

**BUDAPEST NEUTRON CENTRE**, a consortium of the MTA Centre for Energy Research and the MTA Wigner Research Centre for Physics

# Mit látunk az anyagban neutronokkal?

**Belgya Tamás**

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet



[belgya.tamas@energia.mta.hu](mailto:belgya.tamas@energia.mta.hu)

Atomoktól a csillagokig (Atomcsill)  
ELTE, 2019 február 28

# Tartalom

- Bevezetés
- A Budapesti Kutatóreaktor
- Eredmények
- Összefoglalás

# Mindenütt anyag vesz körbe bennünket



# Hogyan ismerhetjük meg az anyagot?

Kölcsön kell hatni az anyaggal!

Az anyag valahogyan reagál a kölcsönhatásra, azt észlelnünk kell. Az észlelést detektálásnak is nevezzük a tudományban.

A kölcsönhatáshoz használhatunk másik anyagot pl. kavicsot dobálhatunk a vízbe:  
Csobban: detektor a fülünk  
Hullám keletkezik: detektor a szemük

Használhatunk sugárzást is pl. grillsütőben  
hús sütünk  
Kellemes illatot vagy égett szagot érzünk:  
detektor az orrunk

Hozzáérünk: detektor a tapintás

Megkóstoljuk: detektor a nyelvük



# Tudomány történeti érdekesség

## Miből áll az anyag?

Nem a fény segítségével állapították meg az atom szerkezetét!

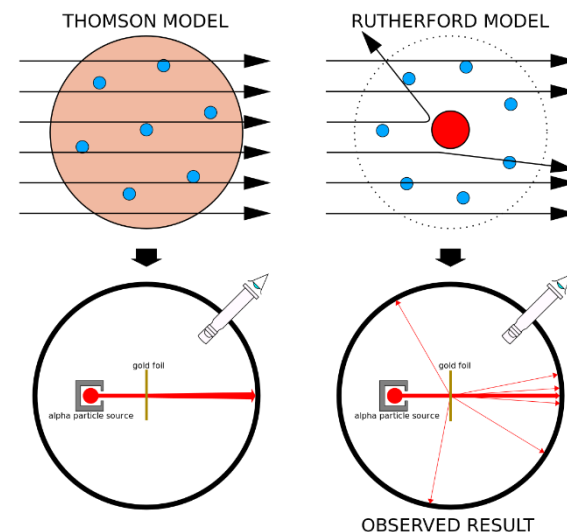
Amedeo Avogadro 1811-ben azt állította, hogy bármely két gázban, melyek térfogata, nyomása és hőmérséklete is megegyezik, azonos számú molekula található meg.

Egészen 1897-ig az atomokat gondolták a legkisebb létező részecskéknek, amikor is J.J. Thomson katódsugarakkal végzett kísérletei során felfedezte az elektront és negatív töltését.

Thomson mazsolás puding elméletét egy korábbi diákja, Ernest Rutherford cáfolta meg 1909-ben, aki megállapította, hogy a tömeg nagy része és a pozitív töltés egésze az atom kellős közepén koncentrálódik, egy parányi kis pontban.

1932-ben Chadwick több elemet, kitett a titokzatos "berillium-alfa sugárzásnak", majd a visszapattanó töltött részecskék energiáját megmérve arra következtetett, hogy a sugárzás elektromosan semleges töltésű, tömeggel is kell rendelkeznie, méghozzá a protonéhoz hasonló tömeggel. → Bohr féle atommodell

1924-ben Louis-Victor de Broglie: minden anyagnak van hullámtermészete (legnagyobb kimutatott a C<sub>60</sub>)

