



# فيزياء الليزر

كلية التربية  
للفرقة الرابعة أساسي  
شعبة العلوم

اعداد

أ.م.د / عادل جاد الكريم عبادي

د/ علاء حسن سعيد

د/ محمد علوش

قسم الفيزياء – كلية العلوم

تقديم

د/ محمد علوش

٢٠٢٢-٢٠٢٣ م

## المحتوي

الفصل الأول	
أساسيات فيزياء الليزر	
الصفحة	الموضوع
٢	الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية
٦	تفاعل الإشعاع مع المادة
٩	الميزر والليزر
١١	تاريخ تطور الليزر
١٤	شروط حدوث الإشعاع المستحث (الليزر):
١٥	مبدأ عمل الليزر
١٨	تصنيف الليزر
١٩	خصائص ضوء الليزر
٢٣	مكونات جهاز الليزر
٢٧	طرق الضخ
الفصل الثاني	
أنواع الليزر	
٣٢	أنواع الليزر
٣٣	ليزر الحالة الصلبة
٣٧	ليزر الحالة الغازية
٤٩	ليزر السائل
٥٤	ليزر شبه الموصل
٥٧	الليزرات الكيميائية
الفصل الثالث	

تأثيرات الليزر وتطبيقاته	
٦٥	تصنيفات الليزر من حيث المخاطر
٦٧	تأثيرات الليزر
٦٩	تطبيقات الليزر الطبية
٧٥	تطبيقات الليزر في المجالات الأخرى
الفصل الرابع الألياف الضوئية	
٩٢	الألياف الضوئية
٩٣	أنواع الألياف الضوئية
٩٦	مكونات نظام الألياف البصرية
٩٧	مميزات الألياف الضوئية
٩٨	كيف تصنع الألياف الضوئية
١٠٠	تطبيقات عملية على استخدامات الألياف الضوئية

# الفصل الأول

## أساسيات فيزياء الليزر

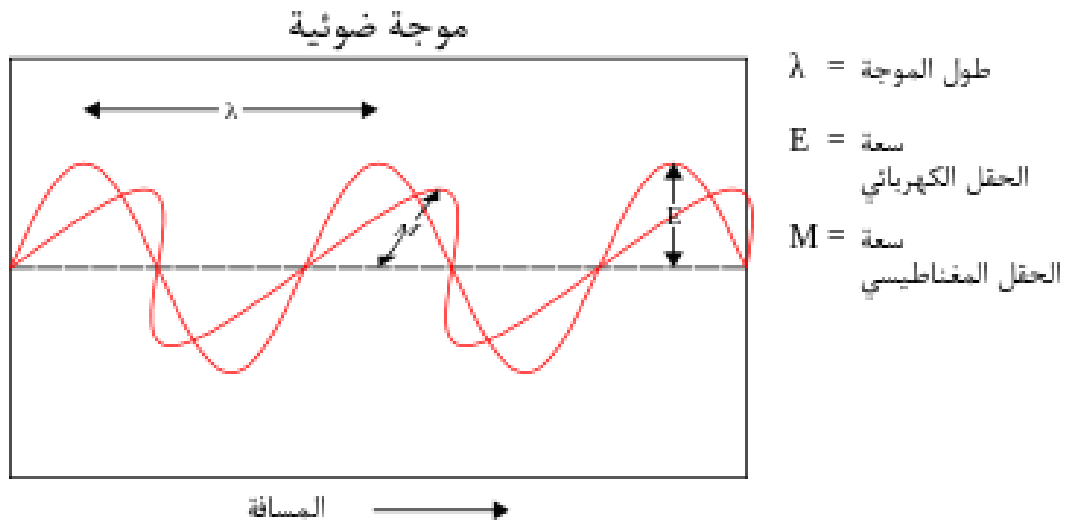
## الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية

الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية هي صورة من صور الطاقة التي لا تستند على كتلة مادية، أي أنها كيان غير مادي وعديم الكتلة . وإنما هي طاقة متمثلة في صورة مجالين أحدهما الكهربائي والآخر مغناطيسي يتغيران بمرور الزمن وبتغير الموضع. ويمكن أنت تتولد الموجات الكهرومغناطيسية من مصادر متنوعة ومختلفة فمنها ما يتولد عن الشحنات الكهربائية المتسارعة أو المتباطئة عن التيارات الكهربائية المترددة. ومنها ما يتولد من الأجسام الساخنة غير المتوهجة أو من الأجسام الملتهبة المتوهجة. كذلك. يمكن أن تتولد الموجات الكهرومغناطيسية عند الانتقال الإلكترونيات بين المدارات المختلفة في الذرة أو نتيجة لاضمحلال طاقة الاثارة في نواة الذرة .

وتختلف بعض خصائص الموجات (الأشعة) الكهرومغناطيسية اختلافاً هائلاً بتغير مصدر توليدها رغم اشتراكها في عداد من الخصائص العامة مهما تغير المصدر وسوف يرد فيما يلي سرد لبعض الخصائص العامة للموجات الكهرومغناطيسية.

### الخصائص العامة للموجات الكهرومغناطيسية

الموجة الكهرومغناطيسية (المسماة أحياناً بالفوتون) هي عبارة عن مجالين متغيرين (متناوبين) أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي تتغير شدتهما بتغير الزمن والموضع، وينتشران معاً في مستويين متعامدين فيما بينهما بحيث يكون المجال الكهربائي في أحد هذين المستويين. ويكون المجال المغناطيسي بالتالي في المستوى الآخر العمودي على الأول وتنتشر الموجة من نقطة التوليد في اتجاه المستقيم الذي يمثل مستقيم تلاقي هذين المستويين المتعامدين .



ويتغير كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي بين قيمة موجبة قصوى يطلق عليها اسم "القمة" واخرى سالبة قصوى يطلق عليها اسم "القاع"، مروراً بالصفر ويحدث التغير وفق العلاقة الرياضية بسيطة تعرف بالدالة التوافقية البسيطة وتوصف الموجات الكهرومغناطيسية بأنها موجات مستعرضة.

وقد توصف الموجات الكهرومغناطيسية بانها موجات مستقطبة. وقد يكون الاستقطاب أفقياً او رأسياً (بالنسبة لسطح الارض) او في اي اتجاه اخر. ويستخدم الاستقطاب الافقي او الرأسى في الارسال التلفزيوني وغيره. ويقصد بالموجات المستقطبة افقياً ان تنتشر المركبة الكهربائية لجميع الموجات الكهرومغناطيسية في المستوى الافقي (اي الموازي لسطح الارض)، في حين تنتشر المركبة المغناطيسية لهذه الموجات في المستوى الرأسى (أي العمودي على سطح الارض اما بالنسبة للموجات المستقطبة رأسياً فتنتشر المركبة الكهربائية في المستوى الرأسى في حين تنتشر المركبة المغناطيسية في المستوى الافقي.

وتتميز كل موجة بكمية فيزيائية يطلق عليها "طول الموجة" يرمز لها في المراجع عادة بالرمز  $(\lambda)$  لامدا (وهي عبارة عن المسافة بين اي قمتين متتاليتين، او قاعين متتالين للمجال

الكهربائي والمغناطيسي). وتختلف اطوال الموجات الكهرومغناطيسية اختلافا هائلاً تبعاً لشريحة هذه الموجات ، وتراوح هذه الاطوال بين اكثر من ألف كيلومتر للموجات الكهرومغناطيسية الطويلة اي منخفضة الطاقة. وحوالي الفمتومتر (الفمتومتر يعادل  $10^{-15}$  من المتر).

كما تتميز اي موجة الكهرومغناطيسية بكمية اخرى يطلق عليها "تردد الموجة" ( $\nu$ ) نيو، وهو عدد يمثل عدد الموجات الكاملة (الاهتزازات الكاملة) في ثانية واحدة . ويقاس التردد بوحدة أطلق عليها هيرتز ، تخليداً لذكرى العالم الذي توصل الى توليد هذه الموجات والكشف عنها عملياً لأول مرة وعندما يقال تجاوزا أن تردد الموجة يساوي الهيرتز الواحد فإن هذا يعني تكرار الموجة الكاملة مرة واحدة في الثانية ، وعندما يقال ان التردد ٥٠ ميغا هيرتز فهذا يعني ان الموجة الكاملة تتكرر ٥٠ مليون مرة في الثانية الواحدة تتراوح ترددات الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة بين حوالي عدة عشرات من الهيرتز بالنسبة للموجات فائقة الطول (أي منخفضة الطاقة)، وبين أكثر من  $10^{23}$  هيرتز بالنسبة للموجات شديدة القصر (أي فائقة الطاقة مثل إشعاعات جاما)

ويرتبط طول الموجة (بالمتر) وتردها  $\nu$  (بالهيرتز) ، لاية موجة كهرومغناطيسية مع سرعة الضوء  $C$  (بالمتر\ثانية) في الفراغ بعلاقة بسيطة هي:

$$C = \nu \cdot \lambda$$

وجدير بالذكر ان شدتي المجالين الكهربائي  $E$  والمغناطيسي  $B$  يرتبطان في اية لحظة بعلاقة بسيطة حددها ماكسويل وهي:  $E = C B$  حيث  $C$  هي سرعة الضوء في الفراغ. ونظراً لضخامة سرعة الضوء من حيث المقدار (حوالي ثلاثمئة مليون متر في الثانية) من هنا يتضح ان شدة المجال الكهربائي يكون محسوسة من الناحية العملية بالمقارنة بشدة

المجال المغناطيسي . لذلك يسهل التقاط المركبة الكهربائية للموجة الكهرومغناطيسية بواسطة هوائيات الاستقبال اللاسلكي . وتقوم اسس عمل جميع الهوائيات المستخدمة للبحث والاستقبال على استخدام المركبة الكهربائية .  
وتحدد الطاقة الكهرومغناطيسية E التي تحملها الموجة الكهرومغناطيسية (الفوتون) من تردد الموجة F بعلاقة خطية طردية استنتجها انشتاين وهي :

$$E = h \nu$$

حيث  $h$  هو ثابت يعرف باسم ثابت بلانك ويساوي  $6,63 \times 10^{-34}$  جول. ثانية  
مثلاً تتميز الموجة الكهرومغناطيسية (رغم عدم وجود كتلة لها) فانها تتميز كذلك بزخم (Momentum) يمكن حسابه ببسر ، بقسمة طاقة الموجة E على سرعة الضوء في الفراغ C ، وفقاً للعلاقة التي اشتقها ماكسويل. وبالتالي فإنه عندما وتسقط موجة كهرومغناطيسية (فوتون) على سطح ما وتمتص فيه يقع على هذا السطح ضغط يمكن حسابه ببسر من الزخم. وعندما يكون السطح عاكساً مثالياً يتضاعف الزخم الواقع على السطح وفقاً لقوانين انحفاظ الزخم، وبالتالي يتضاعف الضغط الواقع على هذا السطح.  
**الفوتون والموجة الكهرومغناطيسية**

ثبت من دراستنا للضوء المرئي كأحد صور الموجات الكهرومغناطيسية أن الضوء يسلك مسلك الموجات الكهرومغناطيسية في بعض الظواهر كالانعكاس والانكسار والاستقطاب وغيرها . ويمكن شرح جميع هذه الظواهر بدقة في ضوء الطبيعة الموجية للضوء ، أي على اساس اعتبار الضوء موجة كهرومغناطيسية. أما بالنسبة لبعض الظواهر الأخرى كاستطارة الضوء ( أي حيوده عن مساره) أو الظاهرة الكهروضوئية (التي تتمثل في امكانية تحرر وانطلاق الإلكترونات من أسطح بعض الفلزات والمواد عند سقوط الضوء عليها)



ولبعض الظواهر الأخرى، فإنه يستحيل شرح هذه الظواهر استناداً إلى الطبيعة الموجية للضوء، وإنما يمكن شرح هذه الظواهر ببسر باعتبار أن كل موجة يمكن تمثيلها بجسيم وحيد عديم الكتلة عند السكون يطلق عليه اسم فوتون Photon. ويقال أن هذا الفوتون هو حامل المجالين الكهربائي والمغناطيسي. وهكذا تتصف الموجات الكهرومغناطيسية بخضوعها لمبدأ عرف بأسم مبدأ الأزواجية "Duality". الذي يمثل في أن الموجة الكهرومغناطيسية يمكن ان تسلك مسلك الموجة بالنسبة لبعض الظواهر ومسلك الجسيم عديم الكتلة بالنسبة لبعض الظواهر الأخرى. لذلك جرت العادة عند ذكر مصطلح موجة كهرومغناطيسية وحيدة (منفردة) أن يطلق عليها، اسم الفوتون. وعند الحديث عن حزمة من الموجات فإنه يمكن التعبير عن ذلك بحزمة من الفوتونات.

### تفاعل الإشعاع مع المادة

قام أينشتاين في عام 1917 بدراسة تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية أو ما يسمى اختصاراً بالإشعاع (Radiation) مع ذرات المادة ووجد أن هناك ثلاثة أنواع من التفاعلات وهي:

#### أ – الإمتصاص (Absorption):

وفيها تقوم ذرات المادة بامتصاص فوتونات الإشعاع المسلط عليها وتعمل طاقة الإشعاع الممتص على رفع الإلكترونات من مدارات منخفضة الطاقة إلى مدارات عالية الطاقة وتصبح الذرات في حالة الإثارة (excited state). ولا يتم إمتصاص الفوتونات من قبل المادة إلا إذا كانت طاقتها تزيد عن فرق الطاقة بين مدارات الإلكترونات لذرات تلك المادة ولذا تكون المواد شفافة لجميع الإشعاعات التي تقل تردداتها عن قيم محددة

تحدد من التركيب الذري لتلك المواد كما هو الحال مع الزجاج طبقاً للمعادلة التالية:

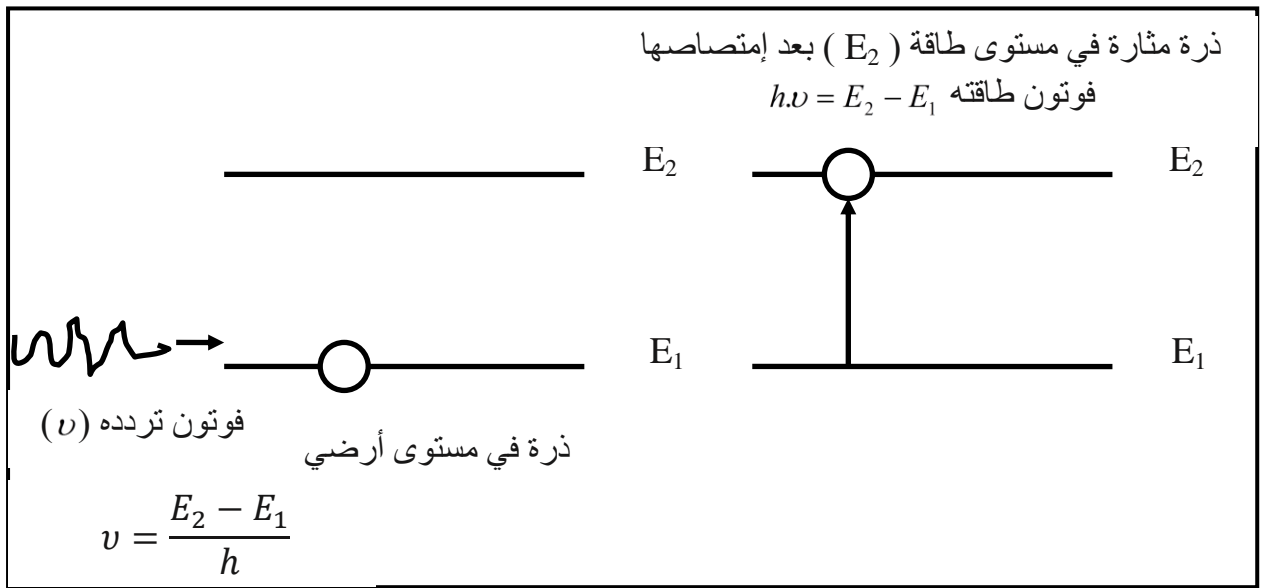
$$h \cdot \nu = E_2 - E_1$$

حيث :

$h$  : ثابت بلانك ( Planck Constant ) ويساوي (  $6.63 \times 10^{-34} J \cdot s$  ) .

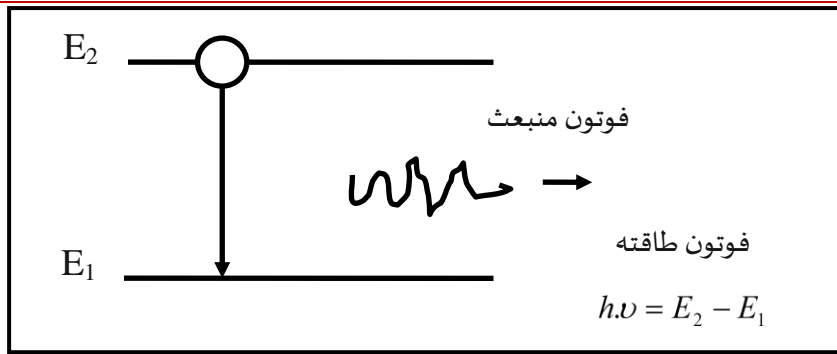
$\nu$  : تردد الفوتون .

$E_1$  : المستوى الأرضي ( Ground State ) ،  $E_2$  : مستوى الإثارة ( Excited State )



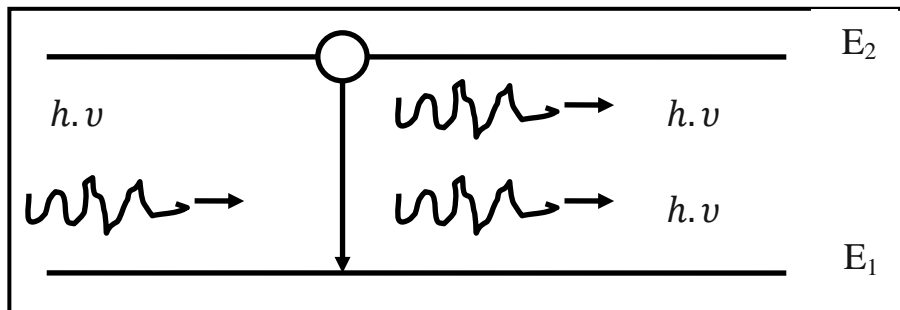
### ب - الإنبعاث التلقائي (Spontaneous Emission):

وفيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من المدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة. إن الإشعاع التلقائي الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاعاً غير مترابط (Noncoherent radiation) وذلك لأن الإلكترونات تنزل من تلقاء نفسها وبطريقة عشوائية بين مدارات الذرة المختلفة ولذلك فإن هذا الإشعاع يحتوي على عدد كبير جداً من الترددات وتعتمد مصادر الضوء العادية على ظاهرة الإنبعاث التلقائي في عملها.

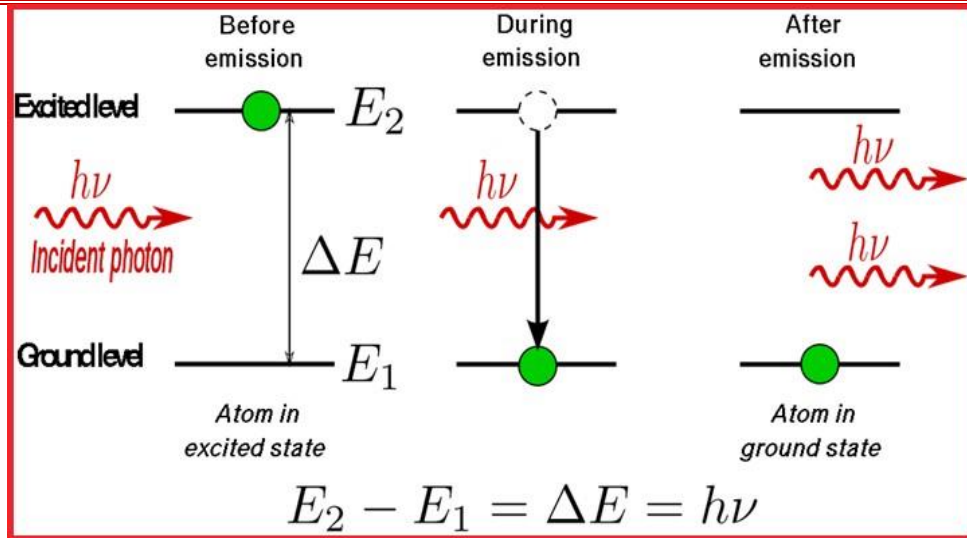


### ج - الانبعاث المستحث (Stimulated Emission):

وفيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من المدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة ولكن ليس بطريقة تلقائية وعشوائية كما في الانبعاث التلقائي بل نتيجة لحثها بإشعاع له تردد محدد. إن الإشعاع المستحث الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاع مترابط (Coherent) وذلك لأن الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن نزول الإلكترونات لها تردد (Frequency) وطور (Phase) يساويان تماما تردد وطور الأمواج التي قامت بحث الإلكترونات على الإشعاع ولذلك فإن هذا الإشعاع له تردد واحد من الناحية النظرية. ويمكن حساب تردد الإشعاع المنبعث من المادة من خلال تقسيم فرق الطاقة بين المدارين الذي انتقل بينهما الإلكترون بثابت بانك .



يمكن إيجاز مراحل هذه الظاهرة بالشكل التالي:



### الميزر والليزر

كانت أول محاولة تجريبية للحصول على إشعاع مستحث ( ناتج بعملية الحث الكهرومغناطيسي ) هي تلك التي قام بها العلماء تاوتز في الولايات المتحدة وباسوف وبروكورف في روسيا عام ١٩٥٤ حيث تم الحصول على موجات ميكروية مضخمة أو مكبرة باستخدام أشعة في مدى تلك الموجات وأطلق على الموجات أو الإشعاع الناتج اسم الميزر ( maser ) وهو اختصار للجمله Microwave Amplification by Stimulated

### Radiation

ومعناها : تكبير أو تضخيم الموجات الميكروية بالانبعاث المستحث للإشعاع وفي عام ١٩٦٠ تمكن العالم الأمريكي مايمان من الحصول على إشعاع مضخم ناتج بالحث في مدى موجات الضوء وأطلق عليه اسم الليزر : light amplification by stimulated emission .of radiation

ومعناها : تكبير الموجات الضوئية بالانبعاث المستحث للإشعاع وقد تم منح كل من تاوتز الأمريكي وباسوف وبروكورف ( الروسيان ) جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٦٤ نتيجة اكتشافاتهم المتعلقة بأشعتي الميزر والليزر

يقوم الليزر بتوليد نوع مميز من الضوء يختلف في خصائصه عن الضوء الطبيعي الصادر عن الشمس والنجوم والضوء الاصطناعي الصادر عن مختلف أنواع المصابيح الكهربائية. ويتميز ضوء الليزر بعدة خصائص أهمها:

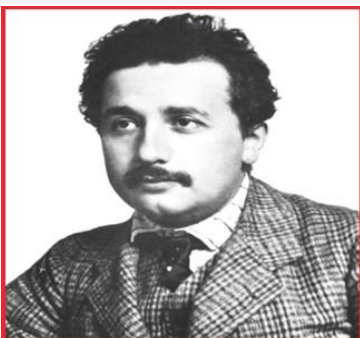
✓ أن كامل الطاقة الضوئية تتركز في شعاع له مقطع عرضي متناهي في الصغر قد لا يتجاوز في بعض أنواعه عدة ميكرومترات مربعة ولهذا فإنه يسير لمسافات طويلة محتفظاً بطاقته ضمن هذا الشعاع الدقيق. وبما أن جميع الطاقة الضوئية التي يولدها الليزر تتركز ضمن هذا المقطع الصغير للشعاع فإنه بالإمكان الحصول على شدة إضاءة قد تزيد بمايين المرات عن شدة الضوء الصادر عن الشمس أو المصابيح الكهربائية.

✓ أن ضوء الليزر يتكون من حزمة ضيقة جداً من الترددات بعكس أنواع الضوء الأخرى التي تتكون من طيف واسع من الترددات ولذا فهي تبدو للعين كضوء أبيض يحتوي على جميع ألوان الطيف المرئي بينما يبدو ضوء الليزر للعين بلون واحد عالي النقاء كاللون الأحمر والأخضر والأزرق .

ويعتبر اختراع الليزر من أكثر الاختراعات إثارة في هذا العصر حيث لم يكن يخطر على بال أحد أن هذا المصدر الضوئي البسيط سيفتح أبواباً لا حصر لها من التطبيقات ذات الأهمية البالغة في حياة البشر. فلقد تساءل العلماء فيما بينهم بعد تصنيع أول ليزر في عام 1960 عن ما ستكون التطبيقات لهذا الجهاز العجيب حيث أن الدافع وراء الأبحاث المكثفة التي أدت لاختراع الليزر كان لإشباع فضول العلماء ليس إلا وذلك على العكس من كثير من الاختراعات والتي كانت الحاجة وراء اختراعها. ولكن وبعد مضي سنوات معدودة تلقف العلماء في مختلف الإختصاصات

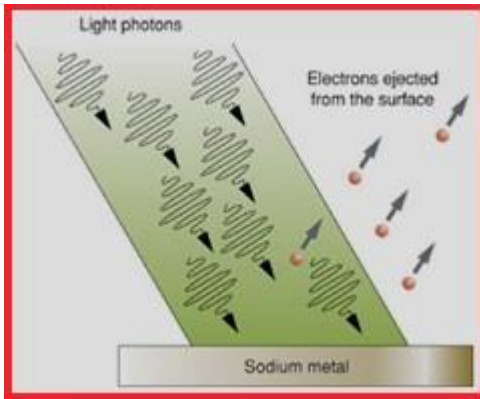
هذا الإختراع العجيب واستخدموه في تطبيقات لا حصر لها وقد أحدث ثورة في حياة البشر لا تقل عن الثورة التي أحدثها الصمام الإلكتروني والترانزستور. فعلى سبيل المثال فقد أدرك مهندسو الاتصالات الكهربائية أهمية هذا الإختراع العظيم بعد أن تبين لهم أن ضوء الليزر يمكن أن يستخدم بدياً عن الموجات الراديوية كحامل للمعلومات وذلك لقدرته على حمل كمية معلومات تفوق بألاف المرات قدرة أعلى الحامات الراديوية وذلك بسبب ارتفاع ترددات ضوء الليزر. وأما مهندسو الميكانيك فقد بدأت الأحام تراودهم بعد أن تبين لهم شدة تركيز ضوء الليزر في استخدامه لقطع وقص الألواح المعدنية وغير المعدنية بدقة متناهية وبالشكل الذي يريدونه لتلبي حاجة مختلف الصناعات وكذلك استخدامه في عمليات لحام المعادن. أما المهندسون المدنيون فقد وجدوا في شعاع الليزر المرئي الذي يسير لمسافات طويلة على شكل خيط دقيق ضالته المنشودة في أعمال المساحة والإنشاءات بمختلف أنواعها وذلك لضبط استقامتها وقياس الأبعاد. أما الأطباء فقد كان لهم نصيب وافر من هذا الإختراع فقد استخدموه كمشط عالي الدقة لا يترك نزفاً وراءه وقد يصل لأماكن في جسم الإنسان لا يمكن أن تصل إليه مشارطهم المعدنية إلا بعد حدوث ضرراً كبيراً. واستخدموه في تصحيح البصر وإزالة الأورام وتفتيت الحصى وحفر الأسنان وإزالة البثور والحبوب والتجاعيد والدمامل وغيرها من أمراض وعيوب الجلد.

### تاريخ تطور الليزر



لقد تمكن الفيزيائي الفدألبرت إينشتاين (Albert Einstein) في عام 1917 من وضع الأسس النظرية التي يقوم عليها عمل

الليزر وذلك في أبحاثه حول الظاهرة الكهروضوئية (photoelectric effect).



وفي هذه الظاهرة لاحظ العلماء أنه عند تسليط إشعاع كهرومغناطيسي ضوئي على سطح معدني فإن الإلكترونات تنبعث من هذا السطح فقط إذا تجاوز تردد الضوء قيمة حدية معينة أما إذا كان تردد الضوء أقل من ذلك فإن الإلكترونات لا تنبعث أبداً مهما بلغت شدة الضوء المسلط .

