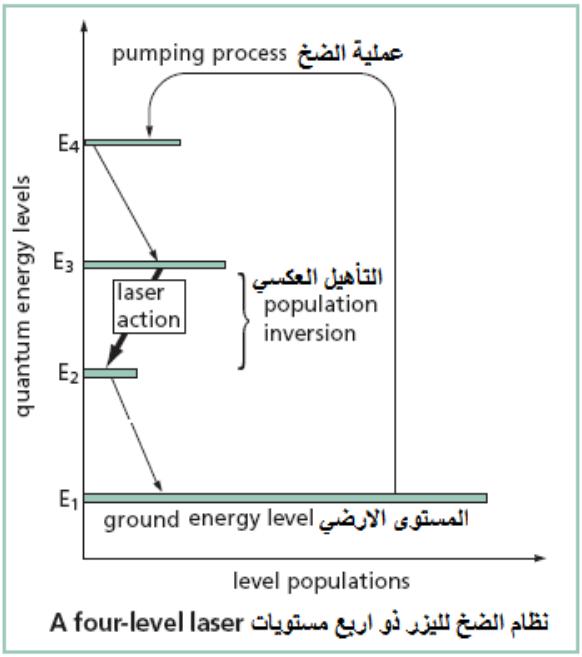
ان بين مستوين الطاقة لحدوث االيزر هي–هما مستوى الطاقة (E_1) الادنى ومستوى طاقة الليزر الاعلى (E_2) كما في الشكل (2–9)



شكل رقم (2–9) 2 لليزر ذو ثلاث مستويات

ب. الليــزر ذو الاربعة مســتويات (Four Level Laser)

الليزر ذو الاربعة مستويات موضح في المخطط رقم (2–10) حيث يبين ان شعاع الليزرينتج بين مستويي الطاقة الثاني والثالث ويكون مستوى الطاقة الثاني هوالمستوى الددنى والمستوى الثالث هو الاعلى, أي ان المستوى الاد نى يكون اعلى من المستوى الارضي. عند المقارنة بين المخطط الليزر ذو الثلاثة و الاربعة مستويات نلاحظ ان في مخطط الليزر ذو الاربعة مستويات هناك مستوى طاقة اعلى من المستوى الارضي وهذا المستوى ذات عمر صغير جدآ very short lifetime.. يحتاج الوسط الفعال لهذا الليزر الى تاهيل عكسي قليل بحيث يصبح عدد الذرات(المتهيجة) اقل من 50%.كما ان المستوى E_2 سريع الانحلال وبفترة وجيزة يصبح تعداد الذرات في المستوى الارضي 99%.



شكل رقم (2–10) بين ليزر ذو اربع مستويات

ان فوائد ليزرات مستويات الاربع مقارنة مع ليزر ثلاث مستويات هي

- ان عينة الليزر لاربع مستويات قليلة.
- الكفاءة عالية.
- معدل الضخ المطلوب قليل.
- التشغيل المستمر ممكن.

2–7 طـــرق الضـــخ pump method

أن للعمليات التي بواسطتها يمكن رفع الذرات من المستوى الارضي (E_0) الى المستوى المتهيج تسمى بعمليات الضخ (Pumping processes) أو من مستوى E_1 الى مستوى طاقة E_3 أو من E_0 الى مستوى E_3. ان ميكانيكية الضخ تختلف باختلاف

1–طرق الضخ.

2– طبيعة المادة الفعالة.

3-تتنوع مصادر الطاقة المستخدمة حالياً ومنها : استخدام مصادر للترددات الراديوية R.F كطاقة داخلية. أو استخدام التفريغ الكهربائي في التيار المستمر مثال ذلك ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون - وليزر الهليوم/نيون، وليزر غاز الأرجونالخ. ومن أهم طرق الضخ هي:

1- الضـــخ البصـــري

يستخدم في هذة الطريقة مصدر ضوء ذو قدرة عالية لتحريض الوسط الفعال الذي تقوم ذراتة او ايوناتة او جزيئاتة بامتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية التي تساعدها على الانتقال من المستوى الارضي الى المستوى الاعلى المتهيج. تستخدم هذة الطريقة المصابيح الوهاجة ذات القدرة الكبيرة كما في ليزر الياقوت او النديميوم أو استخدام شعاع ليزرية كثيرة في مناطق الطيف المختلفة، ومثال ذلك ليزرات الصبغات السائلة Dye المتوفرة تجارياً.

2- الضـــخ الكهـــربائي

تستخدم هذة الطريقة في ليزر الحالة الغازية مثل ليزر ثاني اكسيد الكاربون وليزر هليوم- نيون وكذلك يستخدم في ليزر اشباة الموصلات كليزر زرنيخات الكاليوم.ان عملية الاثارة في ليزر الغاز تتم عن طريق التفريغ الكهربائي. في حين تتم في ليزر اشباة الموصلات عن طريق استخدام فرق جهد كهربائي يعمل على حقن الناقلات المشحونة او حاملات الشحنة (اوحاملات التيار (current carriers) الى منطقة الملتقى (P-N junction).

3- الضـــخ الكيمـــيائي

أن الطاقة الناتجة من التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال المطلوب يعطي طاقة متحررة من التفاعل تعمل هذة الطاقة على اثارة المادة الفعالة او الوسط الفعال وتحقق التاهيل العكسي لها لتوليد اللزر. ومن الامثلة عاى ذلك مزيج من الهيدروجين H_2 والفلور F_2 يعطي طاقة تسبب حث هذه الجزئيات على بعث الإشعات الليزري، وكذلك خليط فلوريد الديتريوم DF، وثاني أوكسيد الكربون كمثال على ذلك الليزرات الكيميائية.

4- الضـــخ الحـــراري

أن الطاقة الحرارية، تسببها حث واثارة المواد لانبعاث اشعة الليزر يمكن ان يتم بواسطة الطاقة الحرارة التي تسبب تغيير في الضغط الحركي ودرجات الحرارة لتلك المواد.

أسئـــلة الفصـــل الثـــاني

1- عرف الليزر وأذكر مكوناتة ؟

2- تكلم باختصار عن خصائص الليزر ؟

3- تكلم باختصار عن التغذية الضوئية العكسية ؟

4- برهن إن الحصيلة الربحية تساوي

$$\gamma_o(v) \geq \frac{1}{2l}\ln\frac{1}{R_1R_2}$$

5- جد مقدار الخسارة في جهاز ليزر علماً أن طول المرنان هو 25 cm وانعكاسية مرآتية 98% ؟

6- اثبت إن المدى الترددي لليزر يعطى بالعلاقة التالية

$$\nu_1 - \nu_2 = \Delta\nu\sqrt{(N-1)}$$

7- برهن إن القيمة الحرجة للتأهيل العكسي هي

$$\Delta N_{th} = \frac{8\pi\gamma_{th}(v)\tau_{21}\Delta\upsilon}{\lambda^2}$$

8- تكلم عن الليزر ذو الثلاثة مستويات مع رسم المخطط؟

9- تكلم عن الليزر ذو الأربعة مستويات موضح مخططة؟

10- قارن بين الليزر ذو الأربعة و الليزر ذو الثلاثة؟

11- تكلم باختصار عن طرق الليزر ؟

12- ليزر هليوم – نيون يعمل عند شرط العتبة. معمل انكسار مرأتية 0.98 و 0.98 طول تجويف الليزر 40 سم وحصيلة الوسط الفعال لة هي 1.06. احسب معامل الخسارة او الفقد

13- جهاز ليزر طول تجويفة 30 cm و وسطة الفعال يعطي كسب 1.05ومعامل انكسار مرأتية هو 0.99 و 0.95 و معامل الفقد يساوي $1.34 \times 10^{-4-}$.احسب الكسب أو الحصيلة لدورة واحدة

14- احسب الكسب المتوسط الفعال لجهز ليزر معاملات انعكاس مرأتية 0.95 و 0.95 وكل الخسائر في رحلة ذهاب واياب هي 0.5 %.

15- جهاز ليزر He-Ne طول الحيز البصري فية يساوي 40 cm وعرض حزمة الليزر المنبعثة 1.6 GHZ العدد المقرب للانماط الطولية

16- أوجد مقدار الخسارة في جهاز ليزر إذا كان طول المرنان فية هو25 cm وانعكاسية مر آتية 98% و98%؟

17- جهاز ليزر طول تجويفة 30 cm و وسطة الفعال يعطي كسب 1.06 ومعامل انكسار مرأتية هو 0.99 و 0.98 و معامل الفقد يساوي $1.3 \times 10^{-4-}$.احسب عامل الخسارة أو الفقد 2- الكسب أو الحصيلة لدورة واحدة 3- معامل الحصيلة

18- ليزر هليوم – نيون يعمل عند شرط العتبة. معمل انكسار مرأتية 0.999 و 0.999 طول تجويف الليزر 50 سم وحصيلة الوسط الفعال لة هي 1.02. احسب عامل الخسارة أو الفقد The loss factor kو معامل الخسارة او الفقد The loss coefficient α

19- اختار العبارة الصحيحة لكل من العبارات الاتية:

1. في حالة الاتزان الحراري تكون معظم الذرات في المستويات .

أ- العليا للعليا للطاقة.

ب- الواطئة للطاقة.

ج- عدد الذرات في المستوى الارضي اقل من عدد الذرات في المستوى الاعلى للطاقة.

د. عدد الذرات في مستوى التهيج اكثر من عدد الذرات في المستوى الارضي.

2. طيف ذرة الهيدروجين هو طيف:

أ- مستمراً

ب- امتصاص خطياً

ج- خطياً

د- حزمياً

3. مقدار الزيادة في الطول الموجي لفوتونات الاشعة الاسينية المتستطارة بواسطة الالكترونات الحرة تعتمد على:-

أ- طول موجة الفوتون الساقط

ب- كتلة الالكترون.

ج- زاوية الاسطالة.

د- نوع الفوتون.

4. تكون قدرة الضخ الكهربائي عندما يكون الوسط الفعال في الحالة:-

أ- الصلبة.

ب-الغازية.

ج- السائلة.

د- اي وسط اخر.

5. يحدث الفعل الليزري عند حدوث انبعاث:-

أ- تلقائي محفز.

ب- محفز وتلقائي.

ج- تلقائي فقط.

د- محفز فقط.

6. تعتمد عملية قياس المدى باستعمال اشعة الليزر على اخذ خواصه وهي:-

أ- التشاكه.

ب- الاستقطاب.

ج- احادية الطول الموجي.

د- التجاهية.

7. تكون قدرة الضخ عالية عندما تعمل منظومة الليزر بنظام:-

أ- ثلاث مستويات.

ب- مستويين.

ج- اربعة مستويات.

د- اي عدد من المستويات.

الفصـــــل الثالث

المرنان البصـــريOptical Resontar

1-3 المقدمة Introduction:

المرنان **Resonator** تجويف رنيني جدرانه الداخلية عاكسه. ويشكل مصدر التغذية العكسية في اجهزة الليزر. ويحتوي على وسط متجانس عازل وغير فعال. تصميم اساسي لدعم التكبير الذي يحدث في الوسط الفعال نتيجة الانبعاث الاحتثاثي او المحفز .كذلك ويعمل على توجيهة والمحافضة على صيغة احادية الموجة المنبعثة، أبعاده تعتمد على الطول الموجي لشعاع الليزر الناتج، طول المسار البصري مساوياً لأعداد صحيحة من أنصاف الطول الموجي كي يحدث التداخل البناء والحصول على حزمه من ليزرية متوازية. ان المرنان يعمل كمتذبذب رنيني مولداً الموجات الواقفة. ونظرا لقصر طول موجة الليزر تكون المسافة بين اية صيغتين للتذبذب صغيرة جدا وهذا يعني تواجد عدد كبير من صيغ التذبذب ضمن المنحني الذي يمثل الخط الطيفي لانبعاث الليزر كما موضح في الشكل (3-1)

2-3 تصميم المرنان:

تختلف تصاميم المرنان البصري وفق لاطوال امواج الليزر المطلوب وفيما يلي بعض الانواع الشائعة الاستعمال وهي:-

1- المرنان ذو المرآتين المستويتين (مرنان قيري-بروت)

يتكون هذا المرنان من مرآتين مستويتين متقابلتين توازي احداهما الاخرى. للحصول على صيغ التذبذب بواسطته عن طريق الجمع بين موجتين مستويتين تنتقلان باتجاهين متعاكسين يطابق محور المرنان. والشكل رقم (3-1) يمثل المرنان ذو المرأتين المستويتين، وللحصول على نوع التذبذب المطلوب يجب ان يكون طول المرنان مساوي لعدد صحيح من انصاف الطول الموجي وفق المعادلة الاتية

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

حيث ان L طول المرنان

λ = الطول الموجي

n = عدد صحيح

ولتحقيق الشرط اعلاه وضمان صفريه شدة المجال الكهربائي عند المركز بموجب العلاقة الاتية:

$$v = n\frac{c}{2L}$$

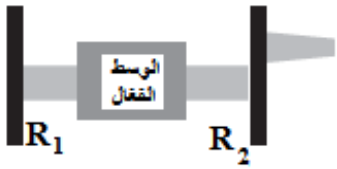
حيث ان:

v = التردد

L = البعد بين المرأتين

n = عدد صحيح

c = طول الموجه

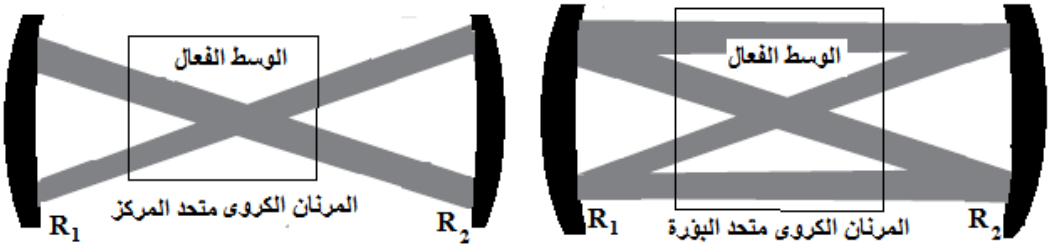


شكل رقم (3-1) تمثل المرنان ذو المرأتين المستويتين

2- المرنان الكروي

يتالف هذا المرنان من مرآتين مقعرتين متقابلتين توازي احداهما الاخرى ,وسبب هذا التصميم هو للتغلب على خسارة حيود الاشعة في المرنان ذو المرآتين المستويتين.يصمم المرنان الكروي بطرق مختلفة منها توضع المرآتين الكرويتين المقعرتين المتساويتين في التكور بحيث ينطبق مركز تكورالاولى على الثانية أي ان المسافة بينهما تساوي قطر احداهما ويسمى هذا المرنان بالمرنان

الكروي المتحد المركز.اما اذا كانت المسافة التي تفصل بين المرآتين هي نصف قطر احداهما فيسمى عندئذ بالمرنان الكروي المتحد البؤرة. كما في الشكل رقم (3-2) حيث يمثل المرنان الكروي



(أ) (ب)

شكل رقم (3-2) أ. تمثل المنرنان الكروي متحد المركز

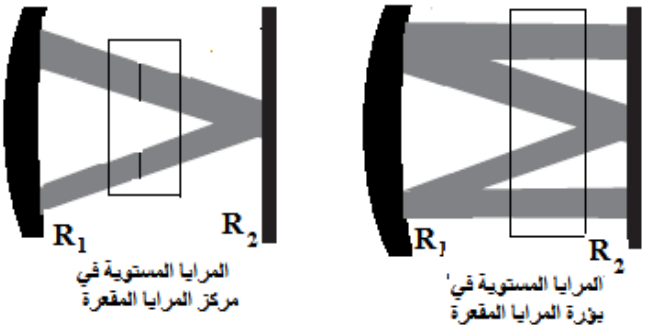
ب. تمثل المرنان الكروي متحد البؤرة

3- المرنان الكروي – المستوى

يتكون المرنان الكروي-المستوي من مرآة كروية مقعرة واخرى مستوية ونوعه يعتمد على وضع المرأه:

أ- اذا وضعت المرآة المستوية في مركز تكور المرآة المقعرة فيسمى مرنانا نصف كرويا ,

ب- اذا وضعت المرآة المستوية في بؤرة المرآة المقعرة فيسمى المرنان بالمرنان النصف بؤري. والشكل (3-3) أ،ب تمثل المرنان الكروي المستوي



الشكل (3-3) أ. تمثل المرنان النصف بؤري

ب. تمثل المرنان النصف كروي

3-3 أنماط الليزر Laser Modes

للحصول على الليزر نستخدم التغذية العكسية بواسطة المرايا وذلك لتكبير الاشعاع الضوئي خلال مروره بالوسط المشع لليزر، لهذه المرايا دور في التأثير على الاشعاع الكهرومغناطيسي داخل المكبر حيث ينتج نوعين من الصيغ تعرف بالصيغ الانماط الطولية longitudinal modes والمستعرضة transverse modes اي كيفية توزيع شدة المجال الكهرومغناطيسي في داخل وخارج المرنان.

اذا كانت كل من مرآتي المرنان مربعة الشكل وطول ضلع كل منهما يساوي (2a) و لنفرض المسافة بينهما تساوي L فان ترددات الرنين لمثل هذا التجويف تعطى بالعلاقة التالية:-

$$V= C/2 \{n/L +(l^2+m^2)L/(8na^2)\} \ldots 1-3$$

حيث ان n , l , m اعداد صحيحة

n, l , m بهذا يكون لصيغة تذبذب محددة للتجويف المفتوح اعلاة تردد رنيني محدد يعطي مجموعة من القيم التي تحددها الاعداد.

كذلك نلاحظ من المعادلة (3-1) بان فرق التردد بين صيغتين للتذبذب لهما نفس القيم للمقدارين لكنهما يختلفان بمقدار واحد للعدد يمكن التعبير عنة وفق العلاقة التالية:-

$$\Delta V= \frac{C}{2L} \quad \ldots 2-3$$

او (n) المقدار او(l) و غالبا ما يطلق على هذة الصيغ الطوللية للتذبذب. اما اذا اختلفت صيغ التذبذب في المقدار فتدعى مثل هذة الصيغ بالصيغ المستعرضة ويكون الفرق بين تردد صيغتين (m)بكليهما وكان لها نفس القيم للمقدار

متعاقبتين تختلفان بالمقدار(1) بمقدار كما في العلاقة التالية :-

$$\Delta V= \frac{C L}{8na^2} \left(m+\frac{1}{2} \right) \quad \ldots 3-3$$

3-3-1 الانماط الطولية Longitudinal modes (Axial Modes)

عندما يكون توزيعات المجال الكهرومغناطيسي امتداد المحوري البصري للمرنان. ان بعض العمليات تحتاج الى اشعة ليزر ذات نمط طولي مثل سطوع الجسم (Hololgraphy) توجد عدة انماط طولية لشعاع الليزر الخارج ويمكن الحصول عليه من حجرة المرنان عند جعل Δv تساوي $(c/2L)$ حيث Δv تمثل منحني الكسب الذي تجده الترددات ذات كسب مناسب لبدء الانبعاث المحفز والشكل رقم (3-7) يمثل توزيع الانماط الطولية

إن السبب في تكون هذه الانماط يعود إلى تكون أمواج واقفة (standing wave) بين المرآتين. وكما نعلم أن الأمواج الواقفة اوالموقوفة تتكون نتيجة لتداخل موجتين لهما نفس التردد وتنتشران في اتجاهين متعاكسين في المسافة بين المرآتين. تتكون هذة الانماط داخل الحيز الضوئي لليزر (optical cavity). وكمثال على الأمواج الواقفة أمواج الوتر الموسيقي في الجيتار والشكل رقم (3-4)

3-4 الامواج الواقفة في اليزر Standing waves in a laser

الحيز او التجــويف البصري an optical cavity

يكبر بواسطة المرأتين وهذة المرآتين تعمل على:-

1- تزيد من طول الوسط الفعال لانها تجعل الشعاع الضوئي ينعكس فيمر بالوسط الفعال عدة مرات.

2- تحدد الشروط الحدية للمجالات الكهرومغناطيسية داخل التجويف البصري.

المحور الذي يربط بين مركزي المرآتين يسمى بالمحور البصري الذي يخرج باتجاهة شعاع الليزرمن خلال المرآة العاكسة جزئيا. عندما تخرج الاشعة الكهرومغناطيسية من الوسط الفعال باتجاة المرآة الاولى فانها تنعكس بالاتجاة الاخر مارة بالوسط الفعال الى المرآة الثانية فتنعكس مرة اخرى، الموجتين الساقطة و المنعكسة تمتلكان نفس السعة و التردد و تتحركان باتجاهين متعاكسين فعند تداخلهما يكونان ما يسمى بالموجة الواقفة.