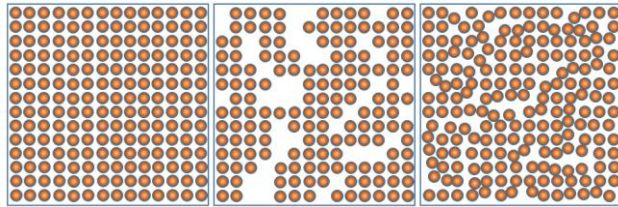


$$\text{Anyag: } \lambda = h/p$$

$$\text{Fény: } \lambda = h/p ; p = hf/c$$

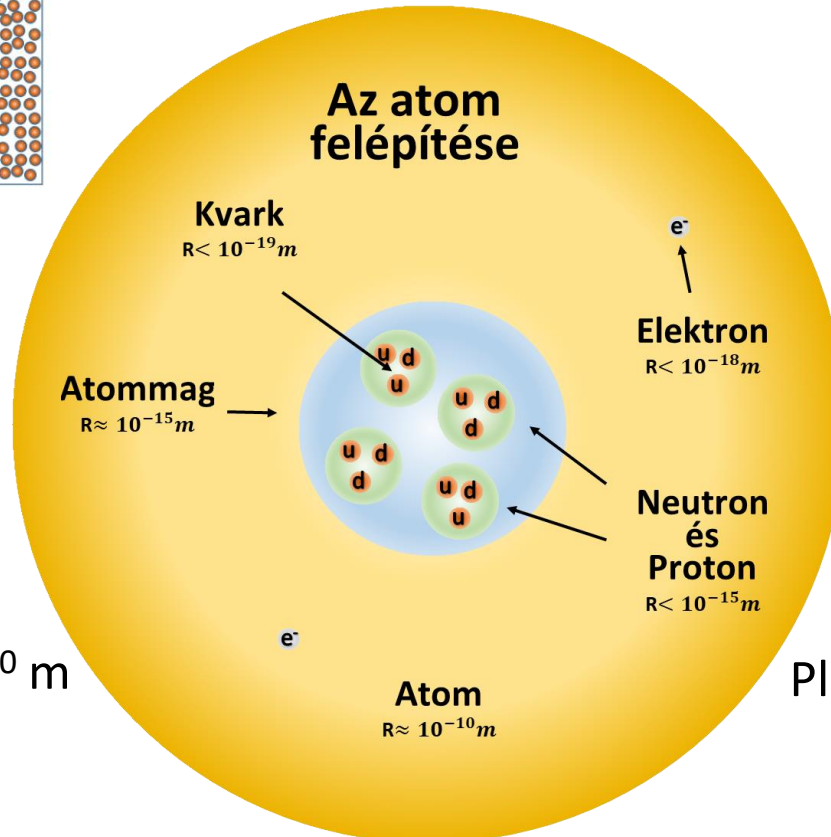
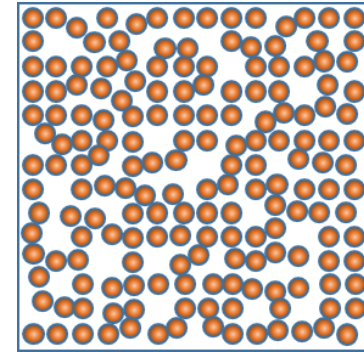
# Az anyagi világ építőkövei és az anyag formái

Kristályok, atomrács táv.  $\approx 10^{-10}$  m

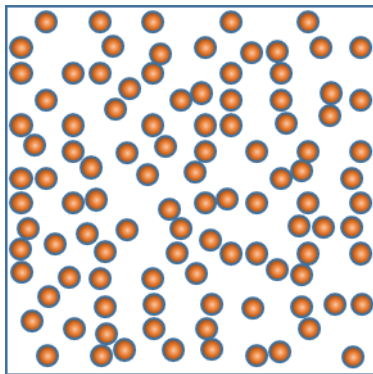


Egykristály Polikristály Amorf

Folyadékok, atom táv.  $\approx 3 \cdot 10^{-10}$  m

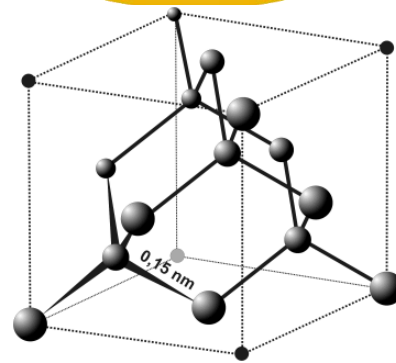
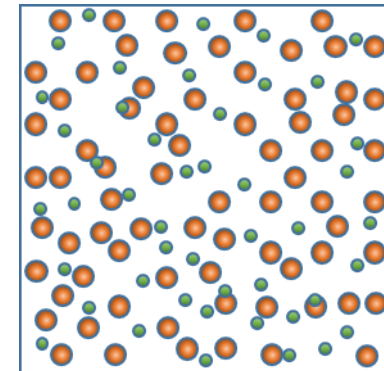


Gázok, atom táv.  $\approx 334 \cdot 10^{-10}$  m



Normál gáz  $22.4 \cdot 10^{-3} m^3$

Plazma, atom táv.  $\gg 334 \cdot 10^{-10}$  m



# Hogyan ismerhetjük meg az anyagot?



## Érzékszerveinkkel (detektor)

- Látás (szín, forma, kicsi, nagy, fényes, matt, tömör, lyukacsos,...)
- Szaglás (illat)
- Ízelelés (édes, keserű, savanyú, fémese, sós,...)
- Tapintás (puha, kemény, lágy, rugalmas, sima, érdes,...)
- Hallás (rezgés, csengés, ...)
- Hőérzet (hideg, meleg, forró, égető,...)
- Emelés (nehéz, könnyű)



Mi van akkor, ha kicsi?

Másik alkalommal



És mi van akkor, ha bele szeretnék nézni?

