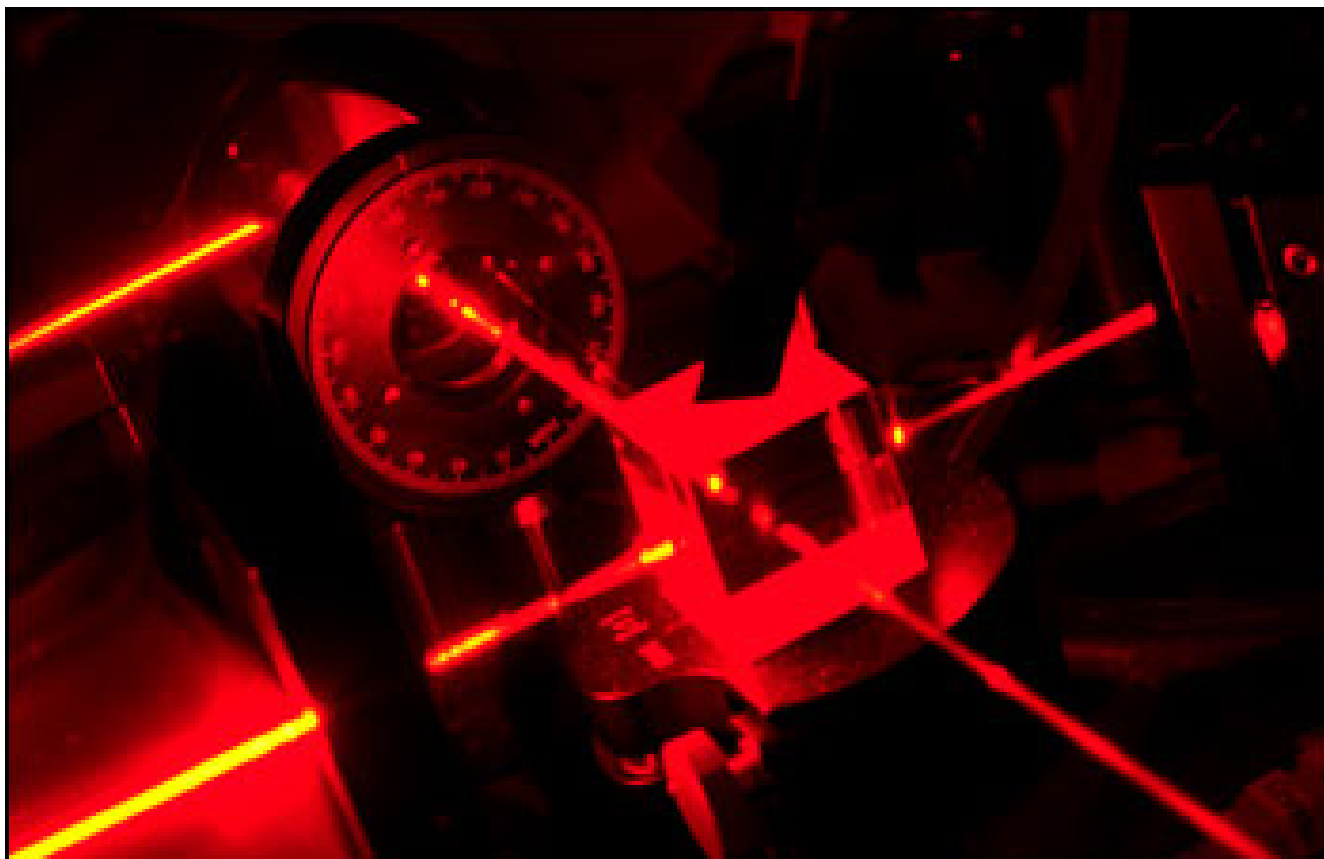




... mis muutsid maailma...

LASER

Mis?

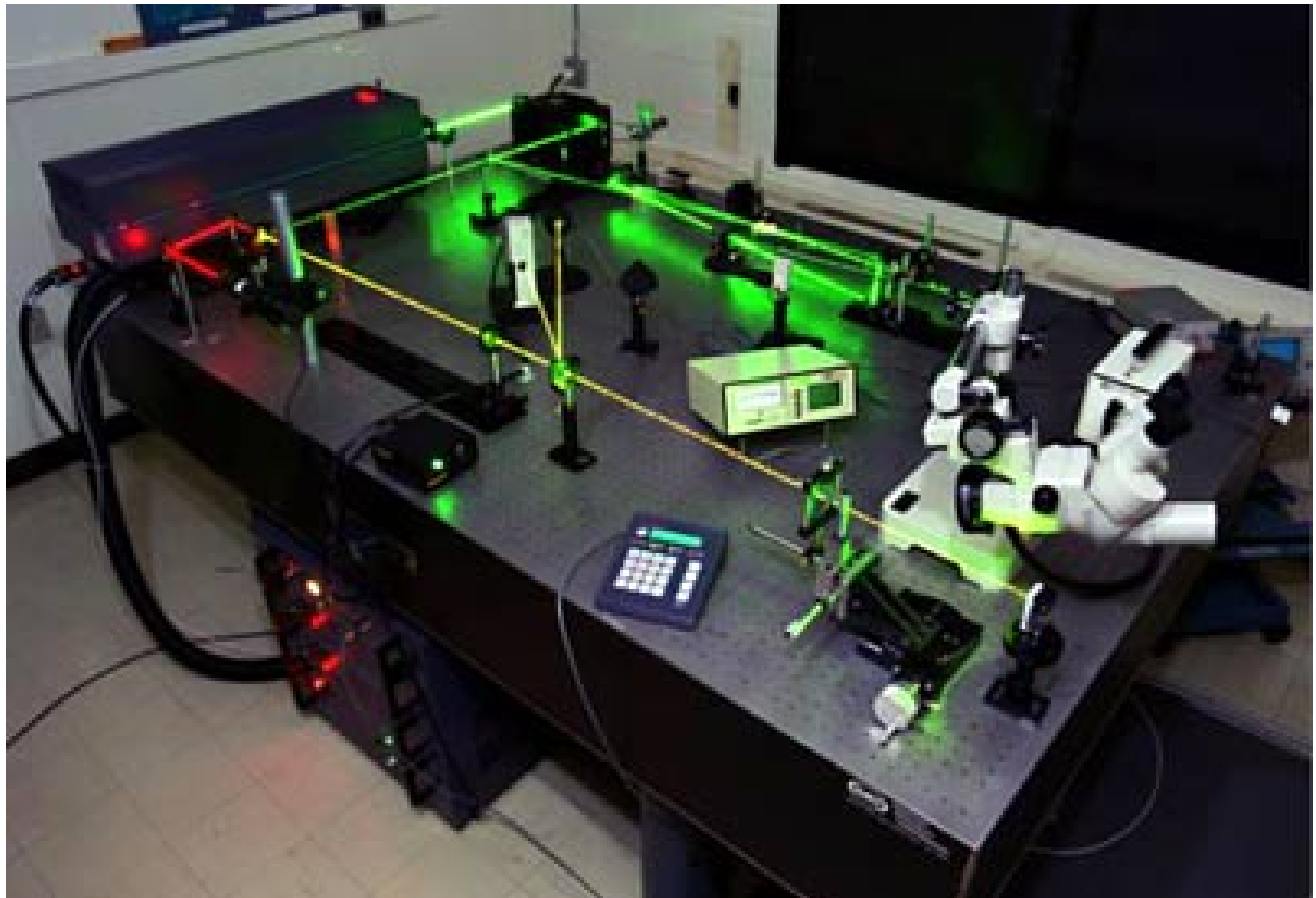
Kuidas?

Milleks?

Henn Käämbre
Tartu Ülikooli Füüsika Instituut
11. märtsil 2009
26. märtsil 2010

TÜ FI laserlaboris





Light

Amplification (Amplifier) by

Stimulated

Emission of

Radiation

Akronüüm, lühendsõna, vrd USA, NATO

- Valguse võimendus (võimendi) stimuleeritud kiirguse kaudu;
- võimendi → generaator

Vahepala

Laser 2600 a tagasi



Gaius Plinius Secundus

Rooma kirjamees ja teadlane Plinius Vanem (23 pKr...24.VIII 79 pKr):

“Laser** ... inter eximia naturae dona numeratum plurimis compositionibus inseritur” (Looduslugu XXII, 49)**

-Laser on üks imelisemaid looduse kinke, millel on palju kasutusviise.

-Peeti Apollo kingiks

-Tunti Vahemere mail umb 6. saj eKr – 2. saj pKr so pea 1000 aastat, Egiptuses ilmselt veel palju varem

Muistelaser



Laserpitium latifolium
(Apiaceae,
karvasputked)

Laserpitium Eestis



Laialehise kareputke
õisik ja ülemine leht

kareputk (*Laserpitium*), mitmeaastaste, harvemini kaheaastaste rohttaimede perekond sarikaliste sgk-st; u. 30 liiki pms. Euroopas, Eestis 2 liiki. Lääne-Eesti ja Saaremaa kuivadel puisniitudel ja salumetsades kasvav laialehine k. (*L. latifolium*) eelistab lubjarohket pinnast. Ahtalehist k-e (*L. prutenicum*, Eesti NSV PR) leidub pms. Tartu ümbruses. ▶

Muistelaser 3



Finland, Geta, Östergeta,
30.6.2005, Photo © [Harri Arkkio](#)



Ravimtaim (ms afrodisiakum, abortiiv), üpris mitmes. haiguste, mürgituste (mao-, skorpioni salvamine jm) ja vigastuste vastu

Maitsetaim, otsitud toidulisand

-Kasvas ainult Aafrikas Küreenes, kultiv ei õnnestunud

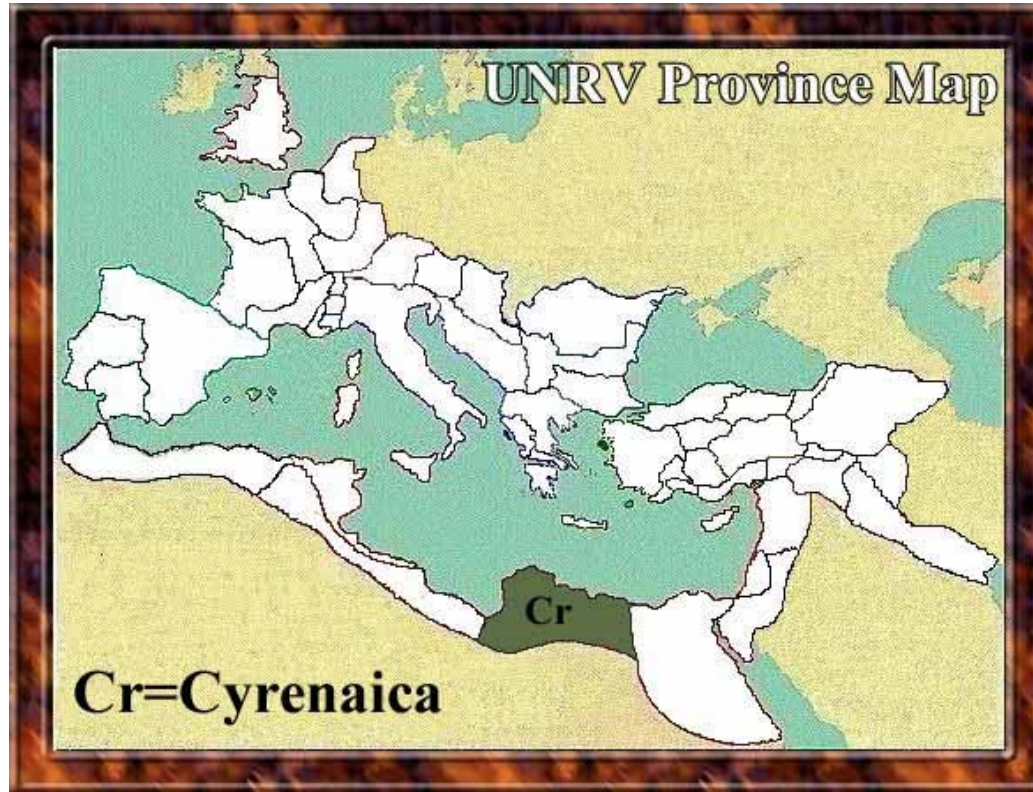
Inimtegevus viis tema väljasuremisele (üks esimesi väljasuretatud liike)

LAC SERPICIUM – serpiitsiumi piim

Kr silfion σιλφιον; Plinius: “Laserpicium, quod Graeci silphion uocant, in Cyrenaica prouincia repertum, cuius succus **laser uocatur”**

Lh vt Akadeemia 7, 1995, lk 2168-2174

Cyrenaica - Küreene

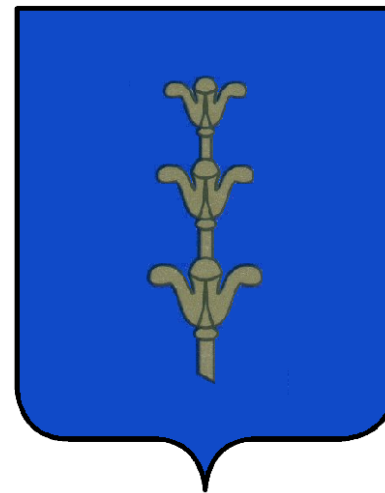


Asus nüüdse Liibüa aladel

Muistelaser



Silfioni seeme
Küree ne mündil
- süda (♥).



Il silfio d'oro reciso di Cirenaica
Sümbol Itaalia vägedel Aafrikas
II maailmasõja ajal

Mis?

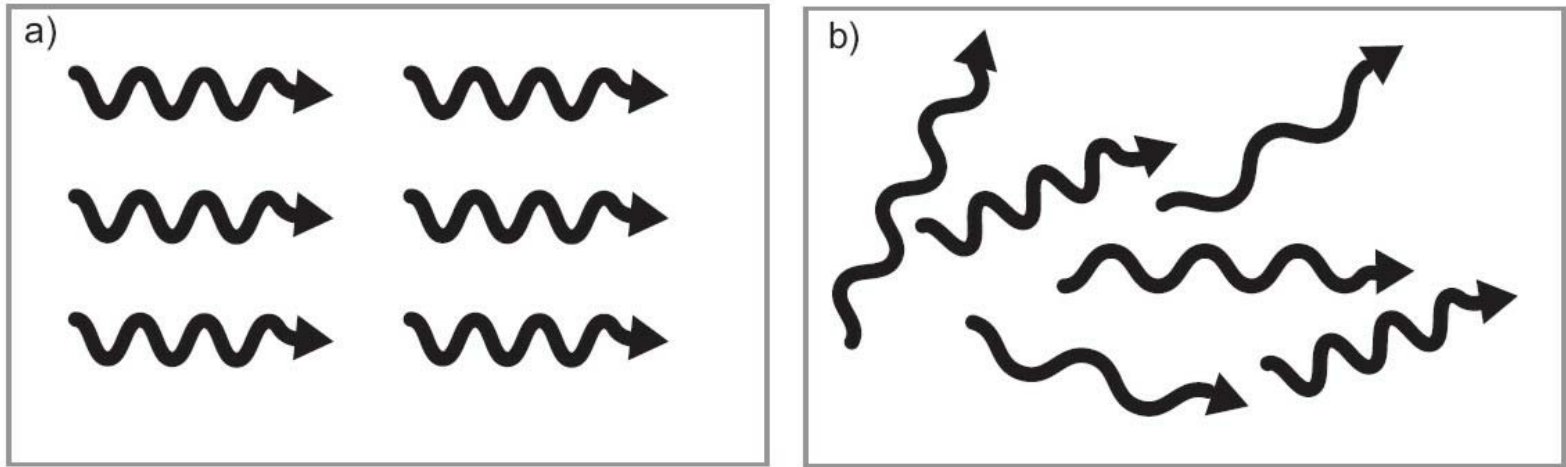
Laser on tehisvalgusallikas/kiirgusallikas,

mis eristub teistest valgusallikatest, tavavalgustitest (hõõglamp, luminescentslamp, neoontoru jt) selle poolest, et kiirgab kitsaid (suunatud) valguskimpe, mis on koherentsed, monokromaatsed ja võivad olla üli eredad (intensiivsed).

