جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

صناعي / صيانة منظومات الليزر

الثاني

تأليف

أ.د. عدويه جمعه حيدر أ.د. حازم لويس منصور

د. علي جاسم الجابري وداد عبد الله عبد الحسين

الطبعة الرابعة 1445 هـ - 2023 م

المقدمـــة

يمثل هذا الكتاب دعامة من دعائم المنهج المطور في الليزر، والذي يعمل على تحقيق اهداف علمية، وعملية تواكب التطور العلمي في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات .

شمل هذا الكتاب ثمانية فصول تضمن الفصل الاول، معلمات حزمة الليزر، اما الفصل الثاني فتناول الخصائص البصرية للمادة، وتكوين البلازما، وفوائد ومساوئ استعمال الليزر، وركزنا في الفصل الثالث على العوامل المؤثرة على الليزر في التطبيقات الصناعية، اما الفصل الرابع فقد تم عرض فكرة استعمال اشعة الليزر في الاتصالات، والالياف البصرية ومكوناتها، اما الفصل الخامس فتضمن مميزات اشعة الليزر الاساسية في الطب والليزرات المستعملة في علاج العيون والأسنان، اما الفصل السادس فقد تم عرض التطبيقات العسكرية لليزر والرادار الليزري وتأثير دوبلر، اما الفصل السابع فخص تطبيقات الليزر العلمية والبيئية والتجارية وعن الترصيف البصري، اما الفصل الثامن فتكلم عن السلامة في التعامل مع الليزر ومخاطر الليزر .

ولا يسعنا الا ان نتقدم ببالغ شكرنا وتقديرنا للأساتذة الافاضل الذين ساهموا بتقويم الكتاب وإبداء ملاحظاتهـــــــم وتوجيهاتهـــــــم وهـــــــــم الخبيرتين العلميتين، الست (عدويه محسن علوان) والست (هاله عبد الصاحب وادي) والخبير اللغوي الاستاذ (عبد الحسين زناد) .

ومن الله التوفيـــق

المؤلفـــون

1436 هـ / 2015 م

الفصل الاول

معلمات حزمة الليزر والمادة

The Laser Beam Parameters and Material

أهداف الفصل الأول

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:

- يعرف مميزات الطول الموجي .
- يحدد أمد النبضة .
- يعرف الإنفراجية .
- يميز بين الطاقة والقدرة .
- يحسب الشدة المنبعثة.
- يبين أهمية التركيب النمطي .
- يفسر تبئير حزمة الليزر .
- يوضح معنى الترصيف الضوئي .
- يعرف معلمات المادة .
- يحسب الانعكاسية .
- يحسب الامتصاصية.
- يميز طبيعة خشونة السطح .
- يحسب التوصيلية الحرارية .
- يحسب الانتشارية الحرارية .
- يحسب زاوية انفراج حزم الليزر.
- يحسب عمق الاختراق الحراري.

1-1 تمهيد

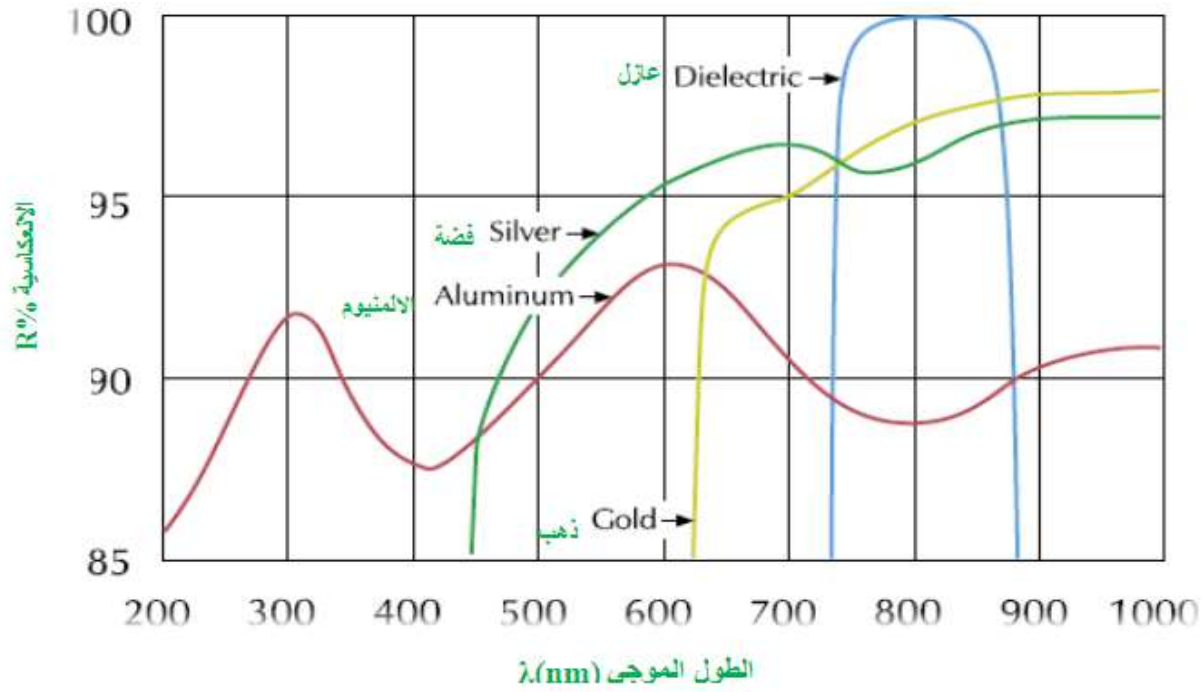
يستعمل الليزر في الكثير من التطبيقات المتنوعة، ولكل من هذه التطبيقات توجد مواصفات محددة، بعض من هذه المواصفات يتعلق بطبيعة الليزر المستخدم ويطلــق عليــه "معلمات حزمة الليزر" ومنها ما يتعلق بطبيعة المادة ويطلق عليه "معلمات المادة" وسيتم التطرق في هذا الفصل على بعض من هذه المواصفات والخصائص وكما يأتي:

2-1 معلمات حزمة الليزر

يتحدد تعامل الليزر مع المادة بمواصفات معينة تعتمد على خصائص ومعلمات حزمة الليزر، لذا لابد من التعرف على هذه المعلمات وكيفية تحديد قيمها المناسبة لكل عملية وهـي:-

1-2-1 الطول الموجي Wavelength

يمتاز شعاع الليزر بكونه احادي الطول الموجي (Monochromatic) اذ تقع طاقته ضمن نطاق ترددي ضيق، ويؤثر الطول الموجي في عملية التفاعل بين شعاع الليزر والمعادن لأنه يحدد مقدار ما يمتصه المعدن من طاقة الشعاع الساقط إذ ان انعكاسية المعادن تختلف باختلاف الطول الموجي، فتزداد الانعكاسية بصورة عامة بازدياد الطول الموجي، لاحظ الشكل (1-1).



الشكل 1-1: انعكاسية بعض المعادن والعازل لمدى واسع من الاطوال الموجية.

من المعروف ان الانبعاث الليزري يشمل مدى واسع من الاطوال الموجية بدءاً من المنطقة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء لذلك فان لكل تطبيق يتم استعمال نوع محدد من انواع الليزر. ان مقدار الضوء الذي يمتصه المعدن (بالإضافة للذي ينفذ منه) يساوي (1-R) وبالتالي فان اختلاف المعادن يؤدي الى اختلاف امتصاصيتها لشعاع الليزر.

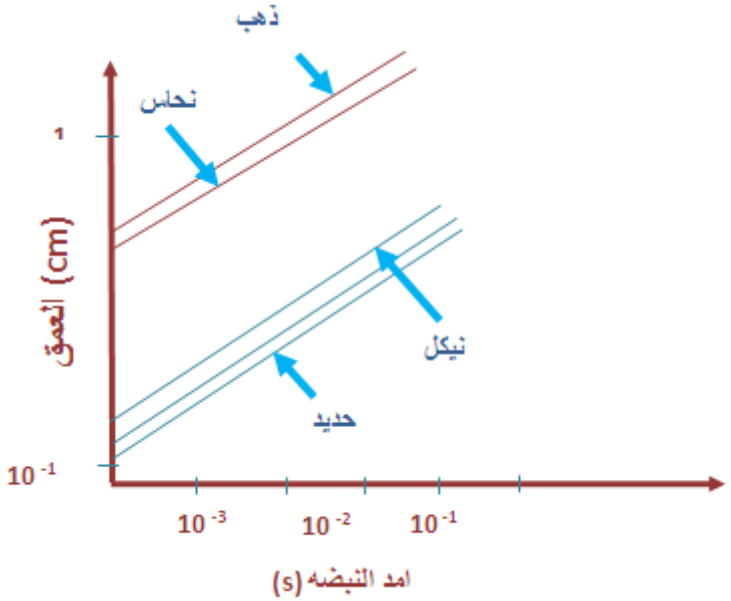
هل تعلم

ان عملية اجراء المعاملة للمعادن تكون اسهل باستعمال الاطوال الموجية القصيره.

2-2-1 أمد النبضة Pulse duration

يعد احد العوامل المهمة الذي يعتمد عليه نوع التطبيق ولكن ما هو تعريف امد النبضة؟

يُعرف امد النبضة بأنه "الفترة الزمنية او عمر نبضة الليزر المنبعثة". ففي ليزرات الحالة الصلبة يتم تحديد امد النبضة الملائم للمعاملة السطحية المطلوب اجراؤها عن طريق السيطرة على الدوائر الالكترونية لمنظومة الليزر والخاصة بتشغيل المصباح الوميضي إذ يتم التحكم بالنبضة الضوئية المنبعثة من المصباح. وبصورة عامة عند استعمال الليزر في عمليات المعاملة الحرارية فانه يتطلب ان يكون امد النبضة طويلا نسبيا لكي تتمكن المادة من امتصاص مقدار كافٍ من الطاقة لحدوث عمليات التسخين والانصهار والتسبيك. والشكل (2-1) يوضح عمق الانصهار كدالة لزمن النبضة لمعادن مختلفة.



الشكل 2-1 : عمق الانصهار كدالة لزمن النبضة لمعادن مختلفة.

3-2-1 الانفراجية Divergence

تمتاز حزمة الليزر بكونها ذات انفراجية قليلة وخاصة عند العمل بالنمط الكاوسي، اذ تتسع الحزمة خطيا بزاوية تسمى (زاوية الانفراج) ويرمز لها بالرمز (θ_{div}) وكما موضحة بالشكل (3-1) .يمكننا حساب زاوية الانفراج من المعادلة الآتية :-

$$\theta_{div} = \lambda / \pi w_o \text{ ....(1-1)}$$

اذ ان :

λ : الطول الموجي لشعاع الليزر

w_o : نصف قطر تخصر حزمة الليزر

الانفراجية القليلة لحزمة الليزر تعني انتشار الحزمة باتجاه واحد ولمسافات طويلة جدا دون انحرافها عن محورها، إذ ان الانفراج قد لا يتجاوز بضعة سنتمترات لكل كيلومتر.

تقاس زاوية الانفراج θ_{div} بوحدات الدرجة (deg)(^{o}) او بالزوايا نصف القطرية (rad) او (mrad).

ولكن كيف يمكننا ان نحول من الدرجات (^{o}) الى الزوايا نصف القطرية (rad)؟

ان العلاقة بين الزوايا نصف القطرية والدرجات هي :-

$$2\pi \text{ rad} = 360^o$$

$$1 \text{ rad} = 360^o / 2\pi$$

$$1 \text{ rad} = 57.3^o$$

الزاوية نصف القطرية = 57.3^o

يمكن حساب نصف قطر حزمة الليزر عند مسافة معينة من منظومة الليزر اعتمادا على العلاقة الآتية:-

$$\tan \theta_{div} = (R\text{-}r) / L \approx \theta_{div} \text{ ....(2-1)}$$

ملاحظة : عندما تكون قيمة الزاوية (θ_{div}) صغيرة فان :

$$\tan \theta_{div} \approx \theta_{div}$$

اذ ان :-

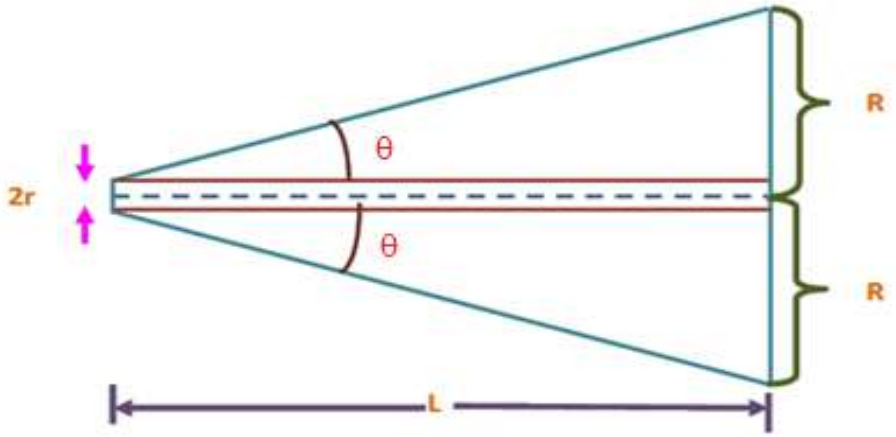
r : نصف قطر حزمة الليزر لحظة خروجها من المنظومة

θ_{div} : زاوية الانفراج

L : بعد الشاشة عن المنظومة.

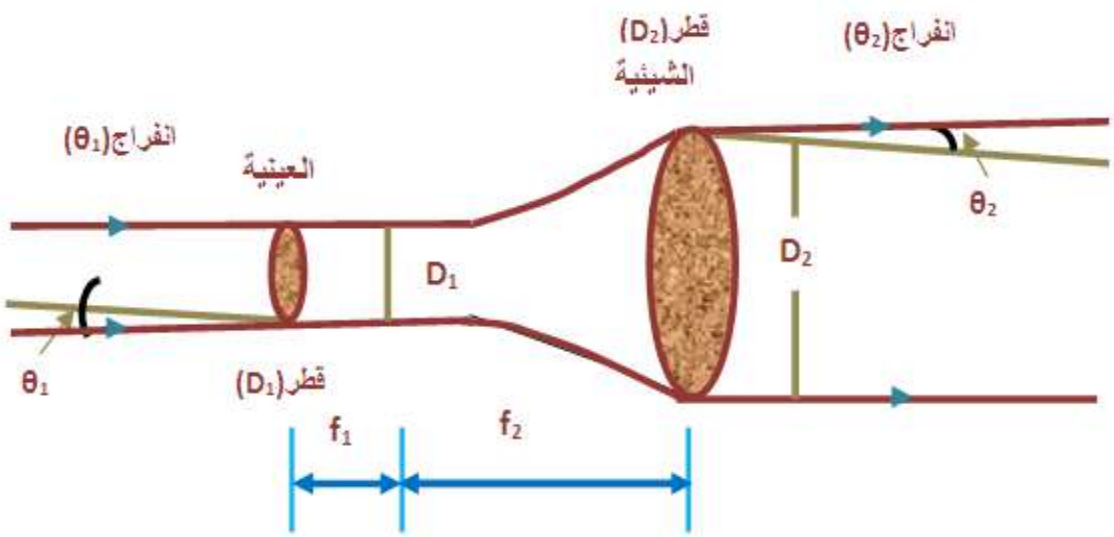
R : نصف قطر الحزمة المطلوب قياسها.

والشكل (1-3) يوضح مخططاً لزاوية الانفراج :-



الشكل 1-3 : مخططاً لزاوية الانفراج.

ولتقليل انفراج حزمة الليزر يتم استعمال مكون بصري يدعى "موسع الحزمة Beam Expander" ويطلق عليه كذلك بالتلسكوب، إذ يمكن تقليل الانفراج بمقدار يتناسب طردياً مع قطر الحزمة الموسعة وكما موضح بالشكل (1- 4).



الشكل 1-4 : مخططاً لموسع الحزمة (تلسكوب).

يعرف موسع الحزمة بأنه عبارة عن منظومة بصرية تنتمي الى مجموعة التلسكوبات، ويتكون من اثنين او اكثر من المكونات البصرية (مرايا، عدسات) ويستعمل لتغيير بعض مواصفات حزمة الضوء الساقطة عليه من حيث قطرها وزاوية انفراجها، وفي اغلب الحالات يستعمل للحصول على حزمة متوازية ذات انفراجية قليلة ولمسافات بعيدة لذلك يعد ضروريا في الكثير من التطبيقات الصناعية والعسكرية في قياس المسافات والمديات البعيدة للمحافظة على شدة اضاءة مقبولة.

كيف يمكننا حساب زاوية الانفراج الخارجة من موسع الحزمة ؟

تحسب زاوية الانفراج الخارجة من موسع الحزمة (θ_2) من المعادلة الآتية:-

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

ومنها يمكن الحصول على :-

$$\theta_2 = D_1\theta_1 / D_2 \qquad \text{(3-1)}$$

اذ ان :

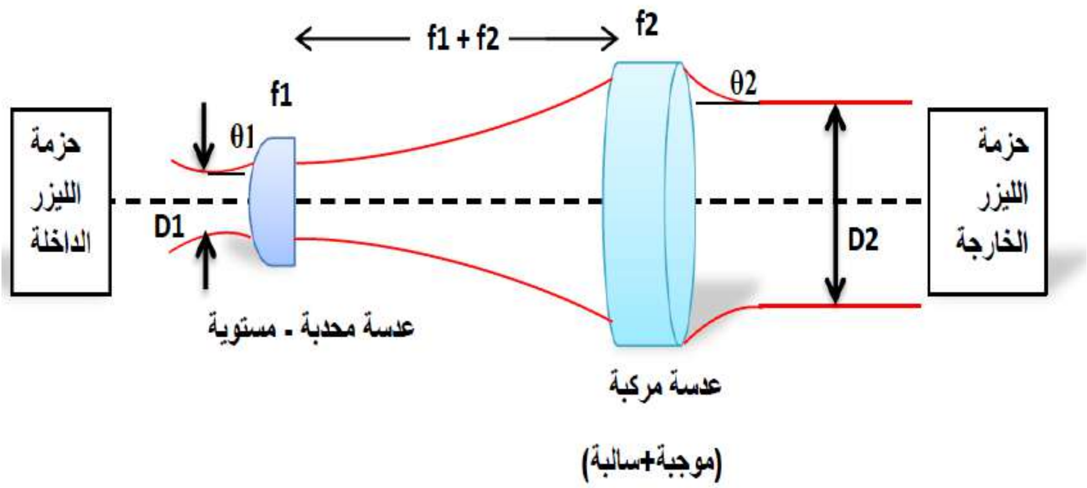
θ_1. زاوية الانفراج قبل الموسع

D_1, D_2 : قطر (العدستين)

يوجد نوعان اساسيان لتصميم موسع الحزمة يتم فيهما توظيف العدسات أو المرايا وتستعمل هذه الموسعات لتغطية اغلب التطبيقات وهما :

أ- تصميم كبلر Keplerian Design

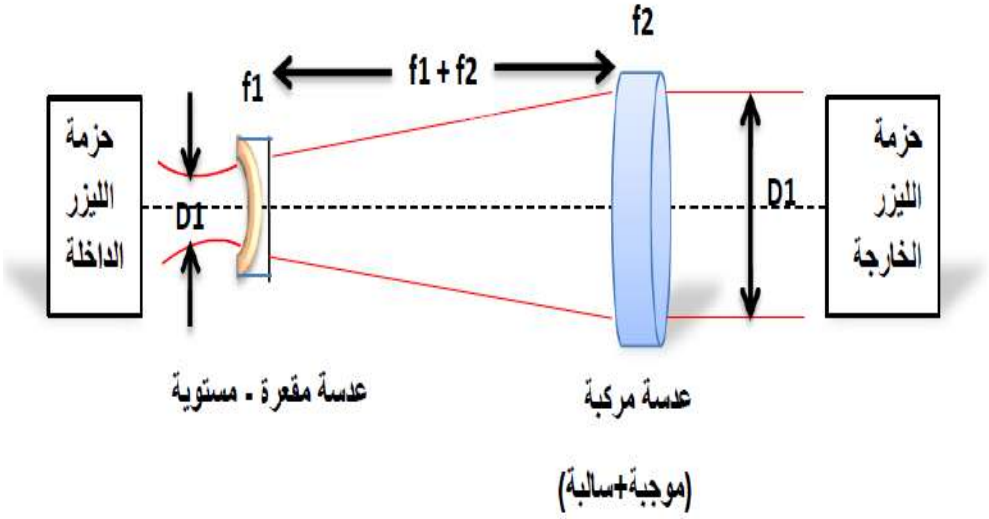
وهو من انواع التلسكوبات الفضائية إذ يستعمل حاجز ذو فتحة ضيقة عند موقع البؤرة الحقيقية للعدسة العينية للتخلص من الضوء غير المرغوب فيه خارج مدى قطر الفتحة الضيقة والشكل (1 – 5) يوضح موسع كبلر والذي يستعمل فيه عدستان موجبتان.



الشكل 1-5 : تصميم كبلر لموسع الحزمة.

ب- تصميم غاليليو Galilean Design

في هذا النوع يمكن توسيع الحزمة من دون مرورها بالبؤرة الحقيقية، ويستعمل هذا النوع مع الليزرات المستمرة ذات القدرة العالية او الليزرات النبضية ، ويستعمل مع الليزرات ذات الطاقة العالية المركزة في تطبيقات الغلاف الجوي لتجنب حدوث الانهيار في الهواء ، ويستعمل في هذا النوع عدستان احداهما موجبة والأخرى سالبة وكما موضح في الشكل (1 – 6)



الشكل 1-6 : تصميم غاليليو لموسع الحزمة.

مثال 1 :

موسع حزمة مكون من عدستين قطر الاولى هو (2 cm) وقطر الثانية هو (6cm) استعمل مع حزمة ليزر انفراجها (0.1 mrad)، ما مقدار زاوية انفراج الحزمة الخارجة؟

الحل: لدينا العلاقة :

$$\theta_2 = D_1\theta_1 / D_2$$

اذ ان :

$$D_1 = 2 \text{ cm}$$

$$D_2 = 6 \text{ cm}$$

$$\theta_1 = 0.1 \text{ mrad}$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$$\theta_2 = (2 \text{ cm} \times 0.1 \text{ mrad}) / 6 \text{ cm} = 0.033 \text{ mrad}$$

وهو مقدار زاوية انفراج الحزمة الخارجة

تعد المنظومات البصرية الملحقة لمنظومة الليزر من المكونات المهمة لإنجاز تطبيقات الليزر المختلفة، اذ تعمل هذه المكونات (وبضمنها العدسات) على تغيير بعض الخصائص البصرية للحزمة الضوئية (قطر انفراجية الحزمة او شدة قدرة الليزر).

وبفرض استعمال عدسة رقيقة موجبة لتغيير نصف قطر بقعة الليزر W_1 إذ ان نصف قطر البقعة الناتجة W_2 يعتمد على مقدار البعد البؤري للعدسة (f) بحسب العلاقة الآتية :-

$$W_2 = f\lambda / \pi W_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{-}1)$$

اذ ان :

f : البعد البؤري للعدسة

λ : الطول الموجي لليزر المستعمل

ان قطر بقعة الليزر الخارجة من العدسة يتناسب طرديا مع البعد البؤري للعدسة والطول الموجي وعكسيا مع نصف قطر حزمة الليزر الداخلة الى العدسة.

4-2-1 الطاقة والقدرة Energy and Power

في اغلب منظومات الليزر وخصوصاً منظومات الحالة الصلبة فان الطاقة الخارجة تكون دالة لفولطية الشحن التي يتم الحصول عليها من مجهز القدرة لذلك يمكن السيطرة على مقدار الطاقة الخارجة من خلال اختبار فولطية الشحن الملائمة لتوليد تلك الطاقة .

ولكن ما العامل المهم الذي يحدد تفاعل شعاع الليزر او امتصاص الحرارة من قبل المادة ؟

ان العامل المهم الذي يحدد تفاعل شعاع الليزر او امتصاص الحرارة من قبل المادة هو كثافة القدرة (شدة شعاع الليزر).

تعرف كثافة القدرة (power density) او (الشدة) بأنه القدرة المقاسة لوحدة مساحة معينة ومن وحداتها هي (W/cm^2).

ويمكن حساب كثافة القدرة من العلاقة الآتية :

$$I = P / A$$

$$I = P / \pi W^2 \quad \text{.....(5-1)}$$

إذ ان :

I : شدة شعاع الليزر

P : القدرة

A : مساحة بقعة الليزر

W : نصف قطر بقعة الليزر

وللحصول على كثافة قدرة عالية يتم استعمال شعاعٍ ليزري ذي امد نبضة قصير ومساحة مقطع صغيرة.

تذكـر

ان الشدة "Intensity " يطلق عليها ايضا بالاشعاعية Irradiance وكذلك يرمز لها بالرمز I

هـل تعلــم

ان شدة مصباح التنكستن الاعتيادي ذي القدرة (100 W)هي حوالي ($2000\ W/cm^2$) ، بينما شعاع الليزر بالقدرة نفسها تصل شدته الى حوالي ($2x10^9\ W/cm^2$) اي ستكون اكبر بمقدار مليون مرة من مصباح التنكستن .

فكـــــــــــر

لماذا يكون شعاع ليزري بقدرة (5 mW) اكثر خطورة من شعاع ضوء اعتيادي بقدرة (100 mW)

لدينا:-

$2r = 2\ mm = 0.2\ cm, \qquad r = 0.1\ cm$

$\theta_{div} = 1(mrad) = 57.3° \times 10^{-3} rad = 0.0573°$

$\tan \theta_{div} = \tan 0.0573°$

$\tan \theta_{div} = 10^{-3}$ ومن منطوق السؤال فأن :

$\tan \theta_{div} = (R-r) / L$

$R = r + L \tan \theta_{div}$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :-

$R = 0.1\ cm + 200\ cm \times 10^{-3}$

$R = 0.1 + 0.2$

$R = 0.3\ cm$

اذن مقدار شدة اشعاع الليزر على بعد 2m ستكون :

$I = P / A$

$P = 1\ mW$

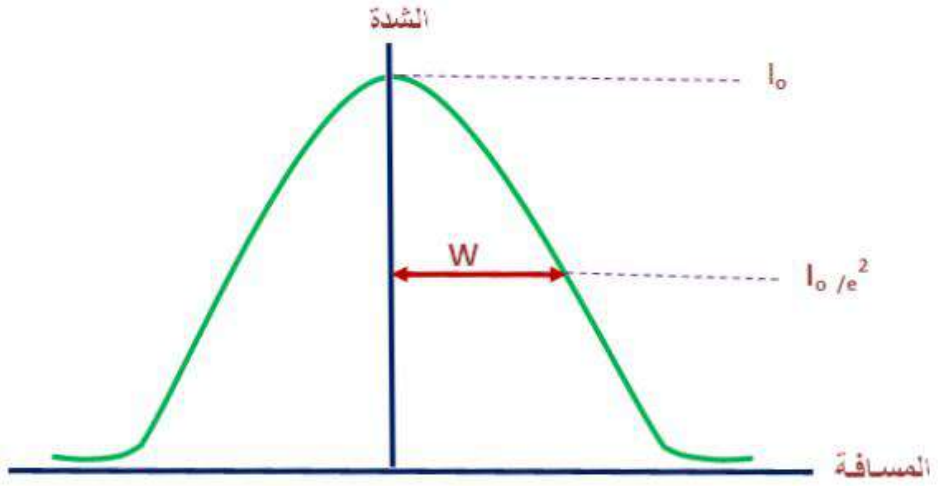
$A = \pi R^2 = 3.14 \times (0.3\ cm)^2 = 0.283\ cm^2$

$I = 1\ mW / 0.283\ cm^2 = 3.539\ (W/cm^2)$

وهي الشدة المنبعثة .

5-2-1 التركيب النمطي Mode structure

التركيب النمطي لشعاع الليزر مهم في المعاملة السطحية التي تتطلب ان يكون شعاع الليزر احادي النمط للحصول على حزمة مركزة ومحددة الحيود ومطابقة لأعلى كثافات القدرة في حزمة الليزر، بينما تؤدي الانماط المستعرضة ذات المرتبة العالية الى صعوبة تبئير حزمة الليزر في بقعة صغيرة للحصول على كثافة قدرة عالية . والشكل (1-7) يبين توزيع الشدة للنمط الاحادي (الكاوسي).



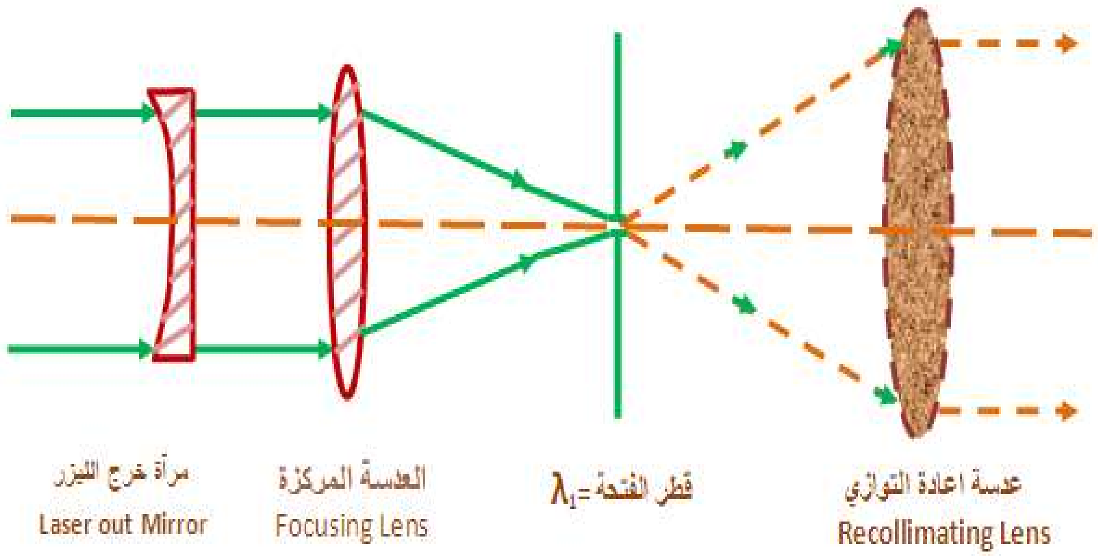
الشكل 1-7: توزيع الشدة للنمط الاحادي (الكاوسي).

تـذكـر

ان افضل نمط ليزري يمكن تبئيره بسهولة هو النمط الكاوسي

6-2-1 تبئير حزمة الليزر Beam Focusing

يمكن تركيز او تجميع الضوء الليزري الى بقعة صغيرة بالاستعانة بعدسة ذات طول او بعد بؤري يساوي قطر الحزمة الضوئية، فان البقعة المركزة سيكون قطرها يساوي طول موجي تقريباً، وبهذه الحالة سيتم تركيز او تجميع او (تبئير) قدرة خرج ضوء الليزر في بقعة قطرها طول موجي واحد وسميت هذه العملية بالتبئير نسبة الى استعمال العدسة ذات البعد البؤري المساوي لقطر الحزمة الضوئية، وكما مبين بالشكل (1-8) :



الشكل 1-8: تبئير الحزمة الكاوسية باستعمال عدسة موجبة.

7.2.1 سرعة حركة المادة المعرضة لليزر

تحدد سرعة المادة المعرضة لشعاع الليزر اعتمادا على عدة عوامل ، فعند استعمال الليزر المستمر تعتمد السرعة على كثافة القدرة والزمن اللازم للاختراق الحراري لعمق معين . اما عند استعمال الليزر النبضي يضاف عامل اخر هو معدل تكرارية النبضات (Pulse Repetition Rate) الذي يعد عاملا اساسيا في تحديد السرعة لضمان نسبة التداخل بين نبضة وأخرى وعليه يمكن التعبير عن السرعة في حالة الليزر النبضي بالمعادلة الآتية :

$$V = D.f(1 - S\ \%) \qquad \text{...(6-1)}$$

اذ ان :

V: سرعة حركة العينة

S : مقدار التداخل بين النبضات

D: قطر حزمة الليزر

f: معدل تكرار النبضات

مثال 2 :

كم يجب ان تكون ســـــرعة عينة من مادة معينة معرضة لحزمة ليـــزر نبضـــــي قطرهـــا (1mm) وان منظومة الليزر تعمل بتكرار نبضات مقدارها (10) نبضة لكل ثانية لاجل عدم حصول اي تداخل في النبضات؟

الحل:

$f = 10\ s^{-1}$, $D = 1mm = 1x10^{-3}\ m$, $S = 0$

لدينا العلاقة :

$$V = D.f\ (1 - S\%)$$

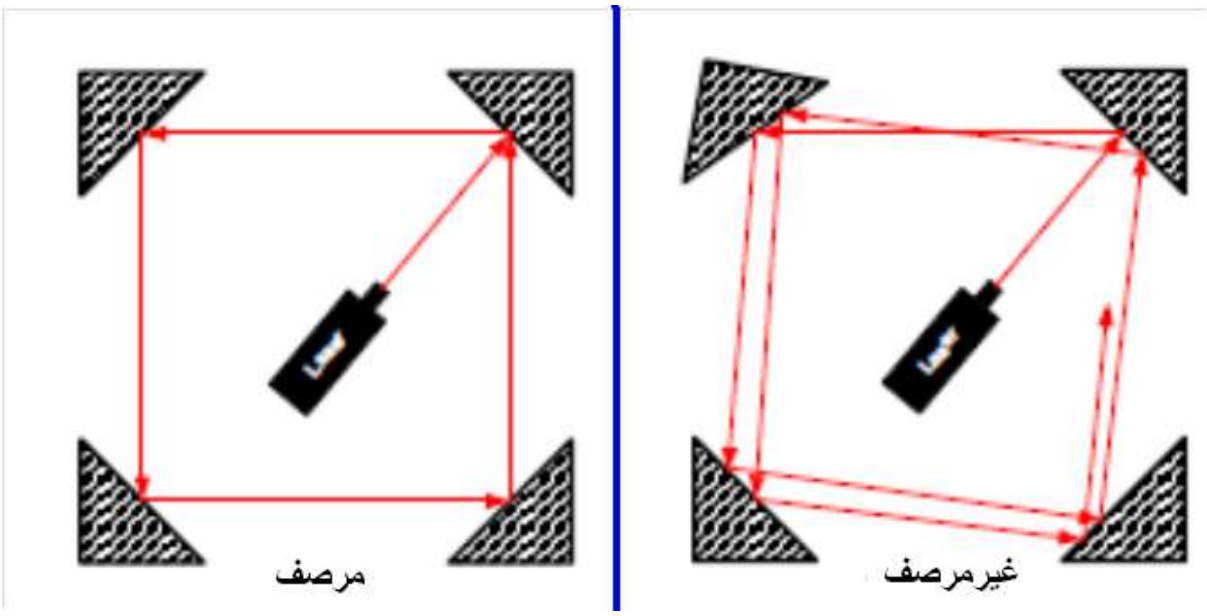
وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$$V = 10^{-3}m \times 10\ s^{-1} \times (1 - 0\%) = 10^{-2}\ m/s$$

وهي سرعة العينة

8-2-1 الترصيف الضوئي Optical Alignment

ان معنى الترصيف الضوئي هو حفاظ الحزمة الضوئية على مسار محدد دون اي انحراف وان الترصيف يكون ضروريا جدا في منظومات الليزر غير المرئية وكذلك يعد ترصيف الموسع مع المحور البصري لأية منظومة مهم جدا لأنه في الانظمة غير المرصفة يمكن ان يؤثر في توزيع طاقة الحزمة وتجميعها. وعلينا ان نتذكر دائما ان الليزر يستعمل في عمليات الترصيف (الاستوائية والاستقامة) الخاصة بالجســـور والطـــرق والارصفة ونصب المكائن والمصانع والشكل (1-9) يبين عملية الترصيف الليزري .



الشكل 1-9 : عملية الترصيف الليزري.

هـل تعلــم

ان تحديد السرعة يعتمد اعتمادا مباشرا على معدل التكرارية، فعندما يكون معدل التكرارية بحدود (1pps)اي نبضة لكل ثانية فان السرعـــة يجب ان تكـــون بطيئة وبحدود (0.5 – 5 cm/min) امـــا اذا ازداد معدل التكرارية الـــــى (30 pps) فان السرعـــة سوف تزداد كذلك وتكون بحدود (5 – 50 cm/min) .

3-1 معلمات المادة Material Parameters

ان لخواص المادة دوراً فعالاً في عمليات المعاملة السطحية بالليزر والتي تتضمن خواص بصرية تؤثر في مقدار ما تمتصه المادة من ضوء ساقط مثل الانعكاسية والامتصاصية وكذلك خشونة السطح وخواص حرارية تتعلق بجريان الحرارة داخل المادة خصوصا الانتشارية والتوصيلية الحرارية وهنالك خواص تعتمد على مقدار الطاقة اللازمة لتغير المادة الى الحالة المرغوب فيها وتشمل الكثافة والسعة الحرارية والحرارة الكامنة للانصهار.

1-3-1 الانعكاسية Reflectivity

تعد الانعكاسية احدى الخصائص البصرية للمادة وهي دالة للطول الموجي للشعاع الساقط ولدرجة الحرارة . ففي المعادن تكون الانعكاسية عالية جدا للأطوال الموجية في المنطقة تحت الحمراء والتي تزيد على (5 µm) . تعتمد الانعكاسية على التوصيلية الكهربائية والمعادلة التالية تعطي العلاقة بين الانعكاسية (R) والطول الموجي (λ) :

$$R = 100 - 0.693 [\rho / \lambda]^{1/2} \quad \text{.......................................(7-1)}$$

اذ ان :

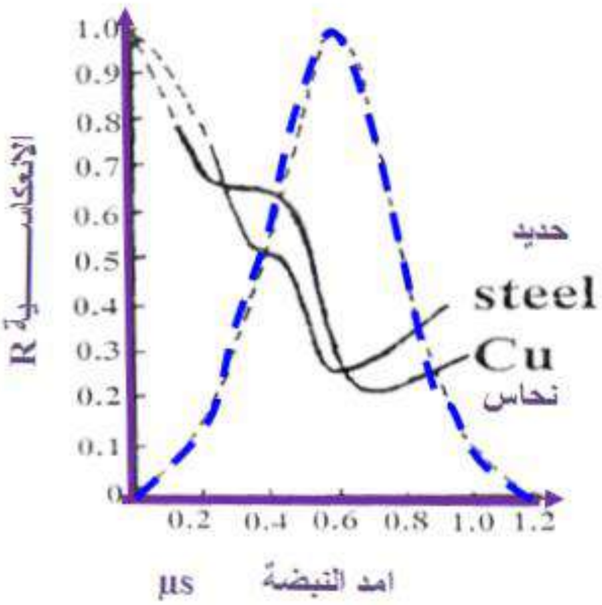
ρ : المقاومة الكهربائية النوعية (Ω.cm)

يتبين من المعادلة السابقة انه كلما ازداد الطول الموجي ازدادت الانعكاسية، وبارتفاع درجة حرارة السطح فان المقاومة الكهربائية النوعية تزداد وتقل الانعكاسية .

ولكن كيف يمكننا ان نعرف الانعكاسية؟

تعُرف الانعكاسية "بأنها القدرة المنعكسة من السطح الى القدرة الساقطة عليه". ان اغلب المعادن تعكس جزءاً كبيراً من حزمة الليزر لذا يتطلب استعمال ليزرات ذات قدرة عالية لأجل صهر المعدن .

ان انعكاسية سطوح المعادن تقل تدريجيا بصورة عامة خلال نبضة الليزر وكما موضح في الشـــكل (1-10):



الشكل 1- 10 : نقصان الانعكاسية بزيادة امد النبضة.

ولكن كيف يمكننا تقليل الانعكاسية ؟

لتقليل الانعكاسية يطلى سطح المعدن بطبقة من مادة ذات انعكاسية منخفضة يطلق عليها الطلاء المضاد للانعكاس (Anti Reflection Coating).

2-3-1 الامتصاصية Absorptivity

عند سقوط اشعة الليزر على سطح مادة ما فان قسما منها يتم امتصاصه ويتحول الى طاقة حرارية وقسما اخر ينعكس، ان المعادن تظهر سلوكاً معقداً في قابليتها على امتصاص الاشعة تحت الحمراء فجميع المعادن بصورة عامة تظهر امتصاصاً ضعيفاً لكثافة قدرة واطئة ، ويمكن ان تزداد الامتصاصية وتصل لحدود 90% لكثافة قدرة تتجاوز (10^6 W/cm^2) . ان امتصاصية المواد غير المعدنية، بصورة عامة لا تعتمد على كثافة قدرة الليزر .

ان امتصاص الطاقة من قبل المادة ولعمق (x) معين تعطى وفق العلاقة الآتية :

$$\log_{10} (I/I_o) = (- \alpha x/2.303)$$

او

$$\log (I/I_o) = - \alpha x / 2.303 \quad \text{.....(8-1)}$$

اذ ان :

I : كثافة القدرة (الشدة) عند العمق (x) من سطح المادة

I_o : كثافة القدرة (الشدة) الداخلة لسطح المادة

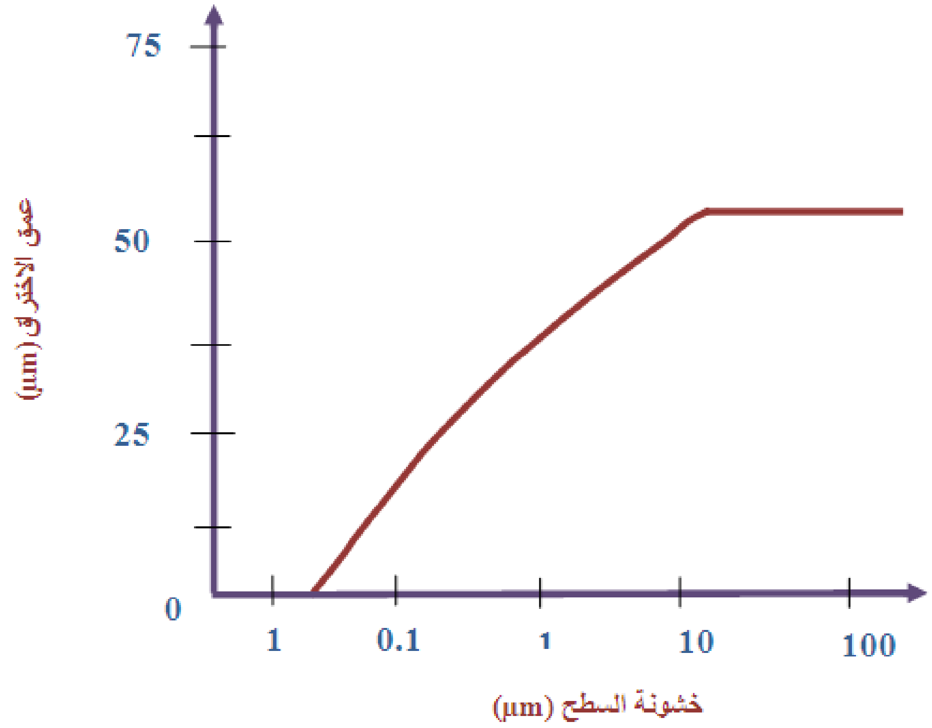
α : معامل امتصاص المادة (cm^{-1})

وهذه العلاقة هي شكل من اشكال قانون (بير –لامبرت)

يُعرف معامل امتصاص المادة على انه خاصية من خصائص المادة وهو دالة للطول الموجي ويمثل الفقد الجزئي لقدرة الضوء لوحدة المسافة للضوء المار في المادة .

3.3.1 خشونة السطح Surface Roughness

ان طبيعة سطح المادة تؤثر في عملية المعاملة السطحية بالليزر اذ يتكون سطح المادة من مناطق مرتفعة ومنخفضة ناتجة من طريقة تهيئة السطح ومعدل الارتفاعات والانخفاضات السطحية يُعرف بالخشونة إذ تؤثر خشونة السطح على الانعكاسية وتزداد قيمتها كلما كانت قيمة الخشونة مقاربة للطول الموجي الساقط. والشكل (1-11) يبين عمق الاختراق كدالة لخشونة السطح لعينات من معدن النحاس .



الشكل 1-11: عمق الاختراق كدالة لخشونة السطح لعينات من معدن النحاس.

ومن الجدير بالذكر ان عملية الامتصاص لا تعتمد على الخشونة وليس من الضروري ان يمتص السطح الخشن الاشعاع بصورة جيدة فقد يصبح السطح مشتتاً للضوء الساقط .

4.3.1 التوصيلية الحرارية Thermal Conductivity:

لو سألنا السؤال الآتي : ماذا نقصد بالتوصيلية الحرارية ؟ والجواب هو ان التوصيلية الحرارية هي مقدار الجريان الحراري لوحدة المساحة لوحدة الانحدار الحراري وتعطى حسب العلاقة الآتية :

$$Q = -KAH \quad \text{(9-1)}$$

اذ ان :

Q : معدل جريان الحرارة بوحـــــدات (W)

K : التوصيلية الحرارية بوحدات (W/m^oC) .

A : مســـاحة السطح

H : الانحدار الحراري

ومن الجدير بالذكر بان الاشارة السالبة تدل على ان الحرارة تنتقل الى الجهة الاقل حرارة .

مثال 3 :

احسب مقدار جريان الحرارة داخل مادة توصيليتها الحرارية هي ($0.94\ W/m^oC$) ضمن مساحة مقدارها ($25\ cm^2$) اذا علمت ان الانحدار الحراري لها هو ($200\ ^oC/m$) .

الحل :

$K= 0.94\ W/m^oC$ ، $A= 25\ cm^2 =0.0025\ m^2$ ، $H = 200\ ^oC/m$

$Q = -KAH$

$Q = - 0.94\ W/m.^oC x\ 0.0025\ m^2 x\ (200\ ^oC/m)$

$Q = - 0.47\ (W)$

وهي مقدار جريان الحرارة داخل المادة .

ومن الجدير بالذكر بان الخسائر الناتجة من التوصيل الحراري تكون صغيرة للنبضات ذات الامد القصير **جداً**، وتكون مهمة جداً للنبضات الطويلة.

5:3:1 الانتشارية الحرارية Thermal Diffusivity

يعتمد انصهار المادة على جريان الحرارة داخل المادة اي "الانتشارية الحرارية" ويتناسب تناسبا طرديا مع التوصيلية الحرارية (K) وعكسيا مع الحرارة النوعية (C) وكثافة المادة (ρ) وتعطى الانتشارية الحرارية (N) بالمعادلة الآتية :

$$N = K/\rho C \quad \text{.....(10-1)}$$

تمثل الانتشارية الحرارية مقياساً لمقدار ارتفاع درجة الحرارة بسبب الحرارة الممتصة من قبل المادة وكذلك تدل على كيفية انتشار الحرارة بسرعة خلال المادة ووحداتها هي (m^2/s) .

ان المواد ذات الانتشارية الحرارية العالية تعاني ارتفاعاً قليلاً في درجة الحرارة واختراقاً جيدا للطاقة الحرارية الساقطة على سطح المادة بينما المواد ذات الانتشارية الحرارية الواطئة تعاني ارتفاعا صغيرا في درجة الحرارة مع اختراق حراري واطئ داخل المادة .

مثـال 4 :

احسب مقدار الانتشارية الحرارية لمعدن النحاس، اذا علمت ان التوصيلية الحرارية له هـي (0.94 cal/s.cm.^{o}C) وكثافته تساوي (8.96 g/cm^{3}) وحرارته النوعية تسـاوي(0.092 cal/g.^{o}C).

الحل :

C = 0.092 cal/g.^{o}C

K=0.94cal/s.cm.^{o}C

ρ = 8.96 g /cm^{3}

لدينا العلاقة الآتية :

$$N = K / \rho.C$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

N = (0.94 cal/s.cm.^{o}C) / [(8.96 g /cm^{3})x(0.092 cal/g.^{o}C)]

N = 1.14 (cm^{2}/s) = 1.14 x10^{-4}(m^{2}/s)

وهي مقدار الانتشارية الحرارية لمعدن النحاس .

كما ويمكن حساب عمق الاختراق الحراري(D) وفقاً للمعادلة الآتية :

$$D = (4Nt_r)^{½} \quad \text{.....(11-1)}$$

اذ ان :

t_r : زمن التشعيع

N : الانتشارية الحرارية

ان عمق الاختراق الحراري يعتمد اعتماداً مباشراً على زمن تعرض المادة لأشعة الليزر والذي يقود الى مفهوم " ثابت الزمن الحراري " (Thermal Time Constant) والذي يعطى بالمعادلة الآتية:

$t' = X^2/4N$ .....(12-1)

اذ ان :

X : سمك العينة

N : الانتشارية الحرارية

ومن هذه العلاقة يمكن تحديد امد النبضة اللازم للحصول على عمق اختراق معين داخل المادة ولذلك فان وحداته تكون هي وحدات الزمن (s) .

لاحظ ان الانتشارية الحرارية للسبائك اقل منها للمعادن النقية المكونة للجزء الاكبر من السبائك.

مثال 10 :

احسب مقدار ثابت الزمن الحراري لقطعة من الفضة سمكها (0.1 cm) اذا علمت ان الانتشارية الحرارية تساوي ($1.7\ cm^2/s$).