Szétszedjük,  
roncsoljuk



Röntgenezzük, nem  
roncsoljuk

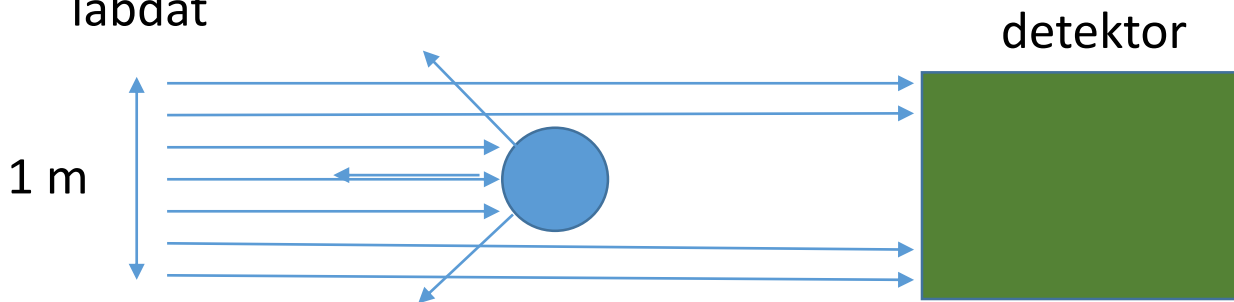


# Mivel és hogyan lehet belelátni az anyagba roncsolásmentesen?

„Dobáljunk” neutronokat az anyagnak és nézzük meg mi történik

A részecske lehet: foton, elektron, neutron, proton...

Klasszikus dobáskísérlet labdával, legyen egy gömb amire dobálunk másodpercenként 49 labdát



A detektor 40 labdát érzékel  
kitakart terület:  $\sigma = \frac{3 \times 3}{7 \times 7} = 0.18 \text{ m}^2$   
Ahol  $\sigma$  a hatáskeresztmetszet

Találati ráta:  $R = \sigma \cdot \Phi = 9 \frac{1}{s}$ ;  $\Phi = 49 \frac{1}{m^2 \cdot s}$       Kvantumos kép:  $\sigma = \pi(\lambda_n + R_{mag})^2 \cdot P$

Gyengítési tényező:  $\mu_m = \sigma / \rho \frac{m^2}{kg}$  ahol  $\rho$  sűrűség      Tömegvastagság:  $d_m = d \rho \frac{kg}{m^2}$

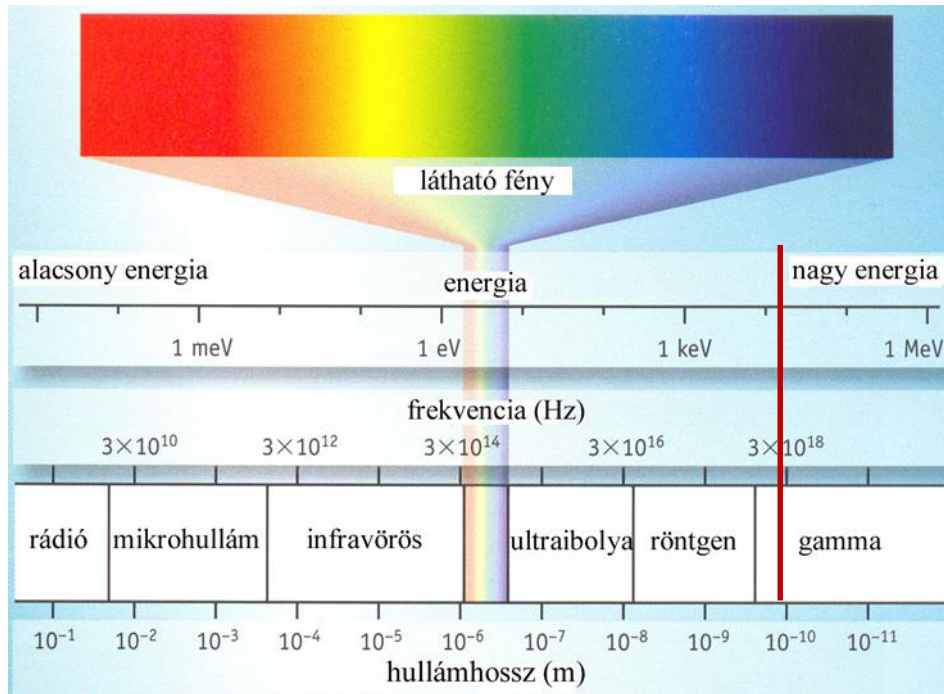
Beer-Lambert törvény:

$\frac{\Phi_{\text{átmenő}}}{\Phi_{\text{bejövő}}} = e^{-\mu_m d_m}$       A  $\sigma$  hatáskeresztmetszet mértékegysége 1 barn =  $10^{-28} \text{ m}^2$



