مقرر

فيزياء الليزر

الفرقة الرابعة تربية أساسي عربي

شعبة علوم

إعداد

د/ عادل جاد الكريم عبادي

قسم الفيزياء - كلية العلوم

العام الجامعي

2023 / 2024 م

أ-	تعريف المقرر ووصفه	علاقات اينشتاين – أنظمة المستويات – شروط انبعاث أشعة الليزر – الرنانات – خواص أشعة الليزر – أنواع أللليزر – تطبيقات الليزر.
ب-	وصفه باللغة الإنجليزية	Introduction to Laser. Resonators. Transient Laser Behavior Properties of Laser beams. Types of Laser., Application of Laser.
ج-	أهداف المقرر	تعريف الطالب بالتقنيات الحديثة في علم الفيزياء مثل : كيفية انبعاث الليزر - خواص أشعة الليزر - أنواع الليزر - تطبيقات الليزر
د-	الأقسام المستفيدة من المقرر	الفيزياء
ه-	الموضوعات الرئيسية في المقرر	• كيفية انبعاث الليزر • خواص أشعة الليزر • أنواع الليزر • تطبيقات الليزر
و-	الطرائق المقترحة لتدريس المقرر	باستخدام السبورة - عارض البيانات- والحاسب الآلي PowerPoint
ز-	نظام التقييم	إجراء اختبار أسئلة اختيار متعدد – تمارين متنوعة – أسئلة نمطية .

مقدمة

الليزرات هي أجهزة تولد أو تضخم الشعاعات ذات الترددات الواقعة في المجال تحت الأحمر infrared ، المرئي أو ما فوق البنفسجي ultraviolet من الأمواج الكهرمغناطيسية .

تعمل الليزرات باستخدام المبدأ العام الذي اختُرع أساساً لترددات الأمواج الميكروية حيث كان يدعى ميزر وقد جاء هذا الاسم من الاحرف الاولى للكلمات اللاتينية وتعني الأمواج الميكروية المضخّمة بفعل الإصدار المتحرض للشعاعات microwave amplification by stimulated emission of radiation وعندما يطال هذا الفعل الترددات الضوئية يصبح عندها light amplification by stimulated emission of radiation أو ليزر .

يستعمل مبدأ الليزر هذا أو الميزر في عدد كبير لمجموعة أجهزة تعمل في أقسام مختلفة من طيف الأمواج الكهرمغناطيسية من الترددات السمعية وحتى فوق البنفسجية. تستخدم أجهزة الليزر العملية مواد مختلفة ومتعددة وطرق ضخ وتصميمات منوعة لها تطبيقات متنوعة. إن دراسة أجهزة الليزر والميزر وتطبيقاتهما العلمية تعود غالباً لميدان في الفيزياء هو حقل الإلكترونيات الضوئية

إن التطورات التي تبعت تحقيق أو تشغيل ليزر الياقوت ruby في عام 1960 دفعت فجأة إلى الحدود العليا لإلكترونيات الأمواج المترابطة coherent من مجال الأمواج الميليمترية المستخدمة لصمامات وترانزيستورات الأمواج الميكروية إلى مجال الأمواج تحت الميليمترية مثل أمواج تحت الحمراء أو أمواج المجال المرئي ومجال فوق البنفسجي ومجال طيوف أمواج الأشعة السينية الطرية (وهو حالياً في الأفق soft x - ray lasers) إن جميع العمليات على الإشارة المترابطة coherent signal المعتادة مثل التضخيم ، التعديل modulation ، نقل المعلومات information transmassion ، والكشف detection أصبحت الآن ممكنة من أجل الترددات الأعلى بمليون مرة أو الموافقة لأطوال موجية أقصر بملايين المرات من تلك التي كانت سابقاً.

وقد غدت بمتناول المهندسين والباحثين العلميين في حقول التقنية المتعددة بدءاً من الميكروبيولوجيا وحتى صناعة السيارات ، لتحقيق أداء غير محدود لمجموعة كبيرة من الوظائف والتوابع التي لا يمكن توقعها فقد أصبحت الآن ممكنة بفضل الأطوال الموجية اللامتناهية في

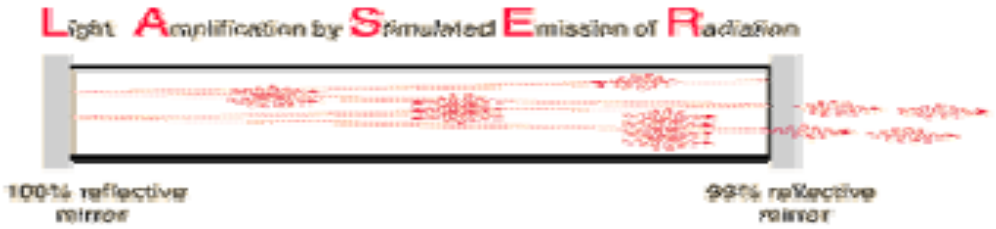
الفصل الأول
أساسيات فيزياء الليزر

دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجية فتجدها عنصر اساسي في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو في ألات طبيب الأسنان أو في معدات قطع ولحام الحديد أو في أدوات القياس وغيرها من المجالات. كل تلك الأجهزة تستخدم الليزر ولكن ما هو الليزر وما الذي يجعل الليزر مميز عن غيره من المصادر الضوئية. سوف نقوم بشرح كل ما يتعلق بالليزر بشكل مبسط وواضح. تعتبر تكنولوجيا الليزر من العلوم المتطورة التي تدخل في العديد من التطبيقات مثل استخدام الليزر في التطبيقات الطبية والاتصالات والأبحاث العلمية والهندسية والعسكرية .وأي مستخدم لليزر مهما اختلف تخصصه فهو بحاجة إلى فهم مبدأ عمل الليزر أي ما يعرف بفيزياء الليزر

.إن الليزر هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى صورة أشعاع كهرومغناطيسي .وهذا تعريف بسيط للبدأ في الموضوع وتوضيح فكرة عمل الليزر حيث أننا نحصل في النهاية على شعاع كهرومغناطيسي)ضوء (يمتلك العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر ضوئي.وقد جاءت تسمية كلمة ليزر من الأحرف الأولي لفكرة عمل الليزر أي أن :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

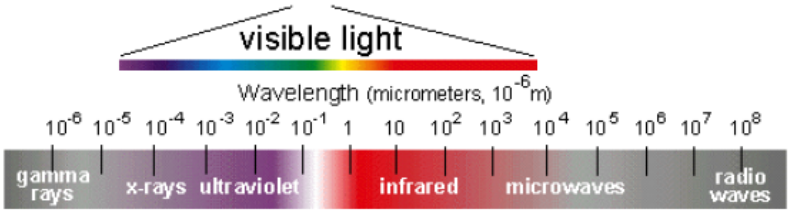
LASER



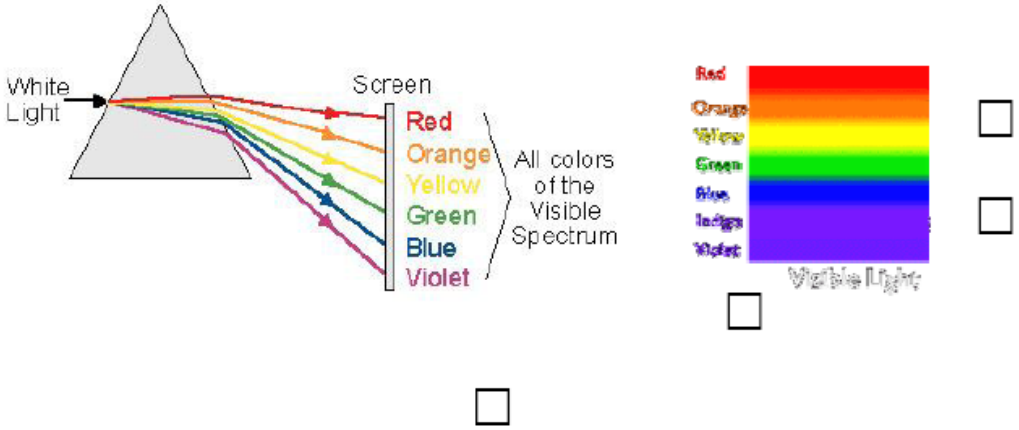
وتعني تضخيم الضوء بإنبعاث الإشعاع المحفز وهو عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية . بينما يشع المصدر الضوئي العادي موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة فلا يكون لها قوة الليزر . وباستخدام بلورات لمواد مناسبة(مثل الياقوت الأحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز انتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد أي ذو طول موجة واحدة وكذلك في طور موجي واحد ، وعند تطابقها مع بعضها وانعكاسها عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر فتنتظم الموجات وتتداخل وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب فيها وتستخدم كلمة الليزر للتعبير عن أية منطقة من مناطق الطيف، ولمعرفة الليزر يجب في الواقع التعرف على الطيف الكهرومغناطيسي والذي يبدأ من الموجات الراديو الطويلة إلى الموجات القصيرة لأشعة جاما العالية الطاقة كما هو موضح في شكل رقم ١-١ . وكما هو معروف فإن المنطقة الضيقة من الطيف. والمعروفة لنا بالمرئية أو الضوء الأبيض. تتكون من الألوان الضوئية التالية: أحمر، برتقالي، أصفر، أخضر، أزرق، وبنفسجي كما هو موضح في شكل رقم ١-٢ . كما أن ترددات هذه الإشعاعات وأطوالها الموجية مختلفة ومضطربة، فهي أشبه بالضوضاء بمقارنتها مع الموجات الصوتية، بينما نجد أن ضوء أشعة الليزر منظم ومركز. وفي الليزر عمل

الاضطراب الطبيعي للموجات على ترابطها Coherence، حيث تتبعث الفوتونات، الوحدات الأساسية لكل الإشعاعات الطيفية على شكل دفعات منتظمة ذات تردد واحد، ونظراً لأن الموجات تترابط فإن الفوتونات تقوي بعضها البعض وتزيد من قدرتها على نقل الطاقة.

أن تقنية الليزر توسعت لتشمل ما وراء منطقة الموجات فوق البنفسجية باتجاه الطاقة العالية للأشعة السينية، وكل طول موجي في هذه المناطق يعطي القدرة والمساعدة للإنسان على ابتكار تطبيقات متنوعة.



شكل رقم ١-١



شكل رقم ١- ٢

والليزر ينتج حزمة ضوئية رفيعة جدًا وقوية. وبعض الأحزمة رفيعة لدرجة أنها قادرة على ثقب مائتي حفرة فوق نقطة في حجم رأس الدبوس . وبسبب إمكانية تركيز أشعة الليزر إلى هذا الحد من الدقة وعلية فإن هذه الأشعة تكون قوية جدًا. فبعض الأحزمة، على سبيل المثال، تستطيع اختراق الماس ، وهو أصلب مادة في الطبيعة، وبعضها تستطيع إحداث

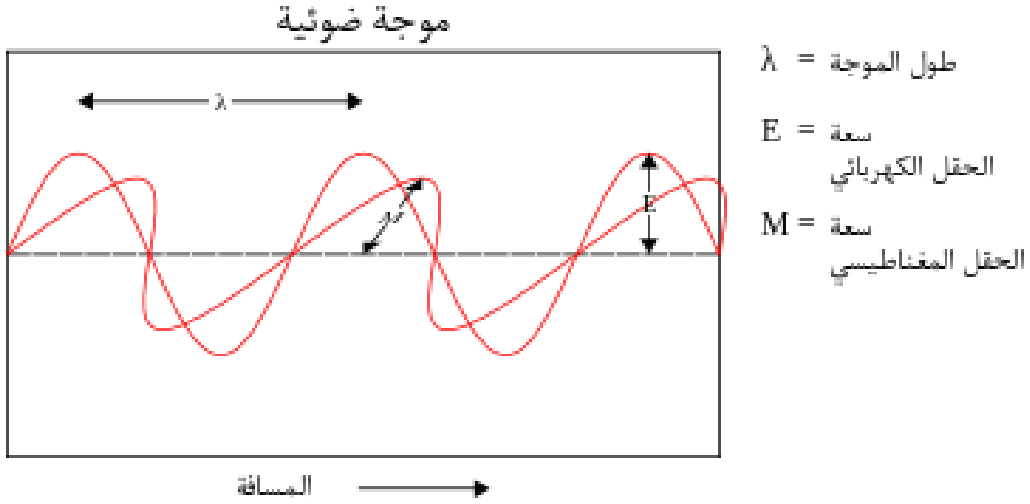
الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية

الأشعة (الموجات) الكهرومغناطيسية هي صورة من صور الطاقة التي لا تستند على كتلة مادية، اي انها كيان غير مادي وعديم الكتلة . وانما هي طاقة متمثلة في صورة مجالين احدهما الكهربائي والاخر مغناطيسي يتغيران بمرور الزمن وبتغير الموضع.ويمكن انت تتولد الموجات الكهرومغناطيسية من مصادر متنوعة ومختلفة فمنها ما يتولد عن الشحنات الكهربائية المتسارعة او المتباطئة عن التيارات الكهربائية المترددة.ومنها مايتولد من الاجسام الساخنة غير المتوهجة اومن الاجسام الملتهبة المتوهجة.كذلك.يمكن ان تتولد الموجات الكهرو مغناطيسي عندا الانتقال الالكترونات بين المدارات المختلفة في الذرة او نتيجة لاضمحلال طاقة الاثارة في نواة الذرة .

وتختلف بعض خصائص الموجات (الاشعة) 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) احدهما كهربائي والاخر مغناطيسي تتغير شدتهما بتغير الزمن والموضع، وينتشران معاً في مستويين متعامدين فيما بينهما بحيث يكون يكون المجال الكهربائي في احد هذين المستويين .ويكون المجال المغناطيسي بالتالي في المستوى الاخر العمودي على الاول وتنتشر الموجة من نقطة التوليد في اتجاه المستقيم الذي يمثال 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 رأسيا (بالنسبة لسطح الارض) او في اي اتجاه اخر .ويستخدم الاستقطاب الافقي او الرأسي 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 الرأسي (أي العمودي على سطح الارض اما بالنسبة للموجات المستقطبة رأسياً فتنتشر المركبة الكهربائية في المستوى الرأسي في حين تنتشر المركبة المغناطيسية في المستوى الافقي.

وتتميز كل موجة بكمية فيزيائية يطلق عليها "طول الموجة" يرمز لها في المراجع عادة بالرمز (λ)لامدا(وهي عبارة عن المسافة بين اي قمتين متتاليتين،او قاعين متتاليين للمجال الكهربائي والمغناطيسي).وتختلف اطوال الموجات الكهرومغناطيسية اختلافا هائلاً تبعاً لشريحة هذه الموجات ، وتتروح هذه الاطوال بين اكثر من ألف كيلومتر للموجات الكهرومغناطيسية الطويلة اي منخفضة الطاقة. وحوالي الفمتومتر(الفمتومتر ويعادل 15-10×1من المتر).

كما تتميز اي موجة الكهرومغناطيسية بكمية اخرى يطلق عليها "تردد الموجة" (ν) 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 لاول مرة وعندما يقال تجاوزا أن تردد الموجة يساوي الهيرتز الواحد فإن هذا يعني تكرار الموجة الكاملة مرة واحده في الثانية ، وعندما يقال ان التردد 50 ميغا هيرتز فهذا يعني ان الموجة الكاملة تتكرر 50 مليون مرة في الثانية الواحدة تتروح ترددات الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة بين حوالي عدة عشرات من الهيرتز بالنسبة للموجات فائقة الطول (أي منخفضة الطاقة)، وبين أكثر من 23-10 هيرتز بالنسبة للموجات شديدة القصر (أي فائقة الطاقة مثل إشعاعات جاما)

ويرتبط طول الموجة (بالمتر) وترددها ν(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 Cهي 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 عملجميع الهوائيات المستخدمة للبث اوالاستقبال على استخدام المركبة الكهربائية .

وتتحدد الطاقة الكهرومغنطيسية 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 6,63×10-34 جول. ثانية

مثلما تتميز الموجة الكهرومغناطيسية (رغم عدم وجود كتلة لها) فانها تتميز كذالك بزخم(Momentum) يمكن حسابه بيسر ،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 بيسر 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، وانما يمكن شرح هذه الظواهر بيسر 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 الأزدواجية "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.

مفاهيم أولية Introductory Concepts

يقدم هذا الفصل العمليات الأساسية وكذلك الفكرة الرئيسية التي يقوم عليها الفعل الليزري بطريقة بسيطة جداً .كما نوقشت فيه أيضاً خواص وميزات حزم الليزر بإيجاز.والغرض الرئيسي لهذا الفصل إدخال القارىء إلى عدد من المفاهيم التي ستتمّ مناقشتها في الفصول اللاحقة، لتساعد الطالب في متابعة المنظومة المنطقية لهذا الكتاب.

يقوم تشغيل وعمل الليزر على ثلاث ظواهر أساسية تحدث عندما تتفاعل موجة كهرمغناطيسية مع المادة وهي عمليات : الإصدار التلقائي ، الإصدار المتحرض وعملية الامتصاص .

1.1 الإصدار التلقائي والإصدار المتحرض ،الامتصاص :

Spontaneous and stimulated emission , Absorption

يبين الشكل **1.1a** جملة تتألف من سويتين طاقيتين من سويات الطاقة لمادة معينة: E_1 و E_2 ولنفرض أن $E_1 < E_2$. وهاتان السويتان يمكن أن تكونا أي سويتين من مجموعة سويات الطاقة الكثيرة وغير المحدودة للمادة. ومع ذلك فمن المناسب اختيار السوية (1) لتكن السوية الأرضية، ولنفرض أن ذرة أو جزيئة المادة موجودة في البداية في السوية (2) وبما أن $E_1 < E_2$ فالذرة سوف تميل للعودة إلى السوية (1) وتحرر طاقة قيمتها $E_2 - E_1$. عندما تكون الطاقة المتحررة على شكل موجات

كهرمغناطيسية ، يطلق على العملية بالإصدار التلقائي (أو الإشعاعي) ويتحدد تـــردد الموجة الصادرة بعلاقة بلانك التالية :

$$\nu_0 = \frac{(E_2 - E_1)}{h} \qquad (1.1.1)$$

حيث h ثابت بلانك . ولهذا فالإصدار التلقائي يتميز بإصدار فوتون ذي طاقـة $h\nu_0 = E_2 - E_1$ أو بعبارة أخرى يمكن أن تكتب بشكل أخر: $\omega_0 = (E_2 - E_1)/\hbar$ وذلك للتعبير عن تردد الموجة المرافقة.وعندما تعود الذرة من السوية (2) إلى الســـوية (1) انظر الشكل 1.1a فإن الإصدار الإشعاعي هو أحد الاحتمالين الناتجين من عـودة الذرة من السوية (2) إلى السوية (1) . ذلك أن العودة يمكن أن تحدث بطريقة غـــير مشعة . في هذه الحالة يتحرر فرق الطاقة E_2-E_1 بأشكال أخـــرى غـــير الموجـــات الكهرمغناطيسية (فمثلاً يمكن للطاقة أن تتحول إلى طاقة حركية للجزيئات المجاورة) .

لنفرض الآن أن الذرة في البدء كانت في السوية 2 وأن موجة كهرمغناطيســية ترددها $\nu = \nu_0$ يساوي تردد الموجة الصادرة بشكل تلقائي شكل 1.1b .وباعتبـــار أن لهذه الموجة تردد الانتقال الذري ذاته ، لذلك توجد احتمالية كاملة لأن يؤثر حقـــل هذه الموجة قسرياً على الذرة لتشرع في الانتقال $2 \rightarrow 1$.في هذه الحالة يتحرر فـــرق الطاقة $E_2 - E_1$ على شكل موجة كهرمغناطيسية تنضاف إلى الموجة الواردة .وهـــذه هي ظاهرة الإصدار المتحرّض stimulated emission يوجد فرق أساسي بين عمليـتي الإصدار التلقائي spontaneous emissionوالإصدار المتحرض .في حالـــة الإصـــدار التلقائي تُصدر الذرات أمواجًا كهرمغناطيسية ولا توجد علاقة محددة تربط بين أطـوار هذه الموجات. إضافة لذلك فإن الموجة تصدر في أي اتجاه، لكنها تصـــــدر بشـــكل مختلف في حالة الإصدار المتحرّض باعتبار أن العملية قد تمت قسرياً بواسطة الموجـــة

الكهرمغناطيسية الواردة مما يؤدي إلى إضافة طور الموجة الصادرة إلى طور الموجة الواردة وفي نفس الاتجاه عند الإصدار.

لنفسر ذلك بفرض أن الذرة كانت في البداية في السوية 1 شكل 1.1c فإذا اعتبرنا أنّ هذه السوية هي السوية الأرضية ،فإن الذرة ستبقى في هذه السوية ما لم يطبق عليها مؤثر خارجي .عند ورود موجة كهرمغناطيسية ترددها $\nu = \nu_0$ على المادة تصبح هناك احتمالية لكي ترتفع الذرة إلى السوية 2 . تحصل الذرة على الطاقة التي تحتاجها وهو فرق الطاقة بين السويتين $E_2 - E_1$ من طاقة الموجة الواردة .وهذه العملية هي عملية امتصاص.

لحساب احتمالات ظاهرتي الإصدار والامتصاص نفرض أن عدد الذرات أو الجزيئات في واحدة الحجم هو N_i وهي تشغل سوية طاقية معينة i في اللحظة الزمنية t . من هنا فإننا سندعو هذا العدد N_i إسكان هذه السوية.

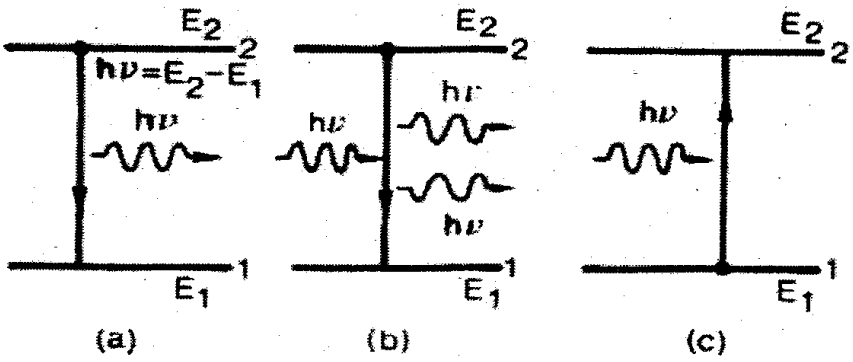
تتناسب احتمالية حدوث عملية الإصدار التلقائي من انحلال إسكان السوية العليا $(dN_2/dt)_{SP}$ بطبيعة الحال مع N_2 ، ولذلك نستطيع كتابة المعادلة :

$$(\frac{dN_2}{dt})_{sp} = -AN_2 \qquad (1.1.2)$$

الإشارة السالبة هنا لأن المشتق بالنسبة للزمن سالب .المعامل A الذي،تم إدخاله بهذه الطريقة،هو ثابت موجب ويدعى معدل الإصدار التلقائي أو معامل A لأينشتاين Einstein A coefficient ولقد توصل إليه أينشتاين حينها من تطبيق اعتبارات الترموديناميك الحراري.وأن الكمية $\tau_{SP} = 1/A$ هي مدة حياة الإصدار التلقائي أو(مدة حياة الإشعاع) .وبالتشابه ،من أجل الانحلال غير المشع ، أن نكتب بشكل عام:

$$(\frac{dN_2}{dt})_{nr} = -\frac{N_2}{\tau_{nr}} \qquad (1.1.3)$$

حيث إنّ τ_{nr} هي مدة حياة الانحلال اللاإشعاعي لطاقة الســـوية.لاحـــظ أن القيمة العددية للمعامل A وكذلك τ_{SP} تتوقف فقط على الانتقال المعتبر. ومن جـلنب آخر ،فإن τ_{nr} للانحلال غير المشع لا يتوقف فقط على الانتقال وإنما أيضاً على خواص الوسط المحيط .



الشكل 1.1 مخطط توضيحي

a) إصدار تلقائي b) إصدار متحرّض c) امتصاص

وبنفس الطريقة من أجل عمليـــــات الاصـــدار المتحـــرض **Stimulated emission** وبما أن العملية قسرية من قبل الموجة الـــواردة فـــالإصدار مـــن أي ذرة سيكون له نفس طور واتجاه الموجة الواردة . في هذه الحالة يمكننـــا وصـــف عمليـــة الإصدار المتحرض بالمعادلة التالية :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{st} = -W_{21}N_2 \qquad (1.1.4)$$

حيث إن $(dN_2/dt)_{st}$ هو المعدل الذي تتم وفقه الانتقالات $2 \rightarrow 1$ كنتيجـة للإصدارات المتحرّضة وأن w_{21} هو معدل الإصدار المتحرّض .وكما هـــو الحـــال في

تعريف المعامل A بالمعادلة (1.1.2)،فإن المعامل W_{21} له أيضاً أبعاد مقلـــوب زمـــن $(time)^{-1}$. وخلافاً للمعامل A فإن W_{21} لا يتوقف على الانتقال الخاص ولكن يعتمـد على شدة الموجة الكهرمغناطيسية الواردة . وبصورة أدق فإنه في حالة موجة مســتوية سوف نبرهن على أنه يساوي أيضًا أبعاد مقلوب زمن $(time)^{-1}$.

$$W_{21} = \sigma_{21} F \qquad (1.1.5)$$

حيث F تمثل تدفق الفوتونات photon flux للموجة الواردة و σ_{21} هي كميـة لها وحدات سطح وتدعى المقطع العرضي cross section للإصدار المتحرض ، تتوقف هذه الكمية على خصائص الانتقال المعين فقط .

لنفرض الآن أن الذرة موجودة في البداية في السوية (1) . فإذا كـــانت هـــذه السوية هي السوية الأرضية للذرة فسوف تبقى في هذه السوية ما لم يؤثر فيها محـــرض خارجي . و الآن لنفرض أن موجة كهرمغناطيسية ترددها يتحـــدد بالمعادلـــة (1.1) وردت على المادة. ففي هذه الحالة هناك احتمالية معينة لانتقال الذرة إلى الســـوية (2) و تحصل الذرة على فرق الطاقة $E_2 - E_1$ اللازمـــــة لهـــذا الانتقـــال مـــن الموجـــة الكهرمغناطيسية الواردة وهذه تمثل عملية الامتصاص**Absorption** .

وبطريقة مشابهة لتعريف W_{21} في المعادلة (1.1.4) يمكن أن نعـــــرّف معـــدل الامتصاص W_{12} بالمعادلة :

$$\left(\frac{dN_1}{dt}\right)_a = -w_{12} N_1 \qquad (1.1.6)$$

حيث إنّ $(dN_1/dt)_a$ هو معدل الانتقالات $1 \rightarrow 2$ العائدة للامتصـــــاص و N_1 هو إسكان السوية 1 وهو يمثل عدد الذرات (في واحدة الحجم) الموجـــودة في زمـــن معين فيها. وكما في المعادلة (1.1.5) نستطيع كتابة :

$$W_{12} = \sigma_{12} F \qquad (1.1.7)$$

إذ إنّ σ_{12} مساحة مميزة (للمقطع العرضي للامتصاص) التي تتوقف على الانتقال المعين .

لقد شرحنا في البنود السابقة المبادئ الأساسية لعمليتي الإصدار التلقائي والإصدار المتحرض وعملية الامتصاص . ويمكن وصف هذه العمليات بدلالة مفهوم الفوتونات كما يلي : (انظر الشكل 1.1) .

(أ) في عملية الإصدار التلقائي تصدر الذرة فوتوناً أثناء انتقالها من السوية (2) إلى السوية (1)

(ب) في عملية الإصدار المتحرّض يحرّض الفوتون الوارد الذرة للانتقال من السوية (2) إلى السوية (1) ومن ثم نحصل على فوتونين (الفوتون المحرّض والفوتون المتحرّض) . (ج) أما في عملية الامتصاص فإن الفوتون الوارد يمتص لنقل الذرة من السوية (1) إلى السوية (2) .

ومما تجب ملاحظته وأثبته أينشتاين في بداية القرن العشرين ، أنه عندما تكون كل من السويتين لا انطباقية nondegenerate فإن $W_{21} = W_{12}$ وهذا يعني تساوي احتمالية الإصدار المتحرّض والامتصاص ولهذا سنعتبر منذ الآن أن $\sigma_{21} = \sigma_{12}$ إذا كانت السويات 1 و 2 انطباقية إلى رزم: $g_1 - fold$ و $g_2 - fold$ فإنه يمكننا أن نكتب :

$$g_2 W_{21} = g_1 W_{12} \qquad (1.1.8)$$

وبالتالي يكون:

$$g_2 \sigma_{21} = g_1 \sigma_{12} \qquad (1.1.9)$$

لاحظ أن العمليات الأساسية للإصـــدار التلقـــائي ، والإصـــدار المتحـــرّض والامتصاص يمكن التعبير عنها بعبارات من الفوتونات الممتصة والفوتونات الصـــادرة كما هو موضح بالشكل 1.1 : (*a*) في عملية الإصدار التلقائي،تنحل الـــذرة مـــن السوية 2 إلى السوية 1 بإصدار فوتون . (*b*) في عملية الإصدار المتحـــرّض يحـــرض الفوتون الوارد الانتقال من السوية 2 إلى السوية 1 ،لذلك يوجد فوتونان ، الفوتـــون المحرض والفوتون المتحرض . (*c*) في عملية الامتصاص يُمتص الفوتون الوارد ليـــؤدي إلى الانتقـــال مـــن الســـوية الأرضيـــة 1 إلى الســـوية المثـــارة 2 لذلـــك فـــإن كل عملية إصدار متحرّض تترافق بإيجاد (ربح) فوتون بينما كل عمليـــة امتصـــاص تصاحب بانعدام وتلاشي فوتون .