الحل :-

$N=1.7\ cm^2/s$ $X= 0.1\ cm$

لدينا العلاقة :

$t' = X^2/4N$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$t' = (0.1\ cm)^2 / (4x1.7\ cm^2/s)$

$t' = 1.47(ms)$

وهو مقدار ثابت الزمن الحراري

الجدول (1-1) قيم الانتشارية الحرارية لبعض المعادن النقية

المعدن	الانتشارية الحرارية N (x 10^{-4} m^2/s)
الالمنيوم Al	0.91
الكروم Cr	0.20
النحاس Cu	1.14
الذهب Ag	1.18
الفضة Au	1.71
النيكل Ni	0.24
الحديد Fe	0.21

الجدول (1-2) قيم الانتشارية الحرارية لبعض السبائك

السبيكة	الانتشارية الحرارية N (x 10^{-4} m^2/s)
فسفور- برونز (5%) برونز	0.21
نحاس- نيكل (30%) نيكل	0.087
بيريليوم- نحاس(2%) بيريليوم	0.29
حديد مقاوم للصدأ(19%) كروم و(10%) نيكل	0.041

الجدول (1-3) التوصيلية الحرارية والحرارة النوعية لبعض المعادن

المعدن	التوصيلية الحرارية K(x 10^2 W/m.°C)	الحرارة النوعية C(x10^3 J/Kg.°C)
الالمنيوم	2.21	0.89
الكروم	0.66	0.46
النحاس	3.93	0.38
الذهب	2.97	0.12
الفضة	4.18	0.23
النيكل	0.92	0.43
الحديد	0.75	0.46

4-1 اسئلة وتمارين الفصل الاول

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :

1. يمتاز شعاع الليزر بكونه:

(a) موجات ميكانيكية طولية.

(b) احادي الطول الموجـــي.

(c) متعدد الاطوال الموجيـــة.

(d) ولا واحدة منها.

2. ان مقدار الضوء الذي يمتصه المعدن اضافة لما ينفذ منه يساوي :

(a) (1 –T).

(b) (1 – A).

(c) (1 - R)

(d) 100 %.

3. الانفراجية القليلة لحزمة الليزر تعني انتشار الحزمة :

(a) باتجاهات مختلفة.

(b) لمسافات قصيرة جدا.

(c) بزوايا كبيـرة.

(d) باتجاه واحد ولمسافات طويلة جدا دون انحرافها عن محورها.

4. لتقليل انفراج حزمة الليزر يتم استعمال مكوَن بصري يدعى :

(a) موسع الحزمة.

(b) الميكروسكوب.

(c) الاوسيلوسكوب.

(d) مجزئ الحزمة.

5. ان الطاقة الخارجة من منظومات ليزرات الحالة الصلبة تكون دالة لـ :

(a) المسافة.

(b) فولطية الشحن.

(c) التعجيل.

(d) الكتلة.

6. تعتمد سرعة حركة المادة باستعمال الليزر المستمر على:

(a كثافة الشحنة.

(b امد النبضـــة.

(c كثافة القدرة والزمن اللازم للاختراق الحراري لعمق معين.

(d الطول الموجي.

7. ان انعكاسية المواد هي دالة لــ :

(a الطول الموجي فقط.

(b درجة الحـرارة فقط.

(c امد النبضة.

(d الطول الموجي للشعاع الساقط ودرجة الحرارة.

8. لتقليل انعكاسية المعادن يطلى السطح بطبقة من :

(a مادة ذات انعكاسية عالية يطلق عليها الطلاء المضاد للانعكاس.

(b مادة ذات انعكاسية عالية يطلق عليها الطلاء المعزز للانعكاس.

(c مادة ذات انعكاسية منخفضة يطلق عليها الطلاء المعزز للانعكاس.

(d مادة ذات انعكاسية منخفضة يطلق عليها الطلاء المضاد للانعكاس.

9. الانتشارية الحرارية للمادة تتناسب :

(a طرديا مع الكثافة وعكسيا مع التوصيلية الحرارية.

(b طرديا مع التوصيلية الحرارية وطرديا مع الكثافة.

(c طرديا مع الحرارة النوعية وعكسيا مع التوصيلية الحرارية.

(d طرديا مع التوصيلية الحرارية وعكسيا مع الحرارة النوعية وكثافة المادة.

10. العبارة: (الفترة الزمنية او عمر نبضة الليزر المنبعثة) هي تعريف :

(a امد النبضـــــــــة.

(b تردد النبضـــــــة.

(c مربع تردد النبضة.

(d ولا واحـــــدة منها.

11. يستعمل موسع الحزمة من نوع غاليليو مع :

(a ليزرات القدرة الواطئة.

(b الليزرات المستمرة ذات القدرة العالية او الليزرات النبضية.

(c ليزرات القدرة المتوسطة.

(d ولا واحدة منها.

12. ان معنى الترصيف الضوئي هو :

a) احتفاظ الحزمة الضوئية على مسارات متعددة.

b) عدم احتفاظ الحزمة الضوئية على مسار محدد.

c) احتفاظ الحزمة الضوئية على مسار محدد دون اي انحراف.

d) ولا واحدة منها

س2 : بين كيف يمكن تحديد امد النبضة الملائم للمعاملة السطحية للمواد عند استعمال ليزرات الحالة الصلبة.

س3: عرف موسع الحزمة ، ثم عدد انواع الموسعات المستعملة في اغلب التطبيقات.

س4 : علل سبب استعمال عدسات خاصة لتجميع حزمة الليزر ضمن مساحة ضيقة.

س5 : اذكر العلاقة بين الطول الموجي وانعكاسية المعادن.

س6 : عرف التوصيلية الحرارية ، ووضح علاقتها بالانتشارية الحرارية.

س7 : على ماذا يعتمد عمق اختراق حزمة الليزر الحرارية لمادة معينة؟

س8 : ما علاقة ثابت الزمن الحراري بالانتشارية الحرارية؟

س9 : احسب مقدار زاوية انفراج حزمة ليزر هيليوم – نيون (He-Ne) ذي طول موجي مقداره (632.8 nm) ، اذا علمت ان مقدار نصف قطر تخصر الحزمة هو (35 µm) .

س10 : حزمة ليزر تسقط على شاشة مكونة بقعة دائرية الشكل قطرها (18 mm) ، اذا كانت القدرة المقاسة هي (5 MW) . ما مقدار كثافة القدرة ؟

س11 : وضعت عدسة بعدها البؤري (100 mm) في مسار حزمة ليزر طوله الموجي (1.06 µm) وتخصرها(3 mm) . ما مقدار تخصر الحزمة الخارجة من العدسة ؟

س12 : وضع تصميم لموسع حزمة مكون من عدستين ، الاولى ذات قطر مقداره (5 cm) واستعمل مع حزمة ليزر ذات انفراج مقداره (1.5 mrad) . كم يجب ان يكون مقدار قطر العدسة الثانية ليصبح انفراج الحزمة (1 mrad) ؟

س13 : شـــعع معدن الفضة بنبضات ليزر النيديميوم–ياك (Nd-YAG) ذي الطـــول الموجـــي (1.06 µm) ، وكان امد النبضة (10 ms) .احسب مقدار عمق الاختراق الحراري ، اذا علمت ان الانتشارية الحرارية لمعدن الفضة هي ($1.7\ cm^2/s$) .

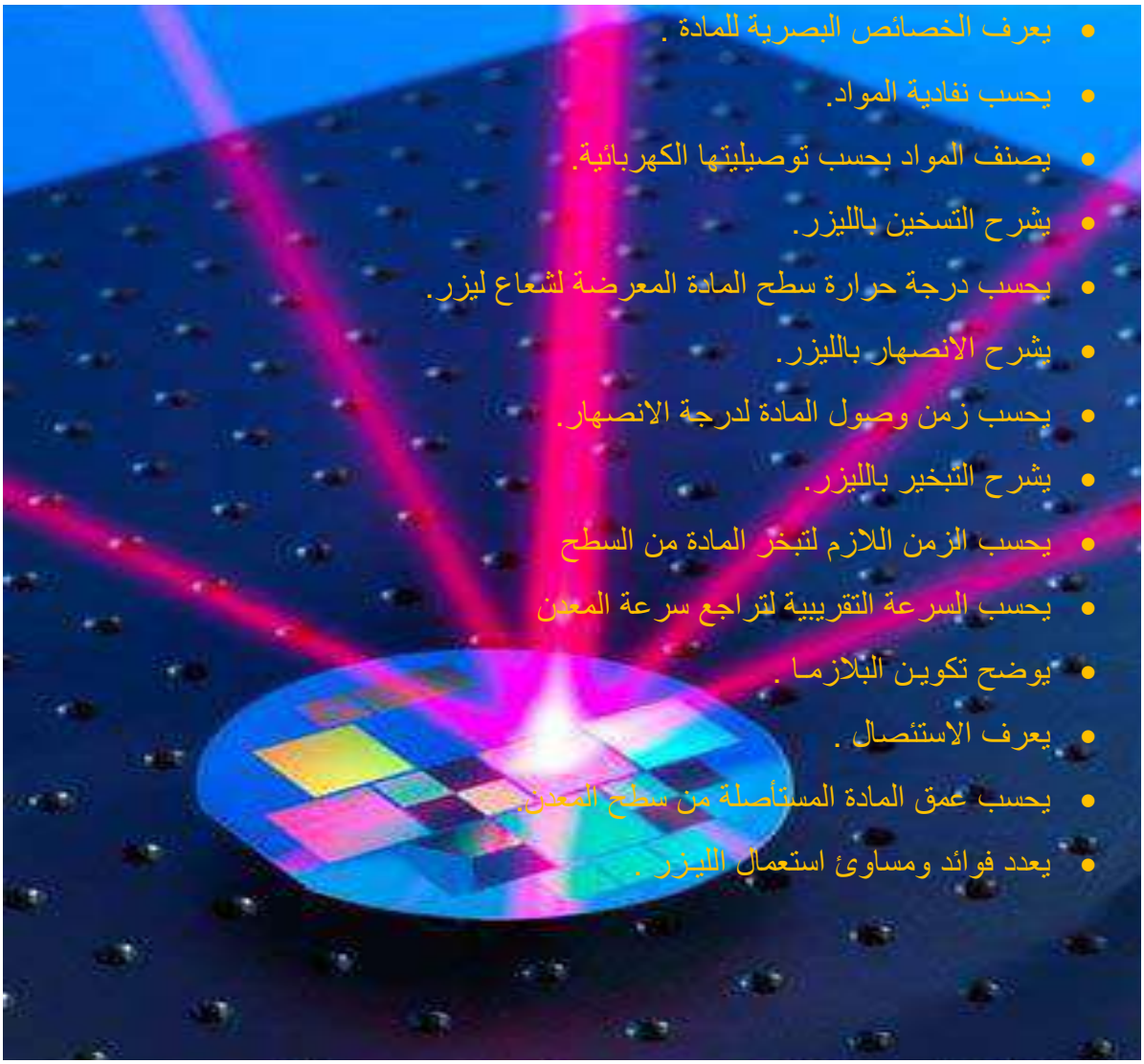
الفصل الثاني

تفاعل الليزر مع المادة

Laser Interaction with Matter

أهداف الفصل الثاني

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:

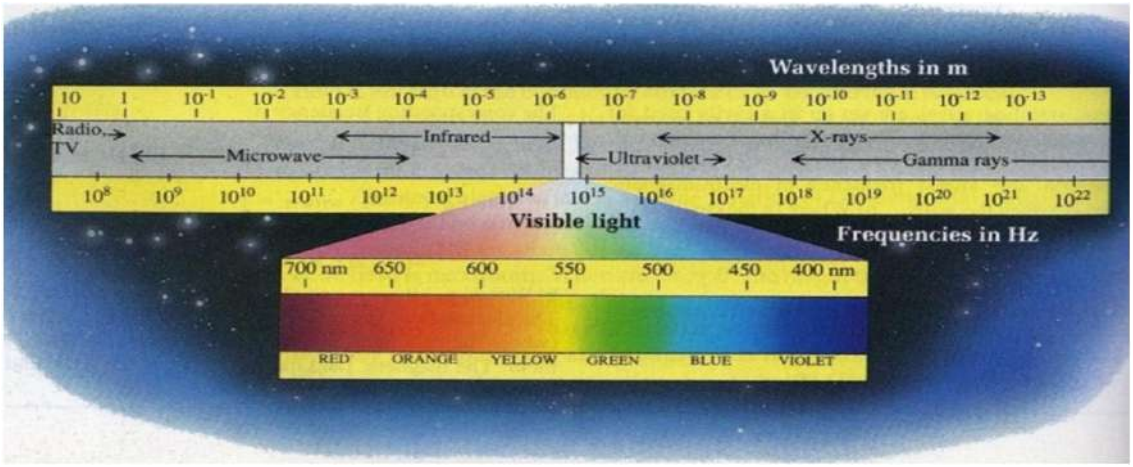


1-2 تمهيد

في هذا الفصل سيتم التعرف على عمليات التفاعل الاساسية بين الضوء (الاشعة) والمادة وهي تعتمد بدرجة كبيرة على طبيعة الاشعة الساقطة مثل (الطول الموجي، كثافة القدرة وغيرها) وأيضا على طبيعة المادة وخصائصها البصرية مثل (الامتصاص، الانعكاس، النفاذ) وقد تعرفنا في الفصل الاول على هذه الخصائص وسيتم التعرف على خصائص اخرى كالتسخين، الانصهار، التبخير، وغيرها من الخصائص التي لها تأثير مباشر لبعض التطبيقات المهمة .

2-2 الخصائص البصرية للمادة Optical Properties of Matter

- ان لطبيعة الاشعة الساقطة تأثيراً مباشرا وواضحاً على الخصائص البصرية للمادة، وسيتم توضيح تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة ، وكما تعرفت سابقاً فان الطيف الكهرومغناطيسي يشمل مدى واسعاً من الاطوال الموجية او الترددات ومناطق الطيف المهمة في مجال الليزر هي الاشعة فوق البنفسجية (Ultra Violet, UV)، الطيف المرئي (Visible, Vis) والأشعة تحت الحمراء (Infra-Red, IR) وكما موضح في الشكل (2-1). ان اغلب التطبيقات تكون ضمن المدى المرئي من الطيف (380 nm – 780 nm) وتردد بحدود (10^{15} Hz) ولها تطبيقات مهمة في القياسات والطب وغيرها ، وبعض من الليزرات التي تعطي اطوالاً موجية ضمن مدى تحت الحمراء القريبة والمتوسطة لها تطبيقات مهمة كذلك وخصوصا الصناعية منها. والبعض الاخر يعطي اطوالاً موجية ضمن المنطقة فوق البنفسجية والتي لها تطبيقات بيولوجية وطيفية مهمة .



الشكل 2-1: الطيف الكهرومغناطيسي.

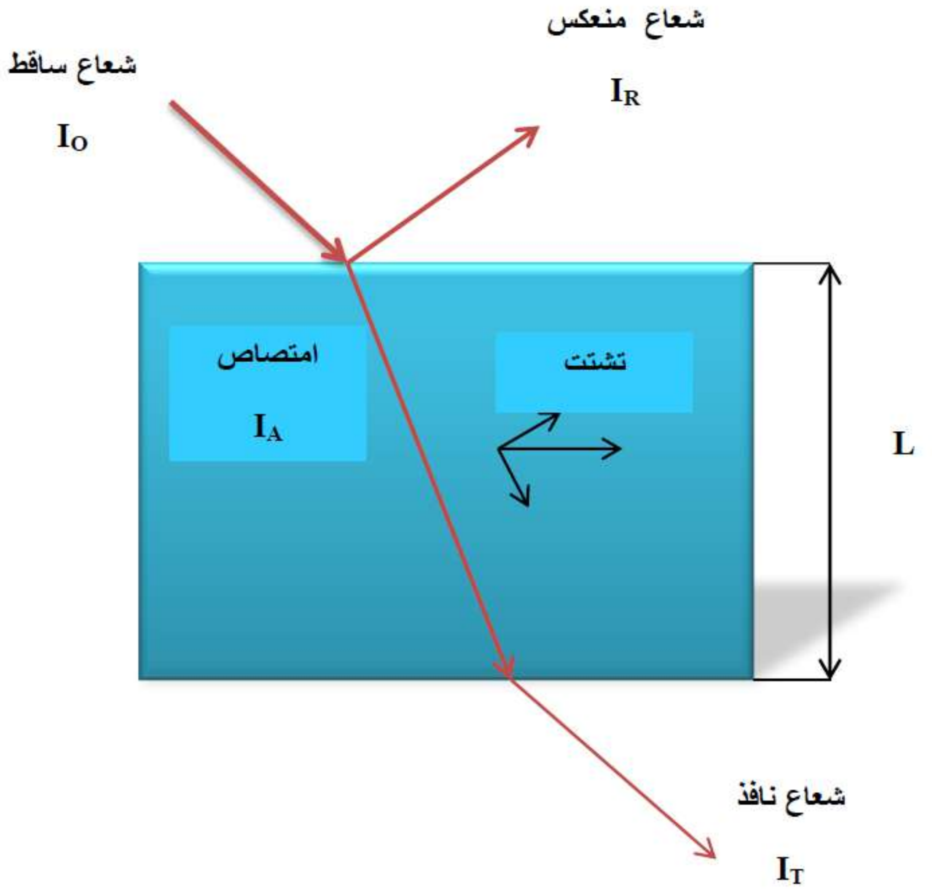
ان من الخصائص البصرية الاساسية للمادة هي النفاذية (T) والانعكاسية (R) والامتصاصية (A) وان جمع هذه الخصائص يجب ان يساوي واحد، اي ان :

$$A + R + T = 1 \quad \text{.....(1-2)}$$

وعند سقوط اشـــــعة ذات شدة (I_o) على مادة ذات سمك معين مقداره (L) فان جزءاً منها سينعكس (I_R) واخر يمتص (I_A) وثالث ينفذ (I_T) وحسب قانون حفظ الطاقة فانه يجب ان يكون :

$$I_R + I_A + I_T = I_o \quad \text{.....(2-2)}$$

والشكل (2-2) يبين العمليات الثلاث المذكورة .



الشكل 2-2 : الانعكاس والامتصاص والنفاذ للشعاع الساقط.

مثـال 1:

مادة معينة امتصاصيتها لحزمة ليزر ساقطة عليها تساوي (40%) وانعكاسيتها (50%)، كم هو مقدار نفاذيتها ؟

الحل :

$A = 40\% = 0.4, R = 50\% = 0.5$

لدينا العلاقة:

$$A + R + T = 1$$

$$T = 1 - A - R$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:-

$$T = 1 - 0.4 - 0.5 = 0.1$$

$$T = 10\%$$

وهو مقدار النفاذية

مثـال 2 :

اشعة ليزر شدتها (10^2 W/cm^2) سقطت على مادة ذات سمك معين فانعكس (1/4) الشدة الساقطة ونفذ (1/8) من الشدة الساقطة، ما مقدار الشدة الممتصة داخل المادة ؟

الحل :

$I_O = 10^2$ W/cm^2, $I_R = 1/4 \times 10^2$ W/cm^2 , $I_T = 1/8 \times 10^2$ W/cm^2

لدينا العلاقة الآتية:

$$I_A = I_O - I_R - I_T$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

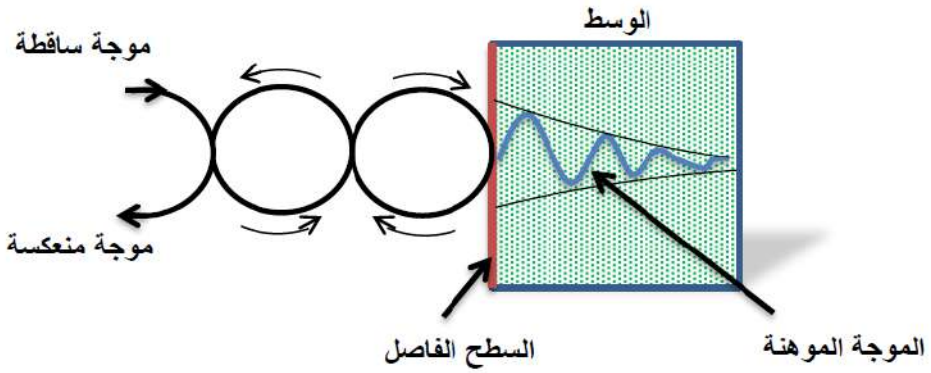
$$I_A = (10^2 \text{ W/cm}^2) - (1/4 \times 10^2 \text{ W/cm}^2) - (1/8 \times 10^2 \text{ W/cm}^2)$$

$$= 10^2(1-1/4-1/8)$$

$$I_A = (5/8) \times 10^2 \text{ W/cm}^2$$

$I_A = 62.5$ W/cm^2 (وهو مقدار الشدة الممتصة داخل المادة)

والشكل (2 – 3) يبين تصرف الموجة الموهنة داخل المادة وكذلك الموجة المنعكسة عن السطح.



الشكل 2-3 : تصرف الموجة الموهنة داخل المادة والموجة المنعكسة عن السطح.

وكما درست سابقاً فان طبيعة وتركيب المادة يحددان مقدار امتصاص الاشعة الساقطة عليها من خلال معرفة معامل مهم جدا هو معامل الامتصاص (Absorption Coefficient)(α).

3-2 تصنيف المواد Material Classification

تصنف المواد الى ثلاثة انواع رئيسة بحسب توصيليتها الكهربائية وهي :

1. المواد الموصلة (المعادن) Conductors (Metallic)

وهي المواد التي تسمح بمرور الشحنات الكهربائية من منطقة الى اخرى خلالها اي تكون ذات توصيلية كهربائية عالية جداً وأفضل مثال هي المعادن (الفضة والنحاس) .

2. المواد شبه الموصلة Semiconductors

وهي تلك المواد التي تتحرك فيها الشحنات الكهربائية بحرية اقل مما هي عليه في الموصلات وان المقاومة الكهربائية النوعية لمادة شبه الموصل تقع بين المقاومة النوعية للمواد الموصلة والمواد العازلة في قابليتها على التوصيل الكهربائي ومن الامثلة عليها السيليكون والجرمانيوم.

3. المواد العازلة Insulators

هي المواد التي عادة لا تسمح بمرور الشحنات الكهربائية (التيار الكهربائي) خلالها في الظروف الاعتيادية، اي تكون مقاومتها عالية جداً وهي مواد رديئة التوصيل الكهربائي كالخشب والبلاستك والمطاط وغيرها.

ان التحول التركيبي للمادة الناتج عن تفاعل الاشعاع مع المادة يعتمد على عملية الامتصاص، وعلينا ان نتذكر بان جزء الطاقة الممتص من قبل المادة من العمليات المهمة جدا لمجمل التطبيقات كالتسخين والانصهار والتبخير وتكوين البلازما .

ففي المواد شبه الموصلة فان امتصاص الفوتونات يؤدي الى توليد ازواج (الكترون – فجوة)، تسمى كل من الالكترونات والفجوات حاملات الشحنة (charge carriers)، يعتمد المعدل الزمني لتوليد الازواج (الكترون – فجوة) في شبه الموصل النقي على :-

1. درجة حرارة شبه الموصل.
2. نوع مادة شبه الموصل.

تذكـــــــر

ان زيادة درجة الحرارة يؤدي الى تكون اربع مراحل متعاقبة من تحول المادة وهي (التسخين والانصهار والتبخير وتكوين البلازما).

4-2 التسخين Heating

ان امتصاص الفوتونات من قبل المادة هو في حقيقة الامر تفاعل بين الفوتونات والالكترونات المقيدة للذرات والجزيئات وفقا لشروط معينة وهو امتصاص للطاقة وتحولها داخل المادة الى صيغة اخرى وحسب طبيعة وخصائص المادة . في اغلب الاحوال فان هذا التحول يكون على شكل حرارة وهو المؤثر المهم لأغلب التطبيقات عند استعمال الليزر .تحول الطاقة الى حرارة يؤدي بالنتيجة الى تسخين الوسط اعتمادا على عدة معاملات منها الانتشارية الحرارية (N) والتوصيلية الحرارية (K) وثابت الزمن الحراري ($t_{\acute{}}$) وقد تطرقنا سابقاً على تعريف هذه المعاملات وان الكثير من التطبيقات تعتمد على التعاملات الحرارية منها في مجال التطبيقات الصناعية والطبية والبيولوجية .

من المعروف ان التسخين باستعمال الليزر يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة سطح المادة بعد زمن معين الى قيمة تعطى بالمعادلة الآتية :-

$$T_s = T_o + [2I_o (1-R) / K] [Nt / \pi]^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-2)$$

اذ ان :

T_s : درجة حرارة السطح النهائية (^oC).

T_o : درجة حرارة السطح الابتدائية ($^o C$).

I_o : كثافة القدرة (الشدة) الساقطة (W/cm^2).

t : زمن تعرض المادة للإشعاع (s).

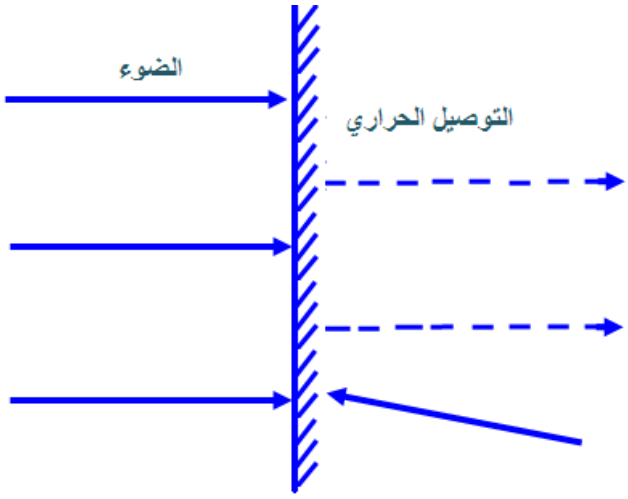
R : الانعكاسية.

N : الانتشارية الحرارية.

K : التوصيلية الحراريــة.

ان معدل زمن التصادم الحر يكون بحدود ($10^{-12} - 10^{-14}$ s) وعلى هذا الاساس تمتلك الالكترونات الوقت الكافي لعمل عدة تصادمات خلال امد نبضة الليزر مما يؤدي الـــى تسخين المادة وان عملية التسخين تحدث عندما تكون كثافة القدرة الساقطـــــة لأشعة الليزر واطئة نسبيا اي بمقدار (10^4 W/cm^2)، او اقل بشكل يعتمد على نوع المعدن .

ان امتصاص الاشعة وانتقال الحرارة داخل المادة اعتماداً على التوصيلية الحرارية موضح في الشكل (2 – 4) :-



الشكل 2-4 : التوصيلية الحرارية داخل المادة.

5-2 الانصهار Melting

من المعروف ان الانصهار هو بداية عملية تحول المادة من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة، وبزيادة كثافة القدرة لأشعة الليزر الساقطة على سطح المادة لقيـم اعلى من (10^4 W/cm^2) فان درجة حرارة سطح المادة سترتفع بسرعة كبيرة حتى يبدأ السطح بالانصهار. ولكن ماذا يدعى الزمن اللازم لوصول سطح المادة الى درجة الانصهار؟

يدعى الزمن اللازم لوصول السطح الى درجة الانصهار بزمن الانصهار t_m (melting time)

ويعطي المعادلة الآتية :

$$t_m = [\pi K^2 (T_m - T_o)^2] / [4NI_o^2 (1 - R)^2] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{-}2)$$

اذ ان :

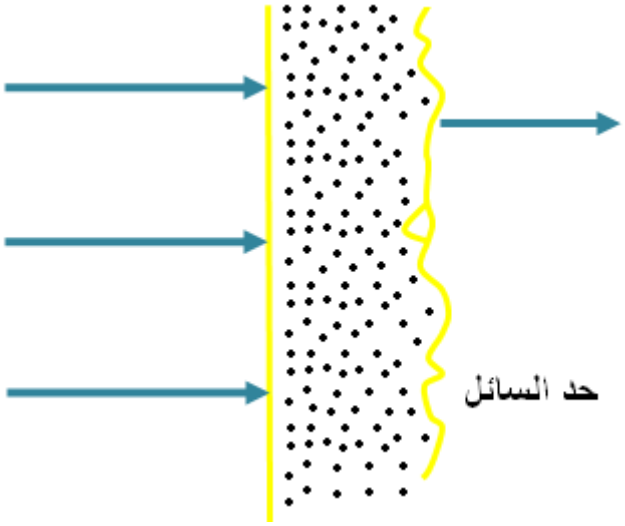
T_m : درجة الانصهار (^oC)

وبقية الرموز هي نفسها المعرفة في العلاقة (2-3) .

عزيزي الطالب

ان قيمة زمن الانصهار تتراوح بين النانو ثانية (ns) والمايكرو ثانية(µs) وهذا يعتمد على كثافة قدرة اشعة الليزر وخواص المادة .

والشكل (2-5) يبين بداية انصهار المنطقة السـطحية للمادة :

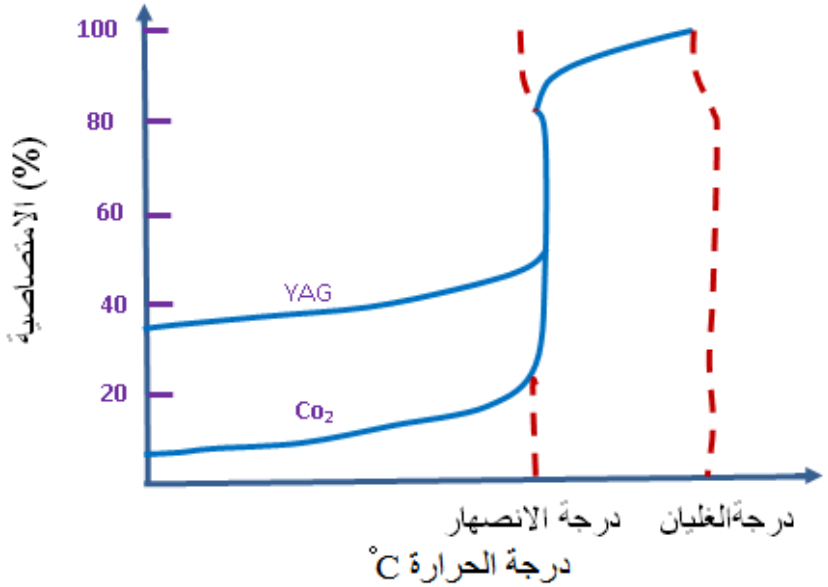


الشكل 2-5 : بداية انصهار المنطقة السطحية للمادة.

فكـــر

اثناء نبضة الليزر الساقطة على المعادن تصبح الحاجة الى كثافة قدرة اقل لرفع درجة الحرارة الى درجة الانصهار، ما سبب ذلك ؟

ان نوع الليزر والطول الموجي يؤثران تأثيرا كبيرا على مقدار امتصاصية ســـــطح المعدن والشكل (2-6) يبين تغير امتصاصية سطح المعدن بزيادة درجة الحرارة عند الاطوال الموجية لليزر النيديميوم–ياك (Nd – YAG) وليزر ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2). ويلاحظ انه عند درجة حرارة اعلى من درجة الانصهار لا يوجد فرق محسوس في الامتصاصية لكلا نوعي الليزر .



الشكل 2-6 : تغير الامتصاصية ودرجة الحرارة لليزر النيديميوم–ياك (Nd-YAG) وثنائي اوكسيد الكربون (CO_2)

عند بدء عملية الانصهار فان المادة تبدأ بامتصاص الحرارة الكافية للانصهار وتبدأ جبهة الانصهار (وهي الحد الفاصل بين سطحي السائل والصلب) داخل المادة بالانتشار. ولأجل الحصول على انصهار كامل للعمق المطلوب داخل العينة فان اختراق الحرارة يجب ان يكتمل قبل ان يبدأ السطح بالتبخر .

6-2 التبخير Vaporization

عند زيادة كثافة قدرة اشعة الليزر الساقطة على اكثر من (10^6 W/cm^2) فان سطح المادة سيصل بسرعة الى درجـــة الغليان فتبدأ عملية التبخر، ولكن ماذا يسمى الزمن اللازم للوصول الى درجة الغليان ؟

يسمى الزمن اللازم للوصول الى درجة الغليان بزمن التبخير (t_v) (vaporization time) والذي يعطى بالمعادلة الآتية :

$$t_V = [\pi K^2 (T_B - T_o)^2] / [4NI_o(1 - R)^2] \quad \text{.....(5-2)}$$

اذ ان :

T_B : درجة الغليان (^oC)

T_o: درجة حرارة السطح الابتدائية (^oC)

وبقية الرموز هي نفسها المعرفة في العلاقة (2-3) .

عند بدء عملية التبخر تتكون فجوة على سطح المادة عن التبخير وتتم ازالة المادة المتبخرة بالحمل الحراري اضافة الى الانفجار الحاصل داخل الفجوة كذلك فان اشعة الليزر ستخترق قعر الفجوة وتمتص عند السطح المبخر عند القعر وفي هذه الحالة (وصول الابخرة المزالة الى حالة الاستقرار) فيمكن حساب السرعة التقريبية لتراجع السطح (V) بالمعادلة الآتية :

$$V = I_o (1-R) / L_v\rho \quad \text{.....(6-2)}$$

اذ ان :

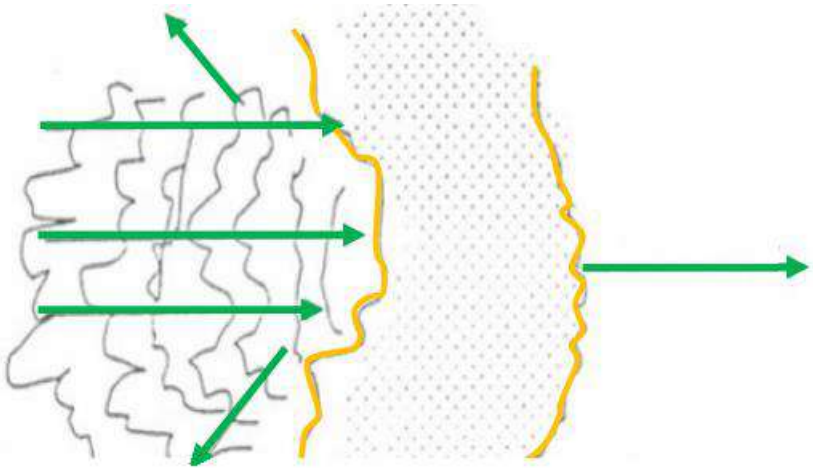
L_v : الحرارة الكامنة للتبخر (Latent heat of vaporization)

ρ : كثافة المادة

والرموز الاخرى هي معرفة سابقا

هل تعلم

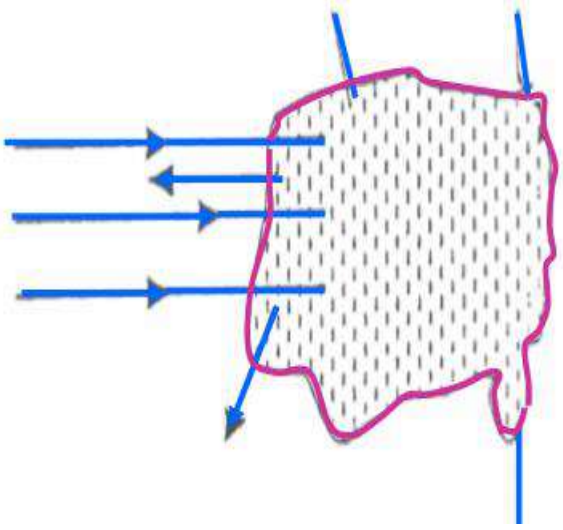
للحصول على صهر من دون حدوث تبخر لسطح المعدن فانه يجب ان تكون كثافة القــدرة متوسطة القيمة وكذلك امد نبضة طويل نسبيا لأنه اذا كانت كثافة القدرة عالية جدا فإنها تؤدي الى تبخير السطح قبل الحصول على عمق الانصهار المطلوب.



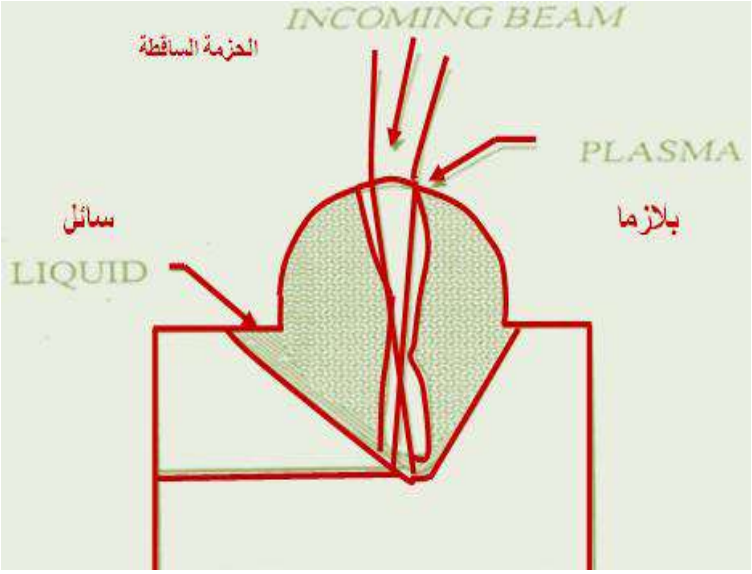
الشكل 2-7:عملية التبخر وانتزاع المادة من سطح المعدن.

7-2 تكوين البلازما Plasma Production

من المعروف ان البلازما هي الحالة الرابعة للمادة وتتكون عادة عند درجات الحرارة العالية جداً كما في التفاعلات التي تحدث في الشمس، وهي عبارة عن غاز متأين يحتوي على خليط من اعداد متساوية من الايونات موجبة الشحنة والكترونات سالبة حرة غير مرتبطة بالذرة او بالجزيء وتشكل اكثر من (99 %) من الكون المرئي، فعند زيادة كثافة القدرة لأكثر من (10^8 W/cm^2) فان المادة المتبخرة سوف تمتص قسماً من اشعة الليزر الساقطة وتصبح ساخنة ومتأينة فتتولد البلازما (الحالة الرابعة للمادة) قرب سطح المادة المشعة التي تنتشر نحو شعاع الليزر وتمتص حزمة الليزر الساقطة وتمنعها من الوصول الى المادة والشكلين (2 – 8) و (2 – 9) يبينان تولد البلازما وظاهرة امتصاص البلازما لشعاع الليزر.



الشكل 2-8 : تولد البلازما.



الشكل 2-9 : ظاهرة امتصاص البلازما لشعاع الليزر.

ولكن ماذا يطلق على ظاهرة امتصاص اشعة الليزر من قبل البلازما المتولدة ؟

ان ظاهرة امتصاص اشعة الليزر من قبل البلازما المتولدة يطلق عليها " موجة الامتصاص المدعمة بالليزر" . " LSA" (Laser Supported Absorption Wave)

هل تعلم

ان موجة الامتصاص المدعمة بالليزر تمثل بلازما في حالة تمدد ذات درجة حرارة عالية وتسبب ضغطا على السطح وتولد موجة صدمة (shock wave) تنتقل الى المادة فتتعرض المادة الى عملية دفع.

ان موجة الامتصاص المدعمة بالليزر تحدثُ عملياً عند قيمة محددة لكثافة القدرة تعرف بـ (عتبة كثافة القدرة) التي تعتمد على امد النبضة والطول الموجي لشعاع الليزر وضغط المحيط حيث يقل حد العتبة عند ازدياد الطول الموجي .

ان الضغط المتولد من موجة الصدمة يكون كبيرا جدا (يصل الى 1000 ضغط – جو) او اكثر. وبسبب هذه التأثيرات فان هناك فائدة قليلة نسبيا من استعمال نبضات ليزرية تولد موجة امتصاص مدعمَة بالليزر، لأن اغلب التطبيقات الصناعية تتطلب العمل تحت ظروف لا تتولد فيها مثل هذه الموجة ماعدا عملية التصليد بالموجة الصدمية (shock wave hardening) التي تستغل في تصليد بعض المعادن .

8-2 الاستئصال Ablation

لو سؤلنا السؤال الآتي : ما المقصود بالاستئصال ؟

والجواب هو انتزاع جزء من المادة المشعة بالليزر ويمكن ان تستعمل مع المعادن والأنسجة وأي مواد أخرى، ويمكن حساب عمق المادة المستأصلة (d) بحسب العلاقة الآتية :

$$d = (2.303 / \alpha) \log_{10} (E_o / E_{ph})$$

او $$d = (2.303/\alpha) \log (E_o/E_{ph}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7\text{-}2)$$

اذ ان :

α : معامل امتصاص المادة او النسيج (cm^{-1})

E_o: طاقة الليزر الساقطة (J)

E_{ph} : طاقة الفوتون (J)

فوائد ومساوئ استعمال الليزر Advantage and Disadvantage of laser

ان لاستعمال الليزر في التعاملات مع المادة فوائد عديدة وكذلك مساوئ اخرى وكما يأتي:

أ) **الفوائد** :

1- عدم وجود تماس ميكانيكي مباشر بين منظومة الليزر وعينة المادة، لذلك لا يوجد تلوث او اي اجهادات ميكانيكية.

2- امكانية استعمال الليزر مع اغلب المواد (المعادن والسيراميك والزجاج والخشب وغيرها) دون حدوث اي تلف للمادة .

3- استعمال الليزر لا يؤثر على الخصائص الفيزيائية للمادة بصورة عامة، لان المنطقة المتأثرة صغيرة جدا .

4- يمكن تصغير بقعة الليزر والحصول على طاقات عالية جداً والتعامل مع اصعب المواقع والزوايا والانحناءات وغيرها .

5- استعمال الليزر يوفر سرعة عالية ودقة تفوق الطرائق التقليدية والاعتيادية فمثلا يمكن اجراء عملية قطع المعادن بسرعة قد تصل الى (10 m/min) وهي اسرع بمقدار عشرة امثال الطرائق التقليدية .

6- يمكن برمجة عملية استعمال الليزر لغرض الدقة .

7- شعاع الليزر لا يتلف نتيجة الاستعمال كما في حالة الآلات المستعملة في الطرائق التقليدية كالقواطع (cutters) وقوس اللحام (Arc welding) والمثقبات (Drillers) وغيرها .

8- يمكن الحصول على قدرات وطاقات عالية جدا .

9- الهدوء العالي والضوضاء القليلة هما سمتا استعمال الليزر .

ب) المساوئ :

1- الحذر الشديد عند التعامل مع اشعة الليزر بسبب المخاطر الكبيرة والتي تكون اكبر من المخاطر عند استعمال الطرائق التقليدية، الشكل (2-10) يبين مساوئ الاستعمال الخاطئ لأشعة الليزر على الانسان.
2- الكلفة التصنيعية والتشغيلية العالية لمنظومات الليزر المطلوبة .
3- الحاجة الى خبرة عالية في تشغيل وإدامة منظومات الليزر .
4- الحاجة الى سيطرة وتحكـــم دقيقين .
5- لا يمكن التعامل مع مساحات ومناطق واسعة.

الشكل 2-10 : مساوئ الاستعمال الخاطئ لأشعة الليزر على الانسان.

10-2 اسئلة وتمارين الفصل الثاني

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي : -

1. ان مناطق الطيف الكهرومغناطيسي المهمة في مجال الليزر هي :

a) اشعة كاما والموجات الراديوية والأشعة السينية.

b) الموجات الدقيقة والموجات الراديوية والأشعة السينية.

c) الاشعة فوق البنفسجية والطيف المرئي وتحت الحمراء.

d) ولا واحدة منها.

2. ان من الخصائص البصرية الاساسية للمادة هي:

a) التوصيلية الحرارية.

b) الحرارة النوعيـــــة.

c) النفاذية والانعكاسية والامتصاصية.

d) التوصيلية الكهربائية.

3. المواد الموصلة هي مواد:

a) ذات توصيلية كهربائية صغيرة جدا.

b) ذات توصيلية كهربائية عالية جـــدا.

c) لا تسمح بمرور الشحنات الكهربائية من منطقة الى اخرى خلالها.

d) ولا واحدة منها.

4. المواد العازلة هي مواد :

a) عادة تسمح بمرور الشحنات الكهربائية (التيار الكهربائي) خلالها في الظروف الاعتيادية.

b) تكون مقاومتها صغيرة جدا.

c) جيدة التوصيل الكهربائـــي.

d) ولا واحدة منها.

5. ان تحول طاقة الليزر الى حرارة داخل الوسط يؤدي الى تسخين الوسط اعتمادا على عدة معاملات منها :

a) التوصيلية الكهربائية.

b) ثابت الزمن الحراري.

c) المقاومة الكهربائية.

d) النفاذية.

6. يعرف الانصهار على انه بداية عملية تحول المادة من :

a) الحالة السائلة الى الحالة الغازية.

b) الحالة الصلبة الى الحالة الغازية .

c) الحالة الغازية الى الحالة الصلبة .

d) الحالة الصلبة الى الحالة السائلة.

7. لاجل الحصول على انصهار كامل وللعمق المطلوب داخل العينة فان اختراق الحرارة يجب ان يكتمل قبل ان يبدأ السطح :

a) بالتجمد.

b) بالتبخر.

c) بالغليان.

d) بالتأين.

8. تعرف جبهة الانصهار بأنها الحد الفاصل بين :

a) سطحي السائل والغاز.

b) سطحي الصلب والغاز.

c) سطحي السائل والصلب.

d) سطحي الصلب والبلازما.

9. تتكون البلازما عندما تمتص المادة المتبخرة قسما من اشعة الليزر ذات كثافة قدرة :

a) اكبر من $10^8 W/cm^2$.

b) مساوية الى $10^4 W/cm^2$.

c) مساوية الى $10^2 W/cm^2$.

d) مساوية الى $10 W/cm^2$.

10. يطلق على ظاهرة امتصاص اشعة الليزر من قبل البلازما المتولدة:

a) السرعة التقريبية لتراجع سطح المعدن.

b) الانتشارية الحرارية.

c) التوصيلية الحرارية.

d) موجة الامتصاص المدعمَة بالليزر.

11. تولد موجة الصدم ضغطا يصل مقداره الى :

a) اقل من 10 ضغط – جو.

b) 20 ضغط – جو.

c) 1000 ضغط – جو او اكثر.

d) ولا واحدة منها.

12. من فوائد استعمال الليزر في التعاملات مع المادة هي:

a) عدم وجود تماس ميكانيكي مباشر بين منظومة الليزر وعينة المادة.

b) امكانية استعمال الليزر مع اغلب المواد.

c) يمكن الحصول على قدرات وطاقات عالية جداً.

d) كل الاحتمالات السابقة.

س2 : اذكر مدى الاطوال الموجية لبعض الليزرات المستعملة في كل من التطبيقات الآتية :

a) الصناعية

b) البيولوجية

س3 : كيف لك ان تصف الصيغة العامة لقانون حفظ الطاقة لشدة الاشعاع ؟

س4 : بين الى كم نوع تصنف المواد حسب توصيليتها الكهربائية ؟

س5 : عدد المراحل المتعاقبة لتحول المادة الناتج عن زيادة درجة الحرارة .

س6 : على ماذا يعتمد زمن انصهار المادة ؟

س7 : وضح سبب عدم وصول اشعة الليزر ذات كثافة قدرة اكثر من (10^8 W/cm^2)الى داخل المادة

س8 : عرف موجة الامتصاص المدعمَة بالليزر.

س9 : ما فوائد استعمال الليزر في التعاملات مع المادة .

س10 : ما مساوئ استعمال الليزر في التعاملات مع المادة .

س11 : علام يعتمد المعدل الزمني لتوليد الازواج (الكترون – فجوة) في شبه الموصل النقي؟

س12 : ما مقدار شدة الاشعة الممتصة من قبل مادة معينة، اذا علمت ان الشدة النافذة هي(30 W/cm^2) وشدة الاشعة المنعكسة هي (20 W/cm^2) وان مقدار شدة الاشعة الساقطة هي (70 W/cm^2) ؟

س13 : اذا علمت ان درجة انصهار معدن النحاس هي ($1084.64\ ^oC$) ، فهل يمكن استعمال نبضات ليزر شدتها ($10^5 W/cm^2$) وأمدها ($10\ ms$) لغرض صهر سطح المعدن اذا كانت انعكاسيته (50%) وان التوصيلية الحرارية للنحاس هي ($3.93 \times 10^2\ W/m.^oC$) والانتشارية الحرارية له هي ($1.14 \times 10^{-4}\ m^2/s$) وان درجة حرارة السطح الابتدائية هي ($25\ ^oC$) ؟

س14 : ما مقدار الزمن اللازم للوصول الى درجة انصهار سطح قطعة من الالمنيوم عند تشعيعها بحزمة ليزر شدتها ($10^4\ W/cm^2$)، اذا علمت ان التوصيلية الحرارية للألمنيوم هي ($2.21 \times 10^2\ W/m.^oC$) والانتشارية الحرارية له هي ($0.91 \times 10^{-4}\ m^2/s$) ودرجة انصهاره هي ($660.32\ ^oC$) وان مقدار الجزء المنعكس من الحزمة عن السطح هو (80%) وان درجة حرارة السطح الابتدائية هي ($20\ ^oC$) .

الفصل الثالث

التطبيقات الصناعية لليزر

Industrial Applications of Laser

أهداف الفصل الثالث

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:

- يعدد العوامل المؤثرة على الليزر في التطبيقات الصناعية .
- يعرف عملية التصليد .
- يوضح التصليد بالتحول الطوري .
- يميز انواع اللحام بالليزر .
- يشرح طرائق التثقيب والقطع بالليزر
- يوضح دور الغازات المساعدة القطع بالليزر .

1-3 تمهيد

منذ اللحظة الاولى التي تم فيها اكتشاف الليزر كان توجه الباحثين آنذاك هو كيفية الاستفادة من هذا الناتج غير التقليدي لذا فقد انصبت البحوث في حينها ولغاية هذه اللحظة على تكريس كل الجهود لاستعمال الليزر في المجالات التي تهم حياة الانسان .

وقد استعمل الليزر في مجالات كثيرة منها مجال الصناعة إذ يُعدُ العصب او الشريان الرئيس للاقتصاد ولليزر الاثر الكبير في تحسين الانتاج وتقليل الجهد والوقت والكلفة ومن هذه التطبيقات، خصوصا مع المعادن، التصليد بأنواعه والصهر وفي مجال السباكة واللحام والقطع والتثقيب وغيرها وأيضا في خطوط الانتاج كإنتاج القطع الالكترونية الدقيقة ووضع العلامات او الماركات التجارية والكثير من التطبيقات الاخرى.

