وجهاز الليزر يولد حزمة ضوئية أشد بكثير من الضوء الذى تصدره المنابع الأخرى، ويتمتع بخاصية الترابط Coherence، وهي خاصية لا تتمتع بها الحزم الضوئية العادية. كما أن انتشاره الزاوى Angular Spread أصغر بكثير من الانتشار الزاوى للحزم الضوئية العادية[1].

والليزر هو "جهاز لإنتاج حزمة متوازية من ضوء شديد مركز بالغ الترابط متوازى إلى الحد الذى يجعل حزمة منه قطرها ١٠ سم لا يزيد اتساعها عند سطح القمر الذى يبتعد ٣٨٤ ألف كيلو متر عن ٥كم"[2].

ـ تاريخ اكتشاف أشعة الليزر:

حيث افترض أينشتين أن الفوتون الذى سيتحرر تلقائيا من ذرة مثارة ويحثها على أن تعود إلى حالتها المستقرة بإطلاق فوتون واحد آخر له نفس طاقة الفوتون الأصلي ونفس طوره وطوله الموجي وتواصل "الفوتونات"[٠] انتشارها معا متلازمين فى نفس الاتجاه لكي يحثا ذرات أخرى على إطلاق فوتونات إضافية تلتحق بهما على نفس المنوال فى نظام متتابع، وبذلك تؤدي فرضية أينشتين إلى أن الضوء المنبعث بهذه الطريقة يكون ذا شدة عالية نتيجة لتداخل الفوتونات المكونة له والتي لها نفس التردد والطور؛ بنائيًا وهذا النوع يعرف بالانبعاث المستحث، وهو شرط ضرورى لتوليد ما عرف بعد ذلك باسم أشعة الليزر.

وعلى الرغم من أن ألبرت أينيشتين اكتشف عملية الانبعاث المحفز إلا أنه ظل هذا الاكتشاف نظريا حتي عام ١٩٥٤م، بينما تم اكتشافه عملياً عام ١٩٦٠م عندما قام العالم الأمريكي "تيودور ميمان" فى جينيف ببناء أول شعاع ليزر بنجاح فى معامل هيوجز للطائرات[3]بواسطة بللورة من الياقوت المطعم بالكروميوم فانبعث من البللورة المضادة من الأشعة الحمراء طولها الموجي (٦٩٤٣ أنجستروم) وتتميز ببريق شديد فى اتجاه الأشعة ولا تفقد شدتها مع زيادة بعدها عن المصدر إلا ببطء شديد[4].

وقد أمكن بعد ذلك الحصول على أشعة الليزر فى منطقة الطيف المنظور، أو فى منطقة الأشعة تحت الحمراء أو فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية، ثم أمكن الحصول على أشعة الليزر فى منطق الموجات الصغيرة جداً (الميكرومترية)، وتسمي "أشعة الليزر" وفى عام ١٩٨٦ أمكن تصنيع ليزر الأشعة السينية، وهو ليزر بالغ الخطورة والأثر[5].

---

(١) المرجع السابق.

(٢) فرانسيس جينكينز: "أساسيات البصريات" ترجمة: عبد الفتاح أحمد الشاذلى، سعيد بسيوني الجزيري، الدار الدولية للنشر والتوزيع القاهرة، ١٩٩٢، ص ٨٣.

(٣) صلاح محمد إبراهيم، ٢٠٠٣م: الضوء كمؤثر درامي فى العمل الفني المطبوع، جامعة حلوان، علوم وفنون، المجلد الخامس عشر، العدد الأول.

(٤) زياد رمضان، ١٩٩١م: مبادئ الإحصاء الوصفي والتطبيقي والحيوي، كلية الإقتصاد والتجارة، الجامعة الأردنية.

(٥) أسامة طه صالح، محمد عبد المنعم طحيمر، ١٩٨٨م: الفيزياء، مكتبة مصر.

(٠) الفوتون: هو الجسيم الأولى المسؤول عن الظواهر الكهرومغناطيسية والوحدة الأساسية للضوء وجميع أشكال لإشعاع الكهرومغناطيسي الأخرى، ويختص بكونه معدوم كتلة السكون، ومعدوم الشحنة الكهربائية بالإضافة لكونه يتنقل فى الفراغ بسرعة فائقة.

