

Elemanalitika hidegneutronokkal



Szentmiklósi László

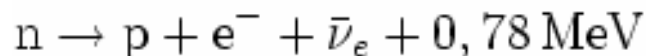
MTA Izotópkutató Intézet,
Nukleáris Kutatások Osztálya

szentm@iki.kfki.hu
<http://www.iki.kfki.hu/nuclear/>

Mik azok a hideg neutronok?

A **neutron** semleges részecske, tömege $1,67492716 \times 10^{-27}$ kg, 1.00866491560(55) amu, 939.565360(81) MeV

Az atommagon kívüli, szabad neutron nem stabil $T_{1/2} = 885.7 \pm 0.8$ s. Elbomlik protonra, elektronra és anti-elektronneutrínóra:



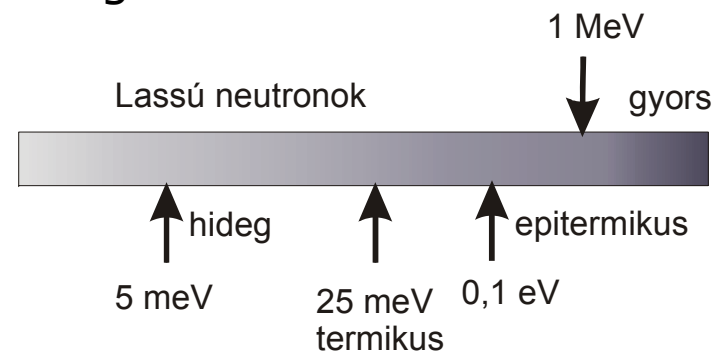
Szabad neutronok csak **magreakciókkal állíthatók elő**

A **neutronokat** az energiájuk szerint **csoportosítjuk**

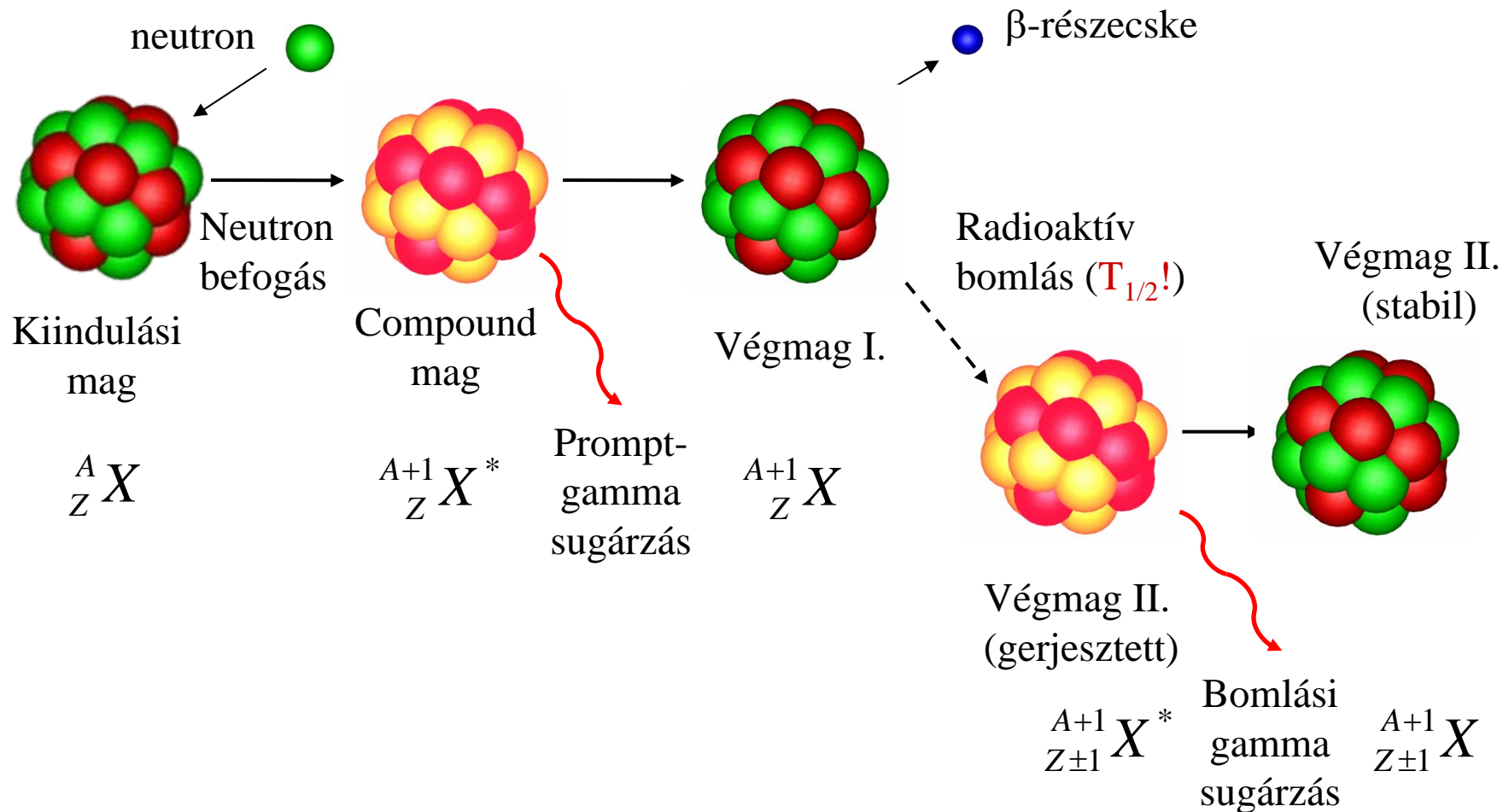
- ❑ Termikus $kT = 25,26$ meV*, $v = 2198$ m s⁻¹, Maxwell-eloszlás.
- ❑ Az ezeknél kisebb, 5 meV körüli kinetikus energiájúakat hideg,
- ❑ a kb. 0,1 eV fölöttieket epitermikus,
- ❑ a MeV-es tartományban lévőket pedig gyorsneutronoknak nevezzük.

