

Adalékolt egykristály alapú egyfoton forrás fejlesztése

Kis Zsolt
MTA Wigner FK



AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROJEKT

Egyfoton források - saját fejlesztésünk

Egyfoton forrásokra szükség van:

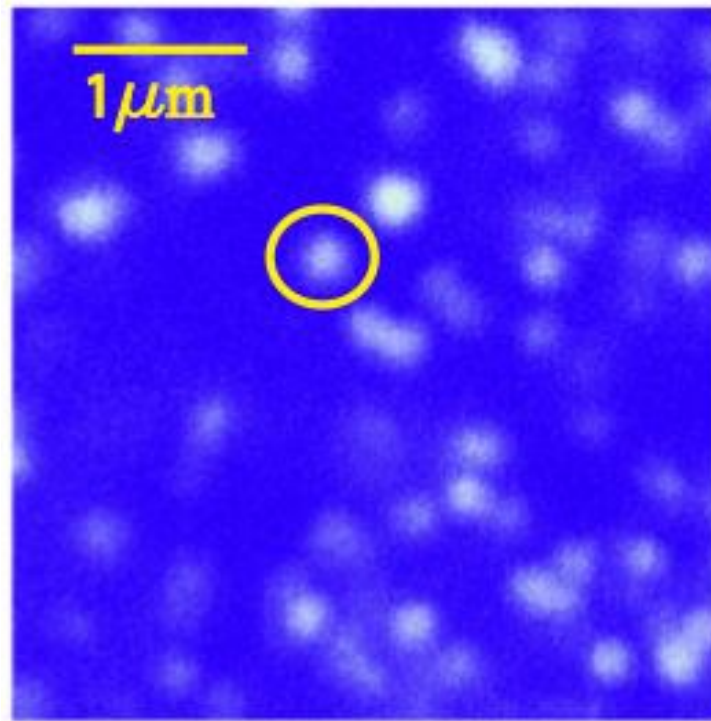
- fundamentális kvantummechanika
- kvantumszámítógép
- kvantumkommunikáció



Egyfoton források - saját fejlesztésünk

Egyfoton forrásokra szükség van:

- fundamentális kvantummechanika
- kvantumszámítógép
- kvantumkommunikáció



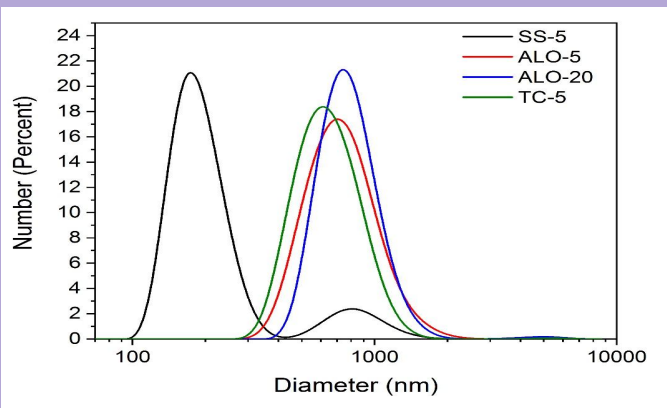
Nanokristályok előállítása őrléssel

LiNbO₃ száraz őrlése:

- Spex Mixer Mill 8000 malom
- Különböző anyagú tégelyek
rozsdamentes acél (SS), alumínium-oxid (ALO), volfrám-karbid (TC)

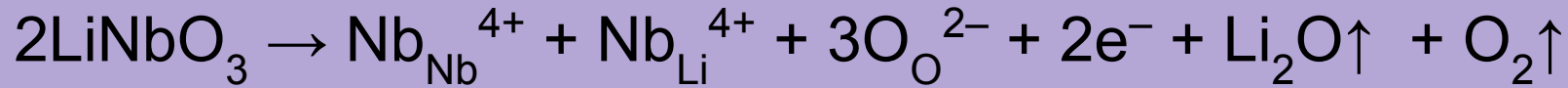


Őrlés eredménye: részecske- és szemcseméret (DLS vs. XRD)



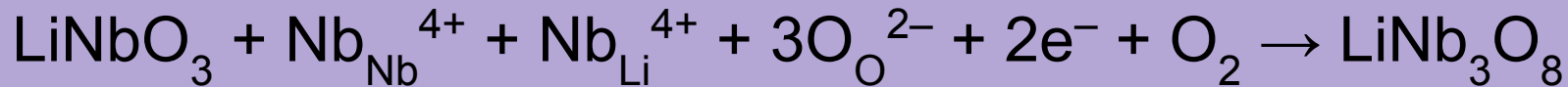
#	Részecskeméret (nm) DLS	Szemcseméret (nm) XRD
SS-5	190, (800)	55±18
ALO-5	700	63±21
ALO-20	700	37±2
TC-5	500	51±6

Őrlés hatására bekövetkező változások



- Polaronok megjelenése:
 - optikai reflexió mérés
- Li_2O mennyiségi meghatározása:
 - coulometriás titrálás
(0.95-1,52 m%)

