الباب الأول

أشعـــة الليـــزر

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الأول

نظـــرة تاريخيـــة

لكى نفهم كيف يعمل الليزر، يكون من المفيد أن نسترجع الأفكار عن طبيعة الضوء، وكيف تطورت هذه الأفكار إلى يومنا هذا.

يعتقد أن الإغريق أول من حاول تفسير ظاهرة الرؤية وبالنتيجة تفسير طبيعة الضوء، حيث وضع إقليدس نظريته القائلة بأن الرؤية تحدث من انبعاث شعاع ضوئى من العين إلى الجسم المرئى وبقيت هذه النظرية سائدة إلى أن جاء العالم العربى الحسن بن الهيثم والذى أكد أن الرؤية تحدث من انعكاس الأشعة من الجسم المرئى، بوجود الإضاءة، وبعد انعكاسها تسقط على العين وتخترق الشبكية، وتنتقل الإشارة إلى المخ بواسطة أعصاب العين، فتتكون الصورة المرئية للجسم.

وقد كتب ابن الهيثم ما يزيد على مئتين وخمسة وعشرين كتاباً فى مختلف العلوم وكان منها حوالى خمسة وعشرين كتاباً فى الفيزياء، ويعد كتابه «المناظر» من أهم ما كتب فى علم البصريات، وقد ترجم وطبع باللغة اللاتينية. ومن الأمور التى تطرق إليها العالم ابن الهيثم هى:

أ – قام بوصف الأجزاء المكونة للعين بشكل دقيق وبين أهمية أعصاب العين والمخ، وحاول تفسير الرؤية الواضحة بالعين نتيجة سقوط الأشعة العمودية على شبكية العين وكذلك كيفية حدوث الرؤية المجسمة التى تحدث نتيجة نظر كل عين من زاوية معينة، وبين أن أعصاب العين تتقاطع فى المخ.

ب – بحث فى قوانين العدسات المحدبة والمقعرة ووضع لها المعادلات الرياضية لانحراف الصورة.

جـ – درس العالم «ابن الهيثم» قوانين الانكسار التى توصل إليها بعدئذ العالم الغربى "Snail" وسميت باسمه، ودرس كذلك تأثير الظواهر الجوية على اللون.

د – أثبت أن الضوء الأبيض يتكون من مجموعة من الألوان وقام بتجربة، استعمل فيها مصراع أو «دوامة» ملونة ودورها بسرعة عالية جداً، فظهرت الدوامة بلون أبيض نتيجة اختلاط الألوان.

هـ – اكتشف عملية الغرفة المظلمة ذات الثقب، وكيفية تكوين الصور المقلوبة «الأشباح» وقام بتجربة لتفسير هذه الظاهرة من خلال صندوق وبه ثقب يوجه إلى الأجسام، فتتكون الصور المقلوبة داخل الصندوق.

و – فسر ابن الهيثم كيفية رؤية النجوم فى مواضع غير مواضعها، من خلال الانكسار الذى يحدث للضوء القادم منها.

وقد فسر ابن الهيثم أموراً كثيرة فى مجال البصريات وبقيت نظريته حتى القرن السابع عشر الميلادى حيث ظهرت نظريتان لتفسير طبيعة الضوء.. كانت النظرية الأولى ورائدها إسحق نيوتن والتى تنص على أن الضوء يتكون من جسيمات متناهية الصغر تسير بخطوط مستقيمة، أما النظرية الأخرى فرائداها روبرت هوك وكرستيان هيجنز.

وقد حاولت النظريتان تفسير طبيعة الضوء بالاستناد إلى الظواهر المتوفرة التالية:

١– انتقال الضوء بخطوط مستقيمة.

٢– زاوية السقوط تساوى زاوية الانعكاس.

٣– انكسار الضوء فى حالة انتقاله بين وسطين يختلفان فى الكثافة.

وقد قام العلماء بعدة تجارب لتأييد إحدى النظريتين، حيث قام «فوكلت» بقياس سرعة الضوء فى الماء ووجدها أقل من سرعة الضوء فى الهواء، وكذلك تجربة الحيود والتداخل والتى لا تفسر إلا على أساس النظرية الموجية، أما العالمان «مايكلسن» و«مورلى» فقد قاما بتجربة لاكتشاف الأثير، وقام العالم «فردای» بتجربة حول الضوء والمغناطيسية وأجرى العالم «هرتز» تجربة حول التفريغ الكهربائى، وقد وضع العالم الإسكوتلاندى «جيمس كلارك ماكسويل» معادلات رياضية لجميع التجارب السابقة، واستطاع بهذه المعادلات تفسير معظم الظواهر مثل الانعكاس والانكسار والاستقطاب وغيرها، وهى التى أكدت الطبيعة الموجية للضوء، إلا أنه فشل فى تفسير ظاهرتى الامتصاص والانبعاث الحاصلتين فى الذرات[١].

فى مستهل الكلام عن واقع تقنية الليزر الحديثة، التى بدأ الإنسان التدرب على استعمالها فى القرن العشرين، والتطور فى سبر أغوارها والتعرف على فوائدها، لابد من العودة إلى البداية – كما نفعل مع معظم الاكتشافات العلمية الكبيرة الأخرى – لنتذكر أول من وصف هذا الشعاع، لم يكن من العلماء والباحثين، بل كان الروائى الغربى المشهور «هـ. ج. ويلز» "H. G. Wells" فى سنة ١٨٩٨م فى روايته الخيالية «شعاع الموت» وهو شعاع وهمى رهيب قادر على تفجير وتفتيت الصخور، وحرق الأشجار، وقطع المعادن والحديد كأنها الورق[٢].

وفى عام ١٩٠٠م طور العالم الألمانى «ماكس بلانك» نظريته الكمية عن توليد الفوتونات، نتيجة الانبعاث من الذرات والجزيئات، وفتح العالم «أينشتاين» الطريق إلى

الليزر بدمج النظرية الكمية مع الظاهرة الكهروضوئية، وفى سنة ١٩١١م وضع العالم «رذرفورد» نظريته الذرية والتى صورت الذرة على أساس أنها تتكون من نواة مركزية موجبة الشحنة تحيط بها غيمة من الإلكترونات السالبة، وقد ساعدت العالم «نيلسون بور» بوضع نظريته عن ذرة الهيدروجين، وقد فسر العالم «بور» الانبعاث التلقائى فقط، وجاء «أينشتاين» فى عام ١٩١٦م وفسر الانبعاث الذى يحدث فى الذرة، حيث وضح أن هنالك عملية أخرى غير الانبعاث التلقائى تحدث فى الذرة ألا وهى «الانبعاث المحفز» الذى هو أساس عمل الليزر الذى سيأتى شرحه فى الفصول القادمة.

وقد حاول عدد من العلماء أمثال فبريكانت، وويبر، وبروخاروف، وباسوف، وتاونس بعد الحرب العالمية الثانية، تضخيم الأشعة الكهرومغناطيسية، وفى سنتى ١٩٥٤م ١٩٥٥م نجح الباحثون «كوردون» و«زيكرر» و«تاونس» فى تحفيز جزئيات الأمونيا للوصول إلى أشعة الميزر، وسميت بالميزر "MASER" اختصاراً للتعبير الآتى باللغة الإنجليزية:

Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

ومعناه: «تضخيم الموجات الدقيقة بواسطة الانبعاث المحفز» حيث أخذت الحروف الأولى من الكلمات الإنجليزية السابقة لاختصار التعبير المذكور.

إن نجاح الدكتور «تاونس» فى بناء جهاز الميزر فتح الباب واسعاً لـ «الليزر»، أى التضخيم المنشود فى المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسى، ولهذا فقد حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء سنة ١٩٦٤م مع فيزيائيين آخرين من الاتحاد السوفيتى وهما بروخاروف وباسوف.

