البحث 2

الليزر وتطبيقاتها الطبية
Laser and their medical applications

2. 1. مقدمة:

الليزر هو مصدر لتوليد الضوء المرئي وغير المرئي والذي يتميز بمواصفات مميزة لا توجد في الضوء الذي تصدره بقية مصادر الضوء الطبيعية والصناعية. وكلمة ليزر(Laser)هي اختصار للأحرف الأولى لكلمات الجملة الإنجليزية:

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) والتي تعني (**تضخيم الضوء بالانبعاث المحثوث للإشعاع**). 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 بملايين المرات عن شدة الضوء الصادر عن الشمس أو المصابيح الكهربائية. أما الخاصية الثانية فهي 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.

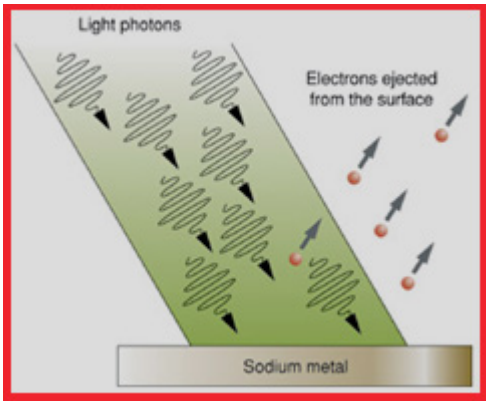
ويعتبر اختراع الليزر من أكثر الاختراعات إثارة في هذا العصر حيث لم يكن يخطر على بالـ أحد أن هذا المصدر الضوئي البسيط سيفتح أبواباً لا حصر لها من التطبيقات ذات الأهمية البالغة في حياة البشر. فلقد تساءل العلماء فيما بينهم بعد تصنيع أول ليزر في عام 1960 عن ما ستكون التطبيقات لهذا الجهاز العجيب حيث أن الدافع 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 بديلا عن الموجات الراديوية كحامل للمعلومات وذلك لقدرته على حمل كمية معلومات تفوق بآلاف المرات قدرة أعلى الحاملات الراديوية وذلك بسبب ارتفاع ترددات ضوء الليزر. وأما مهندسو الميكانيك فقد بدأت الأحلام 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.

2. 2. تاريخ تطور الليزر:

لقد تمكن الفيزيائي الفذألبرت إينشتاين (**Albert Einstein**) في عام 1917 من وضع الأسس النظرية التي يقوم عليها عمل الليزر وذلك في أبحاثه حول الظاهرة الكهروضوئية (**photoelectric**).

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



وبقيت هذه الظاهرة لغزاً يحير العلماء إلى أن تمكن إينشتاين في عام 1905 من حل هذا اللغز بعد أن أثبت أن الضوء ذي طبيعة موجية وجسيمية وذلك على العكس من الإعتقاد السائد حينئذ وهو أن الضوء ذي طبيعة موجية فقط. وقد أثبت إينشتاين أن الضوء وكذلك بقية أنواع الإشعاعات الكهرومغناطيسية ليست سيلا متصلا من الطاقة بل تتكون من وحدات صغيرة يحمل كل منها كمية محددة من الطاقة أطلق عليها إسم الفوتونات (**photons**). وتتناسب كمية الطاقة التي يحملها الفوتون الواحد من الضوء طردياً مع تردد الضوء أما ثابت التناسب فهو رقم فيزيائي ثابت لا يتغير أبداً على كامل مدى الطيف الكهرومغناطيسي وقد أطلق عليه إسم ثابت بلانك (**Planck's constant**) نسبة إلى الفيزيائي الألماني الشهير ماكس بلانك (**Max Planck**) الذي وضع أسس نظرية الكم (**quantum theory**). ولقد ساعد هذا الإكتشاف إلى جانب تفسيره لهذه الظاهرة على وضع نماذج صحيحة لتركيب الذرة وتبين أنها تتكون من إلكترونات تدور في مدارات محددة حول النواة وأن الإلكترونات لا تنتقل من مدار منخفض الطاقة إلى آخر بطاقة أعلى إلا من خلال تسليط إشعاعات كهرومغناطيسية عليها وبحيث تكون طاقة فوتون الإشعاع أعلى من فرق الطاقة بين المدارين. أما عند هبوط إلكترون من مدار عالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة فإن فرق الطاقة ينبعث على شكل إشعاع بحيث تكون طاقة الفوتون مساوية تماما لفرق الطاقة بين المدارين. ولقد قام إينشتاين بدراسة التفاعلات بين الإشعاعات الكهرومغناطيسية وذرات المادة وتمكن من وضع المعادلات التي تحكم هذه التفاعلات والتي سميت فيما بعد باسمه وقد تنبأ من خلال هذه المعادلات بوجود ما يسمى بظاهرة الإصدار (الانبعاث) المحثوث (**Stimulated Emission**) والتي يقوم عليها عمل الليزر. ولقد حاول العلماء جاهدين للحصول على الإصدار (الانبعاث) المحثوث إلا أن جهودهم باءت بالفشل ووصل اليأس ببعضهم إلى إنكار وجود مثل هذه الظاهرة الضوئية. وفي عام 1947 تمكن الفيزيائي الأمريكي وليس لامب (**Willis Lamb**) عمليا من إثبات وجود ظاهرة الإصدار (الانبعاث) المحثوث. وفي عام 1954 تمكن الفيزيائي الأمريكي تشارلز تاون (**Charles H. Townes**) من الحصول على الإصدار (الانبعاث) المحثوث في نطاق الأمواج الدقيقة (**microwave**) وأطلق اسم الميزر (**Maser**) على هذا الجهاز وهو مختصر للجملة الإنكليزية (**Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation**). وبهذا الإنجاز تجددت آمال العلماء للحصول على الإصدار (الانبعاث) المحثوث في النطاق الضوئي المرئي أو غير المرئي ومن ثم تصنيع الليزر. وفي عام 1955 اقترح الفيزيائيان الروسيان بروكوروف وباسوف (**Prokhorov and Basov**) إستخدام الضخ الضوئي (**optical pumping**) للحصول على ما يسمى التوزيع المقلوب للإلكترونات وهو أحد شروط عمل الليزر كما سنبين ذلك لاحقاً. وفي عام 1960 تمكن الفيزيائي الأمريكي ثيودور ميمان (**Theodore Maiman**) من تصنيع أول ليزر في نطاق الضوء المرئي وهو يتكون من قضيب اسطواني من الياقوت النقي تم صقل جانبيه بدقة متناهية وقد تم لف قضيب الياقوت بمصباح كهربائي مكون من أنبوب زجاجي مملوء بغاز الاكزينون. وعند تشغيل المصباح الكهربائي عمل الضوء الصادر عنه على إثارة ذرات الكروميوم الموجودة في الياقوت فقامت بإشعاع ضوء أحمر صافي خرج على شكل نبضات من أحد جانبي قضيب الياقوت. وفي عام 1960 تمكن الفيزيائي الإيراني علي جافان (**Ali Javan**) والأمريكي وليم بنت (**William Bennett**) من تصنيع ليزر باستخدام غازي الهيليوم والنيون وكان يعطي إشعاعاً مستمراً وليس نبضياً كما هو الحال في ليزر الياقوت. وفي عام 1962 تمكن المهندس الأمريكي روبرت هول (**Robert Hall**) من تصنيع ليزر أشباه الموصلات (**Semiconductor laser**) الذي يتميز بصغر حجمه. وفي عام 1964 تم تصنيع ليزر ثاني أكسيد الكربون والذي يتميز بقدرة إشعاعه العالية.