1.2 فكرة الليزر *The Laser Idea* :

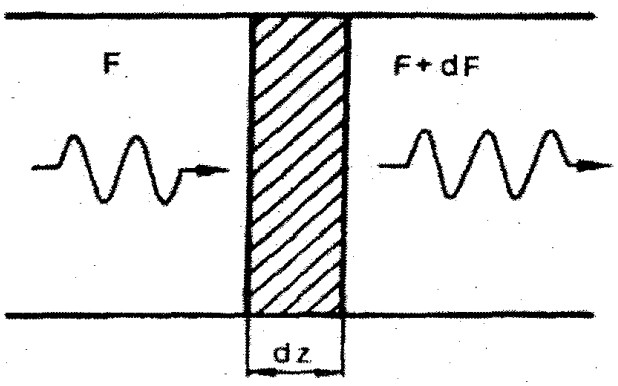
لنأخذ سويتين من سويات الطاقة 1 و 2 لذرة من مادة معينة اســـكاناهما N_1 وN_2 على التوالي . ولنفرض أن موجة مستوية تنتشر في المادة باتجاه المحور Z شـــدتها I وتدفق فوتونات F . ولندرس مقدار تغيّر التدفق dF باتجاه Z في داخل المادة ولمســـافة dz والناتج عن عمليتي الإصدار المتحرّض والامتصاص في المنطقة المظللة في (الشـــكل 1.2).وليكن *S* السطح المقطعي لحزمة الأشعة . هذا التغيّر في عدد الفوتونات الـــواردة إلى الحجم المظلل وتلك المغادرة في واحدة الزمن يساوي *SdF* . وينتـــج مـــن أنـــه يُصاحب كل عملية إصدار متحرض فوتون بينما يُمتص فوتونـــاً في كـــل عمليـــة امتصاص إن الكمية *SdF* يجب أن تكون مساوية للفرق بين الفوتونـــات الصـــادرة بالتحريض وتلك الممتصة والمتلاشية في الحجم المظلل خلال واحدة الزمن .باســـتخدام المعادلة (1.1.4)والمعادلة (1.1.6) لـــذا يمكـــن أن نكتـــب

$SdF = (W_{21}N_2 - W_{12}N_1)(Sdz)$ حيث إنّ Sdz هو حجـــم المنطقـــة المظللـــة .وباستخدام المعادلات (1.1.7),(1.1.5) و (1.1.9) نحصل على العلاقة :

$$dF = \sigma_{21}F\left[N_2 - (\frac{g_2 N_1}{g_1})\right]dz \qquad (1.2.1)$$

لاحظ أنه في هذه العلاقة ، لم نأخذ بعين الاعتبار الإنحلالات المشعة وغير المشعة وفي الواقع لا تضيف الإنحلالات غير المشعة فوتونات جديدة والفوتونات الناتجة عـــن الإنحلالات المشعة تصدر في جميع الاتجاهات ويمكن اعتبار مساهمتها مهملة في زيـــادة تدفق الفوتونات الواردة F . تبين المعادلة (1.2.1) أن المادة تسلك كمضخم عنـــد تحقق $(dF/dz > 0)$ أي عند اسكان $N_2 > g_2 N_1 / g_1$ بينما تسلك كجسم مـــاص للفوتونات إذا كانت $N_2 < g_2 N_1 / g_1$ ومن المعروف أنه في حالة التوازن الحـواري تتحدد اسكانات سويات الطاقة بإحصاء بولتزمان وهكذا إذا كانت N_1^e و N_2^e تمثلان إسكان السويتين في حالة التوازن الحراري فإن :

$$\frac{N_2^e}{N_1^e} = \frac{g_2}{g_1}\exp\left[-\frac{(E_2 - E_1)}{kT}\right] \qquad (1.2.2)$$



الشكل 1.2

تغيير تدفق الفوتونات dF لموجة مستوية تدفقها F تنتشر على طول محور z خلال المادة ولمسافة dz

حيث إنّ k ثابت بولتزمان وT درجة الحرارة المطلقة للمادة .ولهذا ففي حالة التوازن الحراري يكون لدينا $N_2^e < g_2 N_1^e / g_1$. وحسب المعادلة (1.2.1) تعمل المادة بمثابة مادة ماصة عند التردد ν_0 ، وهذا ما يحدث في الظروف الاعتيادية . ومن ناحية ثانية، في حالة عدم التوازن الحراري التي فيها $N_2 > g_2 N_1 / g_1$ فإن المادة تعمل بمثابة مضخم . ويقال إنّ هناك انقلاباً إسكاني في المادة Population inversion، الذي يعني أن فرق الإسكان $N_2 - (g_2 N_1 / g_1)$ يعاكس في الإشارة ما هو قائم في التوازن الحراري $[N_2 - (g_2 N_1 / g_1) < 0]$،أي موجب .والمادة التي يتحقق فيها هذا الانقلاب تعتبر وسطاً فعالاً *active-medium* .

إذا وقع تردد الانتقال $\nu_0 = (E_2 - E_1)/kT$ ضمن المنطقة المايكروية microwave فيطلق على المضخم اسم مضخم ميزر maser Amplifier وكلمة ميزر مركبة من الأحرف الأولى للعبارة .

Microwave amplification by stimulated emission of radiation

أما إذا كان التردد ν_0 يقع ضمن المنطقة البصرية optical region فيطلق عليه اسم مضخم ليزر laser amplifier وكلمة ليزر أيضاً كلمة مكونة من الأحرف الأولى المذكورة أعلاه بعد إحلال الحرف L من الكلمة (Light) محل الحرف m في كلمة (microwave) . وعادة لا تقتصر كلمة ليزر على ترددات الضوء المرئي Visible Light فقط ولكن لأي تردد في المنطقة البعيدة أو القريبة من تحت الحمراء far or near infrared ، وفي المنطقة فوق البنفسجية وحتى في منطقة الأشعة السينية . ويشار إليها بليزرات الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية والأشعة السينية على التوالي .

ولكي نكوّن مذبذباً oscillator من المضخم فمن الضروري إدخال تغذية راجعة موجبة positive feedback ويتم الحصول عليها في المنطقة المايكروية بوضع المادة الفعالة داخل مجاوبة Resonant cavity ترددها ν_0 أما في حالة الليزر فغالباً ما يحصل على التغذية الراجعة بوضع المادة الفعالة بين مرآتين لهما انعكاسية عالية (مثال ذلك مرآتان مستويتان متوازيتان . انظر الشكل (1.3) . في هذه الحالة الموجة الكهرمغناطيسية المستوية التي تسير عمودياً على المرآتين سترتد ذهاباً وإياباً بين المرآتين وتتضخم في كل جولة خلال المادة . فإذا كانت إحدى المرآتين شفافة جزئياً فمن الممكن الحصول على حزمة خارجة output beam . و المهم ملاحظته أنه يجب للحصول على الحزمة الخارجة أن يتحقق شرط العتبة Threshold condition في حالتي الميزر والليزر . فمثلاً في حالة الليزر سيبدأ التذبذب عندما يعادل الربح في الفوتونات من المادة الفعالة الخسائر، في الليزر (مثلاً ، الخسائر الناتجة عن الاقتران الخارجي output coupling) .

واستناداً للمعادلة (1.2.1) فإن مقدار الربح لكل عبور في المادة الفعالة (أي النسبة بين تدفق الفوتونات الخارجة إلى التدفق الداخل) هو $\exp\sigma[N_2-(g_2N_1/g_1)]\times\ell$ حيث نعتبر $\sigma=\sigma_{21}$ من أجل البساطة ، وأن ℓ تمثل طول المادة الفعالة .لنفرض أن R_1 و R_2 هما الانعكاسية في الطاقة للمرآتين شكل 1.3،ولنفرض أن L_i كانت الخسائر داخل المجاوبة جراء عبور الحزمة لمرة واحدة .فإذا كانت F تدفق الفوتونات التي تغادر سطح المرآة 1 في اللحظة t متجهة إلى سطح المرآة 2 وبالتالي فإن التدفق F' المغادر المرآة الأولى بعد دورة واحدة هو $F'=F$ وبالتالي:

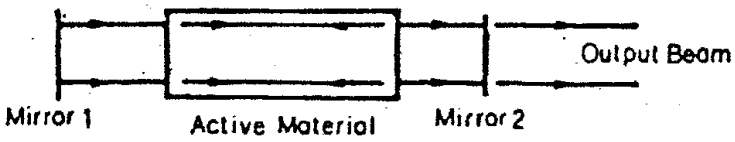
$$F'=F\exp\{\sigma[N_2-(g_2N_1/g_1)]\ell\}\times(1-L_i)R_2\times\exp\{\sigma[N_2-(g_2N_1/g_1)]\ell\}\times(1-L_i)R_1$$

عند تحقق حد العتبة يكون لدينا :

$$R_1 R_2 (1-L_i)^2 \exp\{2\sigma[N_2 - (g_2 N_1 / g_1)]\ell\} = 1$$

وهذه المعادلة تبين أن شرط العتبة يتحقق عندما يصل انقلاب الإسكان $N = N_2 - (g_2 N_1 / g_1)$ قيمة حرجة critical ، ويدعى الانقلاب الحرج critical inversion ويعطى بالعلاقة التالية :

$$N_C = -\frac{\ln R_1 R_2 + 2\ln(1-L_i)}{2\sigma\ell} \qquad (1.2.3)$$



الشكل 1.3 مخطط لليزر

يمكن تبسيط المعادلة (1.2.3) إذا عرّفنا المصطلحات التالية .

$$\gamma_1 = -\ln R_1 = -\ln(1-T_1) \qquad (1.2.4a)$$

$$\gamma_2 = -\ln R_2 = -\ln(1-T_2) \qquad (1.2.4b)$$

$$\gamma_i = -\ln(1-L_i) \qquad (1.2.4c)$$

حيث إنّ T_1 و T_2 هما نفوذيتا المرآتين وقد اعتبرنا امتصاصها مهملاً .

وبالتعويض بالمعادلات (1.2.4)

و (1.2.3) تعطي .

$$N_c = \frac{\gamma}{\sigma\ell} \qquad (1.2.5)$$

حيث إنّ :

$$\gamma = \gamma_i + \frac{(\gamma_1 + \gamma_2)}{2} \qquad (1.2.6)$$

لاحظ أن الكمية γ_i ، المعرفة بالمعادلة (1.2.4c) وندعوها لوغاريتم الفقد الداخلي للمجاوبة. في الواقع عندما يكون $L_i << 1$ كما يحصل عادة ، فإن لها $\gamma_i \cong L_i$.وبنفس الطريقة وباعتبار أن T_1 و T_2 تمثلان الفقد في الحجرة ، فإن γ_1 و γ_2 والمعرفتان بالمعادلتين (1.2.4a – b)، يمكننا أن ندعوهما لوغاريتمات الفقد في مرآتي المجاوبة. وبالتالي ندعو الكمية γ والمعرفة بالمعادلة (1.2.6) إنها فقد المجاوبة من اجل عبور واحد.

حالما يتحقق شرط الانقلاب الحرج يبدأ التذبذب بالنمو من الإصدار التلقائي. إذ إن الفوتونات الصادرة تلقائيا التي تسير موازية لمحور المجاوبة ستبدأ عملية التضخيم هذا هو أساس المذبذب الليزري laser oscillator أو الليزر laser كما هو متعارف عليه .

1.3 مخططات الضخ Pumping schemes :

سوف ندرس كيفية الحصول على انقلاب الإسكان لمادة معينة. يبدو لأول وهلة أنه من المحتمل الحصول على انقلاب الإسكان من خلال تفاعل المادة مع حقل الكهربائي قوي لموجة كهرمغناطيسية ذات شدة كبيرة وربما صادرة من مصباح ضوئي شديد ، ترددها $\nu = \nu_0$.والمحدد بالمعادلة (1.1.1)، بما أنه في حالة التوازن الحراري $(N_1 / g_1) > (N_2 / g_2)$ يكون إسكان السوية 1 أكثر من إسكان السوية 2 وعليه فإن عملية الامتصاص تتغلب على عملية الإصدار المتحرض . ولهذا فإن الموجة القادمة سوف تحدث انتقالات من السوية 1 إلى 2 أكثر من الانتقالات من السوية 2

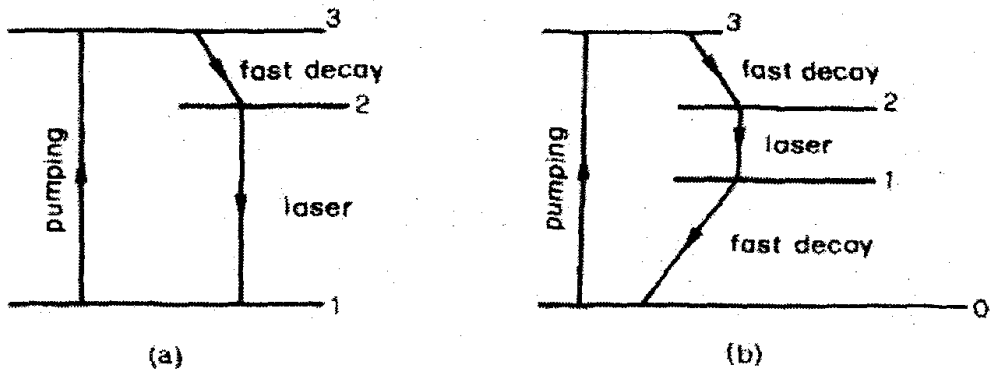
إلى 1. ونأمل بهذه الطريقة أن نصل إلى حالة انقلاب الإسكان . ولكن سندرك فوراً أن منظومة كهذا لا تصح (وخاصة في حالة الاستقرار) والواقع هو أنه عندما تصل الحالة التي يكون فيها إسكان السويتين متساوياً $g_2N_2 = g_1N_1$ فإن عملية الامتصاص ستعادل عملية الإصدار المتحرض ووفقاً للمعادلة (1.2.1) ستصبح المادة شفافة. إن هذه الحالة غالباً ما تدعى باسم تشبع السويتين two-level Satureation

ولذلك فمن المستحيل الحصول على الانقلاب الإسكاني باستخدام منظومة سويتين 1و2 فقط .

من الطبيعي أن نبحث فيما إذا كان من الممكن الحصول على الانقلاب الإسكاني باستخدام جملة ذريّة ملائمة وتشتمل على أكثر من سويتين من بين السويات غير المحدودة لنظام ذري معين . وهذا ممكن كما دلّت عليه التجربة . وبناء عليه سوف نتكلم عن الليزر ذي السويات الثلاثة والليزر ذي السويات الأربعة اعتماداً على عدد السويات المستخدمة (الشكل 1.4) .

في ليزر السويات الثلاثة (الشكل 1.4a) . ترفع الذرة بطريقة ما من السوية الأرضية إلى السوية 3 . فإذا انحلت الذرات بعد صعودها من السوية 3 بسرعة إلى السوية 2 . فيمكن الحصول على الانقلاب الإسكاني بين السويتين 1 و 2 أما في ليزرات السويات الأربعة الشكل (1.4b) فترفع الذرات من السوية الأرضية (وللسهولة سنطلق على هذه السوية الأرضية 0) إلى السوية 3 . فإذا انحلت الذرة بسرعة إلى السوية 2 فمن الممكن الحصول على الانقلاب الإسكاني بين السويتين 2 و1 . ما أن تبدأ الذبذبة في مثل هذا الليزر فسوف تنتقل الذرات إلى السوية 1 (نتيجة الإصدار المتحرض) . وفي حالة الليزر المستمر فإنه لمن الضروري أن يكون

الانتقال $1 \leftarrow 0$ سريعاً جداً (هذا ممكن عادة بانحلال غير إشعاعي). للتعويض واستمرار الصعود من $0 \leftarrow 3$.



الشكل 1.4

مخططي (a) ليزر السويات الثلاثة (b) ليزر السويات الأربعة

لقد رأينا كيف أنه من الممكن استعمال ثلاثة أو أربعة سويات من سويات الطاقة لمادة معينة للحصول على الانقلاب الإسكاني . إن عمل النظام وفق مخطط الثلاثة والأربعة سويات (أو بأي أسلوب كان) يعتمد على تحقق الشروط المختلفة والمحددة في أعلاه . وقد نتساءل لماذا نربك أنفسنا بمخطط السويات الأربعة في حين أن مخطط السويات الثلاثة يقدم لنا طريقة مناسبة للحصول على الانقلاب الإسكاني ؟ والجواب هو أنه يمكن عموماً الحصول على الانقلاب الإسكاني بسهولة أكبر في حالة السويات الأربعة عنها في حالة السويات الثلاثة ولفهم ذلك لاحظ أن فرق الطاقة بين السويات المتعددة في الشكل 1.4 أكبر بكثير من kT . ووفقاً لإحصائيات بولتزمان Boltzman statistics [راجع مثلاً معادلة (1.2.2)] وحيث إنّ جميع الذرات في البداية تكون (أي في حالة التوازن) في السوية الأرضية . والآن لنفرض أن N_t تمثل الكثافة الكلّية للذرات في المادة . ففي مخطط السويات الثلاثة تكون هذه

الذرات في البداية في السوية 1 ولنبدأ برفع الذرات من السوية 1 إلى السوية 3 . وبعدئذ ستنحل الذرات إلى السوية 2 . فإذا كان هذا الانحلال سريعاً لحد كاف فإن السوية 3 ستبقى فارغة تقريباً .لنفرض الآن وللتبسيط أن السويتين ليستا انطباقيتين أي $g_1 = g_2 = 1$ أو أن لهم نفس درجة الانطباقية.فوفقاً للمعادلة (1.2.1)،فإن المفاقيد في الامتصاص

تتعوض من الربح عندما $N_2 = N_1$.وفي هذه الحالة يجب أولاً أن نرفع نصف عدد الذرات الكلي N_t إلى السوية 2 لتساوي عدد الذرات في السويتين 1 و2 بعدئذ فإن أية ذرة ترفع سوف تسهم في الانقلاب الإسكاني . أما في ليزر الأربعة سويات. وبما أن السوية 1 فارغة من البداية فإن رفع أية ذرة إلى السوية 2 سوف تسهم في الحال بعملية الانقلاب الإسكاني.

بيّنت المناقشة السابقة أنه يجب البحث ـ ما أمكن ـ عن المادة التي يمكن أن تعمل كنظام ذي أربعة سويات بدلاً من نظام ذي ثلاثة سويات وواضح أنه يمكن استعمال أكثر من أربعة سويات أيضاً .

إن العملية التي بواسطتها ترفع الذرات من السوية 1 إلى السوية 3 (في مخطط السويات الثلاثة) أو من السوية 0 إلى السوية 3 (في مخطط السويات الأربعة) يطلق عليها الضخ pumping . ومن الناحية العملية توجد عدة طرق يمكن بوساطتها تحقيق هذا . فمثلاً بوساطة نوع من المصابيح ذات الشدة الكافية أو بوساطة التفريغ الكهربائي في داخل الوسط الفعال . ونشير للقارئ بالرجوع إلى الفصل الثالث للشرح الأكثر تفصيلاً عن عمليات الضخ المتنوعة . ونشير هنا إلى أنه إذا كانت السوية العليا الذي ضخت إليها الذرات فارغةً، فإن معدل أشغال سوية الليزر العليا (2) عن طريق الضخ $(dN_2 / dt)_p$ يمكن التعبير عنه بالآتي:

$$(dN_2/dt)_P = W_p N_g \qquad (1.3.1)$$

حيث إنّ N_g إسكان السوية الأرضية لكل من ليزرات السويات الثلاثة أو الأربع سويات [أي سوية1 أو سوية 0 في الشكل 4a. و1.4b ،على التوالي] و W_p معامل ملائم وسيطلق عليه معدل الضخ .أن أهم حالة في ليزرات السويات الثلاثة هي في الواقع ، ليزر الياقوت ، Ruby laser إنه أول ليزر عامل تم تركيبه وعم استعماله خلال فترة وجيزة .ومن اجل أغلب الليزرات ذات السويات الأربعة المستخدمة في الواقع العملي ،فان تفريغ السوية الأرضية وفقاً لعملية الضخ يمكن إهمالها .ونستطيع أن نكتب $N_g = const.$ لتبسيط المعادلة السابقة.

$$(dN_2/dt)_P = R_P \qquad (1.3.2)$$

حيث R_P تدعى معدل الضخ في واحدة الحجم أو اختصاراً معدل الضخ . وللحصول على شرط العتبة Threshold فإن معدل الضخ يجب أن يصل إلى قيمة العتبة الحرجة critical التي سوف نشير لها بـ W_{cp} . و نحصل على التعبير الدقيق لـ W_{cp} في الفصل الخامس .

1.4 خصائص حزم أشعة الليزر ***Properties of Laser beams*** :

يتميز شعاع الليزر بدرجة عالية جداً من:

(أ) أحادية اللون: monochromaticity (ب) الترابط coherence

(ج) الاتجاهية Directionality (د) السطوع brightness .

وندرس الآن هذه الخصائص .

1.4.1 أحادية اللون monochromaticity :

من دون الدخول في التفاصيل الدقيقة نستطيع القول إن هذه الخاصية ناشـــئة عن: (أ) إمكانية تضخيم شبه انتقائي للموجات الكهرمغناطيسية ذات التردد ν المحـدد بالمعادلة (1.1.1) . (ب) أن كون المرآتين تشكلان مجاوبة فالتذبذب يحدث فقط عنـد الترددات الرئيسية لهذه المجاوبة . وهذا يؤدي إلى كون عـرض الخـط Line width الليزري أضيق بكثير ، أكثر من 10مراتب من قيمة عرض خط الانتقـال $1 \rightarrow 2$ في الإصدار التلقائي .

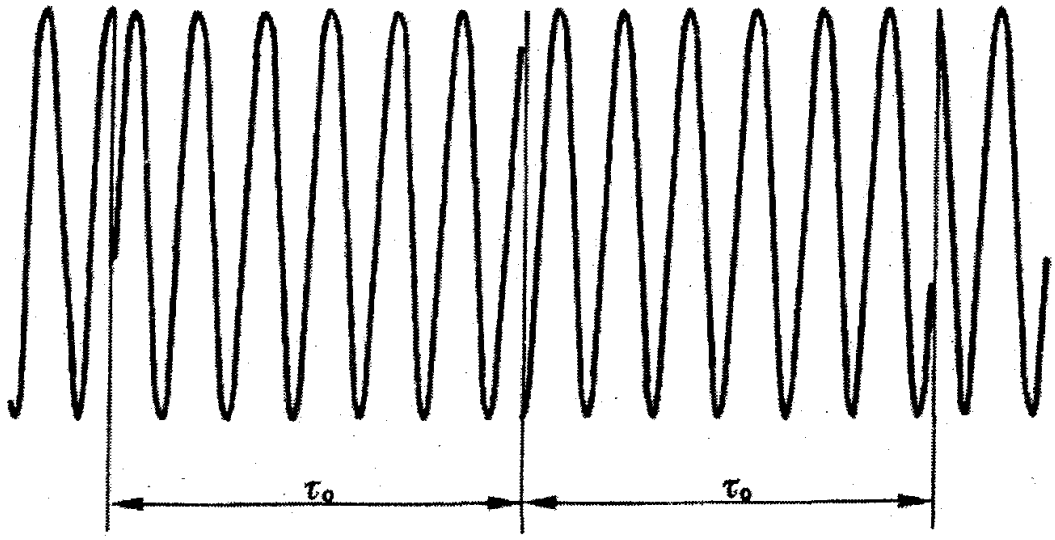
1.4.2 الترابط coherence :

من الممكن إدخال المفهومين الآتيين للترابط لأي موجة كهرمغناطيسية وهمـا الترابط المكاني Spatial والترابط الزماني Temporal .

لتوضيح الترابط المكاني نتصور نقطتين P_1 و P_2 في اللحظة $t = 0$ تكونان علـى نفس صدر الموجة الكهرمغناطيسية . ونفرض أن الحقل الكهربائي عند هاتين النقطتين $E_1(t)$ و $E_2(t)$ على التوالي . ومن الواضح إن فرق الطور بين هذين الحقلين يسـاوي الصفر عندما $t = 0$. والآن إذا بقي فرق الطور صفر لأي زمن $t > 0$ فيقال عندئذ أنه يوجد ترابط تام perfect coherence بين النقطتين . وإذا تحقق هذا لأي نقطتين علـى صدر الموجة فيقال أن الموجة لها ترابط مكاني تام . من الناحية التطبيقية لكي نحصـل على ترابط جيد للطور ، لأي نقطة P_1 يجب أن تقع النقطة P_2 ضمن منطقة محـددة حول النقطة P_1 . وفي هذه الحالة يقال أن الموجة لها ترابط مكاني جزئي ويمكننا عنـد أي نقطة p إدخال سطح ترابط معين $S_c(p)$.

ولتوضيح الترابط الزماني نتصور المجال الكهربائي للموجة الكهرمغناطيسية عند نقطة معينة P في اللحظتين t و $t+\tau$. إذا بقي فرق الطور بين الحقلين ثابتاً بعد تأخر زمني محدد τ . وبقي ثابتاً لأي زمن t فيقال إنّه يوجد ترابط زماني خلال الفترة الزمنية τ وإذا تحقق هذا لأية قيمة لـ τ فيقال أن الموجة الكهرمغناطيسية لها ترابط زماني تام أما إذا تحقق هذا لتأخر زمني τ بحيث أن $0 < \tau < \tau_0$ فيقال أن الموجة تملك ترابط زماني جزئي بزمن ترابطه τ_0 .

وهذا موضح في الشكل 1.5 الذي يبن موجة كهرمغناطيسية جيبيه حقلها الكهربائي يعاني تغيراً مفاجئاً بالطور بعد فترات زمنية تساوي τ_0 . نلاحظ أن مفهوم الترابط الزماني يتصل مباشرة بأحادية الطول الموجي ، وسنثبت أن الموجة الكهرمغناطيسية لها ترابط زماني τ_0 ولها عرض نطاق ترددي band width $\Delta\nu \cong 1/\tau_0$ وهذا أيضاً واضح من المثال المبين في الشكل 1.5 .



الشكل 1.5

مثال موجة كهرمغناطيسية مترابطة وطول ترابطها الزمني يساوي تقريباً τ_0

ومن الجدير بالملاحظة أن مفهومي الترابط الزماني والمكاني لا يتوقفان أحدهما على الآخر . الواقع هو أنه يمكن إعطاء مثال لموجة لها ترابط مكاني تام وترابط زمني محدود (والعكس صحيح) .

نختتم هذا البند بالتأكيد على أن مفهومي الترابط الزماني والمكاني يقدمان فقط وصفاً ضمن المرتبة الأولى، أما من أجل المراتب العليا Higher Order فستدرس بالتفصيل في الفصول اللاحقة .

إن مثل هذه الدراسة أساس للفهم الكامل للاختلاف بين المصادر الضوئية الاعتيادية والليزر . وفي الواقع سنبين أنه بفضل الفرق بين خصائص ترابط المرتبات العليا المناظرة ، فإن حزمة الليزر تختلف أساساً عن المصادر الضوئية الاعتيادية .

1.4.3 الاتجاهية Directionality :

إن خاصية الاتجاهية هي نتيجة مباشرة لكون أن المادة الفعّالة موضوعة داخل مجاوبة مثل المرآتين المستويتين المتوازيتين كما في الشكل (1.3) والحقيقة هي أن تلك الأشعة التي تسير على طول محور المجاوبة (والتي تسير مجاورة له) هي وحدها التي تطيل البقاء داخل المجاوبة . وللحصول على فهم أدق لخصائص الاتجاهية لحزمة أشعة الليزر (أو على العموم لأي موجة كهرمغناطيسية) نجد من المناسب دراسة حالة أشعة ذات ترابط مكاني تام وأشعة ذات ترابط مكاني جزئي بشكل منفصل .

لندرس أولاً حالة الترابط المكاني التام . حتى في هذه الحالة فإن حزمة أشعة ذات قطر معين تبدي تفرقاً لا يمكن تفاديه نتيجة لظاهرة الانعراج . ومن الممكن إدراك هذا بمساعدة الشكل 1.6 .

1.4.5 مدة دوام النبضة القصيرة Short Pulse Duration

دون الخوض في التفاصيل في هذه المرحلة ، نذكر أنه بواسطة تقنية خاصة تدعى تثبيت النمط mode locking ، يمكن إنتاج نبضات ضوئية مدة دوامها تساوي تقريباً مقلوب عرض خط الانتقال الليزري $1 \rightarrow 2$.وهكذا في الليزرات الغازية التي عرض خطوط انتقالاتها يكون نسبياً ضيقاً ،وعرض النبضة يتراوح بين $0.1 \rightarrow 1ns$ نانوثانية لا تعتبر هذه النبضة قصيرة بشكل مميز ، في الواقع بعض مصابيح الومّاضية يمكن أن تصدر نبضات ضوئية مدة دوامها إلى حد ما أقل من 1 نانوثانية. ومن جهة أخرى عرض الخط لبعض ليزرات الجسم الصلب والليزرات السائلة يمكن أن يكون 10^3إلى 10^5 مرة أكبر من تلك الذي لليزرات الغازية ، في هذه الحالة يمكن توليد نبضات أقصر وأقل من $10fs$فيمتو ثانية . هذا ما يدفعنا إلى إمكانيات جديدة في بحث الليزر وتطبيقاته .

لاحظ أن خاصية قصر مدة دوام النبضة ، التي تقتضي تركيز للطاقة في الزمن التي يمكن اعتبارها بطريقة ما معادلة أحادية اللون ،التي تقتضي تركيز طاقة في طول الموجة . مع أن خاصية قصر مدة النبضة ربما يمكن اعتبارها أقل أهمية من أحادية اللون في الواقع ، جميع الليزرات يمكن أن تعطي تناسقاً كبيراً ،لكن فقط الليزرات التي تملك خطاً عريضًا يمكنها من حيث المبدأ مثل ليزرات الحالة الصلبة والليزرات السائلة أن تنتج نبضات قصيرة جداً .

1.5 نماذج الليزر Laser Types

تتضمن أنواع الليزرات المختلفة والمطوّرة حتى الآن مجالاً واسعاً بارومترات التقنية والفيزيائية . في الحقيقة إذا أردنا تصنيف الليزرات بحسب الحالة الفيزيائية للمادة الفعّالة يمكن أن نقسمها إلى ليزرات الحالة الصلبة أو السائلة أو الليزرات الغازية . وهناك حالة خاصة جداً هي حالة ليزر الإلكترون الحر حيث تتألف المادة الفعّالة من الكترونات حرة تتحرك بسرعات نسبوية وتمر عبر حقل مغناطيسي فراغي دوري . إذا قمنا بتصنيف الليزرات باعتماد الأطوال الموجية للإشعاع الصادر يمكن أن نسميها : ليزرات الأشعة تحت الحمراء ، الليزرات المرئية ، ليزرات الأشعة فوق البنفسجية وليزرات الأشعة السينية . يمتد مجال الأطوال الموجية الموافقة من 1 mm إلى 1 nm (الحد الأعلى لأطوال موجات الأشعة السينية القاسية) . يمكن أن تصل مرتبة امتداد الطول الموجي إلى 10^6 (تذكّر أن المجال المرئي يمسح الأطوال الموجية تقريباً من 700nm إلى 400nm أي مرتبة امتداد المجال تساوي تقريباً العامل 2) . مجال طاقة خرج الليزر يشمل مجالاً أوسع من القيم . من أجل ليزرات الموجة المستمرة cw تمتد قدرتها المعتادة من بضعة ميلي واط في الليزرات المستخدمة كمنبع إشارة (مثلاً في الاتصالات الضوئية أو في ماسحات التعرفة الرقمية) ، وإلى عشرات الكيلو واط ، في الليزرات المستخدمة في تعدين المواد والشغل عليها ، وإلى عدة ميغا واط (حتى الآن 5 ميغاواط) ، في الليزرات المستخدمة في بعض التطبيقات العسكرية (مثلاً أسلحة الطاقة الموجهة) .

