الفصل
السادس

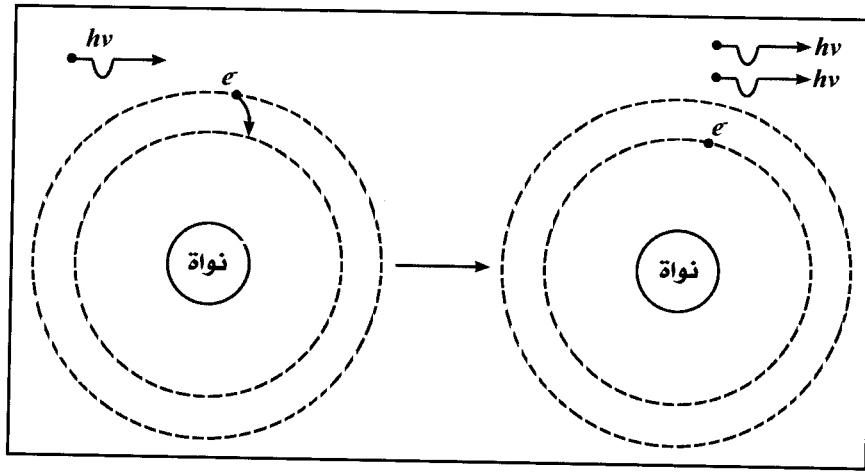
أشعة الليزر

Laser Radiation

6-1 تأثير أشعة الليزر *Laser Radiation Effect*

إنَّ الذرة (أو الجزيء) *atome or molecule* عندما تكون محرضة *stimulated*، فهذا يعني بأن أحد الكتروناتها يمتلك طاقة أعلى من طاقته في الحالة الأساسية، *unstimulated electron*، تستطيع هذه الذرة أن تعود إلى حالتها الأساسية، تلقائياً وذلك بإصدار فوتون تبلغ طاقته *(hv)* مساوية إلى فرق الطاقة بين هاتين الحالتين، أو بتعبير آخر فرق الطاقة بين المستويين.

ولقد تبيَّن عملياً أن هناك إمكانية للتحريض الفوتوني بواسطة التأثير المتبادل مع فوتون آخر له نفس كمية الطاقة *(hv)*. ومن المناسب ذكره هنا أن الفوتون الوارد من خارج الذرة والذي يتم استخدامه للتحريض لا يتغير بالتأثير المتبادل، كما أن لكل من الأشعة المرافقة لهذا الفوتون وللفوتون الصادر الطور نفسه وأن لهذين الفوتونين نفس الطاقة ونفس الاتجاه انظر (الشكل 1-6)، لهذا لا يمكن التمييز بينهما *they are inphase*.



الشكل (1-6) انتقال الالكترون من مدار محرض الى مداره الأصلي، واصدار الفوتون ذي الطاقة *(hv)*

ونلاحظ أن الفوتون *(hv)* يتسبب بإعادة الذرة إلى حالتها الأساسية واصدار فوتون ثاني طاقته *(hv)* يمتلك نفس طور الفوتون الأول.