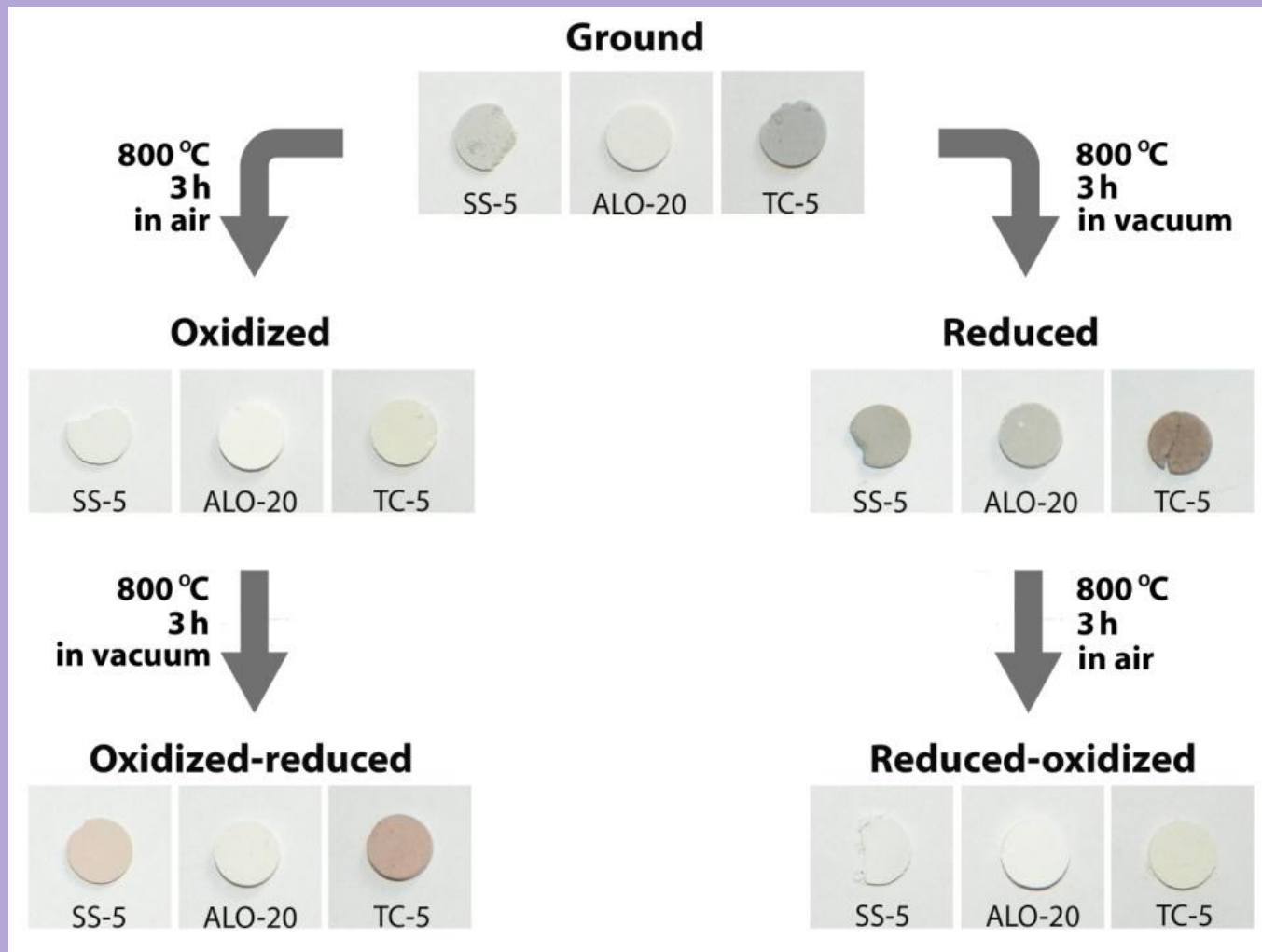
Hőkezelés hatására bekövetkező változások:



- LiNb_3O_8 megjelenése hőkezelés során:
 - Röntgen-diffrakció, Raman spektroszkópia
- Polaronok eltűnése

Őrlés és hőkezelés:

Az oxidatív környezet a polaronok eltűnésének kedvez, a redukzív környezet a megjelenésüknek