Laserikiirt saab ülimalt koondada ruumis (ülipeeneks – μm suurusjärgus valgustäpiks) ja ajas (piko- koguni femtosekundi -- 10^{-12} – 10^{-15} s -- suurusjärgus välkeks e impulsiks).

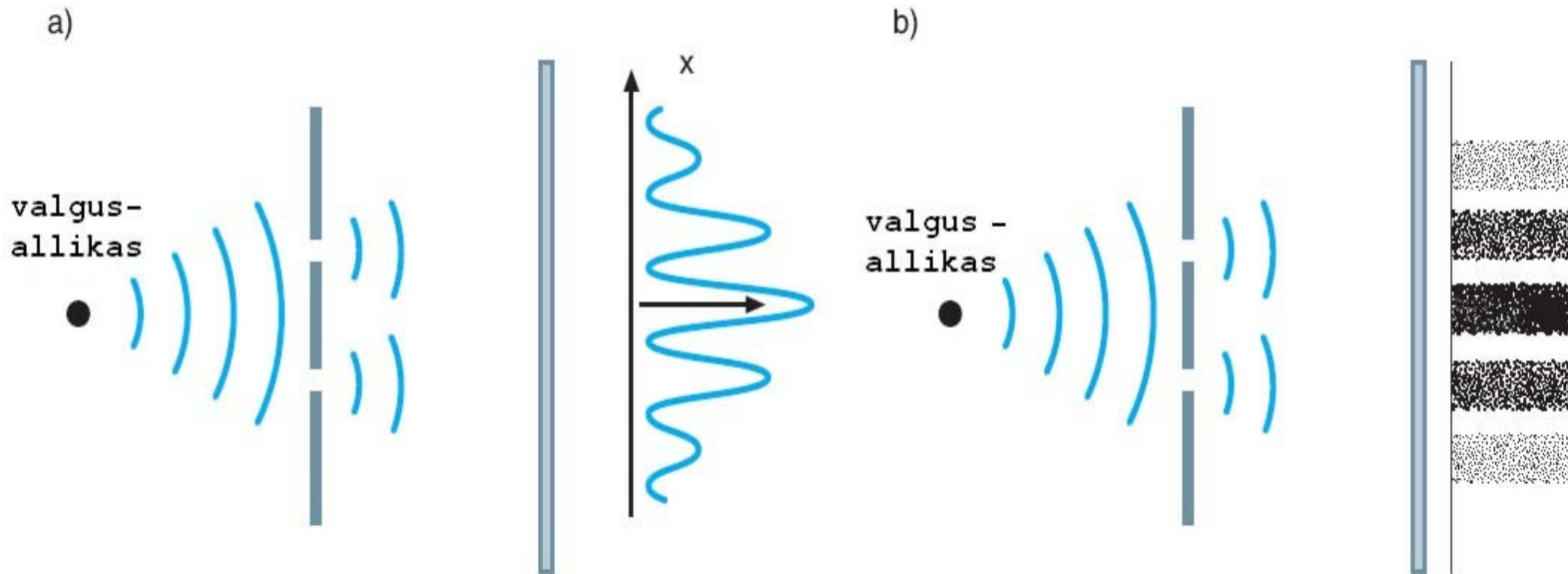
Koherentsus

Id *cohaerentia* - seostatus, kokkukuuluvus



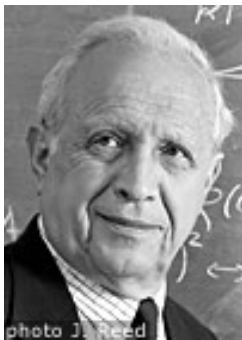
Koherentsed lained (a) võnguvad ühistaktis (muutumatu faasivahega, sama sagedusega), levivad kõik samas suunas, mittekoherentsed (b) – võnguvad kõik eri taktis (faasivahe ei püsi) ja levivad suvalistes suundades. **Koherentseid** valguslaineid kiirgavad **laserid**, **mittekoherentseid** – tavavalgustid (elektripirn, küünal.... ka Päike)

Interferents



LAINEPILDIS...

*... JA **FOOTONITE** PILDIS*



R.Glauber, kvantoptika isa, näitas (1963) teoreetiliselt, et valguse koherentsus tähendab footonite seostatust, korrelatsiooni. Footonid koonduvad just sinna, kus lainepildis on interferentsmaksimumid. Kvantoptika on kujunenud viljakaks uurimisvallaks. (Nobel 2005)

A promotional banner for the Albert Einstein Archives Online. The left side has a red background with a large black cursive signature of 'A. Einstein' and the years '(1879-1955)' below it. In the center, there is Hebrew text: 'חדש ממפעל הדיגיטציה!' (New from the digitization project!), 'ארכיון איינשטיין באינטרנט' (Einstein Archive online), 'מעל ל- 900 כתבי יד סרוקים ומאגר מידע ארכיוני מלא' (Over 900 digitized manuscripts and a full archival information database), and 'לחץ כאן' (Click here). Below this, in English, it says 'Visit Einstein Archives Online', 'Over 900 Digitized Manuscripts', 'Archival Finding Aid and Database', and 'Click here'. The right side of the banner is a black and white photograph of Albert Einstein standing on a balcony, looking down at a document he is holding.

A. Einstein
(1879-1955)

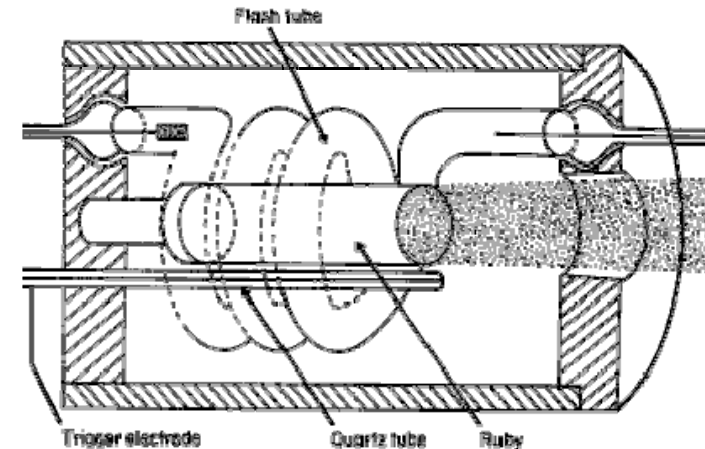
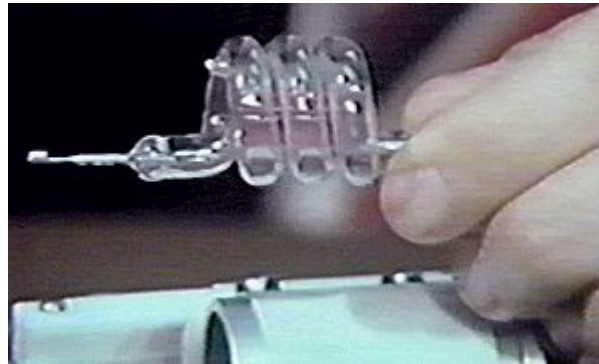
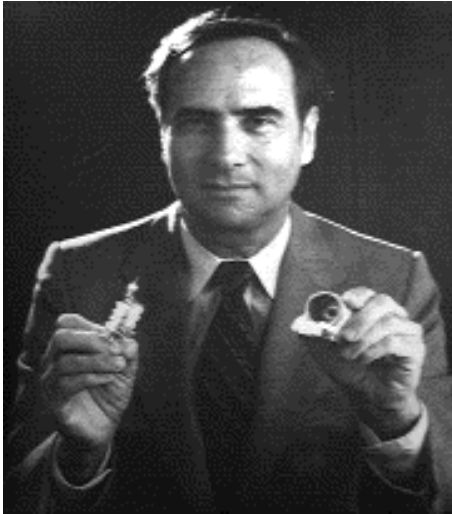
חדש ממפעל הדיגיטציה!
ארכיון איינשטיין באינטרנט
מעל ל- 900 כתבי יד סרוקים ומאגר מידע ארכיוני מלא
לחץ כאן

Visit Einstein Archives Online
Over 900 Digitized Manuscripts
Archival Finding Aid and Database
[Click here](#)

Albert Einsteini on vahel nimetatud ka laseri vanaisaks. Aastal 1916 näitas ta, et peale vabakiirguse peab looduses eksisteerima ka **stimuleeritud** e sundkiirgus.

Einsteini üliviljaka aasta 1905 järgi oli välja kuulutatud **rahvusvaheline füüsika-aasta 2005**.

Esmiklaser



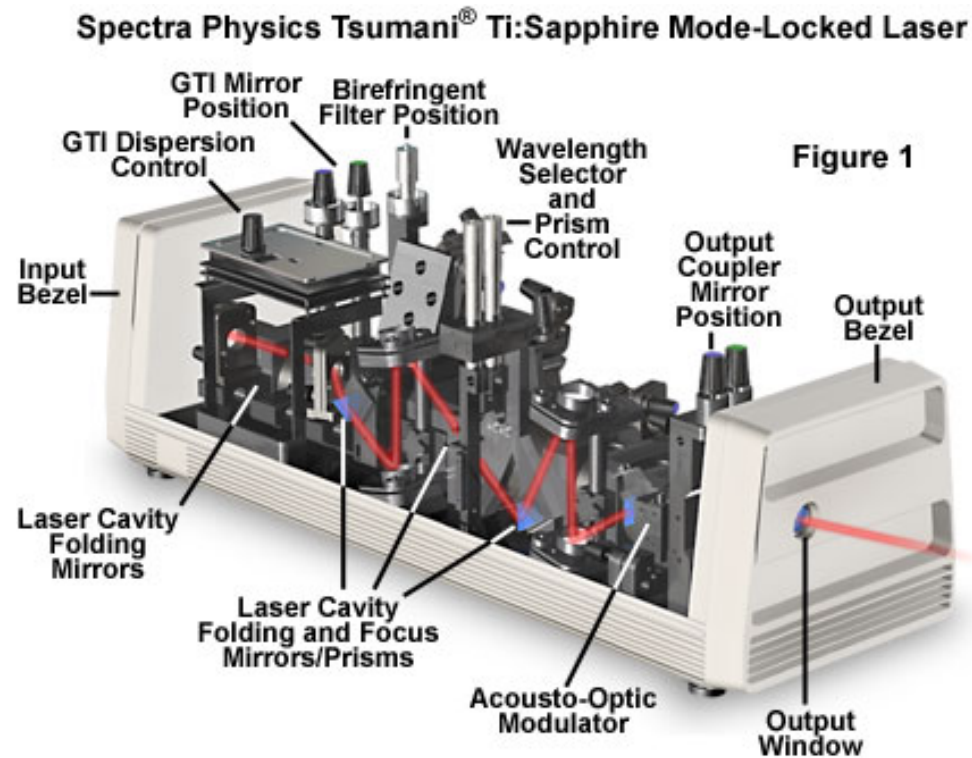
Theodore Maiman (1927-2007); USA

-- tegi suvel **1960** maailma esimese laseri – **rubiinlaseri (16.V1960)**.

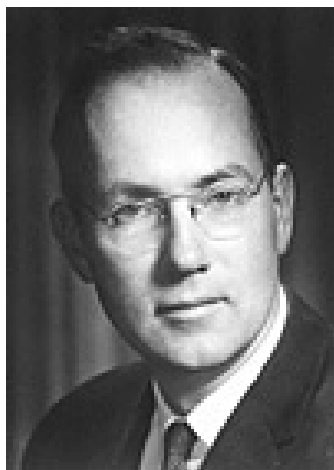
2010 -- laser 50

Rubiin: $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$; Cr: punane kristall, punane kiirgus, $\lambda = 634 \text{ nm}$

Üks nüüdislasereid



Maiman toetus teooriaalustele, mille andsid:



Charles Townes

* 1915, USA



Arthur Schawlow

1921 – 1999, USA



Aleksandr
Prokhorov

1916 – 2002

NSVL



Nikolai Bassov

1922 – 2001, NSVL

Townes, Bassov, Prokhorov – Nobeli preemia 1964;
Schawlow – 1981.



Gordon Gould
1920 - 2005,
USA

„irvikkiisu“

Tehnikahuvilise [ema](#) õhutusel huvitub noor Gordon leiutamisest, jumaldab Edisoni, Belli, Marconit, unistab ise leiduriks saada.

Töötades doktorantuuris Townesi käe all tutvub maserite printsiibiga. Tähetund ööl vastu 10 novembrit 1957: ta visandab märkmikku enamiku laseri printsiipe ja rakendusvõimalusi, vermib sõna LASER,

deponeerib märkmiku notariaalselt. 1959 esitab patenditaotluse – hilja, Schawlow ja Townes edastasid. Algab 30-aastane patendisõda, vist pikim ajaloos, mille Gould lõpuks võidab. Tema vastu olid laserifirmad, föderaalvalitsus. Kuid 1985. aastaks olid teiste patendid aegunud, ja Gouldi taskusse hakkavad litsentsitasudena voolama kümned miljonid. Fanaatiline sihikindlus ja jonnakus olid eesmärgile jõudnud.

Autokoormad toimikuid, otsuseid, patendid korda antakse, kord tühistatakse. Koguni Archimedesele vihjatakse.

Lähemalt: ajak *Luup*, 21. juuli 2000, lk 22-23.

Kuidas...

...laser toimib?

Laseri toimimise aluseks on stimuleeritud kiirgus

Siirded kahe valitud energiataseme vahel aatomis/molekulis

Kui tavaliselt käsitletakse elektrone energiatasemetel, siis aatomihulkade puhul, nagu laseris, tuleb vaadelda **aatomeid** energiatasemetel. Seejuures peame silmas muidugi aatomeid, mille ühel või teisel tasemel paikneb elektron.

