

Lumo, de la Suno al la lasero



D-ro Joel Fontaine

Naskiĝis en 1951 sur franca insulo Reunio. Majstriĝis de Universitato de Moskvo (1974). Doktoriĝis pri fiziko de la Strasburga Universitato en Francio (1981).

Eksplorinteresoj rilatas al fiziko de lumo kaj ĝia aplikado.

Instruisto en inĝeniera Instituto de Strasburgo kaj ĉe Universitato de tiu sama urbo.

Instruis kaj faris esploron pri fiziko de lasero kaj rilataj aplikoj en diversaj universitatoj en Usono (Kalifornio, Teksaso, Nov-Meksiko).

Kontribuis al ĉirkaŭ 50 artikoloj en fakaj ĵurnaloj.

Esperantiĝis en 2018.

Resumo : Lumo, de la Suno al la lasero

En la ĉiutaga vivo, lumo ne postulas klarigon. Ĝi estas intuicia kaj evidenta por ĉiuj homoj kiuj havas normalan uzon de la vido. Sed la afero komplikiĝas se oni provas kompreni tion, kion ĝi estas el fizika vidpunkto. Lumo estas la plej fundamenta formo de energio kaj la plej grava por la vivo sur la Tero. La ĉefa fonto de lumo estas la Suno, multaj artefaritaj lumfontoj estis inventitaj de homoj por produkti lumon. La prelego prezentas la ĉefajn etapojn de la evoluo de tiu teknologio.

La lasta grava paŝo en la regado de lumgeneracio estas la inventado de lasero en la 20a jarcento. La lasero kaj la transistoro estas konsideritaj kiel la du plej grandaj inventoj de la jarcento. La teoria ebleco de produkto de intensa kaj kohera lumo aperis tiam, kiam Albert Einstein diris en 1917 ke ekzistas fenomeno de stimulata eligo de lumo. Ĝi efektive veriĝis en 1950 kiam Theodore Maiman funkciigis la unuan laseron pere de rubena kristalo ekscitita de fulmlumilo. Unue tiu inventaĵo ne estis tre utila kvankam ŝajnis promesa. Dum la sekvantaj jaroj, sciencistoj kaj inĝenieroj disvolvis teknikojn por uzi laseran lumon por preciza mezuro de multaj fizikaj grandoj kaj por esplorado de materioj. Nuntempe laseroj estas uzataj en ĉiuj kampoj : industrio, medicino, komunikado, ktp. La prelego ilustras tiun vastan uzon de lasera lumo per kelkaj ekzemploj de apliko de unu tipo de lasero, kies disvolviĝon li partoprenis, la femtosekunda lasero.

Abstract : Light, from the Sun to the laser

In daily life, light does not require explanation. It is an intuitive and obvious thing for any human having the use of vision. The phenomenon becomes more complicated if we try to understand it from a physical point of view. Light is the most fundamental form of energy and the most essential for life on Earth. Our main source of light is the Sun, but we have also invented many artificial sources to produce it. The presentation describes the main stages in the evolution of light source technology. The last big step in mastering the generation of light is the invention of the laser in the middle of the 20th century. The laser and the transistor are the two greatest scientific inventions of the century. The possibility of producing intense and coherent light appeared when Albert Einstein formulated in 1917 the hypothesis of the existence of the phenomenon of stimulated emission. The prediction was verified in 1950

when Theodore Maiman succeeded in producing the first laser beam using a ruby crystal excited by a flash lamp.

The invention, although promising, did not seem very useful. However, in the following years, scientists and engineers developed techniques to accurately measure multiple physical quantities using a laser beam and to explore the properties of matter.

Nowadays lasers are used in all fields: industry, medicine, communications, etc. In the presentation, the generalized use of lasers is illustrated by some examples of applications of the femtosecond laser, a type of laser that the author contributed to develop during his research.

Résumé : Du soleil au laser

Dans la vie quotidienne la lumière ne nécessite pas d'explication. C'est une chose intuitive et évidente pour tout humain disposant de l'usage de la vision. Le phénomène se complique si on essaie de le comprendre du point de vue de la physique. La lumière est la forme la plus fondamentale de l'énergie et la plus essentielle pour la vie sur Terre. Notre principale source de lumière est le soleil, mais nous avons inventé également de nombreuses sources artificielles pour la produire. La présentation fait état des principales étapes de l'évolution de la technologie des sources lumineuses. La dernière grande étape dans la maîtrise de la génération de lumière est l'invention du laser au milieu du 20ème siècle. Le laser et le transistor sont les deux plus grandes inventions scientifiques du siècle. La possibilité de produire une lumière intense et cohérente est apparue lorsque Albert Einstein a formulé en 1917 l'hypothèse de l'existence du phénomène d'émission stimulée. La prédiction fut vérifiée en 1950 lorsque Théodore Maiman réussit à produire le premier rayon laser en utilisant un crystal de rubis excité par une lampe flash. L'invention bien que prometteuse ne paraissait pas très utile. Cependant dans les années suivantes, les scientifiques et ingénieurs ont développé des techniques pour mesurer avec précision de multiples grandeurs physiques à l'aide d'un faisceau laser, ainsi que pour explorer les propriétés de la matière.