ـ العناصر الأساسية فى تكوين الليزر:

من المعروف فى علم المواد أن المواد المختلفة تتكون ذراتها من عنصر أو أكثر من عناصر الجدول الدورى(**) والتي لا يتجاوز عددها ١٠٤ عُنصرٍ .

تتحد ذرات هذه العناصر بصور متنوعة لتؤلف عددا لا يحصى من الجزيئات التي بدورها تكون المركبات المختلفة، معطية الصفات المعروفة للمواد ومن الممكن نظرياً بعث شعاع الليزر من كل هذه العناصر أو مركباتها، وقد تم فعلا التوصل خلال الأعوام القليلة الماضية إلى تكوين شعاع الليزر من عدد كبير من الذرات والجزيئات سواء كانت على شكل مركبات غازية أو سائلة أو صلبة، ومن هذه الأجهزة ما يباع تجارياً، ومنها ما هو قيد التجربة والبحث، وتمتاز هذه الأجهزة بأشكالها وأحجامها وطاقاتها المختلفة إلا أن أساسيات تصميمها واحد وهي توافر ثلاثة عناصر رئيسية مشتركة وهي[1]:

١- الوسط المادي (Material Medium):

ويقصد به توافر المادة الفعالة بالكمية المناسبة، وقد تكون مكونة أو محاطة بالمرنن، ومن أمثلة المواد الفعالة الشائعة الاستعمال حالياً:

أ) البللورات الصلبة Crystalline Sold: مثل الياقوت الصناعي، وعقيق الألومنيوم، والزجاج المسمي بالياج.

ب) المواد الغازية –Gas: مثل خليط غاز الهيليوم والنيون، وخليط غاز الهيليوم والكادميوم وبخار الماء.

ج) الغازات المتأينة Ionized gases: مثل غاز الأرجون وغاز الكريبتون.

د) الجزيئات الغازية gas molecules: مثل أول أكسيد الكربون ، وغاز ثاني أكسيد الكربون.

هـ) الصبغات السائلة Liquid dyes: وهي صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة فى الماء.

و) المواد الصلبة نصف الموصلة: مثل أرسنيك الجاليوم.

٢- مصدر الطاقة (Energy Source):

وهو الذى يحدد طريقة الحث لإثارة المادة الفعالة وحثها على بعث إشعاع الليزر وتتنوع مصادر الطاقة المستخدمة حاليا ومنها:

---

(١) ضياء أحمد محمد محمد أحمدين،٢٠١١م : "تقنيات الليزر كمدخل للتجريب فى التصوير المعاصر" رسالة ماجستير، غير منشورة، التربية الفنية، جامعة حلوان، القاهرة، ص ٤٠ – ٤١.

(**) هذا الجدول يعزى بشكل عام الى الكيميائي الروسي ديمترى مندليف ن حيث قام فى عام ١٨٦٩ بترتيب العناصر بالاعتماد على السلوك (الدورى) للخصائص الكيميائية للعناصر، (الباحث).

أ) الطاقة الكهربية Electrical Energy: وتتمثل فى استعمال الطاقة الكهربية المباشرة بأسلوبين:

- استخدام مصادر للترددات الراديويه (RF) كطاقة داخلية.
- استخدام التفريغ الكهربائي فى التيار المستمر، مثال ذلك ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون وليزر الهيليوم نيون.

ب) الطاقة الضوئية Radiant Energy: والمعروفة باسم الضخ الضوئي ويمكن أن تنبعث من مصدرين رئيسيين:

- استخدام المصابيح الوهاجة ذات القدرة العالية كما فى ليزر الياقوت.
- استخدام شعاع ليزر كمصدر طاقة لليزر آخر، وهذه الأخيرة شائعة الاستعمال فى إنتاج إشعاعات ليزر كثيرة فى مناطق الطيف المختلفة، مثل ليزر الصباغات السائلة.

ج) الطاقة الحرارية Thermal Energy: يمكن أن يتسبب كل من الضغط الحركي للغازات والتغيرات فى درجة الحرارة فى حث وإثارة المواد لتنبعث أشعة الليزر.

د) الطاقة الكيميائية Chemical Energy: تعطي التفاعلات الكيمائية بين المزيج من الهيدروجين (H2) والفلور (F2) طاقة مسببة لحث هذه الجزيئات على بعث الإشعاع الليزرى، وكذلك خليط الدينريوم (DF)، وغاز ثاني أكسيد الكربون، مثال ذلك الليزرات الكيمائية[1].