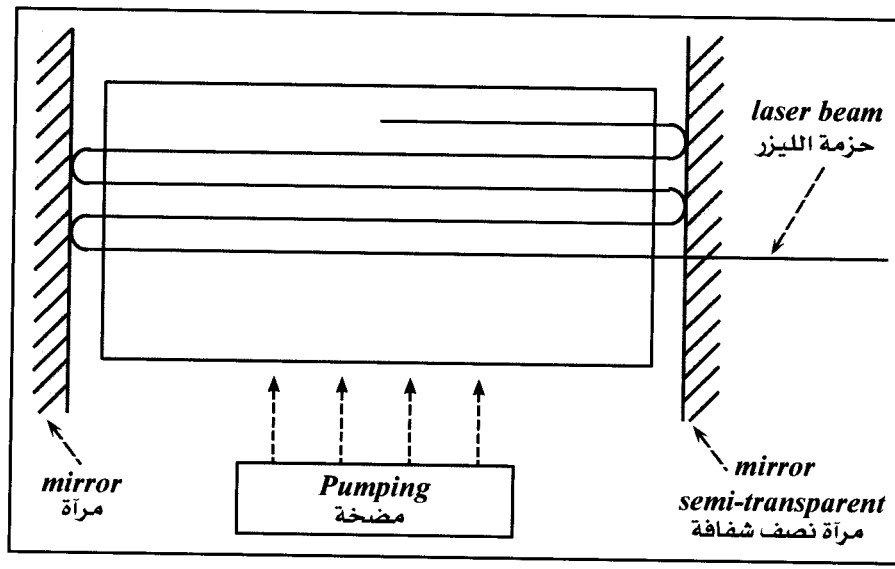
وعندما يتبادل أحد هذين الفوتونين التأثير من جديد مع ذرة مهيجة، فإنها تصدر فوتوناً ثالثاً له نفس طور الفوتونين الأوليين.

وهكذا عندما تتعد اللقاءات بين الفوتونات والذرات المهيجة نحصل على حزمة ضوئية شديدة ومترابطة *Intensive and cohesive photo beam* .

إنَّ الفوتونات الصادرة من ذرات واقعة في مواضع مختلفة والمشكلة للحزمة الضوئية، لها نفس الطاقة (ترابط زمني وهذا يعني بأن الفوتونات التي لها نفس الطاقة توافق أمواجاً كهرومغناطيسية لها نفس التردد وبالتالي نفس الطور) ونفس الطور يعني (ترابطاً موضعياً) ونفس الاتجاه، هذا هو ما نطلق عليه أشعة الليزر. ولكي تكون ظاهرة التعدد ممكنة يجب أن يصدر عدد كبير من ذرات الوسط فوتوناً طاقته *(hv)* (أما في الحالة العكسية فإن الفوتونات الواردة بطاقة *(hv)* ستتعرض للامتصاص من قبل الذرات غير المهيجة). وبما أنه في الحالة الطبيعية لا توافق هذه الحالة إلا لعدد قليل من الذرات لذا يجب عكس حالة الطاقة لجمهرة الذرات (عكس الجمهرة *inverse pubulation*) وذلك بتزويد الوسط بالطاقة التي تزيد عدد الذرات المهيجة (عملية ضخ *pumping process*) لكن أي انعكاس لا يكون ممكناً إلا إذا كانت الفترة الزمنية التلقائية للحالة المهيجة طويلة بالقياس مع الزمن المتوسط لتهيج ذرة بمنبع طاقة.

إنّ الاوساط المستخدمة في هذه الحالة تسمى بالأوساط الفعالة وهي غالباً ما تكون صلبة (بلورات، زجاج مشوب، أنصاف نواقل) أو غازية (CO_2 ، مزيج $He - Ne$). ومن الضروري تسهيل الاصدار التحريضي وذلك بالتضخيم المتعمد

للقاءات بين الفوتونات والذرات المهيجة. لذا يتم وضع الوسط الفعال ضمن فجوة محدودة بمرآتين ، إحداهما نصف شفافة انظر (الشكل 2-6)، حيث يخضع الشعاع لعدد كبير من الانعكاسات المتتالية داخل الفجوة.



الشكل (2-6)

وبمعنى آخر تخضع الفوتونات إلى انعكاسات متتالية على المرآتين حيث يزداد عددها بالتأثير المتبادل مع الوسط الفعال المهيج بنظام الضخ وما أن تبلغ قيمة طاقة الاشعاع العتبة حتى نرى غمامة من الفوتونات تعبر المرآة النصف شفافة. وأن طاقتها وفق اتجاه محدد بالموضع الخاص للمرايا، ستزداد حتى تصل إلى قيمة العتبة *threshold* التي تسمح لها بإجتياز المرآة النصف شفافة، وبالتالي الحصول على حزمة الليزر.