في الليزرات النبضية يمكن أن تكون ذروة القدرة أكبر بكثير منها في ليزرات CW ويمكن أن تصل قيماً مرتفعة جداً مثلاً واحد بيتا واط ($1pw = 0^{15}w$).

أو أيضاً من أجل الليزرات النبضية ، فإن زمن استمرار النبضة يمكن أن تختلف في مجال واسع من واحد ميلي ثانية من أجل ليزرات تعمل ضمن مجال العمل الحر وفق نظام free running regime (أي بدون مفتاح Q-switching أو في نظام مثبت النمط mode locking في عناصر المجاوبة الضوئية) إلى حوالي 10 فيمتوثانية ($1fs=10^{-15}s$) من أجل بعض ليزرات النمط المثبت . يمكن أن تختلف الأبعاد الفيزيائية لليزرات بشكل كبير . من حيث طول المجاوبة مثلاً ، الطول يمكن أن يكون من مرتبة 1µm من أجل أقصر الليزرات وإلى أطوال تصل عدة كيلومترات (مثلاً 6.5km طول ليزر تم إعداده في كهف من أجل دراسات جيولوجية) .يتضمن هذا المجال الواسع من البارومترات الفيزيائية والتشغيلية نقاط قوة ونقاط ضعف . فيما يتعلق بالتطبيقات هذا المجال الواسع للبارومترات يعطي إمكانيات عديدة في عدد من التطبيقات والعلوم الأساسية . ومن ناحية أخرى ومن حيث التسويق التجاري فإن هذا الاختلاف الواسع في التجهيزات والأنظمة يعدّ عقبة أمام الإنتاج الواسع ويرتبط ذلك بإمكانية تخفيض أسعار الكلفة .

ليزرات النبضات طاقات قمة النبضة اكبر من طاقة ليزرات الموجة المستمرة ، وتبلغ قيمة طاقة النبضة أكثر من($1P.W(10^{15}\ W$ ونذكر هنا من اجل الليزرات النبضية مدة دوام النبضة علي فترات متباعدة من ميلي ثانية 1ms مستوي نوعي لليزرات العاملة(بالنظام الذي ندعوه النظام الحر أي بدون أي Q-switching أو عنصر النمط المغلق mode-locking في الحجرة) إلى حوالي fs 10فيمتو ثانية(1fs s) $=10^{-15}$ لبعض الأنماط الليزرية المغلقة .وتغيير الأبعاد الفيزيائية بشكل واسع . وفي عبارة طول الحجرة يمكن أن تكون حتى من 1µ.m لأقصر ليزر إلى أكثر من كيلو متر واحد ومن أجل أطول ليزر يصل إلى 6.5 Km طولاً ، وقد وضع في كهف

تفاعل الإشعاع مع المادة

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

– 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 تتحدد من التركيب الذري لتلك المواد كما هو الحال مع الزجاج طبقا للمعادلة التالية:

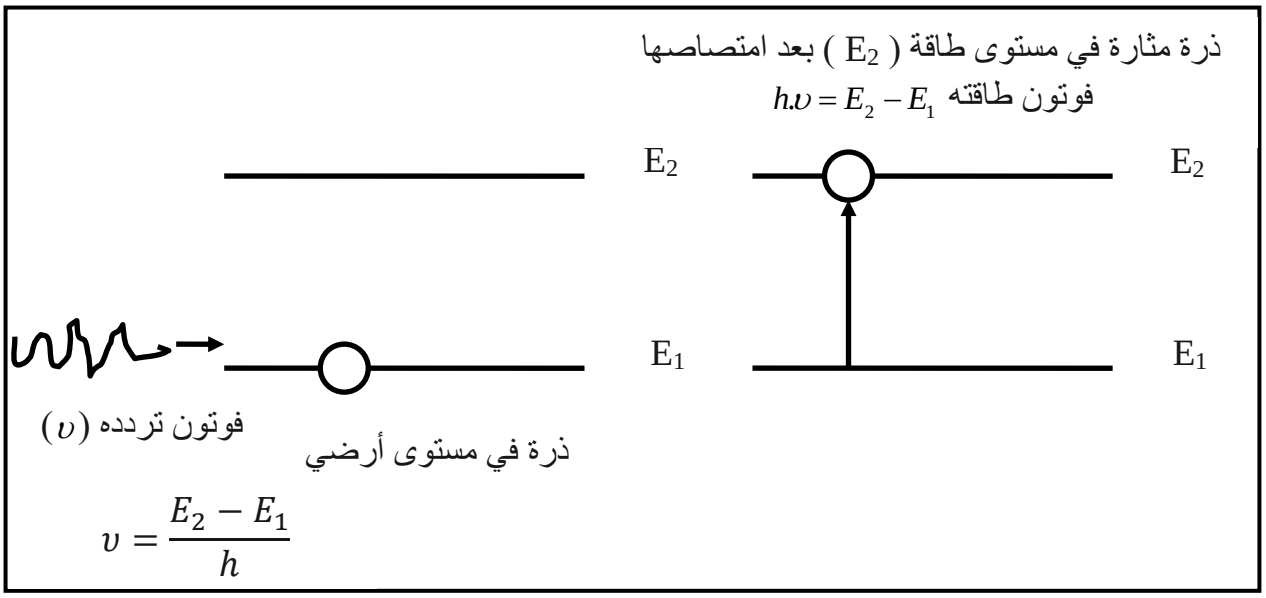
$$h.\upsilon = E_2 - E_1$$

حيث :

h : ثابت بلانك (Planck Constant) ويساوي ($6.63x10^{-34}\,J.s$) .

υ : تردد الفوتون .

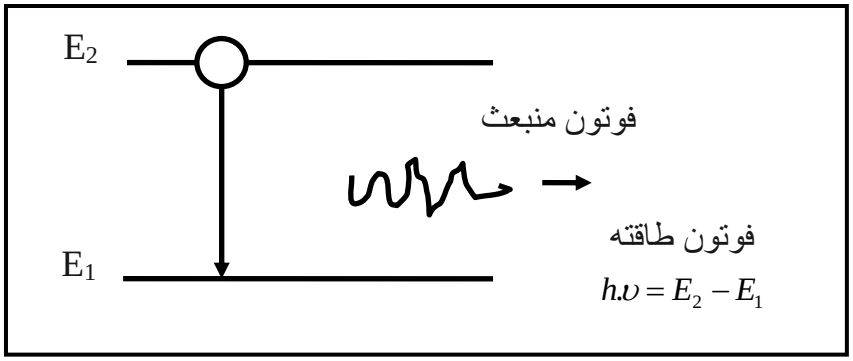
E_1 : المستوى الأرضي (Ground State) , E_2 : مستوى الإثارة (Excited State)



- الإنبعاث التلقائي(Spontaneous Emission):

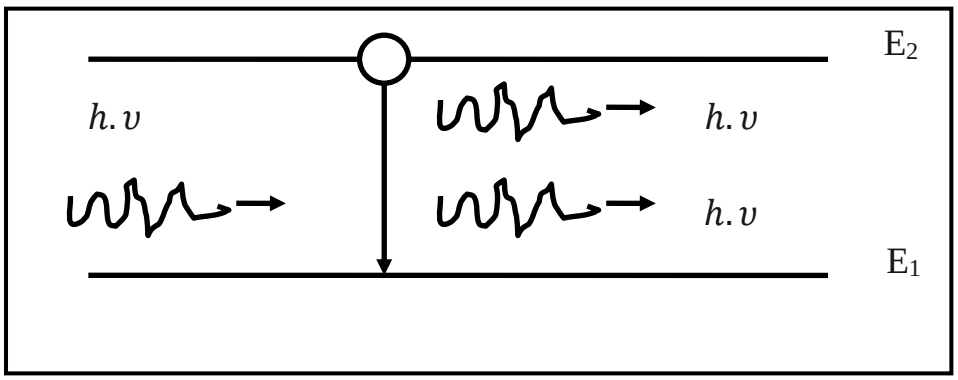
وفيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من المدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة. إن الإشعاع التلقائي الصادر عن المادة المثارة يسمى

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.

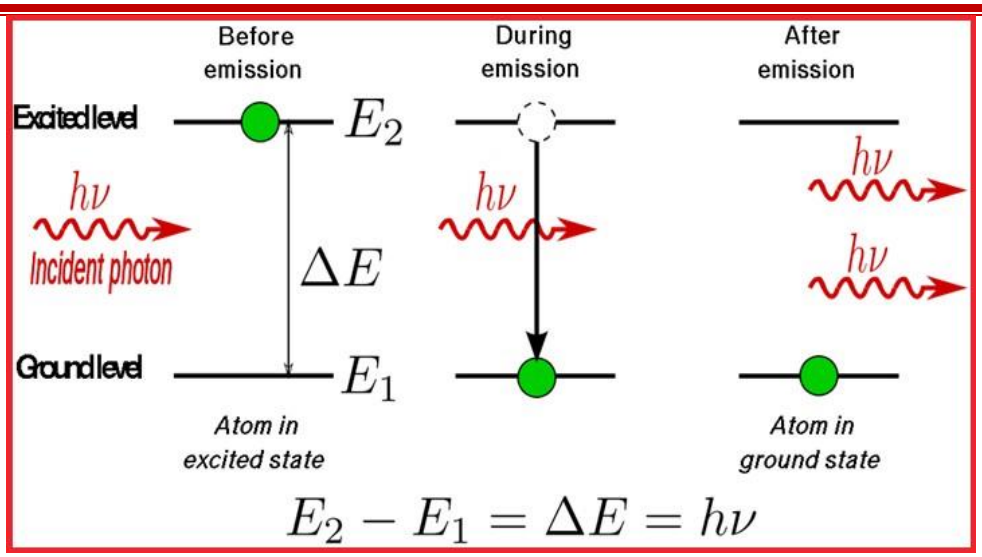


ج - الانبعاث المستحث (Stimulated Emission):

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 الإنبعاث 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 خال 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 1954 حيث تم الحصول على موجات ميكروية مضخمة أو مكبرة باستخدام أشعة في مدى تلك الموجات وأطلق على الموجات أو الاشعاع الناتج اسم الميزر (maser) وهو اختصارللجملةMicrowave Amplification by Stimulated of Radiation

ومعناها : تكبير أو تضخيم الموجات الميكروية بالانبعاث المستحث للشعاع وفي عام 1960 تمكن العالم الامريكي مايمان من الحصول على اشعاع مضخم ناتج بالحث في مدى موجات الضوء وأطلق عليه اسم الليزر light amplification by stimulated emission of radiation :.

ومعناها : تكبير الموجات الضوئية بلالنبعاث المستحث للإشعاع وقد تم منح كل من تاوتز الامريكي وباسوف وبروكورف (الروسيان) جائزة نوبل في الفيزياء عام 1964 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 محتفظا 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 بالـ 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 بديا عن الموجات الراديوية كحامل للمعلومات وذلك لقدرته على حمل كمية معلومات تفوق بآلاف 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 ضالتهم المنشودة في أعمال المساحة والإنشاءات بمختلف أنواعها وذلك لضبط استقامتها وقياس الأبعاد. أما الأطباء فقد كان لهم نصيب وافر من هذا الإختراع فقد استخدموه كمشرط عالي الدقة لا يترك نزفاً وراءه وقد يصل لأماكن في جسم الإنسان لا يمكن أن تصل إليه مشارطهم المعدنية إلا بعد حدوث ضرراً كبير. واستخدموه في تصحيح البصر وإزالة الأورام وتفتيت الحصى وحفر الأسنان وإزالة البثور والحبوب والتجاعيد والدمامل وغيرها من أمراض وعيوب الجلد.

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 المحثوثة ذات الفوتونات المتماسكة.

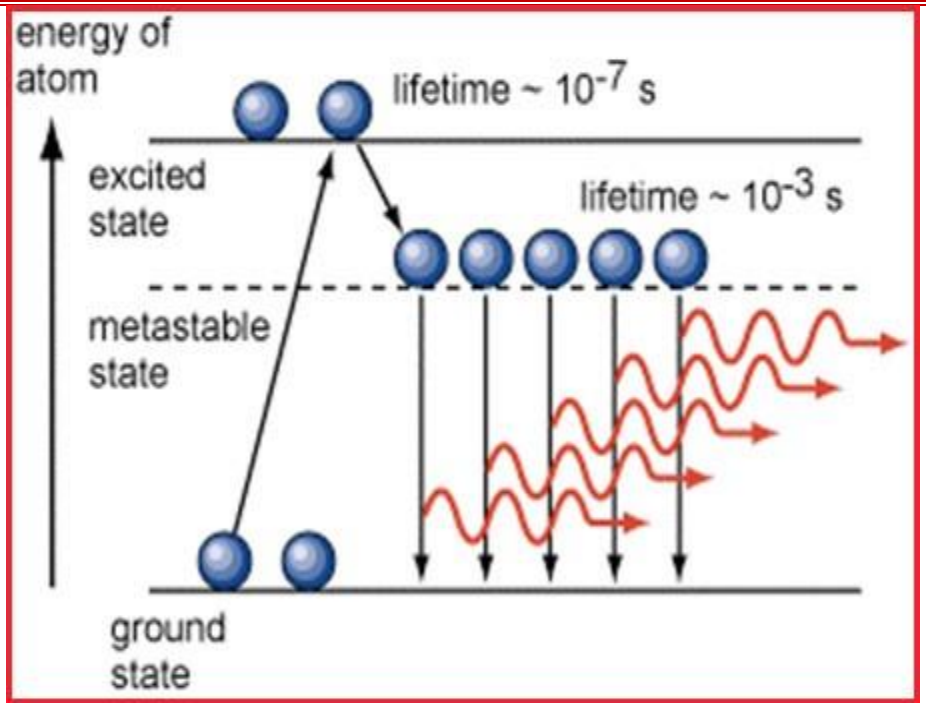
أن تطبق على الجملة طاقة حقن خارجية كي تحدث إثارة لذرات المادة وشحنها بالطاقة وبالتالي لجعلها جاهزة ومهيأة لإطاق الفوتونات المتماسكة حال حدوث اصطدامات مع فوتونات سريعة تعبر المادة .

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 آينشتاين.

فلو كان لدينا N ذرة ذات مستويين للطاقة N1 و E1 في الحالة الأساسية و N2 و E2 في الحالة المثارة. والإصدار المستحث يتناسب مع عدد الذرات في المستوى العلوي. وللحصول على إصدار المستحث كبير يجب أن يكون N1>N2 أي يجب قلب التوزع 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.

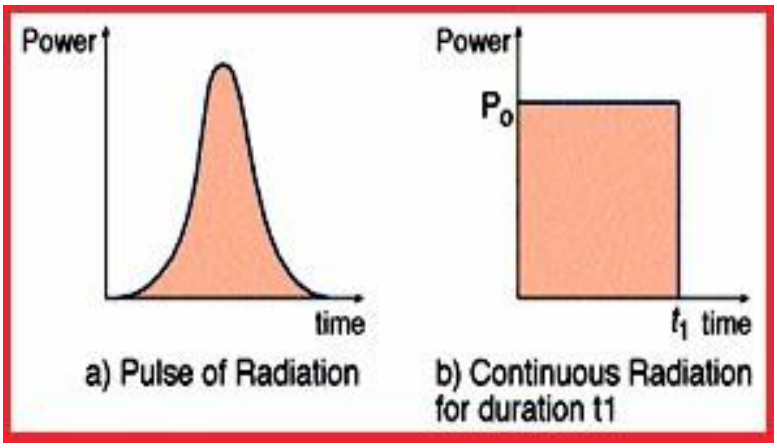
وتستخدم المرايا لعكس بعض الفوتونات المتولدة لتمر من خال ذرات المادة الفعالة لتوليد مزيدا من

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 يحُدد ذلك التركيب الذري للمادة الفعالة ونوع وكمية الضخ المستخدم وكذلك طريقة تركيب الليزر.

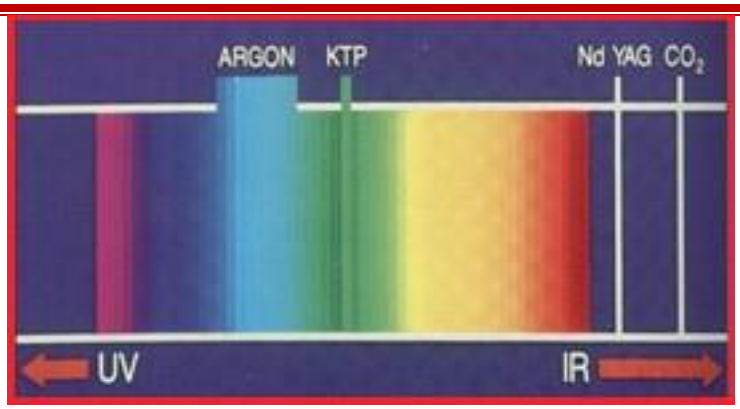
تصنيف الليزر:

- 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 .

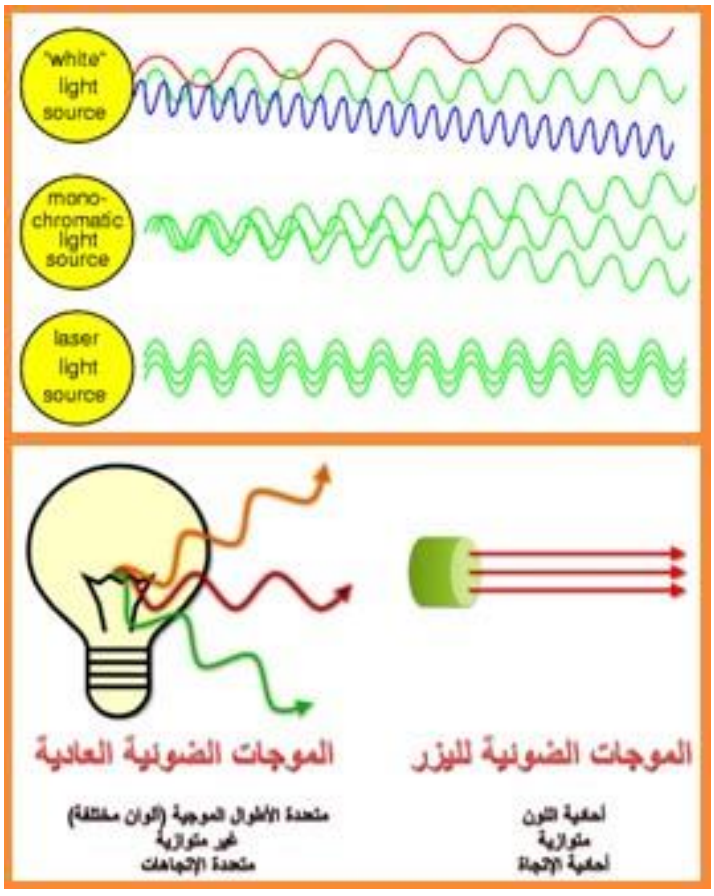


أ **- تردد الإشعاع:** الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجيةّ، الأشعة تحت الحمراء، ليزر أشعة اكس.



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:



- الاتجاهية (Directionality) وهي أن شعاع الليزر له زاوية انفراج (**divergence angle**) غاية في الصغر بحيث يمكنه أن يسير لمسافات طويلة دون أن تتشتت طاقته. فعلى سبيل المثال فإن زاوية انفراج 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 انفراج شعاع الليزر من عدة عوامل أهمها: عرض الشعاع عند خروجه من المصدر، وطول موجة الإشعاع

حيث تتناسب 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 .

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

ب - **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 فإنهبالإمكان الحصول على شدةإضاءة 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.

ج - **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 بدلا 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 .

د - **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 خال 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 .

ه - **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 الميغاواطات 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 التفاعات 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 .

و - **إمكانيةّ الومضات الضوئيةّ** القصيرة والمتكررة.

ز - **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 وحمة الصباغ الخمري Port wine stain ، أو توسعات الأوعية الدموية الشعرية.

ح – **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 .

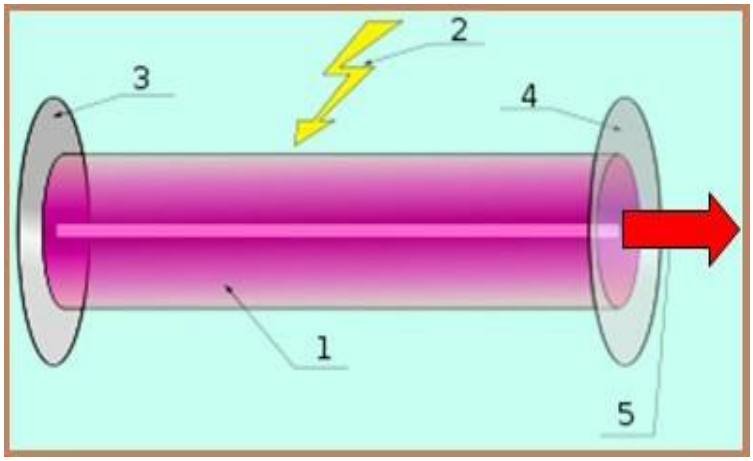
وبما أن أشعة الليزر عبارة عن أشعة ضوئية مركزة، فإنها تخضع لقوانين الضوء من حيث: الانعكاس ،والانكسار، والانحراف بواسطة المرايا والعدسات والمناشير الزجاجية. وقد تمكن الفنانون من استخدام أشعة الليزر في تشكيل صور رائعة باستخدام العدسات والمرايا والألياف البصرية Fiber Optics، وذلك من خلال انعكاس وانكسار أشعة 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 الفعّال. 2 – مصدر الضخ الإلكتروني. 3 – مرآة عاكسة مثالية. 4 – مرآة عاكسة جزئياً. 5 – مخرج شعاع الليزر.

(الوسط الفعالactive 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 وليزرياً:غاز نقي (ذري)هيليوم – نيون مزيج غازي غاز الكربون CO_2-مزيج غازي (جزئي)بلورة الياقوت المطعم بالكروم صلب (بلورة)الزجاج المنشط YAG صلب (بلورة)أوكسي كلور الفوسفور المشوب بالنيوديميوم (سائل).

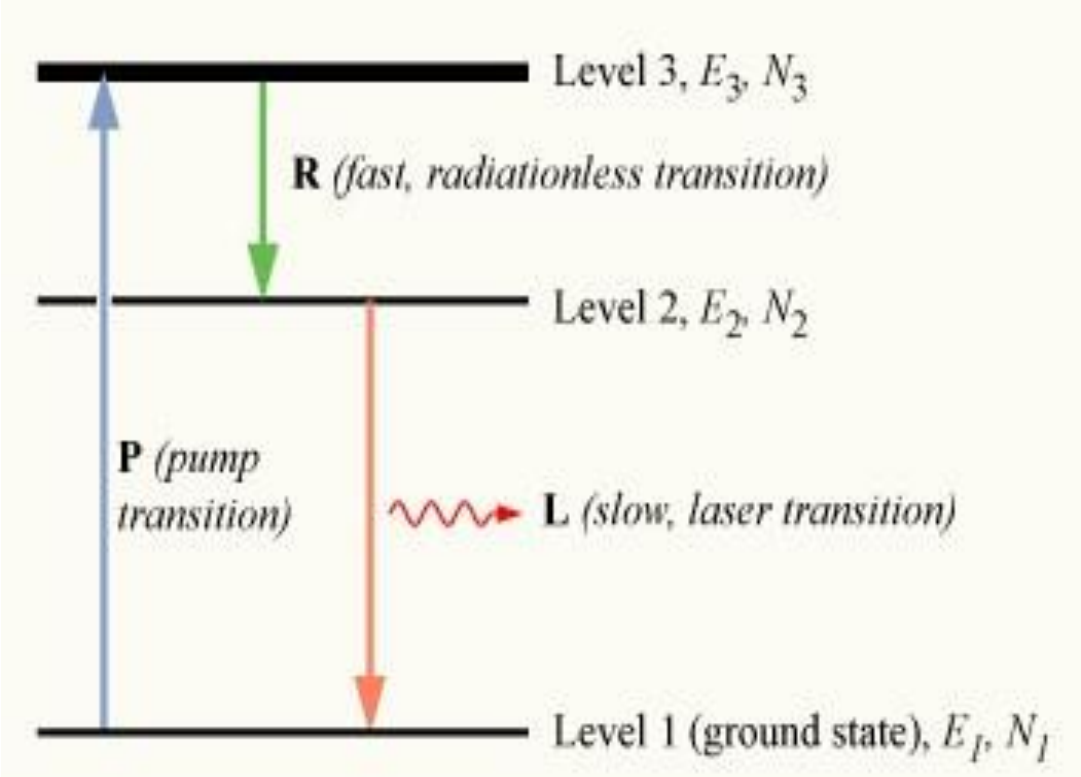
خطط الضخ:

أي دراسة عن كيفية ضخ الوسط الفعال بطاقة من مصدر ما لتحقيق التأهيل العكسي بمقدار يتجاوز القيمةالحرجة للمستويين ويؤدي إلى إشعاع يتضخم عن طريق الأنبعاث المحفز. إن هذا الهدف لايمكن تحقيقه باستخدام نظام ذري ذو مستويين فقط للطاقة لأنه باستخدام إشعاع كهرومغناطيسي شديد ذو تردد مناسب مثلاً لعملية الضخ سرعان مايولد 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 المستوي، فأذا 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.

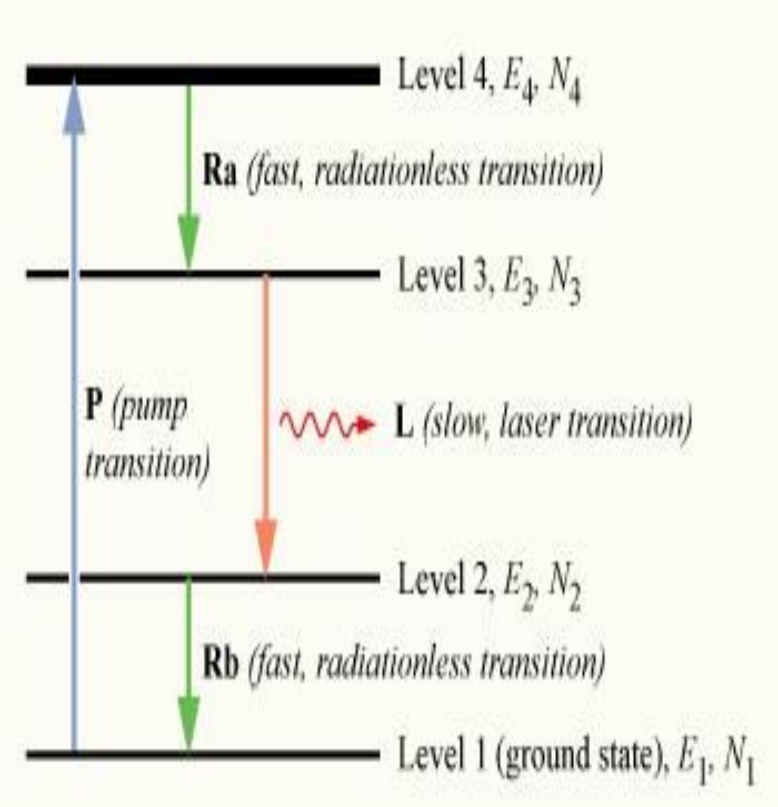


ب - نظام ليزر رباعي المستويات 4- Level Laser System

بالمقارنة مع نظام ليزر ذي ثلاث مستويات هناك مستوى طاقة إضافي فوق المستوى الأرضي، وهذا المستوى الأضافي 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 E3 من خلال الحصول على التوزيع المعكوس للمستوى E3 من خلال المستوي الطاقي E4.

ان فائدة نظام المستويات الأربعة هو حقيقة ان تعداد المستوى الطاقي E2 قليل، وللحصول على التعداد المعكوس ليس هناك حاجة لأن تكون أكثر من 50% من الذرات في المستوي الليزري العلوي.



وبعد ذلك التعداد في المستوى الليزري السفلي 2N سوف تضمحل بشكل سريعإلى 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 بالنمط المستمر**

١ـ٢ـ١:ـ مميزات شعاع الليزر:

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

١ـ٣ـ١ عيوب استخدام الليزر:

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

معاملات اينشتين

لنفترض عدد N من الذرات المتجانسة داخل فجوة الليزر ، وبكل ذرة مستويين من الطاقة بحيث يكون :

$$h f = E_2 - E_1 \qquad (26)$$

ولنفترض أن كثافة الذرات الموجودة في المستوى E_1 و E_2 يعطى بالأعداد السكانية N_1 و N_2 على التوالي والتي بدورها تتأثربالانتقالات المشعة طبقاً لمعادلات آينشتاين التالية :

* ينحل الإسكان العلوى N_2 بسبب الانبعاث التلقائي وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spon} = -A_{21}\, N_2 \qquad (27)$$

حيث A_{21} هو احتمالية حدوث الانبعاث التلقائي لكل وحدة زمن . (لماذا الاشارة السالبة ؟)

* يزداد الإسكان العلوى N_2 بسبب الامتصاص وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{abs} = +B_{12}\, N_1\, \rho(f) \qquad (27)$$

حيث B_{12} هو احتمالية حدوث الامتصاص لكل وحدة زمن و $\rho(f)$ هي كثافة طاقة الاشعاع .

* ينحل الإسكان العلوى N_2 بسبب الانبعاث المستحث وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = -B_{21}\, N_2\, \rho(f) \qquad (28)$$

حيث B_{21} هو احتمالية حدوث الانبعاث المستحث لكل وحدة زمن .

تسمى المعاملات A و B بمعاملات آينشتين .

وعليه يكون المعدل الكلي للتغير في الاسكان الذري على النحو التالي :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{dN_1}{dt} = +B_{12}\ N_1\ \rho(f) - B_{21}\ N_2\ \rho(f) - A_{21}\ N_2 \qquad (29)$$

حالة الاتزان الحراري

في حالة الاتزان الحراري يكون معدل انتقال الذرات إلى المستوى العلوي (الامتصاص) مساوياً لمعدل اتحلالها (بالانبعاث التلقائي أو المستحث) أي أن :

$$B_{12}\ N_1\ \rho(f) = B_{21}\ N_2\ \rho(f) + A_{21}\ N_2 \qquad (30)$$

$$\Rightarrow \quad \rho(f) = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}} \qquad (31)$$

وحيث المنظومة الذرية المتزنة حرارياً تتبع توزيع بولتزمان وباستخدام المعادلة(25) يمكننا كتابة الانعكاس السكاني كالتالي :

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{hf}{KT}\right) \qquad (32)$$

الاشارة السالبة في الدالة الأسية تدل على أن الانعكاس السكاني في انحلال وتوهين والمنظومة الليزرية بحاجة إلى عملية ضخ كما سنرى في الفصل القادم .

