أساسيات الليزرات

Сергей ТРАНКОВСКИЙ

КНИГА О ЛАЗЕРАХ

سيرغي ترانكوفسكي

أساسيات اللـــيزرات

ترجمة

د. شريف الحوّاط

♦ أساسيات الليزرات.

- تأليف: سيرغي ترانكوفسكي.
- ترجمة: د. شريف الحوّاط.
- الطبعة الأولى: 2017.
- عدد النسخ: 1000 نسخة.
- الترقيم الدولي: ISBN: 978-9933-18-787-3

جميع الحقوق محفوظة لدار مؤسسة رسلان

يطلب الكتاب على العنوان التالي:

دار علاء الدين
للنشر والطباعة والتوزيع
سوريا ـ دمشق ـ جرمانا
هاتف: 00963 11 5617071
فاكس: 00963 11 5613241
ص. ب: 30598
daraladdinsyria@gmail.com

دار مؤسسة رسلان
للطباعة والنشر والتوزيع
سوريا ـ دمشق ـ جرمانا
هاتف: 00963 11 5627060
00963 11 5637060
فاكس: 00963 11 5632860
ص. ب: 259 جرمانا
darrislansyria@gmail.com

وفاءً لذكرى

السيدة زويا ميخائيلينكو

لدورها الكبير في مسيرة دار علاء الدين

أساسيات الليزرات

الفهرس

- كيف يصدر الضوء؟ 7
- المولد الكوانتي الضوئي، أو الليزر 10
- النبضة العملاقة 15
- الليزرات الغازية 16
- ليزر ديناميك الغاز 19
- ليزر نصف الناقل 20
- ليزر السوائل 23
- ليزرات الأصبغة 24
- كيف أرسل شعاع الليزر عبر خطوط النقل؟ 29
- الاتصالات بالليزر 33
- الليزر يقطع ويلحم ويصقل 37
- الليزر أضاء القمر 44
- إلى أين تبحر القارات؟ 50
- مقياس التداخل الليزري 51
- الليزرات في المساحة (الجيوديزيا) 57
- الليزر في الجراحة ومعالجة الأمراض الباطنية 59
- اختفاء المجوهرات في المتحف والتسجيل الكامل لها 65
- الهولوغرافيا أو التصوير التجسيمي 66

♦ التعرف على النماذج 73
♦ الشعاع- السلاح..... 81
♦ نظرة نحو المستقبل 89
♦ الخلاصة 94
الليزر .. آفاقه 94

قاموس الضوء والتقنية الليزرية 101

مصطلحات علمية 109

ملحق الصور 113

الليزر... الكثيرون سمعوا عنه. والبعض رآه، ولو على الصور. ولكن ماذا يعني؟ لا شيء مهم: أنبوبة أو علبة يخرج منها شعاع رفيع، أحياناً أخضر اللون أو أزرق وغالباً ما يكون أحمر اللون. هو مصباح، مصباح ولا شيء خاص. أما من شيء يمكن التحدث عنه؟ يبدو أن ثمة شيئاً ما. المصباح ليس بالبسيط والشعاع ليس بالعادي. فالشعاع يمكنه أن يشفي من عمى، وأن يصيب طائرة معادية، وأن يحدث ثقباً في الألماس بلحظة، وأن يقص بدقة قماشاً حريرياً. لكي يُفهم كيف يحصل كل هذا لا بد في البداية من الإجابة عن سؤال:

♦ كيف يصدر الضوء؟

كل ما في الكون من مواد، الحجارة والأخشاب، المعادن والغازات، البشر والحيوانات يتكون من ذرات. أي قطعة مهما كانت صغيرة من المادة -هي ملايين عديدة من الذرات، وكل ما يحدث للمادة ينعكس على حالتها. لنأخذ على سبيل المثال قطعة من الحديد، نبدأ بتسخينها، سنشعر حالاً بالحرارة الناتجة عنها. بتسخين أكثر يبدأ الحديد عندئذ بإصدار الضوء، في البداية بلون أحمر داكن، ثم بلون أرجواني فاتح وفي النهاية يصبح ساطع البياض أو بلون سماوي تقريباً، لماذا؟

بتسخين المادة، تزود ذراتها بالطاقة. وتنتقل الذرات عندئذ إلى حالة مثارة جديدة، التي لا تمكث فيها طويلاً. لكنها تهدأ بإصدار دفقة من الطاقة تدعى كوانت الضوء. تماماً كحشد من التلاميذ الذين يختزنون طاقة خلال مدة جلوسهم في الصف، ولكن سرعان ما يتخلصوا منها بتدافعهم نحو الباب مطلقين الصيحات إلى أن يهدؤوا.

يمكن تمثيل كل كوانت بقطعة من موجة متحلقة بسرعة الضوء، وتتميز كل موجة بطولها، ويتعلق الكوانت بطول الموجة، أي كم من

الطاقة يمكنه أن يحمل. فكلما كان طول الموجة أقصر كانت هذه الطاقة أكبر، فطول موجة الضوء الأحمر أكبر من طول موجة الضوء الأزرق السماوي، وطاقة الكوانت الأحمر تكون بالتالي أقل. أصبح الآن من المفهوم، لماذا يحصل عند تسخين جسم تغيير في إشعاعه من حيث السطوع واللون. فكلما أصدر كوانتات أكثر، كلما أصبحت إضاءته أسطع. بالإضافة إلى ذلك فإن الضوء يصبح أقل اصفراراً وأكثر بياضاً. هذا يعني أن أشعة زرقاء سماوية تظهر في طيفه. فالأغطية البيضاء تزرق بها كي تصبح أكثر بياضاً، وإلا فإنها ستبدو صفراء. الكوانتات الزرقاء السماوية قصيرة الموجة تحمل طاقة أكبر وبالتالي فإن القسم الأكبر من الإشعاع يقع على عاتقها، ولماذا ليس كل الإشعاع؟ لماذا يصدر الجسم شديد التسخين أشعة ذات أطوال موجية مختلفة، تتوزع على كامل الطيف الممتد من الأشعة الحرارية التي تدعى بالأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة فوق البنفسجية التي تؤخذ تحتها الحمامات الشمسية بسهولة؟ لأن في المادة المسخنة بشدة تبدأ الذرات المثارة نفسها بالتأثير على بعضها البعض، مما يجعل طول موجة الضوء وشدة الإشعاع يتغيران باستمرار مع الزمن على أي قطعة من السطح مهما كانت صغيرة. مثل هذا الإشعاع يدعى بالإشعاع غير المترابط. ربما بدا الأمر بهذه البساطة، للحصول على ضوء ساطع ما عليك إلا تسخين فتيل تحمية مصباح كما يجب. ولكن الأمر ليس هكذا فالحسابات تبين أن درجة حرارة التسخين هي من الارتفاع بمكان، بحيث لا تستطيع تحملها أية مادة ممكنة.

فشمسنا مثلاً تضيء كجسم مسخن حتى الدرجة 6000 مئوية من كل سنتمتر مربع من سطحها استطاعة تقدر بحوالي 7000 واط. ولكن الاستطاعة هذه تكون موزعة على كل مجال الطيف. إذا ما أردنا أن نحصل على إشعاع ذي طول موجة واحدة، فإن هذا الطول يكون نصيبه من الاستطاعة مقداراً زهيداً يقدر بأجزاء المئة من الواط. لماذا لا ترفع درجة

الحرارة أكثر؟ مستحيل لأن حدود التقنيات تتوقف هنا. فأي مادة تتحول عند هذا التسخين إلى بخار. لذا فإن هذا الطريق لرفع السطوع يعتبر بالنسبة لنا مغلقاً.

أما من وسيلة أخرى لإعطاء الذرة طاقة دون أن تتعرض للاختبار القاسي بالنار؟ تبين أنه يوجد مثل هذه الوسيلة. الذرة قادرة، ليس فقط على إصدار كوانتات، بل على امتصاصها أيضاً مما يجعلها تثار. ولكن الذرة لا يطيب لها أن تبقى في حالة مثارة. فطاقة الكوانت الممتص من قبل الذرة سرعان ما تعطيه على شكل إشعاع. لذلك لا يكفي فقط أن تسلط ضوءاً، مهما كان شديداً من مصباح على قطعة من مادة، لن نكسب شيئاً في هذه الحالة. يجب العمل على جعل الذرات تختزن الطاقة أولاً ومن ثم تعطي سوية هذه الطاقة على نحو فوري مصدرة بذلك كوانتات دفعة واحدة. تساعدنا في ذلك ظاهرة تدعى الإصدار المحثوث للإشعاع. فالذرة يمكنها أن تعطي طاقة ليس فقط على نحو تلقائي، وإنما أيضا عندما يصطدم بها كوانت جانبي، له نفس طول موجة الإشعاع الصادر عن الذرة. ينتج كوانتان بعد الصدم، متشابهان فيما بينهما. لكل منهما نفس طول الموجة ويتحركان باتجاه واحد. فحركتهما متوافقة ونهايتاهما العظمى والصغرى تتطابقان مضخماً أحدهما الآخر. وبعد بضع مليارات من التصادمات ينتج إشعاع مترابط ووحيد طول الموجة (أي بلون واحد من الكلمة اللاتينية **mono** واحد و**chromatic** لون). تصدر الذرات كوانتات بطريقة، ليست مشابهة الآن لحشد التلاميذ الصارخين، وإنما لجوقة غناء تخضع في أدائها لإرادة قائد غير ظاهر، تؤدي دورها على نحو جيد. وليس من باب الصدفة أن يطلق الفيزيائيون على مثل هذه الجمل اسماً موسيقياً ألا وهو "مجاميع كوانتية توافقية". (انظر الشكلين 1 - 2).

يعني أنه، إذا ما تمكنا من مراكمة كمية كبيرة من الذرات المثارة التي سوف تعيش في هذه الحالة زمناً طويلاً إلى حدّ كاف، وإذا ما تم

إيجاد تدفق عظيم من الكوانتات المتحلقة باتجاه واحد، فإننا نحصل على جملة قادرة على توليد ضوء مترابط يدعى بالليزر.

♦ المولد الكوانتي الضوئي، أو الليزر

إن كلمة ليزر (LASER) مأخوذة من الأحرف الأولى للجملة الإنكليزية التي تعني «تضخيم الضوء بواسطة الإصدار المحثوث للإشعاع - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation».

يمكن أن نصنع ليزراً بالطريقة التالية:

لنأخذ قضيباً أو صفيحة من مادة يراد الحصول منها على إشعاع. يجب أن تكون هذه المادة شفافة كي ينفذ الضوء عبرها. وأكثر مواد القضبان انتشاراً هي بلورات الياقوت (أكسيد الألمنيوم المشوب بالكروم) والعقيق (وهو إيتريوم ألمنيوم غارنيت مشوب بالنيوديميوم المعروف بالـNd:YAG) الصنعية أو الزجاج المشوب بكمية غير كبيرة من عنصر النيوديميوم النادر. تُصنَع هذه القضبان عادة بقطر يتراوح ما بين 6 مم و20 مم وبطول من 10 سم وحتى 60 سم، وغالباً ما يكتسب الليزر اسم مادة القضيب. فمثلاً لا تعني عبارة "ليزر الياقوت" أبداً أن كامل الجهاز مصنوع من هذا الحجر الكريم. ولكن ببساطة توجد داخله بلورة ياقوت صنعية أبعادها من أبعاد قلم الرصاص.

وإلى جانب القضيب يتوضع عنصر إضاءة يدعى عادة بمصباح الضخ. يكون المصباح نبضياً على طراز المصابيح الوميضية التي يستخدمها المصورون، بما أن كل العمليات في الذرات تجري خلال أجزاء من مليون من الثانية، لذا لا فائدة من تشغيل هذا المصباح لفترة طويلة. ويحاط عنصر الإضاءة ومعه القضيب بعاكس كي لا يذهب كوانت ضوئي واحد من كوانتات الضخ سدى. وعلى طرفي قضيب التشغيل تتوضع مرآتان: الخلفية

مصمتة تعكس كل الضوء الساقط عليها (أو موشور)، ومن الأمام تتوضع مرآة خرج نصف شفافة، وتتوضع هاتان المرآتان على التوازي الدقيق فيما بينهما عموديتين على محور القضيب.

وبهذا يصبح الليزر جاهزاً للعمل. نوصل مصباح الضخ بمنبع التغذية عبر أسلاك توصيل، ثم نضغط على زر التشغيل ويومض المصباح. والآن لكي نرى ما يجري في الليزر يلزمنا "مكبرة زمن" التي بواسطتها يمكن رؤية ما يحصل من حوادث خلال أجزاء من مليون من الثانية. هذه المكبرة يمكن أن تكون مخيلتنا.

وهكذا يومض المصباح. فينهمر تدفق الطاقة الضوئية على مادة القضيب. وتنتقل ذراته بسرعة إلى حالة مثارة. ويتعاظم عدد الذرات المثارة مع كل لحظة أكثر فأكثر. ولكنها لن تبقى في الحالة المثارة طويلاً ويقدر بقاؤها وسطياً بنحو جزء من مئة مليون من أجزاء الثانية، ومن ثم تنتقل إلى الحالة الطبيعية غير المثارة.

ويتضح من الشكل رقم (3)، كيف تصدر الذرة الواحدة كوانتاً ضوئياً، وتليها ذرة ثانية، فثالثة، ولكن هذه الكوانتات تطير تقريباً عبر جوانب القضيب. لذا يمكن لهذه الكوانتات أن تجبر بعض الذرات المثارة في طريقها على إصدار إشعاع بنفس الاتجاه الذي سرعان ما يغادر القضيب أيضاً. ومع استمرار اشتعال المصباح فإن الذرات التي أصدرت ضوءاً تعاد إثارتها من جديد. وهكذا تقوم بعض الذرات بالصدفة تماماً بإصدار كوانتات على طول محور القضيب. ويزداد عدد الكوانتات بعد كل تصادم مع الذرات، وينمو تدفق الإشعاع المتجه وفق محور القضيب على نحو انهياري. وبالانعكاس على المرآتين يعبر الإشعاع القضيب عدداً من المرات ذهاباً وإياباً جاعلاً الذرات تشترك جميعها بدون استثناء في تقديم جزء من طاقتها في التدفق الكلي للضوء. وينفلت هذا الضوء عبر المرآة النافذة شبه الشفافة إلى الخارج. إنها الومضة! التي تقدر مدتها بحوالي جزء من مليون

من الثانية. وما زال المصباح مشتعلاً وخلال ثلاثة أجزاء من المليون من الثانية يتكرر الأمر نفسه من جديد. ويعاود هذا التكرار نفسه مرات ومرات إلى أن يصبح سطوع ضوء المصباح الوميضي المتخامد ضعيفاً، غير كاف من أجل الحفاظ على التوليد أو الإصدار المطلوب. يشتعل مصباح الضخ حوالي جزء من الألف من الثانية، حيث يتألق المصباح ربع هذا الزمن وينطفئ خلال زمن مماثل. ويتمكن الليزر خلال الزمن المتبقي من القيام بحوالي مئتي ومضة مجمعة في نبضة ضوئية واحدة مدتها عدة عشرات الأجزاء من الألف من الثانية.

يمكن خلال التصوير السريع رؤية أن هذه النبضة شبيهة بالمشط وتتألف من مجموعة من النتوءات القصيرة - ومضات ضوئية منفردة. لذا فان مثل هذا النظام من عمل الليزر يدعى بالنظام النتوئي أو نظام الإصدار الحر.

هكذا صُنع بالتحديد وشُغل أول ليزر مبني على بلورة الياقوت عام 1960. ولكن ليس كل طاقة ضوء مصباح الضخ يتحول إلى ومضة ليزرية. للأسف فإن الجزء الأكبر منها يستهلك بطريقة غير مفيدة وحتى أنه ببساطة يذهب إلى تسخين ضار لكل من القضيب والمرايا.

لهذا تُبرّد الليزرات النبضية عالية الاستطاعة بتدفق من الهواء أو الماء وأحياناً بالآزوت السائل. يتوقف التواتر التكراري للنبضات إلى أي مدى يتحمل القضيب درجات الحرارة العالية. تصدر ليزرات الياقوت والنيوديميوم ومضة إلى ومضتين في الثانية، بينما يصدر الليزر العامل على العقيق الأحمر بضع مئات من الومضات. يقدر التواتر القياسي لإصدار الليزر النبضي بحوالي اثني عشر مليوناً في الثانية. ينظر إلى إشعاع مثل هذه الليزرات على أنه مستمر.

يتساءلون وماذا حصل؟تحولت نبضة ضوء المصباح إلى نبضة ضوء الليزر بوجود ضياعات. وهل استحق الحقل مثل هذا السياج؟ نعم استحق. لأن الضوء الحاصل بمثل هذه الاتجاهية، يتميز بمجموعة من الخواص الفريدة هي:

أولاً: يسير شعاع الليزر دون أن يتباعد (يتوسع). فمن أجل أن تبقى أشعة مصباح الإسقاط دون تباعد أثناء انتشارها، تستخدم لهذه الغاية مرآة مقعرة كبيرة وجملة عدسات تجمع الضوء الصادر عن المصباح في حزمة. هذا يساعد لكن قليلاً، فعلى بعد كيلومتر واحد من مصباح الإسقاط يصبح الشعاع أوسع بمرتين. أما الليزر فليس بحاجة إلى مرايا مجمعة (مقربة) أو عدسات. فهو بدونها يصدر إشعاعاً على شكل حزمة ضوء متوازية تقريباً، لكن الكوانتات المتجهة وفق محور القضيب هي فقط التي تشارك في الإشعاع.

ثانياً: يكون الضوء الصادر عن الليزر ذا لون وحيد: له طول موجة واحدة، بينما يتحلل الضوء الأبيض المكون من مزيج من الأطوال الموجية العديدة إلى ألوان بسيطة، لدى مروره عبر عناصر ضوئية من أمثال العدسات والمواشير. الكل شاهد قوس قزح في السماء أو على الجدران، عندما يتحلل ضوء الشمس في قطرات الماء وعلى أطراف مرآة أو زجاج المقصف (البوفيه) كما لدى مروره عبر المواشير. لا تحدث مثل هذه الظواهر لحزمة الليزر، لذا يمكن تبئيرها في بقعة قطرها 0.01 مم.

ثالثاً: على الرغم من أن الليزر لا يستخدم إلا جزءاً يسيراً من طاقة الضخ، فان استطاعة ومضته (نبضته) يمكن أن تكون عالية، من مرتبة مئات وآلاف الواطات. وهذا يحصل بسبب أن استطاعة الومضة تساوي طاقتها مقسومة على مدتها المقدرة بأجزاء الآلاف من الثانية.

تقاس الاستطاعة عموماً بواحدة الواط، سواء أكانت استطاعة محرك كهربائي أو آلة بخارية أو سخانة أو تدفق إشعاع أو أية استطاعة أخرى.

فاللمبة المشتعلة في مصباح الطاولة تتراوح استطاعتها ما بين 40 إلى 60 واط، والمكواة 500 واط، والسخانة الكهربائية ما بين 1000 و2000 واط أي ما بين واحد إلى اثنين كيلوواط، وتتراوح استطاعة محرك سيارة «موسكفيتش» ما بين 40 إلى 60 كيلوواط، وأما محركات العربات القلابة الضخمة فتصل استطاعتها حتى 2.5 ميغاواط (مليون واط).

سيتكرر في هذا الكتاب ذكر استطاعة الإشعاع الليزري والمقيسة أيضاً بالواط أو الكيلوواط أو الميغاواط. ولكي لا تكون هذه الواحدات عديمة المعنى، نحاول إعطاء تصور عن ما هو الكيلو واط من استطاعة، وكم هي عظيمة قيمة واحدة الميغا واط.

فمثلاً يمكن بواسطة الكيلوواط تسخين ملعقة ماء حتى الغليان خلال ثانية واحدة. وخلال نفس الزمن يمكن لسخانة استطاعتها 400 كيلوواط تسخين ليتر من الماء حتى درجة الغليان ويمكن لمنبع حراري استطاعته واحد ميغاواط أن يغلي ليترين ونصف من الماء خلال الثانية.

إذا ما تذكرنا كم يطول تسخين إبريق شاي على الموقد حتى يغلي الماء فيه يمكن تكوين بعض التصورات عن قيم الاستطاعة الواقعة في شعاع ليزري.

تصدر الشمس التي درجة حرارتها 6000 درجة مئوية إشعاعاً على طول موجة واحدة استطاعته أجزاء من المئة من الواط. بينما يصدر الليزر آلاف الواطات على طول موجة واحدة. والسؤال الذي يطرح نفسه هو إلى أية درجة حرارة ينبغي تسخين مادة كي تضيء بنفس السطوع الذي يسطع به الليزر؟ والجواب سيكون صاعقاً. فالليزر يصدر ضوءاً له نفس سطوع جسم مسخن حتى عدة آلاف من مليارات الدرجات وهو نفسه يبقى بارداً. وعلى كل حال فان المئة والمئتي درجة التي يمكنه أن يسخن إليها ليستا شيئاً بالمقارنة مع درجة الحرارة التي لا يمكن لأية مادة أن تتحملها على سطح الكرة الأرضية.

وإليكم ما الليزر النبضي. هو الليزر الذي تقدر استطاعة نبضته بآلاف الواطات. ويمكن رفع استطاعته بزيادة أبعاد هذا الليزر. كما ويمكن وضع قضيب ليزري آخر خلف الليزر مزود بمصباح وميضي للضخ ولكن بدون مرايا. بحيث تطلق نبضة الضوء الصادر عن الليزر الأول الليزر الثاني. وبجمع النبضتين الضوئيتين معاً تتضاعف طاقة النبضة الكلية.

لكن ويا للأسف، فمع تزايد طول القضيب تطول مدة النبضة، لأنه يلزم بعض الوقت كي تفرغ الذرات في القضيب الطويل كمومها الضوئي. وعلاوة على ذلك لا يمكن استطالة القضيب إلى ما لا نهاية. وكلما استطال القضيب ازداد ضياع الضوء فيه. فالطاقة الإضافية المكتسبة جراء إصدار الجزء المضاف من القضيب تضيع بالكامل من جراء امتصاص الضوء في هذا الجزء المضاف. لهذا السبب لا معنى لأخذ قضبان أطول من 50 إلى 60 سم حتى ولو كانت مصنوعة من أحسن المواد، وهذا لن يعطي شيئاً تقريباً سوى رفع تكلفة القطع المصنوع منها الليزر، والتي هي أساساً ليست رخيصة الثمن. مما يعني أن هذا الطريق لا يمكنه تأمين زيادة في استطاعة الإشعاع. ويبقى طريق آخر ألا وهو اختصار زمن النبضة، ومحاولة تركيز كل طاقتها خلال فواصل زمنية أقل بمئات وبآلاف المرات؟ عندئذ ستتضاعف استطاعتها بنفس العدد من المرات! وستقاس عندها بملايين الواطات. وهذا يحصل بالمعنى الحرفي للعملية.

♦ النبضة العملاقة

بحجب الزجاج الخلفي لليزر (أو مرآة الخرج) بواسطة مغلاق إلى أن يضخ المصباح الوميضي كامل طاقته إلى ذرات القضيب، تصبح كل الذرات مثارة ولكن الإشعاع المتولد لا يمكنه الانطلاق، لأن طريق الضوء موصد بالمغلاق.

إذا ما فُتح المغلاق ولو لبرهة وجيزة، فإن كل الذرات ستقوم معاً بإصدار كموم ضوئي. إذا كانت الطاقة الكلية للومضة تظهر على شكل بضع مئات من النبضات، فهي الآن تنضغط في نبضة واحدة مدتها أجزاء من المليار من الثانية، والتي تقارن استطاعتها باستطاعة عدة محطات كهربائية ضخمة. هذا الإشعاع الذي إذا ما جرى تبئيره في بقعة ضوئية

صغيرة جداً، فإنه يمكن عندئذ استخدامه لأغراض عديدة، سيجري الحديث عنها لاحقاً. لكن على كل حال فإن هذه هي نبضة ضوئية قصيرة جداً. وبالطبع يمكن بواسطتها حفر ثقب ولحام سلكين، والقيام بالكثير من الأعمال المفيدة الأخرى. لكن من أجل العديد من المسائل يكون من المناسب استخدام الإشعاع الليزري المستمر، وعلى الأخص اللحام والقطع. مثل هذه الليزرات متوفرة، وتدعى بالليزرات الغازية. (الشكل رقم 4).

♦ الليزرات الغازية

ظهرت الليزرات الغازية في عام 1960 بالتزامن مع ليزرات الياقوت تقريباً. المادة العاملة في هذه الليزرات أو وسطها الفعال هي الغازات على اختلاف أنواعها، المعبأة في أنابيب زجاجية. يكون ضغط الغازات في هذه الأنابيب منخفضاً جداً، وهو أصغر بمئات المرات من الضغط الجوي. وتزود أطراف هذه الأنابيب بنوافذ يخرج شعاع الليزر عبرها. وتتوضع الأنبوبة طبعاً بين مرآتين، كما في الليزر النبضي تحديداً. ولكن لا وجود لمصابيح الضخ هنا. فانفراغ الغازات تحت ضغط منخفض يجعلها ناقلة جيدة للتيار الكهربائي، لذا فإن ذراتها يمكن إثارتها بالانفراغ الكهربائي المار عبر هذه الغازات. يمر التيار الكهربائي بين سلكين معدنيين - قطبين ملحومين بين طرفي أنبوبة زجاجية. فالأنبوبة ذات الغاز المثار تضيء كما في أنابيب الإعلانات المعلقة على واجهات المخازن، ومن طرف الأنبوبة يخرج شعاع بألوان مختلفة، تبعاً لنوع الغاز الذي يملأ الأنبوبة.

فمثلاً يعطي مزيج الهليوم والنيون شعاعاً بلون أحمر، ويصدر عن الأرغون شعاع بلون أزرق، وعن الزينون بلون أخضر، وعن الكريبتون بلون أصفر، وأما عن غاز الكربون فيصدر شعاع غير مرئي لأنه من الأشعة تحت الحمراء الحرارية. (الشكل رقم 5).

حتى أنه يوجد ليزر مادته الفعالة هي بخار الماء، مثل هذه "الآلة البخارية" يمكنها أن تعطي إشعاعاً حرارياً باستطاعة عالية، طول موجته أكبر قليلاً من جزء من العشرة من المليمتر، وهذه كانت لفترة غير بعيدة أطول موجة إشعاع يعطيها ليزر.

لا يبعثر الغاز المتخلخل في أنبوبة ليزرية الضوء إلا قليلاً جداً. ويتهيج الغاز بواسطة الانفراغ الكهربائي الذي يمرر الضوء عبر الغاز دون أن يتخامد. لذا يمكن أخذ أبعاد كبيرة للأنابيب المستخدمة في الليزرات الغازية، فالليزر الذي يتراوح طوله ما بين خمسة وعشرة أمتار هو أمر عادي للغاية. ويمكن أن تبلغ استطاعته حوالي الألف واط (أي كيلوواط واحد). وهذه استطاعة كافية لقص لوح من الفولاذ سماكته ميلي متر واحد. أما إذا طلب معالجة لوح فولاذي بسماكة أكبر، فما العمل؟ من أجل القيام باللحام والقص بالليزر تلزم استطاعة إشعاع قدرها كيلو واط واحد مقابل كل واحد مليمتر سماكة للفولاذ. أي أنه يلزم لقص لوح فولاذ بسماكة خمسة مليمترات استطاعة قدرها خمسة كيلوواطات. يحتاج مثل هذا الليزر لأنبوبة انفراغ بطول حوالي 100م. وهذا كثير أليس كذلك؟

ولكن ما العمل؟ بما أن كثافة الغازات أصغر بكثير من كثافة الأجسام الصلبة، وهذا يعني أنه من كل سنتمتر مكعب من الغاز لا يمكن الحصول على ذرات مثارة مصدرة للضوء كما هو الحال في ليزر الجسم الصلب.

"أي كيف وما العمل؟". سؤال يطرح حول ضرورة رفع ضغط الغاز في الأنبوبة. وليس فقط أجزاء من مئة من الضغط الجوي، بل عشرات ومئات الضغط الجوي. عندئذ ستزداد كمية الذرات الفعالة بآلاف المرات. وبنفس عدد المرات ستزداد الاستطاعة.

جرى تجريب ذلك، ولكن لم يحصل شيء، فالانفراغ الكهربائي لدى رفع ضغط الغاز يتوقف عن المرور في كامل حجم الغاز، وكالشرارة

يمر الانفراغ عبر قناة ضيقة. مما يؤدي إلى تسخينها حتى درجة حرارة تقدر بمئات الدرجات، وعندها يختفي الفعل الليزري من الوجود.

وهنا ماذا لو أمكن استبدال سريع للمادة الفعالة المستهلكة بمادة أخرى طازجة، جرى للتو إثارة ذراتها؟ شيء ما مشابه لمشط المسدس (على شكل أسطوانة)، ولكن محتوياته ليست طلقات، بل أنابيب غاز أو قضبان صلبة، تتحرك بين المرايا إلى حد سريع يجعل ومضاتها تتلاصق في إشعاع مستمر.

يكون لدى الوسط الفعال في طريقه إلى المرايا الوقت الكافي كي يبرد ويسترخي ليصبح في اللحظة المناسبة جاهزاً للعمل من جديد.

ولكن لماذا يتوجب تحريك كامل الأنبوبة أليست مملوءة بالغاز؟ يمكن ببساطة ضخ الغاز أو سحبه بين المرآتين وتبريده أيضاً.

يمكن تصنيع الإلكترودات (الأقطاب) التي يحصل بينها الانفراغ على شكل فرشاة شوكية، بحيث يجري من كل شوكة انفراغ فرعي، وتعمل هذه الانفراغات مجتمعة على إثارة الغاز في كامل الحجم بين المرآتين. الآن حتى ضغط الغاز يمكن رفعه، خلف إلكترود متعدد القطاعات، حيث يتمكن من أن يثار بالكامل.

بهذه الطريقة تحديداً تعمل المحطة الليزرية الفريدة LT-1 المبنية لأغراض صناعية من قبل فيزيائيي جامعة موسكو الحكومية ومعهد الطاقة الذرية فيها. والتي اختبرت في مصنع ليخاتشوف للسيارات.

لقد كانت استطاعة المحطة عالية بما يكفي، حيث بلغت خمسة كيلوواطات. وأما حجرة الانفراغ التي مقطعها مستطيل، فقد بلغ ارتفاعها 20 سم، وعرضها 4 سم، وطولها 90 سم (تذكّر أن 100م هو طول الليزر العادي!). ويعمل هذا الليزر على غاز ثنائي أكسيد الكربون الذي يُضخ، بواسطة مضخة، عبر أنبوبة حلقية مغلقة. وعبر هذا التدوير يمر الغاز عبر مبرد، ويبرد هناك حتى درجة حرارة العمل العادية. لذا فإن الليزر يمكن أن

يعمل على نحو متواصل لمدة يوم عمل كامل، أي حوالي سبع إلى ثمان ساعات في اليوم. وتسمح المرايا الأربع لليزر من تحقيق إصدار للإشعاع ثلاث مرات من جراء مرور الغاز العامل بين هذه المرايا المصنوعة من معدن مصقول، وتكون مرآة الخرج أصغر بأبعادها من بقية المرايا. لكن هذا لا يعيق العمل، فتبئير الحزمة في نقطة يمكّن من الحصول على كثافة استطاعة تصل حتى عشرات المليونات من واطات الإشعاع المستمر. وبتغيير مساحة البقعة على سطح المادة المعالجة، وبالتالي تتغير كثافة الاستطاعة الساقطة عليها، يمكن قص ولحام وتقسية قطع من الفولاذ.

ولكن ماذا لو اندفع الغاز بسرعة أكبر؟ ولتكن سرعات فوق صوتية كتلك التي تتدفق فيها الغازات الملتهبة المندفعة من محرك نفاث. وبالتالي يمكن أن ترتفع استطاعة الليزر عدداً كبيراً من المرات، ذلك أن عدد الذرات المتهيجة المصدرة للضوء يزداد كثيراً. كانت الفكرة مغرية جداً، لذا سرعان ما نُفّذ مثل هذا الليزر. يدعى الفرع من الفيزياء الذي يدرس العمليات الجارية عند تدفق الغاز بسرعات فوق صوتية بديناميك الغاز. وبهذا سمي الجهاز حديث الولادة.

♦ ليزر ديناميك الغاز

هذا الليزر هو في الحقيقة مشابه في عمله للمحرك النفاث. ففي حجرة احتراقه يُحرق غاز الفحم (أول أكسيد الكربون) بإضافة وقود (كيروسين وبنزين وكحول). وينتج عن ذلك مزيج من الغازات المتكون من غاز ثنائي أكسيد الكربون والآزوت وأبخرة الماء. وبهذه تصبح جزيئات الغازات متهيجة وجاهزة للعمل، أليست درجة الحرارة في حجرة الاحتراق تناهز الألف درجة أو أكثر؟ وأن الضغط فيها يصل إلى حوالي 20 جو. تخرج هذه الغازات الملتهبة من حجرة الاحتراق عبر فوهة نفاثة موسعة، تدعى عادة

بفوهة لافال، وفي هذه الفوهة يتسرع الغاز حتى سرعة صوتية لتبرد تقريباً حتى الصفر! (الشكل رقم 6).

بالانتشار بين مرآتين تبدأ جزيئات الغاز بإعطاء طاقتها على شكل كوانتات ضوئية، ليتولد شعاع ليزري باستطاعة تتراوح ما بين 150-200 كيلوواط. وهذه الاستطاعة ليست ناتجة عن ومضة واحدة، بل هي استطاعة مستمرة لإشعاع مستقر ساطع إلى أن ينفد الوقود.

إن تسمية «وقود ليزري» مصطلح غير معتاد، لنتصور بهذا الخصوص الحوار التالي: "ليزرنا يعمل على الكيروسين، أما ليزركم فهل يعمل على الخشب؟" أي أن الليزر تحول إلى آلة حرارية. أو إذا أردتم العكس: الآلة الحرارية تتحول إلى ليزر. هذا غريب جداً، ولكنه واقع، فحرق بسيط للوقود يعطي إشعاعاً ليزرياً. والطاقة الحرارية هي أحد أبسط أشكال الطاقة المعروفة للإنسان منذ قديم الزمان. التي أخذت فجأة تعطي أحد الأشكال الراقية للطاقة، ألا وهو إشعاع موجه ومترابط ووحيد اللون. لاحظوا كم هي النتائج التي أعطاها إشعال النار من قبل إنسان الكهوف...

لكن ليست وحدها الليزرات الغازية هي التي تعطي إشعاعاً مستمراً، بل هناك ليزرات غيرها تعطيه أيضاً من أمثال ليزرات أنصاف النواقل.

♦ ليزر نصف الناقل

من المعروف منذ زمن بعيد أن بعض المواد تنقل التيار الكهربائي، وبعضها الآخر لا ينقل. تنتمي قبل كل شيء المعادن إلى المجموعة الأولى أي إلى النواقل، أما الزجاج والخزف والقطران والمواد الأخرى فهي لا تنقل الكهرباء وتدعى بالعوازل، وهي تشكل بالتالي المجموعة الثانية. جرى التعرف من ثم، وفي وقت متأخر جداً على مجموعة ثالثة من المواد، التي تشغل مكاناً وسطاً بين مواد المجموعتين السابقتين. هذه المواد تنقل التيار

الكهربائي ولكن على نحو رديء. لكن طالما أنها تنقل التيار ولو بطريقة ما، فهي لا يمكن أن تصنف كعوازل. احتسبت هذه المواد لفترة طويلة من عجائب الطبيعة، وأنها غير صالحة لأي شيء على الإطلاق. غير أنه جرى فيما بعد اكتشاف أن ناقلية أنصاف النواقل (أو شبه الموصلات) تتعلق بشدة بالعوامل الخارجية المؤثرة عليها، هذه المواد يمكن أن تتغير بالتسخين والتبريد والإضاءة وتحت تأثير الحقل المغنطيسي والقذف بجسيمات مشحونة. فمن المواد نصف الناقلة يمكن بناء عنصر إلكتروني، يدعى الثنائي (الديود) الذي ينقل التيار باتجاه أول ويمنعه باتجاه آخر. ومن هنا خطوة بخطوة جرى استبدال الصمامات المستعملة في أجهزة الاستقبال والإرسال الراديوي بعناصر أخرى مصنوعة من المواد نصف الناقلة، ومنذ وقت ليس بالبعيد، وعلى وجه التحديد في ستينيات القرن الماضي، جرى التوصل إلى أن المواد نصف الناقلة عبارة عن مواد ممتازة لعمل الليزرات. (الشكل رقم 7).

إذا جمعت شريحتان معاً من مادتين نصف ناقلتين مختلفتين، تتشكل بينهما منطقة تدعى «بالمنطقة الانتقالية». سيكون للذرات المكونة لمادتها القدرة على الإثارة من جراء مرور تيار كهربائي عبرها، وإصدار ضوء نتيجة لذلك. أما المرآتان اللازمتان للحصول على إشعاع ليزري فيمكن الحصول عليهما من صقل وتفضيض طرفي البلورة نصف الناقلة نفسها. أفضل هذه الليزرات - والحق يقال - هو ليزر زرنيخيد الغاليوم (GaAs)، وهي المادة الناتجة عن اتحاد العنصر النادر ألا وهو الغاليوم (Ga) مع عنصر الزرنيخ (As). تصل استطاعة إشعاع هذا الليزر تحت الأحمر حتى عشرات الواطات. يبدو هذا ليس كبير القيمة مقارنة مع ما مر ذكره من استطاعات قدرت بآلاف الواطات. لكن هذه الواطات العشر تؤخذ من طبقة مشعة سماكتها لا تزيد على 0.002 مم، وبطول 1مم! ولكن إذا ما بُرّد هذا الليزر حتى درجة حرارة الآزوت السائل 200- درجة مئوية، فإن

استطاعة إشعاعه يمكن رفعها بمقدار عشر مرات. هذا يعني أنه من سطح مشع مساحته 1 سم^2 يمكن الحصول على استطاعة تصل حتى المليون واط! لكن للأسف ولأسباب تقنية لا يمكن تصنيع نصف ناقل بطبقة انتقالية لها مثل هذه الأبعاد. على الرغم من ذلك، فإن تقانة إنتاج المواد نصف الناقلة تتطور باستمرار، ويمكن في المدى القريب أن نسمع عن ظهور ليزرات باستطاعات فائقة لا تتجاوز أبعادها أبعاد علبة الكبريت.

هناك أفكار أخرى تسمح بالحصول على استطاعات كبيرة للإشعاع. يمكن مثلاً إثارة ذرات مادة نصف الناقل بواسطة حزمة إلكترونات (كما في ليزرات الجسم الصلب - باستخدام المصباح الوميضي). تتغلغل الإلكترونات في عمق المادة لتثير كمية أكبر من الذرات، ويصبح بذلك عرض المنطقة المشعة أكبر بمئة مرة مما كانت عليه في حالة الإثارة بالتيار الكهربائي. لذا فإن استطاعة إصدار مثل هذه الليزرات ذات الضخ الإلكتروني يمكن أن تصل حتى اثنين من الكيلوواط.

