الفيزياء الحيوية لليزر

د. عطية بن علي الغامدي

اكتشف العالم الفيزيائي ألبرت إينشتاين (Albert Einstein) ١٩١٧م، بأن الذرات ـ تحت شروط معينة ـ تستطيع امتصاص الضوء أو أي طاقة أخرى، ومن ثم يمكن حثها على أطلاق ما إمتصته من طاقة على شكل جسيمات ضوئية. وعلى أثر ذلك وخلال الأعوام من ١٩٥٠م إلى ١٩٥٨م، اقترح كل من كارلس تاونس (C. Townes)، وآرثر شالوه (A. Schawlow) ـ من الولايات المتحدة الأمريكية ـ تكبير إشعاعات هذه الجسيمات الضوئية بطريقة الأنبعاث الحثي، وقد صمما جهازاً لهذا الغرض، استخدما فيه مادة غاز النشادر للحصول على أول شعاع في مدى الموجات الدقيقة من الطيف الكهرومغناطيسي.

عرف هذا الجهاز آنذاك باسم الميزر (Maser)، وهي لفظة مشتقة من الحروف الأولى لعبارة:ـ

(Microwave Amplification by Stimulated emission of Radiation).

وتعني تضخم الموجات الدقيقة بواسطة الانبعاث المحفز للأشعة. ومن ناحية أخرى نجح **ثيدور ميمن** (T. Maiman) عام ١٩٦٠م، في استعمال مادة الياقوت الصناعي لإنتاج حزمة من شعاع الطيف المرئي يبعث شعاعاً فريداً من نوعه قرمزي اللون، وقد عرف الجهاز المنتج لهذا الشعاع بياقوت الليزر (RubyLaser). حيث تم اشتقاق لفظة (LASER) من الحروف الأولى للعبارة:ـ

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

وتعني التكبير الضوئي بواسطة الانبعاث المحفز للأشعة.

ومنذ ذلك الوقت احتل هذا الاكتشاف مكانة علمية فائقة أدت إلى استخدامه في كثير من التطبيقات منها مجال فيزياء الليزر الحيوية، حيث شهدت بداية الثمانينيات تغيرات في طبيعة بحوث الليزر الحيوية الطبية، وازداد الاهتمام بكيفية التعامل مع ميكانيكية تفاعل الليزر مع الأنسجة، مما جعله يلعب دوراً هاماً في التطبيقات الحيوية والطبية، فقد أسهمت الأجهزة البصرية الحديثة وأساليبها ـ بشكل كبير ـ في البحوث والاكتشافات الأساسية في علوم الحياة والطب وتطبيقاتها، حيث تَعدّتْ ـ وبمراحل ـ إمكانات الأجهزة التقليدية والأساليب المجهرية المعروفة. وقد أضحت القدرة على اكتشاف المعالجات الحيوية تعتمد على التقدم الذي يحدث في تقنية الليزر والكواشف الإلكترونية الحساسة والتحسينات في المعدات البصرية ومعالجة الصور والبرامج الخاصة بها.

وقد أصبح الليزر الآن أداة تقليدية يُستخدم في العديد من التطبيقات الطبية إضافة إلى تشخيص وعلاج مواقع عديدة داخل الجسم مثل القولون والقلب وتفتيت حصوات الكبد ... إلخ.

وقد انتشرت استخدامات الليزر في الفيزياء الحيوية والطب بشكل كبير، ولاتزال في نمو متزايد، ويشهد على ذلك تضاعف مبيعات أنظمة الليزر الطبية منذ عام ١٩٩٢م حتى عام ١٩٩٨م، جدول (١).

يستعرض هذا المقال تفاعل الليزر مع الخلايا الحيوية وبعض تطبيقاته الطبية.

خصائص شعاع الليزر

يختلف ضوء الليزر عن المصادر الضوئية الأخرى بخواص فريدة من أهمها:ـ

١ـ انبعاثه في شكل حزمة ضيقة متماسكة لها زاوية تفرق (تشتت) محدودة للغاية (تقترب من الصفر لمعظم أنواعه)، وذلك بعكس الضوء العادي الذي ينبعث في جميع الاتجاهات.

٢ـ له طاقة عالية ـ ذات تردد عال ـ وثابتة بالنسبة لوحدة المساحة التي يسقط عليها ولمسافة بعيدة، وذلك عكس طاقة الضوء العادي التي تقل مع المسافة.