وبقيت هذه الظاهرة لغزاً يحير العلماء إلى أن تمكن أينشتاين في عام 1905 من حل هذا اللغز بعد أن أثبت أن الضوء ذي طبيعة موجية وجسيمية وذلك على العكس من الإعتقاد السائد حينئذ وهو أن الضوء ذي طبيعة موجية فقط. وقد أثبت أينشتاين أن الضوء وكذلك بقية أنواع الإشعاعات الكهرومغناطيسية ليست سيل متصل من الطاقة بل تتكون من وحدات صغيرة يحمل كل منها كمية محددة من الطاقة أطلق عليها إسم الفوتونات (photons). وتتناسب كمية الطاقة التي يحملها الفوتون الواحد من الضوء طردياً مع تردد الضوء أما ثابت التناسب فهو رقم فيزيائي ثابت لا يتغير أبداً على كامل مدى الطيف الكهرومغناطيسي وقد أطلق عليه إسم ثابت بانك (Planck's constant) نسبة إلى الفيزيائي الألماني الشهير ماكس بانك (Max Planck) الذي وضع أسس نظرية الكم (quantum theory).

ولقد ساعد هذا الإكتشاف إلى جانب تفسيره لهذه الظاهرة على وضع نماذج صحيحة لتركيب الذرة وتبين أنها تتكون من إلكترونات تدور في مدارات محددة حول النواة وأن الإلكترونات لا تنتقل من مدار منخفض الطاقة إلى آخر بطاقة أعلى إلا من خلال

تسليط إشعاعات كهرومغناطيسية عليها وبحيث تكون طاقة فوتون الإشعاع أعلى من فرق الطاقة بين المدارين. أما عند هبوط إلكترون من مدار عالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة فإن فرق الطاقة ينبعث على شكل إشعاع بحيث تكون طاقة الفوتون مساوية تماماً لفرق الطاقة بين المدارين. ولقد قام أينشتاين بدراسة التفاعلات بين الإشعاعات الكهرومغناطيسية وذرات المادة وتمكن من وضع المعادلات التي تحكم هذه التفاعلات والتي سميت فيما بعد باسمه وقد تنبأ من خال هذه المعادلات بوجود ما يسمى بظاهرة الإصدار (الانبعاث) المستحث (Stimulated Emission) والتي يقوم عليها عمل الليزر. ولقد حاول العلماء جاهدين للحصول على الإصدار (الانبعاث) المستحث إلا أن جهودهم باءت بالفشل ووصل اليأس ببعضهم إلى إنكار وجود مثل هذه الظاهرة الضوئية.

وفي عام 1947 تمكن الفيزيائي الأمريكي وليس لامب (Willis Lamb) عملياً من إثبات وجود ظاهرة الإصدار (الانبعاث) المستحث. وفي عام 1954 تمكن الفيزيائي الأمريكي تشارلز تاون (Charles H. Townes) من الحصول على الإصدار (الانبعاث) المستحث في نطاق الأمواج الدقيقة (microwave) وأطلق اسم الميزر (Maser) على هذا الجهاز وهو مختصر للجملّة الإنكليزية (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). وبهذا الإنجاز تجددت آمال العلماء للحصول على الإصدار (الانبعاث) المستحث في النطاق الضوئي المرئي أو غير المرئي ومن ثم تصنيع الليزر.

وفي عام 1955 اقترح الفيزيائيان الروسيان بروكوروف وباسوف (Prokhorov and Basov) استخدام الضخ الضوئي (optical pumping) للحصول على ما يسمى التوزيع المقلوب للإلكترونات وهو أحد شروط عمل الليزر كما سنبين ذلك لاحقاً.



وفي عام 1960 تمكن الفيزيائي الأمريكي ثيودور ميمان (Theodore Maiman) من تصنيع أول ليزر في نطاق الضوء المرئي وهو يتكون من قضيب اسطواني من الياقوت النقي تم صقل جانبيه بدقة متناهية وقد تم لف قضيب الياقوت بمصباح كهربائي مكون من أنبوب زجاجي مملوء بغاز الاكزينون. وعند تشغيل المصباح الكهربائي عمل الضوء الصادر عنه على إثارة ذرات الكروميوم الموجودة في الياقوت فقامت بإشعاع ضوء أحمر صافي خرج على شكل نبضات من أحد جانبي قضيب الياقوت.

وفي عام 1960 تمكن الفيزيائي الإيراني علي جافان (Ali Javan) والأمريكي وليم بنت (William Bennett) من تصنيع ليزر باستخدام غازي الهيليوم والنيون وكان يعطي إشعاعاً مستمراً وليس نبضياً كما هو الحال في ليزر الياقوت.

وفي عام 1962 تمكن المهندس الأمريكي روبرت هول (Robert Hall) من تصنيع ليزر أشباه الموصلات (Semiconductor laser) الذي يتميز بصغر حجمه.

وفي عام 1964 تم تصنيع ليزر ثاني أكسيد الكربون والذي يتميز بقدرة إشعاعه العالية

### شروط حدوث الإشعاع المستحث (الليزر):

- أن تثار ذرات المادة لمستويات طاقة عالية وبأعداد هائلة ويتم ذلك بتطبيق طاقة إثارة مناسبة عليها.
- أن تكون المادة الفعالة المستعملة ذات ثلاث مستويات للطاقة أو أكثر.
- أن توضع المادة الفعالة بين مرآتين كي يتحقق انعكاسات متعددة للشعاع بينهما وبالتالي تحقيق أكبر عدد ممكن من الإصدارات المحثثة ذات الفوتونات المتماثلة.
- أن تطبق على الجملة طاقة حقن خارجية كي تحدث إثارة لذرات المادة وشحنها

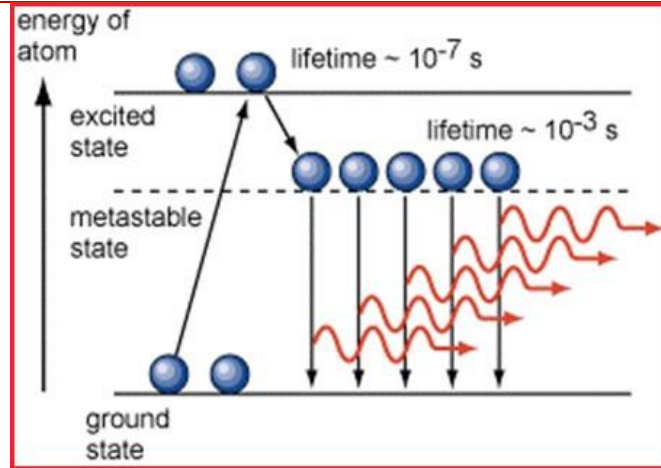
بالطاقة وبالتالي لجعلها جاهزة ومهيأة لإطاق الفوتونات المتماسكة حال حدوث اصطدامات مع فوتونات سريعة تعبر المادة .

### مبدأ عمل الليزر:

إن المبدأ الرئيسي الذي يقوم عليه عمل الليزر هو ظاهرة الانبعاث المستحث التي شرحناها آنفا وهناك شروط ثلاثة أساسية لكي يولد الليزر ضوءاً مترابطاً من خال هذه الظاهرة .

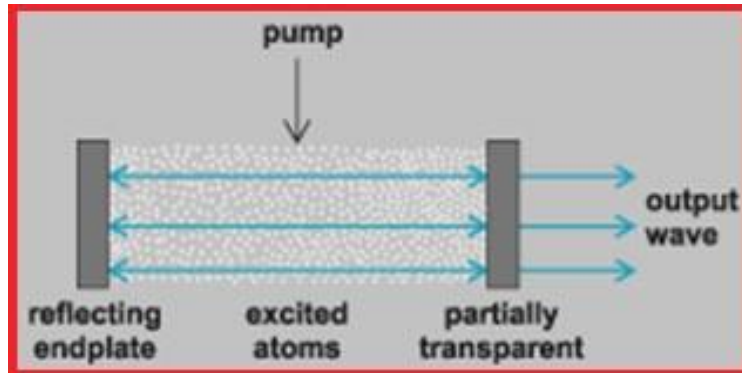
- الشرط الأول فهو توفر ما يسمى بالتوزيع الإسكاني المقلوب ( **Population inversion**) للإلكترونات في ذرات المادة التي ستولد الضوء والذي يعني أن عدد الإلكترونات في الحالة المثارة يجب أن يكون أعلى منها في الحالة غير المثارة. وهذا الشرط لا يتحقق إلا في مواد معينة تسمى الوسط الفعال ( **active medium**) التي يكون عدد المدارات في نطاق توصيلها ( **conduction band**) ثلاثة أو أكثر وبحيث يوجد مدار شبه مستقر ( **metastable**) بين المدار منخفض الطاقة والمدار عالي الطاقة. توجد شروط معينة كي يحدث ضمنها الإصدار المستحث وهي توازي ما تنبأ به أينشتاين.

فلو كان لدينا  $N$  ذرة ذات مستويين للطاقة  $N_1$  و  $E_1$  في الحالة الأساسية و  $N_2$  و  $E_2$  في الحالة المثارة. والإصدار المستحث يتناسب مع عدد الذرات في المستوى العلوي. وللحصول على إصدار المستحث كبير يجب أن يكون  $N_1 > N_2$  أي يجب قلب التوزيع الإسكاني ويطلق عليه في حالة إثارة خارجية اسم الضخ.



- الشرط الثاني فهو توفر مصدر يقوم بضخ الإلكترونات (Pumping) من المدارات منخفضة الطاقة (غير المثارة) إلى المدارات عالية الطاقة (المثارة) وذلك للحصول على التوزيع المقلوب للإلكترونات .

- الشرط الثالث فهو وجود نظام تغذية راجعة موجبة (Positive feedback) لكي يعمل الليزر كمذبذب (Oscillator) يقوم بتوليد تردد الضوء المطلوب وغالبا ما يتم استخدام المرايا (Mirrors) للحصول على هذه التغذية الراجعة .



وعلى هذا فإن الليزر يعمل من خلال ضخ الإلكترونات باستخدام مصدر ضخ خارجي كالضوء أو التيار الكهربائي من المدار الأدنى إلى المدار الأعلى ومن ثم تهبط الإلكترونات المثارة من خلال الإنبعاث التلقائي من المدار الأعلى إلى المدار شبه المستقر (metastable state) والذي يقع بين المدارين الأدنى والأعلى حيث تبدأ الإلكترونات

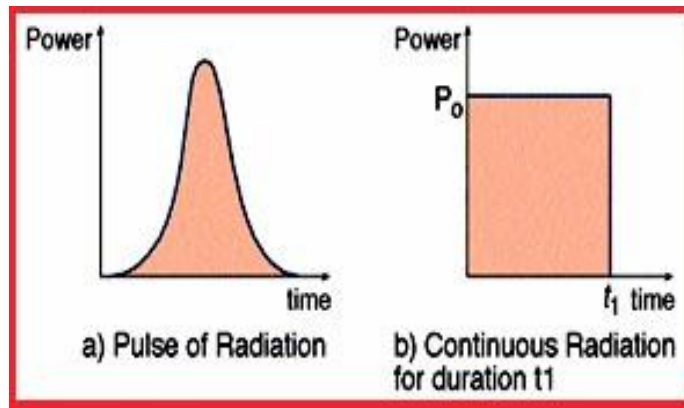
بالتراكم في هذا المدار لتنتج التوزيع الإسكاني المقلوب المنشود .

وإذا ما مر فوتون ضوئي بتردد محدد على المادة وهي في وضع التوزيع المقلوب فإنه سيحث بعض الإلكترونات الموجودة في المدار شبه المستقر للنزول إلى المدار الأدنى منتجةً عدداً من الفوتونات الضوئية لها نفس تردد وطور واتجاه الفوتون الذي قام بحثها، أي أن الضوء المتولد سيكون له تردد واحد أي أنه أحادي اللون وذلك من الناحية النظرية.

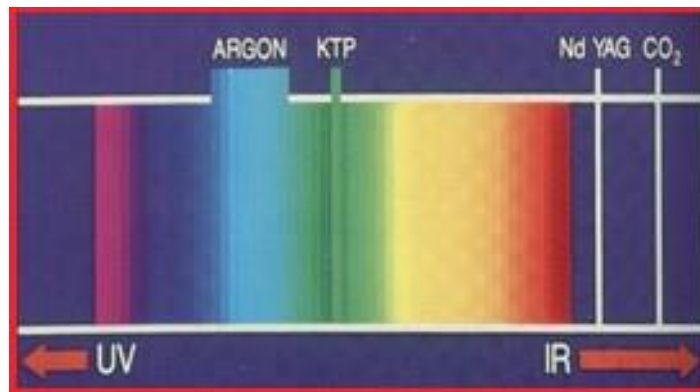
وتستخدم المرايا لعكس بعض الفوتونات المتولدة لتمر من خال ذرات المادة الفعالة لتوليد مزيداً من الفوتونات التي لها نفس الخصائص. وعادةً ما تكون أحد المرايا ذات معامل انعكاس يقرب من الواحد وذلك لتعكس جميع الضوء الساقط عليها بينما يكون معامل انعكاس المرآة الثانية أقل من واحد وذلك لتسمح لجزء من الضوء المتولد للخروج منها لاستخدامه في التطبيقات المختلفة. وبما أن الفوتونات المستحثة لها نفس تردد الفوتونات التي قامت بحثها وتسير بنفس اتجاه سيرها فإن ضوء الليزر الناتج سيكون أحادي اللون تقريباً ويسير باتجاه واحد وذلك على العكس من طبيعة ضوء المصادر الأخرى. ويخرج الضوء المتولد من الليزر في العادة إما على شكل نبضات (pulsed laser) أو على شكل موجة مستمرة (continuous wave laser) والذي يحدد ذلك التركيب الذري للمادة الفعالة ونوع وكمية الضخ المستخدم وكذلك طريقة تركيب الليزر.

## تصنيف الليزر:

أ - استمرارية الإشعاع: مستمر (continuous) أو نبضي (pulsed)  
فالليزر النبضي يصدر أشعته على شكل سلسلة من نبضات الضوء البالغة القصر. وتصدر هذه النبضات فقط عندما يكون الوسط الفعال في أعلى حالات الإثارة. وبعض أنواع أجهزة الليزر تصدر أشعتها بمعدل نبضة واحدة كل عدة دقائق. وهناك أنواع من الليزر مثل ليزر ثاني أكسيد الكربون، يمكن أن تكون موجاته نبضية أو مستمرة.

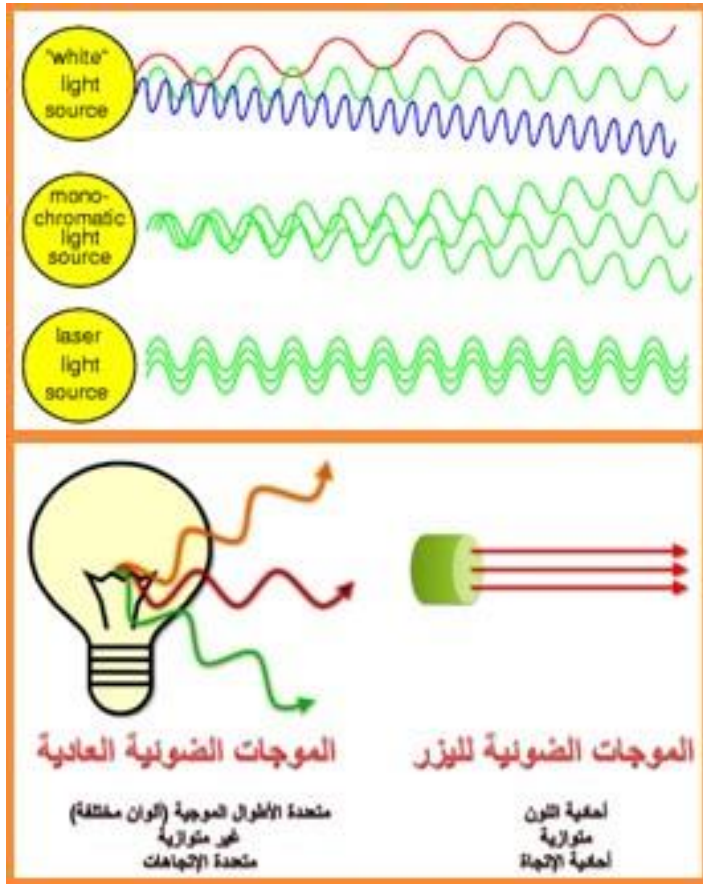


ب - تردد الإشعاع: الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة تحت الحمراء، ليزر أشعة أكس.



## خصائص ضوء الليزر:

يتميز ضوء الليزر على بقية أنواع الضوء الصادر عن المصادر الطبيعية كالشمس والمصابيح التقليدية والصناعية كالمصابيح الكهربائية بعدة خصائص مهمة تؤهله لاستخدامه في كثير من التطبيقات. ومن أهم هذه الخصائص:



أ - الاتجاهية (Directionality) وهي أن شعاع الليزر له زاوية انفرج (divergence angle) غاية في الصغر بحيث يمكنه أن يسير لمسافات طويلة دون أن تتشتت طاقته. فعلى سبيل المثال فإن زاوية انفرج شعاع ليزر نيون-هيليوم تبلغ جزئين من عشرة آلاف جزء من الدرجة وهذا يعني أنه إذا ما تم إرسال شعاع هذا الليزر من الأرض إلى القمر فسيكون قطره على

القمر بحدود كيلومتر ونصف علما بأن المسافة بين الأرض والقمر تبلغ 384 ألف كيلومتر. إن قطر شعاع هذا الليزر يبلغ ملليمترين عند خروجه من الليزر بينما سيكون قطره خمسة ملليمترات فقط بعد أن يسير ألف كيلومتر. وتتحدد زاوية انفرج شعاع الليزر من عدة عوامل أهمها: عرض الشعاع عند خروجه من المصدر، وطول موجة الإشعاع حيث تناسب عكسيا مع عرض الشعاع الابتدائي وطردياً مع

طول الموجة أي أن الزاوية تقل مع زيادة عرض الشعاع ونقصان طول الموجة. وتستغل خاصية الاتجاهية في تطبيقات كثيرة كقياس المسافات البعيدة والقصيرة على السواء والتأشير على الأهداف بدقة متناهية كما في أنظمة المساحة ورسم الخطوط المستقيمة في أعمال الإنشاءات المختلفة .

ب - متراسة: بمعنى أنها تبقى محافظة على سماكتها واتساعها نفسها حتى بعد أن تقطع مسافة معينة .ويؤدي تراص وتجانس أشعة الليزر لامتلاكها كثافة عالية من الطاقة يمكن أن ينتج ضوء الليزر تأثيرات نسيجية مختلفة اعتماداً على طول الموجة وكثافة الطاقة، ومدة التعرض، والخواص الامتصاصية للنسيج المستهدف.

ج - علو شدة ضوء الليزر (high intensity light) وذلك بسبب أن شعاع الليزر له مقطع عرضي صغير جداً قد لا يتجاوز في بعض أنواعه عدة ميكرومترات مربعة وبما أن جميع الطاقة الضوئية الصادرة عن الليزر رغم قلتها تتركز ضمن هذا المقطع الصغير فإنه بالإمكان الحصول على شدة إضاءة قد تزيد بملايين المرات عن شدة الضوء الصادر عن الشمس أو المصابيح الكهربائية ولهذا فيمكن لشعاع الليزر أن يسير لمسافات كبيرة جداً دون أن يخبو ضوءه. ولتوضيح ذلك فإن ليزر بقدرة واحد واط وبمقطع عرضي مساحته ألف ميكرومتر مربع يعطي ضوء شدته بليون واط لكل متر مربع أي يزيد بمليون مرة عن شدة ضوء الشمس على سطح الأرض. وتستغل هذه الخاصية للضوء في حفر وقطع ولحام المواد بدقة كبيرة وفي إجراء العمليات الجراحية ومعالجة كثير من أمراض العيون والجلد.

د - أحادية اللون (Monochromaticity) حيث أن ضوء الليزر يتكون من حزمة ضيقة جداً من الترددات الضوئية بعكس أنواع الضوء الأخرى التي تتكون من طيف



واسع جداً من الترددات ولذا فإنها تبدو للعين كضوء أبيض يحتوي على جميع ألوان الطيف المرئي بينما يبدو ضوء الليزر بلون واحد فقط عالي النقاء. وتستغل هذه الخاصية في استخدام ضوء الليزر كحامل للمعلومات بدلاً من الحاملات الراديوية خاصة في أنظمة اتصالات الألياف الضوئية التي تتطلب وجود مصادر ضوئية أحادية اللون أي أن عرض نطاق ترددات ضوءها غاية في الصغر .

هـ - **الترابط (Coherence)** وهي أن الترددات التي يتكون منها شعاع الليزر لها نفس الطور (phase) وكذلك نفس الاستقطاب (polarization) وتستغل هذه الخاصية للحصول على أشكال تداخلية (in-terference patterns) لا يمكن الحصول عليها من خلال استخدام أنواع الضوء الأخرى. ويستخدم التداخل الضوئي (Interferometry) في أشعة الليزر في تطبيقات لا حصر لها كما في قياس المسافات والسرعات ودراسة تركيب المواد والتصوير ثلاثي الأبعاد .

و - أنه يمكن التحكم بجهاز الليزر بحيث يتم إطلاق ضوءه على شكل نبضات بمعدلات محددة ويمكن كذلك التحكم بعرض النبضة ليصل في بعض التطبيقات إلى عدة أجزاء من مليون بليون جزء من الثانية. ومن خلال تقليل عرض النبضة الضوئية فإنه يمكن الحصول على شدة ضوء غاية في العلو قد تصل إلى آلاف الميغاواط ولكن لفترات زمنية قصيرة جداً وذلك مهما كانت كمية الطاقة التي تحملها النبضة. وتستخدم هذه الخاصية في تطبيقات لا حصر لها كإذابة أو تبخير المعادن أو قطع ولحام مختلف أنواع المواد أو إجراء العمليات الجراحية أو تسريع التفاعلات الكيميائية وحتى النووية. تستخدم أشعة الليزر القوية في الأغراض الصناعية، مثل تثقيب وقطع المعادن، بينما تستخدم الأشعة الضعيفة لتشغيل الأقراص البصرية



التي تسجل عليها الموسيقى. أما الأشعة متوسطة القوة فتستخدم في الأغراض الطبية

ز - إمكانية الومضات الضوئية القصيرة والمتكررة.

ح - الانتقائية (أو النوعية): حيث أن لكل ليزر يوجد نسيج أو عدة أنسجة يؤثر فيها الليزر بشكل نوعي دون أن يؤثر على سواها، ويؤدي هذا التأثير لإنتاج حرارة عالية في النسيج المستهدف وهذه الحرارة هي التي تعطي الليزر خواصه العلاجية، ويعتمد عمل الليزر على طول موجة، ولون نسيج المستهدف وحجمه. فعلى سبيل المثال هناك أنواع من الليزر تستهدف الهيموغلوبين المرتبط بذرة الأكسجين وبالتالي عند تأثيرها على الهيموغلوبين تنتج حرارة عالية تؤدي لتكسير الوعاء الدموي الشعري الحاوي على هذا الهيموغلوبين وبالتالي لانقطاع التدفق الدموي ويستفاد من هذه الخاصية على سبيل المثال في علاج وحمه الصباغ الخمري Port wine stain ، أو توسعات الأوعية الدموية الشعرية.

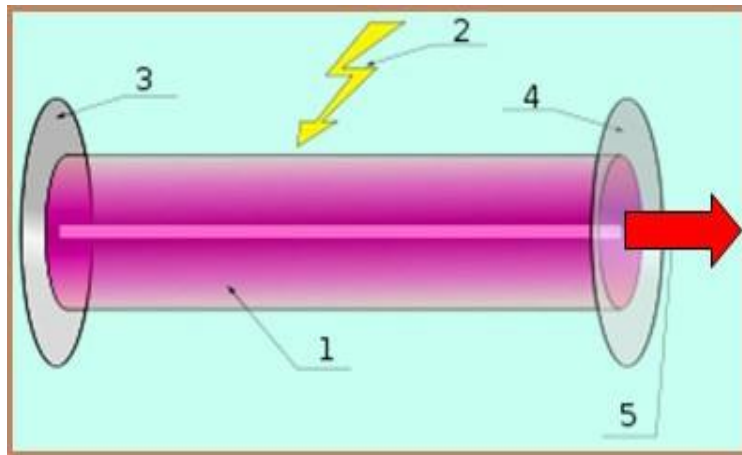
ط - الأمان: في حال استخدامه في المكان المناسب من الجسم من قبل طبيب مختص خبير متفهم لتأثيرات الليزر النوعية على الأنسجة قادر على حماية نفسه وحماية مريضه من تأثيرات الليزر غير المرغوب فيها .

وبما أن أشعة الليزر عبارة عن أشعة ضوئية مركزة، فإنها تخضع لقوانين الضوء من حيث: الانعكاس، والانكسار، والانحراف بواسطة المرايا والعدسات والمناشير الزجاجية. وقد تمكن الفنانون من استخدام أشعة الليزر في تشكيل صور رائعة باستخدام العدسات والمرايا والألياف البصرية Fiber Optics، وذلك من خلال انعكاس وانكسار أشعة الليزر المتوهجة، وتحويلها إلى نماذج ضوئية مبهرة.

ولكن يجب أن نشير إلى أن من أهم عيوب الليزر هو تدني كفاءة تحويل الطاقة فيه حيث تتراوح بين واحد بالمائة وعشرين بالمائة لمعظم أنواعه وهذا يعني أنه يلزم للحصول على واط واحد من ضوء ليزر كفاءته واحد بالمائة تزويده بمائة واط من الطاقة حيث تضيع التسعة وتسعون واط المتبقية كحرارة في داخل جسم الليزر وهذا يتطلب أنظمة تبريد معقدة خاصة في الأنواع التي تنتج قدرات عالية قد تصل لعدة كيلواطات كليزر ثاني أكسيد الكربون.

### مكونات جهاز الليزر:

يتكون أي جهاز مولد لشعاع الليزر مما يلي:



1 - الوسط الفعال. 2 - مصدر الضخ الإلكتروني. 3 - مرآة عاكسة مثالية. 4 - مرآة عاكسة جزئياً. 5 - مخرج شعاع الليزر.

### الوسط الفعال (active medium):

وهو الوسط الذي تتولد منه الأشعة وقد يكون الوسط عبارة عن مجموعة من ذرات أو جزيئات أو عنصر أو مركب أو مزيج بحالة صلبة أو سائلة أو غازية له عدد من المستويات الطاقية تصلح لأن تتحقق بينها الانتقالات الثلاثة الضرورية (امتصاص، انبعاث تلقائي، انبعاث مستحث). يصنف الوسط الفعال اعتماداً على احتمالية

الانتقال بين المستويات. بعض أنواع تلك المواد الفعالة ضوئياً وليزريراً: غاز نقي ( ذري هيليوم – نيون مزيج غازي غاز الكربون CO<sub>2</sub>-مزيغ غازي (جزئي) بلورة الياقوت المطعم بالكروم صلب (بلورة) الزجاج المنشط YAG صلب ( بلورة) أوكسي كلور الفوسفور المشوب بالنيوديميوم (سائل).