إن الأبعاد الصغيرة جداً لليزرات أنصاف النواقل تجعلها مناسبة جداً للاستخدام في الأماكن التي تحتاج لمنابع ضوء صغيرة وذات استطاعة كبيرة. لكن يبقى لكل ثمنه، بتصغير كبير لأبعاد الليزر يصبح من الصعب تبريده، ويؤدي تقصير المسافة بين مرآتيه إلى رداءة في نوعية الإشعاع مقارنة مع الضوء الصادر عن الليزرات الغازية، ومنها أحادية اللون التي تتناقص كما يكبر انفراج (تباعد) الحزمة. لكن هذا يمكن معالجته بسهولة إذا ما تم التنازل عن تصغير أبعاد جهاز الليزر.

وهكذا ولدت فكرة «المرآة المشعة» أو «المصدرة للضوء»، التي يعتبر تصميمها بسيطاً إلى حد ما. حيث يغشى سطح مرآة معدنية بطبقة من مادة نصف ناقلة، وعلى مسافة معينة منها وعلى التوازي معها تركب مرآة ثانية عبارة عن مرآة خرج نصف شفافة. يوجه تدفق من الإلكترونات صادر عن جهاز إسقاط إلكتروني نحو طبقة المادة نصف الناقلة، ويركب كل هذا

الجهاز داخل دورق مخلى من الهواء، ويبرد السطح الخلفي للمرآة الأولى بواسطة سائل متدفق.

يمكن جعل حزمة الإلكترونات تأخذ العرض المطلوب. لأن السطح الكلي لبلورة نصف الناقل المشعة للضوء قد يصل في هذه الحالة إلى عدة سنتمترات مربعة. لذا يمكن توقع أن مثل هذا الليزر سيولد إشعاعاً مستمراً باستطاعة تصل حتى عدة مئات من الكيلوواطات، وطالما أن المرآتين متباعدتان عن بعضهما البعض الآن، فإن نوعية الإشعاع ذاته سوف تتحسن. وأخيراً فإن هناك نوع آخر من الليزرات، الذي يتميز بنوع مادته الفعالة عن الليزرات الأخرى. لقد رأينا حتى الآن أن الفعل الليزري يمكن أن يحصل عليه في الغازات والأجسام الصلبة (بما فيها أنصاف النواقل)، ولكن ليس صعباً أن نستشف هذا النوع من الليزرات ألا وهو:

♦ ليزر السوائل

صُمّم هذا الليزر طبعاً، ليس من أجل جعل الليزرات تعمل على مواد تشمل الحالات الثلاث للمادة: الصلبة والسائلة والغازية، أو كما يقال لكي لا تستثنى مادة من ذلك، بل لأن الأمر هنا مختلف، حيث إن لكل نوع من أنواع هذه الليزرات محاسنه ومساوئه.

ففي المواد الصلبة يمكن بلوغ تركيز كبير للذرات المشعة (المصدرة للإشعاع أو الضوء)، وبالتالي الحصول على طاقة كبيرة من سنتمتر مكعب واحد من القضيب. ولكن تصنيعها صعب، فهي بالإضافة إلى ذلك تبقى غالية الثمن، ويمكنها أن تتشقق أو تنفجر من جراء تسخينها خلال العمل في أكثر اللحظات حراجة.

تُعد الغازات متجانسة ضوئياً جداً وذات تبعثر قليل للضوء، لذا فإن أبعاد الليزر الغازي يمكن أن تكون مهيبة للغاية: فالطول 10 أمتار والقطر

من 10-20 سم لا يشكلان حداً لها. لكن مثل هذا الكبر في الأبعاد لا يسر أحداً. هذا المعيار القسري ضروري من أجل تعويض الكمية القليلة من الذرات الفعالة للغاز المحصور في أنبوية الليزر تحت ضغط يقدر بمئات الأجزاء من الضغط الجوي. ولكن ضخ الغاز وسحبه ينقذ الوضع إلى حد ما، سامحاً بتصغير أبعاد المادة المصدرة للإشعاع (المشع) (تذكر أن 100م استبدلت بـ 90 سم طولاً في الليزر من نوع LT-1. ولكن من أجل دفع (طرد) الغاز داخل حلقة مغلقة (دارة) يلزم بعض المعدات، منها مضخة دفع الغاز وبراد ومرشحات متنوعة. وبالنتيجة فإن ليزر LT-1 سيشغل مساحة قدرها 20 متراً مربعاً بارتفاع للمحطة قدره حوالي 3 أمتار.

تكتسب السوائل محاسن كل من المواد الليزرية الصلبة والغازية: فكثافتها لا تقل عن كثافة الأجسام الصلبة سوى بمرتين إلى ثلاث مرات فقط (وليس بمئات آلاف المرات كما هو الحال لدى الغازات). لذا فإن كمية ذراتها في واحدة الحجم تكون متساوية. ويعني هذا أن الليزر السائل يسهل تصنيعه كي يعطي استطاعة لا تقل عما يعطيه ليزر الجسم الصلب.

كما أن التجانس الضوئي للسوائل لا يقل عن تجانس الغازات، وهذا يسمح باستخدام حجوم كبيرة منها، أضف إلى ذلك أن السائل قابل للضخ أيضاً عبر الحيز العامل، مع الحفاظ المتواصل على درجة حرارته منخفضة وفعالية عالية لذراته. ومن بين أكثر الليزرات انتشاراً هي:

♦ ليزرات الأصبغة

سميت هذه الليزرات بهذا الاسم لأن السائل العامل فيها هو عبارة عن محلول أصبغة الأنيلين (أصبغة كتلك التي تستخدمها ربات البيوت في صباغة الصوف والقطن) في الماء والكحول والحمض وغيرها من المذيبات. يصب السائل في علبة مسطحة، وتتوضع هذه العلبة طبعاً بين مرآتين. وتضخ

طاقة جزيئة الصبغة (أو الصباغ) ضوئياً ولكن استعمل عوضاً عن المصباح الوميضي ليزر الياقوت النبضي، ثم الليزرات الغازية.

إن ليزر الضخ لا يركب هنا داخل الليزر الصباغي، وإنما يوضع خارجه وعلى جانبه بحيث يدخل شعاعه من نافذة جانبية من هيكل الليزر. ولقد أمكن الآن استخدام المصباح النبضي في توليد الضوء من الليزر الصباغي ولكن ليس لكل الأصبغة المستخدمة.

تستطيع المحاليل إصدار نبضات من الضوء على أطوال موجية مختلفة، تتراوح بين مجال الأشعة فوق البنفسجية وبين مجال الأشعة تحت الحمراء، بإشعاعات تتراوح استطاعاتها من بضع مئات من الكيلوواطات وحتى بضعة ميغاواطات (ملايين الواطات)، تبعاً لنوع الصباغ المصبوب في العلبة أو تجويف الليزر.

وتتمتع ليزرات الأصبغة بخاصية مهمة. فكل الليزرات تصدر ضوءاً على طول موجة واحدة محددة (وهي خاصية أحادية اللون). تقع هذه الخاصية في صميم طبيعة الإشعاع المحثوث للذرات، التي عليها يقوم الفعل الليزري. لكن الإشعاع المحثوث الصادر عن جزيئات الأصبغة العضوية الكبيرة والثقيلة تكون واقعة ضمن عصابة عريضة من أطوال الموجة. ولكي نحصل من الليزر الصباغي على إشعاع أحادي اللون يوضع مرشح ضوئي في طريق الشعاع. المرشح الضوئي ليس فقط قطعة من الزجاج الملون كما هو الحال في المرشح المستخدم في التصوير الضوئي، بل عبارة عن تشكيلة صفائح زجاجية تمرر فقط ضوءاً وحيد طول الموجة. بتغيير البعد بين الصفائح يمكن بسهولة تغيير طول موجة الإشعاع الليزري. يدعى مثل هذا الليزر بالليزر القابل للتوليف. من أجل أن يولد الليزر ضوءاً في قطاعات مختلفة من الطيف، كأن ينتقل مثلاً من الضوء الأزرق إلى الضوء الأحمر أو من الضوء فوق البنفسجي إلى الضوء الأخضر، يكفي استبدال التجويف الحاوي على السائل العامل أو الصبغة. وبهذه الطريقة بالتحديد يعمل الليزر

القابل للتوليف "رادوغا" (بيلاروسيا). فلهذا الليزر عشر تجاويف لأصبغة مختلفة، المركبة على قطعة دوارة تقوم مقام مبدّل مجالات الإشعاع، وضمن كل مجال من هذه المجالات يمكن توليف الإشعاع الليزري بواسطة مرشح. يمكن لهذا الليزر بفضل هذه الميزات أن يصدر ضوءاً على أي طول موجة بدءاً من الأشعة فوق البنفسجية وصولاً إلى الأشعة الحرارية أو تحت الحمراء، وبهذا تكون عصابات الإشعاع عريضة لهذا الليزر.

إذا كانت مثل هذه الليزرات، لبضع سنين خلت، عبارة عن أجهزة فريدة استخدمت فقط في المخابر لأهداف البحث، فإنها قد لاقت اليوم استخدامات عملية ليست بالقليلة. لقد بدت هذه الليزرات أنها أكثر واعدية في دراسة بنية المواد. بتوليف تواتر الإشعاع يمكن معرفة طول موجة الضوء الممتص أو المتبعثر على مسار الشعاع. بهذه الطريقة يمكن معرفة تركيب الغلاف الجوي والسحب، على بعد يصل حتى 200 كم، وقياس تلوث المياه أو الهواء، والتباين الفوري لأبعاد الجسيمات الملوثة لها. أي أنه يمكن بناء جهاز للمراقبة الآلية والمستمرة لنقاوة الماء والهواء! ومثل هذا الجهاز قد بني حقاً. فالشعاع الليزري يتحسس الغلاف الجوي فوق المدينة، وتقوم أجهزة حساسة بقياس شدة الضوء المتبعثر، وتسجيل النتيجة على شريط ورقي. عندما تتجاوز كمية جسيمات التلوث في الهواء حداً معيناً، تصدر عن الجهاز إشارة إنذار بالخطر. (انظر الأشكال 8، 9، 10).

يا لها من "ظاهرة طريفة" فإلى جانب ليزرات السوائل ذات العصابات الطيفية العريضة، توجد ليزرات أخرى تتميز بأحادية موجية عالية أكثر مما هو متوفر لدى الليزرات الصلبة أو الغازية. وإلى هذه الليزرات قادت فكرة بسيطة جداً.

إذا ما وجدت ليزرات يصدر الضوء فيها عن ذرات عنصر النيوديميوم النادر مع أملاحه المنصهرة في كتلة زجاجية، فلماذا لا تُحلُّ هذه الأملاح وتُسكب في علبة مجوفة؟ ولا تقف خواص هذه السوائل عند حدود

التجويف (تذكر أنه ليس ذو معنى جعل أطوال القضبان الصلبة أكبر من 50 إلى 60 سم)، وأما عرض عصابة إشعاع مثل هذا الليزر، فيصبح أضيق بمئة مرة مما هي عليه في الليزر الصلب العامل على النيوديميوم - زجاج.

«ولكن عذراً - يمكن للمرء الذي قرأ الفصل الأول من هذا الكتاب أن يقول ما دام الليزر وحيد الموجة، أي يصدر ضوءاً على طول موجة واحدة، فعن أية عصابة إشعاع يجري الحديث؟». في واقع الأمر يشع أي ليزر ضوءاً في مجال محدد من أطوال الموجة، والحقيقة أن هذا المجال أو الفاصل ضيق جداً، لذا وتوخياً للدقة لا يوجد ما يدعى إشعاع أحادي الموجة على نحو مطلق - هذا ضرب من المثالية. يمكن لطول موجة ضوء الليزر أن "يتذبذب" قصراً أو طولاً بحوالي جزء من مئة من قيمته (بالنسبة لليزرات الجيدة). وكلما نقصت المسافة بين مرآتي الليزر أصبحت هذه العصابة أكثر عرضاً. تشكل هذه العصابة في ليزرات أنصاف النواقل ما قيمته بضعة أطوال موجية، وفي ليزر أملاح النيوديميوم فهذه العصابة هي جزء من عشرة آلاف من طول الموجة.

يمكن الحصول على هذا الثبات في طول الموجة من الليزرات الغازية الكبيرة فقط، إذا ما اتخذت الإجراءات الاحترازية اللازمة مثل: تأمين استقرار حراري لأنبوبة الليزر، وتأمين استقرار لشدة التيار المغذي لها، وإدخال دارة التوليف الآلي لطول موجة الإشعاع في مخطط الليزر. ويجب أن تكون استطاعة الليزر عندها أصغرية، لأن رفع الاستطاعة يؤدي إلى توسيع العصابة. غير أن عصابة الإشعاع تبقى بحد ذاتها في ليزر النيوديميوم السائل، وتثبت حتى عند رفع ملحوظ لاستطاعة الإشعاع وهذا مهم للغاية، من أجل أي نوع من أنواع القياسات الدقيقة - حيث تخدم الموجة الضوئية هنا كمسطرة قياس مدرجة. بتوضيع أو تصفيف مليون طول موجة على قطعة مستقيمة، ومن ثم بجداء هذا العدد بطول الموجة نحصل على طول القطعة نفسها. لذا فإن دقة القياس ستتعلق بدقة تقسيم أو تدريج المسطرة

بهذه التدريجات، أي إلى أي حد من الدقة سيحافظ فيه طول موجة الضوء الصادر عن الليزر على قيمته. إن نقصان عرض عصابة الإشعاع الليزري بمئة مرة يعد برفع دقة قياس الأطوال الموجية بالنسبة نفسها أي بمئة مرة.

هذا باختصار ما أمكن الحديث عنه بالنسبة لجميع الليزرات الموجودة والمستعملة في المخابر والمصانع، وعن تلك الليزرات التي ستخرج إلى حيز الوجود بعد الانتهاء من إعدادها، والتي ستشغل مكانها في الصناعة، والعلم والحياة. وماذا عن الطبيعة! هل يوجد حقاً شيء ما في الطبيعة مشابه للمولد الكوانتي للضوء أي الليزر؟

تمتص المادة الضوء لدى عبوره فيها، ويشتد الامتصاص مع إطالة مسار الضوء فيها. وهذا معروف منذ زمن بعيد، ويبدو أن الأمر لا يمكن أن يحصل بشكل آخر. لهذا السبب عندما ظهر اقتراح أن مرور الضوء في مادة يمكن أن لا يعاني من تخامد، بل من تضخيم (وهذا كل ما يتطلبه أن يكون معامل الامتصاص الداخل في العلاقة الرياضية[1] ذا إشارة سالبة فقط!)، لقد اُستقبلت هذه الفكرة على أنها من قبيل اللعب في الرياضيات، ولا يمكن أن تحمل أية فكرة فيزيائية. لكن وبعد عدة عقود، من طرح هذه الفكرة أمكن تصنيع أول ليزر، مما دل على أن الضوء يتضخم فعلاً في مادة الليزر بدلاً من أن يتخامد، وهذا أمكن له أن يحصل فقط في حالة أصبحت فيه إشارة معامل الامتصاص مغايرة لما كانت عليه.

الليزر هو من إبداع الإنسان ولا يمكن أن تتحقق شروط تشكله في الطبيعة! هذا ما أفصح به معظم العلماء. ولكن مع مرور الأيام، اكتشف الفلكيون أن المجرات البعيدة تشع أمواجاً راديوية، تعمل وكأنها ميزرات عملاقة (Masers) وهي مولدات كوانتية تصدر أمواجاً كهرطيسية

---

[1] العلاقة الرياضية هي: $I=I_0e^{-\alpha x}$ (حيث I شدة الضوء، x إحداثي البعد، α معامل الامتصاص) للتوضيح. - (المترجم).

بأطوال تصل حتى بضعة سنتمترات. في السحب الغازية الضخمة التي تصل أبعادها حتى مليارات الكيلومترات، تنشأ شروط توليد مثل هذه الأمواج، وأما الضخ فتقوم به الأشعة الكونية. كما اكتشف وجود مولد كوانتي طبيعي بجوار المجموعة الشمسية، وبمقتضى ذلك يصدر غلاف المريخ إشعاعاً في المجال تحت الأحمر وكأنه ليزر ضخم! وتستغني هذه المولدات الكوانتية الطبيعية عن استخدام المرايا، لأن المرايا تكون لازمة من أجل إيجاد تدفق فوتونات بكمية معينة، ولكن مثل هذه التدفقات تتشكل تلقائياً في الغازات ذات السماكات الكبيرة من رتبة عدة كيلومترات في الطبيعة. لذا فإن إشعاع مثل هذه الليزرات الطبيعية ينطلق في كل الإتجاهات، فهو بالتالي غير موجه.

لقد سبق أن وضع مشروع في هذا المجال يقوم على إطلاق قمرين صناعيين محملين بمرآتين ضخمتين (الأولى عاكسة كلياً والثانية نصف شفافة) لوضعهما حول المريخ، بحيث تبقى هاتان المرآتان في وضع التوازي طيلة الوقت. ينتج عن ذلك ليزر غازي طوله بضع آلاف من الكيلومترات. ليخدم الإشعاع عالي الاستطاعة الصادر عنه كمنبع للطاقة من أجل المخابر الفضائية. (الشكل رقم 11).

ولكن هذا الأمر يخص المستقبل البعيد، بينما يجري الحديث اليوم عن اختراع يمكنه إطلاق ثورة حقيقية في التقنيات المعاصرة وخاصة في تقنية الاتصالات، سيجري الحديث عن:

♦ كيف أرسل شعاع الليزر عبر خطوط النقل؟

الشعاع الليزري مفيد للجميع، فهو يستطيع حمل طاقة هائلة، ونقل إشارات كما تفعل الأمواج الراديوية أو التيار الكهربائي. لكن التيار الكهربائي المنبثق من مولد أو بطارية يمكنه أن يمر بأسلاك مطمورة في

الأرض أو معلقة على الأعمدة. فالأسلاك يمكن ثنيها كيفما كان، ويختار لها الطريقة الأنسب في مدها.

يبدو من الوهلة الأولى أن شعاع الضوء غير قابل للثني، وهو ينتشر عادة وفق خطوط مستقيمة بدقة. ولكن يمكن كسر مساره إذا ما وضع في طريقه مرايا أو مواشير. لكن هذا ليس حلاً، فلكي يتم التخلص من العقبة ينبغي وضع كم من المواشير في طريق الشعاع يساوي إلى عدد الانعطافات التي يترتب عليه القيام بها.

وماذا لو مُرّر الشعاع في أنبوبة مرنة ذات جدران عاكسة يمكن ثنيها كيفما كان. عندها سينعكس شعاع الضوء عن الجدران ليتقدم إلى الأمام.

لكن لماذا يتحتم تمرير الضوء داخل أنبوبة؟ فالضوء في الواقع ليس غازاً ولا سائلاً، ينبغي ضخه. إذ يمكن تمرير الضوء عبر قضيب زجاجي مصمت لا يلزم تفضيضه أيضاً. فإذا ما ورد الضوء من داخل الزجاج إلى الحد الفاصل "زجاج - هواء" بزاوية كبيرة، فإنه سيعاني من انعكاس كلي دون أن يخرج. تدعى هذه الظاهرة بالانعكاس الداخلي الكلي. وهذه الظاهرة تحصل عندما تكون سماكة القضيب صغيرة إلى حد لا يبقى عنده القضيب قضيباً، بل ليفاً زجاجياً. تقدر سماكة مثل هذه الألياف بأجزاء من الألف من المليمتر. يمكن جمعها في جدائل بسماكات مختلفة، كما تجمع الأسلاك النحاسية في كابلات. تكون الخيوط الزجاجية الرفيعة غاية في المرونة، لذا فإن دليل الضوء الليفي يمكن ثنيه وربطه بعقدة والتعامل معه عموماً وكأنه سلك كهربائي عادي.

يمكن أن يرسل بدليل الضوء الليفي، ليس فقط مجموعة من الأشعة، بل صور كاملة. لهذا يجب تبئير أو محرقة الخيال بواسطة عدسة جسمية على طرف الليف المصقول. عندها سيمكن رؤية هذا الخيال على الطرف الآخر لليف، مهما كان ثني الليف معقداً. وبالطبع سيكون الخيال

عبارة عن مجموعة نقاط مضيئة، حسب عدد الألياف المكونة للدليل الضوئي، ولكن ذلك لن يكون ملحوظاً، هذه النقاط ستكون صغيرة نتيجة صغر أقطار الألياف.

يمكن تغيير أبعاد الخيال بواسطة الدلائل الضوئية نفسها « light guides»، فإذا استخدم ليف من النوع الذي يتوسع من بدايته وحتى نهايته، فإن رقعة الخيال ستزداد، وإذا تضيق الليف فإن رقعة الخيال ستتناقص.

يمكن عبر الدليل الضوئي إرسال معلومات سرية مشفرة، بحيث لا يستطيع أي متلقي (غريب) حتى ولو التقطها من أن يعيد قراءتها على نحو صحيح. يجري ذلك ببساطة، ولهذا يكفي أخذ قطعة من الدليل الضوئي بحيث تكون أليافه متشابكة ووصله مع بداية خط الاتصال. هنا سيمر خيال غير واضح عبر الخط، عبارة عن خلطة ما من النقاط بعضها مضيء وبعضها الآخر مظلم. ولكن على الشخص المقصود (المرسل إليه) أن يضع أمام جهاز الاستقبال قطعة من نفس الدليل الضوئي، ووصلها مقلوبة بخط الاتصال «أي على نحو معكوس لما كان عليه الدليل في بداية الإرسال». سيعاد فك الإشارة المتشابكة لتعطي من جديد خيالاً واضحاً.

يمكن بواسطة دلائل الضوء الليفية المرنة القيام بفحص دقيق للقطع الداخلية في الماكنات والآليات دون الحاجة إلى فكها، وذلك بإدخال دليل الضوء عبر فتحة صغيرة ليوصل الضوء الصادر عن لمبة قوية إلى المكان المراد فحصه. وهكذا يمكن تفحص، ليس فقط آلة (ماكنة)، بل يمكن النظر إلى معدة إنسان، لمعرفة ما إذا كانت هذه المعدة مصابة بقرحة أو أي مرض معدي آخر. إن دليل ضوئي قطره يعادل قطر قلم الرصاص يدخل إلى المعدة عبر المريء (الشكل رقم 12). على الرغم من أن هذا الإجراء غير مريح، لكنه يبقى أفضل من جراحة شق البطن عديمة الفائدة أحياناً. تدعى مثل هذه الأجهزة المستعملة في دراسة السطوح الداخلية بأجهزة

التنظير «الإندوسكوب». وهي مختلفة فيما بينها من حيث تكوينها وتجهيزها، ففي بعضها يشاهد الخيال من خلال العدسة العينية، وفي بعضها الآخر يكون الخيال أحياناً ملوناً، ويظهر على شاشة التلفزيون. كم هو جيد أن الليف الضوئي قد خلصنا من ضرورة ابتلاع كاميرا التنظير (آلة تصوير صغيرة)؟

على الرغم من أن الإرسال المباشر للصور مفيد جداً، إلا أنه ليس بالطريقة الأهم في استعمال الليف الضوئي. والأهم من هذا بكثير، أن الدلائل الضوئية الزجاجية الخفيفة والمرنة يمكنها أن تحل محل الكابلات النحاسية لخطوط الاتصالات. يؤكد الاختصاصيون أن مستقبل الاتصالات سيعتمد تحديداً على الأشعة الليزرية المنقولة بالألياف الضوئية.

لا غرابة في ذلك فلقد استخدم الضوء في الاتصالات منذ أقدم الأزمنة. في بلاد الإغريق وجد جهاز أشبه ما يكون بجهاز التلغراف المعاصر، والذي بواسطته كان بالإمكان إرسال كلمات وجمل كاملة. الأوامر التي كان الجهاز يُشغّل بها أو يُوقفْ كانت تطلق عبر مشاعل. ففي القرون الوسطى استعملت المشاعل المثبتة على جدران القلاع في إرسال الأوامر إلى المعسكرات والمخيمات القائمة في الحقول المحيطة بهذه القلاع، ولكن الضوء في طرق الاتصالات هذه لم يكن سوى إشارة فقط، دون أن يحمل أية أخبار أخرى (الشكل رقم 14).

استخدم خلال الحرب العالمية الثانية ما يدعى «الهاتف الضوئي»، الذي كان يعمل على نقل الأسرار المهمة بواسطة الأشعة الحرارية غير المرئية. ولكن لم يكن مدى عمله طويلاً، وكانت المحادثات بواسطته ممكنة على مسافات ضمن الرؤية المباشرة. لكن أصبح الضوء في الوقت الحاضر مستخدماً في الاتصالات فقط بعد أن أمكن تحقيق ما يدعى:

♦ الاتصالات بالليزر

حصل هذا منذ زمن غير بعيد، ولبضع سنوات خلت، ولكن مع بداية التطور العاصف للإرسال الإذاعي ركّز العاملون في الاتصالات انتباههم على المجال الضوئي من الأمواج الكهرطيسية بشكل عام.

انظر إلى جهاز الراديو مثلاً، سترى أنه في مجال الأمواج الطويلة "تتوضع" أمواج الإرسال على محطتين أو ثلاث، وعلى الأمواج المتوسطة يمكن سماع خمس إلى عشرة محطات. وآخرها في مجال الأمواج القصيرة، حيث تسمع تحديداً محطة إرسال واحدة على كل ملمتر من سلم تدريجات المذياع، فبتدوير مقبض التوليف يمكن سماع صأصأة إشارات مورس، وإشارات منارات الإرسال اللاسلكية وأحاديث بلغات مختلفة إلى جانب بث الموسيقا. وإن المحطات العاملة على الأمواج القصيرة هي كثيرة إلى حد يتطلب فيه الأمر استطالة سلم توضع هذه الأمواج، ليصبح أطول بعدة مرات من سلالم مجالات الأمواج الأخرى في المذياع. ليس صدفة بل قانوناً، أنه كلما قصرت الأمواج الكهرطيسية، زادت إمكانية توزيعها على قطعة من السلم دون أن تشوش على بعضها البعض.

لكن الضوء هو أيضاً عبارة عن اهتزازات كهرطيسية مثلها مثل أمواج الراديو (أو الأمواج اللاسلكية)، ولكنها أكثر قصراً. لهذا السبب فإن المجال الضوئي هو أوسع بخمسين ألف مرة من المجال الراديوي. يعني أنه إذا ما استخدم الضوء في الاتصالات كما هو الحال في الراديو، فيمكن الحصول على كثافة لا نظير لها من الأخبار المرسلة! لهذا يلزم أن لا تشوش أجهزة الإرسال على بعضها البعض. ويمكن بلوغ ذلك إذا ما تم الإرسال في كل منها على طول موجة محددة بدقة.

يبدو كل شيء بسيطاً مع أمواج الراديو: فبإمكان المرسل إرسال أمواج كهرطيسية على أي طول موجة. وعلى هذه الأمواج يمكن تحميل الأخبار بسهولة كبيرة، فالموجة الحاملة لإشارة ما - حديث أو موسيقا - تدعى بالموجة المعدّلة. ويكون التعديل على نوعين: تعديل تواتري (عندما يتغير طول موجة الإشعاع) وتعديل سعوي (عندما تتغير شدة الإشعاع). يمكن أيضاً تعديل الضوء إذا لم يكن مكوناً من أمواج كهرطيسية مختلفة، بل من موجة واحدة ذات شدة كافية، وباختصار يلزم ليزر هنا. بمجرد أن ظهر الليزر تلقفه العاملون في الاتصالات. ففي عام 1962 تحديداً، أقيم خط الاتصال بالليزر بين منطقة كالينين في موسكو وإحدى مدن الضواحي وهي كراسنوغورسك (الشكل رقم 13). جرى الاتصال عبر شعاع الليزر المباشر حيث نُصب الليزر على برج المبنى المركزي في جامعة موسكو الرسمية. كان هذا البرج في ذلك الزمن أعلى نقطة في موسكو، وأما برج أوستانكينو، فكان ما يزال في طور التصميم فقط. لقد عمل خط الاتصال بدقة في ظروف البرد والقيظ، ليلاً ونهاراً، ولكنه لم يعمل في أوقات هطول الأمطار وتساقط الثلوج وفي الضباب والجو الملبد بالغيوم. في هذه الحالات كان الخط الضوئي يتوقف عن العمل، ويجري تحويل المكالمات إلى خط الاتصال الكهربائي. يصل عدد ساعات الضباب الكثيف في موسكو حتى 80 ساعة في العام، ويتجاوز عدد ساعات الضباب في الشمال هذا الرقم بكثير. على كل حال لا يمكن الجلوس وانتظار تحسن الطقس كي يعود الاتصال إلى حالته الطبيعية، طبعاً لا، يجب استبعاد كل مؤثرات الطقس الضارة، ويتحقق ذلك بإرسال الضوء عبر ألياف الدلائل الموجية أو ببساطة عبر الألياف الضوئية.

يطبق الشعاع الليزري على المُعدّل - وهو جهاز يُحمّل الشعاع الإشارة المراد إرسالها (كأن تكون مكالمة أو قطعة موسيقية أو صورة تلفزيونية)، ثم يمر عبر كابل ليفي. يعاني الشعاع داخل الليف من عدد غير محدود من

الانعكاسات الداخلية على جدرانه، ماراً عبره مئات ومئات من الأمتار ليصل الشعاع المعدّل إلى جهاز آخر يقوم بتحويله إلى إشارة كهربائية مألوفة لدينا. (الشكل رقم 15).

يمكن عبر الليف الضوئي نفسه توجيه أشعة أخرى صادرة عن ليزر ثان وثالث ورابع بأطوال موجية مختلفة. يمكن لكل شعاع فيها حمل إشارة خاصة به، فمثلاً يمكن في آن معاً إرسال حوالي 32 ألف مكالمة هاتفية أو 60 برنامجاً تلفزيونياً ملوناً، عبر ليف واحد هو خيط من الزجاج أرفع قليلاً من الشعرة! توجد الآن دلائل ضوئية قادرة على العمل في نفس الشروط، التي تعمل فيها الأسلاك العادية، فهي تتحمل تقلبات كبيرة في درجة الحرارة وآثار التلبد بالجليد ولفحات الريح القاسية، ويمكن مدها وهي مطمورة تحت الأرض أو حملها مشدودة على أعمدة. تسمح خاصية التمرير العالية للدلائل الضوئية بإيجاد شبكة من الكابلات التلفزيونية العاملة بدون تشويش أو تشويه، كما تعمل عليها محطات الإرسال الإذاعي (الراديوي). وغالباً ما تجمع ألياف الدلائل الضوئية والأسلاك الكهربائية العادية في ضفيرة واحدة.

بالإضافة إلى ما ذكر، هناك فكرة مهمة جداً - أُخذت بالاعتبار - لدى البحث عن إقامة الاتصال بطريقة الليف الضوئي. السلكان الكهربائيان المتجاوران يمكنهما التشويش على بعضهما البعض. كما أن التيار المتناوب المار في أحدهما يحرض تياراً مماثلاً في السلك الآخر ولو بشدة أقل. ينتج عن ذلك إشارة كاذبة، ضجيج، طقطقة، هل هي موسيقا أم كلام، تعيق الإرسال في السلك المجاور. مثل هذه الإشارات - التشويش تدعى بالضجيج، فالشرارات الكهربائية والصواعق تولد ضجيجاً في أجهزة الاستقبال الإذاعي.

وعلى الخصوص، يشكل الضجيج خطراً على عمل أجهزة الحواسيب. لقد وقعت حادثة في الولايات المتحدة الأمريكية، عندما انفجر

صاروخ فضاء عملاق بعد بضع ثوان من إقلاعه: وذلك من جراء حدوث خطأ واحد في الحسابات، جعل الصاروخ ينحرف عن مساره ويتجه للسقوط على مدينته. لقد بينت التحريات أن السبب في هذه الحادثة، هو حاكمة صغيرة، وأن تماسها المعطل قد أعطى شرارة ولدت ضجيجاً، عطل بدوره عمل الآلة أو الماكنة. بذلك كلفت هذه الشرارة الطفيفة الأمريكيين بضعة ملايين من الدولارات.

للتخلص من التشويش يُلبّس السلك بغلاف حاجب أو درع على شكل شبكات مجدولة من خيوط نحاسية. لهذا تُحجب كافة كابلات التواتر العالي (الراديوي) لدى تصنيعها، كما هو الأمر تماماً في الكابل الواصل بين الهوائي والتلفزيون، وحتى هذا - كما سبق أن رأينا - لا يكفي دوماً لحل مشكلة التشويش.

غير أن هذه المزعجات لا تحصل في الدلائل الضوئية الليفية، وهنا يكفي طلي سطح الليف بطبقة رقيقة من صباغ غير شفاف. لذا يعتقد أن ليزرات أنصاف النواقل الصغيرة الحجم والألياف الضوئية سوف تحل محل الأجهزة الإلكترونية والكابلات المعدنية من أجهزة الحواسيب. لقد أصبح من الممكن إطفاء وإشعال وتغيير سطوع الليزرات باستخدام ليزر آخر، كما يُشغّل التيار الكهربائي ويُفصل ويضخم بواسطة مصابيح إلكترونية وترانزستورات، أي أن الضوء سيحل محل الكهرباء ويزيحها.

إليكم شيئاً مهماً، ألا وهو كيف أن الطبيعة تدبرت أمرها في إيجاد مثل هذه الأداة المعقدة المشابهة لدليل الضوء الليفي والمولّفة على طول موجة معين. إن مصمم وصاحب هذه الأداة هو الدب الأبيض القطبي. لقد تمكن العلماء الأمريكان من التوصل إلى أن كل وبرة من فروة هذا الدب تعمل وفق مبدأ الليف الضوئي. يسخن ضوء الشمس الوبر الصوفي، وأما الأشعة الحرارية (تحت الحمراء) فتسير في الأوبار إلى الجلد وتدفئ الدب.

نظراً لما أظهرته كابلات الألياف الضوئية من سهولة في الاستخدام

مع الأشعة الليزرية، فقد جرى فوراً تكييفها لنقل حزمة الضوء عالية الاستطاعة كتلك المستخدمة في الصناعة. لكن هذا التكييف لم يكن سهلاً، ولكن في النهاية ليس بعيداً تاريخ صناعة الدليل الضوئي، الذي يمكن عبره ضخ الطاقة من ليزر مستمر أو نبضي عالي الاستطاعة، كذلك الليزر الموجود في ورشات مصنع ليخاتشوف للسيارات في موسكو، على سبيل المثال. هذا يعني أن:

♦ الليزر يقطع ويلحم ويصقل

الليزر يُقسّي ويثقب ويُفصّل أيضاً ويختبر جودة المواد، ويؤدي أعمالاً أخرى إضافية ليست أقل أهمية، وللوهلة الأولى يبدو أن شعاع الضوء لا يصلح لها، ولكن الأمر في الواقع هو ليس كذلك.

ينص أحد قوانين الطبيعة على أنه مهما كانت استطاعة جهاز التسخين، فلا يمكنه تسخين مادة حتى درجة حرارة أعلى من تلك التي لدى جهاز التسخين نفسه. ومع أن هذا القانون يبدو بديهياً تماماً، ولكن تنبثق عنه من اللحظة الأولى نتيجة غريبة: كل من فرن مارتن العملاق (فرن صهر الحديد والفولاذ) وفتيلة مصباح الغاز يمكنهما صهر وتبخير أي شيء كان، وبغض النظر عن الاستطاعة التي يطلقها الفرن أو الليزر فإن زمن تأثيرهما على المادة لا بد أن يكون كافياً. لهذا السبب لاقى الليزر اهتمام المهندسين والتكنولوجيين، ولهذا أيضاً بدأ الليزر بالتوغل في بعض فروع الإنتاج، وكأنه بدا أن لا مجال لليزر من عمل هنا. على الأخص، لقد جاء الليزر بتحولات مدهشة في سبيل معالجة المواد الصلبة، فشعاع الضوء يقطعها كما لو أنها مادة لدنة.

تحتاج معالجة المواد الصلبة إلى أداة للمعالجة أكثر صلابة. غالباً ما تصنع هذه الأداة من الألماس الأكثر صلابة من غيره. لكن بمَ يعالج الألماس

نفسه؟ إنه يعالج بالألماس فقط. انظر إلى المصباح الكهربائي (وهو مطفأ) فسلكه مصنوع من التنغستين الصلب المقاوم للصهر. ولتصنيع سلك رفيع من التنغستين لا بد من سحبه الكثير من المرات عبر فتحة متضيقة في صفائح من الألماس أي القوالب (Dies). (الشكل رقم 16- أ).

مهما تكن قساوة الألماس فهو لا يصمد أمام الزيادة في الحمولات، وبالتالي لا بد من استبدال القوالب من وقت لآخر. بالارتكاز على صفيحة من الألماس تُدّور أنبوبة رفيعة ويُرش مسحوق ألماسي تحتها، فيتم الحصول على قالب جديد. يجري ترويض الألماس ببطء، فبعد يومين أو ثلاثة من العمل المتواصل تصبح القطعة الجديدة جاهزة. وهكذا تثبت قطعة الألماس على المخرطة التي تذكرنا بالميكروسكوب أكثر مما تذكر بالمخرطة نفسها. وهنا لا محرك يستخدم، ولا مثقب، ولا يرسب مسحوق على الألماس، ولا يصب سائل تبريد عليه. إنما تركز نبضة ليزرية على سطح الألماس بواسطة عدسة، وتعطى ومضة أولى! وثانية! وثالثة! فيتبخر الألماس وتتشكل حفرة في مكان الصدم الضوئي للألماس. تتعمق الحفرة مع كل ومضة جديدة لتتحول إلى قناة دائرية دقيقة. وبعد ثانية إلى ثانيتين تصبح الفتحة النافذة جاهزة ويمكن بعدها تركيب القالب الجديد على المخرطة.

بنفس الطريقة تحضر العناصر الداخلة في صناعة الساعات أي الأحجار (الشكل رقم 16- ب). أحجار الساعات هي كراسي تحميل (محامل bearings) مصنوعة من الياقوت، وأسطوانات أقطارها تتراوح ما بين 1.5 - 2مم وسماكتها 0.5 مم مع وجود ثقب في منتصفها. تركب محاور عجلات الساعة على هذه المحامل لتعمل عشرات السنين دون اهتراء، ويمكن أن تحتاج لبعض التشحيم في أحيان نادرة، وكلما ازداد عدد الأحجار في الساعة كانت موثوقة أكثر.

تدخل محامل الياقوت ليس فقط في صناعة ساعات اليد، بل وحتى في صناعة المنبهات (ساعة منبه) أيضاً. يسجل عدد الأحجار على ميناء

الساعة (Dial). أُحتفظَ بهذا التقليد منذ تلك الأزمنة، عندما كانت الأحجار غالية الثمن، وكانت صناعتها صعبة أيضاً. لهذا السبب كانت الساعات ذات الأحجار الاثني عشر محل تفاخر خاص.

أما الآن ففي مصانع الساعات، تُصنّع أحجار الساعات بواسطة مخارط ليزرية مؤتمتة (الشكل رقم 16- ج)، ولا يحتاج تصنيع المحمل لأكثر من ثانية واحدة. أما فتحته فتكون دائرية على نحو مثالي، ولا يهدر أثناء التصنيع أي قطعة تذكر عملياً.

وأهم ما في الأمر، أن عملية ثقب الفتحة تحصل خلال أجزاء من الألف من الثانية، أما الوقت الآخر فيصرف على توضيع القطعة المصنعة ومن ثم سحبها جاهزة.

