



MITŐL LÉZER A LÉZER?

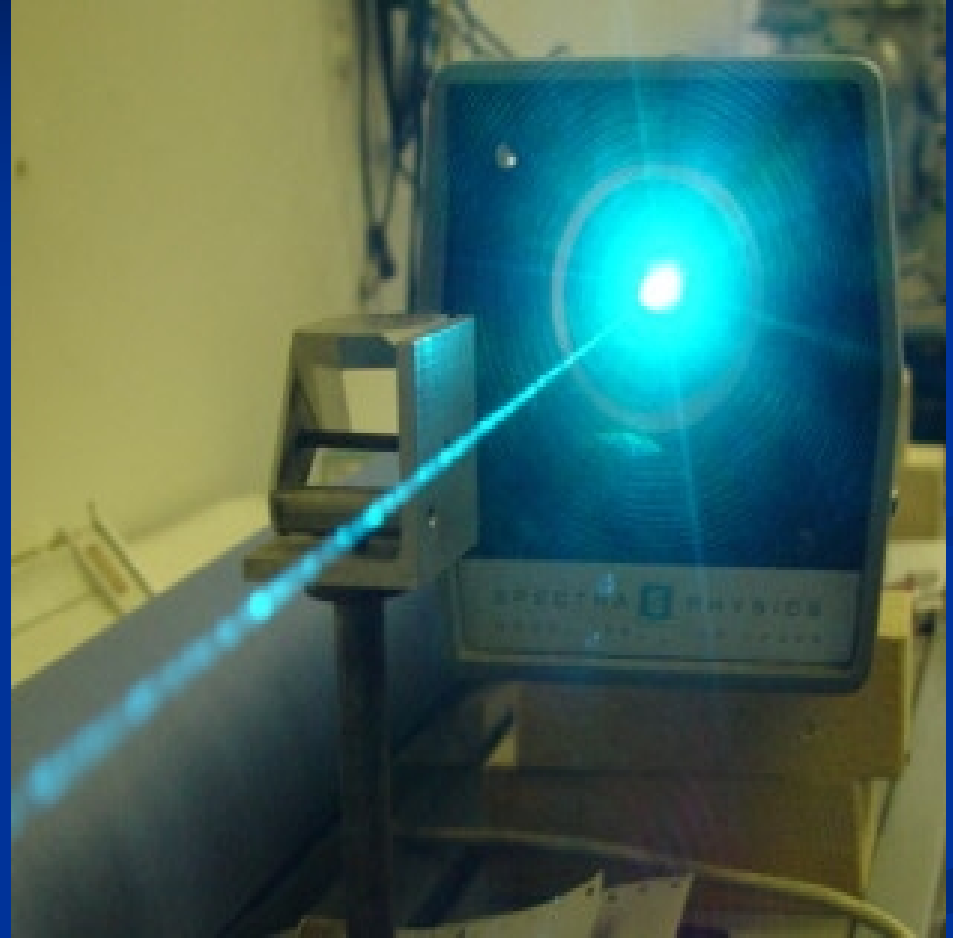
Dr. Horváth Zoltán György
MTA Wigner FK

2018

„NEM MIND LÉZER, AMI
FÉNYLIK!”



Light
Amplification by
Stimulated
Emission of
Radiation



MI A LÉZER?

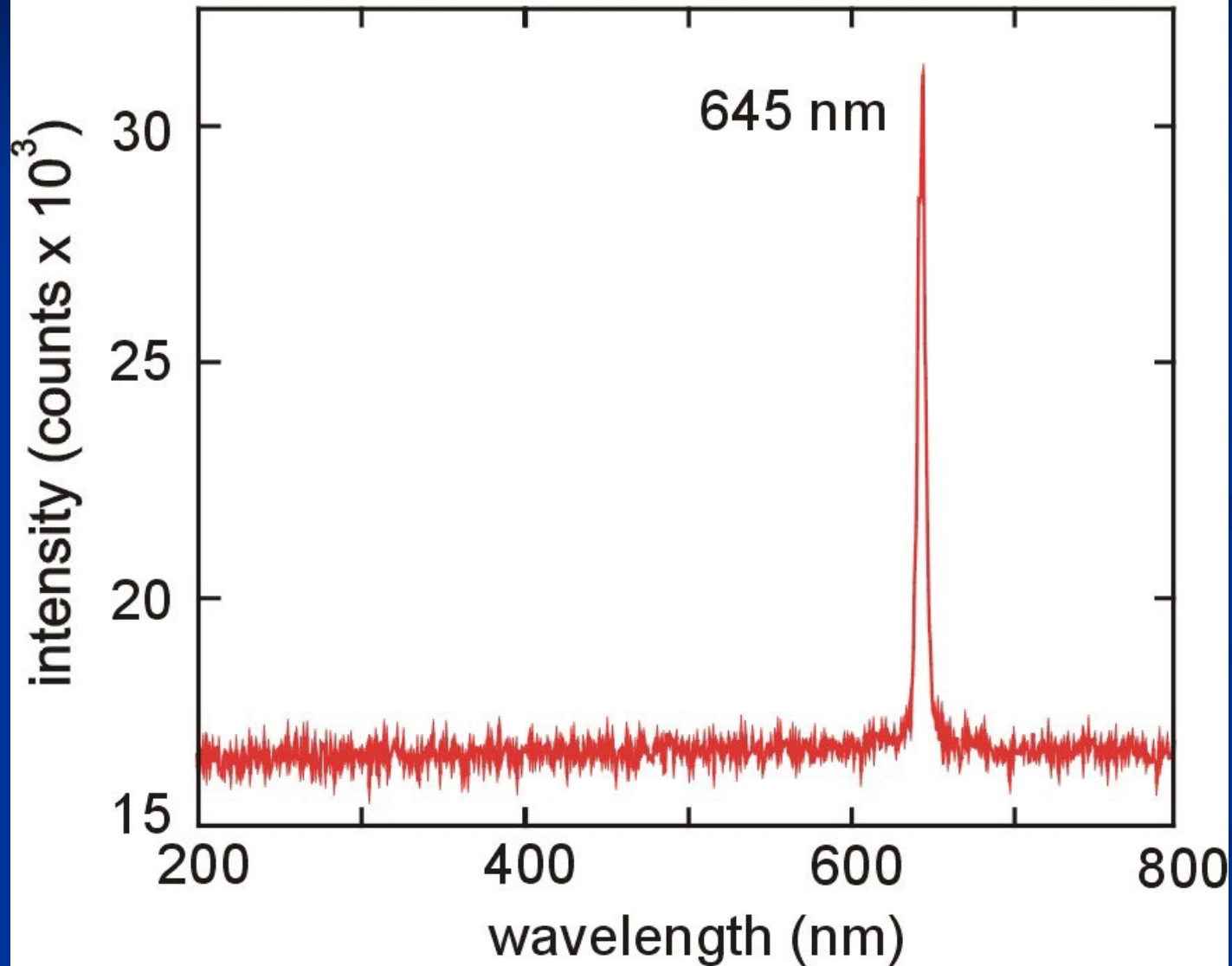
(a mai közfelfogásban)

- Monokromatikus
- Koherens
- Kis divergenciájú
- Nagy spektrális teljesítménysűrűségű

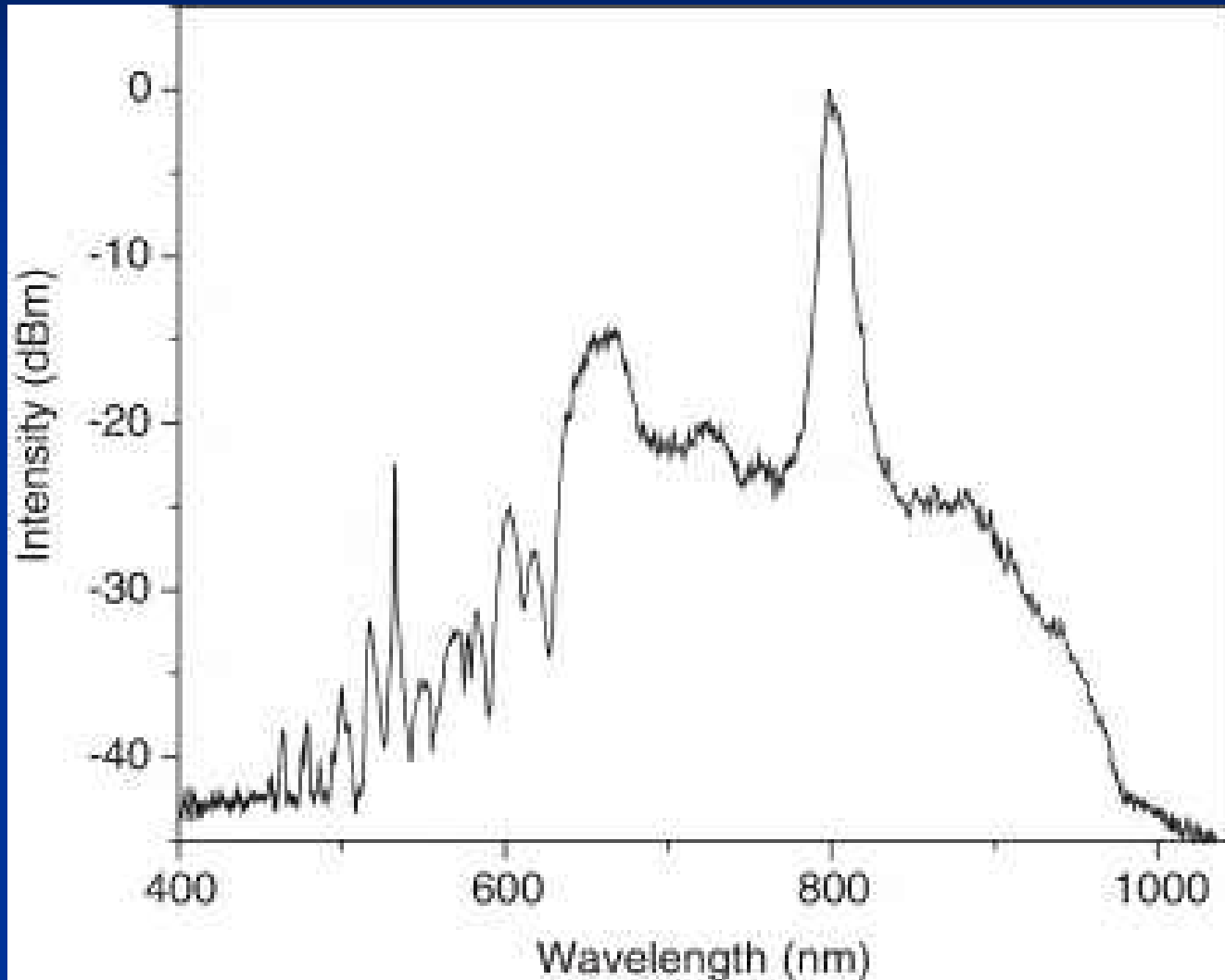


FÉNYFORRÁS !!!

Laser Pointer Spectrum

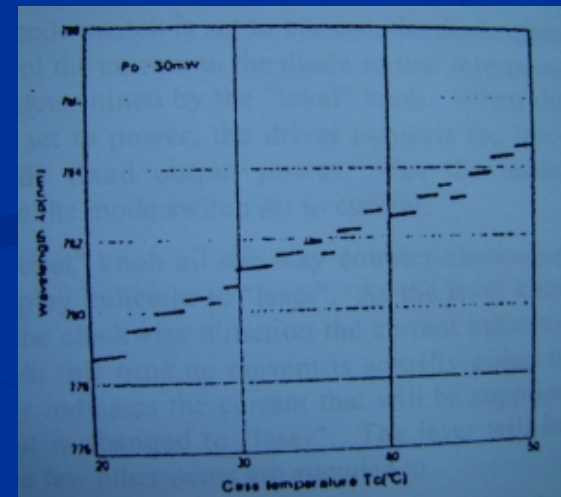


MONOKROMATIKUS?



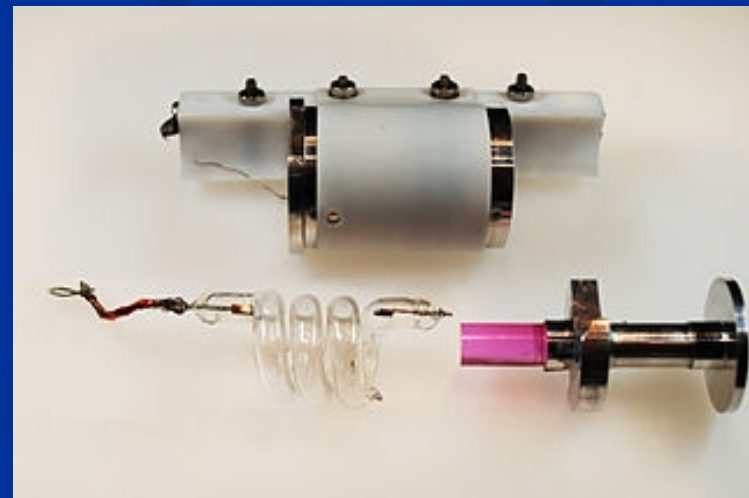
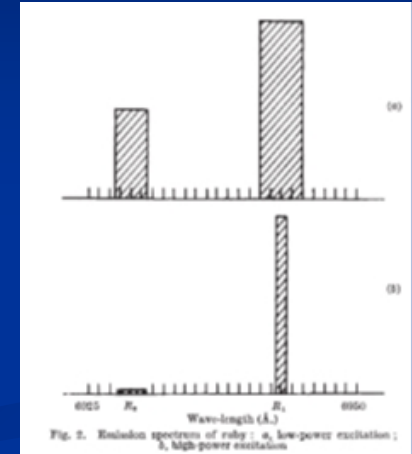
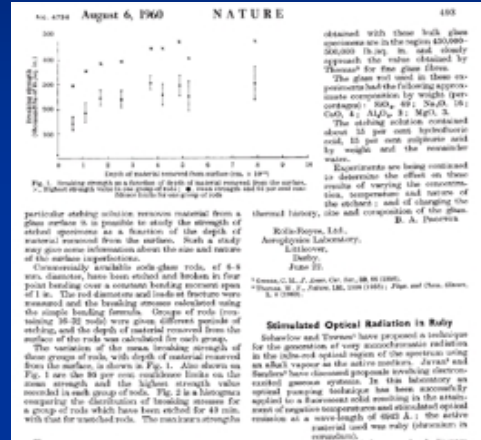
MONOKROMATIKUS?

- MÁR RÉGEN NEM!
- Többvonalas lézerek
- Hangolható lézerek
- Széles sávú lézerek
(picosec. alatt)
- Dióda lézerek
(ahogy esik ...)
- Sok „nemlézer” is
monokromatikus.



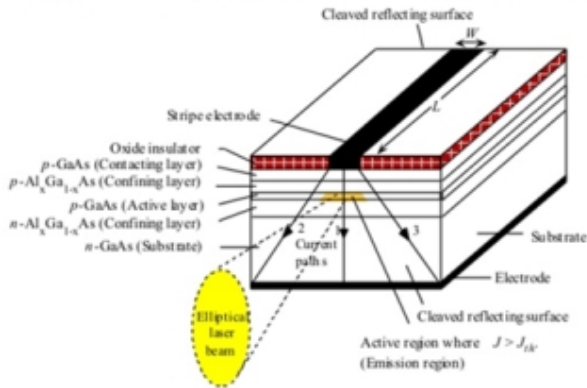


Maiman első lézere! (?)



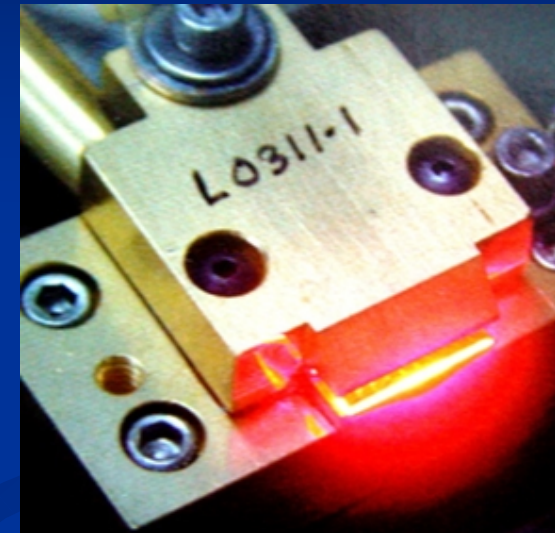
Kis divergenciájú?

Fig.8 : Heterojunction laser diode

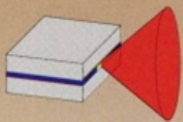


Schematic illustration of the structure of a double heterojunction stripe contact laser diode

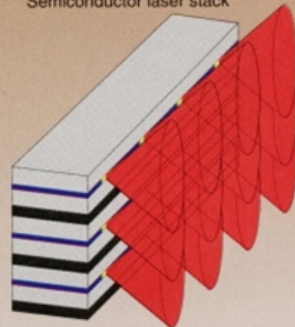
© 1999 S.O. Kasap *Optoelectronics* (Prentice Hall)



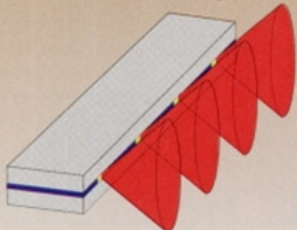
Single-emitter semiconductor laser



Semiconductor laser stack



Semiconductor laser array

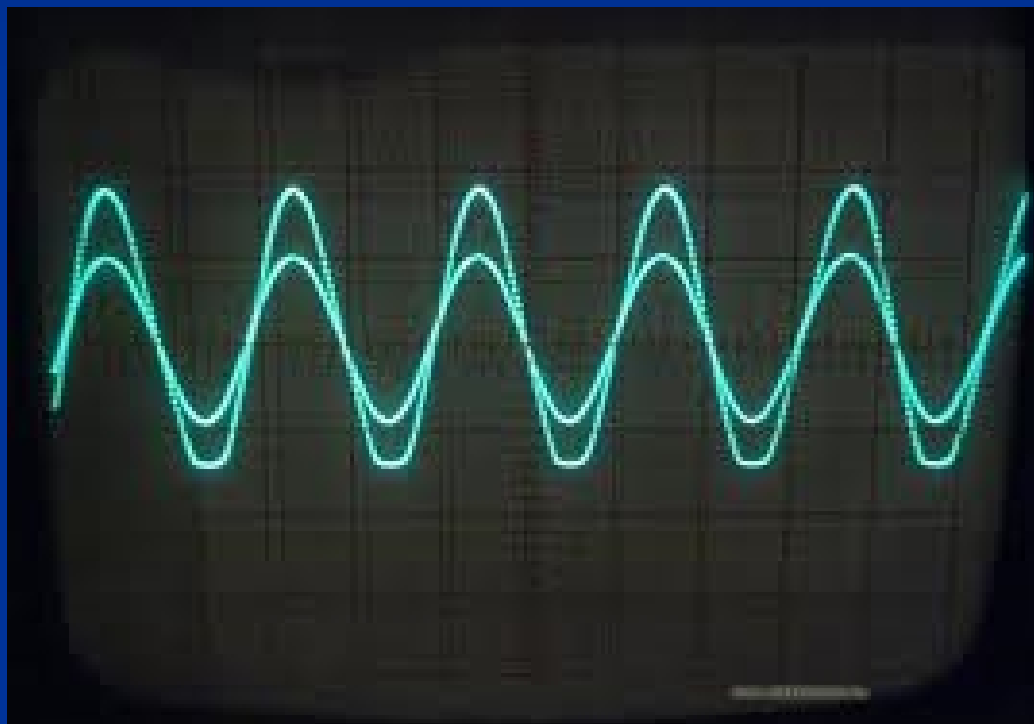




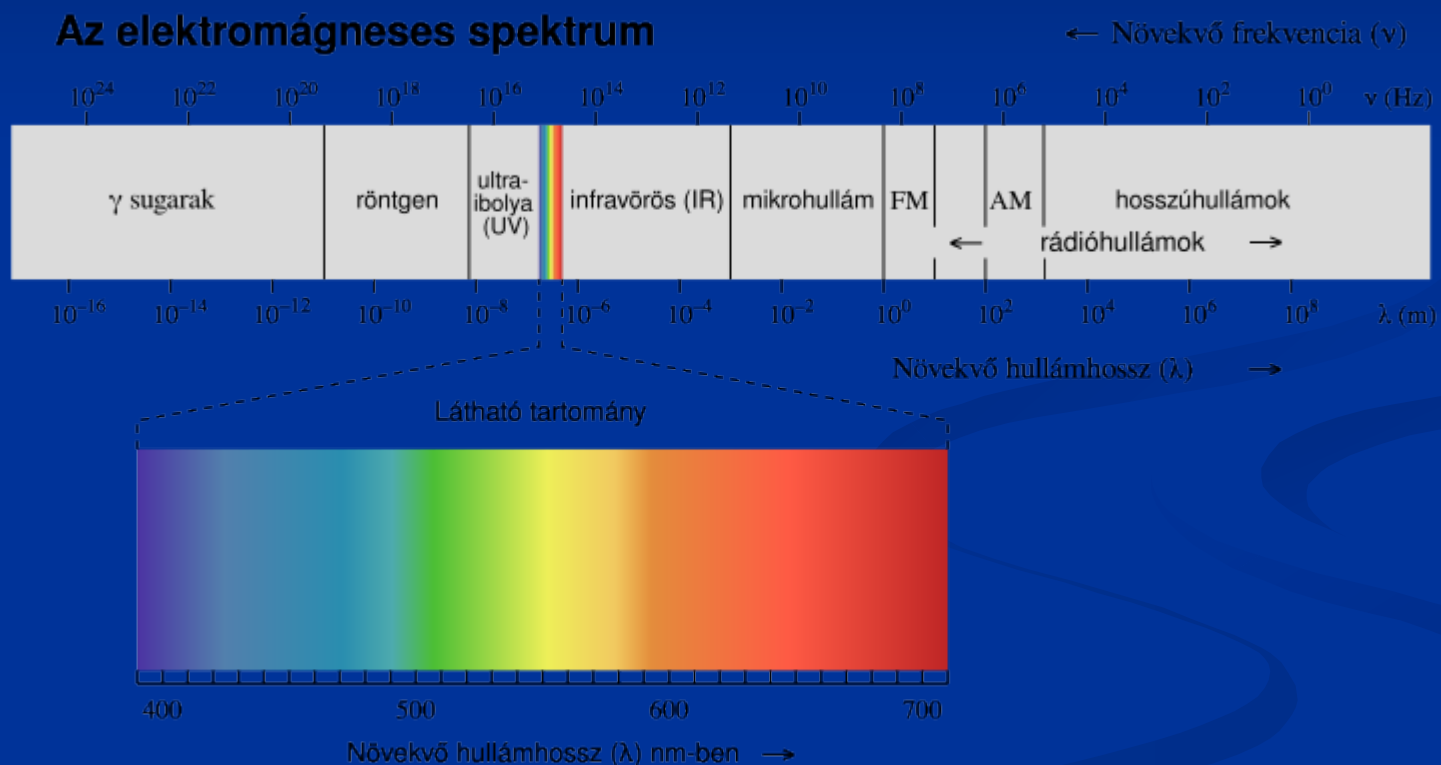


A FELADAT:

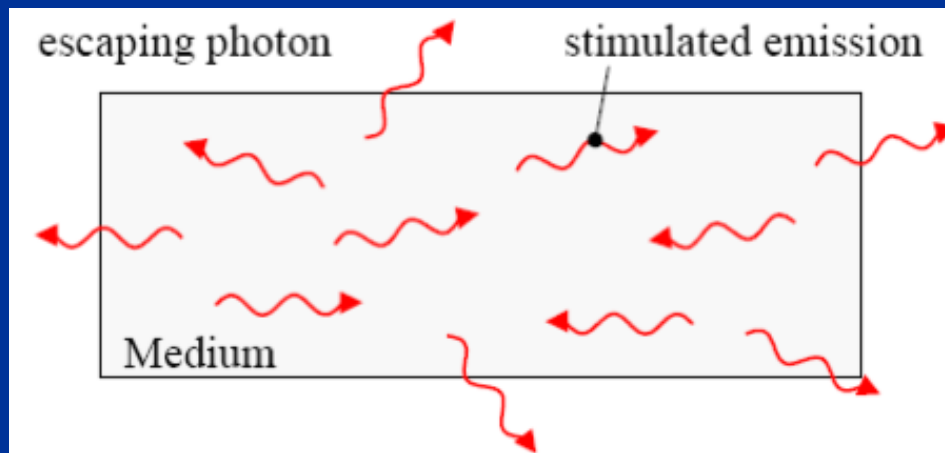
Fény (EM) = szinusz (kb.)



