مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية
المجلد ٤ - العدد ٣ من ٦١ إلى ٨٤

ذي القعدة ١٤٠١هـ
ايلول ١٩٨١م

- بعض تطبيقات الليزر -

الدكتور ابراهيم بلال
كلية العلوم

سنشرح في هذا المقال بعض تطبيقات الليزر في مجالات عديدة مثل اجهزة القياس والاتصالات والصناعة والالكترونات والطب . وسنجد ان الليزر لم يترك مجالاً الا ودخله . كما سنرى ان الليزر ساهم مساهمة فعالة في تطوير العلوم وأدى استخدامه في مجالات عديدة الى خلق تكنولوجيا حديثة متطورة لم تكن معروفة سابقاً . وهذه التكنولوجيا اوجدت اجهزة جديدة تستطيع ان تلبي حاجات الانسان في مجالات شتى بصورة ادق وأسرع مما سبق .

ان اهمية الليزر تبدو جلية والدليل على ذلك كثرة التطبيقات في هذا المجال . ولعل التطبيقات العسكرية هي أكثرها وضوحاً ، من هنا تأتي أهمية الحصول على انواع جديدة من الليزر وبخاصة الليزرات ذات الطاقات العالية .

يقع الاشعاع الناتج عن الليزر في المجال الطيفي $0.3 - 10\mu m$. كما يمكن ان يظهر على شكل نبضات قصيرة لا تتجاوز عدة أجزاء من النانوثانية . ولكن في الاغلب يكون على شكل نبضات لها عرض يقع في المجال $0.01 - 10ms$. ويمكن ان تكون استطاعة الليزر في حدود $10^{10}w$ ولكن الجمل الليزرية المألوفة تعطي استطاعة بحدود $10MW$. كما ان هناك ليزرات تنتج ضوءاً مستمراً ذا استطاعة بحدود $1Kw$ (وذا طول موجي قدره $10\mu m$) أو $100W$ (في الطول الموجي $0.5\mu m$) . فالاشعاع الليزري يصدر بطاقات مختلفة وبأطوال موجية مختلفة وذلك بحسب الجملة الليزرية المستعملة ، كأن تكون الجملة غازية او نصف ناقلة او صلبة او سائلة .كما سنرى في فقرة لاحقة .

يمتاز الليزر عن الضوء العادي بأنه ضوء شديد ووحيد اللون ومترابط ومتجه ومستقطب . وسنعطي فيما يلي فكرة موجزة عن كل من الصفات السابقة قبل الخوض في التطبيقات .

شدة الاشعاع (Radiation Intensity) :

ان شدة الاشعاع في اتجاه معين هي مقدار الطاقة المتدفقة عبر واحدة السطح العظم على اتجاه التدفق في واحدة الزاوية الصلبة في واحدة التواتر في واحدة الزمن . لذا تعرف الشدة بالعلاقة التالية :

$$I = \frac{dE_\nu}{ds \cos\theta \, d\Omega \, d\nu \, dt} \qquad (1)$$

حيث dE مقدار الطاقة المتدفقة عبر المساحة ds في اتجاه الزاوية الصلبة $d\Omega$ في زمن dt وفي مجال التواتر ν و $\nu + d\nu$.

نلاحظ ان هذا التعريف يحوي على فكرة شدة الاشعاع وفكرة الضوء الوحيد اللون (Monochromatic) والاتجاهية (Directionality) .

الترابط (Coherence) :

الليزر عبارة عن هزاز يعطي اشعاع كهرطيسي على شكل قطار طويل من الامواج . في قطار الامواج هذا هناك علاقة بين اطوار الموجات . هذا يعني انه اذا اخذنا نقطة ثابتة في الفضاء ولاحظنا صدر الموجة عند عبورها من هذه النقطة . فان الزمن الفاصل بين صدر الموجات سيبقى ثابتاً حتى يتغير قطار الأمواج ، نتيجة لحركة عشوائية في الصور حيث يبدأ قطار آخر . ان الزمن الذي يقطعه قطار الامواج دون ان تتغير صدور الموجات نسميه زمن الترابط وطول قطار الامواج اللامتغير نسميه طول الترابط .

الاستقطاب (Polarization) :

ان أشعة الليزر مستقطبة في مستوى بسبب السطوح الشفافة الموضوعة بشكل زوايا بروستر في طرفي الجملة الليزرية . وحتى لو لم تكن هذه السطوح موجودة فان الليزر

سيكون مستقطبا في اتجاه ما بسبب وجود النوافذ الزجاجية التي يخرج منها وبسبب عدم التجانس .

سندرس في هذا المقال أهمية الليزر في العديد من التطبيقات . ولكن قبل ذلك يجب ان انوه الى ان معظم هذه التطبيقات كانت تستخدم، قبل اختراع الليزر ، الاشعة ما تحت الحمراء كمنبع ضوئي . لذا لا بد من اعطاء فكرة مبسطة عن انواع الليزر المستخدمة كي نستطيع المقارنة ما بين الاخيرة التي تستخدم الليزر وتلك التي تستخدم الاشعة ما تحت الحمراء وكي نلاحظ مدى التقدم الذي حصل في مجالات عدة نتيجة استبدال الاشعة ما تحت الحمراء بالليزر .

يكاد لا يوجد عنصر كيميائي الا وأستحصل منه على الليزر اما بشكل نبضي أو مستمر . وكل من هذه الليزرات تمتاز بطول موجة وطاقة مختلفة عن الليزر الآخر . فبينما طاقة ليزر He—Ne لا تتجاوز عدة ميلي واطات وتشع في المجال $0.63\mu m$. فأن هذه الطاقة تصل الى عدة مئات من الواطات في ليزر co_2 المستمر والى أعلى من ذلك بكثير في الليزر الديناميكي (Dynamiclaser) لثاني أوكسيد الكربون في المجال $10.6\mu m$. وهذه الطاقة ترتفع الى آلاف الواطات وأكثر في ليزر الاجسام الصلبة مثل ليزر الياقوت (Ruby) الذي يعمل في المجال $0.69\mu m$ وليزر الديميوم الذي يعمل في المجال $1.069\mu m$. من جهة أخرى هناك ليزر انصاف النواقل الذي يعطي طاقات مناسبة جداً للتطبيقات الالكترونية . كما ان هناك ليزر الاصبغة الذي يمكن توليفه ، أي الحصول على ليزر ضمن مجال طيفي عريض مستمر عدة مئات من الانسترومات . كما انه من الممكن الحصول من الليزر نفسه ، بوساطة تضاعف التواتر والاهتزازات الوسيطية ، على اطوال موجية مختلفة . من هنا نلاحظ ان هناك ليزرات عديدة تعمل في مجالات مختلفة مما يفسح المجال أمام تطبيقات عديدة .

١) اجهزة القياس (Measuring Instroments) :

لعل أجهزة القياس أفضل الامثلة عن تطبيقات الليزر وبشكل خاص قائس المسافة وما شابهه . تعتمد هذه الاجهزة على خواص الليزر الاساسية من حيث الشدة أو الطاقة العالية وعلى كون زاوية انفراجه صغيرة (هذه الخاصة ناتجة عن الترابط) .

اذا أخذنا ليزراً بسيطاً من ليزرات أنصاف النواقل الذي يعطي نبضه استطاعتها عدة واطات وعرضها بحدود 100ns ، أي طاقة بحدود $1\mu J$ وزاوية انفراج اقل من 10m rad . هذه الطاقة كافية لكي تصل الى عدة كيلومترات . أضف الى ذلك أنه من الممكن توليد

نبضات عالية الطاقة باستعمال خلية بوكل او خلية صبغية وبالتالي يمكن زيادة المسافة التي يمكن ان يصلها الليزر الى حدود10Km او اكثر . يمكننا ان نحصل على فكرة اكثر وضوحا عن أهمية الليزر في اجهزة القياس بدراسة رياضية بسيطة للمقادير التنويرية لليزر .