❑ **Hidegneutron forrás:** cseppfolyós hidrogén 20 K hőmérsékleten, A tartályon áthaladó neutronok felveszik a közeg hőmérsékletét

*1 eV = $1,602176462(63) \times 10^{-19}$ J



A sugárzásos neutronbefogás

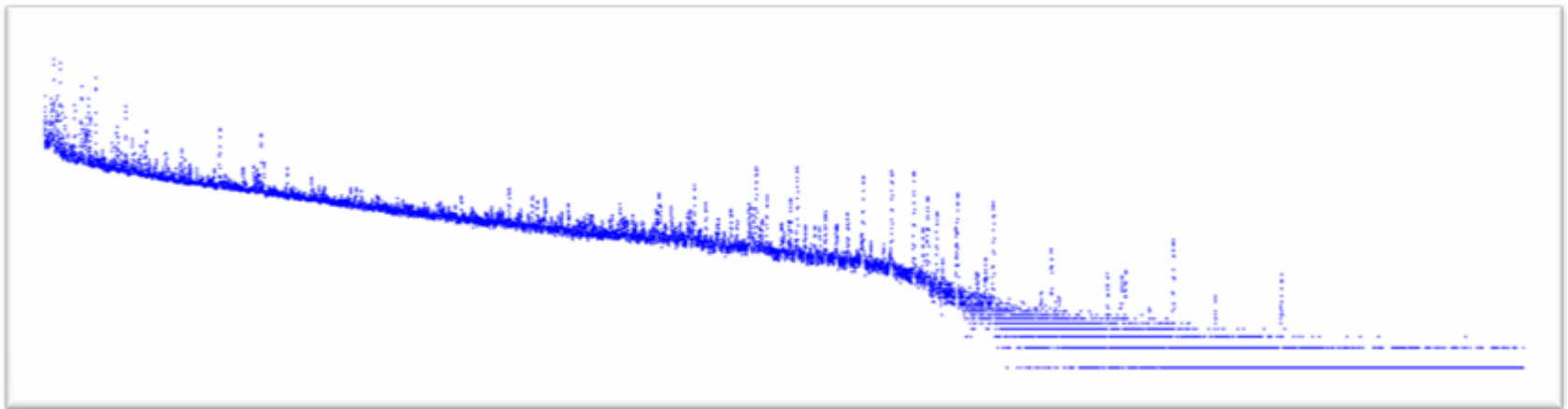


Prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA)

- A sugárzásos neutronbefogáson alapuló nukleáris elemanalitikai módszer
- A mintát (szilárd, folyadék, gáz) neutronokkal sugározzuk be.
- γ -fotonokat detektálunk:
 - az atommagok bocsátják ki neutronbefogást követően.
 - Energia: minőségi információ,
 - Intenzitás: mennyiségi információ.
- Az analitikai jel a minta fizikai, kémiai állapotától független, csak az atommag szerkezetétől függ.
- Elvileg minden elem egyszerre mérhető (panoráma analízis)
- Elemenként jelentősen különböző kimutatási határok
- Roncsolásmentes, minimális mintaelőkészítés
- Nagy áthatolóképességű: információ a minta belsejéből

PGAA spektrum

- ❑ Széles energiatartomány (50 keV-10 MeV)
- ❑ Nagyon sok csúcs (100-1000)
- ❑ Kis energiák felé emelkedő alapvonal
- ❑ Energia meghatározás < 0.01 keV pontossággal



A mennyiségi analízis alapegyenlete

$$A_E = m \cdot S \cdot t$$

$$S = \frac{N_A}{M} \cdot \theta \cdot \sigma_0 \cdot P_\gamma \cdot \Phi_0 \cdot \varepsilon(E_\gamma)$$