3-4-1 شروط الامــواج الواقفة Conditions for Standing Waves

الامواج الواقفة يجب ان تخضع للعلاقة الاتيه:-

$$2L/= q\,\lambda_q \ldots\ldots\ldots \quad 3\text{-}4$$

حيث λ_q تمثل الطول الموجي للنمط (Wavelength of mode m inside the laser cavity)

L هو طول التجويف البصري (Length of the optical cavity)

q هي عدد الانماط او الصيغ (Number of the mode)

يكون كبيرا جدا في اغلب اجهزة الليزر، وكمثال على ذلك عندما يكون الطول الموجي يساوي 500 ان عدد الانماط (q) نانومتر والمسافة بين المرآتين 25 سنتمتر تكون عدد الانماط تساوي 1000000

مثال (example) (رقم 1)

جهاز ليزر طول تجويفة البصري يساوي 25 cm. احسب

أ. التردد

ب. الطول الموجي للانماط التالية :

1) q =1, **2)** q = 10, **3)** q = 100, **4)** $q = 10^6$

ج. الفسحة بين نمطين متتاليين

لذا q اذا كان النمط الاول هو $L = q\,\lambda_q / 2$

فان: q+1 وان النمط الثاني هو $L = (q+1)\,\lambda_{q+1} / 2$

$$\nu_q = \frac{C}{\lambda_q} = q\frac{C}{2L}$$

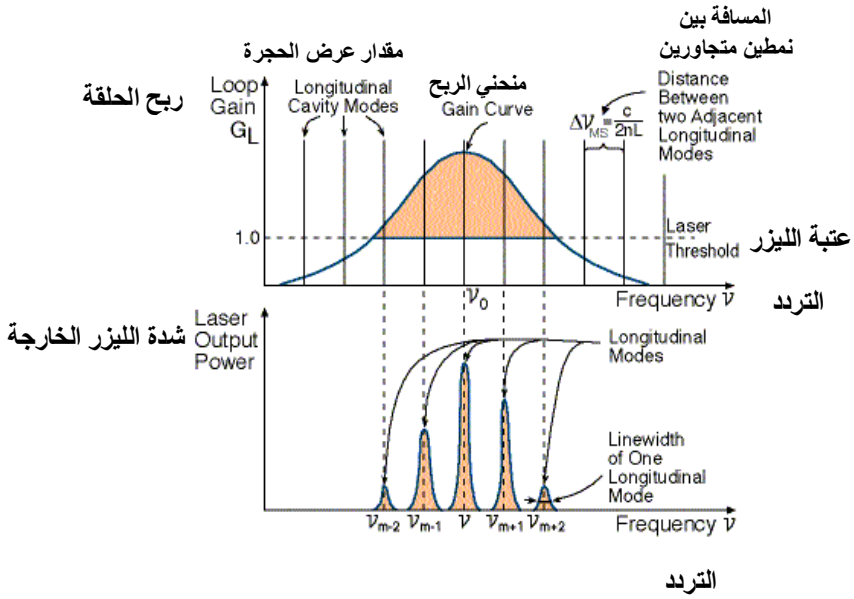
$$\nu_{q+1} = \frac{C}{\lambda_{q+1}} = (q+1)\frac{C}{2L}$$

$$\nu_{q+1} - \nu_q = \frac{C}{2L}(q+1-q) = \frac{C}{2L}$$

Solution الحل

$\nu_q = q\frac{C}{2L}$	$\lambda_q = \frac{2L}{q}$	1
$\nu_1 = 6*10^8$ [Hz] Radio Wave موجة الراديو	$\lambda_1 = 2\cdot\frac{0.25}{1} = 0.5$	2
$\nu_2 = 6*10^9$ [Hz] Short Wave Communication موجات الاتصال القصيرة	$\lambda_{10} = 2\cdot\frac{0.25}{10} = 0.05$	3
$\nu_3 = 6*10^{10}$ [Hz] Microwaves موجات المايكرو	$\lambda_{100} = 2\cdot\frac{0.25}{100} = 5\cdot10^{-3}$	4
$\nu_4 = 6*10^{14}$ [Hz] Green Color اللون الاخضر	$\lambda_{10^6} = 2\cdot\frac{0.25}{10^{-7}} = 0.5\cdot10^{-6}$	5

من المعادلة $\nu_q = q\frac{C}{2L}$ ان الفسحة بين ترددين (نمطين) متجاورين لا تعتمد على عدد الانماط $(\frac{C}{2L})$ وانما تعتمد على المساحة بين المرآتين عندما L تساوي25cm فان الفسحة بين ترددين متتاليين تساوي $6x10^8\ sec^{-1}$



الشكل (3–4) يمثل النمط الطولي

مــلاحــظات

1– تزداد عدد الأنماط تحت منحنى الحصيلة كلما زاد طول مكبر الليزر L وذلك لأن الفاصل بين الأنماط يقل بزيادةL ومن الواضح ان الليزر ذات الصيغة الواحدة او النمط الواحد ممكن الحصول علية بتقليص طول حيز المرنان، أي وجود موجة طولية واحدة فقط في منحني الحصيلة عندما $G_L>1$.

2– عدد الأنماط التي يمكن أن تنتج ليزر تلك التي يتحقق عندها شرط الحصيلة أكبر من او يساوي الخسارة كما هو واضح في المنطقة الملونة في الشكل أعلاه.

3– للحصول على عدد الأنماط التي يمكن أن تكبر تحت منحنى الحصيلة نقسم Laser bandwidth على المسافة بين نمطين C/2L.

مثــال (رقم 2) Example

جهاز ليزر He-Ne طول الحيز البصري فية يساوي 30 cm وطول موجة الليزر المنبعثة منة هي 0.6328 [μm] احسب :

أ- فرق التردد بين نمطين طوليين متتاليين difference in frequency between adjacent longitudinal modes

ب- عدد الانمط الطولية المنبعثة من هذا الطول الموجي number of the emitted longitudinal mode

ج- تردد الليزر.

الحـــل Solution

(أ)

$$\mathbf{(\Delta\nu) = C/ (2L)} = 3*10^8 \text{ [m/s]}/(2*0.3 \text{ [m]}) = 0.5*10^9 \text{ [Hz]} = 0.5 \text{ [GHz]}$$

(ب)

$$\mathbf{\lambda_q = 2L/ q}$$

$$\mathbf{q = 2L/ \lambda_q} = 2*0.3 \text{ [m]}/0.6328*10^{-6} \text{ [m]} = 0.948*10^6$$

(ج)

A) By multiplying the mode number from section 2 by the basic mode frequency:

$\nu = q*(\Delta\nu) = (0.948*10^6)\ (0.5*10^9 \text{ [Hz]}) = 4.74*10^{14} \text{ [Hz]}$

B) By direct calculation السرعة بالتطبيق المباشر لقانون

$\nu = c/\lambda = 3*10^8 \text{ [m/s]}/0.6328*10^{-6} \text{ [m]} = 4.74*10^{14} \text{ [Hz]}$

مثـــال (رقم 3) Example

جهاز ليزر He-Ne طول الحيز البصري فية يساوي 55 cm وعرض حزمة الليزر المنبعثة 1.5 [GHZ] العدد المقرب للانماط الطولية :

الحـــل Solution

Distance between adjacent longitudinal modes

هي: المسافة الترددية بين الانماط الطولية المتجاورة

$$\mathbf{\Delta\nu = c/(2L) = 3*10^8 \text{ [m/s]}/(2*0.55 \text{ [m]}) = 2.73*10^8 \text{ [m/s]} = 0.273 \text{ [GHz]}}$$

The approximate number of longitudinal laser modes

هو: العدد التقريبي لانماط الليزر الطولية

N =Laser bandwidth /Δ ν = 1.5 [GHz]/0.273 [GHz] = 5.5 ≈ 5

ان اهمية الانماط البصرية الطولية تكمن في تأثيرها على خراج الليزر مما يودي الى تحديد التطبيقات الخاصة لليزر ومن هذة التطبيقات هي :

1- ليس هناك اهمية كبيرة للانماط الطولية عند استخدامها في التطبيقات ذات الطاقة العالية للمعالجة او الجراحة الطبية

2- تعتبر الانماط البصرية الطولية مهمة جدا في التطبيقات الاشعاع الكهرومغناطيسي مثل التصوير الهولوجرافي

3- الانماط البصرية الطولية مهمة جدا في التطبيقات التصوير الكيميائي الذي يحتاج الى اطوال موجية خاصة جدا

4- الانماط البصرية الطولية مهمة جدا في التطبيقات التي تحتاج الى النبضات القصيرة ذات الطاقة العالية

الانماط المستعرضة (Modes Transvers)

الانماط عبارة عن توزيعات المجال المغناطيسي داخل حجرة المرنان اما بشكل عمودي على المحور البصري للمرنان (المستعرضة) او على امتداده وهي الطولية. ان تشوء الموجات داخل المرنان يتطلب طول حجرة الزئبق تساوي عدد صحيح من انصاف الاطوال الموجية للشعاع الخارج وفق العلاقة الاتية:

$$L = n\frac{\lambda}{2} \dots\dots 1$$

حيث ان L = الطول البصري للحجرة

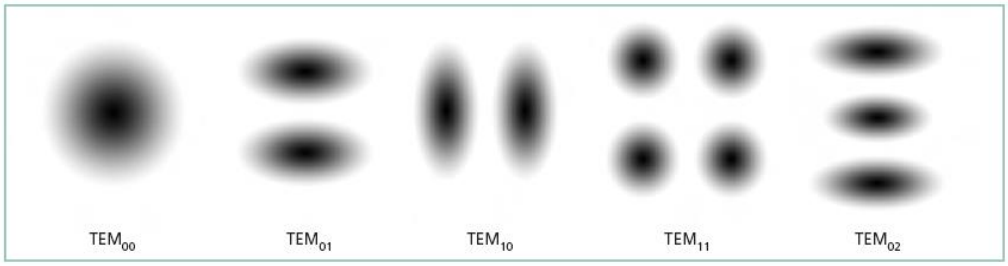
λ = الطول الموجي

n = عدد صحيح

عندما تكون $\lambda = \frac{c}{2}$ ..... 2 **علماً ان c = سرعة الضوء الخارج، v = تردد الشعاع حيث سرعة وبالتعويض**

عند دراسة توزيع شدة اشعة الليزر على مساحة مقطع عمودياً على المحور الضوئي لليزر (Optical axis laser) تأخذ أشكال مختلفة وتعتمد على دقة موقع المرايا. وأي تغير طفيف يؤدي إلى تغيير هذه الاشكال التي تعرف بالأنماط المستعرضة (Transversal Mode)، كما في الشكل (3-4).

عند تسليط شعاع ليزر على شاشة بيضاء بعد تكبيره بواسطة عدسة مفرقة يمكن فحص الانماط المستعرضة لشعاع الليزر. والشكل (3-5) يوضح مجموعة من هذه الأشكال حيث يبين اللون الأسود اكبر شدة لليزر والمناطق البيضاء ينعدم فيها الليزر.



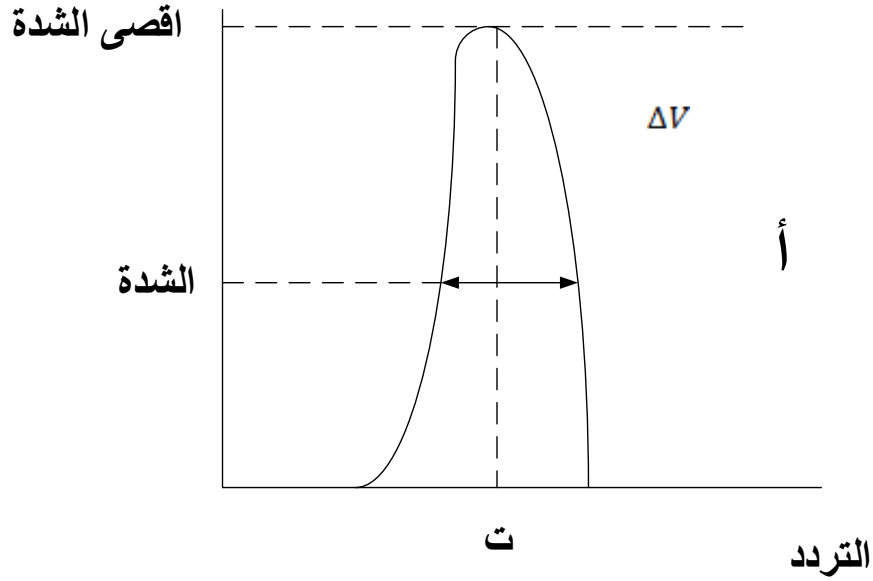
شكل (3-5) تمثل الانماط المستعرضة

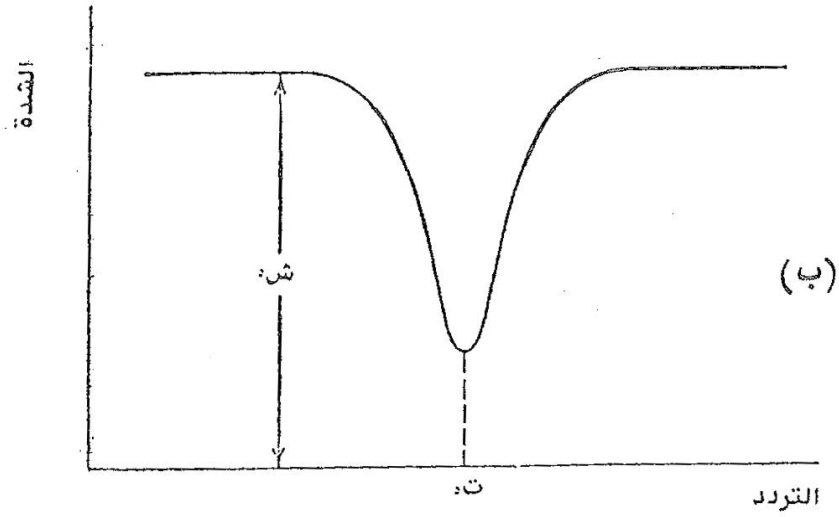
كل الصيغ او الانماط المستعرضة يرمز لها بالشكل (TEM_{mn}) , حيث m يمثل عدد النقاط ذات السطوع الصفري على طول المحور (x) و (n) يمثل عدد النقاط ذات السطوع الصفري على طول المحور y. ان عدد صيغ التذبذبات المستعرضة تعتمد على:

1- شكل المرأة
2- حجم المرأة
3- تصميم جهاز الليزر.

يمكن الحصول على صيغة مستعرضة واحدة بادخال عوامل خسارة تعمل على اضمحلال الصيغ المستعرضة الاخرى وتوجيه الليزر المتعدد الصيغ للعمل بصيغة

مستعرضة واحدة معينة. في بعض انواع الليزر يوضع حاجز ذو فتحة دائرية يمكن التحكم بمقدارها لتعمل على المحور البصري للمرنان الغرض منها حجب جميع الصيغ المستعرضة عدا التي تكون فيها قيمة كل من n وm تساوي صفرا (TEM_{00}). وهذا ممكن لان هذة الصيغ لا تطابق تماما محور المرنان لذا تعاني من خسارة من قبل الحاجز فتضمحل قبل ان تاتي الخسارة على الصيغة (TEM_{00}) والمطابقة للمحور.





الشكل (3–6أ،ب) يمثل توزيع الانماط الطولية

اسئلة الفصل الثالث

1- حدد الاستقرارية للمرنان عندما يكون:

1- مرنان ذات مرآتين مستويتين متوازيتين (فابري-بيرو)

2- مرنان كروي فيه (r2=20 cm) (r1=5 cm) (L=10 cm)

3- مرنان كروي متحد البؤرة

الجواب: ان استقرارية المرنان تخضع للمقادير R1,R2,L والشرط هو: $0<g_1g_2<1$

1- مرنان ذات مرآتين مستويتين متوازيتين (فابري-بيرو)

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 1 - \frac{L}{\infty} = 1$$

$$g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1 - \frac{L}{\infty} = 1$$

$g_1g_2 = 1$ المرنان مستقر (على حدود منطقة الأستقرار)

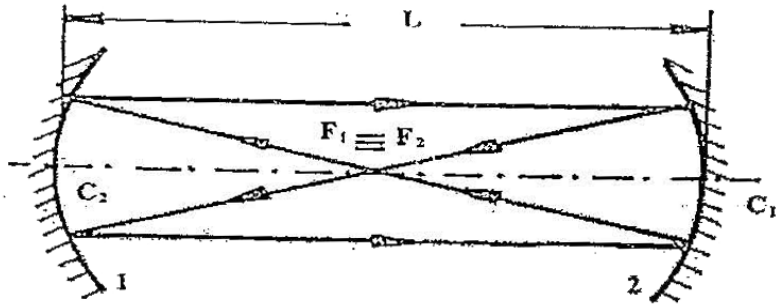
2- مرنان كروي فيه (r2=20 cm) (r1=5 cm) (L=10 cm)

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 1 - \frac{10}{5} = -1$$

$$g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1 - \frac{10}{20} = 0.5$$

$g_1g_2 = -0.5$ المرنان غير مستقر

3- مرنان كروي متحد البؤرة



$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 1 - \frac{L}{L} = o$$

$$g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1 - \frac{L}{L} = o$$

$g_1 g_2 = 0$ المرنان مستقر (على حدود منطقة الأستقرار)

2- برهن ان الفاصلة الترددية بين اي صيغتين طولية تكون مساوية لمرنان فابري بيرو يدعم صيغة التذبذب المستعرضة

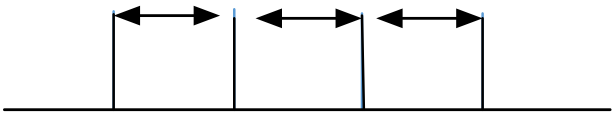
$$v = \frac{c}{2}\left[\left(\frac{n}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2\right]^{1/2}$$

بمقارنة TEM_{ml} مع TEM_{00} نجد m=0 ، l=0

$$v_n = \frac{c}{2}\left[\left(\frac{n}{L}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = n\frac{c}{2L}$$

$$v_{n+1} = (n+1)\frac{c}{2L}$$

$$v_{n+1} = (n-1)\frac{c}{2L}$$



س

$$v_{n+1} = n\frac{c}{2L} - (n-1)\frac{c}{2L} = \frac{c}{2L}(n-1+n) = \frac{c}{2L}$$

$$\Delta v_n = v_{n+1} - v_n = (n+1)\frac{c}{2L} - n\frac{c}{2L}$$
$$= \frac{c}{2L}(n+1-n) = \frac{c}{2L}$$

وهذا يعني ان الفاصلة الترددية بين اي صيغتين طولية متتاليتين هو م؟؟؟ ثابت $\frac{c}{2L}$

3- احسب عدد الصيغ الطولية ضمن خط الانبعاث الليزري لمرنان فابري-بيرو طوله 1m ومعامل النوعية هو 1×10^6 يدعم صيغة التذبذب المستعرضة TEM_{00} علماً ان طول موجة الليزر $1.06\mu m$ ومعامل انسكار الوسط الفعال 1.5.

$$Q = \frac{v}{\Delta v}$$

$$\Delta v = \frac{c}{Q\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^6 \times 1.06 \times 10^{-6}} = 2.8 \times 10^8 Hz$$

$$\Delta v_n = \frac{c}{2L} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1 \times 1.5} = 10^8\ Hz$$

$$N = \frac{\Delta v}{\Delta v_n} = \frac{2.8 \times 10^8}{10^8} \approx 3\ mods$$

4- ليزر co_2 $10.6\ m\mu$ وانبعاثه يكون بحزمة كاوسية قطرها 2mm عند مرآه الخروج الليزري علما ان طول المرنان الكروي 10cm احسب زاوية الانفراج وقدر حزمته عند مركز المرنان وعند المرآتين؟

$$\emptyset = K\frac{\lambda}{D} = 0.64\frac{10.6*10^{-6}}{2*10^{-3}} = 3 * 10^{-3} radian$$

$$w_0 = \{\frac{l\lambda}{2\pi}\}^{1}/_{2} = \{\frac{10 * 10^{-2} * 10.6 * 10^{-6}}{2 * 3.14}\}^{1}/_{2}$$
$$= 4.11 * 10^{-4} m$$

$$w_0 = \{\frac{l\lambda}{2\pi}\}^{1}/_{2} = \{\frac{10 * 10^{-2} 10.6 * 10^{-6}}{3.14}\}^{1}/_{2}$$
$$= 5.81 * 10^{-4} \text{m}$$

5 -برهن ان مسافة التشاكه لانبعاث الليزر هي $d= \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$ وجد قيمتها اذا كان تعريض خط الانبعاث هو 450 MHz؟

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = c\lambda^{-1}$$

$d\nu = -c\lambda^{-2}d\lambda$ الاشارة السالبة تدل على التناسب العكسي

$$\Delta\nu = \frac{c}{\lambda^2}\Delta\lambda$$

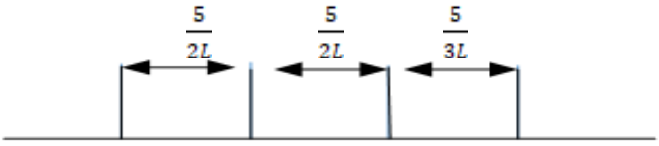
$$d = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$d = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{3 * 10^8}{450 * 10^6} = 0.6m$$

6 -مرنان بصري طوله 0.1m ومعامل انكسار الوسط يساوي 1.5 احسب الفاضلة الترددية واحسب عدد الصيغ المحورية في المرنان اذا كان اتساع الخط الطيفي 3GHz (ارسم شكلا توضيحيا).

$$\text{Hz } \Delta\nu_n = \frac{c}{2l} = \frac{3*10^8}{2(0.1)} = 1.5 * 10^9$$

$$\text{N} = \frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_n} = \frac{3*10^9}{1.5*10^9} = 2mode$$



$(n+1)\frac{c}{2L}$ $n\frac{c}{2l}$ $(n+1)\frac{c}{2L}$ $(n+2)\frac{c}{2L}$

7 -مرنان متحد البؤرة طوله 1m استخدم في ليزر هيليوم–نيون. احسب حجم البقعة في مركز المرنان وعند مرآتيه علما ان طول موجة الليزر تساوي 632.8nm ؟

$$\omega_0 = \{\frac{l\lambda}{2\pi}\}^{1/2} = \{\frac{1 * 632.8 * 10^{-9}}{2 * 3.14}\}^{1/2} = 3.17 * 10^{-4}m$$

$$\omega = \{\frac{l\lambda}{\pi}\}^{1/2} = \{\frac{1 * 632.8 * 10^{-9}}{3.14}\}^{1/2} = 4.4 * 10^{-4}m$$

8- عرف المرنان وعدد انواعه، وما هي اهميته؟

9- ماذا تعني الموجة الواقفة، وما هي شروط الحصول عليها، احسب طول مرنان ليزر ثاني اوكسيد الكاربون عندما يعمل نمط منفرد، النمط 1000^6 النمط 10^6

10- ماهو الاختلاف بين مرنان الليزر ومرنان الميزر

11- ماهو سبب استخدام مرنان مفتوح في مدى الاشعة المرئية

12- ما المقصود باستقرارية المرنان، وهل ان المرنان متحد البؤره مستقر، اثبت ذلك

13- اشرح صيغ التذبذب الطولية والمستعرضة في نتاج الليزر

14- قارن بين الانماط الطولية والانماط المستعرضة لصيغ التذبذب

15- ما المقصود بالمرنان وهل ان المرنان نصف الكروي مستقر، برهن ذلك

16- ماهي النقاط التي تعتمد عليها صيغ التذبذب الطولية والمستعرضة

17- ما المقصود بعامل النوعية للمرنان، اذكر العلاقة الرياضية بين عامل النوعية للمرنان وعرض الخط الطيفي

18- تكمن اهمية الرنان في اجهزة الليزر في

أ- عمل التكبير والتغذية العكسية.