Természetes fény



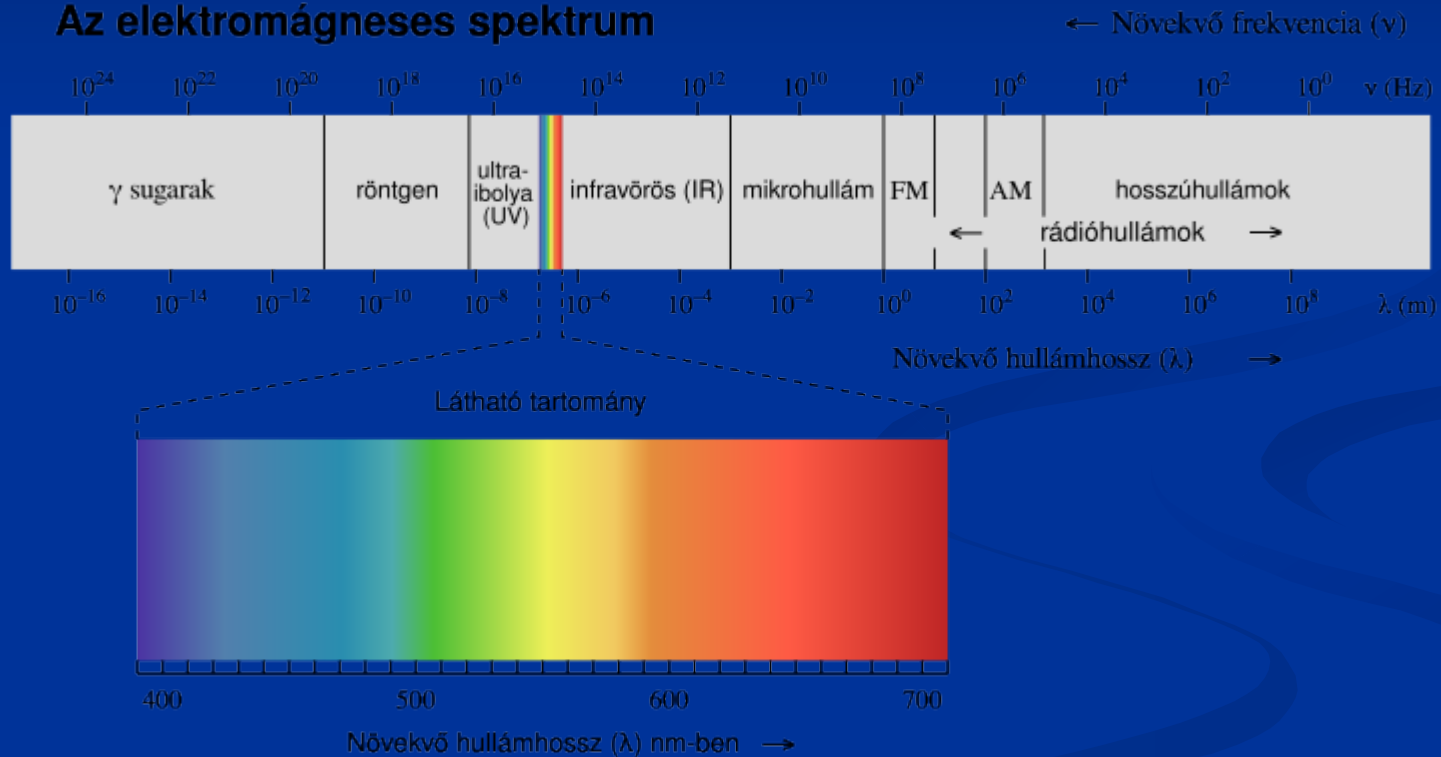
Fénynél sok kicsi antenna „össze-vissza” sugároz



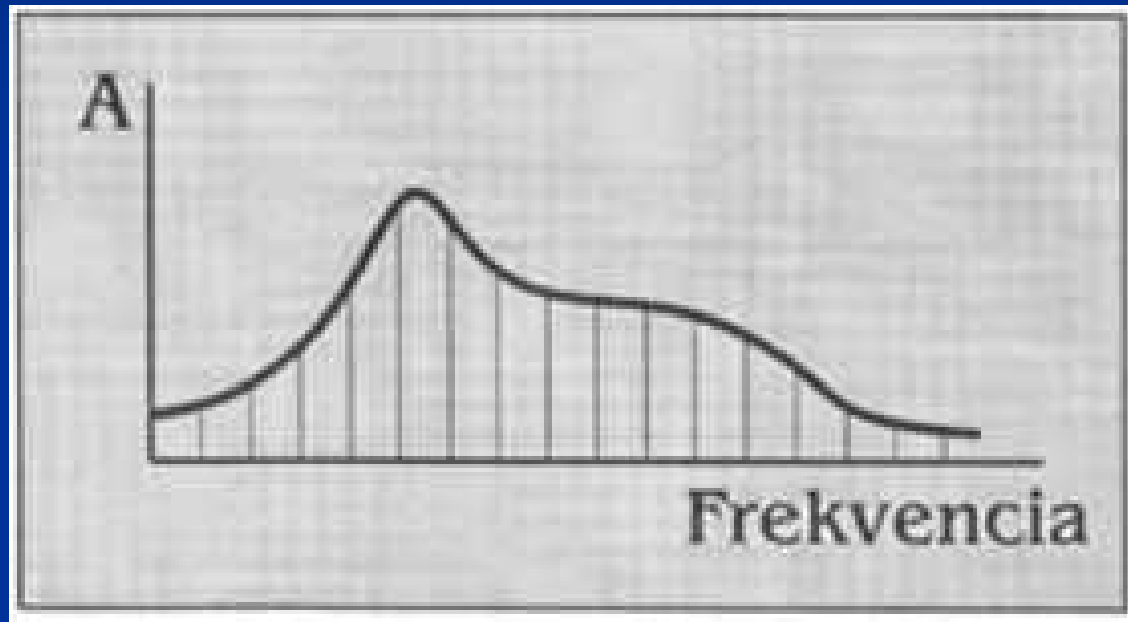


Antennák

Az elektromágneses spektrum

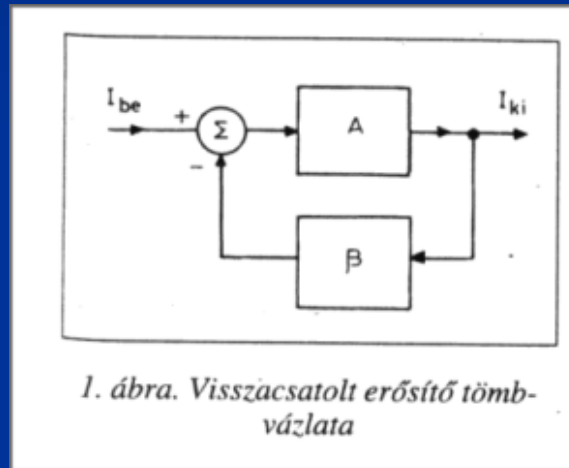


Hang spektrum



Oszcillátor

- Az oszcillátor: visszacsatolt erősítő („gerjed”)



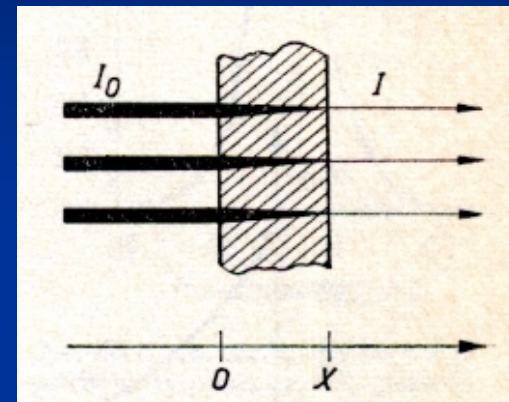
1. ábra. Visszacsatolt erősítő tömbvázlata

- Széles spektrum helyett egyetlen szép szinusz.
- Ugyanez fényre: **visszacsatolt fényerősítő**
- **Azaz fényfrekvenciás oszcillátor kell.**

Fényerősítés kellene

- Fény abszorpció (természetes)

- TE-ban az együttható pozitív (ez a természetes)

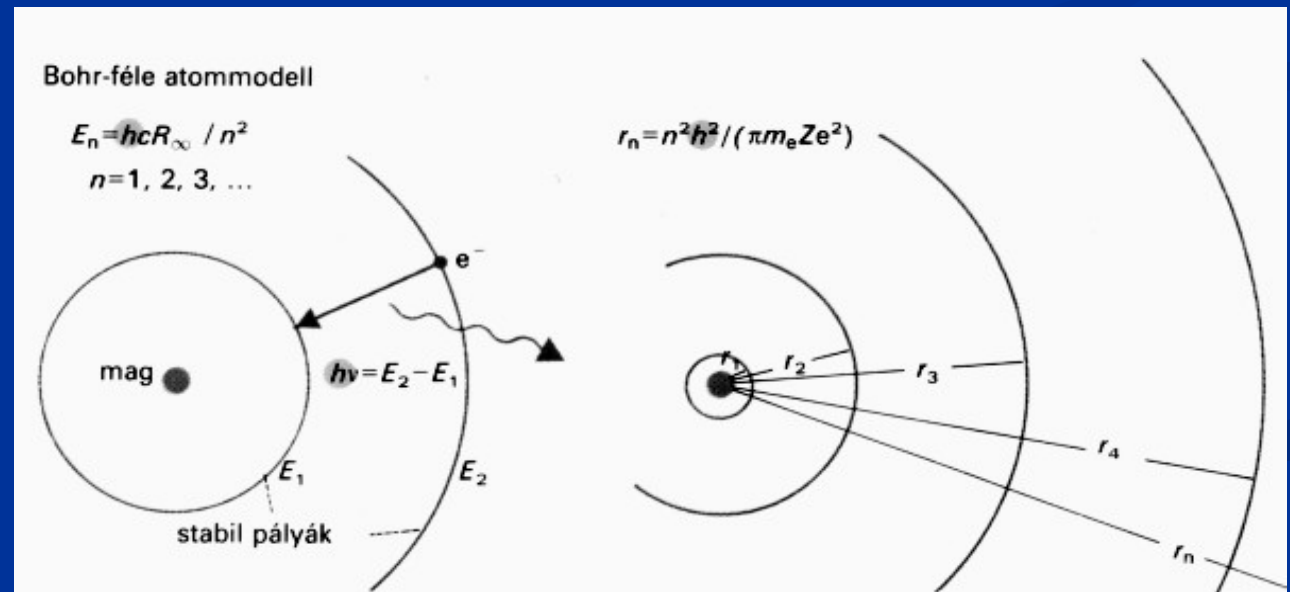


- Előjelváltás: 2 Nobel díj

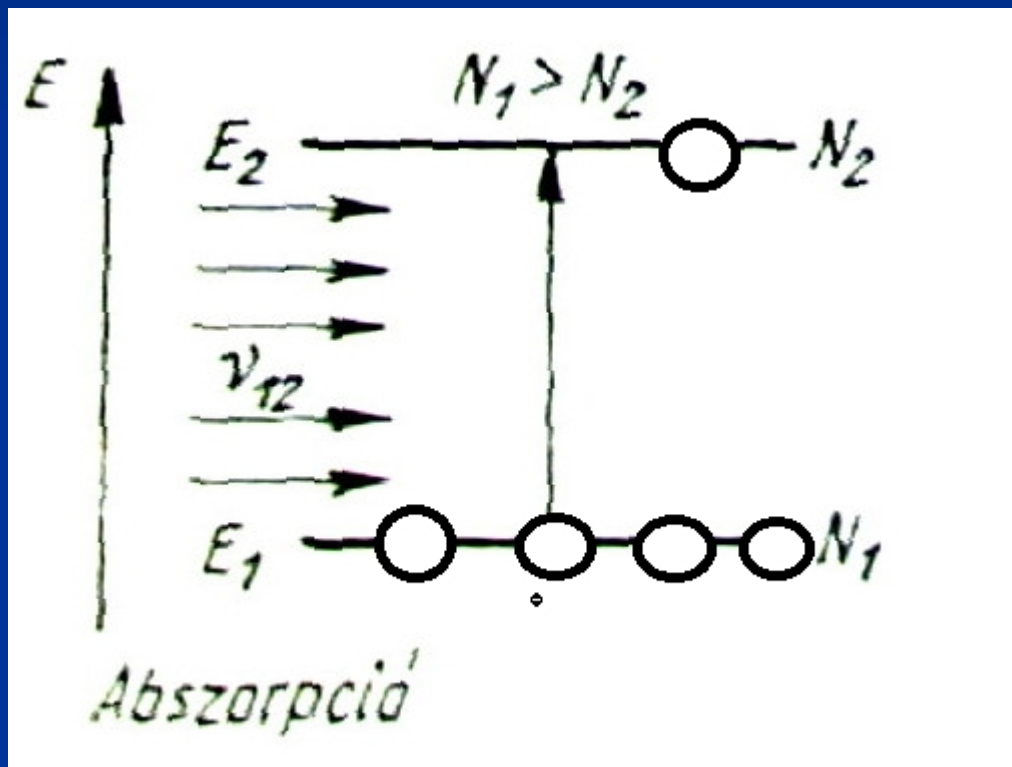
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Természetes (inkoherens) FÉNYFORRÁSOK

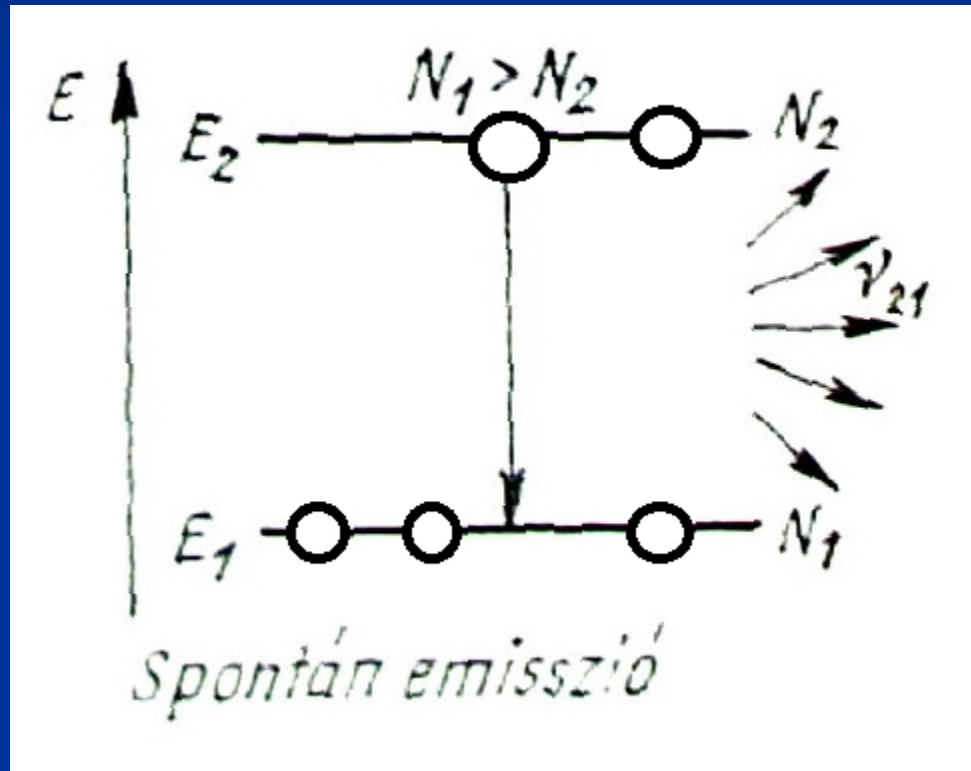
- Kicsi ... nagy, folytonos
... impulzus
- Spontán emisszió

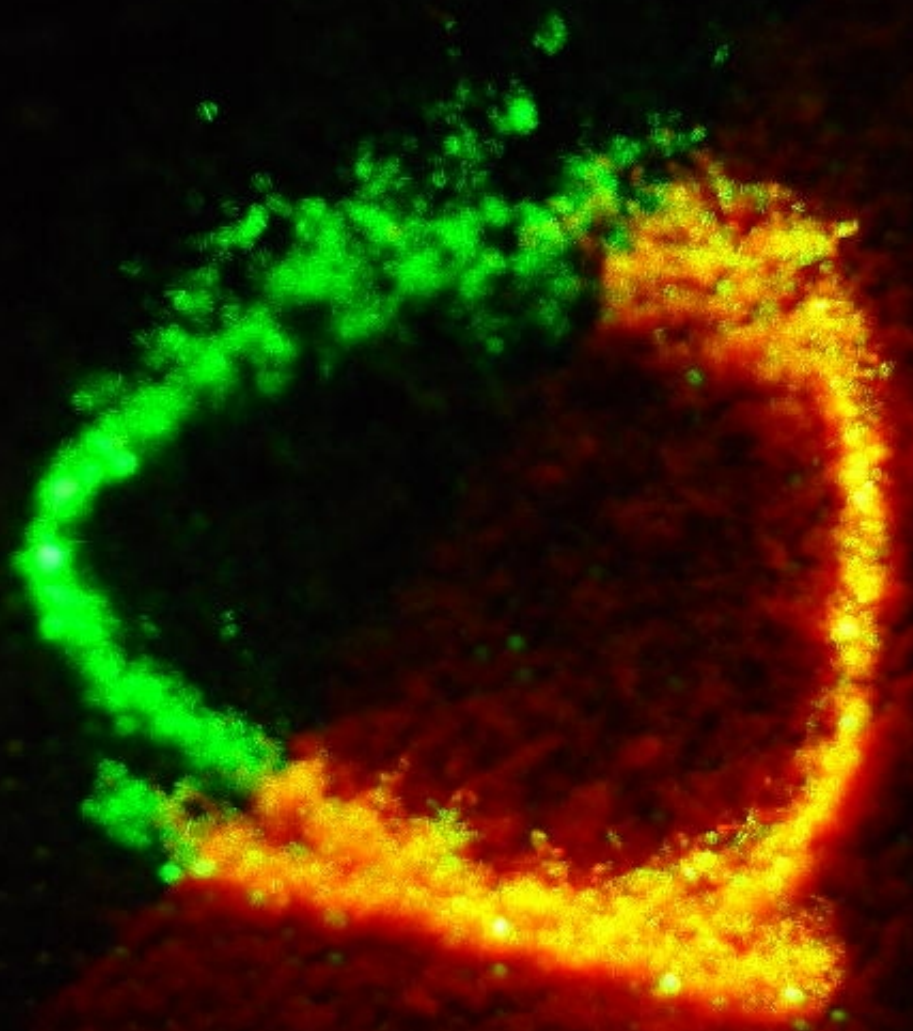


Alul sok, felül kevés



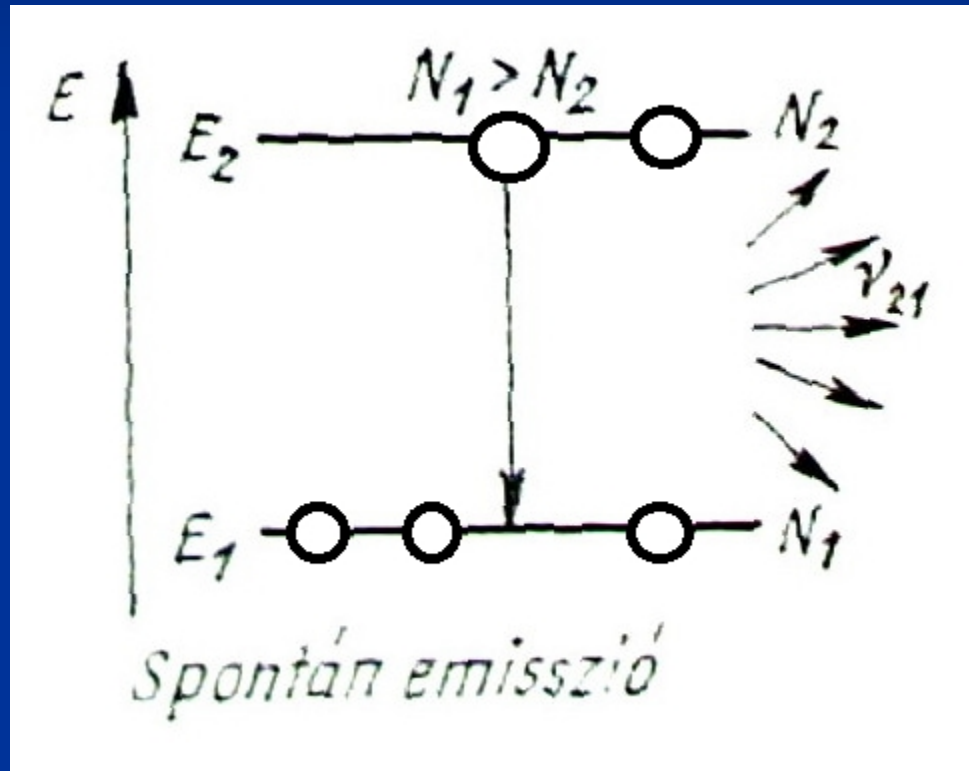
Alul sok felül kevés



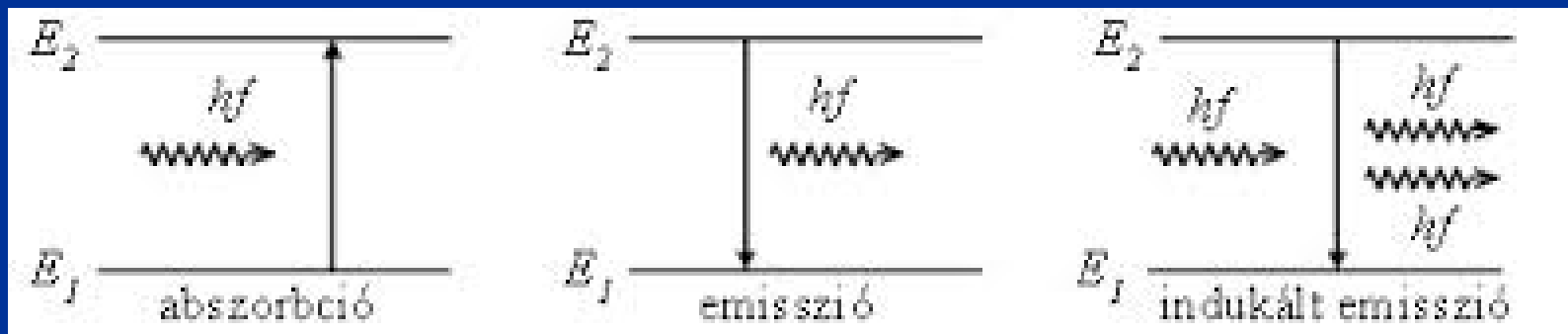


Populáció inverzió

Felsőn kellene sok elektron



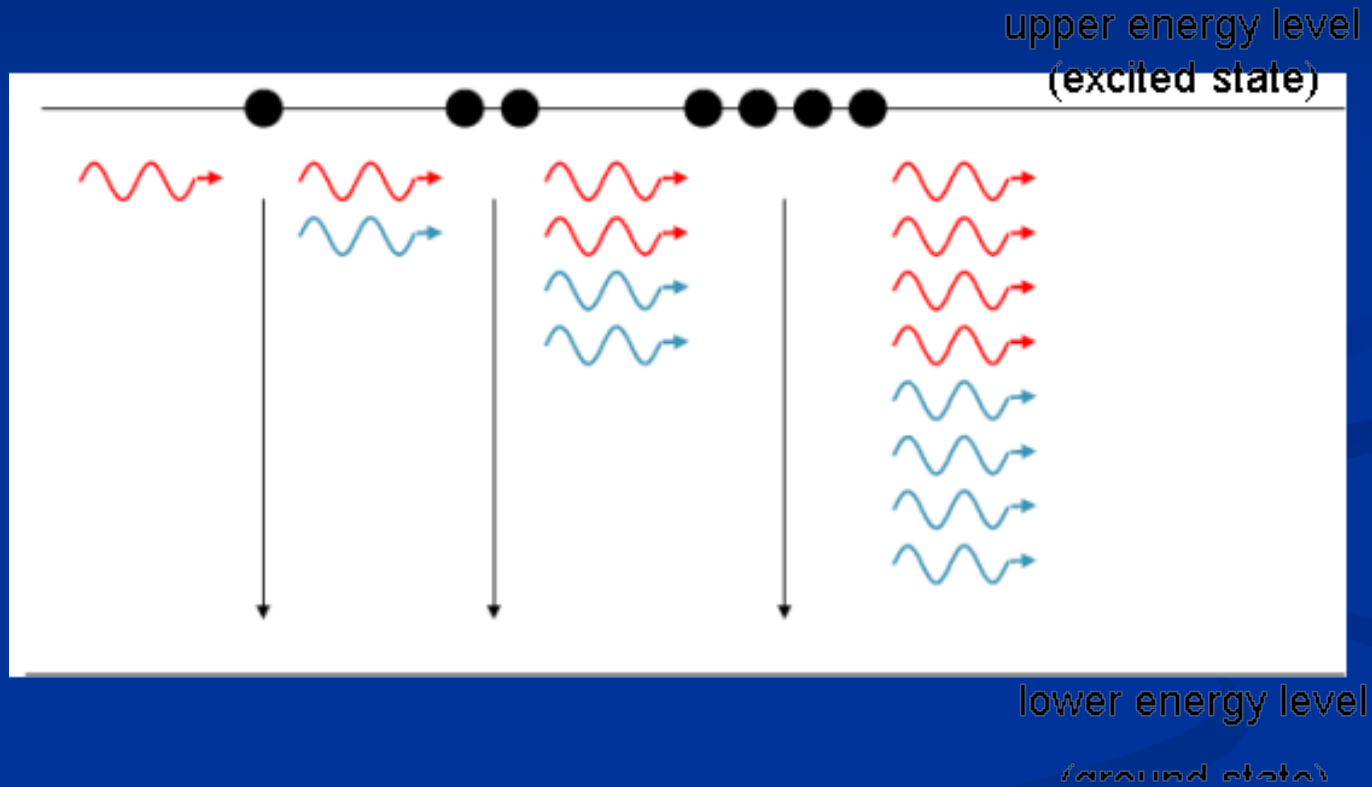
Erősítéshez FORDÍTOTT kell





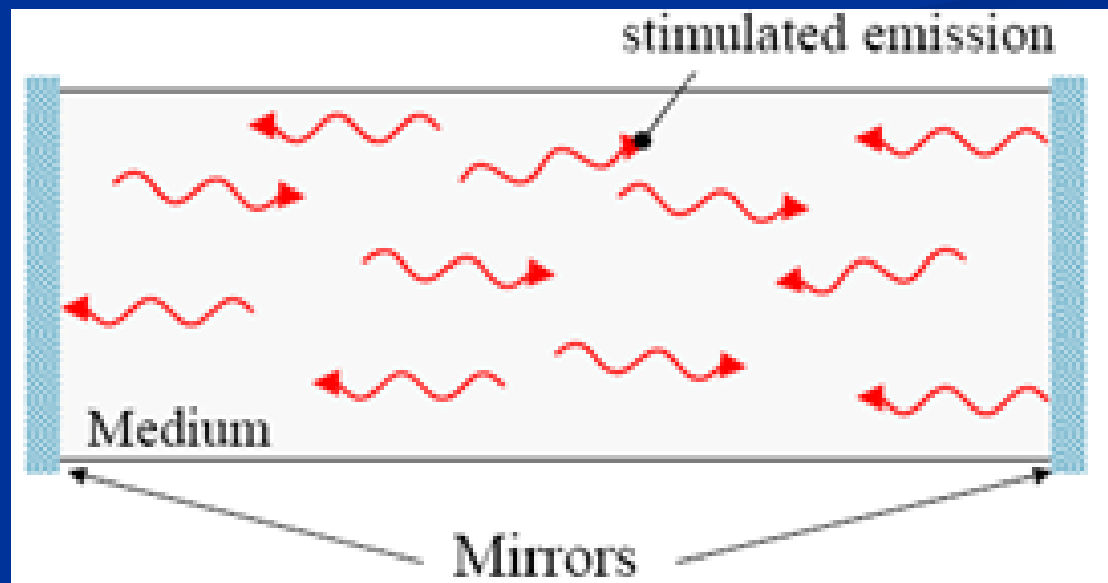
Indukált emisszió

Kész az erősítő



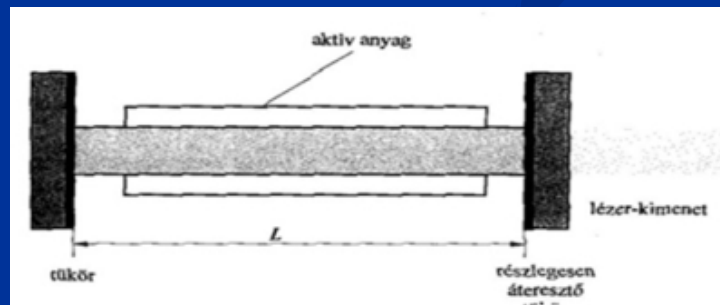
Erősítés+Visszacsatolás = oszcillátor KÉSZ a LÉZER(?!)