حث نجاح التضخيم فى منطقة الموجات الدقيقة الباحثين فى كافة أنحاء العالم إلى التفتيش عن التضخيم فى المنطقة المرئية، وكان المبادر هو أيضاً الدكتور «جارلس تاونس» مع قريبه «آرثر شاولو» من الولايات المتحدة الأمريكية سنة ١٩٥٨م حيث نشراً بحثاً نظرياً حول ما يسمى بالميزر الضوئى «الليزر» والذى حدداً فيه الشروط اللازمة لتوليد الليزر.

وفى يوم ٧ يوليو سنة ١٩٦٠م أصبحت النظرية حقيقة وذلك بإعلان الدكتور «تيودور مايمان» عن نجاح أول ليزر من مادة الياقوت الصناعى وكان «ليزر الياقوت» وعرف الجهاز بالروبى ليزر Ruby laser وهو يبعث شعاعاً فريداً من نوعه قرمزى اللون يفوق الشمس بريقاً. **شكل (١)** وبعد ذلك توالت الاكتشافات فى حقل الليزر وتطبيقاته.

وفى سنة ١٩٦٠تم تم اكتشاف ليزر الهيليوم – نيون الذى يعمل فى وسط غازى، وفى عام ١٩٦٣م اكتشف الليزر الذى يعمل فى وسط سائل، وفى سنة ١٩٦٥ اكتشف ليزر ثانى أكسيد الكربون CO_2 الذى يعمل فى وسط غازى ينتج عن انتقالات بين المستويات الاهتزازية فى الجزيئة والذى تطور وأصبح من أكثر الليزرات كفاءة وقدرة وأكثرها شيوعاً للاستعمال[٣].

ومنذ ذلك الحين واسم الليزر LASER لم يتوقف عن التشعب المذهل فى التصميم والقدرات، جارفاً معه الكثير من الباحثين والعلماء، وفاتحاً المجال لعدد لا يحصى من التطبيقات والأعمال حتى أنه يقال: «عندما ينتهى عصرنا هذا سوف لا يسمى بعصر الذرة أو الفضاء، بل عصر الليزر».

obeikandl.com

الفصل الثانى

خصائص أشعة الليزر

قبل البدء بدراسة خواص الليزر، ينبغى تحديد معنى كلمة «ليزر» التى هى لفظة مشتقة من أوائل كلمات العبارة الإنجليزية التالية:

"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

حيث أخذت الحروف الأولى من العبارة السابقة فكانت كلمة LASER ومعناها «التكبير أو التضخيم الضوئى بواسطة الإشعاع المنبعث المستحث»(٤).

معنى كلمة ليزر:

وببساطة شديدة فإن شعاع الليزر هو شعاع وليس إشعاعاً..! ومعنى هذا أن الشعاع له تأثير وقتى وليس له تأثير مستمر وينتهى تأثيره بمجرد ملامسته للسطح وتفاعله يكون وقتياً كأشعة الشمس التى تحرق الجلد وبعد ذلك ينتهى كل شىء ولا يحدث للجلد أية آثار جانبية مستقبلاً. أما الإشعاع فيحدث فيه استمرارية فى التأثير؛ مثال ذلك القنبلة الذرية التى ألقيت على هيروشيما وناجازاكى.. ما زال تأثيرها حتى الآن على اليابان وذلك لأن الذرة وانقسامها وانشطارها مستمر فى المواد المشعة وينتهى بانتهاء عمر كل عنصر على حدة(٥).

موقع اشعة الليزر فى الطيف الكهرومغناطيسى:

تقع أشعة الليزر إما فى منطقة الطيف المرئى أو فى المنطقة تحت الحمراء بمناطقها الثلاث: القريبة والمتوسطة والبعيدة أو فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية، وقد أمكن الحصول على أشعة الليزر فى منطقة الموجات الميكرومترية، ويسمى الجهاز «الميزر» كما تم حديثاً الحصول على أشعة ليزر فى منطقة الأشعة السينية(٦). **الشكل (٢).**

خصائص أشعة الليزر:

فيما يلى نورد أهم الخصائص المشتركة لجميع أنواع أشعة الليزر التى تتميز بها هذه الأشعة عن تلك التى تنبعث من المصادر الضوئية العادية:

١- أحادية اللون "Monochromatic"، أو ما يسمى «النقاء الطيفى للأشعة»: فشعاع الليزر ذو عرض طيفى ضيق ينتج عنه تردد مفرد نقى، وهذه الصيغة الموجية كانت تتميز بها الأشعة الراديوية دون سواها، والسبب فى أن شعاع الليزر يحتوى على طول موجى واحد فقط وأنه أحادى اللون يعود إلى أن أشعة الليزر تنتج عن انتقالات محددة بين المستويات الذرية أو الجزيئية، وكذلك تعانى الانتقالات من تضييق أكثر بواسطة وجود المرنان والذى يقلص أحادية الطول الموجى كثيراً كما سيتضح من الفصول القادمة، ونلاحظ أن الضوء العادى

«المصباح مثلاً» يحوى مجموعة من الأطوال الموجية من الطيف الكهرومغناطيسى.

٢ – توازى الحزم الضوئية "Collimation" أو ما يسمى «الاتجاهية»: أى يكاد التشتت أو التفريق فى الحزمة الليزرية يكون معدوماً، كما أنها، بطبيعتها مركزة دون حاجة لاستخدام عدسات، فتنتشر فى خطوط مستقيمة أقرب إلى التوازى، ولهذا يمتلك شعاع الليزر اتجاهية عالية بحيث يمكن أن تنتقل حزمة الليزر إلى مسافات بعيدة وبدون أن يحدث لها توسع كبير بالقطر، إذ أن زاوية انفراج الأشعة ضئيلة للغاية حيث يتسع مقطع الحزمة بمقدار ملليمتر واحد فى كل متر تجتازه الحزمة.

وتقاس عادة زاوية انفراج حزمة أشعة الليزر بالزاويا نصف القطرية وتعرف على أساس قطر حزمة الليزر على المسافة. **الشكل (٣)**.

وتختلف زاوية انفراج حزمة الليزر من جهاز إلى آخر حيث أنها تعتمد على الشكل الهندسى للمرنان وكذلك الطول الموجى.

٣ – الترابط "Coherence" وهى خاصية بالغة الأهمية تميز أشعة الليزر إذ أن الترابط والتماسك بين موجات الحزمة الواحدة مكانياً وزمانياً يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات فى تقوية بعضها البعض لتعطى طاقة وقدرة عالية للحزمة الواحدة.

وإذا أردنا رسم ضوء حزمة أشعة ليزر على شكل موجات ضوئية فإنها سوف تظهر بحيث تتطابق القمم مع بعضها البعض وتكون باتجاه واحد.

أما مصادر الضوء العادى تكون غير مترابطة نتيجة للانبعاث التلقائى، حيث أن الانبعاث التلقائى يكون عشوائياً من ناحية الزمن والطور والاتجاه، فى حين أن أشعة الليزر تتكون نتيجة التفاعل المسلسل للانبعاث المحفز للفوتونات حيث يكون لها كلها نفس التردد ونفس الطور والاتجاه.

وإذا رسمنا الضوء العادى على شكل موجات ضوئية نلاحظ اختلاف الطور بين هذه الموجات ولهذا يسمى بالضوء غير المترابط. **الشكل (٤)**.

٤ – الشدة "Intensity" شدة الشعاع عالية ومركزة فى حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز الواحد ملليمتر، وعند استخدام البصريات الملائمة يمكن تعريضها وفق الحاجة.

فى حين أن المصباح الكهربى العادى المستخدم فى الإنارة تنبعث منه أشعة فى جميع الاتجاهات، فإذا استقبلنا الأشعة الصادرة من مصباح كهربى بفتيلة قدرته

١٠٠ وات على بعد ٣٠ متراً مثلاً، فإن القدرة التى تسقط على العين تكون أقل من ١٠٠/١ من الوات، فى حين أنه ينبعث من الليزر ضوء على هيئة حزمة ضيقة تتركز طاقتها فى منطقة ذات مساحة صغيرة للغاية، هذا التركيز للطاقة فى الفراغ أو ما يسمى «بالكثافة الضوئية» هو المسؤول عن الشدة العالية لأشعة الليزر، فإذا فرضنا أننا نظرنا فى اتجاه حزمة أشعة الليزر «وهو إجراء محظور» فإن كل القدرة المنبعثة التى تحملها أشعة الليزر سوف تسقط على العين ولو كانت قدرة الليزر فى رتبة وات واحد، وتظهر الأخيرة أعلى شدة بآلاف المرات من مصباح كهربى قدرته ١٠٠ وات، وينبعث من بعض أنواع الليزر حزم ضوئية بكثافة ضوئية تزيد على الكثافة الضوئية على سطح الشمس بملايين المرات[٧].