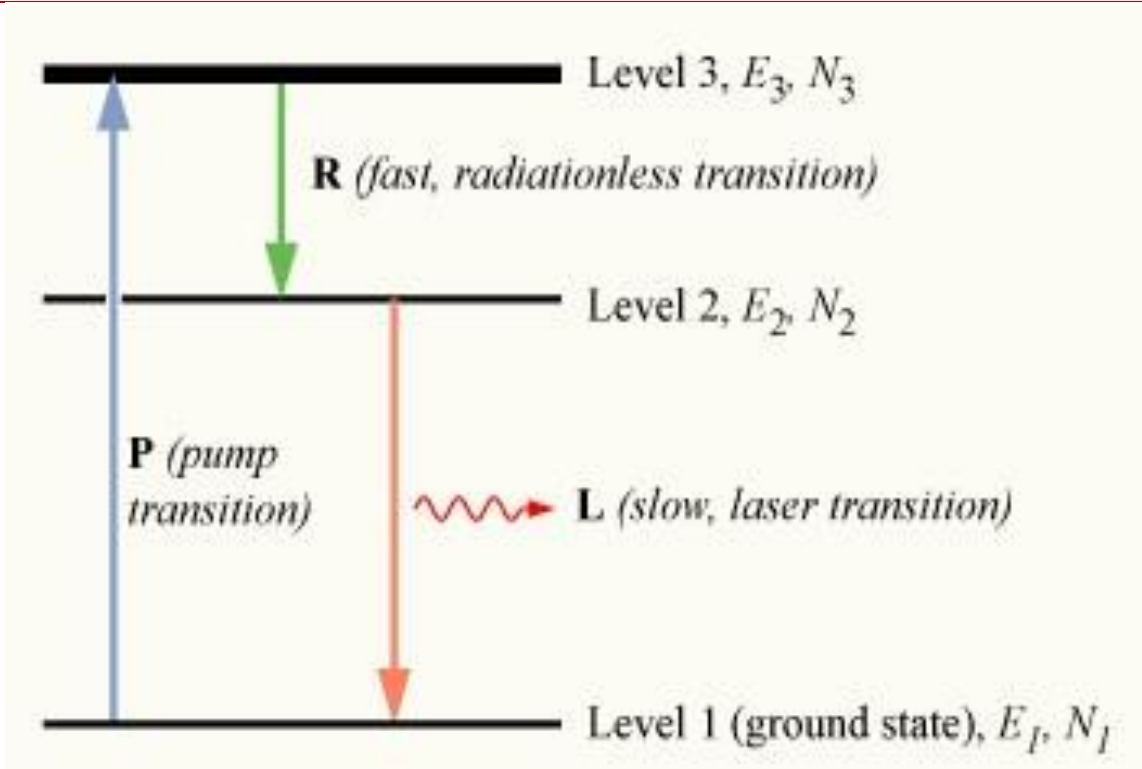
### خطط الضخ:

أي دراسة عن كيفية ضخ الوسط الفعال بطاقة من مصدر ما لتحقيق التأهيل العكسي بمقدار يتجاوز القيمة الحرجة للمستويين ويؤدي إلى إشعاع يتضخم عن طريق الأنبعث المحفز. إن هذا الهدف لا يمكن تحقيقه باستخدام نظام ذري ذو مستويين فقط للطاقة لأنه باستخدام إشعاع كهرومغناطيسي شديد ذو تردد مناسب مثلاً لعملية الضخ سرعان ما يولد حالة الأشباع عندها يتساوى تأهيل المستويين ذات العلاقة ويصبح الوسط شفافاً. لذلك يمكن العمل على ليزر ذي ثلاثة أو أربعة مستويات للطاقة:

### أ - نظام ليزر ثلاثي المستويات 3-Level Laser System

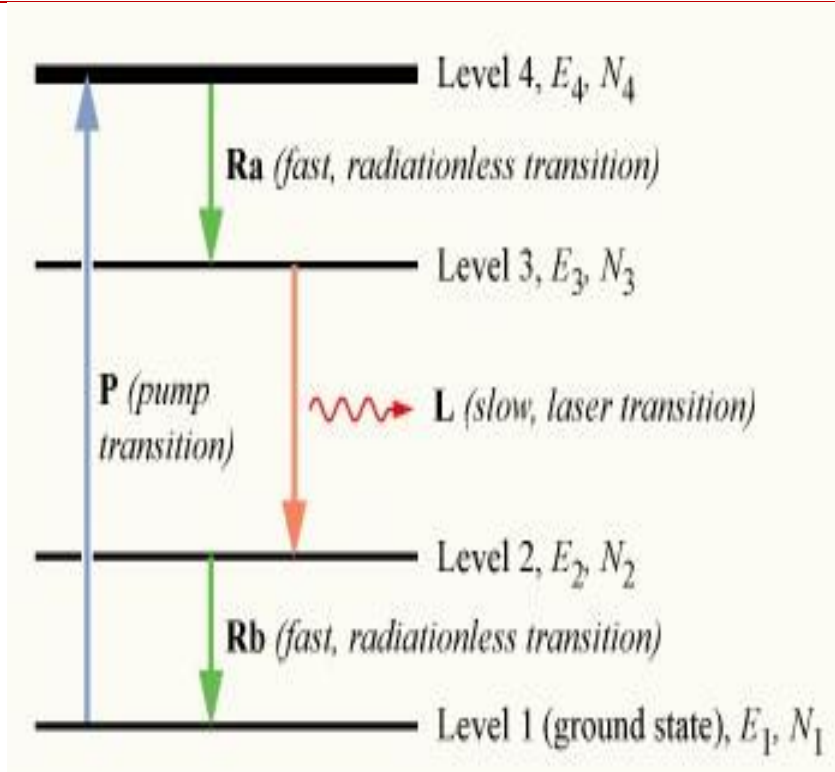
أن مستويات الطاقة التي يحدث بينهما الفعل الليزري هما: المستوي الليزري السفلي ( E1) والمستوي الليزري العلوي (E2) ، للحصول على الليزر يجب أن تضخ كمية كبيرة من الطاقة للحصول على التعداد المعكوس بحيث يكون عدد الذرات في المستوى الثاني (E2) أكبر من عددها في المستوى الأرضي (E1) .

بما أن العمر الزمني (life time) للمستوى (E2) كبير نسبياً ( $\sim 10^{-3}$  sec) معظم الذرات تبقى في هذا المستوى، فإذا كانت طاقة الضخ كبيرة بما فيه الكفاية بحيث أنه أكثر من 50% من عدد الذرات تستقر في المستوى 2E فسوف نحصل على التعداد المعكوس ويحصل الفعل الليزري.



#### ب - نظام ليزر رباعي المستويات 4- Level Laser System

بالمقارنة مع نظام ليزر ذي ثلاث مستويات هناك مستوى طاقة إضافي فوق المستوى الأرضي، وهذا المستوى الإضافي له عمر زمني قصير جداً. إن عملية الضخ في نظام الأربع مستويات مشابه إلى عملية الضخ في نظام الثلاث مستويات، وهذا يتم من خلال الحصول على التوزيع المعكوس للمستوى  $E_3$  من خلال الحصول على التوزيع المعكوس للمستوى  $E_3$  من خلال المستوى الطاقى  $E_4$ . ان فائدة نظام المستويات الأربعة هو حقيقة ان تعداد المستوى الطاقى  $E_2$  قليل، وللحصول على التعداد المعكوس ليس هناك حاجة لأن تكون أكثر من 50% من الذرات في المستوى الليزري العلوي.



وبعد ذلك التعداد في المستوى الليزري السفلي  $2N$  سوف تضمحل بشكل سريع إلى المستوى الأرضي، لذا فهي تعد عملياً فارغة. لهذا السبب يمكن يكون من الممكن العمل بانمط المستمر حتى ولو كان 99% من الذرات تبقى في المستوى الأرضي.

مميزات ليزر الأربعة مستويات بالمقارنة مع نظام الثلاث مستويات:

✓ حد العتبة للفعل الليزري في نظام المستويات الأربعة أقل

✓ الكفاءة تكون أعلى

✓ يحتاج إلى طاقة ضخ أقل

✓ يمكن العمل بالانمط المستمر

**طرق الضخ:**

الضخ: هي العملية التي يتم فيها تزويد الوسط المادي (الوسط الفعال) بالطاقة وارتفاع الذرات من المستوى الأرضي  $E_0$  الى المستوى المتهيج  $E_2$  "نظام ثلاث مستويات" أو من  $E_0$  الى  $E_3$  "نظام الأربعة مستويات". وتكون بعدة طرق:

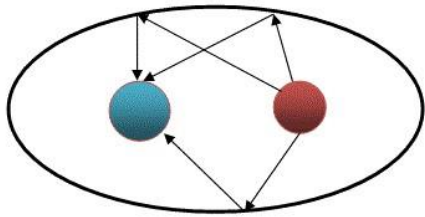
**1- الضخ الضوئي Optical Pumping**

ويتم باستخدام مصدر ضوئي (مصباح أو ليزر) وبقدرة عالية لتحريض الوسط الفعال الذي تقوم ذراته أو جزيئاته بامتصاص هذه الطاقة (فوتونات) فتساعد على الانتقال الى مستوى طاقة أعلى. هذه الطريقة مناسبة لاستخدامها في ليزر الحالة الصلبة (ليزر الياقوت والنديميوم) وليزر الحالة السائلة (ليزر الصبغة).

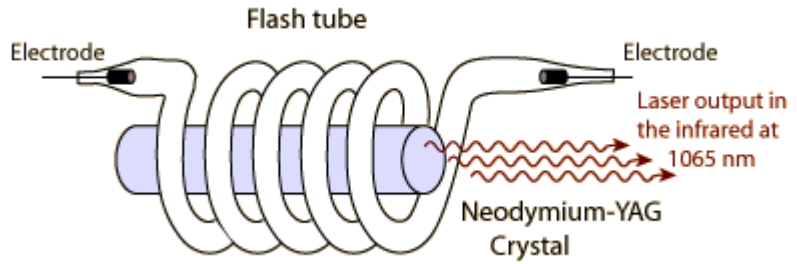
تستخدم مصابيح خاصة مملوءة بغاز الزينون (Xe) أو الكريبتون (Cr) وبضغط عالي (450-1500 Torr) ويجهز بمصدر قدرة كهربائية للحصول على التفريغ الكهربائي والحصول على ضوء ساطع ذو شدة عالية ويكون الطيف الناتج حسب نوع الغاز المستخدم.

يحفظ المصباح الوميضي مع الوسط الفعال داخل حاوية جدرانها الداخلية عاكسة بشكل جيد لزيادة كفاءة تشغيل الليزر . وتكون المصابيح الوميضية بعدة أشكال للحصول على كفاءة تشغيل عالية.

الشكل الأهلبيجي Helical shape

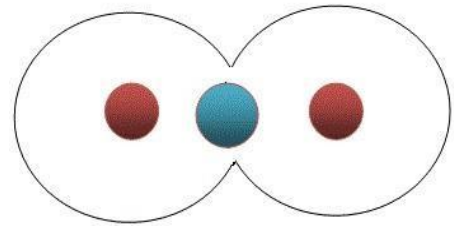
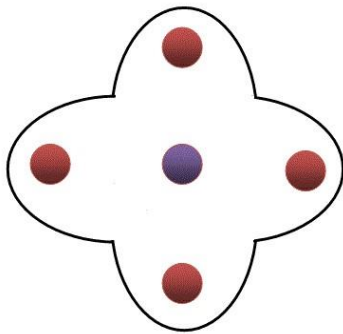


البيضوي Elliptical shape



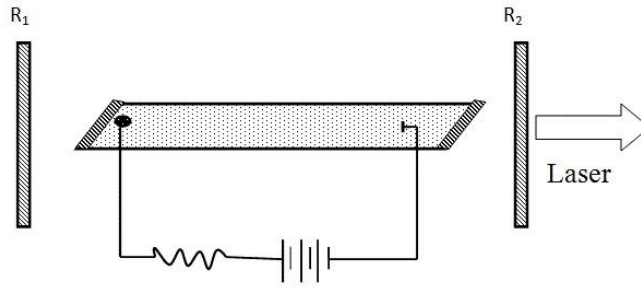
ثنائي البيضوي Dual Elliptical shape

متعدد الأشكال البيضوي Multi elliptical shape



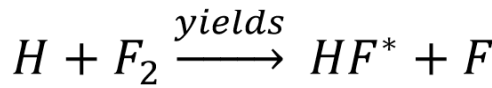
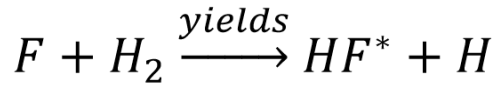
## ٢- الضخ الكهربائي Electrical Pumping

تستخدم هذه الطريقة في ليزرات الحالة الغازية وليزر شبه الموصل. ففي ليزر الغاز تتم عن طريق التفريغ الكهربائي للغازات حيث يوضع الغاز بين قطبين كهربائيين (أنود وكاثود) وتحت جهد عالي وعند تسارع الألكترونات من القطب السالب الى الموجب تكتسب طاقة حركية كافية لتهييج الذرات عند التصادم معها. أما في ليزر شبه الموصل (ليزر دايمود) فيتم بالأنحياز الأمامي باستخدام فرق جهد كهربائي يعمل مجاله على حقن حاملات الشحنة الى منطقة النضوب (الملتقى) للألتحام مع الحاملات المضادة وأشعاع فوتونات الليزر.



### ٣- الضخ الكيميائي Chemical Pumping

في هذه الطريقة لانحتاج إلى مصدر خارجي للطاقة فهو يتوفر ضمناً في المادة المستخدمة، فنتائج التفاعل الكيميائي بين مكونات المادة المنتخبة يشكل المادة الفعالة المطلوبة لعمل الليزر، في حين تعمل الطاقة المتحررة من التفاعل ذاته على إثارة هذه المادة وتحقيق التأهيل العكسي لها. فمثلاً في ليزر فلوريد الهيدروجين يتكون من خليط غازي الفلور والهيدروجين وجزيئة فلوريد الهيدروجين الناتجة تكون متهيجة حسب التفاعل:



فالجزيئة المتهيجة (HF\*) تشكل المادة الفعالة في الليزر الكيميائي أعلاه ولها القابلية على إنتاج الأنبعاث المحفز (الليزر).

#### المجاوب ( المرنان ) resonator

وهو عبارة عن مرآتين متقابلتين مستويتين أو كرويتين مقعرتين وتوضعان متقابلتان توضع بينهما المادة الفعالة والوجه العاكس لهما يكون نحو الداخل أي باتجاه المادة الفعالة، وهذا الترتيب يقوم بعملية تضخيم وتكبير وتنمية الإشعاع المحثوث بطريق التغذية الراجعة وينشأ عن ذلك ما يسمى بموجة مستقرة ليزرية ذات تواتر (لون) واحد . وعادة تجعل انعكاسية إحدى المرآتين عاكسة 100 % والأخرى عاكسة أقل من



100 % وينتج عن ذلك بأن لها نفوذية يخرج منها شعاع الليزر. تساعد المرايا على عكس بعض الفوتونات إلى داخل مادة الليزر عدة مرات لتعمل هذه الفوتونات على تحفيز الكثرونات ماثرة أخرى لتطلق مزيدا من الفوتونات بنفس الطول الموجي ونفس الطور، وهذه هي عملية تضخيم الضوء light amplification. لكي يأخذ الإشعاع المنبعث تذبذبه الصحيح (أي أن طول المسار البصري يساوي أعدادا صحيحة من أنصاف طول الموجة المستعمل) فيحدث التداخل البناء للحصول على حزمة من أشعة الليزر ذات اتجاهية عالية.

الضوء المرشد (guide): يستخدم في حالة إشعاع الليزر في منطقة ضوئية غير مرئية مثل الأشعة البنفسجية والحمراء.

# الفصل الثاني

## أنواع الليزر

## أنواع الليزر

يتحدد نوع الليزر ومواصفات الضوء الصادر عنه من نوع المادة الفعالة ونوع مصدر الضخ وكذلك طريقة التغذية الخلفية المستخدمة فيه. وتنقسم أنواع الليزر من حيث طبيعة المادة الفعالة إلى أنواع كثيرة أهمها ليزارات الحالة الصلبة والليزرات الغازية والليزرات شبه الموصلية وليزرات الأصباغ والليزرات الكيميائية وليزرات بخار المعادن. أما طريقة الضخ فقد تكون باستخدام الضوء المرئي أو غير المرئي أو الأمواج الكهرومغناطيسية الراديوية أو بتمرير أو تفريغ التيار الكهربائي أو من خلال التفاعلات الكيميائية. أما طريقة التغذية الراجعة فتعتمد على نوع المادة الفعالة فقد تتم من خلال صقل الأوجه إذا كانت في الحالة الصلبة أو باستخدام المرايا إذا كانت في الحالة السائلة أو الغازية وتعتمد كذلك على شكل المرايا فيما إذا كانت مسطحة أو مقعرة ودرجة إنعكاسيتها (**reflectivity**). وفي كل نوع من هذه الأنواع الرئيسية يوجد أنواع فرعية تتميز بخصائص مختلفة مثل طول موجة الضوء وشدة الضوء المنبعث ومساحة مقطع الشعاع وزاوية إنفراج الشعاع وفيما إذا كان الضوء المنبعث متواصلاً (**continuous**) أو نبضياً (**pulsed**) وإمكانية التحكم بمعدل وعرض النبضات وكذلك حجم ووزن جهاز الليزر وقيمة الجهد والتيار الآزمين لتشغيله وكفاءة التحويل وعمر التشغيل الافتراضي. ويتوفر في الأسواق الآن ليزرات بأطوال موجة تبدأ بمائة نانومتر وتنتهي عند ألف ميكرومتر أي أنها تغطي كامل طيف الأشعة فوق البنفسجية وكامل طيف الضوء المرئي (من 400 إلى 760 نانومتر) وكامل طيف الأشعة تحت الحمراء. ولكن معظم أنواع الليزرات تعطي ضوءاً في المنطقة المرئية والمنطقة تحت الحمراء

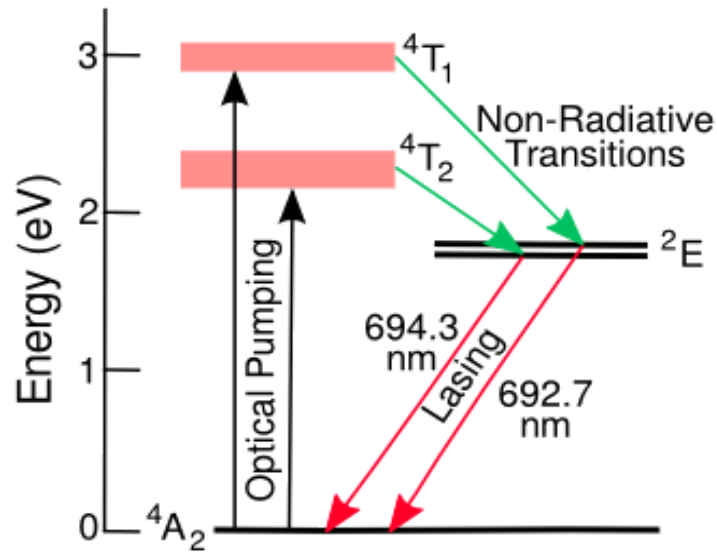
القريبة (near IR) والمتوسطة (medium IR) وجزء من المنطقة فوق البنفسجية. أما كمية الطاقة التي تولدها الليزر فتتراوح من أجزاء المللي واط وتصل لعدة عشرات كيلوواط إذا كان الضوء متصفاً أما إذا كان على شكل نبضات فقد تصل القدرة القصوى لألف بليون واط ولكم لفترات زمنية بالغة القصر تقاس بأقل من البيكوثانية.

### أولاً: ليزر الحالة الصلبة: Solid State Laser

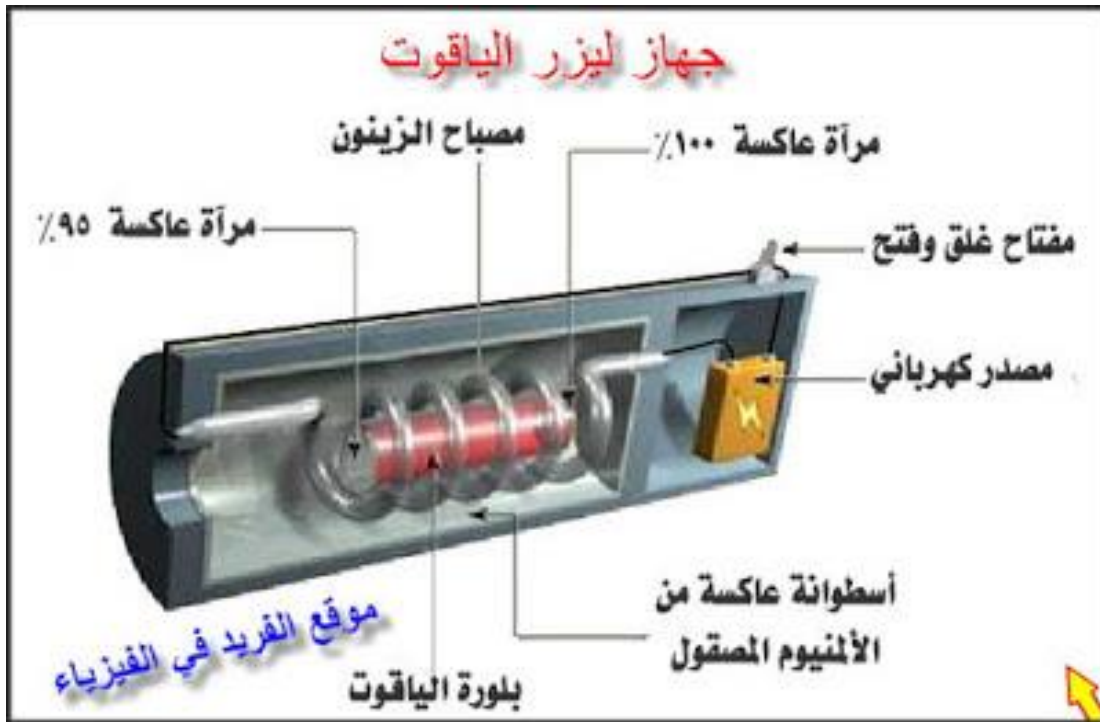
#### ليزر الياقوت: Ruby Laser

استخدمت مادة الياقوت في أول جهاز ليزر عمل بنجاح عام 1960، والياقوت بلورة توجد في الطبيعة كحجر كريم لونها وردي فاتحوهي بلورة أوكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) وتحتوي نسبة (0.1-0.01) وزناً من أيونات الكروم ( $Cr^{+3}$ ). تصنع البلورة من خلال انبات بلورة في مزيج مصهور أوكسيد الكروم ( $Cr_2O_3$ ) بنسبة 0.05% وزناً في أوكسيد الألمنيوم  $Al_2O_3$ . في مخطط مستويات الطاقة لأيونات الكروم في الشبكة البلورية تكون المستويات  $E^2$  و  $A_2^4$  المسؤولة عن انتقال الليزر تكون حادة قليلة التأثير بمجال البلورة، في حين تعاني المستويات  $T_1^4$  &  $T_2^4$  تعريضاً، لذلك يمكن تنفيذ الضخ البصري باستخدام مصدر ذي نطاق طيفي عريض في حين يكون كل من انتقالي الليزر  $R_1$  &  $R_2$  ضيقاً. يتبين من المخطط بأن ليزر الياقوت يعمل بنظام ذي ثلاثة مستويات، فالضخ يتم من المستوى  $A_2^2$  الى المستوى  $E^2$  عبر المستوى  $F^4$  حيث يكون الهبوط منه سريعاً وغير مشع وبهذا يتحقق التأهيل العكسي للمستوى  $E^2$ .

الضخ الضوئي الناتج من الضوء الصادر من مصباح الزينون Xe بضغط حوالي mbar 600.

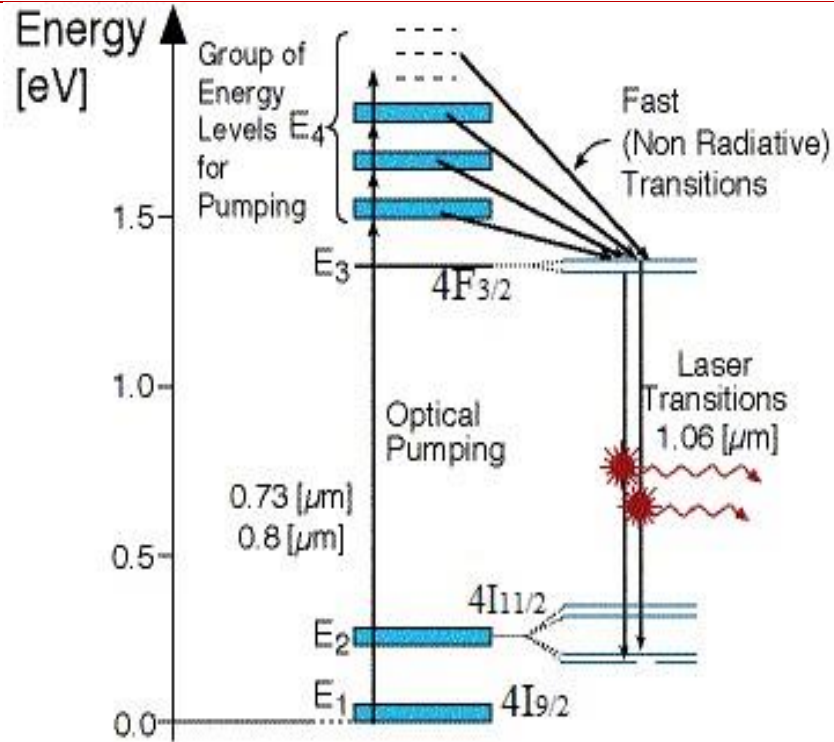


انبعاث الليزر (الأحمر) يقع في خطين  $R_1$  &  $R_2$  بطول موجة تناظر ( & 694.3nm 692.7 nm ) على التوالي بسبب فرق الطاقة الصغير بين مستوي  $2E$ .  
 إن هذا الناتج النبضي يمكن أن يعطي قدرة بحدود 10-50 MW في نبضة تقدر ذروتها بضع جيجا واط وأمدتها  $10^{-20}$  ns، كذلك يمكن ان يعطي نبضة تقدر ذروتها بضع جيجا واط وأمدتها 10 ps.

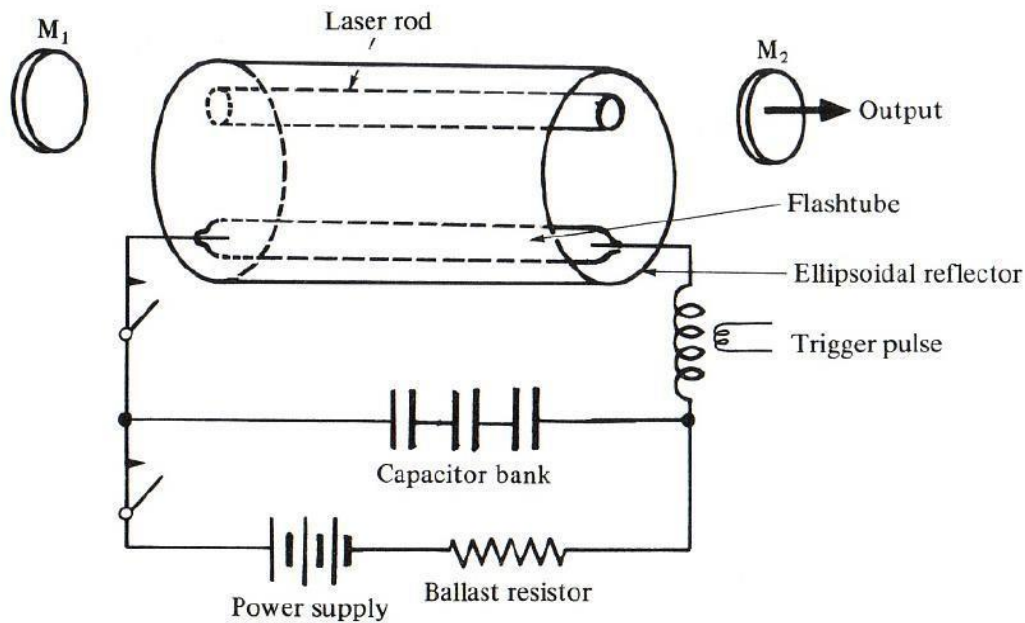


ليزر النديميوم:

وهو الليزر الأكثر شيوعاً لأنواع ليزر الحالة الصلبة ويتألف الوسط الفعال فيه من الزجاج الذي يعمل كوسط مضّيف لأيونات الليزر الفعالة، أيونات النديميوم الثلاثية ( $Nd^{+3}$ ) ويدعى بليزر النديميوم: زجاج ، كذلك تعمل بلورة اليوتريوم المنيوم كارنيت ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) والتي تدعى اختصاراً بالياج كوسط مضيف لأيونات النديميوم  $Nd^{+3}$  ويدعى الليزر بليزر النديميوم: ياج. تعطي أيونات النديميوم المتواجدة في الشبكة البلورية انتقالات متعددة ولكن أشدها يقع عند الانتقال الذي هو بطول موجة تساوي  $1.064 \mu m$  بين مستويي الطاقة  $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$  وهذا الانتقال ممنوع وفق قواعد الانتقاء لثنائي القطب الكهربائي، لذا يكون متوسط زمن العمر للمستوى العلوي لانتقال الليزر طويل نسبياً ( $\tau=0.23 \text{ ms}$ ) أما المستوى الأعلى للضخ فيتمثل في مجموعة مستويات الطاقة التي تقع أعلى من المستوى  $^4F_{3/2}$  ويحصل الضخ من المستوى الأرضي  $^4I_{9/2}$  بنطاقين طيفيين حول الطول الموجي ( $0.8 \mu m$  &  $0.73$ ). إن المستويات العديدة المستخدمة للضخ وباستخدام مدرصوئي ذي نطاق طيفي عريض يزيد من كفاءة الضخ كما أن المستويات العليا للضخ تتفرغ سريعاً وبانتقالات غير مشعة إلى المستوى العلوي لانتقال الليزر ( $^4F_{3/2}$ ) كما أن المستوى الأسفل لانتقال الليزر ( $^4I_{11/2}$ ) يتفرغ هو الآخر بشكل سريع وبانتقالات غير مشعة أيضاً إلى المستوى الأرضي ( $^4I_{9/2}$ )، من الواضح بأن ليزر النديميوم: ياج يعمل بنظام رباعي المستويات ولهذا يفضل على ليزر الياقوت.