وعلى سبيل المثال (انظر الشكل 2-6) حيث تكون المرآتان متوازيتين، يكون الاتجاه المحدد عامودياً على هاتين المرآتين.

إنَّ الفوتون الأول يعطي بعد تضخيمه حزمة ناتجة من العودة التلقائية إلى الحالة الرئيسية لإحدى ذرات الوسط الفعال وأنه بسبب العودات التلقائية إلى الحالات الرئيسية فإن عملية التضخيم *amplification* تبدأ عندما يصبح عدد الذرات المهيجة كافياً.

6-2 خصائص الليزرات *Laser Specifications*:

تتميز الليزرات بشكل أساسي بأطوالها الموجية *wave lengths* وبطريقة اصدارها *emission methods* وباستطاعتها *laser power*.

أ- الطول الموجي *Wave lengths*:

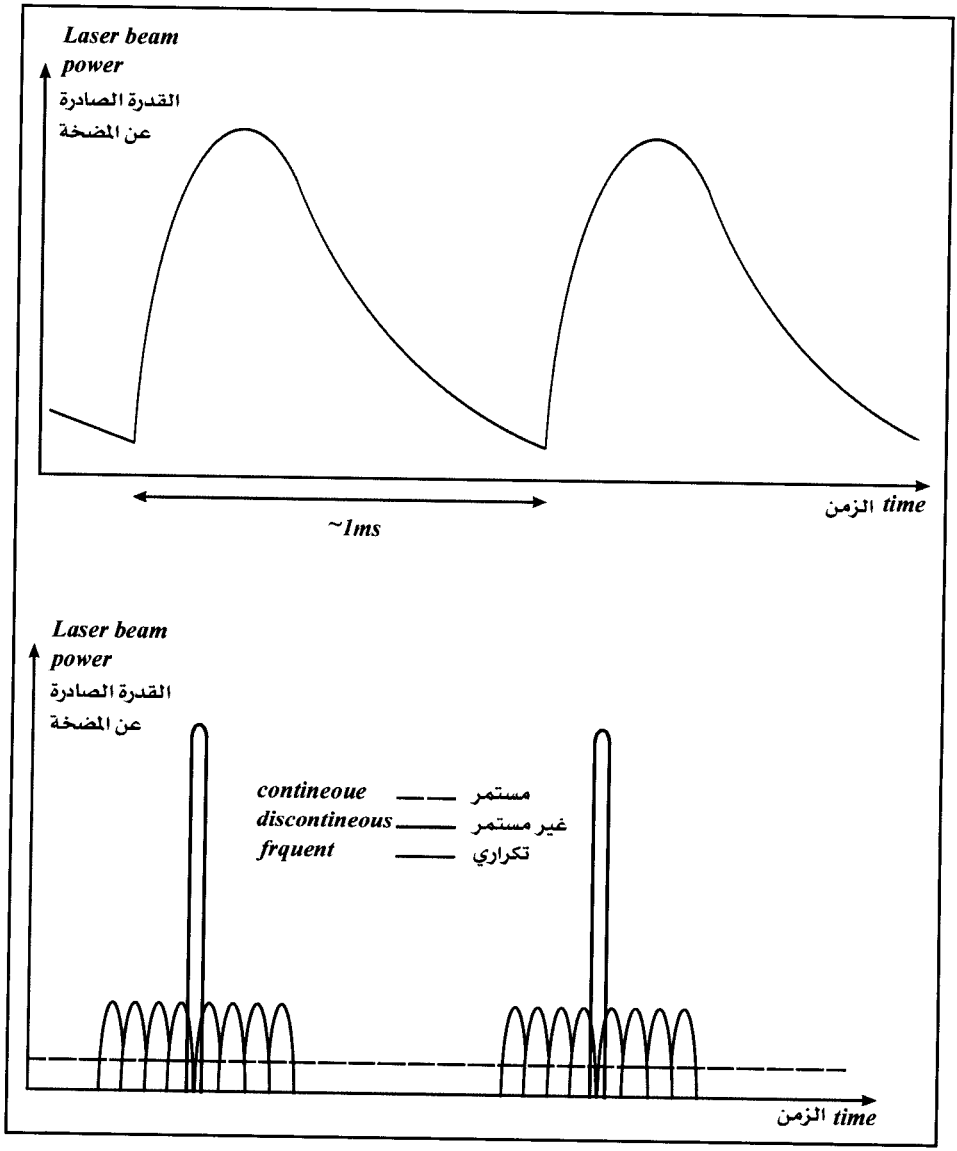
تقع الليزرات المتعارف عليها ضمن أطوال الموجات :