2-3 العوامل المؤثرة على الليزر في التطبيقات الصناعية

Effective Parameters on the Industrial Applications of Laser

يعتمد استعمال الليزر في التطبيقات الصناعية على مجموعة من العوامل منها :

1. الطول الموجي لشعاع الليزر .
2. طاقة او قدرة شعاع الليزر (الطاقة في حالة الليزر النبضي والقدرة في حالة الليزر المستمر)
3. نصف قطر بقعة الليزر .
4. انفراجية حزمة الليزر (اذ يفضل اقل انفراج) .
5. نمط شعاع الليزر (اذ يفضل النمط الاساسي) .
6. ابعاد منطقة المعالجـة .
7. امتصاصية المادة لشعاع الليزر .
8. انعكاسية المادة لشعاع الليزر .
9. التوصيليـة الحرارية للمادة .
10. الانتشارية الحرارية للمادة .
11. سرعة حركة شعاع الليزر.
12. الأجزاء البصرية المستعملة.
13. استعمال الغازات المساعدة .

من المعروف ان لسطوح المواد وخصوصاً المعادن تأثيرا كبيراً على استعمال الليزر في اجراء بعض التطبيقات وتحديداً التطبيقات الصناعية ، وكما درست سابقا فان تفاعل الليزر مع المواد يتحدد ببعض الخصائص ، منها ما يتعلق بحزمة الليزر ومنها ما يتعلق بالمادة نفسها . وعلينا ان نتذكر بأن العامل الرئيس لهذه التطبيقات هو تحول طاقة الليزر الى طاقة حرارية ، اذ تزداد انعكاسية المعادن بزيادة الطول الموجي إذ تكون عالية جدا للمنطقة تحت الحمراء ، لذا فان استعمال الليزرات ذات الاطـــوال الموجية ضمن هــذا المدى (ليزر النيديميوم – ياك Nd-YAG وليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2) يكون محدودا جدا .

هل تعلم

ان انعكاسية النحاس هي بحدود 90% عند الطول الموجي(700 nm) بينما طبقة اوكسيد النحاس تكون انعكاسيتها (20%) للطول الموجي نفسه. ومن الجدير بالذكر بان الانعكاسية تزداد مع زيادة تجانس ونعومة (smoothness) سطح المعدن بينما تقل الانعكاسية بزيادة خشونة (roughness) السطح وتزداد معها الامتصاصية.

ان المعالجات الحرارية باستعمال اشعة الليزر وكما درست سابقا تعتمد بدرجة كبيرة على مقدار انتقال الحرارة وتركيزها في منطقة ضيقة ، وهذا يعني ان درجة الحرارة في نقطة معينة تكون متغيرة مع الزمن . وبسبب القدرة او الطاقة العالية لليزر فان مناطق المعدن المعرضة للإشعاع ستصل الى نقطة الانصهار بزمن قصير نسبياً وبسبب ضيق بقعة الليزر فان تأثر المعدن سيكون ضمن مناطق محدودة جدا وهنا يمكننا ان نسال السؤال الآتي : على ماذا يعتمد انصهار المعدن ؟

والجواب : يعتمد انصهار المعدن بدرجة كبيرة على مقدار انتقال الحرارة، لذا فان العامل الرئيس هو الانتشارية الحرارية (N) والمُعرف سابقا .

تذكر

ان مقدار الانتشارية الحرارية للسبائك اقل منها للمعادن، لذلك فان السبائك تحتاج الى فترة تشعيع اكبر من تلك التي تحتاجها المعادن.

تذكر

للحصول على انصهار جيد للمعدن، يجب ان يكون امد نبضة الليزر مساوٍ الى مقدار ثابت الزمن الحراري المُعرف سابقا.

الجدول 3-1 : بعض الخصائص الفيزيائية لبعض المعادن.

المعدن	الكثافة (g/cm^3)	الحرارة النوعية $(cal/g.^oC)$	درجة الانصهار T_m (^oC)	التوصيلية الحرارية K $(cal/s.cm.^oC)$	درجة الغليان T_b (^oC)
الذهب	19.3	0.031	1064.18	0.71	2856
النحاس	8.96	0.092	1084.64	0.94	2562
الالمنيوم	2.7	0.215	660.32	0.53	2519
الكروم	7.15	0.11	1907	0.16	2671
النيكل	8.9	0.105	1455	0.22	2913
الفضة	10.5	0.056	461.78	1.0	2162
البلاتين	21.5	0.31	1768.2	0.16	3825
الحديد	7.87	0.11	1538	0.18	2861

ان عمق الحرارة النافذة داخل المعدن يتحدد بعاملين اساسيين هما :

1. الانتشارية الحرارية للمعدن (N) .
2. امد نبضة الليزر (t) .

من استعمالات الليزرات ذات القدرات العالية هي للمعاملات السطحية ومعالجة المواد وخصوصا المعادن ومن افضل انواع الليزرات المستعملة هو ليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2 بنوعيه المستمر والنبضي. ويمكن حساب قطر بقعة الليزر (D) الناتج اعتماداً على انفراجية الحزمة وعلى مقدار البعد البؤري للعدسة المستعملة لتركيز حزمة الليزر وحسب العلاقة الآتية : -

$$D = f\,.\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.3)$$

اذ ان :

D: قطر بقعة الليزر(cm).

f : البعد البوري للعدسة (cm).

θ: انفراج حزمة الليزر [(rad),(°)].

ولكن كيف يمكننا تجميع وتركيز حزمة الليزر في مساحة صغيرة جدا؟ يمكن تجميع وتركيز حزمة الليزر في مساحة بقعة صغيرة جدا وذلك باستعمال عدسة لامّة موجبة.

مثــال 1 :

كم يجب ان تكون الاشعاعية (الشدة) لليزر ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2) المستمر الذي قدرته (1000 W) ومركز في بقعة قطرها (0.1 cm) باستعمال عدسة بعدها البؤري (1cm)؟

الحل :

$r = ½ R = ½ x (0.1 cm) = 0.05 cm$

$P=1000W$

ان مساحة بقعة الليزر (A) تساوي

$A = \pi r^2$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على مساحة البقعة وهي :

$A = 3.14 x (0.05 cm)^2 = 7.85 x10^{-3}(cm^2)$

لدينا العلاقة الآتية لحساب الاشعاعية (الشدة) :

$I = P / A$

$I = 1000 W / 7.85 x10^{-3} cm^2$

$I = 127.388 x10^3 W/cm^2 = 127.39(kW/cm^2)$ وهي الاشعاعية (الشدة)

الجدول (3-2) بعض انواع الليزرات المستعملة في التطبيقات الصناعية.

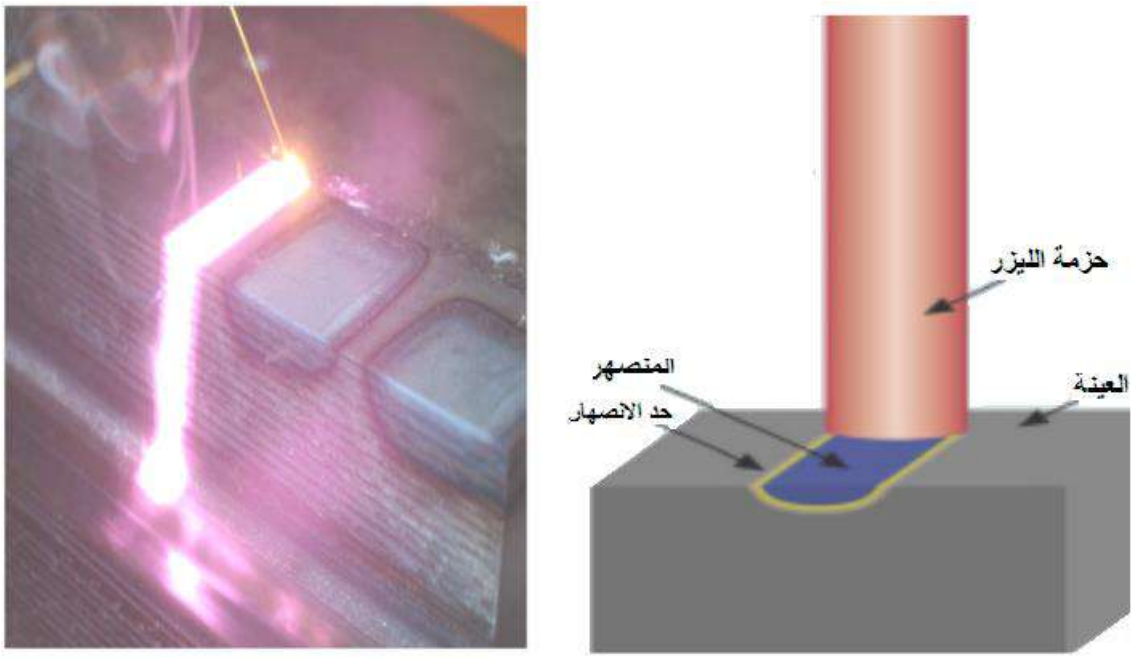
الليزر	الطول الموجي(µm)	نمط الاشتغال	التطبيق
ثنائي اوكسيد الكربون CO2	10.6	مستمر ، نبضي	لحام ، تثقيب ،معالجات حرارية
نيـديميوم- ياك Nd: YAG	1.06 0.532	مستمر، نبضي	لحام ، تثقيب
الياقوت Ruby	0.694	نبضي	لحام نقطي ، تثقيب
نيـديميوم- زجاج Nd:glass	1.06	نبضي	تثقيب، لحام نقطي
بخار النحاس Copper-vapor	0.511 0.578	نبضي	تثقيب
الاكسايمر Excimer	0.249	نبضي	استئصال ،اشباه الموصلات
الاركون Argon	0.487 0.5145	مستمر	اشباه الموصلات

3-3 التصليد Hardening

لو سؤلنا السؤال الآتي : ما المقصود بالتصليد ؟ فالجواب يكون :

التصليد: هو تسخين المادة لدرجة حرارة قريبة من درجة انصهارها ثم يعقبها تبريد سريع .

ان اغلب الطرائق الشائعة في معالجة السطوح باستعمال الليزر تعتمد على المعالجات الحرارية لزيادة الصلادة السطحية فالمبدأ الاساس هو توفير حرارة عالية جدا ضمن منطقة محددة . ويتم تشعيع سطح المعدن بحزمة الليزر، إذ تسبب اشعة الليزر زيادة وارتفاعاً مفاجئاً وسريعاً لدرجة حرارة الطبقة الرقيقة من المادة قرب السطح . واعتمادا على مقدار التوصيلة الحرارية (K) او الانتشارية الحرارية (N) للمادة (وهي من صفات المادة) فان انتقال الحرارة الناتجة عن سقوط حزمة الليزر تكون متفاوتة من مادة الى اخرى. وان التشعيع ببقعة ذات مساحة معينة يكون بشكل متحرك (اما ان تكون الحزمة متحركة او العينة متحركة) لذلك فان التشعيع لا يستمر لفترة طويلة للمنطقة الواحدة وعملية التحريك (اما العينة متحركة والحزمة ثابتة او العينة ثابتة والحزمة متحركة) بشكل منتظم ومتعاقب وبسرعة ثابتة وبفترات زمنية متساوية ليغطي مساحة سطح العينة (sample) بكاملها. والشكل التالي يبين حركة شعاع الليزر في التصليد.



الشكل 3-1 : يبين حركة شعاع الليزر في التصليد.

تذكر

يمكن تسريع عملية التصليد لبعض المعادن وذلك بأجراء تبريد سريع بعد عملية التسخين مباشرة.

وعند الانتقال من منطقة الى اخرى فان المنطقة المشعة سوف تبرد بشكل سريع. ولكن ماذا تدعى عملية التبريد السريع؟ والجواب هو ان هذه العملية تدعى بالكبت او الكبح (quenching).

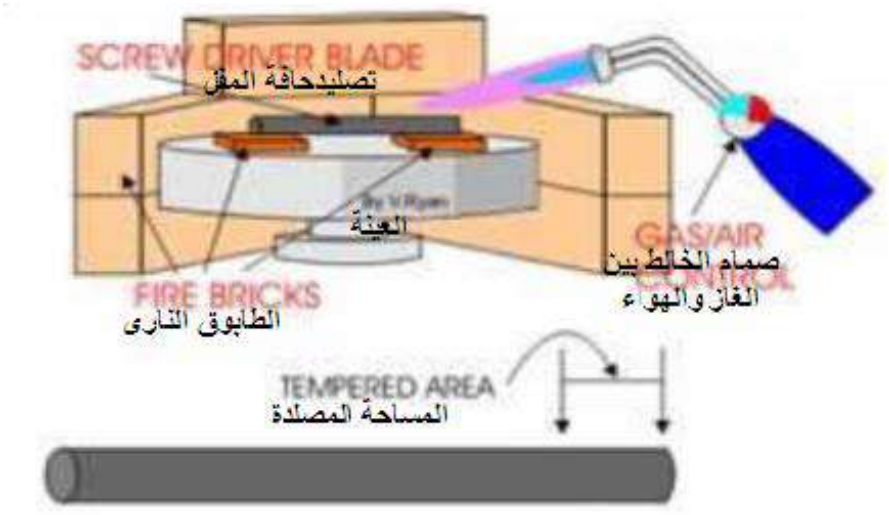
ان المعادن البراقة (metallic) تكون انعكاسيتها اكبر من المعادن الاخرى لذا فان مقدار الاستفادة من طاقة الليزر تكون اقل. وأفضل مثال على ذلك الالمنيوم والنحاس مقارنة مع الحديد والفولاذ إذ يكون الامتصاص للفولاذ أعلى منه للألمنيوم. لذا يمكن صهر الفولاذ بشكل افضل وأسرع من باقي المعادن البراقة .

ولكن ما طرائق التصليد اضافة الى استعمال الليزر ؟

توجد عدة طرائق للتصليد اضافة الى استعمال الليزر منها : -

1- التصليد بالشعلة الحرارية :

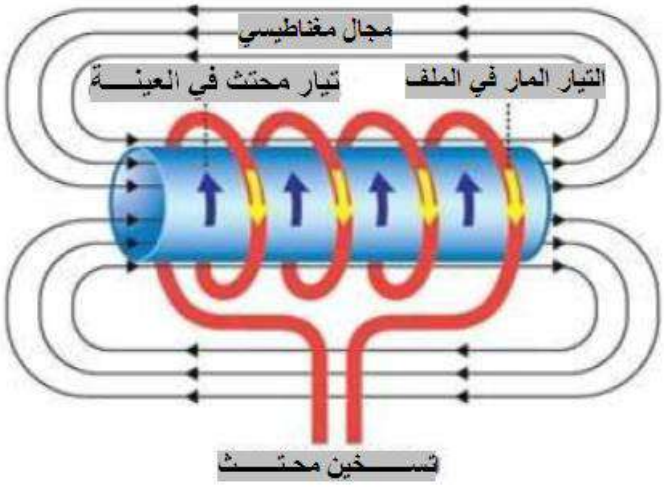
تتم هذه العملية بتجهيز حرارة عالية جداًمن شعلة اوكسي –استيلينية لدرجة كافية للتحول الى محلول جامد ومتجانس من الحديد والكربون (اوستينيت) (Austenite) .والشكل (3 – 2) يبين عملية التصليد بالشعلة الحرارية .



الشكل 3-2 : عملية التصليد بالشعلة الحرارية.

2- التصليد بالحث:

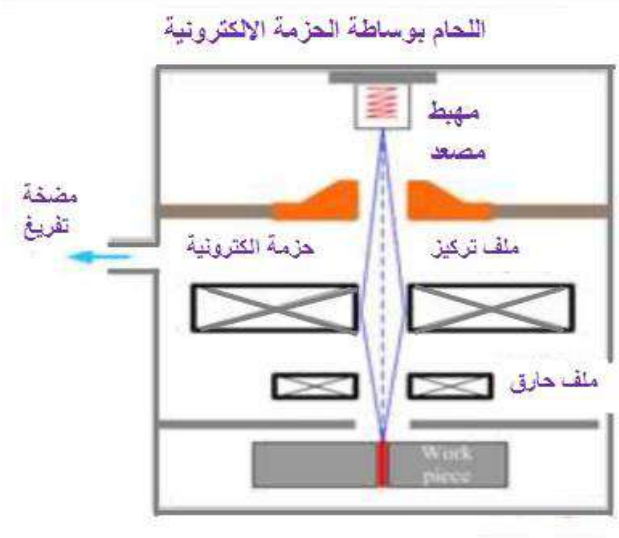
تتم هذه العملية باستعمال ملف حث وتوضع العينة المطلوب تصليدها داخل الملف وبإمرار التيار الكهربائي خلال الملف تتولد حرارة عالية كافية لإجراء عملية التصليد، والشكل (3 – 3) يبين عملية التصليد بالحث.



الشكل 3-3 : عملية التصليد بالحث.

3- التصليد بالحزمة الالكترونية:

تتم هذه العملية بتشعيع العينة بحزمة الكترونات ذات طاقة عالية إذ توفر حرارة كافية لإجراء عملية التصليد ، والشكل (3-4) يبين عملية التصليد بالحزمة الالكترونية.



الشكل 3-4 : عملية التصليد بالحزمة الالكترونية.

هل تعلم

ان الليزر يستعمل في عملية التصليد السطحي للمواد التي تحتوي على حديد ثنائي التكافؤ (Fe^{+2}) والذي يحتوي على الفولاذ وحديد الصب بنسبة كربون (C) اكثر من 0.2%.

ولأجل تصليد العينة المطلوبة فان حزمة الليزر تسخن الطبقة الخارجية السطحية لدرجة اقل من درجة الانصهار، ويجب ان تتحرك حزمة الليزر على سطح العينة وهذه الحركة تسبب التسخين المستمر على امتداد اتجاه الحركة .

وهنا يمكننا ان نسأل : ما اختلاف استعمال الليزر عن باقي الطرائق التقليدية في اجراء عملية التصليد ؟ والجواب يكمن في ان عملية التصليد هي اجراء بشكل سريع جدا إذ ان المادة تسخن الى درجة الانصهار بسرعة عالية جدا ويتكون المنصهر اثناء عملية التفاعل الناتج عن التشعيع، والعملية بكاملها من لحظة التشعيع الى تكوين المنصهر تتم بزمن قصير نسبياً في حدود عشرات الثواني .

والاختلاف الاخر يكمن في مقدار حفظ الاجهاد (S) (stress) المتولد من خلال عملية التصليد إذ ان الاجهاد يتناسب مع معدل التصليد (R´) والذي يتناسب طرديا مع فرق درجات الحرارة بين المنصهر (T_m) والمحيط (T_a) ويتناسب عكسياً مع الزمن اللازم للوصول الى الدرجة النهائية بعد التبريد Δt .

وان معدل التصليد يعطى حسب العلاقة الآتية :

$$R' = (T_m - T_a) / \Delta t \quad \text{.....(2-3)}$$

مثال 2 :

احسب معدل التصليد لعينة من النحاس درجة حرارة انصهارها هي($1084.64\ ^oC$) إذ ان الزمن اللازم للتصليد من درجة حرارة الغرفة (20^oC) الى درجة الانصهار هو (10 s) .

الحل :

$T_a = 20\ ^oC$, $\Delta t = 10\ s$, $T_m = 1084.64\ ^oC$

لدينا العلاقة الآتية :

$$R' = (T_m - T_a) / \Delta t$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$$R' = [1084.64 - 20]\ ^oC / 10\ s$$

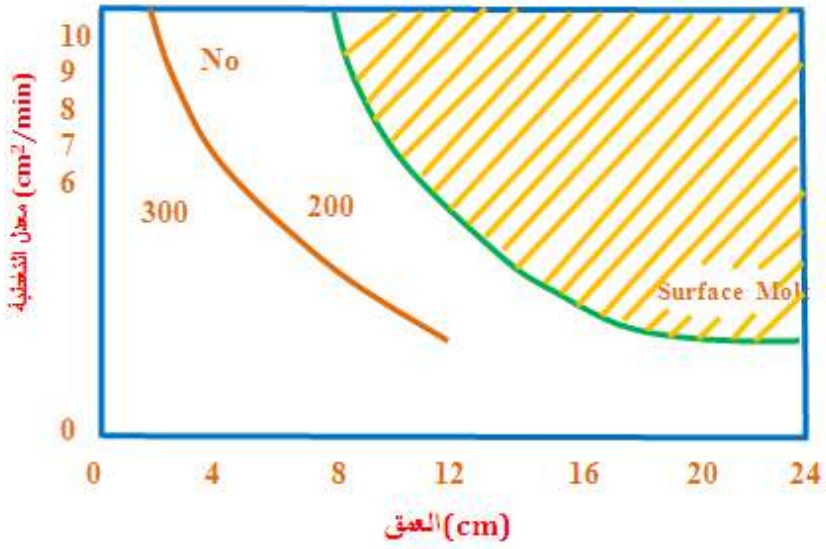
$R' = 106.464\ (^oC/s)$ وهو معدل التصليد

1.3.3 التصليد بالتحول الطوري (Phase Transformation Hardening)

ان عملية تسخين المادة ومن ثم تبريدها مباشرة وبشكل سريع تؤدي الى تغير في طورها (phase) والسؤال الذي قد يتبادر الى الذهن هو : ما تأثير عملية تحول الطور ؟

والجواب هو: ان عملية تحول الطور هذه تزيد من صلادة سطح المادة .

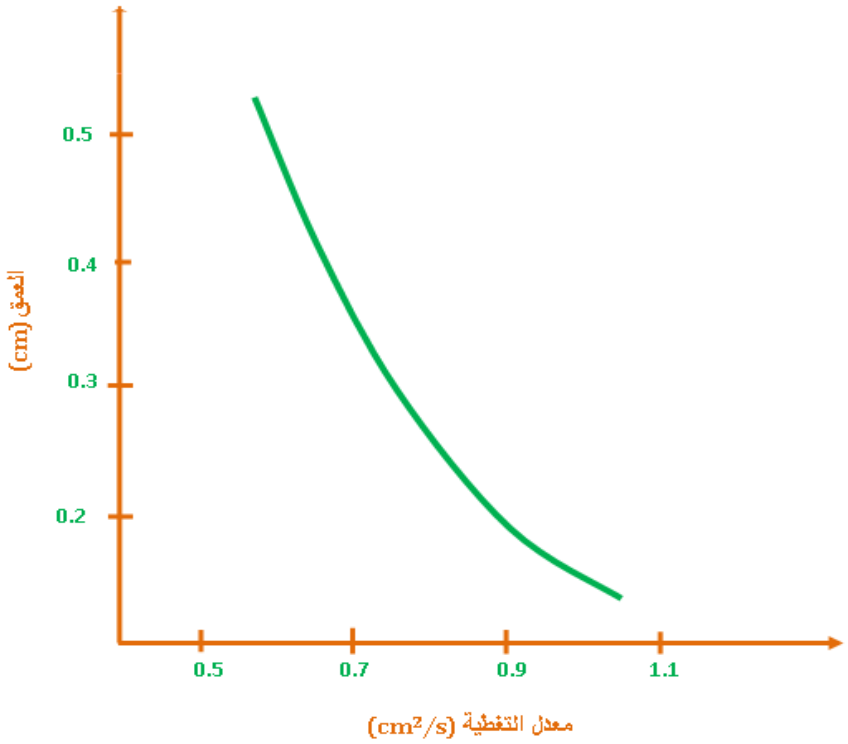
والشكل (3 – 5) يبين عمق التصليد ومعدل التغطية (coverage rate) باستعمال ليزر ثنائي اوكسيد الكربون بقدرة (1500 W) لغرض تغطية السطح بكامله ويبين الحد الفاصل بين معالجة السطح والانصهار .



الشكل 3-5 : تغير معدل التغطية مع العمق.

وهنا يمكننا ان نسأل : ما المقصود بمعدل التغطية ؟

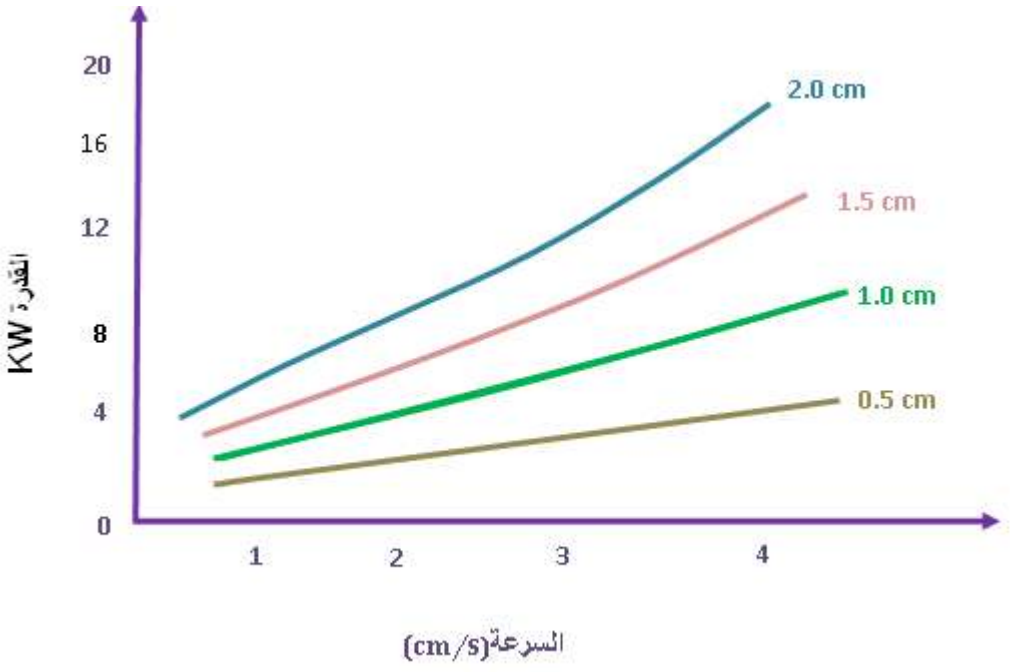
ان المقصود بمعدل التغطية هو مقدار المساحة المغطاة بالأشعة (اشعة الليزر) خلال فترة زمنية محددة ومن وحداتها هي (cm^2/min). والشكل (3 – 6) يبين عمق التصليد نسبة الى معدل التغطية .



الشكل 3-6 : عمق التصليد ومعدل التغطية

ولكن يجب الانتباه الى الفرق بين معالجة السطح والانصهار إذ ان التصليد يكون ضمن المنطقة دون نقطة الانصهار ولأجل تغطية السطح بكامله يمكن اتباع طريقة التراكب العشوائية (overlap) لنبضات الليزر مع بعضها البعض ولكن هذه الطريقة يمكن ان تؤدي الى الانصهار، إذ تعالج المناطق لأكثر من مرة واحدة والعامل المهم الاخر هو سرعة مسح السطح ، ولأجل تجنب انصهار السطح لبعض حالات التصليد يجب ان تزداد سرعة المسح.

والشكل (3 – 7) يبين سرعة المسح مع القدرة المؤدية الى اعماق مختلفة من التصليد.



الشكل 3-7 : تغير القدرة مع سرعة المسح

4.3 اللحام Welding

ان عملية اللحام باستعمال الليزر تعتمد على عدة متغيرات ومنها تسخين سطح المعدن لدرجة حرارية اكبر من درجة انصهاره واقل من درجة تبخيره وهذا بدوره يكون معتمدا على الزمن (t) إذ يكون اكبر من الزمن اللازم للانصهار (t_m) واقل من زمن التبخير (t_v) . وهنا يمكن تحديد عامل مهم وهو قابلية اللحام (W)(welding ability)، اذ يحسب من العلاقة الآتية : -

$$W = L_f / T_m C_p \quad \text{.....(3-3)}$$

اذ ان :-

L_f: الحرارة الكامنة للانصهار.

T_m: درجة حرارة الانصهار.

C_p: السعة الحرارية النوعية للمادة الصلبة.

ويحسب زمن الانصهار من العلاقة الآتية : -

$$t_m = (\pi/N)\,[K\,T_m / 2I]^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{-}3)$$

اذ ان : -

N: الانتشارية الحرارية (بوحدات m^2/s) .

K: التوصيلية الحرارية (بوحدات W/m^2).

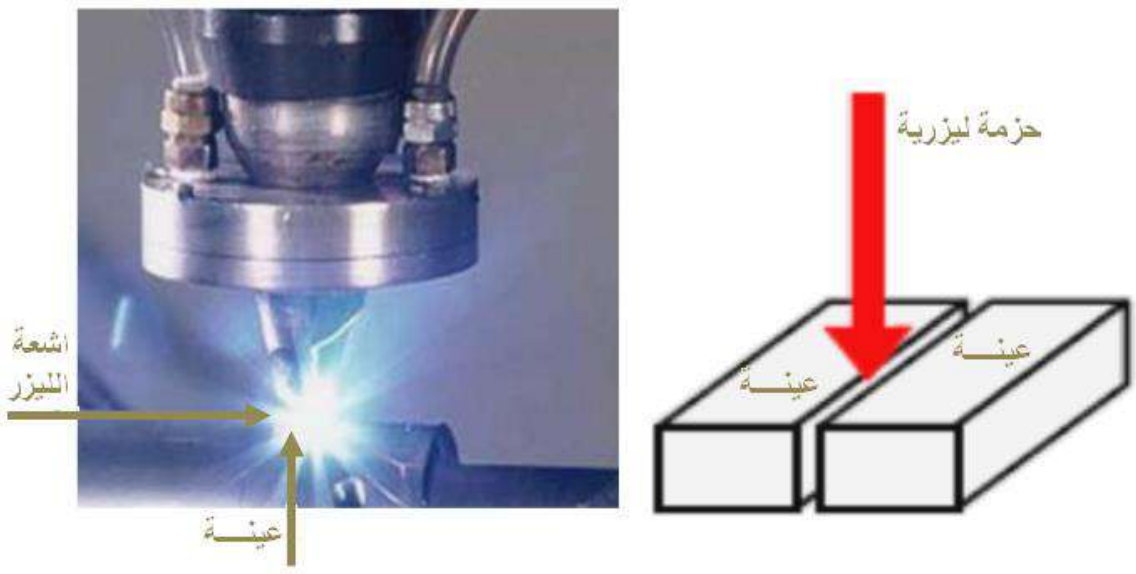
T_m: درجة حرارة الانصهار

I : شدة الاستضاءة او كثافة القدرة لحزمة الليزر

وقد عرفنا سابقا ان الانتشارية الحرارية يمكن حسابها من العلاقة الآتية :

$$N = K/\rho C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5\text{-}3)$$

ولأجل اتمام عملية اللحام بشكل دقيق يجب ان يكون امد نبضة الليزر مساوية الى او اقل من الزمن اللازم للتبخير (t_v) .والشكل (3 – 8) يبين عملية اللحام بالليزر .

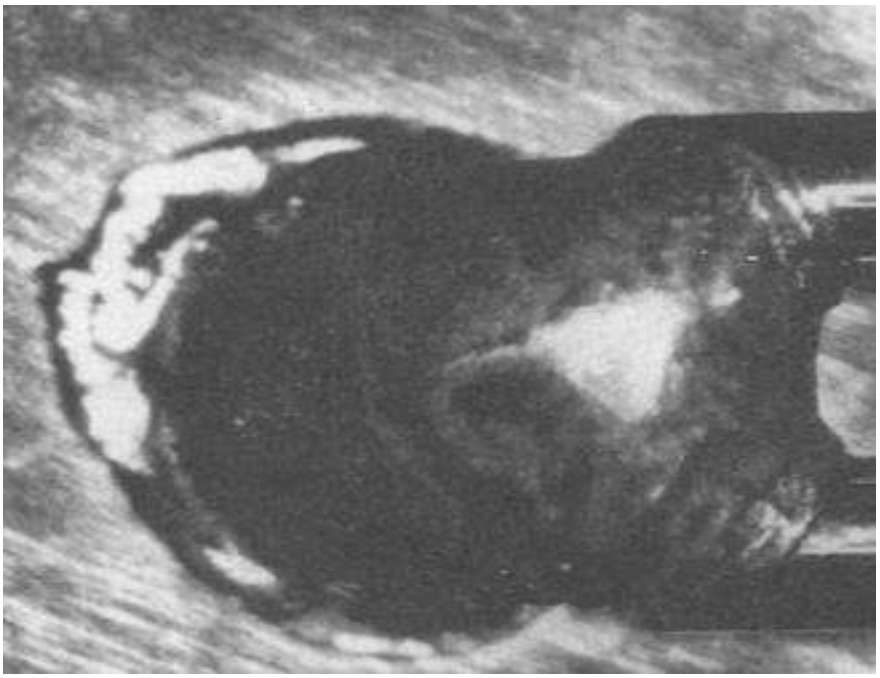


الشكل 3-8: عملية اللحام بالليزر.

1.4.3 انواع اللحام بالليزر Types of Laser Welding

1. اللحـام النقطـي Spot welding

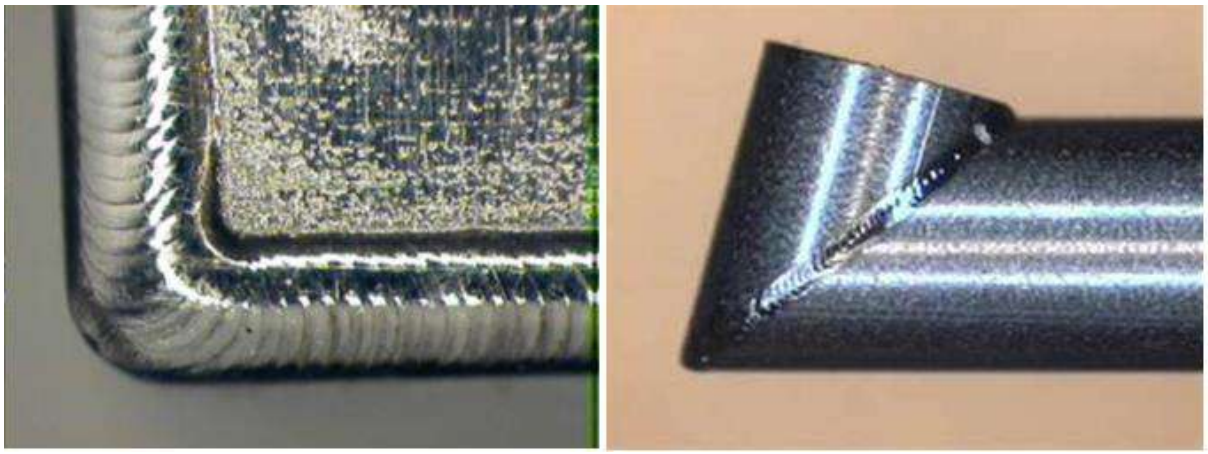
ان اللحام النقطي يتم بتركيز نبضات الليزر المستعملة ضمن منطقة ضيقة جداً من دون تحريك الحزمة. ويستعمل هذا النوع في بعض التطبيقات المعتمدة على تركيز الحرارة في منطقة ضيقة دون انتشارها كما في لحام الدوائر الالكترونية الدقيقة وتوصيلاتها. وعادة يستعمل ليزر الياقوت، وليزر نيديميوم- ياك في هذا النوع من اللحام والشكل (3 – 9) يبين اللحام النقطي :-



الشكل 3-9 : اللحام النقطي بالليزر.

2. لحـــام الدرز Seam Welding

يستعمل هذا النوع من اللحام لربط ولحام قطعتين معدنيتين بطول معين إذ يتم تحريك شعاع الليزر على طول المنطقة بين القطعتين. ومعدل القدرة المطلوب لهذا النوع من اللحام وهو (1000-1500)W ويوظف عادة اما ليزر مستمر او نبضي ذو تكرارية عالية، ومن اكثر الليزرات استعمالا لهذا النوع هو ليزر ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2) وليزر نيديميوم– ياك (Nd-YAG) والشكل (3-10) يبين كيفية لحام الدرز.



الشكل 3-10 : لحام الدرز.

ولإتمام عملية لحام الدرز بشكل مضبوط يجب ان تتوفر بعض العوامل التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار اهمها :

1. ان يتم امتصاص الطول الموجي للحزمة بشكل جيد من قبل القطعة .
2. يجب ان تكون كثافة القدرة على السطح كافية لحصول الانصهار.
3. في حالة استعمال الليزر النبضي يجب ان يكون زمن النبضة طويلاً بشكل كافٍ بحيث يسمح لاختراق الحرارة داخل المعدن.
4. يجب ان يكون معدل تكرار النبضات عالٍ بما فيه الكفاية لإتمام عملية الدرز.

5.3 التثقيب والقطع Drilling and Cutting

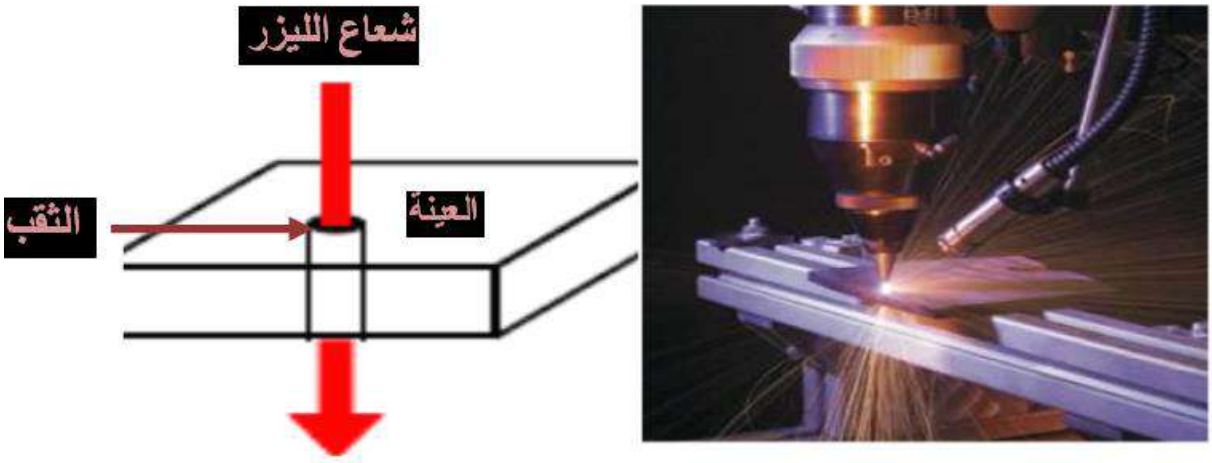
من المعروف انه من استعمالات الليزر هو رفع جزء من المادة المتفاعل معها وهذا التفاعل يكون مفيدا جداً في بعض التطبيقات الصناعية منها عمل الثقوب في المعادن او اي مواد اخرى بسمك معين وبإحجام مختلفة. والليزرات المستعملة لهذا الغرض تكون مختلفة عن تلك المستعملة في عملية اللحام إذ يجب ان تكون الحرارة كافية لحصول التبخير ورفع المادة. ومن اهم صفات حزمة الليزر المطلوبة هي ان تكون ذات قدرة عالية جداً لتوفير مثل هذه الحرارة ضمن المنطقة الضيقة. ومن الليزرات المستعملة في القطع او التثقيب هو ليزر ثنائي اوكسيد الكربون ذو التهيج المستعرض عند الضغط الجوي (Transverse Excited Atmospheric TEA) او ليزر نيديميوم- ياك النبضي العامل بتقنية مفتاح عامل النوعية (Q – Switched Nd: YAG) والجدول التالي يبين بعض انواع الليزرات المستعملة في القطع والتثقيب .

الجدول (3-3) بعض انواع الليزرات المسـتعملة في القطع والتثقيب.

نوع الليزر	الطول الموجي (λ) (µm)	التطبيق
pulsed(نبضي) Nd:YAG	1.06, 0.532	تثقيب
نيديميوم- ياك بمفتاح عامل النوعيةQ- switched TEA	1.06 ,0.532	رفع الاغشية الرقيقة
ثنائي اوكسيد الكربون	10.6	تثقيب
ثنائي اوكسيد الكربون (نبضي)	10.6	عمل ثقوب ، تقطيع
الاكسايمرExcimer	0.9, 0.03	اشباه الموصلات
الياقوتRuby	0.6943	تثقيب

1.5.3 التثقيـب بالليــزر Laser Drilling

ان عملية التثقيب بالليزر هي رفع جزء من المادة من خلال تبخيرها عن طريق تسليط حزمة ليزر ذات طاقة عالية على المنطقة المطلوبة ، والشكل (3-11) يبين عملية التثقيب بالليزر.



الشكل 3-11 : عملية التثقيب بالليزر.

ولكن كيف يمكننا حساب عمق الثقب ؟ يمكن حساب عمق الثقب اعتماداً على العلاقة الآتية :

$$D = E_o / A\rho[C(T_B - T_o) + Lv] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6\text{-}3)$$

اذ ان :-

C: الســـــعة الحرارية لوحدة الحجم.

T_B: درجة حرارة الغليان(التبخير).

T_o: درجة حرارة السطح الابتدائية.

ρ: الكثافة .

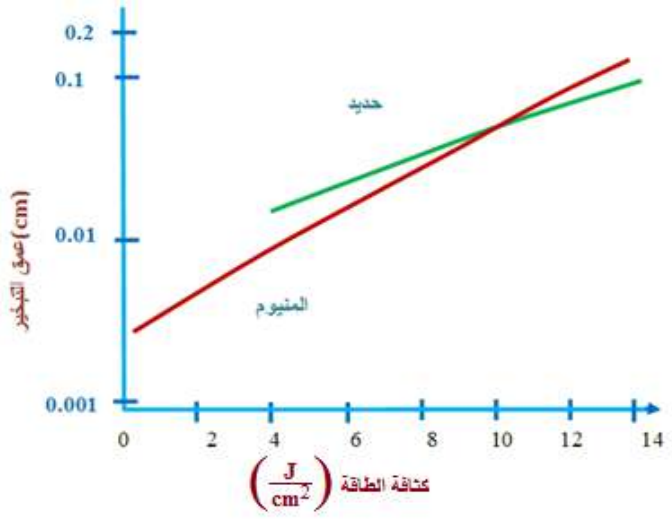
A: المساحة المغطاة بالتشعيع.

E_o: طاقــة الليزر النبضي.

L_V : الحرارة الكامنــة للتبخر.

ولكن كيف يمكننا تعريف كثافة الطاقة ؟

يمكن ان نعرَف كثافة الطاقة على انها مقدار الطاقة الواجب تجهيزها لوحدة المساحة ووحداتها هي (J/cm^2)، وبزيادة الطاقة ونقصان في قطر بقعة الليزر سنحصل على كثافة طاقة عالية جدا ويمكن ان يزداد معها عمق الثقب الناتج عن تفاعل الليزر. والشكل (3-12) يبين تغير عمق التبخير مع كثافة الطاقة لنوعين مختلفين من المادة (الالمنيوم والحديد) .



الشكل 3-12 : عمق التبخير للألمنيوم والحديد.

ان التثقيب باستعمال الليزر ليس مقتصراً على المعادن بل يشمل كذلك السيراميك والاحجار الكريمة والبلاستك والخشب وغيرها، والشكل (3-13) يبين تثقيب الصخر بالليزر .

الشكل 3-13 : تثقيب الصخر بالليزر.

3-5-2 الغازات المساعدة Assistance Gases:-

في عملية التثقيب والقطع يتم استعمال حزمة الليزر مع غاز خامل كالآركون يوجه الى منطقة القطع لإزالة المادة المنصهرة والمبخرة اثناء القطع، وكذلك انبوب لسحب نواتج التبخير والرذاذ المتطاير والشكل (3 – 14) يبين المنظومة .

الشكل 3-14 : منظومة استعمال الغازات المساعدة مع الليزر.

يستعمل الليزر كذلك في عمل ثقوب دقيقة جداً بأبعاد صغيرة وبمسافات منتظمة لا يمكن للطرائق الاخرى من عملها والشكل (3-15) يبين ذلك.

الشكل 3-15 : عمل الثقوب الدقيقة باستعمال الليزر.

3.5.3 القطـع بالليزر Laser Cutting

يستعمل الليزر لتقطيع وتشكيل انواع مختلفة من المواد اعتماداً على عملية تبخير المادة ويستعمل غاز الاوكسجين في عملية القطع لزيادة معدل القطع ومن الليزرات شائعة الاستعمال في عمليات القطع هي ليزر ثنائي اوكسيد الكربون وليزر النيديميوم – ياك وليزر الياقوت وتختلف القدرة المطلوبة حسب اختلاف المادة المطلوب قطعها او تشكيلها وتستعمل الليزرات من نوع المستمر بقدرة تتراوح من مئة واط (W)الى عدة آلاف واط (W) حسب طبيعة المادة وسمكها .إذ يمكن قطع المواد بأنواعها كالخشب والمطاط والبلاستك والزجاج والأحجار والصخور والسيراميك وغيرها. والشكل (3 – 16) يبين دقة عملية القطع باستعمال الليزر.

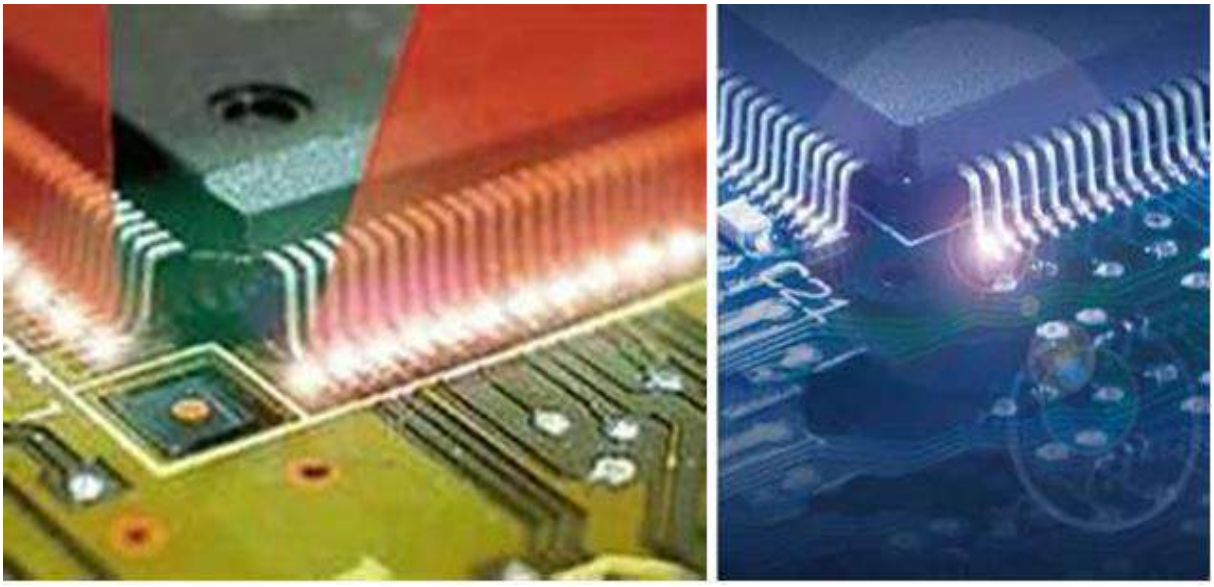
الشكل 3-16 : دقة عملية القطع بالليزر.

3- 6 لحام الالواح الالكترونية Electronic Boards Soldering

لحزمة الليزر المبئرة فائدة كبيرة جداً هي امكانية استعمالها في لحام القطع الالكترونية الدقيقة كالهايبـردس (Hybrids) علـى الالـواح المطبوعـة (PCB) (Printed Circuit Boards) حيث الابعاد تكون بحدود اجزاء من المليمتر(mm) وباستعمال المنظومات البصرية الملحقة بالليزر امكن اجراء عملية اللحام هذه . والشكل (3-17) يبين عملية اللحام الدقيق للدوائر الالكترونية بوساطة الليزر.

فكر

لماذا يستعمل الليزر النبضي في لحام الدوائر الالكترونية ؟



الشكل 3-17 : عملية اللحام الدقيق للدوائر الالكترونية بوساطة الليزر.

7-3 اسئلة وتمارين الفصل الثالث

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. يعتمد انصهار المعدن بدرجة كبيرة على مقدار انتقال الحرارة، لذا فان العامل الرئيس هو :
   a) سرعة الصوت.
   b) سرعة الضوء في الفراغ.
   c) توليد ازواج (الكترون – فجوة).
   d) الانتشارية الحرارية.
2. من افضل انواع الليزرات المستعملة للمعاملات السطحية ومعالجة المعادن هو ليزر:-
   a) هيليـــوم – نيـون (He – Ne).
   b) النيديميوم – ياك (Nd-YAG).
   c) ثنائي اوكسيد الكربون(CO_2) بنوعيه المستمر والنبضي.
   d) النيتروجين (N_2) .
3. التصليد هو تسخين المادة لدرجة حرارة :
   a) بعيدة عن درجة انصهارها.
   b) بعيدة عن درجة انصهارها ثم يعقبها تبريد سريع.
   c) قريبة من درجة انصهارها ثم يعقبها تبريد بطئ.
   d) قريبة من درجة انصهارها ثم يعقبها تبريد سريع.
4. يقصد بمعدل التغطية هو مقدار :
   a) المساحة المغطاة بالأشعة لوحدة الحجم .
   b) الحجم المغطى بالأشعة لوحدة الزمن .
   c) المساحة المغطاة بالأشعة خلال فترة زمنية محددة.
   d) الحجم المغطى بالأشعة لوحدة المساحة .
5. ان عملية اللحام بالليزر تعتمد على عدة متغيرات ومنها تسخين سطح المعدن لدرجة حرارية :
   a) اكبر من درجة انصهاره واقل من درجة تبخيـــره.
   b) اقل من درجة انصهاره واقل من درجة تبخيـــره.
   c) اقل من درجة انصهاره واكبر من درجة تبخيـره.
   d) اكبر من درجة انصهاره واكبر من درجة تبخيره.