2. 3. شروط حدوث الإشعاع المحثوث (الليزر):

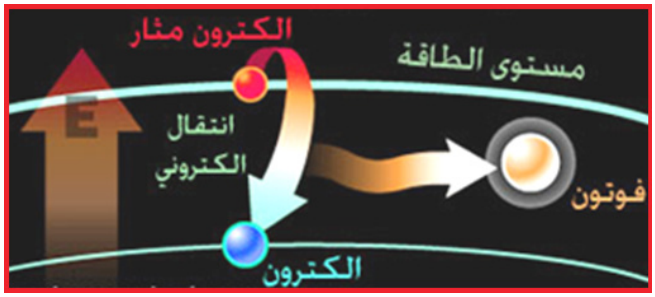
أن تثار ذرات المادة لسويات طاقة عالية وبأعداد هائلة ويتم ذلك بتطبيق طاقة إثارة مناسبة عليها.

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 لإطلاق الفوتونات المتماسكة حال حدوث اصطدامات مع فوتونات سريعة تعبر المادة.
وهكذا يقصد بالإصدار المحثوث الليزري هو أن نضبط ونروض بلايين المحركات الانفجارية الصغيرة في المادة الفعالة وهي الالكترونات بأن تمتص الطاقة الواردة إفرادياً ونجعلها تحرر تلك الطاقة دفعة واحدة بشكل فوتونات متماسكة.

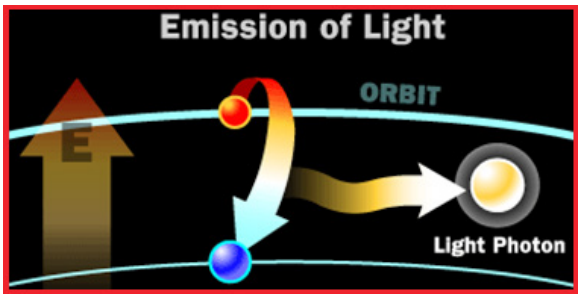
2. 4. مبدأ عمل الليزر:

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:
أ – **الإمتصاص (Absorption):** وفيها تقوم ذرات المادة بامتصاص فوتونات الإشعاع المسلط عليها وتعمل طاقة الإشعاع الممتص على رفع الإلكترونات من مدارات منخفضة الطاقة إلى مدارات عالية الطاقة وتصبح الذرات في حالة الإثارة **(excited state)**. ولا يتم إمتصاص الفوتونات من قبل المادة إلا إذا كانت طاقتها تزيد عن فرق الطاقة بين مدارات الإلكترونات لذرات تلك المادة ولذا تكون المواد شفافة لجميع الإشعاعات التي تقل ترددتها عن قيم محددة تتحدد من التركيب الذري لتلك المواد كما هو الحال مع الزجاج.

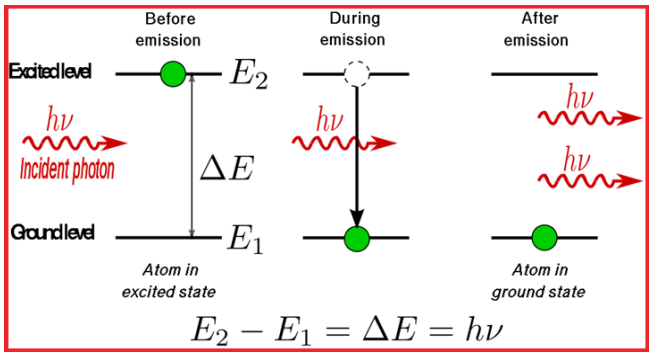
ب - **الإنبعاث التلقائي (Spontaneous Emission):** وفيها تقوم الذرات المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من المدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة. إن الإشعاع التلقائي الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاعاً غير مترابط **(Noncoherent radiation)** وذلك لأن الإلكترونات تنزل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



ج - الانبعاث المحثوث (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 المحثوث الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاع مترابط **(Coherent)** وذلك لأن الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن نزول الإلكترونات لها تردد **(Frequency)** وطور **(Phase)** يساويان تماما تردد وطور الأمواج التي قامت بحث الإلكترونات على الإشعاع ولذلك فإن هذا الإشعاع له تردد واحد من الناحية النظرية. ويمكن حساب تردد الإشعاع المنبعث من المادة من خلال تقسيم فرق الطاقة بين المدارين الذي انتقل بينهما الإلكترون بثابت بلانك.

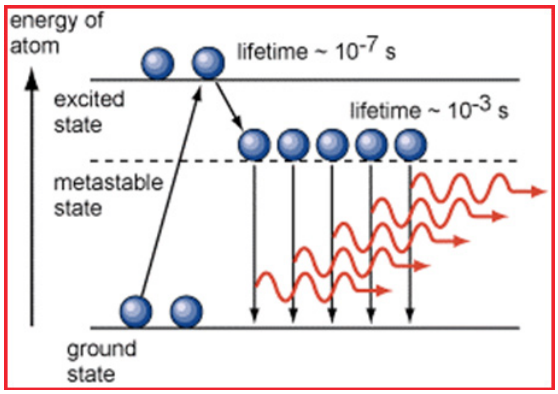


يمكن إيجاز مراحل هذه الظاهرة بالشكل التالي:

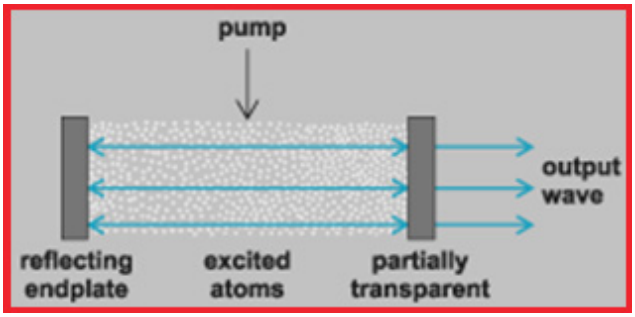


إن المبدأ الرئيسي الذي يقوم عليه عمل الليزر هو ظاهرة الانبعاث المحثوث التي شرحناها آنفا وهناك شروط ثلاثة أساسية لكي يولد الليزر ضوءاً مترابطاً من خلال هذه الظاهرة.
الشرط الأول فهو توفر ما يسمى بالتوزيع الإسكاني المقلوب **(Population inversion)** للإلكترونات

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 المحثوث وهي توازي ما تنبأ به آينشتاين. فلو كان لدينا N ذرة ذات مستويين للطاقة N_1 و E_1 في الحالة الأساسية و N_2 و E_2 في الحالة المثارة. والإصدار المحثوث يتناسب مع عدد الذرات في المستوى العلوي. وللحصول على إصدار محثوث كبير يجب أن يكون $N_2 > N_1$ 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.