Méznél hullámhossz méretű a zárt
üregrezonátor. Fénynél ez nem megy!



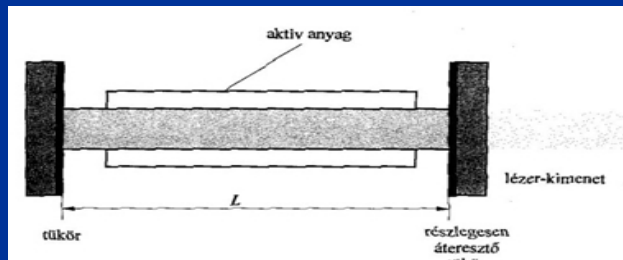
Visszacsatolás (1/2 + 0 Nobel díj)

- Végéről az elejére, hogy többször erősödjön:
- Két tükör egymással szemben. (vékony, hosszú)
- (Esetleg ring)

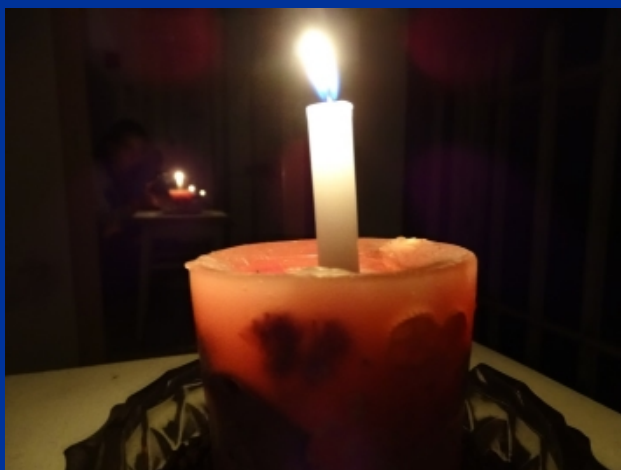


- A kis divergencia: **KÖVETKEZMÉNY!**

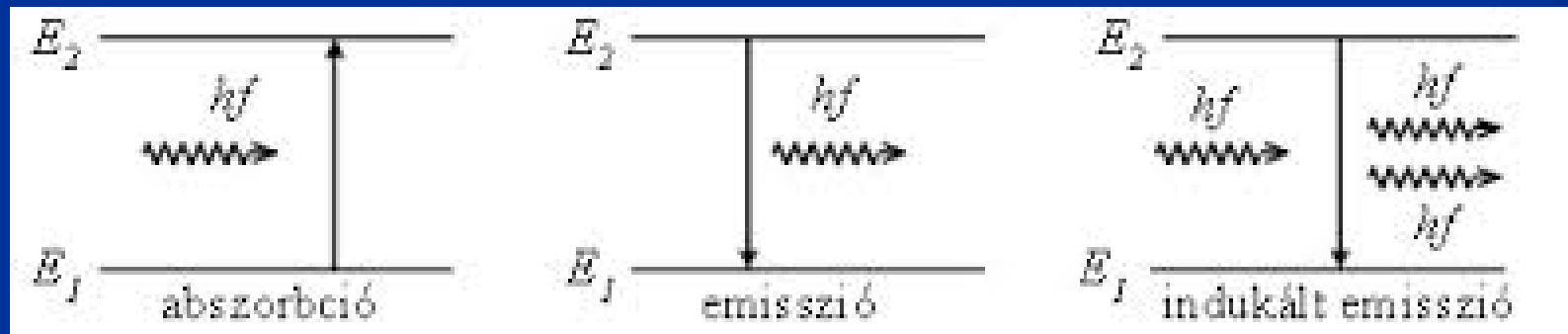
Két tükör sokszoroz, de csak vonalszerű lehet



Két tükör: hosszú erősítés kis hely

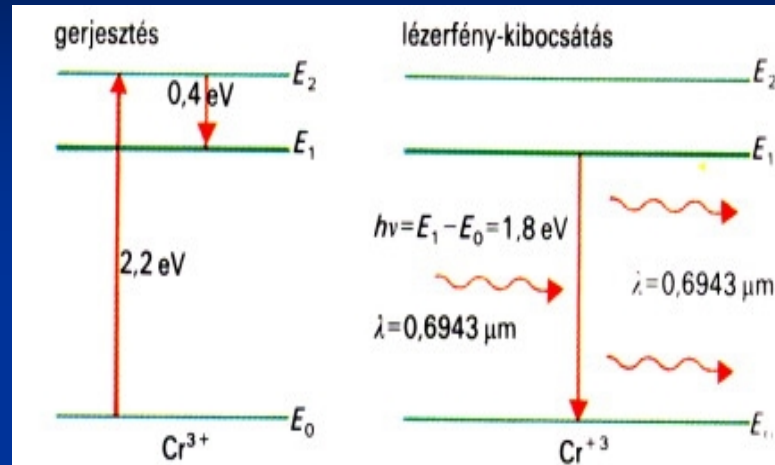


2 Nívón FORDÍTOTT NEM LEHET!

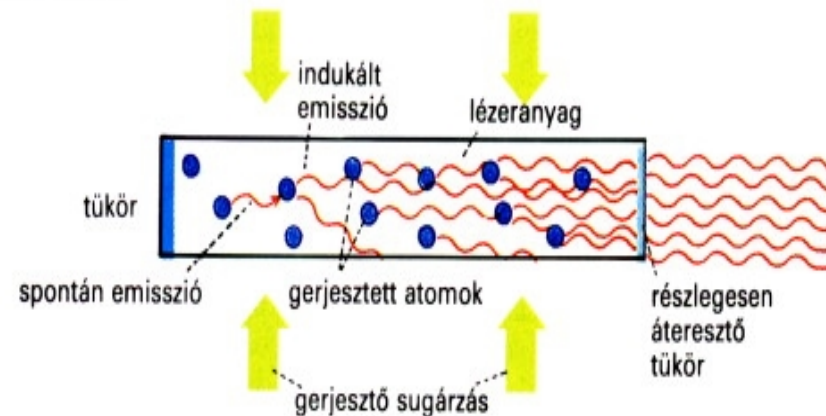


MI A LÉZER?

- **Fény frekvencián működő oszcillátor**
 - - erősítéshez populáció inverzió (gerjesztés)
 - - indukált emisszió
- **Extrém anyagok extrém gerjesztéssel**
 - **Monokromatikusság:**
 - **Párhuzamosság**
 - **Kis erősítés miatti**
 - **KÖVETKEZMÉNY**



A rubinlézer működési elve



A spontán emisszió indukált emissziót vált ki

Tulajdonságok

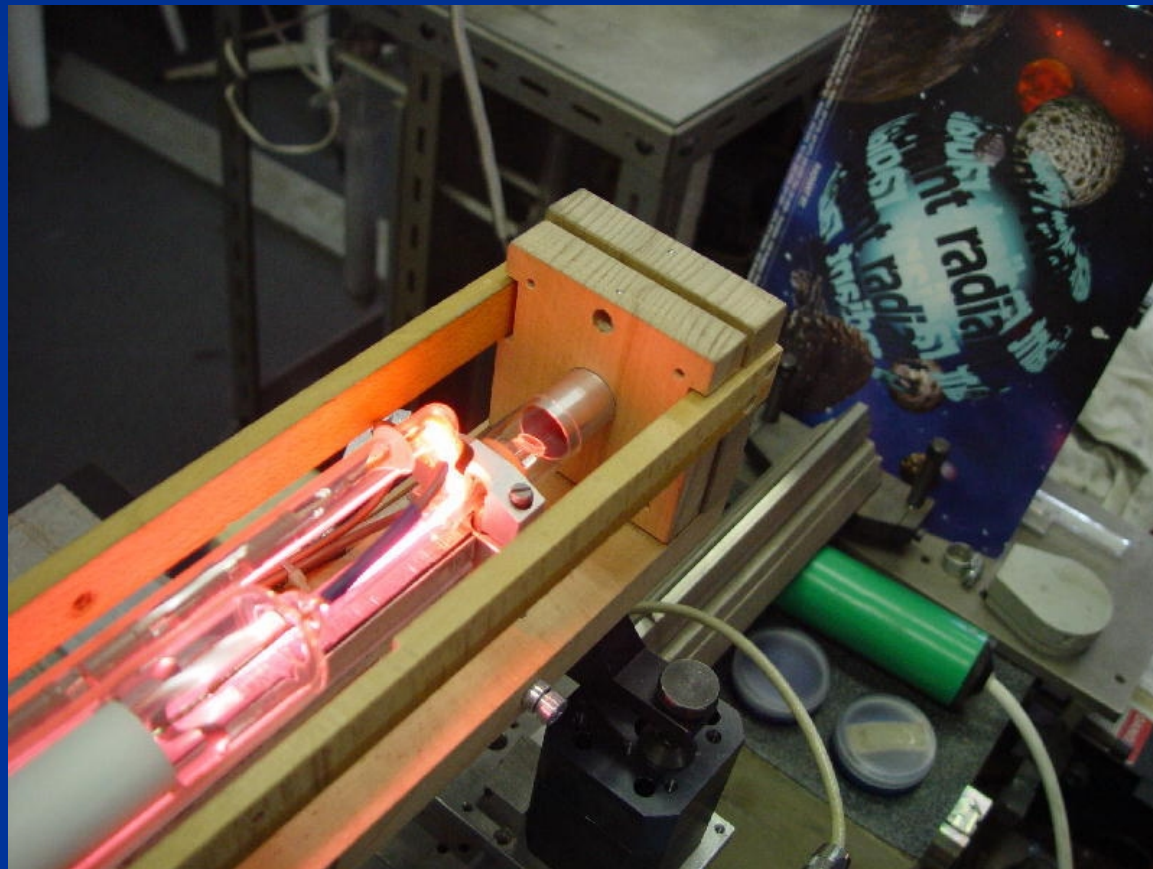
- Jól terjed
(oldalról nem „bánt”)
- Jól fókuszálható
(telj. sűrűség)
- Jól csatolható
fényvezető szálba





KÉSZ, 1960 A lézer mese vége!?

- Pedig eltelt 50 év! Mi történt azóta?



- *A klasszikus lézer tulajdonságok a kizárólag a kis fényerősítésből következnek (de beleszerettünk)*

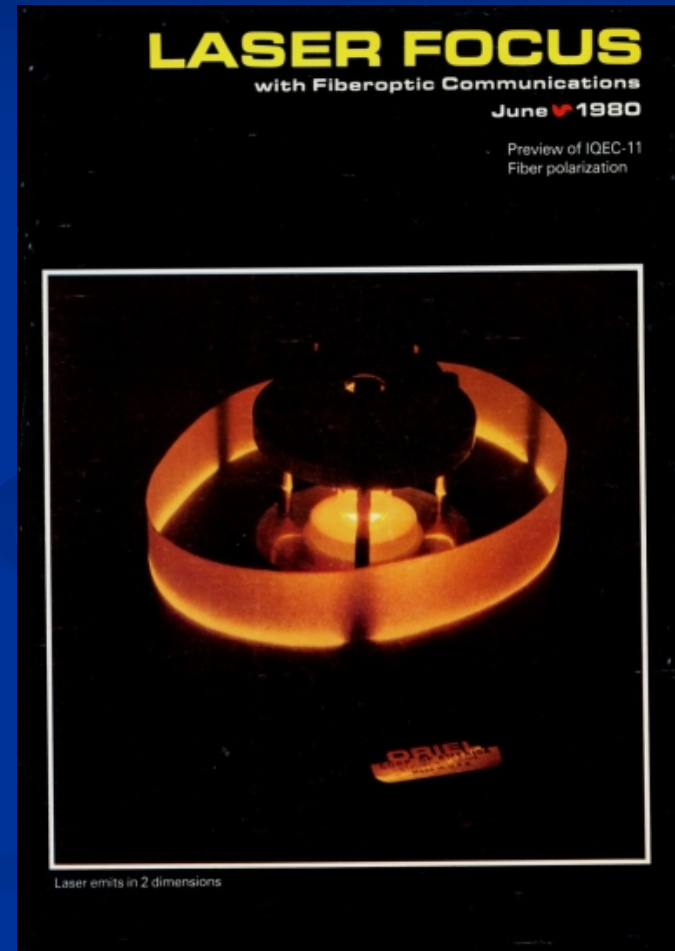
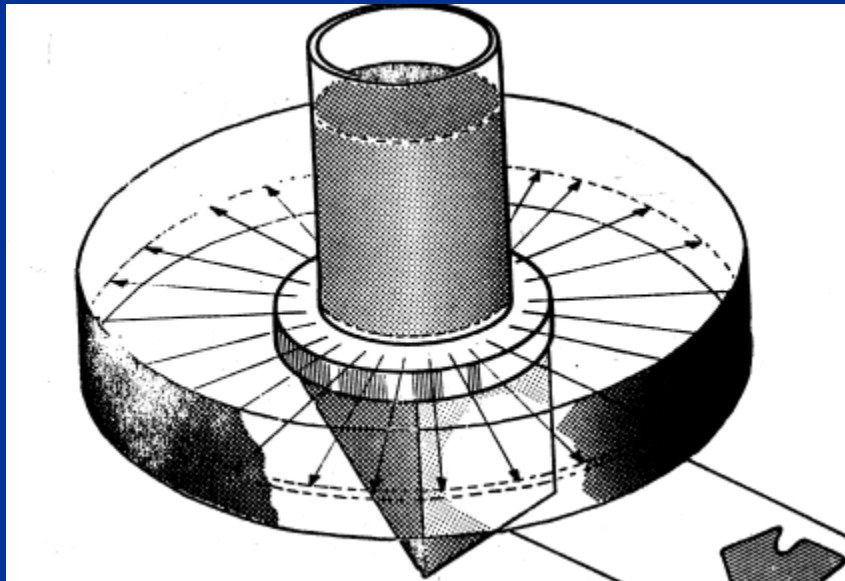
*No, de mi van,
ha nem kicsi a fényerősítés?*

Ha nagy az erősítés:
lehet széles a spektrum



és lehet játszani a tükrökkel ... sőt ...:

Halo (Glória) Lézer



Gömb

科学札记

染料激光的三维超辐射

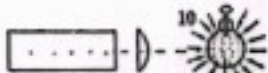
Abstract: In this paper we report the three-dimensional superradiance of the dye laser obtained by using the second harmonics from a giant pulsed YAP:Nd³⁺ laser oscillator-amplifier to pump "dye ball" Rhodamine 6G.

一、引言

通常所说的受激辐射大多是一维的。随着高增益染料激光的发展,二维的平面染料激光和超辐射也已有报导^[1-3],但三维染料激光和超辐射则未见报导。1980年, Z. Gy. Horvath 等人^[4]虽曾提出三维的“球形激光”,但迄今未看到实验报导。我们在实现染料激光的超辐射的基础上^[5],对染料激光的三维超辐射(下面简单写作 ASE)作了尝试,并初步得到有趣的实验结果。

二、实验与结果

染料激光的三维 ASE 是采用单 45° LiNbO₃ 电光 Q 开关钕酸钇 (YAP:Nd³⁺) 激光器作为泵浦级,经一级激光放大,输出激光峰值功率约为 30 毫瓦,重复频率为 1 次/秒;用 LiIO₃ 进行腔外倍频,得到波长为 0.533 微米倍频光,激光峰值功率约为 3 毫瓦。再用 0.533 微米的倍频光泵浦染料激光球若丹明 6G,泵浦光由泵浦光充满整个染料球体。实验装置如图 1 所示。



染料激光球是用普通玻璃吹制成的,它接近一个较理想的玻璃球壳,留有一个内径约为 0.3 毫米的直管,球壳内径为 12 毫米。用注射器把浓度为 1.1×10^{-4} ($\times 10^{-3}$ 也可) 克分子/升若丹明 6G 乙醇溶液注满整个球壳。染料激光球在强泵浦光源(泵浦脉冲宽度小于 10 毫微秒)激励下,染料若丹明 6G 获得足够高的增益,使得大部分光子的发射都进入放大的自发辐射模式中,并向整个 4 π 立体角空间内辐射出强度不太均匀的光束,即获得了染料三维 ASE。图 2 是三维 ASE 照片。

我们测定了这种 ASE 的线宽,以便和其荧光光谱比较。染料若丹明 6G 是在波长为 0.533 微米处

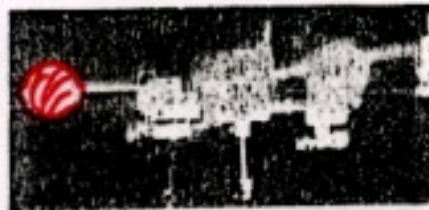


图 2 染料激光的三维 ASE

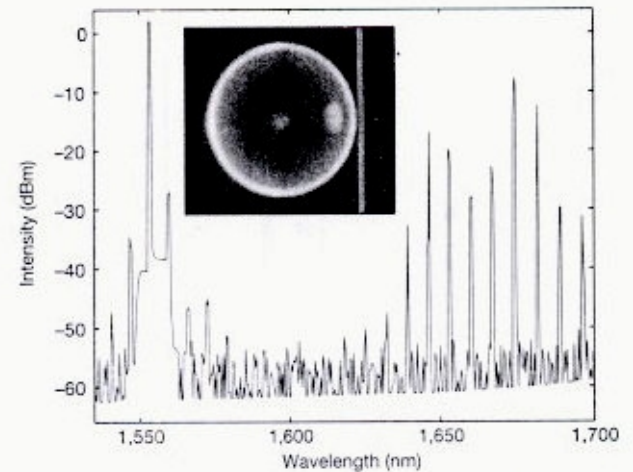
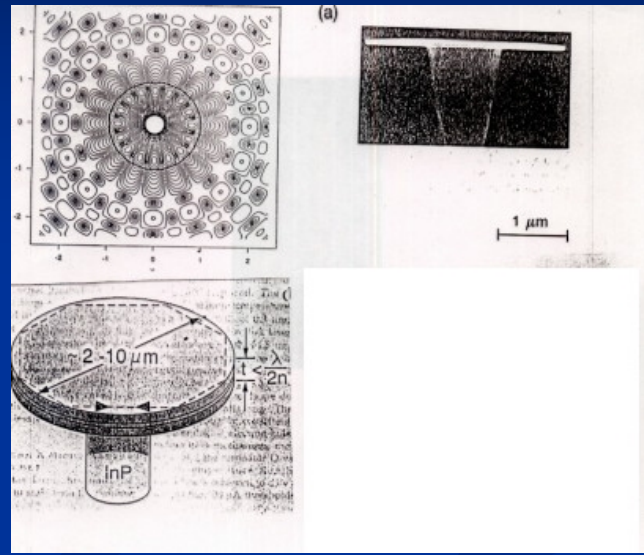
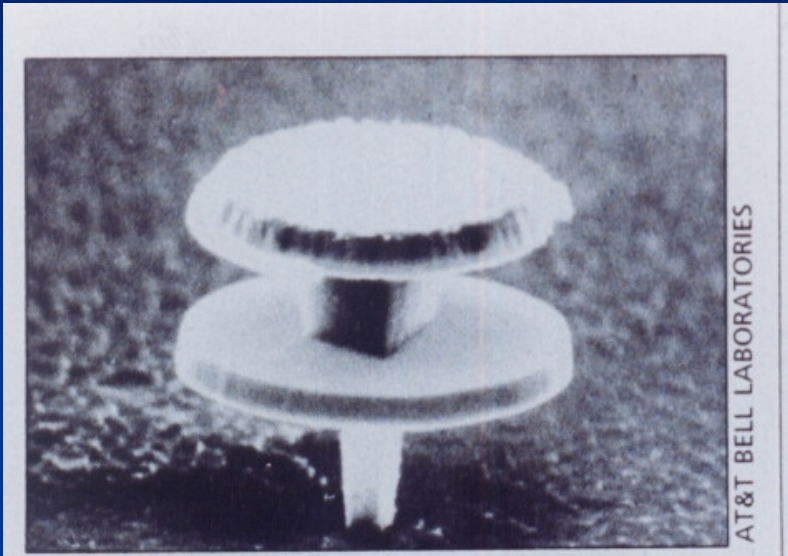


Figure 2 Spectrum of a 70- μ m-diameter Raman microsphere laser with pump powers of 2 mW. The pump is at 1,555 nm. Peaks located around 1,670 nm are Raman oscillations, separated by the free spectral range of the microsphere. Secondary lines around 1,555 nm are due to four-wave mixing between the pump and two Raman waves. Inset, a microsphere coupled to a fibre taper.

Mikro-diszk 2 (= mikro-glória)



Whispering Gallery Resonator Spans an Octave

White-light resonator has applications in spectroscopy and communications.

White light resonators are resonant across a broad, continuous swath of frequencies — perhaps as much as an octave — but still retain a high quality factor, or Q , at all of the resonant frequencies. Recently, scientists at California Institute of Technology's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena designed and demonstrated a white-light resonator based on a whispering gallery resonator. They developed the resonator with two primary applications in mind: cavity ringdown spectroscopy and electro-optic modulation.

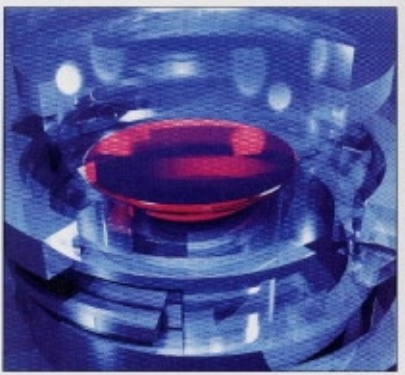
A whispering gallery resonator, named after the acoustic effect that sometimes occurs in domed buildings, guides light by total internal reflection around the circumference of a circular optical structure. It can be relatively small, or hundreds of microns in diameter, and can have a Q on the order of 10^6 or higher.

In cavity ringdown spectroscopy, light is coupled into the resonator at an angle, and the scientists excite many overlapping whispering cavity modes.