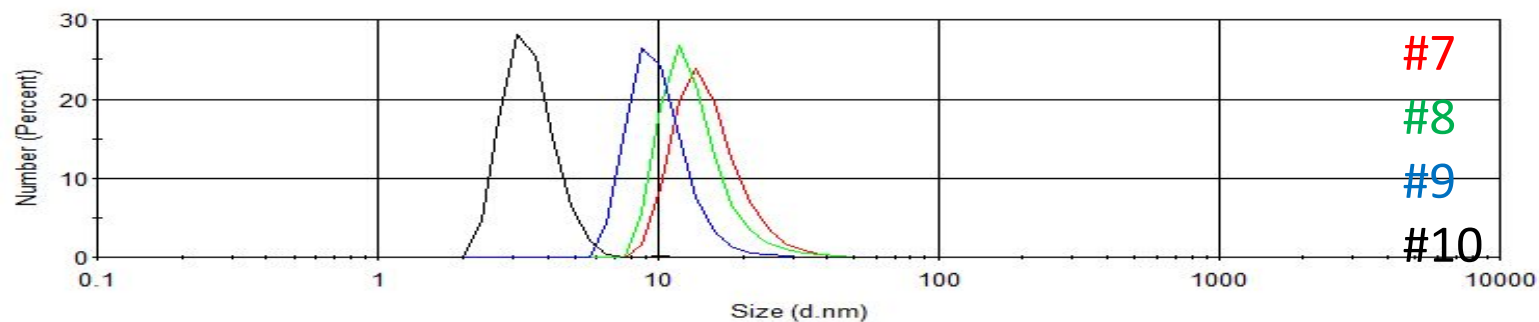
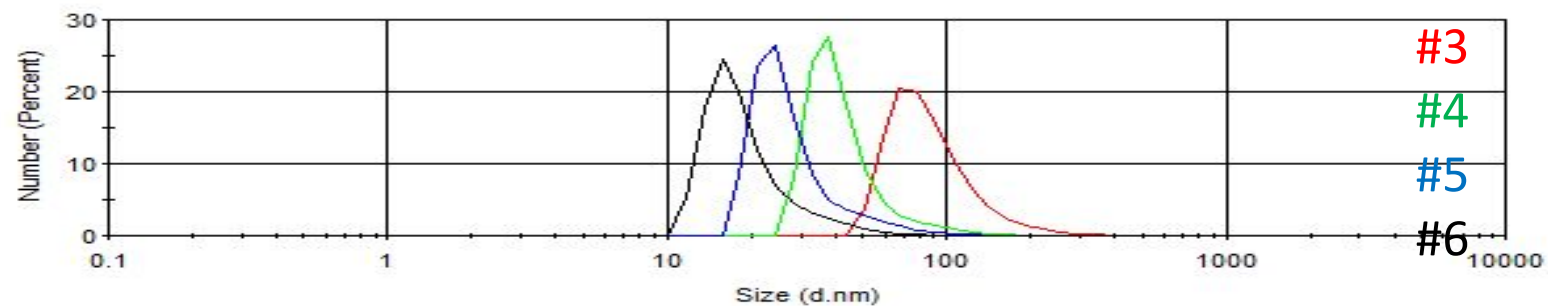
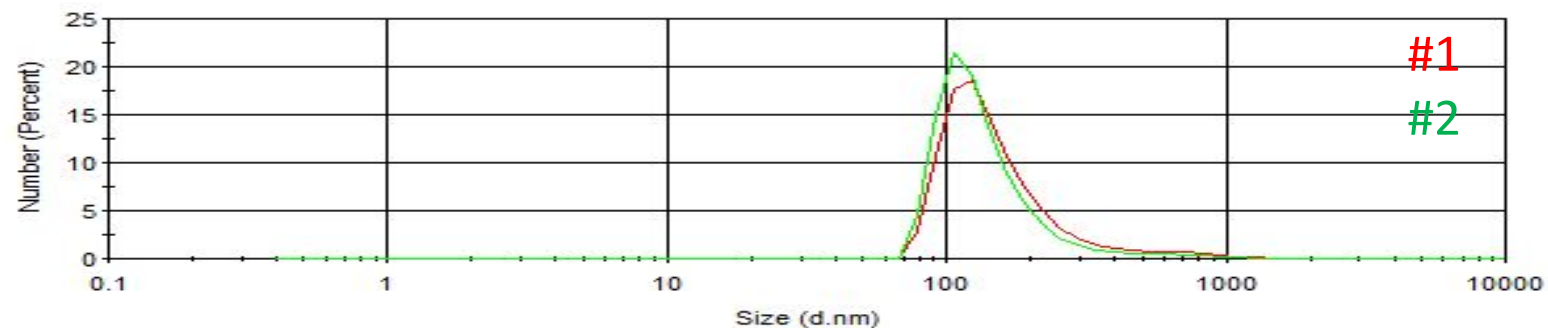
Nedves őrlés

- Fritsch Pulverisette 7
Premium line



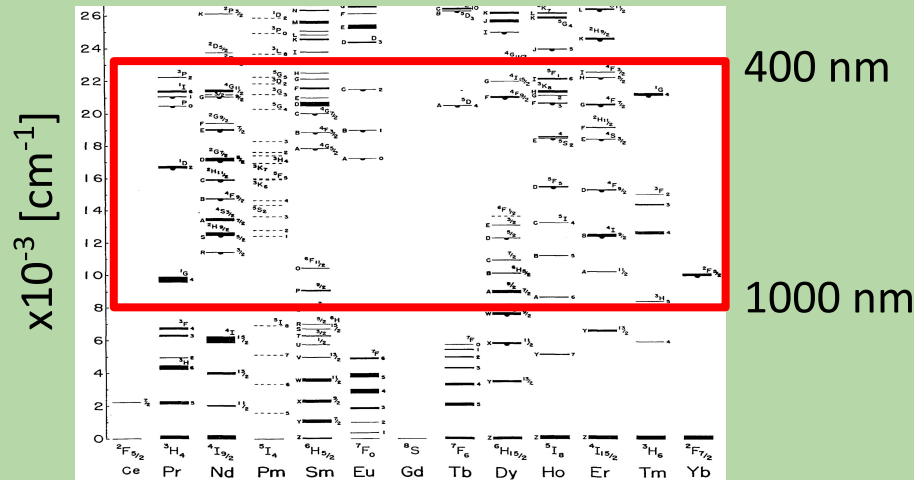
#	Őrlési paraméterek			Elért részecskeméret (DLS) d ₅₀ (nm)
	Golyók mérete (mm)	Folyadék	Idő (min)	
1	3	5 mL víz	5	105±22
2			10	94±28
3	0.5	10 mL víz	15	74±6
4			30	36±5
5			45	47±19
6			60	24±6
7	0.1	10 mL víz	15	14±4
8			30	13±4
9			45	14±4
10			60	8±3

