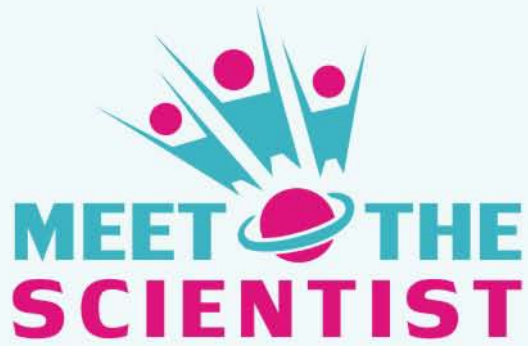




NÁNAI László

Lézerek

SZTE JGYPK

Ált. és Környezetfizikai Tsz
Szeged

www.meetthescientist.hu



Lézer: erős, párhuzamos fénysugarat adó fényforrás.

L A S E R

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

Az első lézer: rubin lézer

Theodore Maiman (1960)

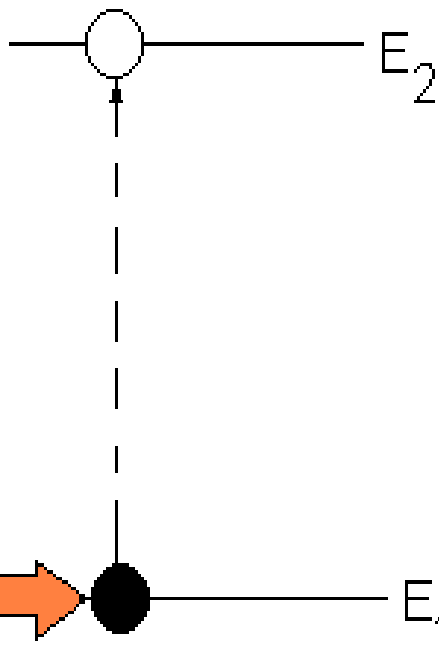
LÉZEREK FELHASZNÁLÁSA

- optika
- orvosi technika
- haditechnika
- informatika
- anyagmegmunkálás
- alkalmazások a kémiában:
 - ✚spektroszkópia
 - ✚fotokémia

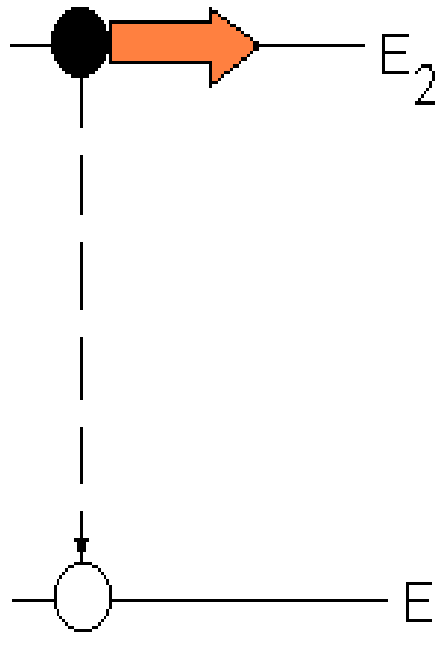
A LÉZEREK MŰKÖDÉSI ELVEI

- ALAPFELTÉTELEK
- Stimulált emisszió
- inverz populáció
- optikai rezonátor

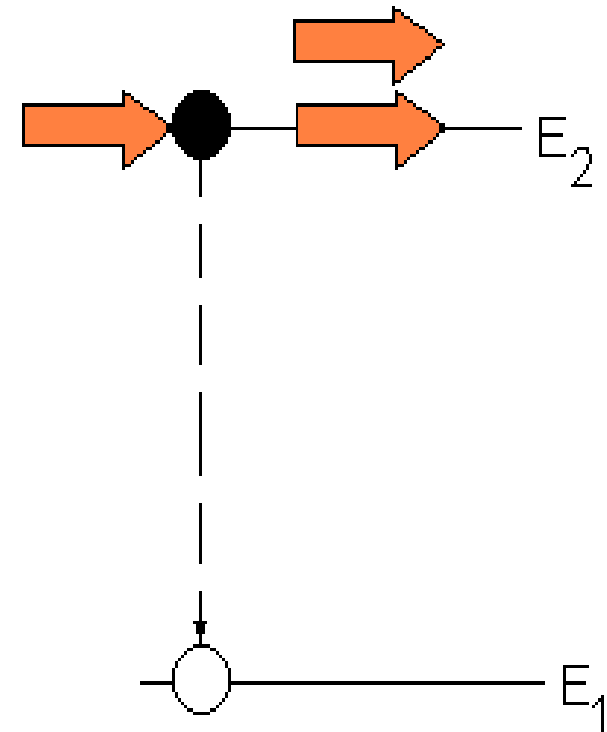
STIMULÁLT EMISSZIÓ (ÁTTEKINTÉS)



abszorpció

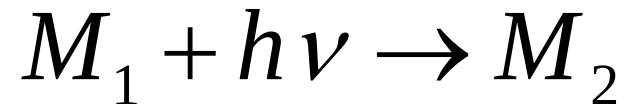
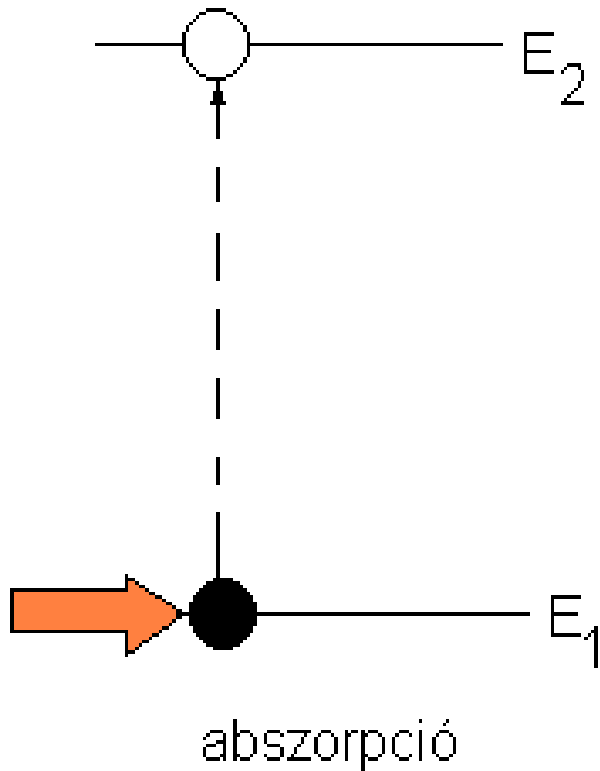


spontán emisszió



stimulált emisszió

ABSZORPCIÓ



Sebességi egyenlet:

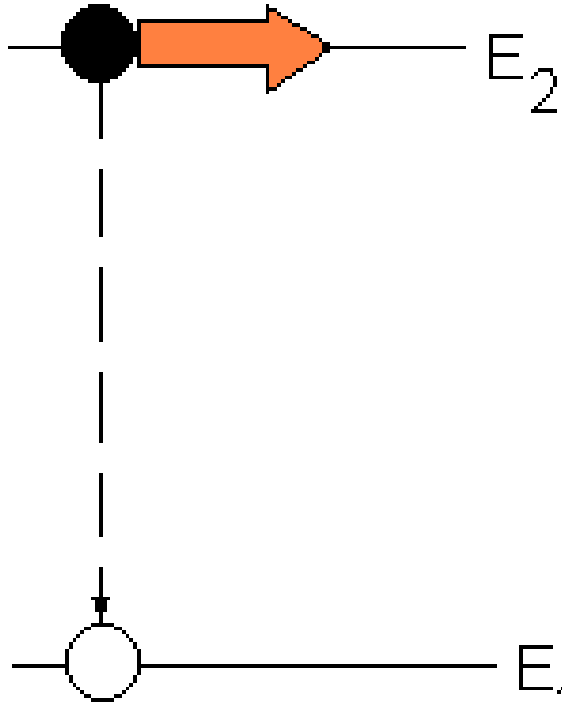
$$-dN_1 / dt = A_{12} N_1 \rho_\nu$$

N_1 : kisebb energiájú mol.
koncentrációja

ρ_ν : a fotonok koncentrációja

A_{12} : az abszorpció sebességi állandója

SPONTÁN EMISSZIÓ



$$M_2 \rightarrow M_1 + h\nu$$

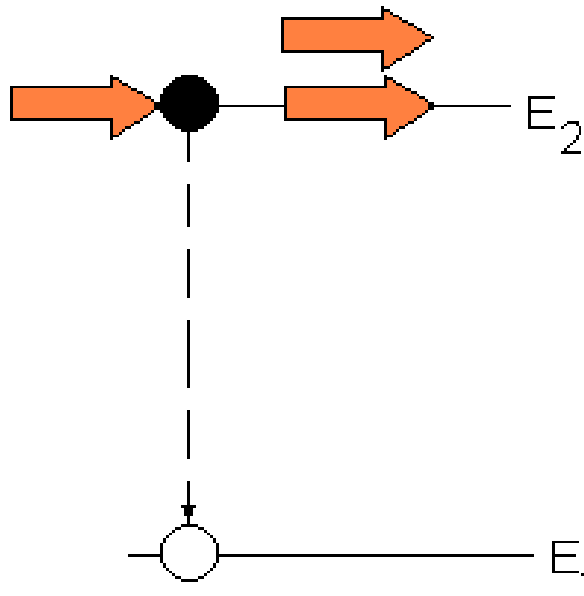
Sebességi egyenlet:

$$-dN_2 / dt = dN_1 / dt = B_{21} N_2 \rho_\nu$$

B_{21} : a spontán emisszió sebességi
állandója

spontán emisszió

STIMULÁLT EMISSZIÓ



$$M_2 + h\nu \rightarrow M_1 + h\nu$$

A keletkező foton frekvenciája, iránya, polarizációja és fázisa megegyezik a stimulálóéval.

Sebességi egyenlet:

$$-dN_2 / dt = dN_1 / dt = A_{21}N_2\rho_\nu$$

A_{21} : a stimulált emisszió sebességi állandója

EINSTEIN-RELÁCIÓK

A három sebességi állandó közötti összefüggés:

$$B_{21} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} A_{12}$$

$$A_{21} = A_{12}$$

Lézerekben a fényt stimulált emisszióval erősítik, a lézer anyagában stimulált emisszióval több foton keletkezik, mint amennyi abszorbeálódik:

Stimulált emisszió: $-dN_2 / dt = dN_1 / dt = A_{21}N_2\rho_\nu$

Abszorpció: $-dN_1 / dt = A_{12}N_1\rho_\nu$

Mivel $A_{21}=A_{12}$ a lézer működésének feltétele,

$$N_2 > N_1$$

(Spontán emissziót elhanyagoltuk.)

INVERZ POPULÁCIÓ

Termikus egyensúlyban **Boltzmann-eloszlás**:

$$N_1/N_2 = \exp((E_2 - E_1)/kT)$$

Ha T nő, N_1 közelít N_2 -hez.

De $N_1 < N_2$ mindig fennmarad.

Lézerekben $N_2 > N_1$.

Ezt az állapotot nevezzük inverz populációnak.

Nincs termikus egyensúly!

Létrehozása speciális, három vagy négy E-szintes rendszerekkel lehetséges.