هذه هى بإيجاز الخواص الرئيسية التى تميز شعاع الليزر، وهناك خصائص أخرى ذات فوائد عظيمة منها:

١- الحزمة الضوئية لشعاع الليزر لا تملك كتلة، نظراً لأن كتلة الفوتونات المؤلفة لها تساوى صفراً.

٢- يمكن أن تكون الحزمة الضوئية مستمرة التدفق أو نبضية، وتتخذ هذه النبضات أشكالاً متعددة ومعدلات إعادة مختلفة تبدأ من نبضة فى الثانية الواحدة أو أجزائها إلى ملايين النبضات فى الثانية.

٣- سهولة السيطرة على حزمة الليزر خصوصاً ذات الترددات الضوئية المرئية للعين المجردة.

٤- سهولة إدارة وإدامة الليزر إذا ما قورنت بالإشعاعات الذرية والنووية الأخرى[٨].

الفصل الثالث

أساسيات العمل الليزرى

نظرية التركيب الذرى:

تكون المادة فى ثلاث حالات هى الحالة الغازية، والصلبة والسائلة، وبالتأكيد هنالك ملايين من أنواع المواد المختلفة، والتى قد تكون بالحالة الغازية البسيطة مثل الهيدروچين أو المواد الصلبة المعقدة التركيب، وكل هذه المواد تتكون من عناصر أساسية، وتتكون هذه العناصر من الذرات.

نجد فى داخل الذرة وعند مركزها نواة موجبة الشحنة الكهربائية وعلى بعد مسافة معينة من هذه النواة الموجبة الشحنة تتواجد جسيمات أصغر منها بكثير وذات شحنة سالبة، تسمى «الإلكترونات».

وتتكون النواة من عدة جسيمات أهمها البروتون والنيترون ويكون البروتون موجب الشحنة بينما يكون النيترون متعادلاً كهربائياً أى لا يحمل شحنة.

ويوجد هذا المخطط الأساسى فى داخل ذرة الذهب، أو الحديد أو النحاس أو غاز الهيدروچين، والفرق الأساسى بين ذرات هذه العناصر هو فى عدد البروتونات (الشحنات الموجبة)، ويكون عدد الإلكترونات فى الذرات مساوياً لعدد البروتونات، ولتقريب الصورة نستطيع أن نشبه التركيب الذرى بالمنظومة الشمسية حيث تدور الإلكترونات حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس[٩]. **الشكل (٥)**.

تلك هى صورة مبسطة عن التركيب الذرى، وإن العصر الليزرى يحمل فى طياته القدرة على النفاذ فى أغوار المواد سواء كانت غازية أو صلبة أو سائلة لتسخير ذراتها وجزيئاتها وحث كل منهما لإنتاج وبعث شعاع فريد فى صفاته الفيزيائية، وجيد فى مميزاته التطبيقية، فائق الجودة فى خواصه، يتألف من دقائق ضوئية تسمى بالفوتونات، ذات ترددات أو أطوال موجية معتمدة على نوع المادة المثارة، والطريقة المستخدمة فى الحث أو الإثارة، وهذا الشعاع قد يكون مرئياً للإنسان أو غير مرئى، مستمر التدفق أو نبضى.

ومن الممكن نظرياً بعث شعاع الليزر من كل العناصر المعروفة أو مركباتها، وعملياً تستوجب هذه العملية إيجاد طرق الحث المناسبة، وقد تم فعلاً التوصل خلال الأعوام القليلة الماضية إلى تصميم أجهزة تستطيع تكوين شعاع الليزر من عدد كبير من الذرات والجزيئات، ومن هذه الأجهزة ما يباع تجارياً، ومنها ما هو قيد التجربة والبحث، وتمتاز هذه الأجهزة بأشكالها، وأحجامها وطاقاتها المختلفة إلا أن أساسيات تصميمها واحدة.

العناصر الأساسية لأشعة الليزر:

يحتوى كل جهاز ليزر – مهما اختلف نوعه – على ثلاثة عناصر أساسية وهى:

الشكل (٦)

١- **الوسط الفعال**: وهى المادة التى تكون مسئولة عن توليد الليزر والتى تمتلك التوزيع العكسى، ومن أمثلة المواد الفعالة الشائعة الاستعمال حالياً:

* البلورات الصلبة: مثل الياقوت الصناعى وعقيق الألومنيوم والزجاج المسمى بالياج.
* المواد الغازية: مثل خليط غاز الهليوم والنيون.
* الغازات المتأينة: مثل غاز الأرجون وغار الكربتون.
* الجزيئات الغازية: مثل غـاز أول أكسيد الكربون وغـاز ثانى أكسيد الكربون CO_2.
* الصبغات السائلة: وهى صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة فى الماء.
* المواد الصلبة نصف الموصلة: مثل زرنيخات الجاليوم.

٢- **المصدر المهيج**: ويقصد به مصدر الطاقة الذى يجهز ذرات الوسط الفعال بالطاقة للحصول على التوزيع العكسى.

وتتنوع مصادر الطاقة المستخدمة حالياً ومنها:

* الطاقة الكهربائية: وتتمثل فى استعمال الطاقة الكهربائية المباشرة بأسلوبين: الأول باستخدام مصادر للترددات الراديوية كطاقة داخلية والثانى باستخدام التفريغ الكهربائى فى التيار المستمر ومثال ذلك ليزر غاز ثانى أكسيد الكربون وليزر الهليوم – نيون وليزر غاز الأرجون... إلخ.
* الطاقة الضوئية: والمعروفة باسم الضخ الضوئى ويمكن أن تنبعث من مصدرين أساسيين:
  - استخدام المصابيح الوهاجة ذات القدرة الكبيرة كما فى ليزر الياقوت.
  - استخدام شعاع ليزر كمصدر طاقة إلى ليزر آخر، وهذه شائعة الاستخدام فى إنتاج إشعاعات ليزرية كثيرة فى مناطق الطيف المختلفة.
* الطاقة الحرارية: يمكن أن يتسبب كل من الضغط الحركى للغازات، والتغيرات فى درجات الحرارة فى حث وإثارة المواد لتبعث أشعة الليزر.

obeikandl.com

* الطاقة الكيميائية: تعطى التفاعلات الكيميائية بين مزيج من الهيدروجين والفلور طاقة مسببة لحث هذه الجزئيات على بعث الإشعاع الليزرى.

٣- **المرنان**: وهو الوعاء الحاوى والمنشط لعملية التكبير، وفى العادة يستخدم إما:

- المرنان الخارجى: وهو مرآتان متقابلتان ومتوازيتان فى نهاية الأنبوب الحاوى للمادة الفعالة، وتكون الإنعكاسات المتعددة بينهما هى الأساس فى عملية التكبير الضوئى كما فى الليزرات الغازية.
- المرنان الداخلى: ويتمثل فى طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآة كما فى ليزر بلورات الياقوت وفى الليزرات الصلبة بصورة عامة.

وفى كلتا الحالتين يجب أن تكون إحدى المرآتين عاكسة كلياً (١٠٠٪) للفوتونات الضوئية، والأخرى عاكسة جزئياً (٩٥٪) حيث تسمح بمرور ٥٪ من الضوء الساقط عليها لكى يتسنى لشعاع الليزر الخروج منها[١٠]. **شكل (٧)**.