تحت الحمراء والطيف المرئي وفوق البنفسجي والأمواج السنتيمترية .

ب- طريقة الاصدار *Emission methods*:

تستطيع أجهزة الليزر الاصدار بطريقة تكرارية *frequent*، متقطعة *discontineous*، أو مستمرة *contineous* (انظر الشكل 3-6).

فالاصدار التكراري يميز الليزر الاسترخائي *relax laser* حيث تتكون الحزمة من تعاقب نبضات ضوئية صادرة عند كل تفريغ لجهاز الضخ أثناء عملية توليد الأشعة الليزرية.

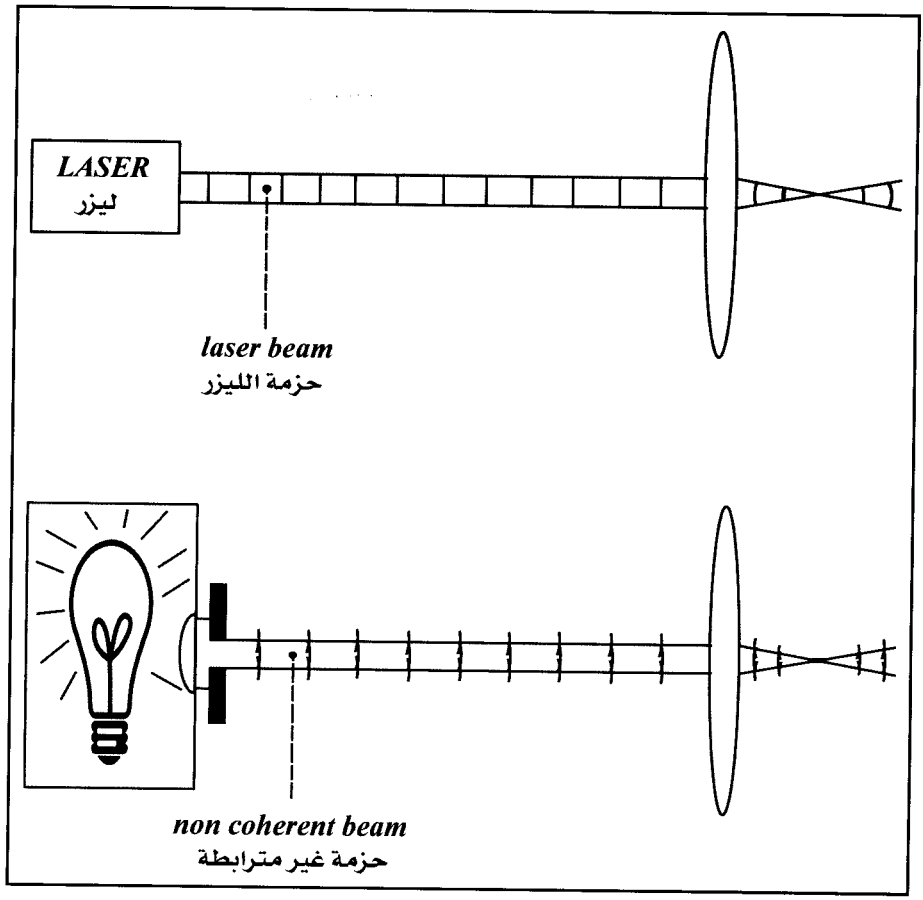


الشكل (3-6) النماذج المختلفة لاصدار الليزر

أمـا الاصـدار المتـقطع فـإنه لايحـصل إلا بحـجب إحـدى مـرآتـي الفـجـوة الضوئيـة أثناء الضخ. وهكذا فإن عدد الذرات المهيجة بالرغم من العودة التلقـائيـة إلى الحـالة الـرئيسـيـة، يمكن أن يكون كـبيـراً وأنه عندمـا نكشف المرآة نحصل على اصدار ليزر ذات قدرة كبيرة.

بينما الإصدار المستمر فهو من فعل اللازرات الغازية *Gaseaus laser* حيث تستطيع النبضات ذات الفترات الطويلة أن تختفي ثانية.

ج- القـدرة الليـزرية: تتغيـر قدرة اللازرات من عـدة ميكرو واطات *Microwatt* إلى جـيـغـا واط *Gigawatt* $(10^9 watt)$. إنَّ إسـتطاعـة (قـدرة) الليـزرات المستخدمة في الطب مماثلة لقدرة مصابيح إضاءة متوهجة، حينئذٍ يسمح ترابط الضوء بالتركيز المحرقي *focal point* باستخدام جهاز ضوئي عادي من الحصول على بقعة محرقية ذات بعد صغير جداً $(\approx 10\mu m)$ يتمركز فيها كامل طاقة الحزمة انظر (الشكل 4-6) وهنا تكمن الفائدة الأساسية من استخدام الليزر في الطب لغرض العلاج، كما أن الطاقة الكلية التي يتلقاها الهدف المراد توجيه أشعة الليزر إليه تساوي إلى حاصل ضرب قدرة الليزر بزمن اصدار الاشعاع.