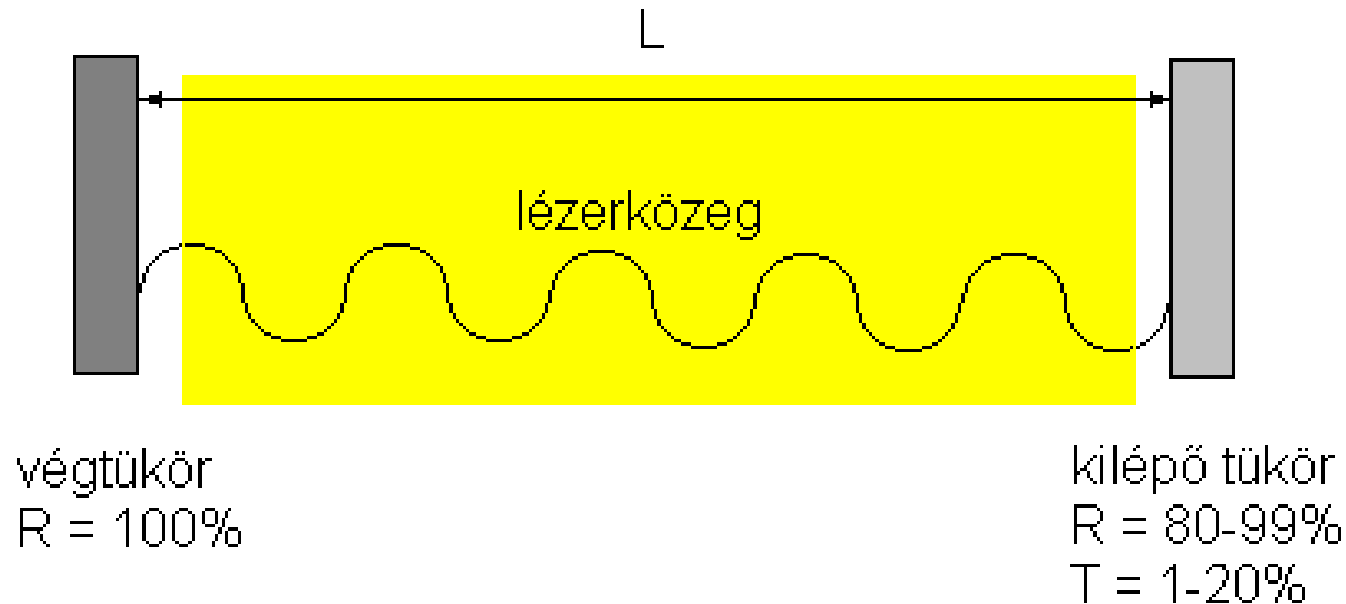
LÉZEREK PUMPÁLÁSA

Stimulált emisszióhoz szükséges energia közlése a lézer anyaggal.

A pumpáláshoz használható:

- fényenergia (villanó lámpa, másik lézer fénye)
- elektromos energia (gázkisülés)
- kémiai energia (kémiai reakció)

OPTIKAI REZONÁTOR



A lézerközeget két tükror közé helyezik.

A fénysugár ide-oda verődik, így a fotonok átlagos úthossza, s vele együtt a stimulált emisszió valószínűsége nő.

AZ ERŐSÍTŐ INTERFERENCIA FELTÉTELE

Állóhullám kialakulása:

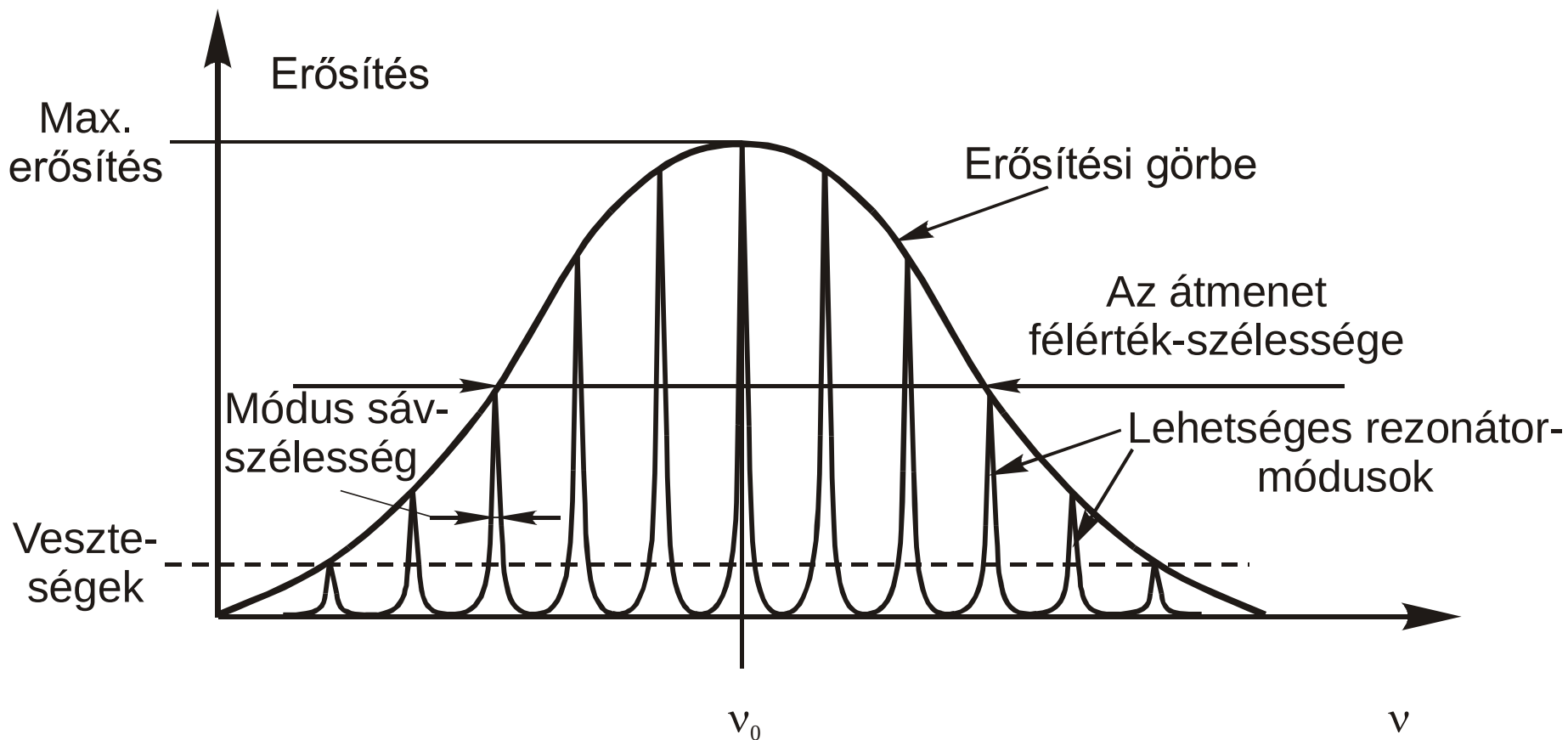
$$L = m \frac{\lambda}{2}$$

λ hullámhossz, m nagy egész szám.

A frekvencia:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{mc}{2L}$$

LÉZERSUGÁR SPEKTRUMA



LÉZEREK TÍPUSAI (A LÉZERKÖZEG ALAPJÁN)

- szennyezettionkristály-lézer
- félvezetőlézer
- gázlézer
- festéklézer

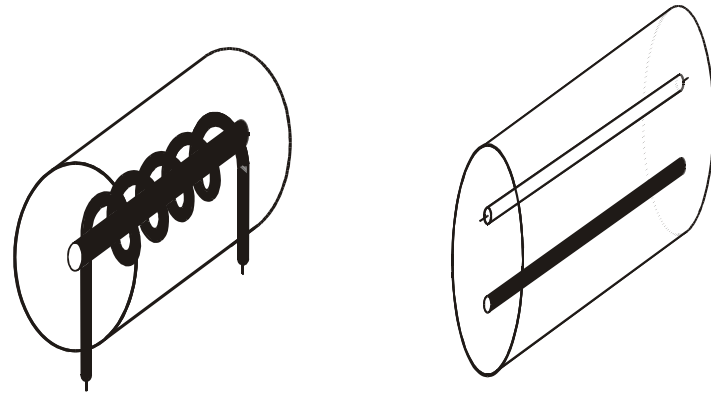
SZENNYEZETT-IONKRISTÁLY-LÉZEREK

Lézerközeg: ionos szigetelő, amely kis koncentrációban szennyező fémiont tartalmaz.

A lézersugárzást a szennyező fémionok emissziója adja.

Pumpálás: optikailag (fehér fényű lámpa vagy félvezetőlézer)

- Rubinlézer
- Nd-YAG-lézer
- Titán-zafír-lézer



NEODÍMIUM-YAG LÉZER

Gazdarács: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

ittrium-alumínium gránit =

yttrium aluminium granet = **YAG**

Szennyező ion: Nd^{3+} (az Y^{3+} ionok $\sim 1\%$ -a helyett)

A Nd a 60. elem.

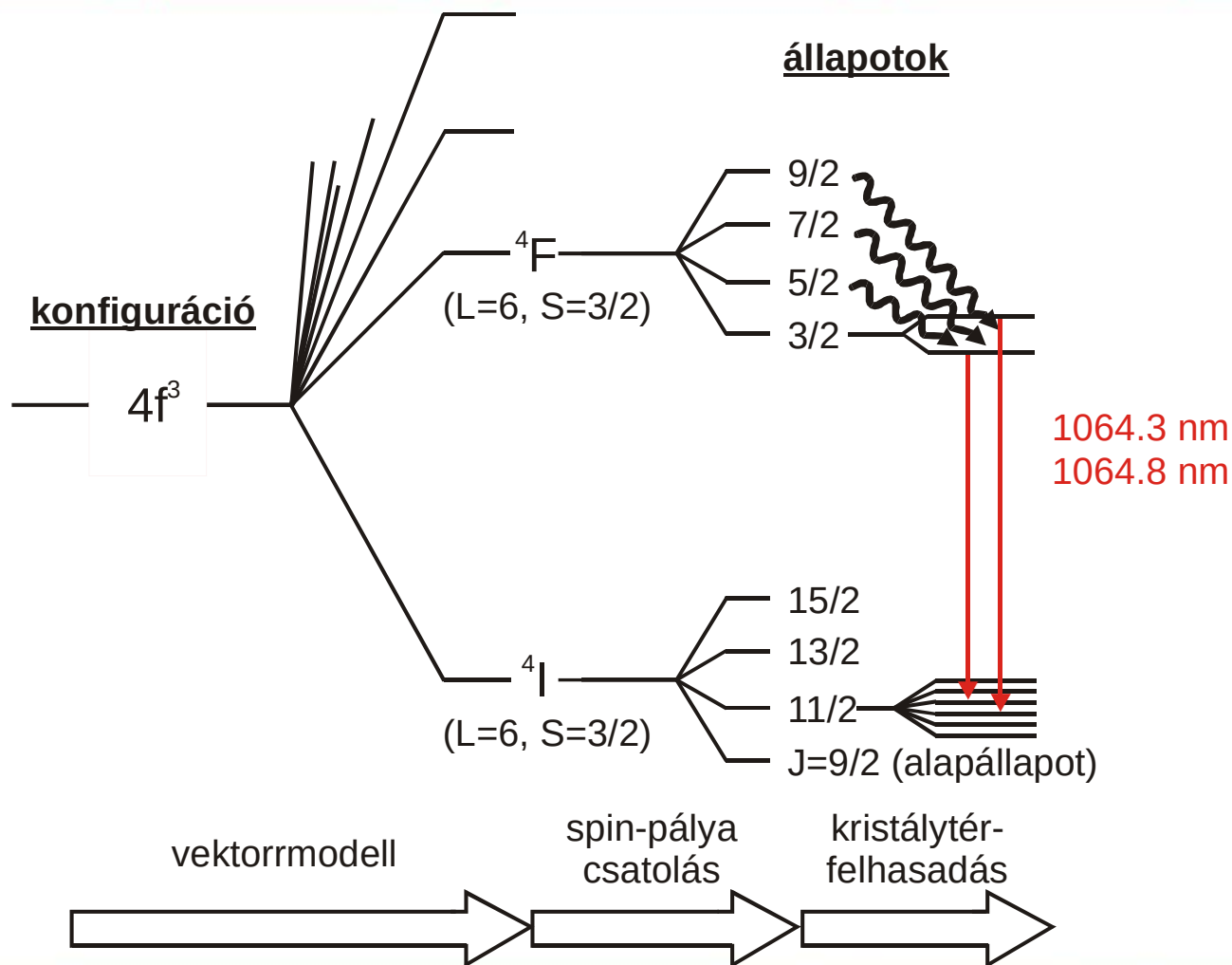
A Nd-atom konfigurációja:



A Nd³⁺-ion konfigurációja:



ND-YAG LÉZER ENERGIASZINT-DIAGRAMJA



GÁZLÉZEREK

Lézerközeg: tiszta gáz (például N_2 -lézer)
 gázelegy (például CO_2 -lézer)

Pumpálás: elektromos energiával (gázkisülés)

Hélium-neon lézer (látható fény)

Argonlézer (látható fény)

N_2 -lézer (UV-fény)

CO_2 -lézer (IR-fény)

ARGON-LÉZER

Lézerközeg: $\sim 0,5$ torr nyomású Ar-gáz, kisülési csőbe töltve
Kisülésben

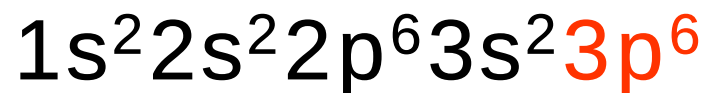
- gerjesztett molekulák
 - alapállapotú ionok
 - különböző gerj. áll. ionok
- } jönnek létre (plazma)

A kisülési cső működési jellemzői: áramerősség, feszültség, nyomás, hőmérséklet - ezekről függ az Ar-ionok populációja különböző energiaszinteken.

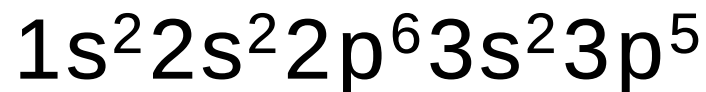
Inverz populáció érhető el az Ar-ion egyes gerjesztett állapotaiban, náluk kisebb energiájú gerjesztett állapotokhoz képest.

Az Ar a 18. elem.

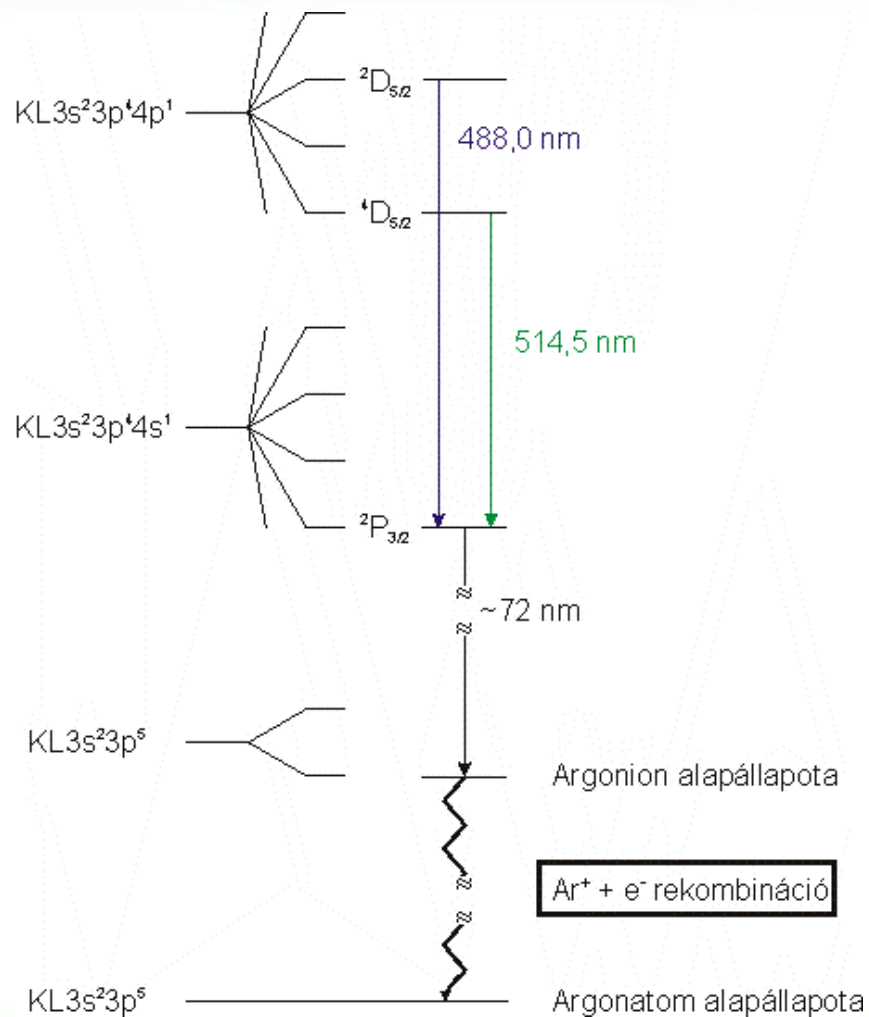
Az Ar-atom konfigurációja:



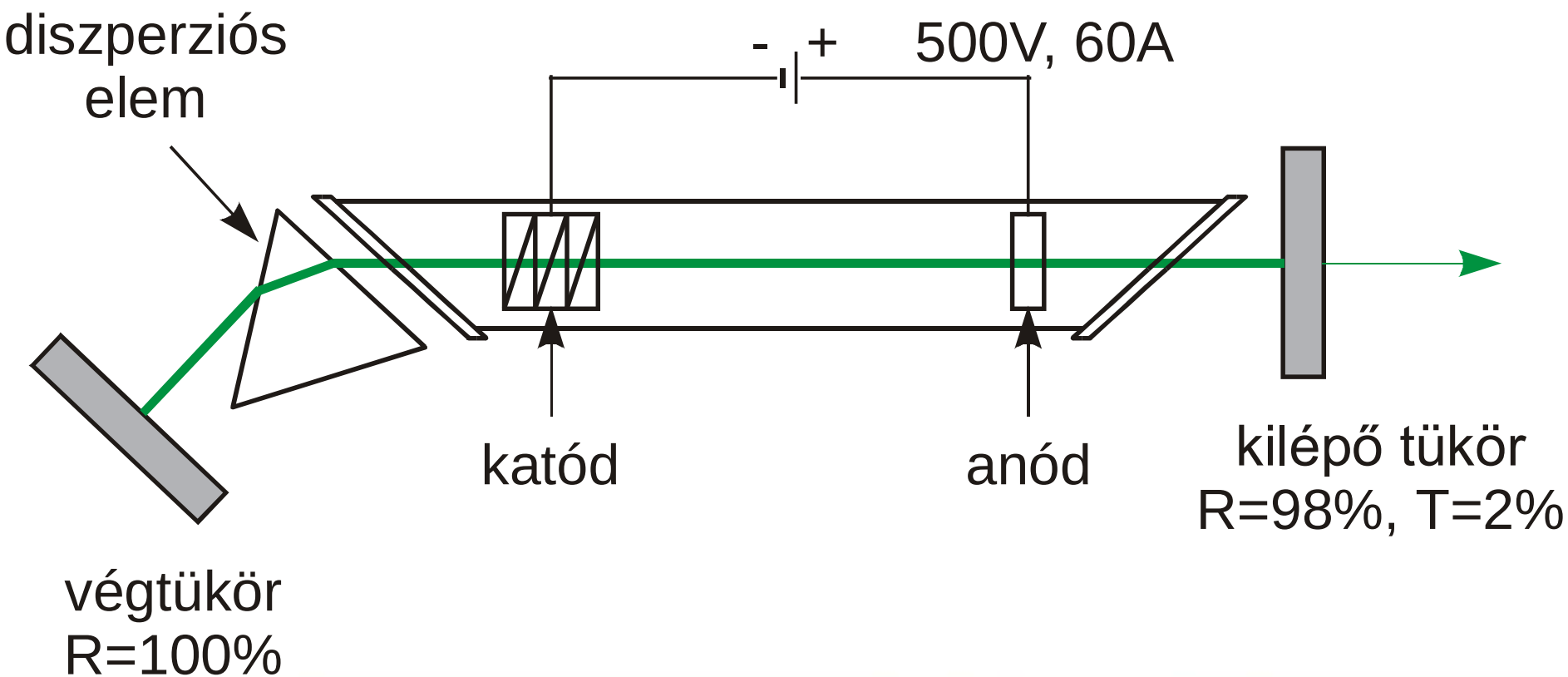
Az Ar^+ -ion legkisebb energiájú konfigurációja:



ARGON-LÉZER ENERGIASZINT-DIAGRAMJA



ARGON-LÉZER FELÉPÍTÉSE



CO₂-LÉZER

Lézerközeg: ~ 1:1 arányú CO₂-N₂ elegy

zárt változat: - ~10 torr nyomású zárt kisülési csőben
nyitott változat - ~ atmoszférikus nyomású nyílt
kisülési csőben

A lézer átmenet a CO₂-molekula gerjesztett rezgési állapotai között történik, ezért infravörös fényt ad.

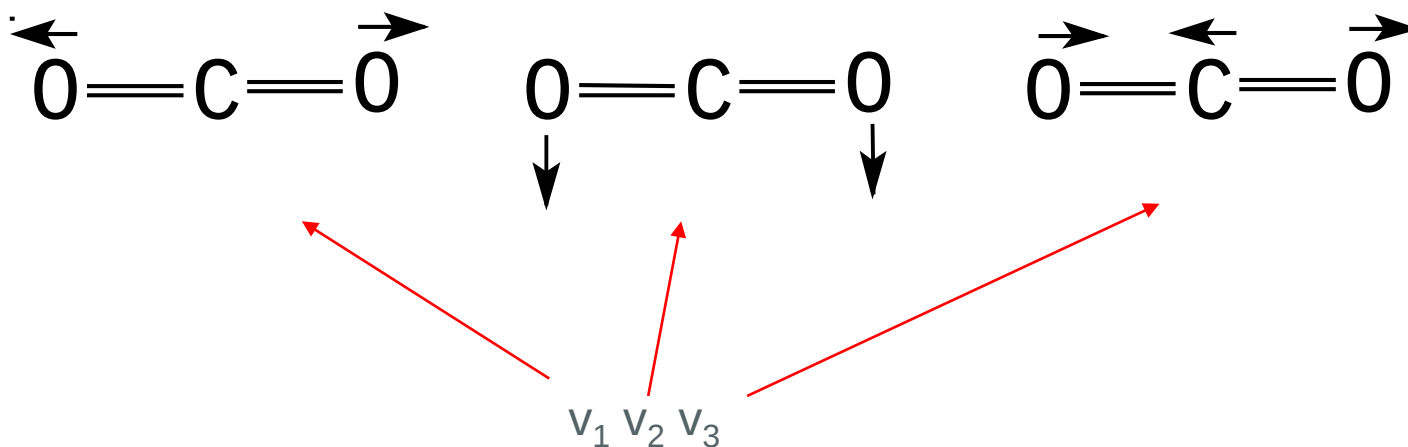
A N₂ segédanyag.