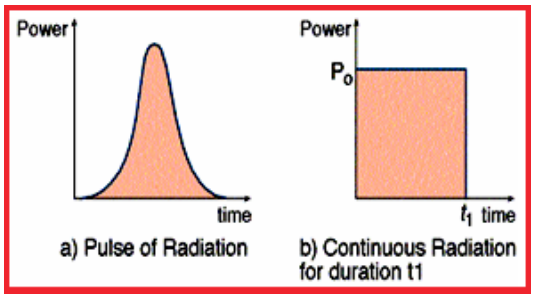


وعلى هذا فإن الليزر يعمل من خلال ضخ الإلكترونات باستخدام مصدر ضخ خارجي كالضوء أو التيار الكهربائي من المدار الأدنى إلى المدار الأعلى ومن ثم تهبط الإلكترونات المثارة من خلال الإنبعاث التلقائي من المدار الأعلى إلى المدار شبه المستقر **(metastable state)** والذي يقع بين المدارين الأدنى والأعلى حيث تبدأ 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 خلال 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 يُحدد ذلك التركيب الذري للمادة الفعالة ونوع وكمية الضخ المستخدم وكذلك طريقة تركيب الليزر.

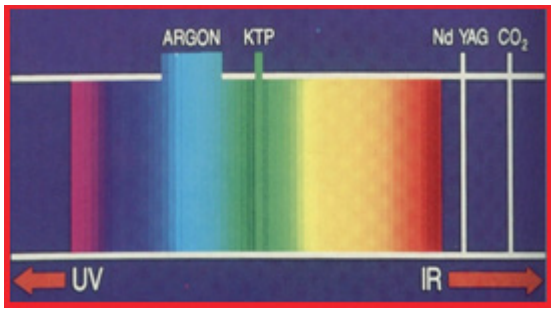
2. 5. تصنيف الليزر:

أ - استمراريّة الإشعاع: مستمر (continuous) أو نبضي (pulsed)



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

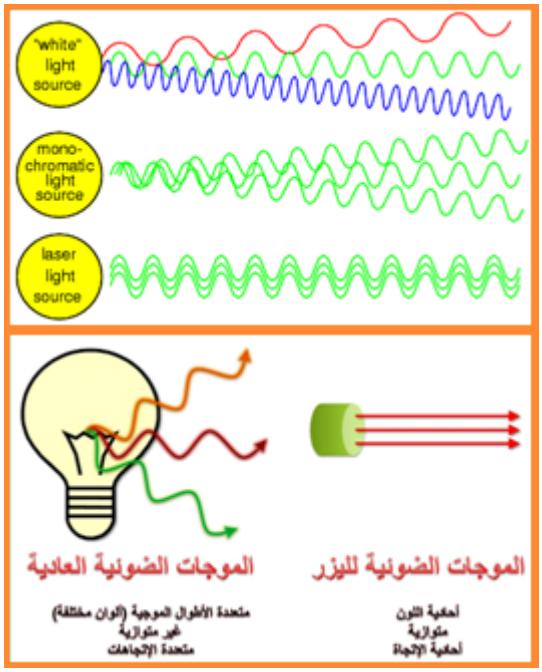
ب - تردد الإشعاع: الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجيّة، الأشعة تحت الحمراء، ليزر أشعة اكس.



2. 6. خصائص ضوء الليزر:

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

أ - **الاتجاهية (Directionality)** وهي أن شعاع الليزر له زاوية 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.



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

ج - **علو شدة ضوء الليزر (high intensity light)** وذلك بسبب أن شعاع الليزر له مقطع عرضي صغير جداً قد لا يتجاوز في بعض أنواعه عدة ميكرومترات مربعة وبما أن جميع الطاقة الضوئية الصادرة عن الليزر رغم قلتها تتركز ضمن هذا المقطع الصغير فإنه بالإمكان الحصول على شدة إضاءة قد تزيد بملايين المرات عن شدة الضوء الصادر عن الشمس أو المصابيح الكهربائية ولهذا

فيمكن لشعاع الليزر أن يسير لمسافات كبيرة جداً دون أن يخبو ضوءه. ولتوضيح ذلك فإن ليزر بقدرة واحد واط وبمقطع عرضي مساحته ألف ميكرومتر مربع يعطي ضوء شدته بليون واط لكل متر مربع أي يزيد بمليون مرة عن شدة ضوء الشمس على سطح الأرض. وتستغل هذه الخاصية للضوء في حفر وقطع ولحام المواد بدقة كبيرة وفي إجراء العمليات الجراحية ومعالجة كثير من أمراض العيون والجلد.

د - أحادية اللون (Monochromaticity) حيث أن ضوء الليزر يتكون من حزمة ضيقة جداً من الترددات الضوئية بعكس أنواع الضوء الأخرى التي تتكون من طيف واسع جداً من الترددات ولذا فإنها تبدو للعين كضوء أبيض يحتوي على جميع ألوان الطيف المرئي بينما يبدو ضوء الليزر بلون واحد فقط عالي النقاء. وتستغل هذه الخاصية في استخدام ضوء الليزر كحامل للمعلومات 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.

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

و - أنه يمكن التحكم بجهاز الليزر بحيث يتم إطلاق ضوءه على شكل نبضات بمعدلات محددة ويمكن كذلك التحكم بعرض النبضة ليصل في بعض التطبيقات إلى عدة أجزاء من مليون بليون جزء من الثانية. ومن خلال تقليل عرض النبضة الضوئية فإنه يمكن الحصول على شدة ضوء غاية في العلو قد تصل إلى آلاف 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 التفاعلات الكيميائية وحتى النووية. تستخدم أشعة الليزر القوية في الأغراض الصناعية، مثل تثقيب وقطع المعادن، بينما تستخدم الأشعة الضعيفة لتشغيل الأقراص البصرية التي تسجل عليها الموسيقى. أما الأشعة متوسطة القوة فتستخدم في الأغراض الطبية.

ز - إمكانيّة الومضات الضوئيّة القصيرة والمتكررة.