الشكل (4-6) حزمة الليزر وهي موجة صوتية مستوية

6-3 التأثيرات البيولوجية لليزرات *Lasers Biological Effect*:

الليزر هو اكتشاف علمي حديث، تأثيراته البيولوجية غير معروفة بالكامل وبشكل جيد، كما أن الحيطة والحذر عند استخدامه ضرورية للغاية. هذا ولن نتطرق عملياً إلا إلى سوى عن التأثير البيولوجي الرئيسي لليزرات وهو ما يعرف بالتأثير الحراري.

● التأثير الحراري *laser thermal effect*:

التأثير الحراري لأشعة الليزر هو التأثير البيولوجي الرئيسي الأكثر سهولة للفهم، فهو مماثل للتأثير الذي يحدث عند تسخين جسم معرض للشمس.

فالطاقة الضوئية *(hv)* تتحول إلى طاقة حرارية وهذا يعني حدوث تهيج للخلايا المعرضة لأشعة الليزر.

إن الإمتصاص المرافق لهذا التأثير الحراري، لطاقة حزمة الليزر يتغير مع طول موجتها ومع طبيعة النسج المعرضة للأشعة.

إننا نستطيع بتعديل طول الموجة من الحصول على فعل أقل أو أكثر أهمية، وحقيقة فإن القسم الأعظم من طاقة الحزمة يتحول إلى حرارة على مسافة تكون قصيرة كلما كان امتصاص الطاقة أكبر. فالنسج المشحونة بالميلانين *melanin* كالجلد أو بظهارة ملونة، فمثلاً العين تمتص بشراهة الأطوال الموجية الواقعة ما بين (*400 nm* و *1200 nm*) وبالعكس فإن الأوساط الشفافة للعين غير حساسة لهذه الأطوال الموجية.