A CO₂-MOLEKULA NORMÁL REZGÉSEI

szimmetrikus nyújtás

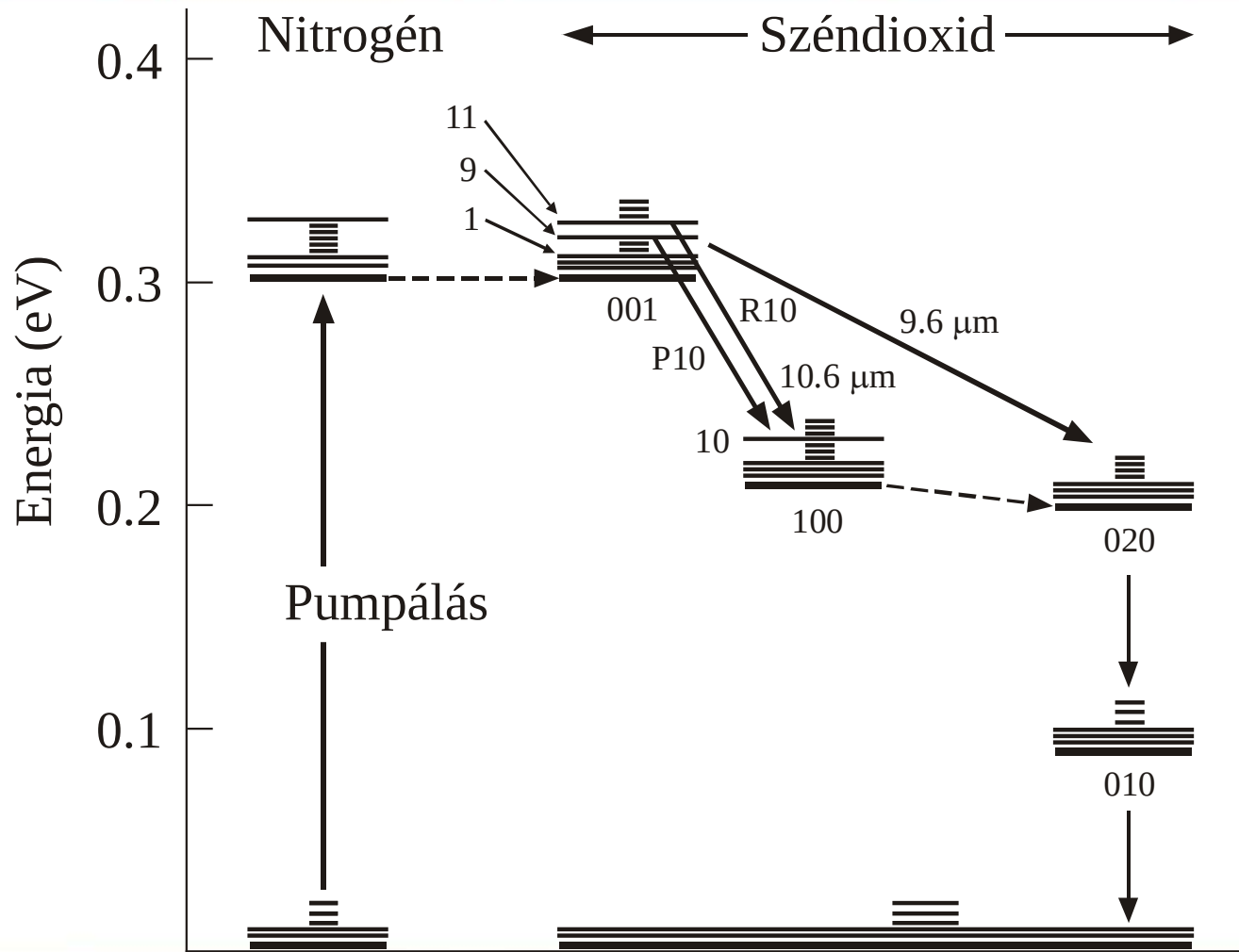
deformáció

aszimmetrikus nyújtás



A három normálrezgés gerjesztettségét jellemző kvantumszámok.

CO₂-LÉZER ENERGIASZINTJEI



Előny:

az elektromos energiát nagy hatásfokkal infravörös fénné alakítja

Felhasználás:

- fémmegmunkálás
- sebészet
- spektroszkópiában plazmák előállítása

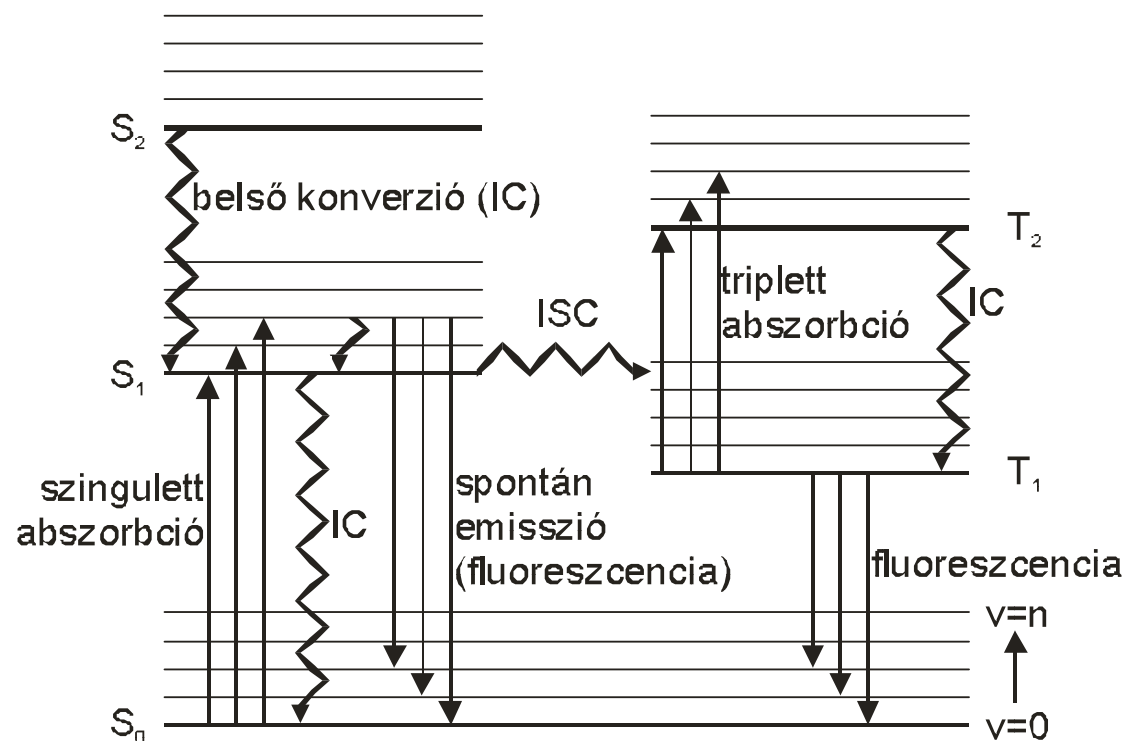
FESTÉKLÉZER

Lézerközeg: erősen fluoreszkáló festék oldata.

Pumpálás: optikailag (fehér fényű lámpa vagy másik lézer).

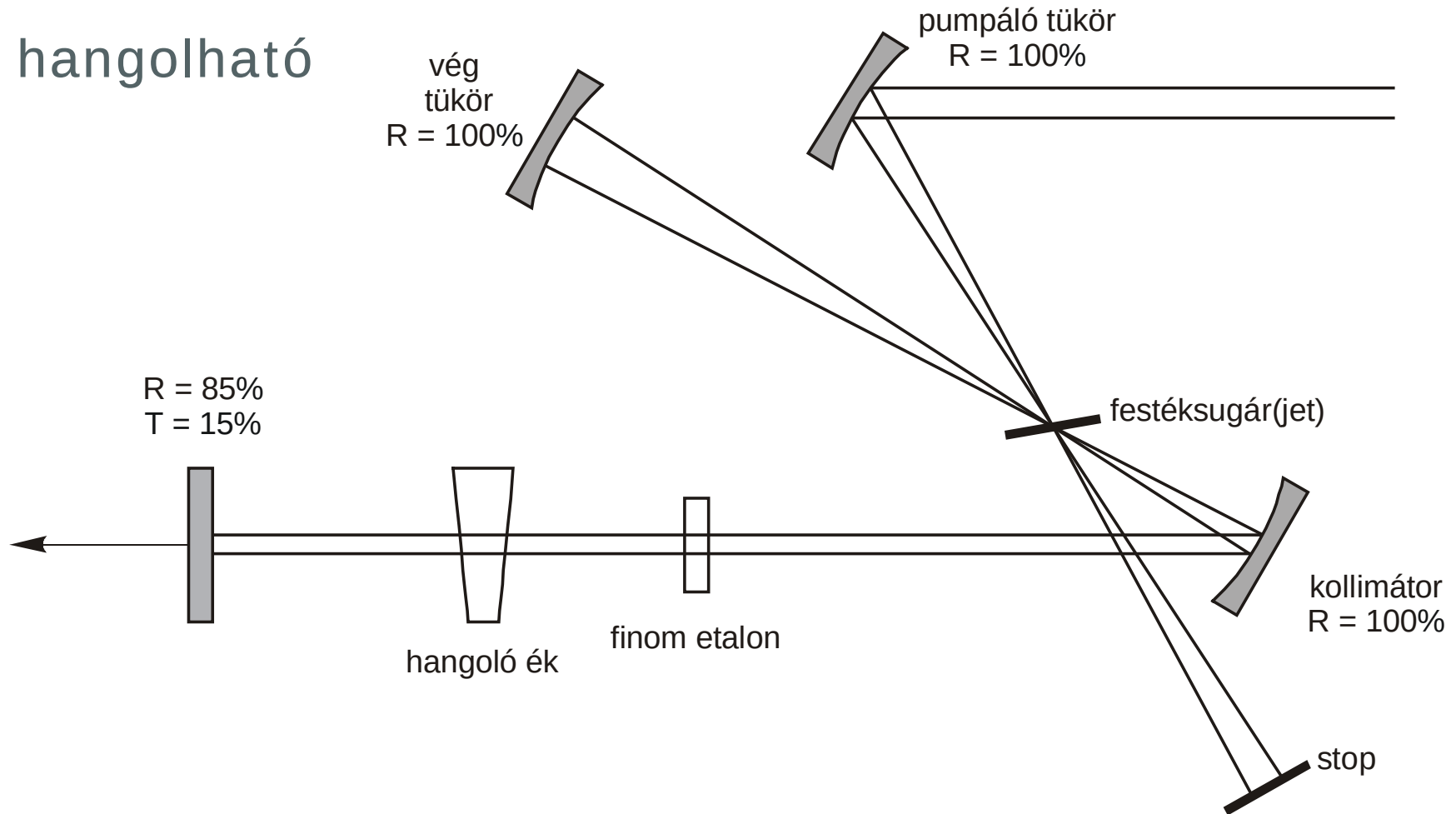
A lézer sugárzás a festékmolekula S_1 elektronállapotának rezgési alapállapota és S_0 állapotának gerjesztett rezgési állapota között történik.