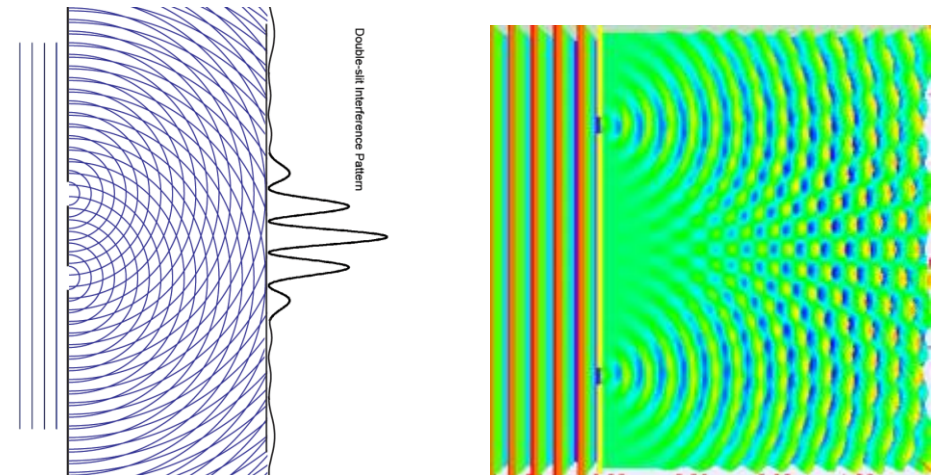
# A fény

## A fény elektromágneses hullám



## A fény hullámtermészete

Huygens–Fresnel elv  
Interferencia



Fizikai adatai	
Tömeg (nyugalmi)	0
Spin	1
Bozon	

$$c = \lambda f = \frac{\lambda}{2\pi} \omega \text{ [m/s]}$$

$$c=299\,792\,458 \text{ [m/s]}$$

$$E = \hbar \omega = pc \text{ [eV]}$$

$$\hbar = 6,582119514 \times 10^{-14} \text{ [eV} \cdot \text{s]}$$

## A foton mint hullámcsomag

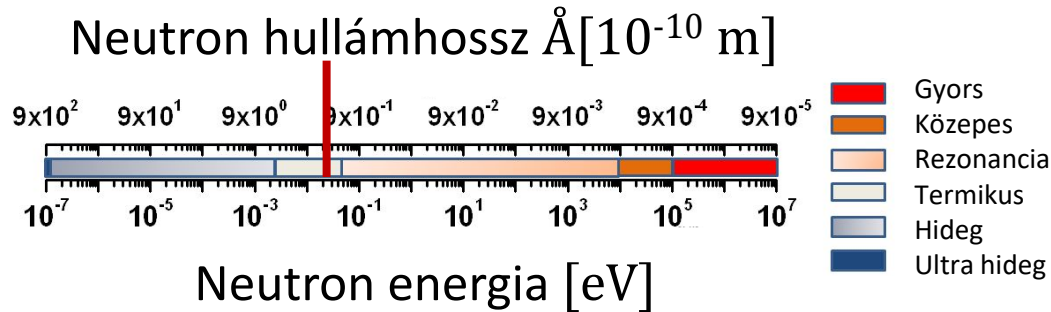


# A neutron és forrása

A neutron semleges részecske

Neutron források (BKR és ISIS)

Ra-Be, Pu-Be,  $^{252}\text{Cf}$ ...

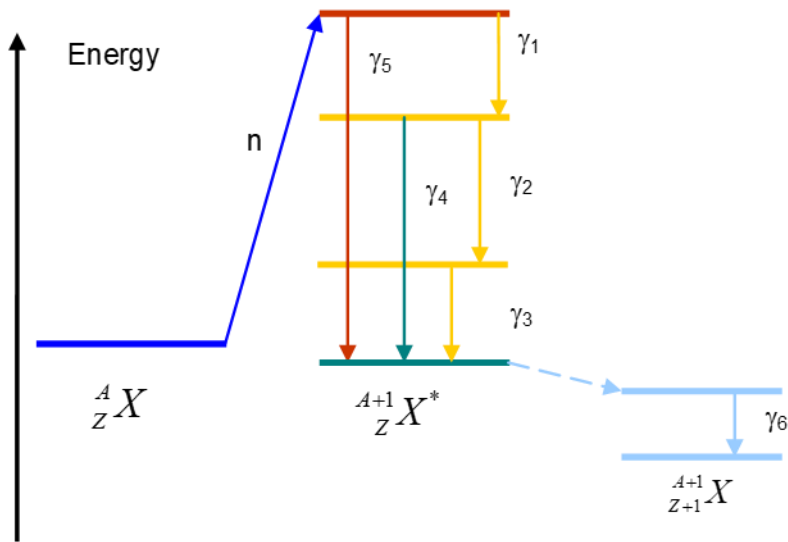
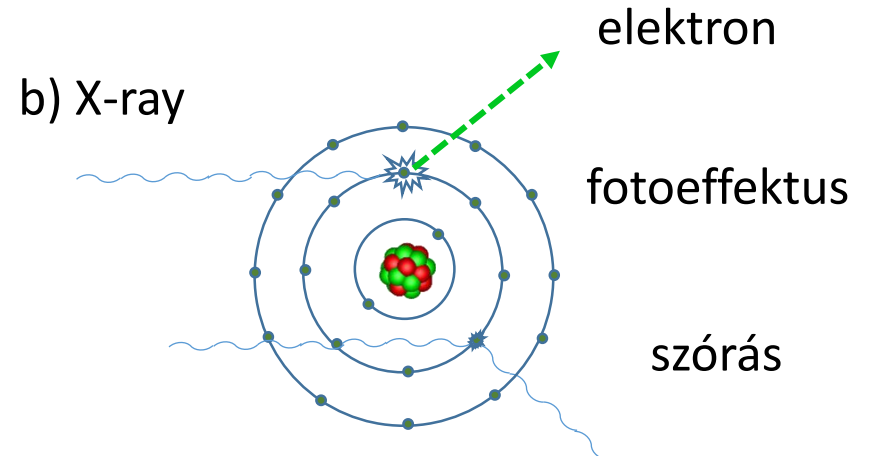
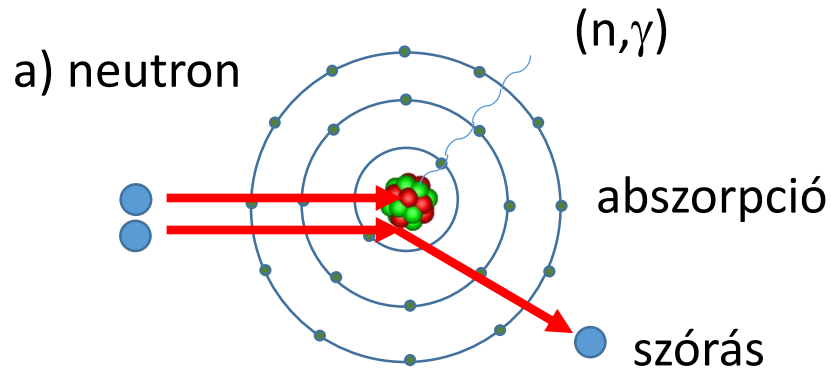