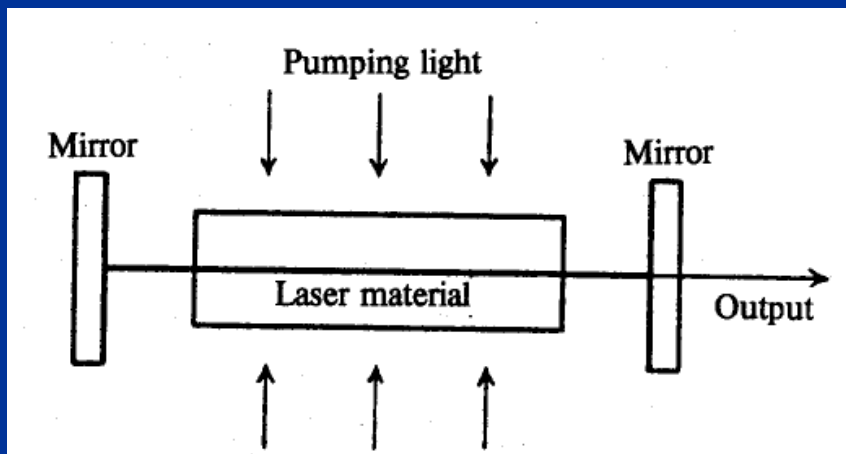
Figure 1. By coupling light obliquely into the 5-mm-diameter, 500- μ m-thick CaF_2 disk, the scientists excite many overlapping whispering cavity modes.

18 JULY 2005

ELECTRONICS SPECTRA 183

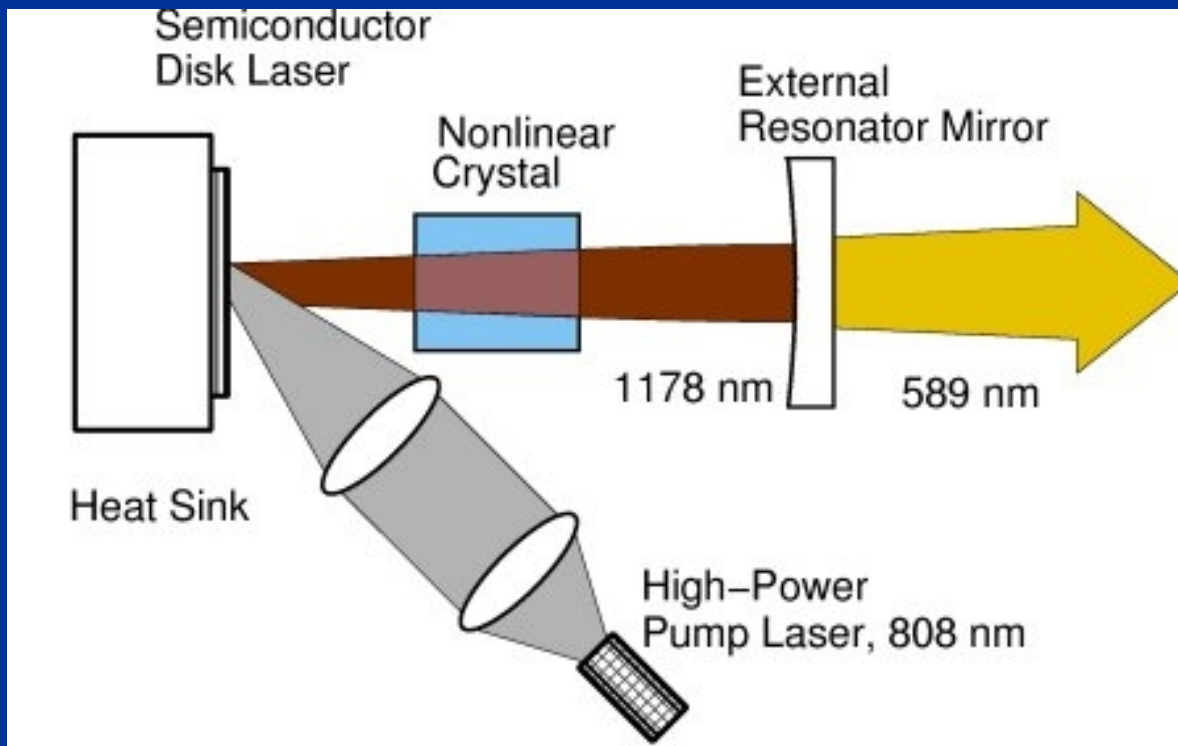
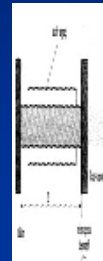
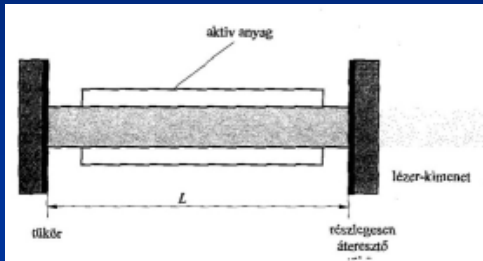


Csak emléknék: vonalszerű, 1 dimenziós lézer



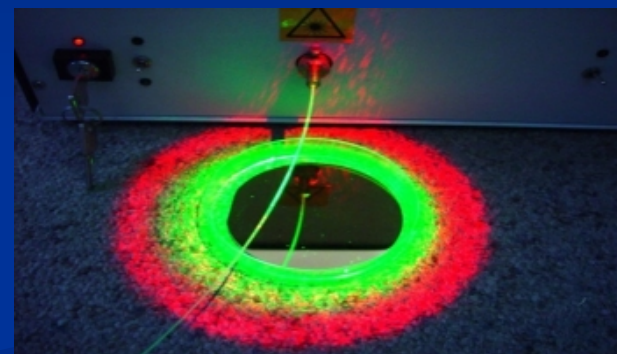
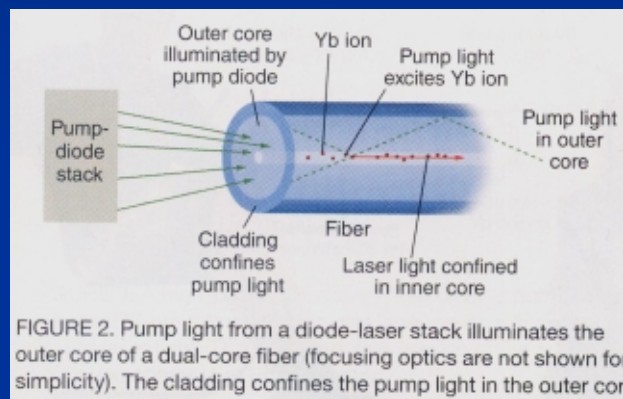
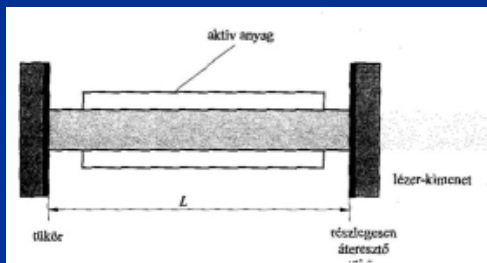
Modern rezonátorok (1)

DISZK LÉZEREK



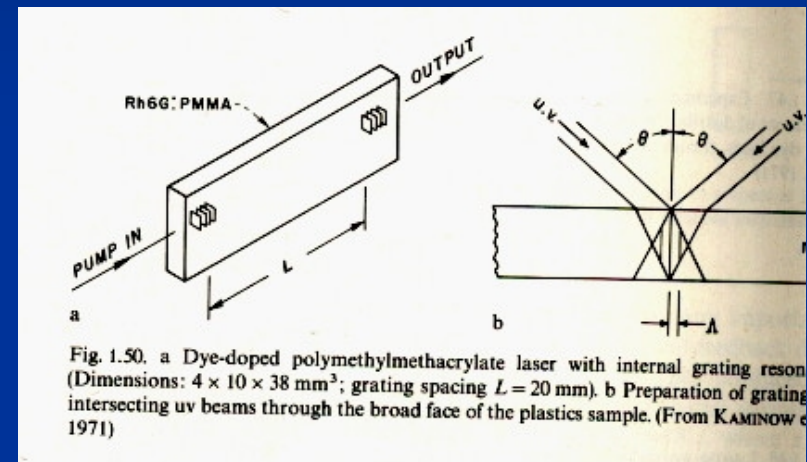
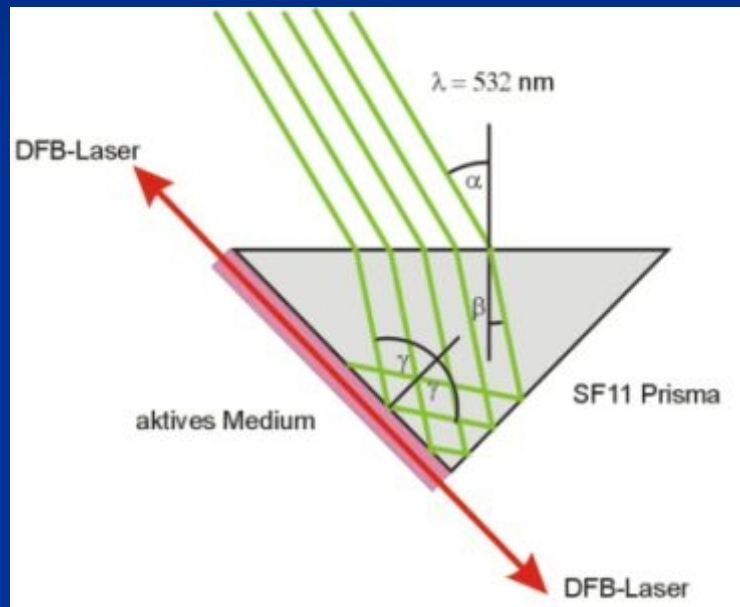
Modern rezonátorok (2)

SZÁL-LÉZEREK



- Tipikusan dióda lézerrel pumpált, fényerősítésre alkalmas fényvezetők. Nagyon hosszú, de kicsire feltekerhető lézerek ... azonnal szálkimenettel.

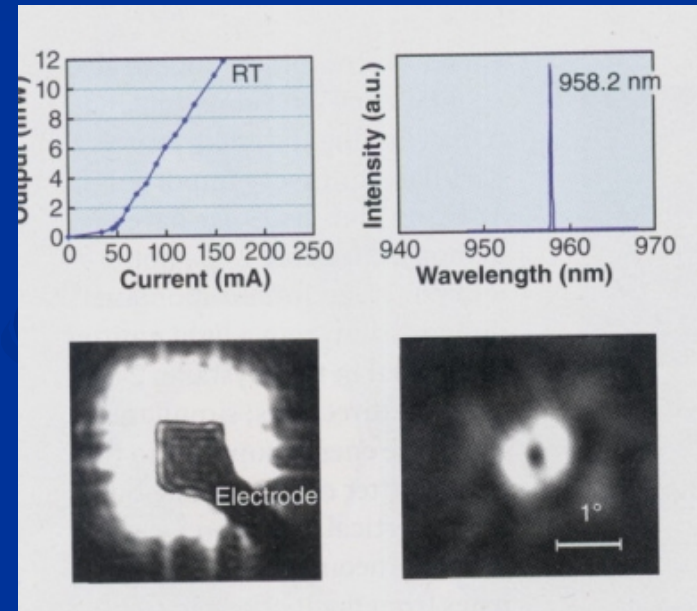
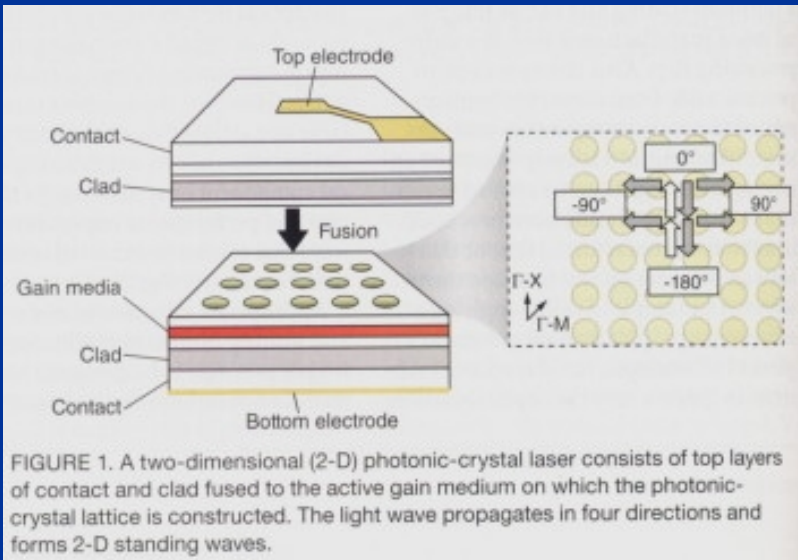
Elosztott paraméterű visszacsatolás (DFB)



Két nagy tükör helyett:
rengeteg kis, jól elhelyezett „alig-tükör”

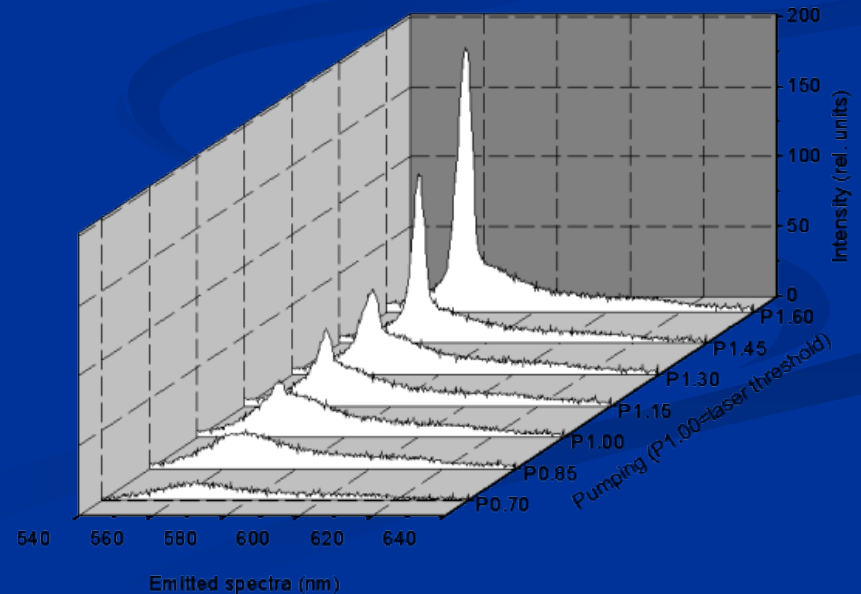
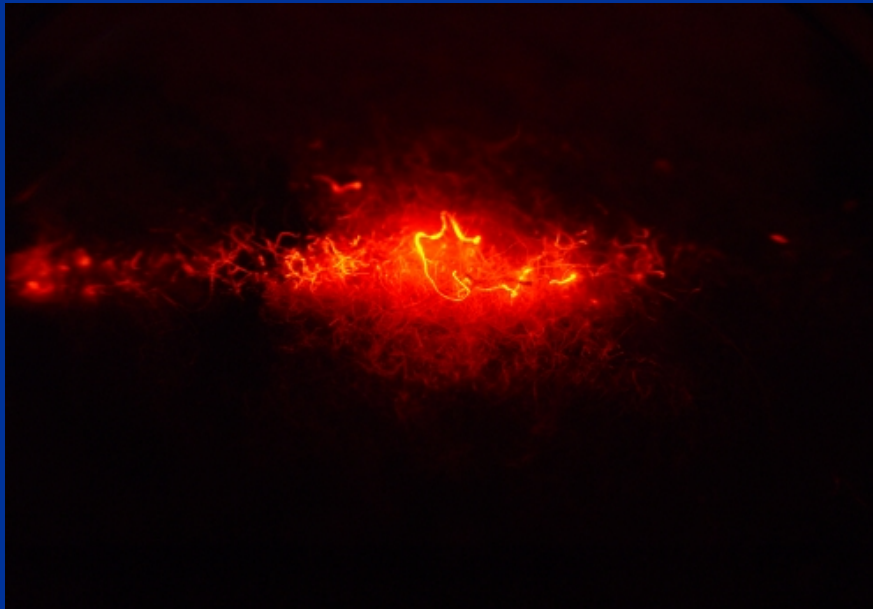
Modern rezonátorok (3)

FOTONIKUS KRISTÁLYOK

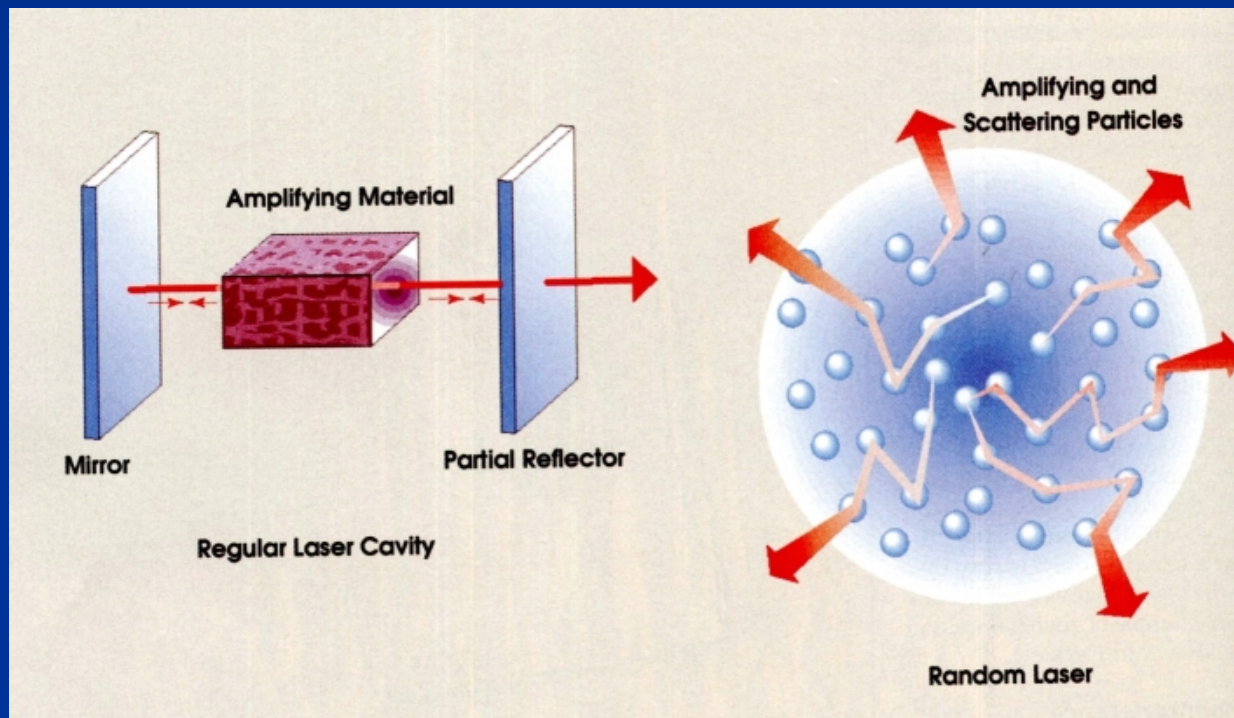


ASE

- Jánossy L.
- „Hosszú” erősítő
- Erősített Spontán Sugárzás (ASE)

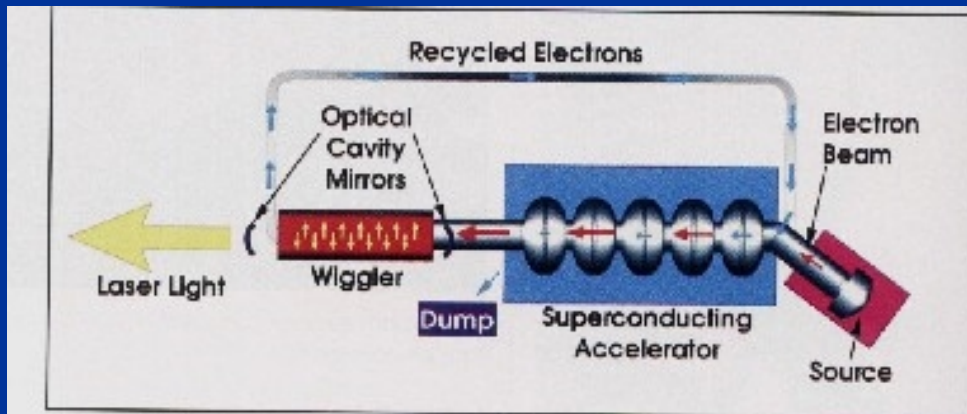


Random lézerek



Kicsit NEMLÉZEREK

- THz, FIR, (IR, VIS, UV kb. OK) Rtg, Gamma, stb.
- FEL
- Szuperlumineszkáló LED stb. Stb.



A free-electron laser transforms some of the energy from accelerated electrons into laser light. In the device, electrons not bound to atoms are accelerated and slalom through an array of magnets in a device called a "wiggler." The electrons give up energy, which is converted to light, but any electrons with unspent energy are recycled.

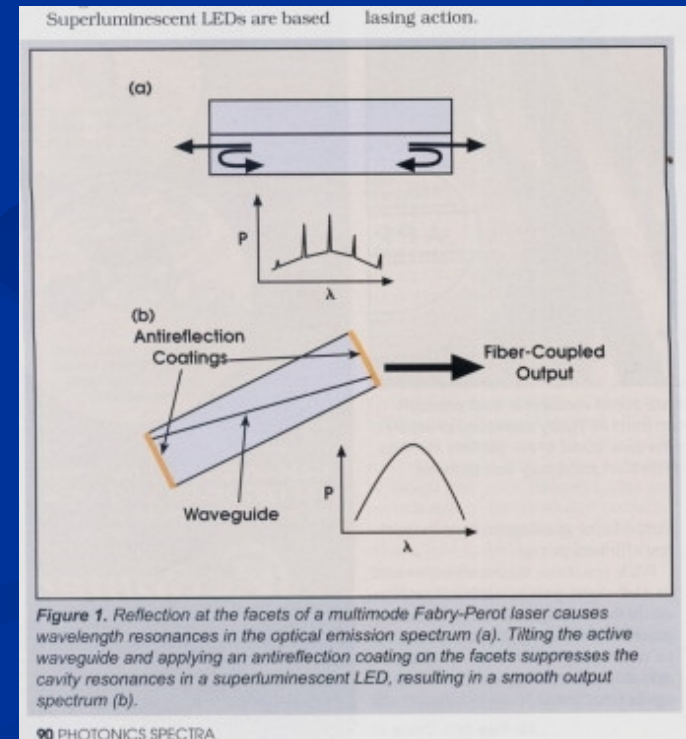


Figure 1. Reflection at the facets of a multimode Fabry-Perot laser causes wavelength resonances in the optical emission spectrum (a). Tilting the active waveguide and applying an antireflection coating on the facets suppresses the cavity resonances in a superluminescent LED, resulting in a smooth output spectrum (b).



Nagyon EMLÉZEREK

Nagyon NEMLÉZEREK (pedig igencsak úgy néznek ki)

- 2 omega („KTP”?)
- OPO, keverés
- Raman



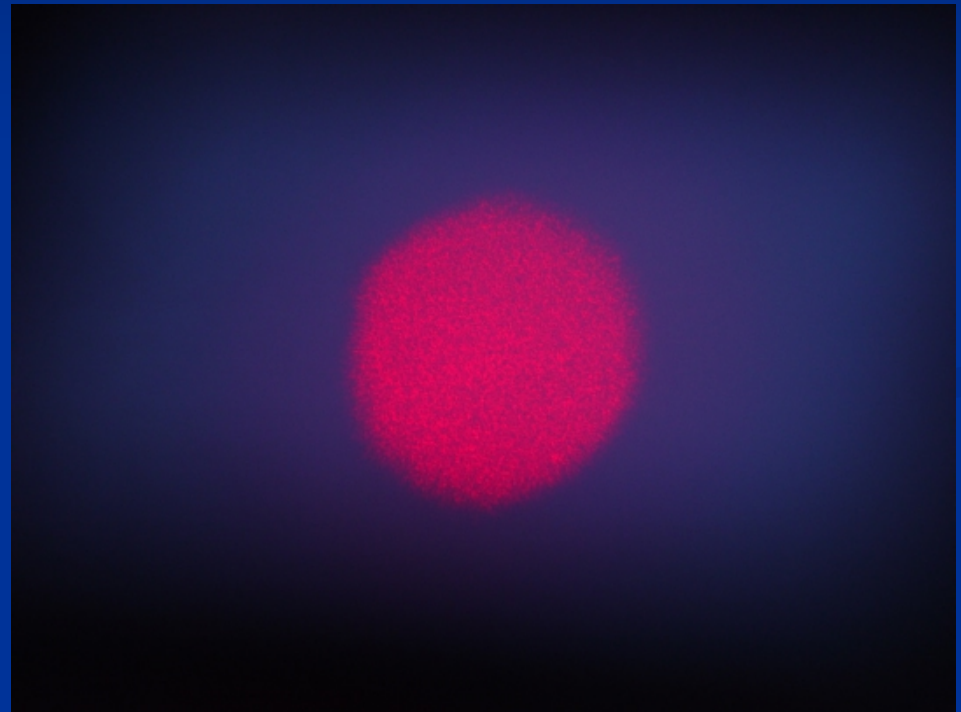
Meg sem említjük

- Lézerek inverzió nélkül
- Szupersugárzás (superradiance)
- Ultrahang lézer
- Atom lézer
- Stb. Stb. Stb.