ب- منحة خاصية الاتجاهية.

ج- انشاء صيغ التذبذب الطولية والمستعرضة.

د- جميع ما ذكر صحيح.

19- ان طول المرنان يجب ان يحقق الشروط :

أ- $L = 2\frac{\lambda}{n}$

ب- $L = n\frac{\lambda}{2}$

ج- $n = 2\frac{L}{\lambda}$

د- $= 2\frac{\lambda}{n}\lambda$

20- اذا كان طول مرنان ليزر ما (25cm) يكون طول موجة النمط (40) هو:

أ- 5

ب- 0.5
ج- 0.05
د- 0.005

21- اذا كان طول مرنان ليزر ما (25cm) فأن تردد النمط (400) هو

أ- $6*10^{8}$ Hz
ب- $6*10^{9}$ Hz
ج- $6*10^{10}$ Hz
د- $6*10^{14}$ Hz

22- المرنان الكروي متحد المركز (concentric) يكون :

أ- L= 2R
ب- L=R
ج- R=2L
د- جميعها خطأ

23- المرنان الكروي متحد البؤرة (con focal) يكون :

أ- L= 2R
ب- L=R
ج- R=2L
د- جميعها خطأ

24- نصف قطر بقعة الليزر عند مركز المرنان يعطى بالعلاقة

أ- $W_0 = \left(\frac{L\pi}{2\lambda}\right)^{1/2}$
ب- $W_0 = \left(\frac{2\pi}{L\lambda}\right)^{1/2}$
ج- $W_0 = \left(\frac{2\lambda}{L\pi}\right)^{1/2}$

د- $W_0 = (\frac{L\lambda}{2\pi})^{1/2}$

25- اذا كان طول مرنان هليوم- نيون ($\lambda = 632.8mm$) هو 25cm فأن نصف قطر بقعة الليزر عند منتصف المرنان (z=0) هو

أ- 0.22mm
ب- 0.158mm
ج- 0.52mm
د- 1.58mm

26- في مرنان متحد المركز (concentric) نصف قطر تكور مراياه R=1m فأن طول المرنان هو

أ- L=2m
ب- L=1m
ج- L=0.5m
د- L=4m

27- في مرنان متحد البؤرة (confocal) نصف قطر تكور مراياه R=1m فأن طول المرنان هو

أ- L=2m
ب- L=1m
ج- L=0.5m
د- L=3m

28- اذا كان طول ليزر هليوم – نيون ($\lambda = 632.8mm$) هو 25cm فأن المسافة الفاصلة بين نمطين متجاورين

أ- $6*10^8$ Hz
ب- $12*10^8$ Hz
ج- $9*10^8$ Hz
د- $5*10^8$ Hz

29- اذا كان مرنان ليزر يحقق الشرط (L=R) فأن المرنان من النوع

أ- متحد المركز

ب- متحد البؤرة

ج- شبه كروي

د- جميعها صحيحة

30- اذا كان المرنان ليزر ما يحقق الشرط (L=2R) فأن المرنان من النوع

أ- متحد المركز

ب- متحد البؤرة

ج- شبه كروي

د- جميعها خطأ

الفصـــل الرابع

تكنولوجيا الليـــزر (Lasir Technology)

4–1 المقدمة Introdution

تطرقت في الفصول السابقة لفكرة عمل الليزر والعوامل الأساسية للحصول على شعاع ليزر. وفي هذا الفصل يتم القاء الضوء على الطرق والأساليب المتبعة لتسخيراو تعديل شعاع الليزر للتطبيقات العملية. على سبيل المثال يستخدم الليزر لقطع المعادن واللحام وهذا يتطلب زيادة طاقة شعاع الليزر أو الحصول على شعاع ليزر يعمل بنمط محوري واحد لتطبيقات الدراسات الطيفية أو الاتصالات.

4–2–تعديل نتاج الليزر (Modifing the Laser):

من خلال المفاهيم الاتية يتم الحصول على نوع الليزر المطلوب

أ. اختيار خط طيف انبعاث الليزر (Selection of the laser emission Line)

ب. التشغيل بصيغة منفردة (Single-mode operation)

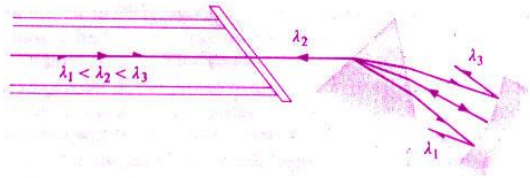
ج. احكام عامل النوعية (Q-Switching)

د. واقفال الصيغة (Mode Locking)

4-2-1 (اختيار) خط طيف انبعاث الليزر (Selection of the laser emission lines)

في الكثير من اجهزة الليزر تحدث انقلابات ليزرية عديدة. و باطوال موجية مختلفة في أن واحده وبالرغم من كون هذه الاطول الموجية مجتمعة تعطي نتائج ذات قدرة عالية. ولكن في الكثير من الاحيان نحتاج الى اشعة ليزر ذي درجة عالية من النقاوة الطيفية (اي صفة احادية الموجة). هذه الغاية يمكن تحقيقها ببساطة وذلك بأستخدام وحدة بصرية يعتمد عملها على طول الموجة توضع داخل مرنان بصري يعمل مثلا على تفريق الاشعة او امتصاصها حسب اطوالها الموجية، مثل هذه الوحدة البصرية، الموشور او المحزز او المرشح

اوالبلورة. او المرنان الشكل رقم (4-1) يبين فعل الوحدة البصرية (المرنان).



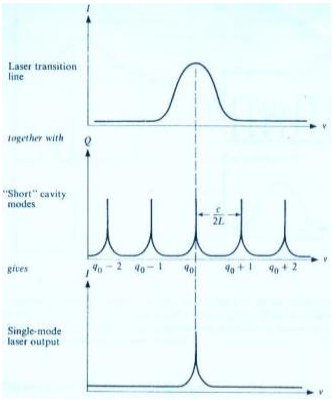
شكل رقم (4-1) يمثل الوحدة البصرية

والمرنان البصري يكون من مرآتان بينهما الوسط الفعال. نفرض أن انبعاث الليزر يشمل اطوال موجية و بلترتيب ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) والمطلوب الابقاء على الاشعة ذات الطول الموجي λ_2 دون غيرها. يتم سقوط هذه الاشعة بصور عمودية على مرأت المرنان بعد خروجها من الموشور و بهذا ترتد سالكة نفس المسار داخل المرنان اما الموجة القصيرة طولا λ_1 فتعاني انكسارا اكبر في الموشور، ولهذا لا تعود الى المرنان بعد انعكاسها من مرأته كذلك يحدث للموجة ذات الطول λ_3 فانها ستحيد عن مسارها بعد انعكاسها عن مرأت المرنان فتعاني خسارة كبيرة وبهذا تضمحل. بهذا الترتيب قد يعاني انتاج الليزر للموجة λ_2 بعض الخسارة نتيجة الانعكاس عن وجهي الموشور ولكن اذا قطع الموشور بحيث يكون سقوط الاشعة على وجهي بزاوية تساوي زاوية (بروستر) فيمكن بهذه الطريقة تجنب هذه الخسارة. وبنفس الطريقة هذه يمكن اجراء عملية الموالفة والحصول على ليزر با طوال الموجية المتوفرة في نطاق الانبعاث و ذلك لتدوير الموشور او المحزز او البلورة (او زاوية الاستقطاب وهي ظاهرة بصرية سميت بأسم مكتشفها).

4-2-2- التشغيل بصيغة منفردة Single-mode operation

يمكن استخدام الصيغ الطولية لتوفير امكانية التشغيل المستمر بصيغة مستعرضة منفردة. من خلال في اتساع الخط الطيفي نتيجة للعوامل متعددة ان الضوء أحادي اللون له اتساع محدود، والذي يضم تحت غلافه عدد من الصيغ الطولية التي تحدد مدى دقة مصطلح أحادي اللون (Monochromatic Light Source). و لتحقيق الغرض اعلاه من خلال تقلص عرض الخط الطيفي. للحصول اولا على ليزر يعمل بموجة مستعرضة واحدة مثلا

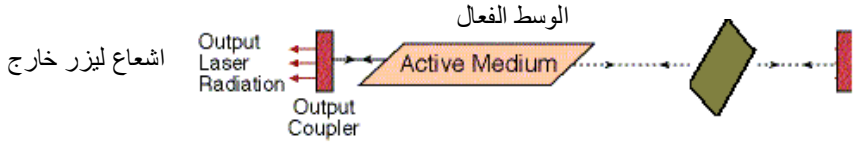
صيغة التذبذب (TEM_{00}) فيستخدم في مرنان الليزر حاجز ذو فتحة يعمل على حجب جميع الصيغ التذبذبية المستعرضة والابقاء على صيغة التذبذب المستعرضة الاوطء ترددا , وهي صيغة (TEM_{00}). ان تقليص عدد صيغ التذبذب الطولية و الابقاء على صيغة واحدة منها فقط فهذا يعني زيادة المسافة بين الأنماط المحورية المتجاورة (الفاصل الترددي بين صيغتين متتاليتين او متعاقبتين ($\Delta \nu$) إلى مسافة مساوية على الاقل لاتساع منحنى الحصيلة. وبهذا يكون النمط المحوري (q_0) هو النمط المتحقق عنده شرط الحصيلة (الربحية) أكبر من الخسارة بينما الأنماط الأخرى (q_{0-1}) أو (q_{0+1}) تقع خارج منحنى الحصيلة. المسافة بين نمطين محوريين متتاليتين تعطى بالعلاقة $\Delta \nu = C/2L$ وبهذا يعني انه كلما قل L طول المرنان (المكبر) كلما زادت المسافة بين النمطين المحوريين. فإذا ما صمم المرنان (المكبر) بطول يحقق الشرط $\Delta\nu \geq C/2L$ لهذه الطريقة اثر على تقليل مادة المكبر وبهذا يكون طاقة الليزر تستخدم في تطبيقات يكون ترددها اقرب الى تردد أحادي اللون، كما في الشكل (4-2).



شكل (4-2) يمثل تردد احادي اللون

وهناك فكرة اخرى للحصول على ليزر يعمل بصيغة طولية منفردة وصيغة مستعرضة منفردة وذلك بالاستعانة بمرنان فابري ــ بيرو والذي يمكن وضعه داخل او خارج مرنان الليزر كما في الشكل رقم (4-3). ان هذا التجويف الرنيني الاضافي والذي يتالف من قطعة خاصة من الزجاج تدعى الايتالون يكون وجهيها ناعمين وذو درجة عالية من التوازي يختلف

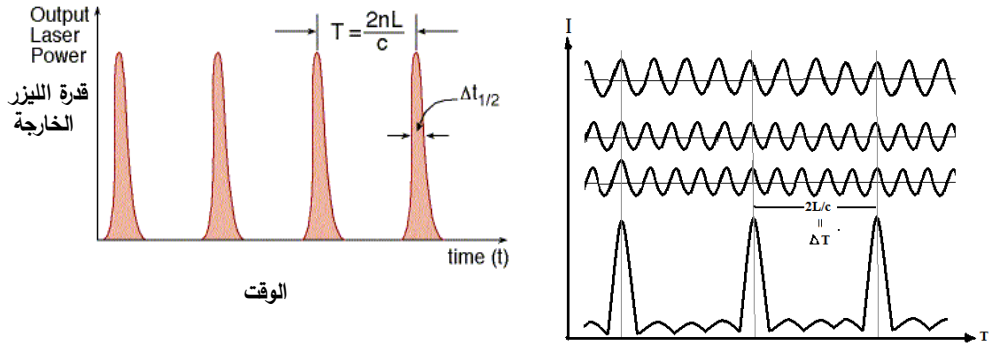
هذا التجويف الرنيني عن مرنان الليزر بان سطحي التجويف المتوازيين قد يكونا مطليين بكساء خفيف او غير مطليين لذا تكون قدرة الانعكاس لهما واطئة , وان طول هذا التجويف قصير جدا ولهذا تكون الفاصلة الترددية لاي صيغتين متعاقبتين داخل هذا التجويف كبيرجدا...



شكل (4–3) يمثل مرنان فايري–بير

4–2–3 اقفال الصيغـــة (Mode Locking)

بعض التطبيقات نحتاج فيها الى قدره نتاج الليزر وكيفيه اعتماد القدره على الزمن بدلاً من خصائص التردد للاشعه الليزريه المنبعثه بأن مرنان الليزر الذي يحوي على عدد من صيغ التذبذب ولهذا يكون مثل هذا الليزر كداله لزمن معتمداً على التردد النسبي لهذه الصيغ وكذالك على الطور وسعه التذبذب لكل منها. في لليزر العادي تكون جميع هذه الدلائل خاضعه لتغير مع الزمن ولهذا يكون نتاج الليزر معرض لتقلبات عشوائيه لذا وجب اسخدام تقنيه تعمل على اضطرار صيغ التذبذب للمحافظه على طور نسبي ثابت فيما بينها (اقفال في الطور). وبالحصول على بهذا الترتيب سيتميز نتاج الليزر بنوع من التكرار المنتظم، اي سيكون نتاج ذو شكل نبضي منتضم الفاصله بين نبضه واخرى وذات قدرة ذروة نبضة عاليه كما في الشكل رقم (4–4). نتاج ليزر بمثل هذا الترتيب يدعى ((ليزر الصيغه المقفله))، ولهذا النوع من النتاج اهميه في كثير من التطبيقات العملية.



شكل (4-4)

نستنتج مما سبق، للحصول على قدره عاليه ونبضات قصيره الامد يعتمد على

1- توفر عدد كبير من صيغ التذبذب داخل المرنان وهو كما راينا يعتمد على تعرض الخط الطيفي لانتقال الليزر على طول مرنان الليزر.

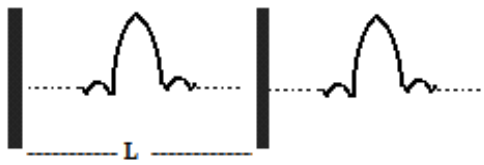
2- احتفاض صيغ التذبذب على العلاقات المحددة الثابتة بين الاطوار وهو يتحقق عن طريق اقفال الصيغه الفعال او عن طريق اقفال الصيغه المعترض.

طـرق اقـــفال الصيـغه Mode Locking Methods

أ- اقفال الصيغه الفعال

يتم اقفال الصيغه في مرنان الليزر باضطرار صيغ التذبذب الطوليه ان تتخذ من بعضها البعض طور نسبي ثابت مع الزمن. ويتحقق من خلال ضمان الخساره او الربح لمرنان الليزر بمقدار يساوي الفاصله الترديديه بين هذه الصيغ(اي C/2L). ولتوضيح تأثير ضمان الخساره للمقدار (C/2L) نفرض بأن الخساره في مرنان الليزر تحدث عن تأثير وجود بوابه توضع بجوار احدى مراتي المرنان تفتح البوابه لمده قصيره من الزمن وبتعاقب زمني لمده (2L/C) ثانيه وتبقى مسدودة ما تبقى من الوقت.ان الفترة الزمنية اعلاه ما هي الا الزمن الذي تستغرقه النبضه لرحله كامله داخل المرنان، كما في الشكل رقم (4-5)، وهي تمثل ايضا مقلوب الفاصله الترديديه بين صيغ التذبذب الطوليه، فأذا كانت هذه النبضه بعرض يعادل زمن فتح

البوابه وتصل اليها تماماً في الوقت الذي تفتح فيه هذه فأن النبضه سوف لا تتأثر بوجود البوابه. اما اذا وصلت مقدمه النبضه مثلاً والبوابه مسدودة فأنها ستحذف وكنتيجه نهائيه لهذا الضمان الدوري هو الحصول على نبضه مفرده تصطدم ذهاباً واياباً بمرأتي المرنان وفي كل مرة تصطدم فيها النبضه بمرأة المسرب للمرنان يندفع دفقاً من الاشعاع الى الخارج مشكلاً بهذا سلسله من نبضات متعاقبه , الفاصله الزمنيه بينها تساوي (2L/C) وعرض كل منها يساوي (2L/qC) تقريبا كما موضح في الشكل (4-5)



شكل (4-5) يمثل العلاقة بين الفاصلة الزمنية والعرض

ب- اقفـــال الصيغه المعترض (الامتصاص المشبع)

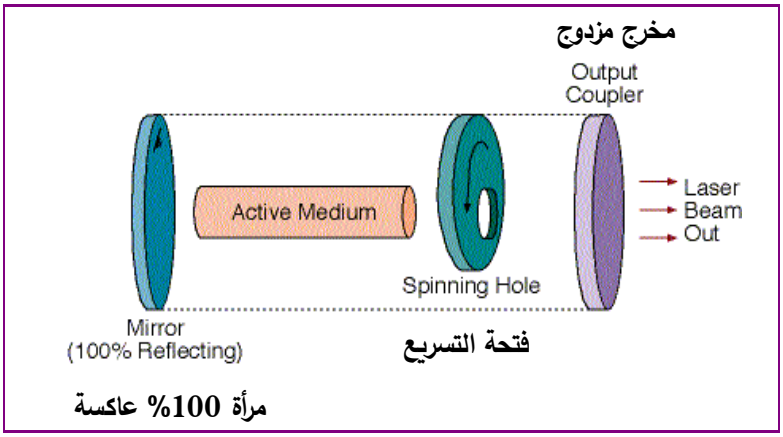
يمكن استخدام وسط ماص لانجاز عمليه اقفال صيغه التذبذب ,مثلاً اسخدام صبغه معينه حيث يقل الامتصاص لمحلول الصبغه بزياده شدة الضوء الساقط عليه كما هو مبين في الشكل رقم (4-6)، أن المواد التي تتبع هذا التصرف تدعى بالمواد الماصه القابله للتشبع. يتم انتخاب الصبغه بحيث يقع تردد انبعاث الليزر قيد الدرس ضمن نطاق امتصاصها. ففي بادىء الامر ولمستوى ضوء واطىء الشده تعمل الصيغه على امتصاص الضوء بحدة نظراً لكون عدد كبير من الجزيئات غير محرض ولكن كلما زادت شده الضوء فأن عددا اكثر فاكثر من مستويات الطاقه المحرضه سيتأهل الى ان تصبح جميعها مملوءة (او مشبعه) لذا فأن محلول الصبغه سيصبح شفافاً ويقول بأن الصبغه قد قصرت.

مخرج مزدوج

شكل (4–6) يمثل امتصاص المحلول

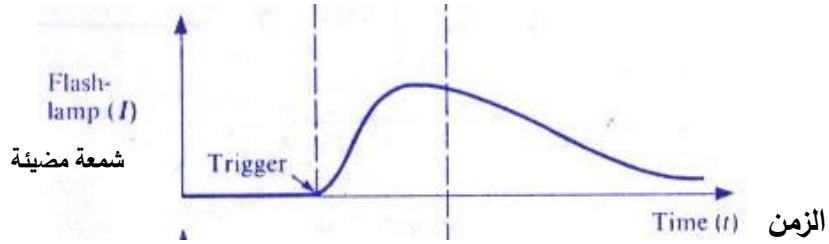
4–4 احكام عامل النوعية Q-Switching

تحتاج بعض التطبيقات إلى نبضات ليزية ذو قدرة عالية وقدرة النبضة تساوي القدرة مقسومة على زمن النبضة مثل التطبيقات الصناعية في اللحام، والقطع، ولزيادة طاقة الليزر نستخدم عدة طرق للحصول على مفتاح عامل النوعية (Q-Switching) حيث يتم التحكم في توقيت عملية الانبعاث الاستحثاثي عن طريق التحكم في مستوى الخسارة أن نبضة الليزر المنبعثة تحتوي على نتؤات (Spikes) وهذا يعود إلى توالي حدوث الانبعاث الاستحثاثي والضخ لقلب التعداد خلال عملية الإثارة بواسطة شمعة اضاءة (Flash lamp) والتي تستمر لفترة زمنية تصل إلى مايكروثانية (microseconds) فإذا ما تم إيقاف الانبعاث الاستحثاثي خلال فترة الضخ الضوئي لزيادة الحصيلة يمكن الحصول على نبضة ليزر في فترة زمنية تصل إلى (Nanoseconds). تعتمد فكرة احكام عامل القدرة Q-Switching على إيقاف مؤقت لليزر من خلال التحكم في مستوى الخسارة خلال عملية الضخ حتى يتم زيادة تعداد مستوى الليزر إلى اكبر قيمة ممكنة وهذا يعني زيادة الحصيلة إلى قيمة اكبر بكثير من القيمة الحرجة لعتبة الربحية (Threshold Gain). ثم نقوم بتقليل مستوى الخسارة إلى القيمة الأساسية وهذا سيؤدي إلى أن يكون الربح (Gain) أكبر بكثير من العتبة (Thershold) فتحدث عملية الانبعاث الاستحثاثي في فترة زمنية قصيرة تنتج عنه نبضة ليزر ذات طاقة عالية.