Fizikai adatai	
Tömeg	$1,674\ 927\ 471(21) \cdot 10^{-27}$ kg
	$939,565\ 4133(58)$ MeV/ $c^2$
Élettartam	886 s
Töltés	0 e nincs
Mágneses momentum	$-1,913\ 042\ 73(45)$ $\mu\text{N}[6]$
Spin	$\frac{1}{2}$
Barionszám	1
Paritás	1

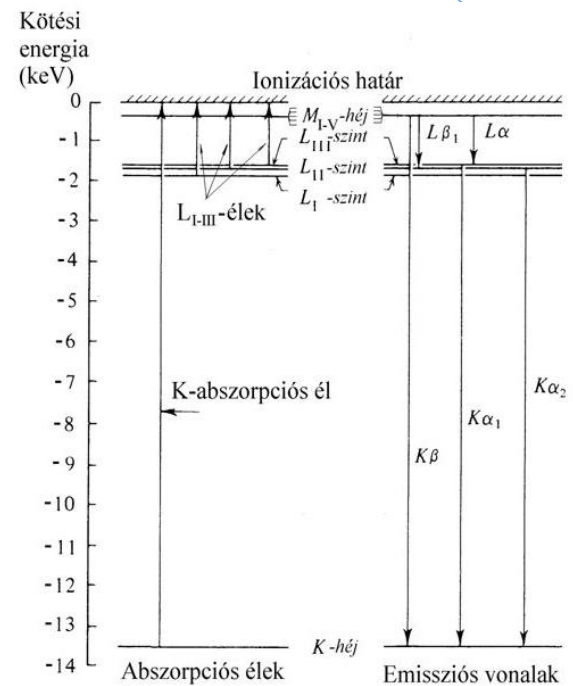
$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mc^2 \frac{v^2}{c^2} = kT$$

$$E = 25.26 \text{ meV} \rightarrow T = 293.16 \text{ K} \rightarrow 2200 \text{ m/s}$$

# A neutron és a foton kölcsönhatása az anyaggal



Nem érzékeny a kémiai környezetre



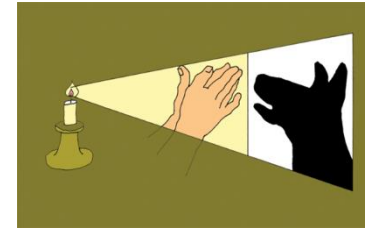
Érzékeny a kémiai környezetre

A kölcsönhatásra jellemző mérőszám a hatáskeresztmetszet  $1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$

# Megismerés módszerei

## Átvilágítás, de mivel?

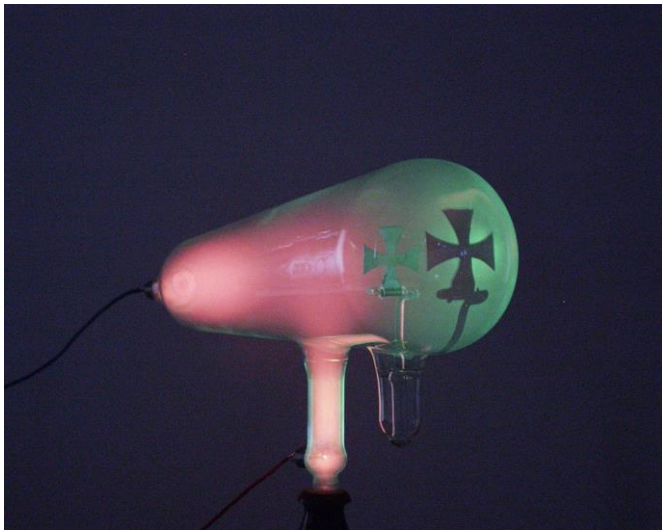
Fénnyel → ez a leggyakoribb, de csak a külsejét vagy árnyékát látjuk, kivéve az átlátszó anyagokat