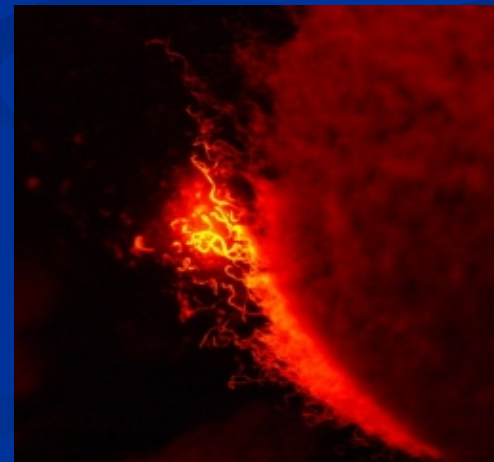
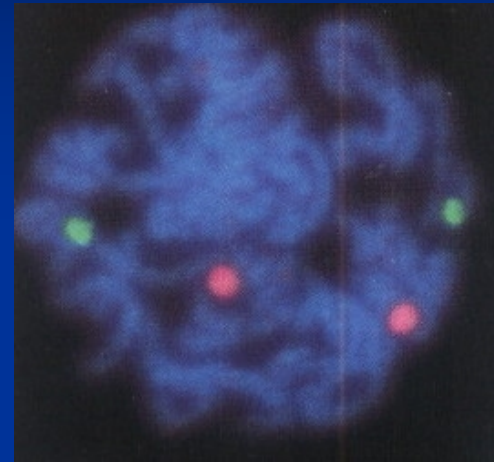
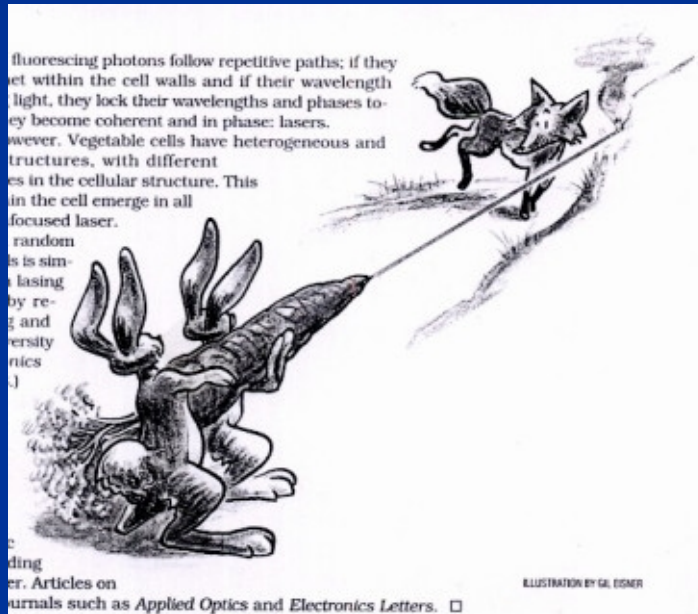
A 60-as években örültünk, hogy legalább
hullámhosszon (monokr.) legalább
vonal mentén (kis div.) el lehetett indítani
a lézert!

MI A LÉZER („LASER”)?

- Egy fényforrás, amiből olyan fény lép ki, aminek zöme (legalább 50%-a?) indukált emissziós fényerősítés eredményeként keletkezett.



Mikro-

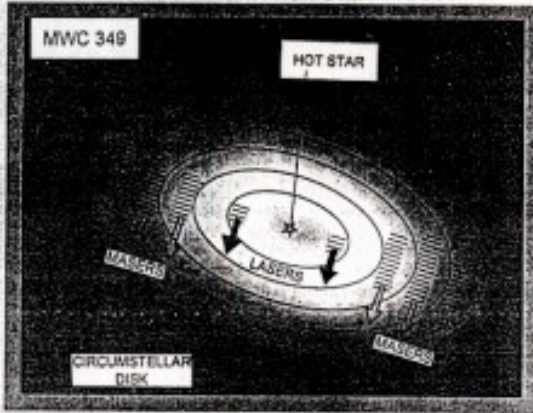


(Nagyon) makro-

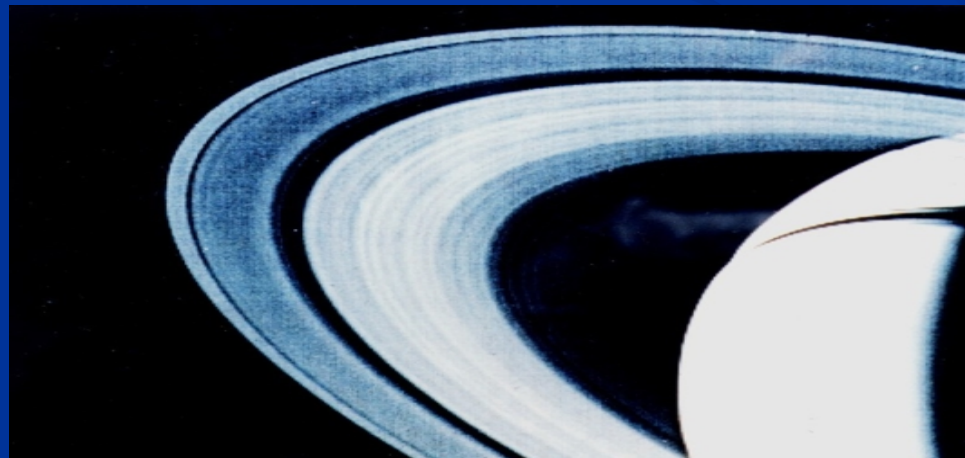
Natural laser observed in space

For 35 years, scientists have gone to great lengths to produce laser light. All the while, it's been occurring naturally in space. "If we'd been doing more astronomy, we would have discovered lasers earlier," says Nobel Laureate Charles Townes, inventor of the maser. "If these lasers had been discovered a few decades earlier, we wouldn't have had to invent them on Earth."

In August, a research team aboard NASA's Kuiper Airborne Observatory (KAO) detected 169 μm laser light from a disk of hydrogen gas surrounding a star in the constellation Cygnus (MWC349). Although replicating the UV intensity from MWC349 would be a dreadful task in the lab, Townes maintains that scientists could have used the concept to design a laser.



With their point of view in the same plane as the hydrogen disk surrounding the star, researchers observed natural lasers.



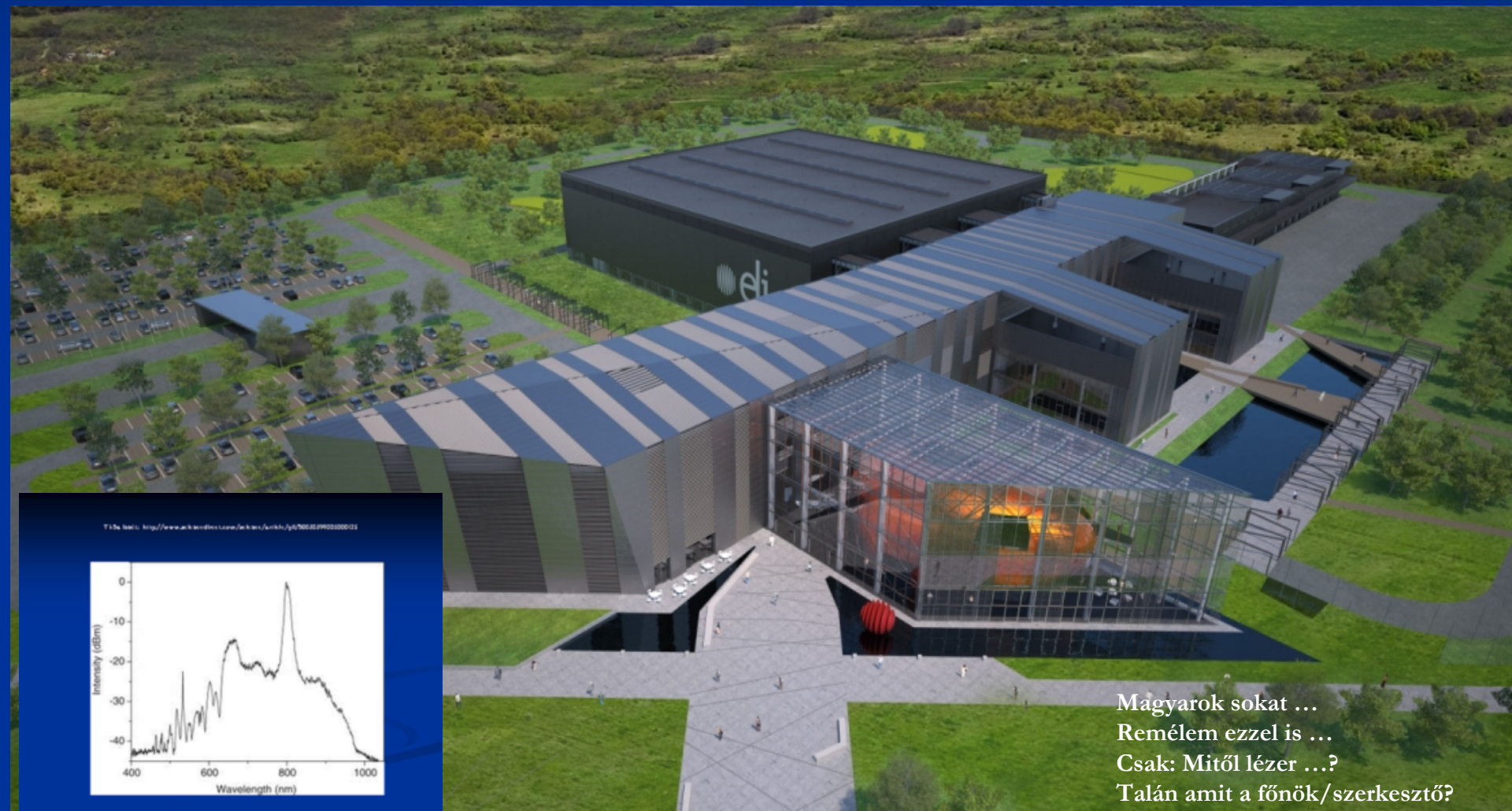
Konklúzió:

- *A (mai) LÉZEREK = „NAGYON” LÉZEREK és emiatt sok előnyös tulajdonságuk van*
- *ERŐSÍTETT SPONTÁN = „REÁLIS” LÉZER (számtalan vicces és praktikus formája lehet és a természetes lézerek csak ilyenek lehetnek)*
- *OK: „Véletlenül” fordítva lettek kitalálva ...*
- *... és ezen már lehetetlen változtatni.*

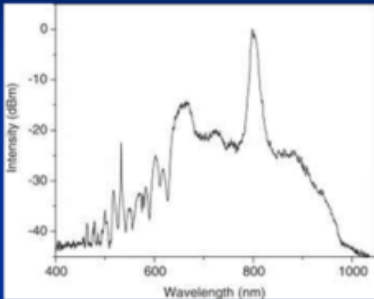
Széles spektrumtól a széles spektrumig



ELI: Egy nagyon „nemlézer” DE pontosan illene rá a „LASER” név



Title text: <http://www.ck12.org/physics/Article/467602499001000/1>



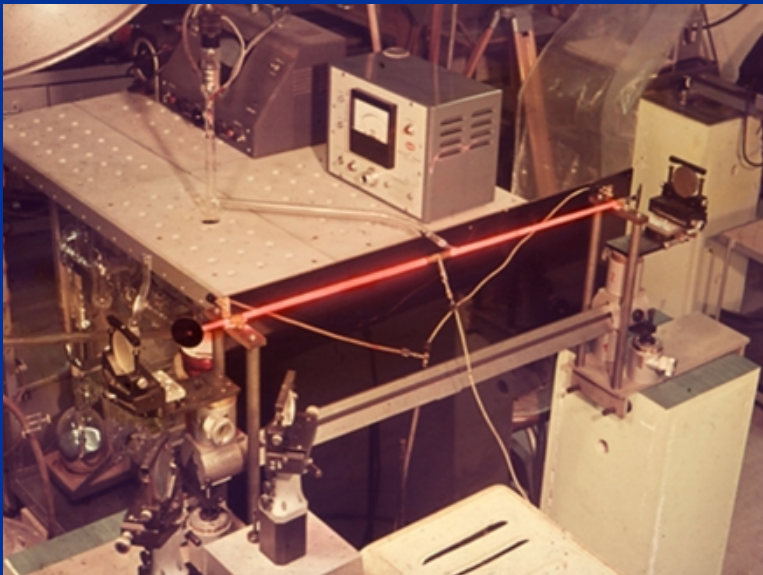
Magyarok sokat ...
Remélem ezzel is ...
Csak: Mitől lézer ...?
Talán amit a főnök/szerkesztő?

ÉS ITTHON?



AZ ELSŐ MAGYAR LÉZER

- KFKI 1963 December 6
- 2-3-mW infravörös(!) He-Ne lézer



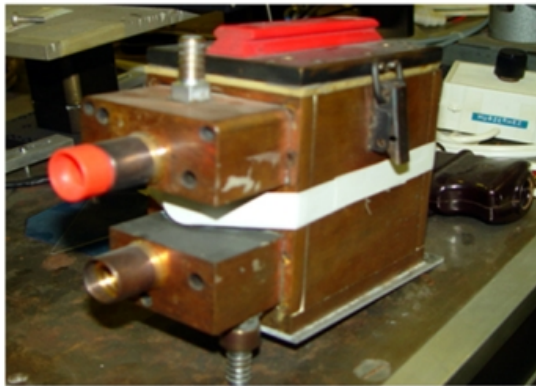
JATE Szeged (+Pécs)

- N2, Excimer és Festék lézerek (DFB is)

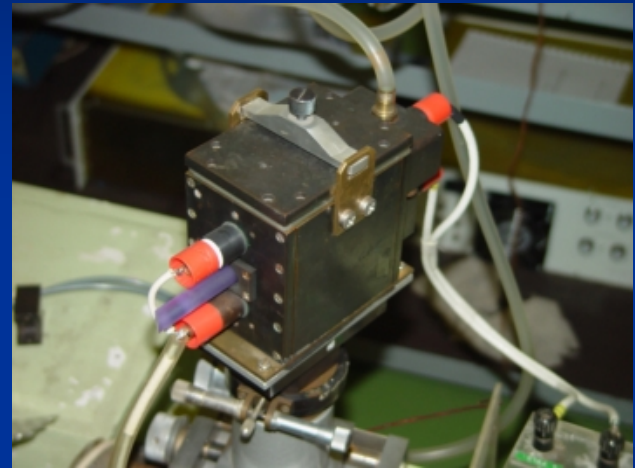


KFKI szilárdtest lézerek Rubin, ND YAG stb.

Rubinlézerfej

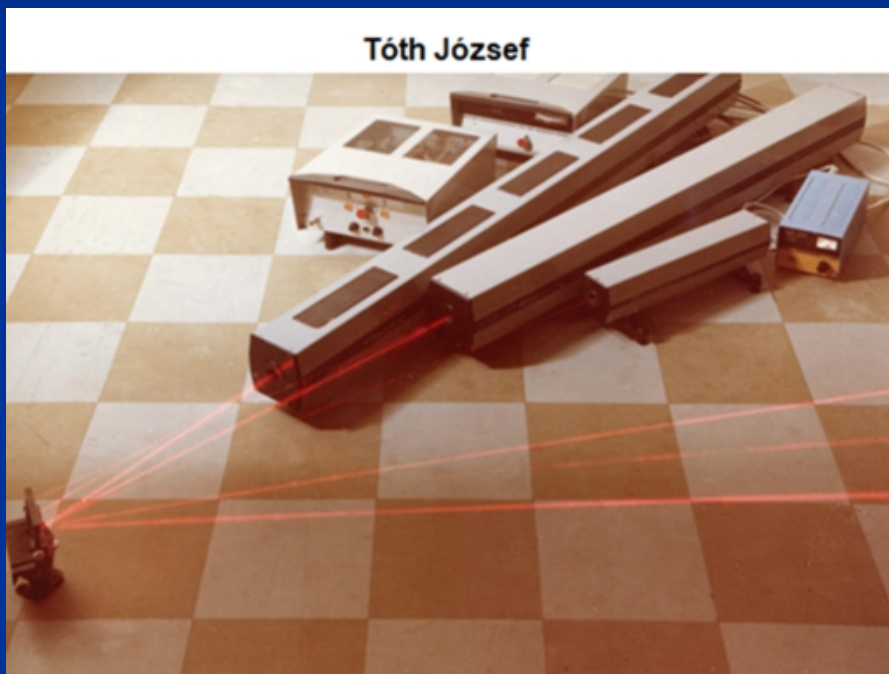


Farkas Gy., Horváth Z., Schmidt Gy., Titschka K., Cséry H., Imre L.



KFKF Piros Ne-Ne 5-50 mW

Tóth József

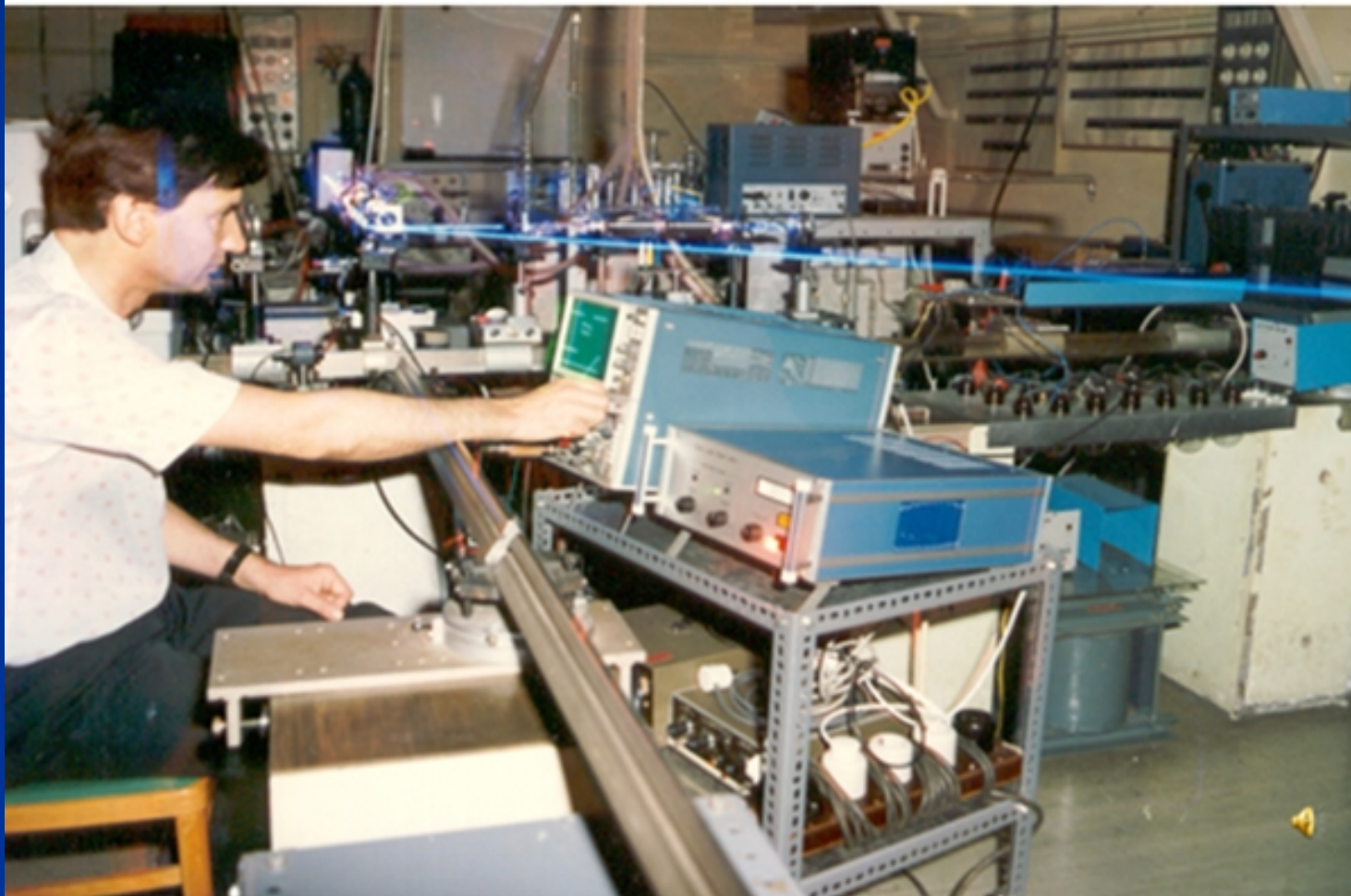


Tóth József



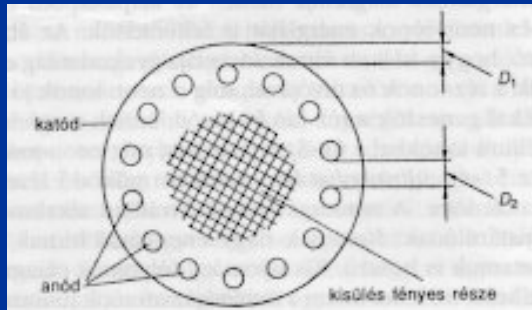
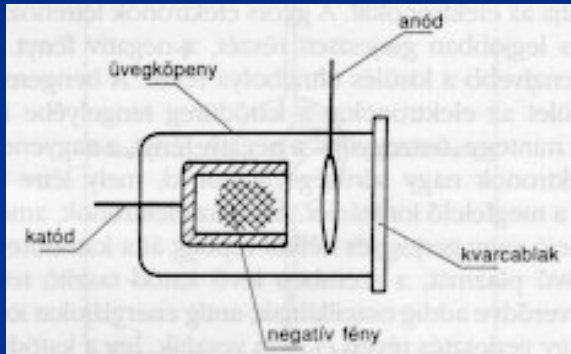
KFKI kék lézerek

Jánossy Mihály (1942-2004): He-Kr ($\lambda=469,4$ nm) felhasított üreges katódú lézer; 1986.aug.



Üreges katódú fémgőz lézerek

Rózsa Károly



Tungsrám - Lasram



- LASRAM

TUNGSRAM
ENGINEERING
LASER
TECHNOLOGY
Plac

- PARTNEREK

- TERMÉKEK

IPARI LÉZEREK
Vágórendszerek
3D rendszerek
Feliratozó rendsz.
Sugárvezetők

ORVOSI LÉZEREK
CO₂ Sebészeti
Mikromanipulátor
Scanner
Kézidarabok

BÉRMUNKA
2D lézervágás
Hajlítás
Hegesztés
Lézeres feliratozás
3D megmunkálás
Mikromegmunkálás

LASRAM

A Lasram ipari és orvosi-sebészeti lézerek fejlesztésével, gyártásával, és lézeres bérmunkavégzéssel foglalkozik.

A cég vezető szakemberei 25 évvel ezelőtt a Tungsrám Kutató Intézetében kezdtek lézerekkel foglalkozni. A Lasram 1991-ben alakult.

Lasram az elmúlt 15 évben 19 országba 550 lézerrendszert szállított.

ISO 9001, EN46001: 1998



MOM

- He-Ne geo műszerekbe is
- LPS mini Q-val



Akik kimaradtak

Főleg alkalmazók ill. célkészülék gyártók:

MÚFI félvezető

Tanos ... orvosi

Show-cégek

3D-s cégek

BME (mérés, holográfia)

ELTE (mérések LPS)

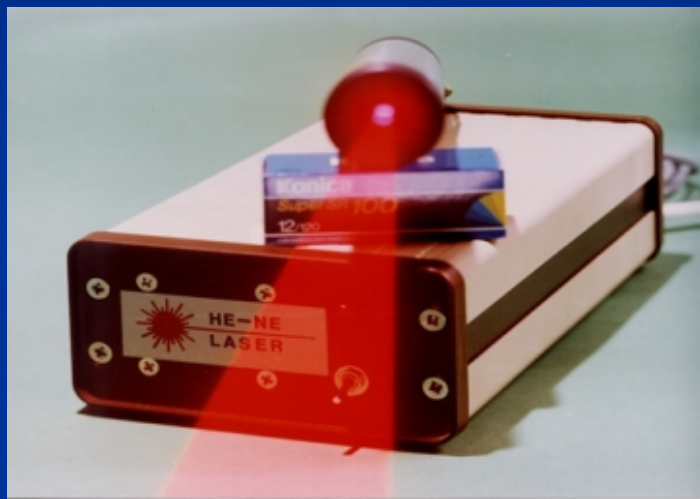
Stb.

Stb.

KFKI (V)GMK stb. (Tsz.)