شروط الانبعاث الليزرى:

للحصول على شعاع ليزر من الضرورى توفر ثلاثة شروط أساسية وهى:

* توفر الانبعاث المستحث "Stimulated Emission".
* حدوث «التعداد المعكوس» أو ما يسمى التعاكس الإسكانى "Population Inversion".
* إيجاد التكبير الضوئى "Light Amplification".

ولوصف مثل هذه الظواهر، يجب أن نعود بالذاكرة إلى «التركيب الذرى» الذى سبق شرحه ونتذكر أن:

- الإلكترونات تدور حول النواة فى مدارات معينة وعلى أبعاث معينة، ويعتمد بعد الإلكترون عن النواة (أى قطر المدار) على طاقة الإلكترون، وأنه من الممكن أن يتواجد الإلكترون فى أحد هذه المدارات المحددة وللإلكترون ميل طبيعى إلى الانتقال إلى ما يسمى بالمستوى الأرضى من المستويات العليا حيث يكون المستوى الأرضى أكثر استقرارية[١١].

١- الانبعاث المستحث:

تحت الظروف العادية تكون غالبية الذرات فى مستوى الطاقة الأقل، وعدد قليل منها يكون فى المستويات العليا.

والذرات التى تكون فى حالة تهيج أى فى مستويات طاقة عليا تبعث الفوتونات الضوئية تلقائياً، للتخلص من حالة التهيج، أى الطاقة الزائدة وللنزول إلى مستويات طاقة أقل، ومثل هذه العملية تكون عشوائية الحدوث، والفوتونات المنبعثة لا تكون مترابطة مع بعضها البعض أى لا تكون بنفس الطور.

ويوجد نوع آخر من الانبعاث يلعب دوراً هاماً يسمى بـ «الانبعاث المستحث» ويحدث عند اصطدام فوتون طاقته مساوية للفرق بين مستويين للطاقة مع ذرة فى مستوى طاقة عليا، حيث يعمل هذا الفوتون على حث الذرة فى بعث فوتون آخر يملك نفس طاقة الفوتون الأول ويكون فى حالة ترابط طورى معه.

وقد يحدث الانبعاث المستحث فى ظروف طبيعية عادية ولكن فى حالات نادرة جداً، ويرجع ذلك لقلة عدد الذرات فى مستويات الطاقة العليا تحت هذه الظروف، ومن ثم فاحتمال الانتقال يكون صغيراً. **شكل (٨)**.

٢ - التعداد المعكوس:

ويتطلب انبعاث أشعة الليزر العمل على زيادة عدد الذرات فى مستويات الطاقة العليا، أى زيادة تعداد الأخيرة عن تعدادها فى الحالة الطبيعية وذلك عبر استخدام طاقة خارجية مثلاً، وعندما يكون عدد الذرات فى مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات فى مستويات الطاقة الدنيا، نستطيع القول بأنه حدث انقلاب فى التعداد أو عكس التعداد، وهو ما يسمى «التعداد المعكوس» أو «التوزيع العكسى» أو «التعاكس الإسكانى»، وتحت هذه الظروف يكون احتمال حدوث الانبعاث المستحث كبيراً، ويمكن الحصول على فوتونات مترابطة فى الطور مع بعضها البعض.

٣- التكبير الضوئى:

عندما تجبر مجموعة من الذرات أو الجزيئات لتكون فى وضع متهيج، أى تملك طاقة عالية، بمعنى آخر الحصول على تعداد كثيف فى مستويات الطاقة العليا، فإن انبعاث فوتون مفرد خلال انتقال الذرة، أو الجزيئة إلى مستوى أقل سوف يحث غالبية الذرات الأخرى الموجودة فى نفس مستويات الطاقة للانتقال وبعث الطاقة الزائدة على شكل فوتون.

بذلك يمكن الحصول على «ليزر نبضى» عن طريق ضخ النظام مرة أخرى للحصول على تعداد معكوس آخر ونبضة ليزرية أخرى، وذلك بعد إتمام عملية الانبعاث المستحث ورجوع غالبية الذرات المهيجة إلى وضع الاستقرار، ويجرى الضخ عادة باستمرار إما بفوتونات خارجية، أو بتفريغ كهربائى خصوصاً للمواد الغازية.

أما بالنسبة لـ «الليزرات» التى تنتج إشعاعاً مستمراً بدلاً من حزمة نبضية، فإنها تحتاج إلى وجود ثلاثة مستويات للطاقة لإحكام شرط التعداد المعكوس بدلاً من المستويين فى حالة الشعاع النبضى ، وفى هذا النوع تضخ الذرات باستمرار من المستويات الأرضية إلى مستويات الطاقة العليا، ومن ثم تنتقل هذه الذرات المتهيجة

إلى مستوى ثالث وسطى قيمة طاقته تقع بين المستوى الأرضى والمستوى الأعلى[١٢].

والخلاصة: أنه لكى نتمكن من توليد شعاع ليزر لابد من الحصول على الانبعاث المحفز ولكى نحصل على الانبعاث المحفز لابد من الحصول على التعداد المعكوس ويعتبر الضخ الضوئى واحد من أهم التقنيات المستعملة للحصول على التعداد المعكوس.

obeikandl.com

الفصل الرابع

أنواع الليزر التطبيقى

تقسيم أنواع الليزر:

أ – من حيث التكوين: تنقسم إلى:

١– الليزر الغازى: ويشمل ليزر ثانى أكسيد الكربون وليزر أول أكسيد الكربون وليزر هيليوم – نيون وليزر الأرجون.

٢– الليزر البللورى: ويشمل ليزر الياقوت وليزر العقيق وليزر نيوديميوم – زجاج، وليزر نيوديميوم – ياج.

٣– ليزر السوائل: ويشمل ليزر الصبغة.

٤– ليزر أشباه الموصلات: ويشمل ليزر زرنيخات الجاليوم.

٥– ليزر الإلكترونات الحرة.

٦– ليزر الومضات القصيرة ذات الطاقة العالية.

هذه هى أكثر أنواع الليزر استخداماً فى الوقت الحاضر، ولا تمر فترة زمنية تقاس بالأشهر إلا وتظهر أنواع جديدة أكثر تقدماً بخصائص مغايرة.

ب – من ناحية طبيعة الانبعاث: تنقسم إلى نوعين:

١– إشعاع مستمر.

٢– إشعاع نبضى أو وميضى: وهى أشعة على هيئة نبضات تسمى ومضات إذا كانت مرئية.

جـ– من ناحية القدرة المنبعثة: تنقسم أجهزة الليزر إلى ثلاثة أنواع:

١– أجهزة ليزر تنبعث منها أشعة ذات قدرة عالية تصل إلى مليون وات.

٢– أجهزة ليزر تنبعث منها أشعة متوسطة القدرة تصل إلى عشرات الوات.

٣– أجهزة ليزر تنبعث منها أشعة ذات قدرة ضئيلة تصل إلى بضعة أعداد من الميللى وات ولكل منها تطبيقاته المهمة[١٢].

أنواع الليـزر المستخـدم فـى المجال الطبى:

اولاً: ليزر الياقوت المطعم بالكروم إن ليزر الياقوت (الروبى) هو أول ليزر تم تشغيله فى التاريخ، ولا يزال هذا الليزر

يستعمل بكثرة. يكون الوسط الفعال فى ليزر الياقوت مادة صلبة هى الياقوت، وبلورة الياقوت معروفة منذ مئات السنين كأحد الأحجار الكريمة التى تتكون بشكل طبيعى، وهى بلورة متكونة من أوكسيد الألمونيوم (Al_2O_3) والتى تحل بها أيونات الكروم (Cr^{3+}) محل بعض أيونات الألمونيوم (Al^{3+})، وكمادة مستعملة فى الليزر يتم تنميتها فى المعامل للحصول على البلورة ذات المواصفات الجيدة والنقية، وطريقة تنميتها تعتمد على خلط مادة (Cr_2O_3) وبنسبة وزن تقدر بـ ٠,٠٣٥ ٪ مع (Al_2O_3) وبزيادة هذه النسبة يميل لون البلورة نحو الأحمر، **والشكل (٩)** يوضح الأجزاء الأساسية فى ليزر الياقوت[١٤]:

ومرنان ليزر الياقوت الذى استخدمه العالم «ميمان» متكون من مرآتين مستويتين تم الحصول عليهما من صقل نهايتى القضيب وبشكل جعلهما متوازيتين مع بعضهما وقد طليت إحدى النهايتين بمادة عاكسة كلياً ١٠٠ ٪ وجعل الثانية عاكسة بنسبة ٩٠ ٪ أى تسمح بمرور نسبة ١٠ ٪ من الضوء المتكون داخل البلورة.