وبتعويض المعادلة (32) في (31) وافتراض أن مستويات الطاقة غير منحلة نحصل على :

$$\rho(f) = \frac{A_{21}}{\exp\left(\frac{hf}{KT}\right) B_{12} - B_{21}} \qquad (33)$$

ينص قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود على أن كثافة الإشعاع تعطى بالصيغة الرياضية التالية

$$\rho(f)=\frac{8\pi hf^3}{c^3}\left(\frac{1}{\left[\exp\left(\frac{hf}{KT}\right)\right]-1}\right) \qquad (34)$$

وبمقارنة المعادلتين الأخيرتين نجد أن :

$$B_{21}=B_{12}=B \qquad (35)$$

$$\frac{A_{21}}{B}=\frac{8\pi hf^3}{c^3} \qquad (36)$$

لقد وجد آينشتاين أن النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز في حالة الاتزان الحراري تعطى بالعلاقة :

$$R=\frac{A_{21}}{B\ \rho(f)} \qquad (37)$$

وباستخدام العلاقة (34) نحصل على علاقة للمعدل كدالة في درجة الحرارة وتردد الإشعاع :

$$R=\exp\left(\frac{hf}{KT}\right)-1 \qquad (38)$$

تمارين

1- اوجد الطول الموجي الذي يتساوي فيه معدل الانبعاث التلقائي مع الانبعاث المحفز في درجة حرارة الغرفة عند شرط التوازن الحراري .

2 - وضح حسابيا انه لايوجد توليد لشعاع الليزر عندما تكون الطاقة الحرارية مساوية لطاقة الفوتون ثابت بلانك $6.63\times10^{-34}\,J.s$ ثابت بولتزمان $1.38\times10^{-23}\,\frac{J}{K}$

3 - ماهي درجة الحرارة اللازمة لحدوث الفعل الليزري وتوليد الليزر ؟

4- احسب النسبة ما بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز لمصباح تنجستن بعمل بدرجة حرارة T=1727 C حيث أن الضوء يكون مرئيا

طرق الضخ:

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

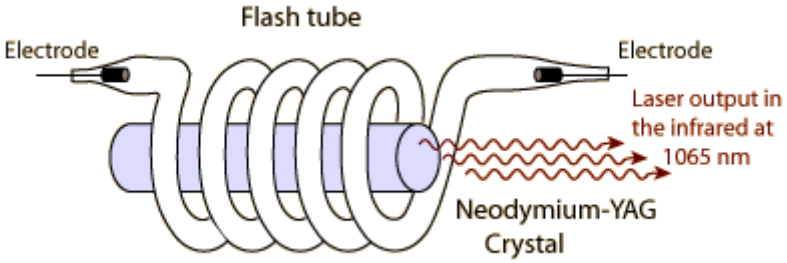
1- الضخ الضوئي Optical Pumping

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

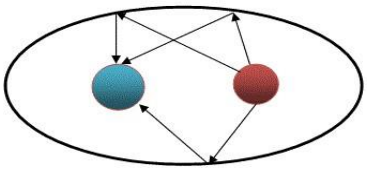
تستخدم مصابيح خاصة مملوءة بغاز الزينون (Xe) او الكريبتون (Cr) وبضغط عالي (450-1500 Torr) ويجهز بمصدر قدرة كهربائية للحصول على التفريغ الكهربائي والحصول على ضوء ساطع ذو شدة عالية ويكون الطيف الناتج حسب نوع الغاز المستخدم.

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.

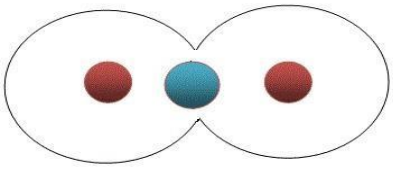
الشكل الأهليليجي Helical shape



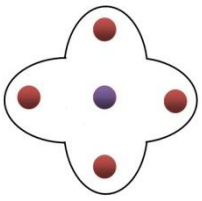
البيضوي Elliptical shape



ثنائي البيضوي Dual Elliptical shape

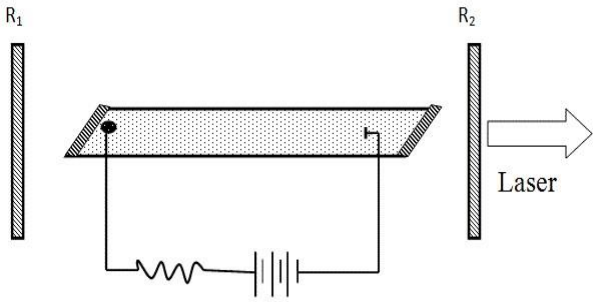


متعدد الأشكال البيضوي Multi elliptical shape



2- 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 لتهيج الذرات عند التصادم معها .أما في ليزر شبه الموصل (ليزر دايود) فيتم بالأنحياز الأمامي باستخدام فرق جهد كهربائي يعمل مجاله على حقن حاملات الشحنة الى منطقة النضوب (الملتقى) للألتحام مع الحاملات المضادة وأشعاع فوتونات الليزر.



3- الضخ الكيمياوي Chemical Pumping

في هذه الطريقة لانحتاج إلى مصدر خارجي للطاقة فهو يتوفر ضمنياً في المادة المستخدمة، فناتج التفاعل الكيمياوي 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. فمثلا في ليزر فلوريد الهايدروجين يتكون من خليط غازي الفلور والهايدروجين وجزيئة فلوريد الهايدروجين الناتجة تكون متهيجة حسب التفاعل:

$$F + H_2 \xrightarrow{yields} HF^* + H$$

$$H + F_2 \xrightarrow{yields} HF^* + F$$

فالجزيئة المتهيجة (HF*) تشكل المادة الفعالة في الليزر الكيمياوي 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 الكترونات مثارة 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.

b - التعداد المعكوس Population Inversion

ويتطلب ابعاث أشعة الليزر العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا، أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية فيها باستخدام طاقة خارجية مثلاً، وعندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول بأنه حصل انقلاب في **التعداد أو عكس التعداد**، وهو ما سميناه بالتعداد المعكوس Population Inversion. وتحت هذه الشروط يكون احتمال حدوث الابعاث المحثث كبير، ويمكن الحصول على فوتونات مترابطة في الطور مع بعضها البعض كما هو موضح في شكل ١-٢٠.

شكل ١-٢٠ التعداد المعكوس

c - التكبير الضوئي Light Amplification

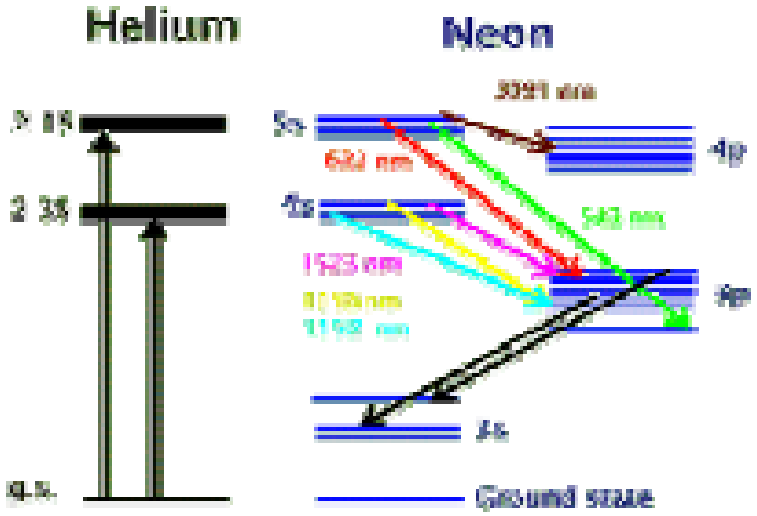
عندما نجبر مجموعة من الذرات أو الجزئيات لتكون في وضع منهيج، أي تملك طاقة عليا، بمعنى آخر الحصول على تعداد كثيف في مستويات الطاقة العليا، فإن ابعاث فوتون مفرد خلال انتقال الذرة أو الجزئية إلى مستوى أقل سوف يحث غالبية الذرات الأخرى الموجودة في نفس مستويات الطاقة للانتقال وبعث الطاقة الزائدة على شكل فوتون

يسمى الليزر بالليزر النبضي pulse laser عندما يضخ النظام مرة أخرى للحصول على تعداد معكوس آخر ونبضة ليزرية أخرى وذلك بعد إكمال عملية الانبعاث المحثت ورجوع غالبية الذرات المهيجة إلى وضع الاستقرار. ويجري عادة ضخ باستمرار إما بفوتونات خارجية، أو بتفريغ كهربائي خصوصاً للمواد الغازية.

أما بالنسبة لليزرات التي تنتج إشعاع مستمر C.W. Laser بدلاً من حزمة نبضية فإنها تحتاج إلى وجود ثلاثة مستويات للطاقة لإحكام شرط التعداد المعكوس بدلاً من المستويين في حالة الشعاع النبضي. وفي هذا النوع تضخ الذرات باستمرار من مستويات الطاقة الأرضية إلى مستويات الطاقة العليا، ومن ثم تنتقل هذه الذرات المتهيجة إلى مستوى ثالث وسطي قيمة طاقته تقع بين المستوى الأرضي والمستوى الأعلى.

مثال ذالك ليزر غاز الهليوم - نيون He - Ne Laser يمثل هذا النوع أحد الليزرات المتوفرة تجارياً على نطاق واسع، حيث ينتج ضوءاً طوله الموجي ٦٣٢,٨نانومتر، وهو أحمر اللون، والمادة الفعالة لهذا الليزر هي خليط من غاز الهليوم والنيون، كما أن غالبية ذرات هذين الغازين تقع في المستويات الإلكترونية n=2 و n=1 على التناظر. وعند إثارة هذه الذرات إلى مستويات طاقة عليا فإنها يجب أن تعود إلى المستوى IS في الهليوم، و2s في النيون لإعادة الاستقرار في مستويات الطاقة الأرضية.

بالنسبة لذرات الهليوم فإن طاقة المستوى 2S(n=2,1=0) تقدر بـ ٢٠,٦١ إلكترون فولت فوق المستوى الأرضي، وهي أقل من مستوى الطاقة 2p(n=2,1=1) عند حدوث التفريغ الكهربائي في الغاز، أي عند إثارة ذراته، فإن الالكترونات المتركزة في المستوى 2s لا تستطيع العودة إلى المستوى الأرضي 1S وذلك لكون الزخم الدائري المداري Orbital angular momentum لكلا المستويين متشابه، وكذلك كون طبيعة المستوى 2S شبه المستقرة تجعل الكثير من الإلكترونات تنتهي بها أما بالنسبة لذرة النيون فإن طاقة المستوى 4S(n=4.1=0) تقدر بـ ٢٠,٦٦ إلكترون فولت فوق المستوى الأرضي شكل ١-٢١



شكل ١-٢١ مستويات الطاقة لهيليوم-نيون الليزر

لهذا ولتقارب الطاقة بين المستويين 2S في الهليوم و 4S في النيون توفر أحد المنافذ لرجوع الالكترونات الموجودة في المستوى 2S في الهليوم إلى المستوى الأرضي عن طريق تصادمها مع إلكترونات النيون والذي يؤدي بدوره إلى تهيج إلكترونات النيون في المستوى 2p إلى المستوى 4S . أما فرق الطاقة الجزيئي بين المستويين 2S في الهليوم و 4S في النيون فعادة يعوض من الطاقة الحركية الحرارية لذرات الهليوم . (-20.61=0.05 20.66 الكترون فولت). وفي الواقع فإن استمرار إثارة الإلكترونات إلى المستوى 2S في الهليوم يؤدي إلى ضخ الإلكترونات إلى المستوى 4S في النيون.

ويحدث فعل الليزر عند انتقال الإلكترونات من المستوى 4S إلى المستوى 3P في النيون باعثة فوتونات جزئية ذات طول موجي مقداره ٦٣٢,٨ نانومتر.وفي خليط غاز الهليوم والنيون يمكن حدوث انتقالات مترابطة أخرى، ولكن بأطوال موجية أخرى تقع في المنطقة تحت الحمراء (غير مرئية).

يمكن تلخيص ما ذكر سابقا على انه يجب أن يُضخ الوسط المادي من مصدر طاقة لحث الذرات والجزيئات على التهيج، أي الارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى لا تتواجد فيه عادة تحت الظروف الطبيعية، وتكون ما يسمى بالتعداد المعكوس، والذي فيه تكون غالبية ذرات وجزيئات المادة في مستويات الطاقة العليا بدلاً من المستويات المنخفضة. وبعدها يتبعث الشعاع الليزري بوساطة الانبعاث المحثث وعمليات التكبير الضوئي .

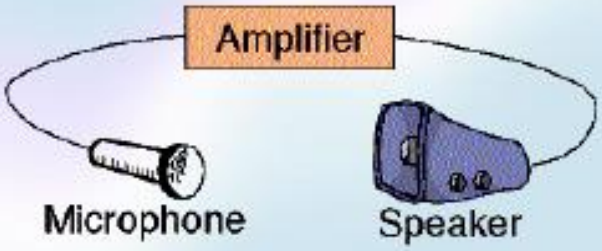
إن طول موجة هذا الشعاع الليزري يتناسب عكسياً مع مقدار الفرق في قيمة الطاقة بين المستويات العليا والمنخفضة من ذرات أو أيونات أو جزيئات المادة الباعثة.

وتتناسب كفاءة الوسط الليزري مع معدل الفرق في طاقة المستويات بالنسبة إلى طاقة المستوى العلوي. الكفاءة الحقيقية لليزرات التي تكون أوساطها المادية متألفة من جزيئات مثل غاز ثاني أكسيد الكربون أكبر كفاءة من الليزرات المتألفة من ذرات مثل الهليوم- نيون، أو الأيونات مثل الأرجون. فمثلاً تتراوح كفاءة ليزر ثاني أكسيد الكربون من ١٠ إلى ٢٠% بينما تقدر كفاءة ليزر الأرجون بمعدل ١%.

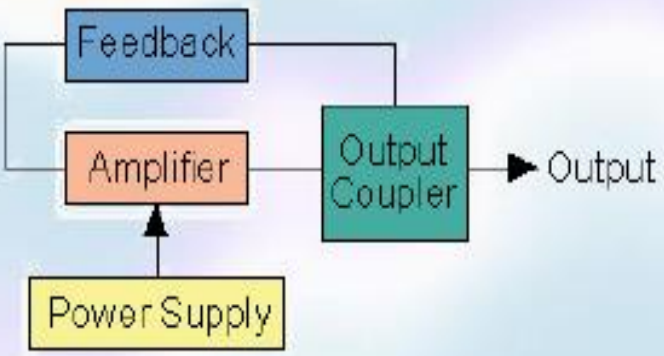
Optical Feedback التغذية العكسية الضوئية

يعمل الليزر مثل أي مذبذب الكتروني، وفكرة المذبذب هو جهاز ينتج ذبذبات بدون وجود مؤثر خارجي، ولشرح ذلك نستخدم مثال جهاز مكبر الصوت والذي يتكون من ميكرفون microphone وسماعة speaker يوصل بينهما جهاز تكبير amplifier كما في الشكل التالي:

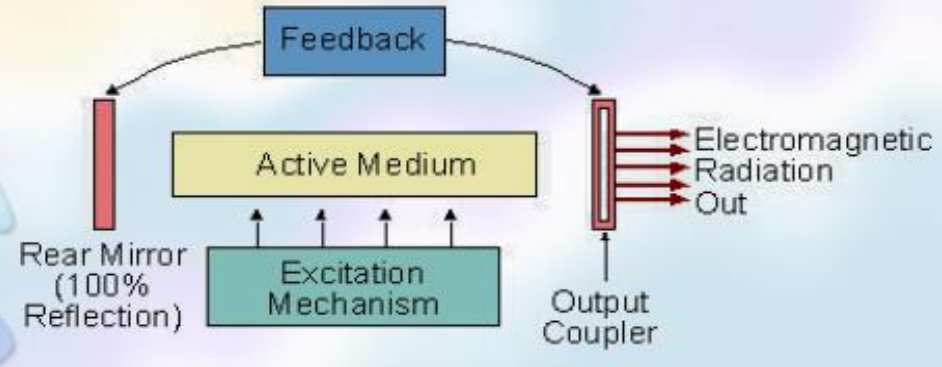
عندما يكون الميكرفون موضوعاً أمام السماعة كدائرة مغلقة فإننا نسمع صفير متصل من السماعة وذلك بدون الحاجة إلى مصدر صوت خارجي.



وهذه فكرة التغذية العكسية حيث أن الإشارة الصوتية الداخلية الصادرة من السماعة (noise) يلتقط بواسطة الميكرفون ومن ثم يتم تكبيره بواسطة المكبر ويعاد بثه من خلال الميكرفون وتتكرر العملية إلى أن يتم تكبير الصوت ويصدر على شكل صفير متصل.



وبنفس الفكرة يعمل مذبذب الليزر حيث يتم إعادة جزء من الفوتونات المكبرة بواسطة عملية الانبعاث الاستحثاثي باستخدام مرايا ليتم تكبيرها، والشكل التالي يوضح فكرة عمل مذبذب الليزر.



عندما تسقط فوتونات ذات شدة I_o خلال مادة مكبر الليزر active medium فإنها تتكبر بمقدار G وتصبح شدة الأشعة I_oG وباستخدام مرآة R_2 فإن جزء من الأشعة ينعكس بمقدار R_2 وتصبح شدة الأشعة I_oGR_2,

تعمل المرأة على إعادة الأشعة للمكبر مرة أخرى لتتكبر الأشعة بمقدار G مرة أخرى وتخرج I_oGR_2G لتسقط على المرأة الأخرى R_1 وتكون شدة الأشعة عند انعكاسها $I_oGR_2GR_1$

وهذا ما يحدث للأشعة عند دخولها للمكبر خلال دورة تكبير واحدة ويكون التكبير المكتسب في المقدار GG والفقد في الأشعة يكون ناتج عن R_1R_2.

والشرط الأساسي ليصبح المذبذب يعمل كمكبر للإشارة هو أن يكون الناتج النهائي بعد دورة واحدة أكبر من الإشارة الأصلية I_o أي أن،

$I_oGR_2GR_1 \geq Io$

$GR_2GR_1 \geq 1$ **

This is the condition for the oscillator to become amplifier. i.e. the Gain for single round trip is ≥ 1

الفصل الثاني

أنواع الليزر

أنواع الليزرات Type of Lasers

6.1 مقدمة Introduction:

يحتوي الفصل الثانى على أهم أنواع الليزرات التي تتضمن أوساطاً فعّالة كثافاتها المادية عالية . كما يشتمل على معلومات متنوعة وحقائق علمية حول عدد من الليزرات . ومما يجدر الإشارة إليه أن هناك عدداً أكثر بكثير من الليزرات التي سنذكرها هنا . إن هذا الفصل يركّز على الأنواع الأكثر شيوعاً واستعمالاً ، التي تعد خصائصها نموذجية بالنسبة لجميع أصناف الليزرات . ومما تجب ملاحظته أيضاً أن طائفة من المعلومات المعطاة في هذا الفصل (مثلاً الإستطاعات والطاقات الخارجة) من المحتمل أن تكون قد تغيرت (حل محلها قيم أخرى) ولهذا فإن هذه المعلومات تعد بمثابة دليل تقريبي . سوف ندرس الأنواع الآتية من الليزرات :

(1) ليزرات الحالة الصلبة (بلورة أو زجاج) .

(2) الليزرات الغازية .

(3) ليزرات الصبغة .

(4) الليزرات الكيميائية .

(5) ليزرات أنصاف النواقل .

(6) ليزرات المراكز اللونية .

(7) ليزرات الإلكترونات الطليقة .

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 الموصلة 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 خال التفاعات الكيميائية. أما طريقة التغذية الراجعة فتعتمد على نوع المادة الفعالة فقد تتم من خال 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 تتمايز بخصائص مختلفة مثل طول موجة الضوء وشدة الضوء المنبعث ومساحة مقطع الشعاع وزاوية إنفراج الشعاع وفيما إذا كان الضوء المنبعث متواصاً (**continuous**) أو نبضياً (**pulsed**) وإمكانية التحكم بمعدل وعرض النبضات وكذلك حجم ووزن جهاز الليزر وقيمة الجهد والتيار الازمين 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 الليزرات فتتراوح من أجزاء المللي واط وتصل لعدة عشرات كيلوواط إذا كان الضوء متصا أما إذا كان على شكل نبضات فقد تصل القدرة القصوى لألف بليون واط ولكم لفترات زمنية بالغة القصر تقاس بأقل من البيكوثانية.

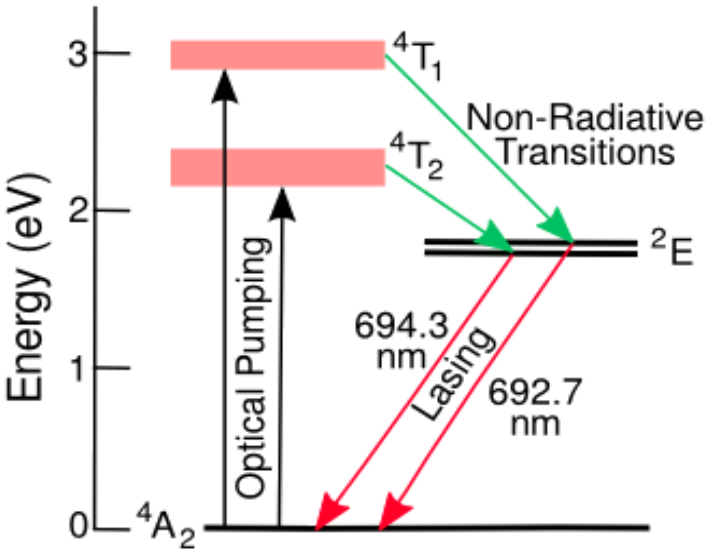
أولاً: ليزر الحالة الصلبة: Solid State Laser

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) وتحوي نسبة (0.1-.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.

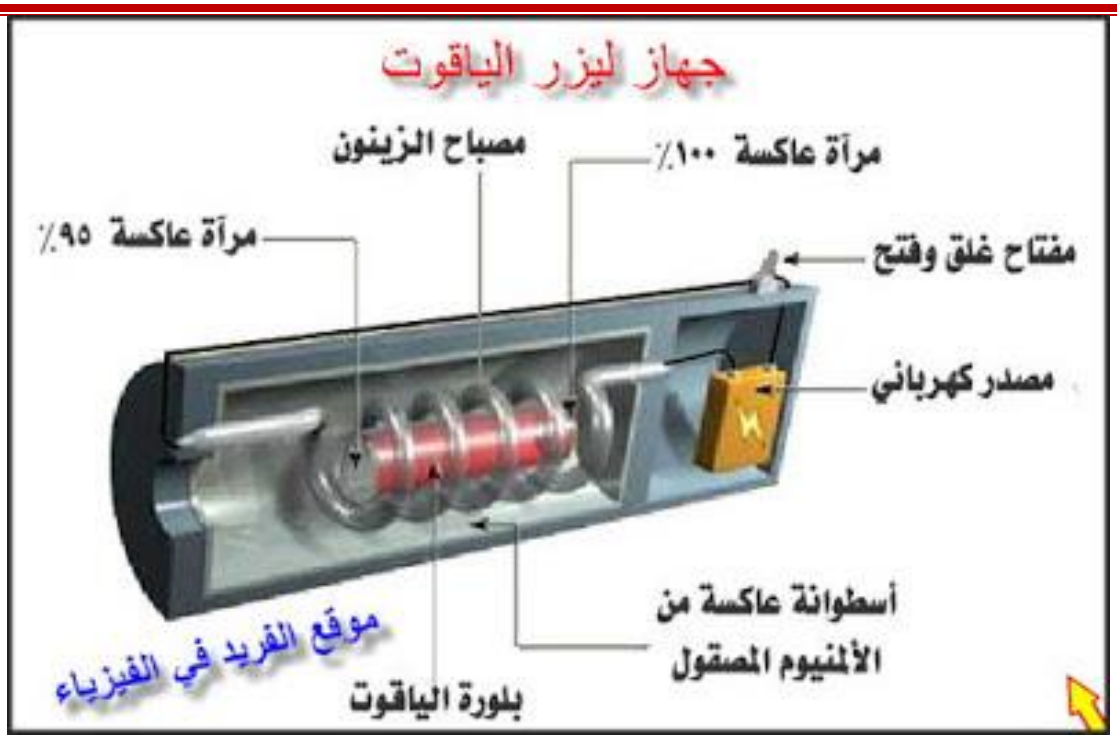
في مخطط مستويات الطاقة لأيونات الكروم في الشبيكة البلورية تكون المستويات E^2 و $^4A2$ المسؤلة عن انتقال الليزر تكون حادة قليلة التأثر بمجال البلورة، في حين تعاني المستويات $^4T_2$&$^4T_1$ تعريضاً، لذلك يمكن تنفيذ الضخ البصري باستخدام مصدر ذي نطاق طيفي عريض في حين يكون كل من انتقالي الليزر R_2&R_1 ضيقاً. يتبين من المخطط بأن ليزر الياقوت يعمل بنظام ذي ثلاثة مستويات، فالضخ يتم من المستوى $^2A_2$ الى المستوى ^2E عبر المستوى ^4F حيث يكون الهبوط منه سريعاً وغير مشع وبهذا يتحقق التأهيل العكسي للمستوى ^2E.

الضخ الضوئي الناتج من الضوء الصادر من مصباح الزينون Xe بضغط حوالي mbar600.



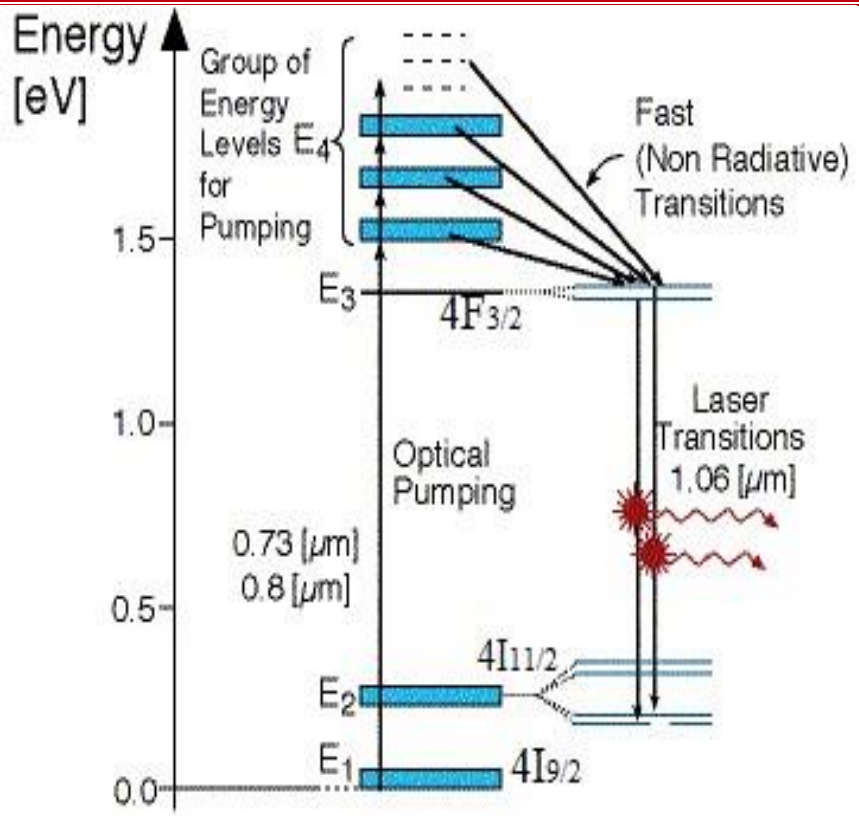
انبعاث الليزر (الأحمر) يقع في خطين R_2 & R_1 بطول موجة تناظر (694.3nm & 692.7 nm) على التوالي بسبب فرق الطاقة الصغير بين مستويي ^2E.

إن هذا النتاج النبضي يمكن أن يعطي قدرة بحدود 10-MW50 في نبضة تقدر ذروتها بضع جيجا واط وأمدها 10^{-20} ns، كذلك يمكن ان يعطي نبضة تقدر ذروتها بضع جيجا واط وأمدها 10 ps.

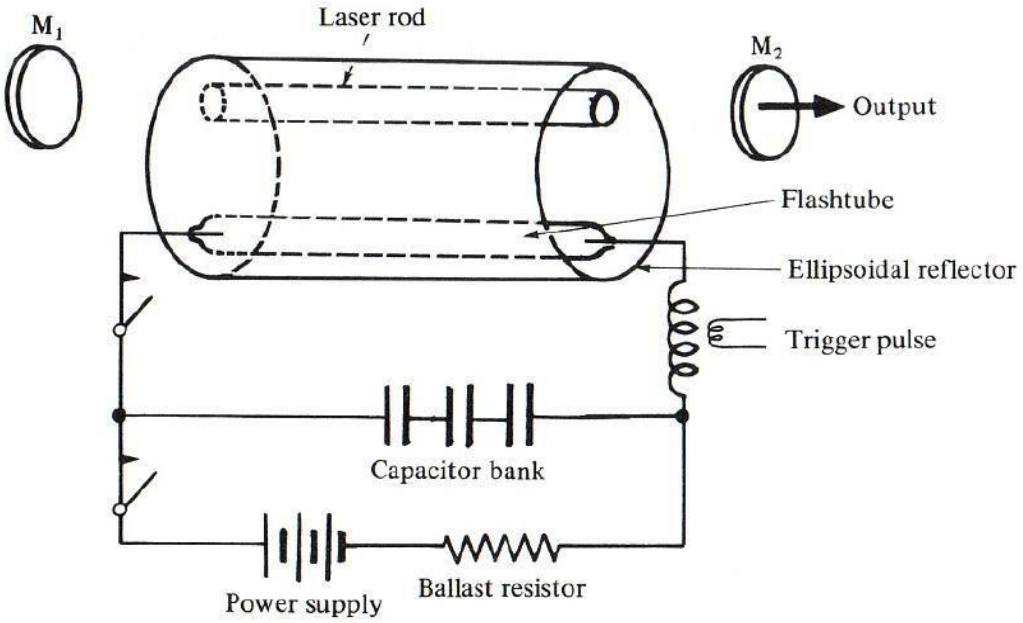


ليزر النديميوم:

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 اختصارًا بالياج كوسط مضيف لأيونات النديميوم Nd^{+3} ويدعى الليزر بليزر النديميوم :ياج. تعطي أيونات النديميوم المتواجدة في الشبيكة البلورية انتقالات متعددة ولكن أشدها يقع عند الأنتقال الذي هو بطول موجة تساوي 1.064 µm بين مستويي الطاقة $^4I_{11/2}$ – $^4F_{3/2}$ وهذا الأنتقال ممنوع وفق قواعد الأنتقاء لثنائي القطب الكهربائي، لذا يكون متوسط زمن العمر للمستوى العلوي لأنتقال الليزر طويل نسبياً (τ=0.23 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 µm&0.73). إن المستويات العديدة المستخدمة للضخ وباستخدام مدرضوئي ذي نطاق طيفي عريض يزيد من كفاءة الضخ كما أن المستويات العليا للضخ تتفرغ سريعاً وبانتقالات غير مشعة الى المستوى العلوي لأنتقال الليزر ($^4F_{3/2}$) كما ان المستوى الأسفل لأنتقال الليزر ($^4I_{11/2}$) يتفرغ هو الآخر بشكل سريع وبانتقالات غير مشعة أيضاً الى 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 الأهليليجي للعاكس لزيادة كفاءة الضخ الذي يتم باستخدام مصباح الزينون (Xe).