إذا كان الليزر يستخدم في تثقيب الياقوت والألماس، فسيكون من الأسهل عليه التعامل مع الصخور الجبلية العادية. من هنا ولدت فكرة حفر الآبار بالليزر. وتصنع أدوات الحفر من السبائك الصلبة أو الألماس - مثاقب حفر الآبار - من أجل الحفر في الصخور المتينة. لكن مثل هذه الأدوات تُثلم ويتطلّب الأمر عندئذ استبدالها وإخراجها من البئر على عمق عدة كيلومترات، وهذه العملية طويلة ومتعبة للغاية. في مشاريع حفر آبار عميقة جداً يصل عمقها إلى 160كم! وربما يطرح سؤال عفوي هنا، حول كيفية إطالة مدة خدمة أداة الحفر.

ليس لمتانة الصخر أي قيمة بالنسبة للّيزر، فالشعاع الليزري أداة حفر لا يعتريها الاهتراء. ولكن طبعاً من أجل تدمير الصخر على كامل سطح البئر فقط، بقطر يتراوح ما بين 10 - 12 سم، لا بد من ليزر عالي الاستطاعة جداً. لتجنب هذا المطلب في الاستطاعة العالية، يمكن تدمير صخرة فتحة البئر، بتثقيب قناة صغيرة على محيط الفتحة عوضاً عن تدمير كامل الصخرة، وهذا يخفض من استطاعة الليزر المطلوب. عندئذ يمكن التخلص من الصخرة المتبقية في منتصف فتحة البئر - التي تكون قد

تعرضت لتشققات كثيرة بفعل الاجهادات الحرارية - بطريقة ميكانيكية وإبعادها عن البئر بواسطة الهواء المضغوط أو الماء.

لقد اقترح المصممون الأمريكيون العاملون على دراسة القمر، تزويد ملاحي الفضاء (رواد الفضاء) بأداة حفر ليزرية لأخذ عينات صخرية من القمر. لكنهم اضطروا للتخلي عن هذه الفكرة المغرية بسبب أن الخواص الفيزيائية لهذه العينات الفريدة ستخضع لتشوهات غير عكوسة تحت تأثير التسخين القوي. هذا طبعاً غير مقبول مما جعل رواد الفضاء يتبعون الطريقة القديمة في الحفر، باستخدام أدوات صنعت نهاياتها من سبائك صلدة.

لكن هناك عمليات، تكون فيها التأثيرات الحرارية ليست فقط غير مؤذية، بل إنها على العكس تكون ضرورية، وهي عمليات المعالجة الحرارية للمعادن وعناصر الآلات.

كان قد ذكر في فصل «الليزرات الغازية» اسم محطة ليزرية، تستخدم في لحام قطع السيارات. بلغت استطاعتها حوالي خمسة كيلوواطات، وتعمل على ليزر ثنائي أكسيد الكربون[1] الذي يولد أشعة تحت حمراء حرارية. بمقدور هذه المحطة تأمين لحامات قطع معدنية تصل سماكتها حتى سنتمترين. تكون درزة اللحام أرفع بأربع مرات من درزة اللحام الكهربائي العادي، ويجري اللحام بخمسين مرة أسرع، وتنخفض الطاقة الكهربائية المستهلكة بثلاث مرات! ويسمح استخدام الليزر بأتمتة عملية اللحام بسهولة، وتأدية لحام المعادن التي لا يمكن وصلها بالطرق العادية، والقيام بإصلاح العناصر أو القطع المتوضعة في أماكن لا يمكن بلوغها بالأدوات العادية، فعلى سبيل المثال، القيام بلحام أسلاك صمامات إلكترونية ومصابيح كهربائية داخل حبابات الخلاء، وذلك بتوجيه شعاع الليزر إليها عبر الزجاج!

---

[1] يعمل ليزر ثنائي أكسيد الكربون على مزيج من غازات ثنائي أكسيد الكربون والنتروجين والهليوم بنسب مختلفة. - (المترجم).

ويمكن بواسطة الليزر قطع صفائح من الفولاذ تصل ثخانتها إلى 40 مم. لا يقتصر الأمر هنا على عملية القطع البسيط، بل يتعداه إلى اقتطاع أشكال هندسية غير مألوفة من لوح الفولاذ. لهذا الغرض يُجعل شعاع الليزر متحركاً. ويُتحكم بحركته بواسطة الحاسوب، الذي يُحمّل بالبرنامج المناسب، ليحرك شعاع الليزر تبعاً لأوامره على محيط القطعة المراد قصها بدقة عالية. (الشكل رقم 17). توفر هذه العملية ما يقارب 50% من المواد المعالجة، كما أن القطع المصنعة بهذه الطريقة يمكن أن تتوضع بجوار بعضها البعض بشكل متلاصق جداً. يمكن بواسطة هذه المحطة ليس قطع الفولاذ فقط، بل أية مادة صفيحية كالورق والخشب المعاكس وألواح نشارة الخشب المضغوط أو الحرير الصخري (الأسبستوس أو الأميانط)، ولكن يلزم تغيير استطاعة الإشعاع وسرعة القص تبعاً لنوع المادة. ويمكن أيضاً تفصيل الزجاج كالكرتون. وعلى الرغم من شفافية الزجاج، إلا أنه يمتص الضوء شيئاً فشيئاً وبمقدار غير كبير. لكن هذا الامتصاص القليل من استطاعة ليزر تقدر بخمسة كيلوواط، يصبح كافياً لتحسين خواص الزجاج. حيث يتمدد الزجاج بفعل التسخين ويتشقق على طول الأثر الذي رسمه شعاع الليزر. مثل هذه الطريقة في القطع تدعى بطريقة التشقق الحراري.

ولا يقتصر استخدام الشعاع الليزري على قطع أجزاء الآلات فقط، بل يمكن أن يستخدم في إكسابها المتانة أيضاً وزيادة قساوة سطوحها. عندها تُغشى قطعة الفولاذ بقشرة مقساة، صلبة، متحملة للاحتكاك، ولكنها تكون هشة للغاية. وإذا ما اكتسبت القطعة بكاملها هذه الخواص فإنها تصبح تحت تأثير الصدم عرضة للتهشم مثلها مثل الزجاج. وهنا يكمن جوهر الأمر، فهي تبقى في داخلها مرنة ولزجة لأن الومضة الليزرية لا تفلح في تسخينها من الداخل، وستكون هذه القطعة متحملة للصدمات، والاحتكاك، مثلها مثل الفولاذ الدمشقي المعروف - فخر صانعي الأسلحة الروسية.

وبهذه الطريقة تعالج القطع الفولاذية العاملة في شروط صعبة، كأسنان التروس وأجزاء أعمدة كرنك المحركات وأعناق محاور العجلات (الدواليب) في القاطرات الحرارية البخارية والقاطرات الكهربائية.

لكن كيف يمكن معرفة جودة درزة اللحام، وهل هناك من عيوب حصلت في كتلة الحديد المصبوب؟

توجد طرق عديدة لتفحص المادة من الداخل عندما تكون الرؤية المباشرة مستحيلة. من هذه الطرق كشف العيوب أو الأثلام (flaw detection) باستخدام الأمواج فوق الصوتية. الصوت ينتشر جيداً في الهواء ولكنه ينتشر في المواد الكثيفة على نحو أفضل. تتزايد سرعة انتشار الصوت مع تزايد كثافة المادة، ويتخامد الصوت فيها على نحو أقل. لكن إذا ما صادفت موجة الصوت في طريق انتشارها عيباً أو تشققاً داخل المادة أو فقاعة غاز في المادة المصبوبة (تسمى تجاويف في علم التعدين)، فإن الأمواج الصوتية ستنعكس جزئياً عن جدران العيب، وترجع إلى الكاشف. بذلك يظهر نتوء إشارة على شاشة كاشف العيوب، تبين عمق موقع العيب في المادة وأبعاده. ويقرر الأخصائيون استناداً إلى هذه الإشارات مدى خطورة التشققات المكتشفة على مستقبل القطعة المفحوصة، وهل تستحق أن تخرج من العمل ويجري الاستغناء عنها، أم أنها تبقى صالحة للعمل. وكلما قصُر طول الموجة الصوتية أمكن اكتشاف عيوب بأبعاد أصغر. لذا يستخدم لهذا الغرض صوت ذو تواتر عال جداً غير مسموع من قبل أذن إنسان ويدعى بالصوت فوق السمعي.

تستخدم هذه الطريقة من قبل الجيوفيزيائيين أيضاً. ولكن دوي الصوت لا يطبق هنا على القطع الفولاذية، بل على صخور الجبال ونماذج جيولوجية معدة من مواد مختلفة. يحدد الجيوفيزيائيون سرعة انتشار الصوت في الصخور ويبحثون عن وجود تشققات ومسامات فيها. إن معرفة هذه المعلومات يساعد في التفتيش عن الخامات المفيدة في باطن الأرض وخاصة النفط والغاز منها.

فالنفط يمكنه أن يتراكم في التشققات والمسامات الجوفية من أعماق الأرض، ويمكن تحديد عمق طبقات توضعه من سرعة الصوت في هذه الطبقات الصخرية. لكن يا للأسف ما يوجد من منابع أمواج أعطت حتى الآن أمواجاً فوق صوتية فقط بطول موجة كبير نسبياً.

إن كل منابع الإشعاع تكون مكونة على نحو متماثل تقريباً. فالتيار المتناوب يهز الصفيحة المرنة أو المحور المرن وهذا بدوره يقرع العينة ويجعلها تهتز. ولرفع تواتر الصوت فوق السمعي يلزم تخفيض زمن الصدم. لكن هذا يخفض بدوره من استطاعة الصوت ليصبح ضعيفاً غير مسموع تقريباً. الذي ينبغي فعله هو الرفع الحاد لتواتر الصوت مع الاحتفاظ بشدته السابقة، وعلى هذا الأساس اقتربت حجوم النماذج الجيولوجية المعدة من بضعة أمتار مكعبة.

لقد توصل الفيزيائيون الجيولوجيون في موسكو إلى الحل. فقد استخدموا ليزراً نبضياً بمثابة منبع للصوت فوق السمعي.

تقرع نبضة عملاقة متبئرة لليزر النيوديميوم سطح العينة. وفي مكان الصدمة تتسخن المادة لحظياً إلى درجة حرارة تقدر بآلاف الدرجات وتتبخر. فيحصل انفجار مكروي مولداً موجة انفجار في العينة من نوع موجة الصوت فوق السمعي. ويقدر زمن الصدمة بحوالي جزء من مئتي مليون من الثانية (أي 5 نانوثانية)، وهذا أقصر بحوالي عشرات الآلاف من المرات من موجات أفضل منابع متوفرة لهذه الأشعة. ينتج عن ذلك أن تواتر الصوت فوق السمعي يكون أعلى بعشرات الآلاف من المرات. أما بالنسبة للاستطاعات فهي هنا كافية أيضاً، فهي أكبر من استطاعة أي منبع إشعاع تقليدي بمئات الآلاف من الواطات. أمكن بسهولة قياس سرعة الصوت في عينات لا تزيد أبعادها على بضعة مليمترات بواسطة محطة ليزرية فائقة الصوت، ومثل هذه المسألة كانت في السابق من المسائل التقنية المعقدة.

يمكن للموجة الصوتية الشديدة المتولدة بالليزر اختراق تلك المواد التي لا يمكن دراستها بأية طرائق أخرى.

على مرأى من نظرنا، يولد اختصاص جديد في الفيزياء ناتج عن تلاقي علمي الصوت والضوء وهو علم الضوء الصوتي (Acousto-optics)، الذي يعده الاختصاصيون بمستقبل واعد. (الشكل رقم 18). وباختصار فإن الليزر قد بدا ليس أداة جيدة فقط، بل جهاز تحكم وقياس رائع وهو شامل إلى حد أنه اعتمد في دراسة، ليس فقط جوف الأرض، بل وحتى أعماق الفضاء وهذا بدأ مع:

♦ الليزر أضاء القمر

استرعى القمر، وهو التابع القديم لكوكبنا الأرض، انتباه العلماء منذ غابر الأزمان. فلقد قام «أرسطرخس الساموسي» Aristarchus of Samos الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد بقياس المسافة بين الأرض والقمر، بالاعتماد على الأطوار التي يمر بها القمر، ومنها قيست المسافة بين الأرض والشمس ونسبة قطر الشمس إلى قطر الأرض. من جانبه قام العالم الإغريقي «هيبارخوس» Hipparchos الذي عاش في مدينة «نيقية» Nicaea، بعد قرن ونصف من ذاك التاريخ بدراسة حركة القمر، وحدد مسافته عن الأرض من خلال مراقبة كسوف الشمس وخسوف القمر. كسوف الشمس الذي حصل في «هيليسبونت» Hellespont (مضيق الدردنيل) عام 123 ق.م كان كاملاً، بينما كان جزئياً في الإسكندرية، حيث غطى القمر أربعة أخماس قرص الشمس. ولما كان البعد بين هاتين المدينتين معلوماً، فقد تمكن العالم من تعيين بعد القمر عن الأرض بكل يقين، وبمراقبة الوضع التالي للقمر في القبة السماوية من أماكن أخرى، استطاع تحديد الأبعاد فيما بين هذه الأماكن.

بالإمكان القول الآن، إنه من المعروف، أن القمر يتحرك حول الأرض وفق قطع ناقص، وبالتالي يمكن حساب بعده عن الأرض دوماً. كل هذا

صحيح، ولكن القمر بحركته على مدار ممطوط على بعدين 406700 كم و356400 كم عن الأرض، وهو يخضع للجذب ليس فقط من قبل الأرض، بل من قبل الشمس أيضاً، وحتى أنه يتعرض أيضاً لجذب الكواكب المجاورة. نتيجة لذلك، يصبح مدار القمر عبارة عن منحني معقد جداً. لا يمكن إجراء الحساب الدقيق لهذا المنحني، ولكن يمكن تعيين موضع القمر على المدار فقط ضمن خطأ معين، يتراوح ما بين الواحد كيلومتر وحتى الثلاثة كيلومترات. ربما يبدو أن ثلاثة كيلومترات مقارنة بـ400000 كم، هي عبارة عن مقدار غير معتبر، ولكن لماذا يهمنا أن نعرف كل هذه التفاصيل الدقيقة عن حركة القمر البعيد؟

تبين أنه بمعرفة بعد القمر عن الأرض، يمكن تبسيط القياسات المساحية والفلكية، ورفع دقتها بنحو مئة مرة، وهذا ما أدركه حتى الإغريق القدامى. لكن معرفة المسافات في الفضاء اليوم، هي ببساطة من الضروريات الحياتية طالما تطلق الصواريخ إلى هناك. لهذا يلزم قياس هذه المسافة بانتظام وبدقة تصل حتى بضعة أمتار، ومن الأفضل أن تصل الدقة حتى بضعة سنتمترات، وبشكل عام كلما كان القياس أدق كان ذلك أفضل.

في عام 1946، ومع انتهاء الحرب العالمية الثانية، أخذت البلاد بإعادة بناء الاقتصاد والمعرفة، وبدأ العلماء يفكرون بالمستقبل. لقد وضع العالم الروسي «ن. د. باباليكسي» N. D. Papaleksi الشروط التي عندها يمكن قياس بعد القمر عن الأرض باستخدام ومضة ضوئية. وكانت فكرة التجربة بسيطة جداً التي تقوم على إرسال نبضة ضوئية من الأرض، التي سينعكس ضوءها على سطح القمر، ويعود إلى الأرض، ليستقبل بواسطة أجهزة حساسة. يقاس زمن ذهاب وإياب الضوء ما بين الأرض والقمر بدقة كبيرة، وأما سرعة الضوء فهي معروفة جيداً، وبأخذ جداء السرعة بنصف الزمن المستغرق تحسب المسافة، ولا يزيد الخطأ المرتكب في التجربة عن

المتر الواحد. كان باستطاعة التقنيات المستخدمة في ذاك الزمن تأمين مثل هذه الدقة. لكن ما نقص التجربة هو أمر واحد، ألا وهو وجود منبع ضوئي قادر على إنارة بقعة من سطح القمر.

انقضى عقدان من الزمن تقريباً قبل أن تتمكن هذه الفكرة الجريئة من أن تتحقق - بفعل ظهور الليزر. ولقد تطلّب دخول عصر الفضاء بإلحاح البدء بهذه الأعمال. وهاكم الحدث، ففي عام 1963، قام المرصد الفيزيائي الفلكي الكائن في موقع «القرم» Crimea على البحر الأسود، بإطلاق نبضة ليزرية قصيرة، باستطاعة 25 كيلوواط صوب القمر من التلسكوب المرآتي الكبير المزود بمرآة قطرها 2.6م، فانعكس الضوء المرسل على سطح القمر في منطقة تدعى «فوهة البتّاني» Albategnius Crater الواقعة في مركز القرص القمري تماماً، واستقبل الضوء المنعكس على الأرض من قبل التلسكوب نفسه. يبين الشكل رقم (19) مخططاً لهذه المحطة. وهذا هو الليزر النبضي العامل في نظام الإصدار الحر يرسل عبر مفتاح (استقبال - إرسال) نبضة ضوئية بالتلسكوب. بانعكاس النبضة على مرآة التلسكوب يتحول الشعاع الليزري الضيق إلى حزمة ضوء عريضة لتبدأ مسارها في الفضاء. في نفس الوقت ومع انطلاق الومضة الليزرية يُشغَّل قائس الزمن، وهو عبارة عن ساعة إلكترونية دقيقة، تقوم بحساب زمن مسير الضوء إلى القمر وبالعكس.

وخلال زمن ترحال الشعاع المقدر بحوالي ثانيتين، يتمكن المفتاح من توصيل جهاز استقبال فوتوني (ضوئي) مع التلسكوب الذي يستقبل ويضخم الإشارة الضوئية. يوضع مرشح على طريق الضوء المنعكس الذي يمرر فقط ضوء الليزر، وتحذف الأضواء الجانبية الأخرى. بمجرد استقبال الإشارة المنعكسة يتوقف قائس الزمن، وهكذا تحسب المسافة من قياس الزمن.

هذه الأجهزة هي، بشكل عام، أجهزة بسيطة قادرة على تأمين القياس بدقة تصل حتى 15م، غير أنه في التطبيق العملي يصل الخطأ

المرتكب حتى 200م تقريباً. وهذا لا بأس به، فالنتيجة أكثر دقة بحوالي عشر مرات من طريقة الحسابات القديمة وهي أسرع منها.

لكن لماذا ظهر الخطأ المرتكب هنا أكبر بكثير مما هو مفترض؟

يعود السبب في ذلك إلى أن حزمة الضوء تتسع قليلاً، فقطرها على مرآة خرج التلسكوب يصل إلى 2.6م، بينما يبلغ حوالي عدة كيلومترات على سطح القمر. المنطقة التي تضاء بالليزر على سطح القمر قد لا تكون منبسطة، ففيها تقع الوهدات والتصدعات وأكوام الأحجار والصخور، أو أن تقع على منحدر جبل من الجبال. إن فرق الارتفاع بين أجزاء مختلفة من المنطقة المضاءة، يمكن أن يصل إلى بضع مئات من الأمتار، وهذا بدوره حدَّ من دقة القياس.

أصبح واضحاً الآن، أنه يمكن تحسين الدقة فقط، عند تقليل أبعاد السطح الذي ينعكس عليه الضوء حتى أبعاد النقطة الواحدة، وأن يكون موقع هذه النقطة معروفاً جيداً. وباختصار يجب وضع عواكس صغيرة الأبعاد على سطح القمر.

انطلاقاً من ذلك بدأ العمل بتصميم مثل هذه الأجهزة التي تدعى بالعواكس الزاوية. تعود هذه التسمية إلى كون أن هذه الأجهزة مؤلفة من مجموعة من المواشير، التي لها شكل زاوية قائمة، كما لو أنها مقتطعة من مكعب زجاجي. كل موشور من هذه المواشير سيعكس شعاع الضوء، بحيث يعيده باتجاه المصدر، الذي ورد منه، مهما كان موقع هذا المصدر.

وبهذه الطريقة صنعت الصفائح العاكسة "عين القط" الضوئية المستخدمة في الدراجات الهوائية والسيارات. ولكن العواكس الفضائية يجب أن تصنع من زجاج ضوئي جيد، يتحمل الارتجاج وزيادة الأحمال عند تحليق الصواريخ، وتوضيعها على سطح القمر، وأن تتحمل أيضاً التسخين الشمسي في النهار، حتى مئات الدرجات المئوية، والتبريد في الليل حتى مئات الدرجات تحت الصفر.

عند إعداد العواكس يتطلب الأمر حل الكثير من المشاكل الهندسية والتقانية (التكنولوجية). ولكن جميع هذه الصعاب قد تم تجاوزها وأصبحت من الماضي، وخلال الأعوام الأربعة ما بين 1969 و1973، تمّ نصب خمسة عواكس على سطح القمر، منها عاكسان فرنسيان تم نقلهما إلى القمر على متن الرحلتين الأولى والثانية للمركبة من طراز «لوناخود» Lunokhod، وثلاثة عواكس أمريكية شحنت إلى سطح القمر على المركبات من طراز «أبولو» Apollo.

فعلى المركبة «لوناخود 1»، ركبت أجهزة قياس المسافة بدقة تصل حتى ثلاثة أمتار. ورُكّب على المركبة «لوناخود 2» مجمع آلي، مكون من أجهزة سريعة العمل، تقيس المسافة بدقة تصل حتى 90 سم، والتي تؤدي قياسات بشكل منتظم، وتستخدم فيها نبضة ليزرية عملاقة فائقة القصر.

وأخيراً، بدأ منذ عام 1978 العمل على أجهزة يصل خطؤها إلى حوالي 25 سنتمتراً فقط في القياس الواحد، ويمكن تخفيض الخطأ حتى ثمانية إلى عشر سنتمترات في عدة قياسات، وما زالت هذه الأجهزة تواصل عملها.

جرى خلال سبعة أعوام حوالي 1200 قياس باستخدام برنامج ملاحة القمر بالليزر وبواسطة العواكس الزاوية الخمسة الموجودة على سطحه. لقد تبين أن النظرية الموجودة عن حركة القمر، ليست صحيحة تماماً، وتحتاج للمزيد من التدقيق. كما استفيد من هذه النتائج على الأرض، فبواسطتها أمكن التحديد الدقيق لشكل الكرة الأرضية، التي هي في الواقع ليست كروية تماماً. الأرض مفلطحة عند القطبين ومضغوطة قليلاً عند القطب الشمالي ومحدبة في قطبها الجنوبي، على نحو يُذكّر بشكل حبة اللفت، ولقد تجادل العلماء طويلاً حول تسمية جسم بهذا الشكل، وفي النهاية ودون الحاجة لفلسفة الأمر أكثر مما يستحق، أطلقوا عليه اسم «المجسم الأرضي» geoid، وهو ما يعني (جسم أو كتلة شكل الأرض). لكن كي نعرف بدقة شكل الأرض، يلزم تعلم كيفية تعيين إحداثيات نقاط المراقبة

أو الرصد، ولنتذكر في هذا السياق أعمال «هيبارخوس». هكذا أمكن بواسطة القياسات الليزرية القياس المباشر للمسافة بين مرصدي «القرم» على البحر الأسود و«ماكدونالد» في الولايات المتحدة بدقة وصلت حتى ± 2م! وهذا يعني أن جملة القياس الليزرية ستصبح الطريقة الأكثر دقة، والوحيدة في دراسة منظومة الأرض والقمر. ولقد سبق أن اكتشفت ظاهرة مدهشة، وهي أن القمر قد بدا وكأنه أبعد عن الأرض بحوالي الكيلومتر والنصف خلافاً لما تنبأت به الحسابات النظرية.

نظراً للبعد الذي يفصل القمر عن الأرض، تتطلب دراسة القمر تقنيات مكلفة ومعقدة من أمثال التلسكوبات الضخمة. بالإضافة إلى أن القمر لا يشغل دوماً المكان المناسب في قبة السماء. لهذا الغرض فلقد أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية قمراً صنعياً «لاغيوس» Lageos عام 1976، وهو على شكل كرة قطرها 60 سم، رُكّبت فيه عواكس زاوية عددها 426 عاكساً، وذلك لمساعدة الجيوفيزيائيين في أعمالهم. أُخرج القمر الصنعي إلى مدار دائري على ارتفاع ستة آلاف كيلومتر ليقوم بدورة واحدة حول الأرض كل 3 ساعات و45 دقيقة. وإذا لم يحدث له أي أمر (وماذا يمكن أن يحدث له في فضاء خال؟)، فبإمكانه البقاء في مداره لمدة طويلة جداً تقدر بتسعة ملايين سنة. هذا أطول بكثير من عمر الجنس البشري على الأرض (فلقد ظهر الإنسان على الأرض منذ ما يقارب 40 ألف سنة تقريباً)، لذا تركت رسالة على متن القمر «لاغيوس» موجهة إلى أخلافنا المستقبليين البعيدين. وتعمل على متن القمر «لاغيوس» محطات متحركة صغيرة مزودة بقوائس مسافة ليزرية، تؤمن قياسات بدقة لا تزيد عن 5 سنتمترات.

وهذه الدقة الناتجة ليست حداً نهائياً، فتحسينها ينتظره الفلكيون والفيزيائيون والجيوفيزيائيون والجيولوجيون بفارغ الصبر، لأن الدقة العالية في القياس تسمح بتقديم إجابة عن سؤال مهم جداً ألا وهو:

♦ إلـى أيـن تبحـر القـارات؟

إذا ما نظر بانتباه إلى خارطة العالم أو الكرة الأرضية، فلا يمكن عدم ملاحظة تطابق خطوط رسم الحدود بين أغلب القارات. فعلى سبيل المثال، إن خط الحد الشرقي للقارة الأمريكية يكرر شكل الشواطئ الغربية للقارة الإفريقية على نحو دقيق، وإن جزر مدغشقر تُرتسم بنفس خطوط شاطئ مضيق موزامبيق.

ولا يقتصر الأمر على هذا، فطبقات الصخور العميقة التي تنقطع في إفريقيا تجد لها امتداداتها في البرازيل على نحو كما لو أن هذا الانقطاع لم يكن.

كل هذا يدعو إلى التفكير، أن هذه القارات كانت عبارة عن تشكيلة واحدة في زمن ما من الأزمنة غير المحفوظة. لكن كيف أخذت الأرض شكلها الحالي؟ لهذا السؤال يوجد جوابان ممكنان هما:

من الممكن أن يكون قطر الأرض قد كان في الماضي أصغر بمرتين من قطرها الحالي، ولكنه ازداد بسرعة حسب المفاهيم الجيولوجية إلى أن أصبح على ما هو عليه الآن، وبقيت انقطاعات الغطاء على السطح، التي كانت فيما مضى متصلة. إذا ما استمر تمدد الأرض، فإن المسافة بين القارات تبقى في حالة ازدياد مستمر. ويمكن أن لا تكون القارات الحالية بحدودها الجغرافية المعهودة موجودة على الإطلاق، وفي شكلها الحالي، وإنما كانت هناك قارة واحدة ضخمة - كتلة أرضية واحدة، ومن ثم في أعماق الأرض وفي جوفها المحمى نشأت تدفقات المادة المنصهرة، التي أدت إلى انقسام الكتلة الأرضية القديمة إلى شظايا مندفعة في اتجاهات مختلفة، التي شكلت ما يدعى اليوم بالقارات الحالية. وتبقى معرفة، ماذا حصل في واقع الأمر، وهل تتابع القارات حركتها، أمراً مهماً ومفيداً.

إذا كانت القارات مكونة في الواقع من صفائح مسطحة ضخمة،

تتحرك باستمرار، فإن المسافات بينها يجب أن تتغير باستمرار أيضاً. يمكن لبعض الصفائح الأرضية أن تتباعد، وعندئذ ينفلج شق سرعان ما تتدفق إليه الماغما المنصهرة، لتتشكل منطقة ذات نشاط بركاني، وبعض الصفائح الأخرى، التي يمكن أن تقترب من بعضها على نحو لا يقهر لتتحول الحدود فيما بينها إلى طيات عملاقة وتنشأ عنها الجبال.

تترافق هذه الحركة وتلك مع هزات أرضية على البر، وأمواج عاتية (تسونامي) في البحر، تهدم البيوت، وتهلك الناس. تجرف الأمواج العملاقة كل ما يصادفها من أشياء في طريقها، لهذا السبب، من المهم جداً معرفة ماذا يحدث للقارات في واقع الأمر؟

لقد أخذ العلماء على عاتقهم مراقبة المحيط الأطلسي، لأنه يوجد شك، بأن القارة الأمريكية تتباعد حقاً بسرعة تصل إلى عدة سنتمترات في العام عن القارتين الأوروبية والإفريقية. هذا يعني أنه إذا استطعنا أن نزيد من دقة قياس المسافات الأرضية بخمسين مرة، فإنه يتسنى لنا خلال بضعة أعوام من المراقبة، استيضاح إلى أين تبحر القارات بمثل هذه السرعة، ولماذا يحدث ذلك؟ عندها يمكننا التنبؤ مسبقاً، أية مصائب ستحل بنا نتيجة لهذه الحركة في المكان والزمان.

لكن يبدو أن الأمر لا يتطلّب الانتظار، خاصة عندما يسمح المستوى التقني للأجهزة المتوافرة بإجراء قياس مثل هذه الانزياحات الصغيرة، التي يمكن قياسها الآن باستخدام جهاز التداخل الليزري.

♦ مقياس التداخل الليزري

كما هو معروف، إن ضوء الليزر هو عبارة عن موجة كهرطيسية مترابطة، يمكن له أن يسير عشرات الكيلومترات دون أن يفقد مميزاته. محافظاً على ترابطه زمناً طويلاً.

باستخدام شعاعين ليزريين يمكن الحصول على ظاهرة مدهشة، فإذا ما وُجّه شعاع ليزري إلى نقطة مضاءة بشعاع ليزري آخر، فإن الإضاءة في هذه النقطة لن تتضاعف، بل على العكس سيحصل تعتيم كامل لهذه النقطة! ولكن كيف يحدث ذلك؟ يتضح من الشكل رقم (20) أنه إذا ما توافقت القمتان العظميان للموجتين (أي أنهما متوافقتان في الصفحة) فإن جمعهما سيؤدي إلى مضاعفة السطوع. أما إذا كان فرق الصفحة بين الموجتين مساوٍ لنصف موجة (أي أنهما متعاكستان في الصفحة) فإن مجموعهما يساوي الصفر وبالتالي سينجم عن ذلك عتمة (ظلام) في النقطة المدروسة. ومثل هذا الجمع للأمواج يدعى بالتداخل، ويدعى الجهاز الذي يُركّب موجتين مترابطتين بمقياس التداخل (جهاز التداخل).

أما جهاز التداخل فهو ذو تركيب بسيط، ففيه يسقط شعاع الليزر على مرآة نصف شفافة لينشطر إلى شعاعين، الأول ينعكس مرة أخرى على مرآة ثانية، ثم يرد إلى كاشف للضوء، أما الشعاع الثاني فإن انعكاسه على مجموعة من المرايا يجعله يقطع مسافة أطول قبل أن يرد إلى الكاشف. وبتداخل الشعاعين تتشكل صورة (لوحة) مكونة من أهداب مضيئة وأخرى مظلمة.

وإذا ما زدنا التباعد بين المرايا فإن الشعاع الثاني سيقطع مسافة أكبر قبل وروده إلى الكاشف وبالتالي سيحصل انزياح في الصفحة وستتشكل صورة مكونة من قمم عظمى وأخرى صغرى في أماكن جديدة على الكاشف. وبقياس انزياح الأهداب الجديدة المتشكلة يمكننا حساب مقدار التباعد الذي حصل بين المرايا.

يعني إذا كانت قارتان مفصولتان إحداهما عن الأخرى بواسطة مضيق، فإنه يمكن وضع نصف مقياس التداخل على أحد شاطئي المضيق، والنصف الآخر على الشاطئ الثاني منه، ومراقبة الحركة البطيئة للأهداب على شاشة الجهاز، وبهذا يمكن قياس سرعة حركة القارتين.

لا يمكن طبعاً إرسال شعاع الليزر عبر المحيط الأطلسي (بسبب تقوس سطح الكرة الأرضية)، لذا لا يمكن الاستغناء عن العواكس المنصوبة على سطوح الأقمار الاصطناعية، ولكن يوجد شك حول تقاطع الخط الفاصل بين قارتين وأيسلندة (أيسلندة هي بلاد كثيرة البراكين وهذا ليس صدفة). لذا فالعلماء والجيوفيزيائيون عازمون على نصب أجهزتهم في أكثر الأماكن شكوكاً في هذه الجزيرة، ليروا فيما إذا كانوا سيكتشفون حركة القارات أم لا؟

وهناك مكانان آخران صالحان لإجراء هذه القياسات، هما مضيق جبل طارق ومضيق باب المندب. يفصل المضيق الأول إفريقيا عن أوروبا ويفصل المضيق الثاني آسيا عن إفريقيا. ويوجد افتراض أن إفريقيا ليست ساكنة ولكنها تسعى للحركة نحو الجنوب. ولا يزيد عرض كل مضيق عن 30 كيلومتراً، وهذه مسافة ليست كبيرة بالنسبة لليزر عالي الاستطاعة.

يمكن استخدام مقياس التداخل الليزري في تطبيقات حتى داخل القارة. فالسطح الصلب للأرض هو في حركة دائمة، ويخضع للمد والجزر من جراء تجاذبه مع الشمس والقمر، كما تهزه ضربات الزلازل واهتزازاتها بشدات مختلفة. وتعطي دراسة هذه الاهتزازات من المعطيات الكثير عن بنية الأرض والعمليات الجارية في جوفها.

وقد تم تصميم مقياس تداخل خاص لتسجيل هذه الاهتزازات، يمر الضوء فيه ما بين المرايا داخل أنبوب طوله حوالي 1020 متراً، ويخلى الأنبوب من الهواء كي لا يقف في مسار الضوء أي عائق. وتركب المرايا على مساند من الغرانيت الصخري على طرفي الأنبوب مغروزة في عمق الأرض. عندما يتلقى الجهاز صدمة قادمة من زلزال بعيد، تنزاح بفعلها المساند من أماكنها بسهولة، وتتغير المسافة بين المرايا شيئاً فشيئاً. ويكون

هذا التغير الصغير كافياً كي تبدأ الصورة الظاهرة على شاشة الجهاز بالتغير، ويبدأ جهاز التسجيل برسم خط متعرج على الشريط الورقي، هذا التسجيل عبارة عن توقيع (أوتوغراف) الزلزال.

يمكن بواسطة هذا الجهاز تسجيل أو ملاحظة خطى الناس، وحتى حفيف الأعشاب بالرياح، وكذلك طبطبة (رقرقة) الأمواج في مياه بحيرة بعيدة. ولكن هذا الجهاز يتأثر بتغيرات درجة الحرارة، ففي الجو البارد يتقلص طول الأنبوب، وفي الطقس الحار يتمدد طوله، وبالتالي سيتغير مسار الشعاع في كلتا الحالتين، مما يجعل صورة التداخل تتحرك من مكانها. ولتلافي حدوث كل هذا، يجري تركيب الجهاز في نفق سكة حديد مهجور، موجود على عمق 500م عن سطح الأرض.

لقد أعطت إجراءات الحيطة المتخذة هذه ثمارها، فعلى عمق قدره نصف كيلومتر، وفي جو من الهدوء والسكون، يمكن للجهاز أن يقيس انزياح تربة الأرض بأجزاء المليون من السنتمتر، وهذه المسافة لا تزيد سوى بخمس عشرة مرة على أبعاد الذرة الواحدة، بقياس هذه الانتقالات فائقة الصغر، يمكن توقع، متى وأين سيتكرر الزلزال وكم ستكون شدته. تبدأ الطبقات العميقة للأرض بالزحف قبل بدء الزلزال، وعندها تحدث هزات لتربة الأرض ومع استمرار مراقبة النشاط الزلزالي، باستخدام قائس الزلازل الليزري، يمكن كشف هذه الحركة مبكراً، عندما تكون الاهتزازات القادمة من جوف الأرض ما زالت ضعيفة، ما يسمح باتخاذ الإجراءات اللازمة في وقتها المناسب.

بمساعدة هذا الجهاز يمكن أيضاً مراقبة سلوك المنشآت الكبيرة، كالسدود، والمباني العالية، والأبراج. فالأثقال الكبيرة لهذه المنشآت تجعل تربة الأساس غير قادرة على تحملها فتأخذ بالتزحزح تحتها، وهذا ما يعرض المنشآت للخطر وهي بذلك تصبح كبرج بيزا المائل ولكن دون أن تكتسب شهرته العالمية - وبالمناسبة فإن برج بيزا يخضع لمراقبة متواصلة بواسطة

الأجهزة الليزرية- وفضلاً عن ذلك فإن الأمر لا يقتصر على مراقبة البناء أو المنشأة، بل يتعداه إلى قياس معدل ميلانه وانحداره. (الشكل رقم 21).

أما الموجة الضوئية الصادرة عن جسم متحرك فيمكن أن يتغير طولها بسهولة، فعندما تقترب من جسم ما ينقص طولها، وعندما تبتعد عنه يزداد طولها. تدعى هذه الظاهرة بـ «مفعول دوبلر» Doppler Effect التي تشترك بها جميع الأمواج بشكل عام، بما فيها الأمواج الصوتية أيضاً، فعندما نقف بجانب سكة الحديد ويقترب القطار منا يمكننا أن نلاحظ التغير المفاجئ لنغمة صفارة قاطرة الديزل من نغمة عالية (أي موجة صوتية قصيرة) إلى نغمة منخفضة (أي موجة طويلة) وذلك بمجرد أن تتجاوز القاطرة مكان وقوفنا.

وعندما ينزاح البناء من مكانه، فإن جهاز التداخل يقيس تغير طول الموجة الدوبلري، ويكشف سرعة الانزياح مقدرة بجزء من عشر ملايين من السنتمتر في الثانية.

كل هذا يشكل في يومنا الحاضر أحد علوم الأرض، ألا وهو علم الجيوفيزياء، ولكن العلماء يفكرون بما سيفعلونه يوم غد، ولهذا فهم يخططون لإجراء تجارب أكثر أهمية وفائدة.

أصبح من المعلوم أنه يوجد على سطح القمر حلقة كبيرة من الجبال قطرها حوالي 100كم، تشكل فوهة بركان كوبرنيكوس، ونظراً لشدة ارتفاع أطرافها، فهي تعلو على خط الأفق، وأما قاعها فهو مسطح إلى حد كاف يجعله مناسباً لهبوط المراكب الفضائية. ومن المحتمل في زمن ما أن توضع على القمر أجزاء لمقياس تداخل ليزري بأبعاد غير مسبوقة، حيث ستركب مرايا المقياس على طرفي الفوهة المتقابلين على سطح القمر. وستكون حساسية الجهاز الناتج عالية جداً، وهي أكبر بمئة إلى مئة وخمسين مرة من حساسية سلفه الأرضي القابع في النفق.