يعمل ليزر النديميوم - ياج بموجة مستمرة (CW) أو بشكل نبضي وغالباً ما يستعان بالترتيب الأهليلجي للعاكس لزيادة كفاءة الضخ الذي يتم باستخدام مصباح الزينون (Xe).

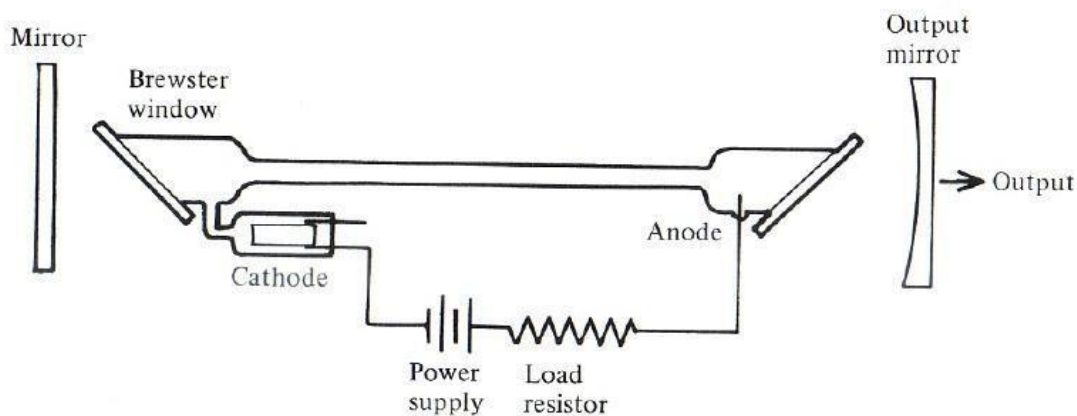


## ثانياً: ليزر الحالة الغازية Gas laser

تكون مستويات الطاقة للغاز عموماً أضيق مما هي عليه في الحالة الصلبة ولذا تكون الانتقالات الطيفية بينها أقل تعريضاً حيث يكون ضغط الغاز عادة منخفضاً لهذا السبب لاتضح الغازات باستخدام المصابيح التي يكون طيفها عادة مستمراً لكون نطاق الأمتصاص للغاز ضيقاً وعليه تكون عملية الضخ غير كفوءة. على العموم يضح الغاز بالطريقة الكهربائية حيث يتم بمرور تيار عالي (مستمر أو متردد) خلال الغاز.

فيما يتعلق بتركيب الجهاز فأغلب انواع ليزر الغاز لها ترتيب متشابه بحيث ان الغاز يتواجد في انبوب ذي قطر مناسب (بضع مليمترات الى بضع سنتمترات) طوله يحدد بنافتين عند نهايته تثبت كل منها مع طرف الأنبوب بزواوية تعرف بزواوية بروستر الغرض منها تقليص الخسائر في الضوء والناجمة عن الانعكاسات عند سطح نهاية الأنبوب كما انها تحدد استقطاب الضوء النافذ.

تصنف الأنواع المختلفة لليزر الغاز أحياناً وفق تركيب الغاز المستخدم كوسط فعال لعمل الليزر، منها ليزر الذرة المتعادلة وليزر الأيونات الموجبة وليزر الغاز الجزيئي.





ليزر الغاز الذري

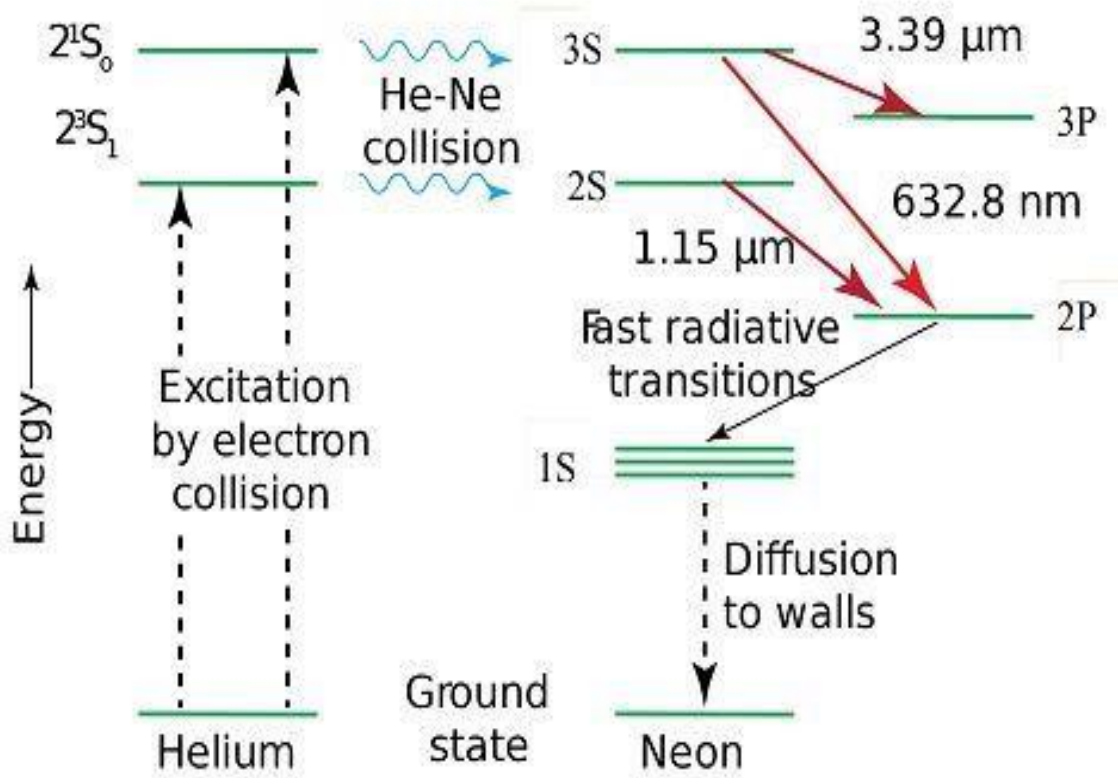
يدعى أيضا بليزر الذرة المتعادلة حيث يكون الوسط الفعال غاز أحادي الذرة وتقع ضمن هذه المجموعة ليزر الغازات النادرة ومجموعة أخرى من ليزر أبخرة بعض المعادن.

ليزر هليوم – نيون He-Ne Laser

يعد هذا الليزر من أهم أنواع ليزر لغازات الشائعة الأستعمال وهو أول ليزر غاز اشتغل بموجة مستمرة CW وبطول موجة  $1.15 \mu\text{m}$  عام 1960. إن لهذا النظام ثلاثة انتقالات ليزر بالأطوال الموجية ( $3.39 \mu\text{m}$ ,  $1.15 \mu\text{m}$ ,  $633 \text{ nm}$ ).

يتكون ليزر الهليوم: نيون من مزيج من ذرات الهليوم He وغاز النيون Ne بنسبة معينة وخطوط انبعاث الليزر تعود لذرة النيون. أما دور ذرات الهليوم فهو المساهمة في عملية الضخ وتحقيق التأهيل العكسي لمستويات الطاقة ذات العلاقة بنظام النيون. من مخطط الطاقة للمستويات لانتقالات الليزر لكل من ذرات الهليوم والنيون يتبين بأن مستويي الطاقة  $3S$ ,  $2S$  على التوالي لذرة النيون كما يكون كل من مستويي الطاقة  $2^1S$  &  $2^3S$  لذرة الهليوم شبه مستقر. هذه المواصفات تساند عملية التهييج الفعال لمستويي النيون  $3S$ ,  $2S$  بطريقة انتقال الطاقة الرنيني، حيث ثبت بأن هذه العملية تمثل الوسيلة الأساسية لتحقيق التأهيل العكسي في ليزر الهليوم: نيون، من الممكن أيضاً ان تتعرض ذرات النيون مباشرة الى المستوى المطلوب بواسطة تصادمها مع الألكترونات الناتجة عن التفريغ الكهربائي ولكن عملية التأهيل العكسي للمستويين  $2S$ ,  $3S$  لذرة النيون تتم بشكل فعال وكفوء عن طريق ذرات الهليوم المحرصة وبهذا يحصل الأنبعاث المحفز لذرات النيون بين مستويي  $3S$  ومستويي  $3P$  وبين مستويي  $2S$  ومستويي  $2P$ ، الانتقال من  $3S_2$  إلى  $3P_4$  بطول موجة  $3.39 \mu\text{m}$  والانتقال من  $2S_2$  إلى  $2P_4$  بطول موجة  $0.633 \mu\text{m}$  (اللون الأحمر)

والإنتقال من  $2S_2$  إلى  $2p_4$  بطول موجة  $1.15 \mu\text{m}$ ، بعدها تهبط هذه الذرات إلى المستوى الأرضي بصورة سريعة تلقائية وقد يحدث ذلك نتيجة تصادمها مع جدران الأنبوب الذي يحوي الغاز.



أما كون ليزر الهليوم: نيون سيتذبذب بهذا الإنتقال أو بذاك فيعتمد ذلك على انتخاب مرآيا المرنان ولتذبذب طول موجة معينة يستخدم طلاء المرآتين بحيث يكون أعظم قدرة انعكاسية عند الطول الموجي المطلوب.

أن نسبة غاز الهليوم الى غاز النيون للإنتقال  $0.633 \mu\text{m}$  تكون بنسبة 5 : 1. إن القدرة الخارجة لأشعاع الضوء المرئي من انبوب تفريغ اسطواناني الشكل بطول متر واحد وقطر 6 mm تكون بحدود 0.1 Watt. إن معظم انابيب ليزر الهليوم: نيون المختبرية تكون بقطر (1-6) mm وطول (15- 20 cm) فقدره النتاج لا تتجاوز ملي واط واحد.

بالإضافة الى استخدامات ليزر الهليوم: نيون الذي يتذبذب بالانتقال الأحمر المرئي في المختبرات التعليمية فإنه يستخدم للأغراض التي تتطلب حزمة ضوئية مستقيمة مرئية بقدرة منخفضة لإستخدامها لأغراض الترصيف أو قراءة الرموز أو في ذاكرة أقراص الفيديو.

على غرار استخدام ذرة الغاز النادر النيون لتوليد اشعة ليزر، كذلك تم استخدام بقية الغازات النادرة كالكربتون والآرجون والزينون وبنفس الطريقة حيث ان مخطط الطاقة لجميعها تقريبا متشابهة ويشابه ذلك النيون .

### ليزر الغاز الأيوني

الوسط الفعال في هذه الحالة غاز متأين أو بخار معدن ذراته متأينة وهذا يعني ان تمديداً بسيطاً قد حدث لمقياس الطاقة لمخطط مستويات الطاقة لذرة المادة، أي أن المسافة بين مستويات الطاقة لأيون الذرة تكون أكبر بقليل من تلك للذرة المتعادلة نفسها. إن هذا يسبب تقليصاً لطول الموجة لخطوط الطيف المنبعثة عنها، أي أن طيف الذرة المتأينة يزحف قليلاً عن الطيف الذري باتجاه الأشعاع المرئي أو فوق البنفسجي.

يقع ضمن هذا الحقل من الليزر مجموعتان وهما مجموعة ليزر أيونات ذرات الغازات النادرة ومجموعة ليزر أيونات ذرات المعادن.

### ليزر أيون الآرجون:

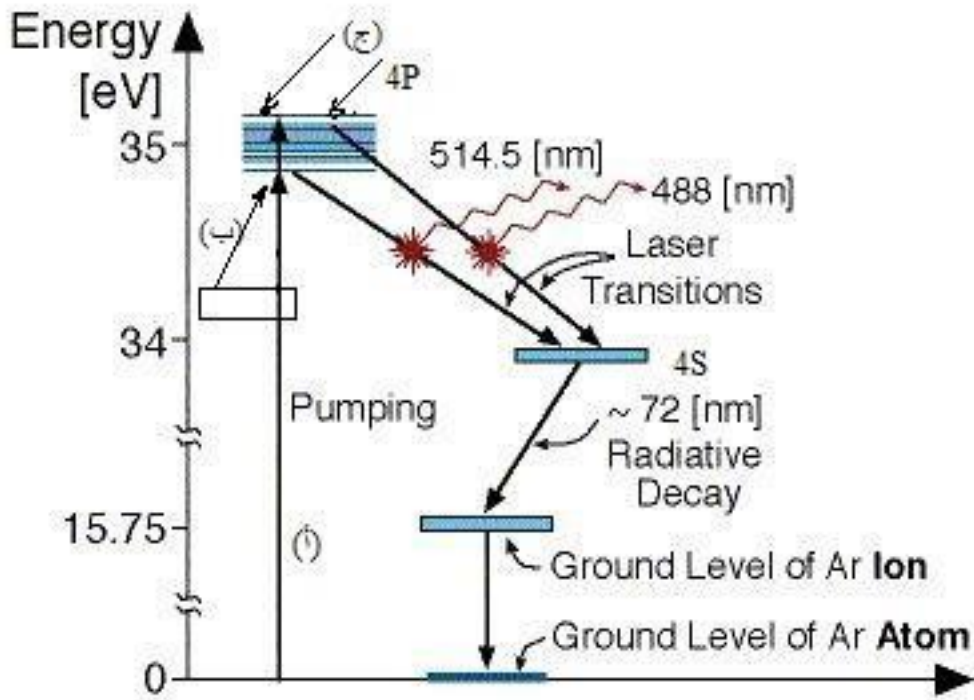
يتم تأهيل المستوى العلوي لانتقال الليزر في هذا النوع من الليزر بخطوتين، أي بعملية تصادم متتاليتين مع الألكترونات الناتجة عن التفريغ الكهربائي، فالتصادم الأول يؤين الذرة والثاني يحرض هذا الأيون، لهذا السبب يلزم لأتمام عملية الضخ كثافة تيار تفريغ عالية وعلى العموم تكون كثافة التيار اللازم لعمل ليزر الغاز الأيوني أعلى بكثير من تلك

اللازمة لعمل الليزر الذري.

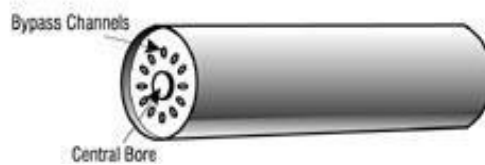
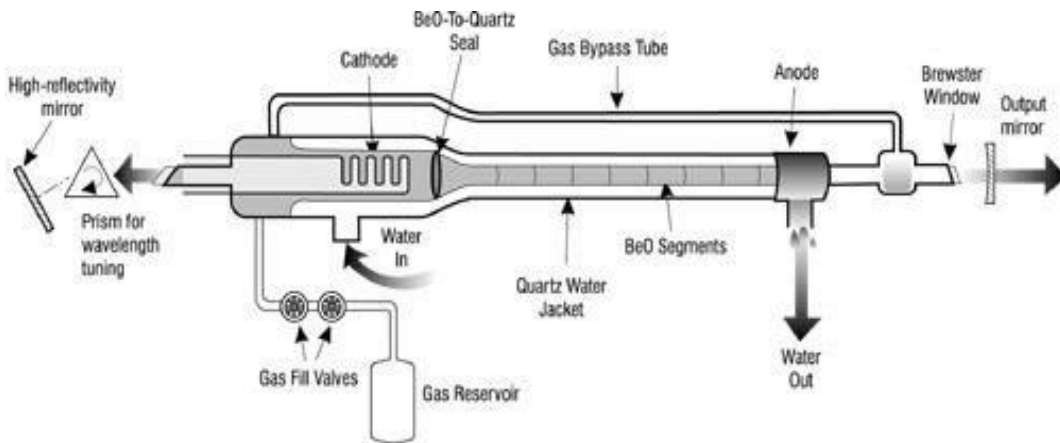
يمثل ليزر الأرجون  $Ar^+$  الليزر الأكثر شيوعاً في هذه المجموعة وخاصة في مختبرات أبحاث الذرة.

في مخطط مستويات الطاقة لأيون الأرجون ذات العلاقة بانبعث الليزر يتم تأهيل المستوى العلوي للانبعاث المحفز (المستوى 4P) من خلال ثلاث عمليات مختلفة فقد تتعرض أيونات الأرجون على هذا المستوى باصطدامها مع الكاترونات التفريغ (أ) وقد تكتسب أيونات الأركون التي هي في مستوى الطاقة شبه المستقر طاقة باصطدامها بالألكترولونات لتعرضها الى المستوى 4P (ب) وأيضاً قد يتأهل المستوى 4P من خلال الإنتقالات المتساقطة عليه من المستويات الأعلى منه.

إن تركيب جهاز ليزر ايون الأرجون يختلف عن تركيب جهاز ليزر الهليوم-نيون بسبب كثافة التيار العالية اللازمة للضخ وبالتالي درجة الحرارة العالية الناتجة في الأنبوب. إن كثافة التيار العالية تسبب الانجراف السريع لأيونات الأرجون نحو المهبط، ولإعادتها يستخدم أنبوب آخر ليكمل الدورة والذي يختلف في أبعاده عن الأنبوب الرئيسي لتفادي حدوث التفريغ فيه، كذلك تستوجب كثافة التيار العالية وما ينتج عنها من ارتفاع في درجة الحرارة التي قد تصل الى  $3000^{\circ}C$  أخذ الاحتياطات في تصنيع انبوب التفريغ وتبريده بدورة ماء جاري مثلاً، كذلك تقلص التلف في جدران الأنبوب بسبب التصادم ويستخدم لهذا الغرض مجال مغناطيسي يوازي محور الأنبوب وضمن منطقة التفريغ لإلزام الألكترولونات الحرة بالأبتعاد عن الجدران والعمل على تواجدها في مركز الأنبوب مما يزيد من كفاءة الضخ وبالتالي قدرة الليزر.



يكون قطر انبوب التفريغ ضيقاً (بضع ميليمترات) لحصر التذبذب ضمن الصيغة  $TEM_{00}$  وأيضاً لتقليص التيار الكلي اللازم، من جانب آخر تزداد القدرة باستخدام أنابيب أوسع مما يقلل من التعرض للجدران، في كلتا الحالتين تزداد قدرة الليزر بازدياد طول الأنبوب.



ينتج عن عملية الضخ في ليزر ايون الغاز أكثر من انتقال ليزر واحد، إلا ان أشد خطوط ليزر ايون الأرجون يكون عند الانتقال  $514.5 \text{ nm}$  وهو الذي يعطي اللون الأخضر المزرق لخرج الليزر ويليه في الشدة الانتقال عند طول الموجة  $488 \text{ nm}$  (بنفسجي) وخطوط اخرى كثيرة أقل شدة. يمكن الأنفراد بخط واحد في خرج الليزر عن طريق استخدام المحرز مثلاً. كلك يتميز خرج الليزر بأمكانية زيادة قدرته بزيادة تيار التفريغ فلا يحدث الأشباع إلا عند استخدام قيم للتيار أكبر بكثير من القيم العملية وهو على العكس من ليزر الغاز الذري، إذ ان كفاءة هذا الجهاز منخفضة جداً وهي على العموم أقل من  $10^{-3}$ . لليزر ايون الأرجون استخدامات كثيرة، فبالإضافة الى شيوع استخدامه في مختبرات ابحاث الذرة، يستخدم أيضاً وبشكل واسع لضخ ليزر السائل ولتطبيقات اخرى منها في الطب مثلاً حيث يعد استخدام هذا الليزر في الجراحة من التطبيقات المهمة.

ضمن هذه المجموعة ومن الأنواع الشائعة الاستخدام أيضاً ليزر ايون الكريبتون  $\text{Kr}^+$  المعروف جيداً في ابحاث الفيزياء الذرية بلونه الأحمر القاني الذي يقع بطول موجة  $647.1 \text{ nm}$  كما يتضمن خطوطاً أخرى اقل شدة وذات موجة اقصر.

### ليزر الغاز الجزيئي:

يحدث فعل الليزر بين مستويات الطاقة المختلفة للجزيئة، فلهذه مستويات طاقة الكترونية على غرار تلك التي للذرة وايضاً مستويات طاقة دورانية واهتزازية ، والانتقال الطيفي قد يحدث بين اثنين من هذه المستويات وعلى هذا الأساس صنفت الأنواع المختلفة لليزر الغاز الجزيئي. فالصنف الأول تكون فيه الانتقالات بين المستويات الاهتزازية والدورانية العائدة الى حالة الكترونية واحدة ويعطي فرق الطاقة بين المستويات المناظرة انتقالات ليزر تقع في مدى الأشعة تحت الحمراء والبعيدة منها ( $5 - 300 \mu\text{m}$ ) من أهم

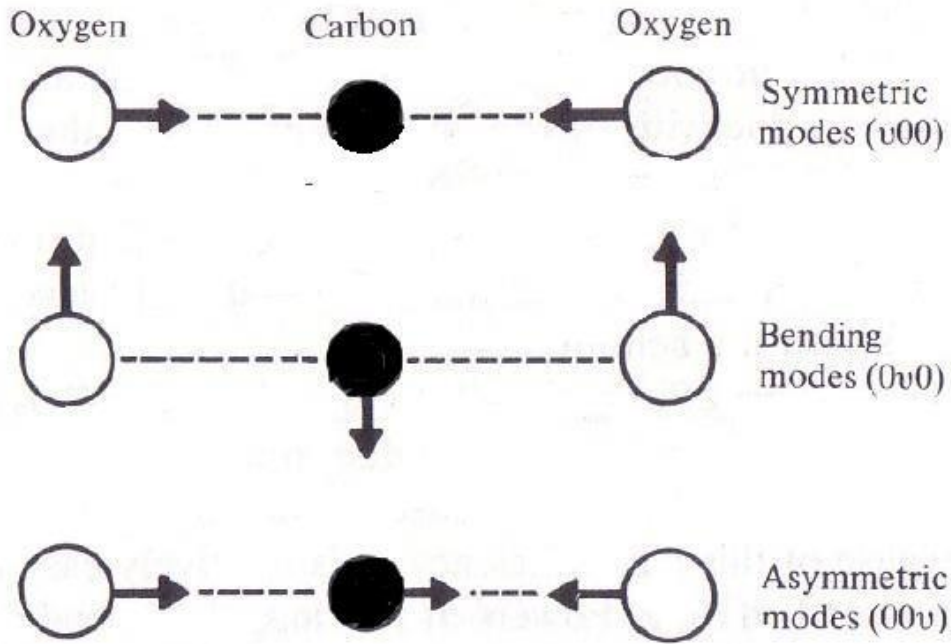
هذه الأنواع هو ليزر ثاني أوكسيد الكربون  $CO_2$  الشائع الأستعمال.

### ليزر ثاني أوكسيد الكربون $CO_2$ laser:

تتألف جزيئة  $CO_2$  من ذرتي أوكسجين تقع بينهما ذرة الكربون، بهذا الترتيب الخطي يمكن لجزيئة  $CO_2$  ان تتذبذب وفق إحدى الصيغ الاساسية. يوصف مستوى التذبذب بثلاثة أرقام  $(i,j,k)$  ليعبر عن مقدار الطاقة المناظرة لصيغ التذبذب الثلاث للجزيئة، فمثلاً يعني الترتيب (100) ان الجزيئة بهذه الحالة تتذبذب بصيغة متماثلة نقية يعبر عنها بكم واحد من الطاقة التذبذبية وليس لها طاقة تناظر الصيغة غير المتماثلة او الصيغة المنحنية. اما مستويات الطاقة الدورانية المرافقة لكل مستوى تذبذبي فيعبر عنها بالعدد الكمي  $l$ . من مخطط مستويات الطاقة التذبذبية للمستوى الارضي لجزيئة ثاني اوكسيد الكربون تضح الجزيئات من المستوى (000) الى المستوى (011) وعن طريق الهبوط السريع المشع وغير المشع يتم تأهيل المستوى (001) والذي يمثل المستوى الأعلى لانتقال الليزر وهو مستوى شبه مستقر. فاذا تم الضخ بطاقة مناسبة فالتأهيل العكسي يتحقق بين المستوى (001) والمستويين (100) & (020) فاذا كانت الخسارة في المرنان صغيرة يبدأ التذبذب باعثاً أشد انتقالاته عند طول الموجة  $10.6 \mu m$  والذي يقع في مدى الأشعة تحت الحمراء، اما الانتقال الاخر وهو الاضعف فيحدث بطول موجة تساوي  $9.6 \mu m$ . ولزيادة كفاءة عمل ليزر ثاني اوكسيد الكربون يضاف اليه غاز النتروجين وغاز الهليوم بنسب  $(40\% N_2 \& 50\% He)$  حيث يلعب غاز النتروجين نفس الدور الذي يلعبه غاز الهليوم في ليزر الهليوم:نيون (عملية انتقال الطاقة الرنيني)، اما غاز الهليوم فيعمل في هذه الحالة على زيادة سرعة تفريغ المستوى (100) وبالتالي زيادة درجة التأهيل العكسي للانتقال  $6 \mu m$ .

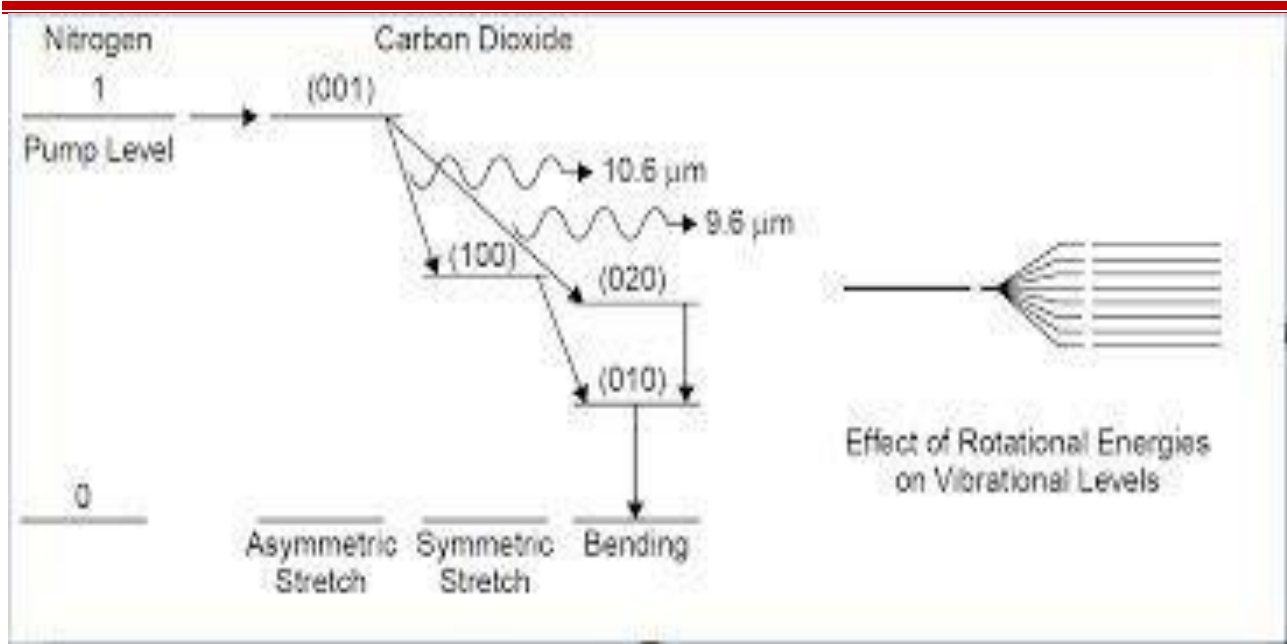


يمكن لليزر ثاني اوكسيد الكربون ان يعطي قدرة عالية من خلال الانتقال الشديد للخط  $10.6 \mu\text{m}$  فيمكن ان ترتفع كفاءة هذا الليزر الى 30% (وهي كفاءة عالية مقارنة مع كفاءة ليزر الهليوم : نيون التي تقدر بحوالي 02.0%) كما يمكن الحصول على قدرة ذروة تقع في المدى جيجاواط عند التشغيل النبضي .



