اعرف وتعلم

الليزر

محمد فتحي صبري

obeikandl.com

رئيس مجلس الإدارة

عادل المصرى

عضو مجلس الإدارة المنتدب

حسام حسين

مستشار النشر

أحمد جمال الدين

رقم الإيداع

٧٦٨٨ / ٢٠٠٥

الترقيم الدولى

٦ - ٠٢٠ - ٣٩٩ - ٩٧٧

الطبعة الأولى

مطابع العبور الحديثة

ت:٦١٠١٠١٣ ف:٦١٠١٥٩٩

الكتاب: اعرف وتعلم (الليزر)

المؤلف: محمد فتحى صبري

الغلاف: للفنان الهامى عزت

الناشر: أطلس للنشر والإنتاج الإعلامى ش.م.م

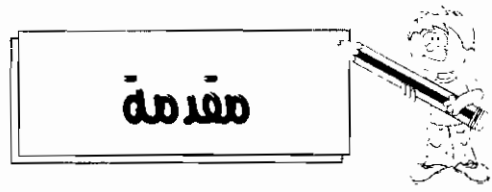
٢٥ ش وادى النيل - المهندسين - القاهرة

E-mail:atlas@innovations-co.com

تليفون: ٣٠٢٧٩٦٥ - ٣٠٣٩٥٣٩ - ٣٤٦٥٨٥٠

فاكس: ٣٠٢٨٣٢٨

obeikandl.com



مقدمة

الاكتشافات العلمية ، والاختراعات التكنولوجية ، والظواهر الطبيعية ، تكون دائما محور مناقشات ، ومادة تساؤلات لدى الأطفال والشباب الذين يسعون دائما لمعرفة خفايا الأشياء التى تقع أعينهم عليها ، أو يسمعون عنها ، أو يلمسون استخداماتها .

ومن الصعب على أى أب أو أى مدرس أن يجيب على تساؤلات هؤلاء الشباب ، إما لضيق الوقت ، أو لأن الأمر يتطلب تفسيرا معينا حتى تسهل عملية الاستيعاب والوصول إلى جوهر الموضوع الذى يتساءلون حوله .

وللوقوف بجانب هؤلاء الراغبين فى زيادة معلوماتهم الثقافية ، وإيمانا منا بأن ترسيخ المعرفة فى السن الصغيرة يغرس فى نفوس النشء جذور البحث والاستنباط ، ويؤصل لديهم مبادئ الاجتهاد والسعى لتقديم الجديد ، فقد حرصنا على تقديم هذه السلسلة العلمية المبسطة (اعرف وتعلم)

obeikandl.com

المبنية على أساس توضيح الفكرة وبيان كيفية نشأتها ومراحل تطورها إلى أن وصلت إلى حيز الظهور ، حتى استفادت منها البشرية وساهمت فى رقيها وتقدمها ، ويسرت الحياة على سطح الأرض .

وتتعدد أجزاء هذه السلسلة وتتشابك أفرعها حتى تكتمل الملحمة العلمية فى تناسق وتناغم .. توضح الغامض وتظهر المستتر ، وتلبى كل متطلبات الفتية والفتيات فى تدعيم ثروتهم العلمية والثقافية .

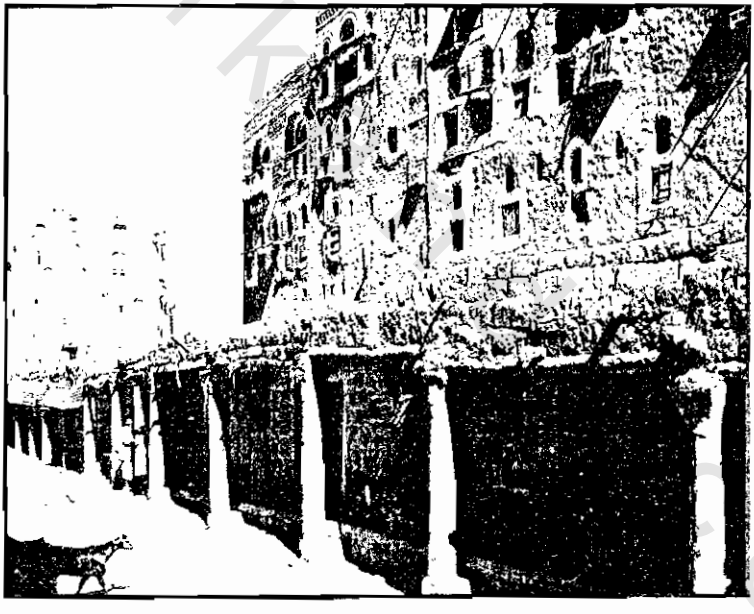
وكلى أمل أن تساهم هذه السلسلة فى بناء العقلية الابتكارية لدى الشباب من أجل جيل واعٍ ناضج يستطيع خوض غمار التكنولوجيا الحديثة على أساس من العلم والإدراك والمعرفة .

المؤلف

obeikandl.com

منذ وجود الإنسان على سطح الأرض ، وهو يحاول أن يعرف سر أشعة الضوء هذه .. فالضوء هو كل حياتنا .. فهو دليلنا فى العالم الذى يحيط بنا ، فمن خلاله نتمكن من السير فى الطرقات وآي مكان .. وهو رسول الكون كله ، فالضوء الذى نراه من الشمس والنجوم مباشرة أو من القمر والكواكب الأخرى عن طريق غير مباشر ، هو الذى يعرفنا بحقيقة وجودها بل ويحدد لنا أين تقع .. وهو يجرى فى أرجاء الكون كما يجرى الدم فى عروقنا ... فهو الذى ينير لنا ما يحيط بنا من عوالم نعرفها .

وكان الإنسان وخاصة العلماء يتساءلون .. لو عرفنا سر أشعة الضوء هذه ، لاستطعنا أن نوظفها ، فنشاهد عوالم أخرى لا نستطيع أن نشاهده بأعيننا .. فالإنسان عندما عرف إحدى خواص الضوء فقط وعلاقته بالبصريات ، استطاع مشاهدة عوالم لا تستطيع عينه العادية مشاهدتها .. فاستطاع بفضل الميكروسكوبات مشاهدة أصغر المخلوقات كالميكروب والفيروسات التى تعتبر النملة أكبر منها حجما بملايين المرات.



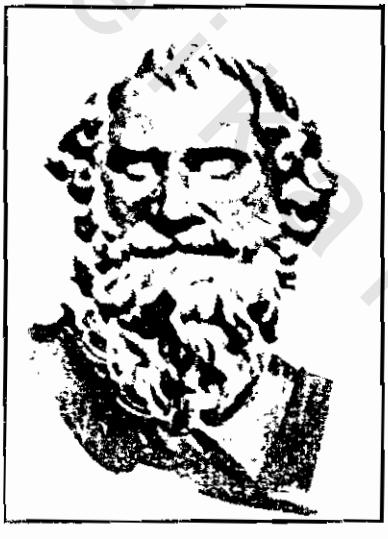
إننا نـودّ لـو اسـتطاع الضـوء النفـاذ تحـت الأرض إلى مسـافة آلاف الكيلومـترات .. فنستطيع مشاهدة عـالم آخـر مـن البحـار والمحيطـات .. بـل والعـالم القديـم الـذى ردم تحـت الأرض والبحار.

كما استطاع بفضل التلسكوب مشاهدة أجرام سماوية تبعـد عنـا آلاف الملايـين مـن الكيلومـترات .. فجعـل هـذا العلمـاء يتساءلون .. لو اسـتطاع الإنسـان التوصـل إلى خصـائص أخـرى مـن خصـائص الضـوء ربمـا اسـتطاع رؤيـة مخلوقـات وعجـائب أخـرى لا نعرفـها ! .. أو يسـتطيع هـذا الضـوء أن ينفـذ داخـل طبقات تحـت الأرض إلى مسـافة آلاف الكيلومـترات ، فنسـتطيع أن نشـاهد مـا تحويـه الأرض فـى باطنـها مـن معـادن بأشـكال عديدة .. وبراكين .. وما يحويه أيضا باطن البحار والمحيطات .. بل ونشاهد العالم القديم الذى ردم تحت الأرض والبحار.

وقد ظهرت فى الماضي أساطير وقصص خياليـة عـن سـحرة وعرافين يصنعون معجزات بنظراتـهم الحادة والمنطلقـة مـن عيونهم كالشرر ، واستطاعوا من خلال هذه النظرات العجيبة

الكشف عن المجهول والسيطرة على البرق والرعد والعواصف .. وكل ذلك بتركيز نظراتهم الحادة الثاقبة .

وقد كان بعض المنجمين الفلكيين يحدقون بنظراتهم فى كرة زجاجية شفافة ، فيستطلعون بها سر الغيب ويكشفون بها الطالع.



وعندما كان العالم أرشميدس شابا صغيرا ، كان يحاول مغازلة فتاة جميلة بمرآة عاكسة للضوء ، فأحرق ثوبها ، فأوحت اليه تلك الحادثة المكتشفة فى استخدام أشعة الشمس كسلاح دمر به سفن الأسطول الروماني المحاصر لمدينة

سراكوزه عام ٢١٢ قبل الميلاد . حيث تم له ذلك بتسليط أشعة الشمس بمرايا مقعرة ضخمة عاكسة للضوء على السفن المغيرة فأحرقتها .

وكان العلماء منذ مئات السنين يحلمون بوجود شعاع يكون من القوة بحيث يشق الصخر ويذيب الحديد ، ولطالما راود أحلامهم وجود سلاح إشعاعى مدمر فتاك ، يدمر أعتى الأسلحة وأخطرها بنبضة واحدة منه ، ويخترق الصواريخ العابرة للقارات والحاملة للرؤوس النووية فى لحظات .. ويجعلها تتساقط من أعاليها كحبات المطر .