Size Distribution by Number



Ritkaföldfém (RE) ionok, mint potenciális egyfoton források

RE ionok f-f átmeneteinek energiája és élettartama



Műszer- és mérés technikai feltételek

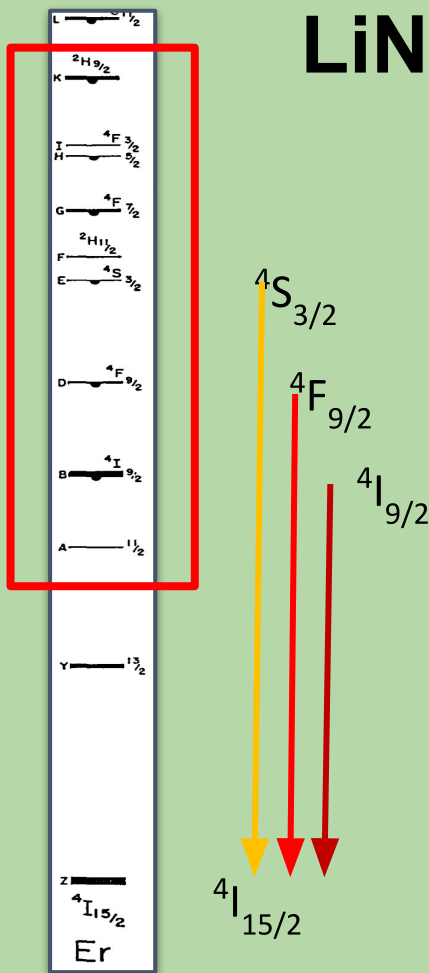
Gerjesztés: **400-1000 nm**

Emisszió: **400-1000 nm**

Ciklus: **< 100 μs**

- A RE^{3+} ionok könnyen beépíthetők egyes oxidkristályokba
- Az f-f átmenetek energiája **gyengén**, az élettartam **erősen** függhet a **gazdarácstól**, és a **koncentrációtól**
- Lehetséges mátrixok, melyeket a Wigner FK Kristályfizikai Csoportja állít elő: **LiNbO_3** (lítium-niobát), **$\text{Li}_6\text{Y}(\text{BO}_3)_3$** (lítium-ittrium-borát) egykristályok

LiNbO₃: Er³⁺



$4S_{3/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ (alapállapot)

Élettartam: ~15-110 μ s

Emisszió: ~540 nm

Gerjesztés: 488 nm

$4F_{9/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ (alapállapot)

Élettartam : ~1.8-4 μ s

Emisszió : ~650 nm

Gerjesztés: 540 nm

$4I_{9/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ (alapállapot)

Élettartam : ~0.25 μ s

Emisszió : ~810 nm

Gerjesztés : 650nm

LiNbO₃:Tm³⁺

Characterization of up-conversion processes in Tm³⁺-doped LiNbO₃

E. Cantelar, G.A. Torchia, F. Cussó*

Journal of Luminescence 122–123 (2007) 459–462

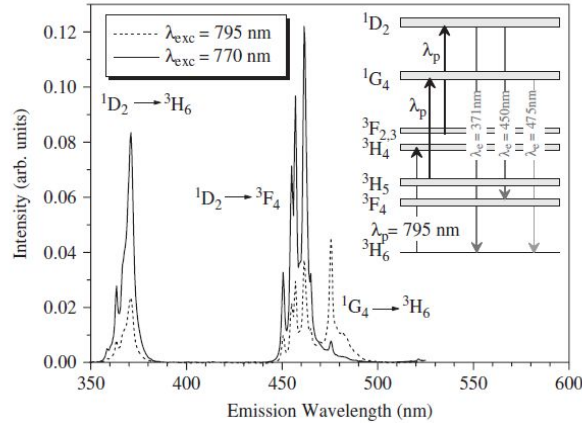
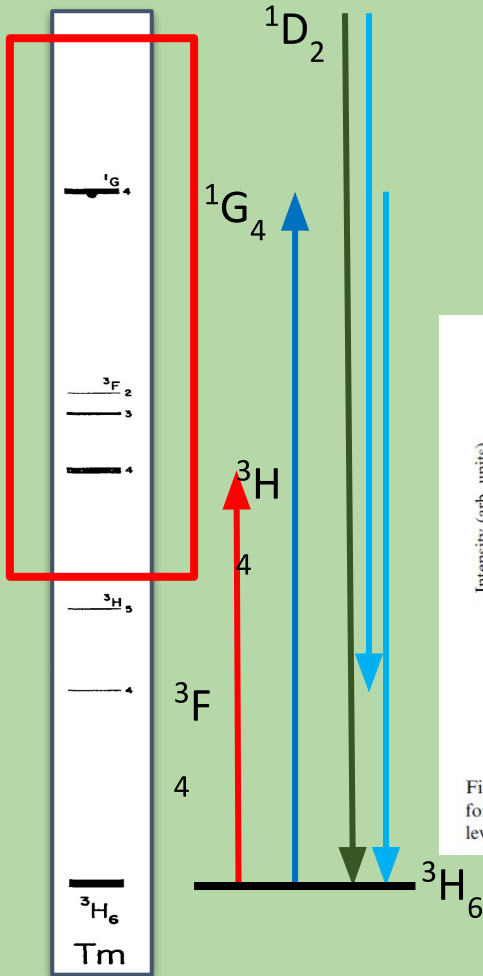


Fig. 1. Up-converted emissions of Tm³⁺, after excitation to the ³H₄ level, for two different excitation wavelengths. The inset shows a partial energy level scheme with the relevant optical transitions.