Taset iseloomustab:

E – taseme **energia**

N – aatomite hulk tasemel, taseme **hõive e asustatus**

τ – aatomi (tema elektroni) püsimisaeg tasemel e taseme **eluiga**

Metastabiilne on ergastatud tase, millel elektron (aatom) püsib tavatult kaua, τ suurusjärgus 10^{-3} s, ergastatud tavataseme $10^{-8} \dots 10^{-9}$ s vastu.

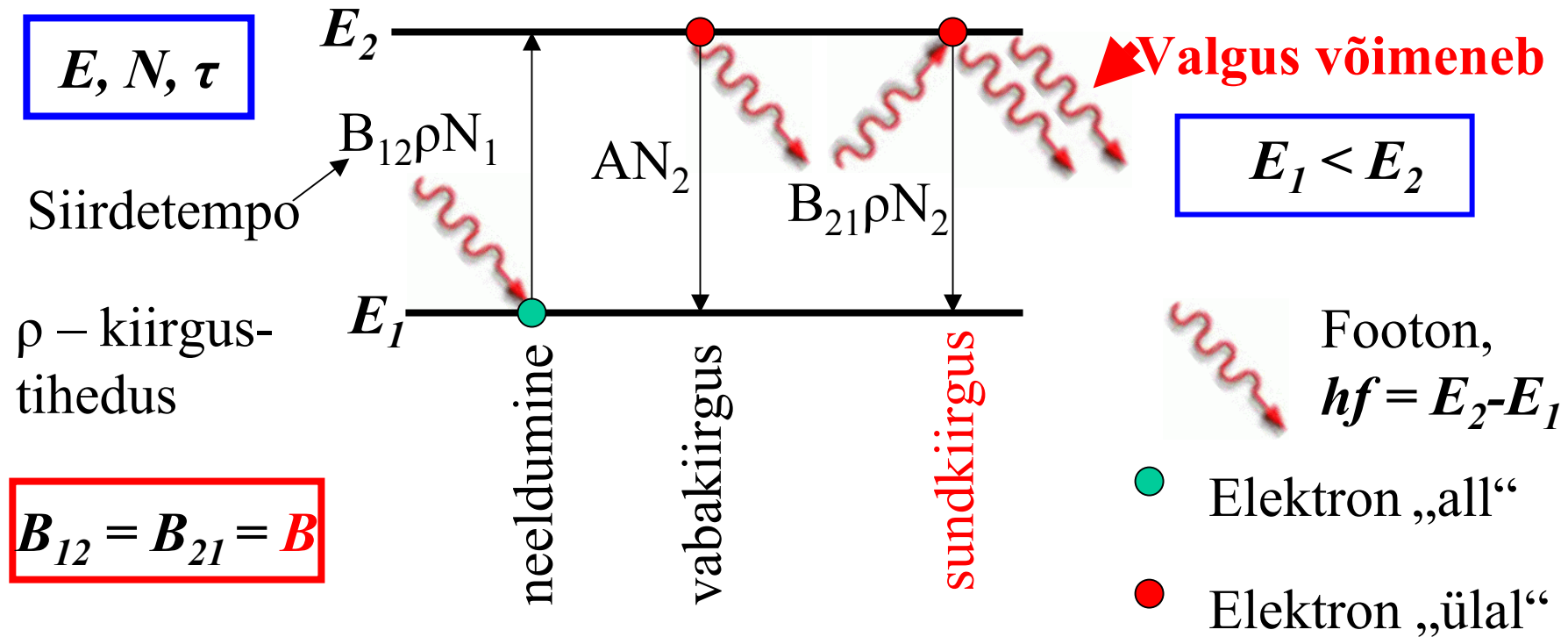
Põhjus: kvantmehaanilised siirdekeelud (keelureeglid).

Stimuleerima, stimulatsioon → sundima; *stimulus* – (lad.) astel /eeslite sörkima õhutamiseks/;

Stimuleeritud e indutseeritud kiirgus – sundkiirgus.

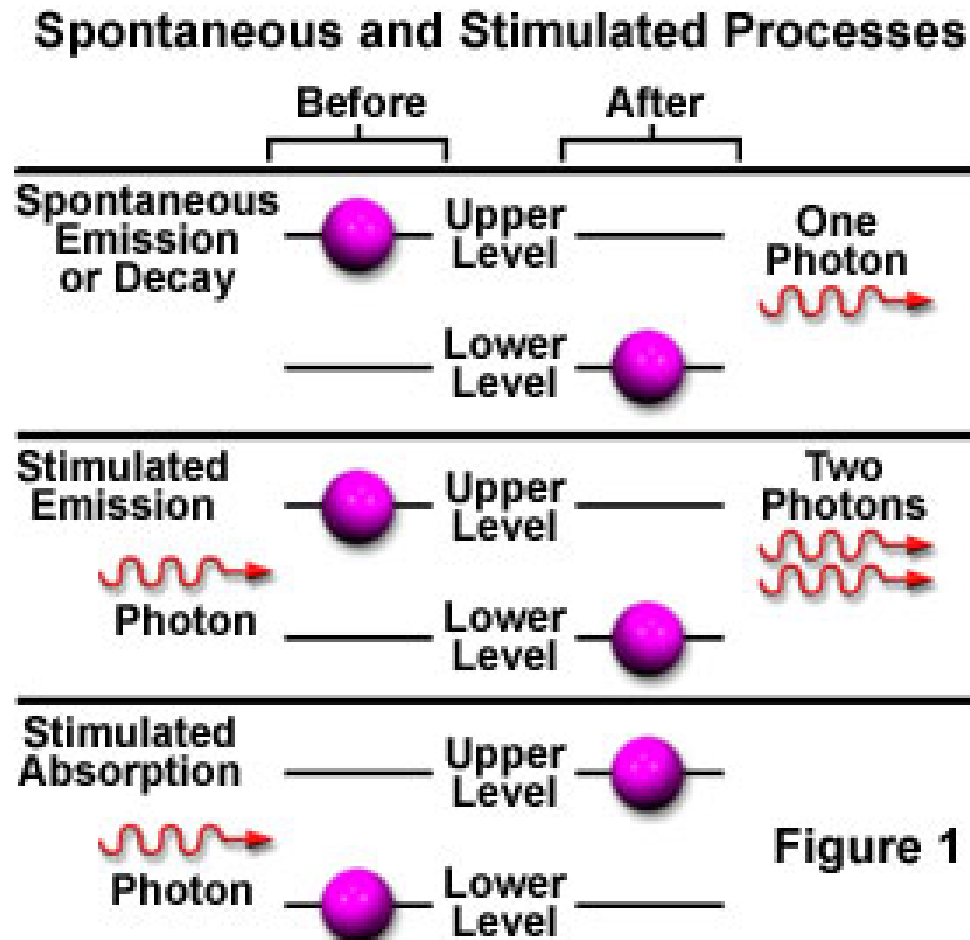
Vastand: Spontaanne kiirgus e vabakiirgus

Spontaanne → *sponte sua* – (lad.) vabal tahtel; *spontaneus* – (lad.) isetekkeline; indutseeritud → *inducere* – (lad.) sisse juhtima



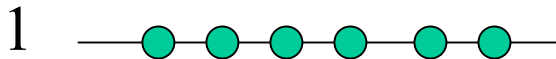
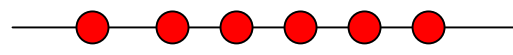
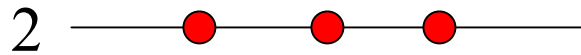
Sundsiirete tempo määrab: kas $N_1 > N_2$ või $N_2 > N_1$

Spontaanne siire ja stimuleeritud siirded



Kui neeldumise tõttu ainet läbiv valgus nõrgeneb, siis stimuleertud kiirguse tõttu ainet läbiv valgus tugevneb,
VÕIMENEB (negatiivne neeldumine).

Tavahõive... ja pöördhõive



$$N_1 \gg N_2$$

$$N_1 < N_2$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[-\frac{(E_2 - E_1)}{kT}\right]$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left[-\frac{(E_2 - E_1)}{-kT}\right]$$

$$T > 0$$

$$“T < 0”$$

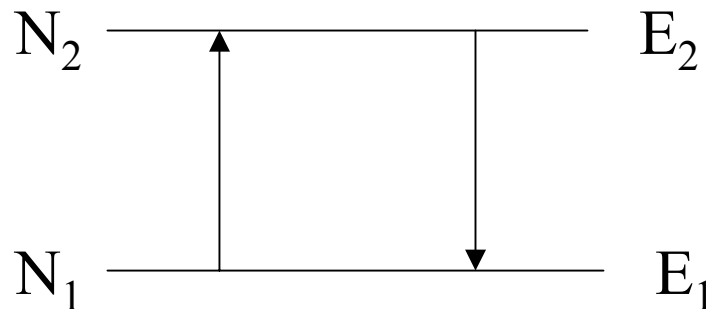
NEGATIIVNE ABSOLUUTTEMPERatuur

**Laseriehituse põhiprobleem:
kuidas saavutada pöördhõivet?**

Kas pöördhõive on saavutatav üksnes kahte energiataset rakendades, s.o. võimendada aktiivainele langevat kiirgust sagedusel $hf = E_2 - E_1$?

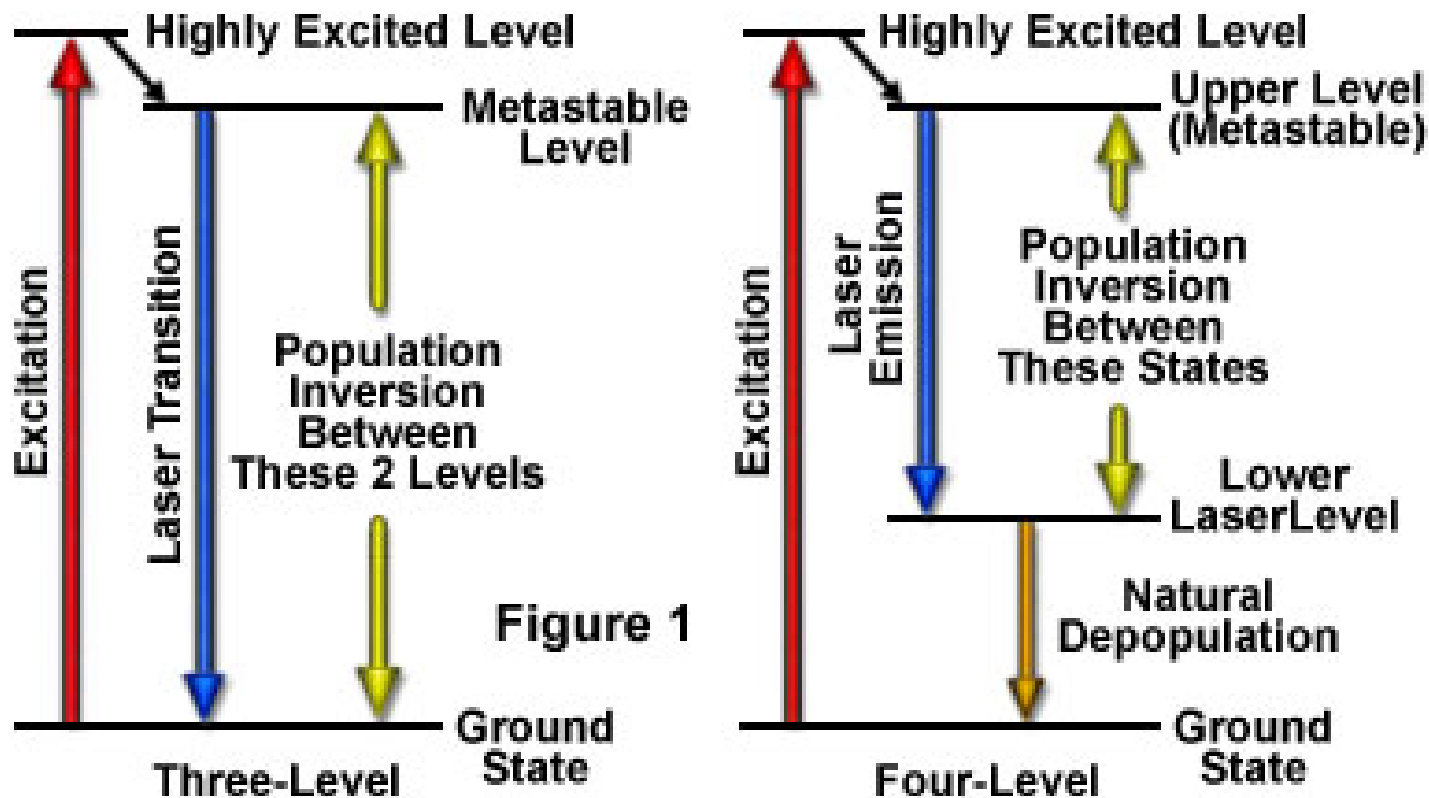
-- **Ei!**

Mida rohkem siirdeid „üles“, seda enam suureneb N_2 . Mida suurem N_2 , seda enam toimub siirdeid „alla“, kuni jõutakse tasakaaluni, $N_1 = N_2$, kuid mitte pöördhõiveni, $N_2 > N_1$. Tuleb rakendada aatomite vahepealsete kuhjumisladudena metastabiilseid tasemeid.