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

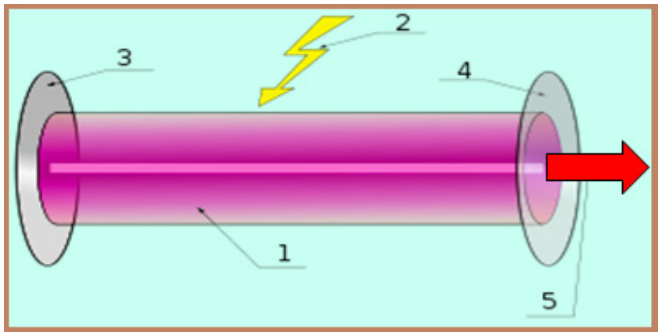
ط – الأمان: في حال استخدامه في المكان المناسب من الجسم من قبل طبيب مختص خبير متفهم لتأثيرات الليزر النوعية على الأنسجة قادر على حماية نفسه وحماية مريضه من تأثيرات الليزر غير المرغوب فيها.

وبما أن أشعة الليزر عبارة عن أشعة ضوئية مركزة، فإنها تخضع لقوانين الضوء من حيث: الانعكاس، والانكسار، والانحراف بواسطة المرايا والعدسات والمواشير 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.

2. 7. 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 الفعال (active medium):

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

بعض أنواع تلك المواد الفعالة ضوئياً وليزرياً:

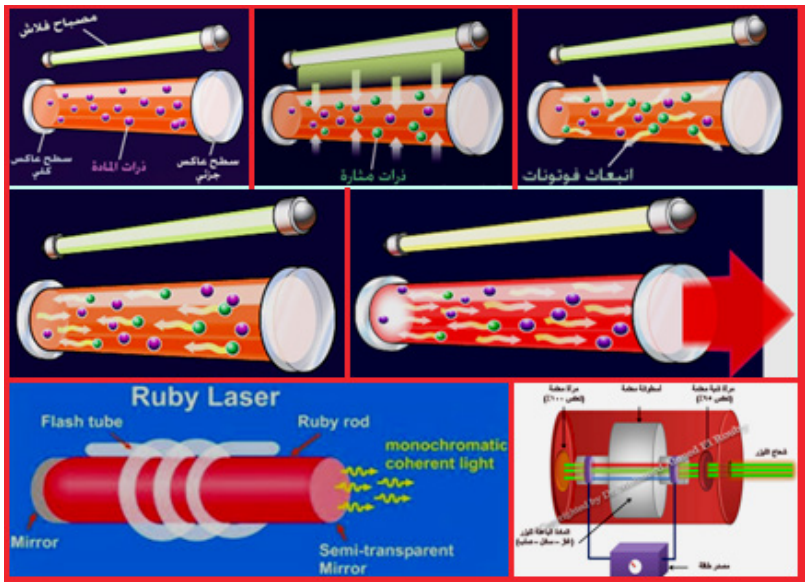
آزوت غاز نقي (ذري)
هيليوم – نيون مزيج غازي
غاز الكربون CO_2 مزيج غازي (جزئي)
بلورة الياقوت المشوب بالكروم صلب (بلورة)
الزجاج المنشط YAG صلب (بلورة)
أوكسي كلور الفوسفور المشوب بالنيوديميوم (سائل)

مصدر الضخ (pumping source) الإلكتروني:

يستخدم للضخ الإلكتروني ضوء فلاش قوي أو بواسطة التفريغ الكهربي ويساعد هذا الضخ على تزويد أكبر قدر ممكن من الإلكترونات بالطاقة لتنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى فتصبح الوسط الفعّال في الليزر مكون من ذرات ذات إلكترونات مثارة ونسميها بالذرة المثارة. ومن الجدير بالذكر أنه من الضروري جداً إثارة عدد كبير من الذرات للحصول على ليزر وتسمى هذه العملية بإنقلاب التعداد

population inversion أي جعل عدد الذرات المثارة في مادة الليزر أكبر من عدد الذرات غير المثارة. قلب التعداد هو الذي يجعل الضوء الذي تنتجه المادة ليزراً وإذا لم نصل إلى مرحلة انقلاب التعداد نحصل على ضوء عادي. وكما امتصت الإلكترونات طاقة كبيرة من خلال عملية الضخ فإن الإلكترونات هذه تطلق الطاقة التي امتصتها في صورة فوتونات ضوئية. الفوتونات المنبعثة لها طول موجي محدد (ضوء بلون محدد) يعتمد على فرق مستويات الطاقة التي انتقلت بينها الإلكترونات المثارة. وإذا كان الإنتقال لكافة الإلكترونات بين مستويين طاقة محددين كما هو موضح بالشكل أدناه فإن كل الفوتونات المنبعثة سيكون لها نفس الطول الموجي.

في الليزر الياقوتي تكون بشكل أنبوب زجاجي حلزوني رفيع من معدن الكزينون وتومض الإشارة الضوئية فيه بسبب حدوث تفريغ كهربائي للتيار المار في الغاز الموجود فيه, وللومضة الضوئية الصادرة عنه فترة زمنية هي جزء بالألف من الثانية الواحدة, وهذه الفترة كافية لإثارة شوارد الكروم Cr3 لسوية طاقة عالية بحيث يؤدي ذلك لحدوث انعكاس جماهيري للذرات.



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.

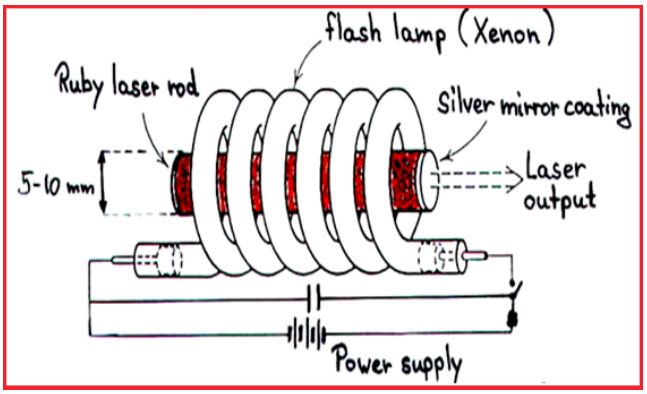
2. 8. أنواع الليزر:

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 خلال التفاعلات الكيميائية. أما طريقة التغذية الراجعة فتعتمد على نوع المادة الفعالة فقد تتم من خلال صقل الأوجه إذا كانت في الحالة الصلبة أو باستخدام المرايا إذا كانت في الحالة السائلة أو الغازية وتعتمد كذلك على شكل المرايا فيما إذا كانت مسطحة أو مقعرة ودرجة إنعكاسيتها (**reflectivity**). وفي كل نوع من هذه الأنواع الرئيسية يوجد أنواع فرعية تتمايز بخصائص مختلفة مثل طول موجة الضوء وشدة الضوء المنبعث ومساحة مقطع الشعاع وزاوية إنفراج الشعاع وفيما إذا كان الضوء المنبعث متواصلاً (**continuous**) أو نبضياً (**pulsed**) وإمكانية التحكم بمعدل وعرض النبضات وكذلك حجم ووزن جهاز الليزر وقيمة الجهد والتيار اللازمين 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 متصلا أما إذا كان على شكل نبضات فقد تصل القدرة القصوى لألف بليون واط ولكم لفترات زمنية بالغة القصر تقاس بأقل من البيكوثانية.