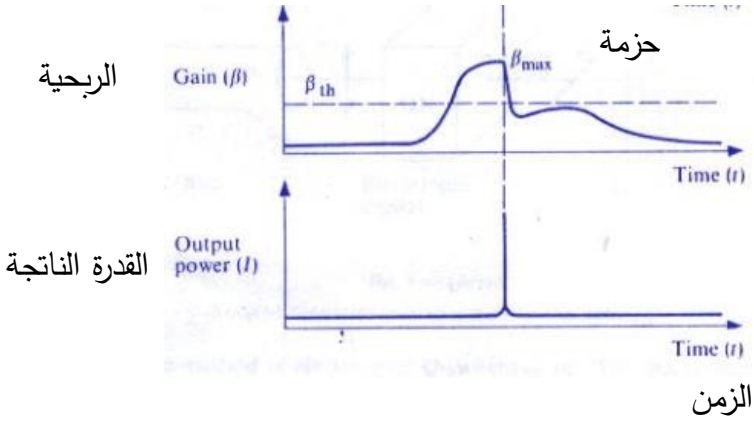


شكل (4–7) يمثل اسلوب التحكم بالاشارة

يوضح الشكل (4–7) فكرة التحكم بالخسارة حيث تم وضع قرص دائري به فتحة تدور بسرعة حول المحور الضوئي لليزر. فعندما تحجب الأشعة عن المرآة خلف القرص يتم زيادة التعداد وتكبير الحصيلة وذلك لأن مستوى الخسارة يعد كبير جداً وعند وصول الفتحة في القرص في مستوى المحور الضوئي تصبح الخسارة في أدنى مستوى لها بينما تزال الحصيلة في أعلى مستوى لها وهذا سيؤدي إلى انبعاث نبضة ليزر في فترة زمنية قصيرة مما يعني طاقة هائلة. الشكل (4–8 أ، ب) يوضح ذلك التغير الزمني في كلاً من الشمعة الضوئية (Flash Lamp) المستخدمة في انقلاب التعداد والمنحى الحصيلة ونبضة الليزر الناتجة.



الشكل (4–8) أ– يمثل نبضة ليزرية في فترة زمنية قصيرة



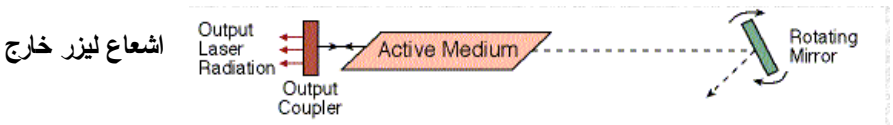
الشكل (4–8) ب– يمثل نبضة ليزرية في فترة زمنية طويلة

4-2-4 طرق مختلفة لاحكام عامل النوعية (Q-Switching)

أ– طريقة استخدام المرأة الدوارة Turning mirror at the end of the optical cavity

هي اول طريقة استخدمت لاحكام عامل النوعية لجهاز الليزر وتتضمن استخدام مرأة او (موشور) قابلة للدوران حول محورها بسرعة فائقة توضع في محل احدى مرأتي المرنان الثابتتين كما في الشكل رقم (4–9). فعندما تدور المرأة بسرعة عالية تكون الخسارة كبيرة لعامل النوعية (Q- صغيرة) باستثناء فترة زمنية محددة في كل دورة وهي الفترة الزمنية التي تصبح فيها المرأتين متقابلتين و متوازيتين تقريبا. فقبل الوصول الى هذا الوضع تماماً يشغل المصباح الومضي بواسطة ميكانية قدح للمصباح مرتبطه بدوران المرأة.يعمل تشغيل المصباح على ضخ وسط الليزر بهذه الفتره ولغايه ان تصبح المرأتين متوازيتين تماماً وفي هذا الوقت يتم تحقيق التأهيل العكسي في الوسط دون ان تبدء عمليه انبعاث الليزر فية فعندما تصبح المرأتين في وضع التوازي التام(كـبيره)تحصل عمليه احكام الصيغه و بهذا تسمح لنبضه هذا الحكام ان تنموكما في الشكل اعلاه.

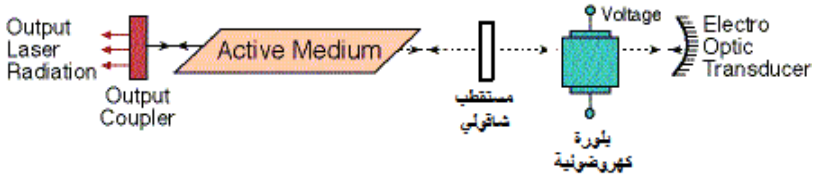
وسط فعال



شكل (4–9) شكل يمثل نبضة الاحكام

ب– طريقه استخدام المضمن الكهروضوئي - Electro- Optic transducer

تستخدم المضمنات الكهروضوئيه والمضمنات المغناطيسيه_الضوئيه وكذلك المضمنات السمعيه_الضوئيه كمفاتيح سريعه لاحكامQ.عند استخدام المضمنات, الكهروضوئيه كخليه((بوكيل))او خليه((كير)) يكون نتاج الليزر طبيعياً غير مستقطب لذا يوضع مستقطب داخل المرنان يرافق الخليه الكهروضوئيه كما هو مبين في الشكل ادناه



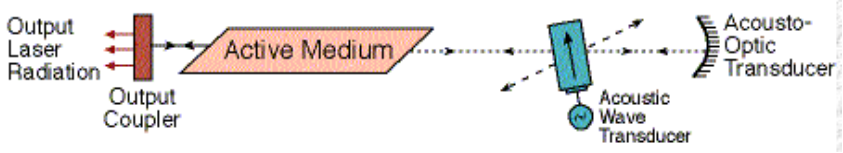
شكل (4–10) يمثل نتاج الليزر طبيعيا غير مستقطب

ترتبط الخلية الكهروضوئية بجهد كهروضوئي فتعمل كلوح ربع موجي لتحويل الضوء الساقط عليها والمستقطب خطيا الى ضوء مستقطب دائري.عند انعكاس هذة الاشعة عن مرأة الليزر سيعكس اتجاة الدوران للاستقطاب فبعد عبور الاشعه خلال الخليه مرة ثانيه سنحصل على ضوء با ستقطاب خطي ولكن بمستوىعمودي على اتجاه استقطابه الاول.بهذا فأن الاشعه سوف لاتنفذ لتنعكس عن مرأة المرنان الاخرى وبهذا يعطل عمل المرنان ولكن عندما ينقص قيمه الجهد المسلط على الخليه الى الصفر فلا يحصل دوران لمستوى الاستقطاب فيحدث احكام_ Q.أن تغير الجهد الذي يجب ان يكون متزامناً مع ميكانيكيه الضخ يمكن تحقيقه في زمن اقل من 10نانوثانيه وبهذا نحصل على احكام سريع وفعال لعامل النوعيه– Q.

ج – طريقه أستخدام محول الصوتيه– الضوئيه (Acousto-Optic transducer)

في هذه الحاله تستخدم اشاره صوتيه تسقط على المحول الذي يعمل على انحراف جزء من

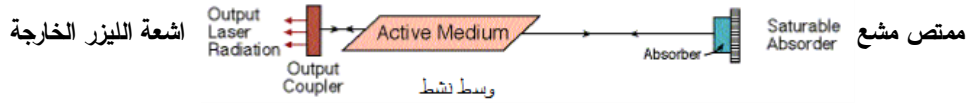
هذه الحزمه الى خارج المرنان بهذا يحدث خساره كبيره (Q_factor عامل النوعية_صغيره) فعنده انقطاع الموجه الصوتيه يتم احكام Q_ factor عامل النوعية والشكل (4-11) يوضح ذلك. تستخدم هذه التقنيه غالباً في حاله ضخ وسط الليزر بشكل مستمر للحصول على سلسله من نبضات احكام Q_factor عامل النوعيةكما هو الحال في معظم الليزرات نديميوم_ياك ولليزر ثاني اكوسيد الكاربون



الشكل (4-11) يمثل المحول الصوتية الضوئية

د – احـــكام عامل النوعية المعترض (Q –Factor)

يستخدم في هذه الطريقه ماده ماصه قابله للتشبع، داخل مرنان الليزر، مثلاً استخدام صبغه معينه حيث يقل الامتصاص لمحلول الصبغه بزياده شدة الضوء الساقط عليه كما هو مبين في الشكل رقم (4-12) ، أن المواد التي تلك هذا التصرف تدعى بالمواد الماصه القابله للتشبع. ففي بدايه عمليه الضخ يكون محلول الماده ماصاً جيداً يمنع حدوث عمل الليزر ويوفر تأهلاً عكسياً جيداً فعند زياده الضخ في الوسط فأن محلول الماده الماصه يصل حد الاشباع فيصبح غير قادر على الامتصاص عندها تحدث عمليه احكام عامل النوعيه –(Q -Factor). ان هذه الطريقه ملائمه جداً لعمليه احكام عامل النوعيه حيث تقع اهميتها في كونها لا تحتاج الى ميكانيكيه التزامن مع عمليه الضخ وتكمن الحاجه فقط الى استخدام خليه شفافه صغيره بزاويه بروستر لتحوي طبقه رقيقه من محلول الصبغه الماصه في الشكل vrl(4-13) يوضح تلك الحالة.



شكل (4-12) يمثل مرنان داخله مادة ماصة

الفصل الخامس

انواع الليزر (Lazer types)

5-1 المقدمة Introduction

لليزر انواع مختلفة وقفاً لنوع مادة الوسط الفعال المستعمل، الغازات ومصدر الطاقة المستخدمة لتوليد الليزر.

فمثلاً ليزرات الضوء تصبح في شكل حزمة متصلة أو نبضات . وتسمى الليزرات المولدة للنبضات، والتي تسمى الليزرات المنبَّضة، ونتيجة لذلك تنتج هذه الليزرات قدرة أكبر بكثير من القدرة التي تنتجها ليزرات الموجات المتصلة، حيث تتراوح القدرة الناتجة عن معظم ليزرات الموجات المتصلة بين أقل من 0,001 واط وأكثر من 10,000 واط، بينما تنتج بعض الليزرات المنبضة أحزمة ذات قدرة تبلغ عدة ترليونات واط لكل جزء من بليون جزء من الثانية.ويمكن تصنيف اجهزة الليزر حسب نوع الوسط الفعال الى انواع عديدة ومن اهمها هي ليزرات:

أ. الحالة الصلبة.

ب. الحالة الغازية.

ج. أشباه الموصلات.

د. الصبغية.

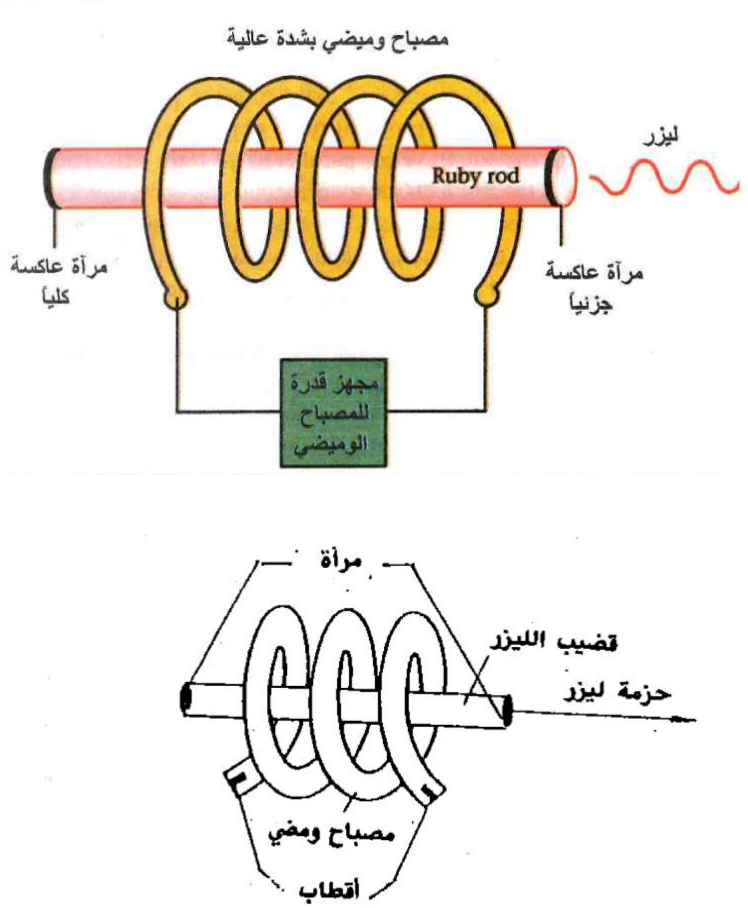
هـ. الكيمياوي.

و. (ليزر الاشعة X-Laser) وفيمايلي شرحا مبسط لبعض هذة الانواع :-

5-2 ليزرات الحالة الصلبة Solid-State-Laser

هو الليزر الذي يتكون من مادة صلبة كوسط فعالاً مثل الياقوت، او خليط اليتريوم والألومنيوم والنيوديميوم، حيث يصنع الوسط من مادة بلورية أو زجاجية لها خطوط طيفية حادة وهي عموما مواد صلبة شفافة شديدة التماسك، وفي هذا النوع من الليزرات تعمل

الايونات المطعمة(المشوبة) في البلورة الايونية(بنسب قليلة 0.01% -0.1%). كما في الشكل (5-1أ،ب) ومن اهم هذه الليزرات هي :-

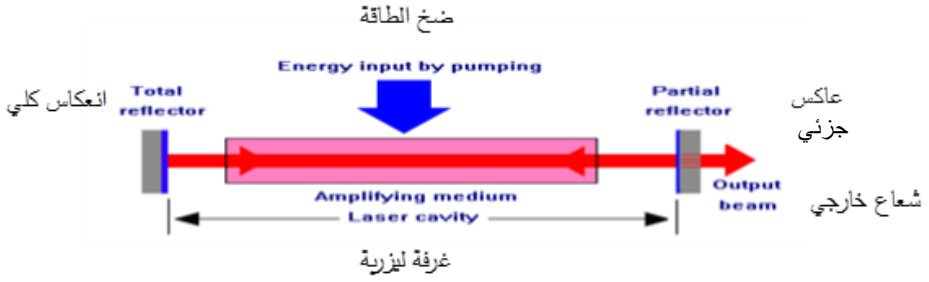


الشكل (5-1) أ، ب

أ- ليزر بلورات الياقوت:

ان اول ليزر استخدم في تصميمه قضيب (rod) من بلورات الياقوت الصناعي (المخضب بذرات الكروم)، كمادة فعالة طوله 5سم وقطره 1.27سم، والياقوت بلورة من أكسيد الألومنيوم التي تستبدل فيها ذرات الألومنيوم بذرات الكروم ان سبب اللون الأحمر الداكن المميز للياقوت يعود إلى وجود ذرات الكروم ، ويعتمد التأثير التكبيري في جهاز الليزر الياقوتي أساساً على ذرات الكروم المستثارة التي تكتسب مستويات طاقة عالية عن طريق

إمتصاص طاقة الضوء الناتجة من مصباح مضيء. يقوم بدفع تلك الذرات إلى حالات الإستثارة ويزود قضيب الكريستال الياقوتي. بنهايات مصقولة ومستوية تغطي نهايتا هذا القضيب بالفضة ليكوّن غرفة عاكسة للضوء داخله مكونه بذلك مرنان من نفس المادة والشكل رقم (2-5) يمثل المرنان وقد طليت إحدى النهايتين لتكون أقل انعكاساً للضوء عن الأخرى، وذلك للسماح لبعض الأشعة المنعكسة الداخلية بالنفاذ خارج القضيب الياقوتي. أحيط هذا القضيب الياقوتي بأنبوب حلزوني يحوي غاز الزينون (Xe) الذي يعطي وميض ضوئي متقطع إلى البلورة الياقوتية عند تشغيله بفعل التفريغ الكهربائي. وكما يلاحظ فإن طريقة الحث هنا تتم بواسطة مصدر ضوئي للطاقة. حيث يمر الضوء الناتج خلال جوانب القضيب ويطلق عدد بسيط من ذرات الكروم أشعة الضوء في إتجاه أطراف القضيب المصقولة. حيث ينعكس هذا الضوء مرة أخرى في القضيب وعند إصطدامه بذرات الكروم المستثارة يحدث انبعاث محفز يقوم بدوره بتكبير الإشعاعات وهكذا يجتاز الضوء القضيب مرات متعددة فتزداد بذلك شدة الضوء الناتج وتتسبب عملية إستثارة ذرات الكروم في تسخين بلورة الياقوت لذا يجب توفير عملية تبريد ملائمة للجهاز حين يشتغل بإستمرار. عند أمتصاص الياقوت لهذه الطاقة الوميضية تبدأ ذرات الكروم في التهيج، حيث إن اكتساب ذارات الكروم لهذه الطاقة يرفعها إلى مستويات طاقة أعلى مما كانت عليه.



شكل رقم (2-5) يمثل المرنان

لتوضيح العناصر الأساسية لمبدأ عمل الليزر. نلاحظ ساق بلورة الياقوت محاطاً بانبوب الحلزوني وهو مصدر الطاقة التي ستعمل على إثارة الذرات. كما نلاحظ شعاع الليزر الأحمر.

ان مراحل توليد اشعة الليزر تتضمن خطوات على النحو التالي:

1- فرق جهد عالي يعمل على تزويد التألق (البريق) بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذو شدة عالية ولفترة زمنية قصيرة. هذا الضوء يعمل على اثارة الذرات في بلورة الياقوت إلى مستويات الطاقة الأعلى.

2- عند بعض من مستويات الطاقة تقوم بعض الذرات باطلاق فوتونات عند انتقالها إلى مستويات طاقة ادنى. هذه الفوتونات تنبعث في البداية في كافة الاتجاهات. ولكن فوتونات من بعض الذرات تقوم بعملية انبعاث تلقائي (stimulate emission) لفوتونات من ذرات أخرى وعندها يبدأ تكبير الضوء.

3- تقوم مرأتين على طرفي ساق بلورة الياقوت بعمل المكبر حيث تنعكس عندها الفوتونات إلى داخل ساق بلورة الياقوت لتعمل المزيد من الانبعاث التلقائي (stimulate emission) وتستمر عملية التكبير للضوء

4- يتم تصميم احدى هاتين المرأتين بحيث تعكس 98% من الضوء والباقي ينفذ وهو شعاع الليز.

ب –ليزر النيوديميوم

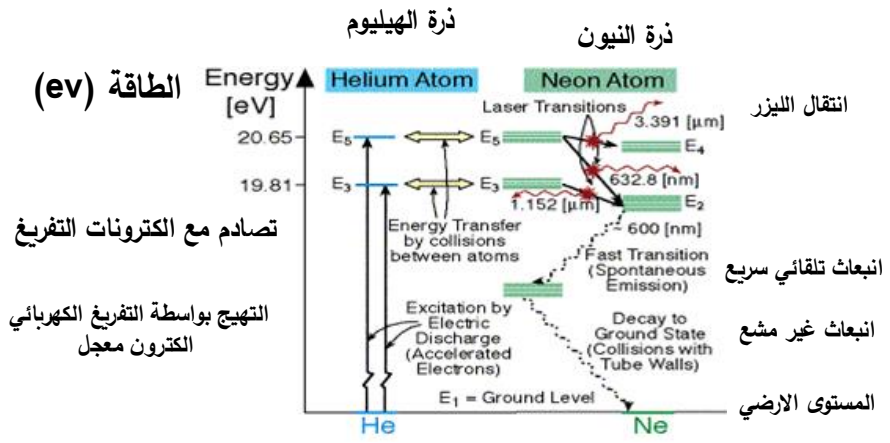
وهو أكثر الليزرات البلورية شيوعًا تحتوي المادة البلورية فية على كمية صغيرة من عنصر النيوديميوم رمزه الكيميائي(Nd^{+3}) ، ضمن بلورة من غارنيت اليتريوم والألومنيوم (YAG).ويسمى هذا النوع ليزرات النيوديميوم: غارنيت اليتريوم والألومنيوم. وفي بعض الليزرات يذاب النيوديميوم في الزجاج. وتستخدم المصابيح الومضية بصفة عامة لضخ الوسط الفعال في هذة الليزرات. ليزرات النيوديميوم: غارنيت اليتريوم والألومنيوم وليزرات النيوديميوم:

الزجاج تستخدم بكثرة في الصناعة، كثقب ولحم الفلترات، وفي معينات المدى ومحددات الأهداف وفي الجراحة الليزرية

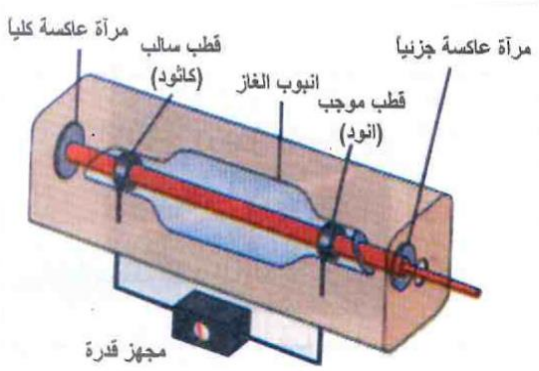
3-5 الليزرات الغازية

ليزرات الحالة الغازية تستخدم غازًا أو خليطًا من الغازات كوسط فعال داخل أنبوب. تكون الانبوبه طويلة مصنوعة من الزجاج المقاوم للحرارة (Pyrex) بنافذتين في الطرفين. ومرآتين مصممتين لعكس وارتداد الأشعة وباستخدام غاز معين مع شوائب من غاز اخر وباستخدام أشعة كهرومغناطيسية ذات تردد عالي الارتفاع يتم تولد الليزر بواسطة قطبين كهربائيين متصلين بطرفي الأنبوب الزجاجي، حيث تثار الذرات في الليزرات الغازية بنفس الطريقة التي تضاء بها إشارات النيون. والشكل رقم (5-2 أ،ب) يمثل نموذج لجهاز الليزر الغازي وتشمل أكثر الأوساط الفعالة استخدامًا ثاني أكسيد الكربون والأرجون والكريبتون وخليط الهيليوم والنيون. تستخدم الليزرات الغازية عادة في الاتصالات وجراحة العيون والترويح والتصوير التجسيمي والطباعة والمسح. وتنتج العديد من الليزرات الغازية أحزمة تحت الحمراء. الليزرات الغازية حسب تركيب الغاز المستخدم كوسط فعال او حسب طريقة الضخ ومن الامثلة على هذة الليزرات هي :-

يمثل هذا النوع أحد الليزرات المتوفرة تجارياً على نطاق واسع، حيث ينتج ضوءاً طوله الموجي 632.8 نانومتر، وهو ليزر ذو اربعة مستويات وأحمر اللون، والمادة الفعالة لهذا الليزر هي خليط من غاز الهليوم والنيون حيث تعمل ذرات الهليوم دور كبير في المساهمة بعملية الضخ وتحقيق التاهيل العكسي لمستويات النيون، كما أن غالبية ذرات هذين الغازين تقع في المستويات الإلكترونية n=1 و n=2 على التناظر، وعند إثارة هذه الذرات إلى مستويات طاقة عليا فإنها تعود إلى المستوى 1S في الهيوم، 2S في النيون والإستقرار في مستويات الطاقة الأرضية. والشكل رقم (5-3) يمثل مخطط الطاقة لليزر الهليوم – نيون



-أ-



-ب-

شكل (5-3)أ، ب يمثل مخطط لطاقة الليزر هليوم- نيون

يمتلك ليزر الهليوم – نيون طاقة شبة مستقرة تعمل اثنان منها كمستويات عليا و اثنان اخرى كمستويات دنيا لليزر, لذا فان عدد كبير من الاطوال الموجية يمكن ان تخرج نتيجة للانتقالات بين هذة المستويات ومن هذة الاطوال الموجية هي ,([nm] 632.8) =λ_1 [μm] 3.3913=λ_3 ,[μm] 1.152=λ_2 الواقعة ضمن المدى المرئي المميز باللون الاحمر القاني. ان اهمية الهليوم في هذا النوع تكمن في نقطتين اساسيتين هما :-

1- الاثارة المباشرة لذرات غاز الهليوم بكفاءة عالية.