وليزر الياقوت مفيد للغاية فى طب وجراحة العيون وخاصة فى علاج العيوب فى تركيب القرنية وتمزقات الشبكية وانفصالها عن المشيمية **شكل (١٠)**، ومن أهم خصائص ومميزات ليزر الياقوت ما يلى:

١- امتصاص البشرة المخاطية الملونة وخصوصاً الميلانين.

٢- امتصاص ضئيل بواسطة الهيموجلوبين.

٣- إمكانية التعريض لنبضات قصيرة مع أقل انتشار حرارى.

٤- أقل إتلاف للشبكية.

٥- نمط التشغيل: النبضى Pulse.

٦- منطقة الطيف: المرئية.

٧- الطول الموجى: ٦٩٤,٣ نانومتر[١٥].

٨- القدرة: تصل إلى أكثر من ١٠٠ ألف وات.

ثانياً: ليزر هيليوم - نيون:

كان ليزر الهيليوم - نيون أول ليزر غازى تم تشغيله وكان ذلك فى سنة ١٩٦٠م، وهذا النوع من أشهر أنواع الليزرات المستعملة فى البحوث والتطبيقات العملية، ومعظم مختبرات الليزر فى العالم تمتلكه.

ويحوى الوسط الفعال على خليط من غاز الهيليوم He بنسبة ٩٠ ٪ ومن غاز النيون Ne بنسبة ١٠ ٪ والغاز المسئول عن توليد أشعة الليزر هو غاز النيون، وكانت المشاكل الأولية فى الحصول على غاز النيون المتهيج، وقد تم حل هذه المشكلة

بإضافة غاز الهليوم الذى نستطيع بواسطته تهييج غاز النيون، ويكون ضغط غاز الهليوم داخل أنبوب الليزر بحدود واحد ملليمتر زئبق، بينما ضغط غاز النيون فى حدود ١,٠ ملليمتر زئبق.

ومن خلال المخطط التفصيلى لمستويات الطاقة فى ذرة الهيليوم والنيون شكل (١١) يمكن ملاحظة أن غالبية ذرات هذين الغازين تقع فى المستويات الإلكترونية n = 2,n = 1 على الترتيب، وعند إثارة هذه الذرات إلى مستويات طاقة عليا، فإنها يجب أن تعود إلى المستوى 1S فى الهيليوم و 2S فى النيون لإعادة الاستقرار فى مستويات الطاقة الأرضية[١٦].

وتستخدم أشعة الليزر المنبعث من ليزر هيليوم – نيون فى تشخيص الأمراض، ويتم ذلك عن طريقة تعيين معدل النمو فى مواقع على أنسجة مأخوذة من جسم الإنسان حتى لو كانت نتيجة تغيرات بطيئة للغاية، وهذا يفيد فى التشخيص المبكر لبعض الأورام السرطانية.

ومن أهم خصائص ومميزات ليزر هيليوم – نيون ما يلى:

١– ضبط الاتجاه إلى الهدف – أى التصويب بالغ الدقة نحو الهدف – لمعاونة أنواع الليزر التى ينبعث عنها أشعة غير منظورة لعين الإنسان.

٢– نمط التشغيل: المستمر .C.W.

٣– منطقة الطيف: المرئية.

٤– الطول الموجى: ٦٣٢,٨ نانو متر.

٥– القدرة: تصل إلى ٢٠ ملى وات.

ثالثا: ليزر الأرجون المتأين:

يكون الوسط الفعال فى هذا النوع من الليزر هو غاز الأرجون المتأين، ونقصد به أن ذرة الأرجون قد فقدت إلكتروناً واحداً وأصبحت تحمل شحنة موجبة، ولكي نزيح إلكتروناً واحداً من كل ذرة أرجون نحتاج إلى طاقة عالية، وبالنتيجة، فإن القدرة الكهربائية التى نحتاجها فى ليزر الأرجون الأيونى تكون أكبر وأعقد من تلك التى نحتاجها فى حالة ليزر الهيليوم – نيون، وبالتالى نحصل على قدرة ليزر خارجة من ليزر الأرجون المتأين أكبر من تلك التى نحصل عليها فى ليزر الهيليوم – نيون بالرغم من تقارب الكفاءة لهذين الليزرين. **شكل (١٢)**.

ويستخدم ليزر الأرجون المتأين فى تجليط الدم ولحام شبكية العين ومن أهم خصائصه ومميزاته:

١– امتصاص عال بواسطة الهيموجلوبين والميلانين.

٢- مدى واسع من التجميد الضوئى للدم.

٣- مدى واسع لزمن التعريض.

٤- امتصاص ضئيل للغاية بواسطة أوساط القرنية.

٥- منطقة الطيف: المرئية وفوق البنفسجية وذلك لكبر مستوياتها الطاقية.

٦- نمط التشغيل: تعمل الليزرات الغازية للغازات الخاملة مثل الأرجون والكربتون والزينون على نمط الانبعاث المستمر C.W بالرغم من أن بعضها يستعمل أيضاً على النمط النبضى Pluse.

٧- القدرة: تصل إلى ٢٠ وات، ويتم نقل شعاعه بواسطة الألياف البصرية.

٨- الطول الموجى: تحتوى حزمة أشعة الليزر المنبعثة من ليزر الأرجون على تسعة أطوال موجية (من ٤٥١,٩ إلى ٥١٤,٥ نانومتر)، إنما الغالبية العظمى هى للطول الموجى ٤٨٨,٠ نانومتر (الخط الأزرق)، ويليه الأخضر عند ٥١٤,٥ نانومتر ويمكن فصلهما باستخدام منشور (موشور Analysing Prism) مناسب.

٩- إمكانية تغيير الكثافة الضوئية ومساحة البقعة المضاءة تجعل من ليزر الأرجون أفضل جهاز لعملية تجميد الدم بقدرة ٣ - ٥ وات.

١٠- يستخدم أيضاً فى علاج الأمراض الجلدية.

رابعاً: ليزر الكربتون المتأين (Kr)

يقوم الفعل الليزرى فى ليزر الكربتون كما فى ليزر الأرجون على ذرات متأينة من كل منهما، وينبعث من النوعين أشعة مستمرة، والحرارة التى تتولد فى الأوساط الشفافة ضئيلة جداً، وتقع الأشعة المنبعثة فى منطقة الطيف المرئية وفوق البنفسجية.

ويستخدم ليزر الكربتون المتأين فى تجليط الدم ولحام شبكية العين.

أ- خط الكربتون الأحمر:

وطوله الموجى ٦٤٧,١ نانومتر، وينفذ خط الكربتون الأحمر خلال الطبقات الداخلية للشبكية مع امتصاص ضئيل. فحوالى ٤٥٪ من الضوء الذى يسقط على الطبقية الملونة المعتمة "Pigmented Epithelium" P.E والتى يطلق عليها «الغشاء الوعائى المصبوغ»، ونحو ٥٥٪ من الضوء الذى يسقط على المشيمة يمتص ويتحول إلى حرارة.

ويستخدم الخط الأحمر بكفاءة فى علاج الأمراض المرتبطة بتركيب الطبقات الخارجية للشبكية وفى العيوب التركيبية مثل تمزقات فى الشبكية، ولا يستخدم فى علاج العيوب التركيبية فى الطبقات الداخلية للشبكية.

ب – خط الكربتون الأصفر:

وطوله الموجى ٥٦٨,٢ نانومتر.

وأهم خصائصه:

١ – امتصاص عال بواسطة الأوكسى هيموجلوبين والهيموجلوبين المختزل.