De nos jours les lasers sont utilisés dans tous les domaines : industrie, médecine, communications, etc. Dans la présentation, l'usage généralisé des lasers est illustré par quelques exemples d'applications du laser femtoseconde, que l'auteur a contribué à développer au cours de ses recherches.

Lumo, de la Suno al la lasero

1. Lumo, fundamenta formo de energio.

Fiziko traktas la plej fundametaĵojn kiujn ni perceptas aŭ kies ekzistadon ni malkovris dank al iloj kiujn ni disvolvis. Ĝi estas spaco, tempo, materio kaj energio. Ĉiuj naturokazoj estas interagoj de tiuj entoj tra kvar kampoj: gravito, elektromagneta kampo (EK), nuklea forta interago kaj nuklea malforta interago. Gravito ne plu estis mistera ekde ĝia priskribo fare de Neŭtono en sia verko "Principia Mathematica" kiu estis publikigita en 1687.

Elektromagnetismo estis la afero de la 19a jarcento (jc), kun la teorio disvolvita de Maksvelo. La ekvacioj kiuj havas lian nomon, estas granda etapo en la historio de fiziko: ili ebligis unuigi elektron, magnetismon kaj optikon. Ekde tiu tempo lumo iĝis iomete malpli mistera. Lumo estas elektromagneta ondo kiu estas ligita kun la movo de elektraj ŝarĝoj. Kelkaj fenomenoj restis nekompreneblaj ĝis la komenco de la 20a jc. Nova teorio de la lumo aperis dank al la laboroj de fizikistoj kiel Planck, Einstein, Dirac, Shrödinger kaj aliaj, t.e. la kvantuma teorio de materio kaj lumo.

Se ni revenas al la komenco de homa pripensado pri lumo, oni povas aserti ke homoj de antikvaj civilizacioj konsciis pri la esenca rolo de lumo por la vivo sur Tero. Tion atestas la elekto de la Suno kiel la ĉefa Dio fare de egipta faraono Akenatono en la 14a jc a.K.

La Suno provizas nin per preskaŭ la tuta energio kion ni uzas, ĉu energio akumulita en fosilioj, ĉu energio kontinue portata de la radioj, nur iomete venas de tervarmo kiel en Islando.

Ĝis la 19a jc lumo estis utila nur por vidi la objektojn kiuj ĉirkaŭas nin. Tiam la homaro malkovris kiel registri kaj konservi informojn portataj de la lumo en formo de bildoj. Ili inventis unue fotografion, kaj poste kinematografion.

La naturo de la lumo estis temo de diskutoj kaj disputoj ĝis la 20a jc. La homaro devis atendi la laborojn de fizikistoj de la 20a jc por havi kontentigantan teorion de la lumaj fenomenoj.

Rilate al la teknologia aspekto, la unua vera revolucio okazis en la 18a jc kun la malkovro de lumgasoj por lumigado, sekvis la kontrolo de elektro en la fino de la 19a jc.

Fine malkovroj de la 20a jc ekebligis la ĝeneralan uzon de lumo en la tutaj kampoj de homara agado. La invento kaj poste la disvolviĝo de laseroj ebligis uzi lumon ne nur por vidi, kaj fari bildojn, sed ankaŭ por mezuri, komuniki, fabrikigi, kuraci aŭ amuziĝi.

2. Kio estas lumo?

Lumo estas fundamenta formo de energio kiu apartenas al pli ĝenerala familio de ondoj nomitaj elektromagnetaj ondoj (EMOj). EMOj aperas kiam, por iu kialo, moviĝas materiaj partikloj kiuj havas elektran ŝarĝon kiel la elektronoj kiuj cirkulas en metalaj fadenoj. La frekvencoj de tiuj ondoj ampleksas vastan spektron, kaj dependas de la frekvencoj de oscilado de ŝarĝoj kiuj generas ilin. Ni kutime nomas "lumo" tiuj EMOj al kiuj niaj okuloj estas senseblaj.