وبواسطة هذا الجهاز يتوقع أن يصبح بالإمكان تسجيل أمواج التثاقل (الجاذبية) القادمة من أعماق الكون، والتي يمكن أن تصدر عن نجوم ضخمة ثقيلة جداً، ومجرات كاملة نتيجة انضغاطها ودورانها أو انفجارها. وبفعل هذه الأمواج تهتز الأجرام السماوية بما فيها القمر والأرض. كما يجبر الصوت القادم من بعيد أقداح كريستال موجودة في ندوة (بوفيه) على الرنين. لكن هذه الاهتزازات تكون ضعيفة جداً، مما يجعلها تختفي على الأرض غير الهادئة وراء ضجيج الأعشاب وطبطبة الأمواج. بينما يعد القمر عبارة عن كوكب هادئ جداً، لا تنبت الأعشاب على سطحه، ولا تخرخر عليه المياه. حتى الهزات الناجمة عن تصادم القمر مع النيازك تخمد وتنطفئ في الطبقة السميكة للغبار القمري - الثرى (Regolith) الذي يغطي سطح القمر. وطالما أن لا غلاف حيوي للقمر فلا حاجة إلى تخلية الأنبوب الحاوي على جهاز التداخل من الهواء، وأن الهزات القمرية (أو الزلازل) تحدث عدة مرات في كل مئة عام، أي أنها نادراً ما تحدث. ولهذا السبب يُعتبر القمر هوائياً (antenna) ممتازاً لالتقاط الأمواج التثاقلية، التي لم يعلن عن وجودها سوى نظرياً فقط.

وإذا ما صحّ وجود هذه الأمواج، وإذا ما استطاع كاشف الزلازل القمري كشفها، فإننا سنتوصل عندئذ إلى معلومات تفصيلية عن أعماق الفضاء على نحو لا يمكن تصوره، خصوصاً أن ضوء تلك الأعماق لم يصل إلينا بعد، لكن والحق يقال، إنه في حياتنا اليومية، تعتبر معرفة تفاصيل أكثر عن الأرض التي نعيش عليها هي أكثر أهمية من معرفتنا عن الكون السحيق. ولا تشمل هذه المعرفة الأرض كلها، بل سطحها فقط، أي الأماكن التي يجري فيها البناء أو يشق فيها طريق جديد، حيث يعمل الناس القادمون للمرة الأولى إلى مكان البناء من رجال المساحة والطبوغرافيا، لنرى كيف تستخدم الليزرات في المساحة.

♦ الليزرات في المساحة (الجيوديزيا)

لقد أمكن للكثير من الناس رؤية المشهد التالي: شخص يسير وهو يحمل في يديه مسطرة عريضة بطول المترين، ينصبها على الأرض، من وقت لآخر. وشخص آخر ينظر إليها من منظار بصري - مزواة (theodolite)[1]، ليسجل شيئاً ما في سجله. هؤلاء هم رجال المساحة الذين لا غنى عنهم في أي مشروع بناء ضخم. تنصب المزواة على نحو أفقي دقيق في مكان يكون ارتفاعه معروف جيداً. ومن تدريجات المسطرة (وتدعى أيضاً خشبة المساح) يمكن معرفة مقدار تغير ارتفاع المكان. هكذا يبنى مقطع طريق مستقبلي أو أرضية بناء (ساحة)، بعد ذلك تأتي آلات البناء لحفر الأرض المرتفعة وردم الأرض المنخفضة، ثم يقيس رجال المساحة مقطع المكان مرة أخرى. وهذا أمر يستغرق وقتاً طويلاً وهو عمل مضن بما فيه الكفاية. ولكن ماذا لو كان العمل يجري في مكان غير خال؟ كأن يكون المطلوب إعادة إنشاء مصنع قائم، أو طريق مستعمل! في هذه الحالة يجري إيقاف العمل وتجميع الآلات أو العربات في المرآب. كل هذا من أجل التخطيط لأرض (ساحة) بناء جديد.

لكن ظهرت مسطرة مستقيمة مثالية للتخطيط، ألا وهي الليزر الغازي. إذ يكفي هنا تنصيب الليزر أفقياً، كي يعطي شعاعه على خشبة المساح علامة الارتفاع - اذهب وسجل، وربما لا يحتاج الأمر للتسجيل، إذا ما استخدم كاشف ضوئي مركب على عربة شق الطرق وتعبيدها. (الشكل رقم 22- أ).

توجد ثلاثة أزرار أو أعين على كاشف العربة، بحيث أن المسافة لا تزيد بين كل زرين على السنتمتر الواحد، تسير آلة تسوية الأرض على

---

[1] المزواة: هي أداة لقياس الزوايا في المساحة. - (المترجم).

الطريق المراد شقه، ويسقط شعاع الليزر على كاشف مركب على قائمة الآلة. فإذا ما وقع الشعاع على العين الوسطى كان الوضع مقبولاً، وإذا وقع على العين العليا لزم ردم الطريق بإضافة تربة، وإذا وقع على العين السفلى، لزم حفر الطريق وإزالة التربة الزائدة. ويمكن أن تسوي الآلة الطريق أوتوماتيكياً، وفق ما هو مرسوم في المخطط مباشرة، من قراءة مكان وقوع شعاع الليزر على الأعين المثبتة على ساق أو قائمة الآلة. ويمكن من الطائرة أو الهليكُوبْتِر رسم الطريق المراد شقه بواسطة الليزر دون النزول إلى الأرض. فعلى متن الطائرة يركب رادار ليزري، ليرسل نبضة ضوئية عمودياً نحو الأسفل، فتنعكس النبضة على الأرض، ويعود الضوء إلى متن الطائرة، ليستقبله كاشف ضوئي.

تُعدّ القياسات المأخوذة بهذه الطريقة دقيقة جداً، حيث يقع الخطأ المرتكب فيها ما بين خمسة وستة سنتمترات في القياس الشاقولي، وما بين اثنين وثلاثة سنتمترات في القياس الأفقي. أي أنه يمكن من الطائرة على ارتفاع كيلو متر واحد تقريباً القيام بإحصاء عدد الأحجار المنتثرة على الطريق، كما يساعد الرادار الليزري في البحث عن ساحات إنزال (هبوط) مستوية على الجليد والرمل، والمروج، أو أية أماكن مناسبة أخرى. برسم المقاطع العرضية (بروفيلات) لأمواج البحر بعيداً عن الشاطئ، يمكن تقدير شدة الريح، وحالة البحر، وارتفاع الأمواج. وبهذه الطريقة يمكن تعيين حدود الإعصارات ذات المنشأ القطبي الشمالي، عندما لا يسمح الليل القطبي الطويل بأخذ صور ضوئية من الجو.

يساعد الليزر في عملية هبوط الطائرات (الشكل رقم 22- ب)، فالأشعة الليزرية الساطعة والمستقيمة على نحو مثالي، والمتعددة الألوان الصادرة عن ليزرات مختلفة، تستطيع أن تشكل في الغلاف الجوي للمطار علامات بارزة، تهتدي بها الطائرات من أجل النزول على ممر المهبط بأمان وبدقة، يأخذ الطيار الآلي في الرحلات الطويلة عمل الطيارين، وتبقى

عمليتا الإقلاع والهبوط حتى الآن المكان الضيق للملاحة الجوية. ويسمح الأسلوب الليزري في توجيه الطائرات بتأمين هبوط أوتوماتيكي دون تدخل الإنسان، مما يريح الطيارين من زيادة أعباء عصبية ضخمة. الليزر ليس قادراً على تسهيل حياة الناس الأصحاء فقط، بل هو يستطيع معالجة المرضى أيضاً.

♦ الليزر في الجراحة ومعالجة الأمراض الباطنية

تُجرى عملية جراحية، في جو من الهدوء المتوتر الذي تُسمع فيه فقط أوامر الجراح المتقطعة وهي «مبضع»، «مشد»، و«سدادة قطنية».

يستخدم المبضع لفتح الجروح، والمشد لتضميد الأوعية الدموية الكبيرة، التي استحدثت بالقطع، والسدادات القطنية لإزالة الدم من مكان العملية. الدم كثير، وعلاوة على الأوعية الدموية الكبيرة، توجد أيضاً مجموعة من الأوعية الدموية الدقيقة والشعرية، التي لا يمكن شدها أو تضميدها. بالإمكان الآن إيقاف نزف الدم بطرق مختلفة، فمثلاً قبل مئة وخمسين عاماً، كان يتم اللجوء إلى الكي في لحام نهايات الأوعية الدموية لإيقاف النزف. لقد حلم الجراحون منذ زمن بعيد بتلك الأداة التي تساعدهم في إحداث جرح أو قطع في الجسم دون نزف. ومن الأفضل أن تكون هذه الأداة ناعمة أيضاً. ولدى جراحي اليوم إمكانية القيام بعمليات على شبكية العين وعلى أقدس مقدسات الجسم البشري ألا وهو الدماغ. فاستخدام المبضع هناك، هو أشبه ما يكون بتصليح الساعات باستخدام المطرقة أو الفأس. لقد اقترحت التقنية الحديثة أداة تجمع في مواصفاتها كل تلك المواصفات، ألا وهو الشعاع الضوئي، فهل هناك ما هو أنعم أو ألطف من التلامس مع شعاع الضوء؟ يمكن باستخدام شعاع الليزر إجراء قطع أو فتح ثلم يقدر عرضه بجزء من ألف من المليمتر. وذلك تبعاً للطاقة

التي يحملها الشعاع الليزري أو لزمن تأثيره، فهو يستطيع لحم الوعاء الدموي (أو كما يقول الطبيون تخثيره)، أو على العكس من ذلك يمكنه فتح ثقب صغير فيه. أما لون الشعاع فيؤخذ بعين الاعتبار في الجراحة. فالدم لونه أحمر لأنه يمرر الأشعة الحمراء، ويحتجز، ويمتص الأشعة ذات الألوان الأخرى. لذا فإن ليزر الياقوت أو ليزر الهليوم والنيون لا يصلحان للحام الأوعية الدموية. وإذا ما استعملت أشعة ضوء خضراء أو زرقاء، التي يمتصها الدم جيداً، فإنه يمكن الحصول على خثرة دم بشكل لحظي تختم الوعاء المقطوع. مثل هذا الضوء يتم الحصول عليه من ليزر الأرغون.

وعندما يلزم تدمير النسيج المعطوب دون إلحاق الأذى بالأوعية الدموية المجاورة له، يستخدم ليزر الهليوم والنيون أو ليزر الكريبتون، فالشعاع ذو اللون الأحمر يمر مباشرة إلى النقطة المطلوبة عبر الأوعية الدموية «دون عناء» على نحو غير ملحوظ، ودون إحداث أي أذى فيها. أما في طب العيون، ذلك المجال من الطب الذي يهتم بالبصر، فقد ظهر الليزر كأداة مناسبة (الشكل رقم 23). أما داء السكري، الذي ينشأ من نقص في أنسولين الجسم، وهو هرمون تفرزه غدة البنكرياس، فقد كان تشخيص هذا المرض فيما مضى، يعني فيما يعنيه وقوع الموت القريب والمحتم فيما بعد. إن إيجاد الأنسولين الصناعي قد أنقذ حياة الملايين من البشر. ولكن لوحظ، والقليل من استطاع التنبؤ بالقادم، ألا وهو أن من أُنقذت حياته، أخذ يصاب بالعمى وفقد البصر فيما بعد.

تبين أن الإخلال بتبادل المواد الناجم عن الإصابة بمرض يزداد من عام إلى آخر، مما يؤدي إلى إصابة خطيرة في شبكية العين، تلك الطبقة من الخلايا الحساسة للضوء، التي يعود إليها الفضل في الرؤية. ويتخلل هذه الطبقة شعيرات من الأوعية الدموية. ظهر أنه عند المصاب بداء السكري يأخذ جزء كبير من شعيرات الأوعية الدموية بالنزيف، ويتوسع الجزء الآخر منها ليبدأ الدم بالجريان مشكلاً نزيفاً متعدداً.

يبدأ نمو سريع لأوعية دموية جديدة تمتص دم النسيج السليم، لتحرم هذا الأخير من غذائه. وعلاوة على ذلك، فإن الأوعية الدموية الجديدة من النسيج السليم غير متينة وتتمزق بسهولة. ويمكن للعين بالكامل أن تموت من جراء النزيف الدموي المتكرر والعنيف.

يمكن إدخال الشعاع الليزري إلى داخل العين مباشرة عبر البؤبؤ أو الحدقة. وبواسطته يمكن قطع أو استئصال الوعاء غير اللازم، وتخثير الوعاء الذي ينزف، وإزالة آثار النزف الدموي. وبناء على طلب الطبيين وبإشراف الأكاديمي آ. م. بروخوروف، الحائز على جائزة نوبل، وأحد مبتكري جهاز الليزر، جرى لهذا الغرض إعداد محطات ليزرية. اليوم وبعد عشرات السنين من ممارسة العلاج بهذه المحطات، يمكن القول بثبات إن الجراحة الليزرية للعين أصبحت على الطريق الصحيح.

ماذا لو استخدمت نبضة ضوء عملاقة عرضها جزء من مليار من الثانية؟ الوقت الذي تقوم فيه النبضة بتسخين النسيج الحي يكون كافياً لثقب هذا النسيج. هكذا بالتحديد تجري معالجة الغلوكوما أو الماء الأزرق، وهو مرض خطير يصيب العيون، الذي يعاني منه 3% من سكان الكرة الأرضية. ينشأ هذا المرض من ارتفاع ضغط السائل في العين. هنا تلزم عملية جراحية معقدة وصعبة. تستطيع النبضات الليزرية العملاقة إحداث ثقوب ميكروية، عبارة عن قنوات في السطح الخلفي لغلاف قزحية العين كميزاب للسائل داخل العين. عندئذ يتعدل الضغط ويزول خطر فقدان البصر.

يمكن بواسطة الليزر القيام بعمليات على المعدة والأمعاء، التي تتألف جدرانها من طبقات متعددة النسيج التي تتخللها الأوعية الدموية. وتخاط هذه الطبقات على التوالي أثناء العملية، فيصاب النسيج بشدة من جراء ذلك. علاوة على ذلك، وفي نفس الوقت، يبقى وجود احتمال معين لأن تتخثر طبقة ما من هذه الطبقات بمحض الصدفة، وهذا يقود حتماً إلى التهاب

الصفاق، وهو التهاب جوف البطن. يمكن لشعاع الليزر تأمين ربط دقيق لطبقة مع طبقة من النسيج وإيقاف نزف الدم. (الشكل رقم 24).

تعقم الأداة الجراحية قبل كل عملية بدقة. ولكن الشعاع الليزري ليس فقط لا يحتاج لهذا الإجراء، بل هو نفسه يطهر أو يبيد الجراثيم في الجروح بقتله للمكروبات وتبخيره للأنسجة الميتة.

يُدخل الشعاع المعالج مباشرة إلى داخل المعدة، بواسطة دليل ضوئي مرن، لإجراء المعالجة دون التطرق إلى فتح جوف البطن. يمكن إيلاج الدليل الضوئي ليس فقط إلى المعدة، بل إلى القلب أيضاً. ويمكن بواسطة شعاع الليزر إجراء عملية قلبية من الداخل، وتخليص مرضى القلب من المعاناة إلى الأبد.

على الأغلب، إن معظم الناس عالجوا أسنانهم، وإذا لم يكونوا الأكثرية، فمن المرجح أن كل واحد يضطر خلال حياته لاختبار هذا الارتياح المريب. وتنظر كثرة من الناس إلى العيادة السنية كالنظرة إلى حجرة تعذيب، حيث الأداة الرئيسية في التعذيب هنا، هي طبعاً مثقب طبيب الأسنان. ولكن هذا المثقب يبقى ضرورياً، فبواسطته يزال النسيج المنخور والمسود من السن المصاب قبل تركيب الحشوة.

غير أن الخوف من حفر الأسنان هو لا شك آيل إلى زوال، ليصبح من حكايات الماضي، فبدلاً من المثقب الآلي، يستخدم الليزر في الحفر مع تحقيق نجاحات في هذا المجال، فالنبضة الضوئية تنعكس جيداً على السطح اللامع الأبيض لنسيج السن السليم. ويمتص من قبل الجزء المسود من السن المصاب الذي يتسخن وتتبخر مادته مع المكروبات المحمولة عليه. اقترح العلماء الكازاخ (من كازاخستان) استعمال الليزر بدلاً عن الإبر المستخدمة في طريقة العلاج القديمة، وهي الوخز بالإبر، التي يعود تاريخ ظهورها في الطب الشرقي إلى حوالي ألفي عام خلت. وتقوم هذه الطريقة على غرز إبر في نقاط حساسة من جسم الإنسان، ويمكن لهذه الإبر أن

تكون عظمية (عاجية) أو معدنية أو حتى حجرية أو خزفية. على الطبيب المعالج وعن ظهر قلب معرفة أماكن العديد من مئات النقاط على الجسم، ووظيفة كل منها. يحفظ في متحف الأرميتاج الواقع في لينينغراد (سانت بطرسبورغ حالياً) تمثال قديم أدهش العلماء زمناً طويلاً، وهو عبارة عن هيكل برونزي فارغ لإنسان كامل القامة، ولغرض ما، غُطي الهيكل بثقوب صغيرة. ولقد أصبحت وظيفة هذا التمثال واضحة بعد أن قرأت رسالة قديمة من التيبت في الطب، التي تبين فيها، أن هذا ليس سوى محاكي طبي قديم (لأغراض التدريب)، وغشي التمثال من الخارج بطبقة من الشمع ومن الداخل مُلئ بالماء، فإذا ما غَرَز طالب الطب الإبرة في النقطة المناسبة، خرجت منها قطرة ماء مبينة أن مكانها اختير على نحو صحيح. وأن الإبرة المغروزة في النقطة المناسبة تثير النهاية العصبية الواصلة إلى هذه النقطة. بهذه الطريقة يمكن التأثير على عمل الأعضاء الداخلية المرتبطة بهذا المركز العصبي، ومعالجة العديد من الأمراض، والتخلص حتى من بعض العادات الضارة، من أمثال التعلق بالتدخين. بإيصال شعاع الليزر بواسطة دليل ضوئي ليفي إلى النقاط المطلوبة، تعلم الأطباء الكازاخ الاستغناء عن هذه الإبر. تكفي الحرارة التي يحملها شعاع الليزر إلى النهاية العصبية، كي تثير أو تُسكّن الجملة العصبية، وفي هذا يطبق الشعاع المستمر أو النابض ويتبأر أو يمرر عبر زجاج معقم، ولأغراض متنوعة تستخدم وسائط مختلفة التأثير.

لكن التعرض للضوء الليزري بهدف مفيد صحياً، يمكن أن لا يقتصر على الإنسان فحسب، وإنما على النباتات أيضاً (الشكل رقم 25). فمن أجل تعريض النباتات للإشعاع الليزري، جرى اختبار الضوء الأحمر الصادر عن ليزر الهليوم والنيون، نظراً لما له من نشاط بيولوجي كبير. بهذا الضوء جرى تشعيع حبوب الحنطة (القمح)، فلوحظ أن قابليتها للنمو ازدادت بمقدار 15-20%، وتم التوصل إلى نتائج مماثلة لدى معالجة بذور الخيار

والبندورة والبطيخ الأحمر والبطيخ الأصفر.

زرعت في عام 1977 حبوب مشعة بالضوء الليزري في عدة حقول قدرت مساحتها بحوالي 50 ألف هكتار. كما زرعت حقول بحبوب جرى تشعيعها مرتين وثلاث مرات، وكانت النتائج صاعقة فلقد زاد المحصول في التشعيع الثلاثي بمقدار 45%، وأعطى التشعيعان الثنائي والأحادي زيادة في المحصول قدرها 30% و20% على التوالي، وجرى جني محصول إضافي يقارب ستة آلاف طن من الحبوب من الحقول الليزرية.

تزداد كمية فيتامين C في البندورة المشعة بالليزر بمقدار الربع، كما تزداد كمية السكر في الشوندر السكري. وتتحسن الإنتاجية لدى المزروعات بدون استثناء، حيث تغدو جميعها أكثر صموداً أمام الأمراض، وأكثر تحملاً للبرد والجفاف، وأسرع تأقلماً مع الظروف المناخية الجديدة.

وعلاوة على ذلك، تبين أن الضوء الليزري قادر على إحداث تغيرات فجائية إيجابية لدى النباتات، وهي تغيرات ثابتة في الجسم تنتقل بالوراثة. وهكذا يمكن استنبات أصناف جديدة من النباتات أكثر محصولاً، وتنضج مبكراً، وتعطي ثماراً بحجوم أكبر. ما الأمر هنا؟ وما الآلية التي تحدث كل هذا التأثير المفيد للإشعاع الليزري، وتحديداً على كل خواص النبات؟ الجواب على ذلك، ليس واضحاً حتى الآن. من الممكن أن تقوم الموجة الضوئية بهز الذرات في الجزيئات البيولوجية مثيرة إياها. أو أن الليزر قد جعل النبات يلتقط كوانتات معينة من الإشعاع - فوتونات - التي يقوم بواسطتها بتفاعلات كيميائية حيوية جديدة. من البديهي تماماً بشكل أو بآخر أن التي تلعب الدور الأساسي هنا هي بالتحديد الخواص الفريدة للضوء من ترابط وأحادية في اللون.

تسمح هذه الخواص باستعمال الليزر في الحصول على أخيلة حجمية تتشابه مع أجسامها الحقيقية لدرجة أن ذلك يؤدي إلى حكايات طريفة أحياناً.

♦ اختفاء المجوهرات في المتحف والتسجيل الكامل لها

جُلبت مرة تشكيلة من مجوهرات قديمة إلى متحف في مدينة صغيرة، وعُلّقت في واجهات المتحف المضاءة بمصابيح ساطعة، أسفاط مزججة صغيرة، تلألأت فيها أحجار كريمة، وأطلية لأوسمة قديمة، ومشابك تتألق منها على نحو باهت خواتم ذهبية، وأساور من أعمال صنّاع قدامى، وفلزات طبيعية من الذهب ذات شكل غريب. لقد تحولت غرفة صغيرة في متحف الإقليم إلى كهف حكايات مملوءة بكنوز لا تحصى! وكان المعرض من تنظيم صندوق احتياطي الألماس والذهب في الاتحاد السوفييتي السابق. وتفرّج الزوار على هذه المجوهرات معجبين بمهارة الصاغة ومتعجبين من حجم الأحجار ولمعانها، ومع حلول المساء، توقف توافد الزوار، وأغلق المتحف أبوابه. عندها خشي العاملون المناوبون في الصالة على هذه المجوهرات الثمينة، خاصة وأن يوم العمل قد انتهى. فلماذا لم يأت أحد، ليسحب هذه المجوهرات من أماكنها، ويودعها الخزانة!؟ فأثمانها باهظة لا تقدر ولا يوجد على النوافذ حتى شباك تحميها. من يعلم؟ ماذا يمكن أن يحدث لها! وهنا دخل إلى الصالة عامل الكهرباء وفصل التغذية الكهربائية، فانطفأت المصابيح المضيئة، واختفت معها فجأة تألقات الألماس والأطلية الزجاجية النفيسة والذهب. ففي الواجهات علقت صفائح الزجاج الرقيقة المعتمة وحتى أنها بدت وكأنها متسخة قليلاً. هي ليست حقيقية، وإنما عبارة عن صفائح فوتوغرافية تحوي على صور للمجوهرات كانت في المعرض، ولكنها لم تكن اعتيادية، فهي ليست مسطحة كما في الصور الضوئية للمجوهرات، وإنما كانت صوراً حجمية. يمكن النظر إليها من كافة الجوانب بالعين المجردة، وبالعدسة المكبرة، وحتى يمكن

تصويرها أيضاً. لكن أن تلمسها فقط وتأخذها معك فهذا غير ممكن. يطلق على طريقة تسجيل مثل هذه الأخيلة أو الصور الحجمية ما يسمى:

♦ الهولوغرافيا أو التصوير التجسيمي

تدعى مثل هذه الأخيلة المسجلة على صفائح بالمجسمات الثلاثية أو «الهولوغرامات» Holograms، وتعني ترجمة هولوغرافيا من اللغة الإغريقية (التسجيل الكامل). فالخيال المسجل على صفيحة يعطي تخيلاً كاملاً عن الجسم الحقيقي. فمن المعلوم للجميع، طريقة التصوير الضوئي على ورقة أو فيلم أي الفوتوغرافيا (التصوير الضوئي). حتى يومنا هذا، تقدمت طريقة التصوير الضوئي كثيراً إلى الأمام، فعوضاً عن الصندوق الخشبي الكبير للكاميرا المظلمة، حلت آلة التصوير المصغرة، وعوضاً عن علبة الصفائح الزجاجية حلت بكرة الأفلام، ولكن الفيلم ليس بندّ للصفائح القديمة. ومع بزوغ فجر الصورة الفوتوغرافية، كان يتوجب على الشخص، الجلوس أمام عدسة آلة التصوير ما يقارب الساعة، أما اليوم فيمكن تصوير رصاصة منطلقة. وبكلمة واحدة لقد تغير كل شيء، ولكن هذا ليس تماماً. فالصورة اليوم تبقى عبارة عن بطاقة مسطحة، كما كانت أثناء مئة عام خلت. فعليها مرسوم بشكل جيد فقط توزع الضوء، والظلمة، والألوان، وأما الأبعاد في الفراغ فلا يمكن تقديرها دوماً.

تجري محاولات لإضفاء الحجمية للصور (والسينما أيضاً)، وذلك بأخذ صورتين من بعدين مختلفين، الأولى من بعد ثمانية سنتمترات، والأخرى من بعد عشرة سنتمترات. يدعى سحب الصورة بهذه الطريقة بالمجسام الثنائي. وهي تعطي إحساساً بعمق الفراغ، يظهر فيها أن أحد الشكلين يقع أبعد وأن الشكل الآخر يقع أقرب. فمثلاً تبدو غصون الشجرة ممدودة إلى الأمام نحونا. ولكن كلا الشكلين يبقيان مستويين

دون فائدة، كما لو أنهما مقتطعان من ورقة، أضف إلى ذلك أنه لمشاهدة المجسام الثنائي يلزم نظارات خاصة. أية حجمية إذن، تكون هذه!

على نحو مشابه يبدو ما يدعى بالصور الفوتوغرافية من النمط المسحي (Raster)، حيث تؤخذ الصورتان من نوع المجسام الثنائي وتقطع إلى شرائط، ثم يعاد لصقها على التعاقب يميناً وشمالاً، ثم يميناً وشمالاً. ويركب عليها من الأعلى شريط شفاف عبارة عن فيلم من البلاستيك مضغوط بمواشير مسننة. وتتوضع هذه المواشير بحيث ترى العين اليمنى فقط الأشرطة المقصوصة من التصوير الأيمن (السحب الأيمن) وترى العين اليسرى الأشرطة الناتجة عن السحب الأيسر. وبما أن هذه الأشرطة تكون ضيقة جداً، بعرض أقل من المليمتر الواحد، لذا فإن كل عين ترى صورتها الخاصة بها على نحو كامل عملياً. ويحصل ما يدعى المجسام الثنائي الذي يمكن مشاهدته ولكن بدون نظارات. لكن التصوير الحجمي الحقيقي أمكن بلوغه فقط، عندما جاء الليزر للمساعدة (الشكل رقم 26). حيث تُقسم حزمة الضوء الليزري إلى حزمتين: حزمة جسمية أو حزمة الإشارة وأخرى مرجعية تدعى حزمة المنبع. يرد شعاع الحزمة المرجعية مباشرة إلى صفيحة التصوير، وأما شعاع الحزمة الجسمية الذي من السهل تخمينه، فهو يرد إلى الجسم المراد تصويره (الجسم المراد الحصول على صورة مجسمة له أي هولوغراما). وبانعكاسه على سطح الجسم، يعود الشعاع الجسمي للورود إلى صفيحة التصوير وهناك يمتزج مع الشعاع المرجعي.

وبالعودة إلى فصل القارات العائمة، وكيف أمكن قياس سرعة عومها، فإنه يمكن فوراً معرفة ماذا سيحصل من جراء تلاقي هذين الشعاعين (المترابطين والأحاديي اللون).

تنعكس الأشعة من الحزمة الجسمية على الأجزاء المختلفة من هيكل الجسم إلى صفيحة التصوير بأطوار مختلفة. لتجمع على الصفيحة مع الحزمة المرجعية، فتعطي عليها لوحة على شكل خطوط ونقاط،

وتُظهّر الصفيحة كما تُظهّر الصورة الفوتوغرافية العادية، ولكن دون أن يظهر عليها أية أخيلة، وتكون الخطوط دقيقة إلى حد أنها لا تشاهد إلا بالميكروسكوب فقط، وتبدو الصفيحة رمادية للعين المجردة. غير أن التسجيل الموجود الآن على الصفيحة يحتوي على معلومات هي ببساطة ليست ناجمة فقط عن سطوع الجسم، بل عن شكله أيضاً. وكلما كانت المسافة بين نقطتين على السطح أكبر كان فرق الصفحة أكبر بين الشعاعين الواردين إلى هاتين النقطتين. ومع كبر فرق الصفحة يزداد عرض الأهداب المتولدة على الصفيحة.

إذا ما أخذ الآن ليزر مماثل وسلط ضوءه على الصفيحة (الآن الصفيحة ليست مجردة، بل عليها الصورة المجسمة)، فإنه سيتم استعادة خيال الجسم الحقيقي، أي يُرى الجسم بحجمه الطبيعي. ويمكن النظر إلى الصورة المجسمة من الجانب الأمامي والأسفل والأعلى، وإلقاء نظرة على الجزء البارز فيها. للأسف يمكن لأطراف الصفيحة إعاقة هذه الرؤية. الانطباع الكامل عما يشاهد من الجسم، يتم عن طريق نافذة صغيرة، ولكن مع إطفاء الليزر يظهر أمامنا مرة ثانية، ليس نافذة، بل صفيحة الصورة المجسمة الرمادية والمملة. لهذه الصورة المجسمة مجموعة من الصفات المفيدة وغير العادية. فإذا ما مزقت الصورة الفوتوغرافية العادية إلى قطع، فإن الخيال (الصورة) الموجود عليها سيندثر. ويبقى خليط من بقع مضيئة وأخرى معتمة التي لا يمكن منها أبداً تحديد ما الذي كان في أصل الصورة.

لا يحصل هذا مع الصورة المجسمة. لأن أشعة الضوء المنعكسة عن أية نقطة من نقاط الجسم المراد تصويره ترد إلى كل الصفيحة وفي كل نقطة منها. وهذا يعني أن أي جزء صغير من أجزاء الصورة المجسمة سيحتوي على كل المعلومات عن الجسم المصوّر. يمكن في هذه الحالة تقطيع الصورة المجسمة إلى قطع، وستعطي بدقة كل قطعة منها الخيال

الكامل للجسم، الناتج أيضاً على كامل الصفيحة ولكن بسطوع أقل فقط!

إذا ما جرى تصوير جسم ما عدة مرات على نفس المقطع من فيلم التصوير بطريقة التصوير الضوئي العادي، فإن ما يمكن الحصول عليه على الفيلم، هو شيء لا يمكن تصوره بتاتاً. إذا علم أن الهدف من ذلك هو تسجيل الصور في نفس المكان من الفيلم، فإن هذا لن يكون ممكناً. لكن بأخذ الصورة المجسمة، سيكون بالإمكان أخذ صورة عليها بواسطة الليزر ذي الضوء الأحمر، من ثم وعلى نفس المكان من صفيحة التصوير يمكن أخذ صورة لجسم آخر باستخدام ليزر ذي ضوء أزرق، مثلاً هل اختفت الصورة؟ لا يحصل مثل هذا! بإضاءة صفيحة التصوير المجسم بضوء أحمر لليزر الهليوم والنيون، نحصل على خيال (صورة) للجسم المصور بالضوء الأحمر، وبتسليط ضوء ليزر أزرق على الصفيحة نفسها، نحصل على خيال الجسم الآخر الذي تم تصويره على نفس الصفيحة بالضوء الأزرق. ببساطة لا تخلط الأشعة الليزرية الأخيلة المسجلة بواسطة أشعة من ألوان مختلفة. ويمكن توضيع ما يقارب 150 صورة على صفيحة واحدة، قبل أن تبدأ بالتشويش أو إعاقة بعضها البعض، ويلزم هنا فقط أن تتوفر لدينا ليزرات بـ 150 من الأطوال الموجية المختلفة! ولكن الشرط الوحيد أن لا تكون الأطوال الموجية مضاعفات صحيحة لبعضها البعض، كأن يكون طول الموجة أكبر باثنين أو ثلاث أو سبع مرات من طول الموجة الأساسي، أما أن يكون طول الموجة أكبر من طول الموجة الأساسي بقدر 4.75 فهذا مقبول. لماذا ذلك؟ هذا ما سيرد ذكره لاحقاً.

يتسنى لكل واحد منا طبعاً، أن يمسك بيده صورة أو شريحة ضوئية ملونة، التي يتشكل الخيال الفوتوغرافي عليها فوراً من تراكب ثلاث طبقات حساسة للضوء متوضعة على الفيلم أو الورقة. حيث تستجيب إحدى هذه الطبقات للأشعة الزرقاء اللون فقط، وتستجيب ثانيتها للأشعة

الخضراء، وتستجيب ثالثتها للأشعة الحمراء. وهنا تحصل ثلاثة أخيلة متراكبة فوق بعضها البعض ملونة بألوان مختلفة. فالألوان تُجمع لتعطي ألواناً جديدة، فمثلاً يعطي الضوءان الأصفر والأحمر معاً الضوء البرتقالي، كما يعطي الضوءان الأزرق والأصفر الضوء الأخضر، بينما يعطي الضوءان الأزرق والأحمر معاً الضوء البنفسجي وهكذا دواليك. وهنا تكفي ثلاثة ألوان للحصول على كل الأصبغة الموجودة حقاً في الطبيعة.

يعني أنه بأخذ ثلاثة ليزرات تصدر أشعة حمراء وزرقاء وخضراء اللون، يمكن من ذلك الحصول على صورة مجسمة لنفس الجسم على صفيحة واحدة، ومن ثم يمكن بواسطتها استرجاع خيال الجسم، الذي يظهر للعيان بكل غناه صفاته المختلفة! مثل هذه الصورة المجسمة ودون لمسها على الأرجح، لا يمكن تمييزها عن الجسم الحقيقي (الشكل رقم 27).

يمكن تسجيل خيال جسم على بطاقة تصوير تجسيمي مستوية عادية، بحيث يرى الخيال من كافة الجهات، من الأمام والخلف، ومن اليمين واليسار، وذلك تبعا للجهة التي ينظر إليه منها. يوضع لهذا الغرض أمام صفيحة التصوير قناع، هو عبارة عن شاشة معتمة فيها شق. يضاء الجسم المراد تصويره بومضات من ضوء الليزر، بحيث يدور الجسم بعد كل ومضة بزاوية غير كبيرة، وفي نفس الوقت ينزاح الشق، ليضيء قطاعاً جديداً من صفيحة التصوير. بتدوير الجسم حول محور لقطت له حوالي 80 لقطة (صور متتالية) على الصفيحة، حيث لا يزيد عرض كل منها عن المليمتر الواحد.

على الجزء الأيسر من الصورة المجسمة، يُرى الجسم من جهة الظهر، وبالانتقال إلى الجزء الأيمن يُرى الجسم وقد دار ليظهر وجهه، في البدء يظهر منظر جانبي له، ثم تظهر صورة أمامية. وبالنظر إلى اليمين أكثر تظهر صورة الجسم من الجانب الآخر، وعلى أقصى يمين الصورة المجسمة تطوى الصورة كلياً عن الناظر.

ماذا لو استخدمت حزمة ضوء متوازية في الحصول على صورة مجسمة، ومن ثم استخدمت حزمة متباعدة في سبيل استرجاعها؟ يبدو أن الخيال الحاصل سيكون مكبراً ويزداد التكبير مع تباعد الشعاع نفسه.

ماذا لو أُخلّ الآن بالشرط الموضوع سابقاً، أي إضاءة الصورة المجسمة بضوء ليس له نفس طول الموجة، وإنما بطول موجة أكبر باثنتين وثلاث وسبع مرات من الطول الأساسي؟ سنحصل مرة أخرى على خيال مكبر بنفس عدد المرات التي يكبر بها طول الموجة الضوئية المستخدمة بالنسبة لطول الموجة الأساسي! وهكذا يمكن إنشاء ميكروسكوب هولوغرافي (ميكروسكوب للتصوير التجسيمي) الذي يعطي أخيلة حجمية. ولنرى ما التكبير الذي يمكن أن يعطيه في مثل هذه الحالة. يمكن الحصول من جراء تباعد الحزمة على تكبير بـ 200 مرة. وهذا ليس بالرديء على الرغم من أن الميكروسكوبات العادية تعطي تكبيراً يصل حتى 1500 مرة.

بما أنه يمكن الحصول على الصورة المجسمة بأي طول موجة كان، لنستخدم إذن الأشعة السينية في ذلك. أما استرجاعها فيكون باستخدام الضوء المرئي، عندها ستكون نسبة طول الموجة (أي طول موجة الاسترجاع على طول موجة التسجيل) بحدود 5000 مرة. يعني هذا إذا ما استخدمت هاتان الطريقتان في التكبير معاً، فإنه يمكن إيجاد ميكروسكوب يكبر بحوالي مليون مرة!

من الممتع معرفة، كم ستكون أبعاد الذبابة، إذا ما نظر إليها بهذا الميكروسكوب (المجهر)؟ وهل تسمح هذه الطريقة بجعل الذبابة من حجم الفيل أو (كما يقول المثل الشعبي المحلي أن تجعل من الحبة قبة. - المترجم).

إذا عُلم أن أبعاد الذبابة تصل حتى ستة مليمترات، يعني أن الخيال الحجمي الدقيق سيكون طوله حوالي ستة ملايين مليمتر أو ما قيمته ستة كيلومترات. وهذا لا يقارن بطول الفيل، بل يقترب من أبعاد مدينة صغيرة. (الشكل رقم 28). طبعاً، مثل هذا الميكروسكوب لا يُعد من أجل تخويف

الناس بالأشباح العملاقة، وإنما سيجري بواسطته سبر أغوار الخلية الحية، ومتابعة أعمال أجزائها، التي لم تتميز فيما بينها حتى الآن إلا في المستحضرات الميتة. ويترقب رجال التعدين، والفيزيائيون، مساعدة هذا الميكروسكوب في دراستهم لبنية المادة، خاصة وأن الأشعة السينية تمتلك مقدرة كبيرة على النفاذ في المادة.

إن الصعوبة الأساسية في إيجاد ميكروسكوب هولوغرافي، تكمن في الحصول على حزمة أشعة سينية مترابطة ووحيدة اللون. وهنا تنجم لدينا نفس المشاكل التي صادفتنا في عملية توليد ضوء باستطاعة عالية (وفق ما هي موصوفة في الفصل الأول). وهي أقرب ما تكون لأن تحل بواسطة طريقة مماثلة، أي بإيجاد ليزر يصدر أشعة في المجال السيني.

سبق أن ذُكر خبرٌ في المراجع العلمية حول استحداث مرايا عاكسة للأشعة السينية. من المعروف كيف يمكن إثارة وسط فعال لليزر، كي تبدأ ذراته بإصدار أشعة. ويمكن لمصابيح الضخ أن تكون عبارة عن ليزرات ضوئية عالية الاستطاعة أو حقل كهرطيسي بتواتر عال جداً، أو حتى تدفق من نترونات عالية الطاقة.

يمكن لجهاز مستقبلي من هذا النوع، أن يأخذ تسمية ريزر (Raser) بالتماثل مع تسمية ليزر (Laser). وهكذا فالأمر أصبح وشيكاً. لم يبق سوى البدء بإيجاده. سنسمع عنه قريباً، وسنذكره في هذا الكتاب مرة أخرى ولكن بكلمة خشنة هذه المرة.