ولذلك نستطيع تعريض شبكية العين للأشعة مثلاً بالليزر الأرغوني *Argon Laser* (طول الموجة *500nm* ≈) لتجتاز الأوساط الشفافة للعين وهذا هو الاستخدام الطبي لليزرات الأكثر شيوعاً.

ولكن بما أن الهيموغلوبين *Hemoglobin* يمتص بشراهة الحزم التي أطوال أمواجها أقل من *(50nm)* يجب عندئذٍ تأمين عدم نزف الوسط الزجاجي. وأن الميليمترات الأربع الأولى من الجلد تمتص *(99%)* من طاقة حزمة الليزر من المجال *(1000nm – 300nm)*.

إن نتائج التعرض لأشعة الليزر لا تتعلق عملياً إلا بارتفاع درجة الحرارة العائدة إلى التأثير الحراري.

وسيكون هذا التأثير أكثر أهمية في الحالات الآتية:

1- عندما تكون القدرة *power* خلال وحدة السطح *per unit area* لحزمة الليزر كبيرة.

2- امتصاص طول موجة الحزمة كبيراً.

3- زمن التعرض للأشعة طويل.

4- الناقلية الحرارية *thermal conductivity* للنسيج المعرض للأشعة صغيرة.

وأنه حسب درجة الحرارة التي يتم الوصول إليها، نحصل على ثلاثة نماذج للتأثير الحراري:

1- ارتفاع بسيط لدرجة الحرارة.

2- تسخين مع تشوه البروتينات (تأثير التخثر) *clotting effect* وهذا هو عبارة عن طهو حقيقي.

3- ارتفاع في درجة الحرارة يقود إلى غليان السوائل خارج أو داخل الخلايا (تأثير التبخر) *liquids evaporation effect*.

ويجب الملاحظة إلى أن الطاقة الحرارية المتحررة من حزمة الليزر يمكن أن تنتشر بانتقال حراري بسيط وأن أبعاد حجم التأثير النسيجي يمكن أن يكون أكبر من تلك الخاصة بالحزمة، وهذا هو أحد أسباب الحذر والحيطة المطلوبة أثناء استخدام أشعة الليزر لأغراض طبية.

● تأثيرات أخرى لأشعة الليزر :

1- تأثيرات كيميائية ضوئية *photochemical effect*: إنَّ الأحماض الأمينية *amino acids* كالنيروزين والتريبتوفان والفنينيلالانين تتعرض للتخريب بالليزرات ذات الأطوال الموجية (الأزرق وفوق البنفسجي).

2- تأثيرات ميكانيكية لليزرات *laser mechanical effect*؛ (ظهور أموج الصدم وفائقات الصوت) غير معروفة بشكل جيد، فهي تستطيع توضيح بعض التأثيرات وهي مرتبطة باستخدام الليزرات من النموذج الاسترخائي وتظهر قمماً بمخطط القدرة مرتفعة، ولعل هذا من الأسباب ولا سيما في طب العيون التي تجعلنا نفضل استخدام الليزرات بإصدار مستمر.

6-4 أخطار الليزرات *Laser Dangers*:

إن تحرير الطاقة الحرارية المصاحب لاستخدا م الليزرات يظهر الخطر الرئيسي، فهو يتسبب ليس فقط بالحروق الجلدية بل أيضاً بأضرار آخرى للعين، ويزداد الخطر بإستخدام ليزرات أطوالها الموجية غير واقعة في المجال المرئي.

إن الليزرات ذات الأطوال الموجية القصيرة تتسبب بإصابات قرنية العين. كما أن حزم الليزرات غير الممتصة في الاوساط الشفافة للعين تتسبب بإصابات شبكية العين. وعملياً يجب وضع نظارات واقية والحذر من كافة السطوح الحساسة للإنعكاس حتى ولو من أجل جزء صغير من الحزمة.