.. ولم يكن العلماء هم الذين يحلمون بهذا الشعاع الجبار فقط، بل كان كتاب القصة يحلمون مثلهم .. لو وجد هذا الشعاع الجبار مع دولة لصارت أقوى دولة فى العالم أجمع !!

.. فقد تخيل الكاتب الروائي الأمريكي (هـ . ج. ويلز) قصة خيالية تحولت إلى فيلم شهير .. حيث تخيل الكاتب فى تلك القصة هبوط غزاة من المريخ على أرضنا ، يمسكون فى أطراف أصابعهم سلاح عبارة عن أشعة ضوئية مبهرة للبصر تنطلق من أيديهم ، فقتلوا بها الناس ودمروا مدنهم وأحرقوا

غاباتهم ونسفوا مصانعهم .. حيث كانت كتل الحديد تحترق بتلك الأشعة وكأنها أكوام ورق .

مشهد من الفيلم السينمائى

.. وظلت فكرة هذا الشعاع الساحر مجرد حلم لسنوات .. حتى فوجئ العالم أجمع فى شهر يوليو عام ١٩٦٠ بمجموعة من العلماء تعلن عن قنبلة علمية خطيرة . دوت فى أنحاء العالم أجمع .. فلقد استطاعوا اكتشاف هذا الشعاع المعجزة !!

فما هو هذا الشعاع الساحر والذى أسموه الليزر وما هى قصة اكتشافه ؟!

كيف توصل العلماء إلى هذا الشعاع الساحر ؟

فى الواقع أن قصة هذا الاكتشاف الخطير ترجع إلى عشرات السنين، وقد بدأت هذه القصة مع بداية تساؤل الإنسان .. كيف يمكن العيش فى عالم ينقصه الضوء ؟

لا يستطيع أحد فى هذا الكون أن يرى الأشياء بدون ضوء .. فنحن نرى الأشياء فقط عندما ينعكس الضوء عليها . فالضوء يسطع على الأشياء ، ثم يرتد منها إلى العين ... وهكذا نرى الأشياء .

ولذلك ، فإن الضوء هو دليلنا فى العالم الذى يحيط بنا ؛ فمن خلاله نستطيع رؤية طريقنا إلى منزلنا ، وبه نستطيع الرؤية التى تمكننا من السير فى الطرقات .. بل حتى قراءة الكتب ومشاهدة التليفزيون والكمبيوتر .

obeikandl.com

إذا نحن أغمضنا أعيننا ، فإننا لا نرى شيئا أمامنا ، إذ أن جفوننا تمنع الضوء عن دخول أعيننا ، ولقد أثبتت الحقائق العلمية المتعلقة بالضوء أننا لا نستطيع رؤية شئ ما ، ما لم يدخل الضوء الصادر من هذا الشيء أعيننا .

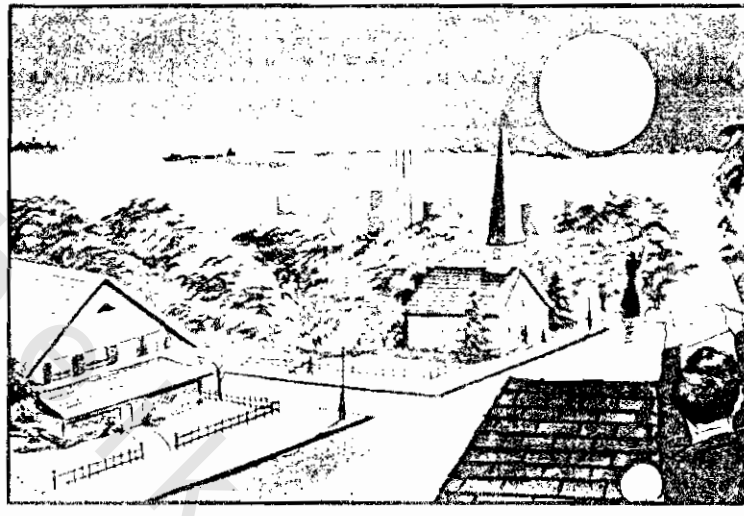
مصادر الضوء الذاتية

إن بعض الأجسام مثل الشمس والنجوم والمصابيح الكهربائية ، تبعث بضوئها الخاص بها ، فهي تشع الضوء لأنها ساخنة جدا لدرجة الاحمرار أو البياض .. وتعرف موجات الضوء التى تشعها هذه الأجسام (الضوء المتوهج) .

ومصدر معظم الضوء الذى نتلقاه إنما يأتينا من أعظم مصدر للضوء المتوهج وهو الشمس .

ولكن .. هناك مصادر أخرى لا تشع ولكنها تعكس الضوء مثل القمر والكواكب والأسطح العاكسة .

obeikandl.com



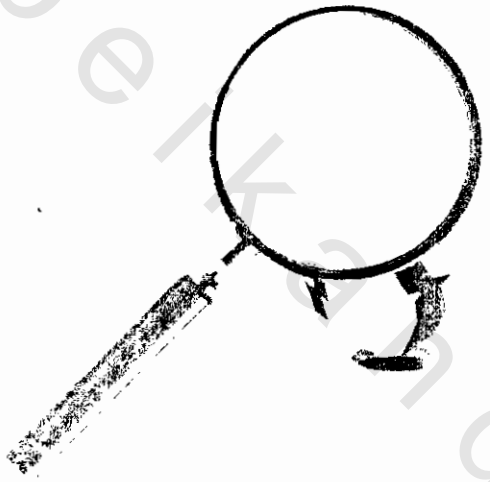
فالقمر يضئ فى أثناء الليل ، وهو يتألق ويشع ضوءا ، ولكن هذا الضوء لا يأتينا من القمر ، فهو لا يضئ . إنما يعكس ضوء الشمس الساطع عليه ، فيرتد ضوء الشمس من القمر إلى الأرض ، لذلك نراه مضيئا .

حقيقة الضوء .. ما هى ؟

إن الضوء نوع من الطاقة ، يقذفها الجسم المضيء على دفعات متتالية.. ولذلك فإن الضوء يتكون من وحدات يطلق عليها فوتونات ، وتحتوى كل منها على نبضة طاقة.

ولكن .. ما الدليل على أن الضوء هو نوع من الطاقة ؟

باستخدام عدسة مكبرة يمكنك الاستفادة من ضوء الشمس لإشعال عود ثقاب أو حرق ورقة .

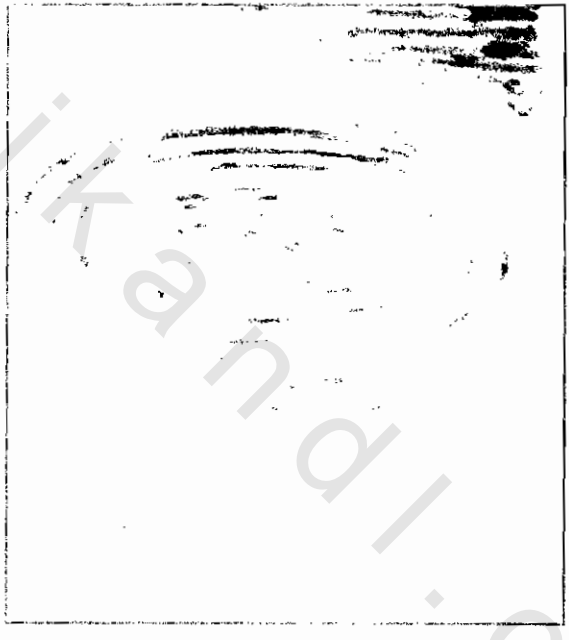


كما يوجد دليل آخر على أن الضوء نوع من أنواع الطاقة ، وذلك لأنه يحدث تحولات كيماوية فى الأشياء ، فالضوء الذى تتلقاه النباتات الخضراء يساعدها على صنع غذائها من الماء .

obeikandl.com

وثاني أكسيد الكربون ، فنستطيع تصنيع نوع خاص من السكريات يعرف بالجلوكوز . ويستخدم الإنسان والكائنات الحية هذا الجلوكوز للقيام بجميع الأعمال وتدفئة الجسم .

وهذه الطاقة التى تشع من الضوء تبعث أشعة ، مثل الموجات التى تحدثها الحصاة عندما نلقى بها فى بركة ماء .



إذا ألقي بحجر فى بركة ، سيحدث فيها موجات على هيئة دوائر . والأشعة الضوئية الآتية من الشمس تنتقل فى موجات مثل هذه .

obeikandl.com

وإذا ما تجمع عدد كاف من الفوتونات ، فإنها ترتب نفسها فى شكل موجي . وتستطيع هذه الأشعة أو موجات الضوء المرور خلال الفضاء وفى أنواع معينة من المواد .

وتحدث موجات الضوء التى تصل إلى أعيننا ، وتنفذ إلى داخلها إحساسا نسميه بالإبصار.

لولا الضوء ما كانت الحياة

هذه الحقيقة قد تبدو عجيبة .. فكل ما يبدو لنا من أهمية الضوء كوسيلة وحيدة لرؤية ما يحيط بنا ، إلا أن أهمية الضوء فى حياتنا لا تقتصر على الرؤية فقط .