٢ – امتصاص عال بواسطة الطبقة الملونة أو المصبوغة.

٣ – نفاذية عالية فى أوساط القرنية.

٤ – نفاذية عالية للزانثوفيل Xanthophyll.

ويعتبر امتصاص حزمة أشعة الكربتون الأصفر هو الأعلى من بين جميع أشعة الليزر الأخرى.

خامساً: ليزر ثانى اكسيد الكربون CO_2

فى سنة ١٩٦٥م تم اكتشاف أو ليزر يكون الوسط الفعال فيه جزيئات غازية، وهو ليزر ثانى أكسيد الكربون، حيث يختلف عن الأنواع السابق ذكرها من الغازات الذرية (ليزر الهيليوم – نيون والأرجون المتأين والكربتون المتأين)، ومعلوم أن الليزر الجزيئى ينتج قدرة أعلى وأكثر كفاءة حيث تصل كفاءة ليزر ثانى أكسيد الكربون على سبيل المثال إلى أكثر من ٢٠٪ وله تطبيقات كثيرة متعددة.

يمثل ليزر ثانى أكسيد الكربون أكثر ليزرات الغازات الجزيئية من حيث الأهمية التجارية لكفاءته العالية، وفى الواقع يستخدم هذا الغاز كخليط مع غازات أخرى، ويتكون الخليط من ١٤,٥٪ من ثانى أكسيد الكربون و ١٣,٥٪ نيتروجين، و ٨٢٪ من غاز الهيليوم.

ولنفهم نظرية عمل ليزر ثانى أكسيد الكربون، لابد من أن نوضح مستويات الطاقة الاهتزازية فى الجزيئات، فعندما تتحد ذرتان لتكوين جزىء ما، فإن هذا الجزىء يكون مستقر التكوين، ولا تنفصل هاتان الذرتان إلا بتأثير قوى خارجية، ومن المعلوم أنه فى حالة الاتحاد بين الذرات تنشأ القوى الكهربائية التالية: فهناك قوة تجاذب بين نواة الذرة الأولى الموجبة الشحنة وإلكترونات الذرة الثانية وبين نواة الذرة الثانية وإلكترونات الذرة الأولى، وبنفس الوقت توجد قوة تنافر بين النواتين، وكذلك قوة تنافر بين إلكترونات الذرتين.

وعلى هذا الأساس تباعد قوة التنافر بين الذرات وتقربهما قوة التجاذب من بعضهما للوصول إلى نقطة التوازن بين القوتين.

نتيجة وجود هذه القوى (التجاذب والتنافر) يحدث الاهتزاز حول نقطة التوازن

إلى جانب أن الجزىء تملك أيضاً طاقة دورانية، وهكذا كلما ازداد عدد الذرات المكونات للجزىء تعقد تركيب مستويات الجزىء وزاد عدد أنماط الاهتزاز.

فمثلاً: جزىء ثانى أكسير الكربون CO_2 يتكون من ذرتى أكسجين وذرة كربون واحدة فى الوسط، وتكون جميعها على استقامة واحدة، وبهذه الحالة تسمى «الجزيئة الخطية» الشكل (١٣)، وتوجد فى جزىء ثانى أكسيد الكربون ثلاثة أنماط اهتزازية مختلفة هى كالآتى:

أ - اهتزاز متماثل أو «طريقة السلب»: وهى عبارة عن اهتزاز ذرتى الأكسجين باتجاهين متعاكسين.

ب- اهتزاز الثنى أو «طريقة الإيجاب»: وهى عبارة عن اهتزاز ذرتى الأكسجين باتجاه عمودى على محور الجزىء.

جـ- الاهتزاز اللامتماثل أو «طريقة عدم التماثل»: وهى عبارة عن اهتزاز ذرتى الأكسجين فى اتجاه واحد.

يضاف إلى ذلك أن جزىء ثانى أكسيد الكربون يمتلك أيضاً طاقة دورانية. **الشكل (١٤)**.

نستطيع أن نرسم مستويات طاقة اهتزازات جزىء ثانى أكسيد الكربون حيث نلاحظ على الشكل نفسه مستويات طاقة جزىء النيتروجين. **الشكل (١٥)**.

ويضاف غاز النيتروجين والهيليوم إلى غاز ثانى أكسيد الكربون فى ليزر ثانى أكسيد الكربون، وعمل غاز النيتروجين هنا يشبه عمل الهيليوم فى ليزر الهيليوم - نيون.

يحدث الانتقال الليزرى بين المستوى المتهيج الأول للاهتزاز اللامتماثل إلى المستوى المتهيج الأول للاهتزاز المتماثل ونحصل على الطول الموجى ١٠,٦ ميكرون، وكذلك يمكن الحصول على الليزر أيضاً من الانتقال من المستوى المتهيج الأول للاهتزاز اللامتماثل إلى المستوى المتهيج الثانى لاهتزاز الثنى ونحصل على الطول الموجى ٩,٦ ميكرون.

ويبين **الشكل (١٦)** المخطط المبسط لليزر ثانى أكسيد الكربون، ويتكون من أنبوب الليزر الذى يحتوى على خليط من غازات ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين والهيليوم.

ويضخ ليزر ثانى أكسيد الكربون عادة بواسطة تسليط فرق جهد كهربائى، ونتيجة وجود هذا الجهد، تتحرك الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب.

وجدير بالذكر أن جزيئة النيتروجين تعمل كخزان للطاقة التى تجهز باستمرار جزيئات ثانى أكسيد الكربون، ولهذا تعد إضافة غاز النيتروجين إلى ليزر ثانى أكسيد الكربون ضرورية جداً، أما الهيليوم فسوف يساعد على تبريد جزيئات غاز ثانى أكسيد الكربون من الحرارة المتولدة داخل الأنبوب.

إن الطول الموجى لليزر CO_2 يقع فى منطقة الأشعة تحت الحمراء مما يستدعى الحذر فى اختيار مادة مرنان الليزر حيث يكون الزجاج العادى المستعمل فى الليزرات التى تعمل بالمنطقة المرئية غير صالح لأنه يمتص ليزر الأشعة تحت الحمراء، ولهذا تستعمل مواد أخرى مثل الجرمانيوم لمرايا المرنان، ومن هذه المرايا أنواع دوارة لتقطيع شعاع الليزر الخارج.

ومن أهم خصائص ومميزات ليزر CO_2 ما يلى:

١- الاختراق الطولى للأنسجة بصورة عامة تقريباً ١ ملليمتر.

٢- قابلية التخثير الدموى محدودة.

٣- قابلية القطع النسيجى ممتازة.

٤- يمتص من قبل المياه الخلوية.

٥- طريقة نقل الشعاع الليزرى بالمرايا العاكسة.

٦- الطول الموجى للشعاع = ١٠٦٠٠ نانومتر.

٧- نمط التشغيل:

أ - النبضى: قدرته تصل إلى ملايين الوات.

ب - المستمر .C.W : قدرته تصل إلى آلاف الوات.

٨- الاستخدام الطبى فى الجراحة كما يلى:

أ - الجراحة لمرضى عندهم قابلية النزف.

ب- الجراحة لبعض الأمراض الخبيثة مثل السرطان.

سادساً: ليزر النيوديميوم - ياج

Nd: YAG

يكون الوسط الفعال فى ليزر النيوديميوم مادة صلبة وهنا نستخدم بللورة الياج وتركيبها الكيميائى $Y_3 Al_2 O_{15}$" حيث تحل بعض أيونات Nd^{3+} بدلاً من أيون Y^{3+} فى البللورة، وتسمى بهذه الحالة بللورة Nd: YAG ويستعمل النيوديميوم ياج بكثرة كوسط فعال فى نمط الليزر المستمر وقد تم الحصول على قدرة خارجة من هذا النمط تزيد على آلاف الوات.