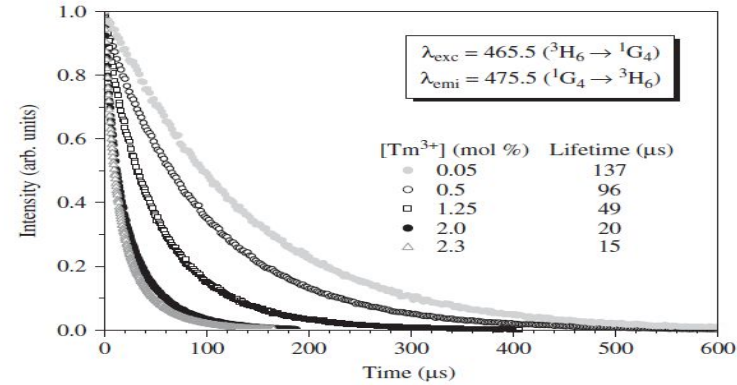
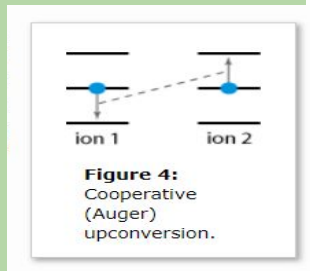
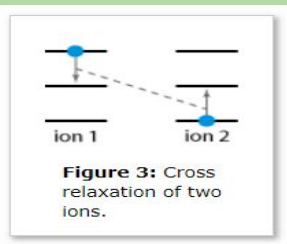
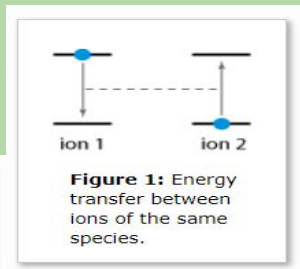
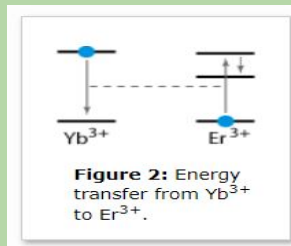


Fig. 5. Luminescence decay of the ¹G₄ multiplet for different Tm³⁺ concentrations after resonant pumping from the ground state.

Élettartam függ a koncentrációtól

Energia átadás – kettős adalékolás

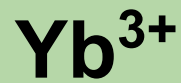


Energia átadás azonos fajta ionok között (nagy koncentráció)

Energia átadás különböző fajta ionok között

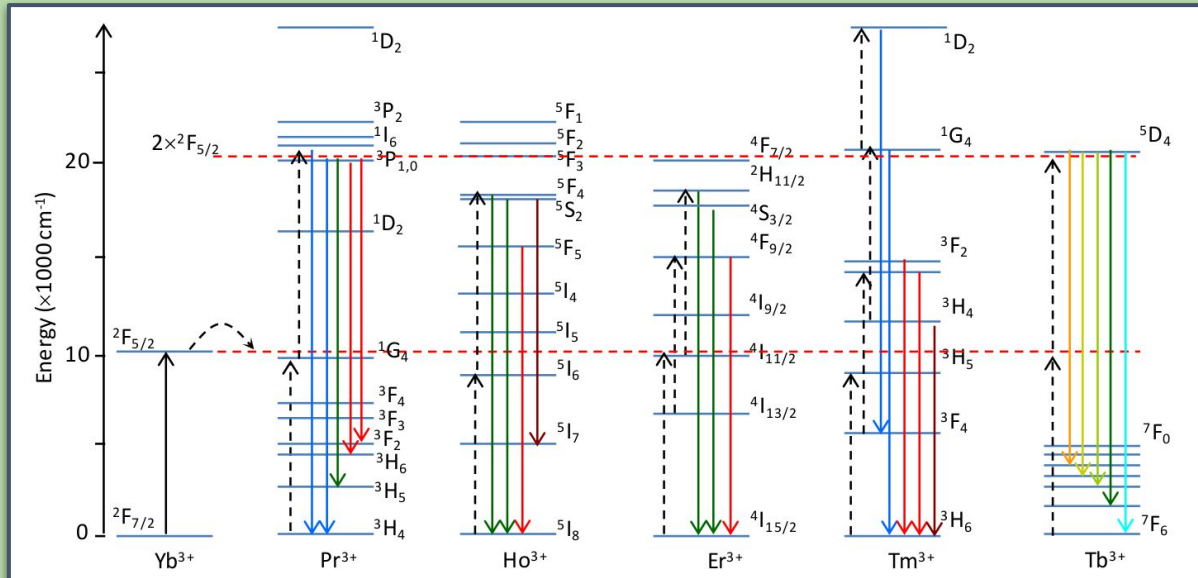
Egy gerjesztett állapotú ion átadja az energiáját egy alapállapotúnak, mindkettő egy közbülső állapotba kerül

Egy ion úgy kerül magasabb elektron állapotba, hogy egy másik iontól kapja az energiát