٣- المرنن (resonance):

وهو الوعاء الحاوى والمنشط لعملية التكبير وفى العادة يستخدم واحداً من اثنين هما:

أ) المرنن الخارجي: وهو مرآتان متوازيتان فى نهاية الوعاء الحاوى للمادة الفعالة، وتكون الانعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس فى عملية التكبير الضوئي كما فى الليزرات الغازية.

ب) المرنن الداخلي: ويتمثل فى طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآة، كما فى ليزر باللورات الياقوت، وليزر عقيق الألومنيوم، وليزر الياج.

- وفى كلا الحالتين يجب أن تكون إحدى المرئتيين عاكساً كلياً للفوتونات الضوئية، والأخرى تسمح بالنفاذ الجزئي كي يتسني لشعاع الليزر الخروج منها خارج المرنن[2].

---

(1) الليزر الكيميائى هو نوع من الليزرات الغازية التي تنتج عن طريق التفاعل الكيميائي بين العناصر الكيميائية الناتجة من تفاعل الغازات إلى طاقة كهرومغناطيسية كبيرة وبالتالى فإن الليزر الكيميائي له قدرات عالية تصل إلى ٣٠٠٠ كيلووات فى بعض الأحيان.

(2) http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl.5-5-2012-4.PM.

ـ الذرة والليزر :ـ

أولاً :أساسيات فيزيائية حول الذرة:

يوجد في الكون ١٠٠ نوع مختلف من الذرات وكل شيء حولنا هو مكون من الـ١٠٠ ذرة تلك، ولكن كيف تتحد وتترابط الذرات مع بعضها البعض لتكون المواد مثل الماء المكون من ذرتين هيدروجين وذرة أكسجين أو كيف تكونت قطعة من الحديد أو النحاس. إن الذرات في حركة مستمرة حيث تتذبذب الذرات حول موضع استقرارها في المادة كما أن الذرات لها حركة دائرية أو حركة انتقالية أيضاً. فلو نظرت إلى طاولة خشبية مثلاً وبالرغم من أنها ثابتة في مكانها إلا أن ذراتها التي كونت الخشب في حركة مستمرة.

نتيجة لحركة الذرات التي تكتسبها من الطاقة الحرارية ، فإنها تتواجد في حالات مختلفة من الإثارة، أو بمعنى آخر أن الذرات لها طاقات مختلفة، فلو زودت ذرة ما بكمية من الطاقة فإن الذرة تنتقل من المستوى الأرضي ground state الذي تتواجد فيه إلى مستوى طاقة أعلى يسمى بمستوى الإثارة excited state ويعتمد مستوى الإثارة على كمية الطاقة التي زودت بها الذرة، ومصدر الطاقة إما حرارة أو ضوء أو كهرباء.

كما هو موضح بالشكل رقم (١٥٣) نموذج بسيط لتمثيل شكل الذرة الذي يتكون من النواة والإلكترونات التي تدور في مدارات حول النواة.

شكل (١٥٣) [1]

نموذج بسيط لتمثيل شكل الذرة

تحتوي الذرة على النواة (المكونة من البروتونات والنيوترونات) والإلكترونات التي تدور حول النواة في مدارات مختلفة، كل مدار هو عبارة عن مستوى طاقة.

---

(1) http://www.hazemsakeek.com.7-8-2011-12.A.M.

ثانياً: علاقة الذرة بالليزر:

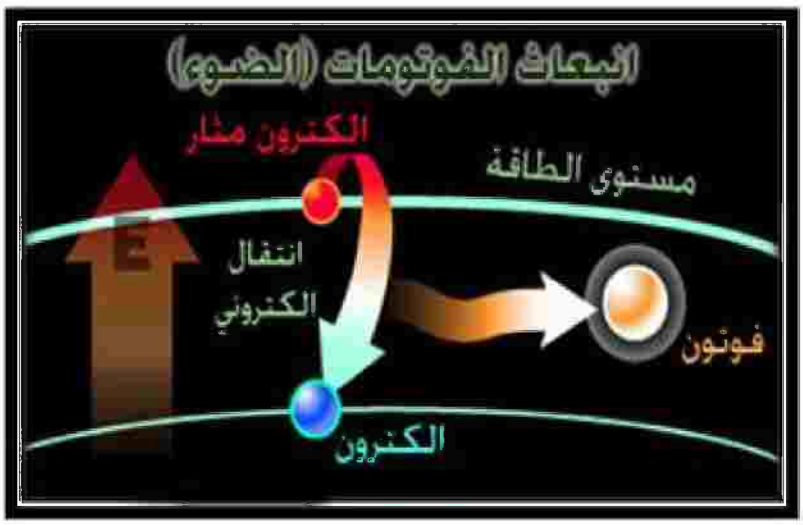
بالرغم من وجود عدة أنواع من الليزر، إلا أنها جميعاً تشترك في نفس الخصائص. ففي الليـزر يوجـد المادة التي تنتج الليزر ويتم إثارتها بواسطة عمليـة ضـخ pumping للإلكترونـات مـن المسـتوى الأرضـي إلى مستوى الإثارة. يستخدم للضخ الإلكتروني ضوء فلاش قوي أو بواسطة التفريـغ الكهربـي، ويسـاعد هـذا الضـخ على تزويد أكبر قدر ممكن من الإلكترونات لتنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى فتصـبح مـادة الليـزر مكونـة مـن ذرات ذات إلكترونات مثارة ونسميها بالذرة المثارة.

ومن الجدير بالذكر أنه من الضروري جداً إثارة عدد كبير من الذرات للحصول على ليزر وتسـمى هـذه العملية بانقلاب التعداد population inversion أي جعل عدد الذرات المثارة في مـادة الليـزر أكـبر مـن عدد الذرات غير المثارة.

وقلب التعداد هو الذي يجعل الضـوء الـذي تنتجـه المـادة ليـزراً، وإذا لم نصـل إلى مرحلـة انقـلاب التعداد نحصل على ضوء عادي.

وكما امتصت الإلكترونات طاقة كبيرة من خلال عملية الضخ فإن هذه الإلكترونات تطلق الطاقة التي امتصتها في صورة فوتونات أي ضوء.

الفوتونات المنبعثة لها طول موجي محدد (ضوء بلون محدد) يعتمد على فرق مستويات الطاقـة الـتي انتقلت بينها الإلكترونات المثارة. وإذا كان الانتقال لكافة الإلكترونات بين مستويين للطاقة محددين كما هـو موضح في الشكل رقم (١٥٤)؛ فـإن كـل الفوتونـات المنبعثـة سـيكون لهـا نفـس الطـول المـوجي الـذي يـبين الإلكترون باللون الأحمر وهو مثار ينتقل إلى مستوى طاقة أدنى (الإلكـترون بـاللون الأزرق)، ويفقـد طاقتـه في صورة فوتون.

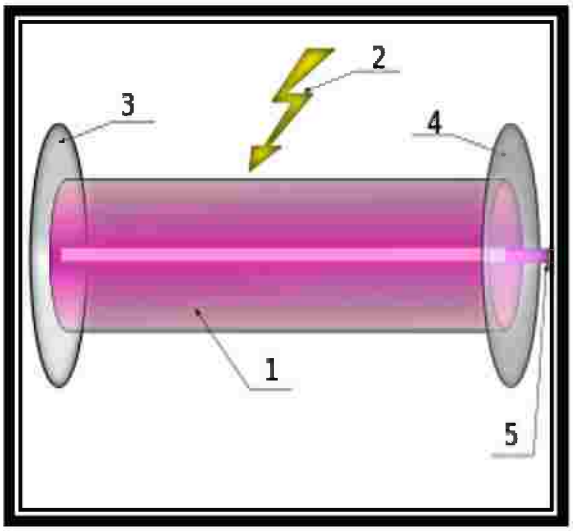


شكل (١٥٤)[1]

شكل يوضح انبعاث الفوتونات (الضوء)

(1) http://www.hazemsakeek.com-7-8-2011-12A.M.

ـ انبعاث ضوء الليزر:



شكل (١٥٥)

هذا شكل يوضح أجزاء جهاز الليزر.

(١) الوسط أو البلورة المنتجة لأشعة الليزر.

(٢) طاقة كهربائية لتحفيز الوسط الفعال على إصدار الموجات الضوئية.

(٣) عاكس للضوء (مرآة) عالى الأداء.