6. ان اللحام النقطي يتم :

a) بتركيز نبضات الليزر المستعملة ضمن منطقة واسعة جدا دون تحريك الحزمة.

b) بتركيز نبضات الليزر المستعملة ضمن منطقة واسعة جدا مع تحريك الحزمة.

c) بتركيز نبضات الليزر المستعملة ضمن منطقة ضيقة جدا دون تحريك الحزمة.

d) بتركيز نبضات الليزر المستعملة ضمن منطقة ضيقة جدا مع تحريك الحزمة.

7. من وحدات معدل التغطية هي :

a) min^2/kg

b) kg/min^2

c) J/s^3

d) cm^2/min

8. في عملية التثقيب والقطع يتم استعمال حزمة الليزر مع غاز خامل:

a) كالأوكسجين.

b) كالنيتروجين.

c) كالكلـــــور.

d) كالاركـــون.

9. من وحدات كثافة الطاقة هي :

a) J/cm^2

b) W/cm^2

c) cm^2/W

d) cm/J

10. يقصد بعملية التثقيب بالليزر :

a) هي رفع جزء من المادة من خلال تبخيرها عن طريق تسليط حزمة ليزر ذات طاقة عالية على المنطقة المطلوبة.

b) هي اضافة جزء من المادة من خلال تصليدها عن طريق تسليط حزمة ليزر ذات طاقة عالية على المنطقة المطلوبة.

c) هي اضافة جزء من المادة من خلال تصليدها عن طريق تسليط حزمة ليزر ذات طاقة واطئة جداً على المنطقة المطلوبة.

d) هي رفع جزء من المادة من خلال تصليدها عن طريق تسليط حزمة ليزر ذات طاقة واطئة جداً على المنطقة المطلوبة.

11. يستعمل لحام الدرز لربط ولحام :

a) قطعة معدنية واحدة مع عدم تحريك شعاع الليزر.

b) قطعتين معدنيتين بطول معين إذ يتم تحريك شعاع الليزر على طول المنطقة بين القطعتين.

c) قطعتين معدنيتين مختلفتي الطول مع عدم تحريك شعاع الليزر.

d) ولا واحدة منها.

12. يستعمل الليزر في عمل ثقوب:

a) في المعادن والسيراميك والاحجار الكريمة.

b) في البلاستك والخشب والصخر.

c) دقيقة جداً بأبعاد صغيرة وبمسافات منتظمة.

d) كل الاحتمالات السابقة.

س2 : ما العوامل التي يعتمد عليها استعمال الليزر في التطبيقات الصناعية؟

س3 : وضح، لماذا يكون استعمال ليزر النيديميوم–ياك محدوداً جدا في التطبيقات الصناعية للمعادن؟

س4 : عرف التصليد ، ثم اذكر بعض الطرائق المستعملة في التصليد اضافة الى الليزر.

س5 : علل : لماذا يتم تحريك كل من حزمة الليزر او العينة عند اجراء عملية التصليد السطحي .

س6 : بين السبب في امكانية صهر الفولاذ بشكل افضل وأسرع من باقي المعادن البراقة .

س7 : بماذا يختلف الليزر عن باقي الطرائق التقليدية في اجراء عملية التصليد ؟

س8 : ما تأثير عملية تحول الطور على المادة؟

س9 : لبعض حالات التصليد نحتاج الى زيادة سرعة المسح ، لماذا؟

س10 : لإتمام عملية لحام الدرز بشكل مضبوط يجب توفر بعض العوامل التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار ، ما اهم هذه العوامل ؟

س11 : عرف كثافة الطاقة ، وما تأثير قطر بقعة الليزر عليها ؟

س12 : اذكر بعض انواع المواد التي يمكن استعمال الليزر في قطعها وتشكيلها.

س 13 : ما مقدار زمن التصليد لقطعة من النحاس درجة انصهارها($1084.64\ ^oC$) مشععة بالليزر عند درجة حرارة ($20\ ^oC$) ، اذا علمت ان معدل التصليد هو ($150\ ^oC/s$).

س 14 : كم يجب ان تكون شدة (كثافة قدرة) ليزر مستعمل لصهر معدن النحاس في فترة زمنية مقدارها ($10\ s$) ، اذا علمت ان الانتشارية الحرارية للنحاس هي ($1.14\ x10^{-4}\ m^2/s$) وتوصيليته الحرارية هـــي ($3.93\ x10^2\ W/m.^oC$)، وان درجة انصهار النحاس هي ($1084.64\ ^oC$) .

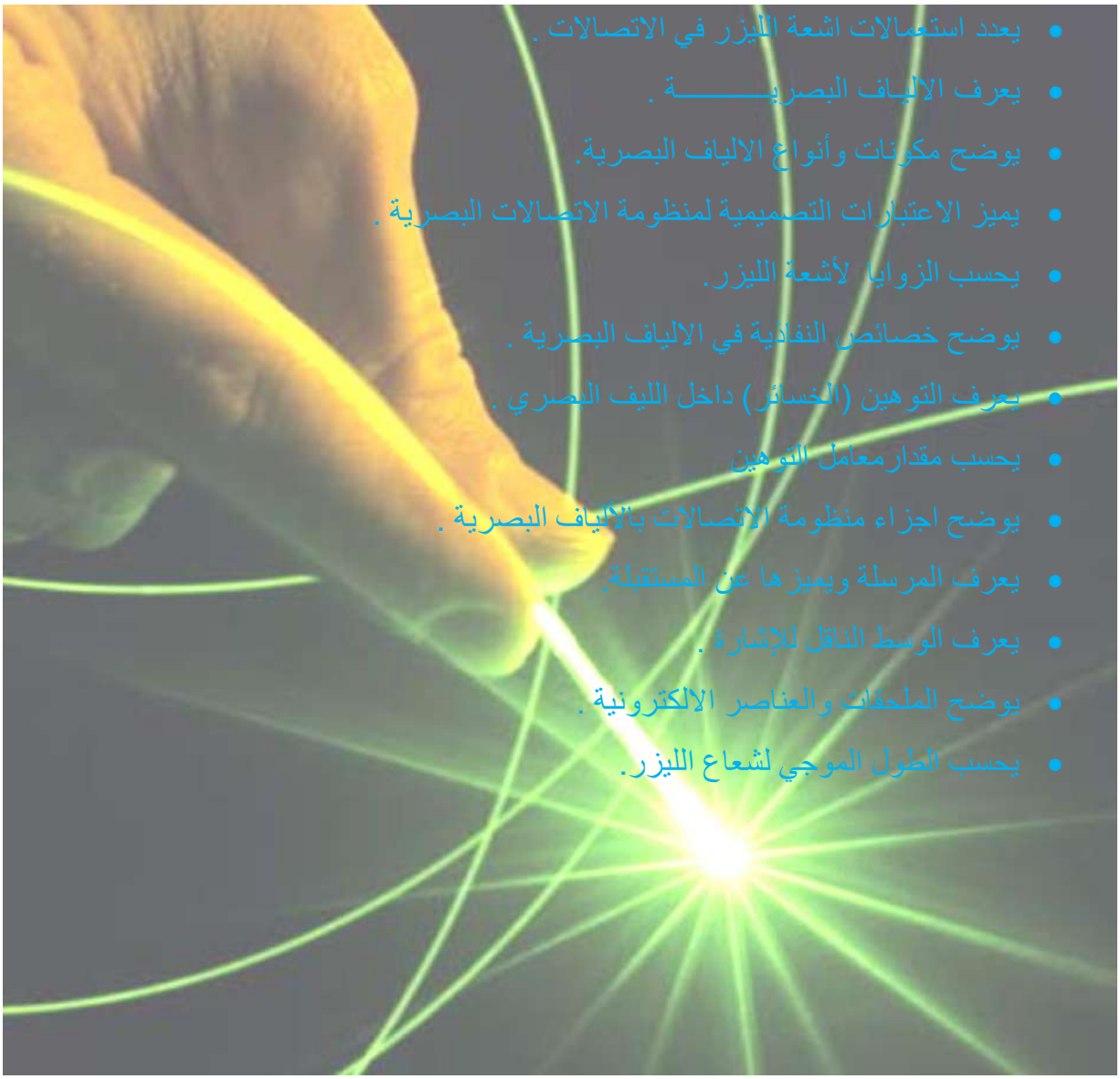
الفصل الرابع

الاتصالات البصرية

Optical Communications

أهداف الفصل الرابع

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:



- يعدد استعمالات اشعة الليزر في الاتصالات .
- يعرف الالياف البصريـــــــــــة .
- يوضح مكونات وأنواع الالياف البصرية.
- يميز الاعتبارات التصميمية لمنظومة الاتصالات البصرية .
- يحسب الزوايا لأشعة الليزر.
- يوضح خصائص النفادية في الالياف البصرية .
- يعرف التوهين (الخسائر) داخل الليف البصري .
- يحسب مقدارمعامل التوهين
- يوضح اجزاء منظومة الاتصالات بالالياف البصرية .
- يعرف المرسلة ويميز ها عن المستقبلة.
- يعرف الوسط الناقل للإشارة .
- يوضح الملحقات والعناصر الالكترونية .
- يحسب الطول الموجي لشعاع الليزر.

1-4 تمهيد

من الامور المهمة جداً والتي شغلت حيزا كبيرا في تفكير الانسان منذ ازمان بعيدة هي كيفية الاتصال والتواصل مع الاخرين وعلى مسافات بعيدة جداً. لذا فقد اهتم العلماء والباحثون في كيفية تطوير منظومات الاتصال بدءا من الحمام الزاجل الذي كان يستعمل في نقل الرسائل والمعلومات المهمة جدا في اوقات السِلم والحرب على حدٍ سواء وانتهاء بأحدث تكنولوجيا المعلومات المستخدمة في وقتنا الحاضر .

تتألف منظومة الاتصالات البصرية بشكل اساسي من ثلاثة اجزاء هي المصدر الضوئي (الليزر) والوسط الناقل الفضاء (free space) او الالياف البصرية والكاشف الضوئي (منظومة الاستلام) .

ولكون المسافات هي عادة بعيدة جدا لذا كان من الضروري التفكير في ايجاد وسائط نقل للإشارة بأقل الخسائر في المعلومات ، لذا دعت الحاجة الى مصادر طاقة مركزة وعالية وأفضل مصدر مرسل هو الليزر حيث الوسط الناقل لهذه الحزمة الليزرية يعمل بأقل توهين بالإضافة الى استعمال الالياف البصرية او(الضوئية) (Optical fibers) ، والتي سيأتي شرحها بشكل مفصل لاحقا .

2-4 استعمال اشعة الليزر في الاتصالات

ان الاهداف بعيدة المدى للتطوير تتركز في زيادة مديات الاتصالات وكذلك زيادة معدل نقل البيانات باستعمال انـواع جديدة من الاوساط الناقلـــة (خطـوط النقل) (transmission lines) وأفضل مثال على هذه الاوساط هي الالياف البصرية .

وان التضمين (Modulation): هو عبارة عن عملية تحميل اشارة المعلومات (صوت او صورة او مكالمة هاتفية مثلاً) ذات التردد الواطئ تسمى (موجة محمولة) على موجة عالية التردد تسمى (موجة حاملة) وهناك نوعان اساسيان من التضمين همـــا :

1-التضمين التماثلي (Analog Modulation):

هو عبارة عن تغيير لأحد خواص موجة التيار عالي التردد (سعة التذبذب – تردد التذبذب – طور التذبذب) .

والتضمين التماثلي يتكون من ثلاثة انواع هي :

a) التضمين السعوي Amplitude modulation (AM) .
b) التضمين الترددي Frequency modulation (FM).
c) التضمين الطوري Phase modulation (PM).

2-التضميـن الرقمي (Digital Modulation):

هناك نوع اخر من التضمين يمكن اجراؤه على الموجة المضمنة وذلك لغرض التقليل من التأثيرات الخارجية عليها زيادة على امكانية تشفيرها ويطلق على هذا النوع من التضمين بالتضمين الرقمي، حيث لديه تطبيقات مهمة وخاصة في الاتصالات الحديثة بين الحاسبات وشبكة الانترنيت .

وقد وجدت عدة تصاميم لمنظومات الاتصالات وبزيادة التطور الحاصل في هذا المجال فقد تمت زيادة معدل البتات (Bits rate) المرسلة و امكانية الارسال لمسافات بعيدة جدا .

ويمكن ان يُعرف البت (Bit) :بأنه عبارة عن نبضة كهربائية اما موجبة او سالبة ويرمز لها بأحد الرقمين الثنائيين اما 1 او 0 وتسمى كل ثماني بتات (مجتمعة) بايت Byte ، والبت عبارة عن خانة واحدة تتكون من رقم ثنائي وله احتمالان فقط فأما ان يكون البت 0 او يكون 1 .

ويمكن توضيح العناصر الاساسية لمنظومة الاتصال كما في المخطط المبين في الشكل (4 – 1)

الشكل 4 -1 : مخطط منظومة الاتصال.

من ضمن تطبيقات استعمال الليزر في الاتصالات هو استعماله في مجال الغواصات، اذ ترسل الاشارات بمعدل ارسال سريع عن طريق الاقمار الصناعية او من خلال منظومة محمولة جوا. لذا يمكن للغواصة الاستمرار بتحركها وإرسال واستلام الاوامر دون ظهورها الى السطح مع وجود بعض السلبيات المهمة وهي اضمحلال وتوهين الاشارة الضوئية بانتقالها خلال المياه (البحار والمحيطات) وبسبب خصائص اشعة الليزر في الاتجاهية والشدة العالية امكن استعماله بدلا من القابلوات (cables) الاعتيادية لنقل المعلومات ولسببين اساسيين هما :

اولا : امكانية تضمين ونقل المعلومات على الشعاع او الحزمة الليزرية بسهولة .

ثانيا : مقدار الاضمحلال والخسارة تكون قليلة .

والسؤال الذي يطرح نفسه هو: ما المميزات التي تتصف بها الاتصالات البصرية ؟

هناك عدد من المميزات تتصف بها الاتصالات البصرية منها :

1- سـعة كبيرة لحمل الاشارات.

2-خسائر قليلة .

3-عدم تداخل الاشـارات المرسـلة.

4-التوصيلات البينية تكون ذات سرعة عالية.

5-ان خطوط النقل تكون متوازيـة .

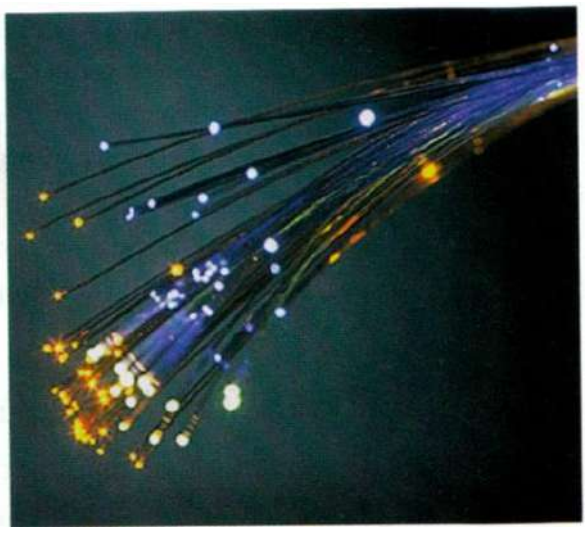
وتستعمل الاتصالات البصرية الحديثة في عدة مجالات وهي :

1. شبكات الهاتف المتقدمة (الشبكات الضوئية).
2. الشبكة العالمية للمعلومات (Internet) والبريد الالكتروني (E -mail)
3. مراكز الخدمة الهاتفية المركزة لمنظومات الهواتف النقالة (Mobiles)
4. شبكات المساحة المحدودة (LAN) لتناقل البيانات .

3-4 الالياف البصرية Optical Fibers

قد تتعجب عزيزي الطالب اذا علمت انه يمكننا نقل الضوء داخل ليف دقيـق من مكان الـى اخـر وان الالياف المستعملة لهذا الغرض تسمى الالياف البصرية، اذ تعد الالياف البصرية وسطا ناقلاً (Transmission medium) للإشارة الضوئية، ولكن ما المقصود بالألياف البصرية ؟

الالياف البصرية : هي الياف بلاسـتيكية او زجاجية دقيقة تـستعمل لنقل الضوء من مكان لآخر، لاحظ الشكل (4 – 2) . اذ ان الضوء خلالها يكاد لا يعاني اي فقدان في الطاقة سوى كمية قليلة جدا، فمثلا الحزمة الضوئية تستطيع ان تقطع مسافة طويلة جداً قبل ان تخسر كمية محسوسة من الضوء.



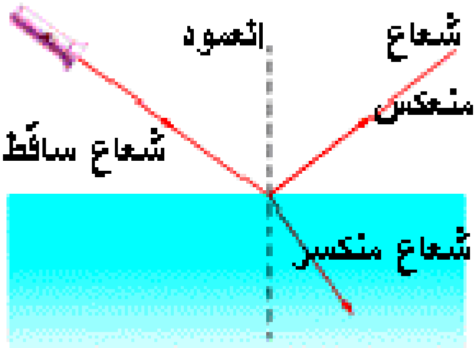
الشكل 4-2 : الالياف البصرية.

وقد استثمرت الالياف البصرية في مجالات عدة من الحياة منها استعمالها في الطب في عمليات التنظير مثل تنظير المعدة باستعمال جهاز يسمى ناظور الجوف " الاندوسكوب" (Endoscope) وقد غيرت الالياف البصرية طرائق الاتصالات بين الناس وحلت محل اسلاك التليفونات النحاسية القديمة في العديد من بلدان العالم . كما استثمرت الالياف البصرية في فحص الاجزاء الداخلية في المكائن والأجهزة الالكترونية. ومن مميزات الالياف البصرية هو صغر حجمها ووزنها بالمقارنة مع القابلوات او الاسلاك النحاسية التي لها السعة نفسها لحمل الاشارات الكهربائية . لاحظ الشكل (4 – 3)

الشكل 4-3 : الالياف البصرية ونقل الضوء.

ولكي نتعرف اكثر على عمل الالياف البصرية، لابد لنا من التطرق الى بعض المفاهيم مثل الزاوية الحرجة (Critical angle) والانعكاس الكلي الداخلي (Total internal reflection).

درست سابقا عزيزي الطالب ظاهرة انكسار الضوء والتي تعني تغيير اتجاه الشعاع الضوئي عندما ينتقل بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية عند سقوطه بصورة مائلة على احد السطحين وان سبب ذلك هو تغير سرعة الضوء في الوسط الشفاف الاول عنه في الوسط الشفاف الثاني، لاحظ الشكلين الآتيين :



الشكل 4-4 : انكسار الضوء.

الشكل 4-5 : ظاهرة انكسار الضوء لملعقة موضوعة داخل قدح فيه ماء.

والكثافة الضوئية هي صفة للوسط الشفاف تعتمد عليها سرعة الضوء المار فيه. فكلما كبرت الكثافة الضوئية للوسط الشفاف قلت سرعة الضوء فيه ويكون معامل الانكسار المطلق له كبير (او اكبر) ويدعى الوسط في هذه الحالة (اكثف ضوئيا). وبالعكس كلما صغرت الكثافة الضوئية للوسط الشفاف ازدادت سرعة الضوء فيه ويكون معامل الانكسار المطلق له صغير (او اصغر) ويسمى الوسط في هذه الحالة (اقل كثافة ضوئية) . فمثلاً ، الكثافة الضوئية للزجاج هي اكبر من الكثافة الضوئية للهواء.

ولكن ما القانون الذي يربط العلاقة بين معامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الاول وزاوية السقوط فيه ومعامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الثاني وزاوية الانكسار فيه؟

ان هذا القانون يسمى قانون سنيل (Snell's Law)، ويعطى حسب العلاقة:

$$n_1 \sin\theta = n_2 \sin\Phi \quad \text{......} \quad (1\text{-}4)$$

اذ ان:

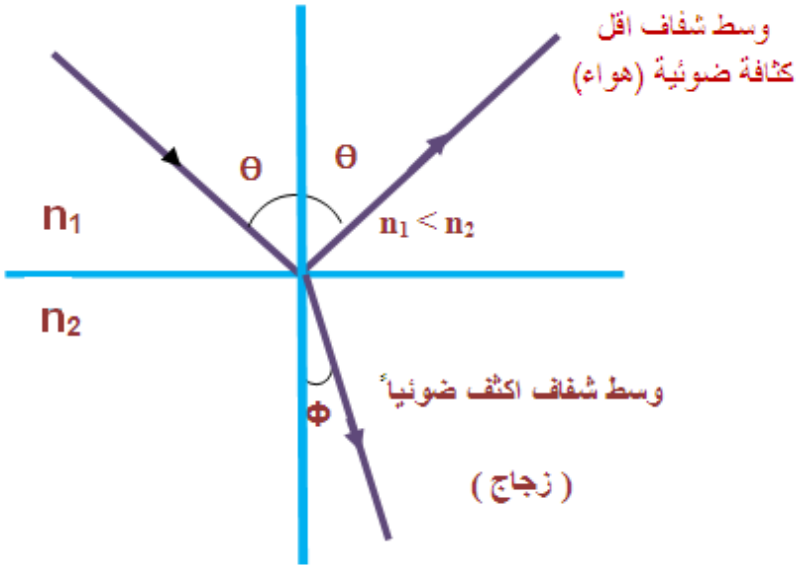
n_1 : معامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الاول.

n_2 : معامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الثاني.

$\sin\theta$: جيب زاوية السقوط.

$\sin\Phi$: جيب زاوية الانكسار.

والشكل (4 – 6) يبين انكسار الضوء عند انتقال الضوء بصورة مائلة من وسط شفاف اقل كثافة ضوئية الى وسط شفاف اكثر كثافة ضوئية .

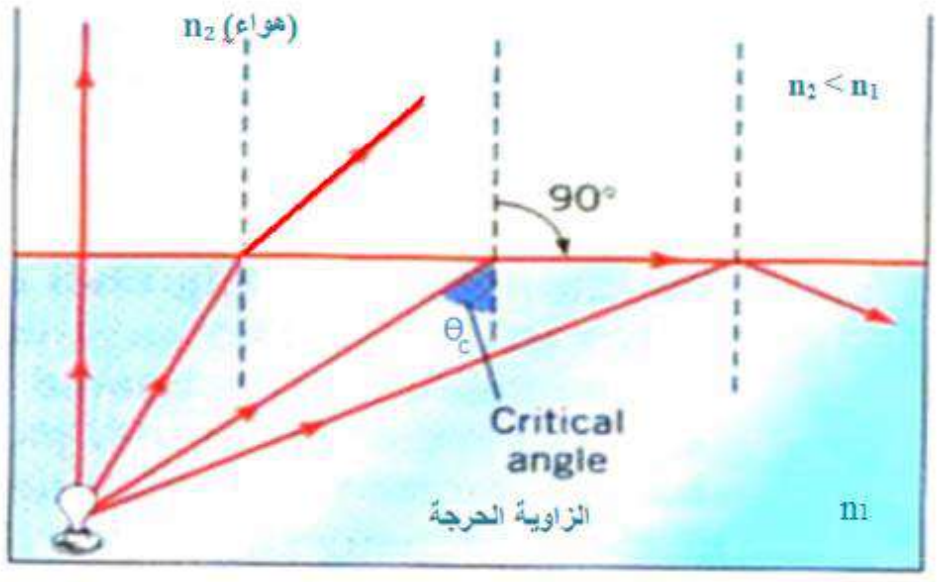


الشكل 4-6 : انكسار الضوء عند انتقال الضوء بصورة مائلة من وسط شفاف اقل كثافة ضوئية الى وسط شفاف اكثر كثافة ضوئيةً.

وبعد ان بينا فيما سبق وبشكل موجز مفهوم انكسار الضوء، فالسؤال المطروح الان هو : ماذا يقصد بالزاوية الحرجة ؟

الزاوية الحرجة :هي زاوية السقوط في الوسط الاكثر كثافة ضوئية والتي تكون زاوية انكسارها قائمة (90^o) في الوسط الاخر الاقل منه كثافة ضوئية.

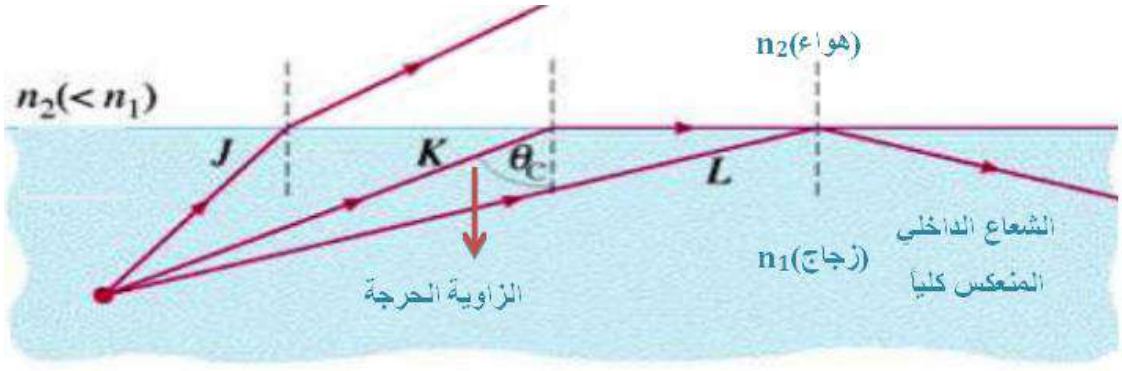
ومن الجدير بالذكر بان الزاوية الحرجة تحدث في الوسط الشفاف الذي معامل انكساره المطلق اكبر من معامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الاخر عند السطح الفاصل بينهما لاحظ الشكل (4-7) :



الشكل 4-7 : ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي.

وعند سقوط الضوء بزاوية سقوط اكبر من الزاوية الحرجة داخل الوسط الشفاف الاكثر كثافة ضوئية (ذو معامل الانكسار المطلق الاكبر) نفترضه (n_1) (كالزجاج مثلا) فان الاشعة الضوئية سوف لا ينفذ منها اي جزء الى الوسط الشفاف الاقل كثافة ضوئية (ذو معامل الانكسار المطلق الاصغر) نفترضه (n_2) (كالهواء مثلا) اي لا تنكسر بل تنعكس بأكملها انعكاساً كلياً داخلياً عن السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين ، مرتدة الى الوسط الشفاف الاكثر كثافة ضوئية الذي قدمت منه على وفق قانوني الانعكـــاس(اللذين درستهما سابقاً) . وتسمـــى هـــذه الظاهرة بظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي.

لاحظ الشكل (4 – 8)



الشكل 4-8 : ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي.

وعند تطبيق قانون سنيل بين الوسط الشفاف الاكثر كثافة ضوئيةً ذي معامل الانكسار المطلق (n_1) والذي حدثت به الزاوية الحرجة (θ_c) والوسط الشفاف الاخر الاقل كثافة ضوئية ذي معامل الانكسار المطلق (n_2)، وعندما ($\theta = \theta_c$) و($\varphi = 90^o$) فإننا نجد :

$\sin \theta_c = [n_2 / n_1]$ .....(2-4) $(n_2 < n_1)$

اذ ان :

$\sin 90^o = 1$

وفي حالة ان يكون الهواء هو الوسط الشفاف الاقل كثافــة ضوئية ، اي ان ($n_2 = 1$) وفي دراستنا الحالية سوف نعدُّ معامل الانكسار المطلق للهواء يساوي واحد، وباستعمال المعادلة السابقة فإننا نحصل على :-

$\sin\theta_c = [1 /n]$ .....(3-4) $(n = n_1)$

هل تعلم

ان الماس يدين بقدر كبير من جماله ولمعانه لظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ، لاحظ الشكل (4 – 9)

الشكل 4-9 : بريق الماس الناتج عن الانعكاس الكلي الداخلي.

ان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي هو المبدأ الاساس لانتقال شعاع الليزر (او الضوء) داخل الليف البصري بأقل خسارة ممكنة . فالألياف البصرية تستعمل لنقل شعاع الليزر (او الضوء) من مكان الى اخر حسب ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي .

فإذا سقط شعاع الليزر على احدى نهايتي الليف البصري بحيث تكون زاوية سقوطه على غلافه الداخلي اكبر من الزاوية الحرجة لمادته فانه سينعكس انعكاساً كلياً داخلياً ويبقى شعاع الليزر داخل الليف البصري ويخرج من طرفه الاخر حتى ولو كان الليف البصري منحنياً. ومن الجدير بالذكر فان غلاف الليف البصري يكون ذا معامل انكسار اقل قليلاً من معامل انكسار لب الليف البصري وهذا يمنع هروب شعاع الليزر من الليف البصري .

مثال 1 :

ما مقدار زاوية انكسار شعاع ينتقل من داخل حوض فيه ماء معامل انكساره المطلق يساوي (1.33) ليخرج الى الهواء اذا كانت زاوية السقوط تساوي (30^o) ؟ مع العلم أن ($\sin 41.68^o = 0.665$).

الحل :

$n_1 = 1.33,\ n_2 = 1,\ \theta = 30^o$

لدينا العلاقة الآتية :

$n_1 \sin\theta = n_2 \sin\Phi$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$1.33x \sin 30^o = 1x \sin \Phi$

$\sin\Phi = [1.33x \sin 30^o / 1]$

$\sin \Phi = [1.33x\ 0.5 / 1]$

$\sin \Phi = 0.665$

ومن منطوق السؤال فان:

$\Phi = 41.68^o$

مثال 2 :

جد مقدار الزاوية الحرجة لشعاع ضوء ينتقل من الزجاج معامل انكساره المطلق يساوي (1.54) الى ماء معامل انكساره المطلق يساوي (1.33) ، مع العلم انَ ($\sin 59.77^o = 0.864$).

الحل :

لدينا العلاقة الآتية :

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin\theta_c = \frac{1.33}{1.54} = 0.864$$

ومن منطوق السؤال فان :

$$\theta_c = 59.77°$$

وهي مقدار الزاوية الحرجة .

هل تعلم

ان الليف البصري يكون بأبعاد دقيقة حيث ان قطره يكون مساوٍ تقريبا لقطر شعرة الانسان ويمكن تجميع الالياف على شكل حزم بشكل القابلو البصري (Optical cable) الذي يستعمل في نقل الاشارات والمعلومات لمسافات بعيدة جدا تتعدى آلاف الكيلومترات بأقل خسارة .

1-3-4 مكونات الليف البصري :

يتكون الليف البصري من ثلاثة مكونات اساسية هي :

a. اللب (core) :- ويمثل المنطقة المركزية لليف ويصنع من الزجاج او البلاستك او البوليمر وذي معامل انكسار عالٍ وهو المسؤول عن انتقال الشعاع الليزري خلاله .

b. الغلاف (الكساء) او العاكس (cladding) : - ويمثل المنطقة المحيطة باللب ويصنع من الزجاج او البلاستك او البوليمر والبوليمر (هي جزيئات ضخمة مكونة من ارتباط عدد من الجزيئات الصغيرة مع بعضها البعض وتسمى متعددة الاجزاء او متعددة الوحدات مثل النشأ والمطاط الطبيعي او السليلوز) ومعامل انكساره اقل من اللب ويعمل على حفظ الشعاع الليزري داخل منطقة اللب اذ يعمل على عكس الضوء الى مركز الليف البصري .

C. الطلاء (الغطاء) الواقي (Buffer coating) : - وهو عبارة عن غطاء (غلاف) يصنع عادة من البلاستك يحيط بالليف البصري لكي يحميه من الرطوبة او الكسر او الضرر .

والشكل الآتي يبين مناطق الليف البصري .

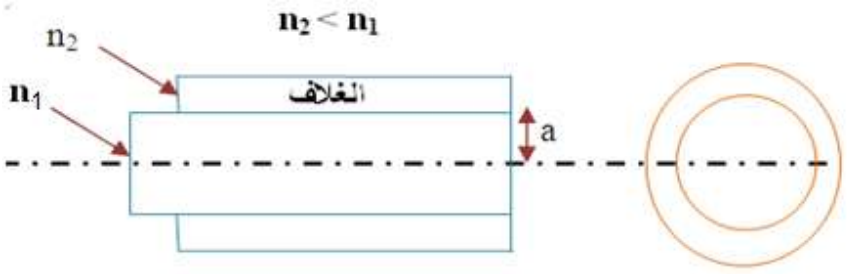
الشكل 4-10 : مناطق الليف البصري.

2-3-4 انواع الالياف البصرية

تقسم الالياف البصرية على ثلاثة انماط اساسية هي : -

1. الليف الاحادي (المنفرد) النمط Single Mode Step Index Fiber (SMSIF)

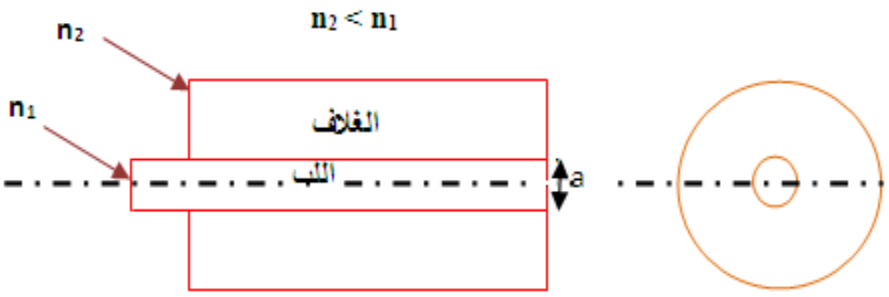
تنتقل خلال هذا النمط اشارات ضوئية ذات نسـق ونمط موحد في كل ليف بصري ضمن الحزمة. وتستعمل في شبكات الهاتف وقابلوات التلفزيون . ويتميز هذا النوع من الالياف بصغر نصف قطر اللب الزجاجي اذ يصل بحدود µm (8-12) والغلاف بحدود µm (125) ويتميز بتجانس معامل انكسار اللب ، والشكل (4-11) يبين ذلك .



الشكل 4-11 : الليف الاحادي (المنفرد) النمط.

2. الليف متعدد الانماط ذو معامل انكسار الخطوة Multimode Step Index Fiber (MSIF)

في هذا النوع من الالياف يكون نصف قطر اللب بحدود µm (50-200) ونصف قطر الغلاف بحدود µm (125- 400) ويكون معامـل انكسار اللب فيه متغيراً بشكل كبير، وكمـــا في الشكل (4-12)

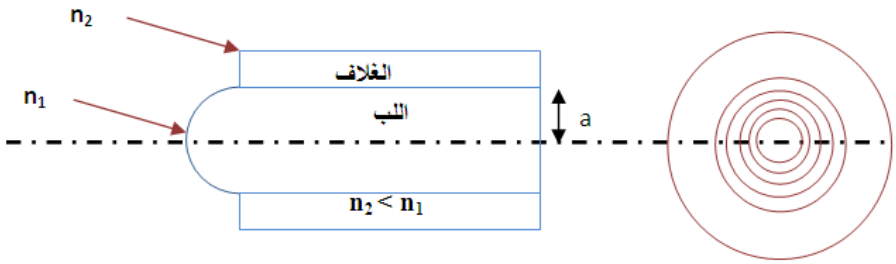


الشكل 4-12 :الليف متعدد الانماط ذو معامل انكسار الخطوة.

3. الليف متعدد الانماط ذو معامل الانكسار المتدرج Multimode Graded-Index Fiber (MGIF)

في هذا النوع من الالياف يكون نصف قطر اللب بحدود µm (5-100) ونصف قطر الغلاف بحـــدود µm (126-140) ويكون معامل انكسار اللب متغير كدالة للمسافة الشعاعية القطرية من مركز الليف ويتم عن طريقه نقل العديد من الانماط للإشارات الضوئية خلال الليف الواحد ويفضل استعمالها مع شبكات الحاسوب .

والشكل (4-13) يبين الليف متعدد الانماط ذا معامل الانكسار المتدرج .



الشكل 4-13 : الليف متعدد الانماط ذو معامل الانكسار المتدرج.

4-3-3 الاعتبارات التصميمية لمنظومة الاتصالات البصرية

هناك عدد من الاعتبارات التصميمية التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار لمنظومة الاتصالات البصرية ومنها :-

1. خسارة القدرة (Power Loss) .
2. المدى الحركي.(Dynamic Range)
3. مشاكل السرعة في شبكة الاتصالات البصرية .
4. تضمين (Modulation) الاشارة البصرية .
5. التعـــدد او التضاعف (Multiplexing) .
6. مفتاح المرور (Traffic Switching) .

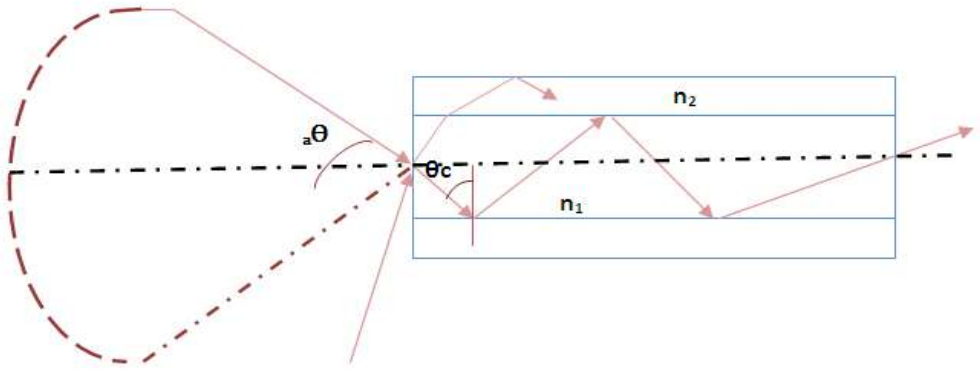
4-4 شروط اختيار المصدر الضوئي (الليزر) في منظومة الاتصالات البصرية

هناك عدد من شروط اختيار المصدر الضوئي (الليزر) في منظومة الاتصالات البصرية ومنها :-

1. ان يكون ذو نمط احادي طولي (Single Longitudinal Mode).
2. ان يمتلك ضوضاء (Noise) اقل مايمكن.
3. ان يمتلك عرض خط طيفي (Line Width) قليل.
4. ان تكون القدرة الخارجة (Output) منه عالية.
5. ان يعمل بتيار عتبة (Threshold Current) قليل .
6. ان يكون الطول الموجي (Wavelength) له ملائم .
7. ان يكون اتساع عرض الخط (Broadening Line Width) قليلاً .
8. ان يكون عرض حزمة التضمين (Modulation Band Width) قليلاً .
9. ان يكون اداؤه خطياً (Linear) .
10. ان تكون له القابلية على التنغيم (Tunability) .

5-4 انتقال شعاع الليزر داخل الليف البصري

ان من مميزات الالياف البصرية هي الخسائر القليلة للإشارة او المعلومات التي تنتقل خلالها وعدم انحراف شعاع الليزر الى خارج الليف. حيث ان انتقال شعاع الليزر يكون ضمن المنطقة المركزية لليف (اللب) وان وسط الانتقال يكون معامل انكساره المطلق كبيرا (اكثر كثافة ضوئية) (n_1)، والمنطقة الخارجية يكون معامل انكسارها المطلق اصغر (اقل كثافة ضوئية) (n_2) ، وذلك لأجل بقاء شعاع الليزر داخل الليف. لذا يجب تحديد مقدار زاوية سقوط حزمة الليزر على فتحة الدخول الى الليف بين اللب والغلاف اذ يجب ان تكون مساوية للزاوية الحرجة ، نفترضها هنا (θ_c)، اعتمادا على قيم مقداري معاملي الانكسارين المطلقين (n_1) ، (n_2). والشكل (4-14) يبين انتقال شعاع الليزر داخل الليف البصري .



الشكل 4-14 : انتقال شعاع الليزر داخل الليف البصري.

اذا سقط شعاع الضوء داخل الليف وعند نقطة التماس (لب – غلاف) بزاوية اقل من الزاوية الحرجة (θ_c) فانه سوف يغادر اللب نحو الغلاف والى الخارج ويسبب في فقدان الاشارة، وهذا يعتمد على مقدار اعظم زاوية سقوط (او دخول) (θ_{max}) على الليف وحسب المعادلة الآتية : -

$$n \sin \theta_{max} = [n_1^2 - n_2^2]^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(4-4)}$$

اذ ان : -

n : معامل الانكسار المطلق للوسط المحيط بالليف البصري

n_1: معامل الانكسار المطلق للب

n_2: معامل الانكسار المطلق للغلاف

من الجدير بالذكر فانه لتحقيق الانعكاس الكلي الداخلي ، يجب ان تكون زاوية دخول الشعاع الى الليف البصري اقل من (θ_{max}) .

ان المواد التي يفضل استعمالها لتصنيع الالياف البصرية هي الزجاج والبلاستك وان زجاج السيليكا (اوكسيد السليكون) هي شائعة الاستعمال وذلك للأسباب الآتية : -

1- بالإمكان تصنيع الياف طويلة، ونحيفة ذات مرونة عالية.
2- زجاج السيليكا ذو نفاذية عالية جدا ضمن مدى الاطوال الموجية nm (800-1600) وهو مهم جدا عند استعمال الليف البصري كموجه اما ليف البلاستك فهو يكون ذا توهين عال نسبة الى الزجاج
3- يمكن اضافة بعض الشوائب لتغير معامل انكسار اللب او الغلاف .

6-4 مزايا استعمال الالياف البصرية

من مزايا استعمال الالياف البصرية هي :-

1. عرض الحزمة الترددية كبير جـدا .
2. حجم المنظومة صغير ووزنها قليل .
3. معزولة كهربائيا .
4. غير معرضة للتداخل وتقاطع القنوات .
5. الاشارات داخل الليف البصري تكون محمية .
6. خسائر النفاذية قليلة .
7. المنظومة تتمتع بالمتانة والثبات .
8. المنظومة موثوقة وسهلة الصيانة.
9. الكلفة واطئة .

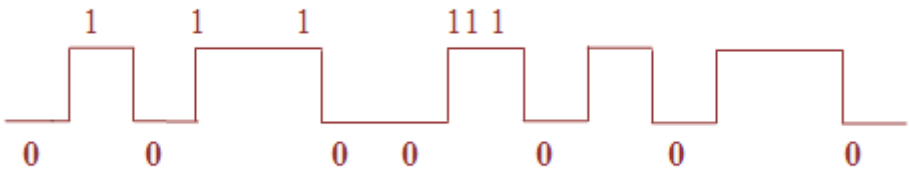
7-4 اجزاء منظومة الاتصالات بالألياف البصرية

تتكون منظومة الاتصالات بالألياف البصرية من الاجزاء الآتية :-

1-7-4 المرسلة

هي عبارة عن مجموعة مكونات الكترونية وبصرية، وظيفتها ارسال المعلومات والبيانات المطلوبة وتتألف من الاجزاء الآتية :-

1. ادخال البيانات او المعلومات (Data or Information Input).
2. منظومة التشفير(التجفير) ودائرة تشكيل الاشارة(Encoder and Signal Shaping Circuit).
3. دائرة التضمين (Modulator).
4. المصدر البصري (Optical Source) (الليزر او الثنائيات الباعثة للضوء LED's).
5. مجهز القدرة ودائرة انسياق المصدر الضوئي (Power Supply and Optical Source Driver) . وكما موضح بالشكل (4-15) .



الشكل 4-15 : الاشارة الرقمية.

وحسب الشكل اعلاه فان الاشارة المرسلة تكتب على الشكل الآتي : -

(0101100111000)

2-7-4 الوسط الناقل للإشارة:-

ان الوسط الناقل للحزمة الليزرية يمكن ان يكون الهواء او الماء بشرط ان يكون نافذا للضوء وان افضل الوسائط هو (الليف البصري). حيث ان معدل البيانات التي ترسل تكون بخسائر قليلة وتكون هناك دقة في زاوية سقوط الحزمة على الليف بحيث يؤدي الى دخول الحزمة داخل الليف وسقوطها على الحد الفاصل بين اللب والغلاف بمقدار الزاوية الحرجة التي تؤدي الى حصول انعكاس داخلي كلي . وان توالي الانعكاسات الداخلية تؤدي الى الوصول الى نهاية الليف من الجهة الثانية .

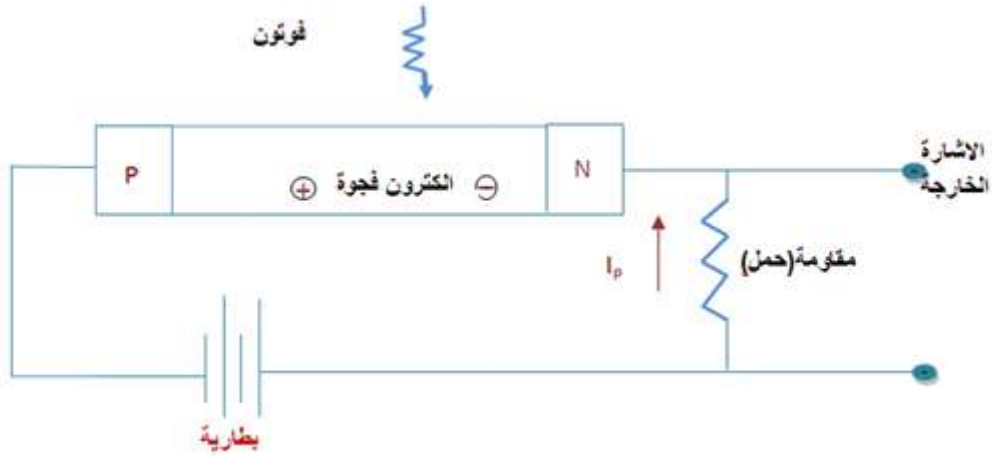
3-7-4 المستلم (المستقبلة) :-

ان مجموعة المستلم (المستقبلة) تتكون من جزئين اساسيين هما المكونات البصرية والمكونات الالكترونية، فالمكونات البصرية تتألف من عدسات او مواشير وكاشف ضوئي (Photodetector) والكاشف الضوئي هو المكون الاساس في الجزء البصري حيث ان وظيفته هوتحويل الاشارة الضوئية الى اشارة كهربائية في المعلومات المرسلة. والمكونات الالكترونية تشمل دائرة المضخم (Amplifier) ومنظومة فك التشفير(التجفير) (Decoder) او فك التضمين (Demodulator) وإخراج البيانات او المعلومات (Data or Information Output)، وتصنع الكواشف المستخدمة في الاتصالات مع الالياف البصرية من مواد شبه موصلة ، وتكون على نوعين رئيسين هما :

1- الثنائي الضوئي PIN Photodiode

2- الثنائي الضوئي الانهياري Avalanche Photodiode

وبشكل عام فان الكواشف تصنع من مواد شبه موصلة ، والشكل (4-16) يبين طريقة ربط الكاشف الضوئي بالدائرة الكهربائيـــة .



الشكل 4-16: ربط الكاشف الضوئي بالدائرة الكهربائية.

4-7-4 الملحقات والعناصر الالكترونية

وتشمل الدوائر والمكونات الالكترونية كافة والتي يتم تصميمها وفقاً لمواصفات المرسل والمستلم ومنها:

1. دوائر التضخيم والتكبير.
2. دوائر المقارنة .
3. دوائر التضمين وفك التضمين.
4. دوائر التحليل.

ومن الجدير بالذكر فانه لغرض تصنيع الكاشف المطلوب في منظومة الاتصالات يجب مراعاة صفة مهمة وهي فجوة الطاقة للمادة شبه الموصلة والتي يحددها مقدار الطول الموجي القاطع λ_c وبحسب العلاقة الآتية : -

$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g} \quad \text{..... (5-4)}$$

اذ ان :

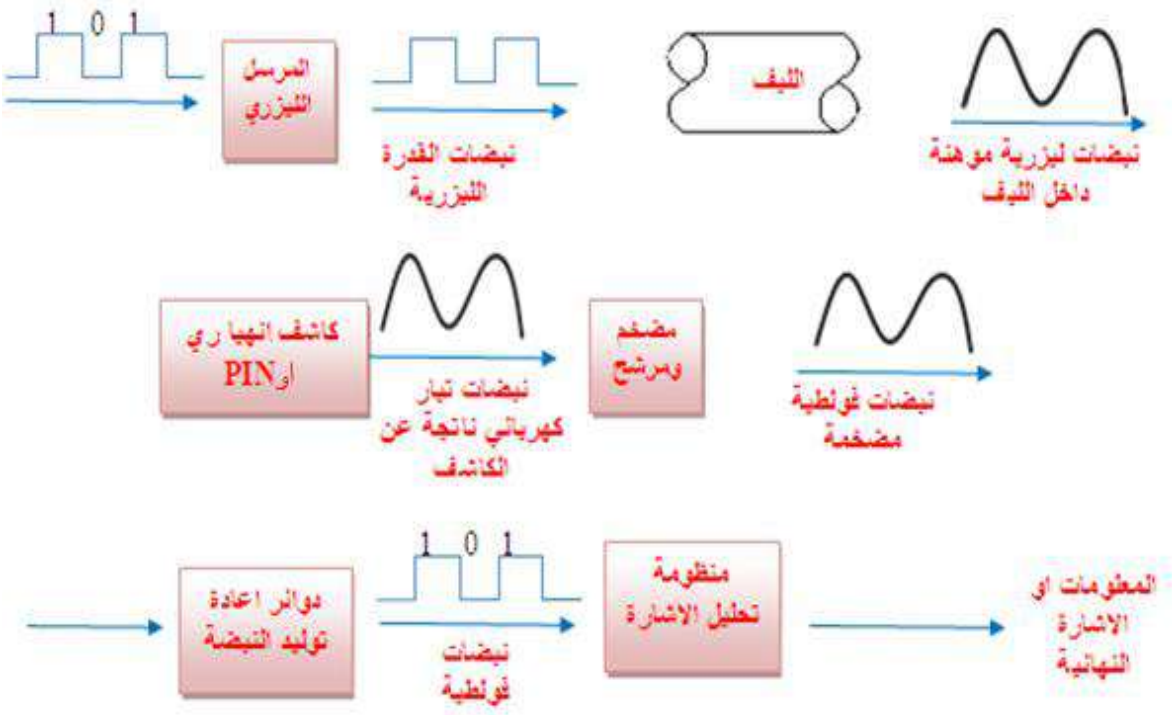
λ_c:الطول الموجي القاطــع.

h: ثابت بلانـك .

c: سرعة الضوء في الفراغ.