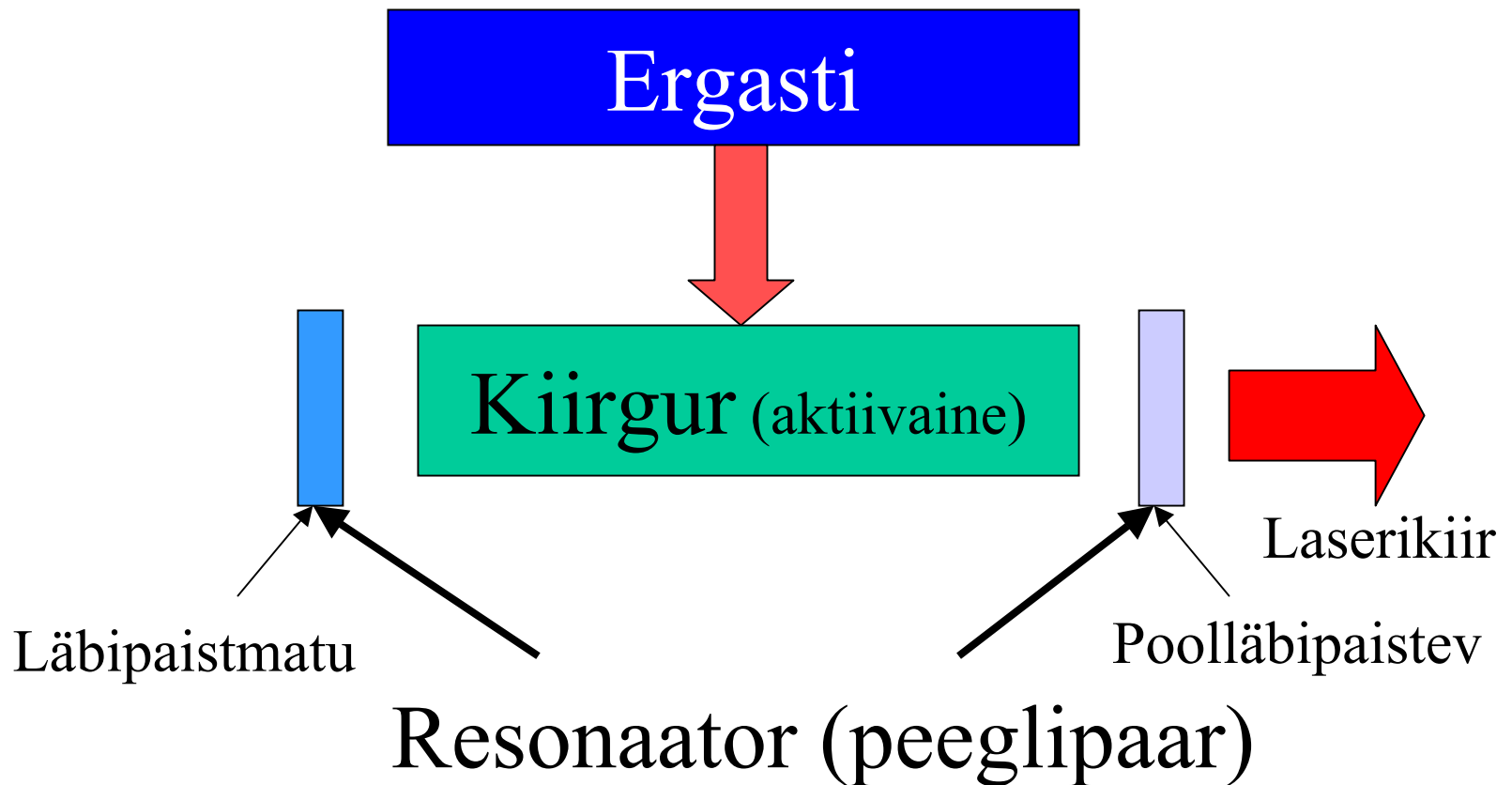


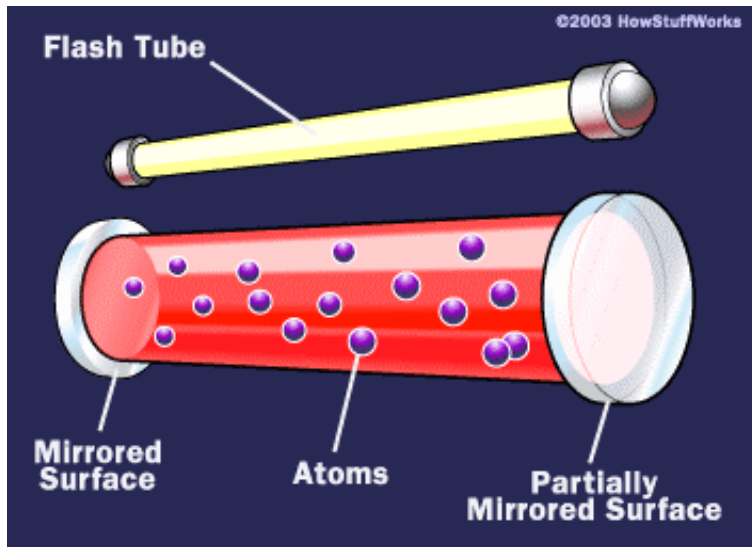
Kolmik- ja neliksiirdelaseri energiatasemed

Three-Level and Four-Level Laser Energy Diagrams

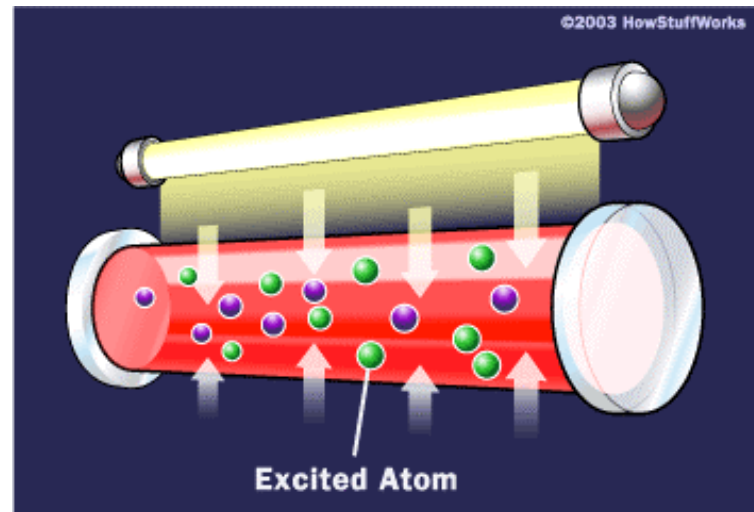


Laseri üldskeem

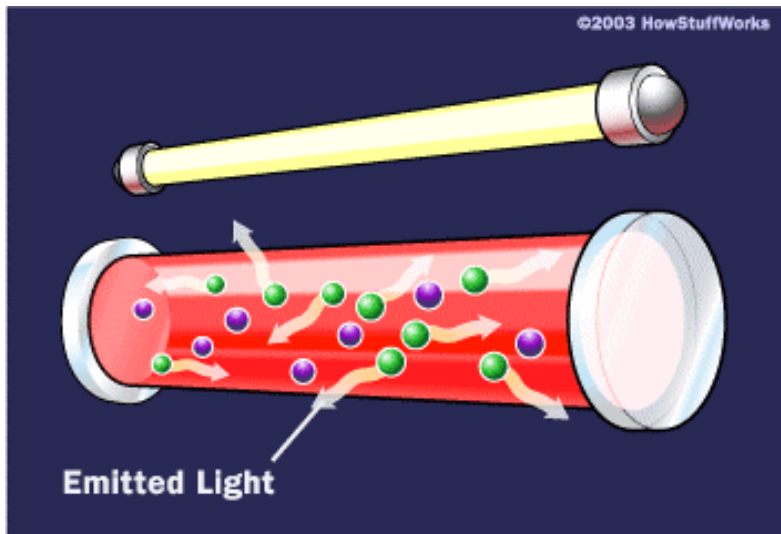




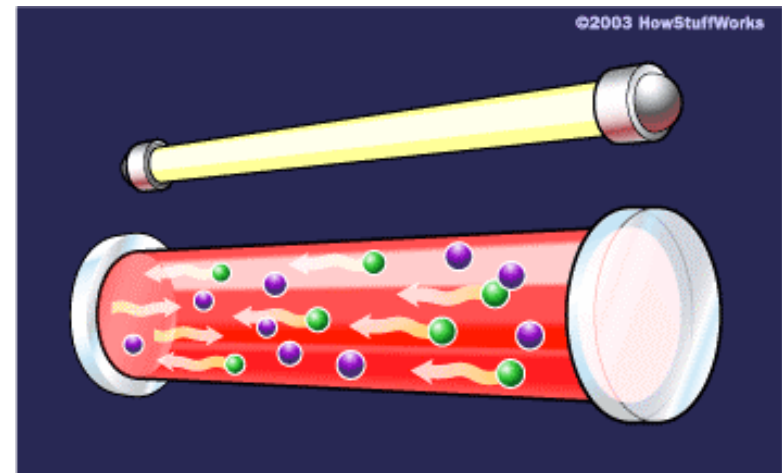
1. Stardivalmis rubiinlaser



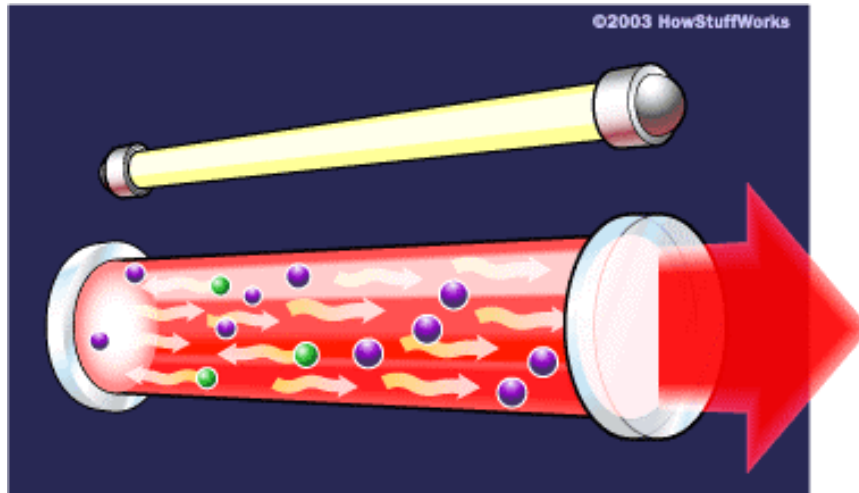
2.Väklamp sähvatas



3. Väklamp sähvatas,
ergastas aatomid pöörd-
hõivesse



4. Footonid pendeldavad peeglite
vahel, stimuleerides üha uusi
kiirgusakte, tekib kiirguslaviin



5. Valguslaviin, koherentne suunatud laserikiir väljub läbi poolläbipaistva peegli.

Suuna annavad kiirele peeglite telgjoon ja kiirguri pikergune kuju; võimenevad vaid pikisuunas levivad/peegelduvad valguslained (footonid), rist- või kaldsuunas levivad väljuvad kiirgurist võimenemata, laserikiirde lisandumata .

Laseriliike

Töörežiimi järgi:

- Välke- e impulsslaserid ($10^{-3} \dots 10^{-14}$ s)
- Alalislaserid

Kiirguri järgi:

- ☐ Tahkislaserid
- ☐ Gaaslaserid
- ☐ Vedeliklaserid (tellitava lainepikkusega värvlaserid)
- ☐ Pooljuhtlaserid (diodlaserid)

Ergasti järgi:

- ❖ Väklambiga
- ❖ Elektrivooluga gaasis
- ❖ Elektrivooluga pooljuhtdiodis
- ❖ Keemilise reaktsiooniga (kemolaserid)

Laserite iseloomulikke näitajaid

Erinevate laseritüüpide...

- ...kiirgus langeb **lainepikkuste** vahemikku 1000 μm ...3 nm, s.o. ulatub üle 6 suurusjärgu
- ... **võimsus** on 10^{-9} ... 10^{20} W (s.o. varieerub 29 suurusjärgu piires)
- ... **mõõtmed** varieeruvad juuksekarva läbimõõdust kuni suure hoone gabariitideni
- ... laserivälked võivad **kesta** üksnes 6×10^{-15} s ehk mõne femtosekundi

Kasutatavamaid laseritüüpe

Kiirgur (aktiivaine)	Ergastusviis	Lainepikkus (μm)
Pooljuhtdiod (GaAs/As jt)	Päri vool läbi diodi	0,6...50
Heelium- neoon	Gaaslahendus	0,633 jt
Neodüüm ilisandiga ütrium-alumiiniumgranaat või klaas $Y_3Al_5O_{12}:\text{Nd}^{3+}$	Välklamp	1,06
Süsinikdioksiid -lämmastik	Gaaslahendus	10,6
Värvlaserid (org. värvained)	Eksimeerlaser jt	muudetav (~0,4... ~1,0)
Argoon-kloor (eksimeer)	Gaaslahendus	0,175
Krüptoon-fluor (eksimeer)	Gaaslahendus	0,248

Veel eksimeerlasereid: KrI - 0,185; ArF - 0,193; XeCl - 0,308; XeF... 0,351;

Ütrium-safiir-laser ($Al_2O_3:\text{Y}$) 0,8 μm jt)

MILLEKS LASER KÕLBAB?

- Ravilaserid
- Sidelaserid
- Tööstuslaserid
- Uurimislaserid
- Olmelaserid
- Sõjalaserid

Kus kohtate laserit argielus?

Laserviip (ingl. *laser pointer*)

CD (kompaktplaat), CD-mängija

Kassaautomaat (vöötkoodi lugeja)

Mõõdutehnikas, ms maamõõdus

Kuu lokatsioon

Valgusside (optilised kiud, kiudkaablid)

Laservaatemängud
(laseršõud)

Hologrammid (turvamärgised rahatähtedel jm)

Ravilaserid

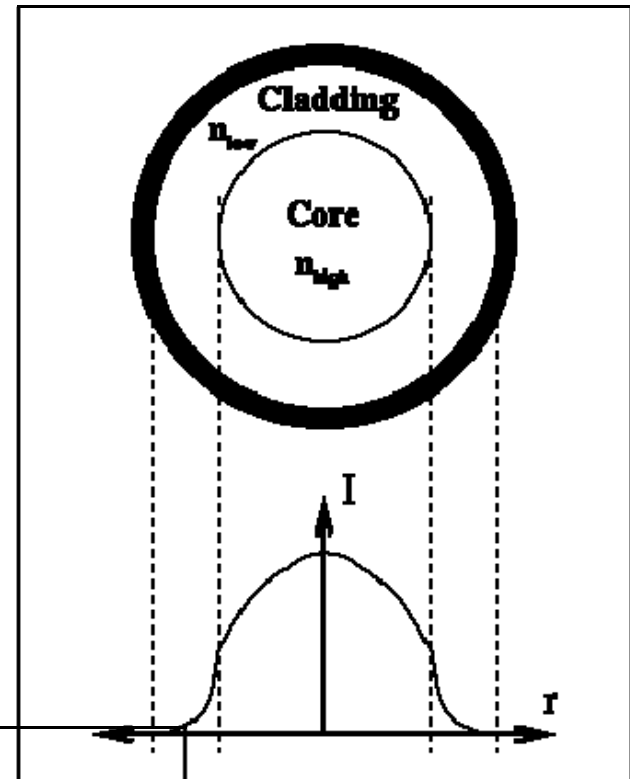
Kiudvalgusjuhe (optiline fiiber)



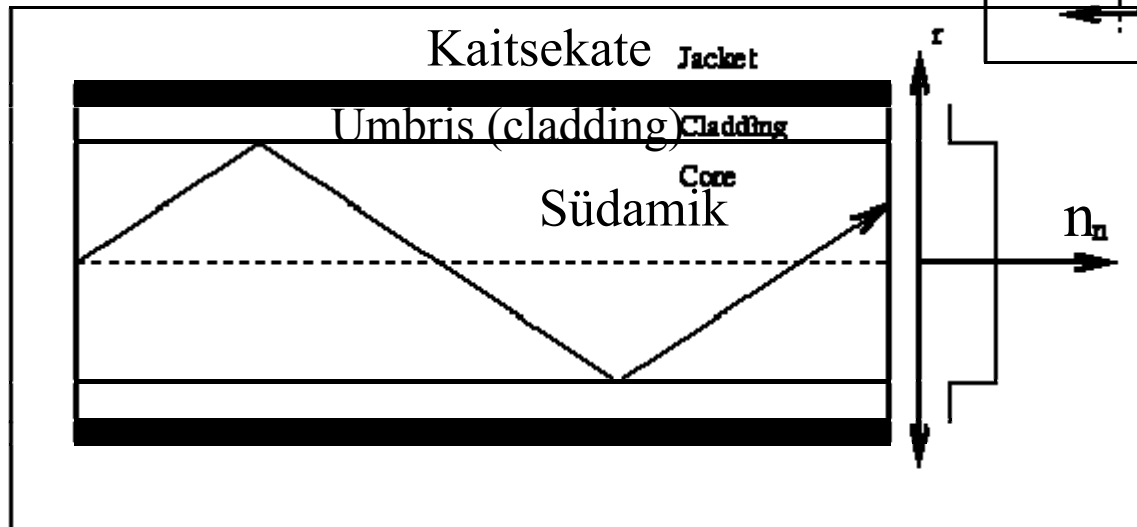
„Kokkukeritud valguskiir“

Kiudvalgusjuhtme...