(٤) عدسة خروج الشعاع وقد تكون مستوية أوعدسة مقعرة.

(٥) شعاع الليزر الخارج (خرج ليزر).

كما يتضح بالشكل رقم (١٥٥).

ويعمل جهاز الليزر على انعكاس ضوء ذى لون واحد، أي ذا طول موجة واحدة بين المرآة الخلفية والعدسة. ويتم ذلك بتحفيز الوسط على إنتاج ذلك اللون من الضوء، وهي خاصية من خصائص البلورة المختارة أو الوسط. ، وبعد انعكاس شعاع الضوء داخل الوسط عدة مرات تصل الموجات الضوئية المتجمعة إلى وضع اتزان. عندئذ تتميز بانتظام طورها(خطوتها) وتخرج كشعاع ليزر شديد الطاقة[1].

أهمية مواصفات عدسة الشعاع:

أ- نصف قطر الانحناء:

قد يكون سطح العدسة الداخلي مستويا أو مقعرا وذلك بحسب الغرض المرغوب فيه. ويطلى السطح الداخلى للعدسة بطلاء فضي نصف عاكس حتى يستطيع شعاع الليزر الخروج من الوسط إلى الخارج. وإذا كانت هناك رغبة في تجميع الشعاعالخارج وتركيزه في بؤرة يكون السطح الخارجي للعدسة مقعرا. كما يطلى السطح الخارجي بطلاء يمنع الانكسار، لكي يتيح خروج شعاع الليزر الناتج عنه.

ب- معامل انعكاس العدسة:

يعتمد عدد الانعكاسات لأشعة الضوء المتراكمة داخل الوسط على نوع الوسط المستخدم؛ ففي ليزر الهيليوم-نيون نحتاج إلى درجة انعكاس للمرآة بنسبة ٩٩% لكي يعمل الجهاز، وأما في حالة ليزر النيتروجين فلا حاجة للانعكاس الداخلي (درجة انعكاس ٠٪) حيث إن ليزر النيتروجين يتميز بدرجة فائقة عالٍ إنتاجا لأشعة. ومن جهة أخرى تعتمد خواص العدسة المتعلقة بانعكاس الضوء على طول موجة الضوء. ولهذا يُعطي للخواص الضوئية للعدسة عناية خاصة عند تصميم جهاز الليزر.

---

(1) http://www.hazemsakeek.com. 7-8-2011-12A.M

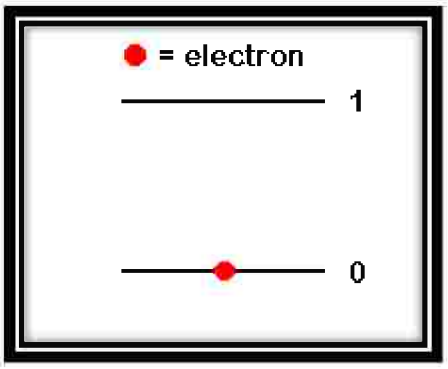
ـ الفرق بين ضوء الليزر والضوء العادي:

الضوء المنبعث أحادي اللون monochromati، أي أن له طولاً موجياً واحداً. يحدد الطول الموجي لون الضوء الناتج وكذلك طاقته.

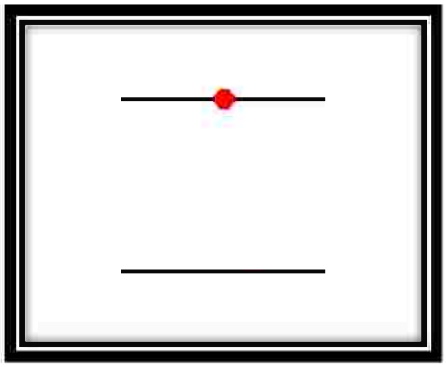
١- الضوء المنبعث من الليزر يكون متزامناً coherent، أي أن الفوتونات كلها في نفس الطور؛ مما يجعل شدة الضوء كبيرة فلا تتلاشي الفوتونات الضوئية بعضها البعض نتيجة لاختلاف الطور بينها.

٢- الضوء المنبعث له اتجاه واحد directional ؛حيث يكون شعاع الليزر عبارة عن حزمة من الفوتونات في مسار مستقيم بينما الضوء العادي يكون مشتتاً وينتشر في أنحاء الفراغ.