JABLONSKY-DIAGRAMM



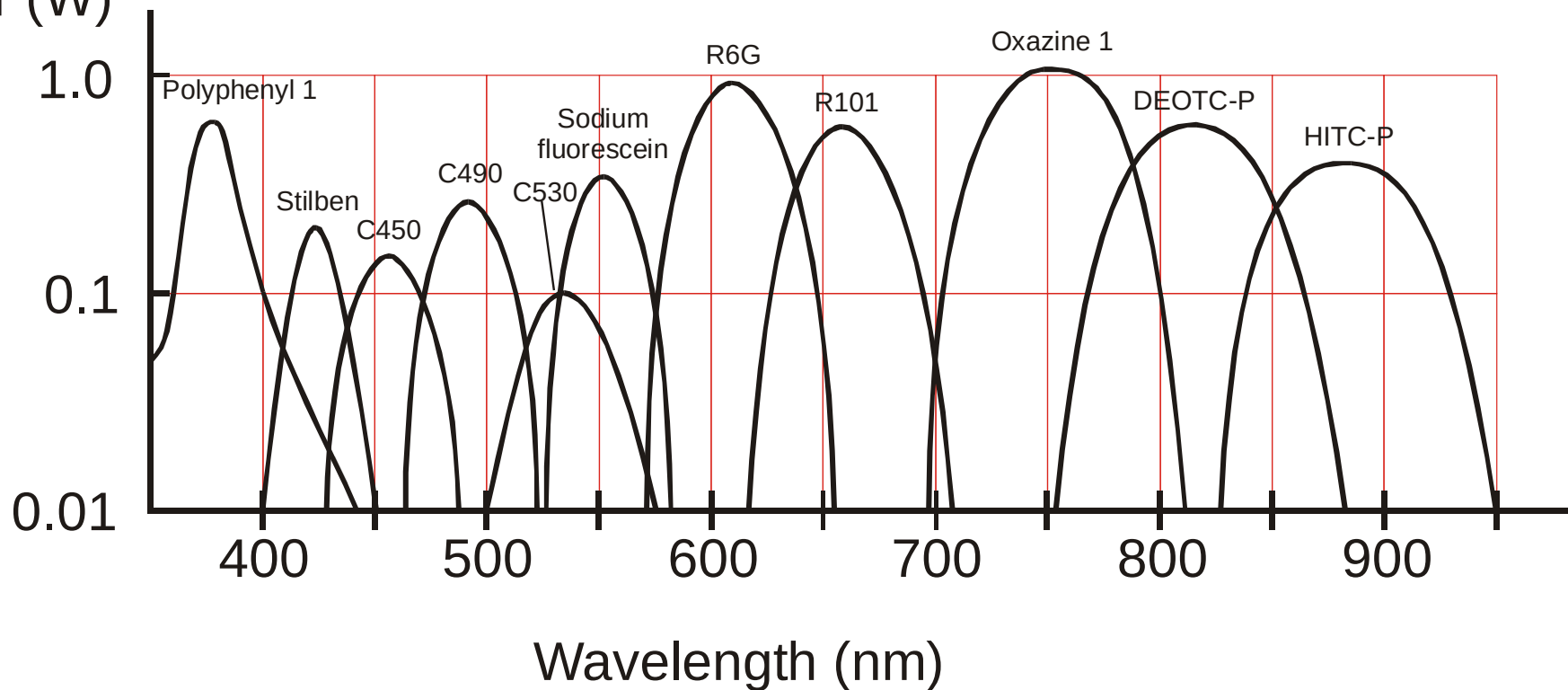
A FESTÉKLÉZER ELŐNYEI

- hangolható



FESTÉKLÉZER MŰKÖDÉSI TARTOMÁNYA KÜLÖNBÖZŐ FESTÉKEKKEL

Typical output
power (W)



A LÉZERSUGÁR TULAJDONSÁGAI

Sok tekintetben messze felülmúlja a hagyományos fényforrásokkal előállított fénysugarat.

TELJESÍTMÉNYSŰRŰSÉG

Kis keresztmetszetben nagy energiát összpontosít.
Keresztmetszete tipikusan 1 mm^2 .
Teljesítmény mW-tól kW-ig tartományig terjed.

EGYENES VONALBAN TERJED

Gázlézerek keresztmetszete 100 m-es távolságban sem változik sokat. (A hosszú rezonátor miatt)

SPEKTRÁLIS SÁVSZÉLESSÉG

A gázlézereké különösen kicsi, pl. az Ar-lézer 514,5 nm-es fényének sávszélessége 10^{-4} nm.

RÖVID IMPULZUSOK

Impulzus üzemben működő lézerek tipikusan μs -os (rubinlézer, Nd-YAG-lézer) vagy ns-os (N_2 -lézer) tartományba eső impulzusokat adnak.

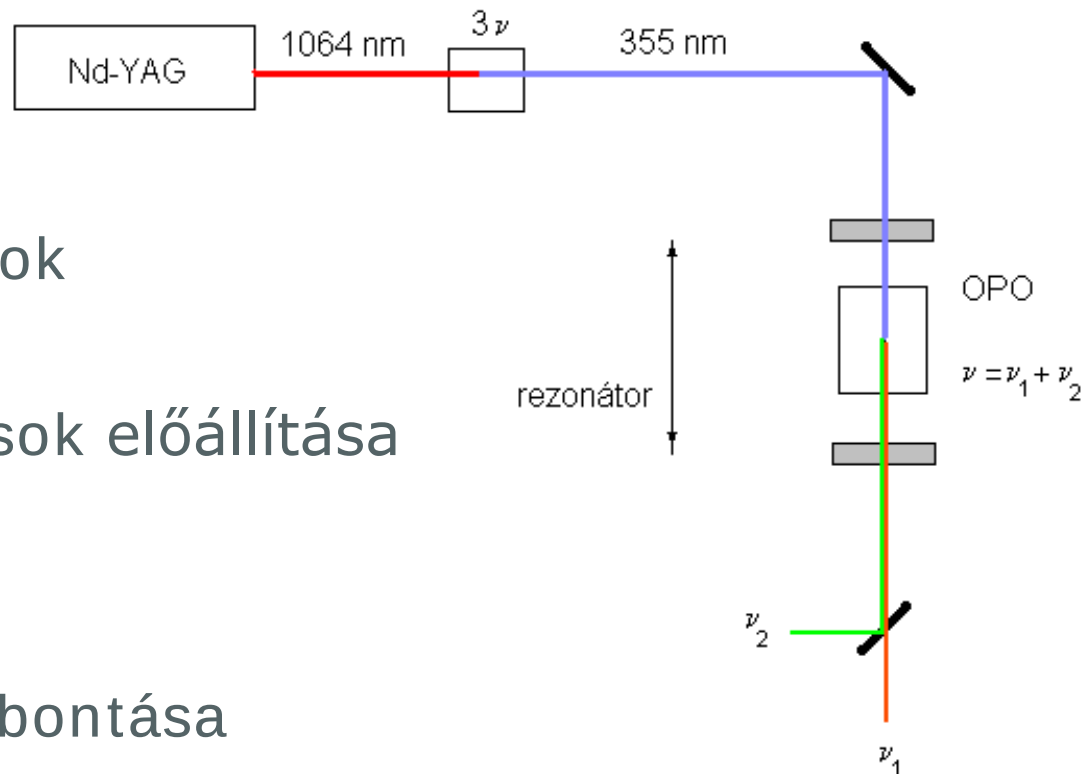
Pikoszekundumos, femtoszekundumos fényimpulzusok előállítása „móduscsatolt” lézerekkel.

LÉZERSUGÁR FREKVENCIÁJÁNAK VÁLTOZTATÁSA

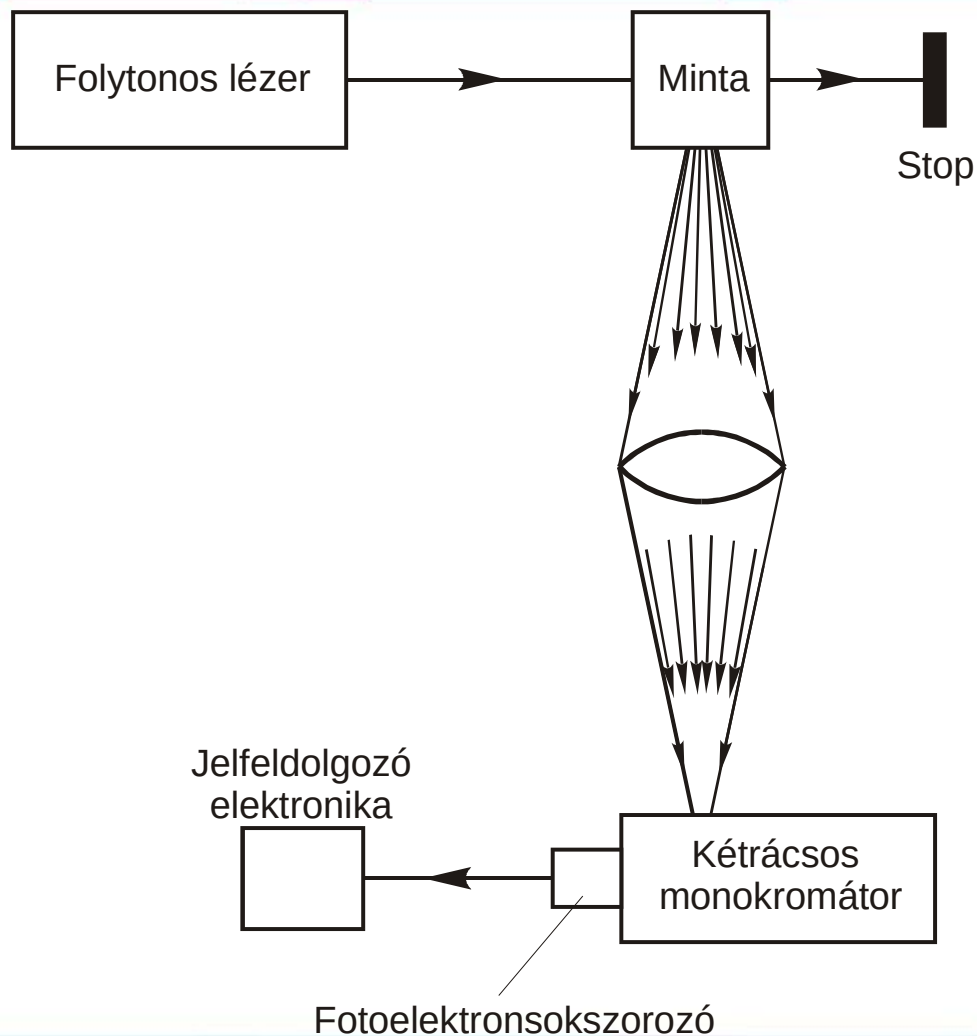
festéklézer

nem lineáris kristályok

- felharmonikusok előállítása
($2n$, $3n$, $4n$)
- frekvencia felbontása
($n = n_1 + n_2$)