2- الحالة المتهيجة لذرة الهليوم (المستوى E_5) تمتلك طاقة اصغر من مستوى الحالة المتهيجة لذرة غاز النيون (المستوى E_5)

ب-ليزر ثاني اوكسيد الكاربون

وهو من أهم أنواعها ليزرات الحالة الغازية ومن أقوى الليزرات، وأكثرها كفاءة، حيث يحول ما بين 5% و30% من الطاقة المأخوذة من مصدر الطاقة إلى ضوء ليزر، بينما تحول العديد من الليزرات الأخرى حوالي 1% فقط من الطاقة التي تحصل عليها. وبإمكان ليزرات ثاني أكسيد الكربون إنتاج أحزمة تتراوح قدرتها بين واط واحد ومليون واط، يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون مع شوائب من النيتروجين أو الهليوم في أنبوب طوله عدة امتار. فتصدر ليزر بطول موجة يبلغ 10.6 ميكرون. وتكون هذه الأشعة إما مستمرة أو بصورة نابضة والتي تكفي لصهر ولحام معظم المعادن مثل النيوبيم والتيتانيوم والتنجستن. ويمكن ثقب اشد المواد صلادة مثل الألماس وتوجد حاليا وحدات لتوليد الليزر بقدرة 20 كيلو وات تستخدم للحام وقطع المعادن السميكة بمساعدة الأكسجين.يمكن استخدم وحدة ليزر بغاز ثاني أكسيد الكربون قدرتها 2 كيلو وات للحام معادن سمكتها 3ملم وتبلغ سرعة اللحام بالليزر 12 ملم/ث نظرا لارتفاع تكلفة لحام الليزر فان استخدامها يقتصر حاليا على استخدامات الفضاء. والصناعات. التي تتطلب دقة وتحكم عاليين مثل الصناعات الإلكترونية وريش التربيات.

ج – ليزر الأكسامير

وهو يتبع فصيلة الليزر الغازي وهو نوع وسط بين الليزر الغازي الذي يعمل بالطاقة الكهربائية مباشرة، ونوع آخر من الليزر الغازي يعتمد على التفاعلات الكيماوية، بالإضافة إلى الطاقة الكهربائية.

كلمة إكزيمر مشتقة من اختصار كلمتي Exited وتعني مستثار و Dimer تعني جزيء مكون من ذريتن، وبذلك تعني الكلمة الجزيء الزوجي المستثار، ويمكن أن تكون

لذرتي الجزيء المستثار نفس التركيب الذري مثل ذرتي الزينون Xe2 أو ذرتي جزيء ليس لها نفس التركيب الذري مثل كلوريد الزينون XeCl حيث يتم الارتباط بين ذرتي الزينون Xe والكلور Cl في حالة الاستثارة الإلكترونية فقط ولكنها في حالة الاستقرار الأرضي Stable Ground level تكون متنافرة أو ذات ترابط ضعيف.

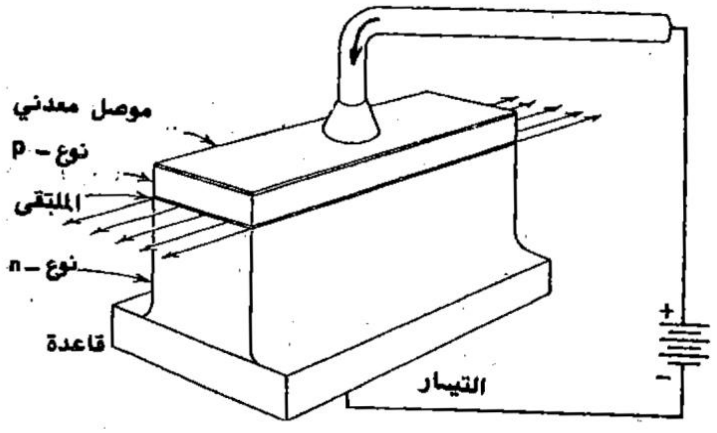
ينجم عن ترابط ذرتي الجزيء المذكور تفاعل كيمياضوئي ذا طاقة عالية. ويتم التفاعل باستثارة أحد ذرتي التفاعل بطاقة تكفي لإرتباطهما مع الذرة الأخرى فعلى سبيل المثال في حالة إكزيمر من نوع (فلوريد الكريبتون KrF) يتم إثارة ذرة الكريبتون بطاقة عالية تكفي لتأينها بتحرير إلكترون لتصبح ذرة الكريبتون ذات شحنة موجبة ليتسنى لها الارتباط مع ذرة الفلور بواسطة التجاذب الكهربي حسب تفاعل كولون، ويتطلب تكون جزيء فلوريد الكريبتون المستثار حدوث تصادم بين الكريبتون و الفلور في وجود غاز آخر مثل النيون لتهيئة ظروف التصادمية لتكوين طاقة عالية ويمكن لليزر الإكزيمر في حالة الإثارة الآلية إحداث اهتزاز كبير للجزيئات مما يكسبها تحصيل ليزر عالي له فائدة كبيرة في التطبيقات الصناعية والطبية.

يتم استثارة الكلور الغازي مثل الكريبتون و الكلور والنيون بنبضية كهربائية مكثفة في زمن وجيز للغاية تصل إلى 10 نانو ثانية، وتعمل الطاقة الناتجة على تفكيك الروابط الجزئية للكلور، وبذلك يتم الحصول على جزيء فلوريد الكريبتون المتأين KrF، وتبقى الجزيئات المستثارة لمدة تصل إلى 10 نانو ثانية لتعود بعدها إلى المستوى الأرضي Ground Level الجزئي..يحتوي فلوريد الكريبتون على مرآة عاكسة ومرآة أمامية غير مطلية تسمح بخروج أشعة الليزر. وتعمل على عكس باقي الأشعة.يأتي التفريغ في الليزر الإكزيمر بشكل عمودي على طول الأنبوبة المغلقة والمليئة بالخليط الغازي وتعمل الأنبوبة لفترة معينة يتم استبدالها بعد انخفاض نبضات الليزر بشكل ملحوظ مع مرور الزمن بسبب استهلاك الغاز. يستخدم ليزر الإكزيمر بشكل واسع في نواحي عديدة أهمها علاج ضعف وطول وقصر النظر، وحالات

عدم وضوح الأشياء لعدم تجمع الضوء في نقطة بؤرية (Astigmatism) ويستخدم في هذه الحالة الإكزيمر من نوع فلوريد الأرجون ArF وذلك في جراحة الانكسار الضوئي عن طريق إبعاد مواد القرينة لتصحيح قوة العدسة (Dupitor).يصل الطول الموجي لليزر ArF إلى 193 نانومتر وهو قصير جداً في نطاق الأشعة فوق البنفسجية غير المرئية مما يكسبها دقة عالية في جراحة الانكسار الضوئي تصل إلى 0.1 من الميكرومتر، وفضلاً عن ذلك فإن لها تأثير طفيف للغاية في نقل الحرارة إلى الأنسجة المجاورة أثناء العملية.

4-5 ليزر شبه الموصل

ليزر أشباه الموصلات. وتسمى أيضًا ليزر الثنائيات، وتستخدم في هذة اليزرات مواد شبه موصلة، حيث يتكون من طبقتين من المواد الشبه موصلة مختلفتين كهربائيًا. ينتج التيار الكهربائي المار عبر الطبقتين ضوء الليزر في المنطقة الفاصلة بين الطبقتين. وتشمل أشباه الموصلات المستخدمة في الليزرات مركبات فلزات مثل الجاليوم والإنديوم والزرنيخ. ويتكون شبه الموصل المستخدم في الليزر من طبقتين مختلفتين في خصائصهما الكهربائية. وتؤدي الوصلة الفاصلة بين المنطقتين وظيفة الوسط الفعال. فعند مرور التيار عبر الوصلة ينشأ انقلاب سكاني، وتعكس مرآتان عند طرفي شبه الموصل الفوتونات، ويحدث ابتعاث محفَّز في منطقة الوصلة.وليزرات أشباه الموصلات هي أصغر أنواع الليزرات، حيث يعادل حجم أحد الأنواع حجم حبة الملح، بينما يبلغ نوع آخر حدًا من الصغر بحيث لا يرى إلا بالمجهر (الميكروسكوب). وهي أكثر أنواع الليزرات استخدامًا لصغر أحجامها، وخفة أوزانها، واحتياجها قدرة أقل، مقارنة بالليزرات الأخرى. وتجعلها أحجامها الصغيرة مناسبة للاستخدام في حاكيات الأقراص المدمجة وحاكيات أقراص الفيديو وفي الاتصالات الليفية البصرية.ومن الامثلة على هذة الليزرات هي كما في شكل (5-4)



الشكل (5–4) يمثل تركيب ليزر شبه موصل

أ. ليزر السيليكون

يعتبر مجال إنتاج شعاع الليزر باستخدام مادة السيليكون من المجالات الجديدة التي تخضع للدراسة والبحث، وذلك بالرغم من أنه حتى الآن ربما يعتبر مستحيلاً من الناحية الفيزيائية.

وعلى الرغم من ذلك استطاع فريق أبحاث في جامعة (براون) بوضع التصميم لأول ليزر ينتج من السيليكون يتم ضخه بطريق مباشر بتغيير بناء كريستالات السيليكون من خلال تقنية حديثة متناهية الصغر يطلق عليها القياس (التدرج) النانوي (nanoscale) .

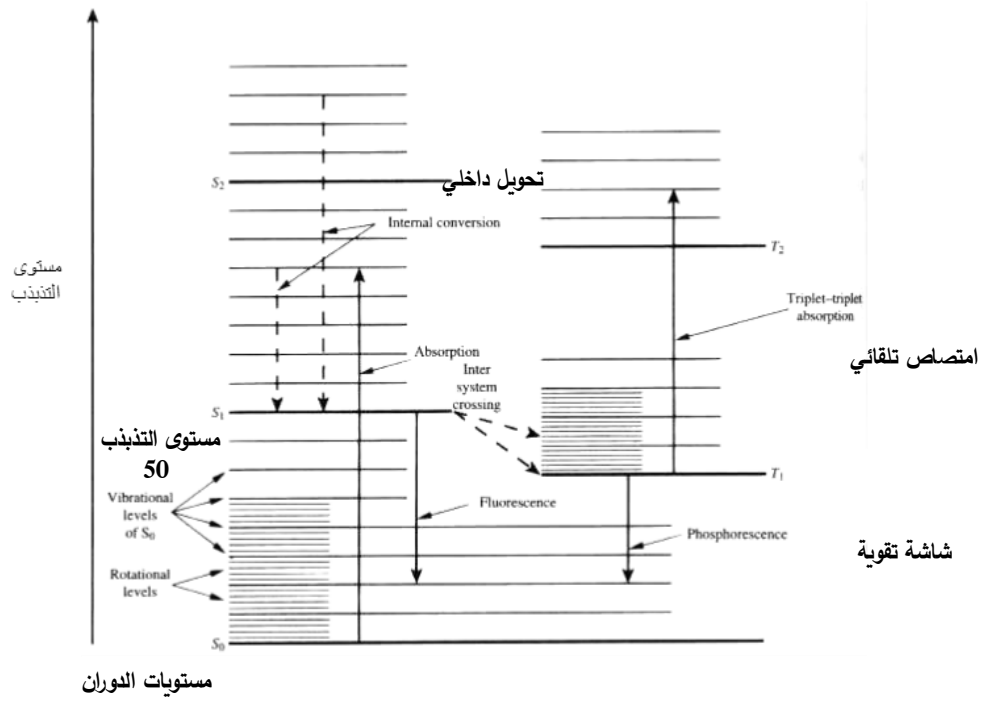
فمنذ ابتكار أول ليزر – وهو نموذج ياقوتي تم صنعه في عام 1960 – قام العلماء بتصميم مصادر للإضاءة تتراوح من النيون إلى الزفير، ولكن، لم يتم اخذ السيليكون في الاعتبار مادة مرشحة.. فتكوينه لا يسمح بالصف الصحيح للإلكترونات المطلوبة لجعل شبه الموصل يقوم ببث الضوء، وقد قام الآن ثلاثة باحثين في جامعة (براون) في علوم الهندسة والفيزياء بابتكار أول ليزر يعمل بضخ السيليكون المباشر، من خلال تغيير التكوين الذري للسيليكون نفسه، وقد تم تحقيق هذا الإنجاز من خلال حفر بلايين الحفر في فجوة صغيرة

من السيليكون باستخدام أداة متناهية الصغر، وكانت النتيجة ضوء ضعيف من الليزر ولكنه حقيقي، ويعتبر هذا الإنجاز تطورا كبير في اللتكنولوجيات المتطورة .وحتى الآن، لم يتم تحويل هذا الابتكار إلى الشكل العملي الى عمل واقعي او ايجاد تقنيه ملائمه السيليكون نجعله أكثر قوة ويعمل عند درجة حرارة الغرفة (حيث انه يعمل الآن عند درجة حرارة اقل من 200 مئوية تحت الصفر) لكن المادة التي تتمتع بالخواص الالكترونية للسيليكون والخواص البصرية لليزر سوف تجد استخدامات لها في مجالي الإلكترونيات والاتصالات، والمساعدة على جعل أجهزة الكمبيوتر أو شبكات الألياف البصرية اكثر قوة وسرعة.قام باحثون بجامعة كاليفورنيا، سانتا باربرا، بتطوير ليزر جديد من خلال ربط طبقات التضخيم البصري مباشرة مع فجوة ليزر السيليكون، في خطوة تبشر بان تكون تقدما مهما في هذا المجال. ويقدم هذا الليزر الهجين بديلا لسيليكون ليزرRAMAN ، وهو ذو مجال أقصر، ويتم ضخ الليزر بصريا، ويعمل بطريقة الموجة المستمرة، ويحتاج فقط لقدرة ضخ تعادل Mw 30 ويعتبر هذا العرض العملي لليزر السيليكون السريع الزوال أول خطوة نحو ليزر السيليكون الهجين الذي يتم ضخه كهربائيا.. وبشكل متزايد سوف يعتمد أداء أنظمة الإلكترونيات المصغرة على الوصلات بين الرقائق والأجهزة، مقارنة بخصائص الرقائق والأجهزة نفسهاوسوف تصبح أنظمة أشباه الموصلات اصغر حجما، وسوف تقيد قدرة الربط وتبديد الطاقة من أدائها . ويمكن للوصلات البصرية ان تخفف من هذه القيود ولكن تمثل التحدي في ابتكار ليزر شبه موصل يمكن تكامله بالكامل مع الإلكترونيات المصغرة من السيليكون،

5-5 ليزر السوائل (الصيغة):

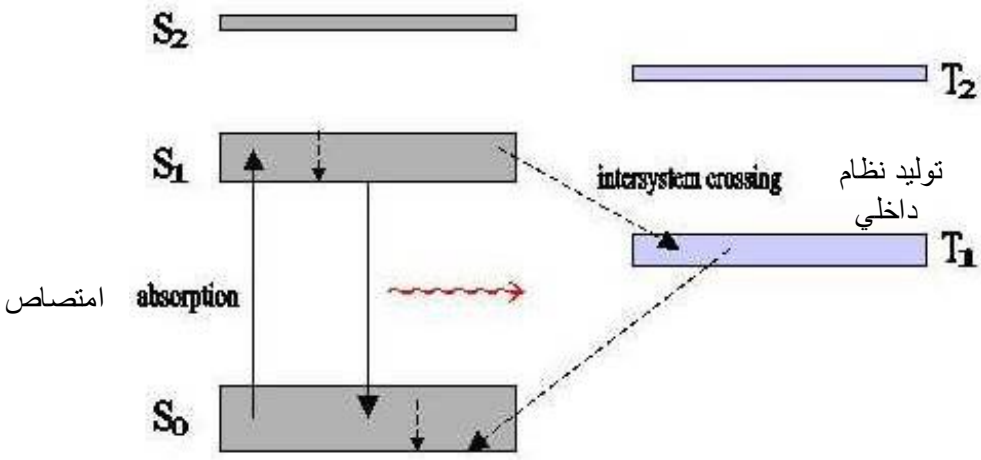
هو الليزر الذي يكون وسطه الفعال عبارة عن سائل ناتج من اذابة اصباغ في محلول اثيلي، ويتميز بسهولة تحضيره في المختبرات، كما أن المواد المستخدمة فيه اقتصادية إلى درجة كبيرة، بالمقارنة بأجهزة الليزر الأخرى، بالإضافة إلى إمكانية تغيير السائل المستخدم بسهولة للحصول على أشعة ليزر ذات مواصفات جديدة، دون تغيير جهاز الليزر. ويمكن لجهاز ليزر

السوائل أن ينتج أشعة ليزر بألوان مختلفة، وبموجات ضوئية ذات أطوال متباينة. والسوائل المستخدمة هنا تعتمد في تركيبها على مادة الصبغة العضوية الكيماوية التي توجد في الطبيعة على هيئة أجسام صلبة تختلف في التركيب الكيميائي. المادة الفعالة لليزر الحالة السائلة هو سائل عضوي متفلور يذاب او يحلل في محلول مثل الكحول. كما ان مستويات الطاقة للسائل تتكون من مستويات مفردة واخرى ثلاثية اضافة الى ذلك انه تلك المستويات هي خليط من مستويات اهتزازية ودورانية .ان عملية ضخ السائل (pumping) وتهيج ذرات السائل بواسطة الضوء (optical pumping) وتكون بواسطة نوع اخر من الليزر او بواسطة مصباح ومضي – ومضة شديدة من الضوء العادي .(flash lamp) -فعندما نسقط الطاقة الضوئية على ذرات السائل فان تلك الذرات سوف تمتص الطاقة. وعلى اثر ذلك سوف تحصل عمليـــة تهيج لذرات السائل مؤدية الى انتقال تلك الذرات الى المستويات المتهيجة العليا وحصول عملية التاهيل او الانقــلاب العكـــسي او الانقلاب الشعبي (population inversion) حيث تنقل الذرات من المستوى الارضي (ground state) الى اعلى مستوى اهتزازي في المستوى المهيج الاول ضمن المستويات المفردة ولكن سرعان ما تعود هذه الذرات الى المستوى الارضي خلال فترة زمنية تقدر ب(10-9 ثانية) وهو انتقال مشع متفلور (fluorescen) يؤدي الى اطلاق ليزر .بالاضافة الى ذلك الانتقال هناك في بعض الاحيان انتقال اخر يتم من المستويات المفردة الى المستويات الثلاثية ويتم خلال زمن اطول تقدر بحدود (10 نانو ثانية) وهو انتقال غير مشع (nonradiative transition) ويسمى هذا الانتقال بانتقال تقاطع طريق مع النظام الداخلي (intersystem crossing) وهو لا يؤدي الى تكوين ليزر وهذا الانتقال بحد ذاته مشكلة يراد التخلص منها بواسطة تكنيكات معينة مثل جعل عملية الضخ بواسطة نبضة اصغر زمنا من زمن هذا الانتقال بحيث لا نسمح لهو بالتكون، والشكل رقم (5-5) يمثل ميكانيكية التفاعل.



شكل رقم (5–5) يمثل ميكانيكية التفاعل

الشكل رقم (5–6) يوضح لنا مستويات الطاقة والانتقالات بينها كما يوضح المستويات الثانوية الدورانية والاهتزازية، ويوضح كذلك مستويات الطاقة ولكن بشكل مبسط:



شكل رقم (5–6) يوضح مستويات الطاقة والانفعالات بها

ان ليزر الحالة السائلة تصنف حسب مادة السائل المكونة لليزر الى اربع اقسام حسب التركين الكيمياوي لجزيئة السائل وكما يلي:

1- صبغة البوليمثين (polymethine) وهذا النوع من السائل يطلق اشعاع ذو اطوال موجية طويلة ذات لون احمر او غير مرئي ضمن الاطوال الموجية فوق الحمراء ضمن المنطقة ذات الطول الموجي (700-1.500) نانومتر.