٣- المسؤول عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الاستحثاثي stimulatedemission، بينما في الضوء العادي يكون الانبعاث تلقائياً؛ كما بالشكل رقم (١٥٦)؛ حيث يخرج كل فوتون بصورة عشوائية لا علاقة له بالفوتون الآخر.



شكل رقم (١٥٦) عملية الإنبعاث التلقائي



شكل رقم (١٥٧) عملية الإنبعاث الإستحثاثي

العامل المهم في إنتاج الليزر هو المرايا المثبتة على جانبي مادة إنتاج الليزر تساعد المرايا على عكس بعض الفوتونات إلى داخل مادة الليزر عدة مرات ؛لتعمل هذه الفوتونات على استحثاث إلكترونات مثارة أخرى ؛كما بالشكل رقم (١٥٧)، لتطلق مزيداً من الفوتونات بنفس الطول الموجي ونفس الطور، وهذه هي عملية التكبير للضوء light amplification تصمم إحدى هاتين المرآتين لتكون عاكسيتها اقل من ١٠٠٪ لتسمح لبعض الفوتونات من الخروج عبرها وهو شعاع الليزر الذي نحصل عليه.

ـ خصائص أشعة الليزر:

وبما أن أشعة الليزر عبارة عن أشعة ضوئية مركزة، فإنها تخضع لقوانين الضوء من حيث: الانعكاس والانكسار، والانحراف بواسطة المرايا والعدسات والمناشير الزجاجية. وقد تمكن الفنانون من استخدام أشعة الليزر فى تشكيل صور رائعة باستخدام العدسات والمرايات والألياف البصرية Fiber Optics، وذلك من خلال انعكاس وانكسار أشعة الليزر المتوهجة، وتحويلها إلى نماذج ضوئية مبهرة.

وقد تكون أشعة الليزر على شكل نبضات pulses، أو موجات مستمرة continuous. فالليزر النبضات يصدر أشعته على شكل سلسلة من نبضات الضوء البالغة القصر. وتصدر هذه النبضات فقط عندما يكون الوسط الفعال فى 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 او مستمرة. وأهم الخصائص التى تتميز بها أشعة الليزر عن الأشعة الضوئية هي[1]:

١- اللقاء الطيفي:

شعاع الليزر حزمة ضوئية غاية فى النقاء من ناحية الطول الموجي[*].

فأشعة الضوء المنبعثة من المصادر الضوئية العادية، كمصباح الصوديوم أو الزئبق، وهي ما تستخدم فى الإنارة، هذه الأشعة على الرغم من وصفها بأنها وحيدة الطول الموجي، إلا أنها فى الواقع تحتوى على أطوال موجية أخرى حول الطول الموجي الرئيس، ومعني هذا ان الاتساع الطيفي لشعاع الليزر ضئيل للغاية، مقارنة بالمصادر العادية للضوء، ولهذا فإنه غاية فى النقاء من ناحية الطول الموجي أو التردد.

٢- شدة الشعاع:

وتقاس شدة أشعة الليزر بنفس وحدات قياس القدرة الكهربية، وهي "الوات" Watt[**] وتتراوح هذه الشدة بين عدة واتات، وآلاف الملايين من الوات. وتعد أشعة الليزر النبضية أقوى أنواع الليزر، لأن طاقتها مركزة فى شكل نبضات سريعة، ويمكن لأشعة الليزر المستمرة أن تنتج نفس كمية الطاقة مثل الأشعة النبضية، ولكن ذلك يستغرق وقتاً طويلاً[2].

وتستخدم أشعة الليزر القوية فى الأغراض الصناعية، مثل تثقيب وقطع المعادن، بينما تستخدم الأشعة الضعيفة لتشغيل الأقراص البصرية التي تسجل عليها الموسيقي. أما الأشعة متوسطة القوة فتستخدم فى الأغراض الطبية.

---

(١) ضياء أحمد محمد محمد أحمدين: مرجع سابق، ص٥٢.

(*) طول الموجه : هو المسافة التي تفصل بين الوحدات الموجية المتماثلة المتشابهة، الفصالة بين الأطوار المتشابهة (قمة مع قمة أو قعر مع قعر).

(**) هى وحدة قياس الواط (بالانجليزية : Watt) هي وحدة القياس العملية للقدرة وهي كمية الطاقة بالجول لكل ثانية . سميت بهذا الأسم نسبة لجيمس واط.