RAMAN SPEKTROMÉTER FELÉPÍTÉSE

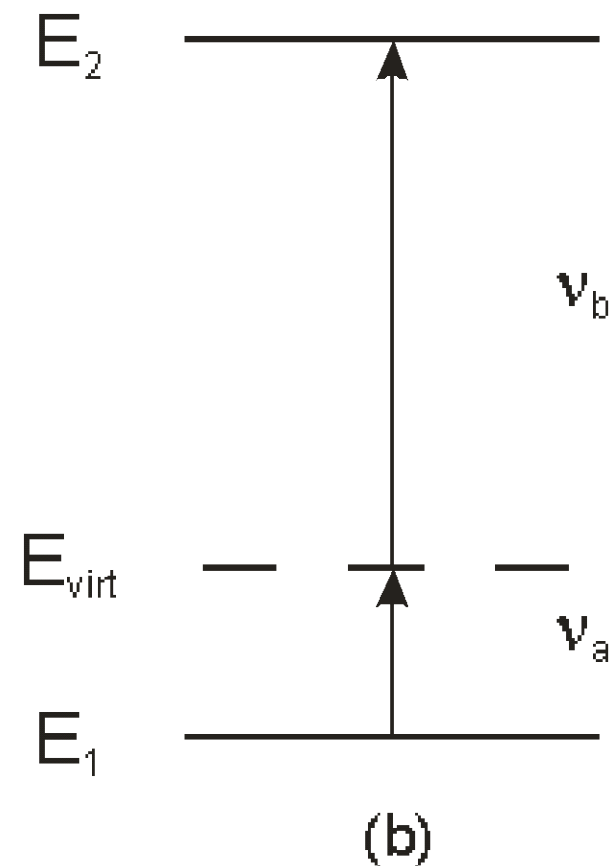
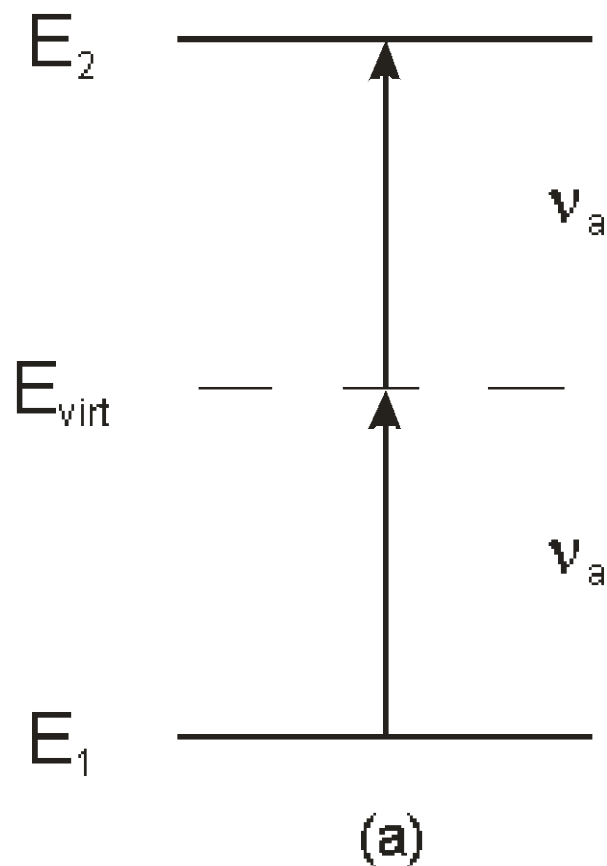


KÉT-FOTON ABSZORPCIÓ

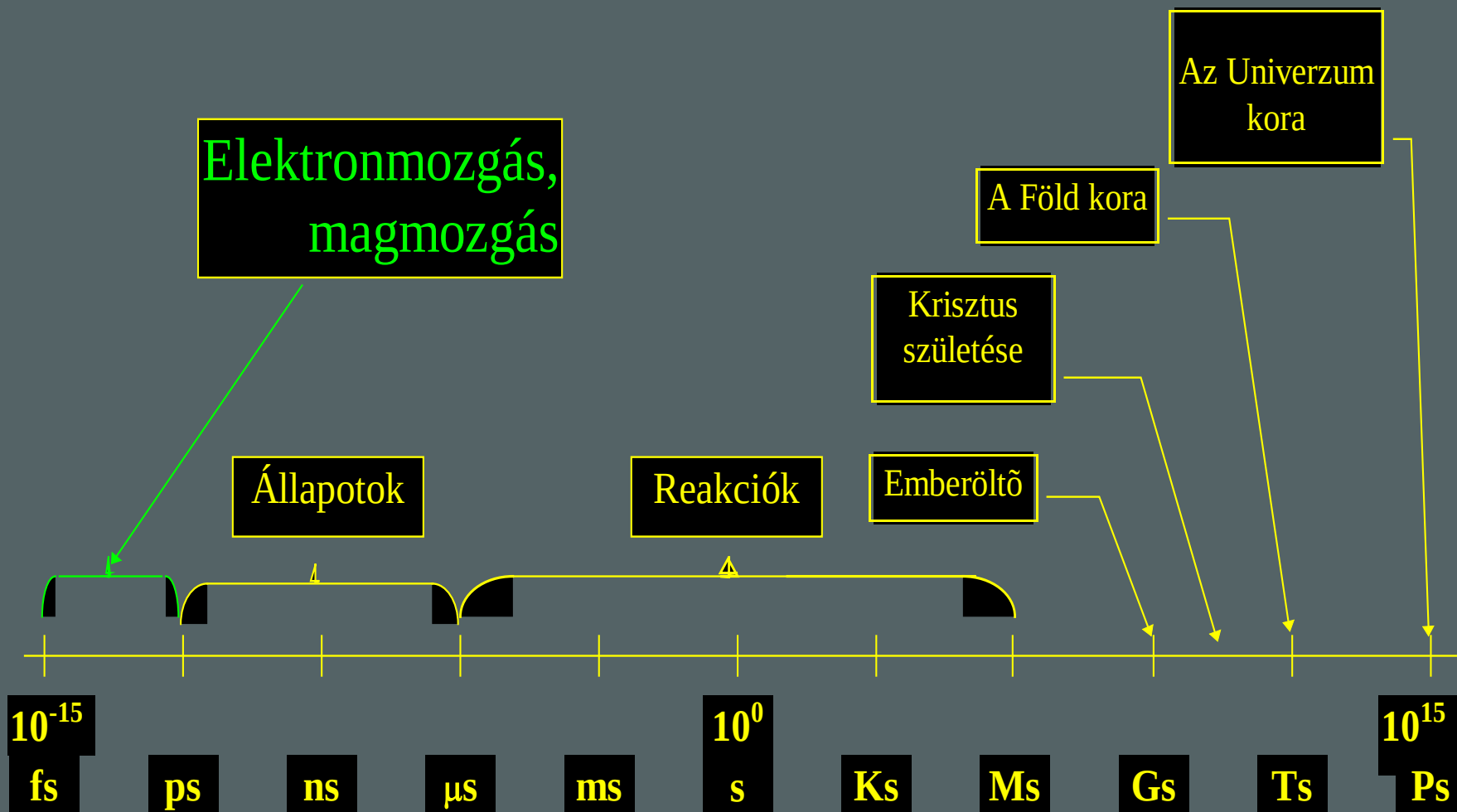
Forgási, rezgési vagy elektronátmenet, amikor a molekula egyidejűleg két fotont nyel el. Csak akkor elegendő a valószínűsége, ha nagy a fotonok koncentrációja. Az impulzuszézerekkel tanulmányozható, hagyományos fényforrásokkal, folytonos lézerekkel nem.

Legtöbbet az elektrongerjesztéshez vezető két-foton abszorpciót tanulmányozzák.

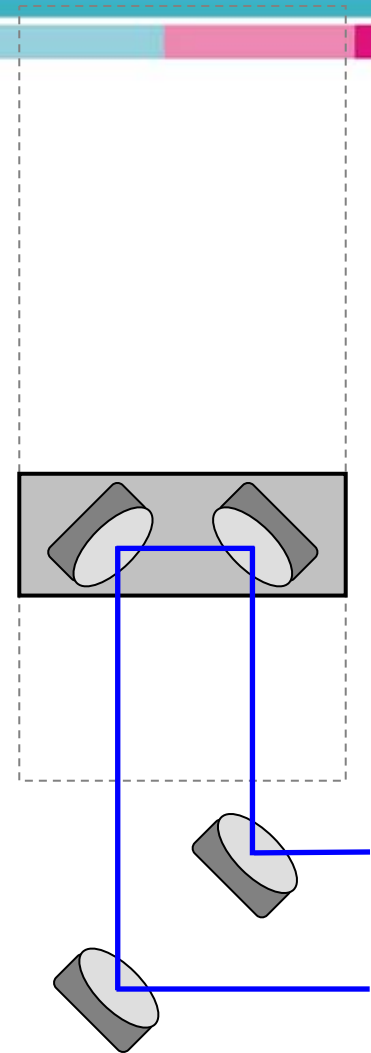
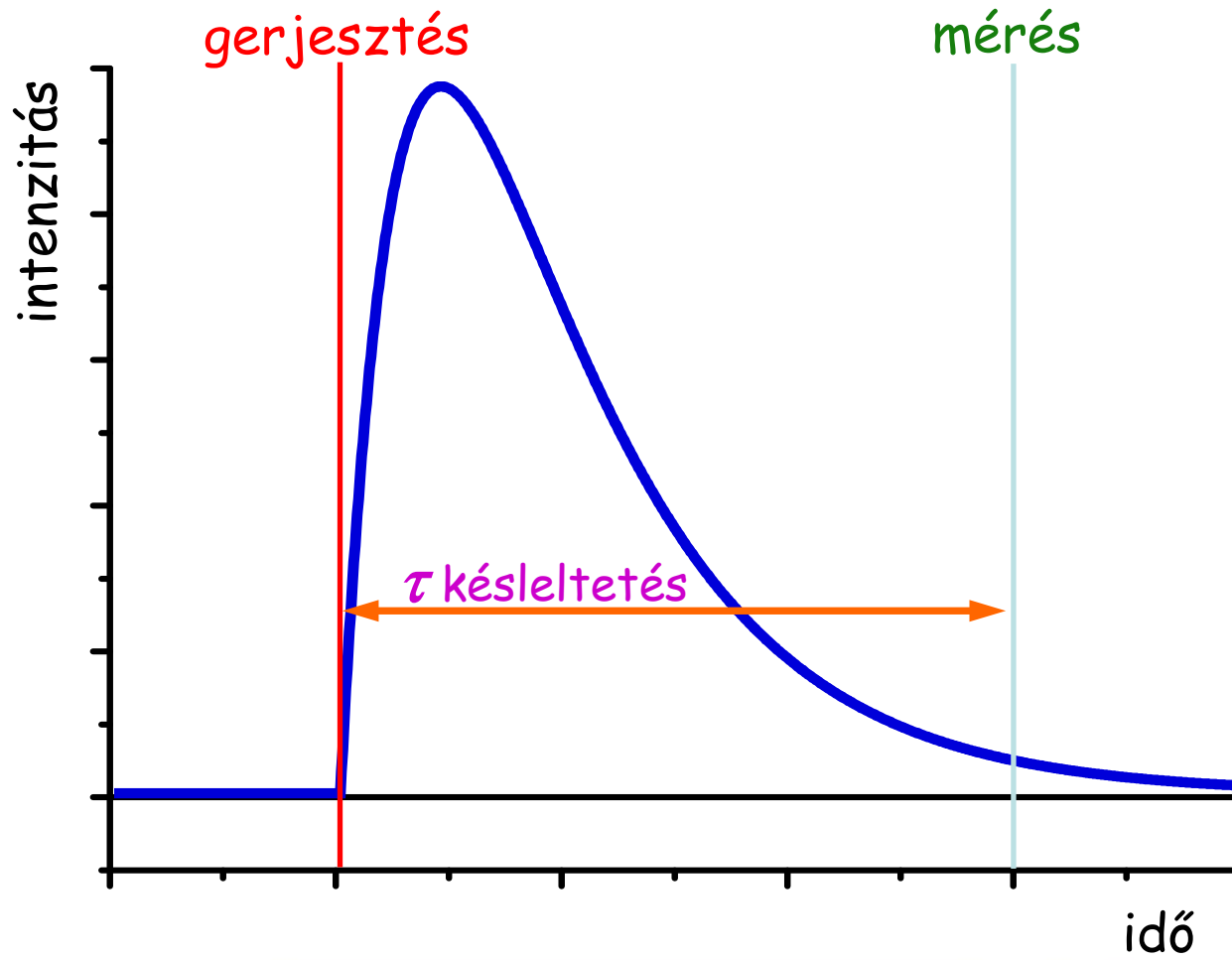
A MOLEKULA ENERGIAVÁLTOZÁSA KÉT-FOTON ABSZORPCIÓBAN