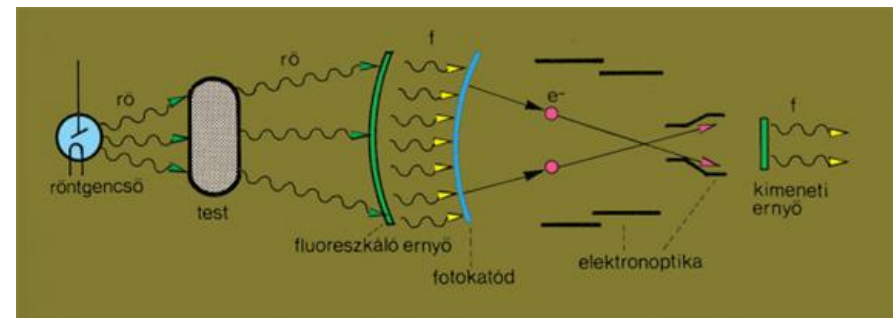
1985-ben Wilhelm Conrad Röntgen Lénárd Fülöp féle katódsugárcsővel kísérletezett és felfedezte, hogy a véletlenül otthagytott foto papír megfeketedik.

1901-ben ő kapta meg az első Nobel díjat

1905-ben Lénárd is megkapta a fizikai Nobel díjat (feltételezte, hogy az atomnak csak egy kis részén nem hatol át a Röntgen sugárzás → Rutherford féle atommodell)



Az első röntgenfelvétel:  
Röntgen feleségének keze



Analóg képerősítő orvosi képalkotás elve  
(Radiográfia)

\*Készítette: Zátanyi Sándor, (ifj.) - A feltöltő saját munkája, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10345950>

# Megismerés módszerei

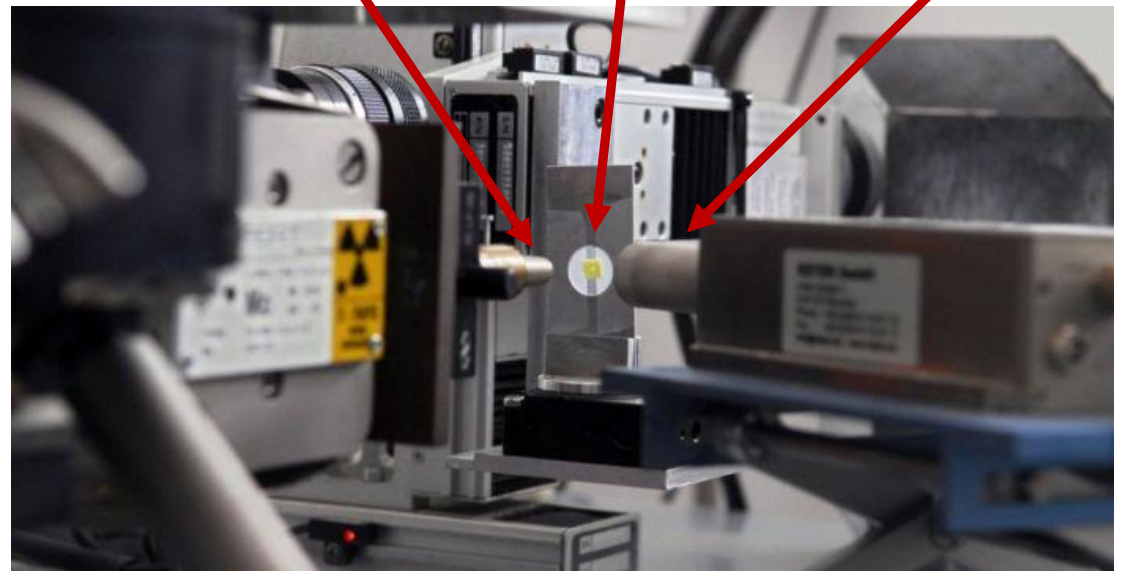
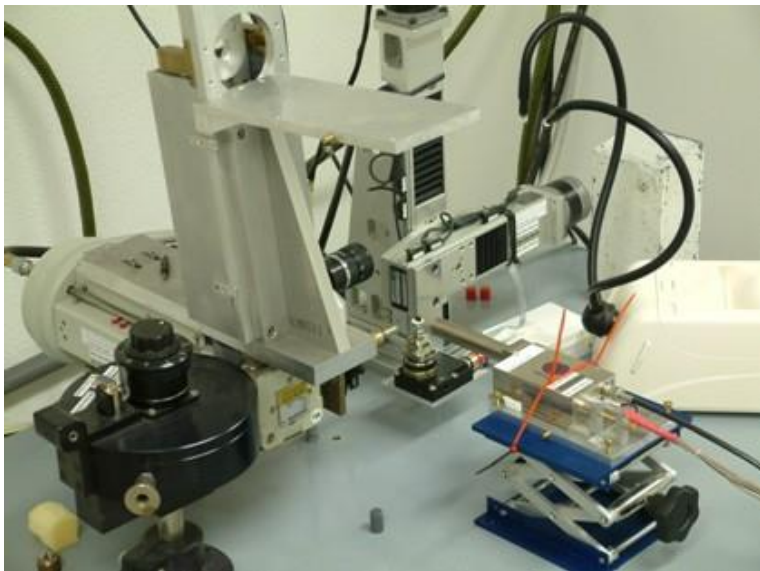
## Elem analízis Röntgen Fluoreszcencia (XRF)

Nem csak képet kaphatunk, hanem a tárgy elemi összetételét is meghatározhatjuk.