الليزر والأنسجة الحية

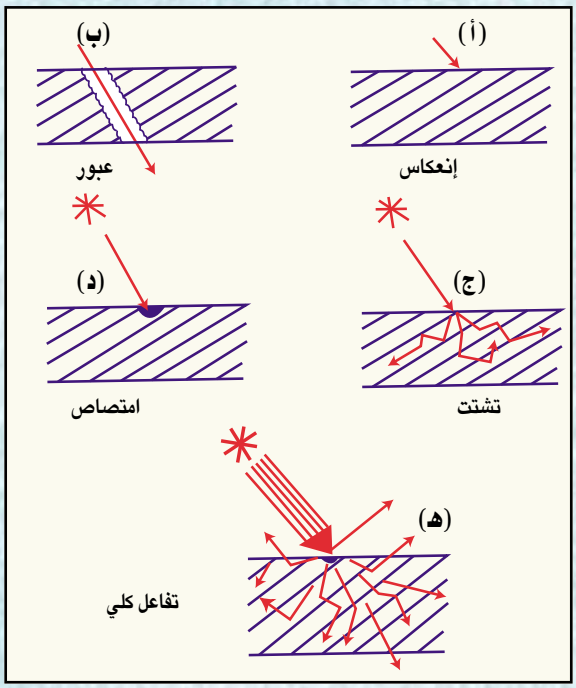
يعد شعاع الليزر حزمة كهرومغناطيسية ينتشر في اتجاه واحد حاملاً طاقة ضوئية تختلف كميتها باختلاف مصدره وزمن تعرض الأنسجة الحية له، حيث تعتمد نتائج تأثير شعاع الليزر على تركيب المنطقة الحيوية المُسلطْ عليها شعاع الليزر والطول الموجي، كما يُعطي كل نوع من أنواع الليزرات تأثيرات بيولوجية مختلفة، وبالتالي فإن كل نوع من أجهزة الليزر مفيد لتطبيقات حيوية مختلفة، وعليه يتطلب استخدام الليزر لعلاج الأنسجة الحيوية معرفة بالخصائص الفيزيائية للخلايا الحيوية تحت العلاج ونوع الليزر الملائم لهذا التطبيق.

● الخصائص الفيزيائية للخلايا الحيوية

تشمل هذه الخصائص المطلوبة معرفة معاملات امتصاص وتشتيت الخلايا الحيوية لليزر عند طول موجي محدد، وتحديد مقدار شدة الليزر على الخلايا وزمن التعريض، إضافة إلى معرفة حجم المنطقة الخلوية المعرضة لشعاع الليزر، ونوع الخلايا، وكيفية توزيع الصبغات (Pigments). كما يجب معرفة بعض الخصائص الفيزيائية مثل التوصيلية الحرارية (Thermal Conductivity) وانتشار شعاع الليزر في الخلايا والتحويل بالمركبات التبريدية مثل جريان الدم.

● خصائص الليزر المستخدم

من الضروري معرفة نوع شعاع الليزر المستخدم هل هو مستمر (cw) أو على شكل نبضات (Pulsed) وكمية الطاقة الصادرة وشدتها وطولها الموجي إضافة إلى مقاس بقعة الليزر.



● شكل (١) أنواع تفاعل شعاع الليزر مع الخلايا.

● أنواع التفاعلات

يمكن وصف طبيعة تفاعل جميع أنواع الليزرات مع الأنسجة الحيوية بالتالي:ـ

* **الانعكاس**: وينعدم تأثيره إذا انعكس بالكامل من سطح الخلية، حيث لا يوجد امتصاص للطاقة، شكل (١ـ أ).
* **العبور**: وينعدم كذلك تأثيره طالما أن جميع شعاع الليزر يخترق أو يعبر من خلال الأنسجة الحيوية من غير حدوث امتصاص أو تشتت، شكل (١ـ ب).
* **التشتت**: وله تأثير ضعيف داخل الخلايا الحيوية بسبب تعرض حجم كبير منها لهذا الشعاع، شكل (١ـ ج).
* **الامتصاص**: وينجم عنه أثر كبير بسبب الحجم الصغير من الخلايا الحيوية المعرضة مباشرة لشعاع الليزر المُسلط. ويتم التأثير على هذه الخلايا فقط، شكل (١ـ د).
* **التفاعل الكلي**: وفيه ينعكس ٥٪ من