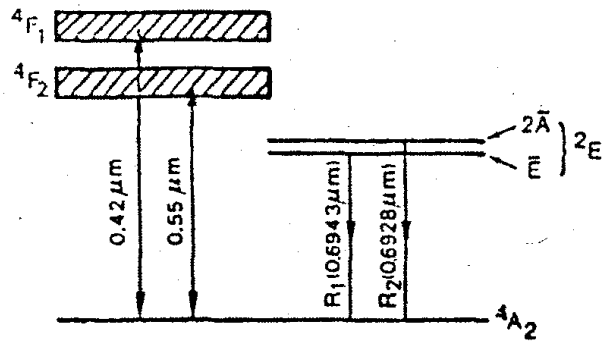
6.2 ليزرات الحالة الصلبة Solid State Lasers :

يقصد بليزرات المواد الصلبة عادة تلك الليزرات التي يكون الوسط الفعّال active medium أما بلورة عازلة أو زجاجاً ، أما ليزرات أنصاف الناقل فستُدرس في فقرة منفصلة ، نظراً لأن تقنيات الضخ والفعل الليزري مختلفة تماماً عن ليزرات الحالة الصلبة . إن ليزرات الحالة الصلبة غالباً ما تكون فيها المواد الفعالة عبارة عن أيونات شائبة داخل البلورات الأيونية . و الأيون عادة أحد المركبات من سلسلة العناصر الانتقالية في الجدول الدوري (مثال أيونات الفلز الانتقالي و من أبرزها Cr^{3+} ، أو أيونات الأتربة النادرة و من أبرزها Nd^{3+} و Ho^{3+} . إن الانتقالات التي تحصل في العمل الليزري تشمل حالات تعود إلى الطبقات الداخلية غير الممتلئة لذلك فإن هذه الانتقالات لا تتأثر بقوة بالحقل البلوري . و هذا بدوره يعني أن هذه الانتقالات تكون إلى حد بعيد حادة sharp (أي أن σ نوعا ما كبيرة). و تكون القنوات غير المشعة إلى حد ما ضيقة (أي أن τ نوعا ما طويل)، و لهذا فإن حد العتبة لمعدل الضخ ($CO(v-n)+CO(v-m)\rightarrow CO(v-n+1)+CO(v-m-1)$) لليزر السويات الأربعة صغير بشكل كافٍ مما يسمح للفعل الليزري بالشروع.

6.2.1 ليزرالياقوت[1] The ruby Laser :

إن ليزر الياقوت هو أول أنواع الليزرات و لا يزال مستعملاً حتى الآن. و قد عرف الياقوت منذ مئات السنين كأحد الأحجار الكريمة الطبيعية و يتكون من بلورة Al_2O_3 (الكورندم Corundum) و قد حلّت أيونات Cr^{3+} محل بعض أيونات Al^{3+}. أما مادة الليزر فيحصل عليها بوساطة إنماء البلورة من منصهر مزيج من Cr_2O_3 بنسبة (0.05% ~ وزناً) و Al_2O_3 . إن سويات الطاقة لليزر هي سويات أيون الكروميوم في التركيب البلوري لـ Al_2O_3 و سويات الطاقة الأساس مبينة في الشكل

6.1 . يحدث الفعل الليزري عادة بالانتقال من السوية $\overline{E}$ إلى السوية $^4A_2$ ($^4A_2 \rightarrow \overline{E}$) و يعطي الخط الأحمر R_1 الذي طول موجته تساوي تقريباً 694,3 nm (الخط الأحمر R_1 ، $\lambda \cong 694{,}3$ nm) للياقوت نطاقين ضخ رئيسين هما $^4F_1$ ، $^4F_2$ متمركزان عند الطول الموجي μm 0,55 (الأخضر) و μm 0,42 (البنفسجي) على التوالي .



الشكل 6.1

مستويات الطاقة للياقوت

إن هذين النطاقين يرتبطان مع كل من الحالتين $2\overline{A}$ و $\overline{E}$ بانحلال سريع غير مشع non radiative ($\sim 10^{-7}$ s) . و بما أن الحالتين الأخيرتين $2\overline{A}$ و $\overline{E}$ هما أيضاً مرتبطتان بعضهما ببعض بانحلال سريع جداً غير مشع ($\sim 10^{-7}$ s) فإنه يحدث توازن حراري بين إسكان السويتين ، و بالنتيجة تكون السوية $\overline{E}$ هو الأكثر إسكاناً . إن فاصل التردد بين $2\overline{A}$ و $\overline{E}$ ($\sim 29 cm^{-1}$) صغيرة بالمقارنة مع (kT/h) و على هذا فإن إسكان السوية $2\overline{A}$ يساوي تقريباً إسكان السوية $\overline{E}$ ، و من ثم من المحتمل أيضاً الحصول على الفعل الليزري Laser action من الانتقال $2\overline{A} \rightarrow {}^4A_2$ (الخط R_2 $\lambda_2 \cong 0{,}6928 \mu m$) و ذلك مثلاً باستعمال أنظمة التشتت المبينة في الشكل 5.7 وعلى الرغم من التعقيدات في الحصول على الانتقال الليزري لهذين الخطين ، فإن من الواضح أن ليزر الياقوت يعمل كليزر ذي سويات ثلاثة .

وكما سبق شرحه فيما يتعلق بالشكل (2.14) ، فإن الانتقال R_1 غالبـــاً مـــا يكون اتساعه متجانسا عند درجة حرارة الغرفة ، و هذا الاتساع هو نتيجة التفـــاعل بين أيونات Cr^{3+} مع فونونات phonons النسق البلوري Lattice . إن عرض الخـــط (FWHM) هو $\Delta v_0 = 11cm^{-1} = 330GHz$ (عند درجـــة حـــرارة T=300˚K) والسويتان $2\overline{A}$ و $\overline{E}$ لهما نفس العمر و يساوي تقريباً 3×10^{-3}s عند درجة حـــرارة (T=300˚K) ، و هذا يزداد إلى 4.3×10^{-3}s عند درجة حرارة T=77˚K ، أن هـــذا يبين أن الانحلال غير المشع يؤثر في عمر السويتين عند درجة حرارة الغرفـــة . و ممـــا تجدر ملاحظته أن العمر هو في حدود الميلي ثانية و هو يساوي تقريباً عمر الانتقـــال الممنوع لثنائي القطب الكهربائي electric – dipole .

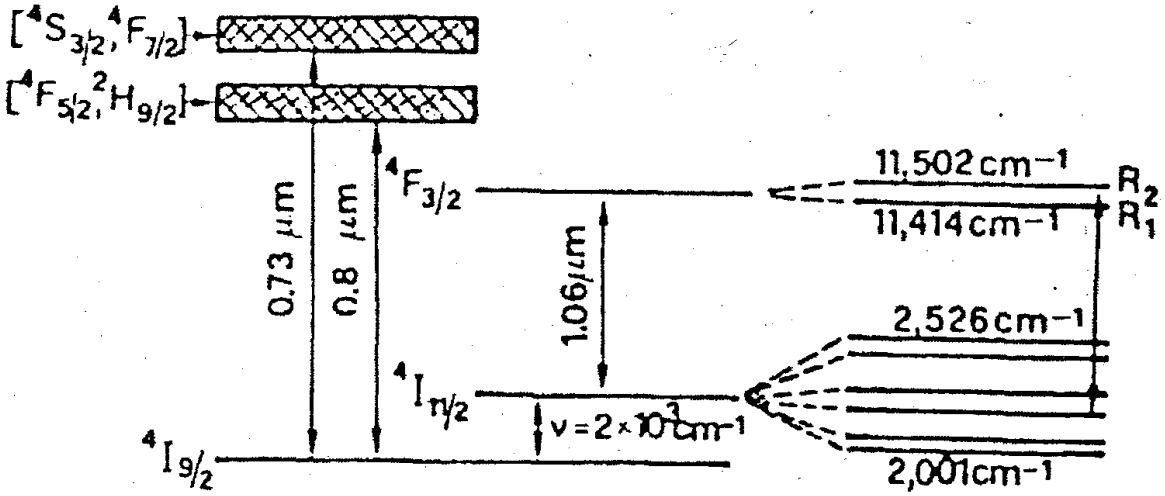
إن ليزرات الياقوت تشغل عادة بالنظام النبضي Pulsed regime و يســـتعمل للتشغيل مصباح الكزينون الوميضي بضغط (500 Torr~) . أما بحسب الترتيب المبين في الشكل 3.2b أو في الأغلب كما في الشكل 3.2a . و الأبعاد النموذجية لقضيـــب الياقوت كالآتي : القطر يتراوح بين 5 mm و 10 mm أما الطول فيتراوح بين 5 cm إلى 20 cm . و يمكن تلخيص سلوك الخرج الليزري بالآتي (أ) عند تبديـــل عـــامل النوعية Q-switched يمكن الحصول على 50 MW – 10 في نبضة عملاقـــة منفـــردة أمدها 50 ns – 10 و(ب) و عند تثبيت النمط mode – locked يمكن الحصول علـــى قدرة ذروتها بضعة جيغاواط giga watts للنبضة التي أمدهـــا حـــوالي 10 ps . إن ليزرات الياقوت يمكن تشغيلها بنظام الموجة المستمرة cw ، إذ يتم الضـــخ بمصبـــاح زئبقي ذي ضغط عال .

لقد شاع استعمال ليزرات الياقوت في الماضي أما في الوقـــت الحـــاضر فقـــلّ استعمالها حيث حلت محلها ليزرات النيوديميوم ــ ياغ Nd – YAG أو نديميـــوم ــ

زجاج Nd – glass . نظراً لأن ليزر الياقوت يشتغل على أساس مخطط ليزر الثلاث سويات فإن حد العتبة لطاقة الضخ هو one order of magnitude حوالي رتبة واحدة أكبر مما هو عليه في حالة ليزر النيوديميوم ـــ ياغ المساوي له بالحجم . و على كل حال لا تزال ليزرات الياقوت تستخدم في عدد من التطبيقات العلمية مثل الهولوغرافيا النبضية Pulsed Holography وفي تجارب تحديد المدى (من ضمنها مقاييس المدى العسكرية) .

6.2.2 ليزرات النيوديميوم[4-6] Neodymium Lasers

تعد ليزرات النيوديميوم من أكثر الليزرات الصلبة شيوعاً و يتكون الوسط الليزري إما من بلورة $Y_3Al_5O_{12}$ (وعادة يطلق عليها ياغ YAG ، و كلمة ياغ متكونة من الأحرف الأولى لـ Yttrium aluminum garnet) الذي فيه قسم من أيونات Y^{3+} ، حلت محلها أيونات Nd^{3+} ، أو أبسط من ذلك الزجاج المطعّم doped بأيونات Nd^{3+} . إن ليزرات النيوديميوم يمكنها أن تتذبذب عند عدة خطوط . أقوى هذه الخطوط و أكثرها استعمالاً هو الخط $\lambda = 1.06\ \mu m$.



الشكل 6.2

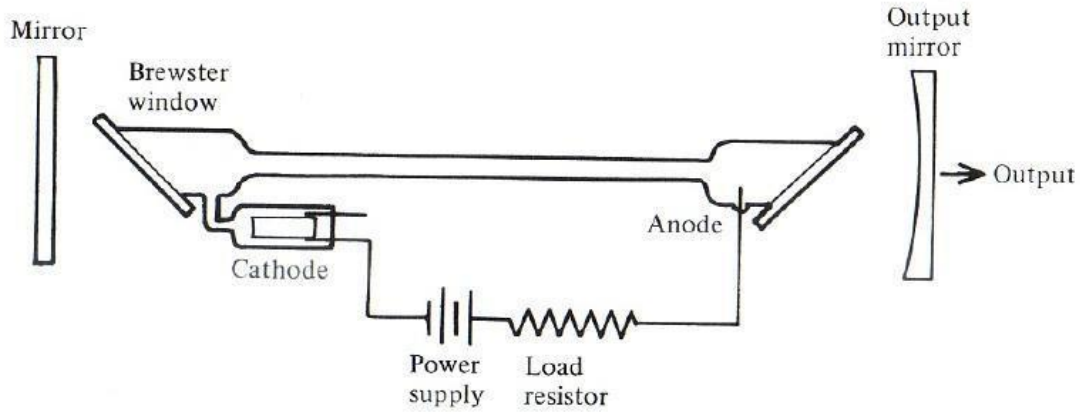
مستويات الطاقة بصورة مبسطة لـ Nd : YAG

ثانياً: ليزر الحالة الغازية Gas laser

تكون مستويات الطاقة للغاز عموماً أضيق مما هي عليه في الحالة الصلبة ولذا تكون الأنتقالات الطيفية بينها أقل تعريضاً حيث يكون ضغط الغاز عادة منخفضا لهذا السبب لاتضخ الغازات باستخدام المصابيح التي يكون طيفها عادة مستمراً لكون نطاق الأمتصاص للغاز ضيقاً وعليه تكون عملية الضخ غير كفوءة .على العموم يضخ 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 بنافذتين عند نهايته تثبت كل منها مع طرف الأنبوب بزاوية تعرف بزاوية بروستر الغرض منها تقليص الخسائر في الضوء والناجمة عنالأنعكاسات 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

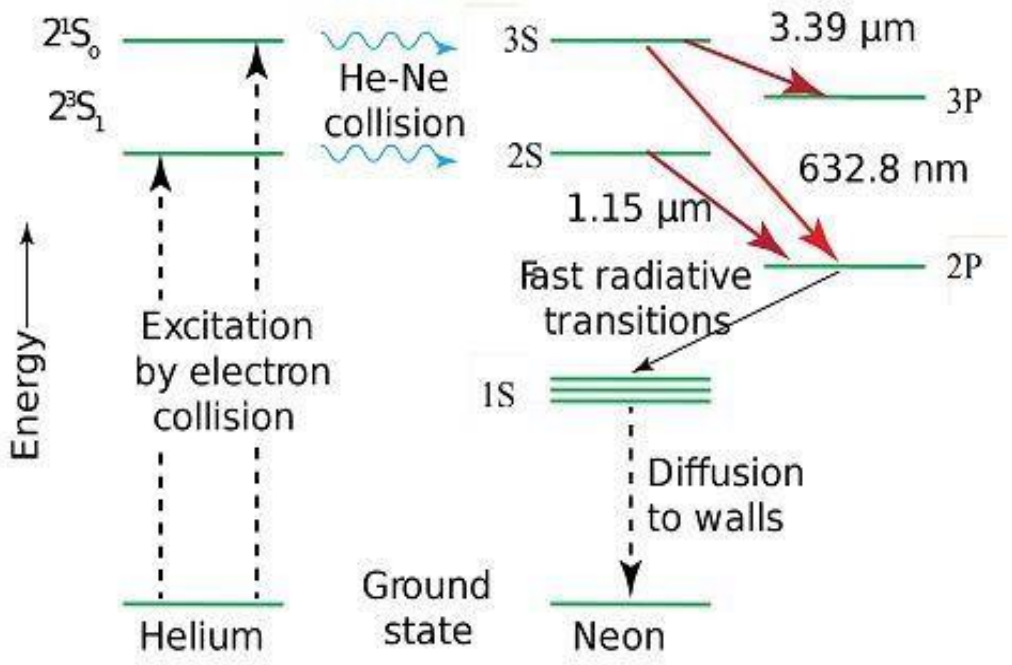
يدعى أيضا بليزر الذرة المتعادلة حبث يكون الوسط الفعال غاز أحادي الذرة وتقع ضمن هذه المجموعة ليزر الغازات النادرة ومجموعة أخرى من ليزر أبخرة بعض المعادن.

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.μm15 عام 1960. إن لهذا النظام ثلاثة انتقالات ليزر بالأطوال الموجية (3.39 μm, 1.15 μm, 633 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 الضخوتحقيق التأهيل العكسي لمستويات الطاقة ذات العلاقة بنظام النيون. من مخطط الطاقة للمستويات لإنتقالات الليزر لكل من ذرات الهليوم والني ون 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 تساندعملية التهيج 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 تتحرض 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 المحرضة وبهذا يحصل الأنبعاث المحفز لذرات النيون بين مستويات 3S ومستويات 3P وبين مستويات 2S ومستويات 2P، الإنتقال من $3S_2$ إلى $3P_4$ بطول موجة 3.µm39 والإنتقال من $2S_2$ إلى $4P_2$ بطول موجة 0.633 µm)اللون الأحمر(والإنتقال من $2S_2$ إلى $2p_4$ بطول موجة 1.15 µm، 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 مرايا المرنانولتذبذب طول موجة معينة يستخدم طلاء المرآتين بحيث يكون أعظم قدرة انعكاسية عند الطولالموجي المطلوب.

أن نسبة غاز الهليوم الى غاز النيون للإنتقل 0.633 µm تكون بنسبة 5 : 1. إن القدرة الخارجة لأشعاع الضوء المرئي من انبوب تفريغ اسطواني الشكل بطول متر واحد وقطر 6 mm تكون بحدود 0.1 Watt.

إن معظم انابيب ليزر الهليوم: نيون المختبرية تكون بقطر mm (1-6) وطول (15-20 cm) فقدرة النتاج لا تتجاوز ملي واط واحد.

بالأضافة الى استخدامات ليزر الهليوم: نيون الذي يتذبذب بالإنتقال 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 تمدداً 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:

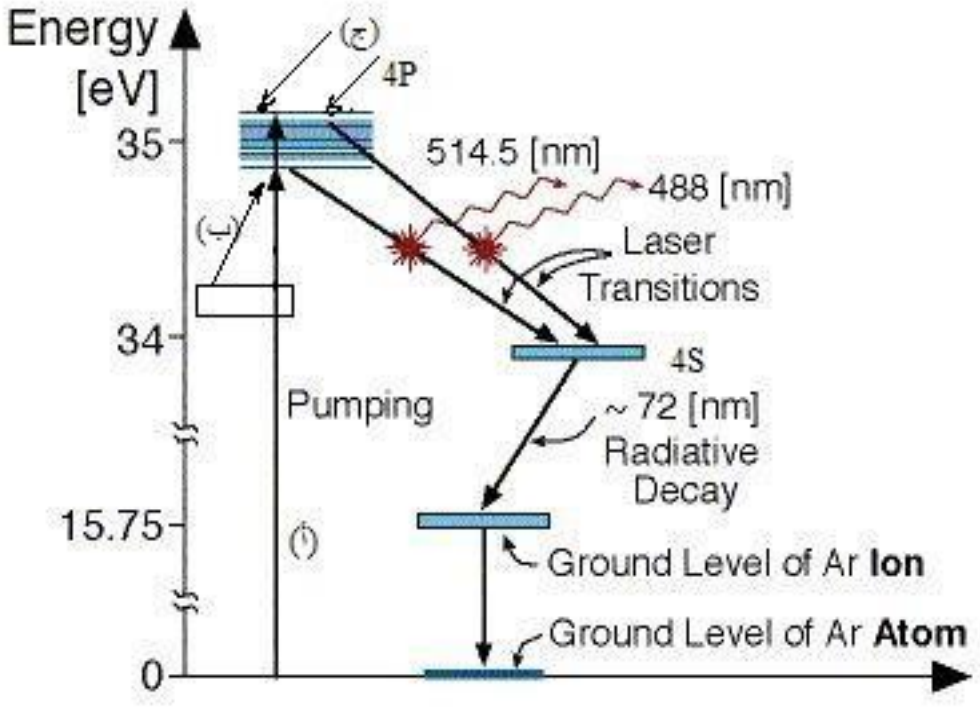
يتم تأهيل المستوى العلوي لأنتقال الليزر في هذا النوع من الليزر بخطوتين، أي بعمليتي تصادم متتاليتين مع الألكترونات الناتجة عن التفريغ الكهربائي، فالتصادم الأول يؤين الذرة والثاني يحرض هذا الأيون ،لهذا السبب يلزم لأتمام عملية الضخ كثافة تيار تفريغ عالية وعلى العموم تكون كثافة التيار اللازم لعمل ليزر الغاز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

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

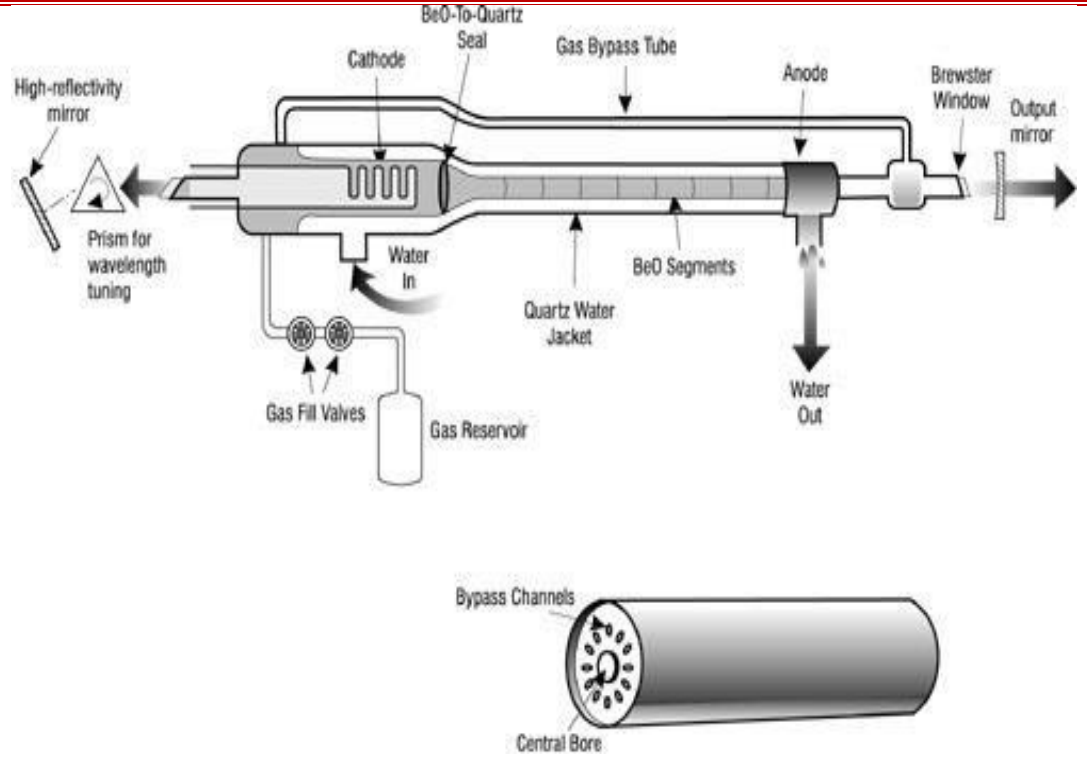
في مخطط مستويات الطاقة لأيون الآرجون ذات العلاقة بانبعاث الليزر يتم تأهيل المستوى العلوي للأنبعاث المحفز (المستوى 4P) من خلال ثلاث عمليات مختلفة فقد تتحرض أيونات الآرجون على هذا المستوى باصطدامها مع الكترونات التفريغ (أ) وقد تكتسب أيونات الآركون التي هي في مستوى الطاقة شبه المستقر طاقة باصطدامها بالألكترونات لتحرضها الى المستوى 4P(ب) وأيضاً قد يتأهل المستوى 4P من خلال الإنتقالات المتساقطة عليه من المستويات الأعلى منه.

إن تركيب جهاز ليزر ايون الآرجون 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 الأنجراف السريع لأيونات الآرجون نحو المهبط، ولإعادتها يستخدم أنبوب آخر ليكمل الدورة والذي يختلف فيأبعاده عن الأنبوب الرئيسي لتفادي حدوث التفريغ فيه، كذلك تستوجب كثافة التيار العالية وما ينتجعنها من ارتفاع في درجة الحرارة التي قد تصل الى 3000°C أخذ الأحتياطات في تصنيع انبوب التفريغ وتبريده بدورة ماء جاري مثلاً، كذلك تقليص التلف في جدران الأنبوب بسبب التصادم ويستخدم لهذا الغرض مجال مغناطيسي يوازي محور الأنبوب وضمن منطقة التفريغ لإلزام الألكترونات الحرة بالأبتعاد عن الجدران والعمل على تواجدها في مركز الأنبوب مما يزيد من كفاءة الضخ وبالتالي قدرة الليزر.



يكون قطر انبوب التفريغ ضيقاً (بضع ميلليمترات) لحصر التذبذب ضمن الصيغة TEM_{oo} 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 الآرجون يكون عند الأنتقال 514.5 nm وهو الذي يعطي اللون الأخضر المزرق لخرج الليزر ويليه في الشدة الأنتقال عند طول الموجة 488 nm(بنفسجي) وخطوط اخرى كثيرة أقل شدة. يمكن الأنفراد بخط واحد في خرج الليزر عن طريق استخدام المحزز 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 الآرجون استخدامات كثيرة، فبالأضافة 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 الأستخدام أيضاً ليزر ايون الكربتون Kr^+ المعروف جيداً في ابحاث الفيزياء الذرية بلونه الأحمر القاني الذي يقع بطول موجة 647.1 nm كما يتضمن خطوطاً أخرى اقل شدة وذات موجة اقصر.

<u>ليزر الغاز الجزيئي:</u>

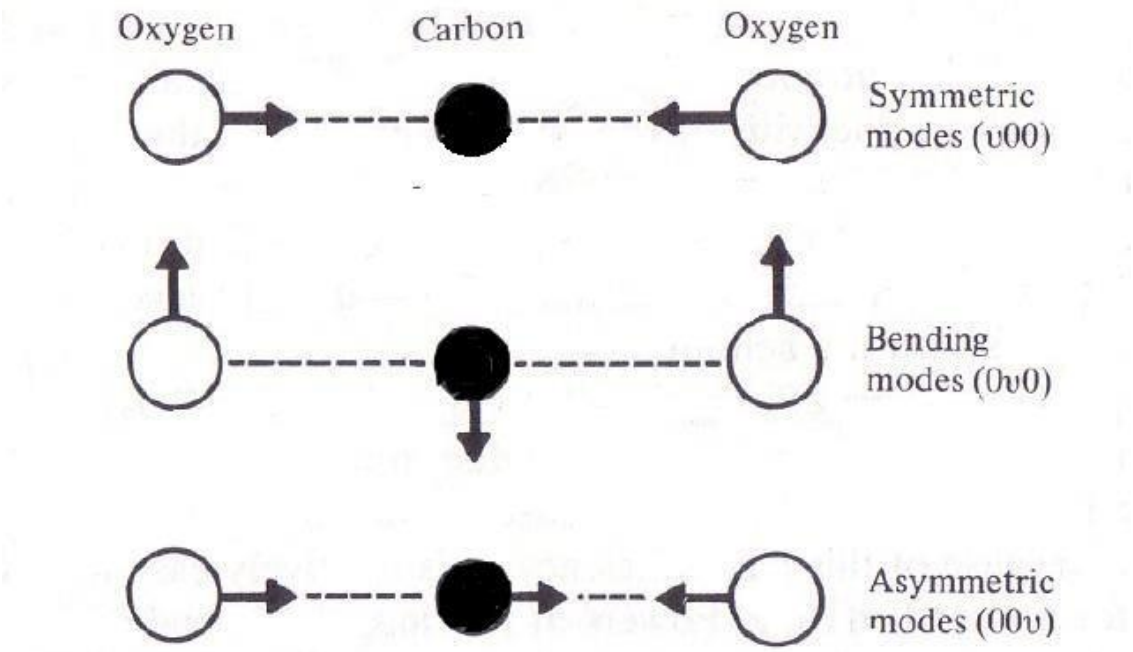
يحدث فعل الليزر بين مستويات الطاقة المختلفة للجزيئة، فلهذه مستويات طاقة الكترونية على غرار تلك التي للذرة وايضاً مستويات طاقة دورانية واهتزازية ، والأنتقال الطيفي قد يحدث بين اثنين من هذه المستويات وعلى هذا الأساس صنفت الأنواع المختلفة لليزر الغاز الجزيئي. فالصنف الأول تكون فيه الأنتقالات بين المستويات الأهتزازية والدورانية العائدة الى حالة الكترونية واحدة ويعطي فرق الطاقة بين المستويات المناظرة

انتقالات ليزر تقع في مدى الأشعة تحت الحمراء والبعيدة منها (5 – 300 µm) من أهم هذه الأنواع هو ليزر ثاني أوكسيد الكربون CO_2 الشائع الأستعمال.