اذا كان لدينا هدفاً موجوداً على مسافة ما ومضاء بواسطة منبع ضوئي منتظم وموضوع امامه فتحة مساحتها S وموجود أمام الفتحة جملة ضوئية مجمعة ، فان الانارة(H) (مقدار التدفق في واحدة السطح وتقاس بالواط/ م^2) على سطح جسم يبعد مسافة(R) من المنبع تعطى بالعلاقة .

$$H = N\Omega = NS / R^2 = \frac{\pi}{4} N \frac{d^2}{R^2} = \frac{4}{\pi} \left(\frac{q}{\alpha^2} \right) \cdot \frac{i}{R^2} \qquad (2)$$

حيث(N) لمعان المنبع (أي الطاقة التي يشعها الجسم في أتجاه ما وتقاس بالواط/سيترا ديان . م^2 . أي مقدارالشدة في واحدة السطح) لفتحة قطرها(d) و(Ω) الزاوية الصلبة التي يرى من خلالها الجسم وP الاستطاعة المنتشرة و($\frac{4}{\pi} \frac{p}{\alpha^2}$) شدة الاشعاع التي تقاس بالواط/ سيترا ديان .

ان المعادلة(2) صحيحة من اجل أي اشعاع كهرطيسي وهي تتبع قيمة الزاوية α التي تعين حد الانعراج عند الفتحة . وبشكل عام يمكن ان نقول ان $\alpha = 2\frac{\lambda}{d}$ حيث λ طول الموجة المستعمل فيكون :

$$H = \frac{1}{\pi} \frac{P}{\lambda^2} \cdot \frac{d^2}{R^2} \qquad (3)$$

نلاحظ في المعادلة(3) انه كلما نقصت(λ) ازدادت(H) أي ان الاطوال الموجية الليزرية أفضل بكثير من الامواج الميكروية للاستعمال في اجهزة القياس . ونجد تطبيقاً لذلك في الرادار الليزري(Lidrn) . من جهة ثانية كلما ازدادات استطاعة الليزر(P) وقلت(α) ازدادت قيمة (H) وهذا له أهمية كبرى في تطبيقات عديدة . كما يجب ان لا ننس ان كون(α) صغيرة جدا في الليزر يجعل من الممكن تغطية هدف موجود على مسافة بعيدة بوساطة الليزر . مما يجعل معادلات الرادار الليزري تابعة للمقدار $\frac{1}{R2}$ بدلا من $\frac{1}{R^4}$ كما هي الحال في الامواج الميكروية .

ان معظم الليزرات المستخدمة في اجهزة القياس لها انفراج حزمه(Beam divergence) أكبر من حد الانعراج . ولكن اضاءة الليزر اكبر بكثير من اضاءة المنابع العادية (الاضاءة

تميز الاجسام التي تصدر الاشعاع بينما الانارة تتميز الاجسام التي تستقبل الاشعاع) . ولنوضح ذلك نأخذ المثال التالي : ان اضاءة الشمس تساوي $3.2W/cm^2$ بينما اضاءة ليزر YAG ؛ Nd طاقته $100\mu W$ تساوي $2 \times 10^{1}W/cm^2$. فيما يلي سأستعرض بعض الاجهزة ، وبشكل خاص اجهزة القياس ، التي تعتمد على أستقبال الاشعة الليزرية .

التسديد بالليزر (Beam Aiming) :

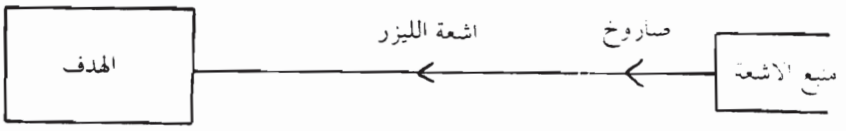
ان الاشعة الليزرية ذات استطاعة عاليةومترابطة لذايمكننا ان نرسلها الى مسافة بعيدة دون ان تنعرج . ويعتمد على هذه الخاصة في التسديد على هدف او على جسم متحرك . ففي الحالة الاولى ترسل الاشعة الليزرية من جهاز ليزري بسيط مركب على قاعدة اطلاق الى هدف مملوء بالكواشف(Detectors) التي تتحسس بالاشعة الليزرية والموصولة الى تلفزيون لاظهار موضع الاصابة على شاشته . وبهذه الطريقة يمكن التدريب على اصابة الاهداف دون استخدام سلاح حقيقي . أما في حال التسديد على جسم متحرك فاننا نستخدم نفس المبدأ السابق ولكن في هذه الحالة تكون الكواشف على جسم متحرك . وعندما يصاب هذا الجسم بالاشعة الليزرية يشتعل ضوء موجود فيه ليشير على اصابته .

ان هذه الجمل بسيطة ولكن لها أهمية كبرى اذ انها تمرن الرامي على اصابة اهداف تقع على مسافة 400 m كما انها اقتصادية اذ لا يوجد طلقات حية وكما انها تستخدم ليزر GaAs الذي لا يضر العين في مثل هذه الظروف . كما يجب ان لا ننسى الاثر النفسي لوجود مثل هذا الجهاز الدقيق . قد يتبادر الى الذهن انه بالامكان استخدام الليزر لاحداث اضرار جسيمة للانسان ولكن هذا غير ممكن لان طاقة أفضل ليزر معروف لا يتجاوز بضعة مئات الجولات وهذه الطاقة غير كافية لهذا الغرض بالاضافة الى الاستعمالين السابقين يمكن ان نستخدم الليزر كجهاز معلم للاهداف (De signator Laser) . أذ لو ارسلنا ليزرا ما باتجاه هدف ما فانه ينتشر باتجاه هذا الهدف ثم ينعكس في كل الاتجاهات . فاذا التقطت الاشعة المنعكسة بواسطة جملة كشف حساسة لليزر يمكن اظهار الهدف على شاشة تلفزيون مرافقة لجملة الكشف وبالتالي يمكن اطلاق الصاروخ المناسب الذي يتحسس بالاشعة الليزرية ويتوجه بواسطتها هدف . وبذا فان هذا الجهاز يحقق لنا هدفين ، هدف تعيين موقع النقطة المعادية وهدف استخدام الاشعة المنعكسة نفسها لتوجيه صاروخ لتدميرها .

هذه الجملة يمكن ان تطور بحيث تصبح جملة تشع اهداف او شبكة دفاعية ، ولتنظيم الثيران او لحراسة المباني .

راكب الاشعة(Beam Rider) :

هو جهاز التوجيه المثالي للصواريخ بواسطة الليزر . اذ يمكننا ان نرسل شعاعاً ليزرياً من الجهاز الى الهدف . بعد ذلك يركب الصاروخ الذي يتحسس بالاشعة الليزرية الحزمة ويبقى متتبعاً سيرها حتى يصل الى الهدف (انظر الشكل ١) .



الشكل (١)

نلاحظ مما تقدم انه من الضروري ان يكون الهدف واضحاً حتى نستطيع استخدام هذا التكنيك . من الجدير بالذكر ان نذكر ان تكنيك هذا الجهاز يشبه تكنيك الصاروخ الاميركي الطواف(Cruise Missile) . فبينما يتحسس راكب الاشعة بالاشعة الليزرية فان الصاروخ الطواق يتحسس بالتعرجات الطوبوغرافية ويقارنها بالذاكرة الموجودة في الكومبيوترالموجود بداخله حتى يصل الى هدفه .

الان سنشرح بعض اجهزة القياس التي تعتمد على الاشعة المنعكسة عن هدف وبشكل خاص قائس المسافة والرادار الليزري(Lidar) .

قائس المسافة(Range Finder) :

يكاد يكون قائس المسافة أهم التطبيقات العملية لليزرواوسعها انتشاراً . لذا لا بد من دراسة قائس المسافة دراسة جيدة .