He-Ne MP-Q, Ar.Kr javítások

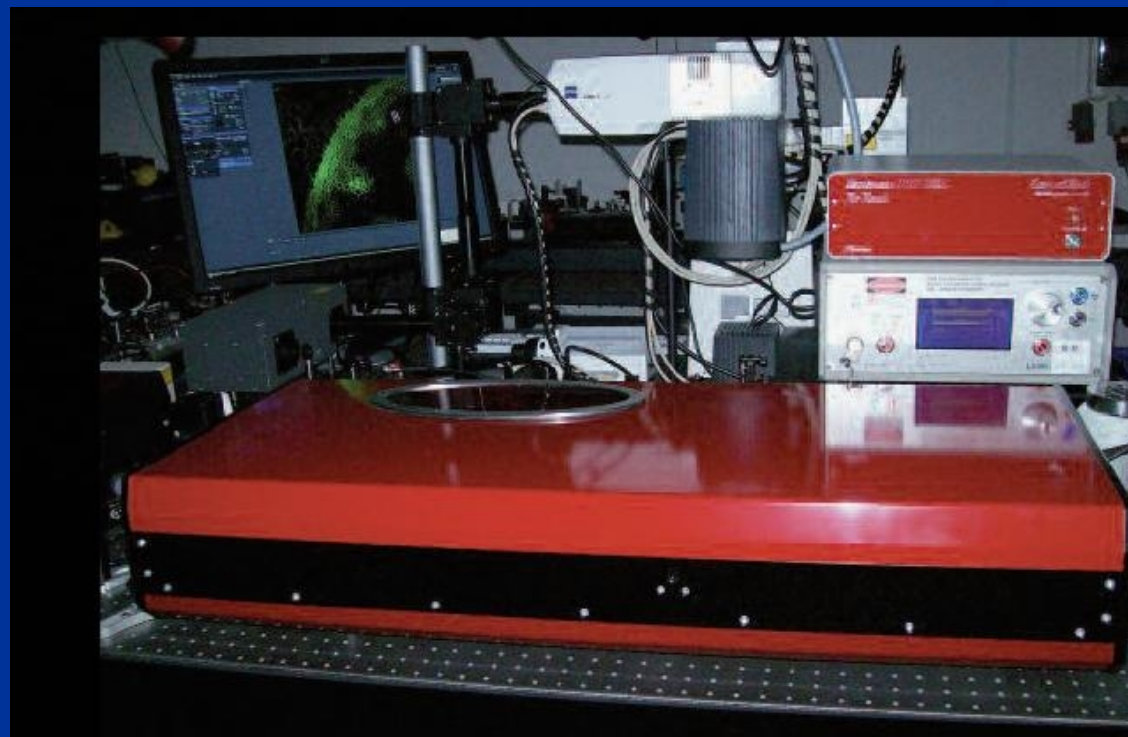
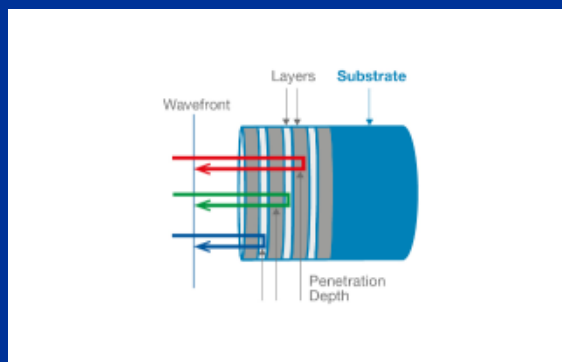
CO2 orvosi, show műsorok



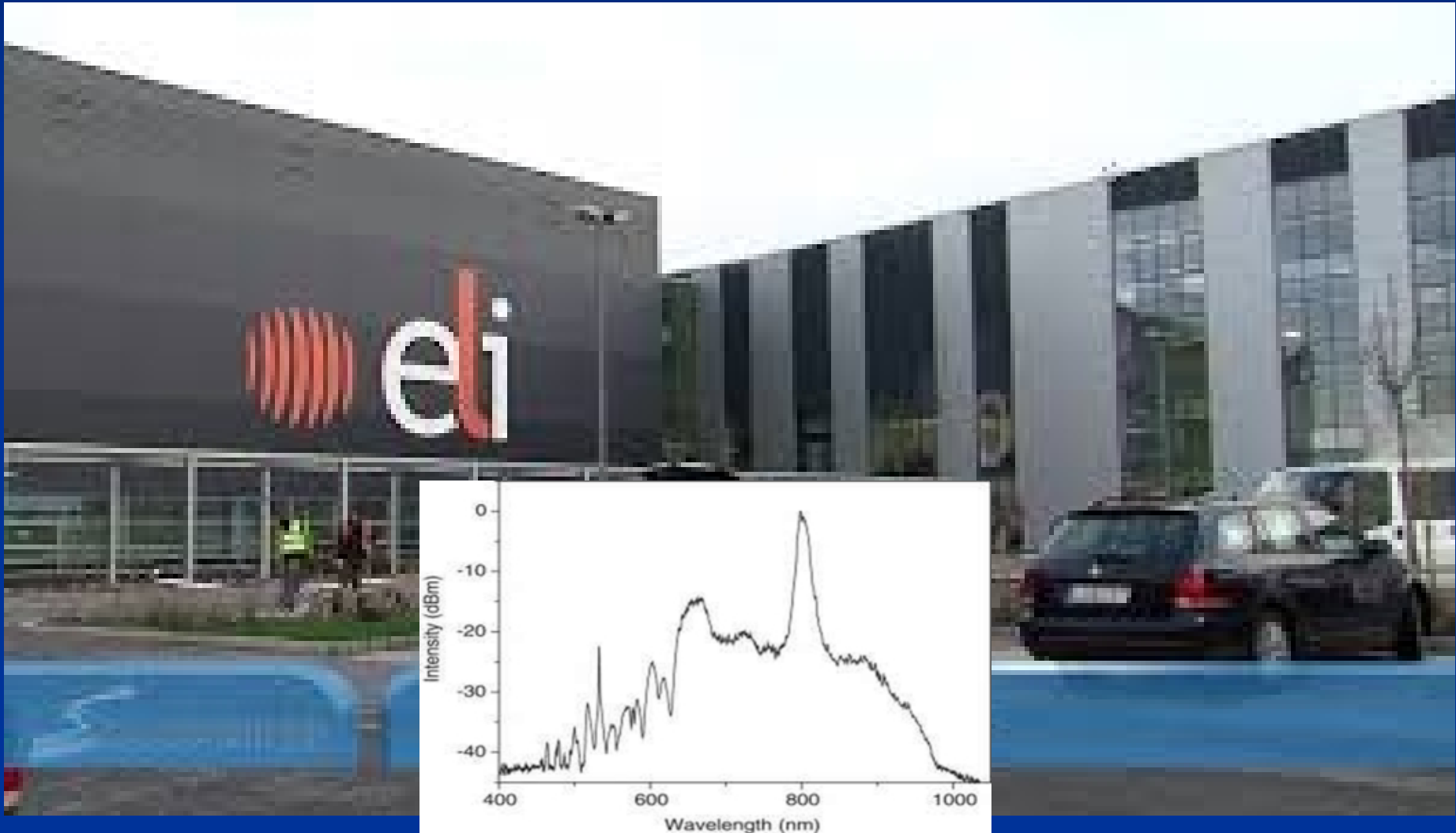
Ferenc Kárpát - Szipőcs Róbert

(KFKI ... spin-off)

„ciripelő” tükrök (fs)



Extrem Light Infrastructue („L” nem laser! Fs, As)

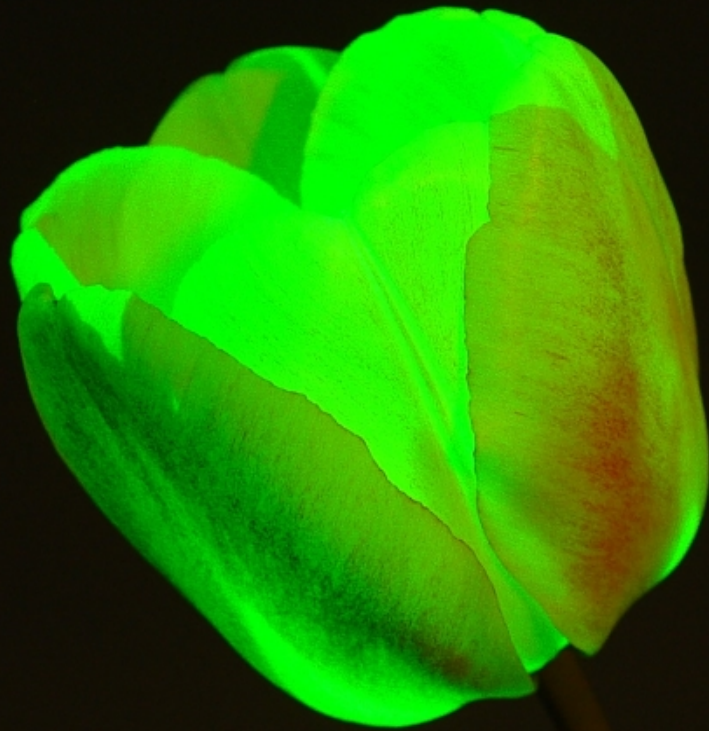




Köszönöm a meghívást és a figyelmet!



MILYEN LÉZEREK VANNAK?



Teljesítmény - energia

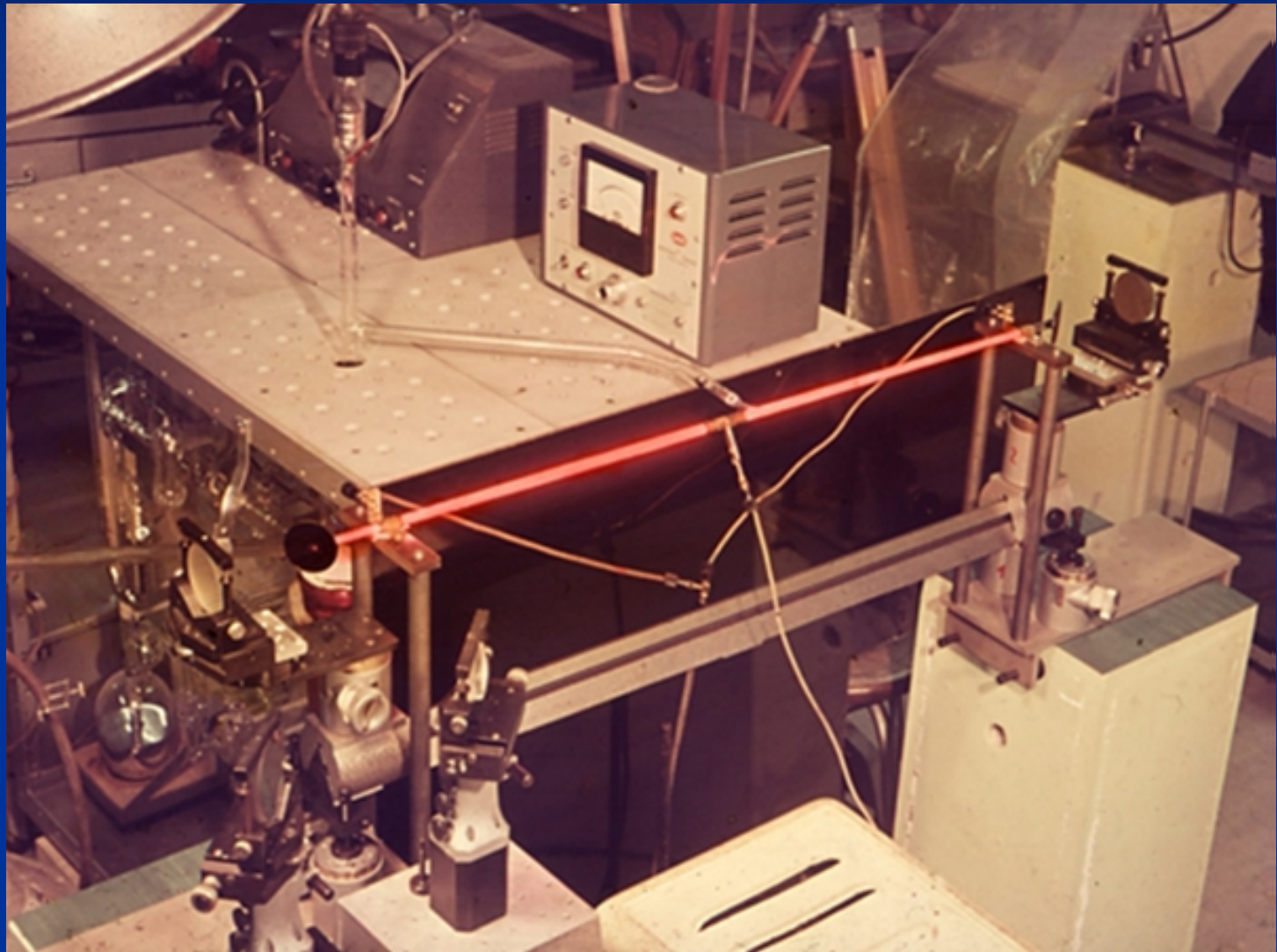


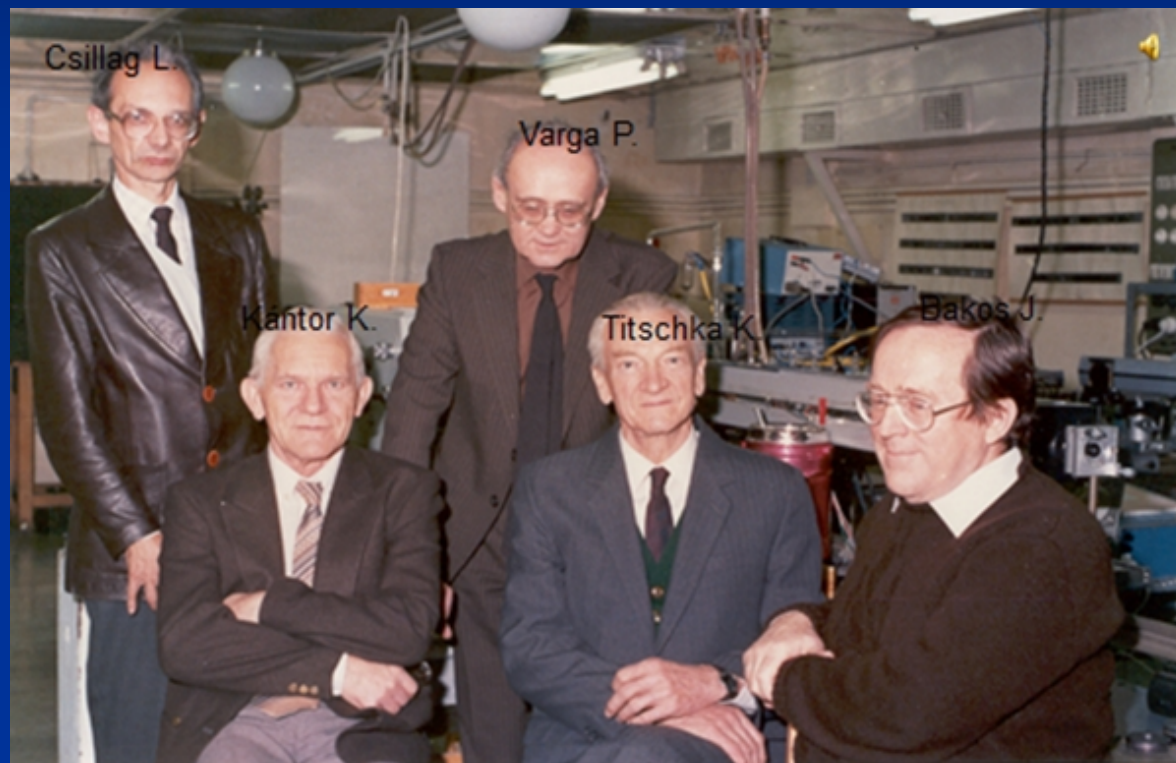
Teljesítmény-sűrűség



TELJESÍTMÉNY SKÁLA

- mW- PW-ig 18 (!) nagyságrend
- A legjobban koncentrálható energia (telj.)
- 1 – 10 - 100 mW
- 1W-100W
- kW – MW
- MW – GW
- PW - ?

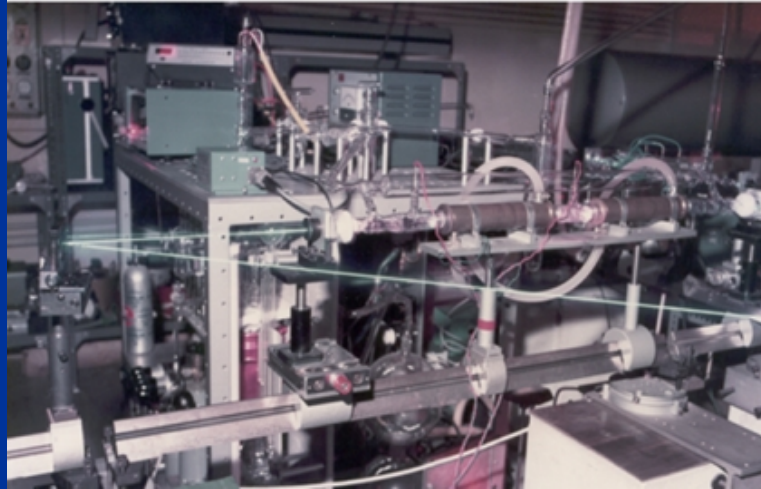




Szigeti János, Majorosi Antal
Jánossy Lajos, Náray Zsolt

He-kripton

Egyenáramú, üreges katódú He-Kr⁺ lézer $\lambda=469,4$ nm

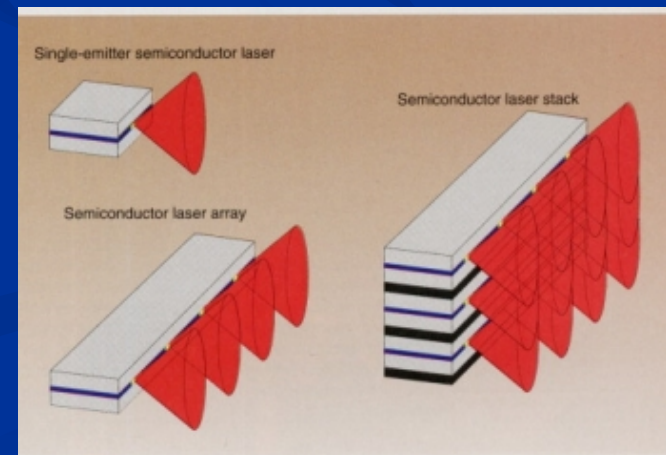
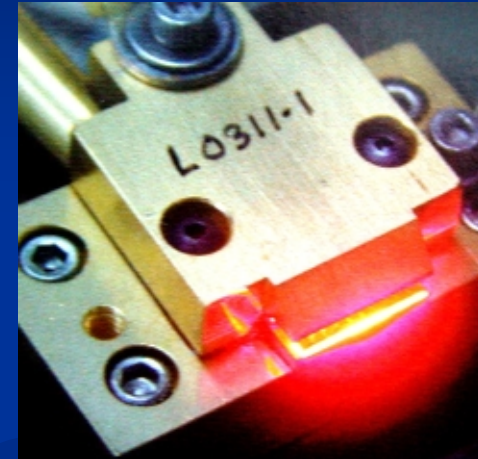
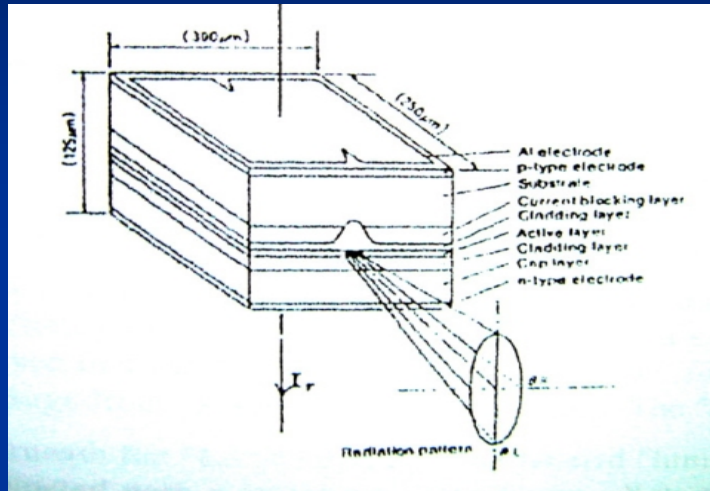




ma

- Femto verseny ... atto
- Kfki 6 fs kompressziós stb. tükrök

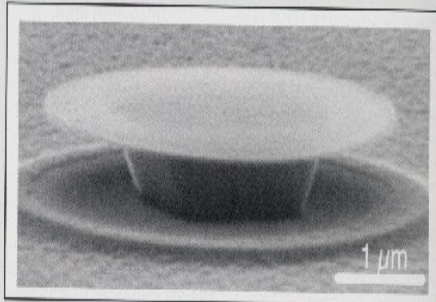
DIÓDA LÉZEREK



Mikro-disk 3 (= mikro-glória)

InAs Quantum Dots Self-Organize on Microdisks

A self-organization process identified by scientists at Stanford University's Solid State and Photonics Laboratory in California promises to facilitate the fabrication of devices in which quantum dots are coupled with microcavities, such as for proposed quantum information processing applications. They have found that InAs quantum dots formed on a prepatterned GaAs microdisk spatially align themselves in the cavity mode along the edge, which they attribute to preferential surface diffusion of adsorbed indium atoms in the structure during regrowth.



Quantum dots self-organize in the cavity mode along the edges of a prepatterned microdisk. The scanning electron micrograph shows a 4-μm-diameter, 50-nm-thick microdisk before regrowth. Images courtesy of Glenn S. Solomon, Stanford University.

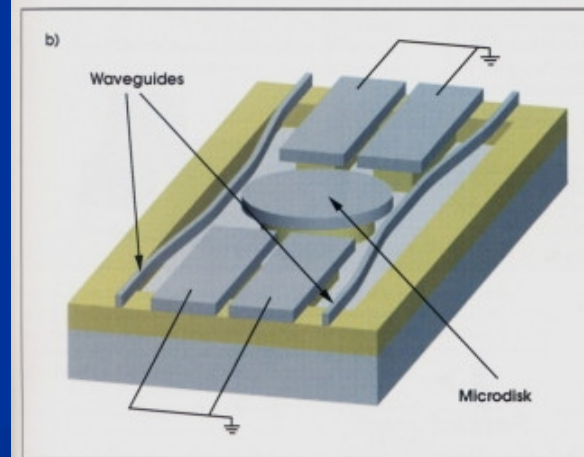
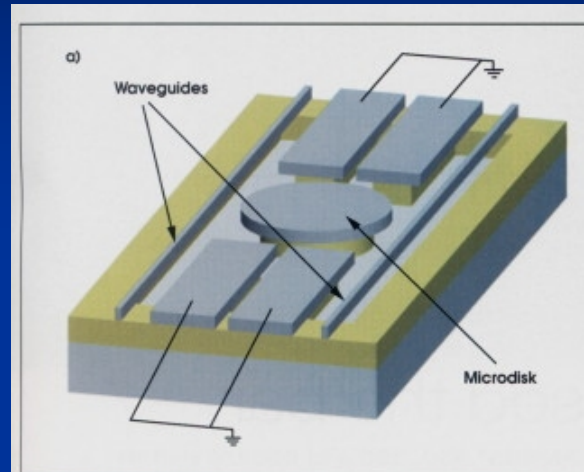
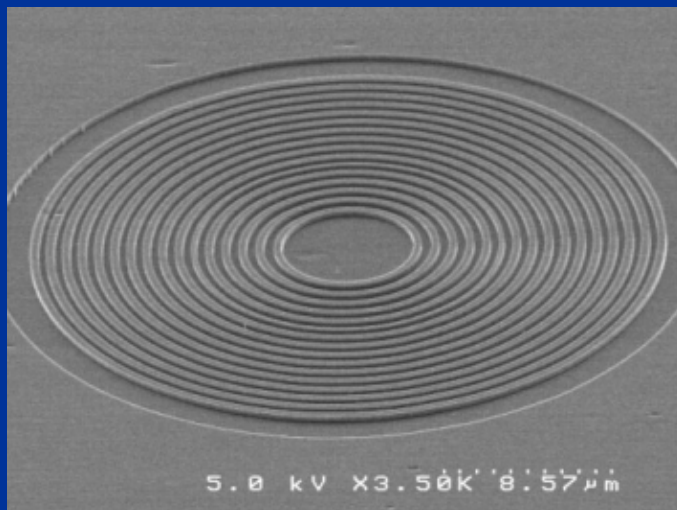
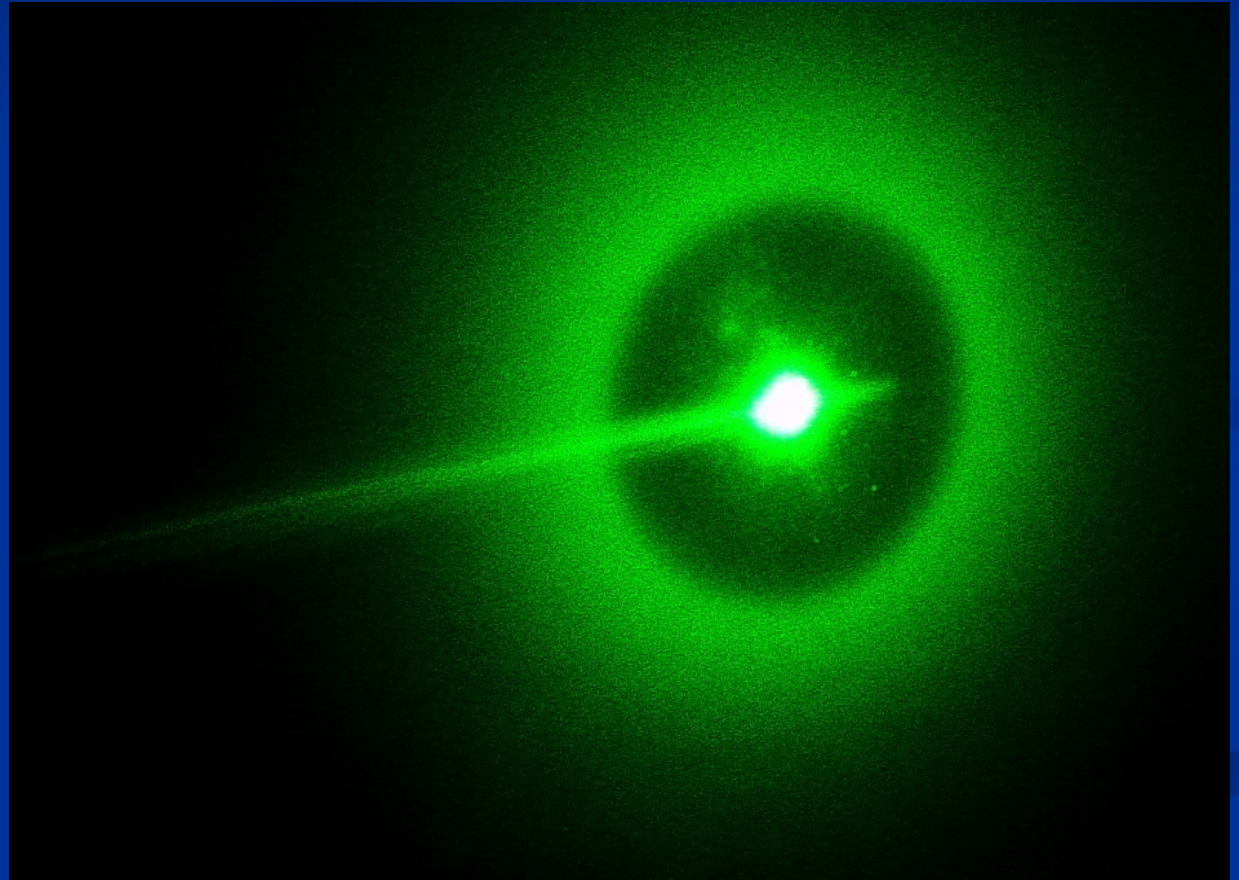


Figure 1. When the coupling waveguides are straight, no light is coupled from the waveguide into the microdisk (a). Coupling is accomplished when an electrostatic force pulls the waveguides into near-contact with the disk (b).