m : az adott elem tömege

S : érzékenység

A_E : csúcsterület

N_A : Avogadro-szám

M : mólsúly

θ : izotópgyakoriság

σ_0 : termikus neutronbefogási hatáskeresztmetszet

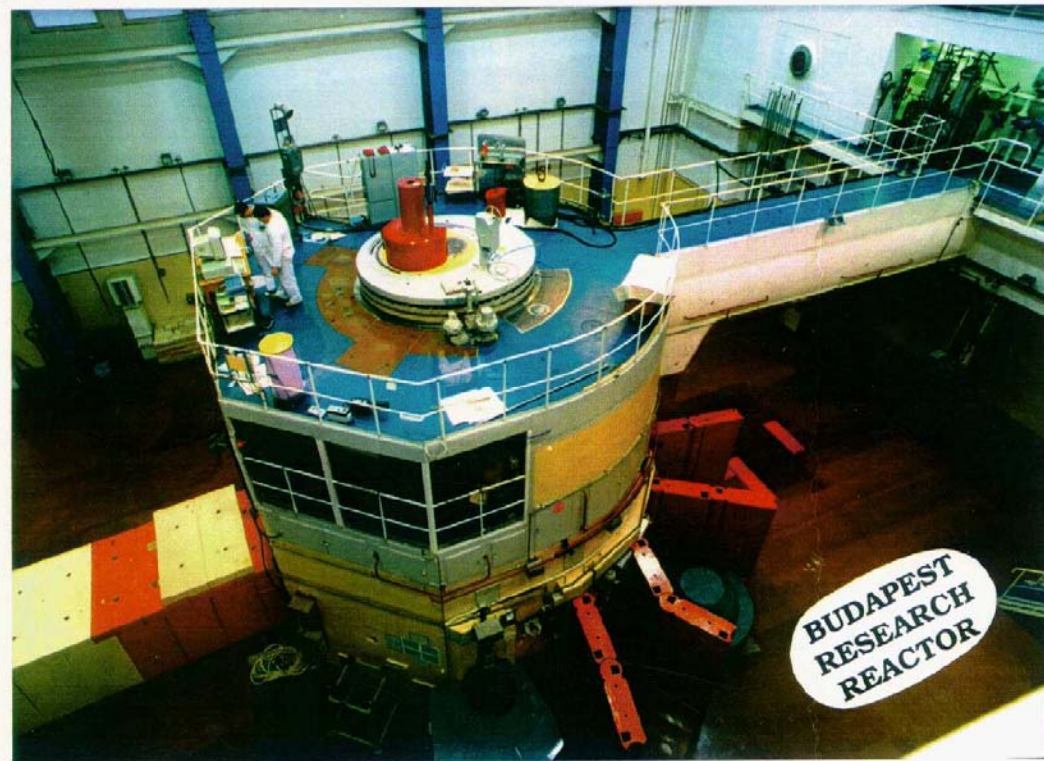
P_γ : gamma emissziós valószínűség

Φ_0 : neutronfluxus

$\varepsilon(E_\gamma)$: detektor hatásfok

A Budapesti Kutatóreaktor

- ❑ 10 MW
- ❑ Kétkörös hűtés
- ❑ VVR-SM (szovjet)
- ❑ Termikus ekivalens fluxus $10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



Budapesti Neutron Centrum (BNC)