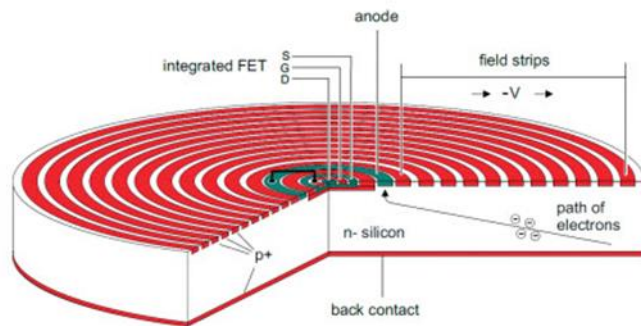
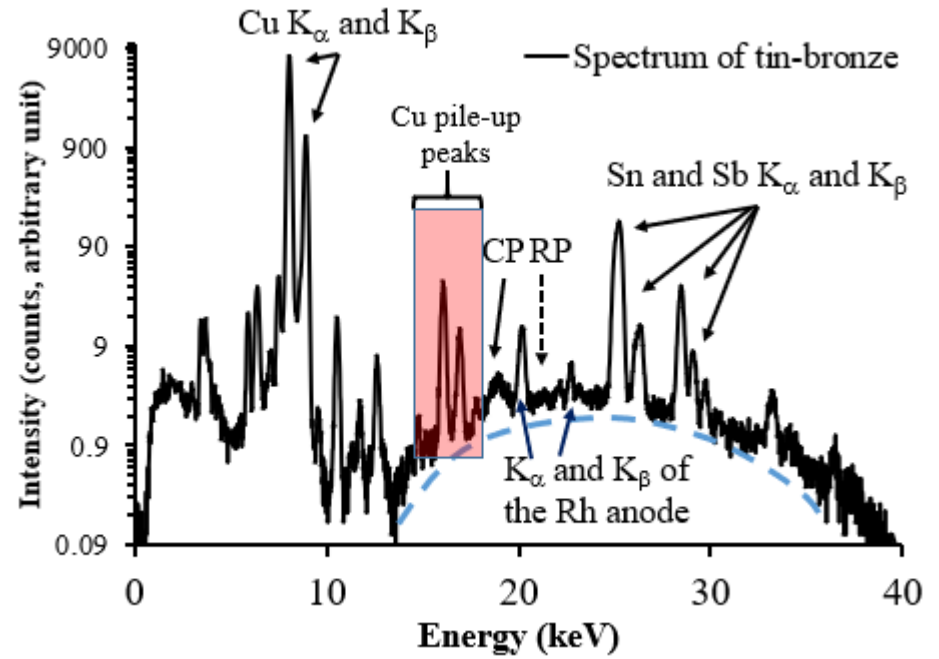
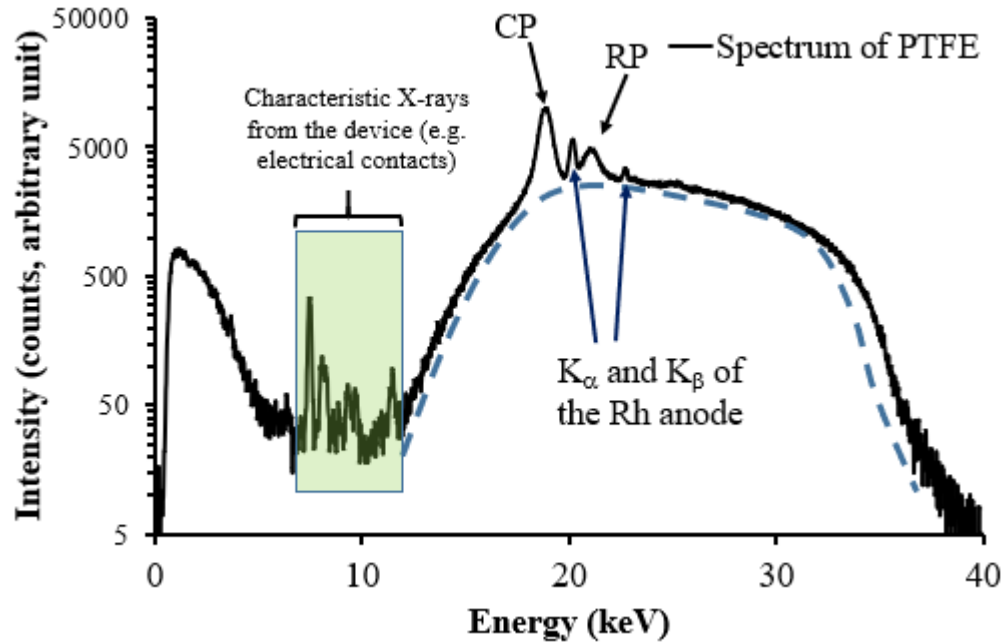
Röntgen-sugarakkal vagy –fotonokkal bombázva az anyagot ún. karakterisztikus ún. K, L vagy M röntgen-sugarat kapunk. Az energiája 30-100 keV. Ez elegendő, hogy kilökjön egy elektront, azaz egy lyukat keltsen az elektronhéjban. A karakterisztikus sugárzás a betöltődés során keletkezik. **Az energiája jellemző az elemre, az intenzitása az elem mennyiségére.**