E_g: ثغرة الطاقة المحظور

المكون الاخر في منظومة الاستلام هي دوائر فك التضمين والتشفير الالكترونية والتي تحول الاشارة الرقمية واعادة صياغتها حسب البيانات المطلوبة ويطلق عليها (Decoding) . ويمكن وصف مراحل نقل البيانات من ارسال واستلام حسب الشكل (4- 17)



الشكل 4-17 : مراحل نقل البيانات من المرسل الى المستلم.

8-4 اسئلة وتمارين الفصل الرابع

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما ياتي :

1. يبلغ النطاق الترددي لحزمة الليزر حوالي:

(a 10^{19} Hz

(b 10^{14}Hz

(c 10^{16}Hz

(d 10^{18} Hz

2. الاندوسكوب (Endoscope) هو :

a. المجهر الضوئي.

b. التلسكوب الضوئي.

c. ناظور الجوف.

d. موسع الحزمة.

3. الالياف البصرية تتكون من:

a. مادة زجاجية او بلاستيكية.

b. اسلاك نحاسية.

c. مادة فولاذيـــة.

d. ولا واحدة منها.

4. الزاوية الحرجة : هي زاوية السقوط في الوسط :

a) الاقل كثافة ضوئية والتي زاوية انكسارها 60^o في الوسط الاخر الاكثر كثافة ضوئيـــة.

b) الاكثر كثافة ضوئية والتي زاوية انكسارها 60^o في الوسط الاخر الاقل منه كثافة ضوئيـة.

c) الاقل كثافة ضوئية والتي زاوية انكسارها 90^o في الوسط الاخر الاكثر كثافة ضوئيـــــة.

d) الاكثر كثافة ضوئية والتي زاوية انكسارها 90^o في الوسط الاخر الاقل منه كثافة ضوئيـة.

5. عند انتقال الشعاع بصورة مائلة من وسط شفاف الاكثر كثافة ضوئية الى وسط شفاف اقل كثافة ضوئية فان الشعاع المنكسر داخل الوسط الثاني:

a. يقترب من العمود المقام على السطح.

b. يبتعد عن العمود المقام على السـطح.

c. لا يعاني اي انحراف.

d. يمر بموازاة العمود المقام على السطح .

6. ان زجاج السيليكا ذو نفاذية عالية جداً ضمن مدى الاطوال الموجية :

a) 1700 – 2500 nm

b) 200 – 400 nm

c) 400 – 700 nm

d) 800 – 1600 nm

7. كلما كبرت الكثافة الضوئية للوسط الشفاف :

a) ازدادت سـرعة الضوء فيه.

b) قلت سـرعة الضوء فيـه.

c) تتضاعف سرعة الضوء فيه.

d) ولا واحدة منها.

8. القانون الذي يربط العلاقة بين معامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الاول وزاوية السقوط فيه ومعامل الانكسار المطلق للوسط الشفاف الثاني وزاوية الانكسار فيه يسمى قانون :

a. نيوتن الثاني.

b. بلانك.

c. سـنيل.

d. ماكسـويل.

9. الالياف البصرية تستعمل لنقل شعاع الليزر (او الضوء) من مكان الى اخر حسب :

a) ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي.

b) قانون نيوتن الثاني .

c) قانون الجذب العام.

d) ولا واحدة منها.

10. الطول الموجي القاطع يتناسب تناسباً :

a) طردياً مع ثغرة الطاقة المحظورة.

b) عكسياً مع ثغرة الطاقة المحظورة.

c) طردياً مع مربع ثغرة الطاقة المحظورة.

d) عكسياً مع مربع ثغرة الطاقة المحظورة.

11. بصورة عامة يمكن ان تعُـرف الكفـاءة بانهـا مقدار:

a) الطاقة الخارجة مقسومة على الطاقة الداخلة.

b) الشغل الخارج مقســـوم على الشغل الداخل.

c) القدرة الخارجة مقسومة على القدرة الداخلة.

d) كل الاحتمالات السابقة.

12. ان الوسط الناقل للحزمة الليزرية يمكن ان يكون الهواء او الماء بشرط ان يكون:

a) عاكساً جيداً للضوء.

b) ماصاً جيداً للضوء.

c) نافـــذاً للضـــوء.

d) ولا واحدة منها.

س2 : لماذا يفضل استعمال الليزر في تضمين المعلومات والاشارات عن استعمال الموجات الدقيقة او الموجات الراديوية.

س3 : ما انواع التضمين الرئيسة؟

س4 : خاصيتان من خصائص اشعة الليزر ، مكنت من استعماله بدلاً من القابلوات الاعتيادية لنقل المعلومات ، ما هما؟

س5 : عدد المميزات التي تتميز بها الاتصالات البصرية .

س6 : عرف الالياف البصرية ، ثم اذكر اهم مميزاتها.

س7 : ماذا يقصد بالمصطلح الاكثر كثافة ضوئية ؟

س8 : عرف الزاوية الحرجة. ثم بين كيفية حدوثها .

س9 : ما المكونات الاساسية لليف البصري ؟

س10 : ان اختيار المصدر الضوئي في منظومة الاتصالات البصرية يتحدد بعدة شروط ، اذكرها.

س11 : ما الاسباب التي جعلت زجاج السيليكا هو شائع الاستعمال في تصنيع الالياف البصرية ؟

س12 : ما اجزاء منظومة الاتصالات بالألياف البصرية ؟ عددها .

س13 : ما وظيفة الكاشف الضوئي؟

س14 : حزمة ليزر تسقط في الهواء على قطعة زجاج بزاوية مقدارها(30^{o})، فاذا كان معامل الانكسار المطلق للزجاج هو (1.5) . احسب زاوية انكسار الحزمة داخل الزجاج، مع العلم بان ($\sin 19.47^{o} = 1/3$).

س15 : احسب مقدار الزاوية الحرجة لحزمة ليزر تنتقل من زجاج معامل انكساره المطلق (1.6) الى داخل ماء معامل انكساره المطلق (1.33) ، مع العلم بان ($\sin 56.20^{o} = 0.831$) .

س16 : ما مقدار اعظم زاوية سقوط لحزمة ليزر على ليف بصري موضوع في الهواء ، اذا علمت ان معامل الانكسار المطلق للب هو (1.55) ومعامل الانكسار المطلق للغلاف هو (1.4) مع العلم بان ($\sin 41.68^{o} = 0.665$).

س17 : احسب مقدار الطول الموجي القاطع لمادة شبه موصلة ذات ثغرة طاقة محظورة مقدارها (3.3 eV) ، علماً ان ثابت بلانك هو (6.63×10^{-34} J.s) وسرعة الضوء في الفراغ تساوي (3×10^{8} m/s) وان ($1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}$ J) .

س18 : احسب كفاءة كاشف ضوئي اذا علمت ان (4×10^{5}) عدد ازواج (الكترون – فجوة) متولدة نتيجة لامتصاص فوتونات ضوئية بمقدار (10×10^{5}) فوتون .

الفصل الخامس

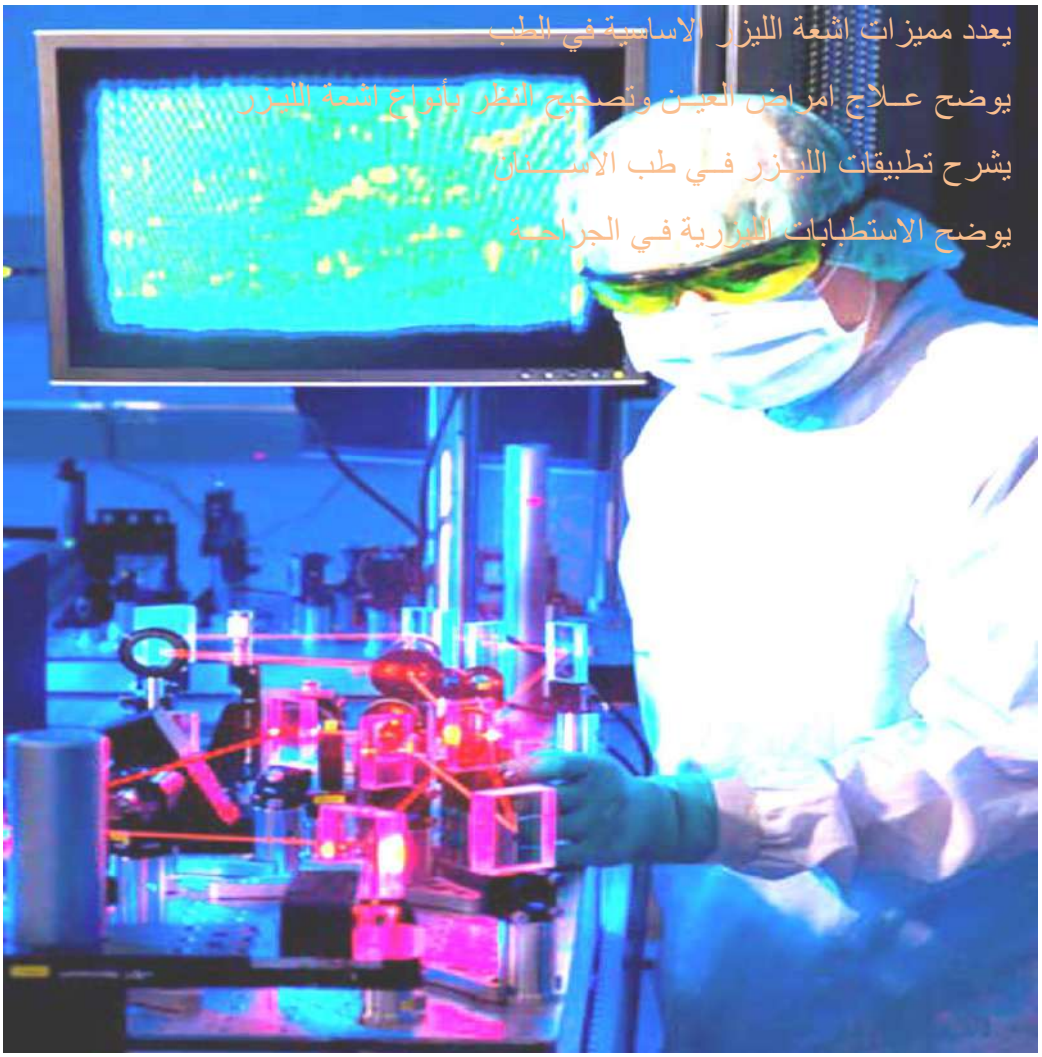
تطبيقات الليزر الطبية والبيولوجية

Medical and Biological

Applications of Laser

أهداف الفصل الخامس

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:



- يعدد مميزات اشعة الليزر الاساسية في الطب
- يوضح عـلاج امراض العيـن وتصحيح النظر بأنواع اشعة الليزر
- يشرح تطبيقات الليـزر فـي طب الاسـنان
- يوضح الاستطبابات الليزرية فـي الجراحة

1-5 تمهيد

من المعروف ان من اهم ما يعاني منه الانسان هي الامراض. لذا فقد أنصب جُهد الانسان على كيفية معرفة وتشخيص الامراض وكذلك ايجاد العلاج المناسب لها. لقد كان وما زال لليزر الحظ الاوفر في كشف وعلاج الكثير من الحالات المرضية. إذ شمل اغلب اعضاء جسم الانسان مثل العيون والجهاز الهضمي والعصبي والتنفسي وغيرها . واستفاد العلماء والباحثون من الخصائص الفريدة لأشعة الليزر بحيث تم توظيف هذا الشعاع للاستعاضة عن المشرط في التداخلات الجراحية مما وفر الجهد والوقت والاهم من كل ذلك هو تقليل الألم الناتج وسرعة التئام الجروح .

فمثلاً يستعمل ليزر ايون الاركون (Ar^+) الاخضر في عمليات معالجة انفصال الشبكية في العين ومعالجة الحول وتمزق الانسجة داخل القرنية . ويستعمل ليزر ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2) في العمليات الجراحية في المناطق التي يصعب وصول يد الجراح اليها بالطرائق التقليدية مثل جدران القلب والجدار الداخلي للمريء والرئتين والجمجمة ويستعمل الليزر ايضا في ازالة تخثر الدم داخل الاوعية الدموية وصمامات القلب. ويستعمل ليزر النيديميوم – ياك(Nd:YAG) في عملية ازالة الوشم (Tattoo) والعلامات الوراثية (Moles) الموجودة في جلد الانسان والتي هي عبارة عن تجمعات للأوعية الدموية في منطقة محدودة ، ونجحت عمليات التجميل باستعمال الليزر بنسبة تقارب (100%)، ويستعمل الليزر(CO_2) و (Nd:YAG) في عمليات استئصال الاورام والخلايا السرطانية .

فالليزرات التي تعمل في المنطقة فوق البنفسجية (UV) والأشعة السينية (X-Ray) تستعمل في تصوير الخلايا الحية دون اتلافها او تدميرها إذ يتم امتصاص الاطوال الموجية من قبل خلايا النسـيج .

وسيتم التطرق في هذا الفصل الى خصائص الليزر التي جعلته من الافضل في الاستعمال الطبي، والتعرف ايضا على بعض انواع الليزرات المستعملة في هذا المجال بشيءٍ من التفصيل .

2-5 مميزات اشعة الليزر الاساسية في الطب

ان لأشعة الليزر مميزات فريدة مكنته من الاستعمال في العديد من التطبيقات، كما ان له مميزات اساسية قد مكنته من الاستعمال في مجال الطب وفي المجال البيولوجي كالتحليلات المرضية ومنها:

1 . امكانية التعامل مع مناطق محدودة (ضيقة) .

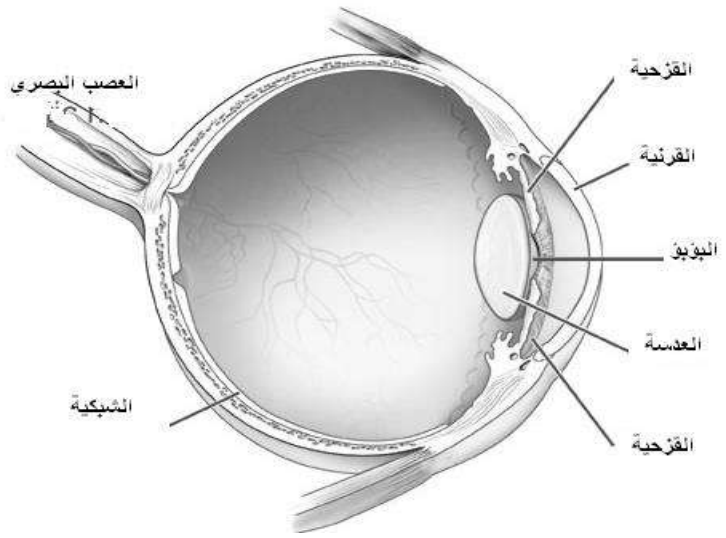
2 . امكانية الحصول على اطوال موجية مختلفة ، وهذا يوفر التفاعل مع اكثر من نوع من الانسجة والأعضاء .

3 . امكانية الوصول الى مناطق داخل الجسم دون الحاجة الى تداخل جراحي .

4 . بسبب الطاقات العالية وعرض النبضات القصيرة ، امكن الليزر من الحصول على درجات حرارة عالية جدا ضمن منطقة ضيقة جدا، ومثال ذلك هو تفتيت الحصى في الكلى.

3-5 عـلاج العيـن بالليزر

من اهم تطبيقات الليزر في الطب والجراحة هو استعماله في علاج العين ولأجل التعرف على تفاعل الليزر مع انسجة العين يجب اولا التعرف بصورة عامة على التشريح الداخلي للعين ومكوناتها، والشكل (5-1) يبين مكونات العين البشرية .



الشكل 5-1: مكونات العين البشرية.

فالتشريح الداخلي للعين يتكون بصورة عامة من:-

1. العصب البصري (Optical Nerve)

هو حزمة مؤلفة من اكثر من مليون ليف عصبي وظيفته تحويـل الاشـارات الضوئيـة (الصور) الى اشارات كهربائية ترسل الى الدماغ.

2. الشـبكية (Retina)

هي نسيج حساس للضوء تقع في الجزء الخلفي للعين وظيفتها تحويل الضوء الى نبضات كهربائية ترسل الى الدماغ عن طريق العصب البصري .

3. القرنيـة (Cornea)

هي الجزء الخارجي الشفاف من منظومة التبئير وتقع في الجزء الامامي من العين .

4. القزحيـة (Iris)

هي الجزء الملون من العين وظيفتها السيطرة على كمية الضوء الداخل الى العين .

5. البؤبؤ (Pupil)

يقع البؤبؤ في مركز القزحية وهو عبارة عن بوابة تتسع وتضيق حسب شدة الضوء الساقط على العين، بحيث يحدد شدة الضوء الداخل الى العين .

ان المبدأ الاساس في كيفية الرؤية بالعين هو سقوط الاشعة على القرنية إذ تتجمع الاشعة التي تمر عبر عدسة العين والسائل المائي الشفاف لتعبر السائل الزجاجي الى مؤخرة العين وعلى شبكة من الاوعية الدموية والأعصاب المتمثلة بالشبكية.

تتأثر كل منطقة ونسيج من مكونات العين بطول موجي يختلف عن المناطق الاخرى . لذا لا يمكن استعمال نوع واحد من الليزرات في التعامل مع اجزاء العين .

ان عدسة العين عبارة عن نسيج شفاف وعائي مغلف بغلاف عضلي يتحكم في تكور سطحي العدسة بحيث يمكن للعدسة من تكوين الصورة على الشبكية ويعيـق هذا الغلاف تبدد الطاقة الحرارية وفقا للكفاءة المطلوبة عند امتصاصها من قبل العدسة ، وتقوم العدسة بدورها بتركيز الحزمة الساقطة على الشبكية ، لذا فعند استعمال حزمة ليزر فان كل جزء من اجزاء العين سوف يمتص جزءاً من الطاقة الساقطة وحسب الطول الموجي المناسب له .

A. اذا كان الطول الموجي الساقط ضمن المنطقة المرئية والمنطقة تحت الحمراء القريبة لغاية (1200nm) فبإمكانها الوصول الى الشبكية .

B. اذا كان الطول الموجي الساقط ضمن المنطقة تحت الحمراء (المتوسطة والبعيدة) فانهُ سوف يمتص من قبل السائل الشفاف والزجاجي ولايصل الى الشبكية الا جزء صغيرمنه ويكون غير فعال .

C. اذا كانت الاشعة الساقطة ضمن المنطقة فوق البنفسجية ادنى من (400nm) فإنها تمتص ضمن الاجزاء الامامية للعين ولا تصل للشبكية .

فكر

هل توجد علاقة مباشرة بين الطول الموجي لأشعة الليزر الواصل الى الشبكية وبين انسجة العين المختلفة كالقرنية ، العدسة ، السائل المائي ، السائل الزجاجي ؟

هل تعلم

بان علاج مؤخرة العين (الشبكية Retina) تتم باستعمال ليزر مرئي كالآركون Ar والنيديميوم- ياك Nd:YAG وان ترقيع قرنية او عدســـة العين يتم باستعمال ليزر طوله الموجي يكون ضمن المنطقة تحت الحمراء كليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2.

ويستعمل الليزر لعلاج امراض العيون ومنها:-

1. اعتلال الشبكية لمرضى السكري .
2. ثقوب الشبكية .
3. انسداد او تخثر الوريد الشبكي .
4. الزرقاء (ارتفاع ضغط العين).
5. عيوب الانكسار الضوئي (قصر او طول النظر) .
6. انسداد القنوات الدمعية .
7. الاورام داخل العين .
8. عمليات تجميل حَول العين .
9. حالات اندثار البقعة الصفراء.

وتمتاز اشعة الليزر عن بعض الطرائق الاخرى المستعملة في جراحة العيون بعدد من المميزات منهـا :-

1. يمكن تركيز شعاع الليزر على نقطة صغيرة جدا ينتج عنها مناطق لحام صغيرة جدا.
2. تحدث عملية اللحام بزمن قصير نسبياً بحدود جزء من الثانية تقريبا.
3. لا يحتاج المريض الى تخدير لان الحرارة المستعملة قليلة جدا بحيث لا تؤدي الى حدوث آلام قوية.

1-3-5 علاج اعتلال الشبكية لدى مرضى السكري

يتم علاج اعتلال الشبكية بنوعين : -

A. العلاج الجزئي

ويتم فيه غلق الاوعية الدموية غير الطبيعية والتي تسبب في تكدس البروتينات في اجزاء الشبكية والتي تؤثر على حدة الابصار ، فيتم تصوير الشبكية بالصبغة قبل اجراء العملية لمعرفة اماكن الضعف في الاوعية الدموية وبعدها يتم لِحام هذه الاماكن الضعيفة باستعمال ليزر الاركون Ar .

B. العلاج الكلي او التام

يتم اللجوء الى هذا العلاج باستعمال الليزر عند نمو اوعية دموية غير طبيعية على سطح الشبكية او قد يكون نزف في الاوعية الدموية التي تغذي الشبكية او في حالة وجود تليف على سطح الشبكية او بين الشبكية والسـائل الزجاجي .

هل تعلم

ان في حالات النزف الشديد يتم غلق وكي بعض الاوعية الدموية حتى لا تفقد الاجزاء الحساسة في الشبكية كالبقعة الصفراء (بؤرة الابصار) الدم المطلوب ، مما يعني تلف جزء من الشبكية وذلك للحفاظ على اجزاء فعالة ومهمة جدا في عملية الابصار.

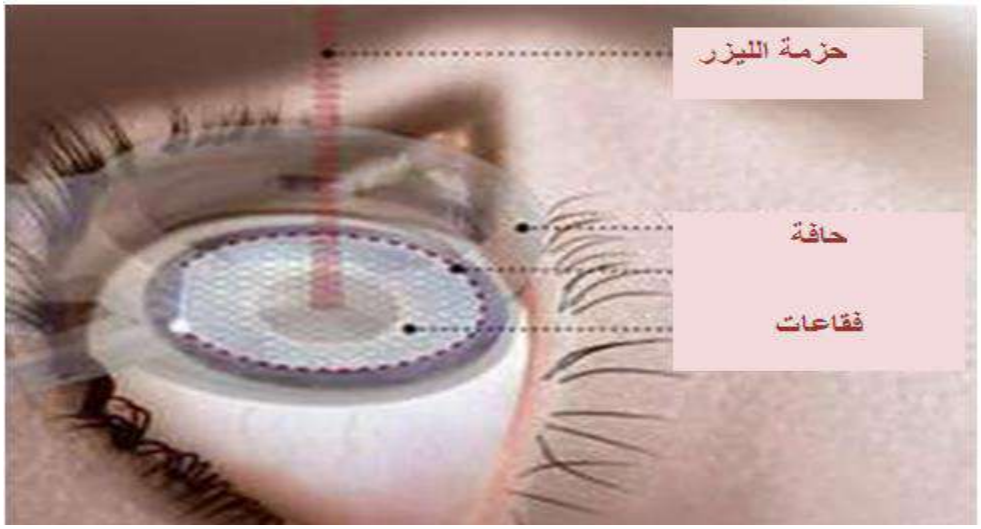
2-3-5 علاج داء الزرقاء (الجلوكوما)

ويُعرف داء الزرقاء (الجلوكوما) بأنه تجمع السوائل نتيجة لضعف تصريفها من خلال النسيج الشبكي لزاوية العين الذي يكون هو المسؤول عن تصريف السوائل ، وان سبب التجمع هو حصول انسداد في الفتحات الموجودة في هذا النسيج .

يستعمل ليزر ذو طاقة ليست عالية كليزر الاركون Ar لغرض توسيع الفتحات وان تجمع هذه السوائل يؤدي الى تلف في عدسة العين ، لذلك يتم زرع عدسة في اغلب عمليات داء الزرقاء .اما في حالة الجلوكوما الحادة والناتجة عن تضيق زاوية العين الخارجية فيستعمل الليزر في عمل فتحة في اطراف القزحية بحيث يتم تصريف سوائل العين الى الحجرة الامامية للعين ، ويتم اعطاء تخدير موضعي للعين عند اجراء العملية .

3-3-5 تصحيح النظر

بعد اجراء عملية داء الزرقاء او الماء الابيض فان الغشاء الخلفي لعدسة العين يتحرك اثناء العملية فيتم تمزيقه كي يحافظ على عدم تحرك السائل الزجاجي الى الامام وتوازن العدسة الصناعية المضافة، وان الغشاء قد تتغير شفافيته بعد مدة من اجراء العملية فيضعف النظر، لذا يستوجب عمل فتحة في وسط الغشاء كي يتحسن النظر والشكل (2-5) يبين ذلك.



الشكل 2-5 : عملية تصحيح النظر.

4-5 بعض انواع الليزرات المستعملة في علاج العيون

أولا- ليزر اشباه الموصلات

يستعمل في علاج الجلوكوما المستعصية وذلك بتهديم الجسم الهدبي الذي يفرز السوائل ويسبب ارتفاع في ضغط العين . ويستعمل في كي الشبكية في حالة اعتلال الشبكية لمرضى السُكري وخاصة في حالة وجود نزف في الجسم الزجاجي بحيث لا يمكن اجراء عملية الكي باستعمال ليزر الاركون Ar.

ثانيا - ليزر ايون الآركـون

يستعمل في كي الشبكية لحالات النزف الشبكي السكري وفي حالة وجود قطع في الشبكية وذلك لحمايتها من حدوث انفصال الشبكية .

ثالثا - ليزر النيديميوم – ياك

يستعمل في فتح المحفظة الخلفية للعدسة (البلورة) والتي يتم اعتامها بعد عملية داء الزرقاء او الماء الابيض ويستعمل ايضا في ثقب القزحية عند علاج داء الزرقاء .

رابعا - ليـــزر الاكسايمر

ان الاطوال الموجية لليزر الاكسايمر تقع ضمن المنطقة فوق البنفسجية (UV) (193 nm) إذ يستعمل في علاج وعمليات تصحيح النظر (قصر وطول النظر والاستكماتزم)، ويستعمل ايضا في ازالة عتمة القرنية السطحية وذلك لقدرته على تبخير وإزالة الانسجة السطحية للقرنية .

وفي حالة قصر النظر يستعمل الليزر في تقليل تحدب مركز القرنية اما في حالة طول النظر فان الليزر يعمل على زيادة التحدب ، وتتم السيطرة على العمليات من خلال استعمال الحاسوب وفقا لبرامج خاصة بها .

5-5 الليزر في طب الاسنان

تعد الاسنان بمثابة واجهة الانسان وهي من الدلائل على النضارة، لذا فان الاهتمام بالأسنان والعناية بها ومعالجتها اخذت حيزا كبيرا من اهتمام الباحثين، وقد طورت منظومات كثيرة لهذا الغرض ومن ضمنها منظومات الليزر، إذ اشتملت على ما يلي :-

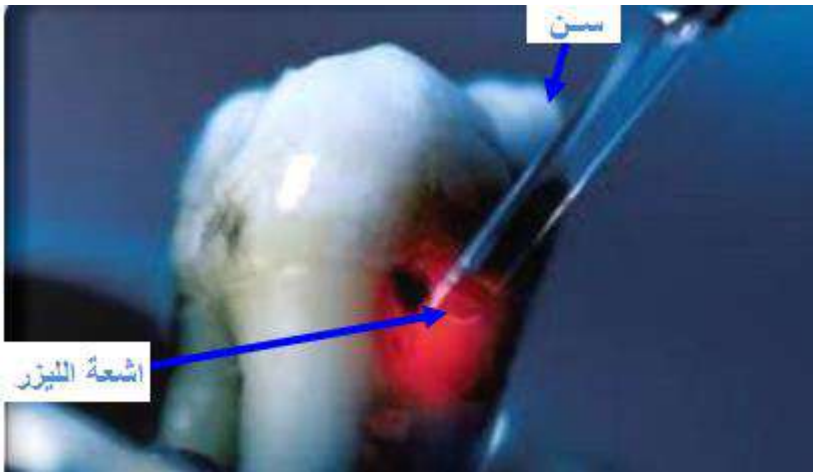
1-5-5 تبيض الاسنان

يساهم الليزر في جعل الاسنان ناصعة البياض إذ يقوم طبيب الاسنان بوضع مادة بيضاء (بيروكسيد الكاراميد) (Caramid peroxide) على الاسنان، وتعزل اللثة بمادة خاصة كي لا تتأثر بأشعة الليزر ومن ثم تشعع المنطقة بأشعة الليزر التي تحفز مادة التبييض إذ تتفاعل معها تفاعلا كيميائيا ضوئيا (Photochemical readier) لينتج بياض ناصع وبراق كما مبين بالشكل (3-5)

الشكل 5-3 : عملية تبييض الاسنان بالليزر.

2-5-5 علاج حساسية الاسنان

ان سبب زيادة حساسية الاسنان ناتجة عن انكشاف عنق السن ، إذ يحتوي على قنوات مرتبطة بالأعصاب ولأجل معالجة هذه الحالة يتم غلق هذه القنوات باستعمال اجهزة خاصة لهذا الغرض ومن دون اي الم ومنها الليزر. فعلاج تسوس الاسنان يمر بمرحلتين الاولى داخل قناة السن والثانية لِعظام الفك والذي يسبب التهابات مؤلمة واختلاطات ضارة . فيستعمل الليزر لتعقيم تجويف السن وقناة الجذور لضمان سلامة الحشوة من التآكل نتيجة لوجود البكتريا ولحماية السن من الالتهابات وعدم الحاجة الى توسيع القناة مما يحافظ على انسجة السن وصلابته والشكل (4-5) يبين علاج حساسية الاسنان بالليزر .



الشكل 5-4 : علاج حساسية السن بأشعة الليزر

3-5-5 تعقيم اللثة

يعد خلو اللثة من البكتريا من اهم الاسباب لدعامة الاسنان وتقويتها والمحافظة عليها من اضرار البكتريا التي يتم القضاء عليها من خلال عملية التطهير بالليزر. فتتعرض اللثة بشكل متناسق ومتدرج لأشعـــة الليزر بطاقة وطول موجي مناسبين فتتفاعل البكتريا مـع ليزرات الاشعة فوق البنفســجية (UV laser) مثل ليزر النيتروجيـن (N_2) إذ يتم مســح اللثـــة بأكملها (العليا والسفلى) وبعدة جلسات.

4-5-5 تقويـم الاسنان

ان من اهم مضار الطرق التقليدية لتقويم الاسنان هي الآلام والتضخيم الذي يحصل في اللثة بعد عملية الشد. ولكن باستعمال الليزر نتخلص من هذه الاضرار من دون تخدير.

1. التلبسـات والجسـور

الخطوة الاهم في عمل جسور الاسنان هي دقة القياسات الاولية لغرض تهيئة ابعاد الجسور الملائمة فان اي خطأ في القياس يؤدي الى بعض التداخلات والآلام فيستعمل الليزر لوضع القالب بدقة عالية جدا، وبسبب كون حافة السن المعد للتلبيس بمستوى اسفل من مستوى اللثة مما يؤدي الى تداخل اللثة وحدوث نزف الذي ينتج عنه مدخلاً لتسوس السن بمرور الزمن . لذا يستعمل الليزر في تهيئة اللثة اولا ومن ثم تحديد خانات السن بشكل دقيق ومضبوط .

2. زراعة الاسـنان

لقد امكن الاستعاضة عن الاسنان المفقودة والتالفة بأسنان جديدة ونتيجة للتطور الهائل في جمال الاسنان فقد امكن زراعة اسنان جديدة . إذ يتم استعمال جذور صناعية من معدن التيتانيوم الخالص وهذه العملية تسمى (عملية زرع الاسنان)، اما دور الليزر فهو تهيئة اللثة وزراعة الجذور الصناعية إذ يستعمل الليزر لتثبيت معدن التيتانيوم داخل اللثة . كما مبين بالشكل (5-5)

الشكل 5-5 : معدن التيتانيوم داخل اللثة.

3. علاج العصب

ان علاج العصب هو عملية تنظيف لُب السن المتحلل بسبب البكتريا الكامنة داخل قناة السن وتوسيعه ثم حشوه بمادة مطاطية ضاغطة لعزل البكتريا المتواجدة في الفم من الدخول الى قناة السن. وبدلا من استعمال الادوات الميكانيكية بالطرق التقليدية والتي تؤدي الى الألم والالتهابات والنزف، فقد تم الاستعاضة عنها بشعاع الليزر الذي يقلل من الألم، وسرعة الالتئام بعد العملية والشفاء بزمن قليل، فضلا عن عدم تخوف الاطفال من مراجعة عيادة طبيب الاسنان.

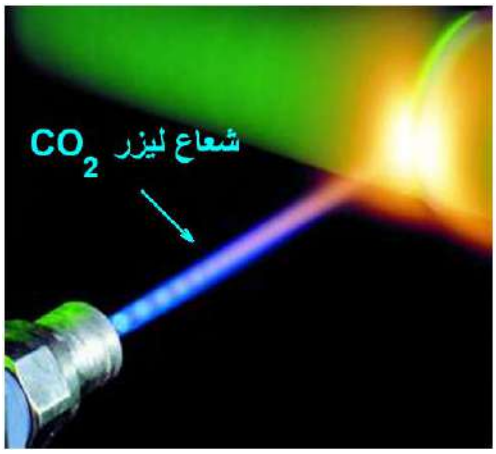
6-5 الليزر في الجراحة

قد يتبادر الى اذهاننا السؤال الآتي : ما دور الليزر في الجراحة؟

والجواب يكمن في ان الدور الاساس لليزر في الجراحة هو استعماله كمشرط بصري بدلا عن المشرط التقليدي .

1-6-5 المشرط الطبي

استعملت حزمة الليزر كمشرط طبي بديلا عن المشرط التقليدي (المشرط الكهربائي) في الجراحة. فتم استعمال حزمة الليزر ضمن مدى الاشعة تحت الحمراء (ليزر ثنائي اوكسيد الكربون) وذلك بسبب كون هذا النوع من الليزرات يتفاعل مع الانسجة الحية (تفاعل حراري) إذ تمتص الانسجة الشعاع من قبل جزيئات الماء المتواجدة فيها ، فيؤدي ذلك الى تبخر سريع لهذه الجزيئات مما يؤدي الى قطع النسيج والشكل (5-6) يبين المشرط الليزري .

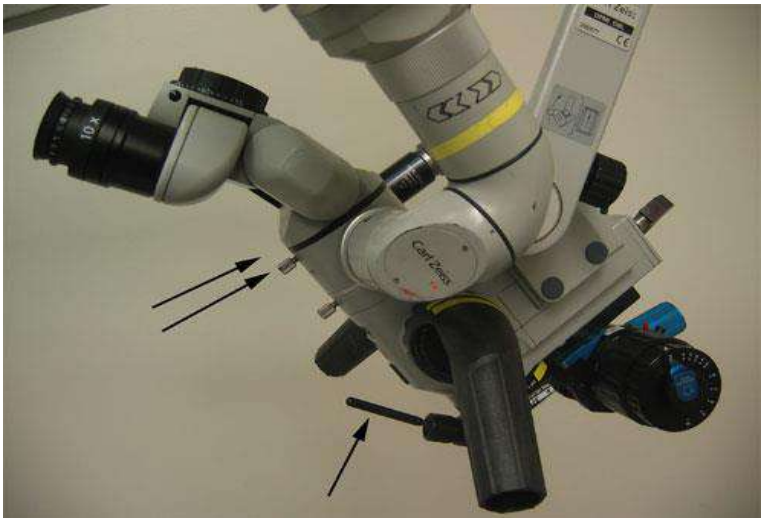


الشكل 5-6 : المشرط الليزري.

أ- مزايا استعمال مشرط حزمة الليزر في الجراحة

من مزايا استعمال مشرط حزمة الليزر في الجراحة هي :-

1. يمكن عمل شق في الموضع المطلوب وبدقة عالية جدا وخاصة عندما توجه الحزمة باستعمال المجهر المناسب (الجراحة المجهرية الليزرية) "Laser microscopic Surgery "
2. يمكن اجراء العملية لمواضع يصعب الوصول اليها من الجسم ، وذلك باستعمال منظومة يطلق عليها الاندوسكوب او ناظور الجوف (Endoscope) كما مبين في الشكل (5-7) .



الشكل 5-7 : منظومة الاندوسكوب او ناظور الجوف.

وبصورة عامة فان منظومة ناظور الجوف مكونة من مجموعة من الالياف البصرية وأنابيب دقيقة، ويمكن ادخالها داخل الجسم كما في الناظور التقليدي، وان الالياف البصرية والأنابيب تستعمل لنقل شعاع الليزر، ونقل الصورة داخل الأنابيب ، وسحب النواتج ومخلفات العملية .

3. تقليل الخسائر الجانبية والناتجة عن قطع الاوعية الدموية والتي تحدث عند استعمال المشرط التقليدي .
4. تقليل النزف (bleeding) لموضع القطع .
5. التأثير الحراري لشعاع الليزر يمكن ان يعمل على تطهير الجرح .
6. يكون الشعور بالألم بصورة عامة اقل.
7. سرعة التئام الجرح تستغرق وقتا اقصر نسبيا عند المقارنة مع استعمال المشرط التقليدي .

ب- مساوئ استعمال مشرط حزمة الليزر في الجراحة:

1- تكون كلفته عالية وتقنية الجراحة فيه معقدة .
2- تكون سرعته اقل من سرعة المشرط التقليدي .
3- هناك بعض المشاكل الناتجة عند الاعتماد عليه كأداة جراحية.

7-5 الاستطبابات الليزرية في الجراحة

الاستطبابات تشمل بعض العمليات التي يمكن اجراؤها باستعمال الليزر ومنها :-

1. الجراحات :- عند استعمال التخدير الموضعي لمناطق الالتهابات الحادة والجراحة بالطرق التقليدية فالمريض يشعر بآلام حادة خصوصا عند شق الخُراج وتفجيره، ولكن عند توجيه شُعاع الليزر وتفاعله مع الخُراج تستخرج مكوناته فتكون الآلآم اقل بكثير فيؤدي ذلك الى اجراء العملية براحة واطمئنان نسبيين .

2. استئصال الحصى من الغدد اللعابية :- ان وجود الحصى داخل الغدد اللعابية يؤدي الى اغلاق مسار اللعاب وبالتالي تجمعه ، فيؤدي الى ألم شديد وجفاف في الفم ، لذا فانه يتوجب استئصال الغدة اوالحصاة قبل ان تصاب الغدة بالتهاب مزمن لذا يمكن اجراء عملية الاستئصال باستعمال منظومة ليزريـــة .

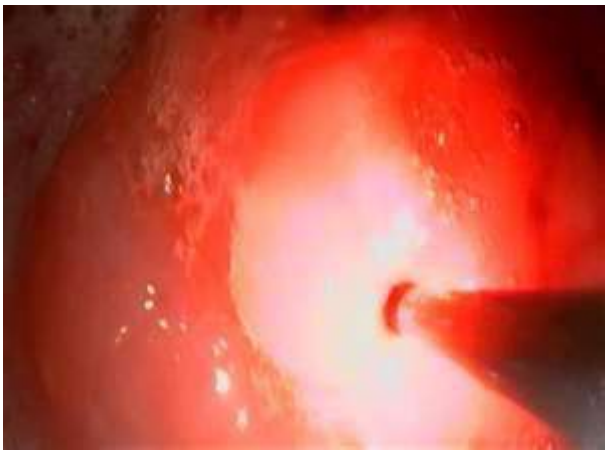
3. الجراحة قبل التعويض الصناعي (الطقم) :- قد تكون هنالك ناميات ليفية واورام تسبب ألم للغشاء المخاطي فيمكن استئصالها باستعمال منظومة ليزرية من دون اخطار جانبية او نزف والحاجة الى غلق الجرح ، ويتم شفاؤه بتكون غشاء مخاطي في فترة قصيرة جدا .

4. اورام الانسجة الرخـــوة:- ان من اصعب المناطق في وجه الانسـان هي مناطق الخدين والمناطق المجاورة لزاوية الفم، لذا فان تواجد الاورام في هذه المناطق وعلى الغشاء المخاطي او في فوهة القناة النكفية يجعل من استئصالها امرا صعبا للغاية حسب الطرق التقليدية بسبب النزف الذي يجعل الرؤية صعبة جدا. لذا فعند استعمال الليزر يمكن استئصالها بسهولة من دون الحاجة الى غلق القناة، والشكل (5-8) يبين استعمال الليزر مع الانسجة الرخوة.

الشكل 5-8 : استعمال الليزر مع الانسجة الرخوة.

5. الجراحة التقويمية:- ان استعمال الليزر في جراحة الاسنان وخصوصا عند وجود اسنان مطمورة ومهاجرة مثل الانياب فيجب تحرير السن من النسيج الرخو وتنظيف المنطقة من النزف الحاصل إذ يُمكن الطبيب من لصق الحاصرة التقويمية على السن باستعمال ليزر الدايود لهذا الغرض .

6. جراحة اللثة :- يوجد العديد من الجراحات والجيوب في اللثة . فيتعامل معها جراحيا، وانه من الصعوبة اجراء مثل هذه الجراحات بالطرق التقليدية لأنه يحتاج الى التخدير الموضعي او التخدير العام . لذا فقد امكن استعمال الليزر لمعالجة الجيوب العميقة وتعقيم الجيوب وسطح الجذر. وان اكثر انواع الليزرات شيوعا واستعمالاً هو ليزر ثنائي اوكسيد الكربون وليزر الدايود إذ يستعمل في تخثير وغلق نهايات الاوعية الدموية فيقل النزف او يقطعه نهائيا مما يخفف من نسبة الالتهابات بعد التداخل الجراحي وأثنائه، والشكل التالي يبين ازالة الاورام السرطانية باستعمال الليزر .



الشكل 5-9 : ازالة الاورام السرطانية باستعمال الليزر.

8-5 انواع الليزرات المستعملة في التطبيقات الطبية

توجد انواع متعددة من الليزرات شائعة الاستعمال في مجال التطبيقات الطبية وخصوصا في عيادات الاطباء الجلدية وجراحي التجميل وقد اثبتت فعاليتها ومنها :

اولا - الليزر المستعمل مع الاوعية الدموية

ان الليزر المستعمل مع الاوعية الدموية يكون عادة بطول موجي ضمن المدى (585 – 595) nm ومجال التطبيق هو مادة الهيموكلوبين الموجودة في كريات الدم الحمراء إذ له استعمالات كثيرة من اهمها علاج الوحمات الحمراء وتوسيع الشعيرات الدموية .

ثانيا :- الليزر المستعمل مع التصبغات

يمكن استعمال ليزرات مختلفة وبعدة اطوال موجية عند التعامل مع التصبغات (الخلايا الصبغية) ومنها :-

1- ليزر النيديميوم– ياك ذو توليد التوافق (الجيل) الثاني Second Harmonic Generation Nd:YAG Laser (532nm) .

2- ليزر الياقوت .Ruby Laser (694nm)

3- ليزر الكساندرايت.Alexandrite Laser (755nm)

4- ليزر النيديميوم – ياك(Nd:YAG Laser (1064nm.

فعند زيادة الطول الموجي يزداد عمق امتصاص شعاع الليزر من قبل الخلايا الصبغية، ويستعمل هذا النوع من الليزرات في ازالة الوحمات السمراء وعلاج النمش وحبوب الخال وإزالة الوشم .

ثالثا :- ليـزر التقشـير

من اهم انواع ليزر التقشير هما :-

1- ليزر اريبيوم-سيليكا Er- Silica Laser)(2940nm.

2- الليزر الغازي (الجزيئي) ليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2(10.6µm).

وتستعمل هذه الانواع من الليزرات لإزالة الطبقة الخارجية من الجلد ويمكن التحكم بمدى العمق المطلوب بزيادة او خفض قدرة الليزر المسلط عليه وازالة التجاعيد السطحية . ويعدُ هذا النوع من التطبيقات من اخطر الانواع لأنه يسبب مضاعفات مثل الالتهابات البكتيرية او الفيروسية او حدوث ندبات جلدية اذا لم يستعمل بالطريقة الصحيحة .

وان مبدأ عمل الليزرات لهذا التطبيق هو تسخين الطبقة السفلى من الجلد وتحديدا مادة الكولاجين ومن ثم اثارة الخلايا الليفية (Fibroblast) لإنتاج كولاجين جديد فيكون اكثر حيوية ويتسبب في شد الجلد فيحدث تغيرا بسيطا جدا قبل وبعد جلسات الليزر .

هـل تعلم

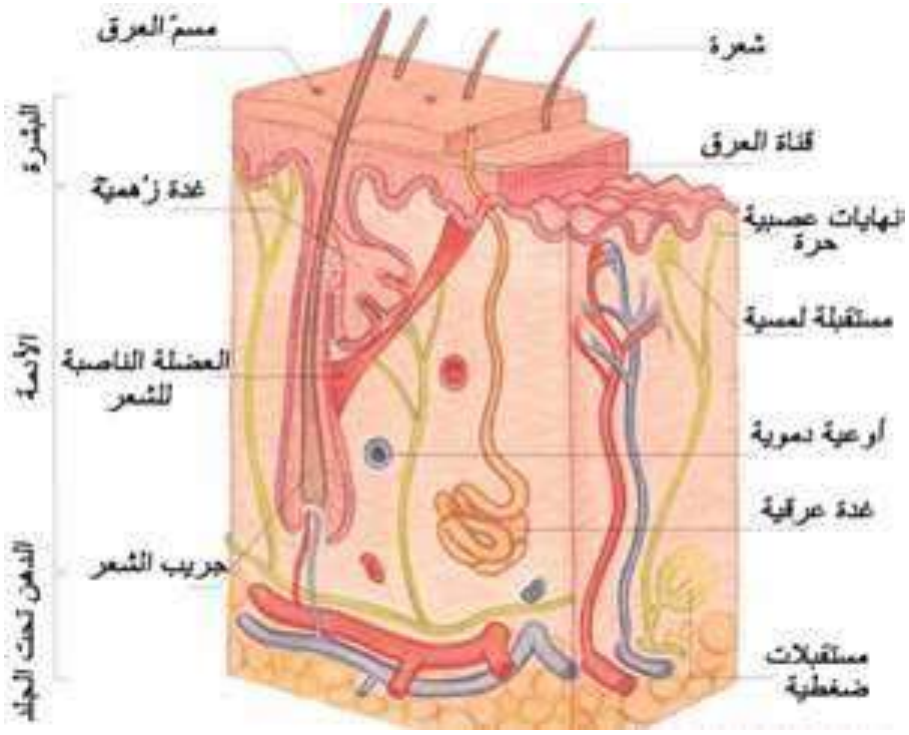
ان استعمال الليزرات (ليزر ثنائي اوكسيد الكربون وليزر اريبيوم– سيليكا) مع الجلد الاسمر يسبب في حدوث تصبغات حمراء .

رابعا :- ليزر الاكسـايمر

ان ليزر الاكسايمر مثل كلوريد الزينون (XeCl) وفلوريد الزينون (XeF) والعاملين عند الطول الموجي (0.351) µm يستعملان في علاج التصبغات الجلدية، اي ان تعامله يكون مع الخلايا الطبيعية الموجودة في الجلد فيؤدي الى استثارة الخلايا الخاملة ويحفزها على انتاج صبغة الملامين واعادة لون الجلد الى لونه الاصلي وخصوصا لمرضى البهاق والصدفية وبعض الامراض الجلدية الاخرى.

خامساً:- ليـزر ازالة الشعر

ان من افضل الطرائق للتعامل مع الشعر وخصوصا اذا كان المطلوب ازالته نهائيا هو باستعمال الليزر إذ يتم التعامل مع جذور الشعر (البصيلات) ، إذ لا توجد طريقة امينة تقليدية عند التعامل مع الكريمات والمراهم دون اثار سلبية جانبية ولكن عند استعمال الليزر فبإمكانه الوصول الى جذور الشعر والتعامل حراريا مع بصيلات الشعر إذ تمتص طاقة الليزر الساقطة ويسبب موت هذه البصيلات والشكل (5-10) يوضح بصيلات الشعر داخل الجلد .



الشكل 5-10 : يوضح بصيلات الشعر داخل الجلد.

كما يلاحظ انه :-

1. كلما ازدادت كثافة الشعر كلما زادت احتمالية تفاعل الليزر مع البصيلات وكانت النتائج افضل .
2. كلما كان لون الشعر غامق ازدادت احتمالية التفاعل معه وكانت النتائج افضل والعلاج اكثر فعالية.

ومن اهم انواع ليزرات ازالة الشعر هـــي :-

1- ليزر الياقوت Ruby Laser

طوله الموجي هو (692.7 nm) له فعالية عالية وخاصة مع الجلد الابيض والشعر ولا يتناسب مع الجلد الاسمر إذ يتسبب في حدوث التصبغات الحمراء .

2- ليزر الاكسـاندرايت Alexandrite Laser

له فعالية خاصة وعالية مقاربة بليزر الياقوت وطوله الموجي هو (755nm) ويكون اقل ألماً من ليزر الياقوت ويتناسب اكثر مع الجلد الاسمر ولكن قد يسبب ببعض الاثارة اذا تم تسليط الحزمة بشكل غير دقيق ومحسوب .