فلولا تدفئة ضوء الشمس لسطح الأرض ، لوصلت برودتها إلى درجة خطيرة يستحيل معها وجود الحياة .. ولولا الضوء لما وجدت الرياح أو الأمطار ، فالرياح تتولد من تسخين الشمس لسطح الأرض ، فتصبح بعض مناطق الأرض أسخن من الأخرى ، فمثلا يستطيع ضوء الشمس أن يدفئ رمال الصحراء ومياه المحيط ، ولكن درجة حرارة الرمال تكون أعلى من درجة حرارة المحيط ، وكذلك الحال مع الحقول وشوارع المدينة التى تكون بفعل ضوء الشمس أدفأ من القطب الشمالي أو الجنوبي . ويتسبب الفرق بين درجتي حرارة أى منطقتين ساخنتين على الأرض فى انسياب الهواء.. وهكذا تتولد الرياح .

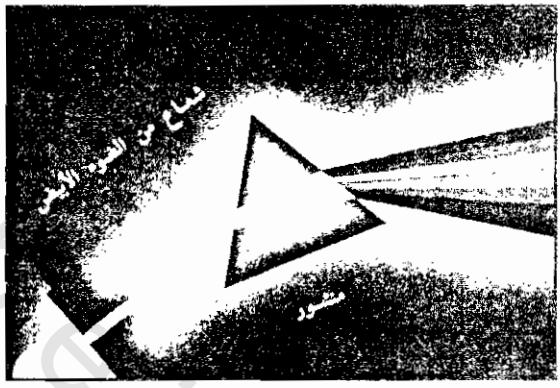
وتلتقط الرياح فى أثناء حركتها فوق الأرض جسيمات الغبار مع الماء الذى يكون قد تبخر من البحيرات والبرك والأنهار والمحيطات بفعل حرارة ضوء الشمس . وتكون جسيمات الماء والغبار الصغيرة تلك السحب التى تسير مع الرياح .. وفى ظروف درجات حرارة معينة يتحرر الماء الموجود فى تلك السحب ويعود مرة أخرى إلى الأرض على شكل مطر أو ثلوج .

مم يتكون الضوء ؟

إن الجسم المضيء يقذف الطاقة على دفعات متتالية تسمى (فوتونات) .. والفوتونات هذه هى التى تكون الأشعة . وإذا ما تجمع عدد كاف من الفوتونات ، فإنها ترتب نفسها فى شكل موجي ... ولذلك فإن الضوء الأبيض الذى نراه كأشعة الشمس، هو فى الحقيقة يتكون من ألوان مختلفة ومختلطة ببعضها يطلق عليها ألوان الطيف .

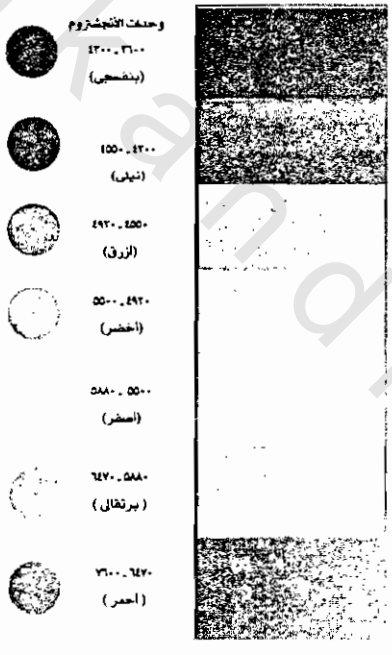
فلقد وجد العالم الإنجليزي الشهير إسحاق نيوتن أنه بتمرير حزمة ضيقة من ضوء الشمس أو الضوء الأبيض خلال منشور ثلاثي، ينقسم الضوء الأبيض إلى حزمة متعددة الألوان وتتكون هذه الحزمة الملونة من البنفسجي والنيلي والأزرق والأخضر والأصفر والبرتقالي والأحمر .

obeikandl.com



احمـــر
برتقالى
اصـفـر
اخضـر
ازرق
نيلى
بنفسجى

جـدول الأطوال لألوان الطيف



ويرجـــع الاختـلاف فـى ألوان الطيف إلى الطول الموجـي المختلـف لكـل منها .

فما هى أجزاء موجة الضوء ؟

لكي نفهم ما هى موجة الضوء ، والكيفية التى تسير بها ، يفضل أن ندرس أولا الموجات التى تنشأ فى الماء . فنحن إذا ألقينا فى بركة ماء أو بحيرة بقطعة صغيرة من الحجر ، فإنها تحدث موجات ..

ويتوقف عدد الموجات التى تصل إلى الشاطئ على حجم قطعة الحجر التى ألقيناها فى البحيرة .. ويسمى عدد الموجات التى تصل فى فترة زمنية محددة ، ولتكن ثانية واحدة مثلا (تردد الموجة) .

ويمكننا أيضا دراسة طول الموجة ، أى المسافة من قمة إحدى الموجات إلى قمة الموجة التالية لها .. وتسمى ب (طول الموجة).

وبصفة عامة كلما قصر طول الموجة علا التردد (زاد عدد الموجات) ، وكلما طال طول الموجة، انخفض التردد (قل عدد الموجات).

ولقد وجد العلماء بدراستهم للطيف ، أن طول موجة الضوء الأحمر أطول كثيرا من طول موجة اللون البنفسجي .. وتقع أطوال موجات ألوان الطيف الأخرى بين هاتين النهايتين ، حيث تقصر باتجاهها من الأحمر إلى البرتقالي إلى الأصفر إلى الأخضر والأزرق والنيلي ثم البنفسجي .

فما سبب مشاهدتنا للأجسام بألوانها ؟

الواقع أن العين ترى الأشياء بألوانها التى ترتد منها بعد أن تمتص باقي الألوان الساقطة عليها . فأوراق الشجر تبدو للعين خضراء اللون لأنها تمتص كل ألوان الضوء الساقط عليها ، ولا يرتد منها إلى العين سوى اللون الأخضر.

obeikandl.com

وبهذه الكيفية تكتسب الأجسام ألوانها الطبيعية المميزة التى نراها عليها .. أما الجسم الأبيض ، فهو الذى يعكس جميع الألوان ، بينما يمتص الجسم الأسود كل ألوان الضوء الساقطة عليه ، ولا يعكس شيئا .. لذا فإننا نراه (أسود) .

أشعة أخرى غير الضوء

وفى الواقع أن الضوء الذى نستطيع رؤيته ليس هو الشعاع الوحيد.. بل توجد أنواع أخرى كثيرة من الإشعاعات لا نستطيع رؤيتها ، فالضوء المرئي يشترك مع مجموعة أخرى من الأشعة فيما يسمى بالأشعة الكهرومغناطيسية ، وقد سميت بذلك لأن جميع هذه الإشعاعات الكهرومغناطيسية ، تنتج من تفاعل الجسيمات المشحونة كالإلكترونات مع المجالات المغناطيسية فى الفضاء ، مثل الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس وموجات الراديو وأشعة جاما إلى جانب الضوء المرئي.

ولذلك يعرف ذلك الجزء الذى نستطيع رؤيته من الطيف الكهرومغناطيسي .. الطيف المنظور .. فموجات الضوء التى

هى صورة من الإشعاع هى الجزء الوحيد الذى نستطيع رؤيته بأعيننا من الطيف الكهرومغناطيسي .

.. ومن ثم نستطيع التعرف على الإشعاع بأطوال موجاته .. فالإشعاعات ذات الموجات الطويلة و التى تصل ما بين ١٠ كيلومترات وحتى ١٠ سنتيمترات فقط هى كموجات الراديو ، أما الإشعاعات التى تبلغ أطوال موجاتها ما بين عشر سنتيمترات إلى ثمانية أجزاء من مائة ألف جزء من السنتيمتر، فهي الأشعة تحت الحمراء أى الأشعة الحرارية .. أما الأشعة التى تلي ذلك ، فهي الضوء المرئي .

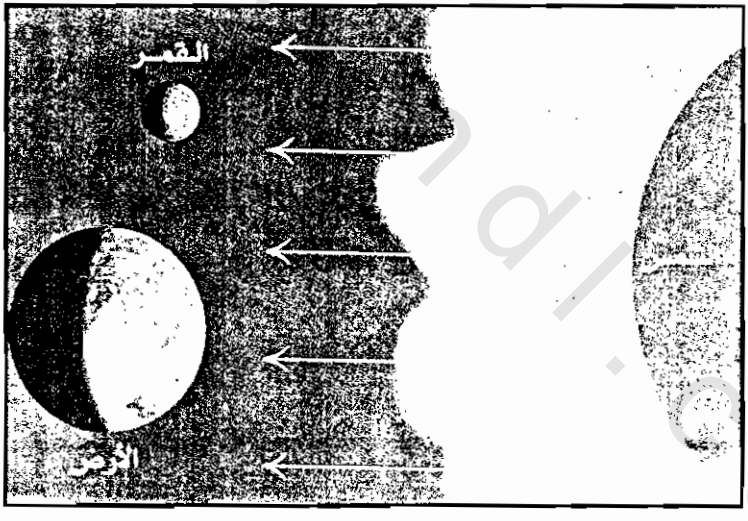
والأشعة فوق البنفسجية فهي التى تبلغ أطوال موجاتها من ٠,٠٠٠٠٤ إلى ٠,٠٠٠٠٠١ من السنتيمتر .

.. أما أشعة جاما التى تأتى فى المؤخرة ، فيقل طول موجاتها عن واحد من ألف مليون من السنتيمتر .

استطاع العلماء بعد محاولات عديدة قياس سرعة الضوء ، فتوصلوا إلى أنها تبلغ نحو ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر فى الثانية ، بينما تبلغ سرعة الصوت ٣٤٠ مترا فى الثانية .