الليزر	الطول الموجي (نانومتر)	الهدف	التطبيقات
إكزامر	١٩٣	بروتين النسيج	تصحيح النظر.
أرجون	٥١٤,٤٨٨	هيموجلوبين	التمييع بالضوء للشبكية.
ياك(٥٣٢مم)	٥٣٢	هيموجلوبين صبغات الوشم	قطع الأنسجة.
الصبغات	٥٧٧	هيموجلوبين	إزالة أمراض الأوعية.
الدايود	٦٥٠ – ٦٩٠	المحسسات الضوئية	العلاج بالديناميكية الضوئية.
الياقوت	٦٩٤	المحسسات الضوئية	إزالة الوشم.
ياك (١٠٦٤نانومتر)	١٠٦٤	الماء	القطع، والتمييع، وإزالة الوشم، وتطبيقات جراحية عديدة.
ياك الإربيوم	٢٩٤٠	الماء	تجميل الجلد بإعادة تشكيل سطح الأنسجة.
ثاني أكسيد الكربون	١٠٦٠٠	الماء	قطع الأنسجة، والجراحة، والتمييع، وإعادة تشكيل سطح الأنسجة.

● جدول (١) الليزرات الطبية المتداولة بكثرة وبعض تطبيقاتها.

شعاع الليزر عند سطح الخلية بينما يخترق الباقي لينعكس جزءٌ منه داخل الخلية ويمتص جزءٌ أخر، كما هو موضح في شكل (١ـ هـ).

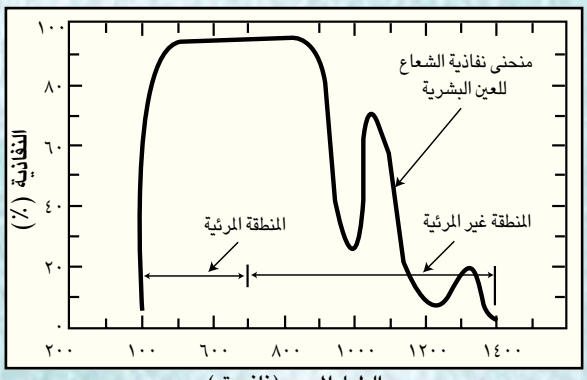
مما سبق ذكره يتضح أن الامتصاص والتشتت أهم التأثيرات، وقد يكون تأثير الامتصاص أكبر، وقد يكون تأثير التشتت أكبر، أو قد يكونان متساويان. فضلاً عن ذلك فإن أغلب الخلايا الحيوية لها خصائص ضوئية مثل معاملات الإنكسار والتشتت والامتصاص، وهذه تعطي تشتت أمامي قوي. كما توضح بيانات التشتت والامتصاص لطبقات الجلد في حالات كثيرة أنه أكثر أهمية من الامتصاص.

● الماصات الضوئية

تختلف الماصات الضوئية (Optical Absorbers) في الخلايا الحيوية باختلاف الأطوال الموجية، حيث يحدث أغلب امتصاص لأشعة الليزر في البروتين والحامض النووي منقوص الأكسجين (DNA) عند نطاق الموجات فوق البنفسجية من ٢٠٠ إلى ٣٥٠ نانومتر بينما يكون أغلب امتصاص لأشعة الليزر بالمنطقة المرئية في الأوكسي هيموجلوبين والميلانين. أما عند استخدام ليزر له طول موجي أكبر من ٢٠٠٠ نانومتر فإن الماء ـ المكون لأغلب الخلايا الحية ـ يعد الماص الرئيسي.

ومن أمثلة ذلك يشكل نطاق الأطوال الموجية من ٥٠٠ إلى ١٣٠٠ نانو متر نافذة لامتصاص منخفض وكلها تمثل مدخل مهم لما يسمى بالعلاج بديناميكية الضوء (PhotodynamicTherapies)، حيث يتم القضاء الانتقائي على الخلايا السرطانية عند دمجه مع العقاقير الحساسة لضوئه (Photosensetizer) مثل مشتقة الهيماتو فبرفرن (Hematophprphrin Deravative - HPD).

كذلك عند تسليط ضوء ليزر في الأطوال الموجية من ٤٠٠ إلى ١٤٠٠ نانومتر على العين فإنه يجعل القرنية وعدسة العين تمنعان الأشعة فوق البنفسجية، بينما يتم امتصاص الضوء المرئي وجزء من الأشعة تحت الحمراء في الشبكية، أما الأشعة التي لها طول موجي أطول من ١٤٠٠ نانو متر فتمتص بواسطة الماء الموجود بخلايا العين. ويبين (٢) منحنى الأشعة للعين البشرية للموجات ضمن المنطقة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء.