3- ليزر الدايود Diode Laser

طوله الموجي هو(800nm) وله فعالية مقاربة لليزر الكساندرايت وتكون اثاره الجانبية اقل .

4- ليزر النيديميوم – ياك Nd:YAG Laser

طوله الموجي هو (1064nm) ويعدُ من الليزرات النبضية الفعالة جدا ويمكن التحكم بعرض النبضة الزمني بشكل عام ، ويستعمل نوعين من النبضات :-

1. نبضة قصيرة ذات أمد بحدود (nm) .
2. نبضة اطول من الاولى ذات أمد زمني بحدود (µs – ms) فيكون اكثر فعالية وامنا .

وتوجد تطبيقات طبية اخرى كثيرة لليزر منها :-

1) علاج العظام .
2) التصوير الشعاعي الهولوغرافي.
3) تفتيت الحصى في الكلى والمثانة.
4) عمليات القسطرة للقلب.
5) جراحة الجملة العصبية.
6) علاج وجراحة الانف والاذن والحنجرة.

والشكل (5-11) يبين التصوير الاشعاعي الهولوغرافي باستعمال الليزر .

الشكل 5-11 : التصوير الاشعاعي الهولوغرافي باستعمال الليزر

9-5 اسئلة وتمارين الفصل الخامس

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. ان وظيفة العصب البصري هي :

a) تحويل الاشارات الضوئية (الصور) الى اشارات كهربائية ترسل الى الدماغ .

b) تحويل الاشـــارات الصوتيـــة الى اشارات كهربائية ترســـل الى الدماغ .

c) تحويل الاشارات الكهربائية الى اشارات ضوئية (الصور) ترسل الى الدماغ .

d) تحويل الاشارات الضوئية (الصور) الى اشارات صوتية ترســـل الى الدماغ .

2. يقع البؤبؤ في مركز:

a) القرنية.

b) الشبكية.

c) القزحية.

d) العدسة.

3. اذا كان المطلوب التعامل مع الشبكية باستعمال الليزر فيجب ان يكون الطول الموجي الساقط ضمن المنطقة :

a) فوق البنفسجية.

b) تحت الحمراء البعيدة.

c) المرئية وتحت الحمراء القريبة.

d) الراديوية.

4. الليزر المستعمل في كي الشبكية هو ليزر :

a) اشباه الموصلات.

b) ايون الاركـون.

c) ثنائي اوكسيد الكربون.

d) النيتروجيـن.

5. في عمليات تصحيح النظر (قصر وطول النظر والاستكماتزم) يستعمل ليزر:

a) هيليوم – نيـون.

b) الاكسايمر.

c) النيديميوم – ياك.

d) ثنائي اوكسيد الكربون.

6. مشرط حزمة الليزر (ليزر ثنائي اوكسيد الكربون) يعمل ضمن مدى الأشعة :

a) فوق البنفسجية.

b) المرئيـة.

c) السـينية.

d) تحت الحمـراء.

7. يتم استعمال الليزر في العلاج الكلي او التام لاعتلال الشبكية، إذ يتم اللجوء الى هذا العلاج عند:

a) نمو اوعية دموية غير طبيعية على سطح الشـــــبكية.

b) قد يكون نزف في الاوعية الدموية التي تغذي الشبكية.

c) في حالة وجود تليف على سطح الشبكية او بين الشبكية والسائل الزجاجي .

d) كل الاحتمالات السابقة.

8. باستعمال ليزر ثنائي اوكسيد الكربون في تقشير الجلد فانه يعمل على تسخين الطبقة السفلى من الجلد وبالتحديد مادة :

a) الهستامين.

b) الاندوديرم.

c) الكولاجين.

d) الاكتوديرم.

9. ان ليزر كلوريد الزينون (XeCl) الذي يعمل عند الطول الموجي (0.351 µm) هو مثال على ليزر :

a) النيديميوم–ياك.

b) الكساندرايت.

c) الاكسايمر.

d) ولا واحدة منها.

10. الدور الاساس لليزر في الجراحة هو استعماله كمشرط :

a) تقليدي.

b) كهربائي.

c) بصري.

d) ولا واحدة منها.

11. ان الاطوال الموجية لليزر الاكسايمر تقع ضمن المنطقة :

a) الراديوية.

b) تحت الحمراء.

c) الاشعة السينية.

d) فوق البنفسجية.

12. من الليزرات المستعملة في عملية ازالة الوشم هو ليزر :

a) الاكسايمر.

b) ايون الاركون (Ar^+) الاخضر.

c) النيديميوم– ياك.

d) ولا واحدة منها.

13. ان الليزر المستعمل في عمليات استئصال الاورام والخلايا السرطانية هو ليزر:

a) ايون الاركون (Ar^+)الاخضر.

b) ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2) .

c) الاكسايمر.

d) ولا واحدة منها.

س2 : ما اهم المميزات التي مكنت من استعمال اشعة الليزر في التطبيقات الطبية والبيولوجية ؟

س3 : مما تتكون العين البشرية ؟

س4 : وضح لماذا لا يمكن استعمال ليزر بطول موجي محدد لكل مناطق العين ؟

س5 : لماذا لا يمكن استعمال ليزر بطول موجي ضمن المنطقة تحت الحمراء المتوسطة والبعيدة في علاج الشبكية ؟

س6 : عدد بعض امراض العيون التي يمكن علاجها بالليزر .

س7 : عرف داء الزرقاء (الجلوكوما) ؟

س8 : لماذا يتم زرع عدسة في عمليات داء الزرقاء (الجلوكوما) ؟ وما دور الليزر في هذه العمليات ؟

س9 : عدد انواع الليزرات المستعملة في علاج العيون .

س10 : الاهتمام بالأسنان والعناية بها ومعالجتها اخذت حيزاً كبيراً من اهتمام الباحثين وقد اشتملت على عدة مجالات ، ما هذه المجالات؟

س11 : ما مزايا استعمال مشرط حزمة الليزر في الجراحة ؟

س12 : ما مساوئ استعمال مشرط حزمة الليزر في الجراحة ؟

س13 : اذكر اهم الاستطبابات الليزرية في الجراحة .

س14 : وضح كيف يمكن تقليل او قطع النزيف باستعمال الليزر؟ وما اكثر انواع الليزرات شيوعاً لهذا الغرض .

س15 : ان هنالك اربعة انواع اساسية من الليزرات للتعامل مع الخلايا الصبغية ، اذكرها.

س16 : اذكر اهم انواع ليزرات أزالة الشعر ؟

الفصل السادس

التطبيقات العسكرية لليزر

Laser Military Applications

أهداف الفصل السادس

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:

1-6 تمهيد

يَعدُ الليزر حلقة مهمة من سلسلة التطورات الحديثة واسعة النطاق وخصوصا في مجال الاسلحة فهو يعمل كمحفز ، فادى الى تطوير واستحداث انواع جديدة ومتعددة من الاســـلحة الموجهة ذات الدقة العالية ،كما يستعمل ايضا لقياس مديات وتحديد الاهداف والتصويب نحوها وإضاءتها ، وكذلك تحديد مواقع الطائرات والأهداف المتحركة بكل دقة وسرعة عاليتين وإصابة الهدف وتدميره من خلال استعمال رادار الليزر وتعقب وتتبع مثل هذه الاهداف العسكرية وإصابتها بالمقذوفات الموجهة ذاتها ، وإن استعمال الليزر يقلل من حجم الخسائر في الافراد والمعدات علاوة على صعوبة التشويش المعادي وصغر حجم المنظومة وخفة وزنها.

وسنتكلم في هذا الفصل عن التطبيقات العسكرية مثل مقدرات المدى الليزرية وهي منظومات تقدر مدى الاهداف كالطائرات والصواريخ والأهداف العسكرية المختلفة إذ يستعمل ليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2 وليـــزر نيديميوم – ياك Nd:YAG وكذلـك يستعمل ليزر هيليوم– نيون He-Ne وليزرات اشباه الموصلات التي تعمل في المنطقة المرئية خاصة (الاحمر) في توجيه الاسلحة وتحسين دقة الاصابة ، وكذلك تتبع مسار الصواريخ والقذائف .

وتكمن أهمية الليزر في خواصه المميزة والتي تعرفت عليها سابقا، ومنها :-

1. احادي الطول الموجي.
2. ضيق عرض حزمتهِ الطيفية التي لها دور رئيس في تحديد مقدار الخطأ المتولد في قياس المدى.
3. انتقاله في الفضاء الى مسافات بعيدة وبانفراجيه قليلة .

2-6 مقدرات المدى الليزرية Laser Range Finders

ان وظيفة مقدرات المدى مهمة جدا خصوصا بعد التطور الهائل الذي حصل في هذه المنظومات، ونتيجة للدقة العالية التي يمكن الحصول عليها باستعمال الليزر في تحديد بُعد ومدى الاهداف حتى وان كانت بعيدة جدا لمسافة عشرات الكيلومترات . بحيث لا يمكن رؤية قسم من هذه الاهداف بالعين المجردة الا كأشباح صغيرة جداً .

ان ليزرات النبضات العملاقة (Giant Pulses) لها أهمية بالغة في مقدرات المدى الليزرية وان اساس عملها هو ارسال نبضة ضوئية قصيرة الامد (فوتونات) وذات شدة عالية الى شاخصٍ ما، وقياس الزمن الذي تستغرقه النبضة المنعكسة من الشاخص المراد تقدير مداه بالاعتماد على سرعة الضوء في حساب المسافة. ولكن كيف يمكننا ان نُعرف النبضات العملاقة ؟

النبضات العملاقة هي نبضات ذات قدرة عالية جداً وامد قصير جداً، ويمكن الحصول عليها وذلك بحبس شعاع الليزر داخل حجرة الليزر وبعدها يسمح له بالخروج لفترة زمنية قصيرة جداً . ويطلق على هذه العملية بضبط عامل النوعية (Q-switching)، والتي قد تَعرفت عليها سابقاً .

ان المبدأ العلمي الاساس في عمل المقدرات بسيط جدا وهو ارسال فوتونات على شكل شعاع ضيق ويتحسس كاشف ضوئي جزءا من الاشعة المتشتتة عند الارسال فيحولها الى اشارة كهربائية تشغل مؤقت الكتروني دقيق، ويقوم متحسس ضوئي اخر باستلام الضوء المنعكس الذي يكون قد عانى من توهين كبير فيحوله الى اشارة كهربائية توقف عمل المؤقت الالكتروني الذي كان العد الزمني فيه قد بدأ مع النبضة المرسلة. وهكذا يجري قياس الفاصلة الزمنية (Δt) التي تمثل الزمن الذي يستغرقه الضوء في الذهاب والإياب من الهدف قاطعا المسافة المراد قياسها مرتين .

فيمكن حساب زمن الذهاب والاياب مقدرة المدى (المسافة) اعتمادا على العلاقة الآتية :-

$$d=\frac{1}{2}\, c\Delta t \quad \text{.....(1-6)}$$

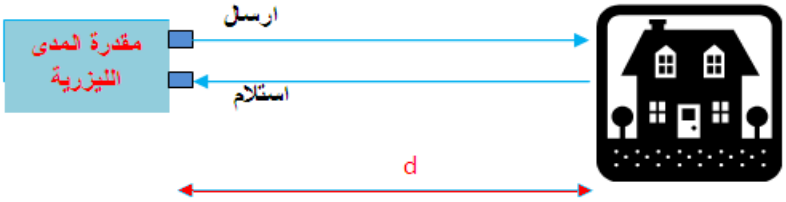
اذ ان :-

d: المسافة المراد قياسها (m)

c : سرعة الضوء في الفراغ (m/s)

Δt: زمن ذهاب واياب شعاع الليزر

والشكل (6-1) يبين قياس المسافة باستعمال الليزر.



الشكل 6-1 : كيفية قياس المسافة باستعمال الليزر.

فكر

لماذا يفضل استعمال ليزرات غير مرئية (تحت الحمراء) في مقدرات المدى الليزرية (العسكرية).

هل تعلم

ان الليزرات ذات النبضات (القصيرة) تفي للحصول على قدرة ذات ذروة عالية جداً وهذا يمكن للنبضة من الوصول الى ابعد مسافة ممكنة، على الرغم من الخسائر التي قد تحصل في الجو.

مثال 1:

منظومة ليزر نيديميوم – ياك Nd:YAG تستعمل كمقدرة مدى لتحديد مدى هدف معين، فإذا كان الزمن الذي تستغرقه النبضة ذهاباً وإيابا هو (30)µs. فكم يبعد هذا الهدف ؟

الحل :

$c=3x10^{8}$ m/s ,$t=30\mu s=30x10^{-6}s$

لدينا العلاقة الآتية :-

$$d=\frac{1}{2}\,c\Delta t$$

وعند التعويض نحصل على :-

$$d=\frac{1}{2}x\,(3\,x10^{8}\ m/s)x(30x10^{-6}\ s)$$

$$d=\frac{9}{2}\times 10^{8}\times 10^{-5}=4.5\times 10^{3}m$$

$$\therefore d=4500\ m=4.5\ km$$

وهو بعدُ الهدف

1-2-6 مبدأ عمل مقدرات المدى ومكوناتها

تستعمل الغالبية العظمى من مقدرات المدى الليزرية ليزرات الحالة الصلبة ذات الضخ البصري كمصادر باعثة للقدرة ، وفي الوقت الحاضر اظهر ليزر ثنائي اوكسيد الكربون كفاءة اكبر. وان اساس عمل هذه الليزرات مشترك ولكن الاختلاف يكمن في تفاصيل التصميم البصري والدوائر الالكترونية .

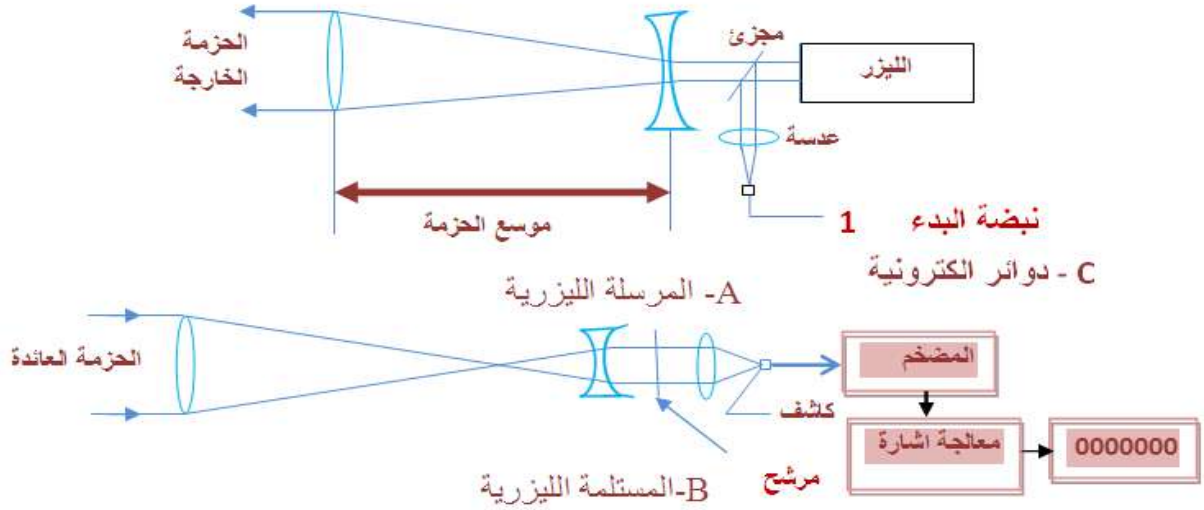
فتستعمل النبضات القصيرة بحدود (10-50ns) لتعطي دقة عالية في قياس المسافة ، بينما النبضات الاقصر لتحديد المسافة بدقة لقياس ارتفاع الاقمار الصناعية (Satellite) والنبضات الاطول لغرض الكشف الهجيني (Heterodyne)لأنظمة ليزر ثنائي اوكسيد الكربون (CO_2).

ان العناصر البصرية الاساسية لنظام مقدرات المدى الليزرية كما موضح بالشكل التالي إذ تتكون من ثلاث قنوات بصرية هي مصدر الارسال (Transmission Source) او المرسلة الليزرية الذي يتضمن (مصدر الليزر وموسع الحزمة) وجهاز الاستلام (Receiver) الذي يتضمن (المستلمة والكاشف) وقسم الدوائر الالكترونية الخاصة بتضخيم النبضة المستلمة ومعالجة الاشارة ومن ثم عرض المدى بشكل رقمي .

فيتم تقليل انفراجيه حزمة الليزر الخارجة من المرنان الليزري المستعمل بوساطة موسع الحزمة وتكون بحدود (0.5 mrad) بالنسبة للأجهزة التي تعمل في مديات تصل الى (6km).

ان مجال الرؤية لقناة الاستلام يتحدد من نسبة مساحة الكاشف الى البعد البؤري الفعال لعدسة المستلم ،اما الحزمة المرسلة والمستلمة من الهدف فتكون بالأبعاد نفسها على الرغم من ان مدى رؤية المرسلة يكون غالبا اقل من مدى رؤية المستلم بحدود %(20-30)، فان الفروقات الصغيرة بين المحورين البصريين لا تؤثر على النظام الكلي ودقته.

والشكل (6-2) يبين القنوات البصرية الثلاث لمقدرة المدى الليزرية.



الشكل 6-2 : القنوات البصرية الثلاث لمقدرة المدى الليزرية.

هل تعلم

بان مقدرات المدى الليزرية التي تستعمل في التطبيقات المدنية مع اجهزة المساحة للطرق والجسور والأبنية تحدد المديات والمسافات بـ (بالسنتمترات او بالأمتار).

والشكل (6-3) يمثل صورة مقدرة مدى ليزرية محمولـــة .

الشكل 3-6 : مقدرة مدى ليزرية محمولة .

ولأجل تحقيق اقصى مدى يجب توفر ما يأتي :-

1.منظومة ليزرية ذات طاقة عالية (قدرة عالية) .

2.نبضة ليزرية ذات امد قصير جدا نانو ثانية (ns) وبيكو ثانية (ps) وفمتو ثانية (fs).

3.ليزر ذو طول موجي ضمن مدى الاشعة غير المرئية (تحت الحمراء)(IR).

4.اتجاهية عالية وانفراجيه قليلة جدا (اشعة متوازية) .

هل تعلم

في الاجهزة الحديثة هناك استعمالات متعددة لمقدرة المدى الليزرية منها مسح المحيطات (Oceanography) والتخطيط الزلزالي (Seismology) والمسوحات الجغرافية (Cartography) وتعيين مدارات التوابع الارضية (Satellite Orbits) والزحف القاري (Continental Shifts) والتحركات الجليدية في القطب (Arctic movement).

3-6 التأثيرات الجوية على انتقال حزمة الليزر بالجو

ان انتقال حزمة الليزر في الجو يعرضها الى عدة ظواهر فيزيائية تؤثر على طبيعة الحزمة كالاستطارة والامتصاص والاضطراب الجوي وغيرها من العوامل .

ويمكن تصنيف المتغيرات بشكل عام الى صنفين رئيسين استنادا الى قدرة الخرج الليزري وكما يلـي :-

1- في حالة القدرات الواطئة فان العمليات الفيزيائية تميل الى ان تكون خطية في طبيعتها .

2- فـــي حالة الحزمة ذات القدرة العالية فان عمليات لا خطية جديدة مثـل التوهج الحـراري (Thermal Blooming) والتبؤر الذاتي (Self-focusing) واللاتبؤر (Defocusing) يظهر تأثيرها اعتمادا على نوع التطبيقات التي توظف الليزر.

وعندما تكون قدرة الليزر كبيرة بدرجة كافية لتغيير خصائص الوسط ، فيمكن تجزئة التأثير الى التالي:-

a. تشويه الحزمة الناجمة عن امتصاص ضعيف لطاقة اشعة الليزر من قبل الغازات الموجودة في الجو الصافي عند انتقالها خلاله .

b. ان لأشعة الليزر ذات الطاقة العالية تأثير كبير في جسيمات الهواء الجوي عند انتقالها خلاله والذي قد يسبب انفجار قطرات الماء او تبخرها عند انتقالها خلال المطر او الضباب مما يؤدي الى حدوث تغييرات في ظروف الانتقال .

ويجب ان يراعي العاملون في انتقال الليزر في جو الارض ان يكون الطول الموجي المستعمل ضمن احدى النوافذ الجوية (نوافذ الانتقال) ، والتي يقل فيها التوهين الى اقل المستويات موفرا بذلك نفاذية للإشعاع تمكننا من دراسة انتشاره للمسافات الطويلة واستعماله لمختلف التطبيقات.

ومن الجدير بالذكر انه من محاسن العمل عند الطول الموجي (10.6) µm لليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2 مقارنة مع الاطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء القريبة كما في ليزر الياقوت وليزر نيديميوم - ياك على التوالي هو النفاذية الافضل خلال ظروف الجو السيئة كالغبار والدخان ويوفر حماية افضل للعين البشرية. ولكن من معوقات العمل عند هذا الطول الموجي هو انعكاسيته الواطئة من قبل الاهـــداف، والامتصاصية العالية من قبل الرطوبة في الهواء الجوي .

يوجد العديد من العوامل التي تؤثر على اشعة الليزر المستعملة مما يؤدي الى حصول نسبة خطأ في القياس ومنها:-

1-3-6 التوهين الجوي (Atmospheric Attenuation)

ان عامل النفاذية (T_A) في المسار الجوي للهدف ذهابا وايابا عند المسافة r يُعطى بالعلاقة الآتية:-

$$Log_{10} (T_A) =(-2\sigma r) / 2.303$$

او

$$Log(T_A) = - 0.868\ \sigma r \quad ....(2\text{-}6)$$

اذ ان :-

σ: معامل التوهين الكلي

وان معامل التوهين الكلي يساوي مجموع معاملي التوهين للاستطارة (σ_s) والامتصاص(σ_a)

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_a \quad ....(3\text{-}6)$$

وتسمى ايضا (T_A) بالنفاذية الجوية (Atmospheric Transmittance) لمسار الحزمة وان قيمتها اقل من الواحد (T_A<1) وهي دالة للعديد من المتغيرات كالطول الموجي وطول المسار والضغط ودرجة الحرارة والرطوبة ومكونات الجو .

ان تأثير التوهين الجوي ربما يصبح العامل الرئيس في حساب المسارات لأكثر من بضعة كيلومترات وهذا التوهين ناتج عن عاملين رئيسين :-

أ- الاستطارة (Scattering)

ان الاستطارة تكون على نوعين:-

استطارة الجسيمات الكبيرة :وهي الاستطارة التي تحدث نتيجة وجود جسيمات عالقة في الجو ذات قطر اكبر بكثير من الطول الموجي .

واستطارة الجزيئات: وهي التي تحدث عندما يكون قطر الجزيئات او الجسيمات مساوٍ او اقل من الطول الموجي .

ان التوهين الذي يعتمد على الاستطارة هو اكثر وضوحا في الاطوال الموجية القصيرة كالضوء الاحمر المنبعث من ليزر الياقوت (Ruby Laser)الذي تحدث له استطارة بشكل اقل من الطول الموجي الازرق للطيف المرئي، اذ ان الاستطارة وكما هو معروف تتناسب عكسيا مع الاس الرابع للطول الموجي، اما بالنسبة للأطوال الموجية لمنطقة تحت الحمراء القريبة (Near IR) مثل ليزر النيديميوم – ياك (1.06μm) فتكون استطارتها قليلة .

تحدث استطارة الجزيئات عند الطول الموجي لليزر النيديميوم وتكون مهملة عند الاطوال الموجية الاعلى والتي تسمى الاستطارة الجزيئية ، وتكون الاستطارة مؤثرة في توهين بعض الاطوال الموجية وضعيفة في الاطوال الاخرى . فتحدث الاستطارة توهينا قدره حوالي (1%) عند الطول الموجي (1.06µm) وحوالي (4.6%) عند الطول الموجي (0.6943µm) عند مسافة (10km) بينما تؤثر بتوهين حوالي (10-40%) عند المدى (100km).

تعتمد استطارة الجسيمات الكبيرة على الاطوال الموجية القصيرة وتتأثر بالاستقطاب ومعامل انكسار الجسيمات وحجمها وشكلها وزاوية الاستطارة وغيرها من العوامل المؤثرة .

ان اغلب الدراسات التي اجريت على تأثير الجسيمات العالقة بالجو عانت بعض الصعوبة بسبب عدم انتظام اشكال وأحجام تلك الجسيمات خلال المسار المحدد، وان الجسيمات المنتشرة بالجو تكون اما صلبة كالغبار او سائلة كالمطر او صلبة - سائلة كما تحدث عندما تتخذ تلك القطرات السائلة نواة من الجسيمات الصلبة (كالتفاف قطرة المطر حول جسيمة غبار كما يحدث بالرطوبة) .

ب- الامتصاصية (Absorbance)

ان الامتصاصية (Absorbance) تحدث نتيجة للتداخل بين الموجة الكهرومغناطيسية والجزيئات الموجودة في الجو خلال مسار الحزمة ويحدث هذا في منطقة الطيف المرئي نسبة الى بقية الاطوال الموجية الاخرى. تؤثر الجزيئات المنتشرة في الجو على حزمة الليزر المنبعثة في مقدرات المدى الليزرية وبالنسبة لليزرات ذات الاطوال الموجية تحت الحمراء فان هنالك حزماً امتصاصية ضيقة مقارنة مع الامتصاصية الجزيئية في الغازات والأبخرة مثل (O_3 وH_2O وNH_3). فيمكن تحديد امتصاصية جزيئة الاوزون (O_3) لأقل من حوالي (300nm) وجزيئة بخار الماء (H_2O) للأشعة تحت الحمراء لغاية حوالي (14 µm) بشكل رئيس وعند الطول الموجي (10.6 µm) لليزر (CO_2).

اما بالنسبة للنوافذ الجوية لكل من الاطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء القريبة فتحدث الامتصاصية خارج المديات حوالي (3-5µm) وحوالي (8-14µm).

ان معظم الغازات المكونة للهواء الجوي (الهواء الجاف) تتواجد تقريبا بالنسب الحجمية الآتية :-

النيتروجين 0.788 (N_2)، الاوكسجين 0.20947 (O_2)، بخار الماء $1.28x10^{-3}$ (H_2O)، اوكسيد النيتروجين $0.27x10^{-6}$ (N_2O)، ثنائي اوكسـيد الكـربون $0.661x10^{-6}$ (CO_2)،غاز الاوزون (O_3) $x10^{-6}$ (0.01- 0.1) والغازات ذات التركيز العالي في جو الارض هي النيتروجين والأوكسجين اللذان يمتصان الامواج الضوئية في المنطقة فوق البنفسجية البعيدة من الطيف الكهرومغناطيسي. اما النفاذية للأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء في الجو فإنها تتأثر بتركيز جزيئات بخار الماء وغاز ثنائي اوكسيد الكربون .

4-6 الرادار الليـزري Laser Radar

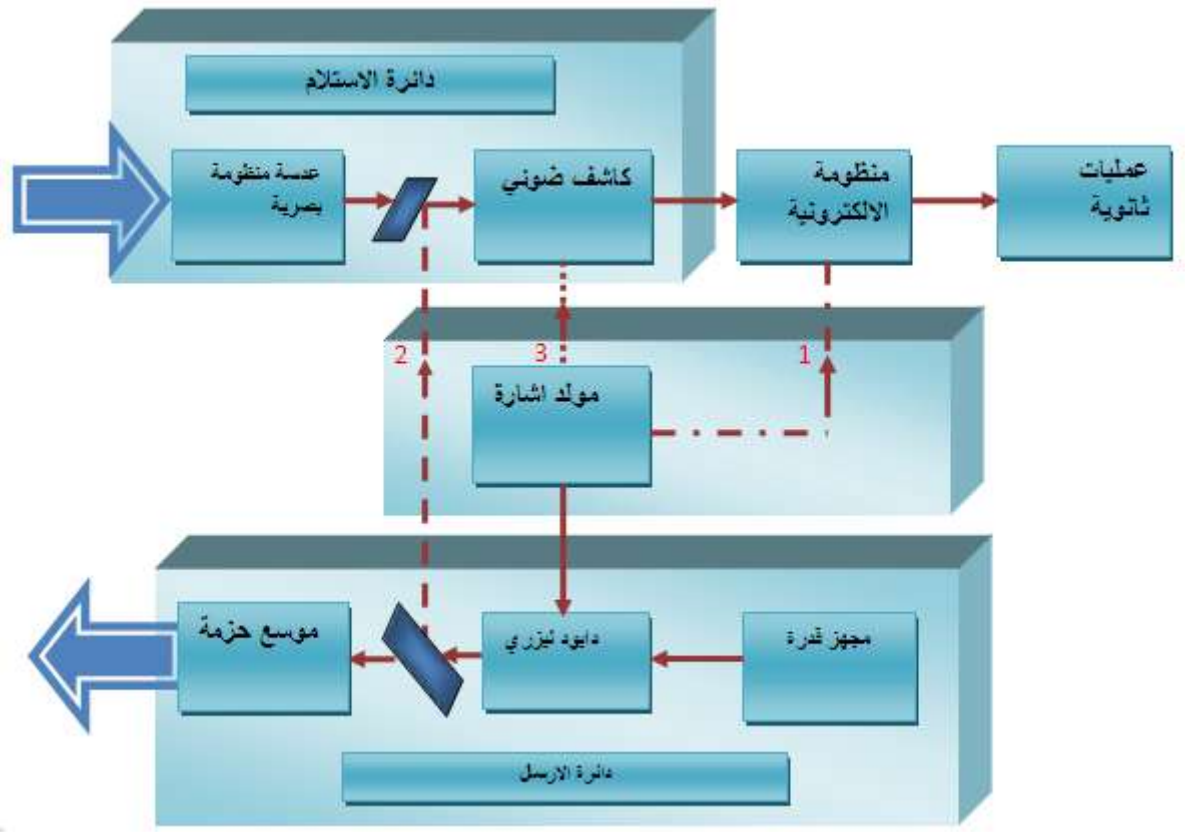
يعتمد عمل الرادار بشكل عام على انحراف دوبلر (Doppler shift) الذي يحصل بين الترددات المرسلة من قبل المنظومة وصدى الترددات المرتدة عن الهدف .

ولكن من اخترع الرادار؟ والحقيقة لا يعزى فضل اختراع الرادار الى مخترع واحد او حتى الى مجموعة محددة من المخترعين ولكن اكتشاف مبادئه الاساسية مرتبط باكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية نفسها، ومن ثم فانه لا ينفصل عن الاختبارات التي اجراها الرواد وعلى راسهم العَالمين "فاراداي وماكسويل" والأخير الذي وضع النظرية الكهرومغناطيسية للضوء .

وبعد ذلك اجرى العالم الالماني "هيرتز" اختبار عملي للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل واثبت ان الموجات الكهرومغناطيسية يمكن ان تنعكس من جسم المعدن، وبعد ذلك نشأ وتطور مفهوم الرادار مع تطور تكنولوجيا صناعة البواخر والسفن وبعدها مع الطائرات وتطور بشكل هائل ، ان بدايات الرادارات كانت باستعمال الترددات الدقيقة (microwaves) ومنذ اكتشاف الليزر توجه اهتمام العلماء والباحثين في هذا المجال نحو كيفية استعمال الليزر بدلا عن الموجات الدقيقة ، من خلال دراسة امكانية استعمال الليزر كمرسلة في الرادار ، وان اول ليزر اكتشف كان يعتمد على مفهوم الميزر، إذ وجد ارتباطا وثيقا بينهما ، وتم البحث عن البدائل بسبب الضوضاء الناتجة عند استعمال الموجات الدقيقة التي ادت الى نشوء نسبة خطا عالية وكذلك امكانية اختراقها .

ان تقنية LIDAR هي احدى تقنيات التحسس النائي الفعالة والمتوافقة مع تقنية الرادار تماما مع الاختلاف فقط في استعمال المصدر الليزري بدلا عن مصادر الترددات الاخرى . ومن هذه التقنية تم حساب زمن الحزمة الليزرية ذهابا وايابا وبحسب عرض نبضة الليزر المرسلة والمستلمة بين المتحسس والهدف ، ويتم التعرف على المدى او بعد الهدف عن المتحسس وكما في مقدرات المدى .

ان الرادار الليزري يستعمل مفهوم الضوء في الكشف وتحديد الموقع ولهذا السبب يطلق عليه في بعـض الاحيـان (ليــدار) (LIDAR) وهـو مختصـــر لجملة Light Detection And Ranging ومعناها"الكشف باستعمال الضوء وتحديد المدى" والشكل (4-6) يمثل مخططاً للرادار الليزري.



الشكل 6-4 : مخطط الرادار الليزري.

يوجد نوعان من الرادار الليزري هما :

1. الرادار النبضي .
2. الرادار المستمر .

من الممكن ان يبعث الماسح الليزري (50000) نبضة في الثانية الواحدة وتتجمع البيانات من خلال مرآة ماسحة تدور بشكــل مستعرض على اتجاه الطيران، وان زاوية المسح عادة ما تكون اقل من 20^o في جميع الاتجاهات.

ولتحديد مقدار المسافة العمودية بين الطائرة والأرض (V_A) تستعمل العلاقة الآتية :-

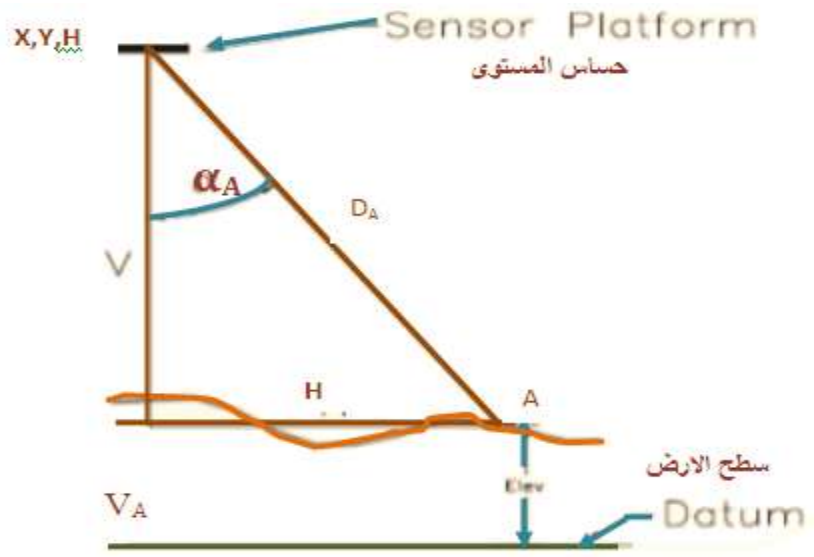
$$V_A = D_A \cos \alpha_A \quad \text{.....(4-6)}$$

اذ ان :

D_A: المدى المقاس

α_A : زاوية المسـح

والشكل (5-6) يبين اجراء مسح للمناطق باستعمال الرادار الليزري الموضوع على طائرة .



الشكل 6-5 : اجراء مسح لمنطقة باستعمال رادار ليزري موضوع على طائرة.

مثال 2 :

نفترض ان النبضة (الاشارة) الليزرية ترسل بزاوية مقدارها(10^o) (زاوية المسح)، وتم تحديد المسافة باستعمال الماسح الليزري وان المدى المقاس مقداره (1387.5 m) . ما مقدار المسافة العمودية من المتحسس الى الأرض (مع العلم ان $\cos 10^o = 0.985$)

الحل :

$D = 1387.5\ m \ , \alpha_A = 10^o$

باستعمال العلاقة : $V_A = D_A \cos\alpha_A$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على:

$V_A = 1387.5(m) \times \cos(10^o)$

$V_A = 1387.5(m) \times 0.985$

$V_A = 1366.69(m)$ *وهي المسافة العمودية من المتحسس الى الارض*

محاسن الرادار الليزري:

من ضمن محاسن الرادار الليزري هي :

1. امكانية الحصول على دقة مدى عالية ، لان عرض نبضات الليزر (pulse width) تكون ضيقة جدا بحدود النانوثانية (ns)او اقل .
2. ان الطول الموجي القصير لليزر يوفر ازاحة دوبلر كبيرة ويميز بين الهدف والضجيج الارضي (Ground Clutter)، اي ربح اضافي في عمليات الاشارة .
3. ان القطر الصغير لشعاع الليزر (Beam Width) يجعله مرغوبا خصوصا في التطبيقات العسكرية لأنه سيقاوم التشويش (Jamming).
4. للرادار الليزري صورة اسرع من الرادار الميكروي مع قابلية التحليل (Resolution) نفسها.
5. له تحليل زاوي عالٍ (High Angular Resolution)مما يجعله قادرا على تعيين حجم وشكل الهدف والاتجاه .
6. امكانية حمل الرادار الليزري جوا بسبب صغر حجمه وقلة وزنهِ .

مساوئ الرادار الليزري :-

من ضمن مساوئ الرادار الليزري هـــي :

1. بسبب صغر قطر شعاع الليزر فانه يحتاج الى زمن اطول لإكمال مسح زاوية معينة.
2. تعاني جبهة الموجة الليزرية من توهين عند انتقالها خلال الجو.

وللرادارات تطبيقات عسكـــرية عديدة منهـــا رادار تصويـر تعبـوي (Tactical Imaging) ورادار توجيـــه الصواريـــخ (Missile Guidance) ورادار ضبـــط النيـــران (Fire Control). ولم تقتصر أهمية الرادار في الاستعمالات العسكرية وإنما شملت العديد من مجالات الحياة منها رادار قياس الارتفاع عن مستوى سطح الأرض، رادار رسم الخرائط، رادار دوبلر لقياس سرعة الاجسام المتحركة وغيرها.

1-4-6 تأثير دوبلر Doppler Effect

تسمع عزيزي الطالب تغير صوت صفارة القطار عندما يتحرك القطار بعيدا عنك ، فيكون تردد الصوت الذي تسمعه عندما يقترب منك القطار اعلى من الذي تسمعه عندما يتحرك القطار بعيدا عنك، فهذا مثال على تأثير دوبلر. ولكن ما المقصود بتأثير دوبلر؟

ان ظاهرة التغير في التردد المسموع عن تردد المصدر لو تحرك الوسط او السامع او المصدر بالنسبة لبعضهم يسمى تأثير دوبلر. وفي دراستنا الحالية سوف نفترض ان الوسط (الهواء) ساكنا . فيكون لدينا الحالات الآتية :-

1- المصدر ثابت والســـــامع متحرك

أ- الســـــامع يتحرك باتجاه المصدر

ب- السامع يتحرك مبتعدا عن المصدر

2- المصدر متحرك والســـــامع ثابت

1- المصدر يتحرك باتجاه السامع

2- المصدر يتحرك مبتعدا عن السامع

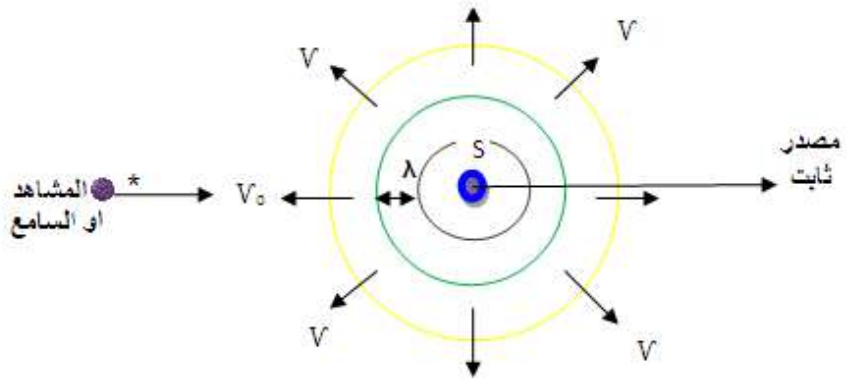
ج- المصدر والسامع متحركان

أ- بالاتجاه نفسه

ب- باتجاهيــن متعاكسين

ففي الحالة الاولى :

ان يكون المصدر ثابت والسامع او المشاهد متحركين، فإذا كان السامع يتحرك بسرعة او (انطلاق)مقدارها(v_o) باتجاه المصدر (S)الثابت ($v_s=0$) وكما مبين في الشكل (6-6)



الشكل 6-6 : حركة السامع باتجاه المصدر.

وبحسب الشكل اعلاه فان مقدار التردد الواصل الى السامع (f_o) يعطى بحسب العلاقة الآتية :-

$$\mathbf{f_o} = \left(\frac{\mathbf{v+v_o}}{\mathbf{v}}\right) \mathbf{f_s} = \left(1+\frac{\mathbf{v_o}}{\mathbf{v}}\right) \mathbf{f_s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5\text{-}6)$$

اذ ان :

f_s : تردد الموجات المنبعثة من المصدر s

v : سرعة (او انطلاق) الصوت في الهواء

وفي الحالة الثانية :

ان يكون المصدر (s) يتحرك بسرعة (او انطلاق) مقدارها(v_s) باتجاه السامع الثابت (الساكن) اي ان $(v_o = 0)$ ، فان مقدار التردد الواصل الى السامع (f_o) يعطى بحسب العلاقة الآتية :

$$f_o = [v/(v - v_s)]\, f_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6\text{-}6)$$

اذ ان معنى الرموز هو نفسه المذكورة في المعادلة (6-4) .

وبصورة عامة اذا كان المصدر مثل (صفارة قطار، منبه سيارة ....الخ) يتحرك بسرعة او(انطلاق) (v_s) والسامع يتحرك بسرعة او (انطلاق) (v_o) وسرعتهما على استقامة واحدة ، فان تردد الصوت المسموع (f_o) يمكن ان يعطى بالصيغة العامة وبحسب العلاقة الآتية :

$$f_o = [(v - v_o) / (v - v_s)]\, f_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7\text{-}6)$$

اذ ان معنى الرموز هو نفسه المذكورة في المعادلة (6-4) .

ومن المعروف ان تأثير دوبلر يطبق (موجود exists) على جميع انواع الموجات ومن ضمنها الموجات الكهرومغناطيسية (الضوء او الليزر مثلا) ولكن تأثير دوبلر للموجات الكهرومغناطيسية كالموجات الضوئية او الليزرية يختلف عن تأثير دوبلر للموجات الصوتية، ومن ضمن هذه الاختلافات هي :

1. الموجات الصوتية تتطلب او تحتاج الى وسط مادي لانتقالها وقد يكون هذا الوسط صلبا او سائلا او غازا، بينما في حالة الموجات الكهرومغناطيسية (كالموجات الضوئية او الليزرية) فهي لا تحتاج بالضرورة الى وسط مادي لانتقالها فهي تنتقل في الفراغ وتنتقل في بعض الاوساط المادية.
2. في حالة الموجات الصوتية وكما يلاحظ مثلاً من الصيغة العامة (6-6) ، فان سرعة الصوت تلعب دورا مهما وهي تعتمد على اطار اسناد (Reference frame) الذي يتم بالنسبة له قياس قيمتها .

فمثلا ان قيمة سرعة الصوت بالنسبة الى هواء متحرك (الوسط متحرك) تختلف عن قيمتها عندما يكون الهواء ساكنا (الوسط ساكن)، بينما سرعة الموجات الكهرومغناطيسية فإنها تمتلك القيمة نفسها سواء اذا قيست نسبة الى مشاهد ثابت او قيست نسبة الى مشاهد متحرك بسرعة ثابتة . وكذلك فانه يمكن الاعتماد على الترددات المنبعثة او المرتدة كصدى النبضة او الاشعة ، إذ يحصل انحراف تردد دوبلر نتيجة لحركة الهدف المطلوب ، فيما اذا كانت القاعدة المرسلة او المشاهد ثابتا ام متحركا ، إذ ان سرعة او(انطلاق) الموجة هي سرعة الضوء ، والمقصود بالمشاهد هي المنظومة المرسلة للترددات الليزرية وهي عبارة عن فوتونات تسير بسرعة الضوء نفسها في الفراغ (c) وكذلك الحال بالنسبة لسرعة موجة المصدر الباعث.

ولهذا فانه في حالة الموجات الكهرومغناطيسية كـ (الضوء او الموجات الليزرية) فان تردد المشاهد (f_o) يعطى بحسب العلاقة :

$$\mathbf{f_o = (1 \pm \frac{V_{rel}}{c}) f_s} \quad \text{.....(8-6)}$$

اذ ان :

f_s : تردد المصدر

c : سرعة الضوء في الفراغ

v_{rel} : السرعة النسبية للمصدر والمشاهد (سرعة المصدر وسرعة المشاهد نسبة لبعضهما)

تستعمل الاشارة الموجبة عندما يقترب المصدر والمشاهد من بعضهما، بينما تستعمل الاشارة السالبة عندما يبتعد المصدر والمشاهد عن بعضهما .

ومن الجدير بالذكر ان العلاقة (6-7) تطبق فقط في حالة ان تكون السرعة النسبية (v_{rel}) هي اقل بكثير من سرعة الضوء في الفراغ (c)اي عندما ($v_{rel} << c$) .

بصورة عامة عند حل المســـائل المتعلقة بظاهرة دوبلر للموجات الصوتية باستعمال الصيغة العامة (6-6) وبافتراض ان الوسط (الهواء) ساكنا يجب علينا ان نتذكر ما يلي :-

a. اذا كان المصدر يتحرك بسرعة (v_s) مقتربا من السامع الساكن فنعوض عن مقدار سرعة المصدر بإشارة موجبة ، اما اذا كان المصدر يتحرك بسرعة (v_s) مبتعدا عن السامع الساكن فنعوض عن سرعة المصدر بالإشارة السالبة.

b. اذا كان السامع يتحرك بسرعة (v_o) باتجاه المصدر الساكن فنعوض عن مقدار سرعة السامع بإشارة سالبة . اما اذا كان السامع يتحرك بسرعة (v_o) مبتعدا عن المصدر الساكن فنعوض عن سرعة السامع بإشارة موجبة، وهذا يشترط ان نعوض اشارة السرعة بالاتجاه من المصدر نحو السامع موجبة ونعوضها سالبة اذا كانت بالاتجاه المعاكس وسرعة (المصدر الساكن والسامع الساكن) فإنها تساوي صفرا.

وكما بينا سابقا ان ظاهرة دوبلر غالبا ما تكون مترابطة مع موجات الصوت الا انها في الحقيقة صالحة لجميع الموجات بما في ذلك موجات الضوء والموجات الليزرية .

يستعمل الفلكيون ظاهرة دوبلر لتعيين سرعة النجوم بالنسبة للأرض وكذلك تأثير ظاهرة دوبلر في نظام الرادار الذي تستعمله الشرطة مثلا لقياس سرعة المركبات.

مثـــال 3 :

مصدر صوت ساكن تردده (2000Hz)، ما تردد هذا الصوت بالنســـــبة لشــخص يتحرك بانطلاق (20 m/s)اذا كان الشخص:

a. متجها نحو المصدر.

b. مبتعدا عـــن المصدر بالانطلاق نفسه. مـــــع العلم ان سرعة الصوت فـــــي الهـــواء تساوي (340 m/s).

الحل :-

a. لدينا الصيغة العامة الآتية :

$$f_o = [(v - v_o)/(v - v_s)]\, f_s$$

لان المصدر ساكن فان :

$$v_s = 0$$

عندما يقترب السامع من المصدر :

تكون (v_o)بإشارة سالبة (لأنها باتجاه معاكس لاتجاه انتشار موجة الصوت).

$$f_o = [v - (-v_o) / v - 0]\, f_s$$

$$f_o = [(v + v_o) / v]\, f_s$$

وبالتعويض نحصل على :

$$f_o = [(340 + 20) / 340] \times 2000$$

$$f_o = 2117.65\ (Hz)$$

وهو تردد الصوت المسموع حين يكون السامع مقتربا من المصدر

b.

عندما يبتعد السامع عن المصدر تكون (v_o)بإشارة موجبة في هذه الحالة (لأنها باتجاه انتشار موجة الصوت).

ولان المصدر ساكن فان ($v_s = 0$) ، وبالتعويض في الصيغة العامة المذكورة اعلاه ، نحصل على :

$$f_o = [(v - v_o) / v]\, f_s$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على :

$$f_o = [(340 - 20) / 340] \times 2000$$

$$f_o = 1882.35\ (Hz)$$ وهو تردد الصوت المسموع حينما يكون السامع مبتعداً عن المصدر

مثـال 4 :

ما الانطلاق الذي تتحرك به سيارة متجهة نحو مصدر صوت ساكن لكي يزداد التردد الذي يسمعه سائق السيارة بمقدار (5%) من التردد الحقيقي للمصدر؟ اعتبر ان انطلاق الصـــوت في الهـــواء هو (340 m/s) .

الحل :

من منطوق السؤال فان :

$\Delta f_s = (5\%)f_s = 0.05\ f_s$

بما ان التردد الظاهري قد ازداد فان السامع يقترب من المصدر اي ان :

$f_o = f_s + \Delta f_s$

$f_o = f_s + 0.05 f_s$

$f_o = 1.05 f_s$

لدينا الصيغة العامة :

$f_o = [(v - v_o) / (v - v_s)]\ f_s$

وبالتعويض نحصل على :

$1.05 \quad x\ f_s = [340 - (-\ v_o) / (340 - 0)]\ x\ f_s$

تكون (v_o) سالبة لأنها باتجاه معاكس لاتجاه انتشار موجة الصوت ، و ($v_s = 0$) لان المصدر ساكن .

$1.05\ x\ f_s = [(340 + v_o) / 340]\ x\ f_s$

$1.05\ x\ 340 = 340 + v_o$

$357 = 340 + v_o$

$V_o = 17\ (m/s)$

وهو انطلاق السيارة

2-4-6 موجـة الصدمــة (الرجــة)

لو سئلنا سؤال، ماذا يحدث عندما تزيد سرعة او (انطلاق) المصدر (v_s) لطائرة مثلا عن سرعة الصوت (v)؟

والجواب :- انه ســـوف نحصل على ما يســمى بموجة الصدمــة (او الرجــة) (Shock Wave)، لاحظ الشكل (6-6) ويقال للطائرة في هذه الحالة بأنها تطير بسرعة او (انطلاق) فوق الصوتية (Supersonic Speed) .