Estas malfacile klarigi la naturon de lumo sen tro iri al la detaloj de ĝiaj fizikaj ecoj. Kiam ĝi estas intensa, ĝi havas la klasikan aspekton de ondo sed kiam oni konsideras tre malgrandan kvanton de ĝi en interago kun materiaj partikloj, lumo havas kvantuman karakteron, ĝi ankaŭ ŝajnas esti formita de individuaj partikloj: fotonoj. Depende de la situacio, la ecoj kiujn oni listigas por paroli pri lumo estas: rapido, frekvenco, ondolongo, spektro, intenso (aŭ heleco), koloro, polarizado. Rapida prezentado de la koloroj, tre grava eco por ĉiuj homoj en multaj cirkonstancoj, estis farita en la dokumento IKU2019 [ref. 1].

En ĉi tiu artikolo, ni koncentras nian atenton sur la energia aspekto de lumo. Lumo estas energio kiu moviĝas en la vakuo kun la rapido de ĉirkaŭ 300 000 kilometroj per sekundo. Tiu rapido estas la plej granda el ĉiuj fizikaj fenomenoj. Estas rimarkinde sed ne intuicie, ke

plejmultaj fenomenoj kiuj okazas sur la Tero eblas dank'al la energio kiun la Tero ricevas de la Suno. Sen la suna energio, ne estus vegetala vivo de kiu dependas la vivo de bestoj kaj homoj. La plantoj tra fotosintezo, uzas la sunenergion por produkti sukerojn, proteinojn, grasojn aŭ celulozon. Fakte, la tuta energio bezonata de la vivaj estaĵoj sur la Tero devenas el la Suno.

3. Suno, la ĉefa fonto de lumenergio.

La Suno estas unu el la multnombraj steloj de nia galaksio. Kiel por la aliaj steloj, la energio kiun ĝi radias en la formo de EMOj devenas el nukleaj reakcioj ligitaj al la konverto de hidrogeno en heliumon per nuklea fuzio. El tiuj reagoj rezultas la produktado de granda kvanto de energio, parte varmo, parte lumo. Ni ankoraŭ ne regas tiun procezon sur la Tero sed ni strebas al tio. En 2003 la ĉefaj sciencdisvolvitaĵoj landoj decidis lanĉi komunan esplorprojekton por studi fareblecon de nuklea reaktoro bazata sur la procezoj okazantaj en la Suno. Tiu projekto funkcias, ĝi nomiĝas ITER (Internacia Termonuklea Eksperimenta Reaktoro) kaj estas instalata en la sudo de Francio. 35 landoj partoprenas la projekton. La unuaj gravaj rezultoj estas atendataj por 2035. Praktika realigo de energia fonto per tiu principo ne eblos antaŭ la dua duono de la jarcento.

Jam en la antikvaj tempoj, estis konata la ebleco uzi la sunradiojn por varmiĝo tra koncentriĝo de tiuj radioj pere de speguloj, kaj poste pere de lensoj. Tiu tekniko kulminis kun la konstruado de granda suna forno en Odeillo, suda Francio, en 1969 kun la celo ilustrati la potencon de suna energio. En la centro de la enfokusigitaj radioj, la intenso estas 10 000oble pli granda ol en la nekoncentritaj radioj. Tio ebligas fandi ĉiujn ajn materialojn. La forno estis uzata por esploro en materialscienco. Plej simplaj aparatoj estas uzataj nuntempe por varmigi akvon kiu cirkulas en hejtiloj de domoj aŭ fabrikoj. Ekzistas ankaŭ elektraj centraloj en kiuj la koncentrata sunenergio estas uzata por varmigi oleon, poste vaporon, kaj fine elektron. Suncentraloj taŭgas nur por landoj kun multe da sunradiado. La efikeco de tiuj centraloj atingas ĉirkaŭ 15%.

Nova etapo aperis en la komenco de la 21a jc kun la disvolviĝo de sunpaneloj por transformi sunenergion en elektron. La efikeco kiu atingas ĉirkaŭ 20 % restas relative malalta sed kontinue kreskas dank'al multaj esploralaboroj.

En tute la rekta uzo de sunenergio reprezentas nur kelkaj procentoj de la nuntempe uzata energio. Laŭ la internacia komisiono pri energio en 2050, 16% de elektra energio estos produktata per transformado de sunenergio [ref. 2].

4. Artefaritaj fontoj de lumo

Dum la plej granda parto de la homa historio, artefarita lumo estis produktita pere de bruligado de ligno, kaj poste de oleo, fine de gaso. Ekde 1880 elektro iĝis la plej praktika tekniko por produkti lumon.