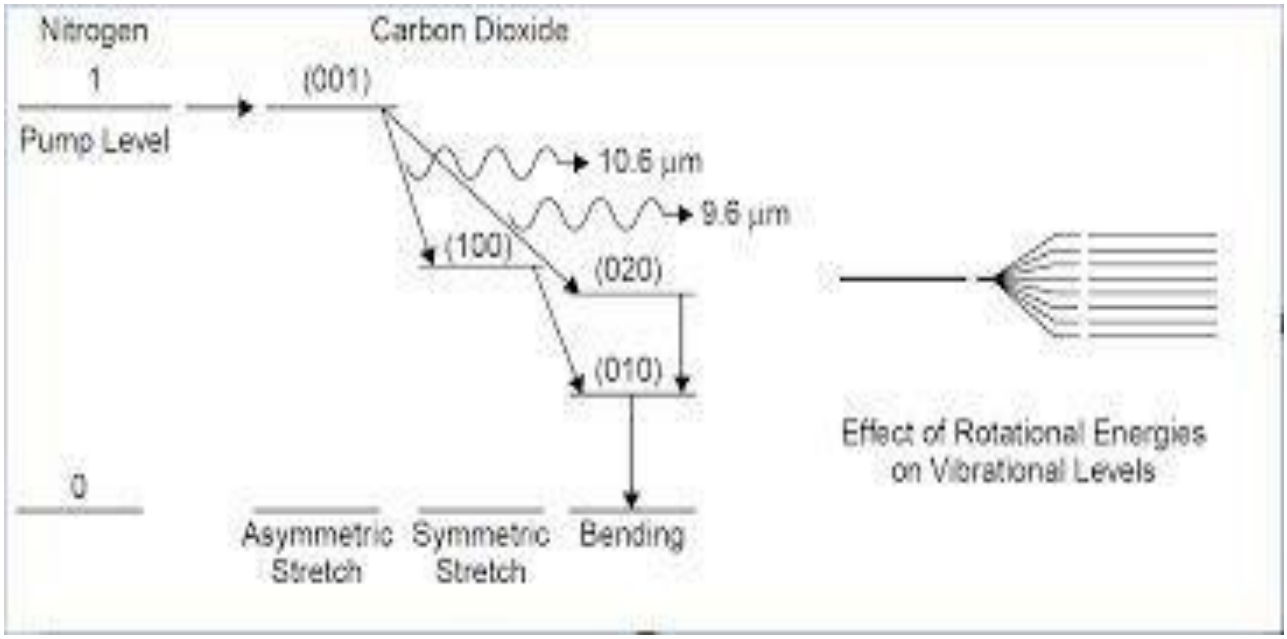
ليزر ثاني أوكسيد الكربون CO_2 laser:

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 J. من مخطط مستويات الطاقة التذبذبية للمستوى الارضي لجزيئة ثانياوكسيد الكربون تضخ الجزيئات من المستوى (000) الى المستوى (011) وعن طريق الهبوط السريعالمشع وغير المشع يتم تأهيل المستوى (001) والذي يمثل المستوى الأعل 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 µm والذي يقع في مدى الأشعة تحت الحمراء، اما الانتقال الاخر وهو الاضعف فيحدث بطول موجة تساوي 9.6 µm. 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 10.µm6.

يمكن لليزر ثاني اوكسيد الكربون ان يعطي قدرة عالية من خلال الانتقال الشديد للخط 10.6 µm 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_2 بطول عشرات الامتار.



هناك تصاميم اخرى لليزر CO_2 تخص تطبيقات القدرة العالية. منها مايستخدم في الصناعة والذي يدعي بليزر الاثارة المستعرضة الجوي وتختصر هذه التسمية بليزر TEA. على العموم يمكن زيادة قدرة النتاج بزيادة ضغط غاز CO_2 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 لاحداث التفريغ والمحافظة على

استقراريته في ضغط يساوي الضغط الجوي. يقدر مقدار الجهد الكهربائي اللازم بحوالي KV12 لكل سنتيمتر من طول انبوب التفريغ، اذ تتطلب الحالة عادة في انبوب فيه الضغط حوالي $13.3\ mbar^3$ (≈10^{-}atom) فرق جهد مقداره حوالي KV/m8 من انبوب التفريغ لهذا يتطلب توفير مصدر جهد هائل لاحداث تفريغ كهربائي بصورة طولية في انبوب طوله متر واحد تحت ضغط جوي واحد.

يعتبر ليزر ثاني أكسيد الكربون أقوى الليزرات يصدر 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:

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

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

3 - أن شعاع ليزر CO_2 ينطلق بشكلٍ مستمر أو بشكلٍ نبضي حسب ما يتطلبه نهج العمل الجراحي.

4 - 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.

زرع 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 المحرضة.

الأكسايمر جزيئة في حالة مستثارة تتكون من اتحاد ذرتين ولا يمكن ان تتواجد هذه الجزيئة في الحالة الأرضية فأذا ما اضمحلت الجزيئة المستثارةالى 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 ضوئيا او باستخدام تفريغ كهربائي .

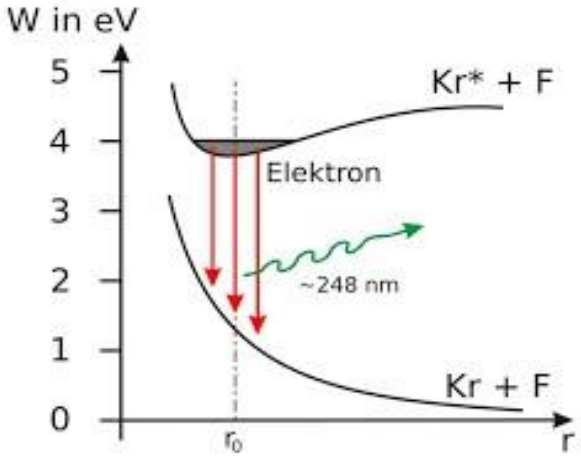
$$Kr^* + F_2 \xrightarrow{h\nu} KrF^* + F$$

$KrF^* \rightarrow \lambda = 248\ \text{nm}$

$ArF^* \rightarrow \lambda = 193\ \text{nm}$

$XeF^* \rightarrow \lambda = 351\ \text{nm}$

$XEcl^* \rightarrow \lambda = 308\ \text{nm}$



6.3 الليزرات الغازية Gas Lasers :

على العموم يكون توسع سويات الطاقة في الغازات أقل نوعاً ما (بحدود بضعة جيغاهيرتز gigahertz أو أقل) ، نظراً لأن عمليات توسيع الخطوط أضعف مما هي عليها في حالة المواد الصلبة . في الغازات تحت ضغط منخفض التي غالباً ما تستعمل في الليزرات (الضغط بحدود بضعة Torr) يكون التوسيع الناتج عن التصادم صغيراً جداً. و التوسيعات الخطية تتحدد أساساً بتوسع دوبلر ، و لهذا السبب لا يستخدم هنا الضخ البصري بمصابيح من الأنواع المستعملة في حالة ليزرات الحالة الصلبة ، و الحقيقة هي أن هذه المصابيح ذات كفاءة قليلة جداً ، لأن طيف الانبعاث لهذه المصابيح مستمر تقريباً . و أنه لا توجد هناك حزم امتصاص واسعة broad band absorption في المادة الفعالة إن الحالة الوحيدة التي تم الحصول فيها على الفعل الليزري في الغاز بوساطة الضخ البصري من هذا النوع ، هي في حالة Cs المضخ بمصباح خطي يحتوي على الهيليوم . في هذه الحالة يكون من المفضّل استعمال الضخ البصري نظراً لأن بعض خطوط الانبعاث للهيليوم تطابق خطوط الامتصاص للسيزيوم Cs . و على كل حال يعدّ هذا الليزر مهماً من الناحية التاريخية فقط ، لأن السيزيوم الذي يتبخر عند درجة حرارة 175°C هو مادة فعالة جداً.

تتم عادة إثارة الليزرات الغازية بالطرق الكهربائية ، أي أن عملية الضخ تتم بإمرار تيار عالي مناسب (مستمر أو نبضي) خلال الغاز . إن عمليات الضخ الأساس التي تحدث في الليزرات الغازية قد نوقشت سابقاً في البند 3.3 . سنناقش في هذا الفصل عمليات ضخ خاصة لعدد من أنواع الليزرات (مثال تأين بنك Pinning ionization و انتقال الشحنة) . و نود هنا أن نشير إلى أن عدد من الليزرات الغازية يمكن أن تضخ بطرق أخرى غير الضخ الكهربائي، و نذكر منها بصورة خاصة الضخ

بوساطة تمدد الغاز الديناميكي gas-dynamic expansion ، و الضخ الكيميائي والضخ البصري بوساطة ليزر آخر.

فإذا وجد نوع من الذرات في الحالة المثارة يمكنها الانحلال إلى الحالات السفلى ومن ضمنها الحالة الأرضية بوساطة أربعة عمليات مختلفة و هي (أ) التصادمات بين إلكترون والذرة المثارة ، حيث الأخيرة تعطي طاقتها إلى الإلكترون (تصادم من النوع الثاني)، (ب) التصادمات بين الذرات (للغاز الذي يتكون من أكثر من نوع من الذرات)، (ج) التصادمات مع جدران الوعاء ، (د) للاصدار التلقائي . فيما يخص الحالة الأخيرة ، يجب أن نأخذ بعين الاعتبار احتمالية (و بصورة خاصة للانتقالات Uv و VUV التي تكون عادةً قوية جداً) حبس الإشعاع radiation trapping . إن هذه العملية تبطئ من المعدل الفعلي للاصدار التلقائي.

ومن اجل قيمة معينة لتيار التفريغ فإن هذه العمليات المتنوعة للإثارة excitation و إزالة الاثارة de-excitation تؤدي في النهاية إلى نوع من التوزيع المنتظم للإسكان بين سويات الطاقة . و هكذا نلاحظ أن عملية الحصول على انقلاب الإسكان في الغازات أكثر تعقيداً مما في حالة ليزر الحالة الصلبة بسبب الظواهر العديدة المتضمّنة . وعلى العموم نستطيع القول إنه سيحدث انقلاب في الإسكان بين أي سويتين عندما يحدث أياً أو كلاً من الظروف الآتية (أ) معدل الإثارة للسوية العليا لليزر أكبر مما هو للسوية السفلى لليزر (ب) انحلال السوية العليا لليزر أبطأ من انحلال السوية السفلى . نتذكر هنا أن الظرف الثاني هو شرط ضروري لعملية ليزر الموجة المستمرة . [راجع (5.26)] . إذا لم يستوف هذا الشرط فالعمل الليزري يمكن استمراره على شكل نبضي على شرط أن تكون الحالة (أ) مستوفية (الليزرات المنتهية ذاتياً Self-terminating Lasers).

ثالثاً: ليزر السائل Liquid Laser

لليزر السائل ما يتميز به عن كل من ليزر الحالة الصلبة وليزر الغاز، حيث تكمن الصعوبة في ليزر الح

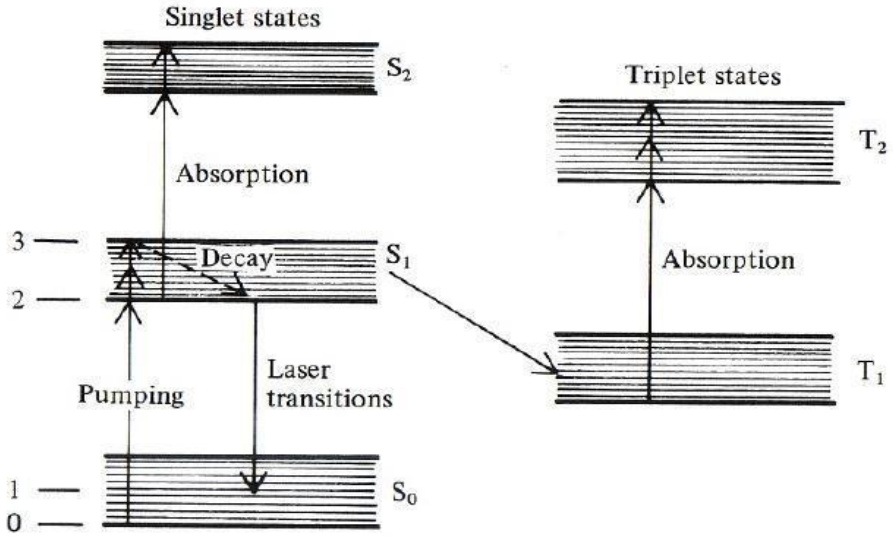
الة الصلبة في تحضير البلورة التي يجب ان تكون على قدر عالي من التجانس وبتركيز معين من الايونات الفعالة ولايمكن تغيير مواصفاتها بتغيير تركيز المادة العالة فيها. كذلك هناك احتمالية تلف البلورة بسبب الحرارة العالية التي قد تتعرض لها اثناء التشغيل، اما الغاز فانه لا يحتوي على قدر عالي من الذرات او الجزيئات 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 الموادالعضوية التي تشكل محاليلها اوساط ليزر فعالة منها مادة الصبغة. محلول صبغة عضوية معينة في سائلمذيب 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 مابين µm (0.4-1). هذه المجاميع هي: أصباغ البوليميثان والتي لها مدى انبعاث µm (0.7-1) واصباغ الكانثين ويقع انبعاثها بين µm (0.5- 0.7) واصباغ الكومارين ويقع انبعاثها بين µm (0.4-0.5) والاصباغ التلألؤية ويقع انبعاثها بطول موجة حوالي (0.4 µm).

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 اثارة 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 الشئ عن طيف الامتصاص ونحو الموجة الاطول.

تعتبر صبغة رودامين (6G) مادة نموذجية شائعة الاستعمال في ليزر السائل، هذه الصبغة تتصف بوجودعدد من الخطوط المزدوجة وهو سر فعالية هذه المواد، يطلق على هذه الازواج في الربط (الربط الثنائيالاقترابي). اما سبب هذا النطاق العريض للامتصاص والانبعاث لجزيئة الصبغة فيتبين من دراسة الشكل



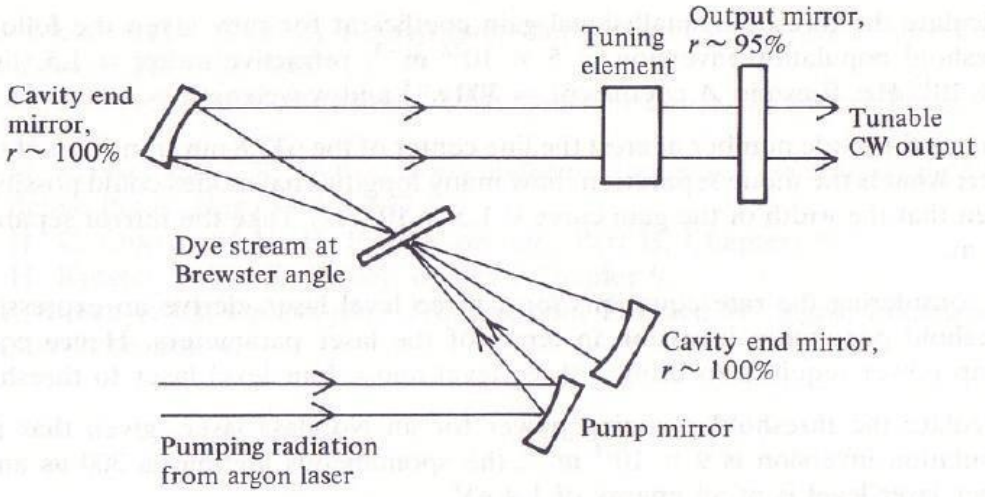
يوضح هذا الشكل مخطط الطاقة لجزيئة صبغة عادية حيث يكون للجزيئة مجموعتان من حالات الطاقة. الحالات الاحادية (S_2, S_1, S_o) والحالات الثلاثية (T_2, T_1) فالاولى تحدث عندما يكون البرم الكلي للالكترونات المحرضة في كل جزيئة مساوية الى الصفر اما الحالات الثلاثية فتحدث عندما يكون البرم الكلي مساوياً الى واحد. وكما نعلم ان الانتقال بين الحالات الاحادية والحالات الثلاثية او العكس ممنوع حسب قواعد الانتقاء لثنائي القطب الكهربائي فاغلبية الانتقالات المسموحة تتم بين الحالات الاحادية وايضاً فيما بين الحالات الثلاثية. ان استثارة جزيئة الصبغة يتم بارتقاء الجزيئة من الحالة الارضية S_o الى الحالة المستثارةS_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_o ولما كان هناك مستويات طاقة دورانية وتذبذبية عديدة لكل من S_1 &S_o لذا يكون لانتقالات الليزر نطاق عريض. ان الحالات الثلاثية للجزيئة لا تدخل بشكل مباشر في عمل الليزر ولكن تاثيرها عملهسلبي. فهناك احتمالية صغيرة لحدوث الانتقال الممنوع S_1T_1 ولما كان الانتقال T_1 S_o ممنوعاًايضاً فان الجزيئات تزداد في المستوى T_1 لكن الانتقال من T_1 الى T_2 مسموحا ويحدث بتردد مطابق تقريباً لتردد انبعاث الليزر وهذا غير مستحسن اذ حالما يتواجد جزء ملحوظ من الجزيئات التي تنتقل من المستوى S_1 الى T_1 فان الامتصاص من المستوى T_1 الى T_2 يكون شديداً ويعمل بسرعة على تقليص ربح الليزر وبامكانه ان يوقف عملية الانبعاث المستحث. لهذا السبب تعمل

بعض انواع ليزر الصبغة بشكل نبضي وبنبضة امدها اقصر من الزمن اللازم لتاهيل المستوى T_1 بمقدار ملحوظ. اضافة الى ذلك قد يحدث امتصاص بين الحالات الاحادية الاعلى (S_2 S_1) لبعض انواع ليزر الصبغة لذا يتم انتخاب الصبغة بحيث ان تردد هذه الانتقالات لاتقع في المدى ذات الاهمية.

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

تعتمد كفاءة ليزر الصبغة على نشاط المحلول الذي يتباطأ تدريجيا مع الزمن وكذلك بسبب ارتفاع درجة حرارته بسبب تشعيعه، لذا جعل محلول الصبغة يدور في حركة مستمرة بواسطة مضخة فيدفع المحلول خلال منفث (خرطوم دقيق يتدفق منه السائل بجريان طبقي) حيث يضخ ضوئيا وبنفس الوقت يبرد المحلول العائد بعد ضخه ضوئيابالتبادل الحراري مع الماء الجاري. بهذه الطريقة امكن تشغيل سائل الصبغة بموجة مستمرة CW وفي درجة حرارة الغرفة وبنتاج قدرة تتراوح بين (10W 1 -mW).

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 مرايا المرنان بمحزوز عاكس الذي يعمل كمراة 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 فيمدى يتراوح بين (550-600) nm.



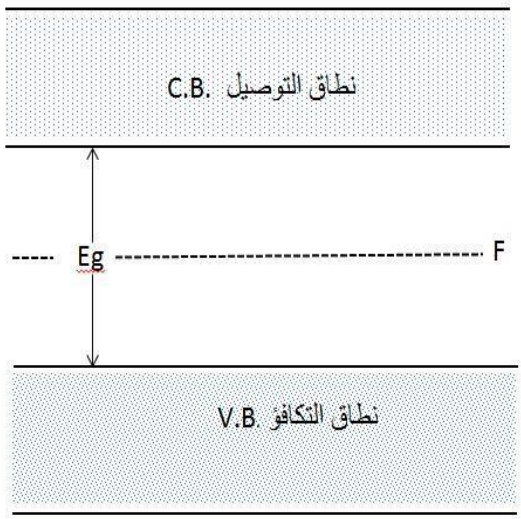
باستخدام محليل صبغ مختلفة كوسط فعال يمكن الحصول على نتاج يغطي الجزء المرئي للاشعاع

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 شبيكة دورية معامل توصيلها الكهربائي اقل بكثير من معامل التوصيل الكهربائي للفلزات. تختلف عن البلورات الايونية الصلبة الستخدمة 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 للشبيكة البلورية ككل ولايمكنا التكلم عن مستوى طاقة لذرة اوجزيئة 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 وابرزها الاختلاف في الحجم، فلا يتجاوز اكبر 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 (Eg) يطلق على هاذين النطاقين بنطاق التكافؤ (VB) ونطاق التوصيل (CB) يتالف كل منهما من عدد كثيف من حالات الطاقة ولا يعبر عن احتماية تواجد الالكترون في مستوى طاقة ما (E) وفي حالة التوازن حسب احصائية ماكسويل – بولتزمان بل يعطى بدلالة توزيع فيرمي – ديراك وبالدالة $f(E)$ التي تعطى بالعلاقة التالية:

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

- عند الصفر الطلق ،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

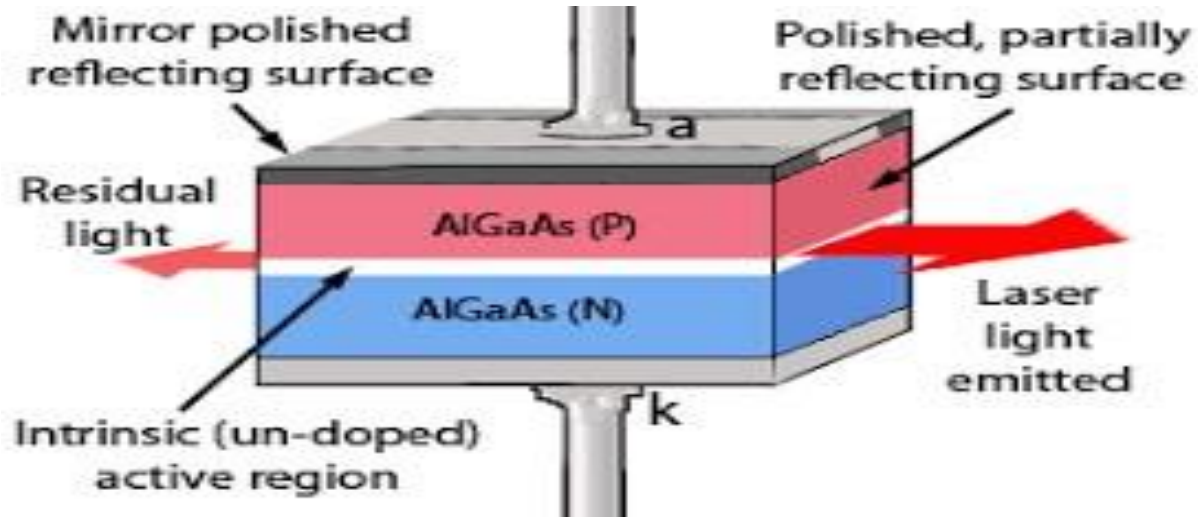
$$f(E) = \frac{1}{\left(1+e^{\frac{(E-F)}{kT}}\right)} \quad \text{.....(1)}$$

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 وبناءاً 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 عموماًقرب نطاق التوصيل والشوائب المستقبلة وتقع مستويات الطاقة لها عادة قرب نطاق التكافؤ واخيراً الشوائب التي تقع مستويات الطاقة لها في عمق نطاق الفجوة والنوعان السابقان هما الاهم حيث يتم زرع كليهما عمداً في البلورة لانتاج 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 المستقبلة منها في الجزء الاخر وتدعى منطقة الالتحام بينهما بالملتقى (p-n junction).

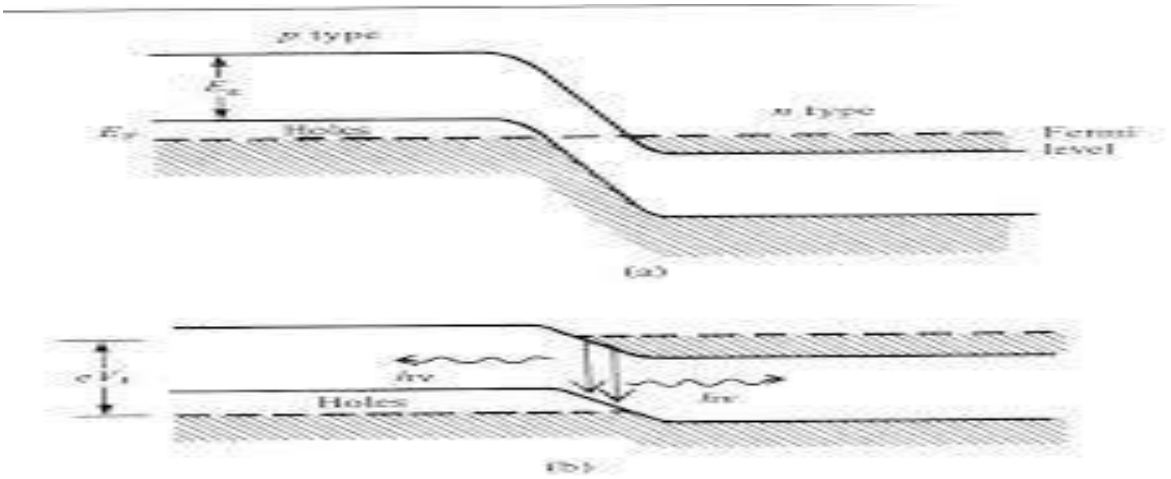
التاهيل العكسي والضخ الكهربائي: لغرض تحقيق التاهيل العكسي يجب ضخ عدد من الالكترونات الى منطقة التوصيل وزيادة الفجوات الالكترونية في منطقة التكافؤ فعند تسليط جهد كهربائي بالاتجاه الامامي للملتقى، اي بربط النوع السالب (n) الى القطب السالب للمصدر تتحرك حاملات التيار نحو الملتقى ويلتحمان عنده وينتج عن ذلك انبعاث له صفات الانبعاث المحفز وللمقارنة مع عمل انواعالليزر السابقة فان شبه الموصل الذي يتم تشغيله بجهد امامي لايكون في حالة توازن حراري وذلكلسريان تيار كبيرخلال الملتقى مما يجعل منطقة



الملتقى بعيدة عن حالة التوازن وفي هذه الحالة لايمكن تطبيق مبدأ توزيع فيرمي – ديراك على هذه المنطقة.

ان الاستمرار في زيادة عدد الشوائب المانحة في شبه الموصل لتركيز اعلى من مقدار معين ($10^{19}atom/cm^3$) 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 المستقبلة 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 العكسيوتنفيذ الضخ الكهربائي يتم باعداد شيه الموصل ليعمل كوسط فعال لليزر، ويتم ذلك باعداد صمام شبه الموصل بملتقى p – n فيه النوع الموجب والنوع السالب (منحلا) اي ان كل منهما مطعما بالشوائب وبتركيز اكبر من ($atom/cm^3 10^{18}$).



الامتصاص والانبعاث 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:

$$\Delta F=eV \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

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

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

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

$$f_v = \left(1 + e^{\frac{(E-F_V)}{KT}}\right)^{-1} \text{.....(3)}$$

$$f_c = \left(1 + e^{\frac{(E-F_C)}{KT}}\right)^{-1} \text{.....(4)}$$

اما الملتقى سيكون في هذه الحالة بعيداً عن حالة التوازن ولايمكن معاملته كمستوى فيرمي للانتقال المستحث.

عند التحام الكترون مع فجوة موجبة فان الطاقة الكلية تتحرر كفوتون يعطي تردده وفق معادلة بلانك، اي ان:

$hv=E_2-E_1$ .....(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 للانبعاث والامتصاص للاشعاع الكهرومغناطيسي يصح تطبيقها للاشعة المنبعثة عن الالتحام في ملتقى شبه الموصل فانه يتوقع حدوث الانبعاث المستحث كلما تحرر فوتون .

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

يعتمد معدل الامتصاص والانبعاث على عدد الفوتونات المتواجدة في المرنان على معامل اينشتاين B للانتقال، كذلك يتناسب معدل الانبعاث المستحث مع حاصل ضرب احتمالية تواجد الالكترون في المستوى الاعلى واحتمالية عدم تواجده في المستوى الأدني، في حين يتناسب معدل الامتصاص مع احتمالية تواجد الالكترون في المستوى الأدنيواحتمالية عدم تواجده في المستوى الاعلى، لذاوللحصول على انبعاث مستحث يجب ان يزيد المعدل الزمني للانبعاث المحفز على نظيره للامتطاص، اييجب ان يكون:

$f_c(1-f_v)>f_v(1-f_c)$ .....(6)

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

$F_c-F_v>E_2-E_1=hv$ .....(7)

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

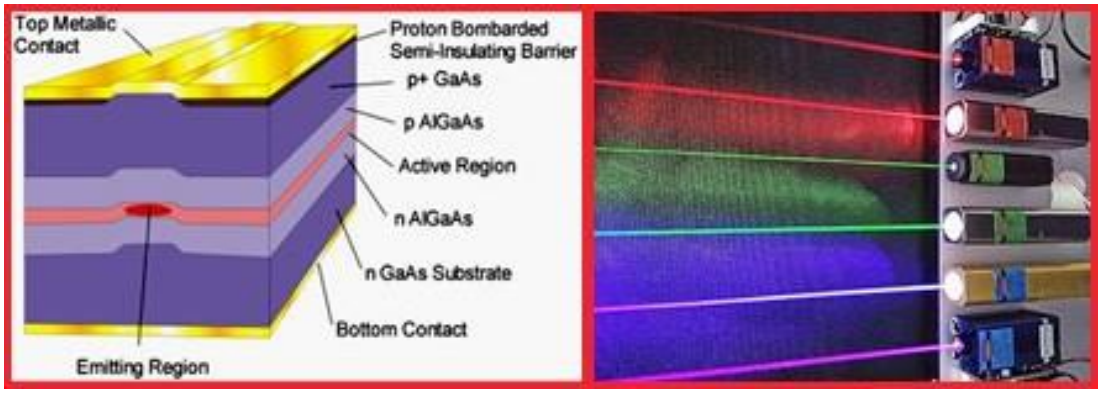
$F_c-F_v>E_g$ .....(8)

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(µm) وهي اكثر سمكاً من منطقة النضوب التي تكون صغيرة جدافي حدود 1(µm.0)، اما ابعاد الصمام الاخرى فلا يتجاوز الطول والعرض عن (1 mm) اما السمك فلا يتجاوز (0.5 mm). تقطع البلورة بحيث يكون سطحيها متوازيان وسطوحها الاخرى عمودية على بعضهاالبعض وعلى سطح الملتقى، يصقل زوجاً متقابلاً من سطحيها الجانبين ويترك الزوج الاخر خشناً لتقليص الانعكاسات البراقة غير المرغوب فيها ولا يحتاج الوجهان الصقيلان الى الاكساءبطبقة عاكسة ليعملا مرآتي فابري – بيرولان معامل انكسار شبه الموصل عالي (لبلورة 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 كذلكتكون كثافة تيار العتبة لليزر شبه الموصل ذو الملتقى المتجانس عالية نسبياً في درجة حرارة الغرفة. تقلهذه الكثافة وبسرعة بانخفاض ظرف درجة الحرارة هذا بسبب كون المقدار fc (1-fv) يزداد مع نقصان درجة الحرارة في حين يقل المقدار fv (1-fc) 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 المتجلنس 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 يضخ بشكل نبضي وفي درجات حرارة واطئة (77ºk) ولاتتجاوز القيمة القصوى عن 15 Watt في درجة حرارة الغرفة اما تشغيله بشكل مستمر فيعطي قد رة بين (5-10) m W في الدرجة نفسها.