ان قدرة نتاج هذا الليزر تتناسب طردياً مع طول الوسط الفعال لذا جاءت محاولات لزيادة قدرة النتاج (CW) الى عشرات كيلوواط ببناء ليزر CO<sub>2</sub> بطول عشرات الامتار.





هناك تصاميم اخرى لليزر CO<sub>2</sub> تخص تطبيقات القدرة العالية. منها ما يستخدم في الصناعة والذي يدعي بليزر الاثارة المستعرضة الجوي وتختصر هذه التسمية بليزر TEA. على العموم يمكن زيادة قدرة الناتج بزيادة ضغط غاز CO<sub>2</sub> فاذا ما اشتغل هذا بضغط جوي واحد فانه سيعطي قدرة اعلى من تلك التي استحصلت لهذا النوع من الليزر بالطول نفسه. اما الصعوبة الناجمة عن هذا التصميم فتقع في ميكانيكية ضخ الغاز كهربائياً حيث يتطلب الامر في هذه الحالة الى مصدر هائل للجهد الكهربائي لاجداث التفريغ والمحافظة على استقراره في ضغط يساوي الضغط الجوي. يقدر مقدار الجهد الكهربائي اللازم بحوالي 12 KV لكل سنتيمتر من طول انبوب التفريغ، اذ تتطلب الحالة عادة في انبوب فيه الضغط حوالي 13.3 mbar ( $\approx 10^{-3}$  atom) فرق جهد مقداره حوالي 8 KV/m من انبوب التفريغ لهذا يتطلب توفير مصدر جهد هائل لاجداث تفريغ كهربائي بصورة طولية في انبوب طوله متر واحد تحت ضغط جوي واحد.

يعتبر ليزر ثاني أكسيد الكربون أقوى الليزر في مجال الأشعة تحت الحمراء البعيدة وهو أقدم ليزر مستخدم في المجال الطبي ويحتاج العمل به إلى خبره ودقه

ومهارة، وكان هذا الليزر أكثر شيوعاً في الماضي، إلا أن إستعمالاته قلت في مجال طب الأسنان في السنوات الأخيرة وذلك لظهور أنواع أكثر فعالية وحساسية. يعود السبب في استخداماته الطبية إلى أن:

١ - امتصاص طاقة شعاع ليزر  $CO_2$  يكون جيد من قبل النسيج الرخوة ذات المحتوى المائي المرتفع، أما النسيج المجاورة للنسيج المستهدف عاجها فامتصاصها لأشعة ليزر يكون في حدوده الدنيا، وتعد هذه الميزة من ميزات شعاع ليزر  $CO_2$  الهامة في جراحة النسيج الرخوة الفموية والوجهية (القطع السريع والعميق للنسيج والعظم مع أقل نزف دموي).

٢ - شعاع ليزر  $CO_2$  يمكن الطبيب من الوصول إلى أصعب المناطق في الفم والبلعوم.

٣ - أن شعاع ليزر  $CO_2$  ينطلق بشكل مستمر أو بشكل نبضي حسب ما يتطلبه نهج العمل الجراحي.

٤ - استخدم ليزر  $CO_2$  في مجال جراحة العظم بما في ذلك جراحة عظام الفكين. أظهرت الفحوص المجهرية ودراسة الصور الشعاعية للعظام المعالجة بشعاع ليزر  $CO_2$  أن الترميم العظمي في منطقة الشق كان إما مساوياً أو أسرع من الترميم العظمي في الشقوق العظمية المماثلة التي شقت في العظام بالادوات الجراحية التقليدية.

تجدر الإشارة إلى أن ليزر ثنائي أوكسيد الكربون وليزر النيوديميوم ياج يفيد أيضاً في علاج الأمراض التالية:

التهاب اللثة، التهاب العصب واحتقانه، التهابات ما حول السن، لين العظام .  
الخراجات.

استئصال الحصيات اللعابية في الغدد اللعابية.

الجراحة قبل التعويض الصناعي (الطقم).

أورام النسج الرخوة.

في الجراحة التقويمية.

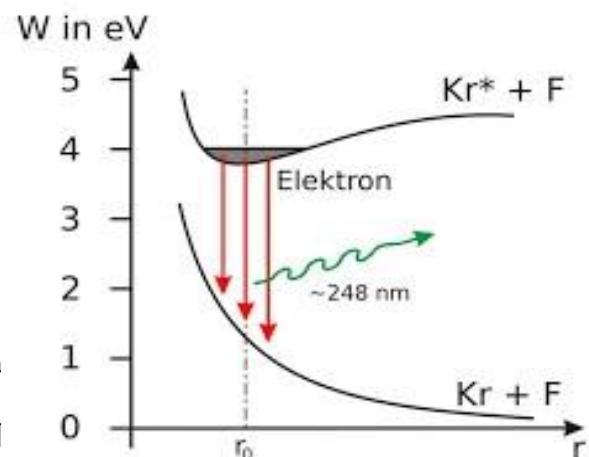
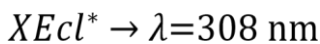
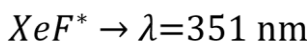
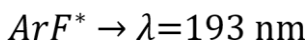
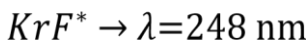
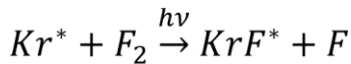
زراع الأسنان.

الجراحة اللثوية.

ليزر الأكسايمر:

وهو الصنف الأخير من انواع الليزر الغازي فيحدث نتيجة الانتقال الطيفي بين مستويات الطاقة الالكترونية ولقد أعطيت له تسمية خاصة إذ يدعى بليزر الأكسايمر أو ليزر الجزيئة الثنائية المحرصة.

الأكسايمر جزيئة في حالة مستثارة تتكون من اتحاد ذرتين ولا يمكن ان تتواجد هذه الجزيئة في الحالة الأرضية فإذا ما اضمحلت الجزيئة المستثارة الى الحالة الأرضية انفكت مباشرة الى الذرتين المكونتين لها، مثل اتحاد ذرة من الغازات النبيلة (Ar, Xe, Cr) مع احد ذرات الهالوجين (Cl, F)، وبهذا يكون المستوى المنخفض لمثل هذا الانتقال والعائد لجزيئة الأكسايمر فارغاً وهكذا يتحقق التأهيل العكسي. ويتم الضخ ضوئياً او باستخدام تفرغ كهربائي .



ثالثاً: ليزر السائل Liquid Laser

ليزر السائل ما يتميز به عن كل من ليزر الحالة الصلبة وليزر الغاز، حيث تكمن الصعوبة في ليزر الحالة الصلبة في تحضير البلورة التي يجب ان تكون على قدر عالي من التجانس وبتركيز معين من الايونات الفعالة ولايمكن تغيير مواصفاتها بتغيير تركيز المادة العالة فيها. كذلك هناك احتمالية تلف البلورة بسبب الحرارة العالية التي قد تتعرض لها اثناء التشغيل، اما الغاز فانه لا يحتوي على قدر عالي من الذرات او الجزيئات الفعالة بسبب قلة كثافة الغاز، لذلك اختيرت السوائل او محاليل المواد المختلفة حيث يحوي السائل على كثافة عالية من الذرات او الجزيئات الفعالة التي يمكن تغيير تركيزها بسهولة كذلك يكون تحضير السائل الفعال سهلاً ورخيصاً ويتم التعامل معه ببساطة. هناك الكثير من المواد العضوية التي تشكل محاليلها اوساط ليزر فعالة منها مادة الصبغة. محلول صبغة عضوية معينة في سائل مذيب معين مثل سائل أثيل الكحول او مثيل الكحول او الماء يشكل وسطاً فعالاً لليزر السائل ويدعى بليزر الصبغة. اكتشف هذا النوع عام 1965 من قبل الباحث سوروكين ومجموعته من خلال تجاربهم على ايجاد محلول

صبغة يمكن استخدامه كماص قابل للتشبع في عملية احكام عامل النوعية Q-  
witching.

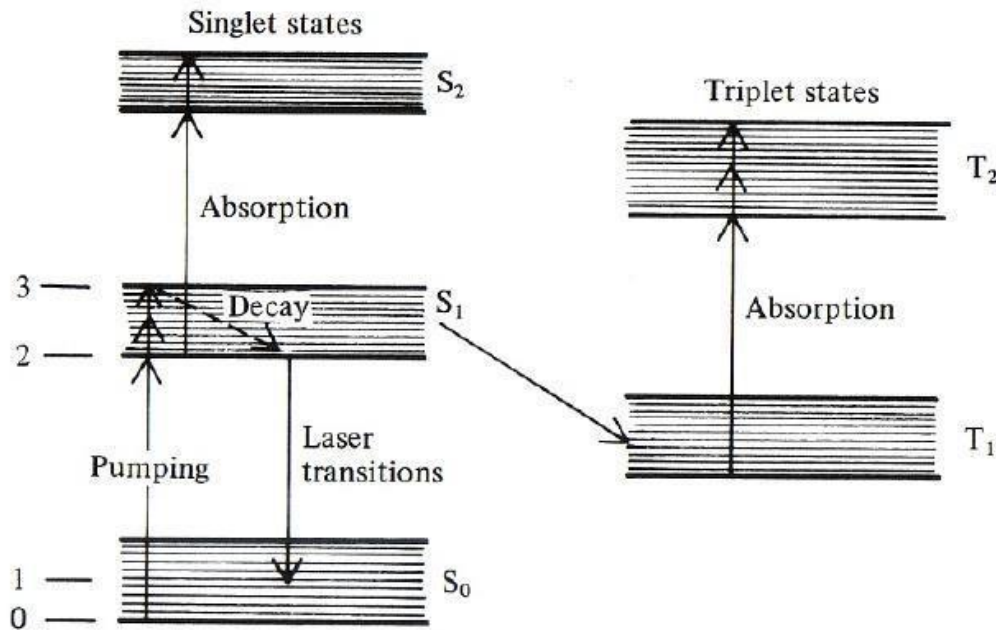
تصنف الصبغة عادة الى مجاميع حسب طول الموجة لمدى الاشعاع الذي تبعثه حيث تبعث كل مجموعة مدى معين من الطيف يتراوح مجمله ولجميع المجاميع ما بين  $1-0.4 \mu\text{m}$  هذه المجاميع هي: أصباغ البوليميثان والتي لها مدى انبعاث  $1-0.7 \mu\text{m}$  واصباغ الكانثين ويقع انبعاثها بين  $0.7-0.5 \mu\text{m}$  واصباغ الكومارين ويقع انبعاثها بين  $0.5-0.4 \mu\text{m}$  والاصباغ التلألؤية ويقع انبعاثها بطول موجة حوالي  $0.4 \mu\text{m}$ .

بسبب امكانية موالفة طول الموجة لمجمل نطاق انبعاث الطيفي لهذا النوع من الليزر وبطريقة بسيطة سهلة ولمدى لا باس به من طول الموجة فقد لعب ليزر الصبغة دوراً مهماً في كثير من التطبيقات مما ساعد ايضاً على تطوره المستمر، ومن اهم هذه الحقول حقل ابحاث علم الاطياف والكيمياء الضوئية وفي عملية فصل النضائر.

تكون جزيئة الصبغة العضوية كبيرة ومعقدة، تذوب في بعض المذيبات المعروفة ولها قدرة امتصاص عالية ولنطاق عريض من مدى الطيف الواقع في الجزء المرئي او البنفسجي من الضوء الساقط عليها ولهذا السبب تتم اثاره محاليل هذه المواد بواسطة الضخ الضوئي باستخدام مصابيح ومضية او باستخدام ليزر الحالة الصلبة، اما الضوء المنبعث عن هذه المحاليل فيغطي مدى طيفي واسع نسبياً ويعتمد هذا على المذيب وعلى تركيز الصبغة ويكون طيف الانبعاث مزاحاً بعض الشيء عن طيف الامتصاص ونحو الموجة الاطول.

تعتبر صبغة رودامين (6G) مادة نموذجية شائعة الاستعمال في ليزر السائل، هذه الصبغة تتصف بوجود عدد من الخطوط المزدوجة وهو سر فعالية هذه المواد، يطلق على هذه الازواج في الربط (الربط الثنائي الاقترابي). اما سبب هذا النطاق العريض للامتصاص

## والانبعاث لجزيئة الصبغة فيتبين من دراسة الشكل



يوضح هذا الشكل مخطط الطاقة لجزيئة صبغة عادية حيث يكون للجزيئة مجموعتان من حالات الطاقة. الحالات الاحادية ( $S_2, S_1, S_0$ ) والحالات الثلاثية ( $T_2, T_1$ ) فالاولى تحدث عندما يكون البرم الكلي للالكترونات المحرصة في كل جزيئة مساوية الى الصفر اما الحالات الثلاثية فتحدث عندما يكون البرم الكلي مساوياً الى واحد. وكما نعلم ان الانتقال بين الحالات الاحادية والحالات الثلاثية او العكس ممنوع حسب قواعد الانتقال لثنائي القطب الكهربائي فاعلمية الانتقالات المسموحة تتم بين الحالات الاحادية وايضاً فيما بين الحالات الثلاثية. ان استثارة جزيئة الصبغة يتم بارتقاء الجزيئة من الحالة الارضية  $S_0$  الى الحالة المستثارة  $S_1$  كما تحدث انتقالات سريعة غير مشعة في المستويات المختلفة للحالة  $S_1$  والى أقل مستوى لها. اما انتقالات الليزر فتتم بين أقل مستوى للحالة  $S_1$  والمستويات المتوسطة للحالة  $S_0$  ولما كان هناك مستويات طاقة دورانية وتذبذبية عديدة لكل من  $S_0$  و  $S_1$  لذا يكون لانتقالات الليزر نطاق عريض. ان الحالات الثلاثية للجزيئة لا تدخل بشكل

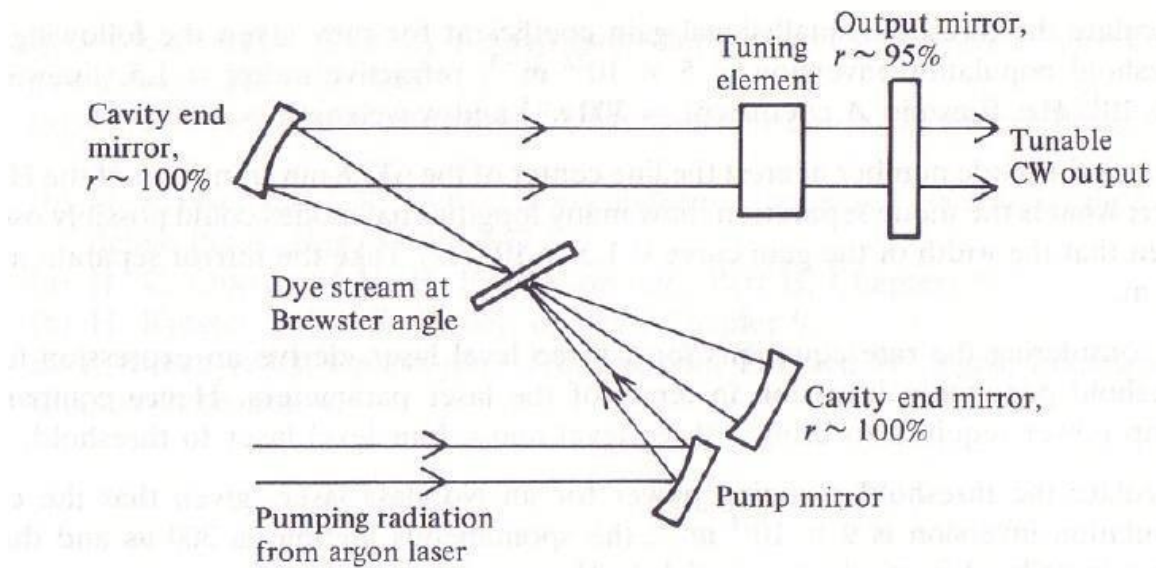
مباشر في عمل الليزر ولكن تأثيرها عمله سلبي. فهناك احتمالية صغيرة لحدوث الانتقال الممنوع  $S_1-T_1$  ولما كان الانتقال  $T_1-S_0$  ممنوعاً أيضاً فإن الجزيئات تزداد في المستوى  $T_1$  لكن الانتقال من  $T_1$  إلى  $T_2$  مسموحاً ويحدث بتردد مطابق تقريباً لتردد انبعاث الليزر وهذا غير مستحسن إذ حالما يتواجد جزء ملحوظ من الجزيئات التي تنتقل من المستوى  $S_1$  إلى  $T_1$  فإن الامتصاص من المستوى  $T_1$  إلى  $T_2$  يكون شديداً ويعمل بسرعة على تقليص ربح الليزر وبإمكانه أن يوقف عملية الانبعاث المستحث. لهذا السبب تعمل بعض أنواع ليزر الصبغة بشكل نبضي وبنبضة أمدها أقصر من الزمن اللازم لتاهيل المستوى  $T_1$  بمقدار ملحوظ. إضافة إلى ذلك قد يحدث امتصاص بين الحالات الأحادية الأعلى ( $S_1$   $S_2$ ) لبعض أنواع ليزر الصبغة لذا يتم انتخاب الصبغة بحيث أن تردد هذه الانتقالات لا تقع في المدى ذات الأهمية.

تضخ جميع أنواع ليزر الصبغة ضوئياً ويكون طول الموجة للمصدر المستخدم للضخ أقل بقليل من طول موجة الانبعاث المستحث. يتم الضخ باستخدام المصابيح الوميضية وليزر غاز النروجين وليزر الحالة الصلبة وليزر ايون الارجون وايضا ليزر ايون الكريبتون. أما كيفية انتخاب المصدر فيعتمد على نطاق الامتصاص للصبغة المستخدمة ، للحصول على نتاج ذات موجة مستمرة CW يستخدم ليزر الغاز الايوني، أما بقية المصادر فتستخدم للحصول على نتاج نبضي.

تعتمد كفاءة ليزر الصبغة على نشاط المحلول الذي يتباطأ تدريجياً مع الزمن وكذلك بسبب ارتفاع درجة حرارته بسبب تشعيهه، لذا جعل محلول الصبغة يدور في حركة مستمرة بواسطة مضخة فيدفع المحلول خلال منفث (خرطوم دقيق يتدفق منه السائل بجريان طبقي) حيث يضخ ضوئياً وبنفس الوقت يبرد المحلول العائد بعد ضخه ضوئياً



بالتبادل الحراري مع الماء الجاري. بهذه الطريقة امكن تشغيل سائل الصبغة بموجة مستمرة CW وفي درجة حرارة الغرفة وبنطاق قدرة تتراوح بين (10 mW- 1 W). لليزر الصبغة اهمية في كثير من التطبيقات بسبب امكانية موالفة الطول الموجة لنتاجه وتتم عملية الموالفة بوضع منشور في طريق اشعة الليزر او بتبديل احدى المرايا المرنان بمحزوز عاكس الذي يعمل كمرآة وعنصر تفريق في آن واحد، بتدوير المحزوز (او المرآة في حالة المنشور) يمكن انتقاء اي طول موجي واقع في نطاق انبعاث الصبغة، ففي حالة استخدام محلول صبغة رودامين (6G) يقع نطاق الانبعاث في مدى يتراوح بين (600-550 nm).



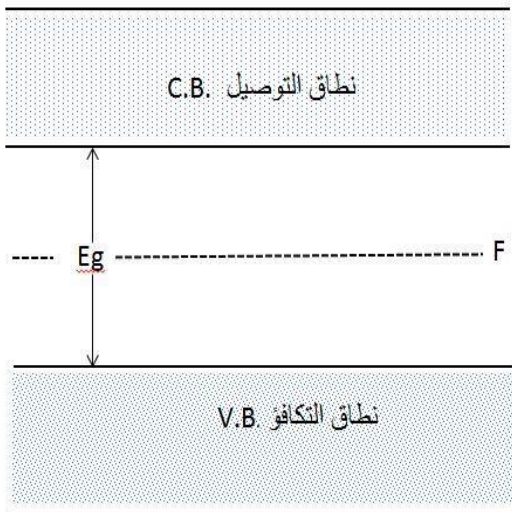
باستخدام محلول صبغ مختلفة كوسط فعال يمكن الحصول على نتاج يغطي الجزء المرئي للاشعاع الكهرومغناطيسي، ويتضح بان لمحلول صبغة رودامين (6G) اعلى كفاءة (20%) كذلك يتميز بنطاق انبعاث عريض. ان اعلى قدرة يعطيها محلول صبغة ما تعتمد على المحلول ذاته وعلى طول الموجة المستخدمة للضخ كذلك على ترتيب المرايا وطلائها وترصيفها.



### خامساً: ليزر شبه الموصل \_ Semiconductor Laser

شبه الموصل مادة صلبة بلورية فيها تشكل الذرات المفردة شبكية دورية معامل توصيلها الكهربائي اقل بكثير من معامل التوصيل الكهربائي للفلزات. تختلف عن البلورات الايونية الصلبة المستخدمة في ليزر الحالة الصلبة في طريقة تمثيل مستويات الطاقة وبالتالي ميكانيكية الضخ وعملية الانبعاث الضوئي. تمثل مستويات الطاقة في شبه الموصل صفة عامة من الصفات الداخلية للشبكية البلورية ككل ولا يمكننا التكلم عن مستوى طاقة لذرة او جزيئة منفردة او ايون منفرد في شبه الموصل او ايون مطعم في بلورته .

هذا بالاضافة الى ان ليزر شبه الموصل يختلف عن ليزر الحالة الصلبة في اغلب الصفات الفيزيائية والهندسية وبرزها الاختلاف في الحجم، فلا يتجاوز اكير بعد في ليزر شبه الموصل عن (1 mm) كذلك ان الخصائص الفيزيائية لشبه الموصل ذات العلاقة بعمل الليزر والتي تتغير مع الظروف الخارجية كالضغط ودرجة الحرارة تختلف عن تلك الخصائص وظروف تغيرها للبلورات الايونية او الزجاج في ليزر الحالة الصلبة.



مستويات الطاقة: يوضح الشكل التالي مخطط مستويات الطاقة لشبه موصل مثالي (بلورة نقية) حيث يتميز بوجود نطاقين عريضين للطاقة مفصولين عن بعضهما بنطاق طاقة محرم (فجوة) عرضه ( $E_g$ ) يطلق على هاذين النطاقين بنطاق التكافؤ (VB) ونطاق التوصيل (CB) يتالف كل

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{(E-F)}{kT}}} \dots \dots \dots (1)$$

منهما من عدد كثيف من حالات الطاقة ولا يعبر عن احتمالية تواجد الالكترتون في مستوى طاقة ما (E) وفي حالة التوازن حسب احصائية ماكسويل – بولتزمان بل يعطى بدلالة توزيع فيرمي – ديراك وبالادلة  $f(E)$  التي تعطى بالعلاقة التالية:

تمثل T درجة الحرارة المطلقة و F طاقة مستوى فيرمي ويقع ضمن نطاق الفجوة، كما ان هذا المستوى يتميز بالاعتبارات التالية:

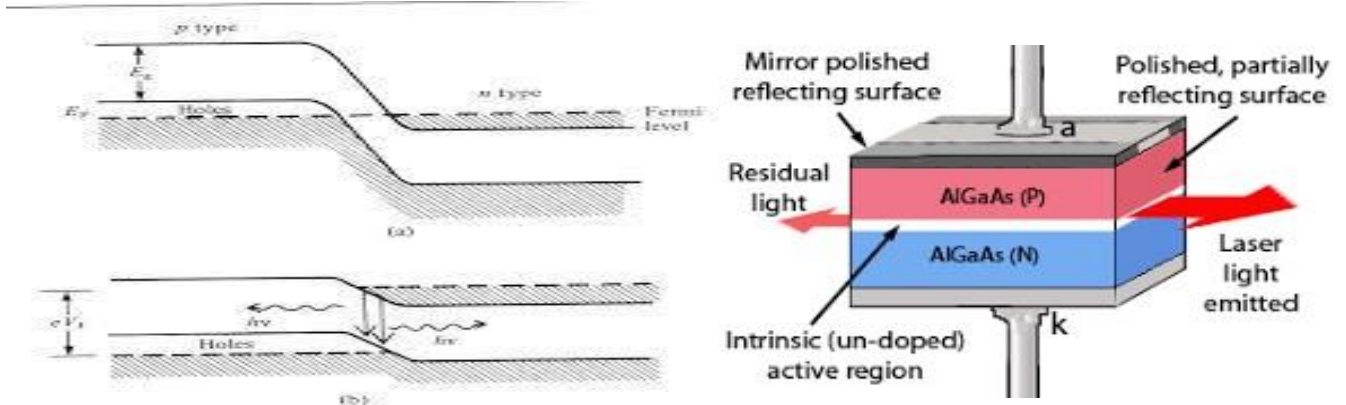
- عند الصفر المطلق،  $T=0$  ولقيم  $F < E$  اي لنطاق التوصيل تكون  $f=0$  لقيم  $F > E$  تكون  $f=1$ ، اي ان هذا المستوى يمثل الحد بين مستويات طاقة فارغة تماما ومستويات طاقة مملوءة تماما في درجة الصفر المطلق، فنطاق التوصيل فارغ من الالكترونات تماماً ونطاق التكافؤ مملوء بها تماماً وفي هذه الدرجة يعمل شبه الموصل كعازل كهربائي.
  - في درجة حرارة اعلى من الصفر المطلق ( $T > 0$ ) يتواجد بعض الالكترونات في نطاق التوصيل مخلفة وراءها فجوات الكترونية (موجبة) في نطاق التكافؤ وبناءً على ذلك يصبح بالامكان سريان نيار كهربائي بين النطاقين.
- ان المخطط البسيط الذي يصف مستويات الطاقة لبلورة نقية مثالية تماماً، اما مخطط الطاقة لبلورة حقيقية فيحتمل ان يتضمن مستويات طاقة اضافية نتيجة لوجود العيوب البلورية كالشوائب والفجوات والإنخلاعات. ان وجود الشوائب في البلورة يعمل على تحديد عدد الجسيمات التي تعمل كناقلات للتيار (الالكترونات والفجوات) ولهذا تمثل اهمية بالغة في عملية التاهيل العكسي وبالتالي الانبعاث المستحث، وعلى العموم يمكن تصنيف الشوائب الى الانواع التالية: الشوائب المانحة وتقع مستويات الطاقة لها عموماً قرب نطاق التوصيل والشوائب المستقبلية وتقع مستويات الطاقة لها عادة قرب نطاق التكافؤ واخيراً الشوائب التي تقع مستويات الطاقة لها في عمق نطاق الفجوة

والنوعان السابقان هما الأهم حيث يتم زرع كليهما عمداً في البلورة لإنتاج نوع سالب (n-type) او نوع موجب (p-type) من اشباه الموصلات. في كثير من التطبيقات يتم معالجة شبه الموصل بشوائب من كلا النوعين حيث تنتشر الذرات المانحة في احد جزئي البلورة وتنتشر المستقبلية منها في الجزء الاخر وتدعى منطقة الالتحام بينهما بالملتقى (p-n junction).