(2) Salimbeni R., Pini R., Siano S., Achievement of optimum laser cleaning in the Restoration of artworks: expected improvements by onptical diagnostics, Spectrocimica Acta, Part P.56.

٣- تركيز الأشعة:

شعاع الليزر عبارة عن حزمة ضوئية، رفيعة جداً، إذ إن زاوية انفراجها صغيرة جداً، وتسير هذه الأشعة فى خطوط مستقيمة، أقرب ما تكون إلى التوازى[١]، ويصاحب عدم انفراج الأشعة بريق شديد، ضار بالعين إذا ما استقبلته مباشرة ، بينما مصادر الضوء الأخرى تشع ضوءها فى جميع الاتجاهات، وهذا يعني أن حزمة الليزر لا تفقد شدتها إلا ببطء شديد، فإذا أرسلت أشعة فى اتجاه القمر، على بعد ٤٠٠ ألف كيلومتر من سطح الأرض تقريباً، وكانت بالشدة الضوئية الكافية؛ فإنها تفرش على سطح القمر بقعة مضاءة لا يزيد قطرها على كيلومتر واحد، فى حين أنه إذا أرسل الضوء العادى ووصل، فرضاً، إلى سطح القمر؛ فإن قطر البقعة المضاءة يصل إلى ٤٣٧٦ كيلو متر تقريباً.

وتستطيع أشعة الليزر أن تكثف طاقة تسافر إلى مسافات كبيرة، كما تبين فى عام ١٩٦٩ عندما أرسل العلماء شعاعاً من الليزر ليرتد من فوق عاكسات وضعها رواد الفضاء الأمريكيين فى برنامج "أبوللو" على سطح القمر، وتلقوا إشارة مرتدة على الأرض، وهو أمر نادر الاحتمال باستخدام مصادر الضوء العادية[٢].

٤- ترابط وتماسك فوتونات الأشعة :

من الخصائص المهمة لأشعة الليزر ترابط وتماسك الفوتونات المكونة لها. والأشعة الضوئية تصدر عن إثارة العناصر، وتنبعث منها فوتونات لها طول موجي واحد، يحدده منسوباً طاقة الذرة التى انتقلت بينها هذه الفوتونات وملايين هذه الانتقالات، التي تحدث فى ملايين الذرات المثارة، ينبعث عنها ملايين الفوتونا، وتظهر للعين المجردة أشعة ضوئية، ويلاحظ هنا عدم وجود رابطة بين الفوتونات المنبعثة. ويمكن تشبيه الأشعة العادية بأصوات من ملايين المصادر المتماثلة، ولها التردد نفسه، ولكنها لا تصدر فى وقت واحد، وبهذا فإنها تسمع من بعد وكأنها ضجيج ، فى حين أنه إذا انطلقت هذه الأصوات فى الوقت نفسه، فإنها تصبح حادة، شديدة الأثر[٣].

٥- أحادية اللون :

يكون الضوء الناتج من الليزر أحادى اللون monochromatic، بينما الضوء الأبيض الناتج من الشمس يتكون من ألوان الطيف المرئية. ويوجد حالياً أنواع من الليزر تنتج جميع الألوان الطيفية، المرئية منها وغير المرئية، مثل الأشعة تحت الحمراء، وفوق البنفسجية.

حيث إن الضوء العادى يكون قابلاً للتحلل إلى ألوان الطيف السبعة عندما يمر عبر منشور زجاجي على عكس شعاع الليزر الذى لا يتحلل عند مروره بالمنشور الزجاجي، فهو ضوء مترابط أحادى اللون وتعد أحادية لون الليزر هي الخاصية المرادفة للخاصية الأولى (النقاء الطيفي)، حيث إن الطول الموجي فى الخاصية الأولى يُرادف فى الخاصية الثانية[٤].

---

(1) Raizer Yu. P., Laser –induced discharge phenomena, Plenum press, New York 1977, P. 56.
(2) http://www.gamalekonline.com/arabic/laser.html.5-4-2012-7.A.M.
(3) www.qalqilia.edu.ps/laserpro.htm.8-11-2012-12.A.M.
(4) Proceedings of "Laser Techniques and Systems in Art Conservation", SPIEVO 4402, 201.