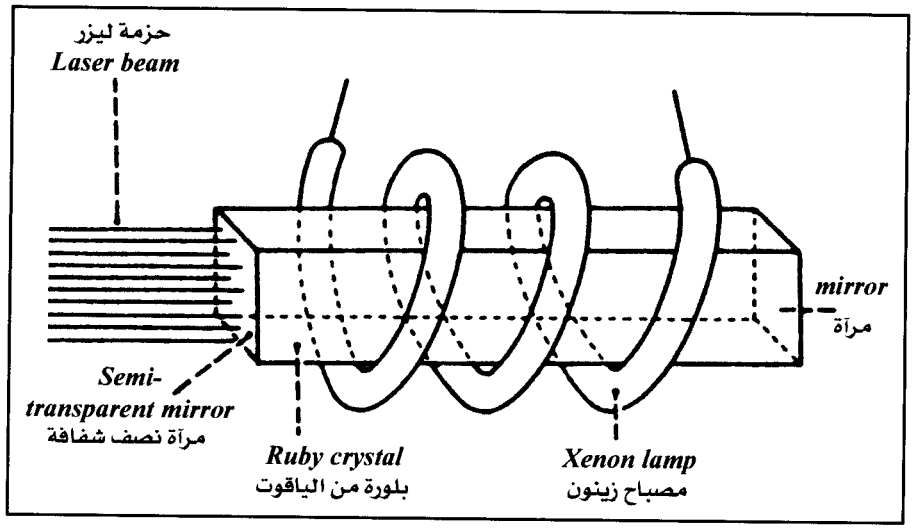
6-5 التطبيقات الطبية الرئيسية لليزرات:

Laser basic Applications in Medicin

ترتكز الإستخدامات الطبية الرئيسية لأشعة الليزر في معظمها على التأثير الحراري المركز الناتج من الحزم الضيقة جداً ذات الطاقة العالية الكثيفة والتركيز المحرقي الضوئي الممتاز *accurate optical focussing*. ففي الجراحة يتم استخدام تأثير التخثر لإيقاف نزف الأوعية الدموية الصغيرة ولتخريب النسج بالتخثر. كما أن تأثير التبخر يسمح بإستئصال أو قطع النسج.

ومن التطبيقات الطبية ذات الفائدة الكبيرة :

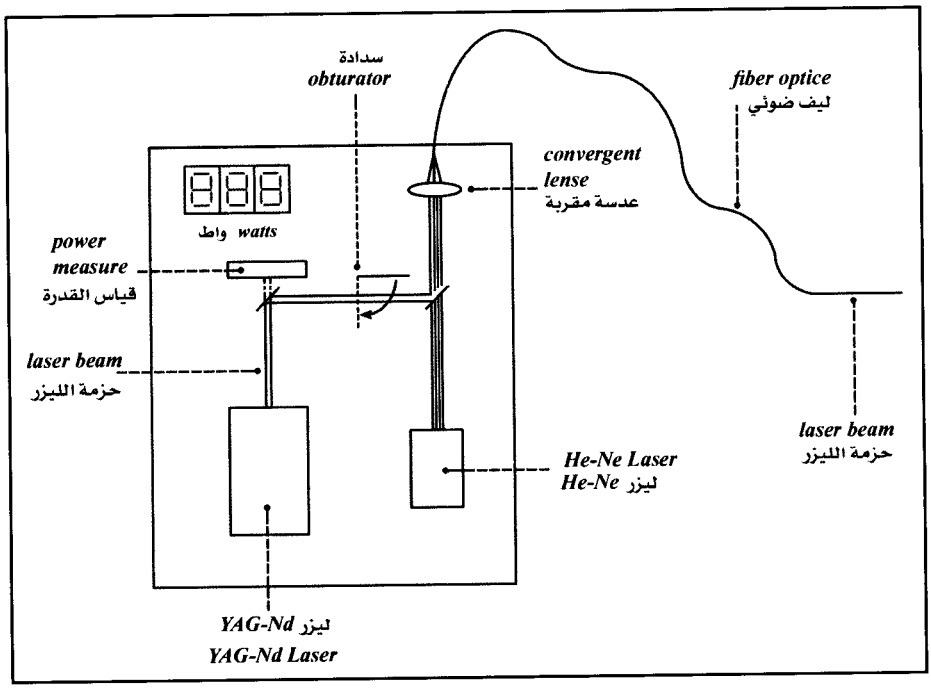
إيقاف نزف الأوعية الدموية الصغيرة وتخريب النسج *stopping of smale blood vesiels bleeding and tissues damages*.