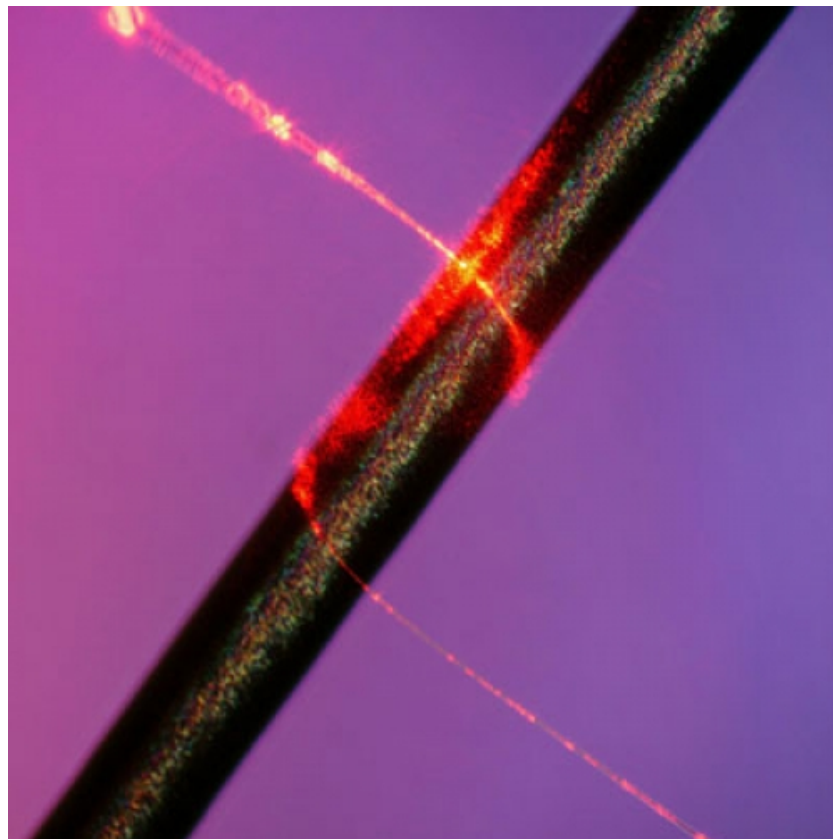
...ristlõige



... ja pikilõige



Spiraalvalgus



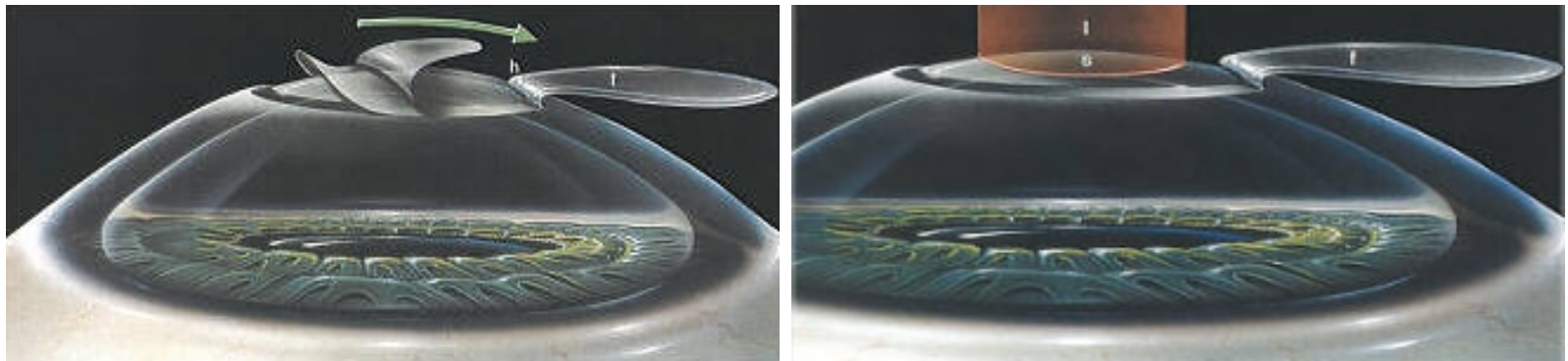
“Jäme toigas” on tegelikult juuksekarv

Laserkirurgia

- Oftalmoloogia – laser-silmaoperatsioonidega nt irdunud võrkkesta „tagasikeevitamine“ algasid 1960ndail laseri rakendused; glaukoomi ravi
- Laserskalpell – veretu, kauteriseeriv (kalgendav)
- „Võtmeaugu-operatsioonid“
- Hambaravis (nt valutu puur)



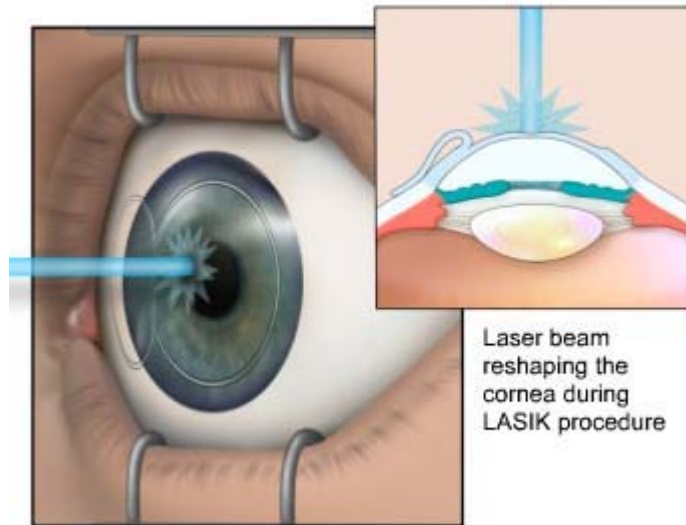
Laser-silmakirurgia



LASIK (Laser In-Situ Keratomileusis).

Kaheastmeline silmaoperatsioon

1) Lapi väljalõige; 2) töötlus
193 nm uv-laseriga



Laserteraapia

- Nahahaiguste ravi
- Sünnimärkide, tätoveeringute, nahakortsude kõrvaldamine („laser-iluravi“ maailmas eriti levinud, Internet: 1996 1 mln kosmeetilist lasermenetlust, 2000 aastaks oodati 3,4 mln).

Laserravi vaseaurude laseriga



TÜ nahahaiguste kliinikus, TÜ FI, Estla loodud
aparatuuriga

Laserravi II



Pigmendilaikude kõrvaldamine (Dr. M.Reidla)



Ekseemi kiiritus labakäel

“Laser-silm”

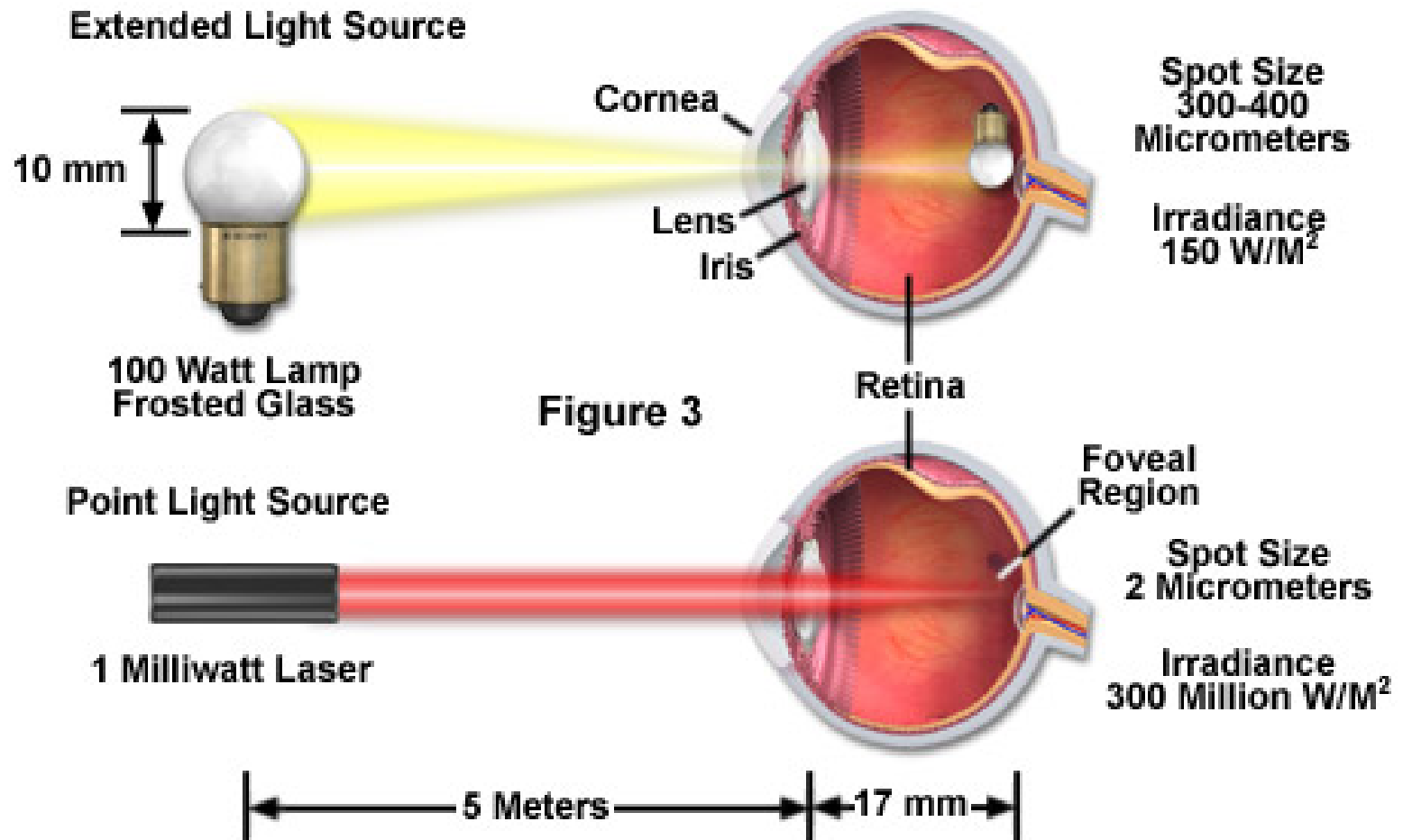


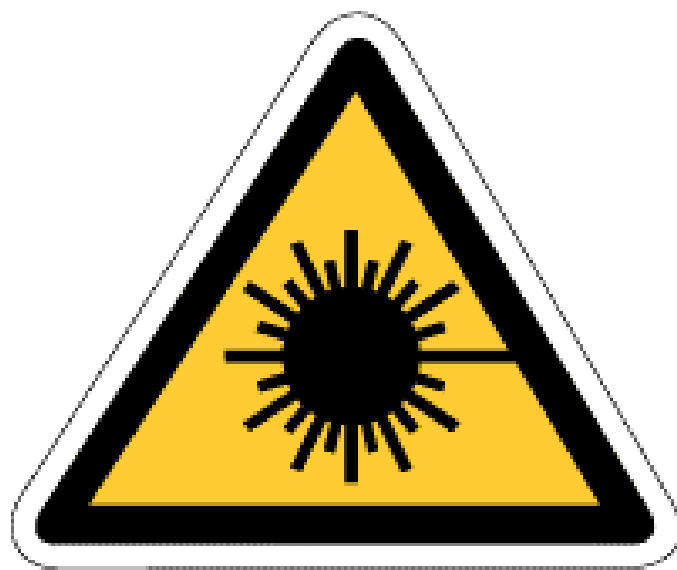
Pimedate abivahend tõkete, treppide jne leidmiseks; hoiatus - audiosignaal, tulevikus - taktiline signaal

D. Yuan and R. Manduchi, USA, 2005

**Tähelepanu! LASER ON
OHTLIK!**

Extended and Point Source Power Density at the Retina



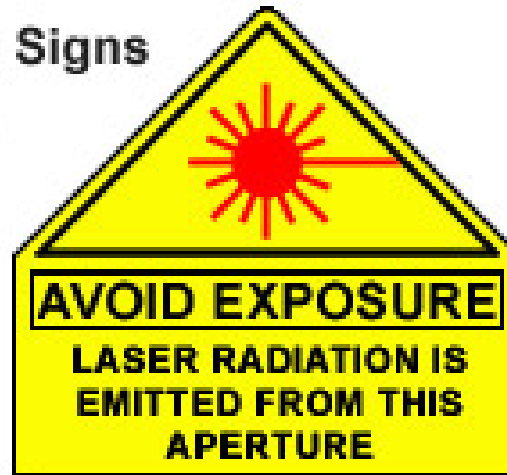
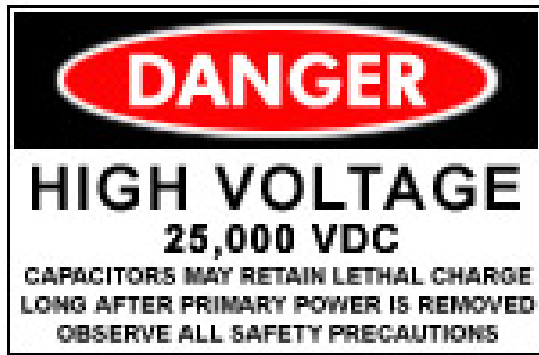


Ettevaatust, laserivalgus!