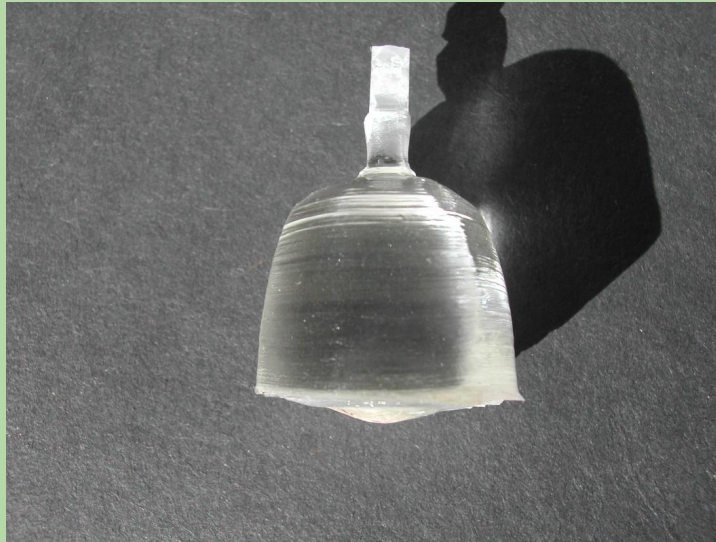
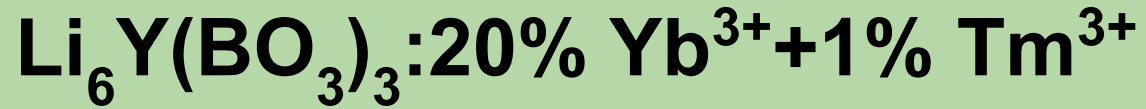


f → f Lassú átmenetek > 100 μs

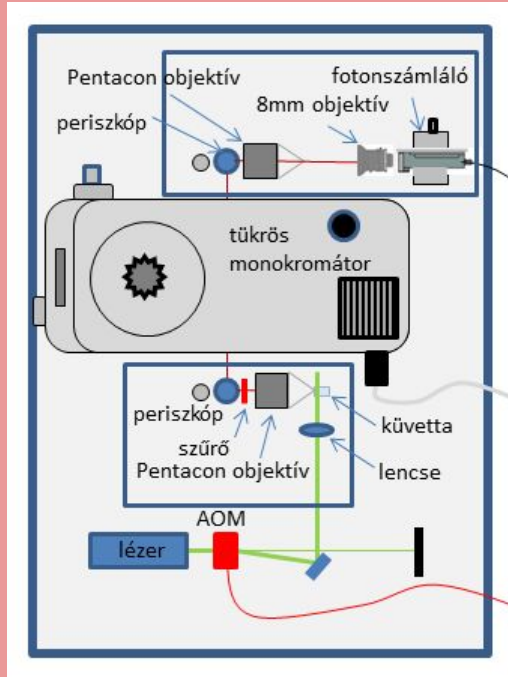
Energiatranszfer: jó donor, a nagy abszorpciós keresztmetszet és a hosszú élettartamok miatt



A tervezett első kísérlet:



Időfüggő fluoreszcencia-mérés kristálymintán



Cél: az adalékolt minta lumineszcenciája időfüggésének mérése

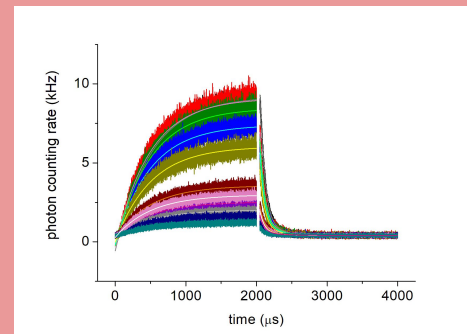
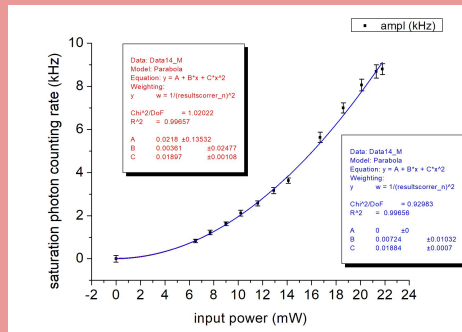
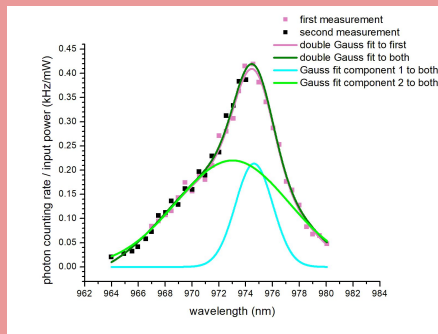


The diagram illustrates the optical setup for measuring the time delay of a photodiode. The components and their functions are as follows:

- Lézer (Laser):** The light source at the bottom left.
- AOM (Acousto-Optic Modulator):** A red rectangular component that modulates the laser light.
- Top Section:**
 - periszkóp (Periscope):** A small blue circle that reflects the light path.
 - Pentacon objektív (Pentacon Objective):** A blue circle that focuses the light.
 - 8mm objektív (8mm Objective):** A grey rectangle that further focuses the light.
 - fotonszámláló (Photon Counter):** A device at the top right that detects the light.
- Bottom Section:**
 - periszkóp (Periscope):** A small blue circle that reflects the light path.
 - szűrő (Filter):** A red circle that filters the light.
 - Pentacon objektív (Pentacon Objective):** A blue circle that focuses the light.
 - lencse (Lens):** A blue circle that focuses the light.
 - küvetta (Cuvette):** A black rectangular component that holds the sample.
- Central Components:**
 - tükör (Mirror):** A black circle that reflects the light path.
 - monokromátor (Monochromator):** A black rectangular component that filters the light.