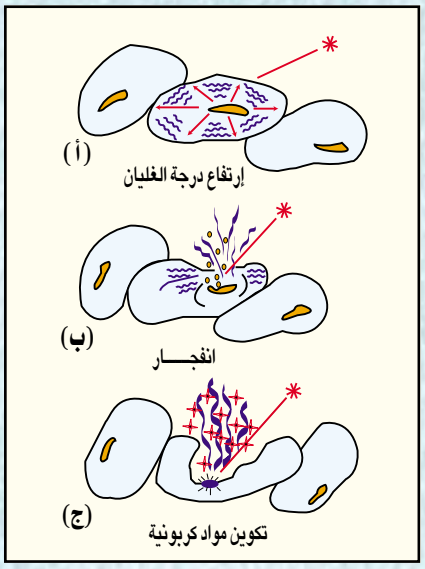
● شكل (٢) منحنى نفاذية الأشعة للعين البشرية للموجات ضمن المنطقة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء.

تأثيرات أشعة الليزر

أشعة الليزر عبارة عن موجات كهرو مغناطيسية، ولذا فإن فوتوناتها تحمل طاقة، وبالتالي يمكن حساب مقدار امتصاص الخلايا وإلكترونات الجزيئات الحيوية لطاقة هذه الفوتونات. وتنحصر التأثيرات الرئيسة لأشعة الليزر فيما يلي:

● التأثير الحراري

ينجم عن التأثير الحراري ـ الصادر عن أشعة الليزر ـ على الخلايا الحيوية تميع أنسجتها نتيجة لارتفاع درجة حرارتها بحوالي عشر أو عشرين درجة مئوية،



● شكل (٣) تأثير الليزر على الخلية

وتعتمد نسبة زيادة الحرارة على موقع الخلايا الحيوية بالإضافة إلى درجة الامتصاص لهذه الخلايا عند طول موجي معين، مما يؤدي إلى ما يسمى بالتخثير الضوئي (Photocoagulation) للخلية، حيث يستخدم تأثير التخثر بأشعة الليزر في جراحة تلحيم شبكية العين.

وهناك آلية التبخير الضوئي (Photovaporization)، وهي عبارة عن انتقال سريع للحرارة من حزمة الليزر إلى الخلية، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة ماء الخلية إلى ١٠٠م°، فينتج عن ذلك تبخره، وبالتالي ارتفاع الضغط داخل الخلية فتنفجر وتتحطم بالكامل وتنتشر شظاياها (Derbis) على هيئة بخار، كما في شكل (٣).

● التأثير الضوء ـ كيميائي

يحدث التفاعل الكيميائي بين أشعة الليزر والأنسجة الحية عند استخدام شعاع ليزر له طاقة عالية، مثل أشعة الليزر فوق البنفسجية، والتي تتميز بأنها ذات كفاءة عالية لإنتاج تفاعلات ضوء ـ كيميائية أكثر من تأثير أشعة الليزر في المنطقة المرئية وتحت الحمراء.

وحيث أن التأثير الضوء كيميائي على الأنسجة بواسطة أشعة الليزر ـ يتم استخدامها مع بعض العقاقير الحساسة للضوء (Photosenstizers) ـ لتشخيص وعلاج أنواع معينة من السرطانات فإن استخدام هذه العقاقير ينتج عدة تأثيرات على الأنسجة الحية القادرة على نقل الضوء إلى جزئيات نسيجية غير قادرة على امتصاص الضوء. ونظراً لأن مشتقات الهيماتوفبرفرن (HPD) قادرة على الاستقرار في ميلانين الأنسجة، وبالتالي فإن الأنسجة التي تحتوي عليهما سوف يحدث لها تفلور (Fluorescence) ـ إحداث ومضة ـ عندما تتعرض لأشعة ليزر في المنطقة المرئية أو فوق البنفسجية.