2- ضبغة الزنثيين (xanthene) حيث تبث اشعاع ضمن المدى المرئي ذات اطوال موجية بحدود (500-700) نانومتر.

3- صبغة الكومارين (coumarin) حيث تطلق اشعاع ازرق او اخضر ذات اطوال موجية بين (400-500).

4- الصبغة المومضة (scinillator) حيث ترسل اشعاع ضمن مدى فوق البنفسجية ذات اطوال موجية (320-400) نانومتر.

اما اذا اردنا ان نقسم ليزر الحالة السائلة من حيث عملية الضخ سوف تنتج لنا ثلاث اقسام:

1- ليزر سائل نبضي (plused dye laser) يضـــخ بواسطة المصبـــاح الومضي (flash lamp).

2- ليزر سائل نبضي (plused dye laser) يضخ بواسطة نوع اخر من الليزر النبضي (plused laser).

3- ليزر سائل مستمر (contineous dye lase) يضخ بواسطة نوع اخر من الليزر ويكون ليزر مستمر .لكل من هذه الانواع منطومة وبناء معين خاص بها فالاضافة الى التقسيم اعلاه يمكن ادراج نوع اخر من ليزر الحالة السائلة يختلف عن التقسيم اعلاه من حيث التصميم وهو ليزر (mode-locked dye laser) .

5-6 الليزر الكيماوي

هو الليزر الذي يحصل على طاقة من التفاعل الكيمياوي فمثلاً ليزر الهيدروجين . فلورايد، وفيه تتفاعل ذرة من غاز الهيدروجين مع ذرة أخرى من غاز الفلورين، وينتج عن ذلك جزئ هيدروجين . فلورايد. وينتج عن هذا بين هاتين الذرتين ينتج عنه طاقة كيماوية كافية، تسبب تكوين الجزيء في مستويات إثارة. وعند وضع هذا الجزيء المثار في وعاء الليزر الخاص، وفصل هذه الطاقة على هيئة شعاع ليزر في نطاق الأشعة تحت الحمراء بطول موجي 3 ميكرومتر. ويتميز هذا النوع من الليزر بإنتاج طاقة ضوئية عالية. ومن أنواع الليزر الكيماوي ذلك النوع المعروف باسم "الليزر الكيماوي المتطور في الحيز المتوسط للأشعة تحت الحمراء.

5-7 ليزر أشعة أكس (السينية):

في عام 1984 صنع أول ليزر أشعة سينية في معمل Lawrence Livermore National Laboratory في الولايات المتحدة الأمريكية. وهو ليزر بالغ الخطورة والأثر أن أشعة "إكس" ذات تردد أعلى بكثير من الأشعة الضوئية، لها قدرة عالية جداً على اختراق الأجسام التي لا يخترقها الضوء العادي .وقد أمكن إثبات إمكانية الحصول على أشعة "اكس" نظريا. ولكن تكمن الصعوبة في أنه يجب تحويل المادة إلى حالة البلازما للحصول على أشعة "اكس" الليزرية، وهذا يتطلب درجة حرارة عالية جدا لا يمكن الحصول عليها إلا من خلال تفاعل نووي مسيطر عليه، مما أدى إلى ظهور عدة اقتراحات بأن يكون توليد الطاقة في مثل هذا الليزر عن طريق انفجار نووي صغير مسيطر عليه تحتل الأشعة السينية منطقة من الطيف الكهرومغناطيسي طول موجاته من 10 إلى 0.01 نانومتر وتسمى بالناعمة؛لأن الفوتونات عند هذا الطول تكون غير قادرة على اختراق الهواء أو الأنسجة الحية، بينما تسمى الأطوال الموجية الأقصر، مثل الطول الموجي 0.03 نانومتر تقريباً، والذي

يستخدمه أطباء الأسنان، تسمى "بالموجات القاسية"، نظراً لمقدرتها على الاختراق وهناك العديد من الليزرات المستخدمة في الأبحاث الطبية والفيزيائية والكيميائية.

فيما يلي بعض انواع الليزر وخصائصها

نوع الليزر	نوع الطيف	الوسط	الطول الموجي (نانومتر)	نوع الإشعاع
هليوم–كادميوم	فوق بنفسجي	غازي	325	مستمر
نيتروجين	فوق بنفسجي	غازي	337.1	نبضي
كريبتون	فوق بنفسجي	غازي	350.7	مستمر
أرجون	فوق بنفسجي	غازي	351.1	مستمر–نبضي
هليوم–كادميوم	مرئي	غازي	441.6	مستمر
أرجون	مرئي	غازي	457.9	مستمر–نبضي
كريبتون	مرئي	غازي	461.9	مستمر–نبضي
زينون	مرئي	غازي	460.3	مستمر
أرجون–كريبتون	مرئي	غازي	467.5	مستمر
هليوم–نيون	مرئي	غازي	632.8	مستمر
ياقوت	مرئي	صلب	694.3	نبضي
كريبتون	تحت الحمراء	غازي	0.753	مستمر
أرسنيد الجاليوم	تحت الحمراء	صلب	0.904	مستمر
نيوديميومneodymium	تحت الحمراء	صلب	نيوديميوم	نبضي
نيوديميوم	تحت الحمراء	صلب	نيوديميوم	مستمر–نبضي
هليوم–نيون	تحت الحمراء	غازي	1.15	مستمر
ثاني أكسيد الكربون	تحت الحمراء	غازي	10.6	مستمر–نبضي

الجدول رقم (5–1) بين انواع الليزر وخواصها

اسئلة الفصل الخامس(أسس عمل الليزر)

1. ماهي أساسيات عمل أجهزة الليزر.
2. ماهي أسباب الخسائر في جهاز الليزر.
3. مالمقصود بالتغذية العكسية في الضوء،

عدد طرق الضخ، واشرح واحده منها

قارن بين

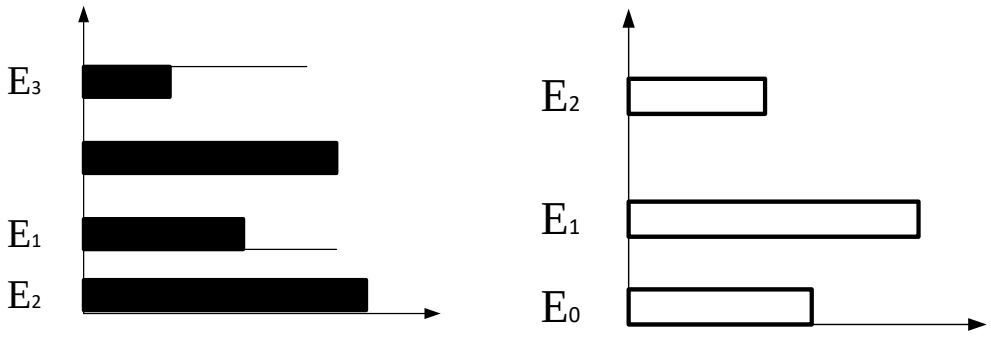
1. الليزر والميزر
2. الضخ الضوئي والضخ الكهربائي
3. الضخ الكهربائي والضخ الكيمياوي
4. ليزر يعمل بنظام ثلاثي المستويات وليزر يعمل بنظام رباعي المستويات
5. التعريض المتجانس والتعريض غير متجانس
6. مالمقصود بميكانيكية تعريض الخط الطبيعي، موضحاً انواعه بالتفصيل
7. أثبت ان التعريض الطبيعي للخط الطيفي الذي تردده يساوي v_0 والحاصل بين مستويين الطاقة E_1, E_2 $\Delta v_0 = \frac{1}{2\pi\tau_1} + \frac{1}{2\pi\tau_2}$
8. مالماقصود بتعريض الضغط، اذا كان ليزر هيليوم–نيون ضغط الغاز فيه (mba0.67) وقطر ذرة النيون يساوي $2.7x10^{-10}m$في درجة حرارة الغرفة أحسب عرض الخط الطيفي عند منتصف الشده
9. مالمقصود بتأثير عملية دوبلر، أحسب هذا التأثير في تعريض خط طيفي لغاز النيون بدرجة حرارة الغرفه ولانتقال الليزر المعروف بطول موجة 632.8nm

10 (أ) ماهو شرط متوسط العمر لمستويات الطاقة في خطة ضخ ذات أربعة مستويات؟

$$R_{th} = \frac{N_{th}}{\tau_2} = N_{th}A_{21}$$

(ب) وضح كيف يؤدي استخدام خطة الضخ ذات الاربعة مستويات الى جانب اقتصادي أفضل من حيث الطاقة اللازمة للضخ عن خطة الضخ بثلاثة مستويات؟

ج: ان التأهيل العكسي في خطة الضخ ذي الثلاثة مستويات اذ تكون قدرة الضخ اللازمة في الاربعة مستويات أقل، حيث ان المستوى E_1 فارغاً في البداية، وأن أي ذرة تصعد الى المستوى E_2 عن طريق المستوى E_3 ستحقق تأهيلاً عكسياً



11- عرف كل مما يأتي:

أ- الضخ:- هي الميكانيكية المستخدمة لامداد الوسط الفعال في الليزر بالطاقة من مصدر ما لتحقيق التأهيل العكسي.

ب- التأهيل العكسي:- وهي حالة المادة التي يكون فيها عدد الذرات في المستوى العلوي أكبر منها في المستوى الادنى ويتحقق باستخدام طرق ضخ معينة وهي احد شروط توليد الليزر.

ج- التغذية العكسية:- وهي احد شروط توليد الليزر حيث من خلالها تحصل عملية تضخيم الاشعة ويتم ذلك باستخدام تجويف زيتي ذي تصميم مناسب يدعى بالمرنان.

د- العتبة:- هي حالة المادة الحرجة التي تصل اليها عندما يكون ربح الوسط الفعال مساوياً الى الخسائر التي تحدث في الوسط الفعال والمرايا وهي بداية حدوث الليزر

هـ- الضخ الضوئي:- هي أحد الميكانيكيات (طرق) تزويد الوسط الفعال بالطاقة باستخدام مصدر ضوئي (مصباح أو ليزر) وهي الطريقة المناسبة لضخ ليزرات الحالة الصلبة والسائلة

و- الضخ الكهربائي:-وهي احد ميكانيكيات (طرق) تزويد الوسط الفعال بالطاقة باستخدام أقطاب (أنود وطاثود) وإحداث تفريغ كهربائي وهي الطريقة المناسبة لضخ ليزرات الحالة الغازية

ز- التعريض الطبيعي: هو أحد اسباب تعريض الخط الطيفي الناتج من سمك مستويات الطاقة التي تشترك في عملية الانبعاث المحفز حيث لايمكن مستويات الطاقة لعدد من الذرات بخط حاد وبذلك لاتطلق الفوتونات المنتقلة من هذه المستويات الطاقة نفسها او الطول الموجي نفسه وهذا مناقض لمبدأ اللادقة لهاينربنرك

ح- تعريض التصادم:- هو تعريض متحانس للخط الطيفي سببه تعرض الذرة المشعة أو الممتصة للتصادم مع ماجاورها من الذرات أو مع جدلاان الاناء الذي يحويها وهذه التصادمات ينتج عنها قوة لوحدة المساحة (تمثل ضغطاً) يؤثر على خطوط الطيف مما يسبب تعريضاً للخط الطيفي.

ط- تعريض دوبلر:- هو تعريض غير متجانس سببه الحركة العشوائية للذرات التي تكون حركتها باتجاه موافق أو مغاير لاتجاه الاشعاع الكهرومغناطيسي وبهذا يكون التردد الذي تراه الذرة أكثر أو أقل من ؟؟؟؟؟ وحسب ظاهرة دوبلر تكون

$$v_0 = v(1 \pm \frac{\upsilon}{C})$$

ي- عرض النطاق الترددي:- هي دالة التوزيع الطيفي تسمى دالة شكل الخط الطيفي $g(\Delta w)$ للانبعاث الناتج من مستوى طاقة الى مستوى آخر، ويعين هذا العرض بعرض الدالة في الموضع الذي تحيط فيه شدة الانتقال الى النصف أي في الموضع $I = \frac{1}{2} I_0$ ويدعى هذا المدى $(\Delta\upsilon)$ بعرض الخط الكلي عند منتصف الشدة FWHN

ك- التعريض المتجانس:- هو تعريض خط الانتقال لكل ذرة من الذرات بنفس الكيفية وبشكل متماثل اي ان لجميعها نفس التردد الذي تتمركز حوله وهو تردد الخط الطيفي نفسهُ

ل- التعريض غير المتجانس:- وهو التعريض الذي فيه يتوزع التردد للانتقال على مدى ضيق من الترددات، بهذا تعطى ذرات الجهاز ككل خطاً طيفياً بعرض معين من دون ان يعاني خط الانتقال لكل ذرة على انفراد

12- إختر الاجابة الصحيحة

1- لكي تعمل اجهزة الليزر يجب أن يتوفر لها

أ-الوسط الفعال ب-التأهيل العكسي ج-التغذية العكسية د-جميعها صحيحة

2-يمكن توفير شرط التأهيل العكسي في الليزر باستخدام

أ-مرنان ليزر ب-مصدر ضخ ج-وسط فعال د-جميع الاجوبة خطأ

3-يمكن توفير شرط التغذية العكسية في الليزر

أ-مرنان بصري ب-مصدر ضخ ج-وسط فعال د-جميع الاجوبة خطأ

4-يفضل ليزر رباعي المستويات على ليزر ثلاثي المستويات كونه

أ-اكثر كفاءة ب-يستهلك طاقة أقل ج-ربح العتبه واطيء د-جميعها صحيحة

5-نحصل على ربح العتبة عندما يكون

أ-الربح=الخسارة ب-الربح>الخسارة ج-الربح< الخسارة د-جميعها صحيحة

6- شرط توليد الليزر هو وجود: توليد الليزر يعتمد على :

أ-الوسط الفعال ب-التأهيل العكسي ج-التغذية العكسية د-جميعها صحيحة

7- حالة التأهيل العكسي يمكن تحقيقها بتوفير-تحقق ظاهرة التأهيل العكسي مع:

أ-ميكانيكية الضخ ب-المرنان ج-الوسط الفعال د-جميعها صحيحة

8- عملية التغذية العكسية يمكن ان نحصل عليها بوجود:

أ-ميكانيكية الضخ ب-المرنان ج-الوسط الفعال د-موشور

4-الخسائر في مرنان الليزر تحدث نتيجة

أ-النفاذية ب-الامتصاص ج-الاستطارة والحيود د-جميعها صحيحة

9- ان حالة التأهيل العكسي لنظام ذري ذي مستويين طاقة $E_2 \& E_1$

أ- $N_1=N_2$ ب- $N_1>N_2$ ج- $N_2>N_1$ د-جميعها خطأ

10- يتميز ليزر الاربعة مستويات على نظام ليزر الثلاث مستويات ب

أ-كفاءة أعلى ب-يحتاج طاقة ضخ أقل ج-يعمل بالنمط المستمر د-جميعها صحيحة

الفصـــل السادس

تطبيقات الليـــزر Lazzer Application

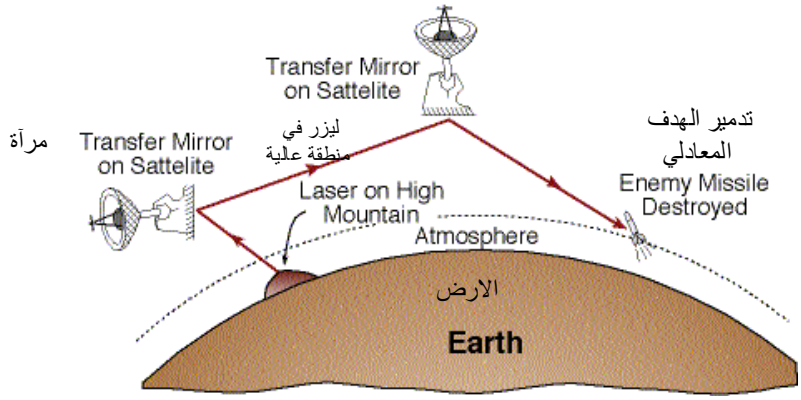
6-1 المقدمة (Introduction)

الليزر له تطبقات عديدة، في مختلف مجالات الحياة، بسبب طاقاته العالية، وصغر زاوية انفراجية. يستخدم في المجالات العسكرية، مثل توجيه المدفعية والصوراخ والبندقية الليزرية وفي مجالات الفضاء والبيئة والزراعة والصناعة، وقياس المسافات الصغيرة او الكبيرة جداً بدقة عالية. وفي عمليات القطع الصناعي والعمليات الطبية التشخيصية، والعلاجية مثل، رأب الوعاء، (القسطرة) تشخيص وعلاج الخلايا السرطانية، طب الجلد التجميلي، ازالة الشعر، وازالة الوشم. والاجهزة الالكترونية لتشغيل الاقراص الضوئية وفي العلوم الفيزيائية والكيميائية.

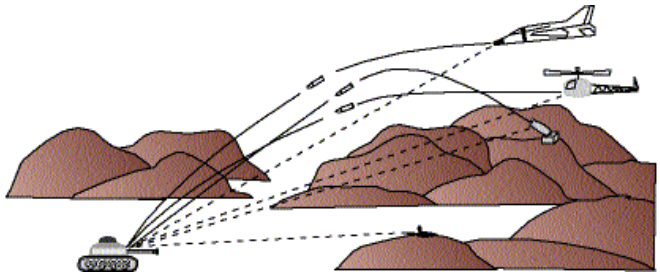
6-2 استخـــدام الليزر عسكرياً:

أصبحت آشعة الليزر وأجهزتها في الوقت الحاضر، من الوسائل الأساسية في التسليح العسكري مثل:-

1- حرب النجوم. كما في الشكل (6-1) أ، ب



شكل (6-1)أ،ب يمثل استخدام الليزر في حرب النجوم



شكل (6–1) ب يمثل استخدام الليزر في حرب النجوم

تستخدم تقنيات الليزر في حرب النجوم وهذا الاسم الذي اطلقته الولايات المتحدة على نظام الدفاع ضد الصواريخ المهاجمة من الفضاء بأن ترسل حزمة من نبضات الليزر اما من محطة ارضية على جبل مرتفع أو من اقمار صناعية في الفضاء ذات طاقة هائلة تسير بسرعة الضوء وتصيب تلك الصواريخ وهي في الفضاء مباشرة بعد اطلاقها.

2- تحديد مواقع و مسافات(بعد) الأهداف بدقة عالية، مثل: جهاز جي بي اس. كما في الشكل (6–2) وهذا الجهاز يعمل بالأسلوب نفسه الذي استعمل في قياس المسافة بين الأرض والقمر، وذلك بإرسال نبضات ليزر دقيقة على الهدف، والتقاط النبضات المنعكسة، ويتم حساب المسافة وموقع الهدف آلياً. والطائرات المقاتلة الحديثة والطائرات الحربية تستخدم هذه الأجهزة المتطورة لتساعد الطيار على حساب ارتفاعه من سطح الأرض للتحليق عالياً أو منخفضاً حسب الموقف.

شكل (6–2) يمثل جهاز تحديد المواقع (جي بي اس)

3- يستخدم الليزر في توجيه الصواريخ والمدفعية نحو الهدف كما في الشكل(6-3)أ،ب ، يعمل جهاز تحديد المسافة بأصدار نبضات ليزرية دقيقة محددة نحو الهدف، وترتد هذه النبضات عن الهدف في اتجاهات مختلفة – يتم التقاطها بجهاز الاستقبال المثبت في رأس الصاروخ. هذه النبضات المرتدة توجه الصاروخ نحو الهدف المقصود.

شكل(6-3) أ. توجيه المدفعية نحو الهدف

شكل(6-3) ب. توجيه الصواريخ نحو الهدف

4- الاستخدام في التفجير عن بعد أو توجيه القذائف وفي تعقب الهدف مهما كانت سرعته وقدرته على تغيير وجهته.

5- ابطال مفعول اجهزة الخصم الالكترونية. وقد انتشر استخدام الليزر في نظم التسليح المختلفة خلال السنوات الأخيرة انتشاراً خطيراً، وكان له أثر بالغ في زيادة فاعليتها، فأصبحت معدات الليزر تتداول من الجندي المشاة، دخلت في نظم الحرب ضد الصواريخ الباليستية. ويستخدم أنواع الليزر حالياً في نظم التسليح في حيز الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء، وإن كان النوع الأول، الذي يقع في حيز الضوء المرئي، غير مستخدم حالياً على نطاق واسع؛ لأنه يقع في نطاق الضوء الأحمر، مما يجعله سهل الاكتشاف. ومن الناحية الأخرى، فإن الليزر الذي يقع في حيز الأشعة تحت الحمراء حديث الاستخدام في التطبيقات العسكرية، ويمتاز بالعمل في حيز الأشعة تحت الحمراء البعيدة، مما يحقق له قدرة على اختراق الضباب والدخان والأمطار،

6- الاستخدام في نظم الرؤية السلبية بالاستشعار الحراري، نظراً لعمله في النطاق الموجي نفسه، فيمكنه بالتالي التعامل مع الأهداف نفسها التي ترى بالمنظار الحراري.

الاستخدامات العسكرية لأشعة الليزر، تنفذ من خلال الاجهزة الاتية:

1-جهاز رادار الليزر

تعرف أجهزة رادار الليزر باسم "ليدار" LADAR، وهي الحروف الأولى من عبارة Laser Detection And Ranging، وتعني " الكشف وقياس المدى بواسطة الليزر". وهذا النوع من الرادار يتميز بدقته العالية في كشف، ومتابعة، وتعيين، الأهداف. وهنا تستخدم أشعة الليزر في الإرسال، بدلاً من الأشعة الرادارية، ويكون جهاز الاستقبال كهروضوئياً بدلاً من المستقبل الإلكتروني التقليدي في الرادار. وتستخدم لذلك أنابيب "فيديوكون" Videocon، بدلاً من أنابيب أشعة المهبط Cathode Ray Tube (CRT) . (الجدول رقم 6-1) يبين مقارنة بين بعض خصائص جهاز الليدار، الذي يستخدم ليزر الياج، وجهاز الرادار التقليدي. ويستخدم جهاز الليدار في القياس والاستشعار وكما يلي:

1. قياس المدى من القواعد الأرضية، أو من السفن، أو من الطائرات والمركبات الفضائية.