Laseriohu hoiatusmärgid

Laser Hazard Warning Signs

Figure 4



Laserside

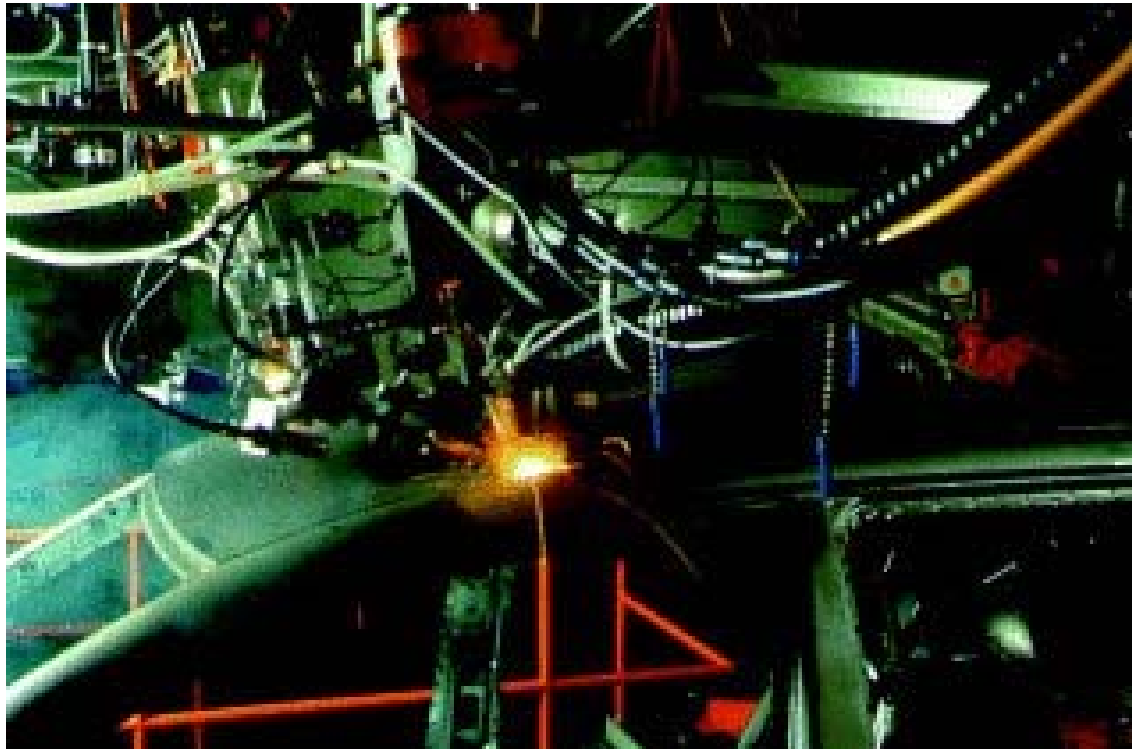
Pürgimine kõrgematele sagedustele (esialgu MASERid) sai tõukejõuks laserite loomisel

- Kollased postid teede ääres – kiud-valguskaablite tähis
- Telefoni-, faksi- ja arvutiside, **internet**
- Kaabeltelevisioon

MIKS valgusjuhtmed, mitte kiired õhus?

Tööstuslaserid

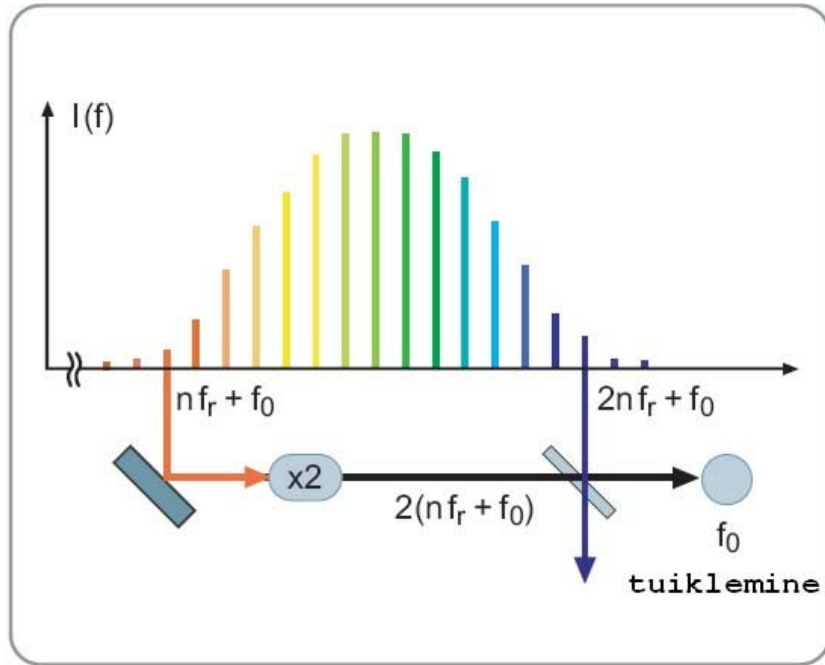
Laserkeevitus



Laser welding of the Passat at
Volkswagen, Emden

Teaduslaserid

“Laserkamm”



$$2f_n - f_{2n} = 2(nf_r + f_0) - (2nf_r + f_0) = f_0$$



John Hall



Theodor Hänsch

Nobel 2005

Valguse sagedus $f = 10^{15}$ Hz

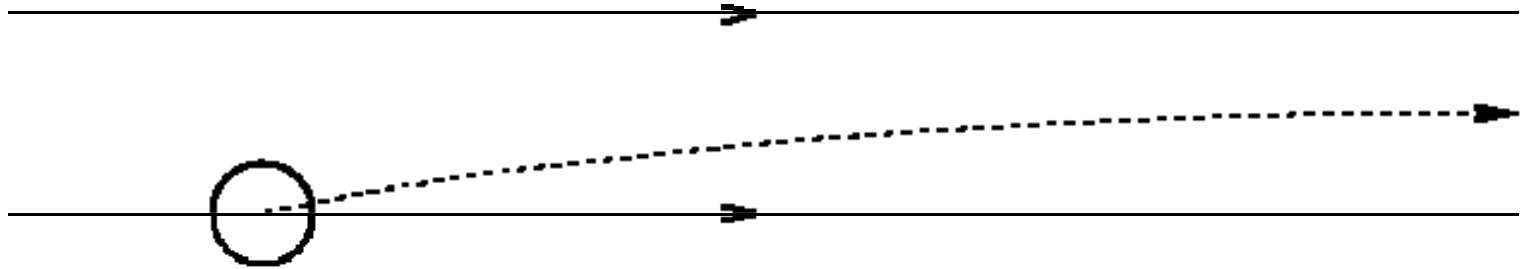
Laserkammi täpsus

(suhtviga) 10^{-15} , s.o valguse sagedust saab määrata ~ 1 Hz täpsusega

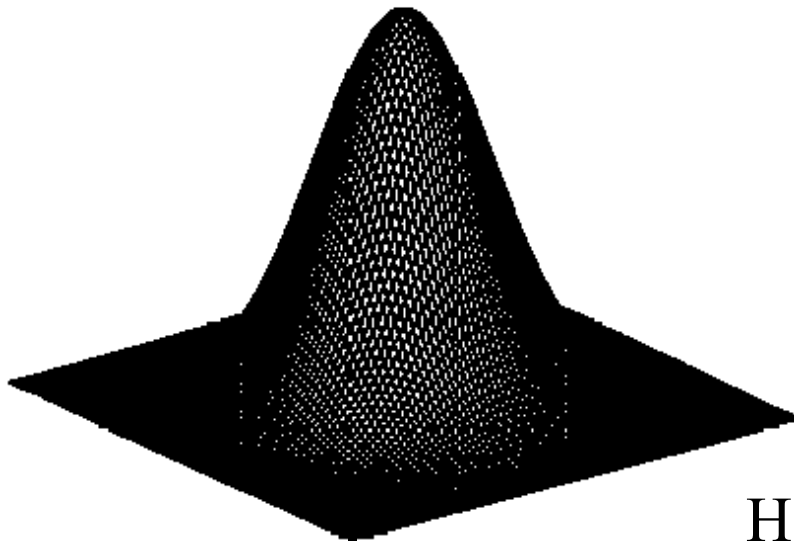
Bioloogia (raku- ja molekulaar-bioloogia, biomeditsiin)

- lasermikroskalpell
- laserpintsett

Laserpintsett I

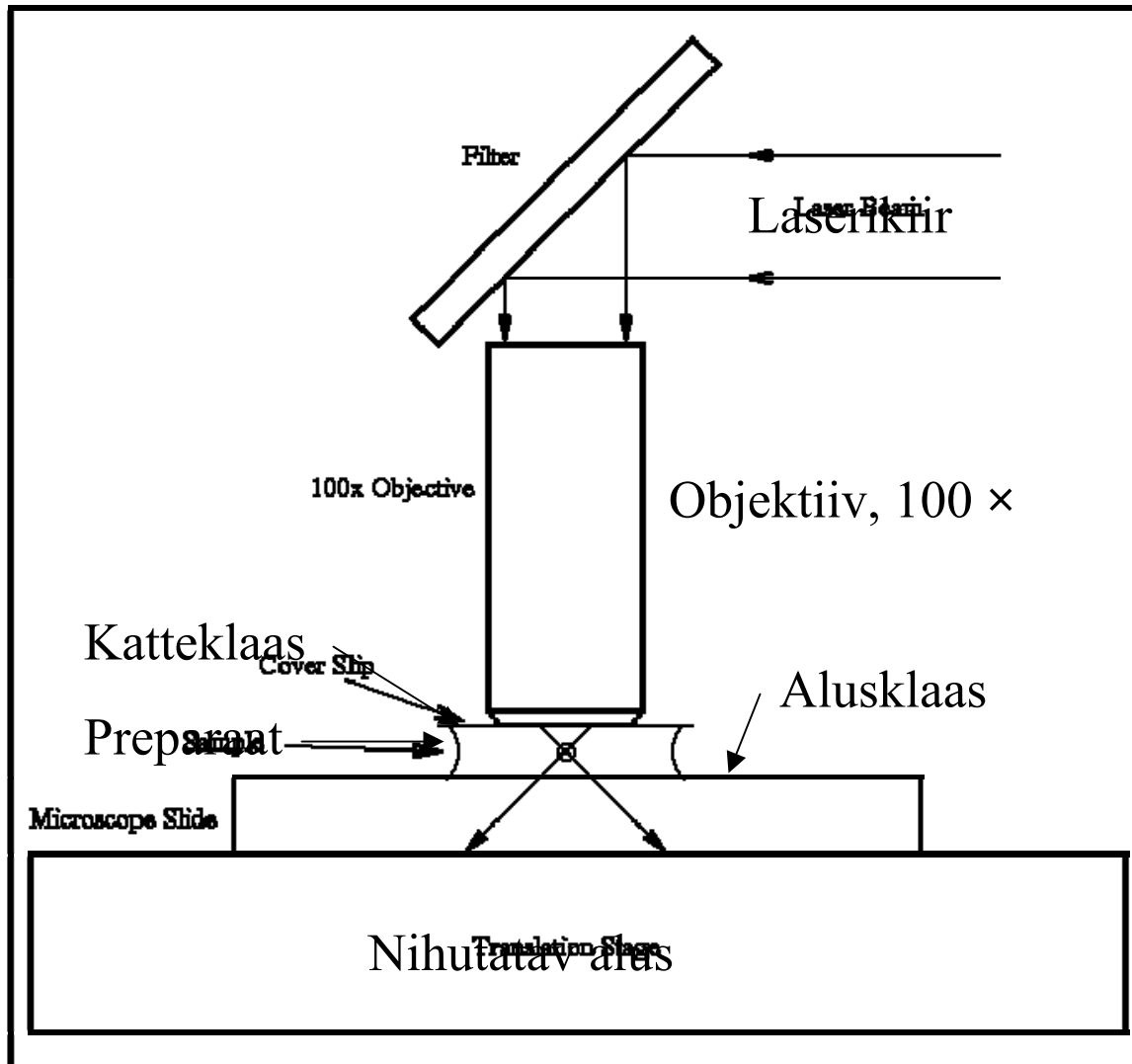


Läbipaistev kübe kistakse valguse murdumisel edasiantava impulsi mõjul kiire keskmesse ja lükatakse valguse rõhu toimetel valguse levisuunas.



Heledusjaotus laserikiires

Laserpintsett II



Lasermõõturid, navigatsiooniseadmed



Laser-vaaderpass (vesilood)



Laserlood –
nöörloodi asendaja



Laser-nurgamärkija

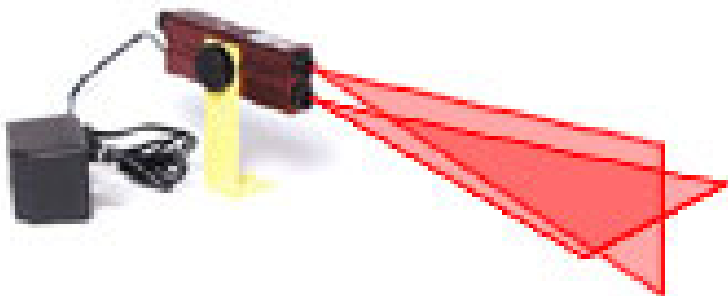


Laser-mõõdulint

Kuu lokatsioon
astronautide paigaldatud peegeldilt

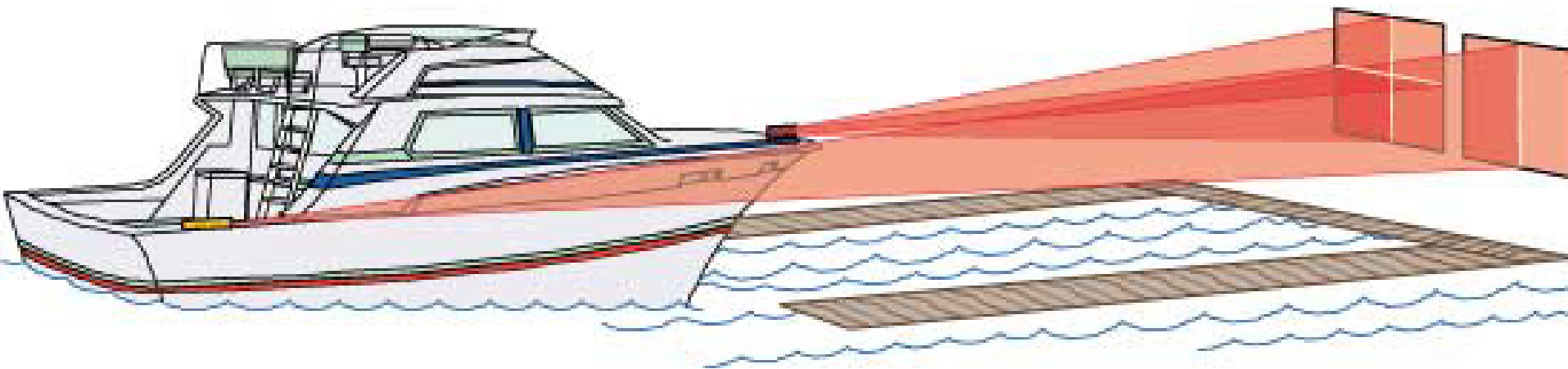


Laser precision level (30 m)



Laser-robot-geodeet





Laser-dokkimisseade

Ülikõrged temperatuurid, rakendused tehnikas, sõjanduses

- Erinevate materjalide (metall, mineraalid, puit, plastikud, kangad) lõikamine, puurimine, keevitamine, pinnatöötlus
- Lasertuumatuli – termotuumareaktsioonid – laserenergeetika.
- Laserrelvad

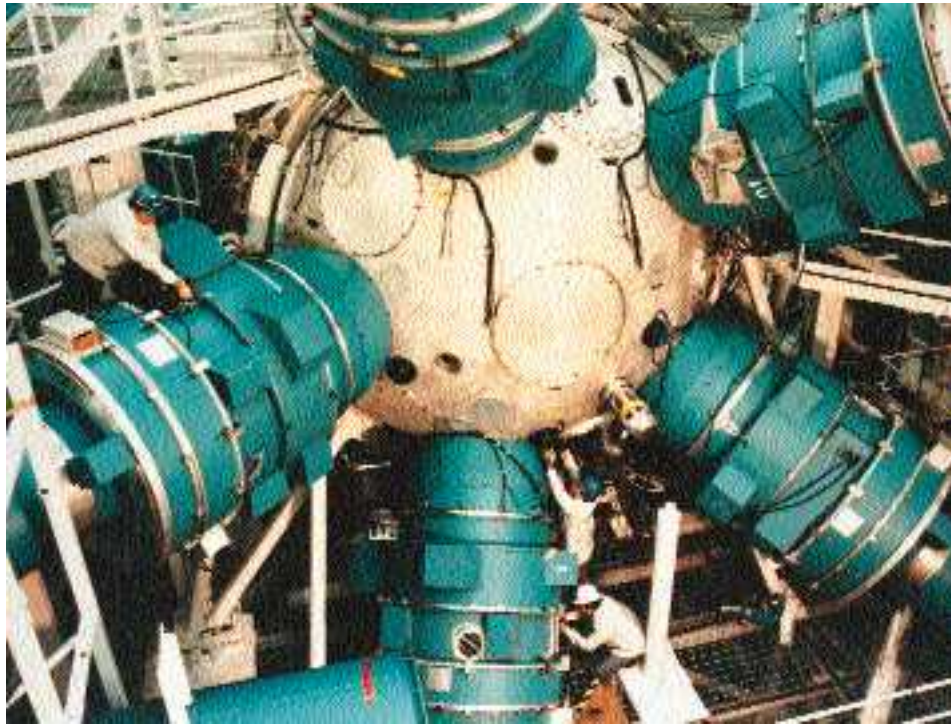
Laser-termotuumatehnika – tuleviku energaetika ?