بالطبع يمكن الحصول على صور مجسمة، ليس فقط لأجسام حجمية، بل لأجسام مستوية، كالحروف والأرقام والأشكال والصور الفوتوغرافية. وهذا حقيقي أي لا يعني أن الصورة الفوتوغرافية المستوية والعادية ستصبح حجمية بعد التصوير التجسيمي. لا، يقام هذا من أجل تنفيذ بعض أعمال التحكم على أمر آخر مهم، ألا وهو التعرف على النماذج (الصور أو البصمات).

♦ التعرف على النماذج

في إحدى مناطق العالم شبَّ وباءُ مرضٍ خطير. ومن مكان نشوء البؤرة المرضية أخذت عينات من التربة والماء والهواء. وأجريت التحاليل لدم الناس المصابين. استخلصت من هذه العينات أجسام مكروية. والتقطت صور فوتوغرافية لمستعمرات المكروبات تحت المجهر. وحُصلَ على رزمة كبيرة من الشرائح المصورة، التي تحتوي على ملايين المكروبات من أنواع مختلفة. وسط هذا الركام، ينبغي إيجاد ذلك النوع من المكروبات الذي أمكن له أن يحدث هذا الوباء، ويفترض بالمكروب الذي يحدث المرض بأعراض مشابهة أن يكون معروفاً. ينبغي فحص صور المكروبات من كل العينات للتعرف على المكروب المشتبه به بينها، أو كما يقال تشخيص المكروب وجهاً لوجه. فكم من الزمن سيستغرقه هذا العمل؟

انقضى يوم كامل، يومان؟ ولكن المرض لا يتوقف، وهو في غضون ذلك تابع انتشاره أكثر فأكثر...، إنها جريمة حقاً. فالمجرم بحذاقة ترك آثاراً، ومنها استطاع الخبراء إيجاد دليل واحد فقط، ألا وهو بصمة إصبع متسخ متروكة على الزجاج. ولا يوجد في العالم شخصان لهما نفس الخطوط المرسومة على الأصابع. وتُعدُ هذه البصمة كافية تماماً لكشف المجرم. ولهذا الأمر يلزم فقط النظر في فهرس البطاقات، حيث جمعت بصمات أصابع الأشخاص المحكومين سابقاً ومقارنتها مع ما هو موجود. يتطلب هذا العمل دقة كبيرة ولا يجوز فيه الخطأ وهو مُتعب، ويستغرق تفتيش البطاقة اللازمة حوالي نصف يوم.

وعلى افتراض أن صورة فوتوغرافية لشخص ما شبيه جداً بالمجرم، قد وجدت، والذي طال البحث عنه. أهذا هو أم لا؟ هنا تبدأ المقارنة.

... لهذا الغرض، صُنّعتْ قطعة ذات شكل معقد، هل هي توافق

النموذج الأصلي، أم أنها مختلفة عنه؟ عندها يمكن تصنيفها في قائمة المتلفات، وبعدها تُتابع المقارنة مع تصميم جديد...

يُعبَّر في لغة الرياضيات عن رسوم الأنبوبيات (نوع من البكتريا - إشلوس) أو عن قطعة الفولاذ وبصمة الإصبع وحتى مُحيا المجرم غير اللطيف، بتسمية شاعرية ألا وهي «النماذج».

إن التعرف على النموذج اللازم وسط نماذج أخرى، يعني مقارنة جميع هذه النماذج مع النمط المرجعي (الإيتالون) واختيار نموذج وحيد مماثل له. وتبدو هذه المسألة أحياناً شديدة التعقيد، وتتطلب عيناً فاحصة وخبرة طويلة. اختبر نفسك على سبيل المثال، كم من الوقت تستغرق لديك عملية التعرف على شكلين متشابهين في زحمة أشكال موجودة على صورة، وأن علامات التشابه فيما بينها ليست سوى خمس إلى ست علامات فقط، وماذا لو كان عدد هذه العلامات هو ثلاثين أو أربعين مثلاً. عندها تصبح المسألة معقدة إلى حد لا يقدر، ويبدو أنها تصبح غير قابلة للحل حتى بواسطة الآلة. ولكن يبدو أن الليزر يمكنه المساعدة في هذا الأمر الصعب. (الشكل رقم 29).

نضع الصورة المراد اختبارها مطبوعاً عليها النماذج (على سبيل المثال الصورة الفوتوغرافية الميكروية مع أخيلة لمئتين إلى ثلاثمئة مكروب) في مسار شعاع الليزر، ثم نضع الصورة المجسمة للإيتالون، ومن ثم نضع الشاشة. نغير شرائح العرض: الأولى، فالثانية، فالثالثة وتبقى الشاشة معتمة! ولكن فجأة تظهر عليها بقعة ساطعة في أعلى اليمين، وهذا يعني أن النموذج المطلوب يوجد في أعلى الزاوية اليمنى من الصورة، وإذا لم يكن هذا النموذج وحيداً، فستظل البقعة مكررة في أكثر من مكان في الصورة.

يمكن أن تكون الصورة المراد اختبارها ليست فقط شريحة للعرض، وإنما يمكن القيام بالتفتيش عن النماذج المتوضعة في شكل ما أو

على شاشة تلفزيون، أو في حقل رؤية الميكروسكوب أو ببساطة حتى في الفضاء الجوي المضاء بضوء الليزر. يمكن استبدال الشاشة، بوضع كاشف حساس للضوء، الذي يبدأ بالعمل لدى ظهور بقعة ضوئية عليه مدللاً على الخيال المكتشف. ويكون الزمن المستغرق أثناء البحث عن النماذج بواسطة التصوير التجسيمي أقل بعشرات الآلاف من المرات من الزمن المستغرق باستخدام الطريقة اليدوية. وبهذه الطريقة يمكن إجراء البحث عن أية نماذج وبأية كمية كانت، دون الحاجة لأن يكون النموذج الكامل متوفراً لديك، وإنما يكفي توفر جزء أو قطعة صغيرة منه فقط.

ليكن لدينا صورة مجسمة ملتقطة لصفحة من كتاب، على سبيل المثال، وأن الصورة تحوي على جزء من هذه الصفحة. يمكننا من هذا الجزء إيجاد ليس فقط الصفحة اللازمة، بل يمكن الحصول على كامل خيال الصفحة على الشاشة، وقراءة كامل النص المكتوب على الصفحة، الغائب أصلاً في الجزء. مثل هذه الأخيلة المسترجعة من جزء الصورة تدعى بالأشباح (من الكلمة الفرنسية phantôme - خيال، شبح).

يمكن بواسطة التصوير التجسيمي مراقبة حالة منتجات معقدة الشكل. تمّ تجميع جهاز إلكتروني حديث على دارة تكاملية كبيرة، هذه الدارة ليست كبيرة بأبعادها، وإنما كبيرة بإمكاناتها. فعلى سطح لا تتجاوز مساحته السنتمتر المربع الواحد، جرى تجميع آلة حاسبة إلكترونية كاملة. فلو أنها ركبت باستخدام الصمامات قبل عشرين عاماً من تاريخ تجميعها لشغلت قطعها خزانة كاملة. المئات من العناصر الإلكترونية التي تصل فيما بينها بآلاف الأسلاك الرفيعة التي لا تتجاوز ثخانتها أجزاء من مئة من المليمتر. ألا يوجد أخطاء في هذه التوصيلات، انقطاعات أو وصلات مقطوعة؟ إن أجهزة التصوير التجسيمي الحديثة بإمكانها اختبار مثل هذه المنتجات (الأجهزة) وإظهار الأعطال فيها على نحو أوتوماتيكي.

إن شفرة العنفة - عبارة عن قطعة ذات سطح منحني شكلها معقد، التي يجب تصنيعها بدقة عالية - حيث توضع على حامل جداري وتنار بشعاع الليزر، يمرر الضوء المتبعثر عليها عبر الصورة المجسمة لطبعة الشفرة. هناك اختلاف بين شكل الشفرة والطبعة، حيث تنشأ بقع وعصابات صغيرة، التي يشير عددها وأبعادها ومواضعها في الفراغ إلى الانحراف عن الطبعة والأكثر استغراباً أو اندهاشاً، هو أنه لا لزوم بشكل عام لإعداد الطبعة. يمكن للحاسوب وفقاً لمخطط الرسم الهندسي للطبعة القيام بحساب وإعداد صورة تجسيمية للطبعة، مثل هذه الصورة المجسمة تدعى بالصورة المركبة أو الاصطناعية.

ولكن يمكن التمييز بسهولة بين الصورتين الاصطناعية والحقيقية، فعلى الصورة المجسمة الاصطناعية، يُرى زُخْرف جميل وصحيح مُكّون من خطوط ونقاط، بينما يكون في الصورة الحقيقية ناعماً إلى حد يصعب تمييزه بالعين المجردة.

تدعى هذه الطريقة في التعرف على الأخيلة بطريقة الترشيح الضوئي (الشكل رقم 30)، وتقوم الصورة المجسمة مقام مرشح يمرر فقط المعلومات الضرورية بعد حذف ما تبقى من معلومات زائدة. لهذا السبب فإن الطريقة الأخرى في تطبيق الترشيح الضوئي هي في تصحيح وتبسيط المادة الأساس. ولا يكون المرشح في هذه الحالة عبارة عن صورة مجسمة، وإنما عبارة عن قناع غير شفاف (عاتم) بالشكل المطلوب.

تستخدم هذه الطريقة في الكشف عن الثروات الطبيعية (الخامات)، وهي طريقة للكشف الزلزالي، حيث تفجر شحنة من الديناميت على سطح الأرض أو في المنجم، لتنتشر بعدها موجة الانفجار المرنة في التربة، وتصل إلى الطبقات الصخرية المتوضعة في الأعماق. تنعكس الموجة عن هذه الطبقات كانعكاسها عن مرآة وتعود راجعة إلى السطح. وهناك تسقط الموجة على سطح مستقبلات (كواشف)، التي تقوم بتسجيل هذه الأمواج

المنعكسة. ويمكن أن تقدم هذه التسجيلات، الكثير من المعلومات، عن ما هو مخفي في باطن الأرض على أعماق مئات الأمتار وحتى بضعة كيلومترات، وكيف تكون الطبقات، ومن أي صخور تتكون، وهل هي جافة أم مشبعة بالنفط وغيرها الكثير. باختصار فإن طريقة الكشف الزلزالي اليوم، هي الطريقة الأكثر بساطة والأرخص في الكشف عن الثروات الطبيعية. لكن الأمر في الواقع العلمي يبدو أكثر تعقيداً. فالموجة المرنة تسير ليس فقط في العمق، وإنما على السطح أيضاً. ويمكن للطبقات التي تعكسها أن تكون عديدة. تتولد موجة عالية الشدة جداً عند تفجير شحنة متفجرات في بئر ارتوازي، فتنتشر بعدها نحو الأعلى عبر أنبوب مغروس فيه، ويجري تسجيل كل هذه الأمواج في كواشف المحطة التي تصل إليها. وبالنتيجة يظهر على شريط التسجيل رسم بياني معقد الشكل، يحوي على حوالي بضعة عشرات من الأمواج المختلفة، ولكنها تكون مرتبة على نحو منتظم أو محير ومتراكبة فوق بعضها البعض.

يمكن للجيولوجيين أن يهتموا بموجتين أو ثلاث أو أربع كحد أقصى من بين هذه الأمواج، أما بقية الأمواج فليست سوى أمواج تشويش. ويحاول المختصون والمفسرون قصارى جهدهم فصل هذه الخطوط المتشابكة مع بعضها البعض للوصول إلى الأمواج اللازمة. وكم يكون ذلك حسناً عندما يتسنى لهم تبسيط اللوحة وإبعاد المنحنيات الإضافية!

وهنا يلجأ هؤلاء إلى طريقة الترشيح الضوئي. فالمرشح الضوئي عبارة عن شريط عاتم يوضع بنفس الزاوية التي يوضع بها عند تسجيل الموجة التي يراد إزالتها. ونرى بعدها على الشاشة لوحة معروفة لدينا، ولكن تكون بدون موجة التشويش! ولا يبقى أثر لمكان فارغ في تلك الأماكن حيث مرت الموجة، ولا لفجوات، وأما نهايات المنحنيات التي مزقتها عملية الترشيح فتلتئم مع بعضها (أي تخيط مع بعضها البعض) لتصبح منحنيات واحدة، وكأنها كانت معاً أبداً. وبهذه الطريقة ترشح نتائج التصوير الفضائي

الجوي لإظهار بنى جيولوجية ممتدة - قسمات جيولوجية (lineaments). فإذا كانت مجموعة هذه القسمات لها اتجاه معين في منطقة ما، فإنه يتوقع أن تظهر هناك تشققات وكسور عميقة في القشرة الأرضية. وكانت قد صعدت عبر هذه الشقوق، في زمن ما، حمم منصهرة حاملة معها معادن الحديد والنحاس والنيكل وغيرها من الثروات الباطنية. وهكذا نشأت المناجم. وبإظهار القسمات يمكننا الكشف عن مكامن جديدة على الخريطة مباشرة.

تسمح الطرائق الهولوغرافية بالكشف عن وجود تشوهات صغيرة جداً واهتزازات لمواد لينة وقياس هذه الاهتزازات، التي لا يمكن ملامستها بأي شيء سوى بواسطة الشعاع الضوئي. ولكن لماذا بالتحديد مواد لينة فقط؟ من بين هذه المواد يمكن أن تكون تلك المواد المسخنة حتى درجات حرارة عالية أو المواد المتحركة بسرعة كبيرة. بهذه الطريقة تدرس تدفقات الغازات المتوهجة (المحماة) في المحركات النفاثة والتوربينات (العنفات). وبنفس الطريقة يعمل المكرفون الليزري الذي يسمح بالتنصت على حديث يجري في غرفة نوافذها مغلقة بإحكام تقع على بعد مئات الأمتار. فعند الحديث يهتز زجاج النافذة على نحو خفيف، وتقوم الصورة المجسمة بتحويل هذا الاهتزاز إلى اهتزازات للضوء والظل التي يمكن أن تتحول بسهولة إلى صوت مرة أخرى. يمكن بشكل مماثل رؤية ما هو مخفي عن النظر تحت الماء مثلاً. ويمكن تطبيق مبادئ الهولوغرافيا على أية أمواج بما فيها الأمواج الصوتية (الشكل رقم 31). لذا يمكن استعمال حزمتين من الأمواج الصوتية بدلاً من الشعاعين المرجعي والجسمي المضيئين للجسم. فنحصل على تموجات متشكلة على سطح الماء، ولكن بإضاءته بشعاع ليزري يمكن رؤية خيال حجمي مسترجع للجسم الموجود داخل الماء. تُعد هذه الطريقة مناسبة في الكشف عن غواصات معادية موجودة في أعماق البحار والمحيطات، بحيث يمكن تركيب مصادر الصوت في قاع البحر (على

سبيل المثال على حدود المياه الإقليمية للدولة صاحبة العلاقة) أو توضيعها على متن باخرة، وأما الليزر فيمكن تحميله على طائرة أو على قمر اصطناعي. ويمكن أخيراً أن يتسنى الحصول على صورة كاملة لنيسي الأسطورة في بحيرة اسكتلندية.

يمكن الاستعاضة عن الطريقة السينية في التفتيش بالطرائق الهولوغرافية، ويُعدُّ جسم الإنسان شفافاً للأشعة السينية ولكن هذه الأشعة ليست آمنة بالنسبة للكائن الحي. فالجرعة الكبيرة الحاصلة من التعرض لهذه الأشعة يمكن أن تؤدي إلى أمراض إشعاعية خطيرة وفادحة. طبعاً لا يؤدي تعرض المريض في حجرة المعالجة لمدة ثلاث إلى أربع دقائق لأي أذى معتبر، ولكن الطبيب الذي يعمل في المكان يكون مضطراً لارتداء رداء ثقيل وقفازات من المطاط المعفر (الممزوج) بغبار الرصاص، وذلك لحمايته من الإشعاع المميت. ولقد تقرر استبدال الأشعة السينية الخطرة بالأمواج فوق الصوتية، لهذا يغطس المريض بماء الحمام، وترسم حزمة الأمواج فوق الصوتية غير الضارة للجسم لدى مرورها المختلف عبر العضلات والأوتار والعظام لوحة لصورة مجسمة على سطح الماء، التي يمكن استعادتها بواسطة الليزر. سترى تفاصيل بنية الجسم في هذه الصورة المجسمة وكيفية عمل كل من العضلات والمفاصل على نحو جيد. تدعى هذه الطريقة في الحصول على أخيلة بطريقة الرؤية الصوتية أو الهولوغرافيا الصوتية (أي التصوير التجسيمي بالصوت). يجري الحديث هنا عن الهولوغرافيا الزلزالية التي ينبغي أن تعطي أخيلة حجمية لطبقات الصخور الجبلية المجبولة بالحصى والطين وغيرها من الصخور الرسوبية. مثل هذه الصورة المجسمة ستسترجع ليس بالليزر، وإنما يجري بناء الخيال المطلوب بواسطة الحاسوب. تبقى المشكلة الأساسية هنا هي نفسها، التي تكمن في تأمين منبع أمواج وحيدة اللون دقيق وشديد من النوع الضوئي وعلى الأخص الزلزالي. ولا يمكن الحصول على هولوغرام بواسطة موجة انفجار...

وفي النهاية ظهرت هولوغرامات من زمن غير بعيد، التي لا تحتاج في استرجاعها إلى الليزر، والتي يمكن مشاهدة أخيلتها الحجمية تحت الضوء العادي، أي تحت ضوء الشمس، وإن شئت تحت ضوء الشمعة. بالتحديد مثل هذه الهولوغرامات جعلت العاملين في متحف صغير يقلقون.

تسجل مثل هذه الهولوغرامات كما تسجل الهولوغرامات العادية بواسطة الليزر، ولكن العصابات والخطوط والنقاط المكونة للهولوغرام تتوزع ليس على طول الفيلم، بل وفق عرضه.

وتكون الطبقة الحساسة للضوء المغشاة على سطح فيلم بسماكة تقل عن المليمتر الواحد، تبدو تحت المجهر شبيهة بكعكة «نابليون»- وهي تتكون بكاملها من طبقات مضيئة وأخرى مظلمة. وبالانعكاس على هذه الطبقات من أعماق مختلفة تتجمع الأشعة وتتفاعل لتعطي خيالاً حجمياً. عندها يقوم الهولوغرام نفسه باختيار الأشعة ذات طول الموجة المناسب من حزمة الضوء العادي، التي سجلت عليها الصورة، وتطفئ البقية من الأطوال الموجية المركبة للضوء، التي لم تستخدم في التسجيل أو التصوير.

يبدو هذا الهولوغرام مثل علبة ارتفاعها بضعة سنتيمترات، ولكنها في الواقع رقيقة إلى حد أن هذه الهولوغرامات العرضية، يمكن لصقها على صفحات كتاب، كما كانت تلصق الرسوم الملونة بين دفات الكتاب فيما مضى.

في حقيقة الأمر، إن هذا الهولوغرام لا يمكن قصه إلى أجزاء دون أن يتخرب. فهو بهذه الميزة أشبه ما يكون بالصورة الضوئية العادية (الفوتوغراف). ولكن يمكن تسجيل خيال ملون في طبقة حساسة (مستحلب) سميكة، ويمكن أيضاً تخزين مئات الهولوغرامات على صفيحة واحدة (فيلم). تبين الحسابات أن حجم قدره 1سم^3 من هذا التسجيل، يمكن أن يخزن محتويات مكتبة تحوي على خمسة ملايين مجلة، سعة كل مجلة منها نحو 200 صفحة، وفي كل صفحة حوالي 1000

كلمة وسطياً، وكل كلمة مكونة من سبعة أحرف! من الصعب التصديق أن كل المعارف التي تراكمت لدى البشرية، وكل ما كتب عبر التاريخ حتى الآن، من مجلدات المخطوطات الأولى وحتى آخر إصدار لجريدة في الأمس، بما فيها هذا الكتاب، يمكن تسجيلها وحفظها في الشكل الهولوغرافي الذي يتسعه صندوق (درج) طاولة الكتابة! (الشكل رقم 32). لكن استخدامات الليزر لا تقتصر فقط على التصوير التجسيمي أو مكتبة في الجيب أو طريقة قياس جديدة وفائقة الدقة، وإنما هو تقانة جديدة. فالليزر قادر على أن يكون سلاحاً!

♦ الشعاع ـ السلاح

ذُكِرَ مثل هذا السلاح منذ الزمن الغابر، ففي حوالي عام 220 ق.م دخلت بلاد الإغريق القديمة في حرب صعبة مع الفاتحين الرومان. وفيها حوصرت مدينة سرقوسة Syracuse غير الكبيرة من كافة الجهات من قبل المهاجمين الأعداء. وأغلقت بواخر العدو مداخل المدينة من جهة البحر، كما أطبق الحصار على المدينة بقوات عديدة ومسلحة من البر، وبدأ الجوع في المدينة. ولكن العالم أرخميدس عاش في مدينة سرقوسة، الذي سبق له أن اخترع مجموعة من الآلات المعقدة، التي تستطيع الدفاع عن المدينة، وأمل الإغريق بأن اختراعه هذه المرة سيساعدهم في التغلب على العدو.

وتوجس الرومان من هذا، فلقد تذكروا جيداً، كيف أن الاقتراب غير الحذر من جدران المدينة، جعل السفن تقع تحت قبضة ذراع مخلبي كبير، منتشلاً إياها من الماء لتتكسر إلى نصفين. وكان هذا الغراب المسلّح هو عبارة عن خطافات من البرونز. وهو آلة حربية مخترعة من قبل أرخميدس. لذا فإن السفن (المراكب) بقيت على مسافة معتبرة عن الشاطئ، هناك حيث تكون في منأى عن الخطر. لكن هذا الأمر بدا أنه

وهمي. ذات يوم وفي ظهيرة يوم حار، انتصبت مجموعة من الناس على جدار المدينة المقابل للبحر. فالرجال المحاربون حملوا تروساً برونزية مصقولة حتى اللمعان، وأما النساء فحملن مرايا فضية براقة. وعلى الشاطئ تلألأت بقع أشعة الشمس المنعكسة، على نحو مُسلٍّ وغير ضار. وبأمر من العالم أرخميدس وجه كافة المواطنين في لحظة واحدة مراياهم صوب متن السفينة الرومانية، وفي نقطة واحدة، وبعد مضي بضعة ثوان، وعلى المتن الأسود للسفينة، أخذت الفقاعات تظهر وشرع القار بالغليان، وبعدها بلحظات صعبة أخذت السفينة المصنوعة من الخشب المطلي بالقطران بالاشتعال. (الشكل رقم 33).

وهكذا بدت البقعة الصغيرة لأشعة الشمس المنعكسة، وكأنها سلاحاً رهيباً بصهرها للقار الذي طلي به متن السفينة المجاورة.

أصاب الذعر الأسطول الروماني من جراء ذلك. مما جعلهم على غير هدى يقطعون حبال المراسي، ويكسرون مجاذيف بعضهم البعض، لتبحر السفن بعدها بعيداً عن الشاطئ، محاولة الابتعاد أكثر وأكثر إلى أن تصبح بمنأى عن بلوغ الشعاع الحارق.

هكذا تُحكى الأسطورة، التي اُعتبرت منذ زمن بعيد بدعة بحتة، قبل أن تقوم مجموعة من الطلبة الفرنسيين بالتحقق منها بالتجربة. فمن الخشب الجاف، صُنِع نموذج لسفينة قديمة مطلية بالقار والمحملة بقطع الصوف (ومنه كانت تصنع قديماً الأشرعة والحبال).

ثلاثون طالباً أخذوا مرايا الجيب، ووجهوا أشعة الشمس من بعد عشرين متراً إلى متن الزورق (السفينة الصغيرة). وخلال دقيقة ونصف، أخذ الزورق بالاشتعال تحت تأثير شعاع الضوء المحرق وهو السلاح المُخترع من قبل أرخميدس العظيم.

إن فكرة السلاح المُطْلِق للنار عبر أشعة الضوء، أرّقت منذ القدم كُتّاب الخيال العلمي، فرواية الخيال العلمي «حرب العوالم» للكاتب

الإنكليزي هربرت ويلز[1] كانت قد كُتبت قبل أكثر من مئة عام خلت.

وها هو مشهد المعركة بين سفينة حربية أرضية وآلة حربية قادمة من المريخ ثلاثية القوائم مقتبس من تلك الرواية: «سارت السفينة بطريقة قطعت بها خلال دقيقة واحدة نصف المسافة الواقعة بينها وبين السفينة البخارية القادمة من المريخ، وبتصويب النظر عكس اتجاه أشعة الشمس، من موقع منخفض في الماء بجوار السفينة البخارية، بدا أن السفينة الحربية أصبحت الآن واقعة في وسط رواد المريخ. حيث شهر أحد هؤلاء الرواد منبعاً للأشعة الحرارية، ووجهه بزاوية نحو الأسفل، فتطايرت سحابة من الأبخرة المائية من جراء هذا التلامس للشعاع الحراري مع سطح الماء. ونفذ هذا الشعاع عبر الدرع الفولاذي للسفينة الحربية، كنفوذ سيخ فولاذي محمى حتى الابيضاض عبر صفحة ورق... وما زالت السفينة الحربية مستمرة في قتالها! يبدو أن عجلة القيادة لم تصب بأذى وأن الآلات بقيت تعمل. توجهت السفينة الحربية مباشرة صوب السفينة الثانية لرواد المريخ، التي كانت على بعد مئة ياردة[2] عنها، عندها صوبت سفينة المريخ شعاعاً حرارياً على السفينة المدوية (الأرضية). ومع القصف وسط اللهب الساطع تطايرت المداخن وسطح السفينة نحو الأعلى... توارى كل هذا وراء فوضى من الماء المغلي والأبخرة المتطايرة».

إن رواية «سطح القطع الزائد للمهندس غارين» (بالروسية: Гиперболоид инженера Гарина) لكاتبها ألكسي تولستوي والمعروفة أيضاً باسم «شعاع غارين المميت» The Garin Death Ray لاقت شعبية واسعة وانتشاراً كبيراً، إلى حد أنه عند ظهور الليزرات الأولى جرى عَدّها على أنها "سطوح القطع الزائد"، بغض النظر عن أن هذا الجهاز الموصوف بذكاء في هذه الرواية، والذي أعطى شعاعاً يقطع الفولاذ

---

[1] Уэллс Г. Война Миров (حرب العوالم). М., Мол. гвардия 1956. с. 249-250.

[2] الياردة واحدة قياس الطول في جملة القياس الانكليزية وتساوي 91.44 سنتيمتراً. - (المترجم).

والصخر، ولكنه عمل بطريقة أخرى مخالفة. إنها لكلمة حق تقال: إن هذا الجهاز لا يمكنه العمل بالطريقة الموصفة في الرواية، وهو ما لا يمكن له أن يحدث، ففي النموذج الأول لسطح القطع الزائد احترقت بضع شموع. هذا دون التكلم عن أن الضوء الصادر عن مثل هذا المنبع الكبير وغير المعقول (السخيف) لا يمكنه أن يعطي شعاعاً رفيعاً كالإبرة مهما يكن من أمر، وأن درجة الحرارة في محرق هذا الشعاع، كان لها أن تساوي درجة حرارة الشمعة أي درجة حرارة تتراوح ما بين 700 - 800 درجة مئوية لا أكثر. ولا يمكن بها قطع صفيحة الدرع، ولكن الأمر ليس في هذا. والأهم من ذلك أن رواية «سطح القطع الزائد للمهندس غارين» تقرأ اليوم كرواية مع شيء من الحذر، وها هو مقطع مقتبس منها: «... المدافع، الغازات، الطائرات، كل هذا لهو ولعب أطفال... وهنا لا غارين لوحده... آلة القتل والمليارات. كل شيء يمكن انتظاره» - يتحدث أحد أبطال الرواية.

وبعدها ظهر على صفحات الروايات الخيالية نوع مختلف من «القوالب» و«المضغوطات» التي تطلق النار على شكل دفقات من الطاقة، و«الانفراغات» وكلها من نفس «الأشعة الحرارية».

وفي الأفلام السينمائية تقوم على نحو فعّال مركبات فضائية ضخمة بحرق مدن كاملة وتشق بعضها بعضاً بواسطة الأشعة الليزرية. (الشكل رقم 34).

بقيت الفكرة كما يقال معلقة في الهواء، وتم التعود عليها إلى حد أنه وعلى نحو غير ملحوظ تماماً، سرى خبر في جريدة، وفيه يذكر أنه بواسطة محطة ليزرية ذات استطاعة عالية، أمكن تحطيم أو إسقاط طائرة هدف. وهكذا أصبح الخيال حقيقة.

تقترب سرعات الطائرات الحديثة من سرعات الصواريخ والقذائف. لهذا السبب فلكي يصيب صاروخ طائرة، لا بد من حسابات معقدة وقياسات مستمرة لسرعة الطائرة ومداها. لكن الطائرة تناور وكذلك

الصاروخ، وإن سرعة الاقتراب فيما بينهما غير كبيرة، وإن الزمن قصير، ولذا يمكن أن تكون المدة غير كافية للقيام بكل هذا...

إضافة إلى كل هذا، فإن الطائرة تمتلك حماية ذاتية أيضاً. فهي تسعى إلى التشويش على عمل محطة إطلاق الصواريخ - بأن ترسل تشويشاً راديوياً وتنثر سحباً من الإبر الفولاذية الرقيقة، أو سحابة من «رقاقات الألمنيوم»، التي تحجب الطائرة عن الرادار، كما لو أنها حجاب لها. ويمكن إطلاق صاروخ خاص يوجه وفق شعاع الرادار، ليطير مباشرة نحو الهوائي مسبباً له الدمار.

إن سرعة الضوء هي حوالي ثلاثمئة ألف كيلومتر في الثانية. وبالمقارنة مع هذه السرعة، تُعدُّ أسرع طائرة ممكنة ساكنة غير متحركة. وبالتالي فإن إسقاط الطائرة بواسطة الليزر يكون أسهل من إطلاق النار على بطة من بندقية بماسورتين. وبالتالي فالرادار اللاسلكي غير لازم، لأنه يمكن التقاط الطائرة بواسطة التصويب الضوئي وأخذها وكأنها نقطة واحدة بحيث أن الخصم لا يدري فيما إذا كان قد تم اكتشافه أم لا.

يمكن بواسطة البندقية الليزرية إشعال النار في كومة قش يختبئ وراءها الخصم، وإحراق الملابس التي يرتديها وإحراقه وإفقاده البصر.

يفترض أن هذه الليزرات الحربية يجري ضخها بواسطة التفجيرات، وأن كتلة صغيرة من مادة متفجرة تقدر قيمتها ببضعة غرامات، إذا ما انفجرت فإن درجة الحرارة ترتفع على نحو حاد، وكذلك الضغط بجوار الكتلة العاملة الذي يحول طاقة الانفجار إلى ومضة ضوئية.

في الحقيقة لا يُعدُّ السلاح الليزري فعالاً جداً في الغلاف الجوي، فالمطر والغبار والضباب كل هذا يخفض كثيراً من مدى تأثيره، وعلاوة على ذلك لا يمكن رفع استطاعته بلا حدود، وتحدث في لحظة معينة ظاهرة تدعى «الانهيار الضوئي»، فالشعاع الضوئي المنتشر حتى الآن في الهواء على نحو حزمة متوازية، يجمع نفسه فجأة في خيط رفيع، كما لو أن

عدسة وضعت في مساره (تدعى هذه الظاهرة بالمحرقة الذاتية أو التمحرق الذاتي). ويبدأ هنا تسخين الهواء وتبدأ الإضاءة وكأن انفراغ صاعقة قد اخترقه. ولا يمكن لشعاع الليزر الاستمرار بالانتشار بعد هذه الشرارة المضيئة، لتبدد طاقته بالكامل على تسخين الغاز.

لا توجد مثل هذه المعوقات في الفضاء الخارجي. لذا قامت وزارة الدفاع الأمريكية مع تبنيها برنامج نصب منصات فضائية حربية مزودة بالصواريخ، بإضافة بند إلى هذا البرنامج، يتضمن استحداث السلاح الليزري من أجل محاربة الأقمار الصناعية الحربية، وكذلك الصواريخ الموجودة في الترس الفضائي.

تُعدُّ ليزرات الأشعة السينية النبضية والليزرات الكيميائية المستمرة، أكثر الليزرات مناسبة للأغراض الحربية. وتتجاوز استطاعة الليزرات الكيميائية في الوقت الحاضر ما قيمته اثنين من الميغاواط وأما ليزرات الأشعة السينية فتبلغ استطاعتها حوالي مليارات الميغاواط عند نبضات ليزرية قصيرة جداً. وهذا ينبغي أن يكون كافياً كي يُقطّع الصاروخ أثناء تحليقه أو على الأقل إعطاب أجهزته.

تُضخ الريزرات (ليزرات الأشعة السينية) فائقة الاستطاعة بواسطة انفجار نووي غير كبير. حيث يتولد الإشعاع السيني في قضبان رفيعة من الزنك أو المغنزيوم، قطرها حوالي واحد مليمتر، وطولها عدة أمتار، ويصوب كل قضيب نحو هدفه. ويستخدم الليزر السيني لمرة واحدة فقط: فانفجار الشحنة أو العبوة الخاصة بالضخ يبدده إلى غبار، أما الليزر الكيميائي فيمكن إشعاله وإطفاؤه عدة مرات. ولكن مخزون الوقود على متن القمر الاصطناعي الحامل لليزر يكون غير كبير، لذا يُعمل على توضيع الليزر على الأرض، وإطلاق الأقمار الاصطناعية (أو الصنعية) الحاملة للمرايا إلى الفضاء، التي تعمل على توجيه شعاع الليزر نحو الهدف. (الشكل رقم 35).

أصبحت كل هذه التقنية موجودة ومجربة على الأرض. في الحقيقة تُعدُّ الليزرات هي نصف المسألة. فلكي يعمل «الترس الفضائي» على نحو موثوق، يجب أن تعمل منظوماته الإلكترونية ثانية بثانية بدون أخطاء، وأن تُعالج كماً هائلاً من الأوامر. درست لجنة مؤلفة من مشاهير الفيزيائيين الأمريكيين بدقة واقع الحال الخاص بإعداد «الترس الفضائي»، وخلصت إلى نتيجة مفادها، أن مثل هذه المنظومة لا توجد حتى الآن ولن تكون في المدى المنظور. ويعتبر البعض منهم أن إيجادها مستحيل من حيث المبدأ.

كان هذا، حتى زمن قريب، موجوداً من الناحية النظرية فقط، ولكن تتوفر اليوم نماذج تجريبية لليزرات حربية. في الحقيقة، الليزرات ليست هي بحد ذاتها كل المسألة، لأنها بحاجة إلى منظومة تحكم إلكترونية معقدة إلى حد لا يصدق، وهي غير موثوقة جيداً، فأقل تشويش يمكن أن يفشلها، لذا فإن اختصاصيي التقنية الراديوية يشكُّون في مدى فعاليتها. ولكن الليزرات تستخدم حتى الآن في المجال العسكري على نحو واسع، كأجهزة تسديد وإرشاد إلى الهدف. لهذا الغرض يركب ليزر صغير تحت سبطانة الرشاش أو البندقية الذي يرسل شعاعه على التوازي مع مسار الرصاصة ليعطي بقعة مضيئة على الهدف. وبالتالي فلا لزوم للتسديد والتقاط الهدف في بؤرة التسديد، فمن بعيد يرى المكان الذي ستسقط فيه الرصاصة.

بنفس الدقة تماماً، يجري توجيه الصواريخ وقذائف الطائرات. يركب الليزر في هذه الحالة على الطائرة الحربية، ويجري تتبع البقعة الضوئية الليزرية على الهدف من قبل منظومة توجيه آلية مركبة على الصاروخ نفسه.

يمكن بواسطة قائس المسافات الليزري في المدفعية قياس المسافة عن الهدف (التي تتراوح ما بين 10 - 20 كم) وبدقة تصل حتى خمسة أمتار.

تُستعمل الليزرات في محاكاة الرمي أثناء مشاريع التدريب. وفيها يقوم المقاتل بارتداء تجهيزات تحتوي على مستقبلات الضوء الليزري على الصدر والكتف والرأس بالإضافة إلى دارة إلكترونية ذات بطاريات تغذية. يُركب على الرشاش ليزر نبضي صغير، يعمل مع صوت الإطلاق - الوهمي طبعاً، لتبدأ المعركة، فإذا ما وقعت نبضة الليزر الضوئية على المقاتل (للدلالة على أنه قُتل) فإن المنظومة الإلكترونية التي يرتديها تفصل الليزر (توقفه)، وينطلق صوت صاخب وكريه للغاية. يفصل المقاتل الصافرة ويُخرج المغلاق من الرشاش، هذا يعني أن المعركة قد انتهت بالنسبة له.

في المجال الحربي، يُستعمل الليزر في الاتصالات أيضاً. ولا يقتصر هذا الاستعمال على الهاتف الضوئي سواء أكان الاتصال يجري عبر الكابلات الليفية أو عبر شعاع الضوء المكشوف.

في قاع البحر ترقد غواصة على عمق مئات الأمتار. وهناك يمكن لها أن تبقى أسابيع بأكملها فالغذاء والماء والهواء يكفي على متن هذه الغواصة الضخمة لزمن طويل. وتكون محركاتها في هذه الحالة مطفأة ويسود سكون مطبق على متنها: فالصوت في الماء ينتشر لمسافات بعيدة وعليها أن لا تكشف نفسها. فلا أحد يراها أو يسمعها ولكن للأسف هي أيضاً لا يمكنها سماع أحد. فالأمواج الراديوية لا تنتشر في الماء، لذا يقتضي الأمر الاتصال بالناس أو استقبال أخبار منهم، ولا بد في مثل هذا الحال من العوم والطفو، وهنا لا شك أنها ستصبح تحت النظر أو الكشف.

ولكن العوم قد لا يناسب، ففوق سطح البحر تحلق طائرة، وعلى متنها ليزر قوي مُصوّب للأسفل نحو سطح الماء الأملس، ويرسل نبضات ضوئية تحمل أخباراً مشفرة. ما زالت الغواصة قابعة في الأعماق ولا يتسنى للضوء الوصول إليها، بسبب امتصاصه في الماء، ولكن كل ومضة ممتصة في الماء تعمل على تسخينه شيئاً فشيئاً، فيتمدد الماء المسخن ومن ثم يبرد

فيتقلص، مما يتولد عن ذلك أمواج صوتية تخترق طبقة الماء ذات السماكة متعددة الأمتار، لتصل الإشارة من متن الطائرة إلى متن الغواصة. وهكذا جرى استعمال المفعول الضوئي الصوتي حديث الاستكشاف في الاتصالات. الذي من ميزاته أن البعد لا يشكل عائقاً بالنسبة له، فالإشارة المرسلة من القمر الصنعي يمكن سماعها على قعر البحر. ولكن مما يؤسف له، أن هناك محاولات لاستخدام مثل هذه الاكتشافات في التدمير. ولكننا مع أن يستخدم الليزر سلمياً في توجيه الطائرات وهي تهبط على مدرجاتها، لا في توجيه الصواريخ الحربية، وفي قص الفولاذ في المصانع وليس في ميدان المعركة، وفي إحداث ثقوب في أحجار الساعات، وليس في خرق جدران المنازل الآمنة. وإذا ما استخدم في حرق جسد حي، فليكن ذلك من أجل صحة الناس لا من أجل قتلهم.