ليزرات الحالة الصلبة (Solid-State Lasers):

تتكون ليزرات الحالة الصلبة من جسم زجاجي أو بلوري أو حتى خزفي يتم تطعيمه بذرات مادة فعالة تنطبق عليها شروط الانبعاث المحثوث. وعادةً ما يكون الليزر على شكل قضيب أسطواني يتم صقل وجهيه ليعملا كمرايا عاكسة لتحقق شرط التغذية الخلفية. أما نظام الضخ فيها فهو في الغالب الضوء الصادر من مصابيح غازية كهربائية يتم ملؤها بغاز مناسب لتعطى تردد ضوء الضخ المطلوب ويتم لف أنبوب المصباح على جسم قضيب الليزر بشكل حلزوني. وفي الأنواع الحديثة بدأ باستخدام ثنائيات الليزر (**laser diodes**) في عملية الضخ بدلا من المصابيح الغازية وذلك لصغر حجمها وانخفاض أثمانها حيث يتم تسليط ضوء ثنائي الليزر مباشرة على قضيب ليزر الحالة الصلبة.



لقد كان ليزر الحالة الصلبة أول الأنواع ظهوراً وأول ليزر تم تصنيعه كان ليزر الياقوت يعمل وفق

النظام النبضي في المجال المرئي الأحمر وذلك بعد أن تمكن الفيزيائي الأمريكي ثيودور ميمان (**The-odore Maiman**) في عام 1960 من تصنيع ليزر الياقوت (**Ruby laser**) والذي يتكون من قضيب اسطواني من الياقوت النقي ($CrAlO_3$) الذي يحتوى على ذرات الكروميوم الفعالة بشكل طبيعي وقد تم استخدام مصباح غاز الاكزينون في عملية الضخ ويولد ضوء بطول موجة 694 نانومتر أي ضوء أحمر نقي. يوجد الآن عشرات الأنواع من ليزرات الحالة الصلبة ويستخدم في معظم هذه الأنواع أجسام بلورية اصطناعية كمثل حجر الياغ ($Y_3Al_5O_{12}$) (**Yttrium Aluminium Garnet (YAG)**) وهو حجر كريم اصطناعي يعطي ألوان مختلفة عند تطعيمه بالعناصر المختلفة. وعند استخدامه في الليزر يتم تطعيمه بعناصر فعالة تكون في الغالب من العناصر الأرضية النادرة (**rare earth elements**) لتعطي طيفاً واسعاً من الترددات.

فليزر الياغ المطعم بالإربيوم (**Er - YAG laser**) يصدر في مجال الأشعة تحت الأحمراء البعيدة وهو الليزر الأكثر شيوعاً في عيادات الأسنان وذلك بسبب طول موجته.

أما ليزر الياغ المطعم بالنيوديميوم (**Nd - YAG laser**) فيصدر في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة.

من أهم استطباباتة في طب الأسنان:

أ - تعقيم الأقنية الجذرية وحتى الأقنية الملتوية والضيقة الصعبة.

ب - تجريف الجيوب اللثوية.

ج - الجراحة البسيطة.

في تخثير الأوعية الدموية النازفة.

د - في علاج اللثة والأنسجة الطرية.

إلا أنه لا يستخدم في حفر الأسنان لأنة يخترق هذه الأنسجة بعمق ويسبب التهاب لب دائم (التهاب سن حاد).

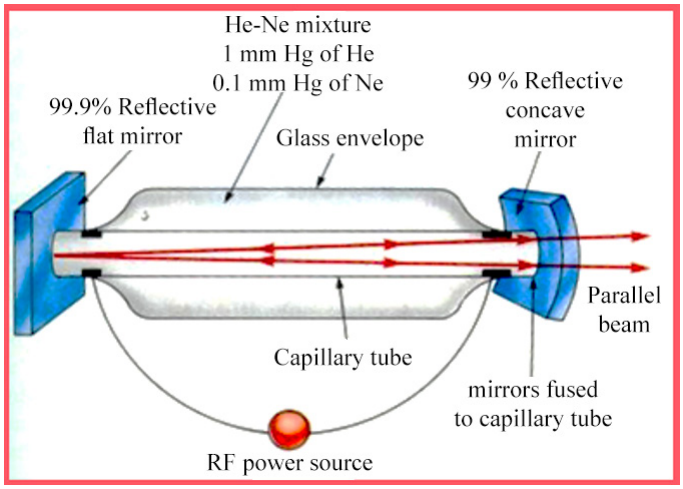
وليزر الأربيوم كروميوم ياغ Erbium Chromium Yag: يستعمل في حفر الأسنان وإزالة التسويس وعمليات العظام.

أما ليزر الياغ المطعم باليتربيوم (**Yb - YAG laser**) يصدر في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة.

الليزرات الغازية (Gas Lasers):

يتكون الليزر الغازي من أنبوبة مملوءة بغازات معينة تحت ضغط منخفض توضع بين مرآتين عاكستين وتتم عملية الضخ من خلال التفريغ الكهربائي في الغاز وذلك عند تسليط جهد كهربائي عالي بين أقطاب موجودة عند طرفي الأنبوبة. وتتميز الليزرات الغازية برخص أثمانها وبإمكانية تصنيعها بأحجام كبيرة وقدرات عالية وبطول عمر تشغيلي كبير. ومن أشهر أنواع الليزرات الغازية:

ليزر هيليوم - نيون (**He - Ne laser**) يصدر في المجال الأحمر وفق النظام المستمر. يستخدم في المجال الطبي كمخثر دموي، ولكن قوة قطعه للنسج أضعف من ليزر ثاني أكسيد الكربون.



الليزر الكربوني أو ثاني أوكسيد الكربون (CO_2): وهو عبارة عن ليزر جزيئي يصدر وفق نظام مستمر أو نبضي. من 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 علاجها 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 ياغ 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 النتروجين: هو عبارة عن ليزر فوق بنفسجي يعمل وفق النظام النبضي، وهو رخيص الثمن.