Photograph of the inside of the NIF laser target chamber. This 10-metre diameter vessel will be sealed to provide a vacuum environment, allowing the laser to interact with a millimetre-scale target suspended at the chamber centre. The various holes in the chamber are to allow the 192 laser beams to enter and to allow diagnosis of the ensuing plasma explosion.

Iisraeli teadlased on leidnud uue võimaluse - kompaktsema, väiksema energiavajadusega

Laser fusion II



The combustion chamber at the Nova laser fusion facility (Lawrence Livermore Laboratory, USA). Inside the combustion chamber at the Nova laser fusion facility (Lawrence Livermore Laboratory, USA)

Sõjalaserid

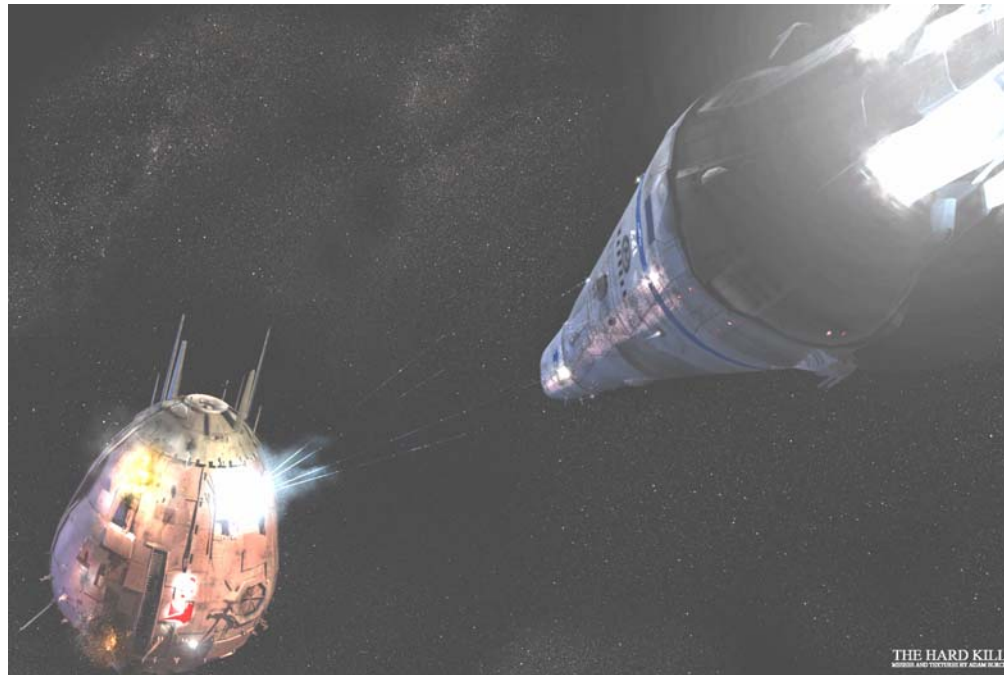
Vrd Aleksei Tolstoi “Insener Garini hüperboloid”

Lasersihikuga püstol

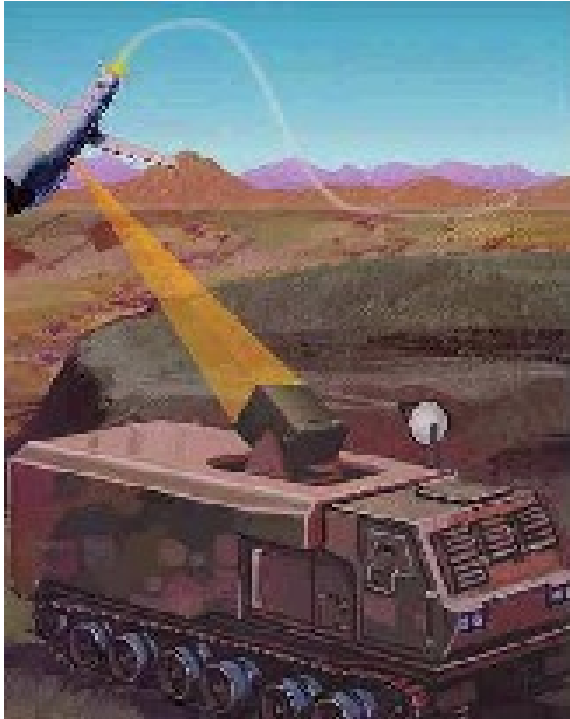


Laser **dazzler** - pimesti
vt Google

Laserrelv kosmoses



USA laserrelv



April 21, 2004

Rob Hewson, the editor of Jane's Air Launched Weapons, said: "The laser will be the atomic weapon of the 21st century."

Since the 1970s, US scientists have conducted a series of secret experiments in the Nevada desert using lasers.

USA 100-kW ründelaser

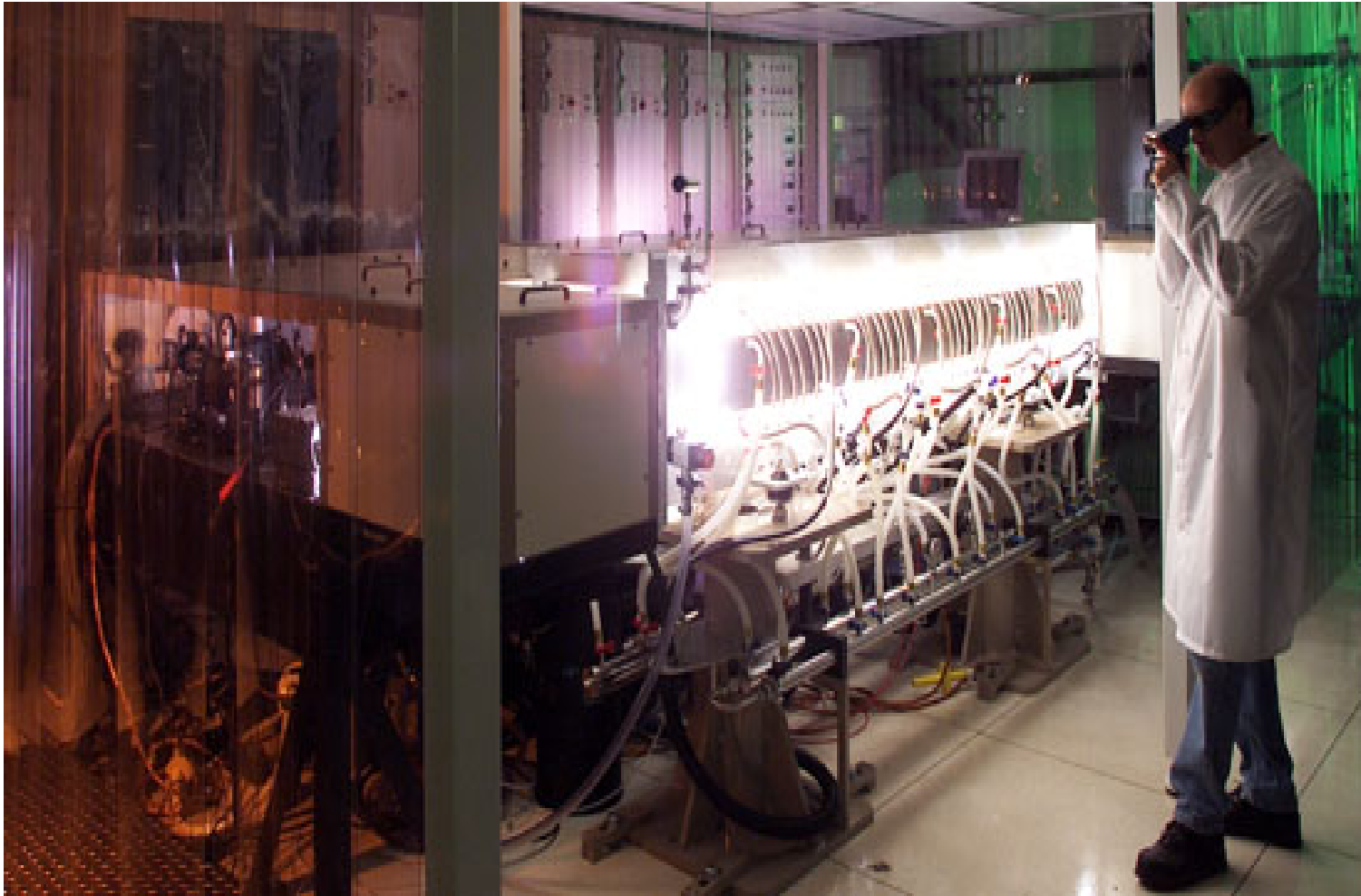








Laser-armed strike fighters could be sent
into battle as early as 2015 (Photo: AP)
(New Scientist.com, July 20, 2002)



USA, Lawrence Livermore Lab: testitakse sõjalaserit

On andmeid, et Ühendriigid on kasutanud laserrelvi Iraagis ja Afganistanis, ms tsiviilelanikkonna vastu (kõrvetatud ja kõndistatud ohvrid ja laibad) - Iraagi arstide jt tunnistusel; Afganistanis ka miinide kaug-lõhkamiseks; USA kindralid ja laserispetsid väidavad küll, et kõik on alles katsestaadiumis, kuid... Sealsed sõjad: suuresti kui nende maade kasutamine uute relvade katsepolügoonidena.

Vt. Google: **Star Wars in Iraq**

WTC, New York, 11. sept. 2001



Christofer Bollyn, American Free Press
Ajaloo suurim varing, hukkus 3000 inimest.
Kahtlustatakse, et terroristide lennukel oli
laserrelv (tekkis keravälguga sarnanev plasmoid),
mis tekitas ülikõrge temperatuuri (1700° C;
tavapõleng: 900°C); tõusis tohutu tolmutpily;
betoon tolmustus, paljud ohvrid aurused (tr!);
põleng kestis 3 kuud, vaatamata pidevale
uhtmisele veega. Eksperdid: analoogilisi

tolmustamisi on täheldatud varem laserrelva
katsetamisel/demonstratsioonil. Selline laserrelv
on algselt loodud N. Liidus. Praegu seda
arendatakse/täiustatakse USA-Iisraeli ühistöös
tohutute summade varal. Bushi administratsioon
võldib WTC pädevat uurimist.

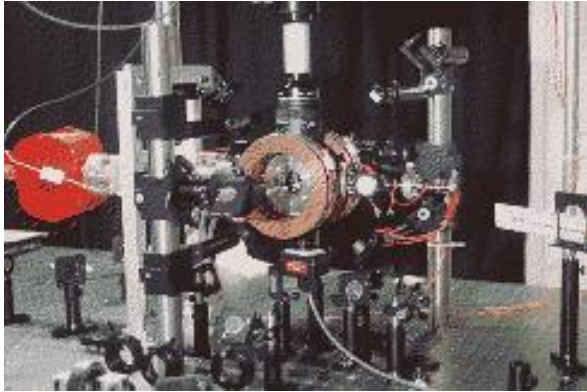
USA kindral John Castello:**”Oleme ulme**
muutnud tegelikkuseks”

Laserid füüsikas, keemias

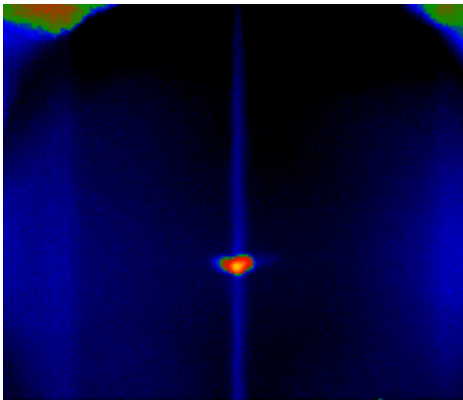
- Laserspektroskoopia (FI – spektrisätkamine)
- Mittelineaarne optika
- Keemiliste reaktsioonide käigu täppisuurimine ja mõjutamine, ka keemiatööstuses