La unuaj elektraj lampoj estis bazitaj sur inkandesko aŭ lumemisio de varmaj materialoj. La malavantaĝo estis ke nur 5 procentoj de uzata energio estis utila por produkti lumon, la kroma parto eliris kiel varmo. La uzo de halogenoj kaj aliaj gasoj ebligis atingi 30% de efikeco en la transformo de elektro al lumo.

La lasta paŝo estis la uzo de solidaj duonkonduktantoj por fari lumon per luminesko. La fenomeno de lumemisio de tiu materialo estis konata ekde la komenco de la 20a jc, sed la ebleco produkti lumon en la tuta videbla spektro aperis nur en la fino de la jarcento kiam tri japanaj sciencistoj, I. Akasaki, H. Amano kaj S. Nakamura, sukcesis produkti intensan bluan lumon pere de InGaAs duonkonduktanto. La produkto de la du aliaj koloroj necesaj por fari

blankan lumon jam ekzistis per tiu sama teknologio. La tri fakuloj ricevis la Nobel premion en 2014 pro tiu invento [ref. 3].

La lumo produktata de la supre menciitaj lumfontoj havas tiun malavantaĝon, kiu estas granda dispartigo en spaco kaj tempo. Por uzi tiun energion por aliaj aplikaĵoj ol iluminado, preciza kontrolo de la ecoj estas deviga. Tion ebligis la plej grava fonto por la nunaj teknologioj, t.e. la lasero kiun ni prezentas sube.

5. Lasero

La nomo lasero devenas de la angla akronimo « *Light amplification by stimulated emission of radiation* » Lum-Amplifo per Stimulata Eligo de Radioj). La historio de tiu extraordinara lumfonto komenciĝas en 1917 kun la teoria malkovro de Albert Einstein kiu postulis la ekziston de nova formo de lumemisio, kiun li nomis stimulata emisio. La situacio estas la jena por ke tia emisio okazas. Unue oni devas elekti taŭgan materialon. Gasoj kiel karbondioksido aŭ miksaĝo de helio kaj neono povas esti uzataj. Tiu materialo devas ricevi energion en formo de elektra kurento aŭ ordinara lumo, por atingi staton de energia malekvilibro. En tiu situacio okazas ke se ekscitita materia partiklo (atomo aŭ molekulo) interagas kun fotono de specifa energio, estas certa probableco ke la materialo generas novan fotonon kun la ekzaktaj ecoj de la alvenita fotono. Antaŭ la interago estis unu fotono, kaj poste estas du identaj fotonoj. Poste, la du fotonoj povas stimuli emision de du aliaj, ktp kaj la intenso rapide kreskas. Tial la amplifo de radiado eblas.



**Albert Einstein
(1917)**

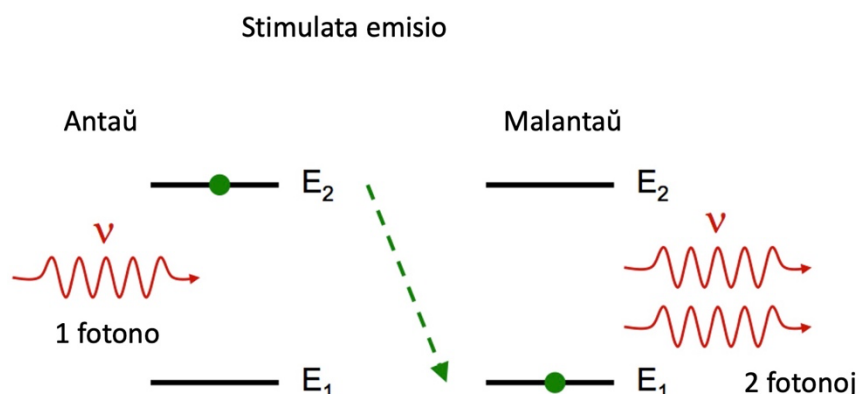


Fig. 1 : La efiko de stimulita lumemisio malkovrita de Albert Einstein en 1917.

La efiko okazas en situacio kie materia partiklo estas jam ekscitata de iu formo de energio (fotono aŭ elektrono); ĝi okupas energian nivelon E_2 kiu ne estas la plej malalta E_1 kiun ĝi normale okupas en ekvilibra situacio. Einstein teorie malkovris ke tiu partiklo, se ĝi renkontas novan fotonon kun la energio $\Delta E = E_2 - E_1$, povas, kun certa probableco, eligi duan fotonon kiu havas la ekzaktajn ecojn de la ricevita fotono. Tio signifas ke la kvanto de lumaj partikloj estas duobligata pere de la ekscitata materio.