اشكال قائس المسافة :

لقد استخدمت في قائس المسافة ثلاثة طرق هي :

١) استخدام نبضة ليزرية ضيقة عرضها بحدود50 ns . ترسل هذه النبضة الى الهدف المراد قياس بعده عن الجهاز ومن ثم تلتقط الاشعة المنعكسة . ان زمن الذهاب والاياب مضروباً بسرعة الضوء مقسوماً على العدد(2) يساوي المسافة المطلوبة . ان بامكان قائس

المسافة الذي يعتمد هذه الطريقة قياس المسافة بدقة 5 m ويمكن ان تزداد هذه الدقة حتى تصل الى 15 cm فيما اذا كانت الدارات الكهربائية عالية الدقة .

يتعلق مجال قائس المسافة بعوامل عدة سندرسها فيما بعد ولكن اذا وجدت عواكس ارجاعية (Retroreflecfors) على الهدف فيمكن ان يستخدم الجهاز لقياس مسافات شاسعة كقياس المسافة بين الارض والقمر .

٢) استخدام تعديل سعة الليزر المستمر . حيث ترسل الاشعة الليزرية الى الهدف ثم تلتقط الاشعة المنعكسة التي يختلف طورها عن طور الاشعة المرسلة . هذا الاختلاف يتناسب مع المسافة بين الجهاز والهدف .

قد يستخدم في هذه الحالة عدة تواترات مما يمكن الحصول على دقة عالية قد تصل الى 2mm في مجال طوله عدة كيلومترات وفي حال استخدام عواكس ارجاعية .

٣) استخدام الطرق التداخلية . حيث ان عدد الاهداف يتناسب مع المسافة المراد قياسها . ويستخدم هذا النوع لقياس مسافات فيزيائية صغيرة ودقيقة كقياس طول المتر العياري والاطوال الموجية .

بشكل عام ان قائس المسافة الليزري الذي يعتمد الطريقة الاولى هو أفضل الانواع واكثرها استعمالاً واطولها مجالاً .

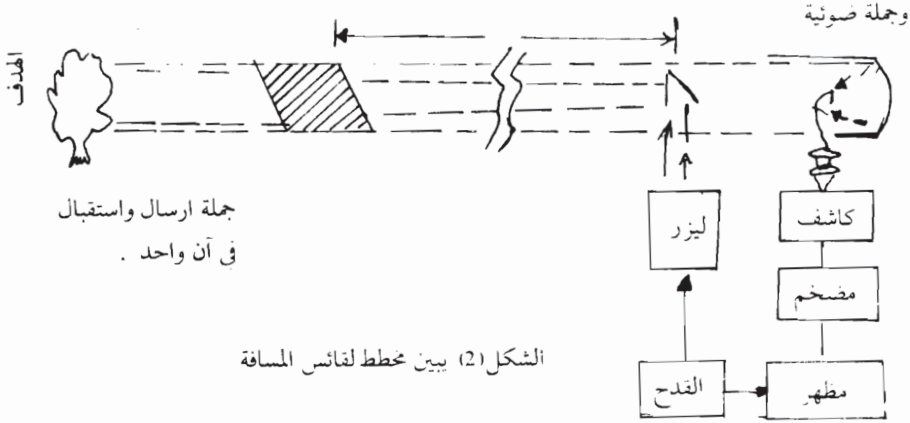
يتألف هذا الجهاز من جملة ارسال ليزرية متمحورة مع جملة الاستقبال بالاضافة الى جملة توقيت لقياس الفترة الزمنية بين ارسال النبضة واستقبالها . كما ان هناك جملة لعرض (Display) ناتج القياس على لوحة .

تتألف جملة الارسال من الليزر النبضي بما فيها مولد الطاقة والجملة الضوئية المجمعة وفي بعض الحالات جملة تبريد . كما ان هناك جملة الكترونية تولد أشارة كهربائية لتعطى البدء للمؤقت لكي يعمل في نفس وقت تشغيل محطة الارسال .

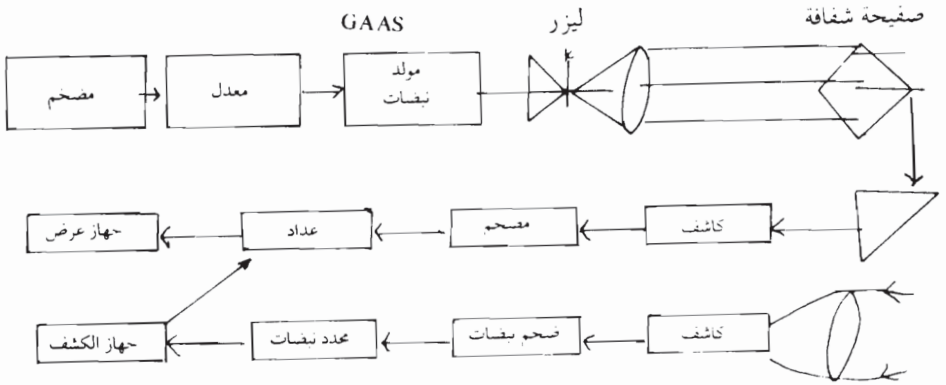
تتألف جملة الارسال من منظار لتجميع الاشعة المنعكسة وكاشف ومضخم لجزء من الاشارة المنعكسة توقف عمل المؤقت .

جملة التوقيت دقيقة جداً بحيث يمكنها التمييز بين عدة اهداف موجودة في نفس مجال الرؤيا . ونرى في الشكلين (3 .8) نموذجين من نماذج قائس المسافة مع المواصفات المطلوبة في قائس المسافة المثالي .

تلسكوب وجملة ضوئية



الشكل(2) يبين مخطط لقائس المسافة



Charactiristics	Nd : YAG	Ga : As
λ (mm)	1064	904
O / P energy (WJ) Pulse	75	-
Peah Power (W)	—	5
Pulsewidth (ns)	25	40
Beamdivergence (mrad)	0.3	5
Beamdiameter (cm)	3.8	5
Repetiton rate (pps)	20	1280
Q— Switch type	Pocrells	-
Reciever (Silicon ava lanch)		
Minimum detect signal (W)	2×10^{-8}	10^{-7}
Apeture (cm)	2— 5	12.7
Field of view(mrad)	5	5
Range (km)	9.995	3
Accuracy (m)	+ 5	+ 1.5
Target aperture	—	2— 5

الشكل(3) يبين قائس المسافة والمواصفات التي يتمتع بها

٢) تحليل جملة قائس المسافة :

ان المعادلات الرياضية لقائس المسافة تتوقف على نسبة مساحة الهدف الى مساحة البقعة الليزرية الساقطة عليه .

فإذا كان الهدف ذو مساحة كبيرة بالنسبة لمساحة البقعة الليزرية واذا فرضنا ان طاقة النبضة المرسلة W_T وان طاقة النبضة التي تصل الى مسافة R هي W_{Tr} وان هذه النبضة تنعكس عن الهدف الى مكان الجهاز وان العاكس هو عاكس لامبرتي (Lambertian Reflector) (أي ان لمعانه له نفس القيمة في جميع المناحي) حيث يضع ناظمه زاوية مقدارها φ مع خط الاستقبال ، فيكون الاشعاع المنعكس عن الهدف يقع ضمن مخروط زاويته الصلبة Ω ، فإذا كانت زاوية حقل الرؤية لجملة الاستقبال أكبر من زاوية انفراج الحزمة المنعكسة α فتكون الطاقة المنعكسة عن الهدف هي :

$$W_t = W_T \rho \tau (\cos\varphi) e^{-2\mu R} \frac{D^2}{4R^2} \qquad (4)$$

حيث μ و ρ و τ عوامل التخامد والانعكاسية والنفوذية على التوالي و D قطر فتحة المستقبل . هذه الحالة هي الاكثر شيوعاً في التطبيقات العملية لكن هناك بعض الحالات الخاصة مثل :

أ) حال كون قطر الاشعة اكبر من قطر الهدف (أو مساحة بقعة الاشعة اكبر من مساحة الهدف) . في هذه الحالة تعطى W_t بالعلاقة التالية :

$$W_t = W_T \rho \tau (\cos\varphi) e^{-2\mu R} \frac{D^2 At}{R^4 \alpha^{-2}} \qquad (Sa)$$

حيث A_t مساحة الهدف الذي ينار بواسطة الاشعة و α^{-2} عامل يأخذ بعين الاعتبار عدم انتظام توزع الطاقة على الهدف .