الشكل (5-6)

مخطط ليزر ياقوت. حيث عند كل إضاءة لمصباح زينون (ضخ ضوئي) يوجد إنعكاس للحجرة الإلكترونية أو إصدار واحد أو عدد من اشعاعات الليزر

لإيقاف نزف الأوعية الدموية الصغيرة وتخريب النسج، يستخدم حالياً ليزرات الأرغون (طول الموجة $500nm \approx$)، ليزرات *YAG* (ايتريوم - ألمنيوم طول موجته *1000nm*) حيث تكون الحزمة أقل امتصاصاً بالنسج اللينة من حزمة ليزر الأرغون الأكثر فعالية مثلاً ليزر *YAG* يعطي قدرة قدرها *(60watt)* يسمح بإيقاف النزف على سطح مقداره $(10mm^2)$ ما بين *(1-2 Sec)*، (انظر الأشكال 5-6 و 6-6).



الشكل (6-6)

مخطط ليزر طبي *YAG*. وأن القدرة المقيدة معطاة بليزر *YAG* (غير مرئي) بينما ليزر *Ne-Ne* (مرئي) ذو قدرة ضعيفة وحزمته متراكبة مع حزمة ليزر *YAG* وهي لاتفيد إلا للرؤيا فقط

6-6 استئصال أو قطع النسيج *Tissue elimination* :

بغية القطع أو الاستئصال، نستخدم على العموم ليزرات (CO_2) حيث تكون الحزمة تحت الحمراء (طول الموجة $10\mu m \approx$) ممتصة بشراهة من قبل النسيج. وتستخدم قدرة مابين 10 واط و 50 واط متمركزة بواسطة عدسة على سطح يتراوح مابين ($0.1mm^2$ و $1mm^2$) بإصدار مستمر أو متقطع. وأن الحجم المعرض للأشعة يبدأ الغليان بسرعة، وهكذا فالقطع سريع بينما تسخين النسيج المجاورة يكون ضعيفاً.

ويفضل إستخدام أشعة الليزر في الجراحة عن باقي الطرق الآخرى لأسباب عديدة ففي عملية القطع وتخثر الدم تمتاز هذه التقنية بالآتي:

1- غياب التلامس مابين الأداة والنسيج.

2- امكانية الشرط الدقيق والمتواضع.

3- موقف جيد لنزف الأوعية الدموية الدقيقة.

4- التحام.

5- تعقيم كامل.

ويمكن لحزم الليزر أن تنتقل بالألياف الضوئية داخل منظار باطني. وهذا يسمح مثلاً أثناء التنظير الباطني بإتلاف الأورام الصغيرة أو بإيقاف النزيف ونتجنب بذلك بعض العمليات الجراحية الضارة. بينما في طب العيون (تخصص يستخدم حالياً على الغالب الليزرات)، فإن الأمراض الرئيسية التي يمكن معالجتها هي الانفصالات والتمزقات، ومن الأضرار البسيطة التي يمكن معالجتها حالة الانفصالات الشبكية، بحيث يسمح الليزر بإيقاف تطور المرض وذلك بإحاطة

الأضرار بشريط اصطدامات بحيث أن كل اصطدام يعمل كلحام. أما في حالة اعتلال الشبكية السكري، فإننا نفتش عن تخريب الشبكية حول البقعة العمياء كي نزيد ارواء البقعة العمياء وحماية الرؤيا.