إن ليزر النديميوم هو ليزر ذو أربعة مستويات مما يجعل كفاءته أعلى من ليزر الياقوت وكذلك كمية الضوء التى نحتاجها لتشغيل ليزر النديميوم هى أقل من تلك التى نحتاجها لتشغيل ليزر الياقوت حيث أن ليزر الياقوت من منظومة ليزر المستويات الثلاثية.

ويبين **الشكل (١٧)** الرسم التخطيطى لمرنان ليزر الياج وتحدده مرآتان تكون إحداهما عاكسة ١٠٠٪ والأخرى عاكسة جزئياً بينهما بللورة نيوديميوم - ياج ويضخها مصباح هالوجين فتنبعث حزمة الأشعة تحت الحمراء بطول موجى ١,٠٦٤ ميكرون التى تسقط على بللورة لا خطية فتخرج التوافقية الثانية بالإضافة إلى الشعاع الأصلى ويكون تردد موجاتها ضعف تردد الأشعة الأصلية أى بطول موجى منظور فى الأخضر عند ٥٣٢ نانومتر[١٧].

ومن أهم مميزات وخصائص ليزر النيوديميوم - ياج ما يلى:

١- الاختراق الطولى للأنسجة بصورة عامة من ٥ إلى ٧ ملليمتر.

٢- قابلية التخثير الدموى جيدة.

٣- قابلية القطع النسيجى معتدلة أو متوسطة.

٤- يمتص من قبل بروتين الأنسجة بالإضافة إلى امتصاص عال جداً بواسطة الميلانين والهيموجلوبين.

٥- طريقة نقل الشعاع الليزرى بالألياف البصرية.

٦- نمط التشغيل: النبضى Pulse أو المستمر C.W.

٧- منطقة الطيف: تحت الحمراء.

٨- الاستخدام الطبى: فى الجراحات المعوية ووقف النزيف.

سابعاً: ليزر الصبغة:

إن ليزر السوائل هو عبارة عن أصباغ (Dye) عضوية مذابة فى سوائل مثل الكحول الإثيلى ولهذا تسمى بـ «ليزر الصبغة» حيث يكون الوسط الفعال سائلاً.

وكان أول تشغيل لليزر الصبغة سنة ١٩٦٣م حيث استعمل المصباح الوميضى المملوء بغاز الزينون لضخ الصبغة ضوئياً كما فى **الشكل (١٨)**.

وفى السنوات اللاحقة تم ضخ سوائل ليزر الصبغة بواسطة ليزرات ذوات أطوال موجية معينة، ومن الليزرات التى استعملت فى ضخ ليزرات الصبغة هى ليزر الأرجون وليزر الياقوت، ومن الجدير بالذكر أن كفاءة التحويل فى ليزرات الصبغة عالية جداً أى تصل إلى أكثر من ٣٠٪[١٨].

وينتظر أن يقدم ليزر الصبغة حزمة أشعة ليزرية بطريقة ميسرة للطب بعد التخلص من صعوبات ضبط ومحاذاة مكونات الليزر وتغيير محلول الصبغة وتنظيم الفتح الميكانيكى وتوفير ليزر الأرجون المطلوب للضخ الضوئى حتى يتم الحصول على الفعل الليزرى فى ليزر الصبغة.

ومن أهم خصائص ومميزات ليزر الصبغة ما يلى:

١- حل مشكلة الحرارة المتكونة داخل جهاز الليزر حيث يمكن تدوير السائل لكى يخلص الجهاز من الحرارة المتولدة من عملية انبعاث الليزر.

٢- إمكانية تنغيم حزمة الليزر أى الحصول منها على أطوال موجية حسب الطلب.

٣- منطقة الطيف: فوق البنفسجية.

٤- القدرة: فى حالة ليزر الصبغة النبضى تقدر بميجاوات وفى حالة ليزر الصبغة المستمر C.W تقدر بعدد محدود من الوات.

٥- المدى الطيفى لعمله: يقع بين ٣٠٠، ١٨٠٠ نانومتر وأفضل كفاءة بين ٤٠٠، ٩٠٠ نانومتر.

٦- الاستخدام الطبى:

- فى طب وجراحة العيون وفى عملية تجميد الدم بطول موجى ٦٣٠ نانومتر.
- فى جراحة التجميل.
- وفى علاج الأورام السرطانية.

ثامنا: ليزر الإكيسمير Excimer: ينشأ هذا النوع من الليزر عند وجود جزئ ثنائى الذرات فى حالة عدم استقرار أو استثارة[1].

ومن أمثلة هذه المركبات غير المستقرة فلوريد الأرجون ArF ومزيج فلوريد الزينون XeF وفلوريد الهيدروجين HF، وتوضع هذه المركبات فى أنبوب تحت المجال الكهربائى للحصول على التفريغ الكهربائى، وبعد الإشعاع تتحلل إلى أشكال عناصرها المؤلفة لها.

تعمل ليزرات الإكيسيمير على النمط النبضى ولها قدرات عالية فى المنطقة فوق البنفسجية (ArF طول موجته ١٩٣ نانومتر وXeF ٣٥٤ نانومتر).

وقد استطاع العلماء الحصول على ١٠٠ جول من الطاقة فى ليزرات الإكسيمير، ومن الجدير بالذكر والتنويه أن بعض العناصر فى هذه المركبات

الكيميائية تعتبر سامة جداً، لذا فهى تخلط فى وعاء مغلق بإحكام وتوجه إلى أنبوب التأين بتدفق مستمر[٢٠].

ويستخدم هذا النوع من الليزر فى علاج قصر النظر شكل (١٩)، وذلك بإزالة طبقات من قرنية العين شكل (٢٠) على هيئة عدسات موجبة، وبهذا يغنى عن استخدام النظارة الطبية وخاصة فى المهن التى تتطلب من صاحبها الظهور بغير نظارة[٢١].

obeikandl.com

الفصل الخامس

الأجهزة الليزرية المستخدمة فى الطب

استخدمت أجهزة الليزر فى الطب منذ عام ١٩٦٠ – أى منذ اكتشاف الليزر – والأجهزة التى لاقت اهتماماً واسعاً هى ليزر النيوديميوم – ياج وثانى أكسيد الكربون والياقوت والأرجون والكربتون... وغيرها.

والفكرة الأساسية فى استخدام الليزر فى الطب هى إمكانية الخلايا والأنسجة المختلفة من امتصاص شعاع الليزر بالطول الموجى المعين للقيام بالعلاج المناسب، فمثلاً ليزر الأرجون الذى يصلح استعماله لعلاج العيون لا يصلح لاستئصال الأورام الخبيثة أو قطع الكبد وهكذا.

والشعاع المرئى من الأرجون يمتص بشدة بواسطة الأنسجة الداخلية وهو فعال جداً للتخثير الضوئى، كما يمكن نقل شعاع الأرجون خلال الألياف البصرية، وبهذا يمكن استخدام الأشعة المستمرة أو أشعة بنبضات طويلة كمشرط جراحى، أما ليزر CO_2 فهو من الأجهزة الجراحية ذات الفعالية العالية عند استخدامه لقطع وغلق أوعية الدم الصغيرة فى الكبد والكلية والمعدة. ولكن المشكلة مع ليزر ثانى أكسيد الكربون CO_2 هى صعوبة نقله خلال الألياف الضوئية مما يتطلب أجهزة بصرية كبيرة الحجم، وفى ذلك يتفوق شعاع الليزر من النيوديميوم – ياج حيث يمكن نقله بواسطة الألياف الضوئية، وهكذا يمكن استخدامه فى علاج القرحة الداخلية **شكل (٢١)** وفى إزالة الأورام السرطانية من داخل الجسم[٢٢].

كما تم تطوير أجهزة ليزر مختلفة لاستعمالها فى علاج البشرة والعيون والدماغ والحبل الشوكى وغيرها حيث دخلت الأجهزة الليزرية إلى كل مستشفى حديث وباتت الجراحة باستخدام الليزر أمراً لا بديل له فى كثير من العمليات الجراحية وساعد فى ذلك تطور أجهزة الليزر الذى ألغى العديد من المشاكل التى طالما أعاقت استخدام الليزر مثل ضخامة جهاز الليزر القديم وتعقيده والتى تؤدى بدورها إلى حالة ارتباك داخل غرفة العمليات.