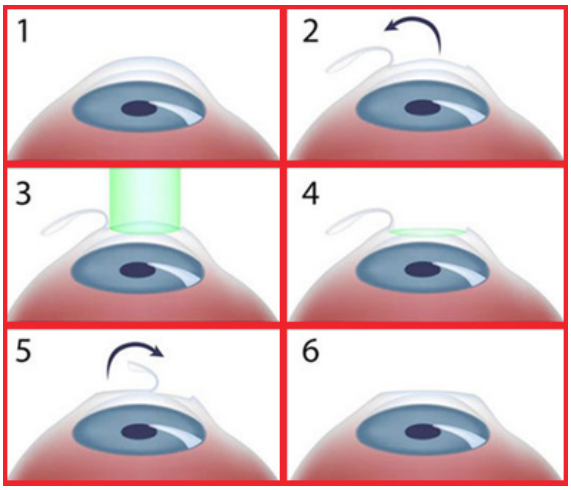
ليزر الأرغون الإيوني: هو عبارة عن ليزر غاز مؤين يعمل وفق النظام المستمر يصدر في مجال الأشعة فوق البنفسجية والمرئية وفق عدة خطوط يقع الخطان الأكثر شدة عند الأزرق والأخضر.

ليزر الهليوم كادميوم: هو عبارة عن ليزر بخار معدني يصدر في منطقة الأزرق.

ليزر فلور الهيدروجين (HF): وهو عبارة عن ليزر كيميائي يصدر وفق نظام مستمر أو نبضي. يعتمد على التفاعلات الكيميائية التي من شأنها تشكيل جزيئات موجودة في حالتها المثارة مباشرةً.

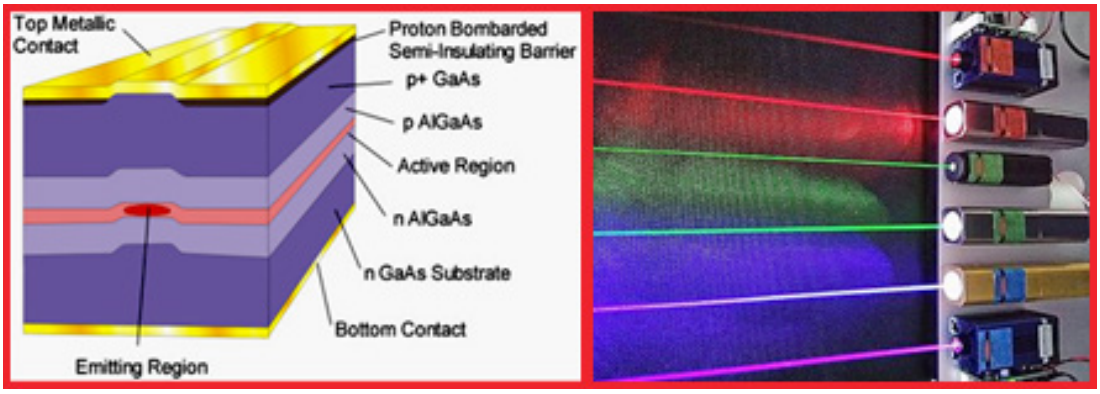
ليزر الأيونات المعدنية: تولد الأطوال الموجية فوق البنفسجية البعيدة.

ليزر الاكسايمر Excimer : ويعني معقداً ثنائياً مثاراً Excited dimer وهي عبارة عن طائفة جديدة من الليزرات الجزيئية النبضية يصدر في مجال الأشعة فوق البنفسجية ويشيع استخدامه في جراحة العين. يجمع ليزر الإكسايمر في الحالة النموذجية بين غاز خامل (كالآرغون والإكزينون بنسب محددة) وغاز فعال (كالفلور والكلور) وأشهرها المكون من كلور الكزينون (Xe - Cl). يعتمد هذا الليزر على خاصية الاستئصال الضوئي وليس الحرق. يستخدم في الجراحة العينية.



الليزرات أنصاف النواقل (Semiconductor Lasers):

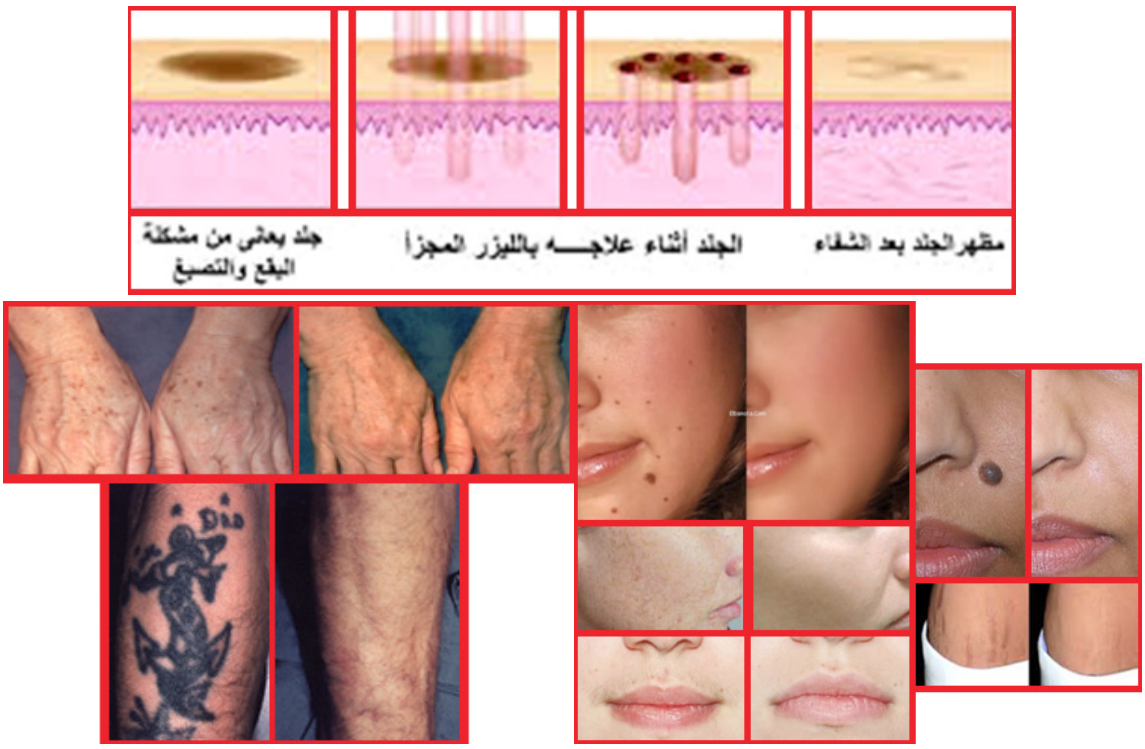
يتكون ليزر أنصاف النواقل من بلورة نصف ناقلة يتم تطعيمها بعناصر مانحة وأخرى مستقبلة لتصبح على شكل وصلة موجب - سالب (**P - N junction**) أي ثنائي (**diode**) ولذلك يغلب على اسمه ثنائي الليزر (**laser diode**). ويتم صقل وجهين متعامدين من أوجه البلورة للحصول على التغذية الراجعة وأما عملية الضخ فتتم من خلال تمرير تيار في هذه الوصلة وإذا ما تجاوزت قيمة التيار قيمة حدية (**threshold**) فإن الثنائي يبدأ بتوليد ضوء الليزر.