JULY 2005

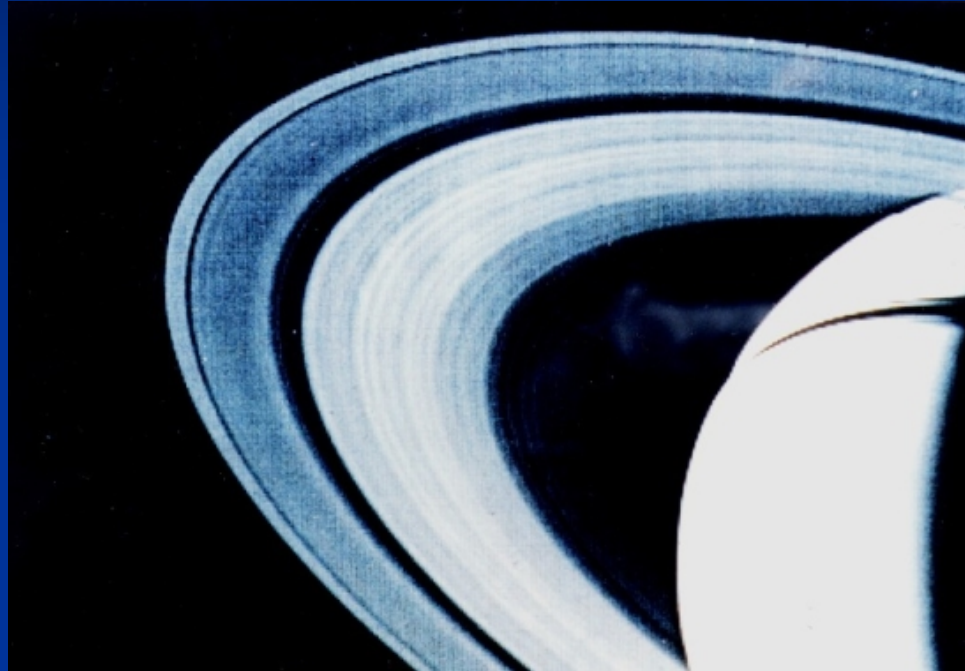
Mit tudjon egy ... ?

- 3-4 szakma
- Nyelvek
- Aztán már ...
- és akkor akár:





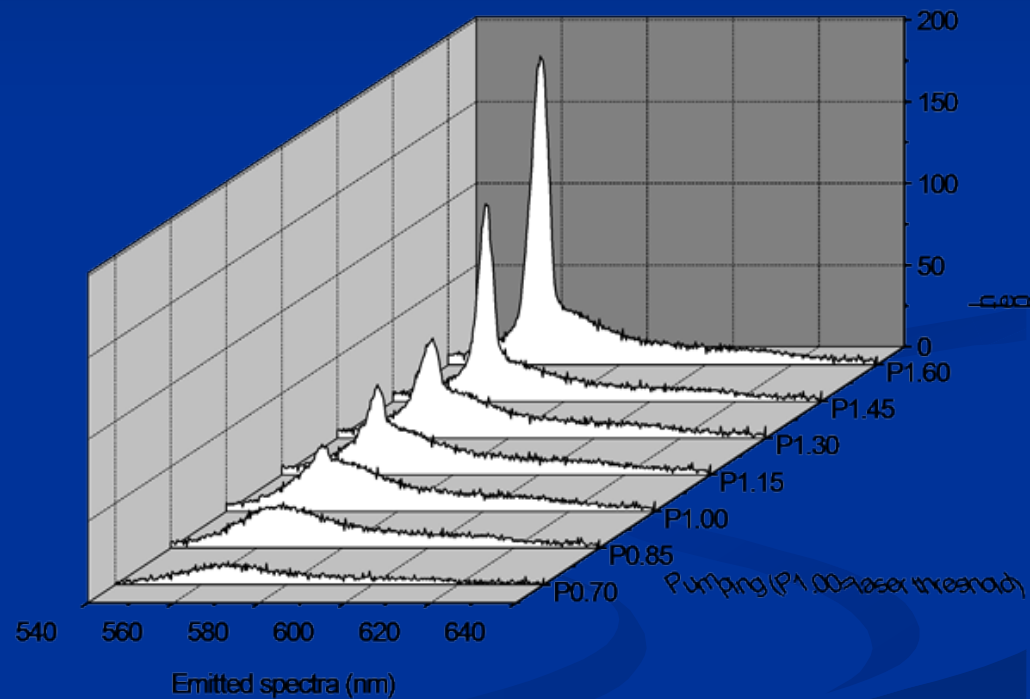
Kozmikus térben?



Nem tudunk beleavatkozni. (vonalszűkülés)
Erős keskeny spektrumvonal léte nem egyértelmű.
Ki kellene dolgozni ...

Laboratóriumban?

Gyertyánlevél fluoreszcenciaképe (740 nm)



(Egyesített) Konklúzió

- *A lézer egy olyan nem feltétlen (=nf) monokromatikus(nf)koherens(nf)kis divergenciáj(nf)fényforrás, ...*
- *... amiben(nf)rezonátorba helyezett fényerő állítja elő ...*
- *... a nagyrészt indukált emisszióval keletkező sugárzást.*

A mai lézerek nagy része azért még mindig pontosan olyan mint amilyennek azt, a nagykönyvekből megtanultuk. (Hiszen éppen ezért szeretjük őket.)

Itt csak kicsit csemegéztünk az extra esetekből azért, hogy végre megtudjuk:

Mitől is lézer a LÉZER?

Rész Konklúzió 2:

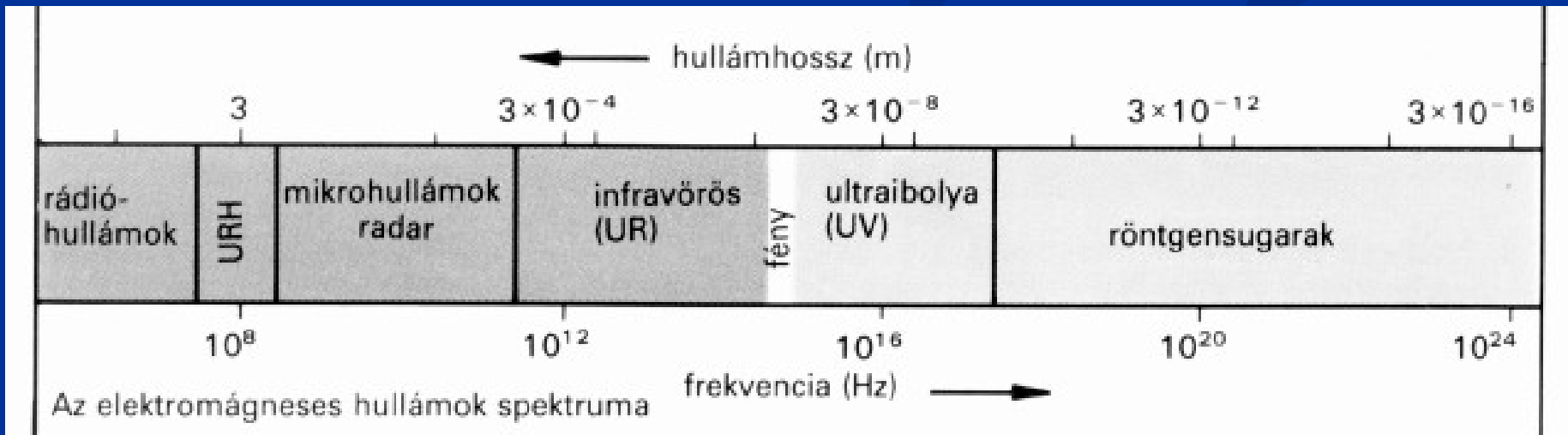
A LÉZEREK „KÍNJUKBAN”

LETTEK OLYANOK, AMILYENEK!

- *CSAKHOGY* ezek a „mellékhatások”: a monokromatikusság és kis divergencia lettek a leghyakorlati felhasználásának alapjai

EM hullámok („sugárzás”)

- Frekvencia, hullámhossz, fénysebesség
- Rádiótól ... (kollektív mozgás)
- Fényig ... (egyedi ... szinkronizálható?)
- és tovább (Rtg Gamma stb)

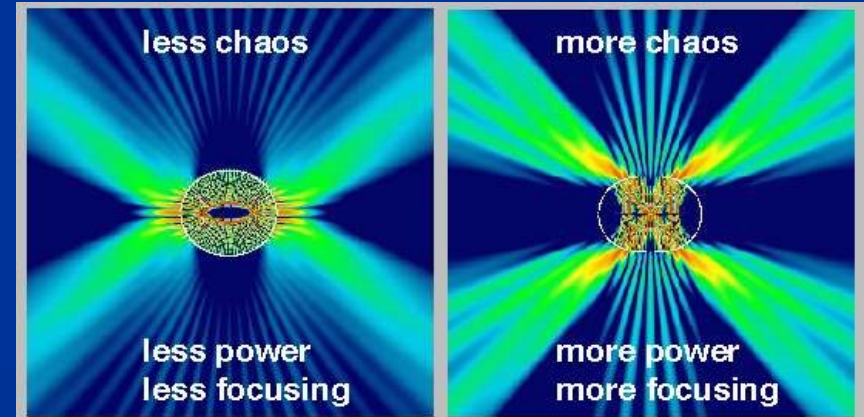
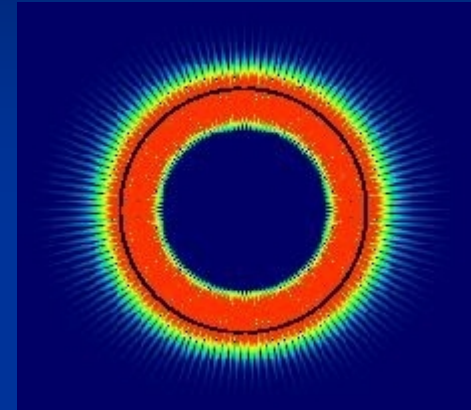


MI MENNYI? (a fénynél)

- Teljesítmény (W, intenzitás)
- Energia (J)
- Teljesítmény sűrűség (W/cm²)
- Energia sűrűség (J/cm²)

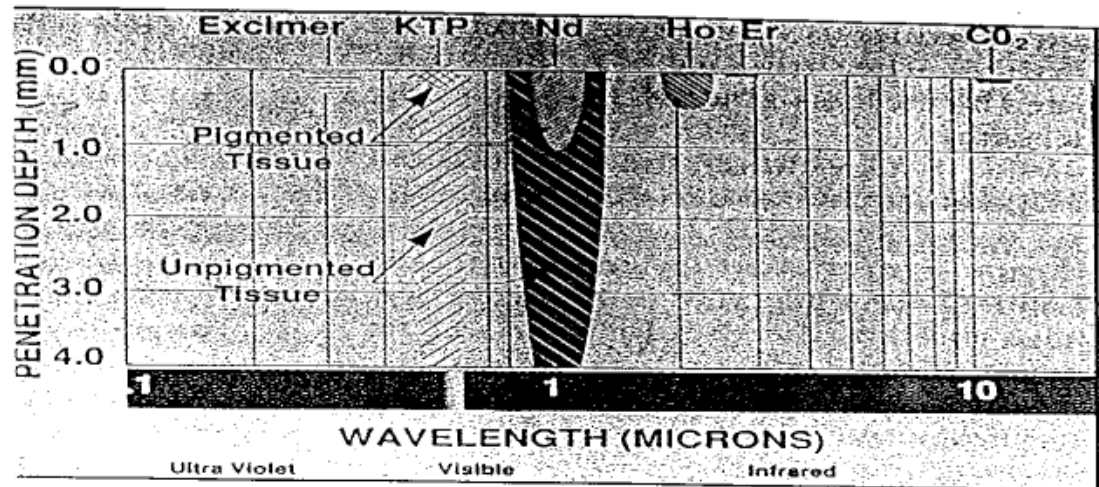
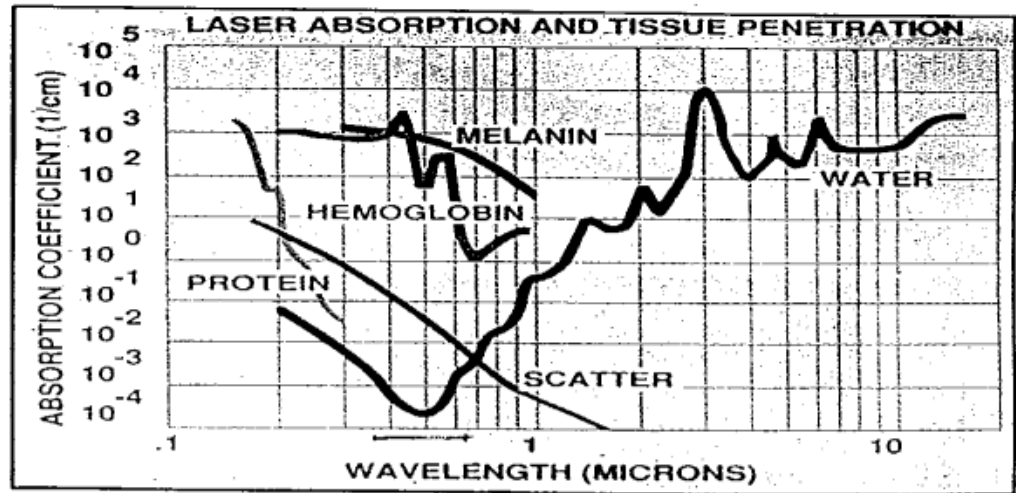
- Impulzushossz (sec)
- Imp. csúcs telj. (W, Energia/idő)

Mikro-diszk 1 (= mikro-glória)

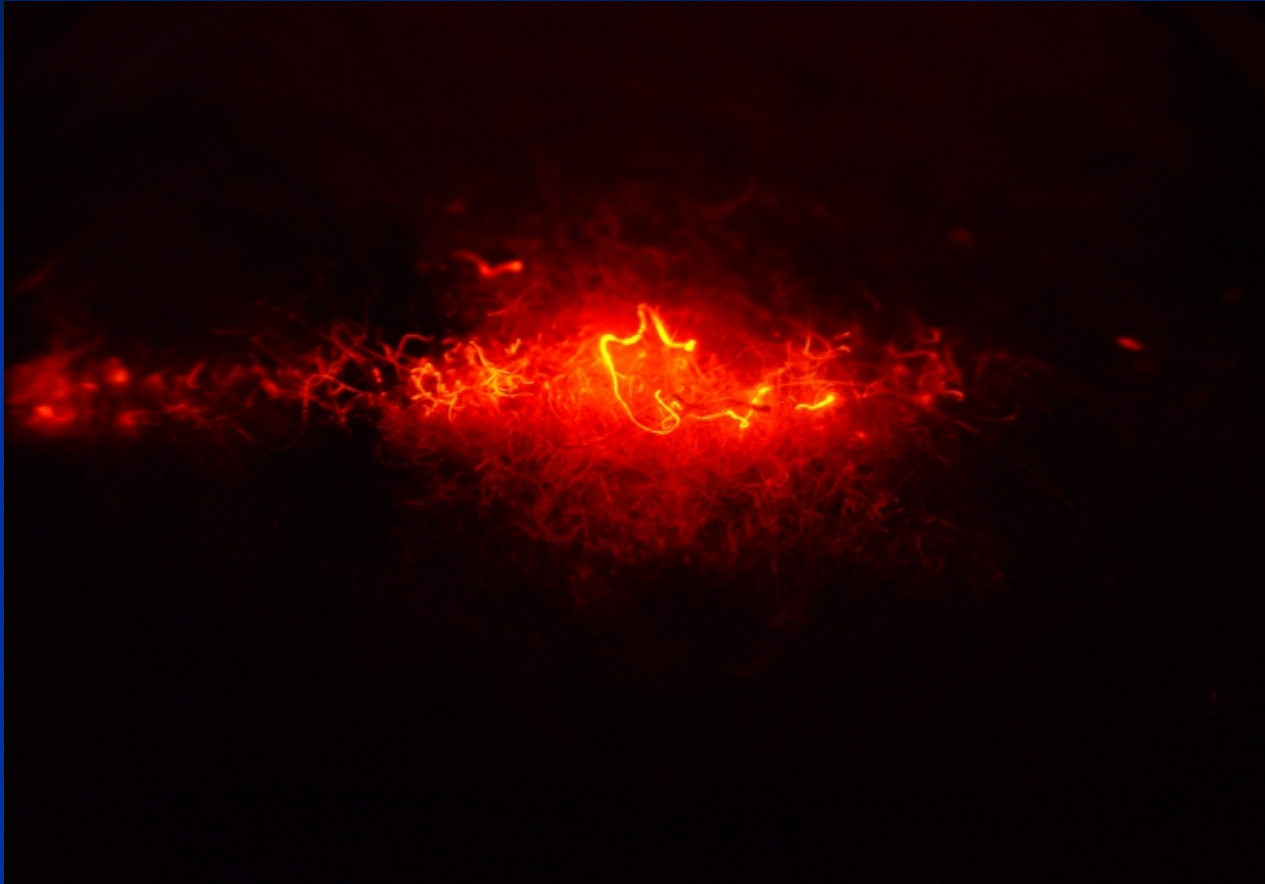


HULLÁMHOSSZ (szín)

- Víz abszorpció (NIR, IR)
- Hemoglobin (zöld)
- Természetes és mesterséges festékek



„Pokróc lézer”



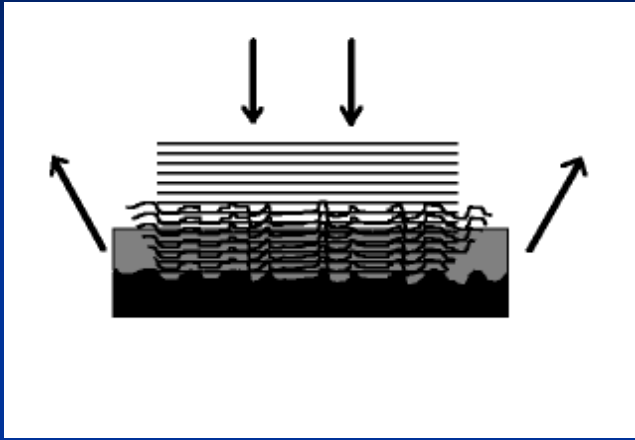
Monokromatikus, teljes térbe emittáló „nanoszálás” fényforrás



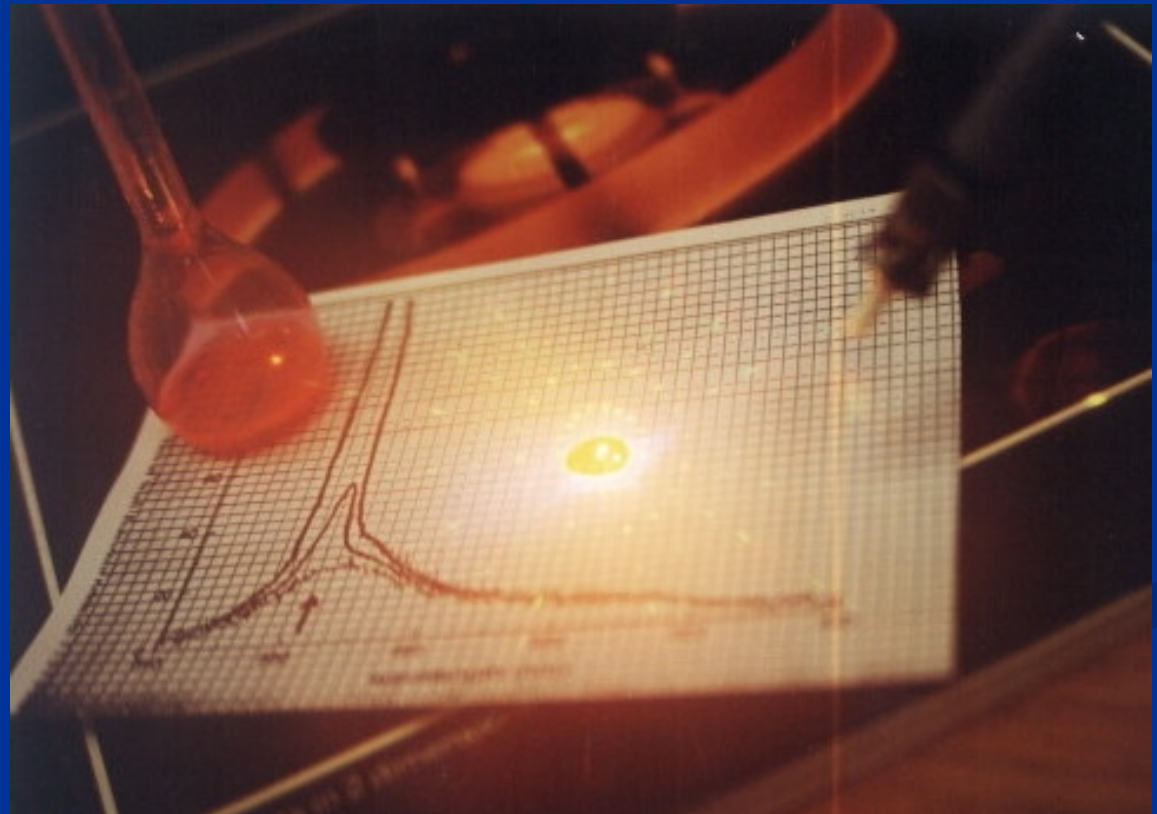
Rész Konklúzió:

*Sok „természetes” forrásra (de nem feltétlen egyszerre) jobban igazolják a kritériumok, mint a lézerek zömére! **AZAZER NEM feltétlen monokromatikus, koherens ... stb. fényforrás! ... AKKOR MI?***

„Holo-speckle” lézer



Hasonlít a természetes fényforrások intenzitás eloszlásához, de monokromatikus.



Rész konklúzió

- *Nagy erősítés esetén a fény se nem nagyon monokrom, se nem feltétlen kis divergenciájú.*

- *Az erősített spontán (ASE) igazi ...*

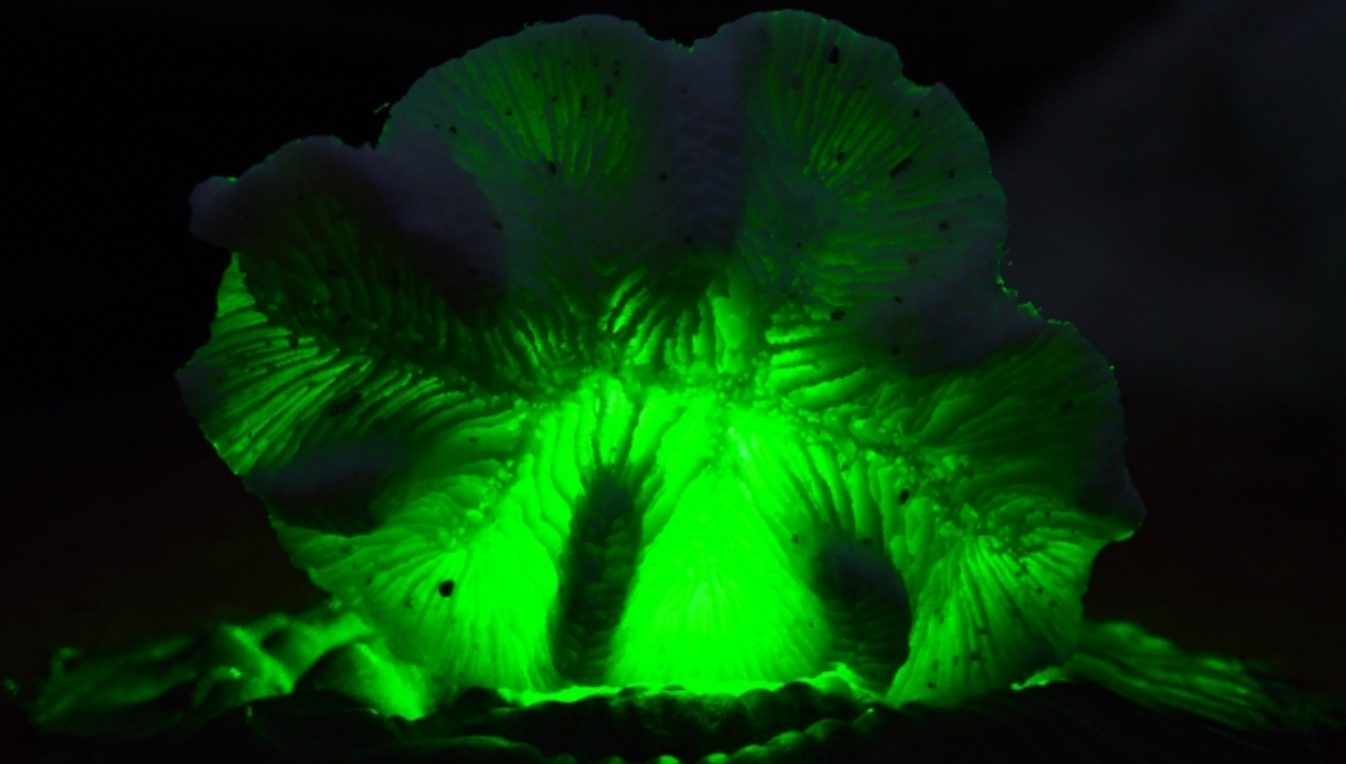
Ez lett volna a lézer H.A.