يغطي نتاج ليزر شبه الموصل مدى عريض من الطول الموجي الذي يتراوح بين (0.7 – µm30). ان اهم نموذج لهذا النوع من الليزر هو ليزر GaAs كما ان كفائته عالية نسبياً وبمعدل 10% لذا يعتبر ليزر شبه الموصل من انواع الليزر ذات الكفاءة العالية كذلك ان عرض نطاق تذبذب حزمته ($Hz10^{11}$) يرشح تشغيله بالصيغة المقفلة، كما يعد ليزر شيه الموصل GaAs من اهم المصادر المستخدمة في الاتصالات الضوئيةالتي تستخدم الالياف الضوئية كوسط ناقل لها. كما ان عمر الصمام طويل (10^6hours) كذلك يستخدم في عدد من التطبيقات المهمة تلك التي تتطلب قدرة منخفضة(كعمليات القراءةوالمسح) ومصدراً ضوئياً باشعاع واقع في منطقة الاشعة 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 الاشعة تحت الحمراء كما ان انبعاثها يمكن ان يكون ضيقاً جدا 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 الليزرات 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 الليزرات كليزرات بخار المعادن **(metal-vapor lasers)** والتي تولد ضوء في النطاق المرئي وفوق البنفسجي منها ليزرات هيليوم- كادميوم 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 **(Erbium DopedFiber Amplifier)** 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 علاج الوحمات الحمراء Haemangioma&Portwin Stain وكذلك التوسع في الشعيرات الدموية Telangiectasia، وقد أثبتت فعاليته حديثاً في علاج 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 ($CrAlO_3$) (red)	694
Nd:Yag (NIR)	1064
Carbon dioxide (FIR)	10600

الفصل الثالث

تأثيرات الليزر وتطبيقاته

تطبيقات الليزرات

مقدمة

التطبيقات في الفيزياء والكيمياء

التطبيقات في علم الأحياء والبيولوجيا

تطبيقات في الاتصالات البصرية

تطبيقات في الهولوغرافية والهولوغرافية الرقمية

تطبيقات الليزر في علوم الطب

تطبيقات الليزر في الصناعة

تطبيقات الليزر في الزراعة والإنشاءات والطرق

الفصل الثالث

تطبيقات الليزر

هنالك عدد هائل من تطبيقات الليزر أهمها:

- التطبيقات الصناعية (القطع والتثقيب واللحام والتصليد)
- القياسات والفحص (قياس المسافات والترصيف البصري وكشف العيوب)
- التطبيقات الطبية والبيولوجية (أمراض العين والجراحة والتجميل والاستئصال والتصوير الأحيائي)
- التطبيقات العسكرية (التوجيه والتتبع وتقدير المدى)
- التطبيقات التجارية (الأقلام الضوئية والطابعات الليزرية وقارئات الأقراص المدمجة)
- الاتصالات البصرية

التطبيقات الصناعية *(Industrial Applications)*

يعتمد استخدام الليزر في التطبيقات الصناعية بمجموعة من الأمور أهمها:

١. الطول الموجي لشعاع الليزر
٢. طاقة أو قدرة شعاع الليزر (الطاقة في حالة الليزر النبضي والقدرة في حالة الليزر المستمر)
٣. حجم شعاع الليزر
٤. إنفراجية شعاع الليزر (يفضل أقل ما يمكن)
٥. نمط شعاع الليزر (يفضل النمط الأساسي)

٦. أبعاد منطقة المعالجة
٧. امتصاصية المادة لشعاع الليزر
٨. انعكاسية المادة لشعاع الليزر
٩. التوصيلية الحرارية للمادة
١٠. الانتشارية الحرارية للمادة
١١. سرعة حركة شعاع الليزر
١٢. الأجزاء البصرية المستخدمة
١٣. استخدام الغازات المساعدة

محاسن استخدام الليزر:

١. عدم وجود تماس مباشر بين العينة ومنظومة الليزر ولذلك لا يوجد تلوث أو إجهادات ميكانيكية.
٢. استخدام الليزر لا يؤثر على الخواص الفيزيائية للمادة لأن المنطقة التي تتأثر صغيرة جداً.
٣. يمكن استخدام الليزر مع مواد مختلفة مثل المعادن والسيراميك والزجاج والخشب دون حدوث تلف للمادة.
٤. إمكانية العمل في مواضع صعبة مثل الزوايا والانحناءات وغيرها
٥. العمل يتم بسرعة عالية ودقيقة فمثلاً يمكن إجراء عملية قطع المعادن بسرعة *(10m/min)* وهي أسرع عشر مرات من الطرائق التقليدية.
٦. يمكن أن تكون عملية استخدام الليزر مبرمجة أوتوماتيكياً لغرض الدقة.
٧. يمكن الحصول على قدرات عالية جداً.

تصنيفات الليزر من حيث المخاطر

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

إشارة تحذير بوجود ليزر

تصنف أنواع الليزرات طبقا لقوانين السامة في المقاييس الدولية بناء على درجة ضررها على جسم الإنسان ولابد من التذكير بأن أكثر الأضرار الناتجة عن استخدام الليزر ليست بسبب أشعته وإنما بسبب سوء استعمال مصادر الطاقة الازمة 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:

1 - مدة التعرض للأشعة.

2 - شدة الأشعة .

3 - 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 السنتيمتر 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 .

ه - 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 كماسح ضوئي وتبلغ طاقة الليزر الذي يندرج تحت هذا التصنيف 4mW.
- التصنيف الثاني Class II هذا يشير إلى ليزر ضوئه مرئي وطاقته منخفضة لا تتعدى 1mW 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 الأقام 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 500mW للشعاع المتصل بينما لليزر النبضات فتقدر طاقته بـ $10^2 J/cm$ 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: التخثر، القطع، والتبخير .يستخدم تأثير التخثر إما في إتلاف (تخريب) الظواهر الورمية الصغيرة، وإما في الارقاء (وقف النزف). يستخدم تأثير التبخير في إتلاف (تخريب) أورام أكبر ما هو عليه في حالة تأثير التخثر .فإذا كانت المنطقة المُتبخرة صغيرة جداً 1(0.1−mm) نحصل على ما يسمى فعل

القطع مع ارقاء ممتاز للحواف. يمكننا اليوم إحصاء عدد كبير من تطبيقات الليزر الحرارية الطبية نذكر منها ما يلي:

- ☒ لحم الشبكية: يسهم تأثير التخثر 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 تستُخدم 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 السليات 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 إنتانياً 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 (تيروزين، تريبتوفان، وفينيانّين) وكذلك السيتوكروم C. كما يفُيد في تشكل 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 تفاعات 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 الكهرميكانيكي The electro-mechanical effect:

يتميز بهذاالتأثير الليزر ذو الاستطاعة العالية، وذلك بتوليده لموجات صدم تتسبب بانتشارها في تأثيرات متلفة (مخربة)، 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 الازك **(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 جدافًي 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 كيها باستخدام ليزر الآرغون.

وفي الجراحة يتم استخدام شعاع الليزر كمشرط 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 بالمشرط مما يقلل من الضرر على الأنسجة السليمة المحيطة بها وخاصة في الأعضاء الحساسة كالدماغ 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 كالبهاق والصدفية. ويستخدم الليزر في تفتيت حصى الكلى والمرارة وإزالة الأورام في داخل أعضاء جسم الإنسان وذلك من خال نقل شعاعه بواسطة ألياف زجاجية دقيقة يمكن إدخالها بكل سهولة في التجويفات والمسالك والأوعية أو من خال ثقوب صغيرة يتم فتحها في جلد الجسم.

تطبيقات الليزر في طب الأسنان

غدا شعاع الليزر في السنوات الأخيرة حجر الأساس في عالم طب الأسنان وجراحتها ،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 بإنعكاسية شديدة له.

إزالة الأورام الحميدة وبدون الحاجة في كثير في 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 للأرحاء الثالثية 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 او 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 وتدخاً أكثر دقة More Precise.
- تقليل العدوى البكتيرية حيث High Energy Beam يعقم المنطقة.
- تدمير الأنسجة المحيطة يقل.
- وضوح الرؤية عند أداء العمليةّ.
- سهولة العمل تحت المجهر.
- إمكانية إحداث شق موضعي محدد (دقة القطع).
- إرقاء ممتاز للأوعية الصغيرة.

- امكانيةّ معالجة أنسجة دون أخرى (باختيار طول موجي معينّ).
- اجراء 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 العمليةّ 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 كليا.
- لايمكن استخدام الليزر لتحضير الأسنان لاستام تاج أو جسرالعاج بالليزر لا يغني كليا عن التخدير.
- تكلفة العلاج بالليزر غالباً ما تكون أعلى.

تطبيقات الليزر في المجالات الأخري

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 الليزرات يقدر نبضها بواحد من البليون من الثانية ، وأخرى تبقى مستمرة لسنوات تماثل أشعة الموت التي تخيلها الروائي ويلز عام 1898م ، وبعض الليزرات يمكن أن تركز الضوء في نقطة صغيرة كافية لتبخير الحديد أو أية مادة أرضية أخرى . وتعتبر الطاقة المركزة فيها أسرع وأشد مليون مرة من

الإنفجار النووي . والأخرى لا تبعث من الطاقة ما يكفي لسلق بيضة .

إن الخدمات التي أضافتها أشعة الليزر عبر الأيام والأشهر قد أوضحت بأن أكتشاف 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 الريزوبية اللااكسيجنية 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 ويطيع الضوء ، الشكل الأساسي للطاقة . فقط طيعنا 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 :-

1- 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.

2- 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 1905م في دراسته عن النسبية والكون الأحدب ،كيف أنه إذا أريد لنا أكتشاف المجرات الكونية والنجوم يلزمنا 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 .

3- التفاعلات النووية

تمثل التفاعلات النووية ، (عدا استخداماتها الحربية في انتاج القنابل النووية) احدى 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 النوويات 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 .

4 - 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 0.5 ملي واط .

5- 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 المعروفي والمستخدم في حفر أنفاق السيارات والقاطرات تحت أو فوق سطح الأرض

6- 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 المراصد 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 يضاهيهاب) التحليل النقي والذي لا

يتحوي على ذبذبات تداخلية أو ضوضاء صوتية .

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

7- القياسات :

تستخدم صفة أو أكثر من صفات الليزر الرئيسية في القياس بهذه الأشعة مثل آحادية الطول الموجي ، والترابط الموجي ، والشدة العالية التركيز ، والتفريق القليل لحزمته .

والليزر حساس في القياس والتعرف على العيوب السطحية في المواد مثل الخدوش والكسور، والحُفر وقياس سماكة وأقطار الأجزاء المختلفة ، وخصوصاً في قطع الغيار التي كثيراً ما يحصل الخطأ في التشخيص العادي لها .

8- علم الطيف

ويستخدم ف علم الطيف في دراسة المواد المختلفة كماً ونوعاً ، وكان سابقاً يتم دراسة المواد باستخدام الموجات الكهرومغيطية في الترددات الراديووية إلى منطقة الميكروويف ، أي باستخدام ترددات تتراوح بين 30 كيلة هيرتز و وما زاد عن ذلك تستخدم مصادر متعددة غير دقيقة .

9- 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 .

10- السباكـة :

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 20 جول في النبضة الواحدة ،إمكانية تبخير المادة بدلاً من إذابتها ، و 5 جول من النبضات المستمرة قاردة على الثقب واستعماله كمثقاب .

11- المواصفات والمقاييس :

في هذا المجال يدخل الليزر في أعمال كثيرة منها : آلة تصوير (كاميرا) سينمائية ذات سرعة عالية حوالي 10.000 صورة في الثانية لمراقبة التفاصيل الزمنية والمكانية للظواهر الحرجة مثل الانفجارات المختلفة ،

ومراقبة أبخرة الاحتراق المتصاعدة من المحركات النفاثة . . . الخ .

12- الاتصالات اللاسلكية :

أجهزة الاتصالات الكهرومغنيطية العصرية معتمدة كلياً على الترددات الراديووية 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 .

13- 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 (5سنتيمتر) له سعة تخزين تصل إلى 10ملين بايتز (بلغة الكمبيوتر) أي أن 5000 صفحة من كتاب يمكن أن تخزن في جهة واحدة من القرص . وهذه الذاكرة تخزن المعلومات بمعدل 250 كيلو بايتز في الثانية وتعطي المعلومات بنفس المعدل .

وتصل دقة بحث الذاكرة في 0.1 من المليون في المتر ، ودقة التركيز تقدر بواحد من المليون في المتر .

14- الزراعـــة :

عند تعريض بذور الحنطة لأشعة الليزر أحدثت تشوهات جنينية فيها والتي أدت بدورها إلى زيادة الإنتاج بمقدار 80% . بالإضافة إلى ذلك إمكانية التعقيم وقتل البكتيريا والجراثيم الضارة بأشعة الليزر يجعلها في مستوى تفاؤلات كثيرة لمستقبلها في هذا المجال الحيوي .

15- 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 10.6 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 .

16-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 .

17- 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 :

1) جزء من الطاقة يعكس ويفقد .

2) تستعمل أكثر الطاقة المتبقية لذوبان المعادن .

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

4) 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 التربية.

18- تصنيع المواد

ليزر الياقوت ، وليزر الياج ، وليزر الزجاج ، وليزر ثاني أكسيد الكربون ، والأرجون . فطريقة الحث في الليزرات الثلاثة 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 .

1) 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 .

19- 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 الهلولوجراف وهذا تعبير مركب من كلمتين يونانيتين الأصل هي هولو ... وجراف ومعناهما 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 وتصعقك الحقيقة لأول وهلة بأنها خيالاً 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 آخراً تمتزج فيه الصورة والخيال .

لا حاجة في الهولوجراف لاستخدام العدسات ، بل نحتاج إلى شعاع الليزر في أبسط أشكاله ، وصفيحة شفافة 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 والمسمى بالشعاع الأصل 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 ثُبتت 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 دققت 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 المجسم .
- 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 .

20- 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، بدلًا من الموجات الراديوية، لإجراء اتصالات أفضل للأقمار الصناعية الفضائية، مما قد يؤدي إلى ارتفاع معدلات البيانات والوصول إلى الإنترنت أسرع في كثير في البلدان النامية.

22- استخدام الليزر في مجال التعدين

التعدين: هو استخلاص 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 والالماس 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 ....

21- 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 تُمثّل 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 حلّت 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 وُظّف 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-Rayوغيرها من وسائط التخزين وكتابتها. زيادة سرعة المعالج: يمكن أن توفر أشعة الليزر الصغيرة بديلًا 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 مضخماتErbium doped amplifiers ، أو أشعة ليزر عالية الطاقة في مجال الاختبار والقياس، وتضُم 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.

الألياف الضوئية Optics Fiber

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

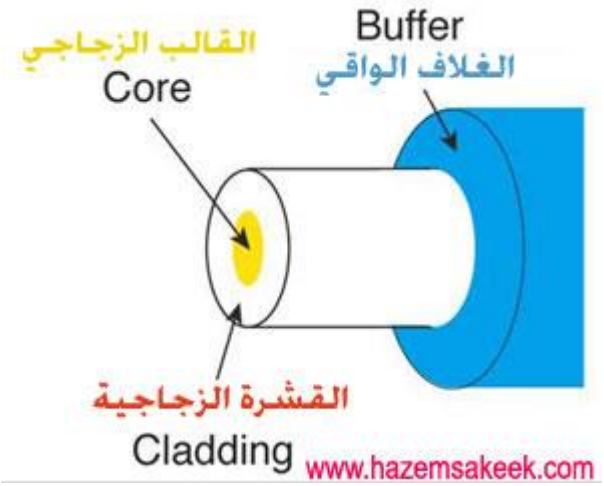
الألياف الضوئية هي عبارة عن شعيرات طويلة من زجاج على درجة عالية من النقاء يصل رفعها إلى حد أن تماثل شعرة رأس الانسان. تصطف هذه الشعيرات معا في حزمة تسمى الحبل الضوئي (optical cable). إذا نظرت عن قرب لأحد هذه الألياف الضوئية ستجد انه يتكون من:

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 الآلياف الضوئية

الألياف الضوئية يمكن أن تقسم بصفة عامة إلى نوعين أساسيين:

- **الآلياف 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 حوالي9 micron و تمر من خلاله أشعة الليزر تحت الحمراء ذات الطول الموجي 1.3-1.55 nm.

الآلياف 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 micron62.5 و تنتقل من خلاله الأشعة تحت الحمراء.

كيف تعمل الألياف الضوئية و كيف تنقل الضوء خلالها؟

افترض انك تريد أن توصل ومضة 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 مرايا على طول المسار لتعكس الضوء باستمرار من جانب الأخر 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.

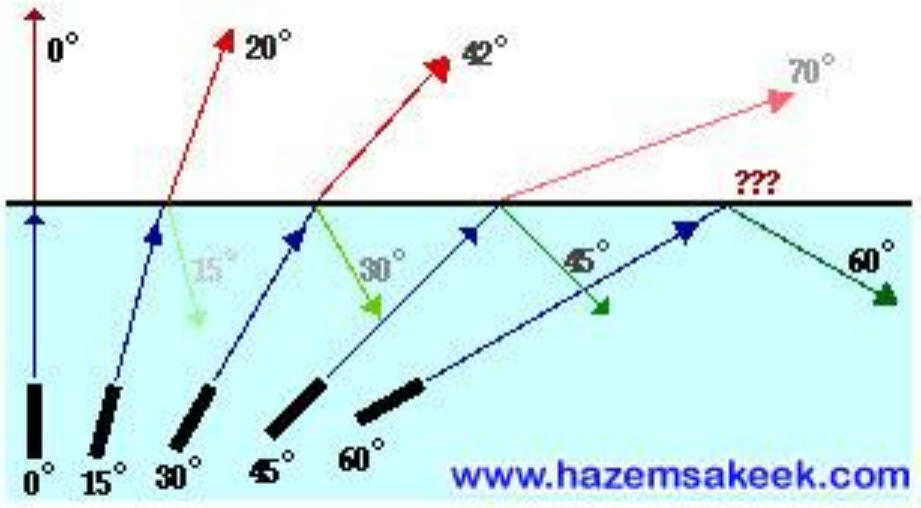
لكي تحدث الانعكاسات المستمرة على جدار الغلاف الواقي داخل الآلياف الضوئية فإن هذا يعتمد على ظاهرة فيزيائية تسمى ظاهرة الإنعكاس الداخلي الكلي total internal reflectionفما هي هذه الظاهرة وكيف تعمل؟

الأساس الفيزيائي لنقل الضوء خلال الآلياف البصرية

ظاهرة الإنعكاس الداخلي الكلي total internal reflection هي الأساس الفيزيائي لتكنولوجيا نقل الضوء عبر الآلياف 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 عموديا على الحاجز فإنه ينفذ بالكامل، اما اذا زادت الزاوية تدريجياً كما في الشكل التالي:

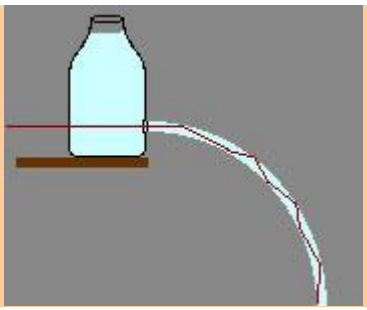


نلاحظ أن جزء من الشعاع ينفذ والجزء الأخر ينعكس داخل الماء وكلما زادت زاوية السقوط كلما قلت شدة الشعاع النافذ وازدادت شدة الشعاع المنعكس، وعند زاوية (تقريباً 48.6 درجة) تسمى الزاوية الحرجة يخرج الشعاع موازياً لسطح الماء واذا زادت زاوية السقوط قليلاً عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع ينعكس بالكامل ولا ينفذ منه شيئاً وهذه الحالة تسمى الإنعكاس الكلي الداخلي total internal reflection.

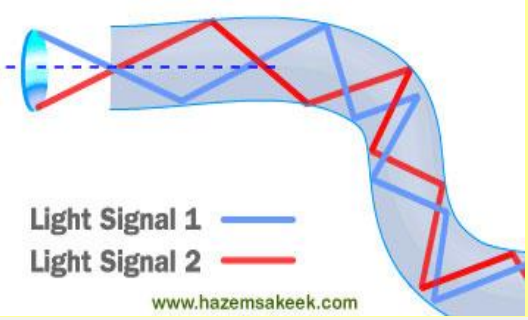
تحدث ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي اذا تحقق الشرطين التاليين:

(1) ان ينتقل الضوء من وسط ذو كثافة ضوئية أعلى (معامل انكساره كبير) إلى وسط أقل كثافة ضوئية (معامل انكساره اقل).

(2) ان تكون زاوية السقوط اكبر 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 الداخل للماء حيث يفصل هذا السطح بين وسطين مختلفين في معامل الانكسار.



نفس الظاهرة تحدث في الليزر عبر الالياف 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 الالياف الضوئية مستقيمة أو منحنية.

مكونات نظام الآلياف 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 الدايود الضوئي، فإذا أردنا مثلا نقل إشارة تلفزيونية أو أي معلومة فانه من الضروري تحوير الشارة الضوئية طبقا للمعلومة المراد نقلها. تحوير الإشارة الضوئية قد يتم بتغيير شدتها ارتفاعا و انخفاضا analogue modulation أو إشعالها و إطفائها في تتابع و هو ما يعرف بـ digital modulation

- **الآلياف البصرية fiber-optic**

و هو الذي يقوم بتوصيل الإشارة الضوئية عبر المسافات و هو 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

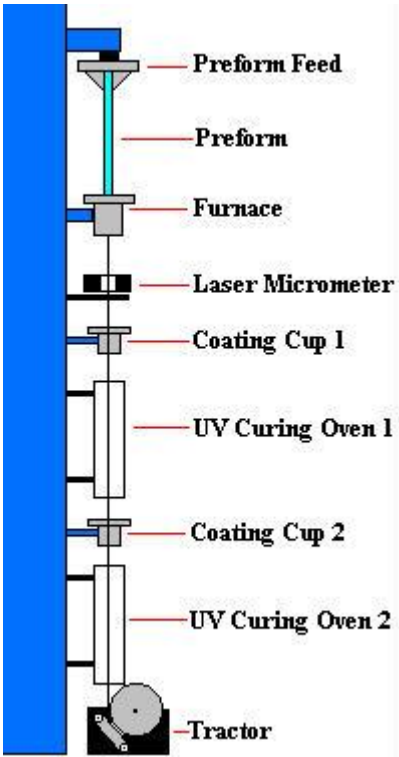
مميزات الألياف الضوئية

لقد أحدثت الألياف الضوئية ثورة في عالم الاتصالات لتميزها 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 حجما حيث أن نصف قطرها أقل من نصف قطر الأسلاك النحاسية التقليدية، فمثلا يمكن استبدال سلك نحاسي قطره 7.62سم بآخر من الألياف الضوئية قطره لا يتجاوز 0.635سم و هذا يمثل أهمية خاصة عند مد الأسلاك تحت الأرض.
- اخف وزنا فيمكن استبدال أسلاك نحاسية وزنها 94.5كجم بأخرى من الألياف الضوئية تزن فقط 3.6كجم.
- فقد اقل للإشارات المرسلة في الآلياف الضوئية منه في الأسلاك النحاسية.
- عدم إمكانية تداخل الإشارات المرسلة من خلال الألياف المتجاورة في الحبل الواحد مما يضمن وضوح الإشارة المرسلة 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



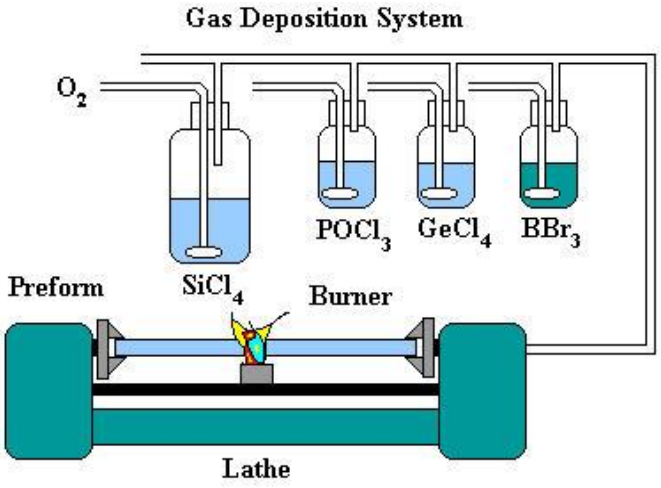
كما سبق و ذكرنا تصنع الألياف الضوئية من زجاج على درجة عالية من النقاء حيث وصفت إحدى الشركات ذلك بان قالت لو كان هناك محيط من الألياف الضوئية يصل للعديد من الأميال و نظرت من على سطحه للقاع يجب أن تراه بوضوح. وتتم صناعة الألياف الضوئية على النحو التالي:

1-عمل اسطوانة زجاجية غير مشكلة

2-سحب الألياف الضوئية من هذه الاسطوانة الزجاجية

3-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 كيماويات أخرى ثم تمرر الأبخرة المتصاعدة داخل أنبوب من الكوارتز موضوع في مخرطة خاصة عندما تدار يتحرك مجمر حول أنبوب الكوارتز حيث تتسبب الحرارة العالية في حدوث شيئين



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

(2) 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 2,200-1,900 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 و إمكانية توصيل الضوء تحت الماء

تطبيقات عملية على استخدامات الالياف 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

تطبيقات الليزر في المجالات المختلفة

في مجال الطب والجراحة

أصبح الليزر أداة طبية متزايدة الأهمية، بعد أن أصبحت المشارط الضوئية تستخدم في معالجة خلايا منفردة أو أعضاء كاملة،لقدرتها على الانتقاء الفائق ،أكثر من كونها مجرد أدوات تقطع أي شيء تصادفه،وتلك الخصوصية هي التي تسمح لأشعة الليزر بالنفاذ إلى داخل خلية ما،أو عضو معين،في حين يبقى ظاهرهما سليماً،وهو ما لا يستطيعه أي مشرط جراحي آخر.

وقد مكن التحسن الذي طرأ على دقة هذه الأدوات خلال العقود الأخيرة من تشعب استعمالات الليزر الطبية في أكثر من مجال،ففي البدء ،كانت الحرارة المتولدة من أشعة الليزر تستخدم لتخريب الأنسجة،أما الآن فعلى الرغم من أن التأثيرات الحرارية لا تزال هي الأكثر استعمالاً في الأغراض الطبية، فإن التأثيرات الأخرى،غير الحرارية، قد برهنت،أيضاً أنها ذات أهمية متزايدة في المعالجة والتشخيص ..فإضافة إلى تسخين الأنسجة،يمكن للفوتونات المنطلقة من أشعة الليزر أن تثير التفاعلات الكيماوية،أو أن تفصم الروابط الذرية التي تحفظ تماسك الذرات بعضها مع بعض،أو أن تولد موجات صدميةshock-waves. وتشمل التطبيقات الطبية الحيوية لأشعة الليزر أعمالاً كثيرة من هذا القبيل،كإزالة السدادات الشريانية ،وتفتيت الحصوات الكلوية،والتخلص من الغشاوة العينية Cataract، وحتى تغيير المادة الوراثية، وتستطيع أشعة

الليزر أن تمد العلماء بمعلومات عن العمليات التي تجري داخل الخلايا ،إذ يمكن للمعلومات البيولوجية،التي تتيحها مثل هذه الدراسات ،أن يكون لها تطبيقات طبية مهمة،وأهم الاستخداما

ت الطبية لأشعة الليزر هي:

المجهر الضوئي

في عام 1986صمم العالم الفيزيائي "آرثر أشكين" Arthur Ashkin" المجهر الضوئي لمعالجة الجسيمات الصغيرة ،إذ يمكن دمج المجهر الضوئي في المجهر التقليدي بإدخال ضوء الليزر إليه،وهكذا يمكن رؤية ومعالجة عينة موضوعة على صفيحة المجهر بتحريك حزمة الليزر،«انظر شكل المجهر الضوئي».وقد جذب هذا الاستخدام للمجهر الضوئي اهتمام البيولوجيين الذين وجدوا أنه يمكن معالجة البكتيريا الحية بواسطة هذا المجهر،دون إلحاق أي ضرر بها، وكان ذلك مدهشاً؛لأن شدة حزمة الليزر في بؤرة المجهر الضوئي تصل إلى نحو 10ملايين وات في السنتيمتر المربع.

المنظار الضوئي ذو الألياف البصرية

المنظار الضوئي Endoscope ذو الألياف البصرية عبارة عن أنبوب يسمح للطبيب بأن ينظر في داخل جسم المريض ،وهو لم يصبح ذو قيمة عملية إلا بعد تطوير الألياف البصرية التي صممت لنقل الضوء على طولها كلها ،حتى إذا انحنت،وهذا المنظار من المرونة والصغر بحيث أن الطبيب يستطيع أن يدخل واحداً منها عبر حنجرة المريض لكي ينظر في داخل معدته،أو في الشرج لكي يفحص الأمعاء ،ويستخدم الأطباء اليوم هذا المنظار بشكل روتيني لفحص الأعضاء الداخلية.

الجراحة العامة

استخدم مؤسسو جراحة الليزر الحزم الضوئية بسبب الحرارة الكثيفة التي تولدها،واليوم فإن أكثر جراحات الليزر يقوم على هذه الخاصية الحرارية بالدرجة الأولى،لما تتمتع به من صفات انتقائية في

تأثيراتها،ولسهولة التحكم فيها بدرجة كبيرة،فإذا توافق طول موجة أشعة الليزر بدقة مع حزمة الامتصاص للنسيج الحيوي الذي توجه إليه،فإن هذا النسيج يمتص الأشعة وينتج عن ذلك تخريبه بالكامل. وكمثال لذلك فإن أصباغ "الميلانين" Melanin، ذات اللون البني القاتم في شبكية العين،تمتص الأشعة الخضراء في ليزرالأرجون ،وبالتالي،فإن ليزر الأرجون يخرب مناطق محددة من الشبكية ،دون أن يسبب الضرر بالمناطق الأخرى في العين،والتي تمتص أشعة ذات أطوال موجية أخرى،ولهذا فإن هذه الطريقة تستخدم بشكل فعال في معالجة المرض الشبكي السكري Diabetic retinopathy، وهو مرض يؤدي إلى تحلل الأنسجة المصابة ،ويعد سبباً لنسبة كبيرة من حالات فقد البصر.

وفي ميدان الجراحة ،بصفة عامة،يستخدم مشرطاً خاصاً من أشعة الليزر يتيح للجراح إحداث قطع في الأنسجة دون نزيف دموي،إذ تقوم تلك الأشعة بإحكام إغلاق الأوعية القابلة للنزف عن طريق الكي في الوقت نفسه الذي يتم فيه قطع الأنسجة ، أي من أجل إجراء جراحة دون فقد الدم Bloodless-Srgery

وفي مجال علاج انسداد الشرايين،أصبح من الممكن إدخال قسطرة دقيقة من فتحة في الجلد إلى داخل الأوردة والشرايين،وتلك القسطرة عبارة عن ألياف زجاجية تحمل الأشعة المكثفة إلى مناطق الانسداد لإذابة الجلطات الدموية،وتوسيع بعض الشرايين الضيقة المتصلبة من الداخل فيعود الدم للسريان الطبيعي فيها.وأصبحت أحلام مؤلفي قصص الخيال العلمي حقيقة، ولم يعد من الضروري، كما ورد في بعض الروايات ،إجراء تصغير متناه لغواصة تحمل فريقاً من الأطباء كي تحقن مادة في وريد أحد المرضى لتسري هذه المادة مع الدم إلى شريان مسدود، فتذيب جلطة فيه ويستخدم ليزر ثاني أكسيد الكربون الذي يطلق ضوءاً ذا طاقة لافحة،والقادر على قص الأنسجة وسد الأوعية الدموية للإقلال من النزف،فقد استخدم هذا الليزر في الجراحة،مثلاً، لإزالة نمو السرطان،أو لكي الأنسجة السرطانية في الفم. ويقوم ليزر ثاني اكسيد الكربون بكي ورم غير طبيعي في أنسجة الرحم ناشىء عن مرض نسوي يسمى "التهاب بطانة الرحم" وجدير بالذكر أن ليزر أكسيد الكربون قد استخدم مؤخراً في جراحات الأعصاب، وأمراض النساء

والتوليد،وجراحة الأنف والأذن ، وجراحات التجميل التكميلية.