ولكي يعمل الليزر يحتاج أن تكون ثخانة المادة الفعالة ضئيلة جداً تقاس بالميكرومترات وذلك للحصول على كثافة تيار عالية جداً قد تصل لعشرات آلاف الأمبير للسنتيمتر المربع. إن هذا الثخانة الضئيلة للطبقة الفعالة يعطي عرض شعاع دقيق جداً عند خروجه من الليزر مما يزيد من زاوية انفراج الشعاع كما شرحنا سابقاً ولهذا يتطلب استخدام عدسات للحصول على شعاع بزاوية انفراج صغيرة. ولا تستخدم المواد نصف الناقلة الأساسية وهي السيليكون والجرمانيوم في هذه الليزرات لعدم تحقيقها لكامل شروط عمل الليزر بل يتم استخدام مواد نصف ناقلة مركبة من عناصر العامود الثالث والخامس في الجدول الدوري ويمكن الحصول على مدى واسع من الترددات من خلال اختيار نوع العناصر ونسب خلطها.
يعمل معظم ليزرات نصف الناقلة في مجال تحت الأحمر القريب من الطيف.
فعلى سبيل المثال فإن ليزر الغاليوم- الزرنيخ **(Ga-As)** هو عبارة عن ليزر نصف ناقل يصدر في المجال تحت الأحمر القريب وفق النظام المستمر. بينما يولد ليزر **(InGaAsP)** ترددات تتراوح أطوالها الموجية بين 1000 و 2100 نانومتر. وتتميز الليزرات نصف الناقلة بصغر حجمها والذي قد يصل إلى ما دون حجم حبة العدس بل يمكن تصنيع أعداد كبيرة منها على نفس القاعدة وبسهولة عملية الضخ فيها من خلال استخدام التيار الكهربائي إلى جانب إمكانية إنتاجها بكميات كبيرة جداً.

ليزرات الأصباغ (Dye Lasers):

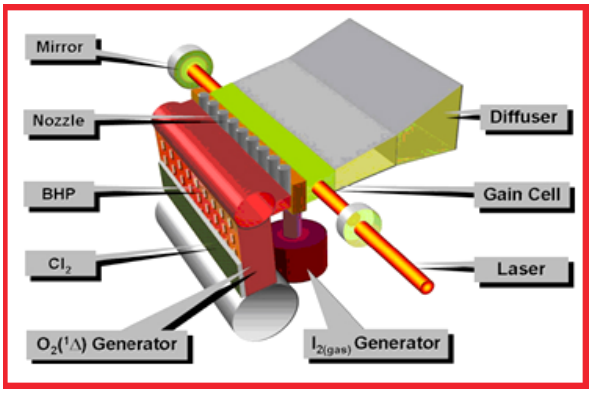
يستخدم ليزر الأصباغ بعض المواد العضوية كمادة فعالة وغالباً ما تكون مذابة في محلول سائل ومن هذه المواد العضوية الروداماين **(Rhodamine)** والفلوروسين **(Fluorescein)** والتتراسين **(Tetra-cene)** وغيرها. ويتم وضع المحلول في أنبوبة زجاجية من الكوارتز يتم طلي سطحيها المتقابلين بالفضة للحصول على المرايا العاكسة. وغالبا ما تتم عملية الضخ باستخدام ضوء أنواع أخرى من الليزرات وخاصة التي تولد الضوء الأخضر. وتتميز ليزرات الأصباغ بإمكانية توليف **(tuning)** للحصول على أطوال أمواج محددة وكذلك بإمكانية الحصول على نبضات ضوئية غاية في القصر والتي تلزم في بعض التطبيقات البحثية فعلى سبيل المثال فإن ليزر الروداميين يمكن توليفه من 570 إلى 640 نانومتر.
تفيد هذه الليزرات في عدة مجالات في طب الليزر منها الجلدية حيث تستخدم في جعل طبيعة الجلد أكثر نعومة. وتستخدم في معالجة الوحمات الوعائية واضطرابات الأوعية الدموية الأخرى والندبات وحصى الكلية والنمش وحبوب الخال. كما يمكن استخدامها في إزالة الوشوم.



من أشهر الليزرات الصباغية هو **ديودون ليزر** وهو عبارة عن ليزر الصبغة السائلة Liquid dye يمكن تكييفه تواترياً في كامل المجال المرئي وفق النظام المستمر أو نبضي. تمتص أشعته من قبل المواد الداكنة مثل الهيموغلوبين ومن هنا تأتي ميزة القدرة على إجراء شق جراحي والقدرة على تخثير الأوعية الدموية النازفة ونتائج استخداماته في تعقيم الأقنية الجذرية مشابهة لليزر نوديوم ياغ أما تأثيره في النسج الصلبة فكان ملموساً في معالجة فرط الحساسية وذلك في إغلاق الشقوق والميازيب.

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 خلال 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 Doped Fiber 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

2. 9. تصنيفات الليزر:

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

إشارة تحذير بوجود ليزر

تصنف أنواع الليزرات طبقا لقوانين السلامة 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 اللازمة لبعض أجهزة الليزر خاصة الكبيرة من ذلك أجهزة توليد الطاقة عالية الجهد أو المواد الكيميائية المؤذية للإنسان. أما الضرر الناتج عن أشعتها فيكون غالباً على عين مستخدمه وهذا لا يعني عدم خطورتها على الأعضاء الأخرى. تعتمد الأضرار التي قد يتسبب بها الليزر للعين البشرية على التالي:

1 - مدة التعرض للأشعة.
2 - شدة الأشعة.
3 - لون الليزر (أو ما يعرف بالطول الموجي).
4 - 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 فلا تصاب بضرر. وتختلف هذه المسافة حسب العوامل الآتية:

أ - حالة الجو.
ب - أجهزة التكبير الضوئية المستخدمة في أجهزة الرؤية.
ج - الانعكاسات الضارة.
د - درجة تركيز شعاع الليزر.
هـ - نوع مادة الليزر.
و - نوع شعاع الليزر، نبضي أو مستمر.

التصنيف الأول Class I هذا يعني أن شعاع الليزر ذو طاقة منخفضة ولا يشكل درجة من الخطورة. وهي آمنة بحيث لا تتجاوز طاقتها الحد الأقصى من مستوى الإشعاع المسموح به على العين.
التصنيف الأول Class IA هذا التصنيف يشير إلى أن الليزر يضر العين إذا نظرنا في اتجاه الشعاع ويستخدم في السوبرماركت كماسح ضوئي وتبلغ طاقة الليزر الذي يندرج تحت هذا التصنيف 4 mW.