Praktika observado de la efiko priskribita de Einstein ne tuj okazis kaj neniuj divenis la gravecon de tiu efiko rilate al novaj uzoj de lumo. Nur en 1950 estis publikigita priskribo de procezo de ekzisto de iu materialo por ke ĝi estu preta por produkto de sufiĉe granda kvanto da lumo pere de la efiko de stimulata emisio. Tio estis la rezulto de la esplorado de la franca fizikisto Alfred Kastler kiu ricevis la Nobel premion pro tio en 1966. La efektivigo de la unua fonto de kohera lumo okazis en 1953 fare de la usonaj fakuloj J. P. Gordon, H. J. Zeiger kaj H.

Townes. La radiado ankoraŭ ne estis videbla lumo, sed EMO en la mikroonda parto de la spektro. Videbla lasera lumo aperis la unuan fojon en 1960. La sukceso alvenis de la usona fizikisto Theodore Maiman kiu uzis kristalon de rubeno, enhavanta kelkajn elcentojn de aluminiiaj jonoj.

Kvankam aplikaĵoj de la nova invento ne tuj aperis, multaj tipoj de laseroj estis inventataj dum la sekvantaj jaroj. La unuaj estis kristalaj kaj gasaj, kaj poste aperis diodaj laseroj, en la komenco kun tre malgranda efikeco. La plej novaj kaj efikaj laseroj estas la t.n. fibraj laseroj ĉar la uzata materialo havas la geometrion de optika fibro por pli efike preventi la eskapon de la eligitaj fotonoj.

La baza principo de lasero estas relative simpla laŭ inĝeniera vidpunkto se oni elektis la taŭgan materialon. Jen sube la ekzemplo de kristala lasero. La kora parto estas la aktiva materialo en kiu aperas stimulata eligo de radiado. Ĝi havas cilindran formon kiu favoras la lumon laŭ unu direkto. Apud la kristalo estas fiksitaj fulmlampoj por ekscitado. La eligita lumo estas kaptita pere de du speguloj, kiuj formas resonancan kavon. Unu el la speguloj estas parte travidebla por ke parto de la lumo enfermita en la kavo eblu eliri.

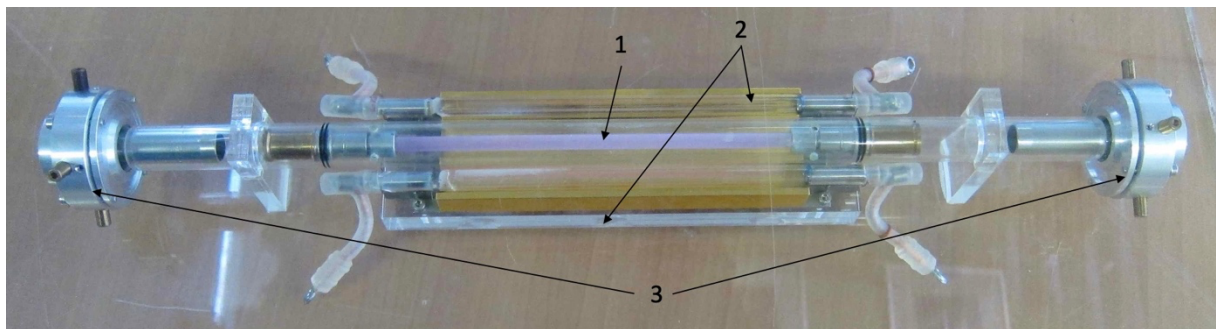


Fig. 2 : Kristala lasero.

Ĝi konsistas el tri partoj. 1 : aktiva materialo (ekzemple, rubeno enhavanta kelkajn elcentojn de $\text{Al}_2\text{O}_3^{++}$ jonoj. 2: fulmlampoj por la ekscitado. 3. Resonanca kavo konsistanta el du speguloj, unu 100% reflektanta, la alia parte travidebla.