وبذلك فان الطائرة سوف تولد موجات صدمية هي التي تحدث الصوت العالي المدوي الذي نسمعه. مثل هذه الموجات الصدمية تكون ضارة بالسمع ويمكن ان تسبب اضرارا للمباني عندما تطير الطائرات بسرعة فوق صوتية وعلى ارتفاعات منخفضة . وفي الحقيقة تنتج الطائرات التي تطير بسرعات فوق صوتية زوج من الاصوات المدوية إذ تتكون جبهتان صدميتان ، واحدة من مقدمة الطائرة والأخرى من الذيل .

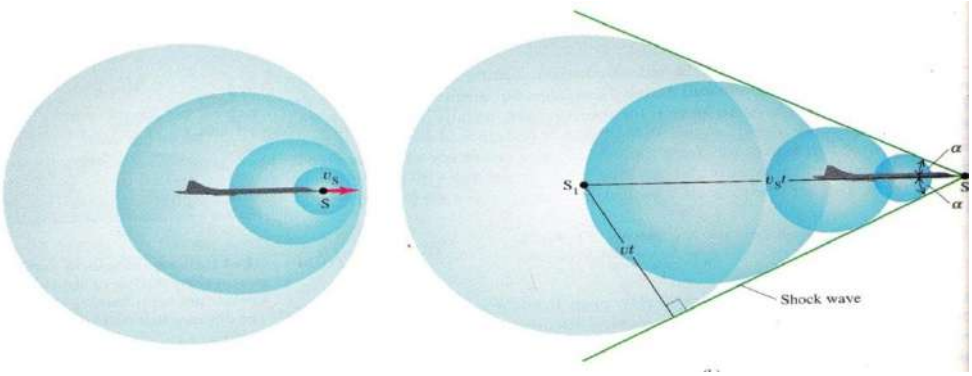
ولكن ما وحدة قياس سرعة او(انطلاق) الجسم مثل طائرة تسير بسرعة او (انطلاق) فوق صوتية؟

والجواب على ذلك تقاس سرعـــــة الجســـــم الـــــذي يسير بسرعـــة فوق صوتية بوحدات عدد ماخ (Mach Number) ولكن ما المقصود بعدد ماخ؟

عدد ماخ :هو النسبة بين سرعة (انطلاق) الجسم مثل طائرة (v_s) الى سرعة او (انطلاق) الصوت (v)، اي ان :

Mach number عدد ماخ = v_s / v .....(9-6)

ان الغلاف لجبهات الموجة هذه هو مخروط ونصف زاوية راس المخروط هي (α) ، لاحظ الشكل (7-6)



الشكل 6-7 : موجة الصدمة.

ومن الشكل (6- 6) يمكن حساب نصف زاوية راس المخروط (α) من العلاقة :-

$$\sin\propto = \frac{vt}{v_s t} = \frac{v}{v_s} \quad \text{.....(10-6)}$$

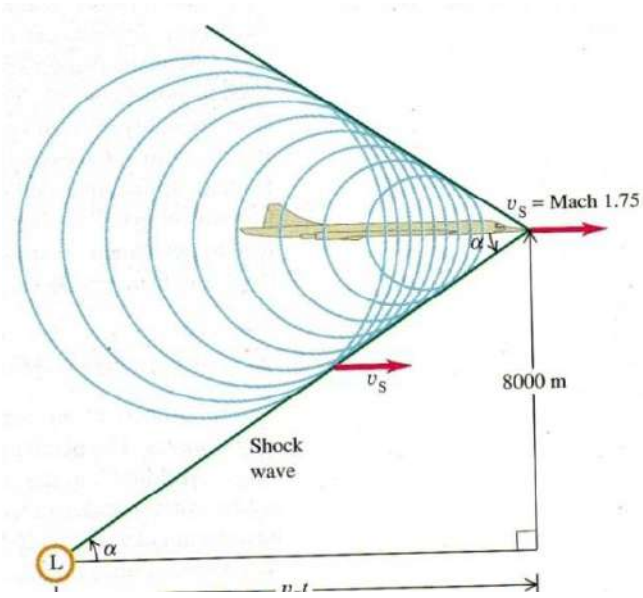
اذ ان :-

v :سرعة الصوت

v_s :سرعة الجسم (طائرة مثلا)

مثال 5:

طائرة الكونكورد تطير بسرعة تقارب (1.75 Mach) على ارتفاع (8000m) ، فإذا كانت سرعة الصوت في الهواء هي(1 Mach)، وكما موضح بالشكل ادناه. جد مقدار نصف زاوية راس المخروط ؟ مع العلم بان ($\sin 0.571 = 34.82^o$) .



الحل:

نفرض ان نصف زاوية راس المخروط = α

لدينا العلاقة الآتية :- $\sin\propto = \frac{v}{v_s}$

وبالتعويض نحصل على :

$\sin \alpha = 1 / 1.75$

$\sin \alpha = 0.571$

ومن منطوق السؤال فان :

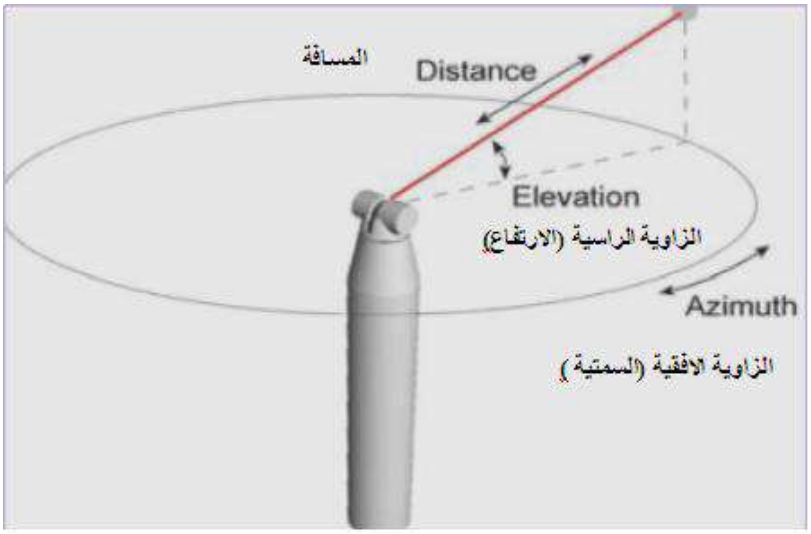
وهي نصف زاوية راس المخروط $\alpha = 34.82^o$

5-6 التعقب بالليزر (التوجيه) Laser tracking

ان مصطلحي التعقب والتوجيه مرادفان لبعضهما البعض، فإذا كانت الاهداف متحركة فمن الصعب تحديد موقعها باستعمال مقدرات المدى الثابتة ، ويمكن ذلك باستعمال الرادار الليزري وتتبع الهدف في حركته ويُعرَف التعقب : بأنه منظومة ليزرية له القابلية على قياس مواقع ثلاثية الابعاد لأهداف متحركة وبدقة عالية جدا تصل لغاية بضعة مايكرومترات .

وان منظومات التعقب الليزري تتكون من منظومتي : الإرسال ، والاستلام.

وتقاس الاحداثيات من خلال التتبع وباستعمال الليزر نتعرف على مواصفات ومزايا الهدف المطلوب وبدقة عالية جدا تصل لغاية 25µm. والشكل (6-8) يبين النموذج لمنظومة التعقب الليزري.

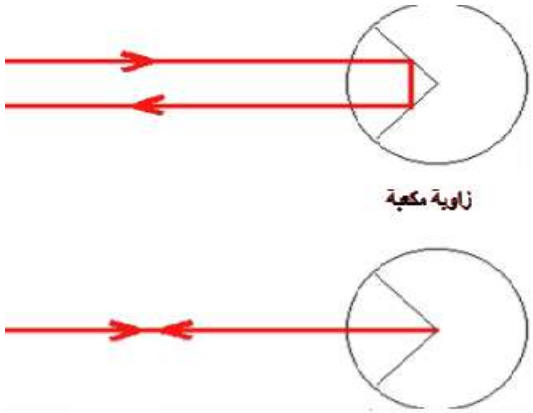


الشكل 6-8 : منظومة التعقب الليزري.

ن مبدأ عمل معقب الليزر يستند على تقنيتين همـــا:-

1- مدخال الليزرLaser interferometer :

ان هذه التقنية تستعمل لقياس المسافة النسبية ، وان مبدأ هذه التقنية هو حصول عملية التداخل بين حزمتي ليزر بفرق طور يتغير بحسب تغير موقع احدى المرآتين مما يؤدي الى توليد اهداب تداخل تكون دالة لتغير الموقع والشكلين (6-9) و (6-10) يبينان مخططي المنظومة ومدخال الليزر .



الشكل 6-9 : مخطط منظومة الليزر.

الشكل 6-10 : مخطط مدخال الليزر.

2- المشفر الضوئي optical encoder

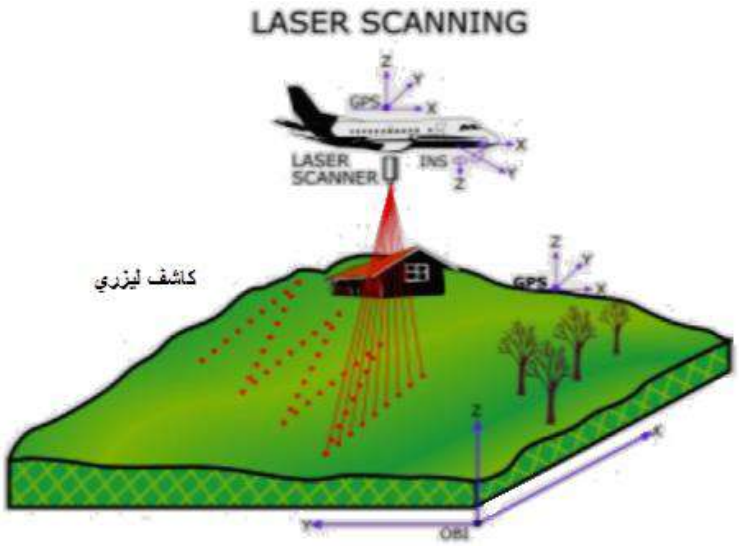
هو تحويل الاشارة الضوئية الى اشارة رقمية (optical to digital signal) وفيه يتم قياس الزوايا الافقية (السمتية) (Azimuth) والزاوية الرأسية (Elevation).

6-5-1 مزايا التعقب بالليزر

ان من مزايا التعقب بالليزر هي دقة وسرعة عاليين ومدى واسع اذ يمكن الاستفادة من التعقب في بعض التطبيقات مثل :

1. المعايرة.
2. بناء السفن.
3. مصانع الطائرات.
4. هياكل المصانـــع.

والمخطط التالي يبين طريقة استعمال التعقب الليزري .



الشكل 6-11 : طريقة استعمال التعقب الليزري.

6-5-2 بعض التطبيقات للتعقب بالليزر

توجد تطبيقات عدة اعتمادا على مبدأ التعقب باستعمال الليزر وهي :-

1-الهندسة العكسية Reverse engineering

المقصود بالهندسة العكسية هي وجود منتج معين تم تجزئته الى مكوناته الاساسية مع تحديد مواصفاته وأبعاده وقياساته ، اذ يستعمل معقب الليزر في تحديد الابعاد بدقة عالية جدا ووضع التصاميم النهائية له واعادة تصنيعه . والشكل التالي يبين استعمال تعقب الليزر في الهندسة العكسية .

الشكل 6-12 : استعمال تعقب الليزر في الهندسة العكسية.

2- المعاينــة والفحص Inspection

المقصود بالمعاينة والفحص : توجيه حزمة الليزر وتحديد مواقع الخلل والخطأ فيها وتستعمل في خطوط الانتاج ، وفي وحدة السيطرة النوعية (quality control) من ضمن مجال التطبيق العسكري والشكل (6- 13) يبين استعمال المعقب الليزري في المعاينة والفحص .

الشكل 6- 13 : استعمال المعقب الليزري في المعاينة والفحص.

3- القياسات الديناميكية Dynamic measurement

هي القياسات والفحوصات التي تؤخذ للمواقع والأجزاء المتحركة (غير الثابتة) .

4- الترصيف Alignment

قياس مدى الاستوائية والاتجاهية ، وفي المجال العسكري فان المقصود بالترصيف هو استعمال ليزر مرئي في تحديد مسار حزمة ليزرية غير مرئية، والشكل(6-14) يبين عملية الترصيف باستعمال المعقب الليزري .

الشكل 6-14 :عملية الترصيف باستعمال المعقب الليزري.

5-التوجيـــه Guidance

ويُعرف بأنه تحديد خط سير المقذوفات الموجهة (الصواريخ) باتجاه الاهداف المطلوبة .

وان التوجيه يكون على نوعين هما :-

أ- التوجيه الفعال Active guidance

وفيه تكون منظومة الارسال والاستلام على المقذوف نفسه بحيث يتم ارسال حزمة (نبضات) الليزر منه واستلام الصدى او الانعكاس المرتد عن الهدف من قبله مع تصحيح المسار بحسب البيانات المستلمة .

ب-التوجيه غير الفعال passive guidance

في هذا النوع يكون المرسل موضوع على قاعدة معينة والمستلم موضوع على المقذوف بحيث يتم ارسال الليزر باتجاه الهدف وتستلم الصدى او النبضات المرتدة عنه من قبل منظومة الاستلام وبحسب البيانات المستلمة يتم تصحيح المسار .

6-6 اسئلة وتمارين الفصل السادس

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :

1. ان من اساس عمل مقدرات المدى الليزرية هو ارسال نبضة ضوئية:

a) طويلة الامد وذات شدة منخفضة.

b) طويلة الامد وذات شـــدة عالية.

c) قصيرة الامد وذات شدة منخفضة.

d) قصيرة الامد وذات شـــدة عالية.

2. ان عدد ماخ:

a) وحداته هي (cm).

b) وحداته هي (s).

c) وحداته هي (cm/s).

d) لا توجد له وحدات.

3. يجب ان يراعي العاملون في انتقال الليزر في جو الارض ان يكون الطول الموجي المستعمل :

a) اكبر من النوافذ الجويـــة.

b) ادنى من النوافذ الجويـــة.

c) ضمن احدى النوافذ الجوية.

d) ولا واحدة منها.

4. تتناسب الاستطارة تناسبا عكسيا مع :

a) مربع الطول الموجـي .

b) الجذر التربيعي للطول الموجي.

c) مكعب الطول الموجي .

d) الاس الرابـع للطـول الموجي.

5. اكتشاف مبادئ الرادار الاساسية مرتبط باكتشاف :-

a) الموجات الصوتية .

b) الموجات الميكانيكية الطولية.

c) الموجات الكهرومغناطيسية.

d) ولا واحدة منها.

6. تحدث موجة الصدمة (الرجة) عندما :

a) تزيد سرعة او (انطلاق) المصدر عن سرعة الضوء.

b) تكون سرعة او (انطلاق) المصدر اقل من سرعة الصوت.

c) تزيد سرعة او (انطلاق) المصدر عن سرعة الصوت.

d) تكون سرعة او (انطلاق) المصدر مساوي لسرعة الضوء.

7. المقصود بعدد ماخ هو يمثل النسبة بين :

a) تعجيل الجسم الى سرعة او (انطلاق) الصوت.

b) سرعة او (انطلاق) الجسم الى سرعة الضوء في الفراغ.

c) سرعة او(انطلاق) الجسم الى سرعة او (انطلاق) الصوت.

d) سرعة او (انطلاق) الصوت الى سرعة الضوء في الفراغ.

8. ان العبارة (هو منظومة ليزرية لها القابلية على قياس مواقع ثلاثية الابعاد لأهداف متحركة وبدقة عالية جدا تصل لغاية بضعة مايكرومترات) هي تعريف لـ :

a) التعقب.

b) النوافذ الجوية.

c) التوهين الجوي.

d) التوهج الحراري.

9. يمكن تعريف النبضات العملاقة على انها نبضات ذات قدرة :

a) واطئة جدا وأمد قصير جدا.

b) عالية جدا وأمد طويل جدا.

c) واطئة جدا وأمد طويل جدا.

d) عالية جدا وأمد قصير جدا.

10. ان ظاهرة التغير في التردد المسموع عن تردد المصدر لو تحرك الوسط او السامع او المصدر بالنسبة لبعضهم يسمى :

a) الموجات فوق الصوتية.
b) موجة الصدمة.
c) ظاهـــرة دوبلر.
d) التعقب.

11. ان تأثير دوبلر ينطبق على :

a) الموجات الضوئية فقط.
b) الموجات الليزرية فقط.
c) الموجات الصوتية فقط.
d) جميع انواع الموجـات.

12. في التوجيه الفعال تكون منظومـة الارسال :

a) على المقذوف والاستلام على قاعدة ارضية.
b) والاستلام على المقذوف نفسه .
c) والاستلام على قاعدة ارضية.
d) على قاعدة ارضية والاستلام على المقذوف.

س2 : للرادارات تطبيقات عسكرية عديدة . اذكر بعضاً منها .

س3 : اذكر بعض مزايا التعقب باستعمال الليزر .

س4 : ما وظيفة مقدرات المدى الليزرية ؟ وكيف تعمل ؟

س5 : كيف يمكن تحقيق اقصى مدى مقاس باستعمال مقدرات المدى الليزرية ؟

س6 : اذكر محاسن استعمال ليزر ثنائي اوكسيد الكربون في مقدرات المدى .

س7: ان التوهين الجوي ينتج عن عاملين رئيسين . ما هما ؟

س8 : عدد بعض محاسن الرادار الليزري .

س9 : عرف تأثير دوبلر للموجات الصوتية . وما حالات حدوثه ؟

س10 : بماذا يختلف تأثير دوبلر للموجات الكهرومغناطيسية كالموجات الضوئية او الليزرية عن الموجات الصوتية.

س11 : استعملت مقدرة مدى ليزرية لقياس مسافة هدف ، فكان زمن ذهاب واياب نبضة الليزر المرسلة هي (0.1 ms)، ما مقدار هذه المسافة ؟ علما ان سرعة الضوء في الفراغ هي ($3x10^8$ m/s).

س12: عند استعمال الليزر لأحدى التطبيقات في الجو، كان مقدار معامل التوهين الكلي ($4.065x10^{-4}$ m^{-1}) عند مسافة (200 m) . ما مقدار عامل النفاذية ؟ علما ان $10^{-0.071}$= 0.849 .

س 13 : باي زاوية تُرسل نبضة الليزر من رادار ليزري موضوع على طائرة لهدف يبعد مسافة (2850 m)، اذا كان الارتفاع العمودي للطائرة هو (2560 m) . اعتبر ($\cos 26.10^o$= 0.898).

س14 : بحسب ظاهرة دوبلر، ما مقدار تردد المشاهد، اذا علمت ان تردد المصدر الضوئي هو (10^{14} Hz)، وان مقدار السرعة النسبية هو ($9x10^2$ m/s) وان المشاهد يقترب من المصدر معتبرا سرعة الضوء في الفراغ هي ($3x10^8$ m/s) .

س15 : على ارتفاع (5000 m) اخترقت طائرة حاجز الصوت لتبلغ سرعتها(1.5 Mach) ، فإذا علمت ان سرعة الصوت في الهواء هي (1 Mach) . ما مقدار نصف زاوية راس المخروط ؟ علماً ان ($\sin 41.84^o$ = 0.667).

س16 : ما الزمن الذي يستغرقه شعاع ليزر للذهاب من الارض الى القمر والرجوع الى الارض ؟ علما ان بعد الارض عن القمر هو (400000km).

الفصل السابع

تطبيقات الليزر العلمية والبيئية

Scientific and Environmental

Applications of Laser

أهداف الفصل السابع

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:

- يشرح منظومة الليزر لقياس تلوث البيئة
- يوضح مد انابيب النفط والغاز باستعمال الليزر
- يميز الطابعات الليزرية والماسح الضوئي
- يعرف مبدأ عمل الطابعة الليزرية
- يتعرف على بعض التطبيقات الاخرى
- يوضح طريقة قياس سرعة الدورات
- يوضح طريقة قياس سرعة الموائع
- يوضح طريقة قياس اقطار الاسلاك
- يوضح الترصيف البصري وكشف العيوب
- يحسب قطر السلك.

1-7 تمهيد

ان مخاطر تلوث البيئة اصبحت من اهم المواضيع التي تشغل حيزا كبيرا من اهتمام العلماء والباحثين إذ ينعقد سنويا العشرات من المؤتمرات والندوات وورش العمل في العالم حول كيفية الكشف عن التلوث ومعالجته، والليزر دور كبير في هذا المجال إذ يُعدُ من المنظومات ذات الدقة العالية في الفحص والكشف عن التلوث هذا اذا ما اخذنا بنظر الاعتبار ان من المواد الملوثة ما هو سام وبجرعات صغيرة جدا فيجب الكشف عن هذه الجرعات وتحديدها .

2-7 منظومة الليزر لقياس تلوث البيئة

في العقود الاخيرة توجه الباحثون والعلماء الى دراسة امكانية تقليل او وضع حد لزيادة تلوث الهواء من خلال بناء وحدات السيطرة والمعالجة ضمن المعامل الصناعية وذلك لتقليل انبعاث الغبار او بوضع المرشحات (Filters) في عوادم السيارات، وذلك لتقليل الغازات المنبعثة وحسب برنامج منظمة الصحة العالمية (World Health Organization, WHO) .

ومن الغازات الخطرة التي تلوث الهواء هو غاز اول اوكسيد الكربون CO وغاز ثنائي اوكسيد الكربون CO_2، والميثان CH_4 .

ومن المعروف انه يزداد تلوث البيئة مع زيادة الحجم السكاني، ففي المدن الكبيرة تصبح الحاجة ملحة جدا للتوصل الى المعالجة والحلول للحد من انبعاث الملوثات بسبب زيادة عدد السيارات والمعامل ومحطات الطاقة وغيرها .

ان تركيز الملوثات في موقع وزمن محدد يعتمد على عدة متغيرات منها :-

1. انبعاث الملوثات من مصادرها الى الفضاء الحر .
2. التحول الفيزيائي - الكيميائي لهذه الملوثات وانتقالها الى الفضاء .
3. الاتصال المباشـــر (اي التفاعل المباشر بين الملوثات والبشر والكائنات الحية الاخرى) .

ان افضل منظومة للكشـف عـن الملوثات يجب ان تكون لها القابلية على تحديد نوعية الملوث (من الحالات الثلاثة السابقة). والشكل (7-1) يبين منظومة الكشف عن تلوث الهواء المتنقلة .

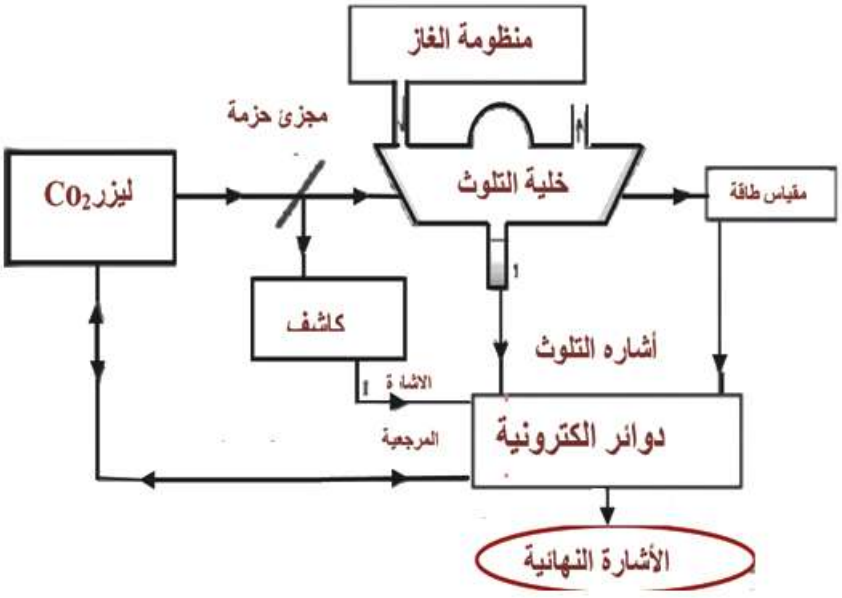
الشكل 7-1 : منظومة الكشف عن تلوث الهواء المتنقلة.

ان الكشف عن الملوثات باستعمال الليزر يعتمد على مبدأ الرادار الليزري نفسه ، اذ ترسل حزمة مضمنة باتجاه الغلاف الخارجي ويتم استلام الاشارة المنعكسة اوالمرتدة والتي تمتص وتتشتت من الملوثات (جزيئات وذرات) إذ يسجل كاشف معين هذه الاشارة المستلمة والتي تحتوي على المعلومات المطلوبة. وحسب التقنيات الحديثة يمكن الكشف عن نسب صغيرة جدا تصل الى حد ($\mu g\backslash m^3$) مايكرو غرام لكل متر مكعب . ويطلق على هذه التقنية بالليدار (LIDAR) والتي تعرفت عليها سابقا . والجـــدول التالي يبين الكشـــف عن بعض الملوثات ونسبة التركيز ومدياتهـــا :-

الجـدول (7-1) يبين بعض الملوثات ونسبة التركيز ومدياتهـا.

ت	المادة الملوثة	نسبة التركيز ($\mu g\backslash m^3$)	المـدى (m)
1	SO_2	8	2200
2	NO_2	20	2500
3	O_3 اوزون	2	2100
4	Toluene تولوين	10	1700
5	بنزين	10	1600

ويمكن الكشف وقياس نسبة التلوث باستعمال ليزر ثنائي اوكسيد الكربون CO_2 وكما موضح في الشكل (7-2)



الشكل 7-2 : مخطط لقياس نسبة التلوث باستعمال ثنائي اوكسيد الكربون.

إذ يتم استعمال ليزر ثنائي اوكسيد الكربون بطاقة نبضة مقدارها (100Jm) داخل خلية اسطوانية الشكل بطول (250mm) وقطر (25mm) ذات نهايتين مثبت عليها بلورة NaCl (ملح الطعام) كلوريد الصوديوم على شكل نافذة بروستر.

ان مبدأ القياس يعتمد على مبدأ دوبلر في تجزئة الحزمة الليزرية الى جزئين ، الجزء الاول يؤخذ مباشرة الى منظومة الاستلام كحزمة مرجعية (reference) والحزمة الاخرى تدخل الى خلية الغاز ، وبتسجيل الاشارتين باستعمال مقياس طاقة (Joule meter) وحسب تشتيت الحزمة الداخلة الى خلية الغاز فيتم تضمينها من قبل جزيئات الغاز فنحصل على فرق بينها وبين الحزمة المرجعية إذ يسجل الفرق بينهما وبإجراء المعايرة calibration يتم التعرف تجريبيا على نسب الغاز المتغيرة ومنها يسجل مقدار التلوث.

3-7 مد انابيب النفط والغاز باستعمال الليزر

ان من الصعوبات والمعوقات التي ترافق عملية ربط ومد انابيب نقل الوقود او النفط والغاز هي ان تكون هذه الانابيب باستوائية عالية جدا، لذلك يتم اجراء المسح المسبق للمناطق التي يفترض ان تمر بها هذه الانابيب والتعرف على التضاريس الارضية. وتستعمل منظومة الليزر (الليدارLDAR) لهذا الغرض.

ان عملية مد انابيب النفط والغاز وبمسافات بعيدة جدا تعتمد على عنصرين اساسيين هما :-

اولا :- اجراء مسح لاستوائية المنطقة (وضع الخرائط المطلوبة)

يتم اجراء المسح باستعمال الليزر إذ يعتمد على تقنية الليدار (LIDEAR) وتتطلب هذه التقنية منظومتين : -

1- منظومة تحديد الموقع Global Positioning System(GPS)

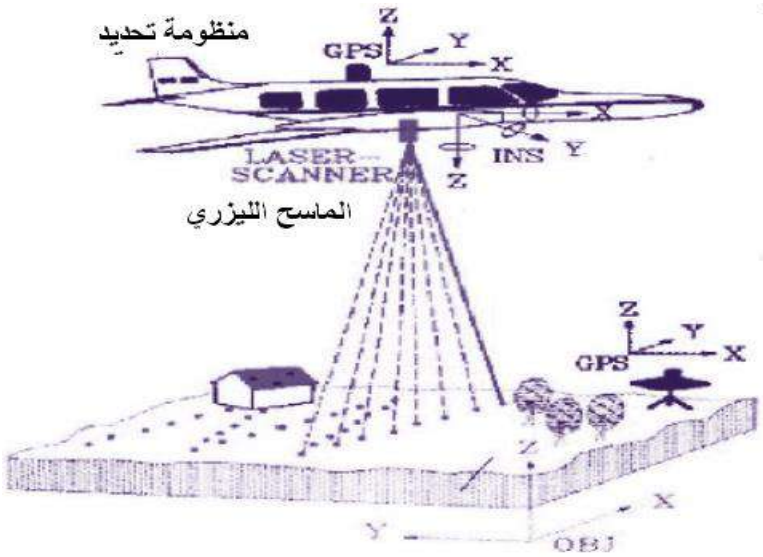
2- منظومة المسـح.

ولليـدار تطبيقـات محـددة تتضمـن : -

1. وضـع خرائـط اساسـية.
2. وضع خرائـط ممرات الانابيـب.
3. تحديد مواقع الميـاه الجوفيـة.
4. وضع خرائط السـهول الرسـوبية.
5. وضع خرائط التضاريس الارضية.
6. تصنيف الطبقات الارضية.
7. خرائـط تحـول الممرات.
8. خرائط المدن.

ان نبضة الليزر المرسلة تكون بطول موجي ضمن المنطقة تحت الحمراء القريبة (NIR) إذ تنعكس مرتدة عن فروع وأغصان وأوراق الاشجار، وكذلك عن سطح الارض او النباتات او التضاريس الاخرى الى المتحسس إذ تجمع هذه النبضات المرتدة (echo) [الصدى] بوساطة تلسكوب صمم لهذا الغرض . ويمكن تحديد بعد الهدف او ابعاده في مقدرات المدى .

وفي حالة اجراء المسح لغرض مد انابيب النفط او الغاز فيتم عادة استعمال طائرة مثبت عليها منظومة الليدارLIDAR اضافة الى منظومة تحديد الموقع GPS وهذه المنظومة الثانية تتكون من جزئين احدهمـا علـى الطائرة والجزء الاخر يكون علـى الارض ثابت فـي محطة معينة لاحظ الشكل (3-7)



الشكل 7-3 : منظومة تحديد الموقع (GPS) .

ومن محاسـن طريقـة الليدار هي :-

1) فعالة جدا.
2) سـريعة .
3) ذات دقة عالية في جمع البيانات الدقيقة عن التضاريس الارضية ولمسافات بعيدة جدا.

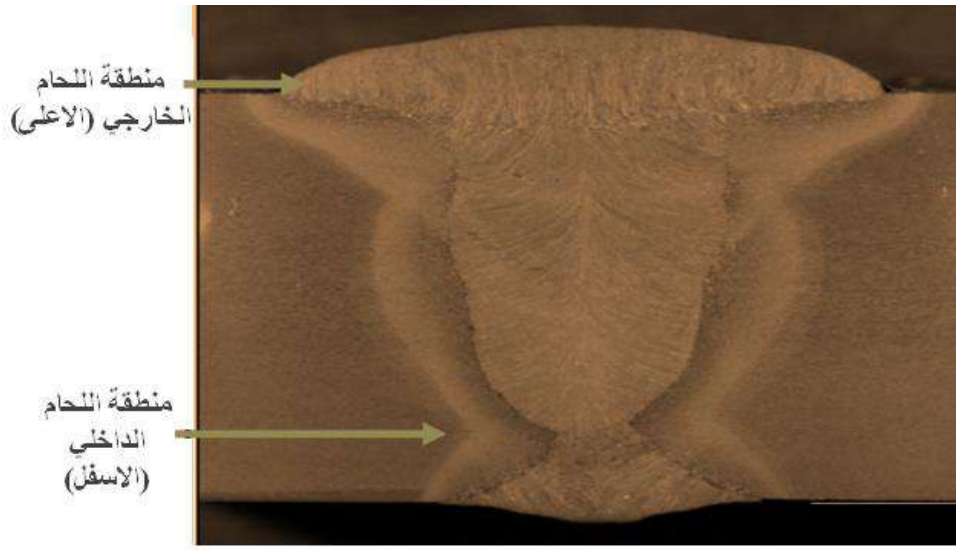
ثانيا :- عملية لحـام الانابيـب موقعياً

سبق وان تم التطرق اليه ضمن التطبيقات الصناعية فانه يجب ان يكون متجانساً الى حد كبير سواءً في المنطقة (الداخلية او الخارجية) .

ومن الطرائق المستعملة هي :-

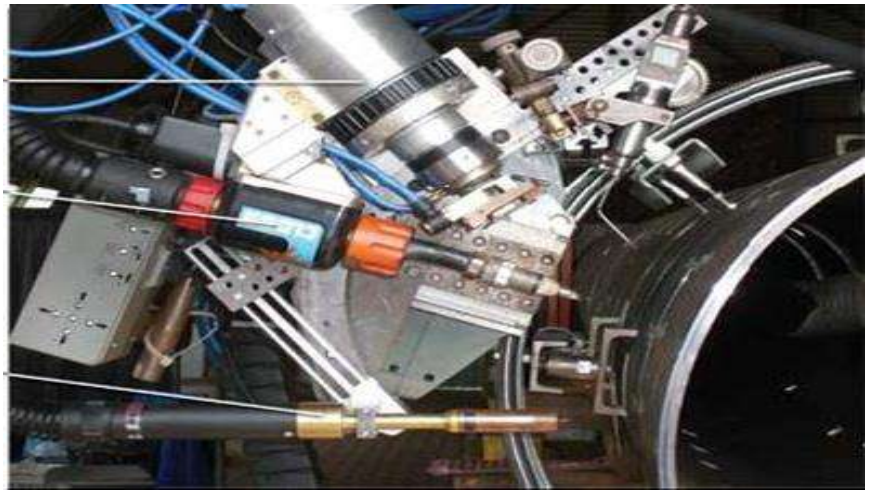
1) اللحام بالليـزر Laser welding
2) اللحام بالقوس الكهربائي Electrical Arc welding

تعتمد طريقة اللحام بالقوس الكهربائي على التفريغ الكهربائي (Electrical discharge) بين نهايتي الانبوبين المطلوب لحامهما وهذا التفريغ يؤدي الى توليد قوس كهربائي ينتج عنه صهر المنطقتين وإذابتهما ومزجهما معا ويكون اللحام متجانس في المنطقة الخارجية وغير متجانس في المنطقة الداخلية وكما موضح في الشكل (7-4) والذي يبين طريقة اللحام بالقوس الكهربائي .



الشكل 7-4 : طريقة اللحام بالقوس الكهربائي.

ويبين الشكل السابق لحام الانبوب من الداخل والخارج فمنطقة اللحام (الاعلى) هي اكبر واعرض من منطقة اللحام الداخلي (الاسفل) اي اللحام يكون بشكل مخروطي. اما اللحام باستعمال الليزر فانه يكون متجانساً الى حدٍ كبير سواءً في المنطقة الداخلية او الخارجية ويمكن الجمع بين لحام القوس الكهربائي ولحام الليزر معا في منظومة واحدة يطلق عليها لحام (غاز– معدن) بوساطة الليزر والقوس (Laser Beam Gas- Metal Arc (GMA) welding) إذ ان حزمة الليزر والقوس الكهربائي (التفريغ) يتفاعلان مع صهر المعدن والشكل (7-5) يبين منظومة اللحام التي تستعمل القوس والليزر معا .



الشكل 7-5 : منظومة اللِحام التي تستعمل القوس والليزر معاً.

4-7 الطابعات الليزرية والماسح الضوئي Laser Printers and Optical Scanner

تعد الطابعة الليزرية من افضل انواع الطابعات المرتبطة مع الحاسوب إذ تتميز بقدرتها على الطباعة بجودة عالية وبشكل سريع معتمدة على المسح باستعمال المصدر الليزري. وان اول طابعة ليزرية تم نتاجها من قبل شركة زيروكس (Xerox)، إذ قام احد الباحثين ويدعى جاري ستار كويذر(Gary Stare Kweather) بتعديل احدى آلات الاستنساخ في عام 1971 مستعملاً الليزر، وان اول تطبيق تجاري لطابعة الليزركان في عام 1976. وان اول طابعة ليزرية للاستعمال الشخصي انتجت عام 1981 والشكل (7-6) يبين انموذجاً لطابعة الليزرية .

الشكل 7-6 : طابعة ليزرية.

ويستعمل ليزر اشباه الموصلات الاحمر في الطابعات الليزرية (Laser Printers) إذ يوفر الدقة والتركيز العاليين . وان الاقراص المدمجة (Compact Discs) (CD) هي ايضا تعتمد على الليزر في عملها إذ يستعمل ليزر He-Ne او ليزر اشباه الموصلات الاحمر في عملية الكتابة والقراءة لهذه الاقراص .

1-4-7 كيف تعمل الطابعة الليزرية ؟

قد يتساءل البعض كيف يمكن لشعاع الليزر ان يكتب على الورق ؟

فالطابعة الليزرية سُميت بهذا الاسم لان الليزر له دور اساسي في عملية انشاء الحروف على الورق . فأساس عمل الطابعة الليزرية يعتمد على مبدأ علمي بسيط وهو الكهرباء الساكنة . فكلنا جرب في مادة العلوم ، كيف انه عند احتكاك مادة القطن مع البلاستيك مثلا ينتج عن ذلك شحنة كهربائية على كل منهما ، ودليل ذلك يتجلى بوضوح عندما نرى قدرة قطعة البلاستيك على جذب قصاصات الورق الصغيرة .

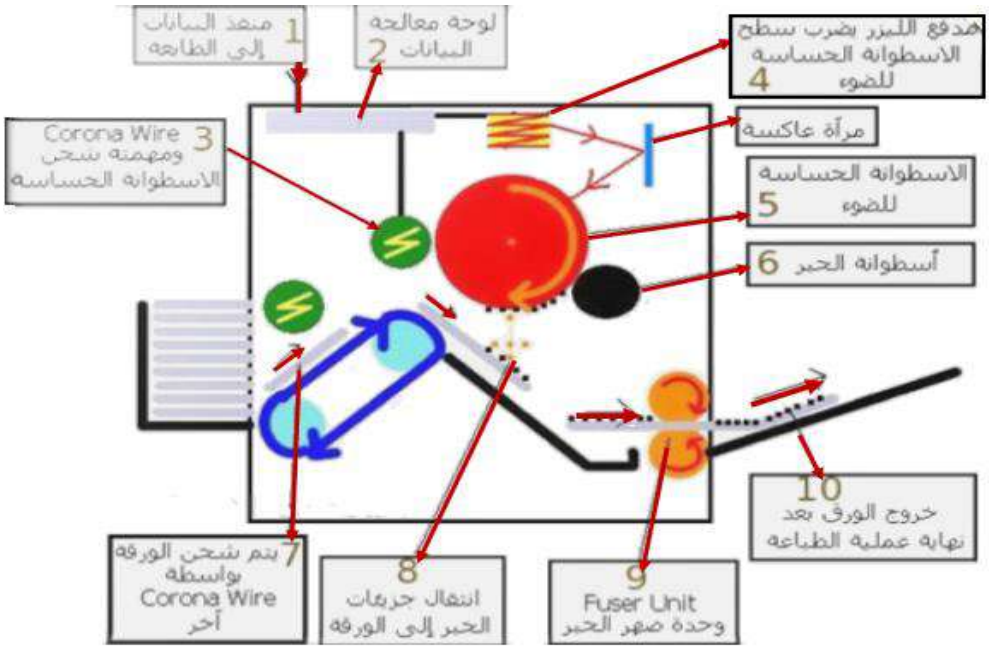
والسؤال الذي قد يتبادر الى الاذهان هو: كيف تم استغلال الكهرباء الساكنة في عملية الطباعة في الطابعة الليزرية؟

وللإجابة على هذا السؤال لابد لنا من معرفة الاجزاء المكونة للطابعة الليزرية ، وفيما يأتي شرح مبسط جدا لدور كل جزء من هذه الاجزاء اثناء مراحل عملية الطباعة.

1- اذا كان نوع المنفذ متوازيا او من نوع USB ففي كلا الحالتين مهمتهُ هو ايصال البيانات من الحاسب الى لوحة معالجة البيانات في الطابعة . والشكل (7-7) يبين نوعا المنفذ المتوازي و USB.

الشكل 7-7 : منفذا المتوازي و USB.

والشكل (7-8) يبين الاجزاء اثناء مراحل عملية الطباعة .



الشكل 7-8 : الاجزاء اثناء عملية الطبع.

2- لوحة معالجة البيانات :- وهي عبارة عن دائرة الكترونية لديها القدرة على ترجمة الاشارات الكهربائية القادمة من الحاسب الى احرف ورموز ونصوص يمكن فهمها.

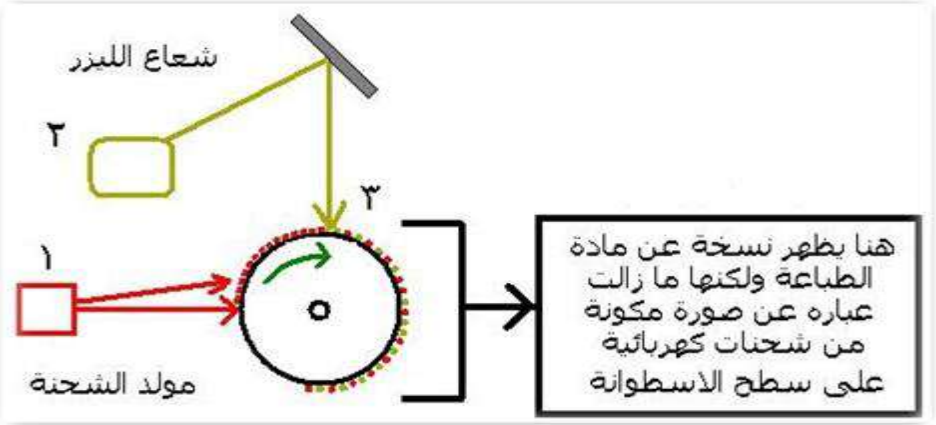
وحتى تتمكن هذه اللوحة من اتمام عملها على اكمل وجه لابد من وجود الية تفاهم بينها وبين الحاسب فيكون دور ملفات التعريف الخاصة بتلك الطابعة ، فالطابعة لا يمكن ان تعمل بالشكل المطلوب دون ان يتم تنصيب مجموعة من الملفات الخاصة بتشغيل برنامجها على نظام التشغيل في الحاسب .

3- في هذه المرحلة يبدأ دور ما يسمى بالـ Corona Wire او سلك التوهج وهو عبارة عن سلك رفيع يتموضع بمحاذاة الاسطوانة الحساسة للضوء ومهمته الاساسية تكمن في اطلاق الضوء الشديد (نتيجة توهجه تماما مثل سلك الضوء الكهربائي) . هذا الضوء الشديد الموجه نحو الاسطوانة الحساسة ينتج عنه شحن الاسطوانة بشحنة سالبة ثابتة القيمة، وهذه الشحنة هي كهرباء ساكنة. وبطبيعة الحال فان لوحة معالجة البيانات هي التي تعطي الايعاز لهذا الشاحن ببدء عملهِ وذلك بمجرد استلامها للبيانات من الحاسب.

4 - بعد ان تتم عملية معالجة البيانات ، ترسل لمولد شعاع الليزر اوامرها لعملية اطلاق الليزر بناءً على ترجمتها للبيانات. ويجب ان لا ننسى ان الاسطوانة قد تم شحنها بالفعل بشحنة سالبة .

ولكن ما الجديد الذي سيضيفه مولد شعاع الليزر؟

العملية بشكل بسيط تعتمد على حساسية سطح الاسطوانة الحساسة للضوء ، فهذا السطح الحساس يعتمد في نوع الشحنة التي سيكوّنها على نوعية الضوء الذي سُلط عليه فأثناء دوران الاسطوانة الحساسة ووصولها للمنطقة التي تم شحنها بالشحنة السالبة من سلك التوهج(Corona Wire) يبدأ شعاع الليزر بضرب بعض المناطق (فالمنطقة التي يضربها من سطح الاسطوانة تتلاشى شحنتها)، فالليزر يضرب مناطق معينة بناءاً على ترجمة البيانات، وبالتالي يشكل ذلك رسما للمادة المطبوعة على شكل مناطق غير مشحونة تمثل نسخة عن البيانات حتى يصبح الامر اكثر بساطة والشكل (7-9) يبين مخطط العملية.



الشكل 7-9 : مخطط لتشكيل حرف على سطح اسطوانة حساسة للضوء

5- وبعد ان تشكلت صورة عن المادة المرسلة من الحاسب، هذه الصورة الالكترونية الكهربائية الساكنة، لابد من الية لتحويل هذه الصورة لحبر بطريقة ما .

6- عرفنا ان الاسطوانة اصبحت تحمل على سطحها نسخة عن مادة الطباعة ، ولكن هذه النسخة عبارة عن شحنات كهربائية ، فالأسطح التي تُعبر عن الخطوط السوداء المراد طباعتها على الورق هي المناطق التي ضَربها شعاع الليزر فأصبحت لا تحمل اية شحنة ، اما تلك المناطق التي لم يضربها شعاع الليزر والتي ستمثل في النهاية الاسطح البيضاء على الورقة بعد تمام عملية الطباعة ، تذكرعزيزي الطالب انها لا زالت تحمل الشحنات السالبة .

نستنتج من ذلك ان الحبر لابد ان ينتقل الى المناطق المعدومة الشحنة على سطح الاسطوانة الحساسة وبعدها الى الورقة.

فكيف يحدث هذا الامر؟

كلنا يعلم انه في حال اقتراب جسمين متشابهين في الشحنة ، سالبين مثلا فأنهما يتنافران ، ولكن ماذا لو كان احد الجسمين يحمل الشحنة السالبة والجسم الاخر متعادل الشحنة ؟ فالجسم المتعادل الشحنة (يحمل الشحنات الموجبة والسالبة بالقيمة نفسها) سيعيد ترتيب شحناته بحيث تنجذب الشحنات الموجبة فيه نحو الجسم الاخر (الشحنة السالبة) ، الامر الذي ينتج عنه في النهايــة تجاذب الجسمين .

ويجب ان تعرف ان الحبر في الطابعة الليزرية ليس حبرا عاديا إذ يتكون من مادة صبغية او كربونية محاطة بدقائق من البلاستيك ويكون مشحونا بشحنة موجبة . وهذا يوضح سبب انجذاب دقائق الحبر نحو الاماكن التي فُقدت شحنتها على سطح الاسطوانة الحساسة.

وان كمية الحبر التي انتقلت جعلت هذه المساحة ذات شحنة سالبة مما يمنع انتقال المزيد من الحبر باتجاه سطح الاسطوانة الحساسة. وكل ما نحتاجه الان هو نقل الحبر من الاسطوانة الى الورقة .

7- نوضح كيفية انتقال الحبر من الاسطوانة الى الورقة ، فالشاحن الخاص بشحن الورقة يقوم بشحنها بشحنة موجبة وهذا امر بديهي لان الحبر الملتصق بالأسطوانة بقوة جذب الكهرباء الساكنة ما زال يحتفظ ببقية الشحنة السالبة لديه ، الامر الذي يجعله ينتقل نحــو الورقة المشــحونة بشــحنة مخالفــه (موجبة) بمجرد اقترابها من الاسطوانة الحساسة للضوء .

8 - هل ان انتقال الحبر بدافع الجذب نتيجة لاختلاف شحنة الورقة عن شحنة دقائق الحبر يكفي لإتمام عملية الطباعة ؟ بالطبع لا . فان ما يحافظ على بقاء جزيئات الحبر على سطح الورقة هو عامل الجذب الكهروستاتيكي ، ولإتمام عملية الطباعة بنجاح فيجب تثبيت الحبر.

9 - فالحبر الخاص بالطابعة الليزرية هو من نوع خاص في تركيبته وخواصه فبالإضافة لكونهِ مشحونا بشحنات سالبة فان دقائق المادة الصبغية محاطة بجزيئات من مادة بلاستيكية . فتتم عملية تسخين بسيطة تجعل جزيئات البلاستيك تنصهر فتلتصق بالورقة مما يعمل على تثبيت المادة الصبغية معها. وهنا يأتي دور وحدة الصهر وهي المرحلة الاخيرة في عملية الطباعة ، هذه العملية مهمة ليس فقط من اجل تثبيت الحبر على الورقة ، بل اهميتها تكمن ايضاً في جودة الطباعة في هذا النوع من الطابعات ، فهذا الانصهار يجعل الطباعة ذات جودة على كل انواع الورق فلا يمكن ان ينساب الحبر عن الورق شديد الصقل ، ولن يؤثر في جودة الطباعة كون الورق شديد الخشونة.

10- ان السبب في نجاح وجودة عملية الطباعة هي الكهرباء الساكنة ، واخيراً يخرج الورق بعد نهاية عملية الطباعة .

ان معالجة الصور في الطابعة الليزرية او الماسح الالكتروني تتم بالاعتماد على احدى اللغات الخاصة بتوصيف الصفات ومن اشهر هذه اللغات هي :-

1) ادوبي Adobe post Script ps
2) لغة الطابعة (HP)PCL Command Language

هل تعلم
ان الفرق بين الطابعة الاعتيادية والليزرية هو ان الطابعة الاعتيادية تحتاج وقتاً اطول على عكس ما يحصل في الطابعة الليزرية.