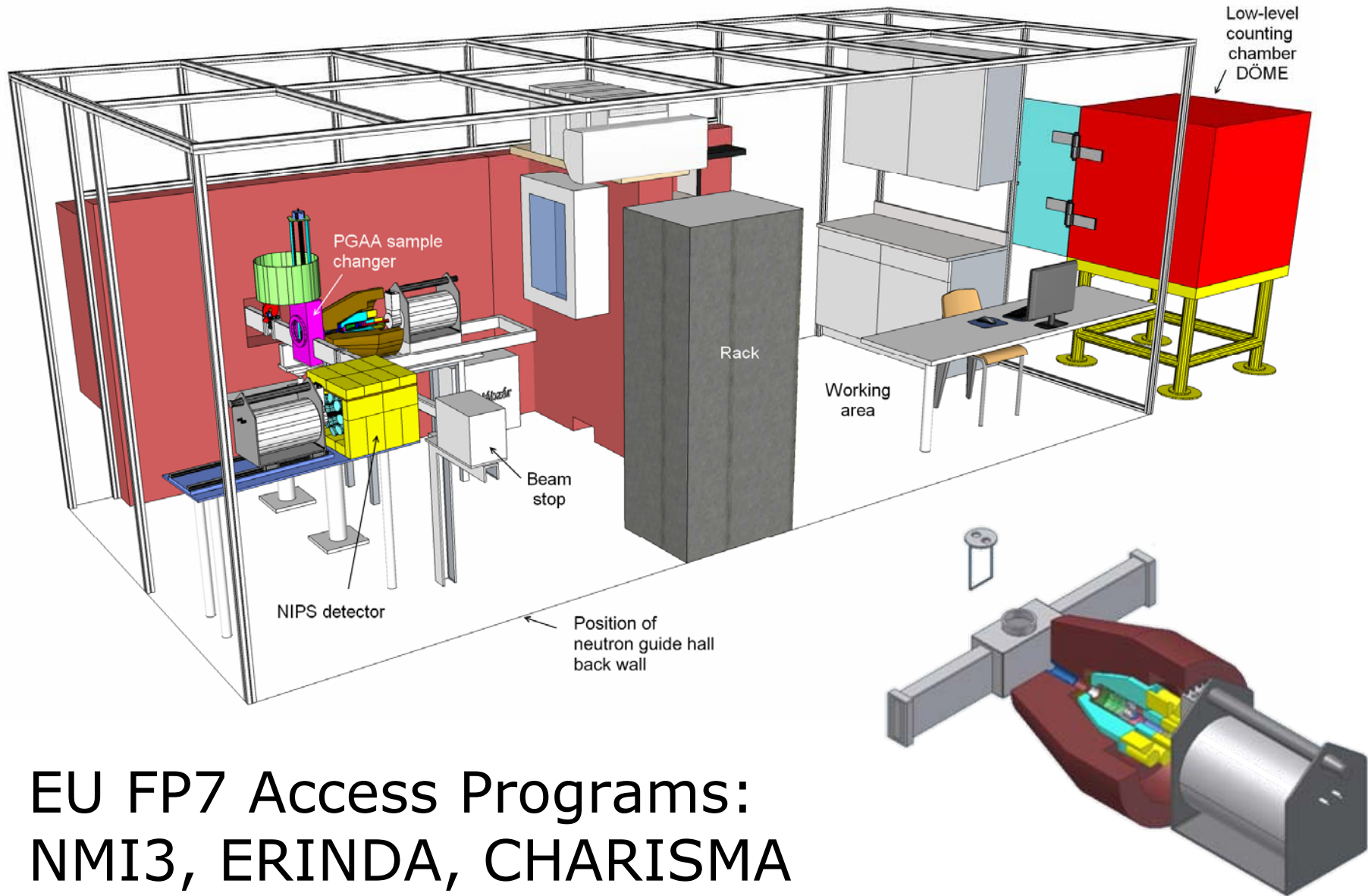
PGAA – NIPS mérőhely

10 MW Kutatóreaktor



BNC=AEKI+SzFKI+IKI+RMKI

PGAA – NIPS mérőhely

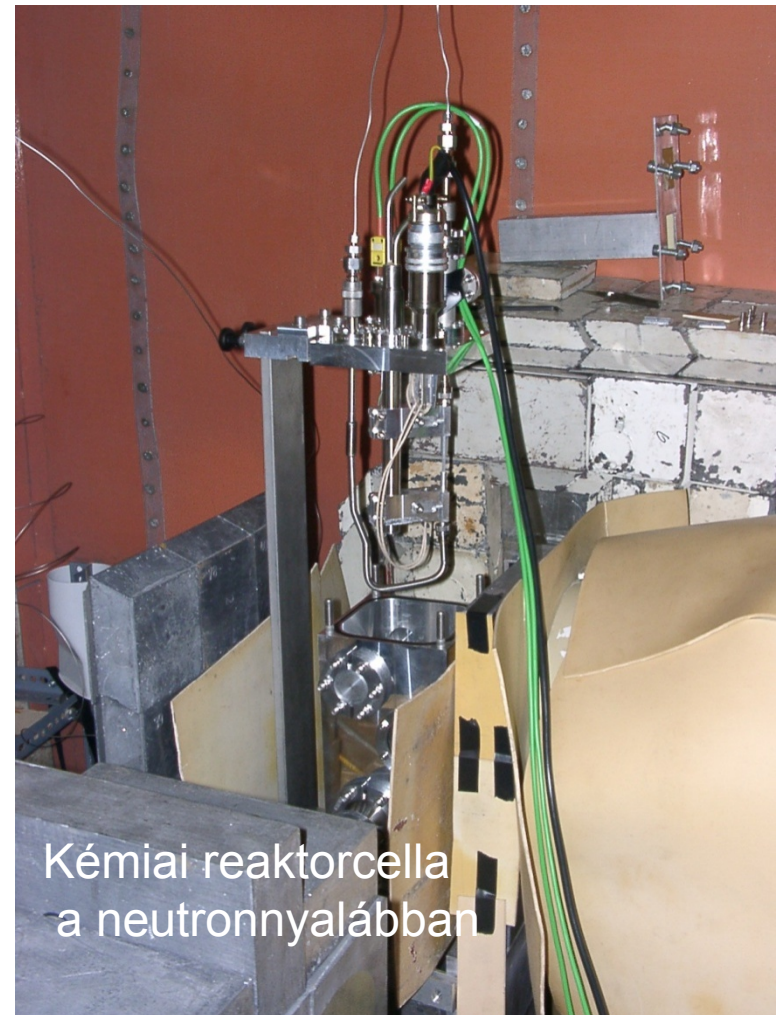
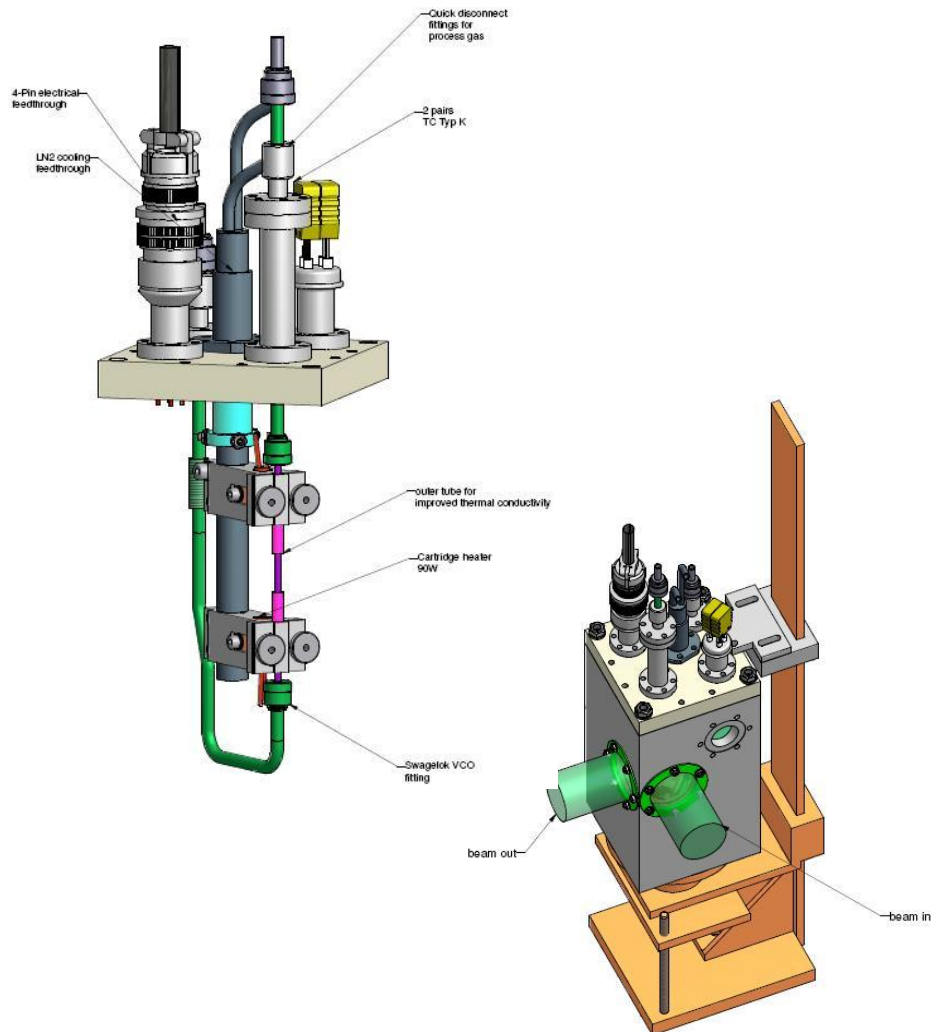