لذا بكل قوانا يجب السعي نحو السلام. ونحو مشروع الحد من التسلح الإستراتيجي بما فيه في مجال الفضاء الخارجي. مثل هذا السلاح قد تراكم بكميات مخيفة على الأرض.

لننظر إلى الأمام بثقة وتفاؤل. وأنه في النهاية لا بد أن تسود الأفكار السليمة والعقلانية، وأن المستقبل سوف يكون خالياً من أخطار الحروب والخوف. لذا لا بد لنا الآن أن ننظر إلى المستقبل.

♦ نظرة نحو المستقبل

هذا المستقبل سوف يكون سلمياً. ففيه يكون الإنسان قد جهّز كوكبه والمحيط القريب منه لمنفعته. ويكون قد بنى على القمر ميناء فضائياً، وهناك أصبح يعمل المئات من الفلكيين والجيولوجيين والفيزيائيين. الذين يُجلب لهم الأوكسجين من الأرض داخل أسطوانات في

المراحل الأولى. وهذا كان صعباً ومكلفاً. ولكن الصعوبات انتهت بعد أن أنشَأ خط نقل الغاز ما بين الأرض والقمر. (الشكل رقم 36). ولم تصنع مواسير هذا الخط من المعدن أو البلاستيك وإنما من الشعاع الليزري نفسه.

توصل العلماء في النصف الثاني من القرن العشرين، إلى أنه إذا ما صُنع ليزر على شكل أسطوانة جوفاء، فإن جزيئات من الغاز لا يمكنها أن تفلت من الأنبوبة الضوئية التي يصدرها الليزر. وإن هذه الجزيئات تبقى منجذبة بفعل الضغط الضوئي وتبقى منقادة مع الشعاع الضوئي إلى حيث يصل إليه من مكان. نفذت التجارب الأولى على نقل الجزيئات المتأينة للمادة. فالليزر المستخدم لم يكن كبيراً وبلغت المسافة المقطوعة بالسنتيمترات فقط. الآن وقد صُنّع ليزر عملاق على الأرض قطره حوالي خمسة وعشرين متراً وعلى القمر يوجد مستقبل للضوء وللغاز. وتقوم منظومة التحكم المنصوبة على القمر بتتبع الشعاع الوارد إليها من الأرض، كي تتم عملية الاستقبال في المستقبل بدقة، وتجري تصحيحات ترسلها إلى الأرض عبر قناة اتصال ليزرية. للأسف لم يتسن حتى الآن إرسال سوى الغاز فقط عبر خط النقل الليزري. أما الأشخاص والآلات والأجهزة فما زال يحتاج نقلها إلى القمر لاستخدام الصواريخ أي بالطريقة المعتادة فقط. كانت هذه الصواريخ في السابق تستهلك الكثير من الوقود، ولكنها تتحرك الآن بشعاع الليزر. إن فكرة المحرك الليزري هي أيضاً جاءت من بدايات القرن العشرين. في تلك الأزمنة كانت تركب على الطائرات محركات نفاثة - هوائية، التي يخرج فيها الوقود مع الهواء الجوي ويحرق رافعاً درجة الحرارة والضغط في حجرة احتراق المحرك. تنفلت الغازات المحترقة عبر فوهة نفث محدثة قوة دفع تحمل الطائرة. الصواريخ التي تنفذ عبر الغلاف الجوي في ثوان معدودات تحمل مخزوناً من الأوكسجين معها.

وهل يلزم مثل هذا الوقود بشكل عام؟ يمكن عوضاً عن الوقود أخذ حمل مفيد على متن الصاروخ، وأما قوة الشد فيمكن توليدها بالتسخين

من الخارج؟ على سبيل المثال يمكن بواسطة شعاع ليزري موجه من الأرض إيصال الهواء إلى حجرة احتراق المحرك. الذي يسخن حتى درجة حرارة تقدر بعدة آلاف من الدرجات بواسطة ومضات لحظية منطلقة من ليزر نبضي. وينطلق تدفق الغاز الحجمي من فوهة نفاثة، ليدفع الصاروخ نحو الأعلى. ويخرج الصاروخ إلى الفضاء، متزحلقاً على الشعاع الليزري، كما يسير الباص الكهربائي لنقل الركاب على خطوط الشبكة الكهربائية.

في الفضاء ما بين النجوم، حيث لا وجود للهواء، يمكن للّيزر أن يبخّر أية مادة أخرى أثقل كالفولاذ والرصاص، للحصول على أبخرة معدن ثقيل محماة حتى درجة حرارة عالية، التي تعطي دفعاً قوياً. وفي النهاية، في فضاء مفتوح بعيداً عن النجوم والكواكب تتجه المركبة نحو المجرات البعيدة بفضل المحرك الفوتوني (الضوئي).

يقذف الليزر العملاق بشعاع ضوئي ذي استطاعة قادرة على توليد قوة ارتداد، تدفع بالمركبة حتى سرعة قريبة من سرعة الضوء. فإذا ما صادفت المركبة في طريق رحلتها أي غبار فضائي صغير، فإن هذه المواجهة سينجم عنها انفجار وهلاك محزن للمركبة. ولكن هذا لن يحدث، لأن أية ذرة غبار سيجري اكتشافها من بعيد بواسطة رادار ليزري وتُحطّم بتوجيه ومضة ضوئية شديدة عليها.

بابتسامة، يمكن تصور تلك الأزمنة التي فيها سوف تتهدد البشرية المخاطر، فها هو النفط ينضب، والفحم ينتهي، والحضارة تصبح كلها في حالة جوع للطاقة. لكن مثل هذا لن يحصل لأنه يجري في كل البلدان إنشاء محطات مدمجة وقوية تعمل على تحقيق الاندماج النووي الحراري، وهو مصدر لا ينضب للطاقة الكهربائية والحرارية.

يؤدي توجيه نبضات قوية من عدة ليزرات تتمحرق عند كبسولة مليئة بالهدروجين الثقيل، إلى تسخينها لحظياً حتى درجة حرارة عالية، تقدر بمئة مليون من الدرجات، وانضغاطها متحولة إلى بلازما فائقة الكثافة. تُحصر

البلازما المتولدة بواسطة حقل مغنطيسي، وفيها يبدأ تفاعل نووي حراري مشابه لما يحصل في الطبيعة وتحديداً في جوف النجوم فقط. هذه الشمس المصغرة المبتكرة من قبل الإنسان بواسطة عود ثقاب ليزري، يمكنها أن تعطي كماً من الطاقة يكافئ ما ولدته محطات الطاقة الكهربائية مجتمعة في البلاد (روسيا) خلال القرن العشرين.

لقد ربطت خطوط الاتصالات الضوئية كل إنسان مع المكتبة الليزرية. وإن احتجت في عملك إلى بحث حول الكيمياء في القرون الوسطى... لهذا يُدخل الكود (الرمز) فتظهر على شاشة التلفزيون الصفحة اللازمة لك. ولكنك واحسرتاه، بفرض أنك لا ترغب بالقراءة من الشاشة، وأنك تفضل سند الكتاب على طاولة، كما في الأزمنة القديمة؟ عندئذ اضغط على زر (كبسة) ليظهر أمامك مجلد ثقيل على طاولة داخل شاشة هولوغرافية، ومجلد بجلد طبيعي وعليه مشابك نحاسية مكتوبة بخط اليد وبلاتينية القرون الوسطى. ولكن لا يمكنك ملامسته لأن هذه صورة مجسمة (هولوغرام) وليس مخطوطاً أصلياً. ولكنك تعتبر أن العمل يكون بالقبض على الكتاب بكلتا اليدين هو أنسب! على كل حال، هناك زر آخر أيضاً، ألا وهو زر «طباعة»، يمكن بواسطته الحصول باليد على الصفحة المطلوبة أو الحصول على صورة عن نسخة أصلية أو حتى على نسخة مترجمة إلى اللغة المطلوبة (الروسية مثلاً). يسمح لنا الأسلوب الهولوغرافي في تخزين المعلومات بمثل هذا الترف.

تقترح التلفزة السلكية بواسطة الألياف الضوئية بضعة عشرات من البرامج المتنوعة من كل لون. كل أنواع البث هذه تحدث طبعاً باللون والحجم، يسمح لنا الهولوغرام المتحكم به باستبداله للشاشة التقليدية، بالانتقال إلى مكان الحدث - سواء في غابة أو قاع المحيط أو البراري المدارية في إفريقيا. وإلى جانبنا يمر قطيع من الفيلة، ومع الثريا تعلق نباتات زينة متسلقة فاخرة، التي تعيق رؤية أو مشاهدة عائلة أسود (جمع أسد)،

التي ترتاح في مكان ما في منطقة طهي الطعام. وبنقرة واحدة من الأصبع على المفتاح نطير باندفاع من الجبل إلى مكان آخر مجهول! وبهذا البرنامج يبثون مباراة من مرتفع...

لقد حلم الموسيقار الروسي «ألكسندر سكريابين» في بداية القرن العشرين بالموسيقا الملونة - وهو فن جديد تمتزج فيه لعبة كل الألوان الممكنة مع أصوات الموسيقا في وحدة متراصة مولدة أحاسيس غريبة غير مسبوقة بتأليفه السيمفونية «بروميثيوس: ملحمة النار» Prometheus: The Poem of Fire. كتب الموسيقار لها نوتة موسيقية ملونة أيضاً. غير أن الموسيقار لم يتمكن في حياته من تحقيق هذه الفكرة (توفي سكريابين بعد خمس سنوات من تأليفه «ملحمة النار») لعدم توفر تقنيات مناسبة في ذلك الزمان.

لم تلق المحاولات المتكررة لتجسيد فكرة سكريابين في الحياة، ربما حتى اليوم أية نجاحات. المرافقة اللونية للموسيقا حتى في العقود الأخيرة غالباً ما كانت في الحقيقة ساطعة، وذات خطفان ثابت لأجهزة إضاءة متعددة الألوان. طبعاً ليس لهذا شيء مشترك مع ذلك الإيقاع للفراغ المضيء الذي حلم به الموسيقار.

والآن، في القرن الواحد والعشرين يمكن أخيراً رؤية «ملحمة النار» وسماعها في صالة الاحتفالات «ليزريوم»... ومع بداية الألحان ستضاء الصالة بالنور، الذي لا يعرف مصدره، وتظهر أعمدة لهب وأشكال وهمية متغيرة الملامح واللون والأبعاد والسطوع... نحن سكان القرن الواحد والعشرين يقلقنا حتى درجة الألم مصير «بروميثيوس» المتبصر الذي عوقب بقسوة من قبل الآلهة بعد أن سرق النار المقدسة من جبل الأولمب، وقدمها هدية للبشر - الأسطورة الخالدة التي ابتكرت منذ 3000 سنة، والتي تُحكى اليوم بلغة الهولوغرامات المتحكم بها والليزرات القابلة للتوليف... يمكن متابعة التخيلات إلى ما لا نهاية ولكن حان وقت إنهاء هذا الكتاب. هلموا إلى:

♦ الخلاصة

مع بزوغ فجر تطوير التقنية الليزرية قال الفيزيائي الفرنسي دي برويل «أتوقع للّيزر مستقبلاً عظيماً. ومن الصعب التنبؤ أين وكيف سوف يستخدم، ولكنني أعتقد أن الليزر - هو عصر تقني كامل».

انصرمت منذ ذلك الحين عشرات السنين، وها هو الزمن يؤكد أن هذا العالِم الفيزيائي كان محقاً. وستزداد مع مرور الزمن أعداد الناس الذين يتعاملون مع التقنية الليزرية، وسيجدون في الليزر خواص جديدة ليصبح جهازاً معتاداً، وربما يتمكن شخص ما من القيام باكتشافات غير مسبوقة بواسطته، لا يمكن تصورها اليوم! فمنذ خمسين عاماً خلت أو يزيد، لم يستطيعوا إدراك أنه من تصورات ومحاكمات رياضية مثيرة للاستغراب والضحك، بدت بدون أي معنى فيزيائي في الظاهر، ولد مثل هذا الاختراع الرائع ألا وهو الليزر.

الليزر .. آفاقه:

لا شك أن ظهور الليزر أحدث ثورة في مجال التقانة (التكنولوجيا)، ويُعدّ اختراعه من أكثر اختراعات القرن العشرين أهمية، ومما يدلل على ذلك منح أكثر من عشرين جائزة نوبل حتى الآن لعلماء عملوا في مجال اكتشاف الليزر وتطبيقاته.

لقد توقع الكثير من العاملين في مجال الليزر منذ البداية أن يحقق معجزات فورية، وأنه ليس سوى تحقيق لأحلام الإنسان في الحصول على الأشعة الحرارية المميتة التي كانت تظهر في أفلام الستينيات من القرن الماضي، وأنه يحقق بعض التجارب التي تبدو للمشاهد سحرية من حيث نوعيتها.

بعد التطور العاصف الذي أصاب الليزر منذ اختراعه حتى الآن، هناك من الليزرات (ليزرات ثنائي أكسيد الكربون والليزرات الصلبة) ما يستخدم في تسخين الأجسام إلى درجات حرارة عالية على نطاق واسع في الصناعة، كما في مصانع السيارات والآلات والطائرات، حيث الليزر هو الأداة الناجعة في القطع واللحام ومعالجة السطوح التي تمتاز بنظافتها وإمكانية التحكم بها. إذ يمكنها أن تقطع المعادن القاسية واللينة وأن تثقب ثقوباً غاية في الصغر والدقة، كما يمكنها أن تحفر نماذج معقدة بدقة وسرعة.

ومن الليزرات ما يستخدم في المجال الطبي الجراحي والتجميلي، وتمتاز المعالجة بالليزر أنها لا تكون مصحوبة بالنزف والألم. ويستخدم الليزر على نطاق واسع في الجراحة العينية لمنع انفصام الشبكية، ولغلق تسربات الدم من الأوعية الدموية، وفي الجراحة الجلدية واستئصال الأورام، علاوة على أفضلية استخدام الليزر في الجراحة النسائية.

إن ظهور الألياف البصرية قد فتح الباب واسعاً أمام تطوير استخدام الليزر في الاتصالات لتتوسع شبكات الهاتف على نحو غير مسبوق.

ويستخدم الليزر على نطاق واسع في القياسات والمسح والضبط، فضلاً عن إمكانية استخدامه في السينما ووسائل التسلية ثلاثية الأبعاد.

كما يُمكّننا الليزر من رؤية ما لا يمكن رؤيته، مما عمق نظرتنا إلى الكون والمادة، وسمح لنا برؤية البنى والتفاعلات ذات الزمن القصير جداً التي تتراوح أزمنتها ما بين البيكو والفمتو ثانية[1]، مما جعلنا نتكلم عن التقانات النانوية بدلاً من التقانات المجهرية المعتادة.

لقد قدم الليزر مساهمة كبيرة في مجال دراسة بنية المادة نظراً لما أسهم به الليزر في مجال المطيافية وهذا يعود أصلاً إلى الاتجاهية العالية لأشعة الليزر وشدتها وأحادية لونها أو طول موجتها (نقائها الطيفي)، لذا

---

(1) البيكوثانية = 10^{-12} ثانية، والفمتوثانية= 10^{-15} ثانية.

يمكن استخدام الليزر في تعليم سويات طاقية محددة في مادة ما بتهييج مزيد من الذرات إلى تلك السويات، أو بضخها منها. وهذا يسمح بمشاهدة خطوط طيفية عرضها أقل بآلاف المرات أو حتى بالملايين مما هو في الأطياف العادية، أي إجراء قياسات غاية في الدقة. يمكن كشف وتمييز ذرات مفردة بطريقة الفلورة التجاوبية بالليزر، وهذا سيكون له أثره الكبير على الكيمياء التحليلية الجزيئية.

يتمتع الليزر بتطبيقات واسعة في مجال دراسة تلوث الغلاف الجوي للأرض، إذ يستخدم في مراقبة وتحليل الغازات الملوثة للجو المنطلقة من المعامل والمصانع ومصافي البترول وغيرها من مصادر التلوث البيئي.

يستخدم الليزر في حفر الأنفاق كما حدث في حفر النفق الكائن بين بريطانيا وأوروبا، ويستخدم أيضاً في تحديد مساحة العقارات بدقة، ويفيد أيضاً في حساب مقدار انزياح القارات. أمكن مؤخراً من قياس سرعة انجراف القارات بالليزر فوجد أنها تساوي ما قيمته 5 سم في العام الواحد. كما وجد أن جبال الألب تنزاح هي الأخرى بمعدل سنوي قدره 6 مم. وهناك انزياحات من هذا النوع تحصل لشبه الجزيرة العربية، وأماكن أخرى غيرها من الكرة الأرضية.

ونظراً للاستخدام الواسع للّيزر في عمليات القطع والتثقيب واللحام أو في أية معالجة معدنية أخرى، فإنه يبدو أن الليزرات قد أصبحت جزءاً لا يمكن الاستغناء عنه في الصناعة والتصنيع، وإن تكامل عمل الليزر مع الروبوتات (الإنسان الآلي) يمثل أحد إبداعات التطبيقات الصناعية للّيزر.

وتستخدم الليزرات في الصناعات الإلكترونية لتحديد (تشذيب) المقاومات والمكثفات، وفي تصنيع الدارات المتكاملة وللحم لوحات الدارات الإلكترونية الحديثة.

لقد تطور استخدام الليزر في الطب أكثر من استخدامه في أي مجال آخر. وهذا ناتج عن إمكانية تبئير (محرقة) حزمته، يؤدي هذا إلى تمركز

طاقة الحزمة في بقعة صغيرة، للتأثير حرارياً على النسج الحية (موضعياً)، ولإجراء بعض العمليات الجراحية. ولا يقتصر تأثير الليزر على الأثر الحراري بل يتعداه تبعاً لشدته العالية إلى مقدرته على تشكيل بلازما في منطقة التأثير، ونشوء أمواج صدم تؤدي ميكانيكياً إلى التمزق الإشعاعي للمادة المعالجة. وللّيزر آثار ميكانيكية -كهربائية بشكل مشابه لتفاعل الأمواج فوق الصوتية مع النسيج، إذ نظراً لشدة نبضة الليزرات العالية وقصرها الزمني، فإنها تولد حقلاً كهربائياً عالي الشدة يحدث انهياراً وتتشكل البلازما مترافقة بانتشار موجة صدم كروية في الوسط المحيط، وهذا ما يمكن الاستفادة منه في تفتيت الحصى. ويمكن استخدام الأثر الكيميائي الضوئي لتفاعل الإشعاع مع النسيج في معالجة بعض السرطانات من أمثال الأورام الجلدية وأورام العنق وأورام الندب. بالإضافة إلى القيام بتنظير ومعالجة سرطانات الأجزاء الداخلية كسرطانات المثانة والدماغ والجهاز الهضمي وأورام الرئة.

كما يمكن استخدام الطاقة الحرارية الناتجة عن الليزر في معالجة الأسنان، وذلك بتبخير منطقة الألم في السن أو القاطع خلال زمن قصير جداً دون إحداث ألم للمريض. وهكذا يمكن أن نحفر الضرس لحشوه دون تخدير. كما أن وجود اللحام الضوئي للحشوات ساعد على استبدال الحشوات المعدنية بالحشوات الخزفية الدائمة.

وفي مجال الجراحة العينية بالليزر، يساعد الليزر على إجراء عمليات جراحية بسيطة على الشبكية لتحسين قدرة الإبصار وعلى تصحيح تحدب القرنية، للتخلص من التشوهات الناجمة عن التغير في قرينة الانكسار. ومن الليزرات المستخدمة في هذا المجال هو ليزر الزينون. ولقد حث انتشار المياه الزرقاء في العين إلى تطور أنواع جديدة من الليزرات لمعالجته.، ومنها ليزر النيوديميوم - ياغ، وليزرات أنصاف النواقل، وليزرات الأصبغة النبضية وغيرها. ويمكن القول أنه بواسطة الليزر يمكن معالجة معظم الأمراض

العينية، لكن ليس باستطاعة الليزر معالجة عمى الألوان والأمراض الخلقية أو الوراثية.

كما يستخدم الليزر في الدراسات الطيفية، وفي الكيمياء الضوئية، والدراسات الجوية، وفي فصل النظائر الطبية والعسكرية وفي الدراسات البيئية والاستشعار عن بعد. ولا بد من ذكر جهاز الليدار LIDAR الذي يستخدم في مراقبة تلوث الجو داخل المدن أو فوق المصافي والمصانع وغيرها، وفي مراقبة الإشعاع الصادر في المجالين المكروي وتحت الأحمر، كما في حالة الغازات المنطلقة من حريق الغابات والبراكين. وعادة ما تتم المراقبة من الأرض أو من الجو أو من الأقمار الصناعية. ويمكن باستخدام الليزر قياس سرعة الرياح عن بعد أو في قياس الأعماق. أو في البحث عن عناصر الأثر النذيرة في أوساط وأطوار مختلفة. وتستخدم لهذه الغاية الليزرات الصباغية القابلة للتوليف التي تعطي أطوالاً موجية مختلفة.

ولليزرات أنصاف النواقل دور كبير في عصر الاتصالات والمعلومات. فالاتصالات الأرضية تتم باستخدام الألياف البصرية. وفي هذا المضمار تقوم كبرى الشركات بتمديد الألياف البصرية عبر الأطلسي بين أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية. والأهمية الكبرى لهذا التوسع في مجال الاتصالات، هو بناء شبكة متكاملة لنقل المعلومات بالصوت والصورة، وهذا هو أساس عمل شبكة الإنترنت.

ولا يخفى استخدام الليزر في عمليات الحفر الضوئي الدقيق للدارات الإلكترونية المتكاملة، عندما لا يتجاوز عرض الثلم حوالي0.5 ميكرومتر. وينظر مستقبلاً إلى إيجاد الحواسيب الضوئية العاملة على الليزرات التي ستزيح من أمامها الحواسيب المتداولة حالياً، مما سيتيح المجال واسعاً أمام تطور علمي وتقاني كبيرين في الزمن القادم. لقد تطور عمل الحواسيب كثيراً بعد إدخال الليزر في مجال الطابعات، وأجهزة العرض، والمحاسبة في المحال التجارية. كما ساهم الليزر في تطوير صناعة الأقراص المدمجة

لتصبح ثلاثية الأبعاد، حيث يمكن تخزين معلومات هائلة على قرص واحد وهذا ما يساعد المكتبات في التحول إلى مكتبات إلكترونية.

إن خواص الليزر الفريدة شجعت على استخدامه في التطبيقات العسكرية، من أمثال الباروده الليزرية (أو الفرد الليزري) ومتتبع الأهداف وجهاز قياس المسافة الذي يركب على الدبابات، وفي توجيه الطائرات والصواريخ والقذائف الذكية نحو أهدافها وغيرها.

ويستخدم الليزر في تيسير الرحلات الفضائية، وخاصة في تحديد أماكن هبوط المركبات بدقة على القمر، أو على الكواكب الأخرى. وهناك نظم ليزرية تزود بها الطائرات للمساعدة في أعمال المراقبة والكشف عن الجو. من جهة أخرى سيكون لاستخدام الليزر في التصوير الثلاثي الأبعاد فائدة كبيرة في علوم الأحياء - لدراسة الجزيئات، وفي الكيمياء - لدراسة البلورات، وفي الفيزياء - لدراسة البنى النانوية.

إن أهم ما يُعوّل عليه حديثاً في استخدامات الليزر، هو استخدامه في تحقيق تفاعلات الاندماج النووي الحراري لنظائر الهيدروجين التي تقوم عليها مفاعلات إنتاج الطاقة الكهربائية المستقبلية. وإن ليزر الـ «نوفا» NOVA هو مثال على هذه الليزرات الممكنة الاستخدام في هذا المجال، ويتميز ليزر النوفا باستطاعة نبضته العملاقة التي تصل حتى حدود 10^{13} واط، وعرضها الزمني 10 بيكوثانية. باستخدام عدة حزم من هذا الليزر، يمكن تسخين كبسولة الدوتريوم على سبيل المثال حتى درجة حرارة تفوق الـ 100 مليون درجة مطلقة، التي تساهم في خلق شروط اندماج نووي، يمكن أن يولد طاقة كهربائية. ولقد وضع العلماء حديثاً الأسس العلمية لمفاعل تجريبي نووي حراري دولي ITER يجري حالياً بناءه في (كاراداش) فرنسا.

لا بد من التنويه إلى أن استخدام الليزر يتطلب اتباع قواعد أمان محددة أثناء التعامل معه، وتتوقف صرامة هذه الإجراءات على مواصفات الليزر نفسه، وعلى موقع الليزر المعطى في سلم التصنيف من حيث خطورته،

ويتأتى الخطر من الليزر بشكل عام من كثافة طاقته، التي تكون كبيرة نظراً لصغر بقعته الضوئية. فمثلاً تبلغ كثافة الإشعاع الصادر من ليزر هليوم ونيون - لا تزيد استطاعته على 1 ميلي واط - حوالي 16 واط / مم^2، بينما لا تزيد كثافة الطاقة الشمسية عن 0.1 واط / مم^2، وهي تقل بمقدار 160 مرة عن كثافة طاقة الليزر المعطى. مما يدعو إلى الحذر عند التعامل مع الليزر، وضرورة عدم النظر المباشر إلى حزمة الليزر وارتداء النظارات الواقية ذات المرشحات التي لها كثافة ضوئية مناسبة. وفي حالة الليزرات متوسطة الاستطاعة يمكن أن تتسبب الحزم الليزرية بحروق في الجلد وإشعال حرائق في المواد القابلة للاحتراق. أما عند استخدام الليزرات عالية الاستطاعة فيجب غلق مسار الحزمة وتفادي انعكاساتها لما لأشعتها من ضرر على العين والجلد وقدرتها على التسبب بحرائق في المواد الكيميائية والمخبرية. وفي كل الحالات يجب التعامل بحذر مع الأشعة الليزرية.

قاموس
الضوء والتقنية الليزرية

- الضوء الصوتي - فرع من فروع الفيزياء يدرس الظواهر الحاصلة من جراء إثارة صوت بواسطة إشعاع ليزري قوي.
- السعة - المقدار المميز لاتساع أي اهتزاز أو المطال الأعظمي للاهتزاز.
- الإثارة - العملية التي تنقل الوسط الفعال للّيزر (المادة العاملة) إلى حالة ذات طاقة أكبر. ومع إصدار موجة كهرطيسية يعود الوسط مجدداً إلى حالته الطبيعية غير المثارة. يثار الوسط الفعال للّيزر بواسطة الضخ.
- زمن الحياة أو العمر - زمن مكوث ذرات أو جزيئات الوسط الفعال في الحالة المثارة.
- الإصدار المحثوث أو القسري - هو إصدار الذرات المثارة أو الجزيئات تحت تأثير إشعاع خارجي جانبي. ويكون للإشعاع المحثوث دوماً نفس طول موجة الإشعاع المحرّض.
- غيزر Gaser (الأصح - غريزر Graser) مولد كوانتي (كمومي) يصدر أمواجاً كهرطيسية قصيرة تدعى «أشعة غاما».
- الليزر الغازي - هو ليزر عادي مكون من أنبوب زجاجي وأقطاب معدنية ووسطه الفعال عبارة عن مزيج من الغازات. كان أول من اخترع الليزر

الغازي العامل على مزيج الهليوم والنيون، هو العالم علي جافان Ali Javan أواخر عام 1960 ، في الولايات المتحدة الأمريكية، والذي يُعدُّ حتى يومنا هذا أكثر الأوساط الفعالة انتشاراً. توجد اليوم ليزرات غازية تعمل على العديد من الغازات والأبخرة وكلها تولد إشعاعاً مستمراً في مجال واسع جداً من أطوال الموجة تتراوح من الضوء فوق البنفسجي وحتى الضوء تحت الأحمر.

- ليزر الهليوم والنيون - انظر «ليزر».
- الإصدار أو التوليد - إصدار أو إشعاع المولد الكمومي لموجة كهرطيسية.
- النبضة العملاقة - ومضة ليزرية قصيرة جداً، مداها أقل من جزء من عشرة ملايين من الثانية. استطاعتها - ملايين الكيلوواطات.
- الهولوغرام:

1- لوحة التداخل مسحوبة على فيلم ضوئي ناجمة عن جمع حزمتين ضوئيتين مترابطتين (حزمة ليزرية مرجعية وأخرى جسمية منعكسة عن الجسم المراد تصويره).
2- خيال حجمي للجسم المصور، المتشكل على الفيلم الضوئي، الذي يمكن تصويره والنظر إليه من كافة الجهات.

هناك نوعان من الهولوغرامات: نوع غابور (Gabor) الذي يُرى باستعمال ضوء نفس الليزر الذي استخدم في التصوير. ونوع دينسيوك (Denisuk) الذي يُرى باستخدام الضوء المرئي.

- الهولوغرافيا - هي طريقة للحصول على هولوغرامات أخيلة حجمية على أفلام ضوئية بواسطة الليزر. اخترعت الهولوغرافيا في عام 1947 من قبل الفيزيائي الإنكليزي غابور، الذي كان أول من حصل على خيال

هولوغرافي على فيلم ضوئي باستخدام ضوء مصباح زئبقي مترابط خلال عدة ساعات من التعريض للضوء. ومع اختراع الليزر تناقص زمن التعريض حتى أجزاء من ألف من الثانية وأما نوعية الخيال فقد تحسنت كثيراً إلى حدّ لا يقدر.

تُسجّل لوحة التداخل في هولوغرامات غابور على طول مستحلب (طبقة حساسة للضوء) الفيلم الضوئي. لقد اقترح العالم الروسي دينيسوك في عام 1962 طريقته الخاصة الغريبة في الحصول على هولوغرامات، التي يسجل الخيال فيها على عرض مستحلب سميك.

- غريزر - انظر «غيزر».
- الليزر السائل - ليزر يعمل على وسط فعال سائل - عبارة عن محلول أصبغة عضوية أو أملاح معادن نادرة (انظر «ليزر»).
- الليزر النبضي - هو ليزر يصدر ومضات ضوء متقطعة (انظر «ليزر»).
- تداخل الضوء - ظاهرة يمكن أن يؤدي جمع موجتين فيها إلى تضخيم أو إضعاف الموجة المحصلة. ويمكن أن تتداخل الأمواج المترابطة فقط، وتتعلق نتيجة الجمع بأطوار الموجات المتداخلة. وعلى هذه الظاهرة تأسس علم الهولوغرافيا. ولا يمكن الحصول على تداخل من الضوء الصادر عن المصابيح العادية - فهي منابع غير مترابطة.
- مقياس التداخل - جهاز ضوئي للحصول على لوحة التداخل. ويتكون من عدة مرايا تشطر حزم الضوء وتجمعها من جديد معاً. فالأشعة تعبر مسارات مختلفة، ثم تتقارب مُغيّرة صفحاتها أو أطوارها. لذا تظهر في مكان التقائها أهداب التداخل. ويمكن بدقة قياس طول وسرعة انزياحها وغيرها.

- الكم أو الكوانت - كمية الطاقة التي تصدرها الذرة أو تمتصها من جراء تفاعل واحد. ويدعى كم الأمواج الكهرطيسية بالفوتون.

- المولد الكوانتي أو الكمومي - هو التسمية العامة لمنابع الإشعاع الكهرطيسي العاملة على أساس الإشعاع المحثوث للذرات والجزيئات. وتبعاً لطول الموجة التي يصدرها المولد الكوانتي تتوقف تسميته وهي: ليزر، ميزر Maser، ريزر أو غيزر، وكان الفيزيائي الروسي ف. آ. فابريكانت أول من أشار في نهاية الأربعينيات من القرن العشرين إلى إمكانية إيجاد مولد كوانتي. وإن أول ميزر عامل على جزيئات النشادر (محلول النشادر في الماء - روح النشادر)، كان قد اخترع في عام 1954 على نحو مستقل، وفي آن معاً من قبل كل من ن.غ. باسوف و أ.م. بروخروف في المعهد الفيزيائي التابع لأكاديمية العلوم الروسية، ومن قبل ش. تاونس ومعاونوه في جامعة كولومبيا في الولايات المتحدة الأمريكية. وفي عام 1964 حازوا على أعلى منحة في مجال العلوم - ألا وهي جائزة نوبل في الفيزياء.

- الترابط - خاصية الأمواج المحافظة على ثباتية مميزاتها - ألا وهي السعة وطول الموجة والطور. ويمكن لموجتين مترابطتين أن تتداخلا لتعطيا عند جمعهما لوحة أهداب مظلمة ومضيئة.

- معامل المردود أو الكفاءة - معامل يبين نسبة الطاقة المستهلكة التي تحولت إلى عمل مفيد. ويعبّر عنه عادة بنسبة مئوية. فمردود الليزرات الصلبة يبلغ حوالي 5-8% والليزرات الغازية والسائلة والكيميائية حوالي 10-15% وأما ليزرات أنصاف النواقل فمردودها لا يقل عن 60%! وبالتالي فإن أكثر من نصف طاقة التيار الكهربائي المغذي لهذا الليزر يتحول إلى إشعاع ضوئي.

- الليزر Laser - مولد كوانتي ضوئي يولد أمواجاً كهرطيسية مترابطة في مجالات الضوء المرئي وفوق البنفسجي وتحت الأحمر. وتصنف الليزرات تبعاً لنظام عمل الليزر (ليزر نبضي، ليزر مستمر)، ونوع الوسط الفعال (ليزر جسم صلب، ليزر سائل، ليزر غازي)، ومادته (ليزر هليوم ونيون، ليزر ياقوت، ليزر على الزجاج)، أو لون إشعاعه (ليزر أزرق، أحمر، تحت أحمر).

- الميزر Maser[1] - مولد كوانتي يصدر أمواجاً راديوية مترابطة بطول موجة حوالي السنتيمتر. وجاءت تسميته من الأحرف الأولى في كلمات الجملة «تضخيم الأمواج المكروية - الدقيقة» بواسطة الاشعاع القسري أوالمحثوث (انظر «مولد كوانتي»).

- أحادية اللون - مقدرة الليزر على إصدار ضوء على طول موجة واحدة. ولكن أحادية اللون لا يمكن أن تتحقق بشكل مطلق وكامل، حتى عند الليزرات الجيدة يمكن أن يتغير طول موجة الإشعاع بمقدار $\frac{1}{1000}$ من طوله الحقيقي، وتتراوح هذه النسبة عند ليزرات أنصاف النواقل من مرة ونصف إلى مرتين من طول الموجة نفسه.

- الضخ Pumping - طريقة إثارة الوسط الفعال للّيزر. ففي ليزرات الجسم الصلب يجري الضخ عن طريق مصابيح ومّاضة. ويجري في الليزرات الغازية عن طريق الانفراغ الكهربائي. وهناك ضخ كيميائي وليزري وضخ عن طريق تدفق الجسيمات المشحونة. ويوجد مقترح لضخ الليزرات في الفضاء بواسطة أشعة الشمس. وكل مايمكنه حمل طاقة يمكن تكييفه من أجل ضخ الليزرات.

---

[1] ميزر أو Maser الأحرف الأولى من الجملة الإنكليزية التالية:

"Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation". - (المترجم).

- زجاج النيوديميوم - الوسط الفعال لليزرات النبضية، وهو زجاج ضوئي يزرع فيه عنصر نادر هو النيوديميوم. وتصدر ليزرات النيوديميوم أشعة تحت حمراء.

- مولد كوانتي ضوئي - هو نفس الليزر.

- ليزر نصف الناقل - ليزر وسطه الفعال مصنوع من مادة نصف ناقلة، وهي مادة تحتل مكاناً وسطاً بين النواقل والعوازل. ويمكن للمواد نصف الناقلة المتنوعة أن تصدر إشعاعاً أو ضوءاً من المجال تحت الأحمر وحتى المجال فوق البنفسجي. وكانت نظرية هذا الليزر قد وضعت في عام 1962 في روسيا من قبل ب. هول.

- ريزر Raser[1] - مولد كوانتي يصدر أشعة سينية. وأعطي تسمية بنفس الطريقة التي أعطيت للّيزر.

- الوسط الفعال - المادة التي تُثار بالضخ وتصدر موجة كهرطيسية في المولد الكوانتي.

- الياقوت - حجر كريم أحمر اللون جميل. ومع ما يبدو في ذلك من استغراب فهو قريب أو مشابه لتلك الطبقة الرمادية الرقيقة التي تُغطى بها طناجر الألمنيوم القديمة؛ الياقوت - أكسيد الألمنيوم المزين باللون الأحمر بفعل إشابته بذرات الكروم. ومنذ الأزمنة القديمة كان الياقوت يقدر عالياً كمادة للزينة، ولكنه يخدم كوسط فعال لليزرات النبضية القوية (عالية الاستطاعة). والياقوت ليس بالحجر الكريم الوحيد المستخدم لهذا الغرض، وتوجد ليزرات عاملة على حجر العقيق. وتنمى أحجار الياقوت والعقيق صنعياً من أجل الليزرات.

---

[1] الحرف R في التسمية Raser: هو الحرف الأول من اسم العالم رونتجن Wilhelm Röntgen مكتشف الأشعة السينية. - (المترجم).

- ليزر الياقوت Ruby laser - ليزر نبضي يعمل على بلورة الياقوت التي تنمى صنعياً. وهو يولد نبضات على الضوء الأحمر باستطاعة كبيرة. وإن أول مولد كوانتي ضوئي عامل على الضوء المرئي كان قد اقترح في عام 1957 في روسيا، ولكنه أُنشئ في عام 1960 من قبل الفيزيائي الأمريكي ت. مايمان (T. Maiman).

- التبئير أو التمحرق الذاتي - تضيق تلقائي لحزمة ضوء ذات شدة عالية. ينشأ في التضيق انهيار للهواء شبيه بالبرق "شرارة ليزرية". وتُستهلك طاقة الشعاع بالكامل على تسخين الهواء في مكان الشرارة.

- ليزر الجسم الصلب Solid state laser - ليزر عامل على بلورة الياقوت أو العقيق أو الزجاج المشوب بالنيوديميوم كوسط فعال له، ويعمل في النظام النبضي.

- الصفحة أو الطور phase - مميزة الاهتزاز التي تبين الجزء من الاهتزاز الذي انقضى من بدايته وحتى لحظة المراقبة. وتبقى الصفحة ثابتة في الأمواج المترابطة.

- الفوتون photon - كم أو كوانت الطاقة الكهرطيسية للضوء المرئي غالباً. وكلما كان طول موجة الضوء أقصر كانت طاقة الفوتون أكبر فالكوانت «الأزرق» يحمل طاقة أكبر بحوالي المرتين من طاقة الكوانت «الأحمر». ويمكن تصور الفوتون على أنه قطعة من موجة تطير بسرعة الضوء.

- الليزر الكيميائي - هو ليزر يجري ضخ الوسط الفعال فيه على حساب طاقة التفاعل الكيميائي الجاري فيه.

- الأمواج الكهرطيسية - التسمية العامة لأمواج الراديو والضوء والأشعة

السينية وغيرها من الأمواج الأكثر قصراً. تُمثل كل هذه الأمواج نفس الاهتزازات للحقول المغنطيسية والكهربائية، ولكنها تختلف بأطوال موجاتها فقط. وتدعى الاهتزازات التي تدرك بالنظر بالضوء. فالأمواج الضوئية على أطوال مختلفة ترى بألوان مختلفة، والأمواج الكهرطيسية مكممة - فهي تتألف من فوتونات.