ان العلاقة (Sa) تشبه العلاقة الرياضية المعروفة في حال استخدام امواج ميكروية . اذ ان هذه الامواج تنتشر في كل الفضاء ولذا فان جزءاً بسيطاً من الموجه يغطي الهدف فقط . كما يجب ان نلاحظ ان زاوية انفراج الحزمة الليزرية في هذه الحالة قد تختلف عن الحالة السابقة بسبب استخدام جملة ضوئية مختلفة .

ب) هناك بعض الحالات الخاصة الاخرى كأن يكون الهدف براقاً (أي له لمعان في اتجاه معين) أو ان يكون ناشر غير لامبرتي . في هذه الحالات يجب اضافة بعض الحدود المصححة ولكن لن ندرس هذه الحالات هنا ونكتفي بهذا القدر .

ان المعادلات الرياضية السابقة يمكن ان تطبق لدراسة الرادار الليزري(Lider) لان كلاً منها يعتمد على نفس المبدأ . فبينما يقيس قائس المسافة مسافات أفقية يستطيع الرادار الليزري ان يقيس مسافات عمودية . ولكن يجب ان أنوه الى ان العوائق التي تعترض مسير الاشعة في كلتا الحالتين مختلفة بسبب اختلاف الغازات الموجودة في طبقات الجو العليا . ومن هنا تأتي أهمية اللايدر في قياس نسبة وجود غازات معينة مثل N_2O و S_2O وبالتالي يمكن ان يستخدم لقياس التلوث(Pollution) في الجو .

ان الدراسة السابقة تربط ما بين الطاقة الواردة والمنعكسة وعوامل التخامد والمجال وزاوية الانفراج ولكن لم ندرس بعد الطاقة او الاستطاعة الدنيا اللازمة لتشغيل قائس المسافة وهذا ما سنفعله في الفقرة اللاحقة .

٣) الطاقة والاستطاعة الضروريتين لتشغيل قائس المسافة :

أ) الطاقة الضرورية : لنفرض انه لدينا الحالة الاولى ولنفرض ان $\rho = \tau = 1$ وأن $\varphi = 0$ و $\mu = 0$ وان الليزر المستعمل هو ليزر الياقوت حيث $h\nu = 1.86 \times 10^{-19}$ J . فحينئذ من المعادلة(4) نستطيع ان نحسب عدد الفوتونات n_r الواصلة الى سطح الكاشف من أجل كل جول من الطاقة المرسلة حيث :

$$\frac{n_r}{W_t} = \frac{1}{h\nu} \cdot \frac{D^2}{4R^2} = 3.5 \times 10^{18} \frac{D^2}{4R^2} \qquad (5b)$$

ونجد في الشكلين(4) و(5) كل من $\frac{n_r}{W_t}$ و $\frac{W_t}{n_r}$ من اجل مجالات مختلفة ومن اجل قيم مختلفة للمسافة D .

ب) الاستطاعة الضرورية : أذا كانت الطاقة الضرورية ترسل على شكل نبضات كل نبضة طاقتها w_t وشكلها مستطيل واستطاعتها P_t ولها عرض t فيكون

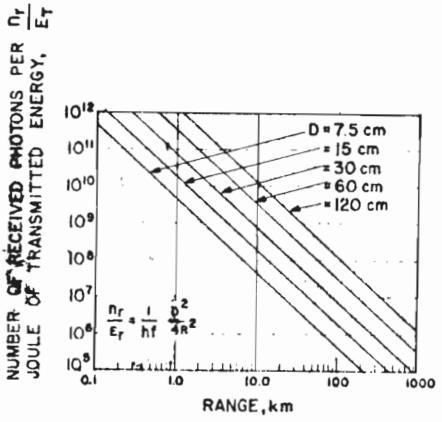
$$\frac{p_t}{n_r} = \frac{2h\nu c}{DR} \cdot \frac{R^2}{D^2} = 8.6 \times 10^{-11} \frac{2R^2}{D^2 \Delta R} \qquad (6a)$$

حيث $\Delta R = \frac{1}{2} c Dt$. ونجد رسماً توضيحياً لذلك في الشكل(6) .

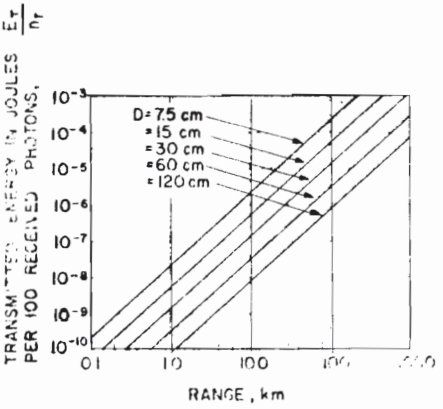
٤) كشف الاشارة(Signal detection) :

اذا فرضنا ان الاشارة المنعكسة تكشف بواسطة ثنائي ضوئي ، فأن القيمة الوسطية

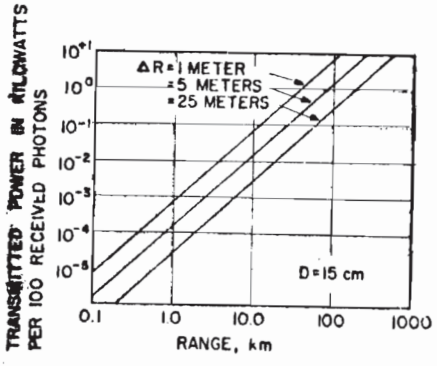
للتيار الناتج من الكاثود الضوئي نتيجة سقوط الفوتونات عليه هو $L_r = qe\frac{Dn_r}{Dt}$ حيث q المردود الكوانتي و e شحنة الالكترون و $\frac{Dn_r}{Dt}$ معدل وصول الاشارة الضوئية الى المهبط .



الشكل (٥)



الشكل (٤)



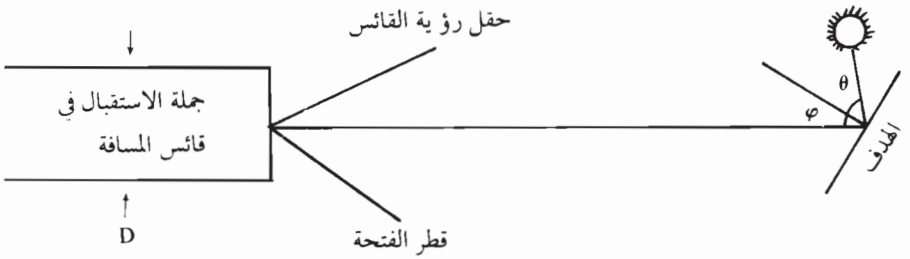
الشكل (٦)

أن هذا المعدل مقدار احصائي لذا فأن الاشارة الناتجة ليست منتظمة ولكنها تتغير وهذا التغير ينتج ضجيجاً . هذا الضجيج يؤدي الى تقليل نسبةالاشارة الى الضجيجSNR . هذه النسبة تكتب في حالة المضاعف الالكتروني(Photo Multiplier) والثنائي الضوئي الانهياري(Avelanch photodiode) بالشكل :

$$SNR = \frac{P_r\, qe/h\,\lambda)}{(2eBF_m\, P_b\, qe/h\,\lambda)1/2} \qquad (6b)$$

حيث P_r الاستطاعة الواردة على الكاشف وP_b الاستطاعة الساقطة من الخلفية الارضية (Bachgroend) و B عرض حزمة الاستقبال وF_m عامل ضجيج ينتج عن الكبر .