EU FP7 Access Programs:
NMI3, ERINDA, CHARISMA

Főbb alkalmazások (1996-)

- Kémia, anyagtudomány
 - Hidrogéntároló anyagok, grafének, fullerének, ötvözetek
 - In-situ katalízis
- Geológia
 - Főkomponensek és néhány nyomelem (pl. bór)
 - Vulkáni, metamorf és üledékes kőzetek, meteoritok, gyémánt zárványok, egykristályok, mélytengeri kürtők, ...
- Archeometria
 - Eredetmeghatározás
 - Kőeszközök, üvegek, kerámiák, bronzok, ...
 - 3D elemanalízis, kombináció neutrontomográfiával
- Ipar
 - Inaktív nyomjelzés, félvezető technológia-fejlesztés
- Nukleáris technológia
 - Nukleáris adatok a IV. generációs reaktorok tervezéséhez
- Safeguards

In-situ PGAA reakciócella



Szelektív hidrogénezés (Pd, PdGa), HCl katalitikus oxidációja klórrá (RuO₂)

Archeometriai alkalmazások



Római bronz sisak



Középkori ezüst érmek



Pattintott
kőszközők



Indián kerámiák



Barokk üvegek

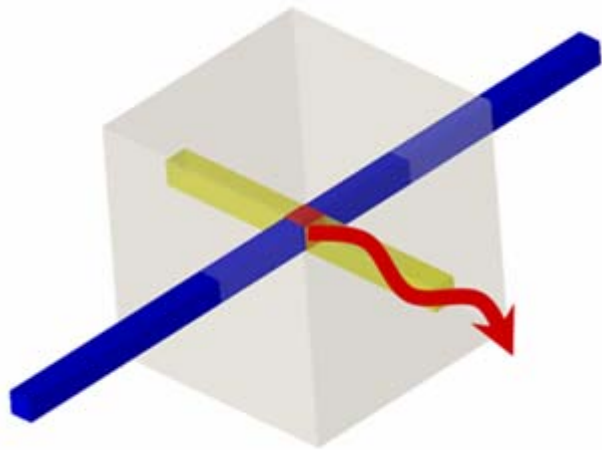


Csiszolt kőszközők



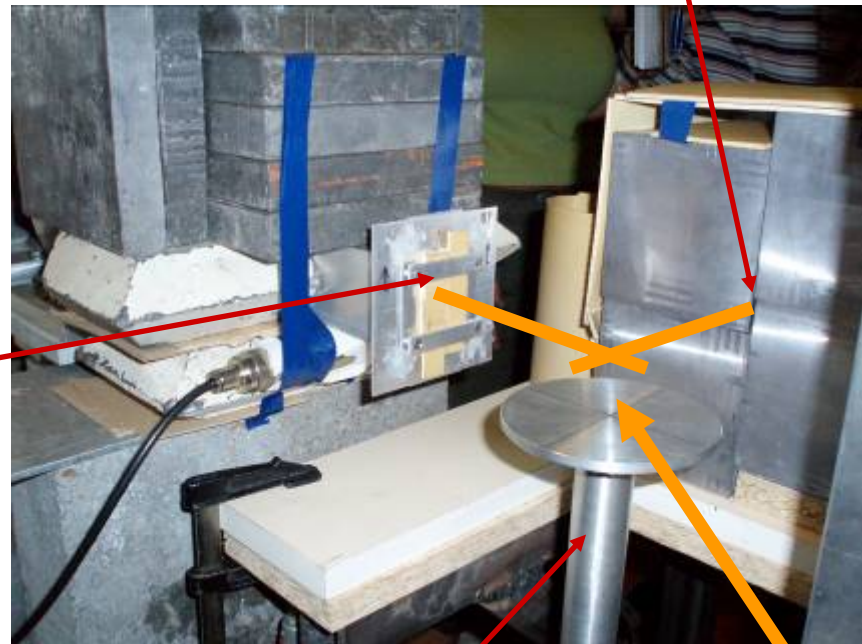
Az izotérfogat – kulcs a térbeli felbontáshoz