ما هى السنة الضوئية ؟

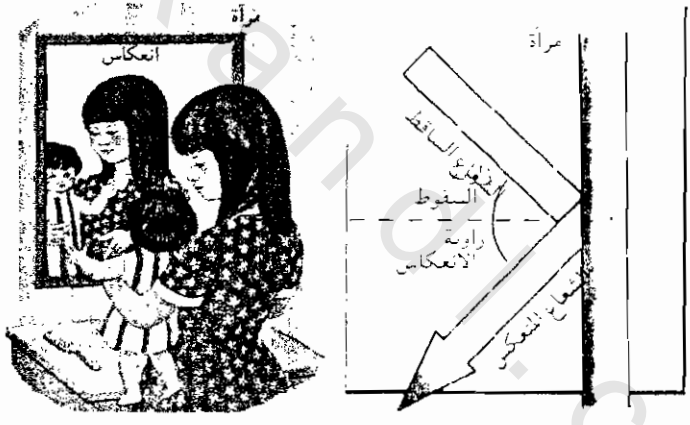
لما كانت المسافات بين الأرض وبعض الأجرام السماوية وخاصة النجوم كبيرة جدا .. لدرجة أن المسافة مثلا بين الأرض والشمس تبلغ ١٥٠ مليون كيلومتر ، ولما كان أقرب النجوم إلى الأرض بعد الشمس واسمه ألفا سنتورى يبعد عنا مسافة ٤٠ مليون مليون كيلومتر ، لذلك يلجأ علماء الفلك إلى حساب بعد النجوم و المجرات عن الأرض بوحدة خاصة تسمى (السنة الضوئية) .



والسنة الضوئية هى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة كاملة وتقدر بنحو ٩٦٤ ألف مليون كيلومتر .

فيسهل هذا الأمر علينا أن نقول بأن الشمس تبعد عن الأرض ثماني دقائق و ١٥ ثانية ضوئية بدلا من أن نقول ١٥٠ كيلومتر ، وبدلا من أن نقول إن النجم الفاسنتورى يبعد عن الأرض ب ٤٠ مليون مليون كيلومترا ، تقول إنه يبعد عن الأرض بـ ٤,٣ سنة ضوئية .

كيف تنعكس موجات الضوء ؟



لا شك أنك شاهدت وتشاهد دائما انعكاس صورتك من المرآة أو على سطح منضدة مصقولة ، والسبب فى وجود هذه

الانعكاسات هى أن موجات الضوء تسقط على السطوح وترتد منها بنفس الكيفية التى ترتد بها الكرة التى يقذف بها حائط ما.

ولذلك تكون صورتك أو الانعكاس الذى تراه عندما تنظر فى مرآة متماثلة .. أى أن كل شئ يوجه للمرآة يظهر معادا خلف المرآة .

ولكن .. لماذا ينثني الضوء فى المواد الشفافة ؟

إن موجات الضوء كما عرفنا تسير فى الفضاء وفى أنواع معينة من المواد .. والمادة تكون شفافة عندما تنفذ موجات الضوء خلالها .. ولكن الضوء لا يسير بسرعات متساوية خلال جميع المواد، فهو يكون أبطأ فى بعضها منه فى الأخرى.

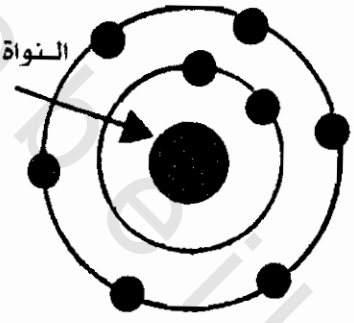
فهو يسير فى الأوساط المادية الشفافة بسرعة أقل دائما من سرعته المطلقة فى الفراغ ، فسرعته فى الهواء حوالى ٣٠٠ ألف كيلومتر فى الثانية ، بينما فى الزجاج حوالى ١٩٧٠٠ كيلومتر فى الثانية .

وعندما تسقط الموجات الضوئية السائرة فى الهواء على الماء أو الزجاج بمسار مائل ، فإنها تنثني وتخف سرعتها .

ويصف العلماء هذا الانثناء بقولهم : عندما يمر الضوء من وسط شفاف (مثل الماء أو الهواء أو الزجاج) إلى وسط آخر شفاف أيضا، بمسار مائل على السطح الفاصل بينهما ، فإن موجاته تنثني عند سطح الانفصال بين الوسطين .. ويسمى هذا الانثناء انكسارا .

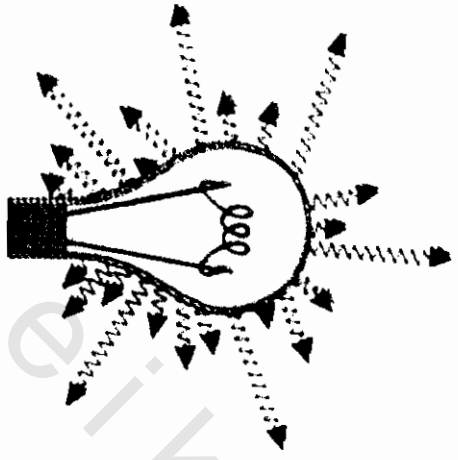
كيف توصل العلماء إلى اكتشاف شعاع الليزر ؟

لا شك أننا جميعا نعرف أن الذرة تتكون من نواة فى منتصفها، وهى تحمل البروتونات أى الشحنات الموجبة ، وكذلك النيوترونات المتعادلة .. ويدور حول هذه النواة الإلكترونات ذات الشحنة السالبة .



وهذه الإلكترونات تدور حول النواة فى مدارات محددة تماما ، فكل إلكترون له طاقة ثابتة مرتبطة بالمدار الذى يدور فيه ، ولا يستطيع الإلكترون أن يقفز من مدار إلى مدار أعلى ، إلا إذا اكتسب كمية من الطاقة ، ولكن هذه الطاقة التى يكتسبها ليقفز إلى المدار الأعلى ، يصير بعدها غير مستقر ، ويصبح فى حالة إثارة.

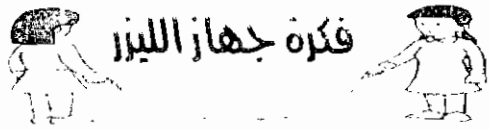
والذرات فى جميع المصادر الضوئية العادية غالبا ما تعمل مستقلة عن بعضها البعض .. أى انبعاث فوتون من إحدى هذه الذرات لا يوجد بينه وبين انبعاث فوتون من ذرة أخرى أى



تنسيق أو ترابط .. ونتيجة لهذا يتكون شعاع الضوء العادي من خليط معقد من الأمواج الكهرومغناطيسية الصادرة عن ذرات مختلفة .. وليست كل هذه الموجات بطبيعة الحال متوافقة فى الطور مع بعضها البعض ، ولذا فإنها تجعل شعاع الضوء فى النهاية أقل كثيرا فى الشدة .. و لما كان الضوء له عدة أمواج ، لذا فإنها تتعرض للتشتت ، حيث تتشتت كل الأشعة الضوئية بعد أمتار من انبعاثها .

ولذلك فإنه للوصول إلى أشعة مترابطة وقوية .. ولا ينتج ذلك إلا من خلال إجبار الذرات على أن تبعث فوتوناتها معا ، حتى لا تتشتت فتصير قوية .

obeikandl.com



صارت الحاجة إلى إجبار الذرات على أن تبعث فوتوناتها معا لتتميز بالقوة .. هى الفكرة التى راودت العلماء كثيرا .. ولكن كيف يتم ذلك ؟!

.. ومن هنا جاءت فكرة الحصول على شعاع الليزر .. وهى تقوم على الآتي .. لما كان فى الوضع الطبيعي تكون الذرة مستقرة فى حالة الخمود ، ولكن لو أمكن إثارتها عن طريق تزويدها بالطاقة فى شكل كهرباء ، حيث تزداد طاقة الحركة للإلكترونات فتنتقل إلى مستوى أعلى داخل الذرة .. فبهذه الطريقة تصبح الذرة مثارة .. فتبدى رغبة فى العودة إلى مستوى طاقة أدنى لكي تستقر وذلك بإطلاق جزء من مجموع طاقاتها الزائدة عن حالة الخمود ، وذلك فى شكل فوتونات أى طاقة ضوئية .

ويوصف الشعاع الضوئي الناتج من هذه العملية بأنه متماسك أى أن جميع الطاقة المنبعثة لها نفس طول الموجة وترددها .

وعندما يصطدم فوتون الطاقة التى زودت بها الذرة ، بالذرة المثارة ، فإنه ينتج فوتونا أخر مطابقا له من حيث الطاقة ، ثم يصطدم كلا الفوتونين بذرة مثارة أخرى ، فينتج عن ذلك المزيد من الفوتونات ، فيؤدى ذلك إلى تضخيم هذا الضوء الجديد .

وهذا الضوء الجديد والذى يتميز بأنه متماسك وضخم جدا .. هو ضوء الليزر .

فكلمة ليزر إنما تعنى تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المثار للإشعاع .

لماذا يختلف ضوء الليزر عن الأضواء الأخرى ؟

يتميز ضوء الليزر عن بقية الأضواء الأخرى بعدة مميزات:

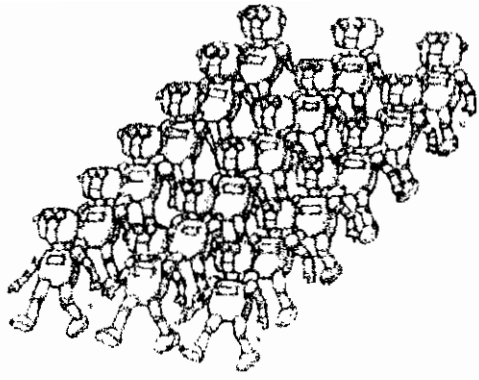
١ - الترابط .. ففي الضوء العادي تكون الأشعة الصادرة عن بعض المصادر كالمصباح الكهربائي أو الشمس ذات طاقة ضعيفة ، لأن الضوء الصادر منها ينتشر فى أرجاء المكان بدون تحكم، فتتشتت بذلك الطاقة الضوئية وتكون ضعيفة .