ويقوم ليزر الياج بكي ورم خبيث يسد الأمعاء ،وسد الأوعية الدموية التي تسبب نزيف المعدة وفي مرحلة التجارب أسلوب يستخدم أشعة الليزر لتحويل مركب ـ لا ضرر منه عادة ـ يسمى "هيموتبورفين" إلى مادة قاتلة للسرطان ،ويتجمع هذا المركب في الأنسجة السرطانية،وعندما يصطدم به الليزر الأحمر،يحدث تفاعل سمي يدمر خلايا السرطان،ويستخدم ليزر "الياج"،من النوع النبضي في مجال جراحة العيون،وبالذات حالات الانفصال الشبكي، ويستخدم النوع المستمر"CW" في مناظير الجهاز الهضمي والمسالك البولية.

1-الخراجات: بالرغم من التخدير الموضعي في الالتهابات الحادة والخراجات إلا أن المريض يشعر بالألم عند تفجير الخراج ولكن باستخدام دايود ليزري يقل هذا الشعور مع نتائج مبهرة ونزف اقل عن المعالجة التقليدية

2- استئصال الحصوات في الغدد اللعابية : حيث تؤدى هذه الحصوات إلى إغلاق مسار اللعاب وبالتالي تجمعه وحدوث ألم شديد وجفاف في الفم لذلك يجب استئصال الغدة أو الحصاة قبل أن تصاب الغدة بالتهاب مزمن حيث يحدث تغير مورفولوجى مرضى في نسجها فيمكن بواسطة الليزر تحرير النسج وكشف القناة واستئصال الحصاة دون وجود نزف يعيق الرؤيا وفائدة أخرى هنا هي عدم تشكل ندبة نتيجة خياطة القناة اللعابية مما يؤدى إلى تضيقها وانحباس اللعاب ثانية وذلك في الجراحة العادية

3- الجراحة قبل التعويض الصناعي (الطقم) : قد يكون هناك ناميات ليفية وأورام تسبب ألم ورض على الغشاء المخاطي فيمكن استئصالها دون أي أخطار جانبية أو نزف ولا نحتاج إلى إغلاق الجرح بل يتم شفاؤه ويتشكل غشاء مخاطي في فترة قصيرة لاحقة.

4- أورام النسج الرخوة : إن الأورام التي توثر بشكل كبير على الغشاء المخاطي للخد أو مجاورة لزاوية

الفم أو فوهة القناة النكفية تجعل من استئصالها أمرا صعبا بالطرق العادية نظرا للنزف الذي يحجب الرؤية أما بالليزر فيتم استئصالها بسهولة ودون حاجة لإغلاق كما يستأصل الأكياس اللعابية والطلاوة بشكل سطحي

5- في الجراحة التقويمية فيتم تحرير السن من النسج الرخوة المغطية له وجعل ساحة العمل نظيفة خالية من الدم والسوائل ليتمكن طبيب التقويم من عمله بلصق الحاصره التقويمية على السن ويتم ذلك باستخدام أشعة الليزر

6- زرع الأسنان : للعمل بساحة معقمة ورؤيا واضحة وخالية من الدم .

7- الجراحة اللثوية : معالجة الجيوب العميقة وتعقيم الجيب وسطح الجذر. وأكثر الأنواع استخداما هو ليزر ثاني أكسيد الكربون حيث يستخدم في تخثير الأوعية الدموية فيقل النزف أو ينعدم مما يخفض نسبة الالتهابات بعد العمل الجراحي وأثناءه وهذا ما يسعى إليه كل الباحثين والعلماء في كل مكان .

علاج العيون:

وفكرة استعمال الضوء في علاج العيون سبقت ظهور الليزر،ففي عام 1949م قام طبيب ألماني باستعمال الشمس في معالجة انفصال الشبكية،وفي إتلاف بعض الأورام في عيون عدد من مرضاه ،وفي عام 1961،بعد سنة واحدة فقط من تركيب "ميمان" أول جهاز ليزر،استعمل العالم الأمريكي "زاريت" ،من كلية الطب بجامعة نيويورك،الليزر لعلاج إصابات عينية لدى بعض الحيوانات وبعد ذلك بسنتين توالت التجارب على الإنسان،عندما بدأ الطبيب الأمريكي "زوينك" من مؤسسة "بالو التو" للأبحاث الطبية بكاليفورنيا، في معالجة أمراض الشبكية بين مرضاه. وهكذا أصبحت أشعة الليزر وسيلة معتمدة من وسائل إجراء الجراحات العينية الروتينية. وفي طب العيون يستخدم الضوء الأزرق لليزر غاز الأرجون لسد ثقب في الشبكية أو لعلاج

زرقة العين المعروفة بالجلوكوما،التي قد تسبب العمى،ويتم ذلك بإحداث ثقب يسمح بخروج السوائل الزائدة،أو قد يستخدم لإنقاذ بصر شخص مصاب بمرض الشبكية الناتج عن السكري بتدمير الأوعية الدموية غير الطبيعية التي يسببها هذا المرض،فمن المعروف أن مرض السكري يؤثر على شبكية العين وشعيراتها الدموية الدقيقة فتصبح الشبكية قابلة للنزف والانفصال عن مهدها في قاع العين،وتصبح العين مهددة بالعمى وبإطلاق شعاع الليزر بدقة، وبجرعات محسوبة في مناطق محددة من الشبكية ،فإنه يحدث بها نوع من الكي phatocagulationالذي يوقف النزيف، ويمنع تشعب الشعيرات الدقيقة غير المرغوب فيها،ويحدث قدراً من التليف المحدود،يؤدي إلى تثبيت الشبكية في مكانها ،فلا تنفصل عنه. وفي مجال علاج قصر النظر،حيث تتجمع الأشعة الضوئية الساقطة على العين في بؤرة أمام الشبكية بعيداً عنها،مما يؤدي إلى قلة وضوح الرؤية،إلا مع استخدام عدسات خاصة تجمع الأشعة في بؤرة على الشبكية،أمكن استخدام أشعة الليزر من أجل تقليل سمك قرنية العين الشفافة بواسطة إزالة بعض الأنسجة الزائدة من سطحها ،فتقل قدرة العين على إحداث انكسار في الضوء ،وتتجمع الأشعة الضوئية على الشبكية،دون الحاجة إلى استخدام النظارة.

استخدام الليزر في علاج العيوب الانكسارية

Treatment of Refractive Errors

تعمل العين مثل الكاميرا لتكوين صورة واضحة يمكن للدماغ ترجمتها إلى أشياء مفهومة. ولفهم الطريقة التي تتم بها الرؤية سيتم توضيح الخطوات المتعلقة بتكون الصورة داخل العين كما يلي :

يدخل الضوء إلى العين عبر القرنية وهي الجزء الأمامي الشفاف في مقدمة العين. ثم يعبر الضوء من خلال القرنية إلى داخل العين عبر البؤبؤ، وهو الفتحة المتواجدة في منتصف القزحية داخل العين، والقزحية هي الجزء الملون من مقدمة العين وتتحكم القزحية في حجم البؤبؤ في العين. في المرحلة التالية يعبر الضوء من خلال العدسة الهلامية الموجودة داخل العين، والعدسة في الحالات الطبيعية شفافة وتقوم بتغيير تحدبها

بحسب بعد الأجسام عن العين لتتكون صورة واضحة على الشبكية.

طرق علاج العيوب الانكسارية

يمر الضوء عبر السائل الزجاجي الذي يملأ كرة العين والمسؤول عن إعطاء العين الشكل الكروي. يصل الضوء المركز إلى الغشاء الداخلي من العين وهو الشبكية، والشبكية جزء حساس يحتوي على صبغيات حساسة للضوء كما هو الحال في فيلم الكاميرا حيث تتكون الصورة بشكل مقلوب بسبب عمل العدسة الهلامية .يتم إرسال الصورة المتكونة على سطح الشبكية للدماغ لترجمتها إلى رؤية للأشياء بصورة معدلة عبر العصب البصري.

<u>أنواع العيوب الانكسارية :</u>

-قصر النظر :(Myopia)هو الأكثر شيوعا، وفي حالة قصر النظر يكون الشخص غير قادر على رؤية الأشياء البعيدة. وقد يكون شكل العين التشريحي أطول من الحد الطبيعي للعين الطبيعية، المعدل الطبيعي (22-23 ملليمترا) وبالتالي تتكون الصورة في المنطقة المتواجدة أمام الشبكية، وليس على سطح الشبكية كما هو الوضع في العين غير المصابة بالعيوب الانكسارية .

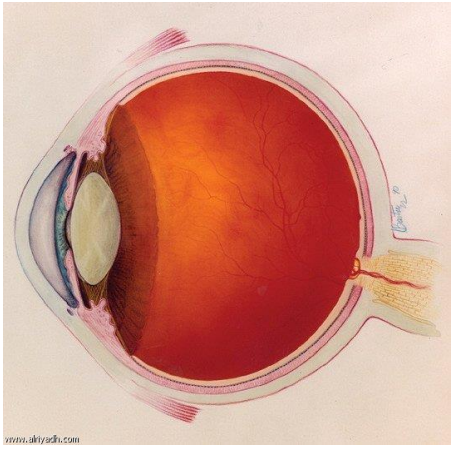
الانكسار داخل العين عند وجود قصر النظر يتم تعديل الانكسار بالنظارة أو العدسة لكي تتجمع الأشعة على الشبكية

-طول النظر :(Hyperopia)هو عدم القدرة على رؤية الأشياء القريبة، والعين في هذه الحالة قد تكون

أقصر من الحد الطبيعي، وتتكون الصورة في المنطقة المتواجدة خلف الشبكية، وتكون الصورة الساقطة على سطح الشبكية غير واضحة. وفي هذه الحالة تعتبر قوة العين على كسر الضوء ضعيفة .الانكسار داخل العين عند وجود طول النظر يتم تعديل الانكسار بالنظارة أو العدسة لكي تتجمع الأشعة على الشبكية

-(اللابؤرية) الاستجماتيزم :(Astigmatism) (هو خلل في انتظام تحدب القرنية وبالتالي تكون بعض الأشياء واضحة والأخرى غير واضحة في نفس البعد. ومثال ذلك عدم قدرة المصاب باللابؤرية على التفريق بين بعض الأرقام وتكون هنالك صعوبة في رؤية الأعمدة الكهربائية بينما تكون ارصفة الشوارع أو الأسلاك الممتدة بين الأعمدة واضحة أو العكس .

-طول النظر المصاحب لتقدم العمر :(Presbyopia) يعاني الشخص من صعوبة القراءة وممارسة الأعمال اليدوية القريبة، وذلك بالتدريج من بلوغ سن الأربعين فما فوق، وذلك ليس مرضا وإنما هو تغيير فسيولوجي عضوي في العدسة، ينتج عن فقدان العدسة الهلامية الداخلية للعين القدرة على تغيير تحدبها عند النظر للأشياء القريبة كما في السابق وبالتالي تتكون الصورة على المنطقة الخلفية من الشبكية، ويلاحظ الفرد أن النظر يكون افضل عند إبعاد الكتاب عن العين عند القراءة .



صورة للعين الطبيعية

طرق علاج العيوب الانكسارية :

النظارات الطبية هي الطريقة المثالية لعلاج العيوب الانكسارية، لتوضيح الرؤية وكذلك استعمال العدسات

اللاصقة أو استخدام الليزر أو الليزك في تصحيح العيوب الانكسارية .

تعتبر العدسة الزجاجية المكبرة والنظارة الطبية أقدم أداة استخدمت للمساعدة على توضيح الرؤية في العين المصابة بالعيوب الانكسارية، وهي ليست طريقة علاج وقتي يتم الاستغناء عنها بعد فترة ولكن يتم استخدامها لتوضيح صورة الأشياء المرئية. ويمكن استخدام أشكال أخرى لعلاج العيوب الانكساريةمثل العدسات اللاصقة او استخدام الليز.رعلاج قصر النظر :

النظارات الطبية أو العدسات اللاصقة تعمل على تصحيح الرؤية عبر تصحيح البعد البؤري للصورة المتكونة على سطح الشبكية لتكون أكثر وضوحا. ونوع العدسات يكون مقعرا ليسمح بالتقليل من قوة العين على كسر الضوء وتتكون الصورة الواضحة على سطح الشبكية تماما وليس أمامها. وقد يستخدم التدخل الجراحي لتصحيح قصر النظر عبر تغيير تحدب القرنية لتكون مسطحة أكثر وبالتالي يتم تركيز الصورة على سطح الشبكية .

علاج طول النظر :

تصحح النظارات الطبية أو العدسات اللاصقة الرؤية لدى من يعانون من طول النظر عبر زيادة قدرة العين على كسر الضوء وبالتالي تتكون الصورة على سطح الشبكية. أما العدسات المستخدمة فهي العدسات المحدبة، أو عبر العلاج بالليز لتغيير سطح القرنية إلى الدائري.

علاج اللابؤرية :

تكون العدسات المستخدمة في هذه الحالة من النوع الاسطواني، ويتم تصحيح النظر على محور معين من العين لتعديل اللابؤرية. ويجب التأكد من ان محور التصحيح دقيق حتى لا يؤدي هذا الخلل إلى صداع مصاحب لاستخدام النظارة الطبية أو العدسة اللاصقة وفي بعض الحالات الشديدة من اللابؤرية (مثل القرنية المخروطية) لا يمكن استخدام النظارة الطبية، ويكون العلاج الوحيد هو استخدام العدسات اللاصقة الصلبة. كما أن العدسات اللاصقة تعتبر الحل الأمثل للأفراد المصابين بعيوب انكسارية في العينين مع وجود اختلاف

في درجة العيب الانكساري بين العينين بما يعادل أكثرمن 3 درجات.

مميزات الطرق المختلفة لعلاج اللعيوب الانكسارية :

1. النظارة الطبية: من أسهل الوسائل وأقلها مضاعفات. وهي من اقل الطرق تكلفة مع سهولة استعمالها وعدم وجود مضاعفات من استعمالها وليست بحاجة إلى عناية خاصة. ومن سلبيات النظارة المستخدمة في تعديل طول النظر تكبير الأجسام، والنظارة المستخدمة لقصر النظر تصغير الأشياء .
2. العدسات اللاصقة: وهي نوعان الصلبة واللينة .وتستخدم العدسات اللاصقة لعلاج جميع العيوب الانكسارية وحالات القرنية المخروطية والاختلاف في درجة العيوب الانكسارية بين العينين وذلك لعدم قيام العدسة اللاصقة بتكبير أو تصغير أحجام الأجسام المرئية .

والعدسة اللاصقة بحاجة إلى عناية فائقة من النظافة، والقدرة على استعمالها داخل العين، والترطيب المستمر .وقد يؤدي الاستخدام الخاطئ للعدسات اللاصقة إلى مضاعفات شديدة في العين - لا قدر الله - تؤثر على البصر، مثل الخدوش والتقرحات البكتيرية والفطرية على سطح القرنية. وتعتبر العناية الصحيحة بتنظيف العدسات هي أهم الخطوات اللازمة للوقاية من حدوث التهابات القرنية .

3. الليزر والليزك وعلاج العيوب الانكسارية: تستخدم الحزمات الضوئية فوق البنفسجية لتبخير الانسجة المسلط عليها تلك الحزمات الضوئية، والجزء من القرنية الذي تتم إزالته قد يكون سطح القرنية كما هو الحال في تشطيب القرنية (بالليزر)، أو قد يكون في الوسط داخل أنسجة القرنية بعد رفع الطبقة الخارجية من القرنية كما هو الحال في عملية (الليزك). والعلاج يكون بتغيير وإعادة تشكيل سطح القرنية في المنطقة الوسطى من القرنية بقطر يبلغ من 5 – 7 ملليمترات وعند التئام الخلايا يتم تغيير تحدب القرنية وبالتالي يتم تصحيح قصر النظر. ويتم العلاج بالليزر من خلال جهاز مرتبط بكمبيوتر لحساب السماكة الواجب علاجها لتصحيح مختلف درجات قصر النظر. يكون علاج

طول النظر عبر تغيير وإعادة تشكيل سطح القرنية في المنطقة الطرفية مما يؤدي إلى زيادة تحدب القرنية في وسطها وبذلك تتكون الصورة على سطح الشبكية بدلا من خلفها. يتم العلاج بالليزر تحت تخدير موضعي، ويستغرق العلاج دقائق معدودة ويتم استخدام قطرات خاصة لمنع حدوث اللاتهابات بالعين بعد العلاج .

ماذا يحدث بعد العلاج بالليزر :

-في حالة استخدام تشطيب القرنية السطحي لتصحيح العيوب الانكسارية قد يعاني الفرد من بعض الآلام بعد تبخير أنسجة القرنية السطحية لمدة يومين أو ثلاثة، كما أن النظر لا يتم تصحيحه بصورة كاملة إلا بعد أسبوعين من العملية على الأقل ويتم استخدام عدسات لاصقة علاجية لمدة يومين إلى أربعة أيام أحيانا حتى يتم التئام الخلايا السطحية

- يكون نجاح العملية وتحسن الرؤية بدون العدسات اللاصقة أو النظارات الطبية بنسبة من 85 – 95% لتصل حدة البصر 20/20) أو 6/6) من العدد الكلي للحالات، وذلك لعدم القدرة على التنبؤ بمقدار الاستجابة لليزر من فرد إلى آخر او عدم دقة الأجهزة المستخدمة أحيانا خصوصا إذا لم تتم صيانة تلك الأجهزة بشكل دوري .

-التهابات القرنية البكتيرية في موقع العلاج أو الالتهابات غير البكتيرية المصاحبة لاستخدام الليزر وهي نادرة الحدوث إذا استخدمت القطرات المكافحة لالتهابات قبل وبعد إجراء العملية .

-السحابات المتكونة على سطح القرنية والتي تؤدي إلى عدم تحسن النظر إلى 20/20 حتى مع استخدام النظارة، وقد تتكون السحابة بعد تشطيب القرنية بالليزر أكثر من عمليات الليزك خصوصا إذا كانت درجة التصحيح كبيرة أكثر من (4-) ويمكن منع تكون السحابات باستخدام قطرات معينة أثناء العملية أو بعدها وكذلك باستخدام عقار المايتومايسين أثناء العملية .

-إضعاف خلايا القرنية الداخلية بسبب إزالة أنسجة القرنية خصوصا في عمليات مما قد يؤدي إلى حدوث

تحدب مرضي شديد في المنطقة الضعيفة وعدم تحسن الرؤية خصوصا إذا كانت درجة الانكسار عالية ويمكن تجنب حدوث هذه المضاعفات بدراسة الحالة قبل العملية واستبدال عمليات الليزك بعمليات الليزر ونحوها من العمليات السطحية للقرنية أو إجراء عمليات أخرى مثل زراعة العدسات داخل العين او الإبقاء على النظارات أو العدسات اللاصقة .

-تصحيح درجة طول النظر أو قصره أكثر من اللازم، أو أقل من اللازم مما يستدعي استخدام النظارة الطبية أو إعادة العلاج بالليزر خصوصا إذا كانت الأجهزة المستخدمة غير دقيقة وغير محدثة .

-إجراء عملية التعديل في سطح القرنية في منطقة غير وسطية مما يؤدي إلى تكون الإشعاعات المحيطة بالضوء لدى الشخص المعالج مما قد يؤدي إلى ازدواجية الرؤية خصوصا ليلا .

-جفاف العين وعدم انتظام الطبقة الدمعية بنسبة تتراوح بين 5 – 28% من الحالات بحسب وضع الشخص قبل العلاج بالليزر في الأفراد الذين يعانون من قلة الطبقة الدمعية وقد يستمر الجفاف لمدة 6 أشهر أو أطول من ذلك، ويكون الفرد بحاجة إلى قطرات ومراهم مرطبة للعين بصورة منتظمة خلال تلك الفترة .

-صعوبة الرؤية الليلية وظهور الهالات حول الأضواء، وتحديدا أضواء السيارات، مما قد يسبب تشويش الرؤية لدى البعض وقد يستمر الوضع لعدة أشهر من العملية وفي الغالب تختفي الهالات تدرجيا ويمكن تقليل حصول تلك الهالات بإشعال نور خافت في منطقة الطبلون داخل السيارة عند القيادة ليلا .

-الحاجة إلى استخدام نظارة للقراءة وبالأخص في حالة علاج قصر وطول النظر لدى من تجاوزت أعمارهم الأربعين

والخلاصة :

إن أهم أسباب نجاح عمليات الليزر والليزك هو صلاحية العملية للشخص من واقع الكشوف الطبية والتشخيصية السابقة للعملية والتي تحتاج إلى أن تجرى من قبل الأطباء المختصين في أمراض القرنية والجزء الأمامي من العين فقط، والذين يملكون الخبرة والمهارة اللازمة لنجاح هذا النوع من العمليات.

جراحة الليزر لمياه العين

مياه العين (الجلوآوما) مرض في العين غالبا ما يعرف الناس القليل عنه وهو نتيجة ضغط متزايد ناجم عن تراكم السوائل، فإنه يؤدي إلى فقد البصر .وتركه دون علاج، يمكن أن يؤدي إلى العمى وهناك الآن وسيلة أفضل لعلاج الجلوآوما عوضا عن الأدوية وإن الطريقة المعروفه لعلاج الجلوكوما هي استخدام قطرات العين الموضعية. حيث بعض القطرات تساعد على إبطاء عملية إنتاج السوائل، وبعضها يزيد من تصريف السوائل .ولكن المرضى الذين يستخدمون ثلاثة أو أربعة أدوية للتحكم في حالة الجلوكوما خاصتهم لديهم مشاكل في تنسيق استخدامها".

ولذلك يحث الاطباء المرضى على أخذ جراحة الليزر المكتبية بعين الاعتبار لتقليل الضغط الناجم عن الجلوكوما .الاسم التقني لهذه الجراحة هو جراحة تجميل الحويجزة الانتقائية بالليزر أو ما وتستهدف العملية فقط خلايا محددة في العين – هي تلك الخلايا ذات "SLT". يعرف اختصارا ب الميلانين الصبغي – بحيث تظل الأنسجة المحيطة سليمة.

الفوائد التالية لأولئك الذين يعانون SLT تمنح عملية من الجلوآوما:

- **التقليل من أو إزالة الحاجة إلى تعاطي أدوية علاج الجلوآوما أو قطرات العين.**
- **عدم وجود أعراض جانبية آما للأدوية.**
- **التصريف الأسرع للسوائل لتقليل الضغط على العين**
- **العملية غير مؤلمة وذات نتائج دائمة.**

علاج الأمراض الجلدية:

وفي طب الأمراض الجلدية ،يستخدم ليزر الأرجون لإزالة البقع التي تسببها زيادة نمو الأوعية الدموية الموجودة في الجلد،وتمتص الوحمات الحمراء «الصباغية»، التي يطلق عليها port wine stain،

أيضاً ،أشعة ليزر الأرجون الزرقاء أو الخضراء ،حسب أطوال موجاتها،فتخرب الأشعة الممتصة مئات الأوعية الدموية الزائدة،والمتركزة تحت الطبقة الخارجية للجلد مباشرة،إذ تزيل لونها.

استخدامات الليزر في جراحات التجميل

فتحت استخدامات الليزر المتعددة مجالا واسعا للقضاء على الكثير من المشكلات الطبية و التجميلية و التي كانت تؤرق المرضى وكذلك الأطباء حيث أن العديد من تلك المشكلات كانت تستغرق وقتا طويلا فى العلاج أو كانت لا علاج لها. فاستخدامات الليزر في التجميل ربما تعتبر من الاستخدامات الحديثة إلا أن مجالاتها قد تعددت و شهدت توسعا كبيرا فى فترة قصيرة.

من الأستخدامات الحديثة لليزر و خاصة ليزر الياقوت (Ruby laser) أو ليزر الألكسندريت (Alexandrite laser) هو إزالة الشعر الزائد الغير مرغوب فيه و يعتبر الليزر هو الطريقة الوحيدة التى تقضى على بصيلات الشعر دون إحداث أي مشاكل بالجلد و دون ألم أو تدخل جراحي أو هرموني حيث يعمل الليزر بواسطة نبضات حمراء سريعة تؤدى إلى تدمير بصيلات الشعر الزائد و دون تأثير على خلايا الجلد المحيطة و كذلك دون تأثير على الجسم عامة على القصير أو البعيد. ولا تحتاج جلسة ليزر الياقوت لأكثر من عشر دقائق لإزالة شعر الوجه أما بالنسبة لبقية أجزاء الجسم فتأخذ وقتا أطول نسبيا. ويقضى الليزر على كل بصيلات الشعر التي في طور النمو الكامل ولا يؤثر على البصيلات التي في مراحل النمو الأخرى لذلك تحتاج المريضة الى 3- 6 جلسات ليتم يتم القضاء على 85-90% من بصيلات الشعر وبالتالي عدم ظهوره مرة أخرى.

يعتبر الليزر أيضا من أهم و أفضل وسائل صنفرة الجلد و لذلك يستخدم في إزالة أثار الجروح و العمليات الجراحية و علاج أثار حب الشباب و شد تجاعيد الوجه السطحية بدون جراحة.أما بالنسبة للتجاعيد فليس لليزر دور فيها. و هناك أنواع متعددة من الليزر متعددة تستخدم لإحداث صنفرة بالجلد ، من أشهر هذه الأنواع الليزر الكربوني(laser Co_2) و ليزر الأربيوم (Erb-YAG) حيث يؤدى الليزر إلى إزالة طبقات

من الجلد وفقا لما يراه الطبيب و حسب كل حالة. يحدث بعد ذلك التئام تام فى خلال 7-10 أيام يكون بعدها لون الجلد مائلا للحمرة و تختلف فترة احمرار الجلد على حسب نوع الليزر المستخدم و كذلك نوع البشرة. فمع الليزر الكربوني تكون فترة احمرار الجلد قصيرة (حوالي أسبوعين) يبدأ بعدها الجلد في الاسمرار إلى درجة زائدة قليلا عن درجة الجلد الطبيعية و تختلف درجة و زمن اسمرار الجلد على حسب لون البشرة الأصلي فأصحاب البشرة الداكنة يكونون عرضة لتغيرات اللون عن أصحاب البشرة البيضاء. أما بالنسبة ليزر الأربيوم فلا يكون هناك اسمرار وتستمر البشرة حمراء. وتستمر هذه التغيرات لمدة 2-3 شهور ثم تنتهي بعد ذلك ويعود الجلد إلى لونه الطبيعي و تطهر النتائج المذهلة لليزر.

قد تم أخيرا استحداث نوع جديد من الليزر المركب من الأنواع الليزر الكربوني مع ليزر الأربيوم و يؤدى ذلك إلى تقليل زمن و نسبة احمرار و اسمرار الجلد و لكن نظرا لغلو ثمن الجهاز فلم يستخدم بعد على نطاق واسع.

من الاستخدامات المستحدثة لليزر في مجالات التجميل أيضا تجميل و شد جفون العين و يستخدم فيها أما الليزر الكربوني أو ليزر النيوديميوم (Nd- YAG) و يعمل الليزر في هذه الحالات على تقليل نسبة الدم الفاقد و كذلك الكدمات التي تظهر تحت العين نتيجة إجراء العملية بالطريقة التقليدية مما يؤدى الى سرعة الشفاء و تستطيع المريضة ممارسة حياتها العادية بأيام قليلة.

يستخدم الليزر أيضا بديل للمشرط الجراحي حيث يؤدى إلى تقليل نسبة الدم الفاقد بنسبة تتجاوز 50-60% . و يستخدم الليزر كذلك كبديل للخيوط الجراحية سواء للجلد أو الأعصاب أو الأوعية الدموية مما يؤدى إلى سرعة التئام الجروح.

يعتبر الليزر من أهم وسائل إزالة البقع الجلدية والوحمات البنية الملونة و البقع الشمسية حيث أنه يقضى على الخلايا الملونة بدون ألم و بالتالي بدون أي تخدير سواء كلى أو موضعي و على جلسات تتراوح من 6-10 في المتوسط و تتراوح المدة بين الجلسة و الأخرى من شهر إلى شهرين.

أما بالنسبة إلى الوحمات الدموية الخلقية أو المصاحبة لدوالي الساقين فيستخدم نوع أخر من الليزر يعمل على الأوعية الدموية دون أي تأثير على الأنسجة الأخرى المحيطة مما يسهل القضاء على تلك الأوعية المتمددة بالتالي القضاء على الوحمة الدموية.

المرجع

1- كتاب الليزر وتطبيقاته د/ سعود بن حميد اللحياني المملكة العربية السعودية
2- محاضرات وكتاب أساسيات الليزر لطلاب الكليات العلمية والهندسية. ا .د/ نجم الحصيني جامعة الجوف – المملكة العربية السعودية
3- محاضرات وكتاب الليزر. ا .د/ حازم سكيك جامعة الازهر – غزة – فلسطين
4- فيزياء الليزر إعداد د/ علاء حسن جامعة جنوب الوادي - كلية العلوم - قسم الفيزياء
5- الليزرات: مبادىء و تطبيقات د/ محمد الصالحي – عبد الله الضويان المملكة العربية السعودية
6- أساسيات الليزر عدي حمادي
7- بعض المواقع على شبكة الانترنت

References

1- An Introduction to Laser Technology and Its Applications, SCIENCE resource Guide United States Academic Decathlon 2018®

2- https://www.anits.edu.in/online_tutorials/ENGINEERING-PHYSICS/UNIT-IV.pdf

3- https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-

resource/primer/java/lasers/stimulatedemission/

4- http://230nsc1.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/lasapp.html#c1

https://www.hazemsakeek.net -5

Title: "**The laser guidebook"** / Jeff Hecht. Publisher: New York : McGraw-Hill, 1986.

Description: x, 380 p. : ill. ; 24 cm.

Title: "**Optics and lasers : including fibers and optical waveguides"** / Matt Young.

Publisher: Berlin ; New York : Springer-Verlag, 1992.

Description: 4th rev. ed. xv, 343 p. : ill. ; 25 cm.