التصنيف الثاني Class II هذا يشير إلى ليزر ضوئه مرئي وطاقته منخفضة لا تتعدى 1 mW وهي آمنة ومصدر الأمان هنا حساسية العين بالإغماض اللاإرادي عند تعرضها لهذه الأشعة مباشرة أي بعد ربع ثانية.

التصنيف الثالث Class IIIA طاقة الليزر متوسطة وتبلغ 1 - 5mW وخطورته على العين إذا دخل الشعاع المباشر في العين. ومعظم الأقلام المؤشرة وليزرات ألعاب الأطفال تقع في هذا التصنيف.
التصنيف الثالث Class IIIB طاقة هذا الليزر أكثر من المتوسط.

التصنيف الرابع Class IV وهي انواع الليزر مرئية وغير مرئية (سواء تحت حمراء أو فوق بنفسجية) ذات الطاقة العالية وتصل إلى 500 mW للشعاع المتصل بينما لليزر النبضات فتقدر طاقته بـ 10 J/cm^2 ويشكل خطورة على العين وعلى الجلد واستخدام هذا الليزر يتطلب العديد من التجهيزات وإجراءات الوقاية.

التصنيف الخامس Class V وهي ليزرات القدرة العالية وتبعث أشعة مرئية وغير مرئية وهنا يجب الحذر من انعكاس الأشعة ولو من أجسام خشنة أو معتمة وهذا النوع قد يؤدي إلى حدوث حريق في الممتلكات.

2. 10. استخدامات 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 علاج العتمات السطحية للقرنية وفي علاج العيوب الإنكسارية للعين كقصر النظر وطول النظر والإستجماتيزم وذلك عن طريق العديد من التقنيات أهمها تقنية الليزك(LASIK) وتقنية اللازك (LASEK) وغالباً ما يستخدم ليزر الإكسايمر (Excimer) في هذا النوع من العلاج بسبب قصر طول موجته وصغر قطر شعاعه. وتستخدم كذلك في علاج المياه البيضاء والزرقاء في العين من خلال إجراء ثقوب صغيرة جداًفي قزحية العين يعمل على تصريف هذه المياه والتخفيف من ضغط العين. ويستخدم الليزر في علاج أمراض الشبكية الناتجة عن مرض السكري أو غيره من الأمراض كوقف نزيف الشبكية من خلال كي نهايات الأوعية الدموية وكذلك وقف انفصال الشبكية عن الملتحمة من خلال 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 خلال 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 خلال نقل شعاعه بواسطة ألياف زجاجية دقيقة يمكن إدخالها بكل سهولة في التجويفات والمسالك والأوعية أو من خلال ثقوب صغيرة يتم فتحها في جلد الجسم.

2. 11. استخدامات 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 للابتسامة عند الأفراد الذين يتصفون بظهور اللثة عند تبسمهم.

إزالة الأنسجة المغطية جزئياً للأرحاء الثالثية البازغة جزئياً.

علاج الخراجات باللثة وعلاج 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 العلاج المحافظ للاسنان، وهو الحفاظ على جسم السن من خلال العلاج والوقاية من حدوث التسوس.

2. 12. 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 علاجاً وتدخلاً أكثر دقة More Precise.

تقليل العدوى البكتيرية حيث High Energy Beam يعقم المنطقة.

تدمير الأنسجة المحيطة يقل.

وضوح الرؤية عند أداء العمليّة.

سهولة العمل تحت المجهر.

إمكانية إحداث شق موضعي محدد (دقة القطع).

إرقاء ممتاز للأوعية الصغيرة.

امكانيّة معالجة أنسجة دون أخرى (باختيار طول موجي معيّن).

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 وعلاج قصور الدورة الدموية في الأطراف وفي علاجات الحبل الشوكي وجراحات أخرى كالمعدة والكبد.

اندمال جيد للجروح.

فترة المعالجة قصيرة ويغادر بعدها المريض المشفى.

علاج الآفات الذروية، معالجة حساسية الأعناق، القلاع، والتواج.

الدقة في العلاج وذلك من خلال التحكم في العمليّة 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.

2. 13. 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 لاستلام تاج أو جسر
العلاج بالليزر لا يغني كليا عن التخدير.
تكلفة العلاج بالليزر غالباً ما تكون أعلى.
وأخير تجدر الإشارة إلى أن أشعة الليزر تؤثر في الأنسجة الحية بثلاث أفعال أساسية مختلفة وذلك تبعاً لنوع الليزر وطول موجته وشدته هي:

الفعل الحراري The thermal effect:

يعتبر الفعل الحراري من أهم الأفعال بالنسبة لليزر. ينتج هذا الفعل 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 $(0.1-1\,mm)$ نحصل على ما يسمى فعل القطع مع ارقاء ممتاز للحواف. يمكننا اليوم إحصاء عدد كبير من تطبيقات الليزر الحرارية الطبية نذكر منها ما يلي:
أ – لحم الشبكية: يسهم تأثير التخثر الضوئي باستخدام الليزر الأرغوني في استطبابين رئيسيين هما: الوقاية من انفصال الشبكية، ومعالجة بعض أمراض الشبكية السكرية.
ب – في معالجة الحنجرة وآفات الحبال الصوتية الحميدة بشكل خاص، وفي جراحة الأذن الداخلية وفي المنخرين. كما تُستخدم في معالجة الأمراض النسائية وذلك بإتلاف آفات عنق الرحم الالتهابية التي تؤدي إلى ظهور سرطان لاحق، وكذلك في علاج نوع خاص من العقم (العقم البوقي).
ج – في معالجة بعض آفات الأنبوب الهضمي النزفية وذلك باستخدام مخثرات فوتوليزرية، كما يمكن إتلاف بعض السليلات في المستقيم أو الكولون ووقايتها من السرطان. كما يستعمل في حالات استئصال بعض مراحل سرطان المعدة والأورام المبكرة في القولون ويستعمل أيضاً كخط علاجي 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.
ج – 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.

الفعل الكهركيميائي The electrochemical effect:

يستخدم الفعل الكهركيميائي في تخريب بعض الحموض الأمينية (تيروزين، تريبتوفان، وفينيلآنين) وكذلك السيتوكروم C. كما يُفيد في تشكل الفيتامين D وآلية الإبصار. كما يمكن بواسطتة القيام بتشخيص طبوغرافي دقيق، وذلك عن طريق وسم الخلايا بملون يتفلور لدى إضاءته بشكل دائم. وإذا أمكن

بالإضافة لذلك تحريض تفاعلات كهركيميائية في الملون نحصل بنتيجة ذلك على تأثير علاجي في الوقت نفسه، كما هو الحال في معالجة الصُّداف وبعض الأورام السرطانية. ومن الممكن أيضاً استخدام هذا الفعل في معالجة بعض الحصيات الكلوية.

الفعل الكهروميكانيكي The electro-mechanical effect:

يتميز بهذه الفعل 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 كالزرق والسادات التالية.

إضافات مدرس المقرر