**التاهيل العكسي والضخ الكهربائي:** لغرض تحقيق التاهيل العكسي يجب ضخ عدد من الالكترونات الى منطقة التوصيل وزيادة الفجوات الالكترونية في منطقة التكافؤ فعند تسليط جهد كهربائي بالاتجاه الامامي للملتقى، اي يربط النوع السالب (n) الى القطب السالب للمصدر تتحرك حاملات التيار نحو الملتقى ويلتحمان عنده وينتج عن ذلك انبعاث له صفات الانبعاث المحفز وللمقارنة مع عمل انواع الليزر السابقة فان شبه الموصل الذي يتم تشغيله بجهد امامي لا يكون في حالة توازن حراري وذلك لسريان تيار كبير خلال الملتقى مما يجعل منطقة الملتقى بعيدة عن حالة التوازن وفي هذه الحالة لا يمكن تطبيق مبدأ توزيع فيرمي - ديراك على هذه المنطقة.

ان الاستمرار في زيادة عدد الشوائب المانحة في شبه الموصل لتركيز اعلى من مقدار معين ( $10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup>) او اكثر تعمل الذرات المانحة وبصورة جماعية على تحطيم البناء الكلي لمستويات الطاقة في شبه الموصل مسببة زحزحة مستوى فيرمي الى الاعلى وعند الاستمرار في زيادة التركيز يخترق مستوى فيرمي نطاق التوصيل ايضاً. اما زيادة تركيز الذرات المستقبلية فتعمل على خفض مستوى فيرمي الى مكان قد يصل تحت الحافة العليا لنطاق لتكافؤ وهذا مبين في الطرف الايمن من الشكل نفسه. عند اختراق مستوى فيرمي لنطاق التكافؤ او التوصيل يطلق على شبه الموصل في هذه الحالة بانه منحلاً.

نستنتج مما سبق ولتحقيق التاهيل العكسي وتنفيذ الضخ الكهربائي يتم باعداد شيه الموصل ليعمل كوسط فعال لليزر، ويتم ذلك باعداد صمام شبه الموصل بملتي  $p - n$  فيه النوع الموجب والنوع السالب (منحلا) اي ان كل منهما مطعما بالشوائب وبتركيز اكبر من  $(10^{18} \text{ atom/cm}^3)$ .



الامتصاص والانبعث المحفز في شبه الموصل:

عند ربط الصمام بفرق جهد امامي ( $V$ ) يساوي تقريباً  $E/e$  فان المجال الكهربائي سيعمل على ازاحة موضع مستوى فيرمي في كل نوعي البلورة بمقدار يعطى بالعلاقة:

$$\Delta F = eV \dots\dots\dots(2)$$

كما يسبب استخدام الجهد الامامي في حقن حاملات التيار (الالكترونات في منطقة التوصيل في نوع  $n$ ، والفجوات في منطقة التكافؤ في النوع  $p$ ) وباتجاهين متعاكسين نحو منطقة الملتقى وبهذا يتم التحامهما في طبقة ضيقة تدعى (بطبقة النضوب) تنبعث عنها الاشعة المطلوبة.

ان مستويات الطاقة والمبينة في النوعين  $n$  &  $p$  والتي هي ليست في حالة توازن حراري مع بعضها البعض يمكن ان تفسر كالتالي:

يحدث في كل نطاق وبصورة سريعة وضعا للتوازن الحراري النسبي فيمكن عندئذ وصف التوزيع الالكتروني لمستويات الطاقة في كل نطاق بحالة يطلق عليها (شبه مستويات فيرمي) ويعبر عنها بدالة فيرمي-ديراك وكالاتي:

$$f_v = \left(1 + e^{\frac{(E-F_v)}{KT}}\right)^{-1} \dots\dots\dots(3)$$

$$f_c = \left(1 + e^{\frac{(E-F_c)}{KT}}\right)^{-1} \dots\dots\dots(4)$$

اما الملتقى سيكون في هذه الحالة بعيداً عن حالة التوازن ولا يمكن معاملته كمستوى فيرمي للانتقال المستحث. عند التحام الكترون مع فجوة موجبة فان الطاقة الكلية تتحرر كفوتون يعطي تردده وفق معادلة بلانك، اي ان:

$$h\nu = E_2 - E_1 \dots\dots\dots(5)$$

ويمثل  $E_2$  &  $E_1$  طاقة الالكترون في الحالة الابتدائية والنهائية على التوالي، كما يمكن للاكترون وهو في الحالة الابتدائية ان يمتص الفوتون ويرتقي الى نطاق التوصيل وبما ان القوانين العامة للانبعث والامتصاص للاشعاع الكهرومغناطيسي يصح تطبيقها للاشعة المنبعثة عن الالتحام في ملتقى شبه الموصل فانه يتوقع حدوث الانبعث المستحث كلما تحرر فوتون .

س: تحت اي ظرف يزيد معدل الانبعث على معدل الامتصاص في منطقة الملتقى بربح يستطيع تجازو العتبة؟

يعتمد معدل الامتصاص والانبعث على عدد الفوتونات المتواجدة في المرنان على معامل اينشتاين B للانتقال، كذلك يتناسب معدل الانبعث المستحث مع حاصل ضرب احتمالية تواجد الالكترون في المستوى الاعلى واحتمالية عدم تواجده في المستوى الأدنى،

في حين يتناسب معدل الامتصاص مع احتمالية تواجد الالكترتون في المستوى الأدنى واحتمالية عدم تواجده في المستوى الأعلى، لذا وللحصول على انبعاث مستحث يجب ان يزيد المعدل الزمني للانبعاث المحفز على نظيره للامتصاص، اي يجب ان يكون:

$$f_c(1-f_v) > f_v(1-f_c) \dots\dots\dots(6)$$

وهذا يتطلب كون  $f_c > f_v$  من المعادلات (3&4) ينتج:

$$F_c - F_v > E_2 - E_1 = h\nu \dots\dots\dots(7)$$

وبما ان  $(E_2 - E_1)$  ليس اقل من  $E_g$ ، لذا يكون:

$$F_c - F_v > E_g \dots\dots\dots(8)$$

وتكافئ هذه المتباينة شرط التاهيل العكسي في الانواع الاخرى من الليزر.

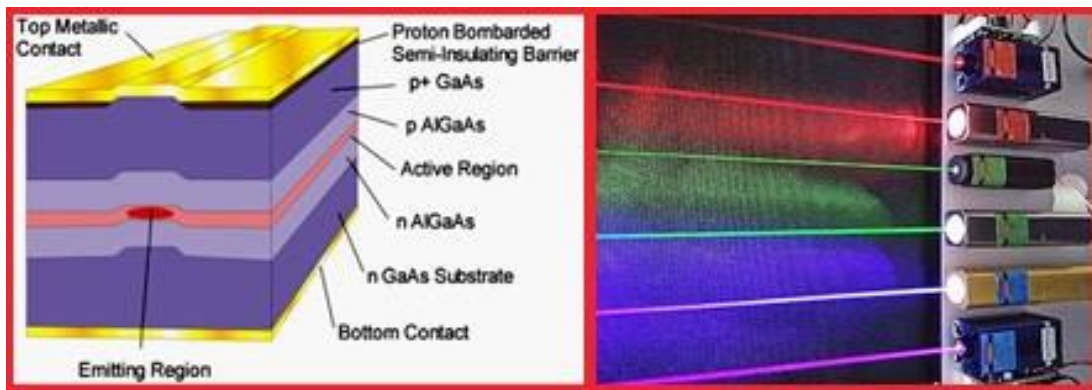
### وصف الجهاز:

ان اكثر الاوساط الشائعة الاستعمال لمثل هذا النوع هو مادة زرنيخات الكادميوم GaAs، وعموماً يكون الصمام صغير الحجم اذ يكون سمك المادة الفعالة في حدود  $(1 \mu m)$  وهي اكثر سمكاً من منطقة النضوب التي تكون صغيرة جداً في حدود  $(0.1 \mu m)$ ، اما ابعاد الصمام الاخرى فلا يتجاوز الطول والعرض عن  $(1 \text{ mm})$  اما السمك فلا يتجاوز  $(0.5 \text{ mm})$ . تقطع البلورة بحيث يكون سطحها متوازيان وسطوحها الاخرى عمودية على بعضها البعض وعلى سطح الملتقى، يصقل زوجاً متقابلاً من سطحها الجانبين ويترك الزوج الاخر خشناً لتقليص الانعكاسات البراقة غير المرغوب فيها ولا يحتاج الوجهان الصقيلان الى الاكساء بطبقة عاكسة ليعملا مرآتي فابري - بيرولان معامل انكسار شبه الموصل عالي (بلورة GaAs حوالي 3.6) وبهذا تكون انعكاسية السطوح النهائية (شبه موصل - هواء) حوالي 35% تثبت قطعة الثنائي هذه على قاعدة معدنية صلبة لتشكل



## قطباً كهربائياً.

بسبب الحيود فان حزمة الليزر تحتل منطقة الملتقى ويكون للشعاع الخارج انفراج كبير نسبياً كذلك تكون كثافة تيار العتبة لليزر شبه الموصل ذو الملتقى المتجانس عالية نسبياً في درجة حرارة الغرفة. تقل هذه الكثافة وبسرعة بانخفاض ظرف درجة الحرارة هذا بسبب كون المقدار  $f_c (1-f_v)$  يزداد مع نقصان درجة الحرارة في حين يقل المقدار  $f_v (1-f_c)$  مع نقصانها وبهذا يزداد الكسب كلما انخفضت درجة الحرارة وكنيجة لهذا فان ليزر شبه الموصل ذو الملتقى المتجانس لايعمل بشكل مستمر (CW) الا في درجات الحرارة المنخفضة (درجة الهيدروجين السائل). تم التغلب التغلب على هذه الصعوبة باستخدام تصميم يتضمن زوجاً من الملتقى غير المتجانس حيث امكن تشغيل ليزر هذا التصميم بشكل مستمر وفي درجة حرارة الغرفة وايضا بكثافة تيار للعتبة اقل منه في حالة التشغيل النبضي. للتشغيل النبضي لليزر شبه الموصل، يسلط مجال كهربائي عبر الوسط على شكل نبضة بطاقة تقارب طاقة الفجوة ويزداد التيار عبر الملتقى بشكل غير خطي مع الجهد المسلط حتى يقترب هذا من طاقة الفجوة حيث تلاحظ الاشعة المنبعثة من جميع الاتجاهات ومجمله طيف ذو نطاق عريض (اشعة تحت الحمراء بنطاق (830-840 nm) وتتغير الاشعة المنبعثة بتغير تيار الملتقى كما تعتمد طول الموجة المنبعثة على تركيز الشوائب وعلى التيار الكهربائي.



يمكن الحصول على قدرة قصوى تقدر بمئات الواط من صمام GaAs عندما يسخن بشكل نبضي وفي درجات حرارة واطئة ( $77^{\circ}\text{K}$ ) ولا تتجاوز القيمة القصوى عن 15 Watt في درجة حرارة الغرفة اما تشغيله بشكل مستمر فيعطي قدرة بين (5-10) mW في الدرجة نفسها. يغطي نتاج ليزر شبه الموصل مدى عريض من الطول الموجي الذي يتراوح بين  $(30 - 0.7)$   $\mu\text{m}$ . ان اهم نموذج لهذا النوع من الليزر هو ليزر GaAs كما ان كفاءته عالية نسبياً وبمعدل 10% لذا يعتبر ليزر شبه الموصل من انواع الليزر ذات الكفاءة العالية كذلك ان عرض نطاق تذبذب حزمته ( $10^{11}$  Hz) يشرح تشغيله بالصيغة المقفلة، كما يعد ليزر شبه الموصل GaAs من اهم المصادر المستخدمة في الاتصالات الضوئية التي تستخدم الالياف الضوئية كوسط ناقل لها. كما ان عمر الصمام طويل ( $10^6$  hours) كذلك يستخدم في عدد من التطبيقات المهمة تلك التي تتطلب قدرة منخفضة (كعمليات القراءة والمسح) ومصدراً ضوئياً باشعاع واقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

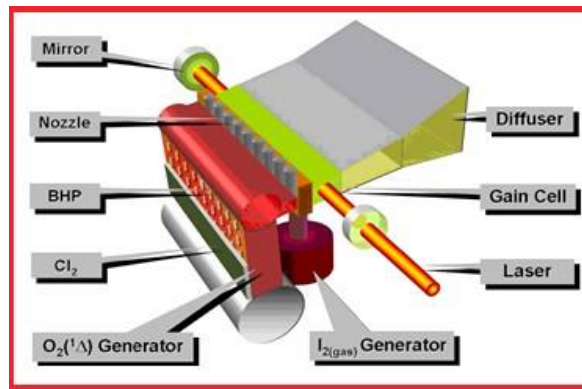
هناك مواد شبه موصلة اخرى ذات اهمية في عمل هذا النوع من الليزر كاملاح الرصاص التي تتذبذب في المدى المتوسط والبعيد من طيف الأشعة تحت الحمراء كما ان انبعاثها يمكن ان يكون ضيقاً جداً ولهذا تقع اهميتها في دراسة الاطياف تحت الحمراء وخاصة لدراسة اطياف التحليل العالي.

### الليزرات الكيميائية Chemical Lasers

يعتمد هذا النوع من الليزرات في عمله على التفاعلات الكيميائية بين بعض العناصر حيث تثار الإلكترونات إلى المدارات العليا أثناء عملية التفاعل مما يؤدي إلى حدوث التوزيع المقلوب للإلكترونات ومن ثم الانبعاث المستحث. وتتميز الليزرات الكيميائية كليزر الهيدروجين والفلور وليزر الأوكسجين واليود بقدرتها على توليد نبضات ذات



قدرات عالية قد تصل إلى الميغاواط ولذلك فإن أكثر استخداماتها في أسلحة الليزر حيث تستخدم نبضات الليزر عالية الطاقة في تدمير الأهداف بدلا من القذائف التقليدية. ولكن العيب في هذا النوع من الليزر هو في أنها كبيرة الحجم قد تحتل عدة غرف وتحتاج كذلك إلى إمداد مستمر بالمواد الكيميائية لكي تعمل ولذلك فإنه يصعب نقلها إلا من خال تركيبها في السفن أو في الطائرات الكبيرة.



ويوجد أنواع أخرى من الليزر كليزر بخار المعادن (metal-vapor lasers) والتي تولد ضوء في النطاق المرئي وفوق البنفسجي منها ليزرات هيليوم-كاديوم وهيليوم-زئبق وهيليوم-فضة وغيرها. وكذلك ليزرات الإلكترون الحر (free electron lasers) والقادرة على توليد ضوء موجات ضمن نطاق يمتد من 100 نانومتر لعدة ملليمترات وتستخدم في التطبيقات الطبية ودراسة مكونات الجو. وكذلك ليزرات الليف الزجاجي (glass fiber lasers) حيث يتم تطعيم قلب الليف بمواد فعالية كالإربيوم وتتم عملية الضخ باستخدام ضوء ليزر آخر ومن أشهر أنواعها مضخم الليف المطعم بالإربيوم (Fiber Amplifier Erbium Doped) وليزر رامان (Raman laser) والتي تولد أطوال أمواج تمتد من 1000 إلى 2000 نانومتر وعادة ما يتم استخدامها كمضخمات للإشارات الضوئية في أنظمة الاتصالات الضوئية.

**ليزر الأوعية الدموية Vascular Laser**

هذا النوع من الليزر هو موجه إلى مادة الهيموغلوبين الموجودة داخل كريات الدم الحمراء، وله استخدامات كثيرة من أهمها هو عاج الوحامات الحمراء Haemangioma & Portwin Stain وكذلك التوسع في الشعيرات الدموية Telangiectasia، وقد أثبتت فعاليته حديثاً في عاج الثآليل.

ويتم إختيار مادة الليزر بناء على الطول الموجي المطلوب كما في الجدول التوضيحي أدناه.

نوع الليزر	الطول الموجي لليزر (nm)
Argon fluoride (UV)	193
Krypton fluoride (UV)	248
Xenon chloride (UV)	308
Nitrogen (UV)	337
Argon (blue)	488
Argon (green)	514
Helium neon (green)	543
Helium neon (red)	633
Rhodamine 6G dye (tunable)	570-650
Ruby (Cr:AlO <sub>3</sub> ) (red)	694
Nd:Yag (NIR)	1064
Carbon dioxide (FIR)	10600

# الفصل الثالث

## تأثيرات الليزر وتطبيقاته

## تصنيفات الليزر من حيث المخاطر

يصنف الليزر بأربعة تصنيفات تعتمد على خطورتها على الخيا الحية. فعند التعامل مع الليزر يجب الإنتباه إلى الإشارة التي توضح تصنيفه.



إشارة تحذير بوجود ليزر

تصنف أنواع الليزر طبقاً لقوانين السامة في المقاييس الدولية بناء على درجة ضررها على جسم الإنسان ولا بد من التذكير بأن أكثر الأضرار الناتجة عن استخدام الليزر ليست بسبب أشعته وإنما بسبب سوء استعمال مصادر الطاقة اللازمة لبعض أجهزة الليزر خاصة الكبيرة من ذلك أجهزة توليد الطاقة عالية الجهد أو المواد الكيميائية المؤذية للإنسان. أما الضرر الناتج عن أشعتها فيكون غالباً على عين مستخدمه وهذا لا يعني عدم خطورتها على الأعضاء الأخرى. تعتمد الأضرار التي قد يتسبب بها الليزر للعين البشرية على التالي:

١ - مدة التعرض للأشعة.

٢ - شدة الأشعة .

٣ - لون الليزر (أو ما يعرف بالطول الموجي).

خطورة الليزر على العين:

إن أقصى شدة إضاءة تتحملها عين الإنسان دون أن تصاب بأضرار تبلغ حوالي 5

ميكروجول على السنتمتر المربع. ولما كانت الطاقة التي تتعرض لها عين الإنسان تقل كلما ابتعد عن مصدر أشعة الليزر، فإن مسافة الأمان هي أقل مسافة بين العين وجهاز الليزر، بحيث إذا تعرضت العين لنبضة ليزر مباشرة فا تصاب بضرر. وتختلف هذه المسافة حسب العوامل الآتية:

أ - حالة الجو .

ب - أجهزة التكبير الضوئية المستخدمة في أجهزة الرؤية .

ج - الانعكاسات الضارة .

د - درجة تركيز شعاع الليزر .

هـ - نوع مادة الليزر .

و - نوع شعاع الليزر، نبضي أو مستمر.

- التصنيف الأول Class I هذا يعني أن شعاع الليزر ذو طاقة منخفضة ولا يشكل درجة من الخطورة .وهي آمنة بحيث لا تتجاوز طاقتها الحد الأقصى من مستوى الإشعاع المسموح به على العين.
- التصنيف الأول Class IA هذا التصنيف يشير إلى أن الليزر يضر العين إذا نظرنا في اتجاه الشعاع ويستخدم في السوبرماركت كماشح ضوئي وتبلغ طاقة الليزر الذي يندرج تحت هذا التصنيف 4 mW.
- التصنيف الثاني Class II هذا يشير إلى ليزر ضوئه مرئي وطاقته منخفضة لا تتعدى 1 mW وهي آمنة ومصدر الأمان هنا حساسية العين بالإغماض اللاإرادي عند تعرضها لهذه الأشعة مباشرة أي بعد ربع ثانية.
- التصنيف الثالث Class IIIA طاقة الليزر متوسطة وتبلغ 1 - 5mW وخطورته على

العين إذا دخل الشعاع المباشر في العين. ومعظم الأقسام المؤشرة وليزرات ألعاب الأطفال تقع في هذا التصنيف.

- التصنيف الثالث Class IIIB طاقة هذا الليزر أكثر من المتوسط.
- التصنيف الرابع Class IV وهي انواع الليزر مرئية وغير مرئية (سواء تحت حمراء أو فوق بنفسجية) ذات الطاقة العالية وتصل إلى 500 mW للشعاع المتصل بينما لليزر النبضات فتقدر طاقته بـ  $10 \text{ J/cm}^2$  ويشكل خطورة على العين وعلى الجلد واستخدام هذا الليزر يتطلب العديد من التجهيزات وإجراءات الوقاية.
- التصنيف الخامس Class V وهي ليزرات القدرة العالية وتبعث أشعة مرئية وغير مرئية وهنا يجب الحذر من انعكاس الأشعة ولو من أجسام خشنة أو معتمة وهذا النوع قد يؤدي إلى حدوث حريق في الممتلكات.

## تأثيرات الليزر

### التأثير الحراري The thermal effect

يعتبر التأثير الحراري من أهم التأثيرات بالنسبة لليزر. ينتج هذا التأثير عن امتصاص النسيج للطاقة التي يحتوي عليها شعاع الليزر، وتبعاً لذلك ينشأ ثلاث درجات من التأثير هي: التبخير، القطع، والتبخير. يستخدم تأثير التبخير إما في إتلاف (تخريب) الظواهر الورمية الصغيرة، وإما في الأرقاء (وقف النزف). يستخدم تأثير التبخير في إتلاف (تخريب) أورام أكبر ما هو عليه في حالة تأثير التبخير. فإذا كانت المنطقة المتبخرة صغيرة جداً (0.1 - 1 mm) نحصل على ما يسمى فعل القطع مع أرقاء ممتاز للحواف. يمكننا اليوم إحصاء عدد كبير من تطبيقات الليزر الحرارية الطبية نذكر منها ما يلي:

- ✘ لحم الشبكية: يسهم تأثير التخرثر الضوئي باستخدام ليزر الأرجون في : الوقاية من انفصال الشبكية، ومعالجة بعض أمراض الشبكية السكرية.
- ✘ في معالجة الحنجرة وآفات الحبال الصوتية الحميدة بشكل خاص، وفي جراحة الأذن الداخلية وفي الأنف. كما تُستخدم في معالجة الأمراض النسائية وذلك بإتلاف آفات عنق الرحم الإلتهابية التي تؤدي إلى ظهور سرطان لاحق، وكذلك في علاج نوع خاص من العقم (العقم البوقي).
- ✘ في معالجة بعض آفات الأنبوب الهضمي النزفية وذلك باستخدام مخثرات فوتوليزرية، كما يمكن إتلاف بعض السليبات في المستقيم أو القولون ووقايتها من السرطان. كما يستعمل في حالات استئصال بعض مراحل سرطان المعدة والأورام المبكرة في القولون ويستعمل أيضاً كخط عاجي لإزالة الانسداد نتيجة للأورام المتقدمة في المريء والقولون وذلك عن طريق استعمال مناظير الجهاز الخطي، كما يستعمل في استئصال قرح الجلد والبروستات وبعض أورام الأوعية الدموية لأنه لا يصلح في ذلك الجراحة التقليدية، بالإضافة إلى توسيع الشرايين في حال انسدادها.
- ✘ في الجراحة التجميلية وجراحة الحروق والوشم وطب الأسنان. في مجال طب الأسنان لقد أجريت أبحاث وتجارب عديدة للوقاية من نخور الأسنان، وكان هدف هذه المعالجة زيادة مقاومة ميناء الأسنان في مناطق شديدة الخطورة وذلك عن طريق تغطية السن بطبقة شفافة رقيقة باستخدام نبضة ليزرية قصيرة مما يؤدي إلى تصلب الجزء السطحي من الميناء دون ظهور صدوع، يمكن أن تشكل مركزاً إنثانياً يتسبب في النخر. تعالج النخور حالياً بالليزر الذي يعقم البؤرة

الالتهابية مما يوقف النخر فوراً ويعالجه في مدة قصيرة.

### التأثير الكهركيميائي The electrochemical effect

يستخدم التأثير الكهركيميائي في تخريب بعض الأحماض الأمينية (ثيروزين، تريبتوفان، وفينيلانين) وكذلك السيتوكروم C. كما يُفيد في تشكّل الفيتامين D وآلية الإبصار. كما يمكن بواسطة القيام بتشخيص طبوغرافي دقيق، وذلك عن طريق وسم الخلايا بملون يتفلور لدى إضاءته بشكل دائم. وإذا أمكن بالإضافة لذلك تحريض تفاعلات كهركيميائية في الملون نحصل بنتيجة ذلك على تأثير عاجي في الوقت نفسه، كما هو الحال في معالجة الصُداف وبعض الأورام السرطانية. ومن الممكن أيضاً استخدام هذا التأثير في معالجة بعض الحصيات الكلوية.

### التأثير الكهريميكانيكي The electro-mechanical effect:

يتميز بهذا التأثير الليزر ذو الاستطاعة العالية، وذلك بتوليد موجات صدم تتسبب بانتشارها في تأثيرات متلفة (مخرّبة)، فإذا أمكن السيطرة على مثل هذا النوع من الليزرات يصبح مفيداً في طب العيون وذلك في معالجة بعض الآفات.

### تطبيقات الليزر الطبية

تستخدم أشعة الليزر بمختلف أنواعها في الجراحة وفي مجال طب الأسنان وطب العيون والأمراض الجلدية .

ففي مجال طب وجراحة العيون يستخدم الليزر في عاج العتمات السطحية للقرنية وفي عاج العيوب الإنكسارية للعين كقصر النظر وطول النظر والإستجماتيزم وذلك عن طريق العديد من التقنيات أهمها تقنية الليزك (LASIK) وتقنية اللازك (LASEK) وغالباً ما يستخدم ليزر الإكسايمر (Excimer) في هذا النوع من العاج بسبب قصر



طول موجته وصغر قطر شعاعه. وتستخدم كذلك في عاج المياه البيضاء والزرقاء في العين من خال إجراء ثقوب صغيرة جُدافي قزحية العين يعمل على تصريف هذه المياه والتخفيف من ضغط العين. ويستخدم الليزر في عاج أمراض الشبكية الناتجة عن مرض السكري أو غيره من الأمراض كوقف نزيف الشبكية من خال كي نهايات الأوعية الدموية وكذلك وقف انفصال الشبكية عن الملتحمة من خال كها باستخدام ليزر الأرغون.



وفي الجراحة يتم استخدام شعاع الليزر كمشروط في العمليات الجراحية حيث يتميز بدقته العالية إلى جانب عدم حدوث أي نزيف في مكان الجرح بسبب قيامه بلحام النهايات الطرفية للشعيرات الدموية ويستخدم كذلك بإزالة الأورام بمختلف أنواعها من خال تبخيرها بدلا من استئصالها بالمشروط مما يقلل من الضرر على الأنسجة السليمة المحيطة بها وخاصة في الأعضاء الحساسة كالدماع والكبد والعيون. ومن أنواع الليزر المستخدمة في هذا المجال ليزر ثاني أكسيد الكربون والأرغون. وفي طب الأسنان يستخدم الليزر لحفر الأسنان بشكل بالغ الدقة وكذلك لتنظيف أسطحها. وفي الأمراض الجلدية يستخدم الليزر لإزالة البثور وحب الشباب والتجاعيد والوحمات والنمش وآثار الحروق والوشم والشعر الزائد وفي معالجة بعض الأمراض الجلدية

كالمهاق والصدفية. ويستخدم الليزر في تفتيت حصى الكلى والمرارة وإزالة الأورام في داخل أعضاء جسم الإنسان وذلك من خلال نقل شعاعه بواسطة ألياف زجاجية دقيقة يمكن إدخالها بكل سهولة في التجويفات والمسالك والأوعية أو من خلال ثقوب صغيرة يتم فتحها في جلد الجسم.

### تطبيقات الليزر في طب الأسنان

غدا شعاع الليزر في السنوات الأخيرة حجر الأساس في عالم طب الأسنان وجراحاتها، حفر السن، إزالة العصب الملتهب، تنظيف وتهيئة قنوات العصب، كما يمكن تنظيف الأسنان واللثة وإعادة بياض الأسنان، وإزالة رائحة الفم الكريهة الناتجة عن أمراض اللثة. ويزيل البقع الناشئة عن التسوس. ويوقف انتشاره في أجزاء السن السليمة. إذ يقوم بتعقيمها من الجراثيم والبكتيريا ويساعده في ذلك اللون القاتم لموضع التسوس. فالجزء القاتم من السن أشد امتصاصاً لطاقة الليزر من باقي أجزاء السن السليمة البيضاء. والتي تمتاز بانعكاسية شديدة له.

إزالة الأورام الحميدة وبدون الحاجة في كثير من الحالات للمخدر الموضعي أو خياطة الجرح.