الفصل السادس

تأثير أشعة الليزر على الأنسجة الحية[٢٣]

يمكن لضوء الليزر أن يؤثر على النسيج الحى من خلال أربع آليات مختلفة **شكل (٢٢)** وهى:

١- الانتقال Transmission : وهذه الخاصية هامة جداً فى طب العيون حيث أن ضوء الليزر ينتقل عبر السوائل داخل العين ويصل إلى الشبكية. وأيضاً ينتقل عبر الطبقات السطحية الأولى من الجلد، لذا يستخدم فى علاج بعض الأمراض الجلدية مثل «الوحمات».

٢- الانعكاس Reflection : كلما زادت الزاوية التى يسقط بها الضوء على سطح النسيج كلما زادت كمية الضوء المنعكسة من على السطح. لذلك عند استخدام أشعة الليزر نحاول دائماً وضعها عمودية على الأنسجة حتى نحصل على أقل كمية من الانعكاس، وتعرف «الانعكاسية» بأنها النسبة بين القدرة الضوئية الكلية المنعكسة والقدرة الكلية الساقطة.

٣- الامتصاص Absorption : هى عبارة عن تحويل طاقة الإشعاع إلى شكل آخر من الطاقة عند تفاعلها أو تداخلها مع المادة. وهذه الخاصية هامة للغاية فى ليزر ثانى أكسيد الكربون والليزرات المرئية حيث أن الضوء يدخل فى الأنسجة، ويتم امتصاصه وتحويله إلى حرارة، وزيادة هذه الحرارة يؤدى إلى تبخر الماء وخلع أو استئصال النسيج.

٤- التشتيت Scattering : هو عبارة عن انتشار شعاع الليزر داخل النسيج فى اتجاهات مختلفة حيث تتفرق أشعة الحزمة الليزرية ولا تثبت فى بؤرة معينة وهذا يحد من عمق الاختراق داخل الأنسجة.

التأثيرات الحرارية لأشعة الليزر على الأنسجة:

- عند ٤٥ درجة مئوية: تحدث تغيرات فى الهيئة أو التكوين ويحدث ارتفاع فى درجة حرارة النسيج.
- عند ٥٠ درجة مئوية: يقل نشاط الإنزيمات.
- عند ٦٠ درجة مئوية: تتغير طبيعة البروتين.
- عند ٨٠ درجة مئوية: تتغير طبيعة الكولاجين فى الأنسجة.
- وعند ١٠٠ درجة مئوية: يحدث تبخر وخلع أو استئصال للنسيج.

العوامل الرئيسية التى تحدد تأثير أشعة الليزر على الأنسجة:

أولاً: عوامل تخص شعاع الليزر وهي:

١- قدرة شعاع الليزر مقدرة بوحدات الوات.

٢- زمن أو مدة التعرض لأشعة الليزر مقدرة بالثوانى.

٣- الطول الموجى لحزمة الليزر مقدرة بالأمتار وأجزائها.

٤- كثافة القدرة، وهى القدرة فى وحدة المساحة.

ثانيا: عوامل تخص الانسجة وتقبلها لاشعة الليزر وهى:

١- قابلية امتصاص الأنسجة لطول موجى معين فى أشعة الليزر.

٢- حجم النسيج المتأثر بأشعة الليزر.

٣- قابلية أو معامل التشتيت لأشعة الليزر فى النسيج.

٤- كثافة قدرة الإشعاع على النسيج.

٥- التوصيل الحرارى فى الأنسجة.

٦- تأثير التبريد فى الأنسجة، أى جريان الدم فى الأوعية الدموية فى النسيج المعين.

obeikandl.com

الفصل السابع

بعض المصطلحات الليزرية

الإشعاع: شكل الطاقة المنبعثة من الجسيمات النووية عند هبوطها لمستويات طاقة سفلى، أى ذات قيمة أقل.

الأشعة الكهرومغناطيسية: سريان الطاقة فى الفضاء على شكل موجات مستعرضة متألفة من طاقة كهربائية بحالة تعامد على الطاقة المغناطيسية، وكلاهما يتعامدان على اتجاه سير الإشعاع مثل: الموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء والأشعة المرئية.. وكلها تختلف عن بعضها بترددداتها وطولها الموجى.

الانبعاث: إطلاق أو التخلى عن الطاقة الزائدة على شكل إشعاع.

الألياف البصرية: أنابيب زجاجية رفيعة ذات أقطار مختلفة مصنوعة من الكوارتز أو مواد زجاجية أخرى تنقل الأشعة الضوئية بأقل فقدان فى الطاقة.

الطاقة: هى حاصل ضرب قدرة الشعاع (بالوات) وزمن الشعاع (بالثوانى) وتقاس «بالجول».

التردد: عدد الدورات فى الثانية الواحدة ووحدتها الهيرتز (Hz).

الليزر: جهاز يولد حزمة ضوئية من انتقالات إلكترونية أو ذرية أو جزيئية من مستويات ذات طاقة عليا إلى مستويات ذات طاقة أقل، ويمتاز بالترابط الموجى والشدة وأحادية اللون أو التردد. وكلمة «ليزر LASER» لفظة مشتقة من أوائل كلمات العبارة التالية:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

ومعناها: «التكبير الضوئى بواسطة الإشعاع المنبعث المستحث».

المادة: كل ما يشغل حيزاً فى الفراغ وله وزن.

القدرة: المعدل الزمنى لانبعاث الطاقة ويعبر عنها بوحدات «الوات».

الضخ: الإثارة الحرارية أو الكهربائية أو الضوئية التى تمد الوسط الفعال بالطاقة اللازمة.

الحث: الإثارة التى تسبب زيادة أو نقصان فى الطاقة أو ابتداء التفاعل فى أو مع الجسيمات الذرية.

الحزمة: هى مجموعة أشعة وتكون إما متوازية أو مفرقة أو ملتمة على بعضها.

الليزر النبضى: الليزر الذى تتكون طاقته من نبضات مفردة أو متعاقبة التتابع، وزمن النبضة فيها أقل من ٢٥٠ من الثانية.

التعداد المعكوس: حالة الوسط المادى التى تكون مستويات طاقته العليا أكثر تعداداً من الإلكترونات أو الذرات أو الجزئيات عنها فى مستويات الطاقة السفلى.

الرنين: الاهتزاز أو التردد لجسيمات الوسط المادى بمعدل طبيعى بمساعدة مصدر مهتز يملك نفس التردد أو مضاعفاته والجهاز المؤلف يسمى «المرنان» أو «المُرنِّن» أو «الرنّان».

الانعكاسية: النسبة بين القدرة الضوئية الكلية المنعكسة والقدرة الكلية الساقطة.

التشتيت: عند سقوط الضوء على وسط إلكترونى، يهتز الوسط بتأثير المجال الكهربائى للضوء الساقط ونتيجة لذلك تبعث جسيمات الوسط الضوء فى كل الاتجاهات ويؤدى هذا إلى تشتيت الضوء الساقط عن مساره المستقيم.

النفاذية: اختراق أو مرور الإشعاعات الكهرومغناطيسية خلال الوسط المادى وتقاس بنسبة القدرة الضوئية الكلية النافذة إلى القدرة الضوئية الكلية الساقطة.

المعدل العلاجى: هى النسبة بين الخلايا السرطانية المقتولة والخلايا السليمة المقتولة، ويستخدم هذا المصطلح فى العلاج بأشعة الليزر للسرطان أو العلاج بأشعة الفوتونات.

الفوتون: كمية من الطاقة لها طول موجى واحد يحدده منسوبا طاقة الذرة التى انتقلت بينهما.

مفتاح كيو Q: جهاز يولد نبضات ليزرية صغيرة بواسطة تحسين الخزن والتفريغ للطاقة الإلكترونية الداخلة والخارجة من وإلى الوسط الفعال ويسمى (Q-Switch) حرف (Q) نقل من تقنيات الراديو والميكروويف[٢٤].