La inventado de lasero ebligis precizan kontrolon de ĉiuj ecoj de lumo. La ĉefa malavantaĝo de “ordinara” lumo estas ĝia manko de kohereco. Tio signifas ke ĉiu ero de eligita lumo tute ne similas al la aliaj. La fotonoj iras al ĉiuj direktoj kaj iliaj individuaj ecoj ne estas ligitaj al tiuj de la aliaj. Sekve estas malfacile kolekti la tutajn fotonojn produktitajn de unu specifa fonto kaj fokusigi ilin sur malgranda surfaco por havi efikon kiu dependas de la kvanto de energio. Malkohereco estas avantaĝo nur por iluminado kaj formado de bildoj kiujn ni uzas por koni la mondon ĉirkaŭ ni. Kiam granda kohereco kaj intenso estas deviga, tiam ordinara lumo ne estas utila. Post la invento de lasero, centoj da novaj uzoj de lumo iĝis eblaj. Ne eblas listigi la tutajn aplikaĵojn de laseroj nuntempe. Kontinue aperas novaj. La kialo estas ke la lasera lumo estas la formo de energio kiu permesas la plej altan koncentriĝon en la spacon kaj en la tempon.

Dank'al la spaca koncentriĝo lasero iĝis, ekde kvar jardekoj, komunan ilon en la industrio kaj oficejo. Ĉiuj konas la altan kvaliton de laseraj printiloj sed nemultaj konas la multoblecojn de laseroj por tranĉi, fandi, bori, poluri, glatigi iujn ajn materialojn. En mia laboratorio en Strasburgo, ni disvolvas procezojn por fari pli efikajn la teknikojn uzataj en industrio por konstruado de diversaj objektoj kiel aŭtoj, aviadiloj kaj ĉiuj aliaj pli simplaj [ref. 4]. Unu el la procezoj kiujn ni konceptis, estas la fabrikado de metalaj partoj el pulvo aŭ fadeno varmigata per la lasera radiado. La tridimensia (3D) presado el plasto estas ekde la komenco de la nuna

jarcento bone konata kaj pli kaj pli uzata. Malpli konata estas la 3D presado el metala. La intensa koncentrita lasera radiado ebligas rapidan fandiĝon de metala pulvero aŭ fadeno (Fig. 3). Tiumaniere oni povas fabrikii metalajn objektojn de ajna formo. La spaca kaj aeronautika industrioj multe interesiĝas pri tiu procezo.



Fig. 3 : Tridimensia presado el metala varmigata pere de lasera fasko.

(a) Rapida varmigo de metala pulvero aŭ fadeno

(b) Rezultas solidaj objektoj de ajna formo.

Industrio estas unu grava kampo por laseraj aplikaĵoj. Ĉiuj aliaj kampoj de homaj aktivaĵoj oferas eblojn uzi laserojn por pli rapidaj kaj efikaj rezultoj. Ekzistas multaj iloj en kampo de sano kiuj baziĝas sur uzo de laseroj. Ĥirurgoj uzas ilin por operacii diversajn organojn. En dermatologio ankaŭ laseroj estas tre utilaj.

Komunikado uzas lumon eligatan el diodaj laseroj por transdoni grandan kvanton da informoj pere de optikaj fibroj kiuj interkonektas domojn, oficejojn kaj fabrikojn de ĉiuj kontinentoj.

Metrologio estas kampo en kiu lasero trovis grandan utilecon ĉar por mezuri kaj realigi senkontaktan sensilon multe da energio ne estas bezonata, sed gravas ke la uzata ondo havas altan koheron.

Kompreneble, ankaŭ milita industrio multe interesiĝas pri la lasera tekniko ĉar lasero fasko ebligas tuj detrui minacan celon el granda distanco.

En la sekvanta paragrafo, mi prezentas unu tipon de lasero, kies disvolviĝon mi partoprenas dum mia esplorkariero, la femtosekunda lasero.

6. Femtosekunda lasero kaj ĝiaj aplikoj

Post la realigo de la unua lasero en 1950, inĝenieroj kaj fizikistoj provis realigi novajn laserojn uzante diversajn materialojn. Iliaj motivoj estis la produktado de altkvalita lumenergio por ke ĝi estu utila por novaj aplikaĵoj. Ili strebis akiri plej eble perfektan koheron por ke la energio povu esti koncentrita ĝis la teoria limo en spaco kaj en tempo. Unu el la defioj kiam mi komencis en la 80aj jaroj, estis la farado de la plej eble mallonga lumimpulso. Eta daŭro de iu signalo postulas larĝan spektron. Pro tio, uzo de tinktura materialo aperis tiutempe bona solvo. La teamo de Jean-Claude Diels, en kiu mi laboris en la Universitato de Suda Kalifornio havis bonan sperton de tiu tekniko. En 1982 ni sukcesis realigi lumimpulsojn kun daŭro de 60 femtosekundoj (60×10^{-15} sec) (Fig. 4) [ref. 5]. Por tio, ni enkondukis prismon sur

la vojo de la trabo ene de la ringoforma kavaĵo por povi variigi la longon de vitro trapasita per la pulsoj, kaj tiel kompensi negativan gruprapidecdisvastiĝon. La utileco de tiaj lumimpulsoj situas ekzemple en la studo de vivprocezoj kiel la fotosintezo en plantoj aŭ la procezo de vidado en la okuloj.