إطالة التاج Crown Lengthening: وذلك بإزالة أجزاء بسيطة من اللثة ليتمكن طبيب الأسنان من إعداد التركيبة المناسبة للأسنان.

لإزالة بعض الأورام الصلبة أو الطرية Epulis Soft Tissue الموجودة على الفكين أو أحدهما للمساعدة في استخدام أطقم للأسنان، وكذلك إزالة الأنسجة المتورمة بسبب بعض الأدوية.

لتخفيف الألم والالتهابات التي تصيب المفصل الصدغي.



ابتسامة اللثة (gummy Smile): يستخدم الليزر أيضاً لإعادة تشكيل أنسجة اللثة وعرض أجزاء أكبر من الأسنان السليمة وتحسين الشكل لابتسامة عند الأفراد الذين يتصفون بظهور اللثة عند تبسمهم. إزالة الأنسجة المغطية جزئياً للأرجاء الثالثة البازغة جزئياً. علاج الخراجات باللثة وعاج قنوات جذور الأسنان الملتهبة، وتقليل أعداد البكتريا الموجودة في جيب اللثة.

علاج مشاكل النطق التي بسبب (Tongue tie) والتي تمنع الحركة الطبيعية للسان. زيادة مقاومة أنسجة السن، سواء طبقة المينا أو طبقة العاج، لاحتمال حدوث التسوس، وذلك نتيجة تأثير اشعة الليزر والطاقة الاشعاعية المصاحبة لها في صهر والتحام بعض أجزاء جسم السن. وفي الوقت نفسه فإن حماية انسجة السن عن طريق اضافة الفلور، تعتبر من اكثر الوسائل استخداما كوقاية ضد التسوس، لذلك اعتبر دمج الطريقتين باستخدام اشعة الليزر ملحقة بإضافة محلول الفلوريد، قد يكون وسيلة جديدة ومؤثرة لحماية طبقات الاسنان من التسوس. وهذا حقق الى حدّ ما أهم اهداف العاج المحافظ لاسنان، وهو الحفاظ على جسم السن من خال العاج والوقاية من حدوث التسوس.

فوائد استخدامات الليزر في الطب

يمكن باختصار عرض تلك الفوائد كما يلي:

- لا يوجد أي اتصال بين الأدوات المستخدمة والهدف (مكان الجراحة).
- قلة النزف الذي يصحب عمليات جراحة اللثة.
- رفع عتبة الألم (تقليل الألم) أثناء العمل الجراحي وبعده.
- عدم الحاجة إلى التعقيم (تعقيم مثالي).
- تقليل الحاجة لاستخدام سنابل الحفر والتحذير الموضعي مما يجعل المريض يحس براحة أكثر ويقلل من الخوف من عيادات الأسنان.
- في كثير من الأحيان يعتبر عاجاً وتدخلاً أكثر دقة More Precise.
- تقليل العدوى البكتيرية حيث High Energy Beam يعقم المنطقة.
- تدمير الأنسجة المحيطة يقل.
- وضوح الرؤية عند أداء العملية.
- سهولة العمل تحت المجهر.
- إمكانية إحداث شق موضعي محدد (دقة القطع).
- إرقاء ممتاز للأوعية الصغيرة.
- إمكانية معالجة أنسجة دون أخرى (باختيار طول موجي معين).
- إجراء عمليات من غير فتح جراحي (باستخدام الألياف البصريّة) وذلك لمعالجة أورام المثانة والرئة والكلية.
- في جراحات الأمراض الخبيثة مثل السرطان والقروح وجراحات الأوعية الدموية، ويستعمل أيضاً في توسيع الشرايين وعاج قصور الدورة الدموية في الأطراف

وفي عاجات الحبل الشوكي وجراحات أخرى كالمعدة والكبد.

- اندمال جيد للجروح.
- فترة المعالجة قصيرة ويغادر بعدها المريض المشفى.
- علاج الآفات الذروية، معالجة حساسية الأعناق، القاع، والتواج.
- الدقة في العاج وذلك من خال التحكم في العملية عن طريق الحاسب الآلي.
- يقلل من الحاجة للتخدير الموضعي.
- يقلل من قلق المريض بسبب انخفاض صوت الجهاز مقارنة بجهاز حفر الأسنان الاعتيادي. لذا فان المريض يكون أقل توتراً.
- اثناء عملية حفر الأسنان، يقوم الليزر بالمحافظة على الأجزاء السليمة من السن المراد حفره.

### مساوئ استخدام الليزر في طب الأسنان

- لا يمكن استخدام الليزر على الأسنان التي بها حشوات قديمة.
- لا يمكن استخدام الليزر على الأسنان المتسوسة كلياً.
- لايمكن استخدام الليزر لتحضير الأسنان لاستام تاج أو جسرالعاج بالليزر لا يغني كلياً عن التخدير.
- تكلفة العلاج بالليزر غالباً ما تكون أعلى.

### تطبيقات الليزر في المجالات الأخرى

توجد حالياً أنواع وأحجام مختلفة من الليزرات ، منها الكبيرة لدرجة أنها تملأ ملعب كرة

قدم ، وأخرى صغيرة قد تصل إلى حجم رأس الدبوس ، وكما أسلفنا فإن ضوءها يغطي مناطق كثيرة من المنطقة المرئية إلى فوق البنفسجية وتحت الحمراء ، والمرئية منها بألوان متعددة تشمل كل ألوان قوس قزح تقريباً .

إن بعض هذه الليزررات يقدر نبضها بواحد من البليون من الثانية ، وأخرى تبقى مستمرة لسنوات تماثل أشعة الموت التي تخيلها الروائي ويلز عام ١٨٩٨ م ، وبعض الليزررات يمكن أن تركز الضوء في نقطة صغيرة كافية لتبخير الحديد أو أية مادة أرضية أخرى . وتعتبر الطاقة المركزة فيها أسرع وأشد مليون مرة من الانفجار النووي . والأخرى لا تبعث من الطاقة ما يكفي لسلق بيضة .

إن الخدمات التي أضافتها أشعة الليزر عبر الأيام والأشهر قد أوضحت بأن اكتشاف هذا الشعاع ليس بالأمر البسيط ، لأنه في الواقع يبشر بمستقبل باهر ، ممتع وغريب ، ونذكر منها ما يلي :-

- دراسة تأثير الفيروسات ( الجراثيم ) والإنزيمات وجزئيات الحموض النووية الريبوزية اللااكسيجينية DNA ، والمبادئ الأساسية للمعلومات عن الجينات التي تحمل السمات والوراثية .
- الطاقة غير المحدودة للمساعدة في عملية اندماج نظائر الهيدروجين في تقليد للوقود النووي في الشمس .
- علاج الأورام السرطانية والقضاء عليها ، وإعادة فتح الشرايين والأوردة المغلقة في الجسم .
- القدرة على تعقب جزئية واحدة من بين آلاف البلايين من الجزئيات والتقاط حركتها السريعة أو تدجينها لعمل المحفزات والعقاقير .

- بناء الحسابات الآلية الصغيرة الحجم ، ذات كفاءة التخزين الكبيرة والسريعة من الدوائر الضوئية أو تدجينها لعمل المحفزات والعقاقير .
- القدرة على رفع الكفاءات الحربية في الفضاء الكوني ، عرقلة وتوفيت أي هجوم نووي على الأرض .

لا تستهين بالليزر . فإنه يسخر ويطيح الضوء ، الشكل الأساسي للطاقة . فقط طبعنا وسخرنا الطاقة في أشكالها الأخرى وحصلنا على الثورة الصناعية في العالم . إن معرفة خفايا وكوامن الضوء والسيطرة عليها تعطي تقنية عميقة وقادرة ، وتفتح علوماً طالما خفيت على الإنسان ، ومن التطبيقات الصناعية ندرج الأمثلة التالية :-

### ١- الصناعات الكهربائية :-

البقعة الفائقة الشدة في حرارتها والمتكونة من تركيز طاقة الليزر تستعمل في صناعة الدوائر والأجهزة الإلكترونية الدقيقة . وكمثال على ذلك من الممكن لحام ( إذابة وصهر ) نهايتي سلكين منفصلين صغيرين بعد وضعهما داخل أنبوب زجاجي مغلق وبدون الحادة إلى إخراجهما من الأنبوب الزجاج وبدون التأثير عليه ، بينما يمتص من قبل نهايتي السلكين ويصهرهما مع بعضهما . ربما نذكر القارئ الكريم بملايين المصابيح واللمبات الكهربائية والإلكترونية والتي يمكن إعادة تصنيعها بهذه الطريقة.

### ٢- عصر الفضاء :-

إن تطور الليزر كان ولا يزال سريعاً ، لهذا الدخل في تطبيقات متنوعة وفي فترة زمنية وجيزة ، حيث إن الاستفادة من اتجاهيته وقدرته وضعه في موضع اهتمام في الاتصالات الفضائية لدراسة الكواكب والنجوم في هذا الكون الفسيح ، ولنا وقفة عاجلة هنا ، حيث ذكر اينشتاين في سنة ١٩٠٥ م في دراسته عن النسبية والكون الأحدب ، كيف أنه إذا أريد

لنا اكتشاف المجرات الكونية والنجوم يلزمننا مركبة تنتقل بسرعة الضوء ووفقاً لنفس نظرياته المؤكدة عملياً اليوم بأن أي جسم يملك كتلة ويتحرك بسرعة الضوء تزداد كتلته إلى ما لا نهاية . . . هذا التناقض الواقعي وضع علماء الفضاء أمام عقدتين مستحيلتين في الوصول إلى الفضاء دراسته (أولهما) لا تيسر حالياً أية إمكانية في الوصول إلى سرعة تقدر بسرعة الضوء حتى لو استخدمت كل ما يوجد في الأرض من طاقة نووية اللهم إلا إذا أراد الله لنا أن نكتشف في الكواكب القريبة من مجموعتنا الشمسية مواد جديدة غير معروفة لنا . وكل ما اخترعه الإنسان حتى اليوم من صواريخ وعابرات قارات ... الخ ، لا تزيد سرعتها عن ثلث سرعة الضوء ، لذا اعتبرت سرعة الضوء مطلقة .

( ثانيهما ) . . . وحتى لو فرض بالحصول على جسم يتحرك بسرعة الضوء فإن كتلته حسب قوانين اينشتاين المثبتة عملياً تزداد إلى ما لا نهاية ( أثبتت عملياً باستخدام المعجلات في مسارعة الجسيمات الذرية مثل الإلكترونات والبروتونات ، ووجد أن كتلتها تزداد بزيادة سرعتها ، خصوصاً عند الأقتراب من سرعة الضوء ) هذه الحقيقة تعني أن الانفجار بالنسبة للمركبات الفضائية والأجسام المتألفة من سبائك مختلفة ، لذا يبدو من المستحيل الوصول إلى المجرات والكواكب الأخرى والذي من المعروف أن مسافاتها تقاس بالسنين الضوئية أي المسافة التي يتحركها الضوء في سنة كاملة .

### ٣- التفاعلات النووية

تمثل التفاعلات النووية ، ( عدا استخداماتها الحربية في إنتاج القنابل النووية ) إحدى مصادر الطاقة المهمة في التزود بالطاقة الحرارية والطاقة الكهربائية ، وكما هو معروف يستخدم في هذه المفاعلات عناصر أصبحت نادرة وباهظة الثمن مثل اليورانيوم وفي طريقها ( مثلها مثل أي عنصر آخر ) إلى النضوب ، إلا أن مركبات اليورانيوم مثل فلوريد



اليورانيوم موجودة ويتطلب لاستخدامها فصل اليورانيوم عن الفلوريد ، والطرق المعروفة حالياً باهظة الثمن والتكاليف .

والليزر بقدرته الهائلة والسيطرة على اختيار تردده أو طوله الموجي يعطي فتحاً جديداً في مجال العلوم النووية لفصل النظائر المشعة ، والأبحاث في أكثر من مختبر في العالم سارية بكل جدية في فصل الفلوريد عن اليورانيوم ، وكذلك في التفاعلات الاندماجية النووية الذرية Fusion ، وفي مجالات أخرى لفا تقل أهمية ، ولشدة قدرة الليزر يستخدم اليوم في البدء بالتفاعلات النووية المتسلسلة ، وبذلك تقصف النويات من عدة اتجاهات بعدد من أجهزة الليزر الفائقة القدرة ، ويتم اندماج ذرتان خفيفتان مع بعضهما لتكوين ذرة واحدة ثقيلة . ولكن كتلتها لا تساوي المجموع الجبري لكتلتي الذرتين المندمجتين - حيث يبقى باقي في الكتلة يتحول إلى طاقة ذرية أن تؤدي إلى انفجار كبير . أو تحويلها إلى الأنواع الأخرى من الطاقة للاستعمالات السلمية مثل الطاقة الكهربائية أو الطاقة الحرارية .

#### ٤ - المدى والتلوث

استخدمت إلى حد قريب أجهزة الرادار Radar ، كوسيلة للكشف عن الأجسام القريبة وتعيين مواقعها ، وهذا الجهاز من الحرب العالمية الثانية وحتى اليوم وضع في تطبيقات سواء كانت عسكرية أو صناعية عديدة . واليوم ينظر إلى أشعة الليزر كبديل واسع وقوع ، والجهاز المستخدم يعرف باسم الايدر Lidar حيث يمكن بأجهزة الكايدولايت تصوير المعمورة من الجو وإعطاء أدق التفاصيل على خطوط بيانية .

أمكن قياس المسافة بين الأرض والقمر بدقة عالية باستخدام العاكس التراجعي الذيو وضع على سطح القمر ، ووجد أن خطأ القياس كان قليلاً جداً بالمقارنة بالطرق التقليدية

المتبعة سابقاً ، علماً بأن ضوء الليزر يأخذ زمناً قدره ثانيتين ونصف في ذهابه وإيابه من الأرض إلى القمر - وقد استخدم الليزر النبضي - ويعرف بصدى النبضات الليزرية .  
كما استخدم الصدى النبضي لليزر في دراسة وقياس التلوث الجوي في المدن الصناعية التي تكثر بها المداخن المختلفة من بقايا المحروقات النفطية أو الفحم الحجري . وكذلك يمكن مساعدة الطيارين في الكشف عن الأحوال الجوية إذا كانت ملائمة وآمنة للإقلاع والهبوط في المطارات .

من الليزرات الشائعة الاستعمال لهذا الغرض هو ليزر خليط الهليوم والنيون وذلك لبساطة تصنيعه وصغر حجمة خصوصاً للقدرات الصغيرة مثل ٠.٥ ملي واط .

#### ٥- التطابق الهندسي :-

في البحث عن المراكز الهندسية وفي التأكد بدقة من توازي وتعامد المستويات يعطي الليزر ، إما بالنظر المباشر أو بالقراءة الرقمية ، الدقة في التطابقات الهندسية حيث يحل وبكفاءة محل جهاز الفيديولايت الهندسي المعروف والمستخدم في حفر أنفاق السيارات والقاطرات تحت أو فوق سطح الأرض

#### ٦- نسخ المعلومات

يستطيع الليزر التعرف على الرموز المختلفة سواء كانت كتابات معينة أو رموز تجارية أو 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 لاعطاء الكشف الواضح أو نسخ ونقل المعلومات .

ومن الأعمال الأخرى في التسجيل بشعاع الليزر هي : نقل المعلومات من أجهزة المراسد

الفلكية ، ونقل وصف خطوط المطابع الورقية ، والتسجيل التلفزيوني وقراءة الميكروفلم والكتابة منه على مواد مختلفة إما مباشرة أو باستخدام محولات كهروستاتيكية والعمل جاري لإيجاد مواد جديدة حساسة لضوء ليزر الهليوم - نيون . يعطي ضوء الليزر فوائد مهمة في عمليات التسجيل والنسخ منها

أ) السرعة العالية جداً والتي لا وجود لجهاز ميكانيكي أو الكتروني حالي يضاهيها ب) التحليل النقي والذي لا يتحوي على ذبذبات تداخلية أو ضوضاء صوتية .

ج) السيطرة الكفوءة على استعماله عند ربطه بأجهزة الكمبيوتر وأجهزة التنظيم الصوتية والضوئية .

### ٧- القياسات :

تستخدم صفة أو أكثر من صفات الليزر الرئيسية في القياس بهذه الأشعة مثل أحادية الطول الموجي ، والترابط الموجي ، والشدة العالية التركيز ، والتفريق القليل لحزمته . والليزر حساس في القياس والتعرف على العيوب السطحية في المواد مثل الخدوش والكسور ، والحفر وقياس سماكة وأقطار الأجزاء المختلفة ، وخصوصاً في قطع الغيار التي كثيراً ما يحصل الخطأ في التشخيص العادي لها .

### ٨- علم الطيف

ويستخدم ف علم الطيف في دراسة المواد المختلفة كما ونوعاً ، وكان سابقاً يتم دراسة المواد باستخدام الموجات الكهرومغيطية في الترددات الراديوية إلى منطقة الميكروويف ، أي باستخدام ترددات تتراوح بين ٣٠ كيلة هيرتز و وما زاد عن ذلك تستخدم مصادر متعددة غير دقيقة .

### ٩- الصناعات الإلكترونية الدقيقة :

يدخل الليزر في صناعة الإلكترونات Resistors المختلفة من تقليم وتقصيص دقيق لابعادها ، إما يدوياً أو آلياً وبذلك يعطي حجم وقيمة كهربائية للمقاومة دقيقة جداً ، بالإضافة إلى الحفر في المواد المختلفة لتكوين المتسعات المتناهية الصغر ، وكذلك يدخل في لحم ووضع العديد من الدوائر الإلكترونية الدقيقة والصغيرة الحجم المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية المختلفة .

### ١٠- السباكة :

الشدة الحرارية لليزر وخصوصاً بعد تركيزه ، وصغر مقطعه وسهولة السيطرة عليه يجعله مهماً في عالم السباكة ومعاملة المواد ، حيث أنه قادر على إذابة وتبخير المعادن ، من ثقبها إلى حفرها ، ومن قطعها إلى لحمها مع بعضها ، كلها يمكن أن تتم بهذه الأشعة بمجهود قليل وبدقة عالية ، كونه لا يحتاج إلى ضغط ميكانيكي في عمله . وقد أثبت باستخدام الليزر النبضي بطاقة ٢٠ جول في النبضة الواحدة ، إمكانية تبخير المادة بدلاً من إذابتها ، و ٥ جول من النبضات المستمرة قادرة على الثقب واستعماله كمشقاب .

### ١١- المواصفات والمقاييس :

في هذا المجال يدخل الليزر في أعمال كثيرة منها : آلة تصوير (كاميرا) سينمائية ذات سرعة عالية حوالي ١٠٠٠٠٠ صورة في الثانية لمراقبة التفاصيل الزمنية والمكانية للظواهر الحرجة مثل الانفجارات المختلفة ، ومراقبة أبخرة الاحتراق المتصاعدة من المحركات النفاثة... الخ .

### ١٢- الاتصالات اللاسلكية :

أجهزة الاتصالات الكهرومغناطية العصرية معتمدة كلياً على الترددات الراديوية

والموجات الدقيقة ( الميكروويف ) ، أما إهمال الموجات الضوئية في الاتصالات فهو لعدم توفر المصادر الضوئية بالإضافة إلى الصعاب الكثيرة الناتجة عن تفرق وتشتت الموجات الضوئية والامتصاص الجوي لها ... إلا أنه بتطور الليزر أوجد المصدر الضوئي المثالي للاتصالات اللاسلكية المستقبلية .

### ١٣- ذاكرة الحاسبات الآلية :

تستخدم حالياً طريقة التخزين المغنيطي للمعلومات في ذاكرة العقول الإلكترونية Computers ، وذلك بالإستفادة من المجال المغنيطي في التأثير على تركيب وتوزيع المواد في الشريط أو القرص الحافظ للمعلومات ، وفي العادة نحصل على شرائط طويلة في أقراص كبيرة .

سجل هذا العصر التطور في التخزين الضوئي للمعلومات باستخدام الليزر وقد أنتج قرص عرضه ( ٥ سنتيمتر ) له سعة تخزين تصل إلى ١٠ مليون بايتز ( بلغة الكمبيوتر ) أي أن ٥٠٠٠ صفحة من كتاب يمكن أن تخزن في جهة واحدة من القرص . وهذه الذاكرة تخزن المعلومات بمعدل ٢٥٠ كيلو بايتز في الثانية وتعطي المعلومات بنفس المعدل . وتصل دقة بحث الذاكرة في ٠.١ من المليون في المتر ، ودقة التركيز تقدر بواحد من المليون في المتر .

### ١٤- الزراعة :

عند تعريض بذور الحنطة لأشعة الليزر أحدثت تشوهات جنينية فيها والتي أدت بدورها إلى زيادة الإنتاج بمقدار ٨٠% . بالإضافة إلى ذلك إمكانية التعقيم وقتل البكتيريا والجراثيم الضارة بأشعة الليزر يجعلها في مستوى تفاؤلات كثيرة لمستقبلها في هذا المجال الحيوي .

١٥- علم الأرصاد:

كون نفاذ وامتصاص أشعة الليزر معتمداً على الطول الموجي المنبعث ( أي نوع الليزر ) ، فإذا أخذنا شعاع ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون ذا طول موجي ١٠.٦ ميكرومتر ، فإن نفاذ وامتصاص حزمة هذا النوع تعتمد بقوة على حجم وتوزيع القطرات المائية والبلورات الثلجية في الجو ، لذا فإن هذا النوع من الليزر يمكن الإستفادة من خدماته بكل سهولة لدراسة التركيب الميكروسكوبي الدقيق والتركيب الخارجي لتكون الغيوم فيما يخص علم الأرصاد .

١٦- علم الفلك :

من المعروف أن التشتت أو التفريق الصغير جداً لحزمة الليزر يطور ويحسن القياسات للمسافات بين النجوم وحركتها ، خصوصاً كون أحد أنواع الليزرات يملك طول موجي معين له القدرة على النفاذ من الجو إلى الفضاء الفسيح وبأقل أمتصاص من مكونات الجو الأرضي ولهذه الصفة أهمية في الاتصالات الفضائية .

١٧- علم طبقات الأرض:

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 الرئيسية في استعمال الليزر لمعاملة المواد هي العملية الثنائية في الإذابة والتبخير . تصرف الطاقة الشعاعية الساقطة على سطوح المواد بتركيز حزمة الليزر بأربع طرق :

( ١ ) جزء من الطاقة يعكس ويفقد .

( ٢ ) تستعمل أكثر الطاقة المتبقية لذوبان المعادن .

٣ ) يستخدم جزء صغير نسبياً من الطاقة لتبخير السوائل المعدنية .

٤ ) يوصل الجزء الأصغر من الطاقة إلى المعادن غير الذائبة على شكل حرارة .

يمكن استخدام الليزر في المناجم للتعرف على مكونات الصخور من المعادن المختلفة، وكذلك من الممكن الاستفادة منه في حفر الآبار البترولية والكشف عن كميات ومعدلات وجود البترول والمواد الأخرى المصاحبه لها ، وأعماقها الأرضية ، ونوعية طبقات التربة.

### ١٨- تصنيع المواد

ليزر الياقوت ، وليزر الياج ، وليزر الزجاج ، وليزر ثاني أكسيد الكربون ، والأرجون .  
فطريقة الحث في الليزر الثلاث الأولى تتم بالضخ الضوئي ، أي تستخدم مصادر ضوئية متوهجة ذات قدرات عالية في إثارة موادها وتحفيزها على بعث شعاع الليزر . أما الليزرين الآخرين فطريقة الحث فيهما بالضخ الكهربائي أي تستخدم أقطاب كهربائية تحت جهد عالي في تأين الغازات المستخدمة ، وبالتالي إثارة ذراتها وتحفيزها على إشعاع الليزر أو ما يعرف بالحصول على التعداد المعكوس ، المبدأ الأساسي في الحصول على شعاع الليزر من المواد .

### ١ ) أجهزة الليزر مع معاملة المواد :

يُستخدم الليزر في عمليات تصنيعية عديدة أبدى فيها كفاءة عالية في رفع الإنتاج وتقليل التكلفة من جراء السرعة العالية في الإنجاز ، وهبوط معدلات الضياع والفقدان ومن الأجهزة والوحدات الشائعة الاستعمال حالياً ، نذكر منها ما يلي :

### أ) وحدة القطع والحفر:

تستعمل هذه الوحدة لقطع وحفر المواد التالية : المعادن بأنواعها ، والمواد البلاستيكية، والخزف أو السيراميك ، والأنسجة الكيميائية ، والأقمشة المختلفة ، وحتى المواد

الزجاجية عندما يطلى سطحها بطبقات من المواد الماصة للإشعاع الضوئي مثل الكربون .

( ب ) وحدة التشذيب :

في عمل الدوائر الإلكترونية المتناهية في الصغر يجرى ترسيب المواد الموصلة والعازلة على رقائق من المواد نصف الموصلة للتيار الكهربائي مثل السيليكون والعقيق والخزف ومن ثم تسلخ الزوائد من الرقائق الدقيقة بين الدوائر الإلكترونية وتفصل عن بعضها لإعطاء الصيغة النهائية للدائرة الإلكترونية .

### ١٩ - الليزر في التصوير الشبحي الهولوجراف

أولاً : مبادئه وأهميته

استخدام أشعة الليزر في التصوير الشبحي المتكامل المجسم بأبعاده الثلاثة :

تعتبر القدرة على الرؤية المجسمة إحدى الخواص الفريدة التي تملكها العين عند الإنسان ، والليزر فتح المجال للقدرة على التصوير المجسم ، لما يمتلكه من صفات غير عادية في خصائص شعاعه ، أهمها في هذا المجال هي شدته وترابط موجاته المنبعثة في الزمان والمكان أو ما يعرف بالترابط الموجي لإشعاعاته . وقد عرف هذا العالم الجديد باسم الهولوجراف وهذا تعبير مركب من كلمتين يونانيتين الأصل هي هولو ... وجراف ومعناها التسجيل المتكامل ، وفي الواقع ليس تصويراً بمعنى التصوير التقليدي (الفوتوغرافي) بل إظهاراً وتسجيلاً متكاملاً للجسم بحيث لا نفرقه عن أصله ولا نميزه عن حقيقته إلا إذا قيل لك .

عندما ترى الهولوجرام لجسم ما فإنك تجد التفاصيل الدقيقة ، وتستطيع أن تتفحصه من كل الجهات وباختلاف الزوايا كأنك ترى شبحاً مجسماً في الفضاء وإذا هممت بتلمسه



انبرى لك فضاء فارغاً وتصعقت الحقيقة لأول وهلة بأنها خيلاً مجرداً ، لا حياة فيه ، ولا تملك إلا أن تتساءل كيف حيث هذا ؟

أما في الهولوجراف فإنك ترى كل الجسم وعندك متسع من الوقت لفحصه ودراسته من كل الجوانب والاتجاهات لترى حقائق أخرى قد غابت عنك في واقعها . يسحرك هذا العالم ويدخلك عالماً آخرأ تمتزج فيه الصورة والخيال .

لا حاجة في الهولوجراف لاستخدام العدسات ، بل نحتاج إلى شعاع الليزر في أبسط أشكاله ، وشفافة وحساسة لضوء الليزر مع مرآة عاكسة . يقسم شعاع الليزر إلى قسمين : القسم الأول يسمى بشعاع الجسم حيث يتجه إلى الجسم نفسه وينعكس منه حاملاً في طيات أمواجه التفاصيل الكاملة له على صيغة التغييرات الحادثة في أطوار وسعات الموجات والجزء الآخر من الشعاع والمسعى بالشعاع الأصيل يعكس بمرآة ليلتقي مع الجزء الأول على الصفيحة الحساسة والتي تسمى بالهولوجرام ومن تداخل هاتين الحزمتين . تتكون على الصفيحة الحساسة دوائر مركزية وخطوط متشعبة لا تمت بصلة للجسم المصور ولكننا إذا أمعنا النظر في داخلها فسنرى عالماً آخر تجد فيه الجسم المصور يحتل مكاناً بارزاً وإن ثبتت الصفيحة الحساسة ووجهت عليها الإضاءة الملائمة برز الجسم بأبعاده الثلاثة وبشجيته المذهلة مرتكزاً في الفضاء الفارغ .