ان التيار الناتج عن الخلفية يأتي من الهدف ومن المسافة الفاصلة بين الجهاز والهدف . لنفترض ان الهدف مضاء بالشمس بالاضافة الى قائس المسافة كما يرى في الشكل(7) .



شكل رقم(7) .

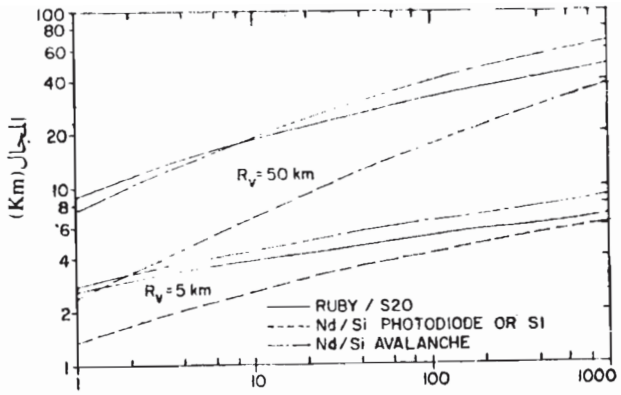
بما ان طيف الشمس هو طيف واسع ويحوي معظم الاطوال الموجية المرئية فأن استعمال قائس مسافة ذا طول موجي مرئي يخلق صعوبات عديدة ويفترض في هذه الحال ان تكون شدة الاشعاع الليزري المنعكسة اشد بكثير من شدة اشعة الشمس المنعكسة حتى يصبح بالامكان اكتشاف الحزمة الليزرية المنعكسة عن الهدف دون سواها . لذا من المفيد استعمال قائس المسافة في مجال الاشعة ما تحت الحمراء لأن ذلك يخفف من مشاكل الكشف . كما ان استعمال مرشح ذي فتحة ضيقة بحيث يستقبل الحزمة الليزرية دون سواها ذات فائدة كبيرة .

٥ ـ النفوذية الجوية(Atmospherictrans mission) :

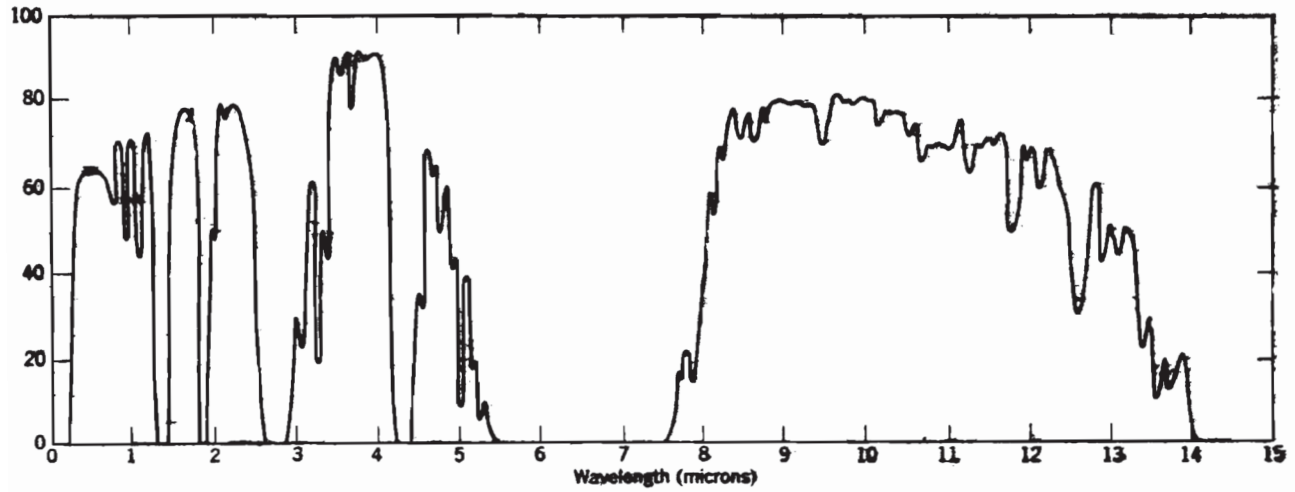
ان الجزيئات الموجودة في الفضاء تصطدم بأشعة الليزر وتؤدي الى تخفيض شدتها وهذا واضح لان $T = \exp(-\mu R)$. ونجد في الشكل(8) رسماً يبين الطاقة اللازمة من اجل كل مسافة معينة ومن اجل خط نظر(R_v) معين .

ان تخفيض شدة الاشارة الليزرية مع المسافة ينتج من عدة عوامل هي :

أ) الامتصاص : من المعلوم انه يوجد في الجو نوافذ جوية (لاحظ الشكل9) يكون فيها الامتصاص لا يتجاوز20% . لذا يجب ان نستعمل الليزر المناسب كي يكون الامتصاص أقل ما يمكن .



الشكل(8) يبين علاقة الطاقة(E) بالمجال(Km) .



الاطوال الموجية

الشكل رقم(9) يبين النوافذ الجوية

ب) الانتشار : من المعروف ان انتشار رالي(Raliegh) الناتج عن الجزيئات يتناسب مع القوة الرابعة لطول الموجة . ولذا فان تأثير هذا الانتشار يكون في مجال الاشعة

البنفسجية . من جهة ثانية ان عدد الجزيئات في الارتفاعات العالية قليل جداً لذا فان الانتثار يكاد يكون معدوماً .

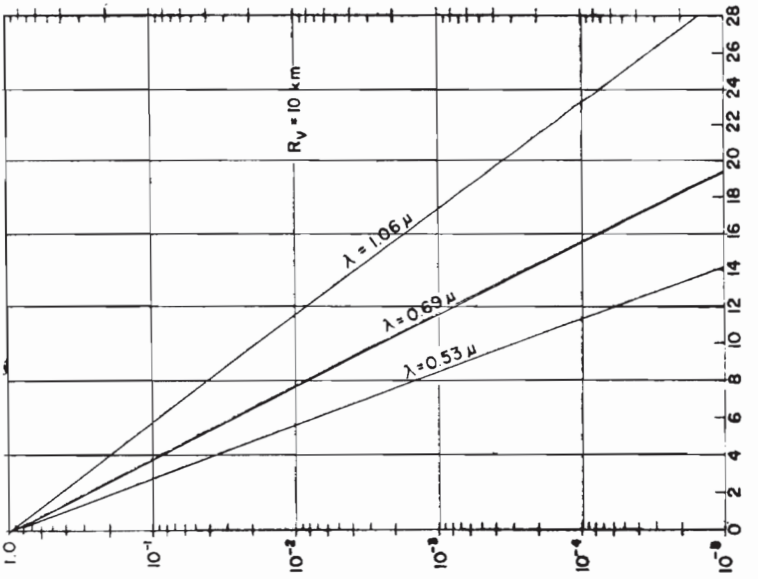
لكن أهم انواع الانتثار هو انتثار ماي(Mie) الموضح في الشكل(10) .

جـ) هناك عوامل اخرى تنتج عن التغير في قرينة الانكسار في طبقات الجو المختلفة ولكن هذه العوامل أقل أهمية من العوامل السابقة .

٦) الانعكاسية(Reflectivity) :

ان عامل الانعكاس تختلف بحسب طبعة الارض وخواصها . وهذا العامل يتراوح ما بين0.03 للاسفلت الاسود و0.77 لغشاء رقيق من الجليد وذلك من اجل الطول الموجي $0.7\,\mu m$.

بالاضافة الى العوامل السابقة هناك بعض العوامل الاخرى التي يجب اخذها بعين الاعتبار مثل المجال وحجم الهدف وخواصه والشروط الجوية . وهذه الاعتبارات تضع قيوداً ضيقة لانتقاء جملة قائس المسافة .



الشكل(10) يبين علاقة المجال والتخامد من اجل اطول موجية مختلفة .