A fogalom történelmileg foglalt volt ...

Ma biztosan ASE-t csinálnának elsőre

Sajna: rossz sorrendben lett kitalálva!

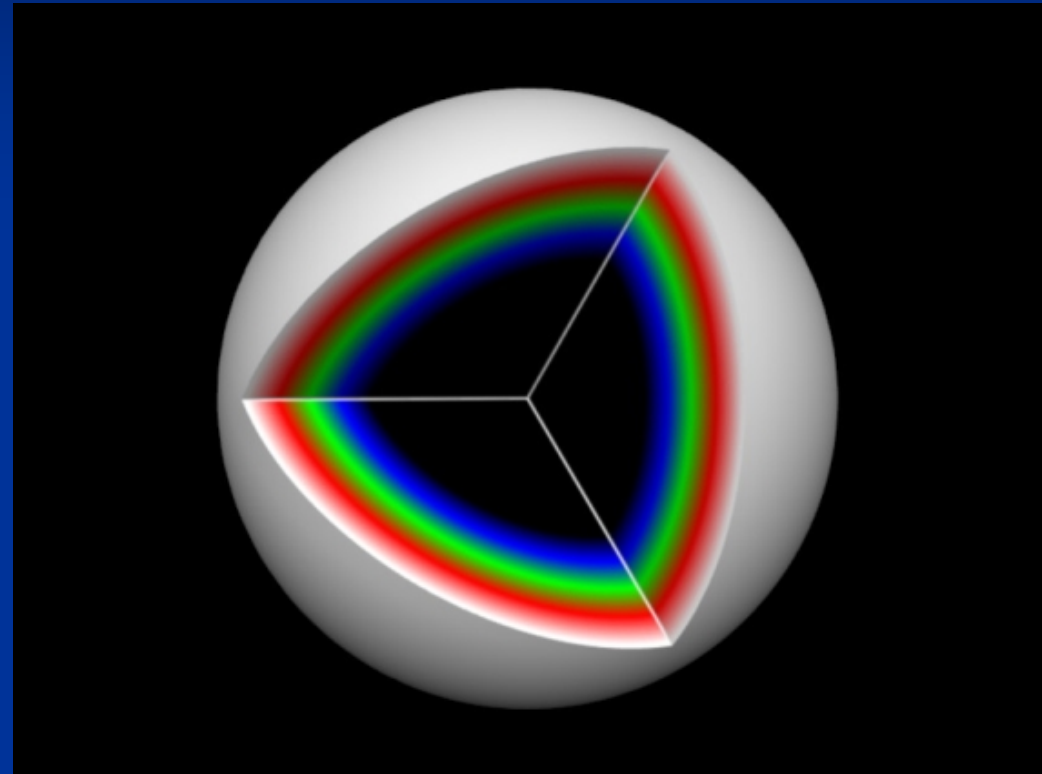
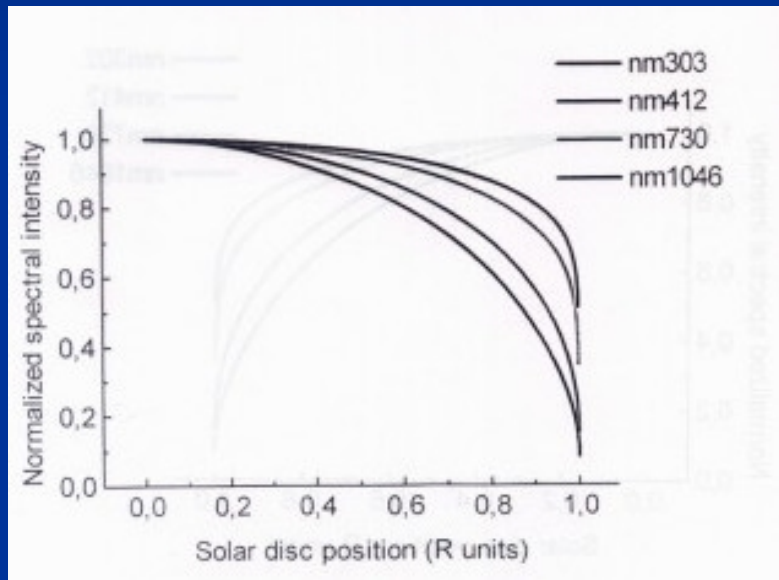
Buktunk!



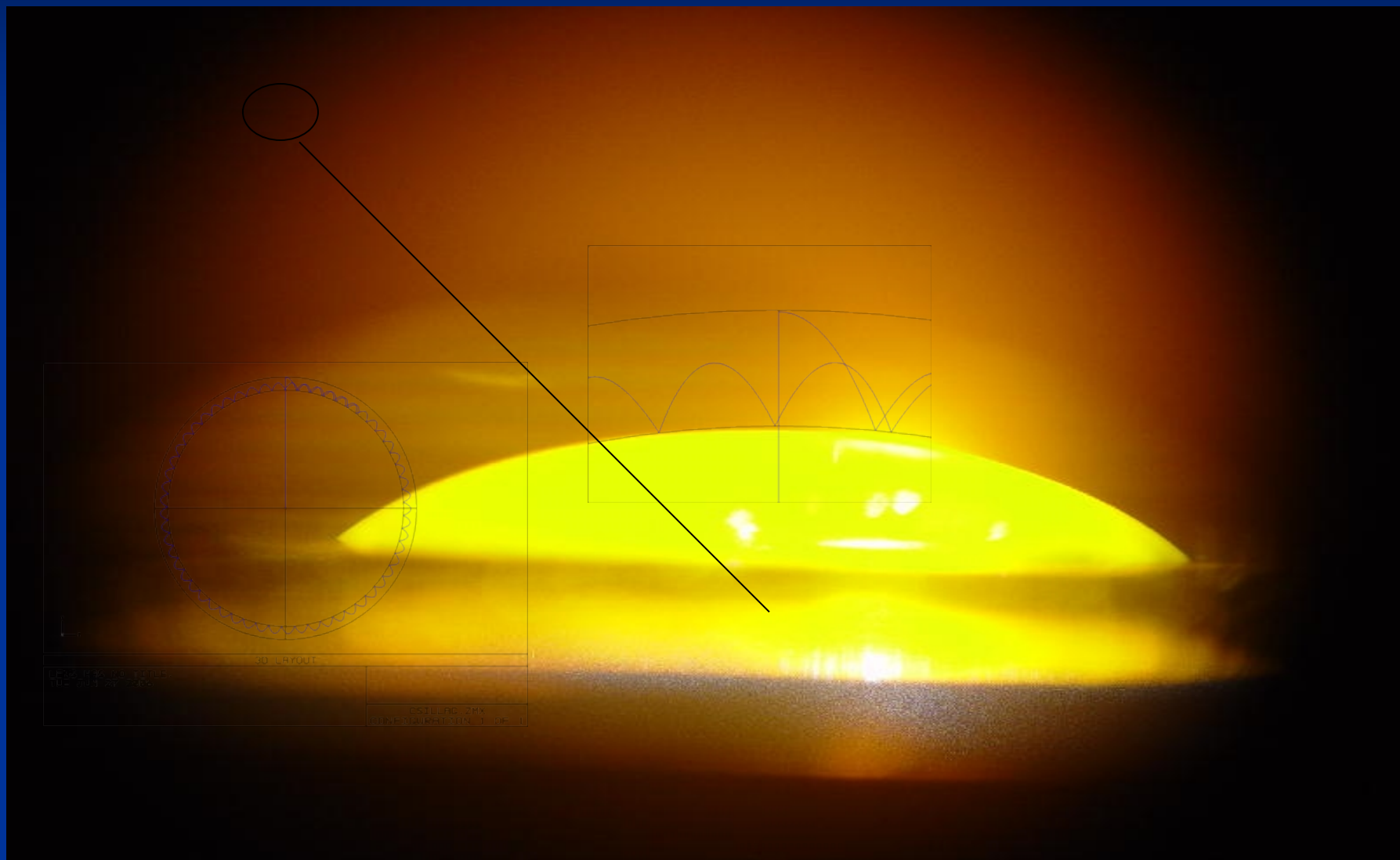
Grammatikai megközelítés



Tükrök a csillagokban?



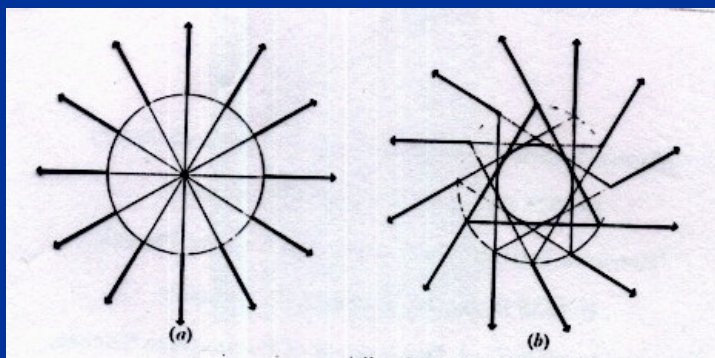
Körmódusok a csillagok légkörében ?



O

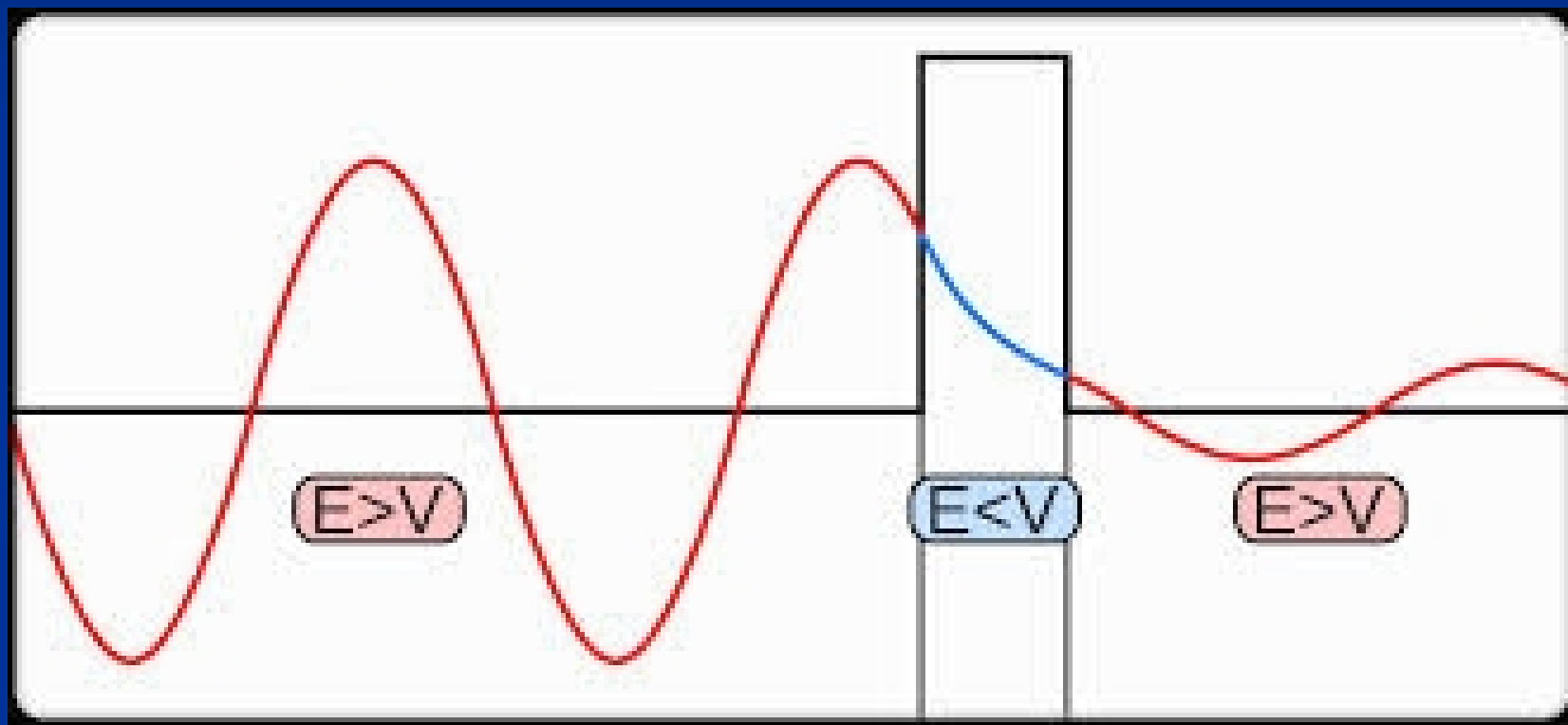


Glória susogó módusok



NEM!

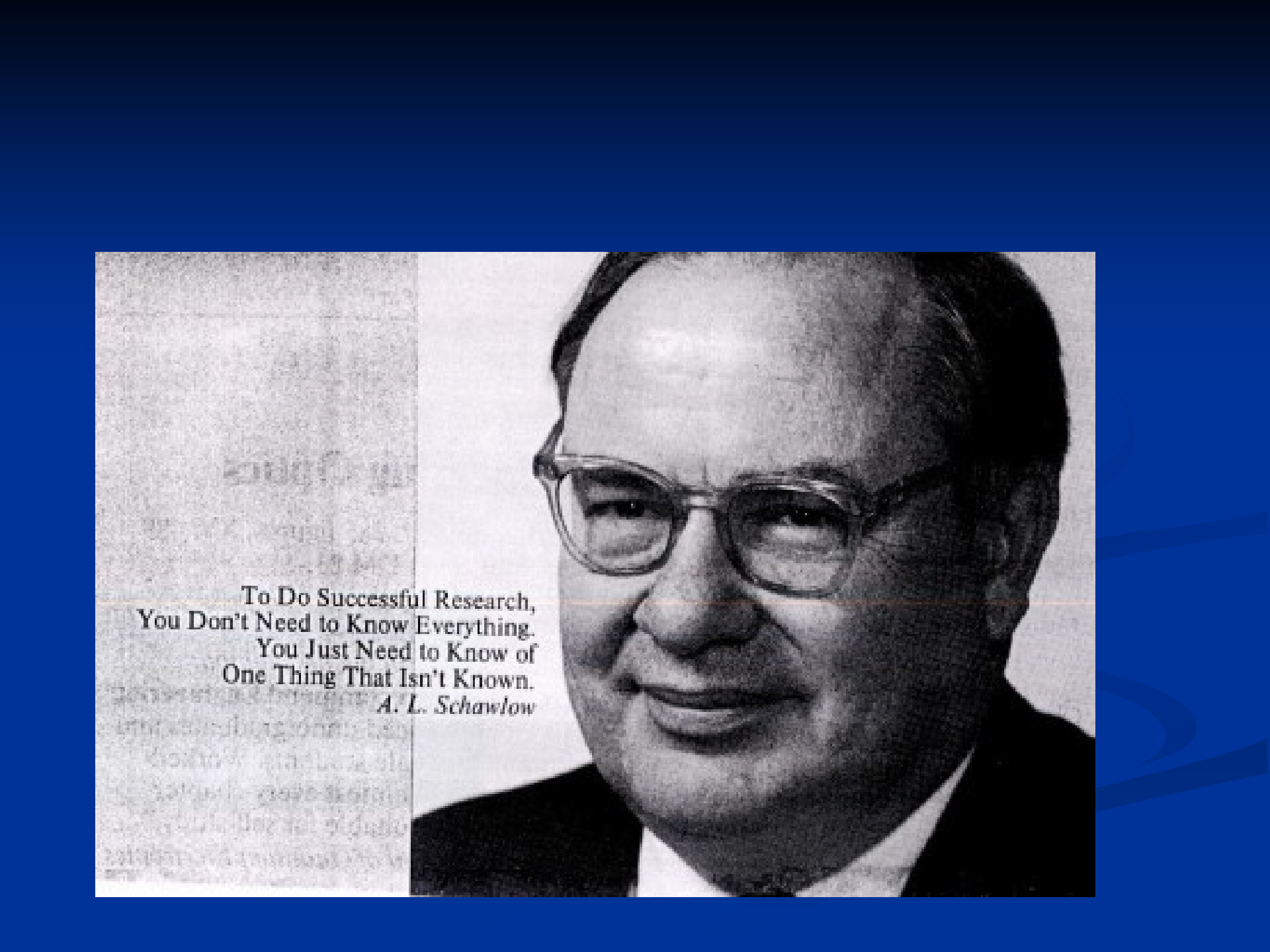




SZÉP A SZINUSZ

- Mint az iskolában ...
- EM hullámok dipól, kollektív elektron mozgás
- Rádió – fény átmenet szinkronizálási gond
- Oszcillátor = visszacsatolt erősítő



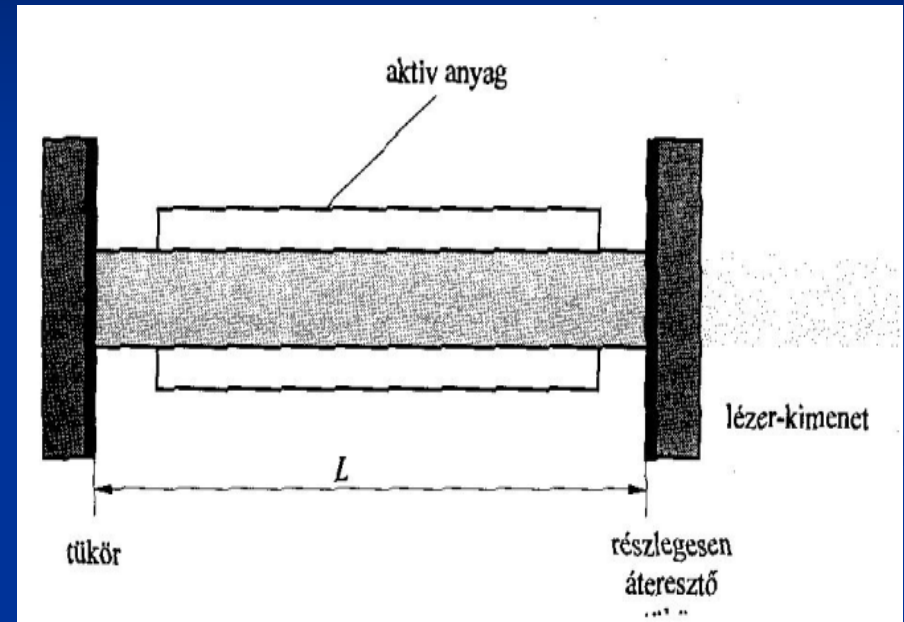
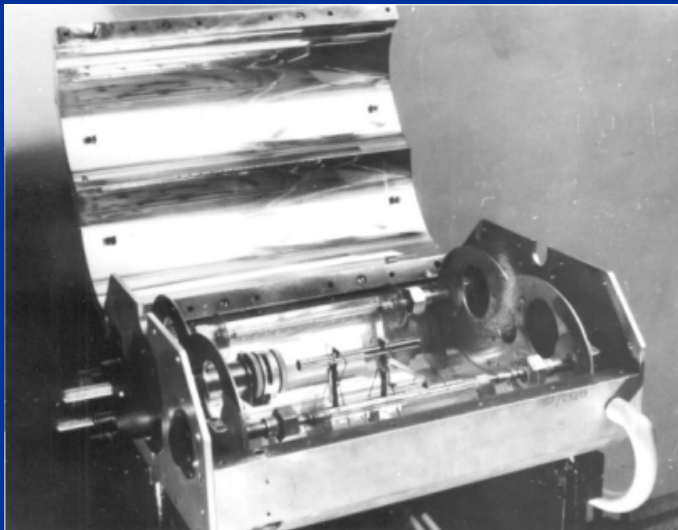


To Do Successful Research,
You Don't Need to Know Everything.
You Just Need to Know of
One Thing That Isn't Known.

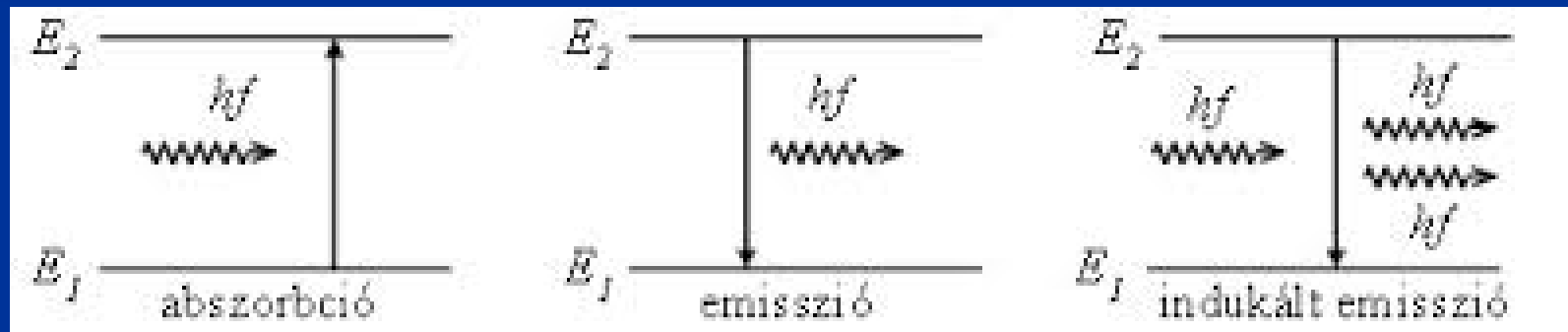
A. L. Schawlow

Klasszikus rezonátor

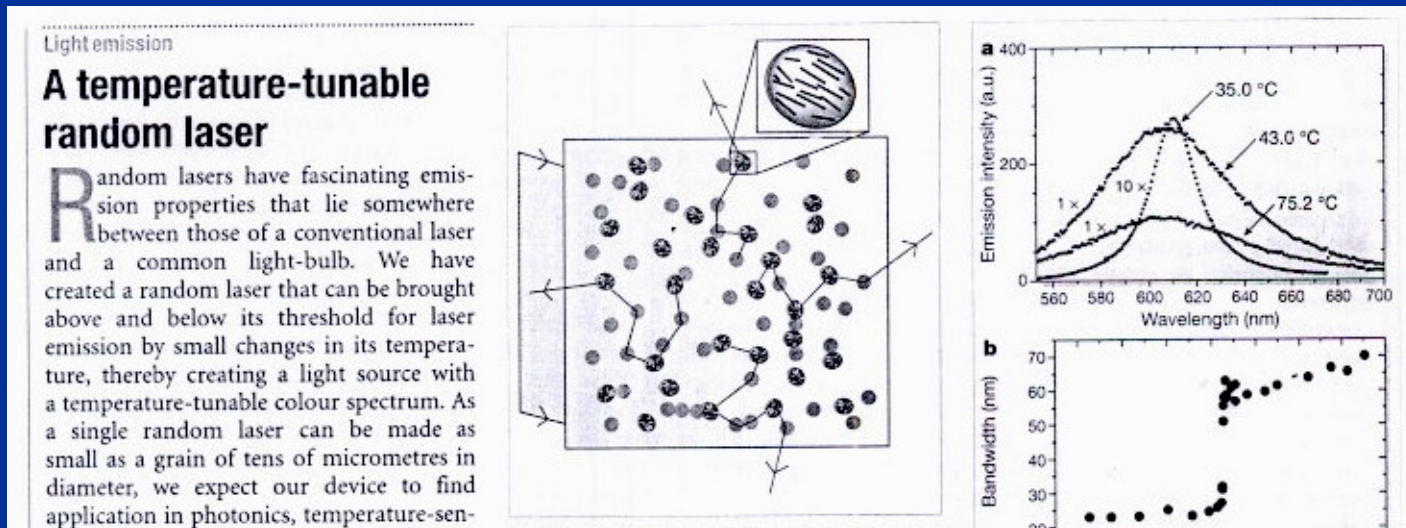
- Fényút-hosszabbítás
- Divergencia limit (mekkora a Holdon?)
- Módusszelekció



Fényelnyelés természetes



Random lézer ... „laser paint”



Egyszínű, majdnem pontforrás (nem nyaláb)

Gömb 2