Pozícióérzékeny PGAA = PGAI



Neutron rés
(${}^6\text{Li}$ -polimer)

Gamma-kollimátor (Pb)

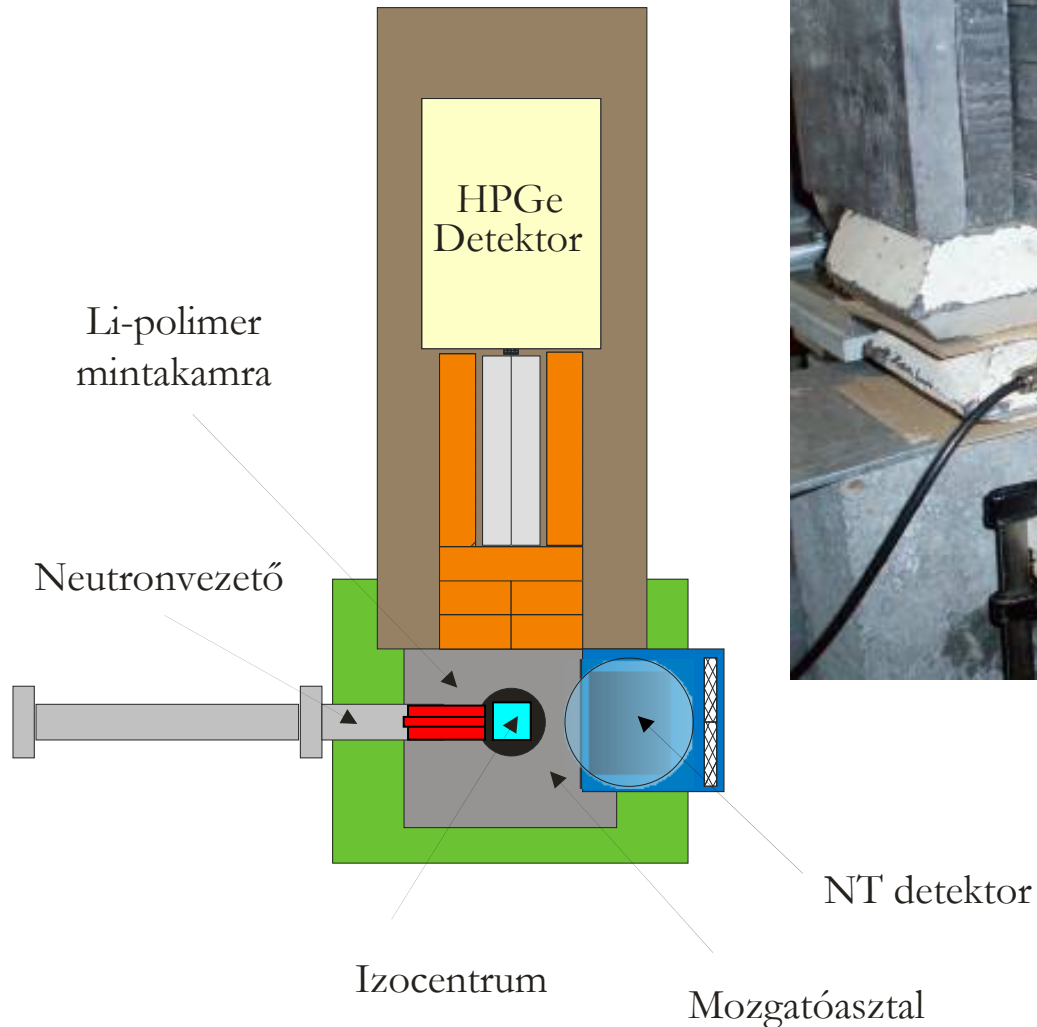


Mintatartó (Al)