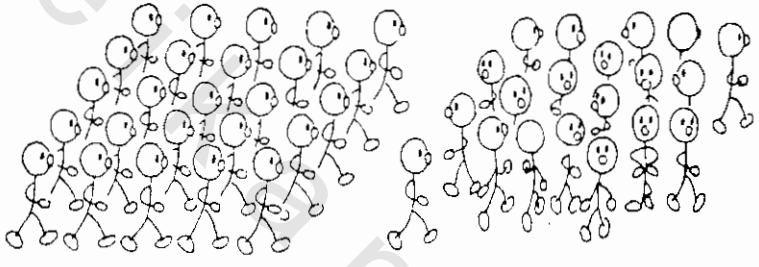
أما الضوء الصادر من جهاز الليزر ، فيكون مكثفا تماما ، أى موجها كله فى خط واحد .. فهي متوازية .. ويسمى هذا بالترابط، ولذلك تكون طاقته قوية جدا لا نهاية لقوتها .

.. ولكن هل مجرد تشتت الطاقة التى يولدها المصباح الكهربائي أو الشمس يؤدى إلى ضعفها وأن أشعة الليزر فى غاية القوة لمجرد الترابط ؟!

والمثال الذى يدل على ذلك .. أننا لو نظرنا إلى صوت الضجيج الصادر عن التلاميذ فى فناء المدرسة فترة الاستراحة التى بين الحصص .. وهو محصلة الأصوات الفردية العشوائية الصادرة عن كل تلميذ ، فإنه لا يكون لهذا الصخب أى نغمة أو لحن مستساغ .

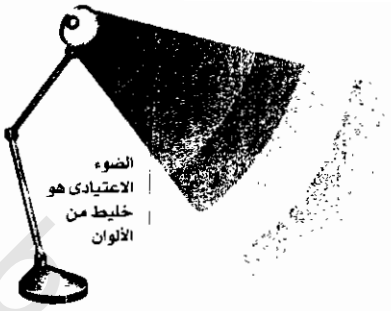
ولكن إذا رتبنا التلاميذ فى طابور منتظم ، وجعلناهم يتحركون بإيقاع واحد ، فالصوت الصادر عن وقع أقدامهم على الأرض سيكون من القوة بحيث يسبب ارتجاجا هائلا ينتشر لمسافات بعيدة جدا . فيلاحظ أن لهذا الصوت إيقاع منتظم .





وهكذا ، فإن فكرة الليزر والإصدارات المحثوثة ليست ببعيدة عن روح ذلك المثال ، فإذا رتبنا الذرات المثارة بحيث تصدر فوتوناتها وبأعداد هائلة ، وفى لحظة واحدة فى نطاق مساحة صغيرة، فإننا نحصل على طاقة هائلة لا يمكن تصورها .. هى أشعة الليزر .

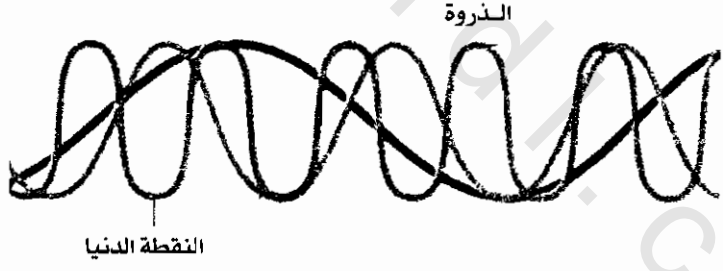
٢ - يتكون الضوء الأبيض من عدة ألوان مختلفة بأطوال موجية مختلفة إلا أن ضوء الليزر هو لون واحد صاف وجميع



موجاتـــه بـــالطول نفسه. يعتمـد اللـون بشـكل أساسـي علـــى المادة التى يصنع منـها اللـيزر ويسـمى هـــذا بالوسط الفعال.

٣ - الانتشـــار ..

إن موجات الضوء العادي - مـهما كـانت قوتـها - تنتشـر مـن مصدرها وتتشتت فتبتعـد عـن بعضها البعض ، فتتلاشـى .. ولكن موجات ضوء الليزر لا تنتشر ، فهي متوازية ، ممـا يعنـى أنها تبعد عن بعضها البعض بمسافات متساوية .



موجات الضوء العادي تنتشر من مصدرها

موجات ضوء الليزر تبقى متوازية

مم يتكون جهاز الليزر؟

يتكون جهاز الليزر من ثلاثة أجزاء هى

(١) مصدر للضوء ..

وهو عبارة عن أنبوبة ضوئية لولبية عالية الشدة .

(٢) الوسط الفعال ..

إما أن يكون من مادة صلبة أو يكون من مادة سائلة أو غازية .. وبأشكال عديدة .. والوسط فى الجهاز الذى أمامنا هو جوهرة الياقوت .

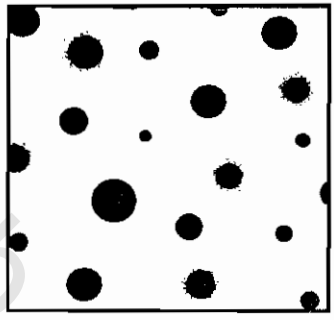
obeikandl.com

وتوجد على طرف أسطوانة الياقوت الصناعي مرآتان ، إحداهما عاكسة تماما والأخرى عاكسة جزئيا ، وتكون كل مرآة عمودية على محور اسطوانة الياقوت الصناعي .

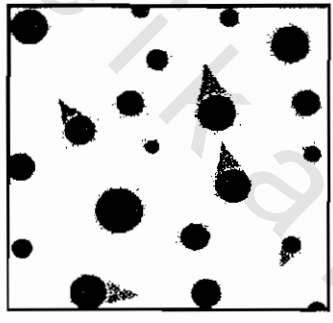
جهاز ليزر الياقوت الصناعى

كيفية عمل جهاز الليزر

تصدر الأنبوبة الضوئية اللولبية ضوءا شديد الكثافة ، يقوم بامتصاصه قضيب الياقوت الصناعي فى زمن قصير جدا يصل إلى عدة أجزاء من الألف من الثانية الواحدة .



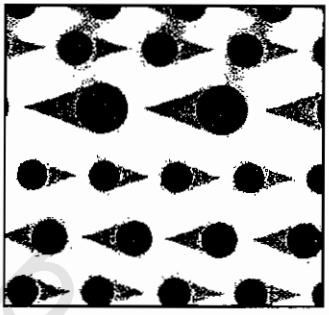
أ - فى داخل قضيب الياقوت تصطدم الطاقة الضوئية من مصدر الطاقة بالذرات فتأخذ الذرات هذه الطاقة وتثار .. فتبدأ بإطلاق طاقتها الضوئية الخاصة.



ب - تصطدم الطاقة الضوئية الصادرة من ذرة مثارة بذرة مجاورة مثارة أصلا ، فتحفز هذه الأخيرة على إطلاق وميض ضوئي أو فوتون مشابه .. تدعى هذه العملية بالإصدار المستثار .

ج - يطلق الإصدار المستثار المزيد من الفوتونات التى ترتد على السطوح العاكسة فى النهايات المتضادة لقضيب الياقوت بمرورها عليه عدة مرات .

obeikandl.com

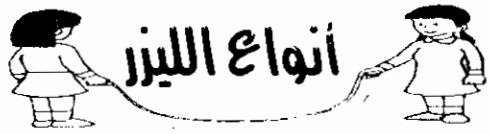


وينتج عن ذلك تضخيم الأشعة هذا الضوء . فتكون الأشعة الصادرة هى أشعة الليزر أى المتضخمة .

د - وعندما يتم إعطاء الليزر المتولد المزيد من الطاقة الضوئية من أنبوب الوميض ، يقوم الليزر بضخ المزيد من الطاقة .

هـ - الضوء المتردد فى القضيب يصبح قويا جدا ، بحيث يكون حزمة من الليزر

الضوء يتحرك جيئة وذهابا بين المرآتين



توجد أنواع عديدة من أشعة الليزر تنتج عن أجهزة مختلفة الأشكال والتي تستخدم فى أغراض مختلفة .. ويمكن تصنيف أنواع هذه الأشعة تبعا للوسيط الفعال الذى يوضع بالجهاز (مواد صلبة ، مواد سائلة ، مواد غازية) ذلك لأن الوسط الفعال هو الذى يحدد طول موجة أشعة الليزر ، لأن طول الموجة ينتج عن التغير فى مستويات الطاقة بهذه المواد ومن أهم أنواع الليزر :

ليزر المواد الصلبة

ويصنع جهاز ليزر المواد الصلبة من الياقوت الصناعي أو أشباه الموصلات . ويمكن استخدام هذا النوع من أجهزة ليزر المواد الصلبة فى الأقمار الصناعية آو نقل المعلومات فى الكمبيوترات .

ليزر السوائل

ويتكون الوسط الفعال فى هذا النوع ، من سائل خاص ويمكن لجهاز ليزر السوائل أن ينتج أشعة ليزر بألوان مختلفة وبموجات ضوئية ذات أطوال مختلفة .