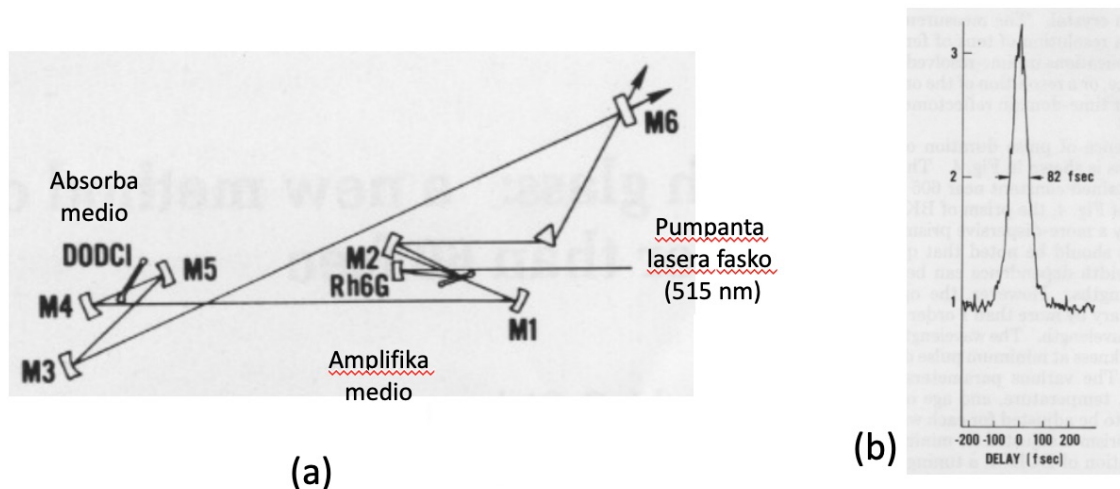


Fig. 4 :Femtosekunda lasero disvolvita de la aŭtoro teamo.

(a)– Lasera kavo konsistanta el 6 speguloj, prismo, amplifanta medio kaj absorbanta medio. (b)– Rekordo de memkorelacio de impulsoj.

Post la realigo de femtosekundaj impulsoj, la sekva defio estis la malkovro de pli praktika kaj efika amplifanta medio. Ankaŭ grava estis la generacio de mallongaj impulsoj kun alta kvanto de energio. Novaj ideoj estis proponitaj kaj la invento farita de D. Strickland kaj G. Mourou en 1985, Nobel premiita en 2018, kiuj sukcesis amplifi femtosekundajn impulsojn, ebligis la uzon de tiaj lumimpulsoj por vaporigi iujn ajn materialojn kun granda precizeco [ref. 6]. Rapide evidentiĝis ke la nova tipo de lasero povus esti uzata por fabriki aŭ modifi objektojn kun precizo neniam antaŭe atingita.

Du ekzemploj de uzo de femtosekundaj laseraj impulsoj estas ilustritaj sube. Fig. 5 montras kiel femtosekunda lasero estas uzata por vida korekto. Dank'al la mallongeco de impulsoj, la kornea kapoto povas esti tranĉita kun granda precizo. Post la korektado de la kornea kurbeco pere de ultraviola lasero, la kapoto povas esti tuj refiksita. La operacio daŭras nur kelkaj minutoj. Fig. 6 ilustras la utilecon de femtosekunda lasero por kuraci pacientojn kiuj havas arteriajn problemojn.