ففي الليزر يجب ان نكون حذرين في أختيار نوع الليزر وطريقة تضخيم نبضاته (Q — Switching) وكيفية الفتح بحيث تكون أفضل ما يمكن . وفي جملة الاستقبال يجب ان تتوافر الشروط المطلوبة في الكاشف وفي دارة التمييز (Discrimination) . في بعض الجمل توصل معلومات قائس المسافة او اللايدر الى جملة الكترونية لمعالجة الاشارة وبالتالي اعطاء معلومات مستمرة عن حادثة ما .

نلاحظ مما تقدم ان هناك تطبيقات عديدة لليزر في مجال القياس والكشف والتتبع . ومن الملاحظ ان جميع هذه الاجهزة تعمل على نفس المبدأ مهما اختلفت طرق استعمالها وسواء استخدمت لقياس مسافات برية او بحرية او جوية .

٢ ـ الاتصالات الليزرية (Laser Communications) :

ان تكنولوجيا الليزر وعظمتها تتجلى في الاتصالات الليزرية وبشكل خاص في الاتصالات الفضائية اذ بواسطة قمر اصطناعي يستعمل الاتصالات الليزرية يمكن ربط اماكن عديدة ومختلفة مع بعضها البعض .

بالاضافة الى ذلك فان الاتصالات الليزرية تبين أهمية الالكترونيات الضوئية (Opto - Electronics) في الليزر وفي التكنولوجيا الحديثة .

ان مهمة أي جملة اتصالات هي نقل المعلومات عن طريق تعديلها الى اشارة كهربائية نسميها الموجة الحاملة (Carrying wave) . ومن ثم ترسل هذه الموجة الى النقطة المراد استقبالها ليعاد كشفها .

في جمل الاتصالات المعروفة تكون الموجة الحاملة جزء من الامواج الكهرطيسية في المجال الراديوي أو الميكروي او الميلي متري . بينما في الاتصالات الضوئية يكون المجال محصوراً ما بين الاشعة الحمراء والاشعة البنفسجية .

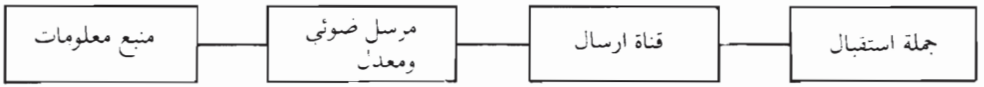
ان الفائدة التي تجنى من استخدام الاطوال الموجية الضوئية هي زيادة المعلومات التي يمكن بثها بين نقطتين . ففي أي جملة اتصالات يكون حجم المعلومات المرسلة متناسباً مع عرض الحزمة المرسلة للموجة المعدلة الحاملة والتي هي جزء بسيط من المجال الطيفي للموجة الحاملة . لذا فان زيادة تواتر الموجة الحاملة يعني زيادة عرض حزمتها وبالتالي زيادة كمية المعلومات المرسلة في جملة الاتصالات الكلية . هذا يعني أن عرض الحزمة في المجال الضوئي (والذي يساوي 10^{14} Hz) يمكن ان يكون 10^{4} أكبر من عرض الحزمة في المجال الميكروي . ولا شك ان هذه الزيادة تسترعي انتباه أي مهندس أتصال يهمه ان يزيد كمية المعلومات

المرسلة .ان اختراع الليزر ساعد على أحداث تقدم كبير في تكنولوجيا المعدلات والكواشف الضوئية . ولكن الصعوبات التي تنتج عن عوامل التخامد (الامتصاص والانتشار) التي تتعرض لها الموجة الضوئية اثناء انتشارها ما بين نقطتين والتي لا تؤثر في الامواج الميكروية او الراديوية او الميلمترية ، لم يوجد لها حلول جيدة بعد .

من هنا تأتي أهمية الالياف الضوئية (Fiber Optics) كموجة للامواج الضوئية اثناء انتشارها . اذ بأمكان الامواج الضوئية ان تنشر في هذه الالياف كما ينتشر الماء في الانبوب العادي . وبذا تصل الامواج الضوئية المعدلة الى النقطة المرسلة اليها .

تحليل جملة الاتصالات :

تتألف جملة الاتصالات من منبع للمعلومات (قد تكون على شكل تابعي او رقمي) . ترسل هذه المعلومات الى نقطة ما بعد تعديلها عن طريق قناة أرسال حيث تستقبل في النقطة المرسلة اليها بواسطة جملة ارسال (أنظر الشكل ١١) . وسنشرح كل مركبة من مركبات هذه الجملة كما يلي :



الشكل(١١) يبين مركبات جملة الاتصالات الليزرية .

يتم التعديل بتعديل السعة (AM) أو التواتر (FM) او النبضة (PM) او الشدة (IM) أو الاستقطابية (PLM) (أي تعديل الخواص المكانية للحقل الكهربائي) .

هناك نوعان من جمل الكشف فاما ان يكون الكاشف يتحسس بالاستطاعة أو ان يتحسس بالتواتر الناتج عن الخفقان (Heterodyne) .

بالاضافة الى ذلك فهناك أهمية كبرى لجملة معاملة المعلومات (Information Processing) والتي هي جزء من جملة الاستقبال . وبشكل خاص في حال وجود جملة متحركة في الفضاء ، كقمر اصطناعي يرسل معلومات بشكل مستمر . وجملة معاملة المعلومات هذه توصل الى كمبيوتر (Computer) ومن ثم تعرض المعلومات على جملة عرض (Display) كتلفزيون مثلاً لاعطاء صورة واضحة .

لكي نتفهم أهمية الليزر في الاتصالات لندرس كمثال جملة ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) والذي يشع ليزراً في المجال $10.6\,\mu m$ أو تواتر مقداره 3×10^{13} Hz .

من الناحية المبدئية يمكن الحصول من هذا الليزر على 10 قناة كل منها ذا عرض مقداره 1MHz . ولذا نوضح مواصفات هذا الجهاز في الجدول التالي .

Parameter	Response
Frequency response	86 Hz — 4. MHz
Maximum digital bit rate	8.0 Mbit / sec
Operating margin	51 dB
Peak frequeney deviation	2.1 MHz
Dewar hold time	50 hr
Operating temperature	0— 45° C
Acquisition time	< 5 min
continuons run	1320 hr
Reliability during continuons run	95%

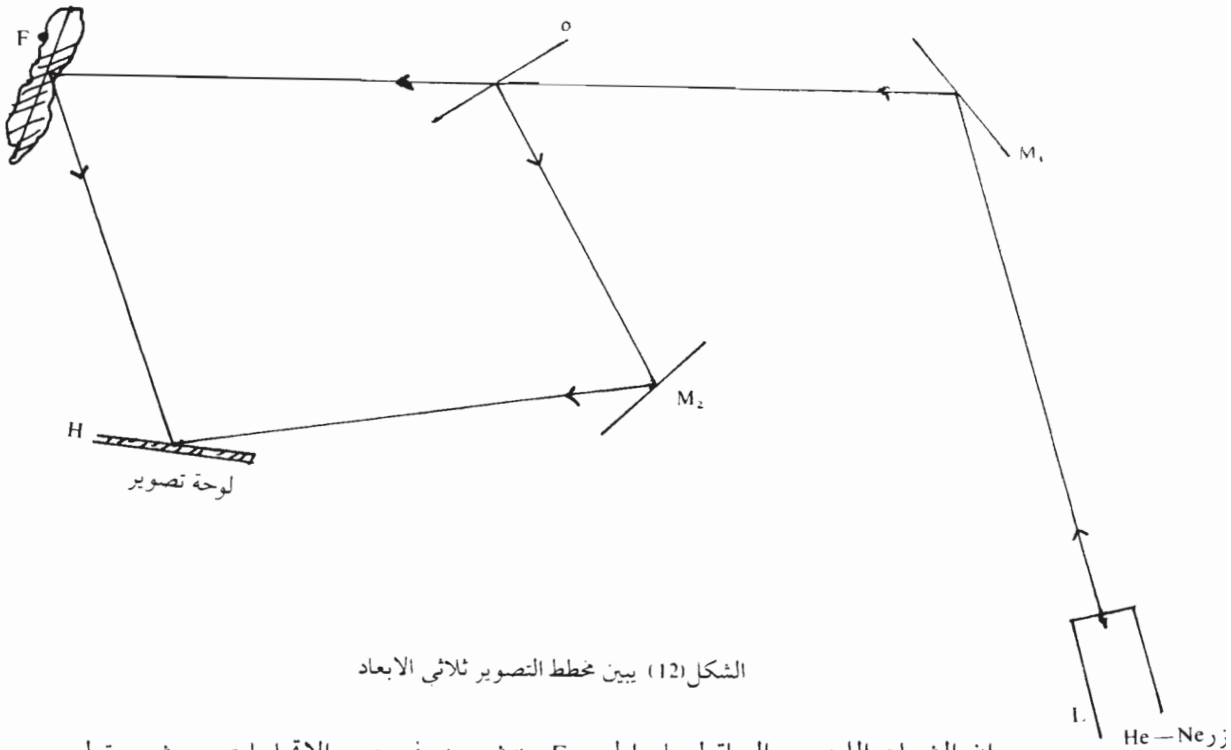
٣ ـ التصوير الثلاثي الابعاد(Holography) :