Izotérfogat

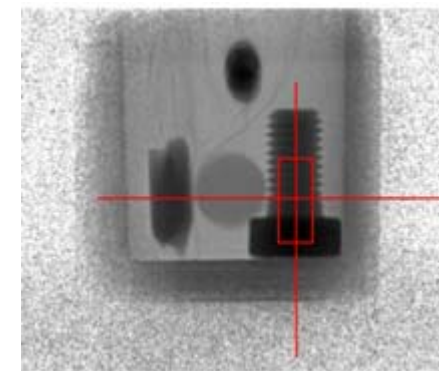
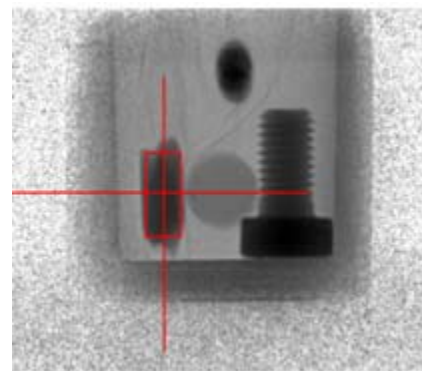
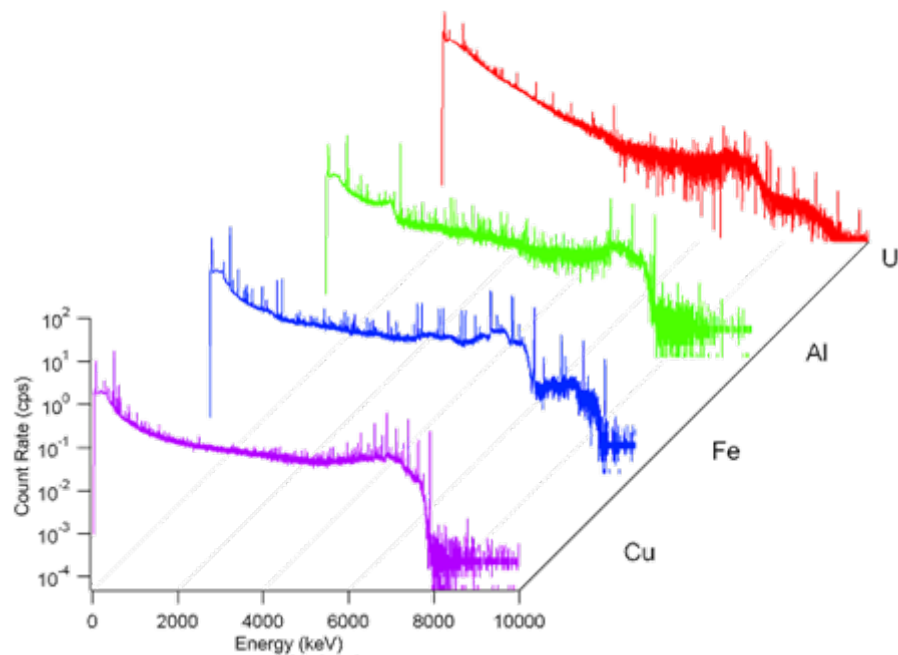
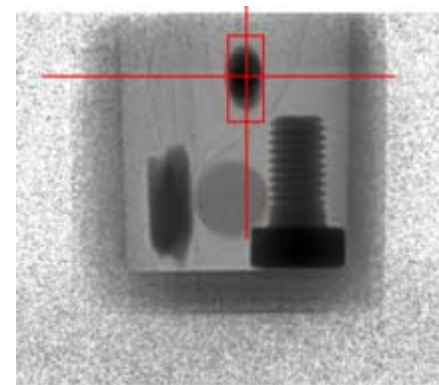
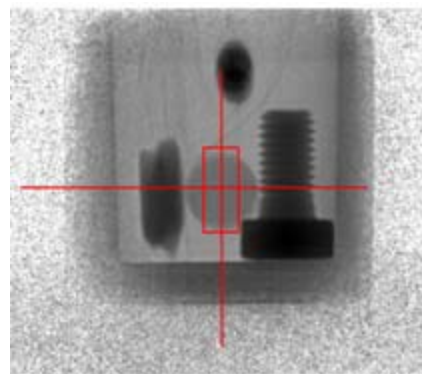
A PGAI-NT mérőrendszer