ليزر الغاز

وهى تشمل العديد من الغازات النقية أو بشكل مزيج منها وبشروط خاصة من الضغط والحرارة .. وبما أن لكل غاز ميزة فريدة تميزه عن غيره من الغازات . لذا يكون لكل مطلب ما يناسبه من تلك الغازات .

استخدامات الليزر

استخدام الليزر فى الطب

لقد كان من أعظم أحلام الأطباء التوصل إلى علاج لا يؤدى إلى أية مضاعفات للمريض ، ويتم فى أقصر وقت ممكن ، كما أن الأطباء يعانون من عدم استطاعتهم الوصول إلى أماكن معينة من جسم المريض ، فالمشرط الجراحي لا يستطيع الوصول إليها .. كما أن هناك أنواعا عديدة من الجروح لا

obeikandl.com

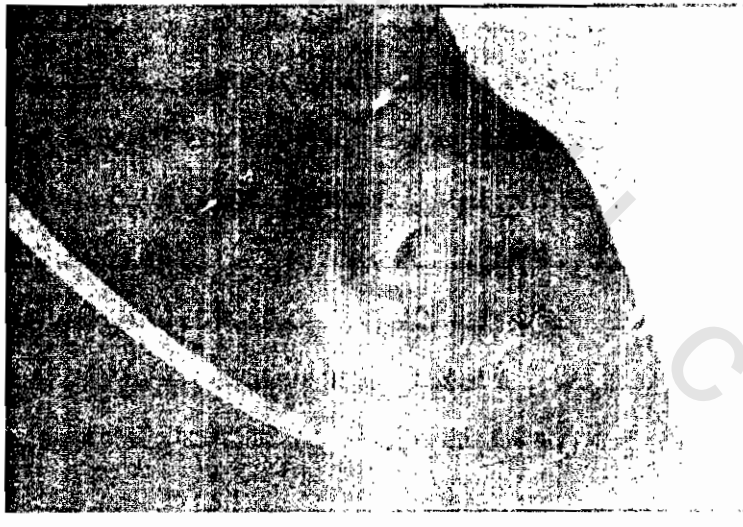
تلتئم بسهولة .. وأيضا كانوا يحلمون بإجراء عمليات بدون تخدير وبدون ألم ... وفجأة وجد الأطباء فى أشعة الليزر الحل السحري لكل ذلك .

كيف تتم الجراحة بالليزر

كما عرفنا أنه يمكن توليد الليزر من تمرير قوى كهربائية على وسط فعال .. مثل جوهرة الياقوت أو الأوساط السائلة أو الغازية ، فيصدر شعاع الليزر ، وعن طريق عدسات ومرايا متعددة يمكن تقوية هذا الشعاع فيتولد لنا حزمة من أشعة الليزر تكون مركزة لدرجة عالية ، بحيث يمكن استخدامها للجراحات الدقيقة جدا .. حيث أن هذه الحزمة الضوئية تكون بمثابة المشرط الحاد والقوى والدقيق جدا .. فهو يتمكن من فتح الجرح فى جزء من الثانية ثم يغلق دون أى ألم ، وكذلك يمنع تدفق الدماء إلى الخارج .. كما أنها نتيجة لدقتها الفائقة تستعمل فى العمليات الدقيقة ، والتي لا يمكن إجراؤها بالمشرط التقليدي .. فهناك حالات جراحية دقيقة جدا تستوجب استخدام الليزر فقط فى إجرائها ، مثل جراحة القنوات التناسلية وأجزاء دقيقة فى المخ ، كما أن

شعاع الليزر يصل بسهولة إلى الأماكن الداخلية من الجسم ، والتي يصعب على الجراح الوصول إليها .

فمثلا عندما كان معظم الجراحين يجرون جراحة للمريض بأورام الحنجرة ، يضطرون إلى إزالة الأحبال الصوتية ... فهم يضطرون لذلك لإنقاذ حياة المريض ولكن يترتب على ذلك أن يعيش المريض فاقدا للنطق .. أما من خلال أشعة الليزر الدقيقة ، فقد أصبح فى إمكان الجراح إجراء الجراحة دون أن يضطر إلى إزالة الأحبال الصوتية ، فينجو المريض من الموت ، ولا يفقد أيضا صوته .



الليـــزر

كما أن لأشعة الليزر قوة فائقة على التئام الجروح فى فترة زمنية وجيزة حيث تقوم أشعة الليزر بكى الأوعية الدموية لالتحامها .. بل وتقوم أيضا بعمل تخدير للأعصاب حتى تقلل من الآلام .

الليزر وتفتيت الحصوات فى الكلى والحالب والمثانة

الحصوات هى جسم غريب فى المسالك البولية ، ووجودها يسبب مضاعفات للجهاز البولي ونهايتها قد تؤدى إلى الفشل الكلوي .. وكان الإجراء المحتم لها هو عمل جراحة لاستخراج هذه الحصوات .. إلا أنه كانت تصادفهم مشكلة دائمة .. وهى كيفية الوصول إلى طريقة شبه مأمونة ... واستمر العلماء فى حيرتهم ، حتى توصلوا إلى اختراع منظار طبي مرن ليس له مضاعفات ، ويمكن من خلال الألياف البصرية به إدخال أشعة

obeikandl.com

الليزر والوصول إلى الحصوة وتفتيتها بدون حدوث أى ضرر بالأنسجة .

وباستخدام أنواع خاصة من الليزر أمكن التوصل إلى وسيلة لتفتيت واستخراج حصوة الحالب بدون أية مضاعفات . وفى أقل وقت ممكن .

الليزر لعلاج الأسنان

استخدمت أشعة الليزر فى معالجة الأسنان المصابة بالتسوس .. فيوجه الطبيب شعاع الليزر إلى الأسنان المصابة بالتسوس دون أى تخدير موضعي ، فتمتص المناطق المصابة بالتسوس أشعة الليزر، أما المناطق البيضاء (السليمة) فتعكس أشعة الليزر .. ومن ثم تبقى دون أن تتأثر . وبذلك يمكن حشو الأسنان والضروس بدون ألم .

يستخدم الليزر حاليا فى علاج البقع الجلدية الحمراء وعلامات الوحم بالولادة والتي قد تظهر فى أماكن واضحة تعيب الشكل نسبيا مثل الرقبة والوجه واليد .. وهذه البقع الحمراء تحتوى على شبكة من الأوعية الدموية معقدة ، فيستخدم فى كي هذه الأوعية الدموية وتقليل درجة احمرارها عن طريق غلق هذه الأوعية .

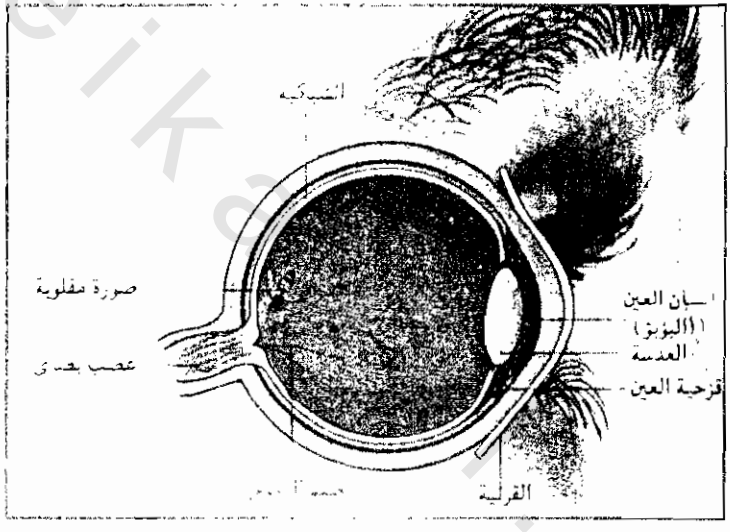
الليزر وعلاج القرحة المعدية

تستخدم فى الجراحة التقليدية عادة المناظير الطبية لتشخيص أماكن القرح . ولكن المشكلة هنا أن المرضى الذين

يعانون من نزيف دموي حاد ، لا يستطيعون فى حالات كثيرة تحمل الجراحة الكبيرة ، والتى قد تؤدى أحيانا إلى الوفاة .

والطريقة الجديدة فى علاج القرحة هو استخدام المناظير الطبية، ليس للتشخيص فقط ، وإنما أيضا كأداة جراحة ، فيمكن إطلاق أشعة الليزر من جهاز يطلق عليه الأندوسكوب .. فتسقط على مكان القرحة بالضبط وتسبب تجلط الدم عن طريق الكي المباشر الذى يترتب عليه وقف نزيف الدم .

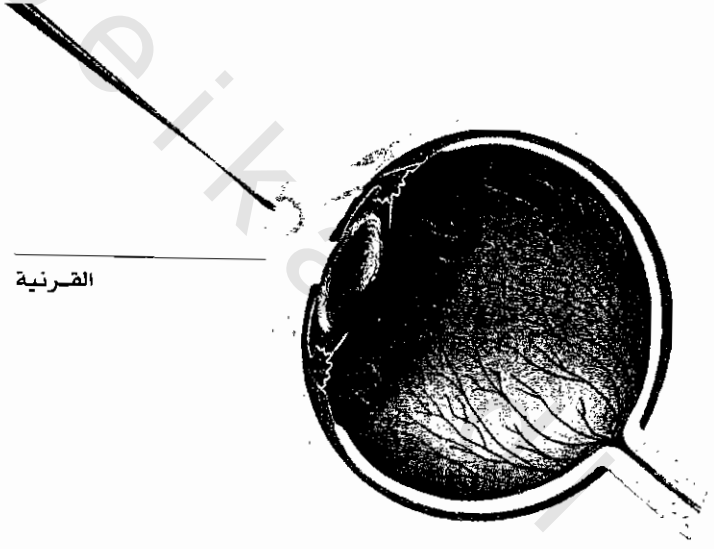
فى حالات كثيرة يحدث انفصال فى شبكية العين ، فيؤدى ذلك إلى فقدان البصر . إلا أنه أمكن استخدام الليزر فى لحام الشبكية فى نقاط صغيرة بمؤخرة العين . ومن ثم صار فى الإمكان إعادة الرؤيا للأشخاص الذين كانوا يعانون من انفصال الشبكية .