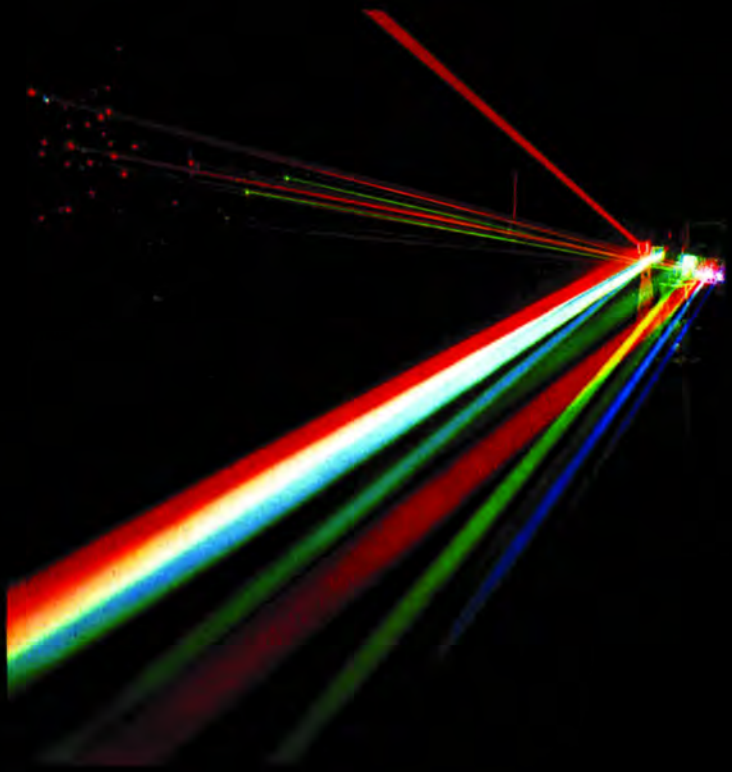
مصطلحات علمية

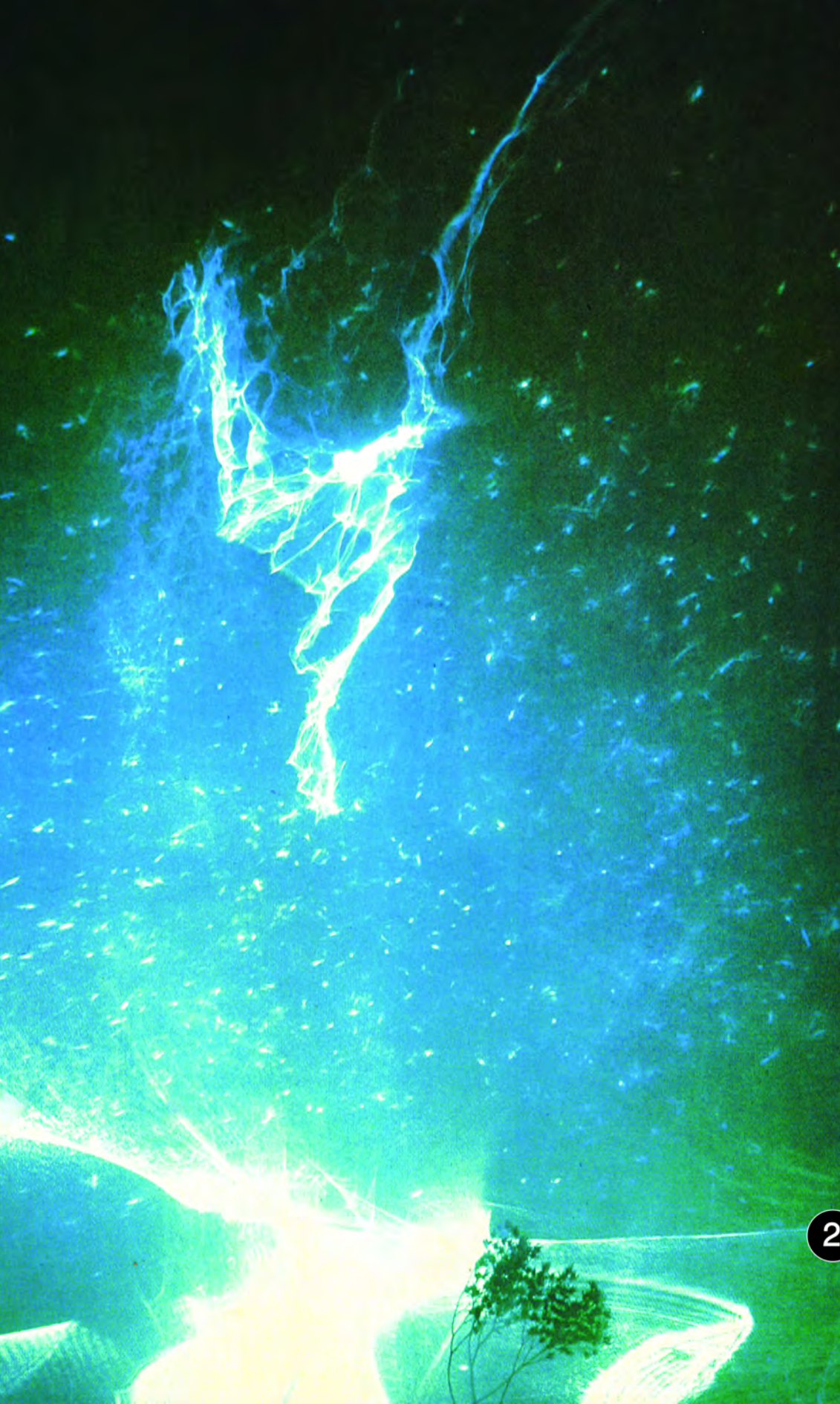
Acoustic wave	**موجة صوتية**
Acousto-optic effect	**مفعول ضوئي صوتي**
Acousto-optics	**علم الضوء الصوتي**
Chemical laser	**ليزر كيميائي**
Coherence	**ترابط**
Communications by laser	**اتصالات بالليزر**
CO_2 laser	**ليزر ثنائي أكسيد الكربون**
Cutting, welding, polishing	**قطع، لحام، صقل**
Diode	**ثنائي، ديود**
Dye lasers	**ليزرات الأصبغة**
Efficiency	**كفاءة أو مردود**
Electrical discharges	**انفراغات كهربائية**
Electrodes	**أقطاب، الكترودات**
Electromagnetic waves	**أمواج كهرطيسية**
Emission	**إصدار**
Flash lamp	**مصباح وميضي**
Flaw detection	**كشف العيوب**

GaAs laser	ليزر زرنيخيد الغاليوم
Gamma radiation	إشعاع غاما
Gas lasers	ليزرات غازية
Gas dynamic laser	ليزر ديناميك الغاز
Gaser or Graser	ليزر أشعة غاما
Geodesy	المساحة (الجيوديزيا)
Giant pulse	نبضة عملاقة
He-Ne laser	ليزر هليوم ونيون
High power laser	ليزر عالي الاستطاعة
Holography	الهولوغرافيا أو التصوير التجسيمي
Hologram	الصورة المجسمة
Infrared radiation	إشعاع تحت أحمر
Laser	ليزر
Laser tube	أنبوبة الليزر
Laser beam	حزمة الليزر
Laser interferometer	مقياس تداخل ليزري
Laser technique	التقنية الليزرية
Light guide	دليل ضوئي
Light amplification	تضخيم الضوء
Lineaments	قسمات جيولوجية
Liquid laser	ليزر السائل
Maser	ليزر الأمواج المكروية (الدقيقة)
Mirror reflector	عاكس مرآتي

Monochromatic	وحيد اللون
Nd-Glass laser	ليزر نيوديميوم -زجاج
Nd-YAG laser	ليزر العقيق
Optical fiber	ليف ضوئي
Optical quantum generator	مولد كوانتي ضوئي
Patterns recognition	التعرف على النماذج
Phase	طور، صفحة
Photon avalanche	شلال فوتوني
Pulse laser	ليزر نبضي
Pumping	ضخ
Quant energy	كوانت أو كم الطاقة
Ruby laser	ليزر الياقوت
Self-focusing	التبئير أو التمحرق الذاتي
Semiconductor laser	ليزر نصف الناقل
Stimulated emission	إصدار محثوث
Surgeon	جراح
Therapist	معالج، طبيب أمراض باطنية
Total reflection	الانعكاس الكلي
Ultra-violet radiation	إشعاع فوق بنفسجي
Weapon	سلاح
X-ray radiation	إشعاع سيني

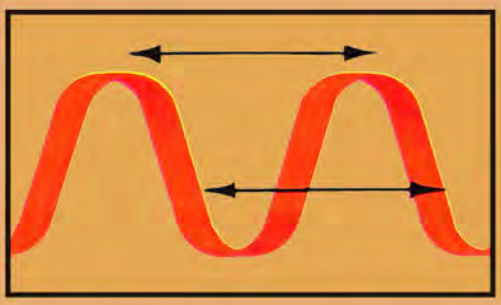
ملحق الصور



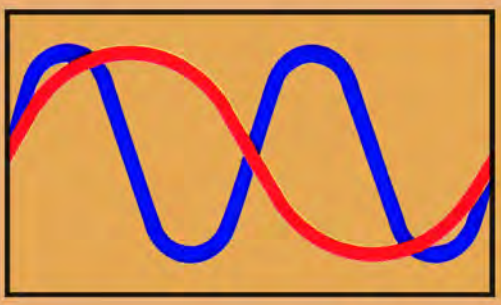


ألوان الأجسام الساخنة
1500°
1400°
1300°
1200°
1100°
1000°
900°
800°
700°
600°
500°
سلم الإشعاع الكهرطيسي
التواتر HZ
10^{24}
10^{22}
10^{20}
10^{18}
10^{16}
10^{14}
10^{12}
10^{10}
10^{8}
10^{6}
إشعاع غاما
إشعاع سيني
إشعاع فوق بنفسجي
الضوء المرئي
إشعاع تحت الأحمر
إشعاع الأمواج الدقيقة
إشعاع راديوي

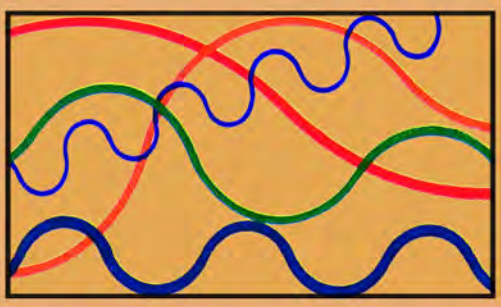
الشكل رقم (1)



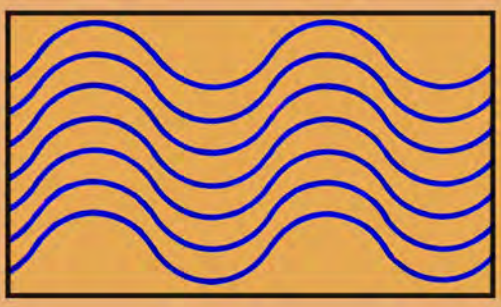
طول الموجة البعد بين قمتين متتاليتين أو أية نقطتين واقعتين على بعد واحد عنهما. يقال عن هاتين النقطتين أن لهما نفس الصفحة.



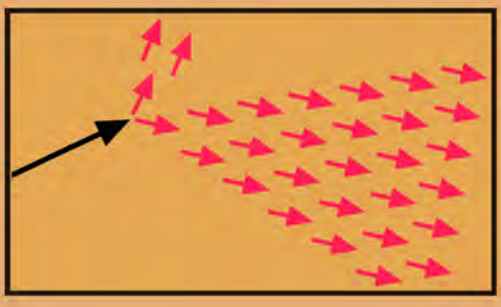
للون الأحمر طول موجة أطول بمرتين تقريباً من طول موجة اللون الأزرق. وكلما كان طول الموجة كبيراً كانت طاقة الفوتون أقل.



ضوء الشمس الأبيض وضوء المصباح الكهربائي هما مزيج من أمواج كهرطيسية بأطوال موجية مختلفة.

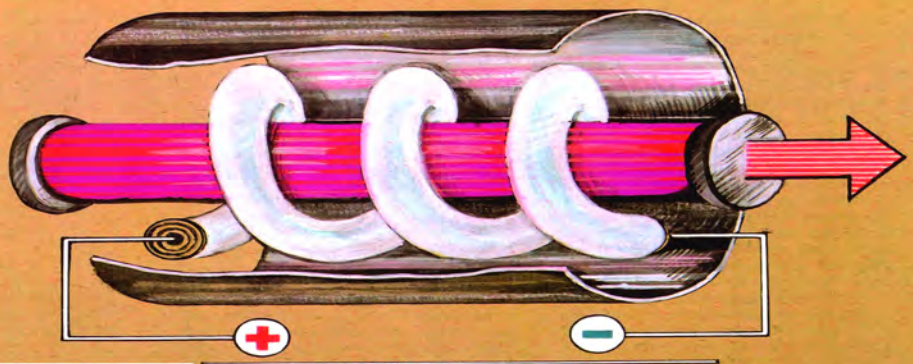


تدعى الاهتزازات الضوئية أحادية اللون (وحيدة اللون)، إذا بقيت أطوال موجاتها متساوية وثابتة مع الزمن. وإذا أضيف لذلك أن بقيت متوافقة مع بعضها البعض، أي بقاء كل قمة مقابل قمة أخرى، دعي الضوء عندئذ بالضوء المترابط.

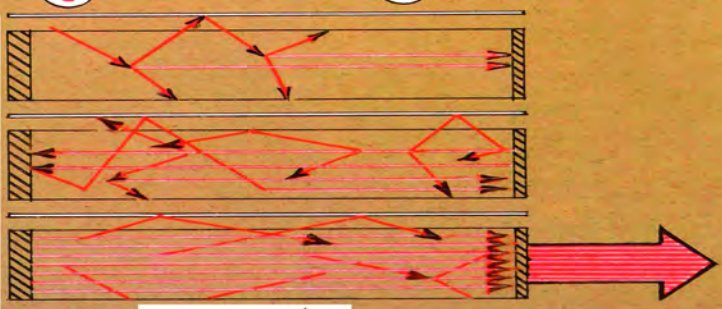


ذرة واحدة أصدرت فوتوناً (الذرة أشير إليها بسهم أسود). يقوم هذا الفوتون على مساره بإجبار ذرة ثانية يصادفها على إصدار إشعاع، ثم ذرة ثالثة ورابعة ... وهكذا يجري في الحقيقة انهيار ضوئي وينتج عن ذلك إشعاع قسري (محثوث).

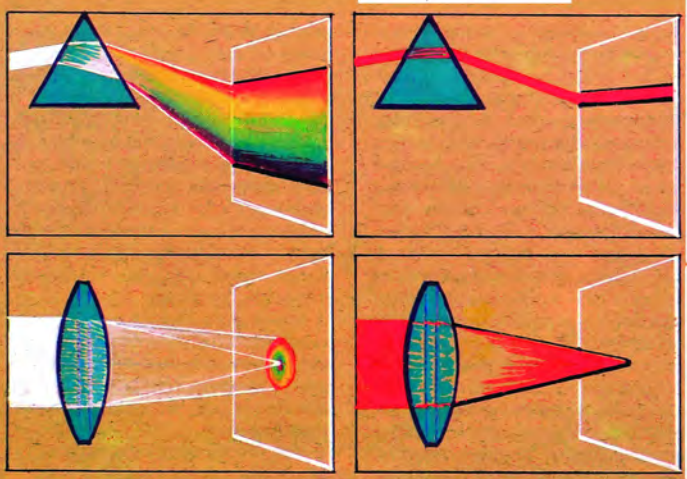
الشكل رقم (2)



هكذا يُبنى ليزر الياقوت: مصباح نبضي مع عواكس مرآتية لضخ طاقة إلى قضيب الياقوت. ففي مادة القضيب المثارة بالومضة الضوئية ينتج شلال فوتوني. بانعكاس هذه الفوتونات على المرايا تتضخم لتفلت بعدئذ إلى الخارج على شكل حزمة ليزرية.

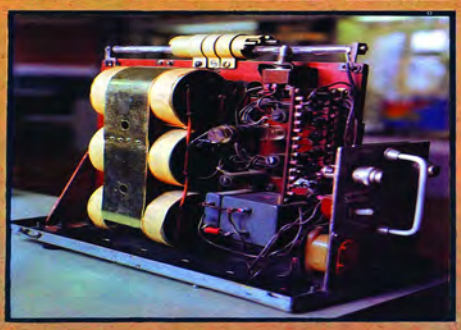


الشكل رقم (3)



يتحلل شعاع الضوء الأبيض بانكساره في الموشور إلى قوس قزح ساطع طيف، وأما الضوء الوحيد اللون فيمر عبر الموشور دون أن يتحلل (ينشطر). العدسة هي الأخرى تكسر الأشعة أيضا وتجمعها في محرق. لذا فهي تمحرق الضوء الأبيض في بقعة قوس قزح وأما الشعاع الليزري فتمحرقه في نقطة صغيرة جدا.

أول ليزر في روسيا (في أسفل ويسار الصفحة). وفيه يظهر العاكس مع قضيب الياقوت، ومصباح الضخ، وبطارية المكثفات الخاصة بالتغذية. ويظهرعلى اليمين ليزر حديث عالي الاستطاعة ذو تبريد بالماء. الأغطية مرفوعة من كلا الجهازين.

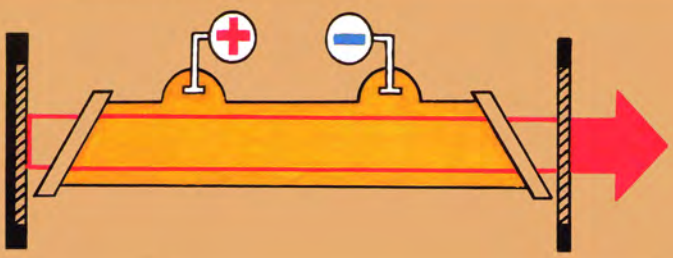


$$\text{الاستطاعة} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}}$$

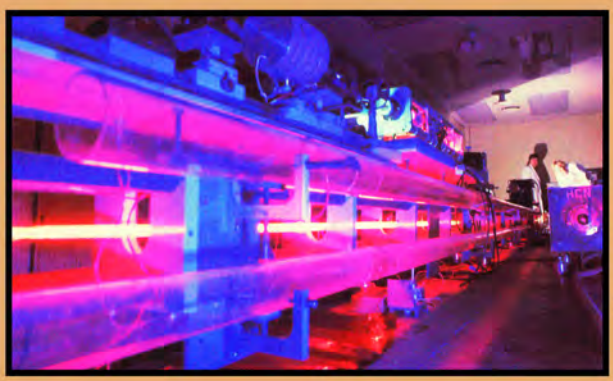
الومضة! يعطي الليزر الطاقة المضخوخة خلال جزء من عشرة آلاف من الثانية.

الشكل رقم (4)

في الليزرات الغازية يوجد بين المرآتين أنبوبة زجاجية ملحومة، وفيها غاز يثار بالتيار الكهربائي.

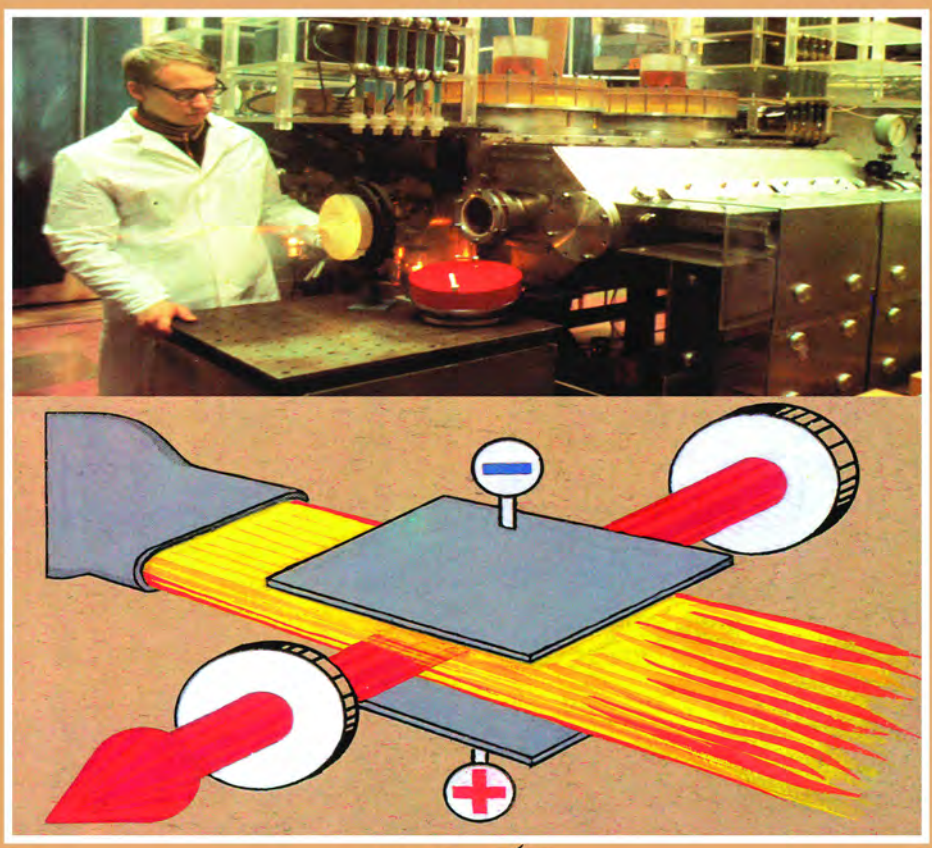


تضيء أنبوبة الغاز في ليزر خلال عملها كإضاءة أنبوبة غاز الإعلان. ويمكن من لونها معرفة نوع الغاز الذي تعمل عليه: فمثلاً يضيء النيون باللون الأحمر والكريبتون باللون الأصفر والأرغون باللون الأزرق.



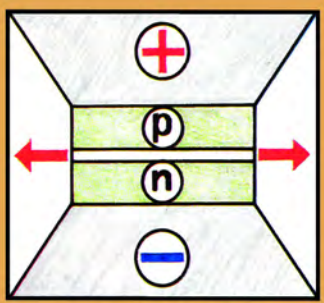
ليزر غازي عالي الاستطاعة طوله بضعة أمتار.

الشكل رقم (5)

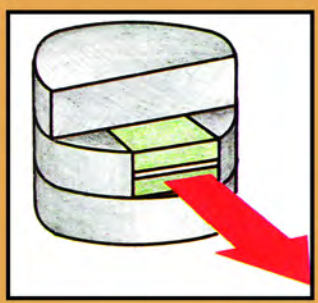


الشكل رقم (6)

يتولد ضوء قوي في ليزر ديناميك الغاز ناتج عن سيل من الغاز المُحمى تحت ضغط يقدر بعشرات الجو(atm). وهيكله مصنوع من الفولاذ المتين.



في ليزر نصف الناقل تصدر الطبقة ما بين نصفي ناقل مختلفي النوع ضوءاً (اللذان يرمز لهما اختصاراً بالحرفين p و n).



يمرر تيار كهربائي عبر هذه الطبقة، لكي يثير ذراتها، والتي لا يزيد ثخنها عن ثخن صفحة الورق.

يشغل الليزر ومعه تماساته الكهربائية حجماً يزيد قليلاً على حجم الزر الواحد.

الشكل رقم (7)

يمكن توليف الليزرات العاملة على الأصبغة بسهولة كي تعطي أشعة متعددة الألوان.

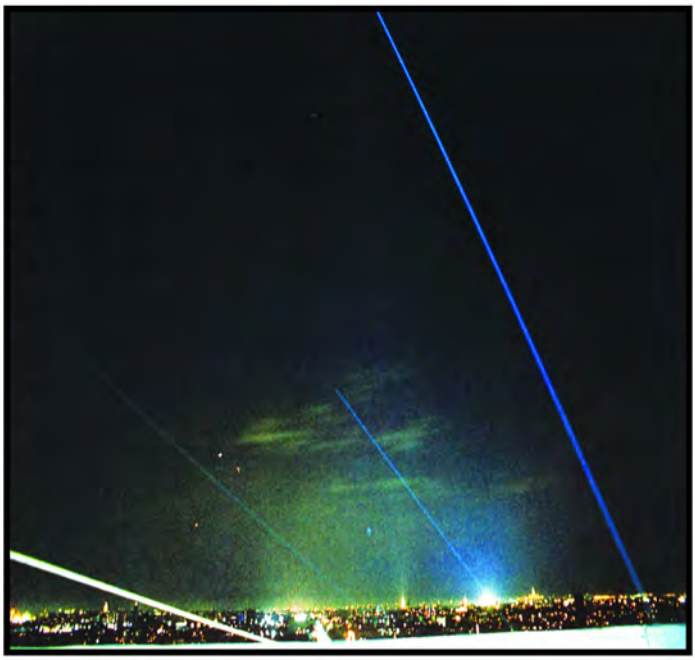
الشكل رقم (8)

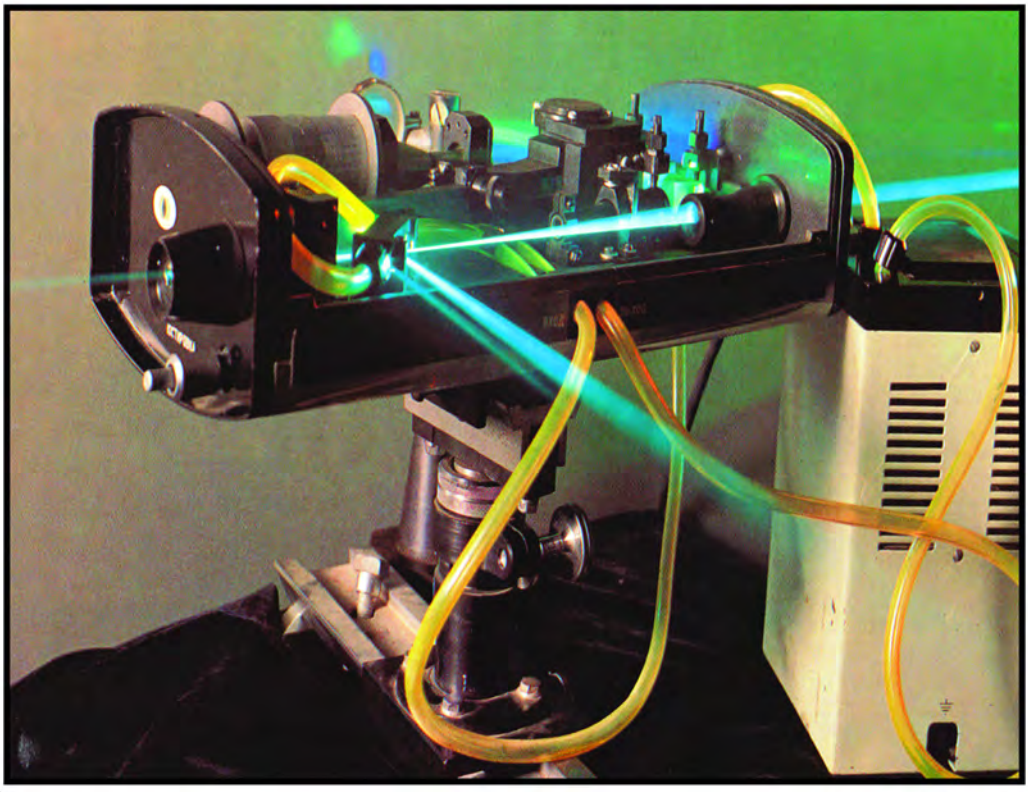
ليزر صباغي وقد رفع غطاؤه العلوي. محلول صباغ الأنيلين، وهو الوسط الفعال لليزر يصب في تجويف، وخلال العمل يدور المحلول عبر مبرد (وهو مبين في أسفل ويمين الصورة).

يُستخدم ليزر غازي في ضخه، حيث يوجّه شعاعه إلى التجويف عبر فتحة كُتبت عليها كلمة: ضخ. وبتغيير التجويف ذي المحلول، وإعادة ضبط المرآة الدوارة لمرشح الخرج الضوئي، يمكن تغيير طول موجة الإشعاع ضمن مجال واسع جداً.

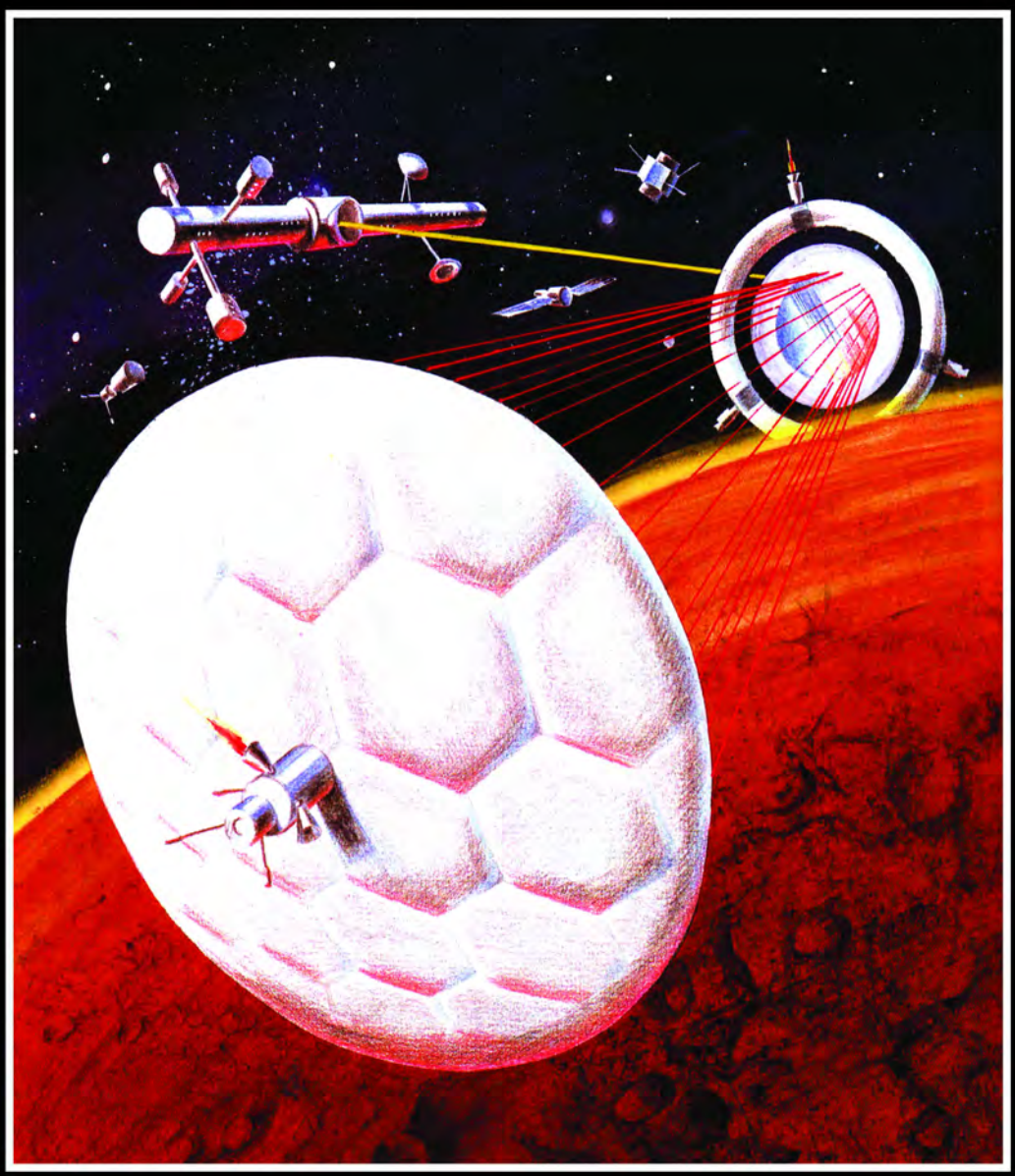
الشكل رقم (9)

تساعد ليزرات الأصبغة في مراقبة حالة الغلاف الجوي. حيث تكون المدن الحديثة مغمورة بغطاء (قلنسوة) من الهواء المسخم والمغبر. يمكن الحكم على درجة تلوثه من شدة تبعثر الأشعة الليزرية على أطوال موجية مختلفة المصوبة نحوه. لا يتبعثر الضوء في الهواء النقي، وبالتالي فالأشعة المارة عبره تصبح غير مرئية.





الشكل رقم (10)



تخيل اليوم ، وغداً يغدو حقيقة!
في الواقع سيظهر كل شئ في التفاصيل بشكل مختلف عما يمكن تصوره الآن.

الشكل رقم (11)

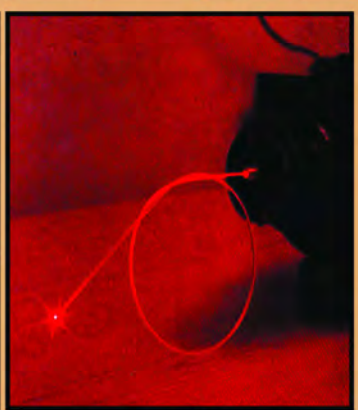
بانعكاس شعاع الضوء على جدار ليف زجاجي رفيع، يجري الشعاع داخل الليف من البداية إلى النهاية دون أن ينفذ من جوانبه، وعبر رزمة من هذه الألياف الضوئية يمكن إرسال لوحات (صور) كاملة.

صورة ضوئية (فوتوغرافية) للمعدة (في الأسفل وعلى اليمين). أخذت هذه الصورة بواسطة ليف ضوئي أدخل إلى المعدة عن طريق المريء.

الشكل رقم (12)

أول خط اتصالات في روسيا، الذي أجريت عبره محادثات هاتفية بين موسكو ومدينة كراسنوغورسك. لهذا الغرض وضع ليزر على برج البناء المرتفع لجامعة موسكو.

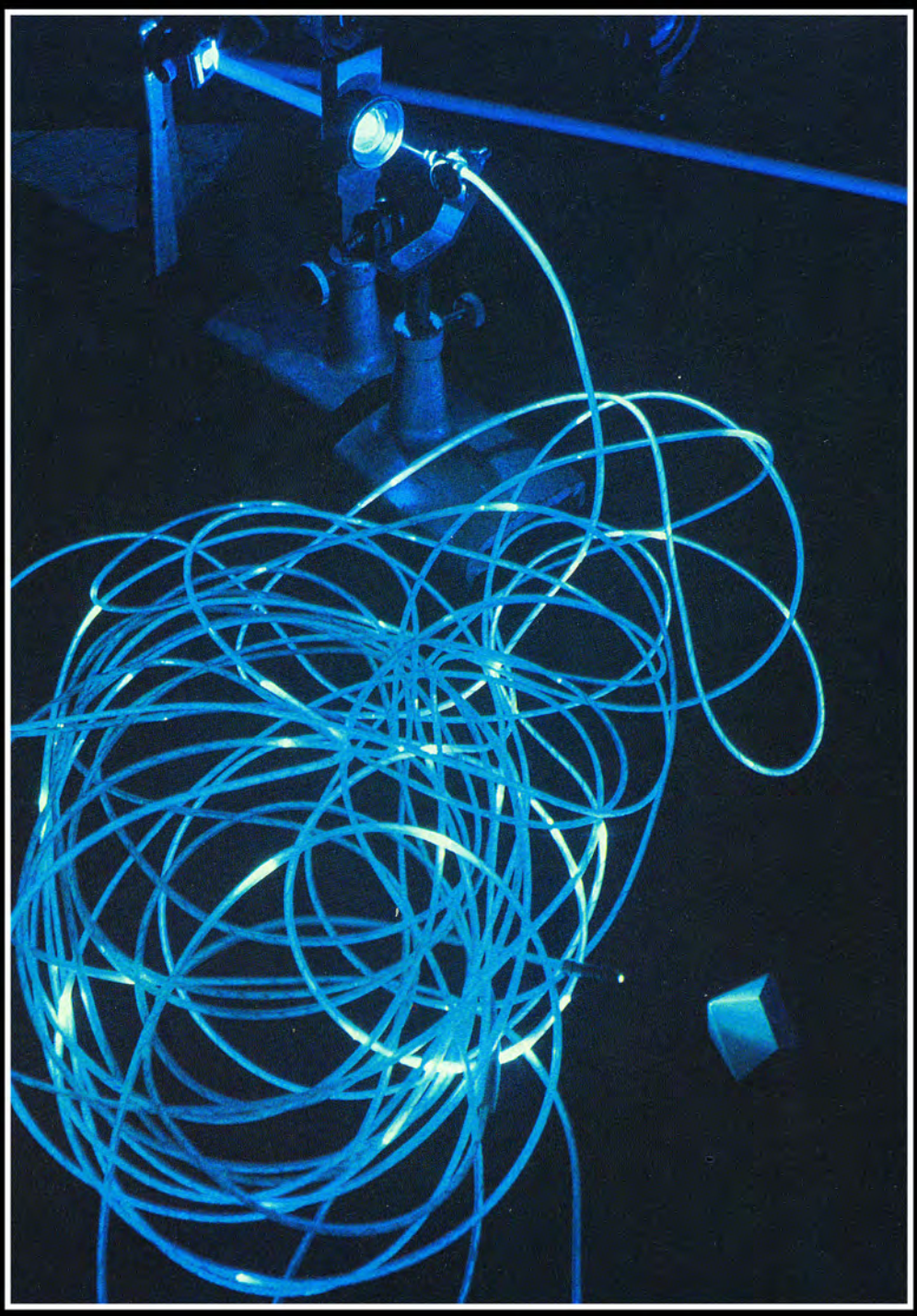
يسير شعاع الليزر عبر خيوط زجاجية كما يمر تيار كهربائي في الأسلاك المعدنية.



الشكل رقم (13)

حتى في القرون الوسطى، غالباً ما كانت تُنقل الأخبار العاجلة عبر إرسال إشارات بواسطة المشعل.

الشكل رقم (14)



دليل ضوئي أو ليف ضوئي - شعاع الضوء ملفوف في كبة.

الشكل رقم (15)

يمُد سلك تنغستين رفيع مخصص لمصباح كهربائي عبر ثقوب في ألماس محدثة بواسطة شعاع الليزر.

كراسي تحميل ياقوتية - أحجار للساعات - تصنع على مخارط آلية ليزرية.

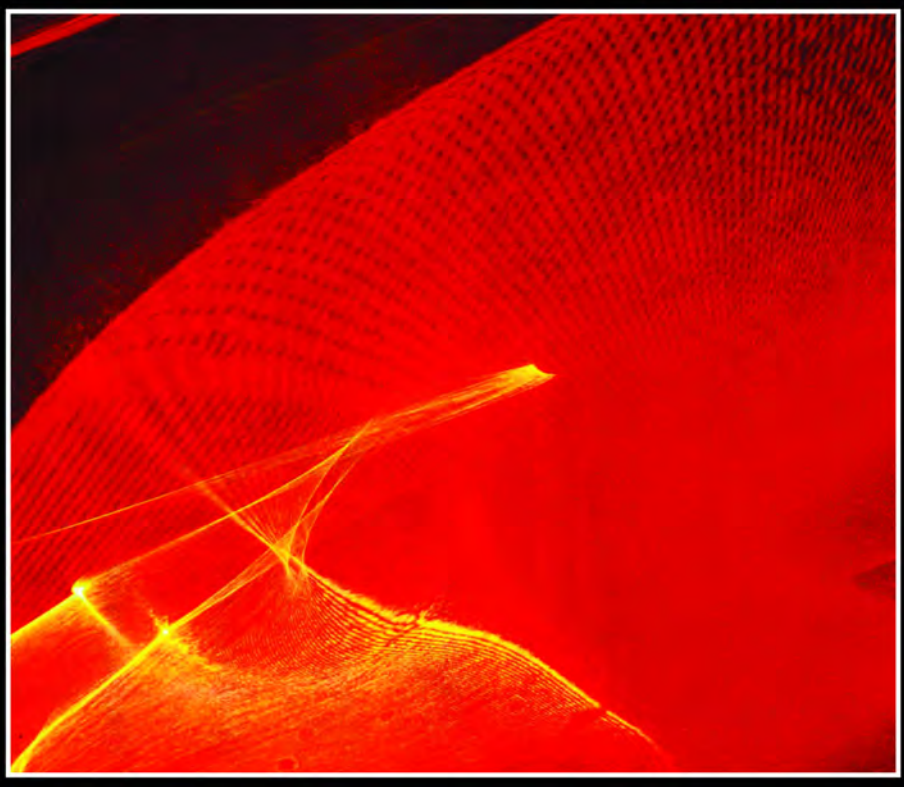
مخرطة ليزرية مؤتمتة من صنع المهندسين الموسكوبيين. حيث يُعالج سيراميك قاسي على هذه المخرطة بسرعة ودقة، فولاذ مشوب وغيرهما من المواد التي يمكن التغلب عليها فقط بواسطة شعاع الليزر.