يستخدم هذا التكنيك لتصوير اجسام ثابتة او متحركة ، بابعادها الثلاثة مما يعطي صورة أوضح للجسم المراد تصويره .

سنستعرض فيما يلي المبدأ الاساسي للتصوير ثلاثي الابعاد وبعد ذلك نتكلم عن أهمية في التصوير .

مبدأ التصوير ثلاثي الابعاد :

لنفرض انه لدينا ليزر ما مثل ليزر He — Ne ، حيث تنعكس الاشعة الصادرة عنه من مرآة M_1 الى مفرق الاشعة(o) . ومن ثم يذهب جزء من الاشعة الى المرآة M_2 ومن ثم الى لوحة التصوير H . والجزء الآخر يذهب الى الجسم F ، ومن ثم يلتقي مع الجزء الاول على لوحة التصوير H (أنظر الشكل13) .



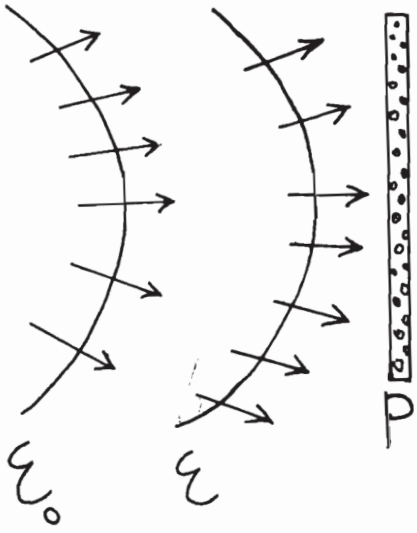
الشكل(12) يبين مخطط التصوير ثلاثي الابعاد

ان الشعاع الليزري الساقط على الجسم F ينتشر عنه في جميع الاتجاهات حيث يسقط جزء من الاشعة المنتشرة على اللوحة H . نسمي الشعاع الذي يصل الى H عن طريق M_2 بالشعاع المرجع (Reference) .

اذا اجرينا المعالجة الكيميائية للفلم(Develope) بعد التصوير ، ثم ازحنا الجسم من مكانه ووضعنا بدلاً عنه ليزر He — Ne فاننا نشاهد على لوحة التصوير H الجسم F بأبعاده الثلاثة . لنوضح اكثر فأننا سنجري دراسة رياضية بسيطة . ولنفترض انه لدينا الحالة الموضحة في الشكل(14) حيث تسقط الموجة Σ_0 التي تعطى بالعلاقة $A = a\exp(-i\phi)$ (a و ϕ قيم حقيقية) فتكون القيمة المكتشفة على المستوي p هي a^2 . أي انه لا يوجد طور في القيمة المكتشفة .

لنفرض انه بالاضافة الى الموجة Σ_0 هناك موجة اخرى Σ تسقط ايضاً على P وتعطي بالعلاقة $A = a_0\exp(i\phi_0)$. في هذه الحالة تعطى الشدة الساقطة على p بالعلاقة التالية :

$$I = |A_0 + A|^2 = a^2 + a_0^2 + 2aa_0\cos(\phi_0 - \phi) \qquad (7)$$



الشكل(14)

الحد الاخير من المعادلة(7) هو حد التداخل بين الموجتين حيث يظهر عامل الطور واضحاً في قيمة الشدة .

نفرض اننا اخترنا H بحيث ان مقدار الضوء الساقط عليه يتناسب مع I فتكون المعادلة التي تصف الشدة على H هي نفس المعادلة(7) مضروباً بعامل تناسب .

نستطيع بدراسة رياضية بسيطة ان نوضح العلاقة ما بين نفوذية H وكثافة الفلم D والطاقة الواردة عليها E .

بعد الحصول على الفلم مصوراً بشكل ثلاثي الابعاد على اللوحة H والتي سندعوها المصور الثلاثي الابعاد(Hologram) لا بد من شرح كيفية استعادة الصورة من H . لنفرض ان الهلوغرام انير بنفس الليزر الذي استعمل اثناء التصوير فيكون توزيع الضوء النافذ عنه معطى بالعلاقة :

$$B = Ha_0 \exp(-i\phi_0) = a_0(a_2 + a_0^2)\exp(-i\phi_0) + a_0^2 a\exp(-i\phi_0) \quad (8)$$
$$+ a_0^2 \exp(-2i\phi_0)\, a\exp(i\phi)$$

ان المعادلة(8) تتألف من ثلاثة حدود هي :

١) الحد الاول الذي يشبه الموجة الارجاعية $a_0 \exp(-i\phi_0)$ فيما اذا استثنينا الحد $(a_0^2 +$ الحد

(a^2 ، وينتشر في نفس اتجاه الموجة المرجعة . وهـو لا يعطـي اي معلومـات ما عدا بعض الضجيج وينتج عن الانعراج .

٢) الحد الثاني ، ما عدا الثابت a_0^2 يشبه الحد $a\exp(-i\phi_0)$. وهو ينتج من الانعراج عن الهلوغرام لذا فان الخيال يظهر كأنه خيالاً وهمياً .

٣) الحد الثالث يشبه حداً ينتشر بشكل متناظر مع الحد الثاني بالنسبة للموجة المرجعة . ويترافق مع موجة حاملة هي $a_0^2 \exp(-2i\phi_0)$. والاشارة الموجبة في اول هذا الحد تعني ان سطح الموجة يتحول الى خيال حقيقي يقع على P ومترافق مع الخيال الوهمي .

افترضنا في الدراسة السابقة ان الموجة المرجعة تنتج من الموجة الواردة نتيجة الانعراج . ولكن هناك طرق اخرى كثيرة يمكن ان نحصل بواسطتها على الموجة المرجعة كأن نستعمل سطحاً نفوذاً عاكساً في نفس الوقت . كما يمكن ان تكون الموجتان المرجعـة والحقيقية على نفس المحور او ان يكون احدهما على محور والاخرى تصنع زاوية راجعة . او بشكل عام يمكن ان نقول ان هناك طرق عديدة للحصول على الهلوغرام . ولقد اكتفينا هنا بشرح طريقة واحدة فقط .

خواص الهلوغرام :

سنوجز فيما يلي أهم خواص الهلوغرام دو التطرق الى التفاصيل .

١) قدرته على استيعاب كمية كبيرة من المعلومات المحتواة في الصورة ثلاثية الابعاد .

٢) قدرته على تسجيل الصور ومن ثم أعادة بناؤها بأستعمال اي ليزر آخر .

ان اهمية التصوير ثلاثي الابعاد ستزداد مستقبلاً وخاصة عندمـا يتـم بنـاء محطـات التلفزيون الليزرية الملونة وعند تصنيع التطبيقات الليزرية الاخرى .