علاج انفصال الشبكية بأشعة الليزر

كما يستخدم الليزر أيضا فى الجزء الأمامي من العين كالقرنية وعلاج قصر النظر ، وأيضا فى إزالة كل ما يصيب العين من سحابات بسبب المياه البيضاء والزرقاء .

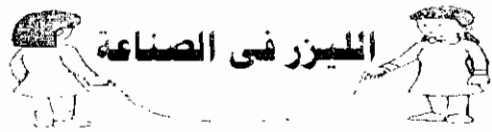
كيف يجرى الطبيب عملية فى قصر النظر باستخدام جهاز الليزر



من المعروف أن سطح العين فى حالة قصر النظر يكون أكثر تحدبا ، وكلما زاد هذا التحدب، عانى المريض من قصر نظر أكبر .. ولذلك فإن العلاج هنا هو إزالة هذا التحدب الزائد

.. فعندما يقوم جراح العيون بتشغيل جهاز الليزر .. يعمل الجهاز بتركيز الليزر ، حيث يبدأ بدائرة صغيرة جدا ، ثم تتسع هذه الدائرة مع كل طلقة يطلقها الجهاز من طلقات الليزر . ولتلافى أى خطأ ولو كان صغيرا جدا ، فإنه يوضع داخل جهاز الليزر جهاز الكمبيوتر .. توضع فيه الأرقام الخاصة بكل درجة إبصار ، ثم ينطلق الشعاع بطلقات محسوبة حسب درجة قصر النظر .. فتتفكك بذلك الجزيئات الزائدة من سطح قرنية العين وتتبخر فى الهواء ، فيصبح سطح العين أقل تحدبا .. فيتحسن بذلك الإبصار ، حتى ولو كان إبصار المريض ضئيلا جدا .

obeikandl.com



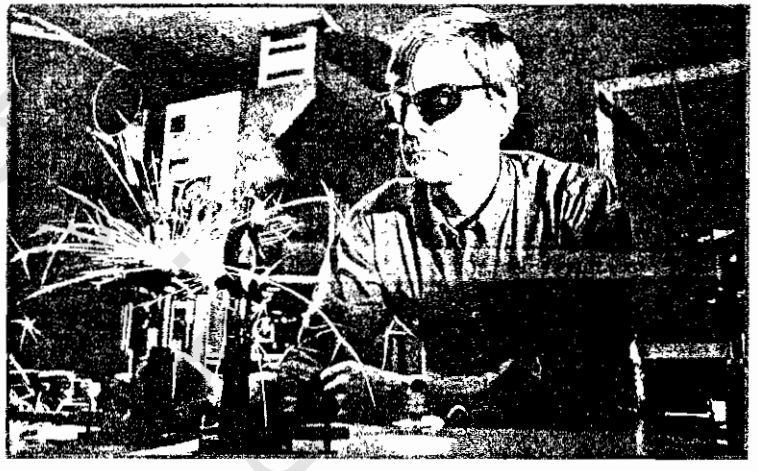
الليزر فى الصناعة

لما كانت الصناعات الحديثة خاصة الدقيقة جدا من أهم سمات التقدم ، فقد ثبت أن لأشعة الليزر دورا كبيرا فى تقدم معظم الصناعات .. وخاصة الصناعات الفائقة الدقة و التى تستخدم ترانزيستورات فى حجم رأس الدبوس ، حيث تحتاج إلى وصلات ملحومة بدقة بالغة .. فيمكن للقوة الهائلة لليزر أن تسخن وتذيب أقوى المواد ، مثل الماس والفولاذ .. فيستطيع الليزر المركز اختراق الفولاذ محدثا ثقوبا هائلة ، بالإضافة إلى إمكانها تحديد الموقع المراد تثقيبه بدقة متناهية . فحزمة الليزر تقوم بكل بساطة بتحويل المعدن إلى بخار يتلاشى بعيدا . وتعمل أجهزة الليزر فى الصناعة بطريقة آلية يتحكم فيها الكمبيوتر .

الليزر والنحام

وقد أمكن لأشعة الليزر لحام سلك قطره ملليمتر واحد ، بقاعدة ترانزيستور فى مدة تبلغ واحد على مليون من

الثانية .. ولذلك أصبحت تستخدم فى صناعة المصابيح الكهربائية والكمبيوترات والأقمار الصناعية .



توجيه أشعة الليزر

تتميز أشعة الليزر ، بأنه يمكن بسهولة توجيهها إلى أى هدف، إذ يمكن لحزمة منها أن تنطلق عبر الألياف البصرية ، كما يمكن أن تنعكس بواسطة مرآة إلى مكان محدد يصعب على الأجهزة الأخرى الوصول إليه .

وتتم عملية التثقيب من خلال تركيز طاقة حزمة الليزر فى موضع صغير جدا ، بحيث أن حرارته لا تنتشر خلال

المعدن ، مما يمنع الضرر قرب موضع القطع .. وتسيطر الكمبيوترات على حركة الليزر لضبط دقة القطع والثقب .

الليزر .. وتعديل خصائص المعادن

تستخدم أشعة الليزر القوية أيضا فى تعديل خصائص المعادن، حيث يقوم الباحثون الصناعيون بتطوير مواد ومعادن أقوى ، وخاصة بالنسبة لصناعات المحركات النفاثة وأجزاء آلات أخرى .. ولا سبيل إلى هذا التطوير سوى استخدام الليزر .

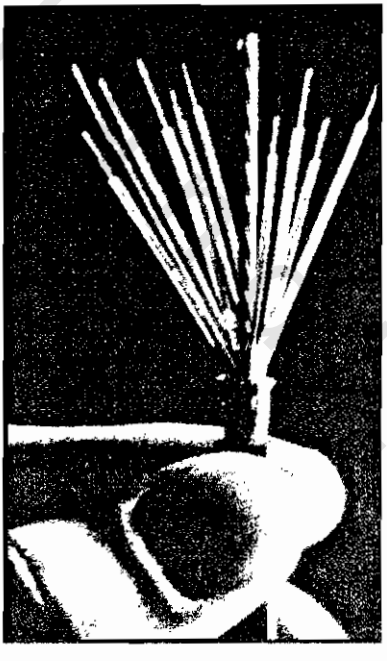
فعلى سبيل المثال عندما نقوم بتسخين سطح من الصلب بواسطة الليزر ، ثم تبريده بسرعة ، يصبح الصلب أكثر صلادة .. ولكن هذه المواد كلما ازدادت صلابة ، ازدادت صعوبة قطعها وتنعيمها وصقلها ، ولا يمكن لأي آلة التعامل مع هذه المواد فى القطع والتثقيب والتنعيم والصقل .. سوى أشعة الليزر .

obeikandl.com

الاتصال من خلال الليزر

كيف يعمل الهاتف

يعمل الهاتف بالكهرباء، حيث تلتقط الهواتف صوت المتحدث وتحوله إلى إشارات كهربائية ، وتمر هذه الإشارات الكهربائية عبر أسلاك معدنية إلى هاتف آخر ، حيث يتم تحويلها إلى موجات صوتية مرة أخرى .. وهكذا تتم المكالمة الهاتفية.

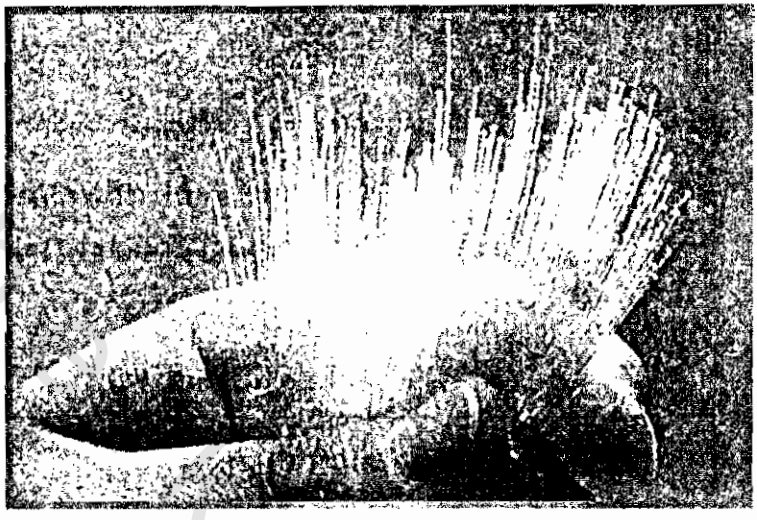


.. ولكن .. فى أحايين كثيرة قد تتشوه هذه الإشارات الكهربائية عند مرورها فى سلك طويل وتتلاشى بعيدا . لذا صارت معظم كابلات الهواتف بعيدة المدى تعمل بضوء الليزر .. ويتكون الكابل من حزمة عبارة عن آلاف الألياف البصرية .