الشكل رقم (16)

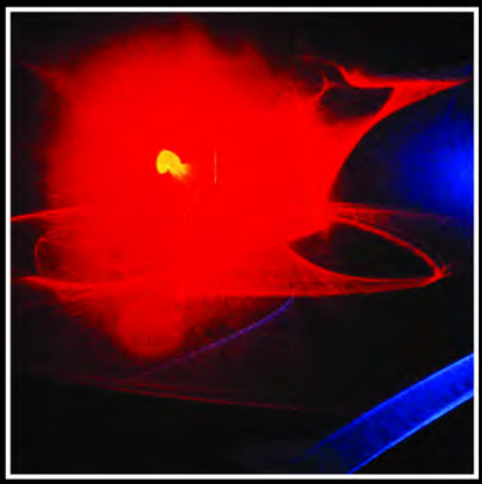
يحرق شعاع الليزر أية مادة مهما كانت متانتها ودرجة تحملها للحرارة.

يجري التحكم بحركة الشعاع القاطع بواسطة الحاسوب، بحيث يمكن تعيين دقة القطع لحظياً وإدخال التصحيحات المطلوبة حالاً.

الشكل رقم (17)

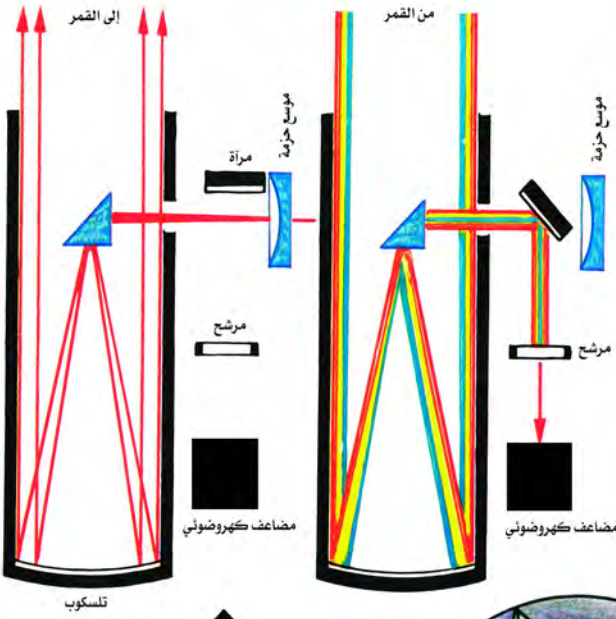


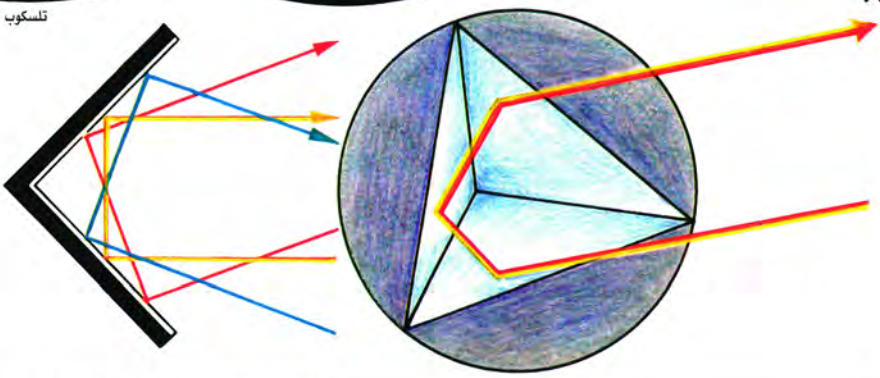
مثل هذه اللوحات المرسومة بأشعة الليزر أصبحت تستخدم اليوم في إعطاء شكل مكمل لمسارح الحفلات والعروض المسرحية، وسيأتي الوقت الذي يصبح فيه اختصاصي الضوء الليزري شخصية لازمة في المسرح إلى جانب واضع المكياج ومهندس الديكور.



الشكل رقم (18)

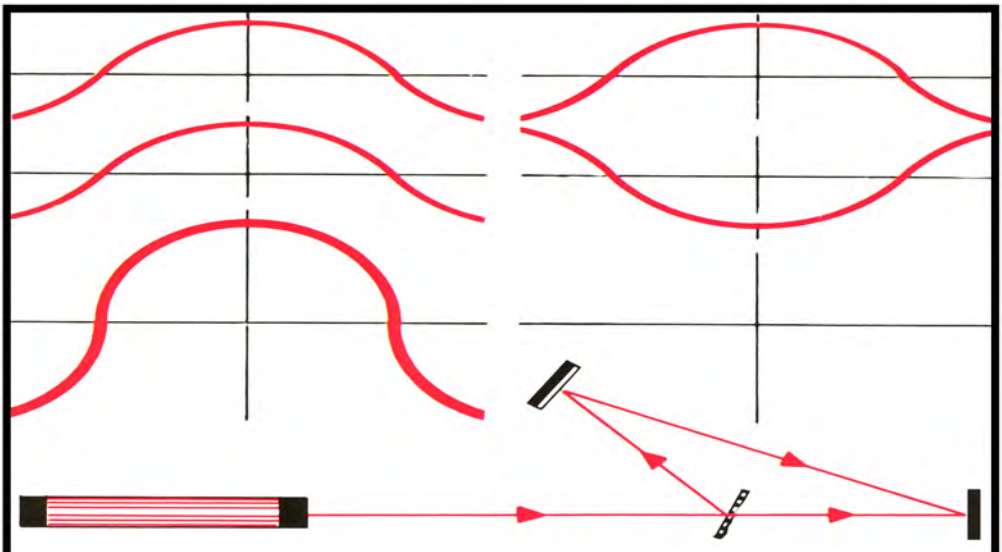
الاستكشاف الضوئي للقمر يمرر شعاع الليزر عبر موسع الحزمة ليسقط على المرآة الرئيسة في التلسكوب (المرقب)، ويصوب نحو القمر. بانعكاس الشعاع على سطح القمر، يعود الضوء إلى التلسكوب، ليسقط على مضاعف كهروضوئي الذي يحول البقعة الضوئية الضعيفة إلى إشارة كهربائية قوية. يعمل مرشح ضوئي في مسار الشعاع على حذف الضوء الغريب.





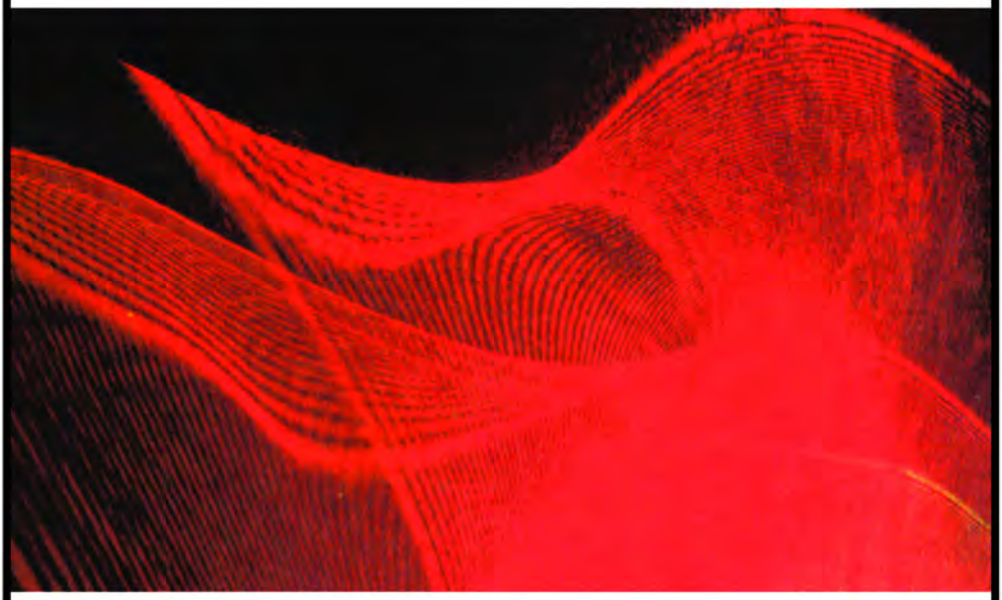
لكي لا يتبعثر الشعاع جانباً لدى انعكاسه على سطح القمر، وُضعت لهذا الغرض عواكس موشورية زاوية، تشبه من حيث شكلها زاوية مكعب زجاجي مقصور (منشور). وبغض النظر عن قيمة الزاوية التي يرد بها الشعاع الضوئي على هذا الموشور، فإنه سوف ينعكس عليه راجعاً إلى المنبع الضوئي الذي أصدره. تنصب مثل هذه العواكس على غطاء المركبة القمرية.

الشكل رقم (19)



هكذا يحدث التداخل عندما تتطابق قمتا موجتين (القمتان الأعظميتان) يتم جمعهما، وإذا تطابقت قمة عظمى لموجة مع قمة صغرى لموجة أخرى فإنهما يختفيان مفنية إحداهما الأخرى.

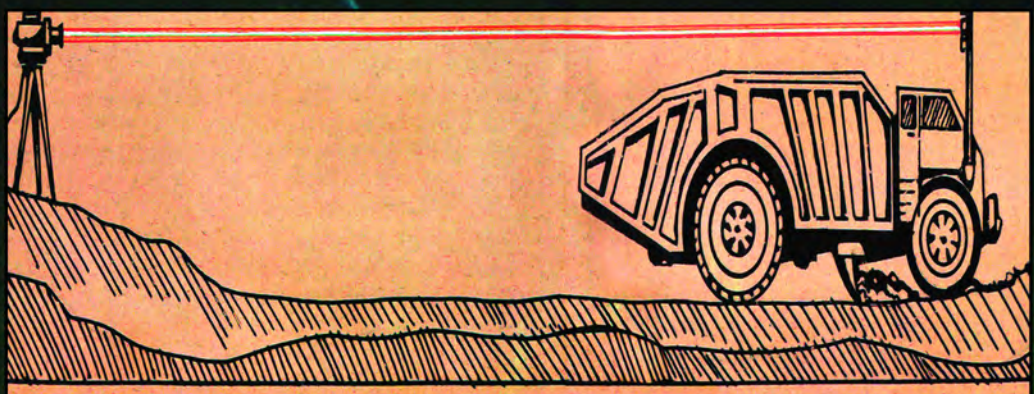
وبالنتيجة يمكن أن تحصل زخارف ملونة معقدة جداً التي تدعى بلوحة التداخل. تستخدم هذه الظاهرة في أجهزة التداخل وفيها يُشطر شعاع الضوء، وينعكس على منظومة مرايا، ثم يعاد ويجمع في شعاع واحد من جديد.



الشكل رقم (20)

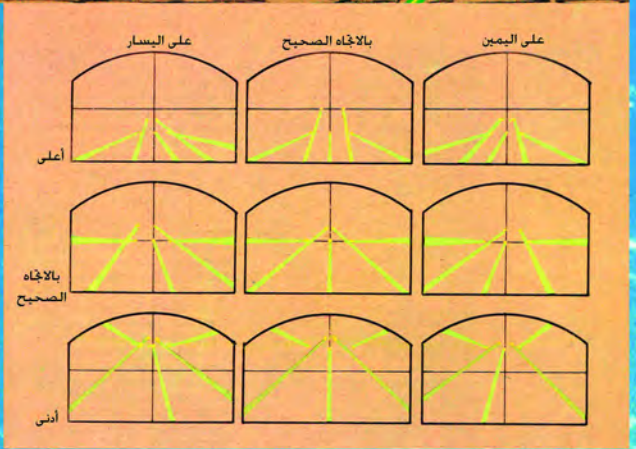
يكون القياس المنفذ بواسطة الليزر عالي الدقة جداً، واليوم تستطيع العين الساهرة لمحطة ليزرية من مراقبة أدق التحركات للأرض التي يقوم عليها برج بيزا المعروف.

الشكل رقم (21)



أ أعطى المستوى الليزري إمكانية أتمتة أعمال الطرقات.

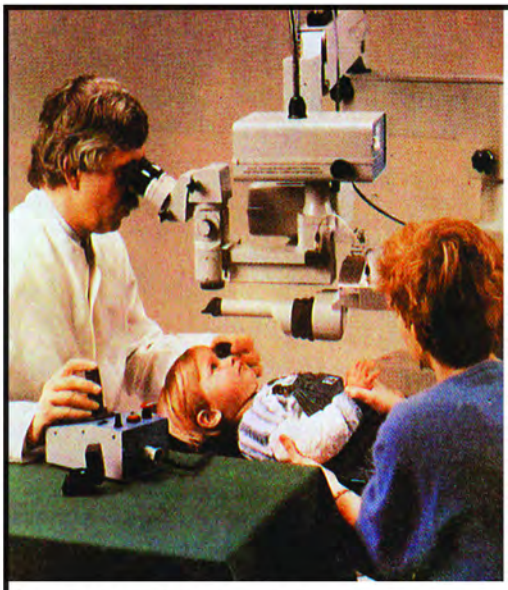
ب



بدخول الطائرة في مرحلة الهبوط تتحرك على مسار منحدر أو مسار انسيابي. يدعى جهاز الليزر الذي يساعد الطيار في عملية الهبوط، وخاصة في الجو الغائم، بمحدد "المسار الانسيابي". تسمح أشعة الليزر بالتوجيه الدقيق في الغلاف الجوي فوق المطار (يظهر خيال على شاشة "المسار الانسيابي" عند احتمالات متعددة للدخول في مرحلة الهبوط).

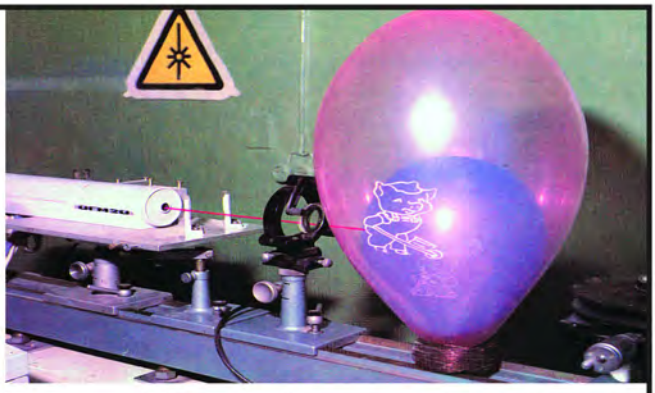
الشكل رقم (22)

في يد الجراح مبضع ليزري.



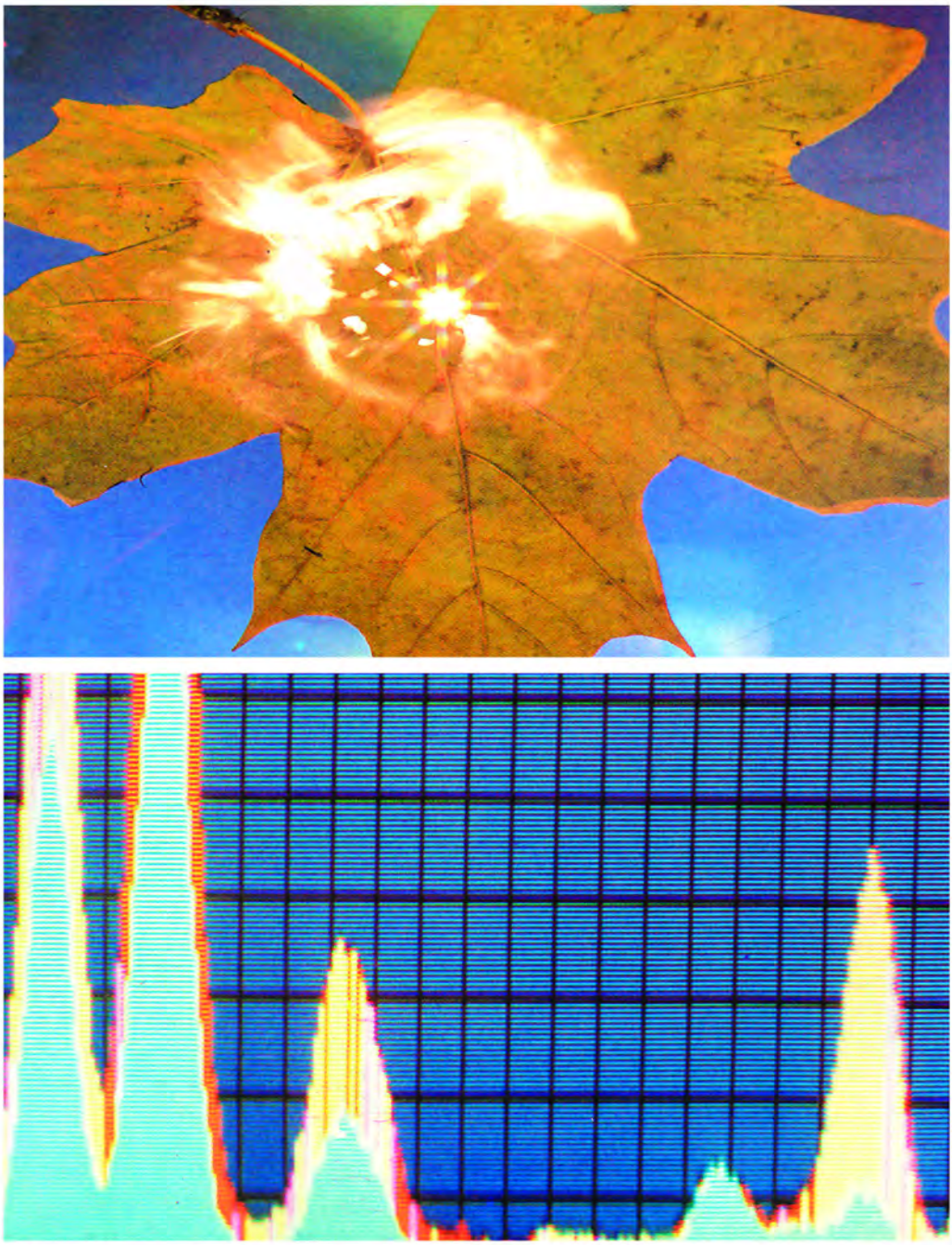
عملية العين التي كانت في الماضي معقدة جداً (أو مستحيلة على العموم)، يمكن أن تجرى اليوم في عيادة طبيب أو في مستوصف. وقبل أن ترف عين الطفل المريض تحديداً، تكون كل المكروهات أو الأذيات قد أصبحت مقضية.

الشكل رقم (23)



يمر الشعاع الأحمر لليزر الياقوت عبر جدار المنطاد الأحمر، ويمتص من قبل جدار المنطاد الأزرق مسبباً له الاحتراق. لذا فإنه أثناء العملية الجراحية يؤثر شعاع الضوء على جدار الأوعية الدموية "دون أن يلحظ" الدم نفسه.

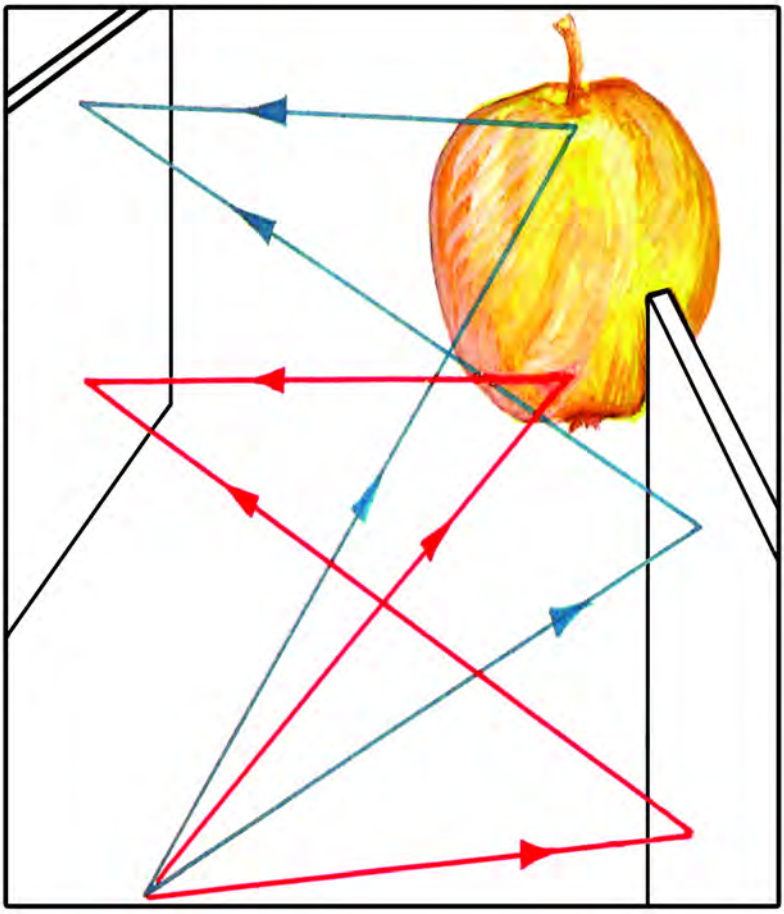
الشكل رقم (24)



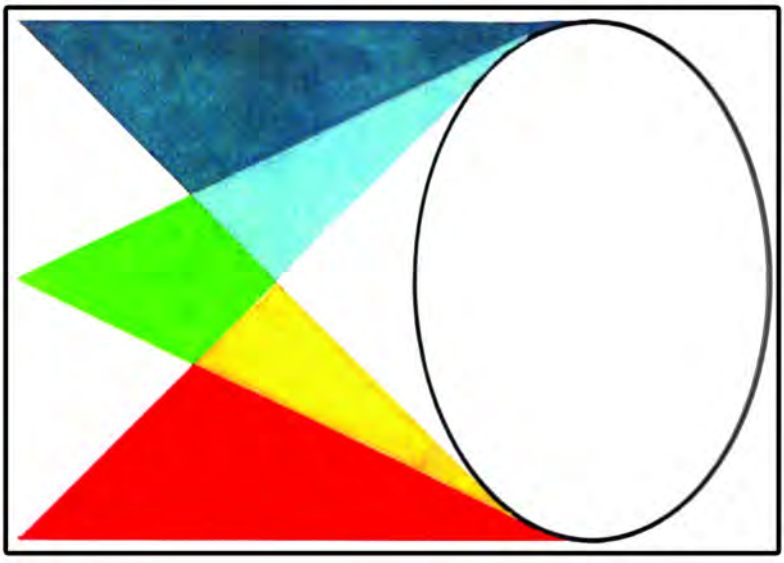
يحوّل النبات الأخضر غاز ثنائي أكسيد الكربون الموجود في الجو والماء إلى مواد عضوية لازمة له وإلى أوكسجين. ويحدث هذا التحول فقط تحت تأثير الضوء، ويدعى بعملية التركيب الضوئي. ويركب النبات إجمالاً خلال عام (100 مليار طن) من المواد العضوية و(145 مليار طن) من الأوكسجين، وتبقى آلية مثل هذه العملية غير واضحة تماماً، وتجري دراستها في المخابر بواسطة أحدث تقنيات الليزر والحواسيب.

الشكل رقم (25)

يحصل على الخيال الحجمي لجسم أو ما يدعى الهولوغرام إذا ما وردت في آن معاً على صفيحة ضوئية (فيلم) أشعة الضوء من الليزر مباشرة ومن الجسم المضاء بالليزر نفسه.



يمكن تحليل الضوء الأبيض إلى ألوان قوس قزح السبعة. لكن للحصول على قوس قزح وعلى ضوء أبيض يكفي أخذ ثلاثة ألوان.



الشكل رقم (26)

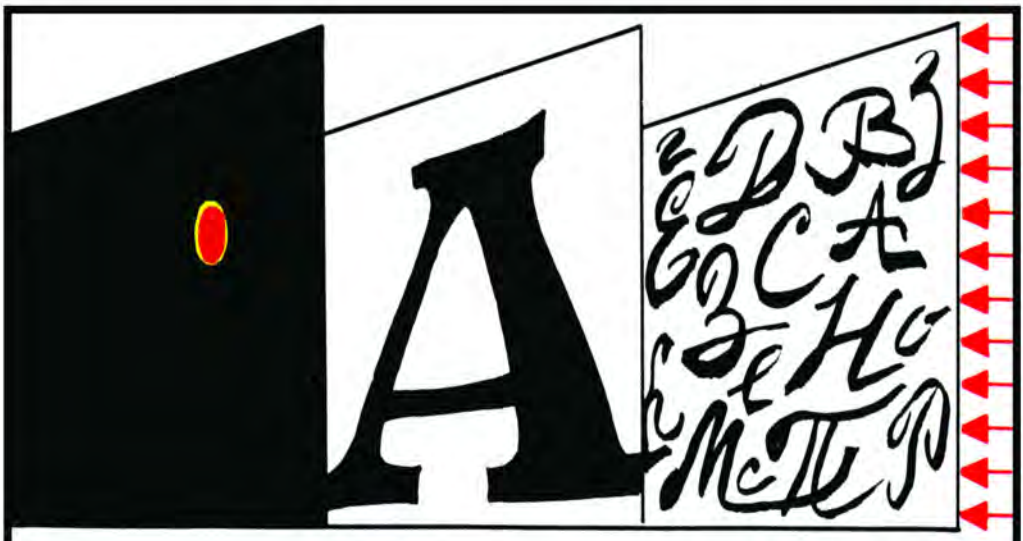
للحصول على هولوغرام ملون طبق الأصل عن الجسم الحقيقي يلزم استخدام ثلاثة ليزرات تصدر أشعة بثلاثة ألوان مختلفة.

الشكل رقم (27)

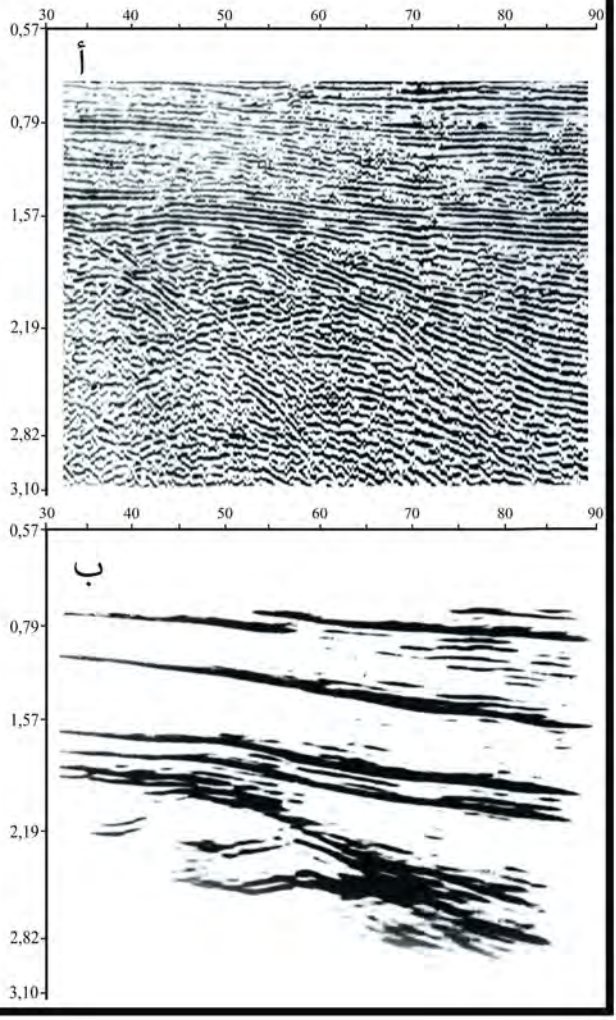
إذا علم أنه يمكن رؤية خيال ذبابة في مكروسكوب (مجهر) هولوغرافي بتكبير مليون مرة، فتصور الكم الهائل من الأشياء التي سيتاح اكتشافها للناس في العالم الصغري.

الشكل رقم (28)

الشكل رقم (29)



تسمح الأجهزة المزودة بمرشحات ضوئية تلقائياً وبدون مساعدة الإنسان من مقارنة أخيلة معقدة، وتمييز الأشياء وسط مئات المتشابهات وقراءة الأحرف وحذف التشويش وفصل الإشارة المفيدة.



الشكل رقم (30)

الشكل رقم (31)

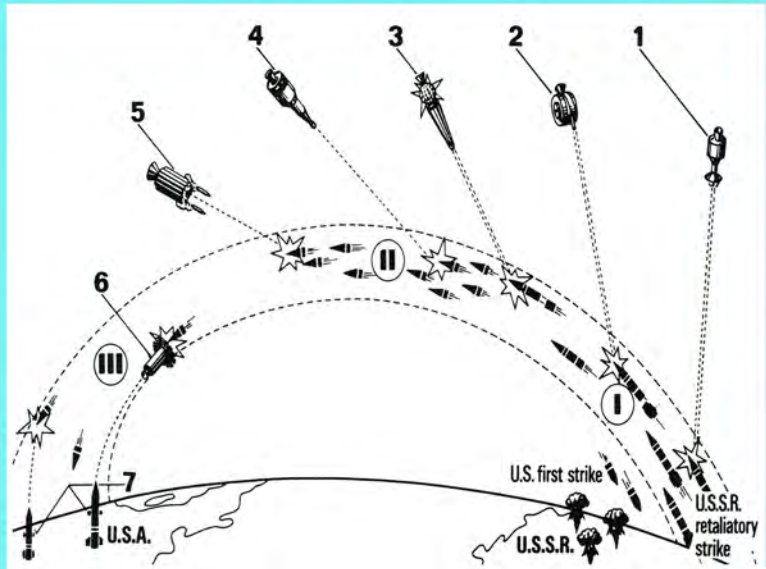
كانت الحواسيب في أجيالها الأولى تعمل على الأشرطة المثقبة ولكنها استبدلت الآن بحواسيب تعمل على الأقراص الليزرية. فالعلامات المنمنمة المعمولة على هذه الأقراص بشعاع الليزر تؤمن كثافة تسجيل معلومات غير مسبوقة.

يمكن لقرص بقطر 12 سم استيعاب برامج بنفس المقدار الذي تحويه عشرات الخزائن من الأشرطة. ويمكن تسجيل على مثل هذا القرص فيلم تلفزيوني كامل مدته 1 ساعة و 12 دقيقة ويحتوي على أكثر من 100 ألف صورة ملونة. وهكذا فالجبال الهائلة من المعلومات المختزنة في شكلها العادي في الكتب والمجلات يمكن استيعابها تحديداً في محفظة الجيب.

الشكل رقم (32)

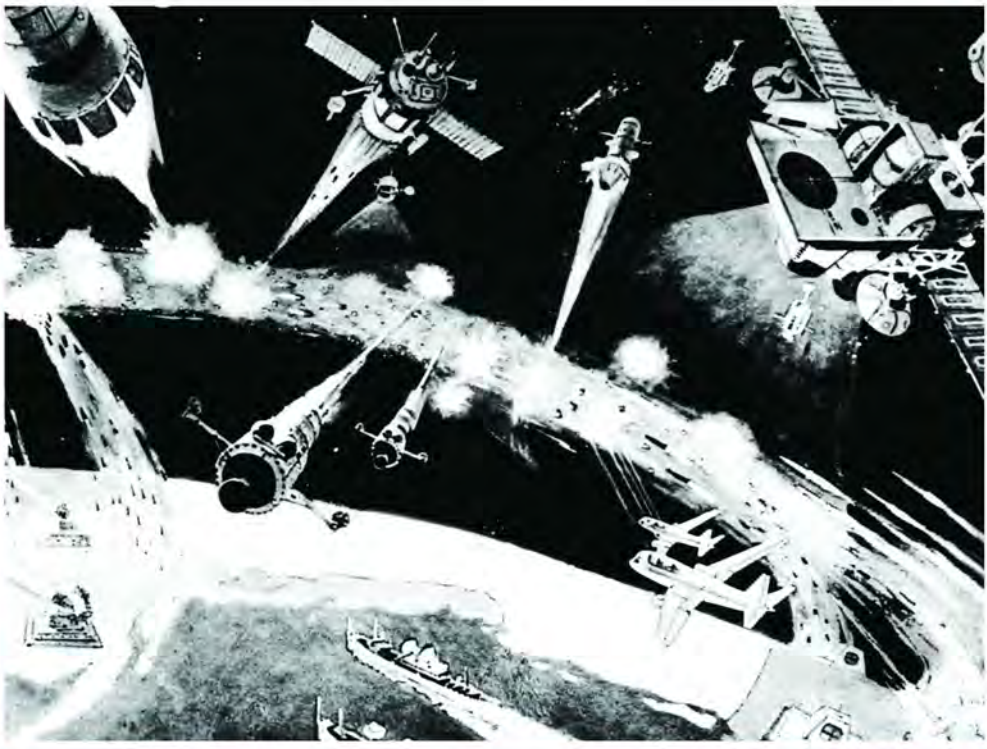
الشكل رقم (33)

إشارة "خطر! إشعاع ليزري" يمكن رؤيتها على أبواب المخابر والورشات حيث يجري العمل بالإشعاع الليزري.



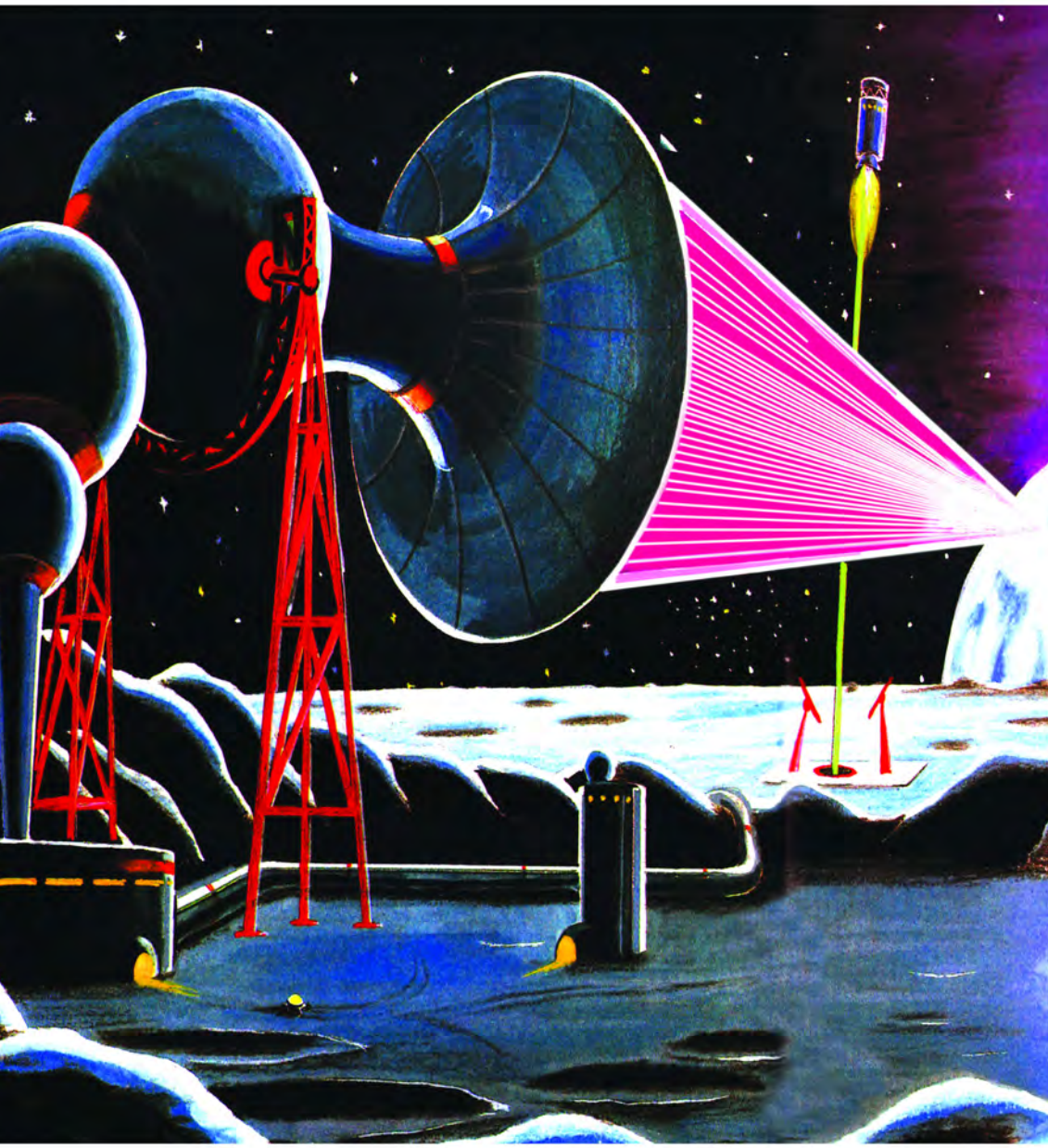
تصادف مثل هذه المخططات والرسوم على صفحات الجرائد والمجلات الغربية. وهي تحاول أن تقنع القارئ بأن السلاح الليزري قادر على تأمين منظومة دفاعية موثوقة بالمطلق.

الشكل رقم (34)



مركبة فضائية متعددة الاستعمال تُنقل إلى الفضاء بواسطة ليزرات نبضية متعددة الأشعة ذات ضخ نووي. يُصوّب كل قضيب لهذا الليزر نحو الهدف، بأمر يأتي من الأرض، ويدمره بواسطة حزمة إشعاع سيني ناتج عن انفجار شحنة نووية غير كبيرة. ويفني بهذه القمر الصناعي نفسه أيضاً. يصدر الليزر الكيميائي المستمر ذو المرآة الدوارة أشعة تحت حمراء وضوءاً مرئياً، وهو يدمر الأهداف ليس فقط في الفضاء، بل على سطح الأرض أيضاً. يشك المختصون في الإلكترونيات والتقنيات الحربية بأن هذه المنظومة الدفاعية المعقدة الضخمة لن تكون ذات وثوقية كافية وفعالة.

الشكل رقم (35)



من غير المستبعد أن تأخذ المحطة النهائية لخط نقل الغاز
ما بين الأرض والقمر شكلها التقريبي الموضح بالشكل.

الشكل رقم (36)

صدر للمترجم

الدكتور شريف الحوّاط

دار مؤسسة رسلان
للطباعة والنشر والتوزيع

هاتف: 00963 11 5627060
فاكس: 00963 11 5632860
darrislansyria@gmail.com