ولو أردت أن تكون نفس هذه الصورة بالطرق الفوتوغرافية العادية لوجدت أنك بحاجة لأخذ ملايين الصور وبزوايا مختلفة لتعطي كامل التفاصيل الدقيقة ، وطبعاً من المجال جمعها سوياً .

والأغرب من ذلك لو أنك حطمت الصفيحة الحساسة ( الهولوجرام ) إلى قطع صغيرة متناثرة سوف تجد في كل قطعة منها الصورة الشبحية نفسها كأن شيئاً لم يتغير فيها

ولكنك لو دقت النظر سوف تجد بأن إحدى الزوايا مفقودة .

### ثانياً : تطبيقات الهولوجراف

يمكن إيجاز أهم تطبيقات الهولوجراف في النقاط التالية :-

إنه استقطب خيال الكثير من المهندسين والباحثين في التطبيقات الصناعية ، المدنية منها والعسكرية فبوساطة ، الهولوجراف تخزن المعلومات في الكمبيوتر وبذلك ترتفع كفاءة وسعة وسرعة خزن المعلومات في ذاكرة العقول الإلكترونية

- في المجاهر ( الميكروسكوبات ) يمكن استطلاع ورؤية الخلايا الحية وبأبعادها المجسمة الثلاثة ، وبذلك تعطي العلماء والباحثين ولأول مرة القدرة على رؤية الخلايا والجسيمات الدقيقة والتي لا ترى بالعين المجردة ، بوضعها الطبيعي الجسم .

- تصوير الأجزاء المعدنية والميكانيكية في السبائك والمواد المطاطية المختلفة ، وتدرس بذلك عيوب التصنيع وجودة الآلات ، بالإضافة إلى مراقبة التغيرات الحادثة نتيجة الاستعمال والاستهلاك وهي تعطي مؤشرات الخطورة قبل وقوعها .

- لمنع السرقات للتحف والآثار الثمينة أو المجوهرات النادرة والأعمال النفيسة فإنه تصور بالهولوجراف ، وعرض صورها المجسمة بدلاً منها وهذه الصور لا تفرق عن أصولها في كل دقيقة من دقائق تكوينها ، وهذه ، كما لا يخفى ، معالجة رائعة ومذهلة لسرقات التحف النفيسة .

- يستفاد من طريقة الهولوجراف في الطرق الدولية داخل المدن في إظهار الإرشادات المختلفة لسائقي العربات على شكل كلمات مجسمة للتدليل عن إغلاق لبعض الممرات ، أو استخدام مسارات مختلفة منعاً لوقوع الحوادث ، ويستعاض عن

النشرات الراديوية بذلك .

### ٢٠- الاستخدامات العسكرية:

بالنسبة لهم ستكون مثل هذه التقنية ذات أهمية كبيرة، فهي تُنافس الخدمات في زيادة الضغط على النطاق الترددي من الطيف الكهرومغناطيسي المزدحم، من أجل استيعاب المنصات غير المأهولة وأجهزة الاستشعار والأجهزة الأخرى التي تقدم مقاطع فيديو في الوقت الفعلي وغيرها من مجموعات البيانات الكبيرة، كما أن وكالة مشاريع الأبحاث المتقدمة للدفاع تبحث في تقليل الحجم والوزن والطاقة لمتطلبات الليزر التي يمكن استخدامها في الأسلحة وكذلك في الاتصالات ذات النطاق الترددي العالي. ويمكنك أن تتخيل مدى أهمية الليزر في الاتصالات ونقل البيانات عندما تعلم أن فيسبوك يجرب حاليًا استخدام الليزر، بدلاً من الموجات الراديوية، لإجراء اتصالات أفضل للأقمار الصناعية الفضائية، مما قد يؤدي إلى ارتفاع معدلات البيانات والوصول إلى الإنترنت أسرع في كثير من البلدان النامية.

### ٢١- استخدامات الليزر في الاتصالات

شكّل الليزر حجر الأساس لجميع أنواع التكنولوجيا الرقمية في القرن الحادي والعشرين، وفي كل مرة تذهب فيها للتسوق ويمر ماسح الباركود على مُشترياتك، فأنت تستخدم الليزر لتحويل الباركود المطبوع إلى رقم يمكن أن يفهمه جهاز الكمبيوتر المتصل بالجهاز، إضافةً إلى كابلات الألياف الضوئية، إذ يُستخدم الليزر على نطاق واسع في تقنية تسمى الضوئيات، وهي تستخدم فوتونات الضوء للتواصل، وغيرها الكثير من الاستخدامات التي سنتطرق لها فيما يأتي:

الألياف الضوئية: لقد أحدث الليزر ثورة في الطريقة التي نتواصل بها وهي مسؤولة إلى

حد كبير عن ظهور عصر المعلومات، وتُعد شبكة الألياف البصرية التي تُمثل جوهر الاتصالات الهاتفية البعيدة المدى والإنترنت من أهم العوامل في هذا العصر الجديد لنقل المعلومات، تعتمد هذه الشبكات على نقل المعلومات عبر الألياف الزجاجية أو البلاستيكية على شكل نبضات ضوء الليزر، إذ تتحول نبضات الضوء في وجهتها إلى إشارات كهربائية تُعبّر عن المعلومات، وقد حلت أنظمة الألياف الضوئية بسرعة فائقة محل شبكات الأسلاك النحاسية الموجودة مسبقًا، فقد تميزت بمرونتها وتكلفتها الأقل وكفاءتها العالية ووضوح إشارتها وقدرتها المتزايدة على نقل أضعاف حجم البيانات مقارنةً بالأسلاك النحاسية، مما جعلها خيارًا ممتازًا لصناعة الاتصالات السلكية واللاسلكية [٣].

تكنولوجيا المعلومات والاتصالات: نظرًا لأن الليزر يمكنه أن يحمل كميات كبيرة من المعلومات كنبضات، فقد وُظف على نطاق واسع في صناعة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وتشمل الأمثلة على المجالات التي يستخدم فيها الليزر: التخزين وحفظ البيانات: يمكن لأجهزة الليزر قراءة المعلومات المشفرة كـ "حفر" مجهرية على الأقراص المضغوطة وأقراص DVD و Blu-Ray وغيرها من وسائط التخزين وكتابتها. زيادة سرعة المعالج: يمكن أن توفر أشعة الليزر الصغيرة بديلاً عالي السرعة للترانزستورات، ويمكن استخدام الإشارات الضوئية لتوصيل الدوائر المتكاملة بسرعة الضوء، وكذلك توفير أساس لجيل جديد من الذاكرة ثلاثية الأبعاد.

الليزر ديود (Laser Diode): ويُعد الليزر ديود من المكونات الرئيسية لأي أنظمة اتصالات ذات النطاق العريض، إذ تُستخدم كجهاز إرسال عالي السرعة في شبكات الألياف البصرية الرقمية والتناظرية، لضخ أشعة الليزر في مضخات Erbium doped amplifiers، أو أشعة ليزر عالية الطاقة في مجال الاختبار والقياس، وتضم الاتصالات

البصرية أي شكل من أشكال الاتصالات التي تستخدم الضوء كوسيلة نقل للبيانات، ويتكون نظام الاتصال البصري من جهاز إرسال يشفر رسالة بصورة إشارة ضوئية وقناة تحمل الإشارة إلى وجهتها وجهاز استقبال يعيد إنتاج الرسالة من الإشارة الضوئية المستلمة.

## ٢٢- استخدام الليزر في مجال التعدين

التعدين: هو استخراج المعادن القيمة او اي مواد جيولوجية اخرى من باطن الارض عادة (وليس دائما) من جسم خام المواد التي يحصل عليها بالتعدين تتضمن الحجر الجيري والفحم والنحاس والذهب والفضة والاماس والحديد والرصاص والفوسفات والصخر النفطي واليورانيوم واي مادة لا يمكن تنميتها بالعملية الزراعية او خلقها اصطناعيا في معمل او مصنع.

يزور الجيولوجيون وعلماء آخرون المواقع للنظر في الصخور واجراء القياسات وتحديد المخزون ورسم الخرائط الجيولوجية لتقييم ما اذا كانت المنطقة لديها امكانية لاحتواء المعادن. أصبحت الطرق التقليدية للحصول على قياسات التفجير غير مقبولة بسبب مطالب اليوم بزيادة سلامة العمال وانتاجية الالغام هذا هو السبب في فتح المجال لاستخدام تقنية الليزر المتمثلة في ادوات قياس الترسيف وتنميط وجه الصخور لتصميم الانفجار وقياسات حجم المخزون ورسم الخرائط، حيث يتم التقاط البيانات عن طريق الوقوف على الارض ولم يعد من الضروري تسلق اكوام الحجارة، مجرد نقطة واطلاق ليزر، مما جعل من تلك المهام اسهل واسرع وأكثر أمانا، وهذا يعني التوفير في الوقت والمال وايضا الحفاظ على حياة العاملين.

# الفصل الرابع

## الألياف الضوئية

## الألياف الضوئية Optics Fiber



كلما تحدث الناس عن أنظمة التلفون أو التلفزيون التي تعمل بالكوابل الأرضية أو شبكات الانترنت اقترن الحديث دوماً بذكر الألياف الضوئية fiber optics فما هي الألياف الضوئية.

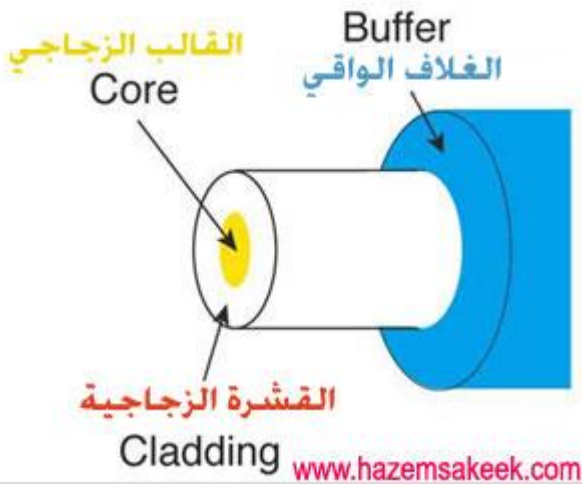
الألياف الضوئية هي عبارة عن شعيرات طويلة من زجاج على درجة عالية من النقاء يصل رفعها إلى حد أن تماثل شعرة رأس الانسان. تصطف هذه الشعيرات معا في حزمة تسمى الحبل

الضوئي (optical cable). إذا نظرت عن قرب لأحد هذه الألياف الضوئية ستجد انه يتكون من:

القالب Core وهو قلب من الزجاج الفائق النقاء يمثل المسار الذي ينتقل من خلاله الضوء.

القشرة الزجاجية cladding و هو المادة الخارجية التي تحيط بالقلب الزجاجي و هي مصنوعة من زجاج يختلف معامل انكساره عن معامل انكسار الزجاج الذي يصنع منه القلب ويعكس الضوء باستمرار ليظل في داخل القالب الزجاجي

الغلاف الواقي Buffer coating و هو غلاف بلاستيكي يحمي القلب من الضرر



مئات أو ربما الآلاف من هذه الألياف الضوئية تصطف معا في حزمة لتكون الحبل الضوئي الذي يحمى بغطاء خارجي يسمى جاكيت.

### أنواع الألياف الضوئية

الألياف الضوئية يمكن أن تقسم بصفة عامة إلى نوعين أساسيين:

- الألياف الضوئية ذات النمط الاحادي **single mode fiber** تنتقل من خلالها إشارة ضوئية واحدة فقط في كل ليفة ضوئية من ألياف الحزمة و هي تستخدم في شبكات التلفون و كوابل التلفزيون. هذا النوع من الألياف يتميز بصغر نصف قطر القلب الزجاجي حيث يصل إلى حوالي 9 micron و تمر من خلاله أشعة الليزر تحت الحمراء ذات الطول الموجي 1.3-1.55 nm.

الألياف الضوئية ذات النمط المتعدد **multi-mode fibers** و بها يتم نقل العديد من الإشارات الضوئية من خلال الليفة الضوئية الواحدة مما يجعل استخدامها أفضل لشبكات الحاسوب. هذا النوع من الألياف يكون نصف قطره اكبر حيث يصل إلى 62.5 micron و تنتقل من خلاله الأشعة تحت الحمراء.

### كيف تعمل الألياف الضوئية وكيف تنقل الضوء خلالها؟

افتراض انك تريد أن توصل ومضبة ضوئية خلال مسار طويل مستقيم كل ما عليك هو أن



توجه الضوء خلال هذا المسار ولان الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة فانه سيصل للطرف الآخر بلا مشاكل. لكن ماذا لو كان المسار به انحناء؟ بسهولة يمكن أن تتغلب على ذلك بوضع مرآة عند الانحناء لتعكس الضوء إلى داخل المسار مرة أخرى. و بنفس الطريقة تحل المشكلة لو كان المسار كثير الانحناءات حيث تصف مرآيا على طول المسار لتعكس الضوء باستمرار من جانب الآخر ليبقى في مساره. هذه بالضبط هي فكرة عمل الألياف الضوئية. حيث ينتقل الضوء بواسطة الانعكاس المستمر عن الجدار المحاذي للقالب الزجاجي (cladding) انعكاسا داخليا كليا. و لان هذا الجدار لا يمتص أي من الضوء الساقط عليه فان الإشارة الضوئية يمكن أن تسافر مسافات طويلة. و لكن يحدث أحيانا أن يفقد جزء من الضوء حيث تمتصه الشوائب الموجودة في القلب الزجاجي.

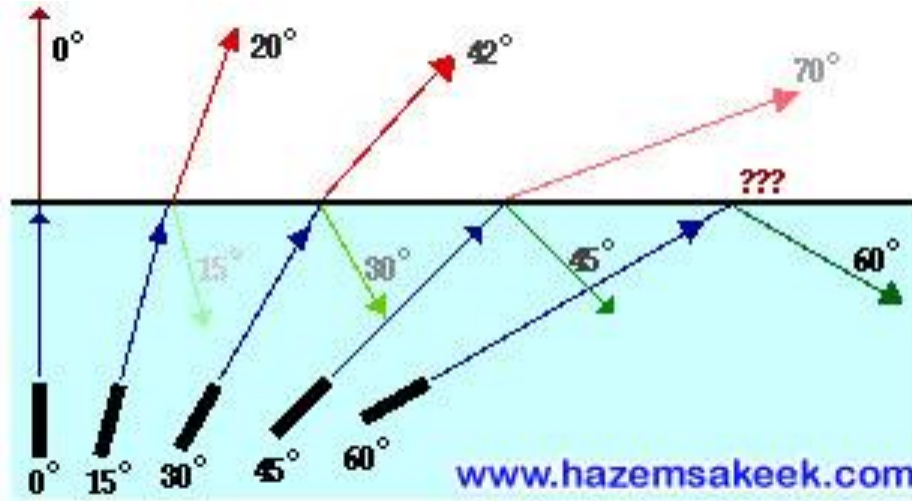
لكي تحدث الانعكاسات المستمرة على جدار الغلاف الواقي داخل الألياف الضوئية فإن هذا يعتمد على ظاهرة فيزيائية تسمى ظاهرة الإنعكاس الداخلي الكلي total internal reflection فما هي هذه الظاهرة وكيف تعمل؟

### الأساس الفيزيائي لنقل الضوء خلال الألياف البصرية

ظاهرة الإنعكاس الداخلي الكلي total internal reflection هي الأساس الفيزيائي لتكنولوجيا نقل الضوء عبر الألياف الزجاجية حيث ان أننا ذكرنا سابقا أن كلا من القالب الزجاجي والقشرة الزجاجية من الزجاج ولكن معامل انكسارهما مختلف. فلماذا كان معامل الانكسار مختلف ولماذا وجدت طبقتين من الزجاج؟

تخيل لو اننا قمنا بالتجربة الموضحة في الشكل التالي والتي تمثل شعاع من الليزر في حوض من الماء وتشكل حافة الماء حاجز بين وسطين هما الماء الذي معامل انكساره اكبر

من وسط الهواء، فعندما يسقط شعاع الليزر عمودياً على الحاجز فإنه ينفذ بالكامل،  
أما إذا زادت الزاوية تدريجياً كما في الشكل التالي:

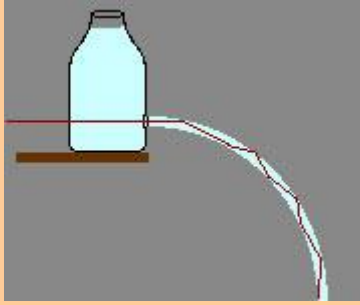


نلاحظ أن جزء من  
الشعاع ينفذ والجزء

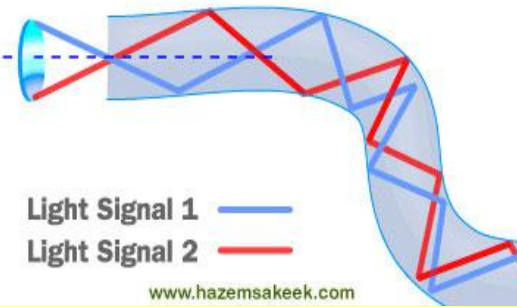
الأخر ينعكس داخل الماء وكلما زادت زاوية السقوط كلما قلت شدة الشعاع النافذ  
وإزدادت شدة الشعاع المنعكس، وعند زاوية (تقريباً 48.6 درجة) تسمى الزاوية الحرجة  
يخرج الشعاع موازياً لسطح الماء وإذا زادت زاوية السقوط قليلاً عن الزاوية الحرجة فإن  
الشعاع ينعكس بالكامل ولا ينفذ منه شيئاً وهذه الحالة تسمى الانعكاس الكلي  
الداخلي total internal reflection.

تحدث ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي إذا تحقق الشرطين التاليين:

- (١) ان ينتقل الضوء من وسط ذو كثافة ضوئية أعلى (معامل انكساره كبير) إلى وسط  
أقل كثافة ضوئية (معامل انكساره اقل).
- (٢) ان تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة.



كتطبيق على ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي قم بتسليط شعاع ليزر على ماء مندفع من فتحة صغيرة كما في الشكل، وستجد ان مسار الليزر ينحرف مع انسياب الماء، والسبب في ذلك ان الليزر ينعكس على السطح الداخلي للماء حيث يفصل هذا السطح بين وسطين مختلفين في معامل الانكسار.



نفس الظاهرة تحدث في الليزر عبر الاليف الضوئية حيث أن الضوء بمجرد عبوره إلى داخل القالب الزجاجي core سينعكس على السطح الداخلي للقشرة الزجاجية لان معامل انكسارها اكبر من القالب ويستمر الليزر بالانعكاس على جانبي القالب بغض النظر اذا كانت الاليف الضوئية مستقيمة أو منحنية.

### مكونات نظام الألياف البصرية

الألياف الضوئية من ثلاث أجزاء أساسية هي:

#### • المرسل transmitter

و هو الذي ينتج و يشفر الإشارة الضوئية حيث يكون الجزء الأساسي به هو المصدر الضوئي الذي قد يكون ليزر أو الدايدود الضوئي، فإذا أردنا مثلا نقل إشارة تلفزيونية أو

أي معلومة فانه من الضروري تحويل الإشارة الضوئية طبقاً للمعلومة المراد نقلها. تحويل الإشارة الضوئية قد يتم بتغيير شدتها ارتفاعاً و انخفاضاً analogue modulation أو إشعالها وإطفائها في تتابع وهو ما يعرف بـ digital modulation

### • الألياف البصرية fiber-optic

وهو الذي يقوم بتوصيل الإشارة الضوئية عبر المسافات وهو الجزء الذي تم شرحه مسبقاً.

### • المستقبل receiver

يستقبل الإشارة الضوئية و يفك شفرتها ليحولها إلى إشارة كهربية ترسل إلى المستخدم الذي قد يكون التلفزيون أو التلفون

### مميزات الألياف الضوئية

لقد أحدثت الألياف الضوئية ثورة في عالم الاتصالات لتمييزها على أسلاك التوصيل العادية فهي:

- أكثر قدرة على حمل المعلومات لأن الألياف الضوئية ارفع من الأسلاك العادية فانه يمكن وضع عدد كبير منها داخل الحزمة الواحدة مما يزيد عدد خطوط الهاتف أو عدد قنوات البث التلفزيوني في حبل واحد. يكفي أن تعرف إن عرض النطاق للألياف الضوئية يصل إلى 50THz في حين إن اكبر عرض نطاق يحتاجه البث التلفزيوني لا يتجاوز 6MHz.
- اقل حجماً حيث أن نصف قطرها أقل من نصف قطر الأسلاك النحاسية التقليدية، فمثلاً يمكن استبدال سلك نحاسي قطره 7.62سم بأخر من الألياف الضوئية قطره لا يتجاوز 0.635سم وهذا يمثل أهمية خاصة عند مد الأسلاك

## تحت الأرض.

- اخف وزنا فيمكن استبدال أسلاك نحاسية وزنها ٩٤.٥ كجم بأخرى من الألياف الضوئية تزن فقط ٣.٦ كجم.
  - فقد اقل للإشارات المرسله في الألياف الضوئية منه في الأسلاك النحاسية.
  - عدم إمكانية تداخل الإشارات المرسله من خلال الألياف المتجاورة في الحبل الواحد مما يضمن وضوح الإشارة المرسله سواء أكانت محادثة تلفونية أو بث تلفزيوني. كما إنها لا تتعرض للتداخلات الكهرومغناطيسية مما يجعل الإشارة تنتقل بسرية تامة مما له أهمية خاصة في الأغراض العسكرية.
  - غير قابلة للاشتعال مما يقلل من خطر الحرائق.
  - تحتاج إلى طاقة اقل في المولدات لان الفقد خلال عملية التوصيل قليل.
- بسبب هذه المميزات فان الألياف الضوئية دخلت في الكثير من الصناعات و خصوصا الاتصالات و شبكات الكمبيوتر. كما تستخدم في التصوير الطبي بأنواعه و في كمجسات عالية الجودة للتغير في درجة الحرارة والضغط بما له من تطبيقات في التنقيب في باطن الأرض.

## كيف تصنع الألياف الضوئية

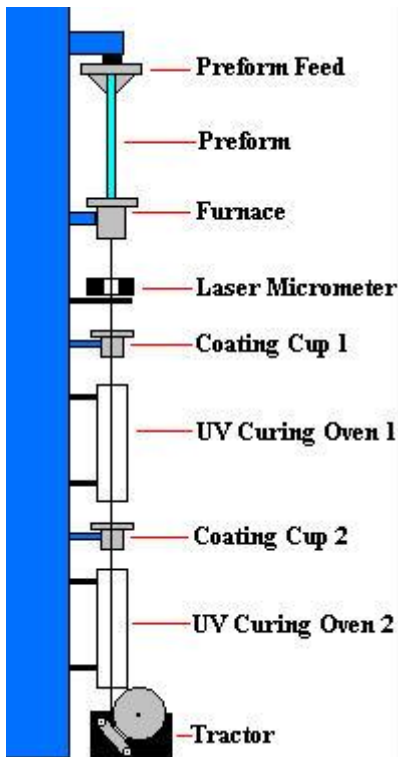
كما سبق و ذكرنا تصنع الألياف الضوئية من زجاج على درجة عالية من النقاء حيث وصفت إحدى الشركات ذلك بان قالت لو كان هناك محيط من الألياف الضوئية يصل للعديد من الأميال و نظرت من على سطحه للقاء يجب أن تراه بوضوح. وتتم صناعة الألياف الضوئية على النحو التالي:

١- عمل اسطوانة زجاجية غير مشكلة

## ٢- سحب الألياف الضوئية من هذه الاسطوانة الزجاجية

## ٣- اختبار الألياف الضوئية

الزجاج المستخدم في عمل الاسطوانة الغير مشكلة يصنع من خلال عملية تسمى modified chemical vapour deposition حيث يمرر الأكسجين على محلول من كلوريد السليكون و كلوريد الجرمانيوم كيميائيات أخرى ثم تمرر الأبخرة المتصاعدة داخل أنبوب من الكوارتز موضوع في مخروطة خاصة عندما تدار يتحرك مجمر حول أنبوب الكوارتز حيث تتسبب الحرارة العالية في حدوث شيئين

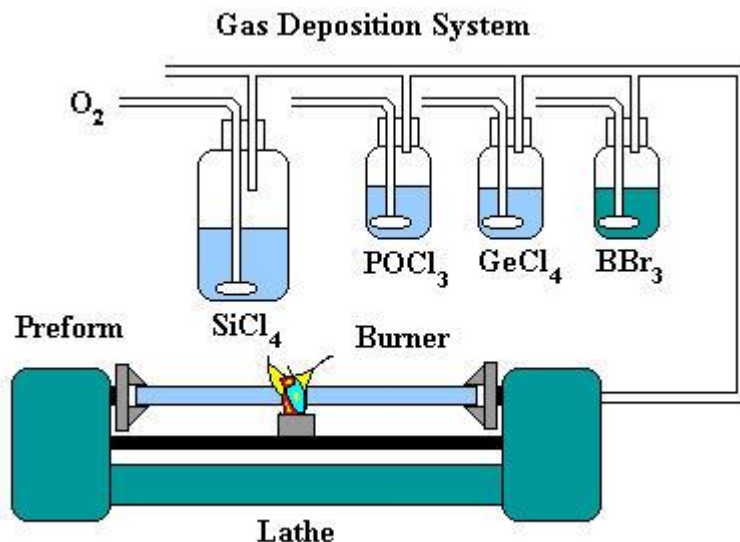


(١) يتفاعل السليكون و الجرمانيوم مع الأكسجين لتكوين أكسيد السليكون و أكسيدالجرمانيوم

(٢) يترسب أكسيد السليكون و أكسيد الجرمانيوم على جدار الأنبوب من الداخل و يندمجان معا لتكوين الزجاج الخام المطلوب حيث يمكن التحكم بدرجة نقاء و صفات الزجاج المتكون من خلال التحكم بالخليط.

الآن يتم سحب الألياف من هذه اسطوانة الخام الغير مشكلة بوضعها في أداة السحب حيث ينزل الزجاج الخام في فرن كربوني درجة حرارته ١,٩٠٠-٢,٢٠٠ درجة سليزية

فتبدأ المقدمة في الذوبان حتى ينزل الذائب بتأثير الجاذبية و بمجرد سقوطه يبرد مكونا



الجديلة الضوئية. هذه الجديلة

تعالج بتغليف متتابع أثناء سحبها

بواسطة جرار مع قياس مستمر

لنصف القطر باستخدام ميكرومتر ليزري. تسحب الألياف من القالب الخام بمعدل  $.m/s20$ .



يتم بعد ذلك اختبار الألياف من ناحية: معامل الانكسار، الشكل الهندسي و خصوصا نصف القطر، تحملها للشد، تشتت الإشارات الضوئية خلالها، سعة حمل المعلومات، تحملها لدرجات الحرارة وإمكانية توصيل الضوء تحت الماء

### تطبيقات عملية على استخدامات الاللياف الضوئية

رغم إن استخدام الألياف الضوئية لنقل المعلومات عبر المسافات الطويلة استحوذ على معظم الاهتمام إلا أنها تستخدم لنقل المعلومات عبر المسافات القصيرة أيضا حيث تصل بين الكمبيوتر الرئيسي و الكمبيوترات الجانبية أو الطابعة. بعيدا عن مجال الاتصالات ظهرت هناك استخدامات أخرى عديدة و مهمة لهذه الألياف فمثلا نتيجة لمرونتها و دقتها دخلت في صناعة الكاميرات الرقمية المتعددة المستخدمة في التصوير الطبي مثل التصوير الشعبي و المناظير. كما دخلت في تصنيع الكاميرات المستخدمة في التصوير الميكانيكي لفحص اللحام و الوصلات في الأنابيب و المولدات. و لفحص أنابيب المجاري الطويلة من الداخل.

استخدمت الألياف الضوئية أيضا كمجسات لتحديد التغير في درجات الحرارة و الضغط strain حيث تفضل على المجسات العادية لصغر حجمها و حساسيتها للتغيرات

---

الصغيرة و دقة أدائها. احد التطبيقات المهمة لها كمجسات لقياس strain يكون بإدخالها في صناعة جدار بعض الطائرات مما يمنح الطائرة جدار مميز يحذر الطيار من الضغط الواقع على أجنحة أو جسم الطائرة