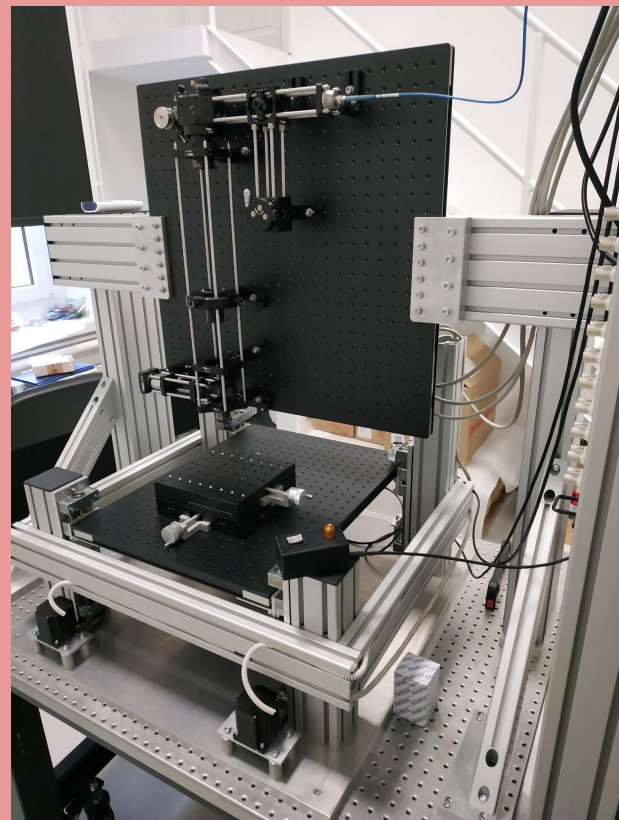
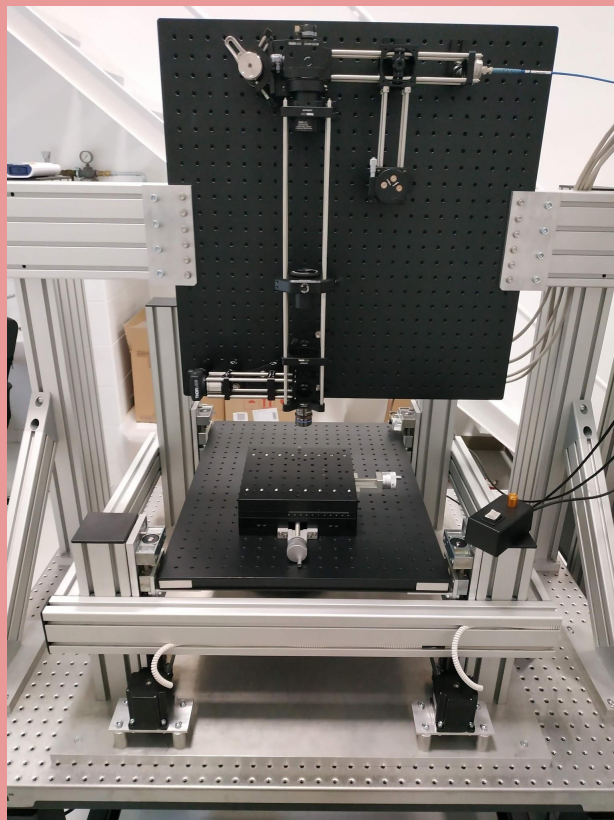
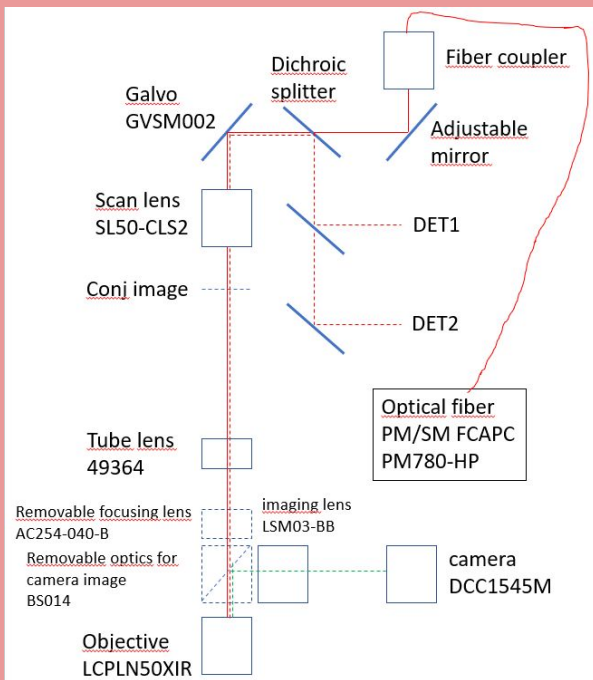
- külső rezonátoros diódalézer
- függvénygenerátor → AOM
- 3 objektív
- aluláteresztő szűrő (900 nm)
- fényszigetelő dobozok
- tükrös monokromátor
- fotonszámláló
- NI eszköz → triggerelt, impulzusszámláló LabView adatgyűjtő program