٤ ـ التطبيقات العلمية (Scientific Applications) :

سنذكر فيما يلي بعض تطبيقات الليزر في المجال العلمي دون التطرق الى تفاصيلها .

١ ـ التحليل الكيميائي وتفـريق النظائـر المشعـة (Chemical Analysis and isotop separation) :

من المعروف ان الليزر وحيد اللون ومترابط وذو عرض طيفي ضيق جداً . هذا العرض

اصغر بكثير من فرق الطاقة ΔE الموجود بين السويات الذرية . لذا يمكن ان نستخدم الليزر كي يعطي طاقة (يضخ) لاحدى السويات دون سواها وهذا ما نسميه بالتهيج الاختياري (Selective excitation) .

فمثلاً اذا اخذنا مركب اوكسيد اليورانيوم . فيمكننا باستخدام هذه الطريقة ان نفصل اليورانيوم عن الاكاسيد الاخرى . او ان نستخدم هذه الطريقة في فصل U^{238} عن U^{237} . وبالتالي فأن نسبة احد النظائر تصبح اكبر بكثير من الآخر .

ورغم نجاح هذه الطريقة تجريبياً . الا انه لا يزال هناك العديد من العقبات التي تحول استخدامها في نطاق تجاري قبل عام ٢٠٠٠ .

٢ ـ الاندماج النووي(nvclear Fusion) :

ان استطاعة الليزر العالية تؤهله لكي ينتج مفعولاً حرارياً عالياً . فاذا اخذ ليزر أستطاعته $10^{12}W$ وعرض نبضه بضعة $10^{-9}S$ فأن كل نبضة تعطي طاقة مقدارها بضعة كيلوجولات . فاذا وجهنا عدة حزم ليزرية في نفس الوقت الى قطعة (Sample) معدنية ابعادها من مرتبة الميكرون ، فان الطاقة الناتجة عن الحزم الليزرية كافية لاطلاق ملايين النترونات التي تحدث تفاعلاً متسلسلاً (Chain Reaction) يؤدي الى اطلاق الطاقة النووية المختزنة داخل الذرة . وبهذه الطريقة نستطيع ان نحصل على طاقة هائلة كما هي الحال في الاندماج النووي(Nuclear Reaction) .

لقد تكلمنا هنا فقط عن تطبقين علميين مهميين ولكن هناك العديد من التطبيقات الاخرى مثل قياس المتر العياري وقياس التلوث الجوي فوق المصانع وغيرها .

٥ ـ تطبيقات الليزر في الصناعة(Application graser in industry) :

ان تطبيقات الليزر في الصناعة تكاد لا تحصى . فالليزر يستخدم للثقب في الدارات الالكترونية الدقيقة(Hyperfine circuits) . وبالتالي الحصول على ثقوب لا يتجاوز قطرها بضعة ميكرونات . كما يستخدم الليزر في اللحام . أذ أن الحرارة الهائلة الناتجة عن الليزر يمكنها ان تصهر العديدمن المعادلة . وبالتالي لحمها مع معدن آخر . وقد وجد ان اللحام الناتج من اللحام الليزري أفضل بكثير من اللحام العادي .

بالاضافة الى ما سبق هناك تطبيقات صناعية أخرى مثل قص المعادن وتصنيع مرشحات ضوئية تداخلية(Inter ference filters) وتصنيع ذاكرات الكترونية حساسة وضخمة

(Computer memory) والعديد من التطبيقات الأخرى مثل استخدامه في البناء والتشويه و . . . وما شابه .

سنكتفي بهذا القدر من التطبيقات الصناعية لان الاسترسال فيها لا ينتهي اذ لم يترك الليزر مجالاً صناعياً الا ودخله .

٦ ـ التطبيقات الطبية(Medicalapplicadions) :

ان الحرارة العالية الناتجة عن الليزر يمكن ان تستخدم في حفر الاسنان بدون ألم ، كما ان هذه الحرارة يمكن ان تستخدم ، كما ذكرنا ، في اذابة مواد قاسية ، لذا يمكن ان نستخدم ، بمساعدة الليزر بعض المواد الطبية لحشو الاسنان والغير قادرين على استخدامها الآن . كما ان الليزر يستخدم لأذابة بعض النتؤ ات الموجودة في تجاويف(Cavities) لا يمكن الوصول اليها بالطرق العادية .

ان كون الليزر شعاع ضوئي مستقيم ووحيد اللون يمكن ان يستعمل في طريقتين طبيتين الاول استخدامه كعصا سحرية لترشد فاقدي البصر على طريقهم والثانية استخدامه كمجس طبي للكشف عن العين .

في الطريقة الاولى يرسل شعاعاً ليزرياً في طريق فاقد البصر فتنعكس هذه الاشعة عن العوائق الموجودة في طريقه فيلتقطها كاشف بسيط موجود في جيب فاقد البصر ، ويعطيه اشارة انتباه لتجنب العائق .

في الطريقة الثانية يساعد الليزر على الكشف عن بؤ بؤ العين وتسهيل عمل طبيب العيون.من التطبيقات الطبية الاخرى استخدام الليزر للقضاء على النتؤ ات اللحمية التي تظهر على الجلد(Tumers) وذلك بحرقها بأشعته القوية .

لكن أهم تطبيق لليزر وجد في الدرسات البيولوجية ، أذ ان الاشعة الليزرية الواردة الى خلية حية تحرض الخلية على التألق(Flouresce) وبالتالي صدور ضوء عن الخلية ، هذا الضوء يعطي الكثير من الصفات الداخلية للخلية . وقد مكنت هذه الطريقة العلماء من تلمس بدايات ألية تدمير الخلية بواسطة السرطان(Cancer) ولا شك ان ذلك سيؤ دي الى ايجاد طريقة واقية من السرطان .

ويجب ان لا ننسى ان الليزر يمكن ان يستخدم تصوير الاجزاء الداخلية من جوف الانسان بالاضافة الى ما سبق هناك تطبيقات عديدة مختلفة مثل استخدام الليزر في الدارات

الضوئية المتكاملة(Integratedoptics) والدارات الكهربائية المتكاملة(Ic) وفي تصنيع عناصر انصاف النواقل .

ويجب ان لا ننسان اختراع الليزر ساعد على تطوير العديد من الصناعات التي كانت موجودة سابقاً وبشكل خاص صناعة العناصر الالكترونية الضوئية وتوابعها والاجهزة الملحقة بها . ويمكن ان نقول ان اختراع الليزر ادى الى ظهور تكنولوجيا خاصة به هي تكنولـوجيا الليزر ومن ثم ادى ذلك الى وجود علم خاص هو فيزياء الليزر .

وقبل ان اختتم هذه المقالة احب ان اشير الى الاضرار الجسيمة التي يمكن ان تحدث نتيجة التعرض المباشر للاشعة الليزرية ذات الطاقة العالية جداً . ولكن اذا تعرضت العين بشكل مباشر الى شعاع ليزري ضعيف ولفترة طويلة فانه من الممكن ان يسبب لهـا حرقـة الشبكية . لذا يستحسن دوماً عدم النظر مباشرة الى الليزر .

المراجع :

1 — Arecchi. F.T. and Schulz — Dubios , Laser Hand book, North Holand Publishing Company. Amsterdam. 1972.

2 — Brown R. Lasers. Al dus science and Technoloyy series. Aldus Books London. 1968.

3 — Goldman. L. Applications of Lasers. CRC Press. INC. Cleveland. 1973.

4 — Ross. M. Laser Applications Ap. London 1971.

5 — More. C.B. Chimical and Bio Chemical Applications of Laser. Ap. London. 1974.

6 — Jaccobs. S.F. etal. Laser Induced Fusion and X — Ray laser Studies. Addison Wesley Publishing Company. London. 1976.

7 — Jacobs. S.F. etal. Laser Photochemis try, Tunab le lasers. and other Topics. Addison we sly publishng Company Inc. London. 1976.

8 — Shimoda. K. High Resolution Laser Spectros Copy. Springer Verlay. Heidelberg. 1976.