2. الاستشعار عن بعد، لدراسة مكونات الغلاف الجوي وقياس بعض المكونات الكيماوية فيه. ويتكون جهاز رادار الليدار بوجه عام من المرسل و أجهزة ضوئية للإرسال و مستقبل يتكون من أجهزة ضوئية لتجميع الأشعة المنعكسة من الهدف، ثم مرشح Filter ليقلل من تداخل الموجات الضوئية. الشكل (6-5) يمثل جهاز الرادار

شكل (6-4) يمثل جهاز رادار الليزر

جدول رقم (6-1) مقارنة بين الليدار(يستخدم ليزر الياك) والرادار

المواصفات	الرادار	الرادار
طول الموجة	3-10سم	3-10سم
القدرة	في حدود الكيلوواط	في حدود الكيلوواط
عرض النبضة	في حدود الميكروثانية	في حدود الميكروثانية
مجسم الإشعاع	وفقاً لتصميم الهوائي	وفقاً لتصميم الهوائي
زاوية انفراج الشعاع	2-3درجة	2-3درجة
دقة قياس المدى	في حدود 100م	في حدود 100م

2- جهاز قياس المســـافة

تعتمد نظرية تشغيل جهاز قياس المسافة بالليزر على إطلاق نبضة ليزر. تصل إلى هدف مرئي ضوئياً، فتنعكس منه هذه النبضة إلى جهاز الاستقبال، وتقوم دوائر خاصة بحساب الزمن من لحظة الإطلاق حتى عودة النبضة، وبالتالي حساب مسافة الهدف، علماً أن سرعة انتشار الموجات الضوئية معلومة. وعلى هذا الأساس فإن الجهاز يتكون من تليسكوب للتصويب، حتى يتمكن المستخدم من تحديد الهدف المراد تقدير مسافته و ومرسل يحتوي على مصدر الليزر، وغالباً ما يستخدم في الأغراض العسكرية و مستقبل، وقبه الكاشف (Detector). وتدخل معدات قياس المسافة في أغلب النظم الميدانية، ابتداء من الجندي الذي يحمل معدة مدمجة في نظارة الميدان، لقياس مسافة الهدف بدقة كبيرة، إلى نظم إدارة النيران لطاقم المدفعية، ونظم إدارة النيران للدبابات. وتكون الأخيرة المرتبطة والمدمجة ضمن حاسب إدارة النيران. أن ليزر ثاني أكسيد الكربون له دور فعال في نظم تقدير المسافة، وإدارة نيران المدرعات، يستخدم في إنتاج مقدرات مسافة بالليزر ليزر ثاني أكسيد الكربون، بدلاً من ليزر "الياج"، متكاملاً مع أجهزة الرؤية الليلية الحرارية، مما يسمح باستخدام الكاشف الحراري للرؤية الليلية والتصويب نفسه، مما يؤدي الى تقليل كلفة المعدة العسكرية المتكاملة. ويتميز ليزر ثاني أكسيد الكربون بأن درجة نفاذيته خلال السحب والدخان أفضل من الأنواع الأخرى، مثل الياك أو الياقوت. ويرجع ذلك إلى أن تأثير ذرات الغبار والدخان يزداد عكسيا مع الطول الموجي، فكلما قل الطول الموجي كلما زادت درجة تشتت الشعاع. الطول الموجي لليزر ثنائي اوكسيد الكاربون يكون ليزر عالي نسبياً، ولا يتأثر بالغبار والدخان، ولكن العامل المؤثر على انتشار موجات ليزر ثاني أكسيد الكربون هو نسبة بخار الماء في الهواء.

في الشكل رقم (6-4) نوضح فكرة استخدام الليزر في توجيه القذائف حيث تقوم الطائرة بتوجيه نبضات من اشعة الليزر الغير مرئية على الهدف واجهزة استقبال مثبته على

القذائف الموجهة تقوم بتتبع النبضات المنعكسة عن الهدف إلى ان تصيبه. وهذه التكنولوجيا دقيقة إلى درجة كبيرة مستفيدة من حزمة الليزر المستقيمة وسرعة انتشار الليزر وامكانية التحكم في النبضات التي تكون عبارة عن شيفرة من الصفر والواحد التي يفهمها الكمبيوتر الموجه للقذيفة.

6-3 التطورات المستقبلية لاستخدامات الليزر عسكرياً :

أ- البندقية الليزرية:

تم ابتكار بندقية الليزر، يسلح بها جندي المشاة. هذه البندقية يبلغ وزنها 12 كجم قادرة على إطلاق قذائف الضوء، أو ومضات ضوئية على الأهداف الحربية المطلوبة دون إحداث صوت. و بهذه الومضات الضوئية يمكن من بعد إشعال الملابس والأخشاب وتفجير المواد المتفجرة، كما أنها قادرة على إصابة الأفراد بالعمى المؤقت (لعدة ساعات) إذا وجهت إليهم هذه القذائف من مسافات بعيدة. أما إذا استخدمت في الرمي على الأهداف من مسافات قريبة فإن حرارة الضوء المسلط الذي تطلقه أجهزة الليزر تكون بمثابة إشعاع مميت للفرد و تبلغ قوتها 100 مليون وات / السنتيمتر المربع. والشكل(6-5) يمثل البندقية الليزرية.

والشكل(6-5) يمثل البندقية الليزرية.

ب– المدفعية الليزرية:

اخترع مدفع ليزر جديد، يوضع على ناقلة جند مدرعة، يسمى هذا المدفع بـ Army Mobile Laser Gun – وبإطلاقه حزمة آشعة الليزر يمكن أن يضرب هدفه خلال ثوان فقط؛ أي أقل بكثير من الوقت الذي استغرقه الصاروخ للوصول إلى الهدف نفسه. كما ساعد الليزر على اختصار الزمن المطلوب لتقدير المدى وكشف الأهداف. وأسهم في تجاوز مشكلة الخطأ المسموح به أو المحتمل، وعلى ذلك باتت القوات البحرية – الجوية – البرية للدولة المتقدمة صناعياً– مجهزة بوسائل تقدير مسافة ضمن زمن قياسي يبلغ 0.001 من الثانية وبنسبة خطأ 0.4م وهذا يعني أنه أصبح بمقدور الأسلحة أن تفتح النيران علي الأهداف في وقت قصير جدًا، وبدقة متناهية في إصابة الهدف، محقق النوعية الجيدة بكلفة قليلة واقل وقت. أن استخدام الليزر أدى إلى مضاعفة المساحة المكتشفة بجوالي عشرة أضعاف، فضلاً عن أن سرعة الكشف تزداد هي الأخرى بالنسبة نفسها. والشكل(6–6) يمثل المدفعية الليزرية.

والشكل(6–6) يمثل المدفعية الليزرية.

وهناك أبحاث عسكرية فى هذا المجال للحصول على أشعة الموت "شعاع الموت" وهناك نوع خاص من المولدات الغازية الديناميكية لليزر يمكنها تدمير الأهداف الجوية الموجودة على مسافات تصل إلى ميلين وتقف التطبيقات العسكرية عند هذه الدرجة من القوة نظرا للمعوقات الجوية ومتطلبات الامان ومنها مثلا شعاع الليزر الشديد القوة، يشحن الهواء نفسه مما يتسبب بالتالى فى تشتيت الشعاع.

6-4 استخدام الليزر لدراسة طبقـــات الأرض:

أ. معرفة مكونات الصخور:

نتيجة قدرة الليزر على اختراق الصخور لأعماق طويلة عن طريق تبخير مكوناتها، هذا البخار المتصاعد يوجه في نفس خط الحفر إلى جهاز مطياف Spectroscope، لمعرفة مكونات الصخور من العناصر المختلفة والنسبة المئوية لتواجدها، والميكانيكية الرئيسة في استعمال الليزر للتعامل مع المواد هي العملية الثنائية في الإذابة والتبخير. ان الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطوح المواد بتركيز حزمة الليزر تتعرض الى:

1- جزء منها يعكس والجزء المتبقي يستخدم لذوبان المعادن وتبخيره.

ب. في المناجم

لمعرفة مكونات الصخور من المعادن المختلفة

ج. حفر الآبار

يستخدم في حفر الآبار البترولية والكشف عن كميات ومعدلات وجود البترول والمواد الأخرى المصاحبة لها، وأعماقها الأرضية، ونوعية التربة.

6-5 الحاسبـــات:

يستخدم الليزر فى الحاسبات من خلال:

1. تخزين وحذف معلومات
2. تغيير لون بعض المواد إذا ما تعرضت لشعاع ليزر متغير الشدة وتسمى بالمواد

"الفوتوكرومك"

3. كتابة مجموعة من النقط على بلورة ويمكن قراءة هذه المعلومات
4. تخزين كمية هائلة من المعلومات فى مساحة ضيقة
5. الإندماج النووي الحرارى من اكثرتطبيقات الليزرأهمية. ولقد أجريت كثير من الأبحاث والتجارب في هذا المجال للوصول إلى نموذج أولي صالح يلزم مجرد فترة زمنية محدودة عند درجات حرارة مرتفعة أو الضغوط العالية. ان تخليص ذرات الهيدروجين من الإلكترونات وتتجمع نوى الذرات بعضها نحو بعض وبإرتفاع الحرارة والضغط لدرجة كافية يصبح من الممكن إدماج نواتين من الهيدروجين مكونة بذلك نواة هليوم ويصاحب العملية نقص في الكتلة وبالتالي إطلاق الطاقة. عند قذف كرة من الهيدروجين بإستخدام ومضة من أشعة الليزر ترتفع درجة حرارة الكرة إلى عشرة ملايين درجة مئوية فتنصهر على الفور وتتجزأ وتتحد محدثة قوة رهيبة وفى نفس الوقت يسبب ذلك حدوث إنفجار داخلى مكافىء ومضاد حيث يضغط على الهيدروجين حتى يوصلها للضغط اللازم لإحداث الإندماج. ان العيب الأساسى التقنية الاندماجية هو توليد أشعة من الليزر متناهية الشدة

6-6 الـــزراعة:

تستخدم اشعة الليزر في الزراعة:

1. لتعفير والتعقيم للبذور من خلال تعرض الحنطة لأشعة الليزر
2. تحدث تشوهات جنينية في الذور مما يؤدي ذلك إلى زيادة الإنتاج بمقدار 80%. وتطوير نوعها
3. إمكانية التعقيم، قتل البكتيريا والجراثيم الضارة بأشعة الليزر
4. تسوية الاراضي الزراعية
5. تفاؤل واعد بمستقبل في الزراعة. الشكل(6-7) يمثل عملية تسوية الاراضي الزراعية

بالليزر ومكافحة الأفات الزراعية.

والشكل(6-7) يمثل عملية التسوية بالليزر.

6-7 رسم المخططات

تستخدم أجهزة الليزر في

أ. القياس الدقيق للمسافات والزوايا، بما يمكن من تحديد الطبقات الأرضية.

ب. رسم التضاريس، عن طريق تركيب جهاز رادار ليدار في طائرة لرصد المرتفعات والوديان بدقة عالية.

ج. تحديد استقامة المستويات بدقة، إذ يتم التأكد من استقامة المباني العالية.

د. تحديد أماكن مد خطوط أنابيب الغاز والبترول والماء والصرف الصحي، وكيبلات الاتصالات لمسافات بعيدة، وفي بناء الجسور وحفر الأنفاق.

هـ. قياس أعماق البحار والمحيطات ورسم خرائط للقاع، حيث إن هذا النوع من الأشعة يمكنها اختراق الماء إلى عمق عدة مئات من الأمتار.

و. قياس التحركات- الصغيرة جداً- التي تحدث في القشرة الأرضية أثناء الزلازل، أو عندما تجرى تجارب نووية تحت الأرض.

6-8 في مجـــال البيئـــة

يستخدم الليزر في:

أ. مراقبة تلوث الهواء والماء بواسطة التحليل الطيفي .

ب. فحص تصريف المواد الكيماوية من المصانع.

ج. الكشف وتحديد نسب مستوى الغازات والجسيمات الدقيقة في عوادم السيارات، ومداخن المصانع، والتي تؤدي إلى تلوث البيئة. ومن أخطر هذه الجسيمات، الزنك، والخارصين، والكادميوم، والرصاص. ومن الغازات الخطرة أول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت).

د. مراقبة مستويات الأبخرة القابلة للاشتعال للوقاية من الحرائق.

هـ. قيـــاس سرعة الريح بواسطة جهاز يعمل بالليزر موضوع على الطائرات المدنية ان هذا الجهاز يعمل استناداً على مبدأ العالم "دوبلر" Doppler الذي اكتشف ظاهرة اختلاف تردد الذبذبات الصادرة أو المنعكسة، من المصدر، وجهاز القياس. يقوم هذا الجهاز بإصدار حزمة من ضوء الليزر، ثم يقوم النظام الكهروبصري وباستقبال الأشعة المنعكسة التي تبعثرها ذرات الجو، وتقوم بتحليلها لاستخراج الفرق بين تردد الشعاع المنبعث وتردد الأشعة المنعكسة، والملائم في اللحظة.

6- 9 في مجـال الفضاء

تستخدم الليزر في:

أ. عمليات استعادة الأقمار الصناعية التالفة بواسطة مكوك الفضاء، بأستخدام منصات عاكسة فوق هذه الأقمار لتعكس أشعة الليزر إلى جهاز الكمبيوتر الموجود في المكوك، ليتمكن من تحديد قياسات دقيقة لموقع القمر المطلوب استعادته، ومن ثم يتم توجيه المكوك في الاتجاه الصحيح ليمد ذراعاً آلياً، ويجذب القمر إلى داخل المكوك.

ب. الكشف عن وقوع ظاهرة "قص الريح" Wind Shear، ذات الأثر الخطير على الملاحة

الجوية، لأخذ الحيطة في حالة حدوثه فوق موقع إطلاق مكوك الفضاء، وما يجاورها في الغلاف الجوي، خاصة في الطبقات العليا منه، وهذا الجهاز عبارة عن جهاز رادار يعمل بأشعة الليزر من أشباه الموصلات.

6-10 في مجال الصناعات

ادخل الليزر في التطبيقات الصناعية منذ اول اكتشافه في 1960. وبالاخص في:

أ. القياسات measurements وفي الترتيب alignment للاجهزة البصرية وانابيب الضخ وخطوط الكهرباء واجهزة القياس.

ب. عمليات التصنيع كالقطع واللحام والصهر والتبخير وفي الحفر على الزجاج وفي تصنيع الدوائر الإلكترونية المتكاملة حيث يدخل الليزر في صناعة الإلكترونات Resistors المختلفة من تقليم وتفصيص دقيق لأبعادها، إما يدوياً أو آلياً وذلك يعطي حجمًا، وقيمة كهر بائية لمقاومة دقيقة جدًا، بالإضافة إلى الحفر في المواد المختلفة لتكوين المتسعات المتناهية الصغر. كما في الشكل(6-8) يمثل زيادة صلادة المعدن.

ج. لحم ووضع العديد من الدوائر الإلكترونية الدقيقة الصغيرة الحجم المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية المختلفة ان للقدره العاليه لشعاع اليزر والتي هي اكبر من 100 واط.

د. ثقب اصلب المواد مثل الماس وتستخدم حاليا على نطاق واسع في صناعه السيارات في الدول المتقدمه للاسباب التاليه

1- ان التسخين يشمل جزء يكون اقل بكثير من الطرق الاخرى

2- امكانيه الوصول الى اماكن يصعب الوصول اليها وسرعة التنفيذ.

3- السرعه العاليه في التنفيذ فسرعه اللحام اعلى بعشر مرات من سرعه احسن جهاز قوس كهربائي

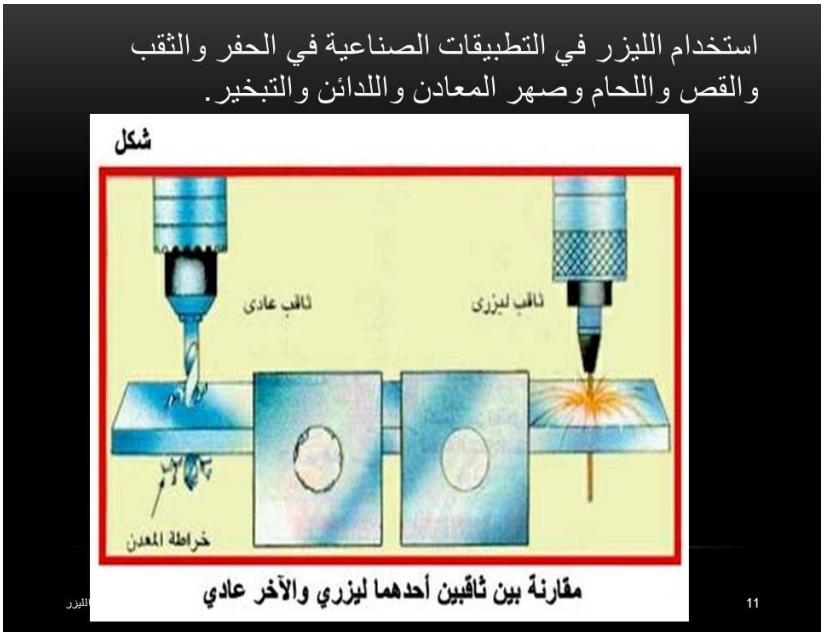
4- سهوله ان تكون العمليه اوتماتيكيه

5- امكانيه الحصول على عمليات جديده لسرعه انصهار المعادن.

6- عدم أتلاف الة اليزر اثناء العمل بها

7- عدم أصدار ضوضاء اثناء العمل.

8- يستخدم ليزر ثاني أكسيد الكربون، أو ليزر الياك على نطاق واسع في صناعات الإلكترونيات والحواسب والسيارات وهياكل الطائرات، وأكثر الاستخدامات شيوعاً لحام المعادن. ويمكن باستخدام عدسات ضوئية تركيز طاقة أشعة الليزر في نقطة البؤرة (Focus) على مساحة ضيقة جداً، باستخدام عدسات ضوئية درجة حرارتها أكثر من مائة ألف درجة مئوية، فتتبخر المادة، وهذا يؤدي إلى قطع ولحام وحفر الأجسام المعدنية المختلفة، كأجزاء السيارات والطائرات، والمواد الزجاجية والبلاستيك، والخزف. وفي هذه الحالات لا تجد الحرارة وقتاً كافياً لتسري داخل المادة فتسبب التشققات أو تتلفها. ويستخدم في هذه الأغراض الليزر النبضي الذي يوفر حزماً ذات طاقة عالية من أشعة الليزر.



الشكل(6–8) مقارنة بين ثاقبين أحدهما ليزري والاخر عادي

6-11 في مجال نسخ المعلومات:

يستخدم الليزر في:

1- حل الرموز المختلفة سواءً كانت كتابات معينة أم رموز تجارية أم مصطلحات مخفية، حيث إن شعاعه الدقيق يمكن أن يتحرك حول الرموز، ويمكن كشف الحزم المنعكسة منها أو النافذة بأجهزة خاصة تعطي صورة دقيقة عن ماهية هذه المعلومات، وإذا ربطت هذه الأجهزة بالكمبيوتر استطاع آلياً برمجة عمله لإعطاء الكشف الواضح أو نسخ ونقل المعلومات. ومن الأعمال الأخرى في التسجيل بشعاع الليزر

2- نقل المعلومات من أجهزة المراصد الفلكية، ونقل وصف خطوط المطابع الورقية

3- التسجيل التلفزيوني وقراءة الميكروفيلم والكتابة منه على مواد مختلفة إما مباشرة أو باستخدام محولات كهروستاتيكية والعمل جاري لإيجاد مواد جديدة حساسة لضوء ا لليزر الهيليوم – نيون. و من فوائد الليزر في عمليات التسجيل، والنسخ

4- السرعة العالية جداً التي لا يحققها أي جهاز ميكانيكي أو إلكتروني آخر.

5- التحليل التقني الذي لا يحتوي على ذبذبات تداخلية أو ضوضاء صوتية.

6- السيطرة على استعماله عند ربطه بأجهزة الكمبيوتر وأجهزة التنظيم الصوتية والضوئية.

7- الليزر الذي يعمل في منطقة الاشعة فوق البنفسجية البعيدة يقتل الخلايا الحية مثل RNA و DNA.

8- الليزر الذي يعمل في منطقة الاشعة فوق البنفسجية القريبة يحدث تفاعل كيميائي مع مكونات الخلايا.

9- الليزر الذي يعمل في منطقة الاشعة المرئية يحدث تأثير حراري على الخلايا لامتصاصها طاقة الليزر.

6-12 التطبيقات الطبـــية

يستخدم الليزر في التطبيقات الطبية بصورة واسعة هذه التطبيقات تعتمد على:

أ. نوع المعالجة كأن تكون تطبيقات الليزر في الجراحة أو في مجال طب الاسنان أو طب العيون.