Kontrastiks – laserkülmutus, ülimadalad temperatuurid

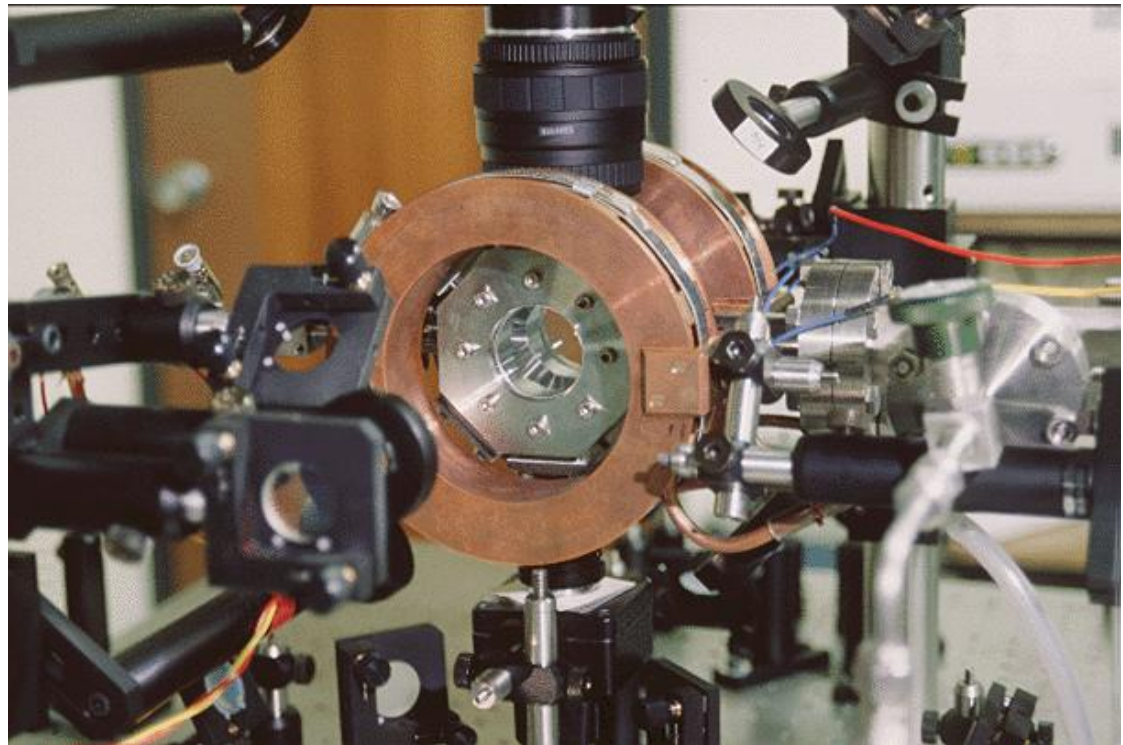
Laserkühlmutus



Mikrokelvinid $\rightarrow$ nanokelvinid;
 $v = 10^4 \text{ cm/s} \rightarrow 1 \text{ cm/s}$



Ülikülm aurupilv



Holograafia - “valguslainete külmutamine”



1947



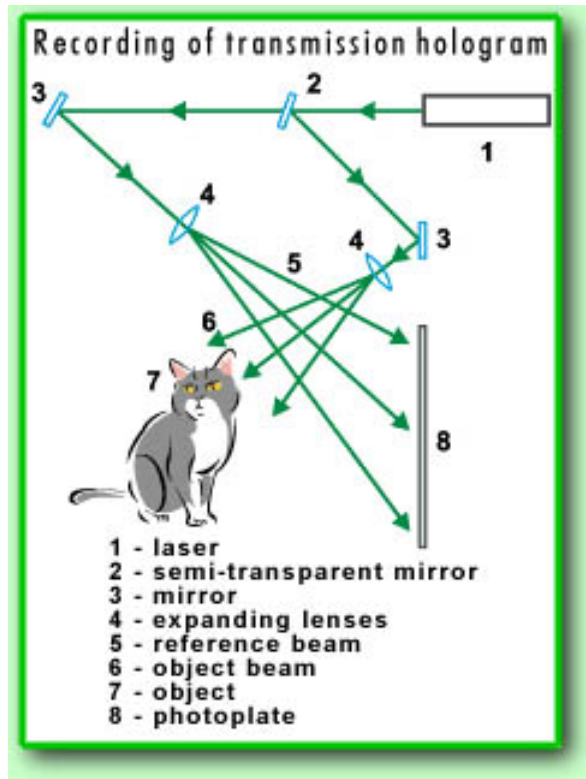
1962



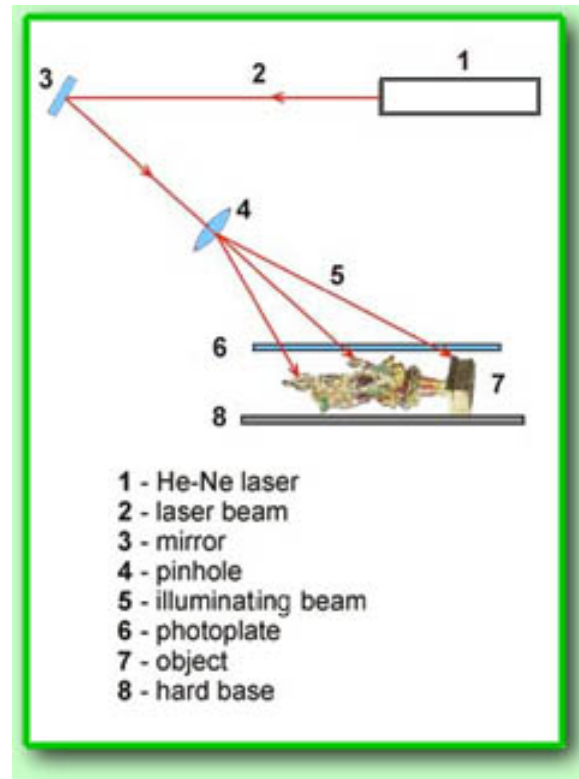
kr holos - kogu, *graphō* - kirjutan

<http://www.holography.ru/physeng.htm>

Holograafia - 2

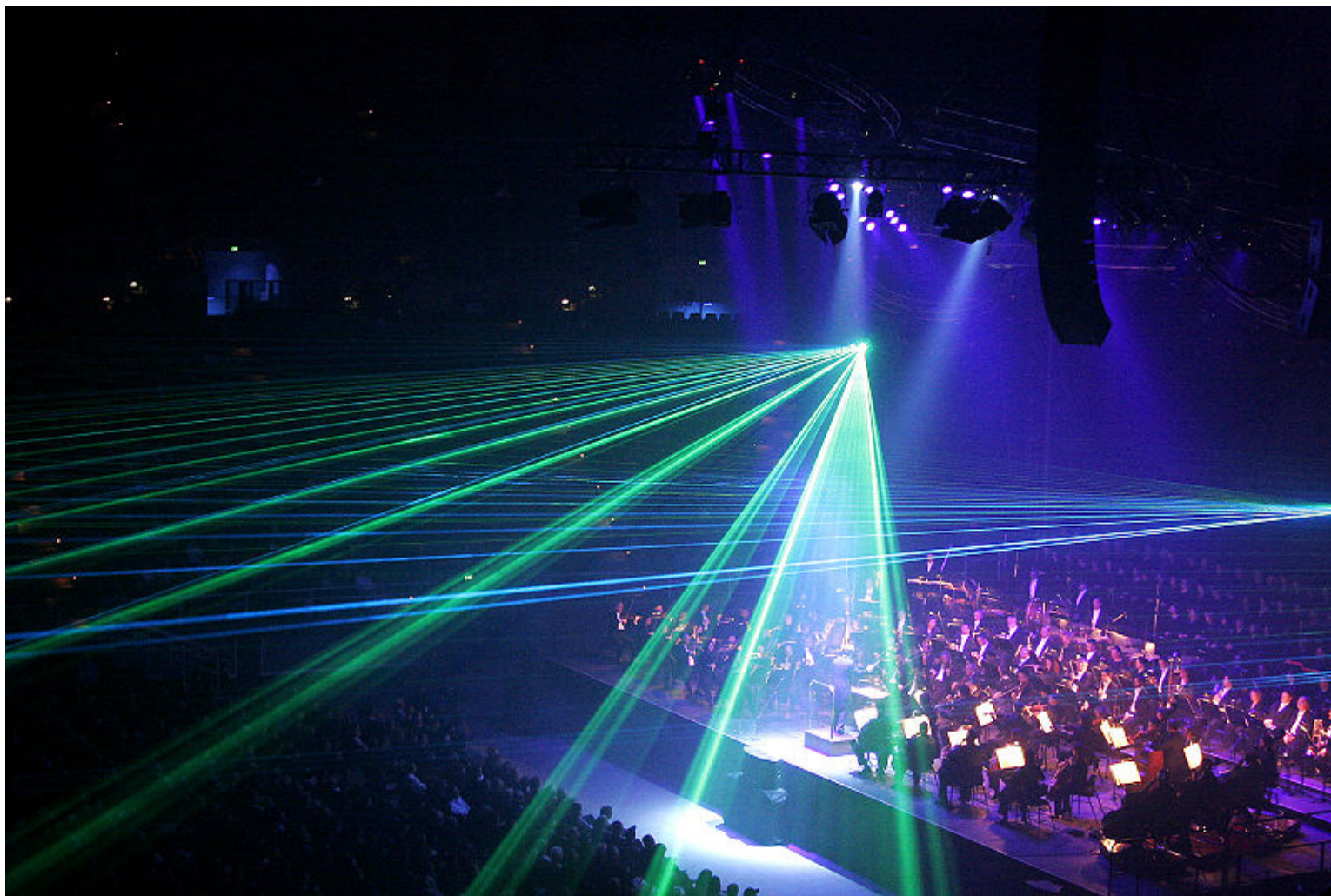


Läbistushologrammi
salvestamine
Elusolendid, portreed:
välkelaseriga



Denisjuki (refleks-)
hologrammi salvestamine;
vaadeldav tavavalguses

Laser-šõud



Laserid Eestis ja Eestist

Eesti laserifirmad:

Estla (Tartu) - värvlaserid

Neweks (Tallinn) - eksimeerlaserid

LDI (Tallinn-Tartu) - diagnostika-
ja raviseadmed

Karl Rebane (1926 - 2007)



Laseriprogrammi algataja Eesti TAs 1970ndail

Üks Eestis loodud lasereid



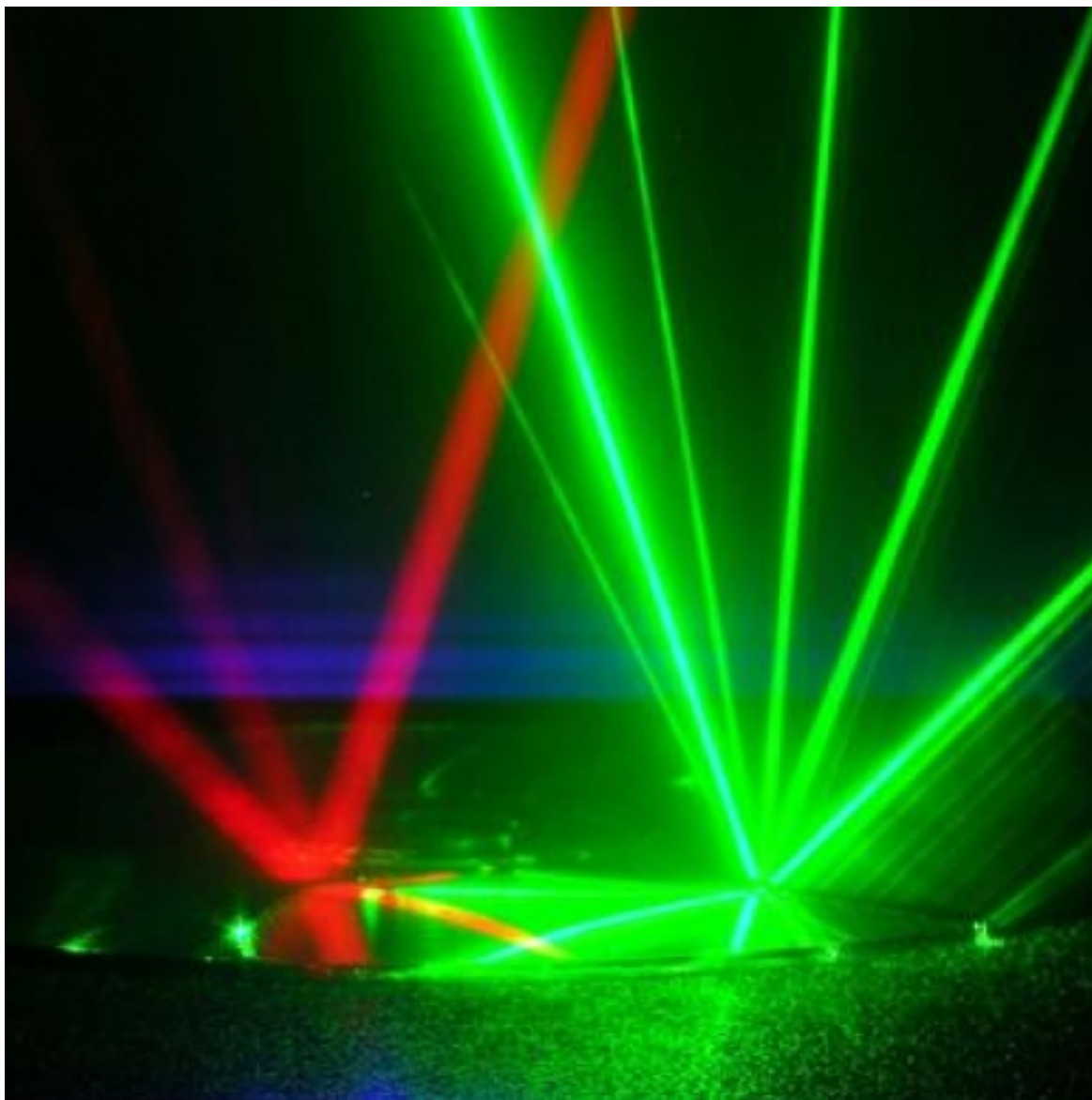
Neweks'i uusim kompaktne (vaid 14 kg) ek-
si-meerlaser PSX-501.

Core Products: Laser Medical System MARIA



- **Multifunctional UV laser treatment for a wide variety of applications, including**
 - Tuberculosis treatment;
 - Dermatology;
 - Gynaecology;
 - Sterilization.
- **Strong bactericidal effect for drug resistant bacteria**
- **Extensive clinical tests completed in Russia, Estonia and Canada**
- **Patent pending**

Firma LDI - Eesti



Tänan kuulamast-vaatamast!

Täiendlugemist

- W.T.Silfvast. Lasers.

In: Handbook of Optics, vol. 1, Chapter 11; McGraw-Hill, 1995.

TÜ pearaamatukogus XA-12036

- M. Csele. Fundamentals of Light Sources and Lasers, Wiley, 2004

TÜ pearaamatukogus XA-12279

- Internet, otsingusõnad *lasers, laser biology, laser medicine, laser tweezers, laser weapons, military lasers* jpt

- H.Käämbre. Laseriraamat, Tallinn, “Valgus”, 1978

www.howstuffworks.com/laser.htm

home.achilles.net/~ypvsj/history/

[/members.aol.com/jimb3d/lasers.html](http://members.aol.com/jimb3d/lasers.html)

<http://physics.about.com/gi/dynamic/offsite.htm?site=http%3A%2F%2Fwww.sia.uq.edu.au%2Fphysics%2Flight%2Flasers.htm>

<http://www.eurekalert.org/features/doe/2002-04/dlnl-bff053102.php>

<http://www.cbsnews.com/stories/2003/10/20/tech/main578998.shtml>

-- viimane artikkel laserrelvadest