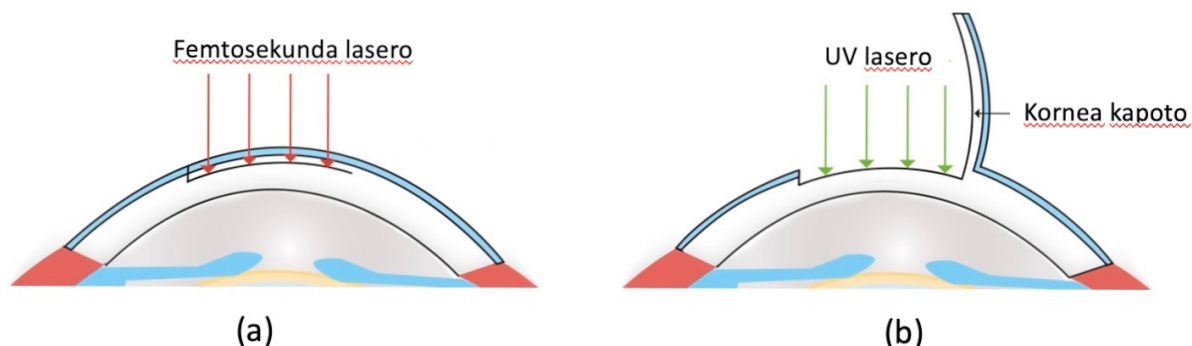


Fig. 5 – Lasera vida korekto. [ref. 7].

(a) - la kornea kapoto estas tranĉita pere de femtosekunda lasero.
(b) - Ultraviola lasero estas uzata por korekti la kurbecon de la korneo.

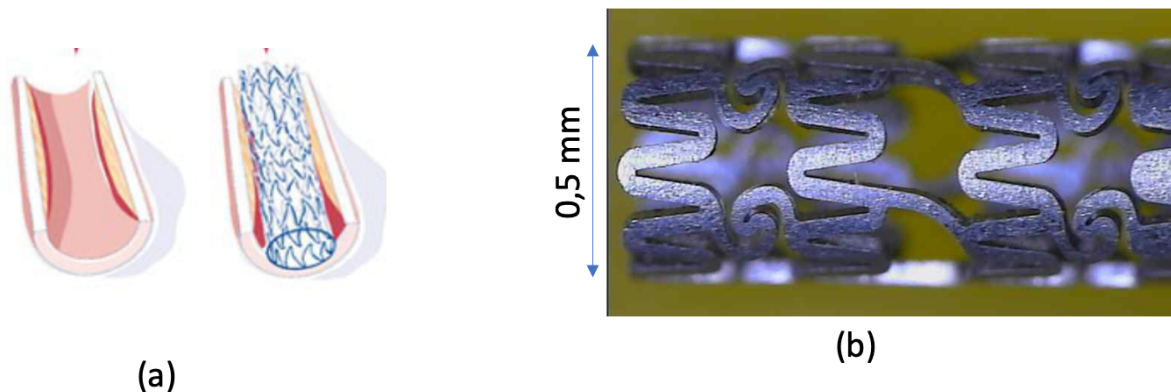


Fig. 6 : Realigo de medicina stento por malebligi lokan obstrukcon de fluo kaŭzitan per arteria ŝtopiĝo. (a) Kiam graso akumuliĝas en arterio, la sanga fluo povas ŝtopiĝi. Necesas enigi metalan tubeton (b) Femtosekundaj laseraj impulsoj ebligas fabriki etajn kaj malpezajn tubojn por larĝigi la kanalon kaj ebligi la sangon fluon.

7. Konkludo

Lumo estas fonto de energio esenca por la vivprocezoj kaj ankaŭ por la tutaj homaj aktivaĵoj. Tio ne ĉiam estis evidenta. Se tiu ento intrigis homojn ekde la apero de la konscio, estas nur en la fino de la 19a jc ke bela kaj kompleta teoria estis forĝita fare de la angla fizikisto Maksvelo. La teorio estis kompletigita en la unua duono de la 20a jc kadre de la kvantuma teorio de materio kaj radiado. Fine estas la malkovro, kaj poste realigo de la lasero, kiu ebligis uzi lumon, ne nur por fari bildojn kaj vidi la objektojn ĉirkaŭ ni, sed ankaŭ por komuniki, fabriki, kuraci, eĉ amuziĝi.

Citaĵoj

- [ref. 1]. "Fiziko-kemia kompreno de la koloroj en nia universoo – Orlando E. Raolo, Internacia Kongresa Universitato, K.U 3 AIS, p51-66, Lahtio, julio 2019.
- [ref. 2]. « Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy » International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014>
- [ref. 3]. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/>
- [ref. 4]. [Irepa] <https://www.irepa-laser.com>
- [ref. 5]. "Intracavity pulse compression in glass: a new method of generating pulses shorter than 60 femtoseconds"; J.-C. Diels, J. Fontaine, W. Dietel; Optics Letters Vol. 8, Issue 1, pp. 4-6 (1983) -<https://doi.org/10.1364/OL.8.000004>
- [ref. 6]. Compression of amplified chirped optical pulses. Donna Strickland Gerard Mourou - Optics Communications Volume 55, Issue 6, 15 October 1985, Pages 447-449
- [ref. 7]. <https://www.liemtrinh.com/58-lasik>