ب. نوع الليزر المستخدم في الطب مثل ليزر ثاني اكسيد الكربون او ليزر النيتروجين او ليزر الاكسيمر

طبيعة المعالجة مثل تطبيقات الجراحة او لحام الاوعية الدموية او التشخيص..والتقسيم الاخير اكثر استخداماً ولفهم تطبيقات الليزر في الطب يجب معرفة العلاقة بين اشعة الليزر المختلفة والخلايا الحية. وهذه العلاقة تعتمد على خصائص الليزر من حيث طوله الموجي، وشدته، وشكله عند سقوطه على الجسم المراد علاجه. يمكن تغيير الطول الموجي من خلال تغيير نوع الليزر والتحكم بشدة الاشعة يتم من خلال التحكم في زمن تسليط الليزر وقوة الضخ المستخدمة أما شكل حزمة اشعة الليزر فيتحكم بها من خلال عدسات التركيز المستخدمة. يساعد الليزر في الطب على العمل بدقة عاليه عن طريق التركيز على منطقة صغيرة وبقليل ومخاطر قليلة بالمناطق المجاورة من منطقة العملية حيث يكون الالم والضرر بالانسجة اقل مقارنة بالعمليات الجراحية التقليدية ولكن يكون العلاج بالليزر باهظ الثمن ويحتاج الى العديد من الجلسات العلاجية، فإذا اعتبرنا ان طاقة اشعة الليزر في حدود واط واحد فإنه يمكن بتغيير الطول الموجي التحكم في طبيعة العلاقة بين الليزر والخلايا الحية عند استخدام الليزر في العمليات الطبية يجب معرفة ما يأتي:

1- معرفة كيفية التحكم بشعاع الليزر بدقة عن طريق الكمبيوتر، ويستطيع الجراح إجراء أكثر العمليات الجراحية تعقيدا على أعلى مستوى من الدقة أكثر مما يمكن فعله بواسطة المعدات الميكانيكية التقليدية .

2- سهولة تحديد المنطقة المراد يعالجها لقلة الادوات الميكانيكية التي يستخدمها الطبيب

3- امكانية الليزر كي الصفائح الدموية أثناء عملها مقللا فقدان الدم أثناء الفتح اللازم لإجراء العملية الجراحية وبالتالي تكون المنطقة التي يراد اجراء العملية الجراحية أكثر وضوحا .

4- لان أيدي الجراح وأدواته الجراحية لن تكون في اتصال مباشر مع جسدالمريض وخاصة المنطقة المفتوحة التي تجرى فيها الجراحة، احتمال حدوث العدوى من أي نوع يكاد ينعدم .

5- يقوم الليزر بكفاءة عالية بعملية التخلل في المنطقة التي يتم فيها العلاج بدون جرح كبير للنسيج المحيط، يؤدي ذلك إلى التقليل من مخاطر مضاعفات مابعد الجراحة ونتيجة لذلك تستغرق جراحة الليزر وقتا أقل، كما أن التماثل للشفاء يكون في وقت أقل من الجراحات التقليدية، وأكثر ما يلاحظ هو أن جراحة الليزر تترك آثارا أقل كما أن الألم الناجم من الجراحة يكون أقل. وقد تم استخدام المنظار الضوئي للكشف ومعلجة كثير من الامراض.

ان المنظار الضوئي Endoscope ذو الألياف البصرية عبارة عن أنبوب يسمح للطبيب بأن ينظر في داخل جسم المريض. واصبح ذو قيمة عملية بعد تطوير الألياف البصرية التي صممت لنقل خلالها، حتى إذا انحنت. وهذا المنظار من المرونة والصغر بحيث أن الطبيب يستطيع أن يدخل واحداً منها عبر حنجرة المريض لكي ينظر في داخل معدته، أو الأمعاء. ويستخدم الأطباء اليوم هذا المنظار بشكل روتيني لفحص الأعضاء الداخلية.ونضرا لما لمشرط الليزر من مزايا فانه يستخدم في مجالات طبية مختلفة

تدمير الانسجة في حالات ضغط العين لعمل فتحة في الشبكة عند وجود الضغط.

1- طب العيون:

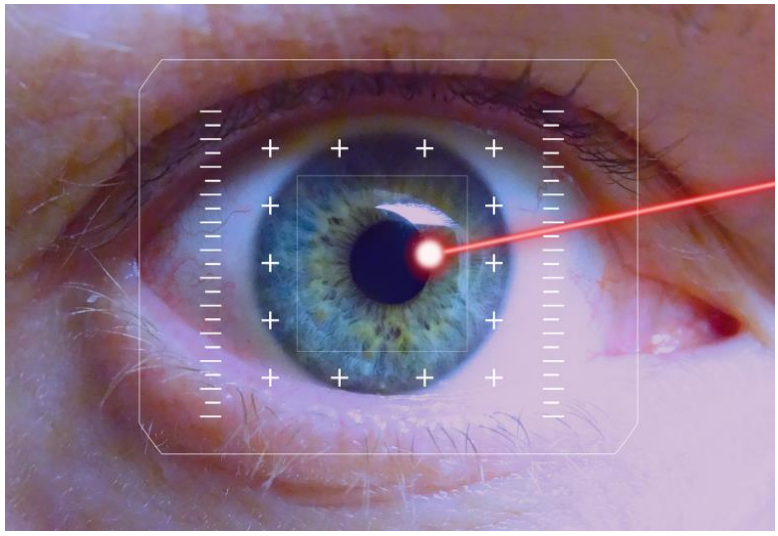
يستخدم الضوء الأزرق (الليزر) في

أ- سد ثقب في الشبكية، أو لعلاج زرقة العين، المعروفة بالجلوكوما، التي قد تسبب العمى،

ويتم ذلك بإحداث ثقب يسمح بخروج السوائل الزائدة. أو قد يستخدم لإنقاذ بصر شخص مصاب بمرض الشبكية الناتج عن السكري بتدمير الأوعية الدموية غير الطبيعية التي يسببها هذا المرض. فمن المعروف أن مرض السكري يؤثر على شبكية العين وشعيراتها الدموية الدقيقة فتصبح الشبكية قابلة للنزف والانفصال عن مهدها في قاع العين، وتصبح العين مهددة بالعمى. وبإطلاق شعاع الليزر بدقة، وبجرعات محسوبة في مناطق محددة من الشبكية، فإنه يحدث بها نوع من الكي phatocagulation الذي يوقف النزيف، ويمنع تشعب الشعيرات الدقيقة غير المرغوب فيها، ويحدث قدراً من التليف المحدود، يؤدي إلى تثبيت الشبكية في مكانها، فلا تنفصل عنه.

ب- علاج قصر النظر، حيث تتجمع الأشعة الضوئية الساقطة على العين في بؤرة أمام الشبكية بعيداً عنها، مما يؤدي إلى قلة وضوح الرؤية، إلا مع استخدام عدسات خاصة تجمع الأشعة في بؤرة على الشبكية، أمكن استخدام أشعة الليزر من أجل تقليل سمك قرنية العين الشفافة بواسطة إزالة بعض الأنسجة الزائدة من سطحها، فتقل قدرة العين على إحداث انكسار في الضوء، وتتجمع الأشعة الضوئية على الشبكية، دون الحاجة إلى استخدام النظارة.

ج- علاج القرنية (المخروطية) تصحيح النظر –ضغط النضر- المياه البيضاء- علاج شبكة العين حيث يتم ترميم الانسجة في حالات ضغط العين لعمل فتحة في الشبكة عند وجود ضغط. والشكل (6-9) يوضح معالجة العين بالليزر.



الشكل(6-9) يمثل استعمال ليزر في علاج العيون

2-عـــلاج الجلد

يستخدم ليزر الأرجون لإزالة

1. البقع التي تسببها زيادة نمو الأوعية الدموية الموجودة في الجلد. أشعة ليزر الأرجون الزرقاء
2. فتقضي الأشعة الممتصة على مئات الأوعية الدموية الزائدة، والمتركزة تحت الطبقة الخارجية للجلد مباشرة، إذ تزيل لونها.
3. معالجة الندوب، الجلد، وازالة الشعر، وازالة الوشوم.
4. وعلاج الميلانوما وهو شكل خطير من اشكال سرطان الجلد قابل للمعالجة اذا تم اكتشافه في المراحل الاولى (صورة).

3-عـــلاج الأسنان

تستخدم أشعة الليزر في علاج تسوس الأسنان، وذلك عن طريق توجيه الأشعة إلى:

أ. حرق مكان التسوس ، ومن ثم منعه من القضاء على السن تماماً. وفي هذه الحالة لا يستخدم تخدير موضعي.

ب. تنضيف المناطق السوداء في الأسنان – التسوس– من خلال امتصاصها أشعة الليزر. أما المناطق البيضاء – السليمة لاتتأثر لانها تعكس الأشعة.

ج. تثقيب الأسنان لغرض تثبيت الحشوة ، او أطقم الأسنان الصناعية. والشكل(6-10) يوضح علاج الاسنان بالليزر

والشكل(6-10) يوضح علاج الاسنان بالليزر

4-عــلاج الجهاز الهضمي

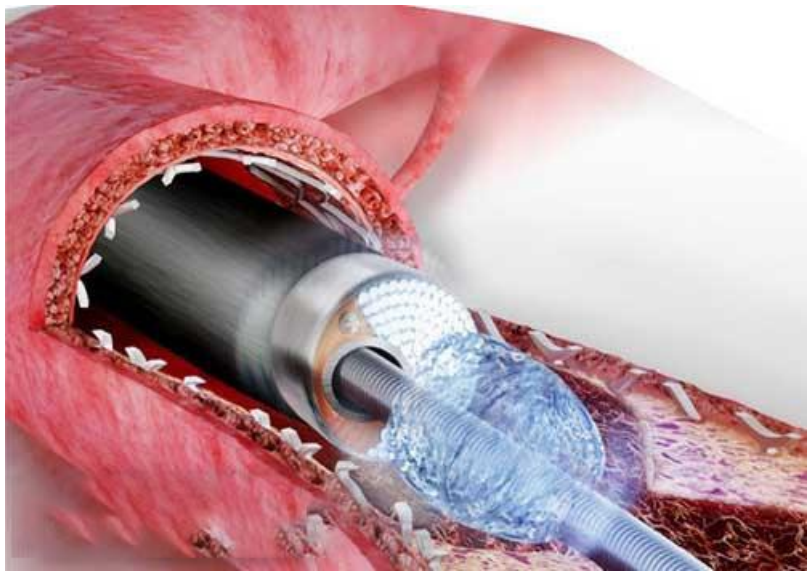
تستخدم أشعة الليزر في علاج الأمراض التي تصيب المعدة، وخاصة قرحة المعدة، وهي عبارة عن نزف شرايين في داخل المعدة، عن طريق استخدام المنظار الضوئي "اندوسكوب"Endoscope. وتقوم أشعة الليزر بتسخين نهايات الشرايين التي تنزف ولحامها. والميزة الحقيقية لليزر هنا، هي أنه يعطى شعاعاً ضوئياً مركزاً بسهولة داخل الألياف البصرية دون فقد فعلي في الطاقة.

5- أمراض القلب

يمكن استخدام أشعة الليزر في علاج أمراض القلب من خلال:

1- فتح قنوات جديده الى القلب للمرضى الذين يعانون من الذبحه الصدريه.

2- علاج انسداد الشرايين، من خلال إدخال قساطر دقيقة من فتحة في الجلد إلى داخل الأوردة والشرايين. وتلك القساطر عبارة عن ألياف زجاجية تحمل الأشعة المكثفة إلى مناطق الانسداد لإذابة الجلطات الدموية، وتوسيع بعض الشرايين الضيقة المتصلبة من الداخل، فيعود الدم للسريان الطبيعي فيها. والشكل(6-11) يمثل استعمال ليزر بفتح الشرايين المسدودة



والشكل(6-11) يمثل استعمال ليزر بفتح الشرايين المسدودة

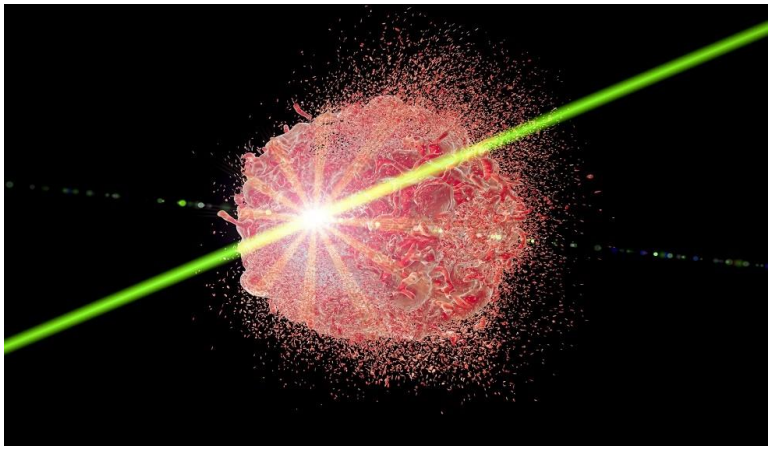
6-13 معالجة السرطان:

يستخدم الليزر لتقليص وتدمير

1. الاورام السرطانية او الاورام الصغيرة قبل تطويرها الى اورام سرطانية،
2. وعلاج السرطانات السطحية التي تظهر على سطح الجسم او سطح الاعضاء الداخلية

مثل انواع سرطان الجلد والمراحل الاولى من سرطان عنق الرحم او القضيب، وانواع معينة من سرطان الرئة

3. تصوير الثدي بواسطة اشعاع الليزر
4. تحقق من الامراض المتوسطة او الشديدة المرافقة لتضخيم البروستات او ما يعرف بتضخم البروستات الحميد. **والشكل رقم(6–12)** يمثل معالجة اورام سرطانية

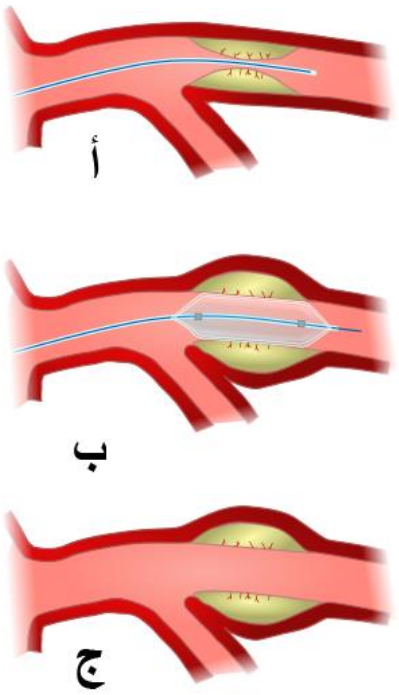


والشكل رقم(6–12) يمثل معالجة اورام سرطانية بالليزر

6–14 استخدامات متنوعة لليزر في الطب

1. تنضيف العوالق الدهنية القاسية التي يمكن ان تتجمع على جدران الشريان.
2. ازالة حصوات الكلى.
3. رأب الاوعية (القسطرة): وهي تقنية تستخدم لتوسيع الشرايين الضيقة او المسدودة وتتم من خلال: ادخال بالون فارغ ومنخفض على سلك يعرف بالقنطار البالوني ثم ينفح لحجم محدد باستخدام ضغط هواء يتراوح من 75–300 مرة يقدر ضغط الدم الطبيعي (6–20) وحدة ضغط جوي، يسحق البالون الرواسب الدهنية ويفتح الوعاء الدموي، ثم يفرغ البالون من الهواء ويسحب. او القسطرة هي عملية جراحية الهدف منها فتح الاوعية الدموية

المغلقة التي تزود عضلة القلب بالدم. كما في شكل (6-13) أ-ب-ج



4.

الشكل (6-13) يمثل عملية رأب الاوعية

أ ادخال بالون فارغ-ب يمثل نفخ البالون بالهواء-ج تمثل فتح الشريان

6-15 تطبيقات الليزر في الفيزياء والكيمياء

تستخدم الليزر في:-

أ-الفيزياء

ب- الكيمياء

1- دراسة تعامل الاشعة الكهرومغناطيسية مع المادة

2- استخدام نبضات شديدة القص بحدود

3- ساعد على ظهور علم الاطياف باستبدال مصادر الضوء التقليدية بالليزر.

1. تشخيص مراتب التفاعلات الكيميائية غير القابلة للانعكاس.

2. تحديد لحظة التفاعل الكيماوي بين المواد باستخدام شعاع الليزر وكاميرا من

نوع فريد، إذ تم تصوير لحظة ميلاد الجزيئات ولحظة التحامها بغيرها، في مدة زمنية لا تتعدى جزءاً من مليون من البليون من الثانية الواحدة. وتمهد هذه النتائج لمعرفة الخلل في تتابع الأحماض الأمينية الذي ينتج عنه الأمراض الخلقية والوراثية، ومن ثم التدخل لعلاجها.

3. فصل المرغوب بها من غير السعة الغير مرغوب

المصادر

1. د. سهام عفيف قندلا، الليزر الاسس الفيزيائية وبعض التطبيقات العلمية، دار الشؤون الثقافية العامة 1992
2. مُحَمَّد كوسا "فيزياء الليزر وتطبيقاته، منشورات دمشق–سوريا، 2006.
3. الدكتور خالد عبد الحميد، الدكتور وليد خلف حمودي (ضوئيات الكم والليزر)–مطبعة التعليم العالي، 1989.
4. A. Yariva opteticel electronics, 3rd edition Holt saunders, Japan 1985.
5. C.K. Kao, optical Fiber systems, technology Design and Application, NC Graw-Hill-1982.
6. D.F. walls, J.D.llarvey, Laser physcs. Accdemic press. A subsiday of Har Coourt. Brass, Jovanovich 1980.
7. E.P valikow, Molecular gas lasers, MIR published Mascow 1981.
8. Electro optics/ lasers, International Conference proceedings Brighton U.K 1984
9. John F. Ready, Robert k. Erf, Laser applications, Academic press inc. 1984.
10. L. Tarasow, Laser physics and applications, MIR publishers 1980.

الفهرست

الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الاول: تفاعل الاشعاع مع المادة (Interaction between Metal and Radiation)	52-1
1–1 المقدمة	1
2-1 الموجاتwaves	2
3-1 الشكل الموجي	2
4–1 أنـــواع المـــوجات	3
5–1 خصائص الموجات	5
6–1 الإشعاع الكهرومغناطيسي electromagnetic radiation	8
7–1 انواع الموجات (الاشعة الكهرومغناطيسية)	11
8–1 إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation	16
قانون ستيفان بولتزمان	18
قانون وينز	18
نظرية رايلي جينز	19
نظرية بلانك لإشعاع الجسم الأسود	21
9–1 امتصاص الاشعاع الكهرومغناطيسي Absorption of electromagnetic Radiation	23
الانبعاث التلقائي(الذاتي)	25
الامتصاص الاستحثاثي(المحفز)	25
الانبعاث الاستحثاثي(المحفز)	26
10–1– التأهيل (التوزيع) الطبيعي والمعكوس	30
11–1–معامل الحصيلة (الربح) للاشارة الصغيرة Small Signal Gain Coefficient	34
12–1– عرض خط الانبعاث (The broadening of emission line)	37
أسئلة الفصل الاول	51

80-53	**الفصل الثاني** **مفاهيم اساسية عن الليزرLASER**
53	**2–1 مقدمة**
55	**2–2– فكرة الليزر**
56	**2–3– خصائص أشعة الليزر (properties of laser)**
57	**2–3–1–أحادي الطول الموجي او (أحادي اللون)** **Monochromaticity**
57	**2–3–2– الاتجاهية Directionality**
58	**2–3–3– التشاكة Coherence**
59	**2–3–4– السطوع Brightness**
59	**2–3–5– شدة الشعاع Intensity of Radialom**
60	**2–4 المكونات الأساسية لجهاز الليزر**
62	**2–5 فكرة عمل الليزر**
71	**3–6 (خطـط) الضـــخ (pump plans)**
75	**2–7 طـــرق الضـــخ pump method**
77	**أسئلة الفصل الثاني**
101-80	**الفصـــل الثالث** **المرنان البصـــريOptical Resontar**
80	**3–1 المقدمة (Introduction)**
80	**3–2 تصميم المرنان**
83	**3–3 أنماط الليزر Laser Modes**
84	**3–4 الامواج الواقفة في اليزر Standing waves in a laser**
89	**الانماط المستعرضة (Modes Transvers)**
93	**اسئلة الفصل الثالث**
112-102	**الفصـــل الرابع** **تكنولوجيا الليـــزر (Lasir Technology)**

4–1 المقدمة Introduction	102
4–2–تعديل نتاج الليزر (Modifing the Laser)	102
4–2–1 (اختيار) خط طيف انبعاث الليزر (Selection of the laser emission lines)	102
4–2–2– التشغيل بصيغة منفردة Single–mode operation	103
4–2–3 اقفال الصيغـــة (Mode Locking)	105
طـرق اقـــفال الصيـــغه Mode Locking Methods	106
4–4 احكام عامل النوعية Q–Switching	108
4–2–4 طرق مختلفة لاحكام عامل النوعية (Q–Switching)	110
الفصل الخامس انواع الليزر (Lazer types)	133–113
5–1 المقدمة Introdution	113
5–2 ليزرات الحالة الصلبة Solid–State–Laser	113
5–3 الليزرات الغازية	117
5–4 ليزر شبه الموصل	121
5–5 ليزر السوائل (الصيغة)	123
5–6 الليزر الكيماوي	127
5–7 ليزر أشعة أكس (السينية)	127
اسئلة الفصل الخامس(أسس عمل الليزر)	129
الفصـــل السادس تطبيقات الليـــزر Lazzer Application	157-134
6–1 المقدمة (Introduction)	134
6–2 استخـــدام الليزر عسكرياً	134
جهاز رادار الليزر	137
جهاز قياس المســـافة	139
6–3 التطورات المستقبلية لاستخدامات الليزر عسكرياً	140

6-4 استخدام الليزر لدراسة طبقـــات الأرض	142
6-5 الحاسبـــات	142
6-6 الـــــزراعة	143
6-7 رسم المخططات	144
6-8 في مجـــــال البيئـــة	145
6-9 في مجـــال الفضاء	145
6-10 في مجال الصناعات	146
6-11 في مجال نسخ المعلومات	148
6-12 التطبيقات الطبـــية	149
6-13 معالجة السرطان	154
6-14 استخدام متنوع لليزر في الطب	155
6-15 تطبيقات الليزر في الفيزياء والكيمياء	156
المصادر	158