Eredmények $\text{NaYF}_4:\text{Tm}^{3+}:\text{Yb}^{3+}$ nanokristályokon



1. Meghatároztuk a $\text{NaYF}_4:\text{Tm}^{3+}:\text{Yb}^{3+}$ nanokristályok gerjesztési spektrumvonalának szerkezetét 964 és 980 nm közötti tartományban: egy keskenyebb ($x_{c1} = 974.6 \text{ nm}$, $w_1 = 2.9 \text{ nm}$) és egy szélesebb ($x_{c2} = 972.8 \text{ nm}$, $w_2 = 8.6 \text{ nm}$) Gauss-komponenst találtunk, és a tartományon belül csak a hatásokban mértünk változást, a lecsengés időállandóiban nem (lásd 3. pont), akkor sem, ha kiléptünk a keskeny komponens zónájából.
2. Kimutattuk, hogy 975 nm-en gerjesztve a 800 nm-es lumineszcencia intenzitásfüggése tisztán négyzetes, tehát kétfotonos folyamat.
3. A gerjesztések lecsengése (legalább) kétlépcsős folyamat, $(64 \pm 2) \mu\text{s}$ és $(235 \pm 15) \mu\text{s}$ időállandókkal.

Konfokális mikroszkóp



Mérésvezérlés és adatgyűjtés

- “NI-Box” központi eszköz perifériák kiszolgálására (NI PXIe-1073 Integrated MXIe)
- Adatgyűjtő és jelgeneráló kártya gyors jelekhez (NI PXIe-6363, 32 AI, 48 DIO, 4 AO)
- Nagy sebességű hullámfüggvény generátor (NI PXI-6733)
- Univerzális csatlakozó felület a megfelelő kapcsolati kiépítéshez (BNC-2090A)
- Adatgyűjtő és jelgeneráló kártya lumineszcencia mérésekhez (NI PCIe-6320, 16 AI, 24 DIO)

“NI-Box”



BNC-2090A

Szoftverbeszerzés

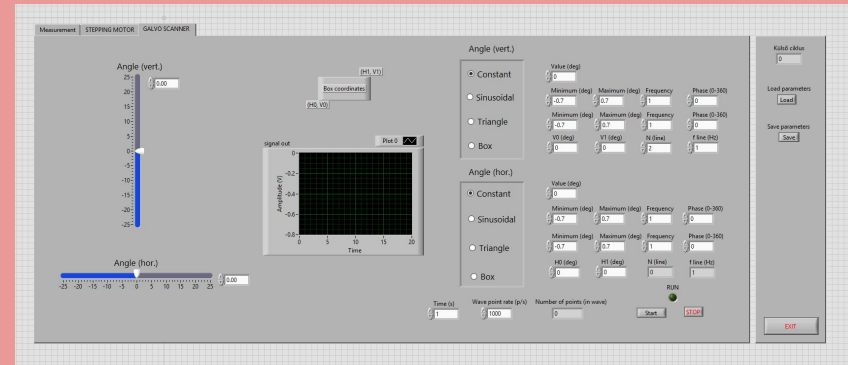
5 felhasználós akadémiai liszensz



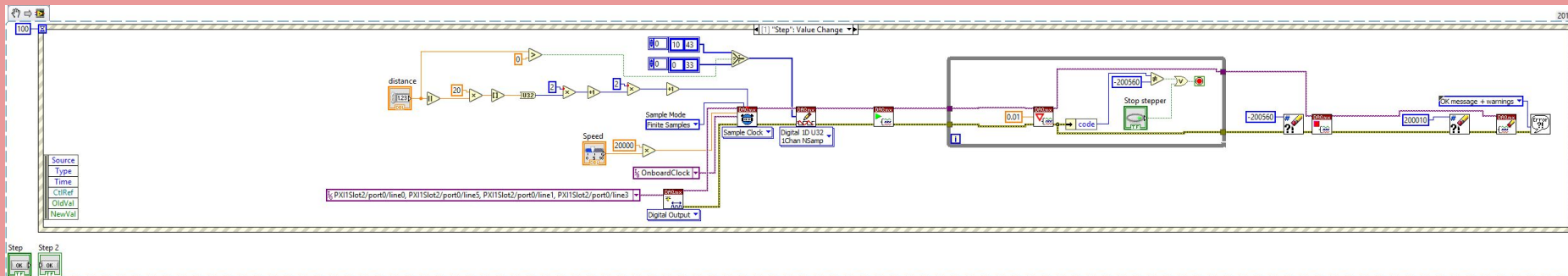
Galvo vezérlés

Teljes irányítás egyetlen programmal:

- Léptetőmotor
- Galvo-szkenner
- Piezo-szkenner
- Lézerimpulzusok ütemezése
- Detektor jelek fogadása, feldolgozása
- Jelek szinkronizálása, időzítés



Léptetőmotor irányítás blokkdiagramja



Résztvevők

Kutatók:

Kis Zsolt, Kovács László, Lengyel Krisztián, Mandula Gábor, Péter László

PhD hallgatók:

Kocsor Laura, Tichy-Rács Éva

Technikusok:

Kálmán Gyula, Máté László, Szabó György

Külső megbízások:

Erdei Gábor (BME), Szarvas Tamás (Semilab, BME)