ولعلاج السرطان، يتم حقن المنطقة المصابة بأحد مشتقات الهيماتوفبرفرن واستخدام ليزر بطول موجي ٦٣٠ نانو متر مع وجود جزيئات الأكسجين (O_2) فيؤدي ذلك إلى تولد أكسجين أحادي ($^1O_2^*$) وإثارة مادة الهيماتوفبرفرن، وهذا يؤدي بالتالي إلى ظهور خلية سامة (مؤكسدة)، حسب العلاقة التفاعلية التالية:

$$P^* + O_2 \longrightarrow P + {}^1O_2^*$$

$$^1O_2^* + \text{خلية سرطانية} \longrightarrow \text{خلية مؤكسدة}$$

وهناك أنواع أخرى من المواد الحساسة للضوء (Photosensitizers) مثل الصبغات الماصة (Absorbing Dyes) حيث يمكن اختيار نوع مناسب ـ من هذه الصبغات ـ لكل نوع من أنواع الخلايا السرطانية ليتم امتصاصها بواسطة الخلايا السرطانية فقط دون التأثير على الخلايا السليمة.

تنتقل أغلب الطاقة الضوئية المُمتصة بواسطة تصادم جزيئات الأكسجين في الخلايا، وبالتالي ينتج عن انتقال هذه الطاقة تشكيل الأكسجين الأحادي الذي له القدرة

● استخدام الليزر في العلاج الطبيعي.

على قتل الخلايا السرطانية، وعموماً تعد الصبغات ذات كفاءة منخفضة للفلورة.

الاستخدامات الطبية لليزر

أصبح الفيزيائيون والجراحون هذه الأيام قادرين على توظيف الليزر في الكثير من المهام الطبية بكفاءة ودقة عالية. وتعتمد المفاهيم الأساسية على مميزات الليزر بالإضافة إلى الطبيعة التركيبية للأنسجة وخصائصها الضوئية والحرارية، وهناك فوائد كثيرة للمرضى عند استخدام الليزر في العلاج منها:

١ـ احتمالية الاستخدام في مناطق صعبة الوصول.

٢ـ فقدان قليل للدم.

٣ـ انخفاض نسبة الشعور بالألم أثناء وبعد العملية وسرعة شفاء المريض (بإذن الله).

٤ـ انخفاض الضرر للخلايا الحية المحيطة بالأنسجة.

٥ـ الدقة في علاج المنطقة المصابة.

٦ـ ليس هناك ضرر للمورثات أو تولد سرطان.

٧ـ تكلفة منخفضة للعلاج.

ويمكن استعراض بعض الليزرات الطبية وتطبيقاتها فيما يلي:ـ

● ليزر إلياك

يعد ليزر إلياك (ND: YAG Laser) أحد أنواع الليزرات الصلبة، ويعمل بنفس أسلوب ليزر الياقوت وأنواع الليزرات الصلبة الأخرى. وتعني الأحرف (ND: YAG) اختصار للمواد المكونة للوسط المنتج لشعاع الليزر وهي: نيوديميم ـ إيتريوم ـ ألمنيوم ـ جارنيت (Neodymium Yttrium Aliminum Garnet).

يتم الحصول من ليزرات إلياك على أشعة مستمرة وعلى شكل نبضات أيضاً، وتُستخدم في كثير من التطبيقات الصناعية والعسكرية والطبية. يبلغ الطول الموجي لشعاع ليزر إلياك ١٠٦٤ نانو متر، وله امتصاص ضعيف في الدم والماء.

تُستخدم خاصية اختراق وتشتت شعاع ليزر إلياك للأنسجة الحية وعبوره من خلال السوائل الشفافة في علاج التجاويف المائية مثل الكلية، كما يُستخدم في علاج باطنة الرحم باستخدام ليف بصري عن طريق هيستروسكوب (Hystroscope) يوصل شعاع الليزر إلى الرحم. كما يستخدم في علاج بعض أمراض العيون مثل الجلاكوما وتخثر الأوعية. كما يستخدم في عمليات التجميل مثل إزالة الشعر غير المرغوب فيه.

● جهاز ليزر الياك.

● ليزر ثاني أكسيد الكربون

يعد ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2: Laser) أحد ليزرات القدرة العالية، يعمل بأطوال موجية ١,٦ ميكرو متر و٩,٤ ميكرو متر.

● استخدام الليزر في عمليات التجميل .

ولليزر ثاني أكسيد الكربون أنواع منها ليزرات الاستثارة الطولية وليزرات الاستثارة المستعرضة وليزرات الحركية الغازية، وتصل قدرات هذه الليزرات إلى ٥٠ واط، وتزود أجهزتها بقطع يدوية وألياف بصرية وأذرعة متحركة.