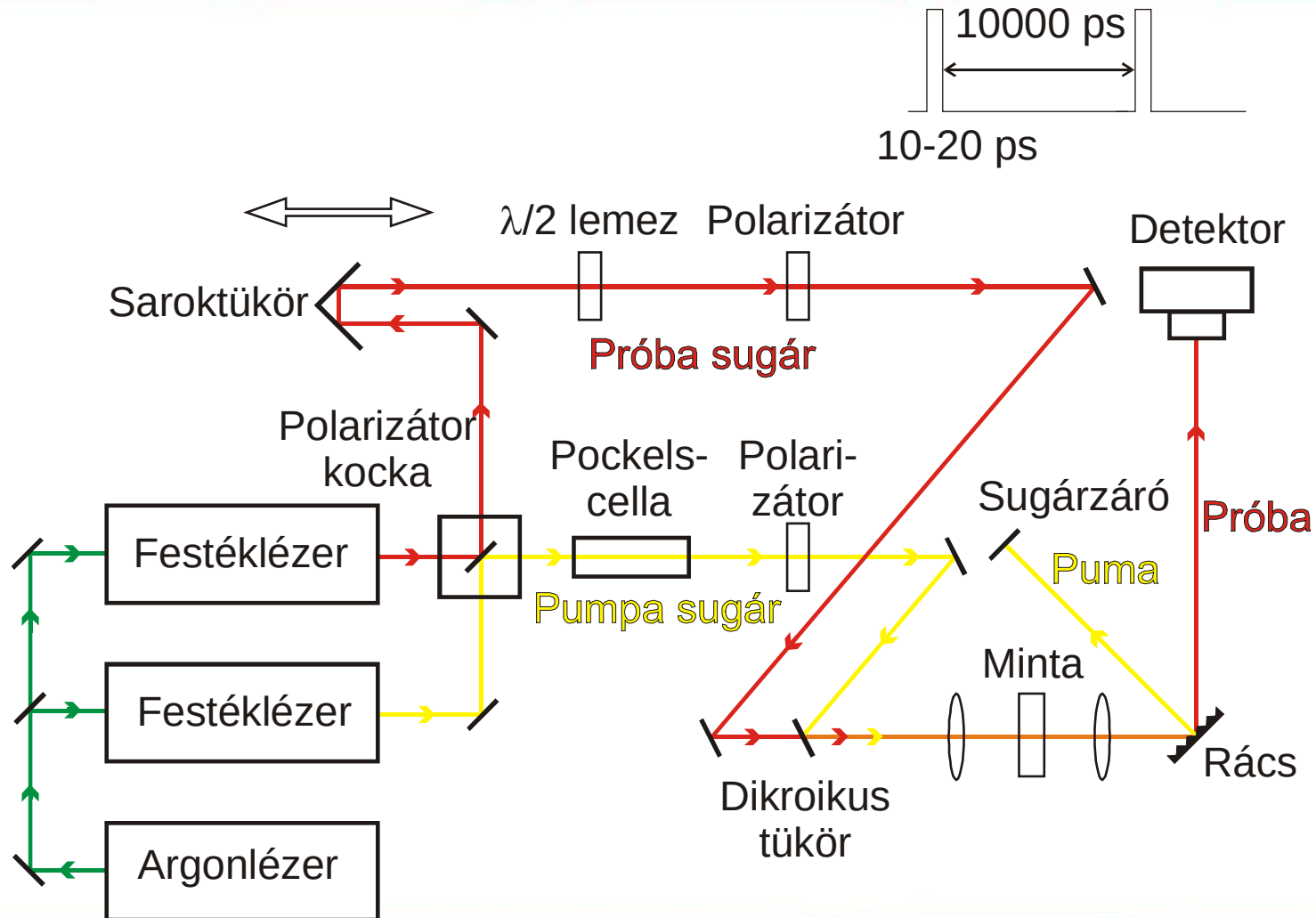
IDŐSKÁLA



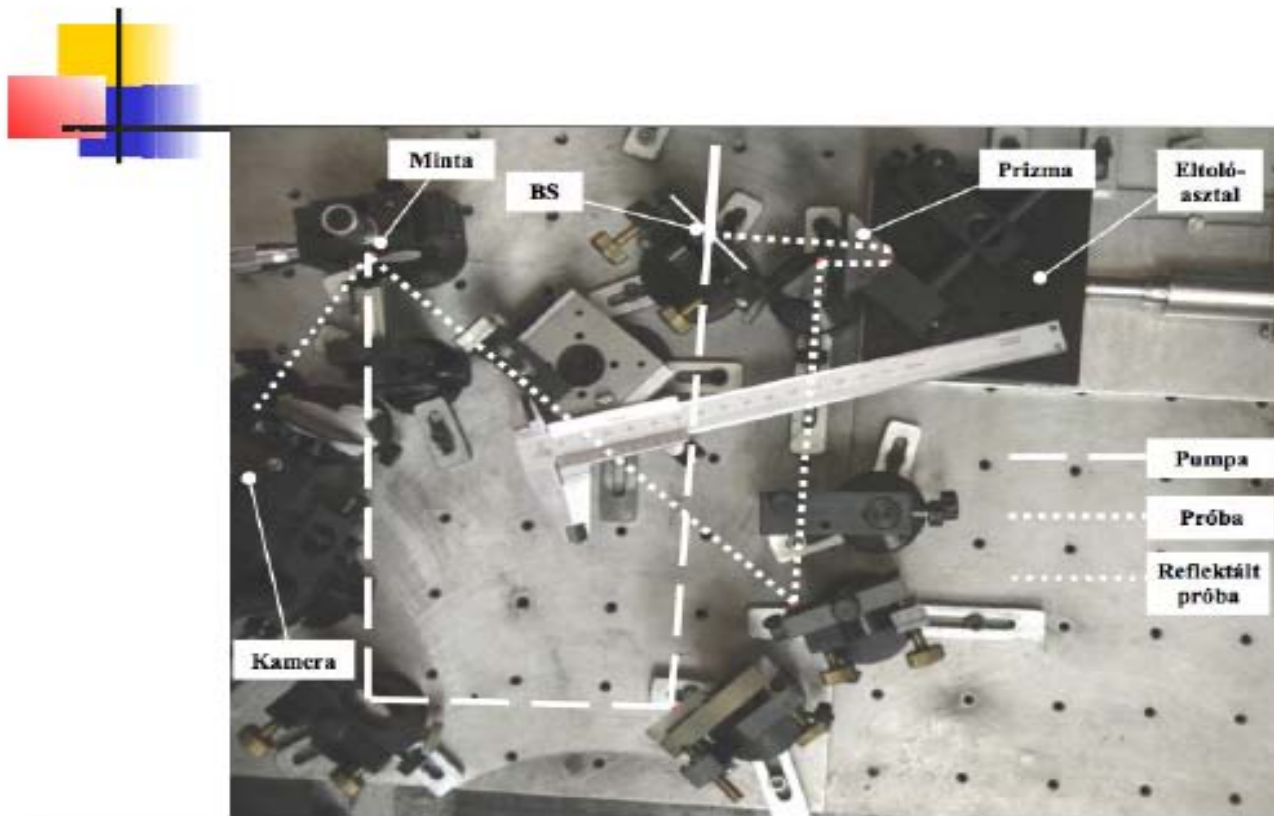
SPEKTROSZKÓPIA FEMTOSZEKUNDUM IDŐFELBONTÁSSAL: AZ IDŐBELI KÉSLELTETÉS



PUMPA-PRÓBA-KÍSÉRLET

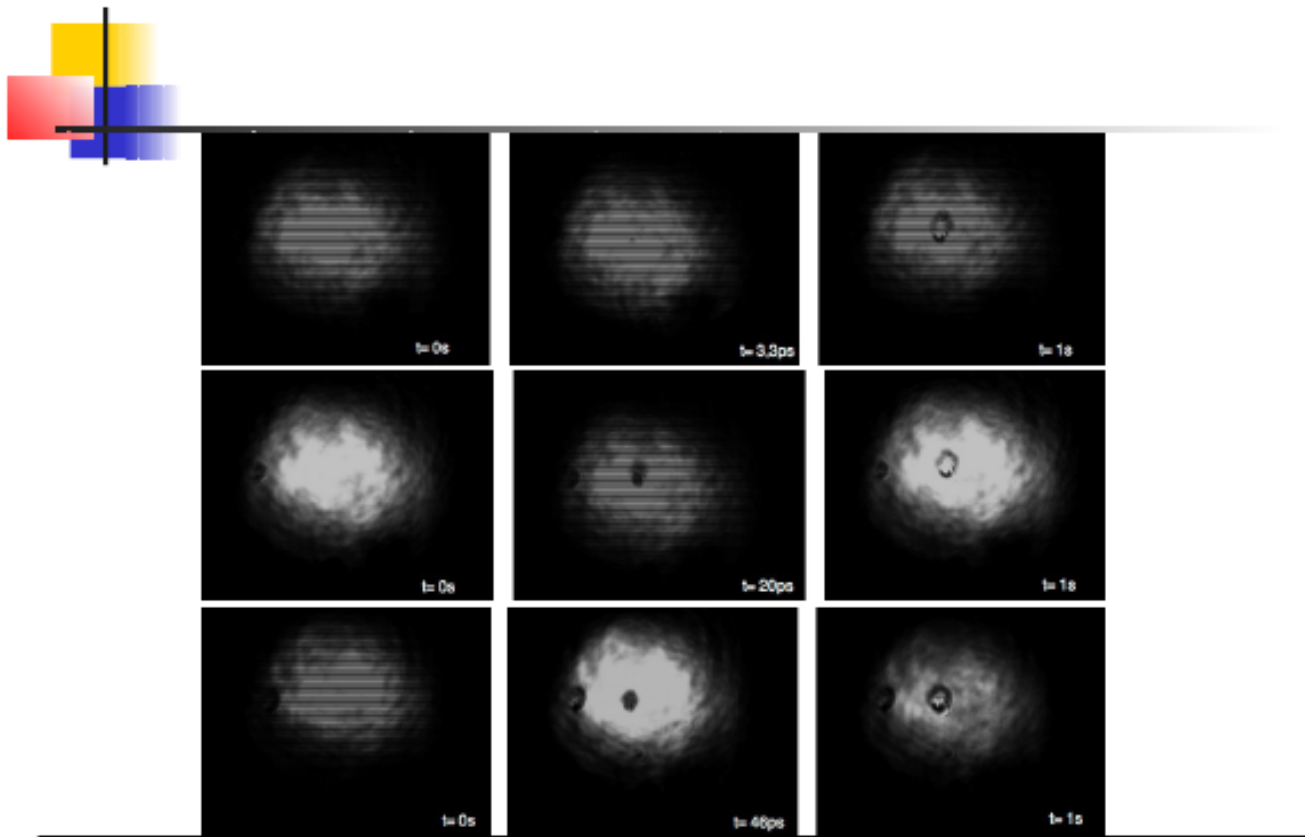


HILL SZEGED



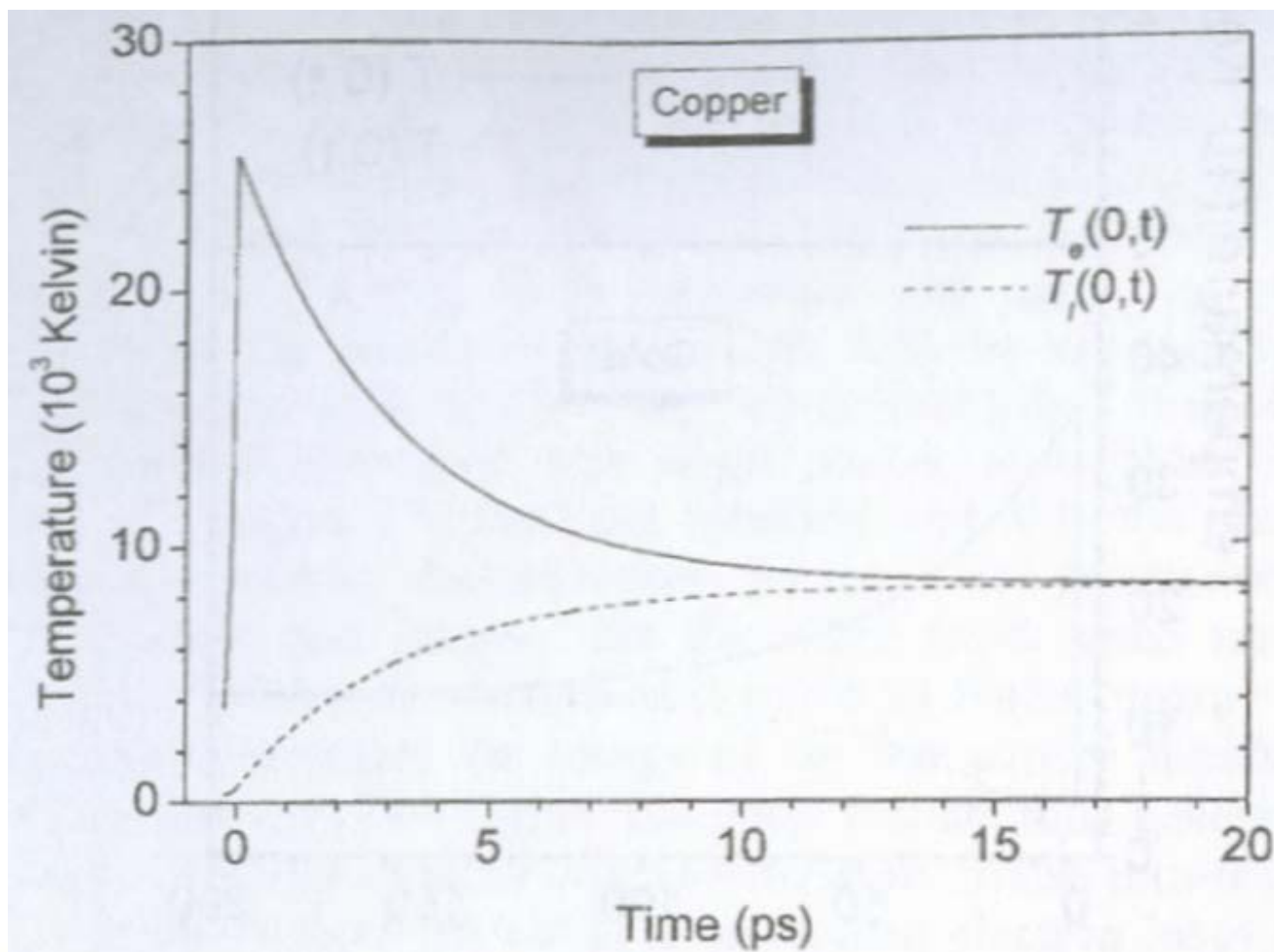
"50 éves a lézer" Szeged, 2010 nov. 25

VANÁDIUM-PENTOXID



“50 éves a lézer” Szeged, 2010 nov. 25

Elektron- és fonon-hőmérséklet vs idő



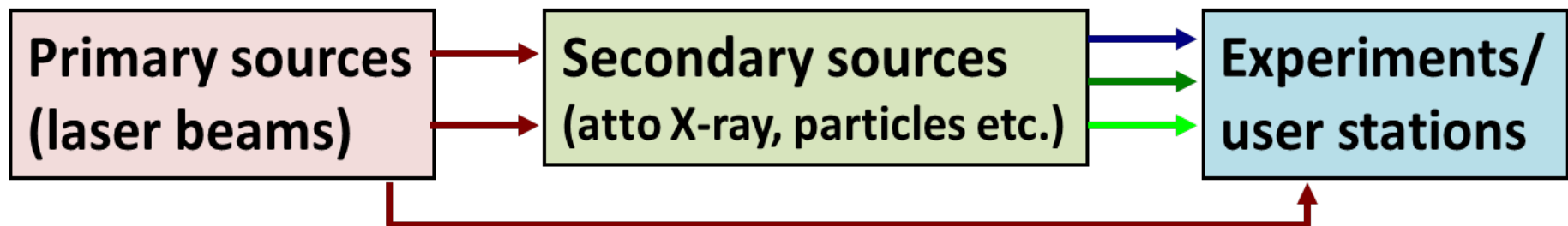
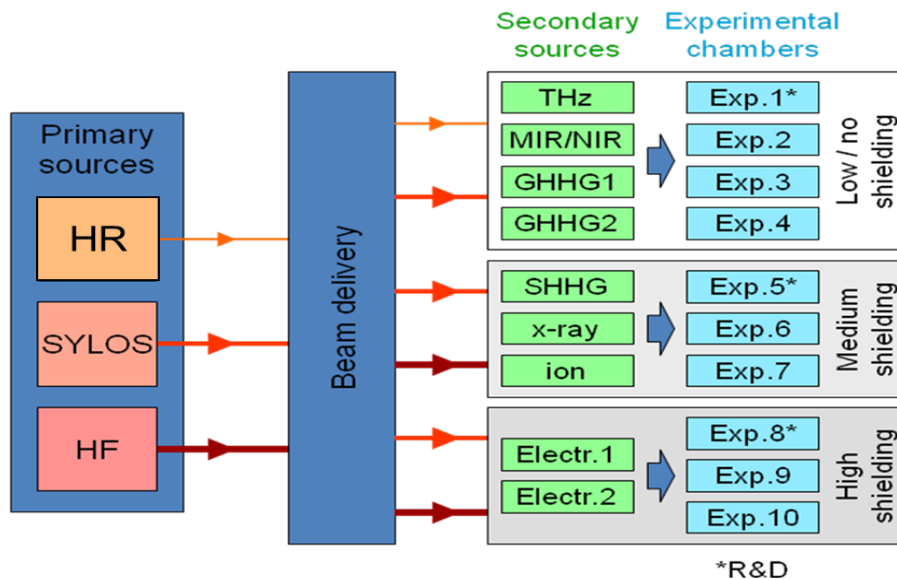
MAJOR MISSIONS OF ELI-ALPS

- 1) To generate X-UV and X-ray fs and atto pulses, for temporal investigation at the attosecond scale of electron dynamics in atoms, molecules, plasmas and solids.**

ATTOSECOND Beamline & User Facility

- 2) To contribute to the technological development towards 200PW
HIGH INTENSITY beamline**

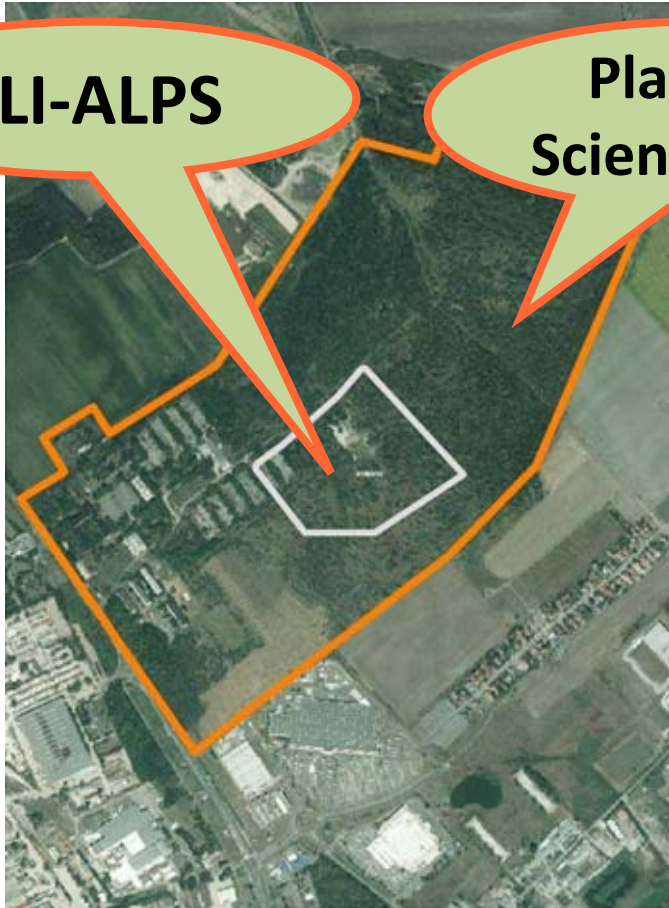
SCHEMATICS OF ELI-ALPS



LOCATION OF ELI-ALPS AND A PLANNED SCIENTIFIC PARK

ELI-ALPS

**Planned
Science Park**



REGION OF ELI-ALPS: SZEGED

163 000 inhabitants

30 000 students
(10 % foreigners)

2600 researchers at

- Uni Szeged
- Biological Research Cntr
- Inst. for Cereal Research



Confucius Institute in Szeged

University of Szeged:
World ranking: <500 (!)

The highest ranked Uni from underdeveloped regions.

MAJOR PROJECT: :

TWO IMPLEMENTATION PHASES

Implementation phase I: 2013-2015

Major project

- Planned maximum budget: 120 M€
- Non-refundable grant from GOP 1. priority
- EU funding: 85%
- Application submission to EU by May, 2013

Implementation phase II

- Planned maximum budget: 86M€
- Government decision and commitment done
- EU funding: 85% (expected)
- Preparatory period: Q2-Q4 2015
- Implementation period: 2016-2017

FURTHER INFORMATIONS

B2B: lorant.lehrner@eli-alps.hu

Scientific matters: karoly.osvay@eli-alps.hu

Job matters: monika.barany@eli-alps.hu

General inquiry: info@eli-alps.hu

SZÉCHENYI PLAN



A projekt az Európai Unió támogatásával,
az Európai Regionális Fejlesztési Alap
társfinanszírozásával valósul meg.



Köszönöm a figyelmet!

www.meetthescientist.hu