2-4-7 ملخص عمل الطابعة الليزرية

هناك عدة خطوات تتبع في عمل الطابعة الليزرية وهي كما يلي :-

1- شحن السطح الحساس للضوء على سطح الاسطوانة .
2- المسح بشعاع الليزر.
3- عملية نقل الصورة .
4- عمليـــة التثبيت.

ان جميع هذه الخطوات تتم خلال دورة واحدة فقط للأسطوانة ، وفي كل دورة تتكرر الخطوات السابقة وحسب التسلسل .

والطابعات شائعة الاستعمال تكون على نوعين :-

1. (DPI)1200.
2. (DPI) 2400.
3.

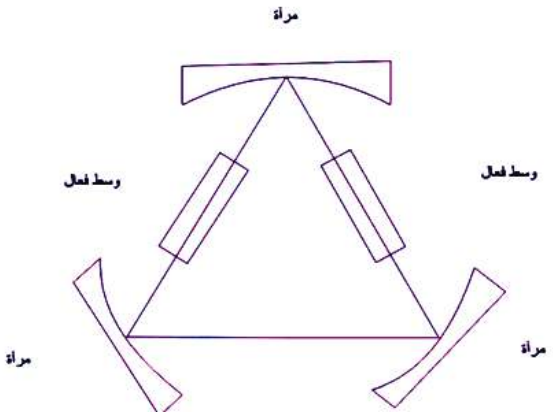
5-7 بعض التطبيقات الاخرى

1-5-7 قياس سرعة الدوران Rotational velocity (Gyroscope)

ان المنظومات التي تتحرك بسرع عالية وبالذات التي تتعرض الى الدوران كما في الطائرات والصواريخ فإنها تحتاج الى بعض اجهزة السيطرة والتوازن ومن هذه المسيطرات جهاز يطلق عليه الجايروسكوب (Gyroscope) والجايروسكوب يكون على نوعيـــن :-

1. الميكانيكي والذي يعمل على حفظ التوازن للمنظومات ســريعة الحركة والمتغيرة الاتجاه .
2. البصري والذي يعتمد مباشرة على الحزمة الليزرية في تحديد سرعة الدوران وإمكانية السيطرة على الحركة .

تتكون منظومة الليزر لقياس سرع الدوران او السيطرة على التوازن من ثلاث مرايا واثنين من الاوساط الفعالة (active medium) وكما موضح في الشكل (7-10) بحيث تدور حزمة الليزر بين هذه المــرايا الثلاث وبالنتيجــة نحصــل على ليـــزر بفــرق فـــي التــردد (frequency shift) (Δp) وهذا الفرق هو دالة للسرعة والدوران واتجاهها .



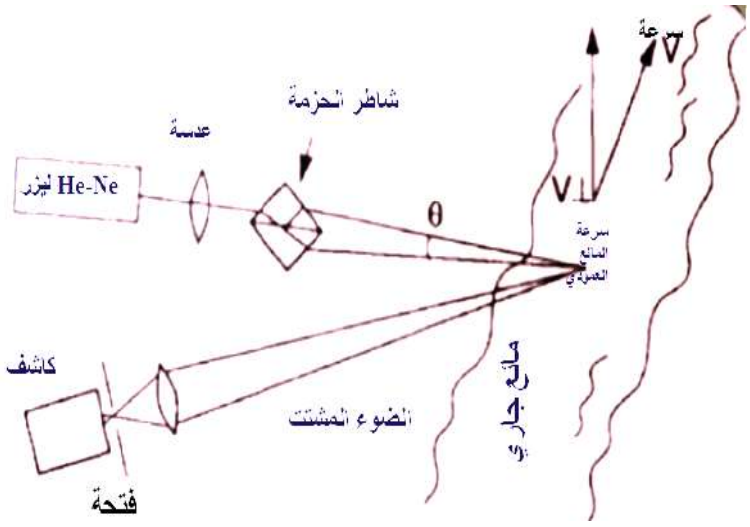
الشكل 7-10 : الاوساط الفعالة وطريقة عملها.

ومن فوائد هذه الطريقة هي :-

1. توجد اجزاء متحركة كما في الجايروسكوب الميكانيكي .
2. الدقة العالية في القياس .
3. امكانية ربط الدوائر الكهربائية للحصول على القرارات المطلوبة .
4. ذات تكاليف رخيصة.

7-5-2 قياس سرعة الموائع Fluid Velocity measurement

لقد امكن استعمال اشعة الليزر في قياس سرعة الموائع المتحركة وذلك بالاعتماد على الفرق في التردد بين الفوتونات المشتتة نتيجة لسقوط حزمة الليزر على المائع المتحرك وفوتونات الحزمة الاصلية . اي ان سرعة المائع تكون دالة للتردد. وان المبدأ المتبع في هذا القياس هو الاعتماد على ازاحه دوبلر Doppler shift بين تردد الحزمة الاصلية وتردد الحزمة المشتتة الواصلة الى منظومة القياس وان مبدأ العمل موضح في الشكل (7-11)



الشكل 7-11 : قياس سرعة الموائع.

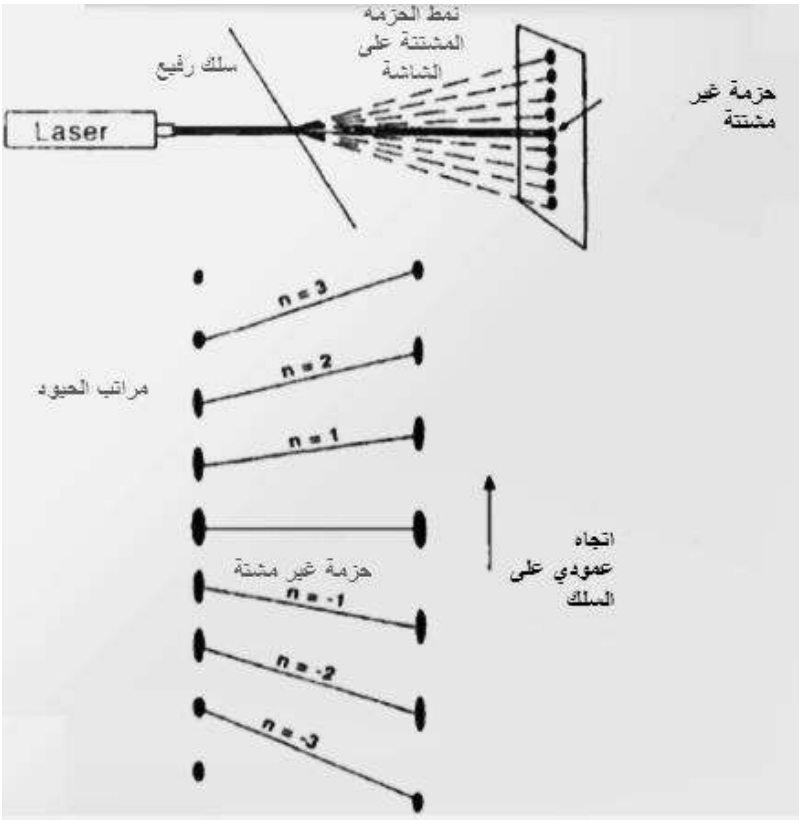
ومن فوائد هذه الطريقة هــي :-

1- عدم الحاجة الى ادخال اي مكون من مكونات منظومة القياس داخل المائع واسقاط حزمة الليزرفقط فبالتالي لا يؤثر على دقة النتائج .

2- الدقة العالية في القياس .

3-5-7 قياس اقطار الاسلاك Wire Diameters Measurement

يعتمد قياس قطر سلك رفيع (كشعرة الانسان) بالليزر على مبدأ الحيود Diffraction وان الحيود هو تشتت اشعة الضوء الساقطة على حافات دقيقة عن مسارها لتشكل اهدابا بعد الحاجز يطلق عليها اهداب الحيود Diffraction Fringes. وان المبدأ المعتمد في قياس اقطار الاسلاك الدقيقة هو مبدأ الحيود نفسه إذ تسقط اشعة الليزر على السلك الذي يعد بمثابة الحاجز (الفتحة او الشق الضيق) فينشا عنه انحراف او حيود حزمة الليزر بعد السلك لتشكل اهدابا على شاشة معينة اعتمادا على مقدار الفتحة او قطر السلك . فعند تسليط حزمة الليزر ذات القطر الصغير على سلك دقيق فان السلك يتصرف كأنه حاجز يعمل على تشتيت الحزمة بعده وينشأ عنها اهداب حيود على شكل نقاط ذات شدة عالية في المركز وبعدها تتناقص الشدة لهذه النقاط بالابتعاد الى اعلى وأسفل والى اليمين واليسار وكما موضح في الشكل (7-12)



الشكل 7-12 : مبدأ قياس اقطار الاسلاك.

ان قطر الفتحة او السلك الدقيق يكون دالة للمسافة بين الاهداب الناتجة وبُعدها عن الهدب المركزي ، وأيضا مع الطول الموجي لحزمة الليزر المستخدم وبُعد الشاشة عن السلك ، إذ يتناسب تناسبا طرديا مع الطول الموجي وحسب العلاقة الآتية :-

$$\sin \theta_n = n\lambda / D \dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-7)$$

اذ ان :-

θ_n : زاوية الحيود للهدب (n=1,2,3,….)

D : قطر السلك

λ : الطول الموجي لحزمة الليزر

ويمكن تحديد قيمة الزاوية (θ_n) اذا عُلم مقدار المسافة (X) بين الشاشة والسلك ، والمسافة (Y) التي تمثل بُعد الهدب (n) عن الهدب المركزي (الحزمة غير المشتتة) وحسب العلاقة الآتية :-

$$\tan \theta_n = \frac{Y}{X} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (2-7)$$

مثـــال 1 :

استعمل ليزر هيليوم – نيون (He-Ne) طوله الموجي (632.8nm) لقياس قطر سلك دقيق وتشَكلت الاهداب على شاشة تبعد مسافة (1.5m) عن السلك بحيث اعتمد الهدب السادس والذي يبعد عن الهدب المركـــزي مسافة مقدارها (20cm) . احسب قطر السلك المقاس، علما بأن ($\sin 7.58^{o}=0.132$)، ($\tan 7.58^{o}=0.133$) .

الحل :

$\lambda = 632.8nm$

$X= 1.5m$

$Y= 20cm$

$n = 6$

لدينا العلاقة :-

$$\tan \theta_n = \frac{Y}{X}$$

وبالتعويض نحصل على :-

$$\tan \theta_6 = \frac{Y}{X} = \frac{20cm}{1.5m} = \frac{20\times10^{-2}m}{1.5m}$$

$$\therefore \tan \theta_6 = 13.33\times 10^{-2} = 0.133$$

ومن منطوق السؤال فان :

$$\theta_6 = 7.58^{0}$$

كذلك لدينا العلاقة :-

$$\sin \theta_n = n\lambda / D$$

$$\therefore D = \frac{n\lambda}{\sin \theta_n} \quad , \quad \therefore D = \frac{6\lambda}{\sin \theta_6}$$

وبالتعويض نحصل على :-

$$D = \frac{6x632.8\ x10^{-9}\ (m)}{\sin(7.58)} = \frac{6\times632.8}{0.132}\ X10^{-9}$$

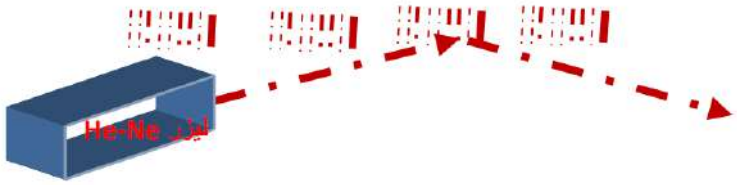
$$\therefore D=28763.6x10^{-9}\ (m)$$

$$\therefore D=29\ (\mu m)$$

وهو قطر السلك

4-5-7 التطبيقات التجارية (التسويقية) (Marketing Applications)

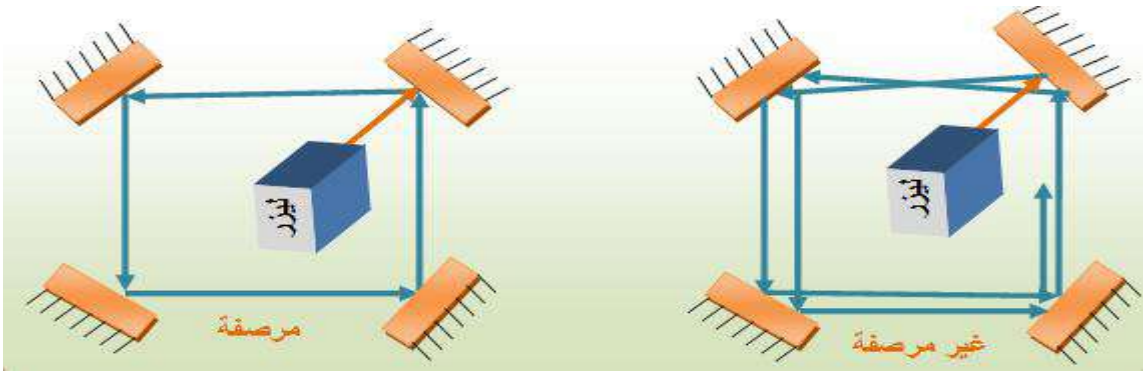
يستعمل الليزر في مجال التسويق من خلال استعمال اقلام ليزرية تقوم بمسح المنتجات والتعرف على شفرة الانتاج المثبتة عليها وهي تقنية سريعة ودقيقة في عمليات العد والتصنيف، والشكل (7-13) يبين مخطط لمسح المنتجات باستعمال الليزر .



الشكل 7-13 : مخططا لمسح المنتجات باستعمال الليزر.

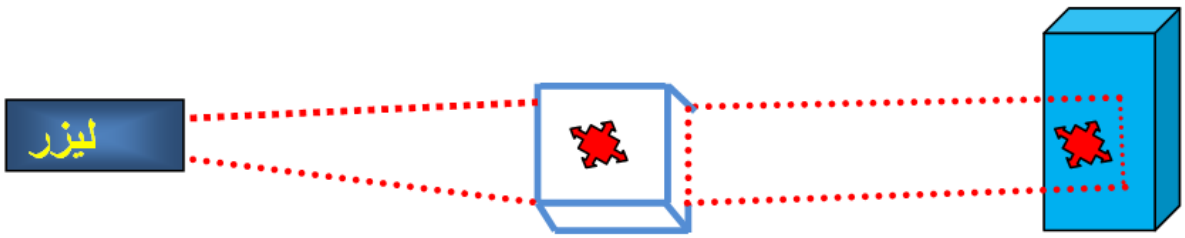
5-5-7 الترصيف البصري وكشف العيوب

يستعمل الليزر في عمليات الترصيف البصري والتي تعني وضع مجموعة من الاشياء على استقامة واحدة كالجسور والطرق والأرصفة ونصب الماكينات والمصانع، والشكل (7-14) عبارة عن مخطط يبين الترصيف البصري .



الشكل 7-14: مخطط يبين الترصيف البصري.

وكذلك يستعمل الليزر في الكشف عن العيوب الموجودة داخل المادة من خلال تسليط الليزر ونقل صورة عن التركيب الداخلي ومعرفة ما اذا كانت هنالك عيوب في التركيب البلوري ام لا . والشكل (7-15) يبين مخطط استعمال الليزر في كشف العيوب داخل المادة .



الشكل 7-15: مخطط يبين استعمال الليزر في كشف العيوب داخل المادة.

6-7 أسئلة وتمارين الفصل السابع

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما ياتي :

1. باستعمال التقنيات الحديثة مثل الليدار يمكن الكشف عن نسب صغيرة جدا من الملوثات تصل الى حد :

a) $m^3/\mu g$.

b) $\mu g/cm^3$.

c) m^3/g.

d) $\mu g/m^3$.

2. ان عملية مد انابيب النفط والغاز ولمسافات بعيدة جدا تعتمد على عنصرين اساســـيين هما:

a) اجراء مسح لاستوائية المنطقة (وضع الخرائط المطلوبة) وعملية لحام الانابيب موقعيا.

b) الفعالية والسرعة .

c) الطول الموجي وطاقة النبضة.

d) القـدرة والتـــردد.

3. لحام انابيب النفط والغاز باستعمال طريقة القوس الكهربائي تكون بشكل :

a) دائـــري.

b) اسطواني.

c) مخروطي.

d) خطـــــي .

4. في الطابعات الليزرية يستعمل ليزر:

a) ثنائي اوكسيد الكاربون.

b) هيليوم – نيون .

c) النيتروجيـــن .

d) اشباه الموصلات الاحمر.

5. من اشهر اللغات المستعملة في توصيف الطابعات الليزرية هي :

a) ادوبي.

b) بيسك .

c) C^{++}.

d) ولا واحدة منها.

6. من محاسن طريقة الليدار هي ذات دقة :

a) عالية في جمع البيانات التقريبية عن التضاريس الارضية ولمسـافات قصيرة جداً.

b) واطئة في جمع البيانات الدقيقة عن التضاريس الارضية ولمسافات قصيرة جـداً.

c) عالية في جمع البيانات الدقيقة عن التضاريس الارضية ولمسـافات بعيدة جـداً.

d) واطئة في جمع البيانات التقريبية عن التضاريس الارضية ولمسافات قصيرة جداً.

7. ان حبر الطابعة الليزرية يتكون من مادة صبغية محاطة بجزيئات من مادة بلاستيكية ويتم تثبيته على الورقة بعملية :

a) لصق بمواد صمغية.

b) تسخين بسيطة تجعل جزيئات البلاستك تنصهر فتلتصق بالورقة.

c) تصليد.

d) ولا واحدة منها.

8. تتكون منظومة الليزر لقياس سرع الدوران او السيطرة على التوازن من :

a) ثلاثة اوساط فعالة ومرآتين.

b) وسـطين فعالين ومرآتين.

c) ثلاث مرايا واثنين من الاوساط الفعالة.

d) ثلاث مرايا وثلاثة اوساط فعالة.

9. قياس سرعة الموائع المتحركة باستعمال اشعة الليزر يعتمد على :

a) ثابـت بلانك.

b) ازاحة دوبلـر.

c) قانون لامبرت.

d) ولا واحدة منها.

10. يعتمد قياس قطر سلك رفيع (كشعرة الانسان) بالليزر على :

a) ازاحـة دوبلر.

b) قانون لامبرت.

c) مبدأ الحيـود .

d) مبدأ التداخـل .

11. من الغازات الخطرة التي تلوث الهواء هو غاز :

a) الاوكسجين.

b) النيتروجين.

c) اول اوكسيد الكربون.

d) ولا واحدة منها.

12. تعتمد طريقة اللحام بالقوس الكهربائي على :

a) قانون ماكســـويل.

b) قانون بلانك.

c) التفريغ الكهربائي.

d) ولا واحـــدة منها.

13. ان قطر السلك الدقيق المقاس بالليزر يتناسب تناسبا:

a) طرديا مع طول موجة الليزر.

b) عكسيا مع طول موجة الليزر.

c) طرديا مع مربع طول موجة الليزر.

d) عكسيا مع مربع طول موجة الليزر.

14. يستعمل الليزر في الكشف عن العيوب الموجودة داخل المادة من خلال تسليط الليزر و:

a) نقل الصوت من داخل المادة.

b) نقل صورة عن التركيب الداخلي .

c) رفع جزء من المادة.

d) ولا واحدة منها.

س2 : ماهي المتغيرات التي يعتمد عليها تركيز الملوثات في موقع معين ؟

س3 : وفقا لاي مبدأ يعتمد الكشف عن الملوثات باستعمال الليزر ؟ وكيف ؟

س4 : اذكر التطبيقات المحددة لليدار .

س5 : وضح مبدأ قياس التلوث الذي يعتمد على مبدأ دوبلر.

س6 : عدد بعض محاسن طريقة الليدار .

س7 : ما خطوات عمل الطابعة الليزرية ؟

س8 : ما دور الليزر في الطابعة الليزرية ؟

س9 : ما الجيروسكوب ؟ وما هما نوعيه ؟

س10 : بين كيف يمكن قياس سرعة الموائع المتحركة باستعمال الليزر اعتمادا على مبدأ ازاحة دوبلر.

س11 : عرف الحيود . ثم بين كيف يمكن الاعتماد على مبدأ الحيود في قياس اقطار الاسلاك الدقيقة باستعمال الليزر ؟

س12 : لقياس قطر سلك، استعمل ليزر هيليوم – نيون ذا الطول الموجي (632.8 nm) فتكونت اهداب الحيود على شاشة تبعد مسافة (2 m) عن السلك ،ولأجل القياس اعتمد الهدب الرابع الذي يبعد عن الهدب المركزي مسافة مقدارها (10 cm) . ما مقدار قطر السلك؟ علما بان $(\tan 2.86^{o}=0.05)$ ، $(\sin 2.86^{o}=0.05)$.

الفصل الثامن

السلامة عند التعامل مع الليزر

SAFETY WHEN DEALING WITH LASER

أهداف الفصل الثامن

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على أن:

- يصنف أنواع الليزرات
- يعدد انواع المخاطر
- يشرح متطلبات وتوصيات السلامة العامة
- يوضح مسيطرات اضافية للصنفين الاول والثاني
- يشرح المسيطرات الاضافية للصنفين الثالث والرابع
- يعرف المسؤولية والإشراف
- يحدد مسؤولية مشغلي الليز
- يوضح ضرورة تأهيل وتدريب المشغلين

1-8 تمهيد

ان اغلب انواع الليزرات تسبب الاذى للعين اذا تم التعرض اليها بصورة مباشرة او التعرض لانعكاساتها وخصوصا ذات الطاقة العالية اذ تسبب ضرراً دائماً لها. وكذلك بالنسبة لحزمة الليزر ذات الطاقة العالية يمكن ان تؤدي الى حرق جلد الانسان .

وتؤدي اشعة الليزر الى حرق المواد القابلة للاشتعال الموجودة داخل المختبر وان زيادة فعالية المواد الكيماوية السامة تؤدي الى انبعاث ابخرة وغازات وإشعاعات خطرة مما لها التأثير الكبير والخطر على حياة العاملين .

وهناك نوع اخر من المخاطر الناتجة عن تشغيل منظومات الليزر وخصوصا مجهزات القدرة التي تستعمل لتشغيل منظومات الليزر ذات الطاقة والفولطية العالية ، الضغط العالي ، الضوضاء ، الاشعاع ، درجات الحرارة والغازات السامة ، ولأجل تجنب المخاطر الناتجة عند التعامل مع منظومات الليزر يجب الرجوع الى ارشادات وتعليمات وإجراءات معينة من حيث تصنيف درجة خطورة منظومات الليزر. وكذلك الانتباه الى العلامات والإرشادات التحذيرية التي توضع على المنظومات وحسب مواصفات قياسية عالمية .

2-8 تصنيف الليزرات LASERS CLASSIFICATION

عادة تصنف الليزرات وحسب درجة خطورتها ومواصفاتها الى اربعة اصناف رئيسة هي :-

الصنف الاول (Class 1)

ويشمل هذا الصنف الليزرات ذات القدرة الواطئة ، حيث ان هذه المنظومات لايمكن ان تبعث مستويات اشعاعية اكبر من الحد المسموح الاعلى للتعرض MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURE (MPE) ان هذا النوع من الليزرات لا يسبب ضررا كبيرا للعين حيث يتم وضع علامات ارشادية تحدد هذا الصنف على منظومات الليزر وكما مبين في الشكل (8-1)

الشكل 8-1 : العلامة الارشادية (تحذير) التي توضح الصنف الاول (1).

الصنف الثاني (Class 2)

يشمل هذا الصنف الليزرات ذات القدرة الواطئة المرئية ، حيث لا تسبب ضرراً كبيراً للعين الاّ عند التعرض بشكل مباشر ولفترة زمنية تتجاوز حوالي (1000)s . ويتم وضع علامات ارشادية لهذا الصنف على منظومات الليزر وكما موضح في الشكل (8-2)

الشكل 8-2 : العلامة الارشادية (تحذير) التي توضح الصنف الثاني (2).

الصنف الثالث (CLASS3)

يشمل هذا الصنف ليزرات القدرة المتوسطة ، حيث ان هذا النوع من منظومات الليزر لها القدرة والقابلية على إحداث الضرر للعين ولفترة تعرض زمنية قصيرة اقل من حوالي (0.25s) للتعرض المباشر او المنعكس وينقسم هذا الصنف الى قسمين :-

أ- صنف (3R او 3A او 3a)

ان هذا الصنف عادة لا يسبب المخاطر الكبيرة بالتشغيل الاعتيادي عند تعرض العين للإشعاع لفترة زمنية قصيرة جدا، ولكن تزداد المخاطر اذا تم النظر لحزمة الليزر باستعمال المكونات البصرية المركزة للأشعة كالعدسات او المرايا والشكل (8-3) يوضح العلامات الارشادية لهذا الصنف والتي توضع على منظومات الليزر .

الشكل 8-3 : العلامات الارشادية (تحذير) التي توضح الصنف الثالث (3a،3R)

ب- صنف (3B او 3b)

يشمل هذا الصنف الليزرات ذات الطاقات والقدرة المتوسطة التي تسبب ضرراً ومخاطراً للعين اذا تم النظر الى الحزمة بشكل مباشر او حتى لانعكاساتها. والشكل (4-8) يوضح العلامات الارشادية التي تحدد هذا الصنف والتي توضع على منظومات الليزر.

الشكل 8-4 : العلامات الارشادية (تحذير) التي توضح الصنف (3B, 3b) والتي توضع على منظومات الليزر.

الصنف الرابع (Class 4)

يشمل هذا الصنف الليزرات ذات القدرات والطاقات العالية والتي تسبب ضررا دائماً للعين عند التعرض المباشر للأشعة ولفترة زمنية قصيرة اقل من حوالي (0.25 s)، وكذلك عند التعرض للأشعة المنعكسة او المشتتة عن السطوح العاكسة، وهذا الصنف من الليزرات يكون ضرره ليس على العين فقط بل يؤدي الى حرق الجلد والشكل (8-5) يوضح العلامات الارشادية والتي توضع على منظومات الليزر الصنف الرابع (4) .

الشكل 8-5 : العلامات الارشادية (تحذير) التي توضح الصنف الرابع..

وبشكل عام يتم وضع علامات تحذيرية عامة غير محددة لصنف معين على منظومات الليزر تحذر من النظر بشكل مباشر للأشعة وانعكاساتها والتي توضع من قبل الشركة المصنعة ، او التي يتم وضعها من قبل المشرف على المختبر. والشكل (6-8) يوضح هذه العلامة.

الشكل 6-8 : علامة ارشادية (تحذير) من اشعة الليزر.

العلامة المبينة في اعلاه تعني ان المكان فيه جهاز ليزر لذلك يجب اخذ الاحتياطات اللازمة لغرض السلامة والأمان عند العمل في هذا المكان .

3-8 انواع المخاطر Hazards types

تقسم مصادر الخطر في مختبرات الليزر بصورة عامة الى ما يأتي :-

اولا:- مخاطر الاشعاع (RADIATION HAZARDS)

1. تأثير الاشعاع على العين في جميع انواع الليزرات يسبب تلف القرنية او تلف الشبكية مما قد يحدث عمى دائمي . ومن الجدير بالذكر بان الاطوال الموجية الاقصر هي الاكثر ضررا .
2. تأثير الاشعاع على الجلد وخاصةً ليزرات (KrF, $Nd:YAG$, CO_2) يكون قوياً اما الليزرات المرئية (VISIBLE) فيكون تأثيرها عادة اقل اذا كانت قدرتها قليلة مثل ليـــزر He-Ne وليزر اشباه الموصلات التجــاري .

ثانيا:- المخاطر الكهربائية (ELECTRICAL POWER HAZARDS)

1. تأثير القدرة الكهربائية العالية من مجهز القدرة (POWER SUPPLY).
2. الصعقة الكهربائية من نقاط التوصيلات والقابلوات .
3. المتسعات الكهربائية في مجهزات القدرة الكهربائية عموما.

ثالثا:- مخاطرالانفجار(EXPLOSION HAZARDS)

1. انفجار المصابيح الوميضية في ليزرات الحالة الصلبة او الســــــــائلة .
2. المحاليل الكيماوية في ليزرات الحالة السائلة او الليزرات الكيماوية .

رابعا:- مخاطر التسمم (POISONING HAZARDS)

1. المواد المذابة او المذيبة في ليزرات الحالة السائلة مثل (ليزر R6G وليزر RB).
2. الابخرة الناتجة من الليزرات الكيماوية مثل (ليزر HF وليزر DF) وليزرات بخار المعدن مثل (ليزر بخار النحاس وليزر بخار الرصاص) وخاصة غاز اول اوكسيد الكربون السام.

خامسا:- مخاطر الحريق (FIRE HAZARDS)

ان هذه المخاطر يمكن ان تنتج عن اشتعال المواد الكيماوية المستعملة كوسط فعال لبعض انواع الليزرات مثل (ليزر الاكسايمر EXCIMER LASER)، وكذلك الحريق الناتج عن اشتعال بعض موجودات المختبر عند تعرضها لحزمة الليزر ذي القدرة العالية كما هو الحال عند تشغيل منظومات ليزر ثنائي اوكسيد الكربون المستمر (CW CO_2 LASER) ضمن مدى الاطوال الموجية تحت الحمراء (IR) .

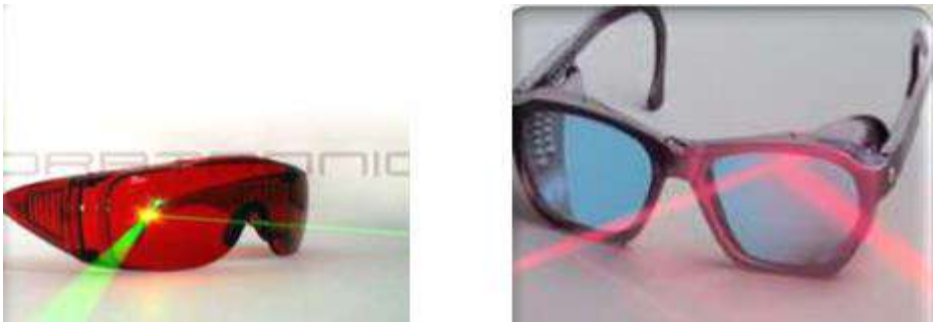
4-8 متطلبات وتوصيات السلامة العامة

General Safety Recommendations and Requirements

ان متطلبات وتوصيات السلامة العامة تتضمن ثلاثة اجراءات اساسية وهي :-

اولا:- حمايـة العيـن Eye protection

ان من واجبات الشخص المسؤول عن مختبر الليزر توفير السلامة والأمان في المختبر، واهم هذه المتطلبات هو توفير واقيات العين (النظارات الواقية) ، والتي تختلف حسب اختلاف منظومة الليزر الموجودة داخل المختبر، ويجب ان تتوفر هذه النظارات بشكل دائمي داخل المختبر وخارجـه (بالنسبة للذين يدخلون المختبر اثناء تشغيل منظومة الليزر) وليس فقط للعاملين ، مع توفير دليل مطبوع حول كيفية وقاية العين من اشعة الليزر ، اذ يبين الدليل الاجراءات المطلوبة عند حدوث اي تعرض ضار. وهناك انواع عدة من واقيات العين (النظارات) والتي تتناسب مع الطول الموجي المنبعث والشكل (8-7) يبين بعض من واقيات العين ضد الليزر.



الشكل 8-7 : نظارات العين الواقية.

ثانيا:- مستوى القدرة POWER LEVEL

في هذه الحالة يجب تحديد او توضيح ادنى مستوى لطاقة الليزر المنبعثة او مستوى القدرة المطلوب الذي يستعمل للتطبيق المعين المطلوب .

ثالثا:- السيطرة على حزمة الليزر BEAM CONTROL:.

لتقليل او تجنب تعرض العين للأشعة المباشرة يجب اتباع الارشادات الآتية:-

1. عدم التعرض المباشر للأشعة او الانعكاس البراق لحزمة الليزر.
2. وضع حاجز لإيقاف حزمة الليزر في الموقع بعد اتمام التجربة او التطبيق .
3. تحديد مسار حزمة الليزر في موقع خارج مستوى النظر في حالتي الوقوف والجلوس .
4. تحديد موقع منظومة الليزر بحيث لا يكون مساره باتجاه باب المختبر مثلا.
5. تقليل الانعكاسات البراقة وذلك باستعمال ستائر سوداء.
6. وضع منظومة الليزر على المنضدة البصرية بحيث تكون مستقرة تماما والحزمة ثابتة الاتجاه والوضع .
7. حصر خطورة الحُزم الرئيسة وانعكاساتها ضمن مجال المنضدة البصرية.
8. تحديد مسارات الاشعة بشكل واضح بحيث لا تحصل تقاطعات .
9. في حالة عدم امكانية قطع حزم الليزر وحجزها يجب ان يكون مسارها خارج مستوى النظر وقوفا او جلوسا. والشكل (8-8) يبين اجراءات السيطرة على حزمة الليزر .

الشكل 8-8 : اجراءات السيطرة على حزمة الليزر.

5-8 مسيطرات اضافية للصنفين الاول والثاني

العلامات تحذيرية Warning Signs

في هذا الصدد يجب مراعاة الآتي :-

1. يجب وضع علامات تحذيرية على شكل عبارات واضحة تنبه مُشـــغلي منظومات الليزر عن مدى الخطورة حتى وان كانت الليزرات المستعملة هي ذات قدرة واطئة والشكل (8-9) يبين احـدى العلامات التحذيرية من اشعة الليزر .

الشكل 8-9 : احدى العلامات الارشادية للتحذير من اشعة الليزر

2. اذا لم يتم تجهيز المنظومة بالعلامة او العبارة التحذيرية المناسبة من قبل الشركة المصنعة فيجب ان توضع من قبل المشرف على المختبر.
3. يجب وضع دليل مطبوع ومبسط لتوجيه مشغلي منظومة الليزر.

6-8 مسيطرات اضافية للصنفين الثالث والرابع

عند التعامل مع الصنفين الثالث والرابع فانه يجب اتباع اجراءات وإرشادات اضافية بسبب زيادة القدرة والطاقة الى مستويات طاقة عالية جدا والتي قد تؤدي الى اضرار عالية وبذلك يجب ان يراعى الآتي :-

اولا : - اجراءات تشغيل قياسية Standard Operating Procedures (SOP)

ان الصنفين الثالث والرابع يتطلبان توفير اجراءات تشغيل محددة ومعروفة من قبل المشرف على المختبر وبشكل واضح داخل المختبر . وتتضمن هذه الاجراءات والمتطلبات ما يأتي :-

1) استعمال واقيات العين .
2) وضع حواجز عند استعمال اثنين او اكثر من الصنفين الثالث والرابع مع وضع قواطع كهربائية.
3) يجب وضع مفاتيح خاصة على ابواب المختبرات بحيث تتم السيطرة على تشغيل او قطع مجهزات القدرة لمنظومات الليزر.
4) وضع العلامات التحذيرية.
5) وضــع علامات التصنيف.

ثانيا :-اجهزة تحذير Warning Devices

يجب وضع اجهزة تحذير كان تكون مثلا مصابيح تحذيرية خارج المختبر تضاء عند الدخول الى المختبر وعند تشغيل منظومات الليزر، او عبارات تحذيرية مضاءة متقطعة تعمل عند الدخول الى المختبر وغلق الابواب اضافة الى المفاتيح الخاصة الموضوعة على الابواب وغالبا ما تكون الاضاءة التحذيرية بلون احمر ، والشكل (8-10) يبين بعض من هذه الاجهزة المستعملة .

الشكل 8-10 : اجهزة تحذيرية من اشعة الليزر

ثالثا :- مشابك الامان Safety Interlocks

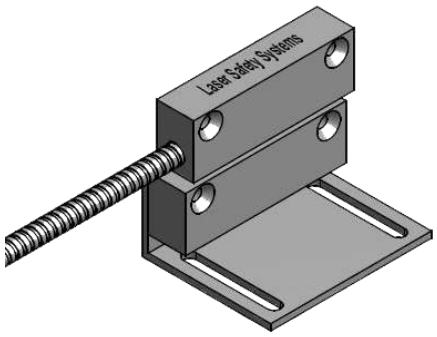
وهي مشابك تعمل عمل مفاتيح التوصيل الكهربائي والقطع وتوضع عند حافات الابواب او الستائر السوداء فعند غلق باب المختبر تعمل على توصيل الدائرة الكهربائية المرتبطة مع مجهز القدرة ، وتتم عملية تشغيل منظومة الليزر وفي حالة فتح الباب فإنها سوف تقطع الدائرة الكهربائية ويتوقف عمل الليزر. وأيضا يمكن وضع مثل هذه المشابك في مجهزات القدرة او منظومات التبريـد كافة (خصوصا في ليزرات القدرة العالية المستمرة) ذات الفولطية والضغط العالي . فعند فتح باب مجهز القدرة تفصل الدائرة الكهربائية ويتوقف عمل مجهز القدرة وبالتالي يتوقف عمل الليزر.

ولكن اين يمكن ان تستعمل مشابك الامان ؟

يمكن استعمال مشابك الامان عند :-

1) ابواب المختبر.
2) مجهزات القدرة (خصوصا ليزرات القدرة العالية).
3) منظومات التبريد الخاصة بليزرات القدرة العالية.
4) الستائر السوداء (حيث تفصل هذه المشابك ويتوقف عمل الليزر في حالة فتح السِتارة).

ومن الجدير بالذكر انه يجب وضع علامات او ارشادات اختبار مشابك الامان دوريا وكذلك يسجل تاريخ الفحص . والشكل (8-11) يبين بعض مشابك الامان المستعملة في مختبرات الليزر.



الشكل 8-11 : مشابك الامان.

رابعا :- الاقفال المشفرة Coded Locks

احدى وسائل الامان والسلامة الاضافية هي السيطرة على اقفال ابواب المختبر بحيث لا يمكن فتحها اثناء تشغيل منظومة الليزر ومن هذه الوسائل استعمال اقفال ذات شفرات خاصة او شفرات رقمية (DIGITAL CODED) كالتي توضع في الخزائن الحديدية بحيث يتم تُعريف شفرة الاقفال والشكل (8-12) يبين انموذجاً لقفل مشفر.

الشكل 8-12 : قفــل مشــفر.

خامسـا:-اجهزة التحذير الصوتية Alarms or voice warning

وهي اجهزة تحذير وتنبيه تضاف الى الاجهزة الاخرى زيادة في الامان ، ويتم استعمال سماعة معينة خارج المختبر او منبه صوتي يتكرر بشكل دوري طالما تكون منظومة الليزر في حالة اشتغال، فعند اخفاق مشابك الامان عن العمل فسوف تطلق صفارة وتنبيه معين يحذر من دخول المختبر الا في حالة اخذ تحوطات السلامة والأمان مثل لبس النظارات الواقية او واقي الوجه.

سادسا :- مخرج الطوارئ Emergency exits

تصمم مختبرات الليزر بحيث تسمح بالدخول والخروج منها بشكل انسيابي وسهل وخصوصا في حالات الطوارئ ، بحيث تزود بأبواب ومنافذ للخروج في الحالات الطارئة ، مع تزويدها بالعلامات والإرشادات الضوئية لتحديد مسارات الخروج من المختبرات وممراتها الخاصة. والشكل (8-13) يبين علامات مخارج الطوارئ .

الشكل 8-13 : علامــة مخــرج الطــوارئ.

8-7 المسؤولية والإشراف Responsibility and Supervision

لتوفير السلامة والأمان عند التعامل مع اجهزة الليزر يجب اتباع التعليمات من خلال ما يأتي :-

1) تواجد المشرف المباشر داخل المختبر.
2) توفير متطلبات وتوصيات الســـــلامة.
3) تعيين مشغلي منظومات الليزر من المتدربين وأصحاب الكفاءة.
4) تصنيف ووضع العلامات الضرورية لأجهزة الليزر.
5) التأكد من صلاحية واقيات العين .
6) تدريب الاشخاص العاملين في المختبر على اجراءات السلامة والامان.

8-7-1 مسؤولية مشغلي الليزر Laser Operators Responsibility

ان مسؤولية مشغلي منظومات الليزر تتلخص بما يلي :-

1. اتباع ارشادات مشرف المختبر وإتباع الارشادات والإجراءات الخاصة بالترصيف القياسية STANDARD ALIGNMENTS
2. اتباع اجراءات السلامة بما في ذلك تحديد مواقع سقوط الاشعة او التعرض.
3. المشاركة في الدورات التدريبية والتأهيلية.

8-7-2 تاهيل وتدريب المشغلين Operators Training and Qualification

1. التشـــــغيل

يفترض ان يكون التشغيل مسموحاً فقط للشخص المؤهل والمتدرب في تشغيل منظومة الليزر المطلوبة.

2. اجراءات ومتطلبات قبل التشغيل

قبل البدء بتشغيل منظومة الليزر للصنفين الثالث (3) والرابع (4) فان المشغل يجب ان :-

أ- يراجع برنامج السلامة.

ب- يتسلم اجراءات السلامة من مشرف المختبر.

ت- يراجع تعليمات التشغيل والسلامة من الجهة المعنية.

8-8 أسئلة الفصل الثامن

س1 : اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي :

1. الصنف الثاني (CLASS 2) من الليزرات لا يسبب ضررا كبيرا للعين الا اذا تعرض بشكل مباشر ولفترة زمنية :

a) اقل من 1s.

b) 2s.

c) تتجاوز حوالي 1000 s .

d) 1.5s.

2. الصنف الثالث (CLASS 3) من الليزرات يشمل ليزرات ذات القدرة :

a) الواطئــة .

b) العاليـــة .

c) المتوسطة.

d) ولا واحدة منها.

3. تقسم ليزرات الصنف الثالث (CLASS 3) الى :

a) اربعة اقسام ، الاصناف 3a، 3b، 3C،3d.

b) قسمين ، صنف 3a وصنف 3b

c) ثلاثة اقسام ،الاصناف 3C , 3b , 3a.

d) قسم واحد ،3a.

4. الصنف الرابع (CLASS 4) من الليزرات يشمل ليزرات ذات القدرة :

a) الواطئــة.

b) المتوسطة.

c) العاليـــة.

d) ولا واحدة منها.

5. لتقليل او تجنب تعرض العين للأشعة المباشرة يجب اتباع الارشادات الآتية:

a) عدم التعرض المباشر للأشعة او الانعكاس البراق لحزمة الليزر .

b) تقليل الانعكاسات البراقة وذلك باستعمال ستائر سوداء.

c) تحديد مسار حزمة الليزر في موقع خارج مستوى النظر في حالتي الوقوف والجلوس.

d) كل الاحتمالات السابقة.

6. ان من اهم شروط السلامة والأمان في مختبرات الليزر هي :

a) العمل نهارا فقط.

b) واقيات العين (النظارات).

c) العمل ليلا فقط.

d) ولا واحدة منها.

7. عادة تصنف الليزرات وحسب درجة خطورتها ومواصفاتها الى اصناف رئيسة عددها:

a) سبعون.

b) اربعة.

c) ثمانون.

d) ستون.

8. الصنف الاول من الليزرات (CLASS 1) يشمل ليزرات ذات قدرة :

a) متوسطة.

b) عاليـــة.

c) واطئـــة.

d) ولا واحدة منها.

9. ان الليزرات التي لا تسبب اي ضررٍ للعين عند النظر مباشرة الى اشعتها لفترة زمنية طويلة هي من الصنف :

a) الرابع (4).

b) الثالث صنف (3a) .

c) الثالث صنف (3b).

d) ولا واحدة منها.

10. ان منظومات الليزر التي لا يمكن ان تبعث مستويات اشعاعية اكبر من الحد المسموح الاعلى للتعرض هي من الصنف:

a) الرابع.

b) الثالث.

c) الثاني.

d) الاول.

e)

11. من مصادر الخطر فـــي مختبرات الليزر هي (الابخرة الناتجة من الليزرات الكيماوية مثل ليزر HF) ومصدر الخطر هذا يقع ضمن مخاطر:

a) الاشـــعاع.

b) الكهربائية.

c) الانفجـــار.

d) التســـمم.

12. من مصادر الخطر في مختبرات الليزر هي (تأثير القدرة الكهربائية العالية من مجهز القدرة) ومصدر الخطر هذا يقع ضمن مخاطر:

a) الاشـــعاع.

b) الكهربائية.

c) التســـمم.

d) ولا واحدة منها.

13. في ليزرات الصنف الثالث (CLASS 3) قسم (3a):

a) تزداد المخاطر اذا تم النظر لحزمة الليزر باستعمال المكونات البصرية المركزة للأشعة كالعدسات او المرايا .

b) تقل المخاطر اذا تم النظر لحزمة الليزر باستعمال المكونات البصرية المركزة للأشعة كالعدسات او المرايا .

c) لا يوجد هناك اي مخاطر اذا تم النظر لحزمة الليزر باستعمال المكونات البصرية المركزة للأشعة كالعدسات او المرايا .

d) ولا واحدة منها .

14. عند وضع اجهزة تحذير كان تكون مصابيح تحذيرية خارج مختبر الليزر ،غالباً ما تكون الاضاءة التحذيرية بلون :

a) اخضـر.

b) ازرق.

c) بنفسجي.

d) احمـــر.

15. تصمم مختبرات الليزر بحيث :

a) لا تسمح بالدخول والخروج منها بشكل انسيابي وسهل .

b) تسمح بالدخول والخروج منها بشكل غير انسيابي وغير سهل.

c) تسمح بالدخول والخروج منها بشكل انسيابي وسهل .

d) ولا واحدة منها .

س2 : ما هي درجة خطورة الصنف الرابع (CLASS 4) من اصناف الليزرات.

س3 : ما مدى تأثير الصنف الاول من الليزرات على عين الانسان ؟ وما نوع العلامات الارشادية التي توضع على منظومات هذا الصنف ؟

س4 : ما هي الارشادات التي يجب اتباعها لتقليل او تجنب تعرض العين المباشر لأشعة الليزر ؟

س5 : عند التعامل مع صنفي الليزر الثالث والرابع يجب اتباع ارشادات اضافية . ما هي هذه الارشادات؟

س6 : بماذا تعرف مشابك الامان ؟ وأين تستعمل ؟

س7 : ما هي مسؤولية مشغلي منظومات الليزر ؟

الفهرست

الموضوع	الصفحة
المقدمة	2
الفصل الاول (معلمات حزمة الليزر والمادة)	3
1-1 تمهيد	4
1-2 معلمات حزمة الليزر	4
1-3 معلمات المادة	17
1-4 اسئلة وتمارين الفصل الاول	25
الفصل الثاني (تفاعل الليزر مع المادة)	30
2-1 تمهيد	31
2-2 الخصائص البصرية للمادة	31
2-3 تصنيف المواد	34
2-4 التسخين	35
2-5 الانصهار	37
2-6 التبخير	39
2-7 تكوين البلازما	40
2-8 الاستئصال	42
2-9 فوائد ومساوئ استعمال الليزر	43
2-10 اسئلة وتمارين الفصل الثاني	45
الفصل الثالث (التطبيقات الصناعية لليزر)	49
3-1 تمهيد	50
3-2 العوامل المؤثرة على الليزر في التطبيقات الصناعية	50
3-3 التصليد	55
3-4 اللحام	61
3-5 التثقيب والقطع	64

6-3 لحام الالواح الالكترونية	69
7-3 اسئلة وتمارين الفصل الثالث	70
الفصل الرابع (الاتصالات البصرية)	74
1-4 تمهيد	75
2-4 استعمال اشعة الليزر في الاتصالات	75
3-4 الالياف البصرية	77
4-4 شروط اختيار المصدر الضوئي (الليزر) في منظومة الاتصالات البصرية	88
5-4 انتقال شعاع الليزر داخل الليف البصري	88
6-4 مزايا استعمال الالياف البصرية	89
7-4 اجزاء منظومة الاتصالات بالألياف البصرية	90
8-4 اسئلة وتمارين الفصل الرابع	93
الفصل الخامس (تطبيقات الليزر الطبية والبيولوجية)	97
1-5 تمهيد	98
2-5 مميزات اشعة الليزر الاساسية في الطب	99
3-5 علاج العين بالليزر	99
4-5 بعض انواع الليزرات المستعملة في علاج العيون	104
5-5 الليزر في طب الاسنان	105
6-5 الليزر في الجراحة	107
7-5 الاستطبابات الليزرية في الجراحة	109
8-5 انواع الليزرات المستعملة في التطبيقات الطبية	111
9-5 اسئلة وتمارين الفصل الخامس	115
الفصل السادس (التطبيقات العسكرية لليزر)	119
1-6 تمهيد	120
2-6 مقدرات المدى الليزرية	121
3-6 التأثيرات الجوية على انتقال حزمة الليزر بالجو	126
4-6 الرادار الليزري	129

5-6 التعقب بالليزر (التوجيه)	141
6-6 اسئلة وتمارين الفصل السادس	146
الفصل السابع (تطبيقات الليزر العلمية والبيئية)	150
1-7 تمهيد	151
2-7 منظومة الليزر لقياس تلوث الهواء	151
3-7 مد انابيب النفط والغاز باستعمال الليزر	153
4-7 الطابعات الليزرية والماسح الضوئي	157
5-7 بعض التطبيقات الاخرى	162
6-7 اسئلة وتمارين الفصل السابع	168
الفصل الثامن (السلامة عند التعامل مع الليزر)	172
1-8 تمهيد	173
2-8 تصنيف الليزرات	173
3-8 انواع المخاطر	176
4-8 متطلبات وتوصيات السلامة العامة	177
5-8 مسيطرات اضافية للصنفين الاول والثاني	179
6-8 مسيطرات اضافية للصنفين الثالث والرابع	180
7-8 المسؤولية والإشراف	183
8-8 اسئلة الفصل الثامن	185
الفهرست	189

تم بعونه تعالی