Gamma detektor + mozgatóasztal + neutron tomográf

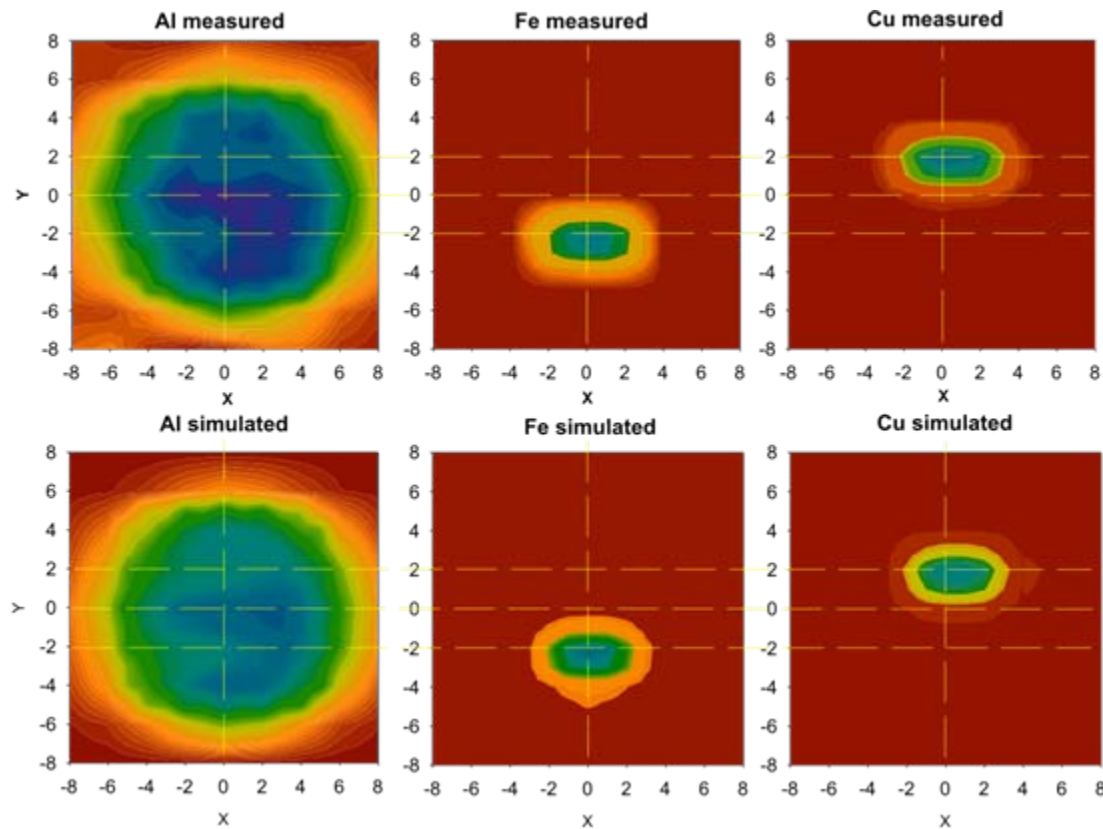


IZOCENTRUM

Lezárt tokban lévő objektumok analízise



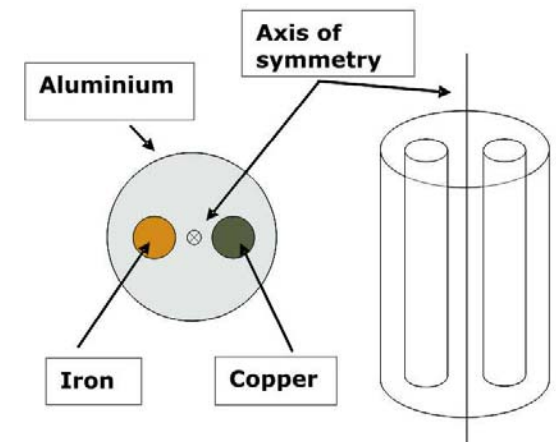
Elemtérképek PGAI módszerrel



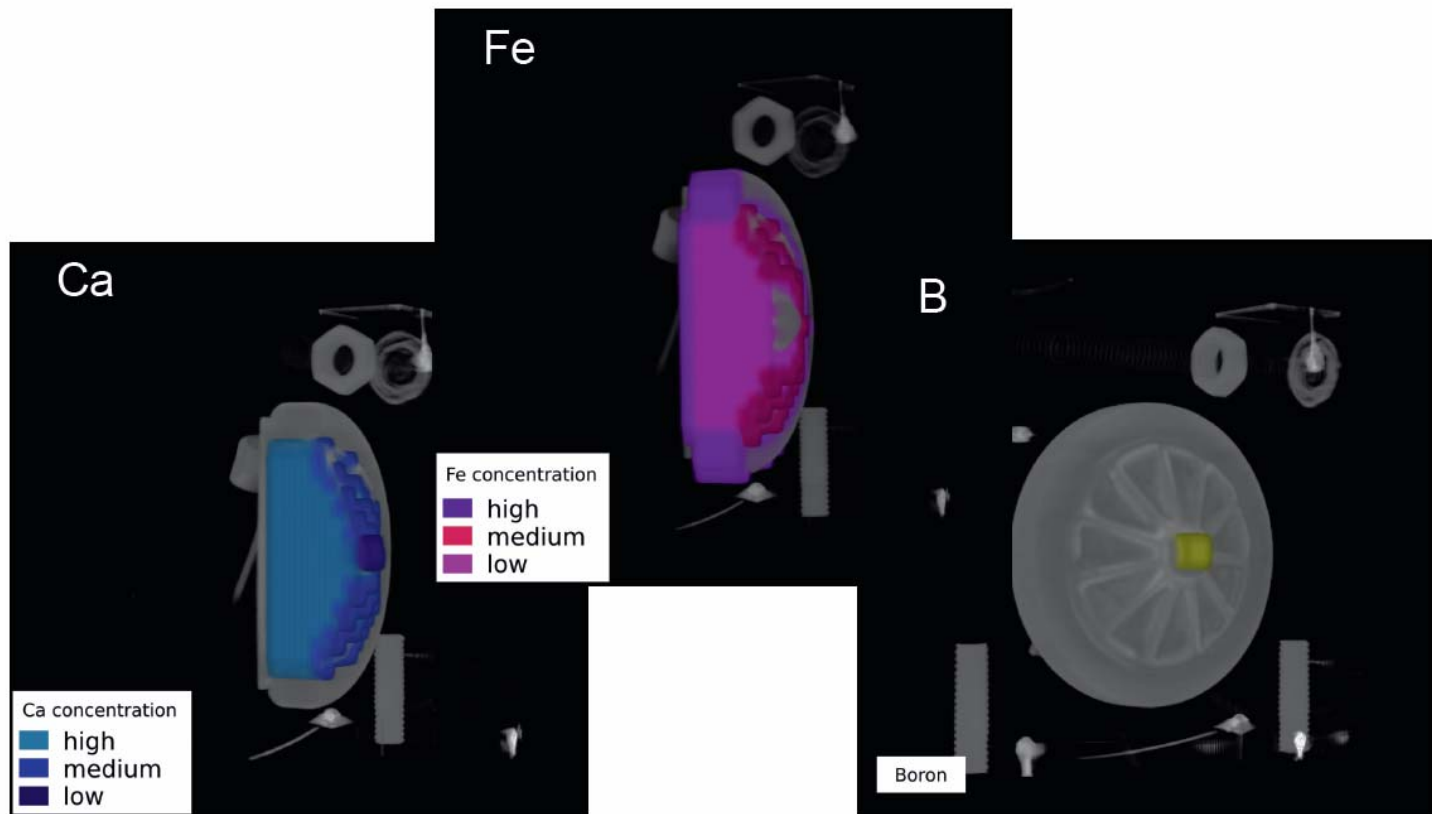
Mérés

Számítógépes
szimuláció

Izotérfogat: 2x20 mm



Analitika és imaging: PGAI & NT



3D elem térkép és tomográfiai kép egymásra vetítve
Felbontás: NT: 330 μm , PGAI: 2-3 mm

Köszönöm a figyelmet!