ما هى الألياف البصرية ؟

الألياف البصرية عبارة عن أنابيب شفافة دقيقة جدا قابلة للانحناء وطويلة ، وتصنع من نوع خاص من الزجاج النقي ، أرفع من الشعرة الآدمية ، وتحمل ومضات من ضوء الليزر . وتحوّل الأشكال المختلفة للومضات إلى إشارات كهربائية لشبكة الهواتف المحلية .

obeikandl.com

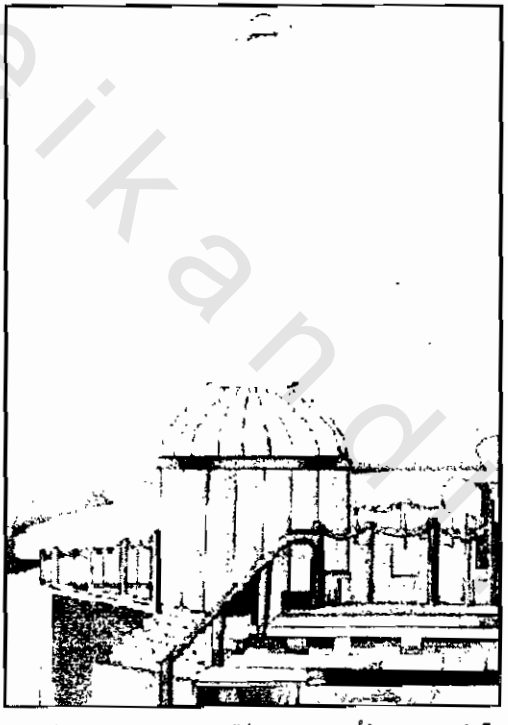


الضوء يشع من الألياف البصرية فيجعل قمتها تبرق .

وتتميز الألياف البصرية عن الأسلاك النحاسية العادية (التى تستخدم حاليا لنقل المعلومات كالاتصالات الهاتفية) ، بأن كلا من الألياف البصرية قادرة على نقل حوالى ٢٠٠٠ مكالمة هاتفية، بينما ينقل السلك النحاسى الواحد نحو ٣٠ مكالمة فقط .

القياس بالليزر

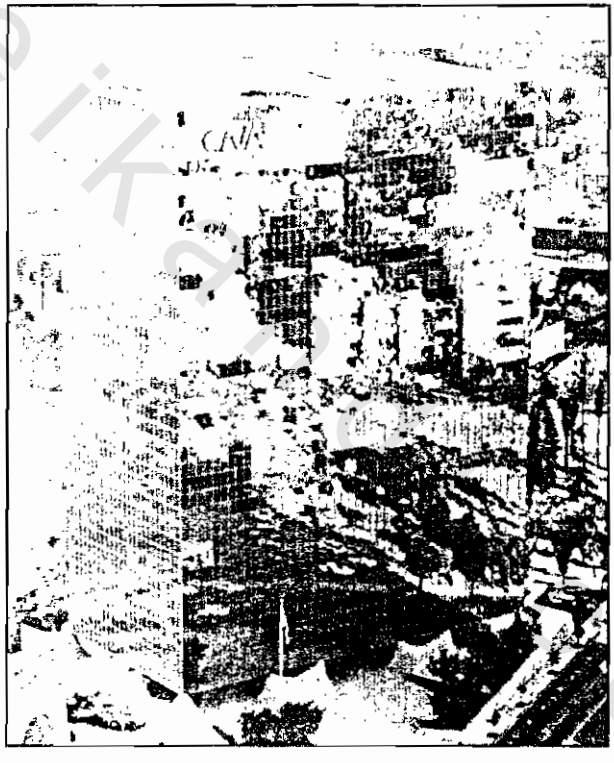
لما كانت أشعة الليزر عبارة عن حزمة من الضوء ، ولما كان الضوء سرعته ثابتة هى ٣٠٠ ألف كيلومتر فى الثانية .. فإنه طبقا للمعادلة الرياضية : المسافة = السرعة × الزمن .



قياس بعد الأرض عن القمر عن طريق الليزر

obeikandl.com

فإننا نستطيع من خلال تسجيل الفترة الزمنية التى تستغرقها أشعة الليزر فى الانطلاق والارتداد .. أى ضرب نصف الزمن المسجل فى سرعة الضوء .. ويتم هذا التوقيت بأجهزة إلكترونية دقيقة ـ أن نحسب المسافات البعيدة بين الأجسام المختلفة .



كما أمكن استخدام أشعة الليزر أيضا لعمل الخرائط وتشييد المباني. فيستطيع نوع من أشعة الليزر أن يقيس أعماق البحار والأنهار ورسم خريطة للقاع ، حيث يمكن لهذا النوع من الليزر اختراق الماء إلى عمق يصل إلى مئات الأمتار كما يمكن لأشعة الليزر تحديد مدى استقامة المباني العالية .

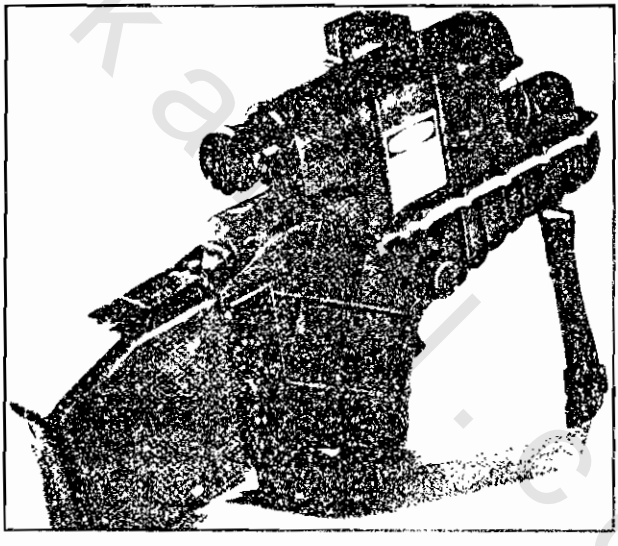
الليزر في المجال العسكري

تزود الأقمار الصناعية بأشعة الليزر لتصبح أقمارا عسكرية .

obeikandl.com

كما توضع أشعة الليزر فى الطائرات والمدافع والدبابات .. كما تستخدم فى توجيه الصواريخ الحربية لتصيب أهدافها بدقة بالغة .

وقد استطاع العلماء الوصول إلى أجهزة لتحديد المدى والتتبع ، تعمل بأشعة الليزر .. ويتكون جهاز تحديد المدى الليزرى من تلسكوب تسديد لتوجيه أشعة الليزر . ووحدة إرسال ووحدة استقبال وكمبيوتر .



كيف يعمل جهاز تحديد المدى ؟

يوجه جهاز تحديد المدى نحو الهدف ، ثم يبدأ التشغيل ، حيث تنطلق من الجهاز نبضات من ليزر الأشعة تحت الحمراء.. وعندما ترتد أشعة الليزر من الهدف . . يستطيع الكمبيوتر حساب بعد الهدف.. من خلال قياس المدة التى استغرقتها أشعة الليزر فى الانطلاق نحو الهدف والارتداد منه .. فهنا تستطيع بذلك القوات توجيه الضربات إلى مكان العدو بالضبط .

* * * * *

الصواريخ الموجهة بالليزر ؟

تستخدم حزم الليزر لإضاءة الأهداف لتسهيل الهجوم . كما يستخدم الليزر أيضا فى توجيه الصاروخ إلى الهدف بدقة بالغة .

obeikandl.com

الليزر .. ورصد الأهداف فى الظلام

وتستخدم أشعة الليزر فى الرؤية ليلا .. حيث يستخدم ليزر بقدرة عالية لكي يقطع شعاعه مسافات طويلة دون أن يفقد شدته . . ثم يتم تجميع الأشعة المنعكسة من الهدف حاملة للمعلومات عنه إلى جهاز الرؤية بواسطة عدسة شيئية .. فتظهر صورة مرئية على شاشة فسفورية قريبة الشبه بالصورة التليفزيونية .

obeikandl.com

الفهـرس

مقدمة	٣
كيف توصل العلماء إلى هذا الشعاع الساحر	١١
مصادر الضوء الذاتية.....	١٢
حكاية الضوء ما هى	١٣
ما الدليل على أن الضوء نوع من الطاقة.....	١٤
لولا الضوء ما كانت الحياة	١٦
مم يتكون الضوء؟	١٨
ما هى أجزاء موجة الضوء؟.....	٢٠
سبب مشاهدتنا للأجسام بألوانها.....	٢١
أشعة أخرى غير الضوء	٢٢
سرعة الضوء	٢٣
ما هى السنة الضوئية؟	٢٤
كيف تنعكس موجات الضوء؟	٢٥
لماذا ينثنى الضوء فى المواد الشفافة؟.....	٢٦
اكتشاف شعاع الليزر.....	٢٨
فكرة جهاز الليزر	٣٠

obeikandl.com

لماذا يختلف ضوء الليزر عن الأضواء الأخرى؟ ٣١
مم يتكون جهاز الليزر؟ ٣٥
كيفية عمل جهاز الليزر..... ٣٦
أنواع الليزر ٣٩
استخدامات الليزر..... ٤٠
الليزر فى الطب ٤٠
الليزر لعلاج الأسنان ٤٤
الليزر لعلاج قرحة المعدة..... ٤٥
الليزر وعلاج الشبكية ٤٧
الليزر فى الصناعة ٥٠
الليزر وتعديل خصائص المعادن..... ٥٢
الاتصال من خلال الليزر..... ٥٣
الألياف البصرية..... ٥٤
القياس بالليزر ٥٦
الليزر فى المجال العسكرى..... ٥٨
كيف يعمل جهاز تحديد المدى؟..... ٦٠
الصواريخ الموجهة بالليزر..... ٦٠
الليزر ورصد الأهداف فى الظلام ٦١

obeikandl.com