تمتص الأطوال الموجية لليزرات ثاني أكسيد الكربون بشدة في الماء، الذي يكوّن من ٧٠٪ إلى ٩٠٪ من تركيب النسيج الحيوي بمعامل امتصاص كبير نسبياً. وعليه فإن أغلب الطاقة المُسلطة تمتص محدثة اختراق ذو عمق صغير جداً (٠,٠١ مم) مع حدوث ضرر بسيط للأنسجة عبارة عن منطقة تميع صغيرة جداً، فجعلت منه هذه الميزة جهازاً جراحياً دقيقاً. إضافة إلى استخدامات أخرى في مجال الطب مثل عملية قطع أو استئصال الأجزاء المصابة لتميزه بالقطع الدقيق تاركاً مناطق جافة غير دموية وبالعمق الذي يرغب به الطبيب المعالج عن طريق التحكم في شدة الشعاع المسلط وزمنه.

يتم انجاز عملية التبخير للأنسجة بتركيز أشعة الليزر على سطح الخلية أو أمامها أو خلفها حسب القدرة المحسوبة لإنجاز المهمة،شكل (٤. أ، ب). إضافة إلى ذلك فإن ليزر ثاني أكسيد الكربون يستخدم في التلحيم الدقيق للأوردة والأعصاب فيما يسمى بتقنية الجراحة الدقيقة(Microsurgery).

وبصفة عامة فإن لليزر ثاني أكسيد الكربون تطبيقات واسعة في الطب، حيث تشمل تطبيقاته أغلب فروع الطب مثل علم أمراض النساء وطب الأذن والأنف والحنجرة وطب العيون والجراحة التقويمية وجراحة الأعصاب. كما أن له استخدامات واسعة في معالجة المواد مثل القطع والتلحيم والتخريم.

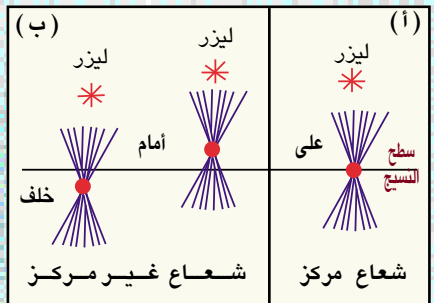
● جهاز ليزر طبي مع ملحقاته.

يستخدم ليزر أشباه الموصلات في المجال الطبي في عدة حالات منها إزالة الشعر غير المرغوب به نهائياً، وإزالة البقع الجلدية عن طريق جهاز محدد لهذا الغرض. كما يستفاد من ليزر أشباه الموصلات في تطبيقات كثيرة، وتتركز تلك التطبيقات على الاتصالات وكناقلات بصرية خلال الألياف البصرية وإسطوانات الليزر المدمجة ومستشعرات ضوئية وأجهزة الليدار- أجهزة تستخدم في استشعار تراكيز ونوعيات الملوثات عن بعد - وفي تحديد المسافات بالليزر وبعض التطبيقات العسكرية.

● ليزر أشباه الموصلات

ليزر أشباه الموصلات (Semiconductor Laser) عبارة عن ليزر صغير الحجم - يصل أحياناً إلى أقل من ميليمتر - ويعمل بأطوال موجية تمتد من المنطقة المرئية في اللون الأزرق إلى المنطقة تحت الحمراء البعيدة، ويعتمد نطاق الأطوال الموجية لكل ليزر على نوعية مواد الوسط الليزري. وتعمل ليزرات أشباه الموصلات - عادة - على شكل شعاع مستمر (CW)، أو على شكل نبضات.

تمتاز ليزرات أشباه الموصلات بإمكانية اختيار نطاق عريض من الأطوال الموجية، وتغيير عرض نبضات الليزر، وإمكانية توصيل النظام بألياف بصرية، وسهولة الانتقال.



● شكل (٤) تركيز حزمة الليزر في بقعة صغيرة على النسيج (أ)، وفي بقعة صغيرة أمام أو خلف النسيج (ب) .

المراجع

1- **I. Arons,** "Medical Laser Market Hits New High" Med Laser Rep. 11:1-2,1997.

٢- **عطية بن علي الغامدي**، «كيف يعمل الليزر» في كيف تعمل الأشياء بمجلة العلوم والتقنية، ١١ مقالة، الرياض منشورات مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.

3- **A. Carmen and M.D. Puliqfito**, Laser Surgery and Medicinc: Principles and Practice; A John Wiley&Sons, INC Publication, New York, 1996.

٤- **عطية بن علي الغامدي** «أجهزة الليزر: ليزر أشباه الموصلات»، مجلة مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، العدد السادس والأربعون، صفحة: ٥٢ – ٥٣، ١٤١٩هـ.