Röntgen-forrás    minta    detektor



# Megismerés módszerei

## Elem analízis XRF



Szilicium drift detektor (SSD)



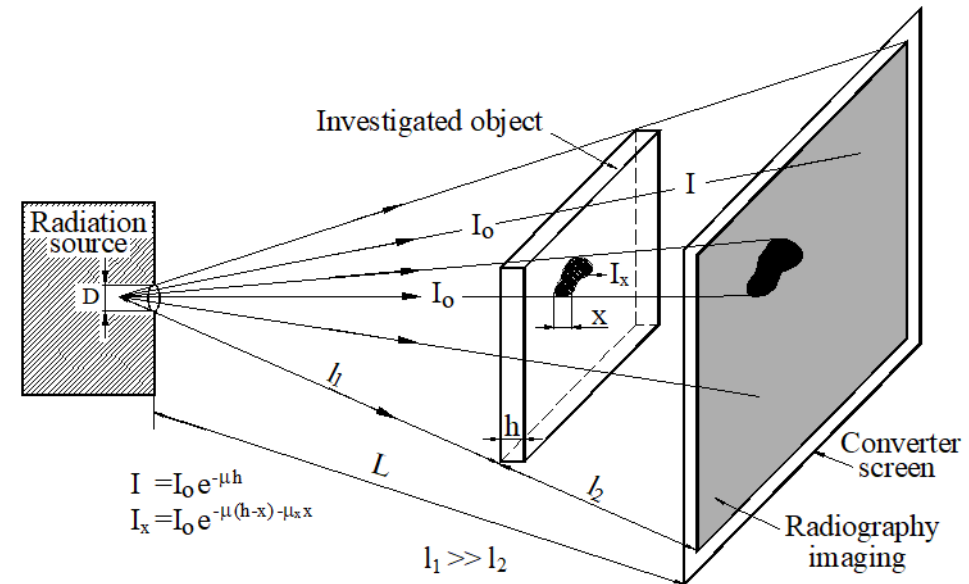
Innov-X Delta premium kézi XRF

# Hogyan érzékelhetjük a neutronokat és a röntgensugárzást?

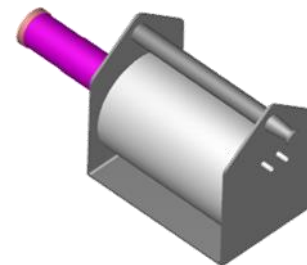
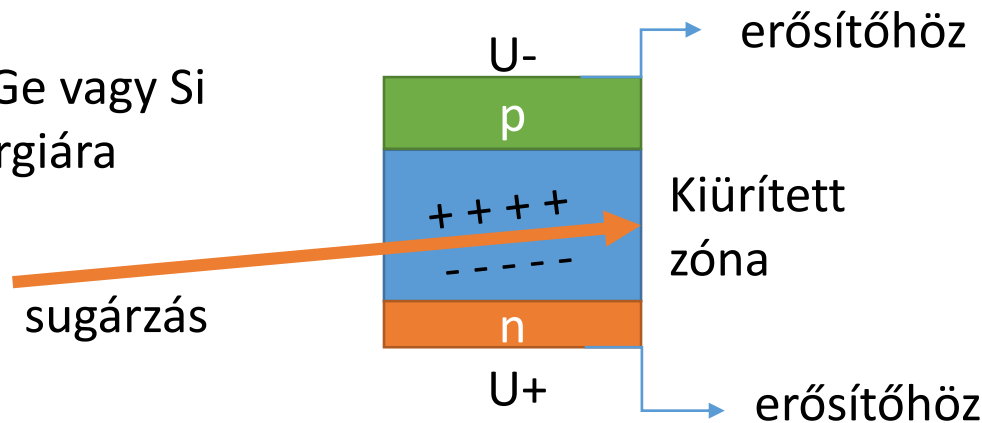
## Anyag és sugárzás kölcsönhatásával

- A röntgensugárzás elektron-lyuk párt kelt az anyagban
- A neutront másodlagos töltött részecske reakcióval észlelhetjük elektron-lyuk pársegítségével

Szcintillációs ernyő fényt bocsát ki sugárzás hatására, amely fényérzékelő mikrocsippel érzékelünk: helyre érzékeny



Nagy tisztaságú Ge vagy Si detektor: az energiára érzékeny



**A Budapesti Neutron Centrum  
és a  
Budapesti Kutatóreaktor**





# Az EK üzemelteti a Budapesti Kutatóreaktort neutron forrás



BKR 1959 óta működik

Első teljesítménynövelés: 1967

Teljes rekonstrukció és 2.  
teljesítménynövelés: 1986-1993.

Teljesítmény: 10 MW

Termikus neutron fluxus:

$2,5 \cdot 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s

Gyors neutron fluxus:

$10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s

Fűtőelem: VVR-SM(-M2)

Fűtőelem típus váltás

HEU → LEU

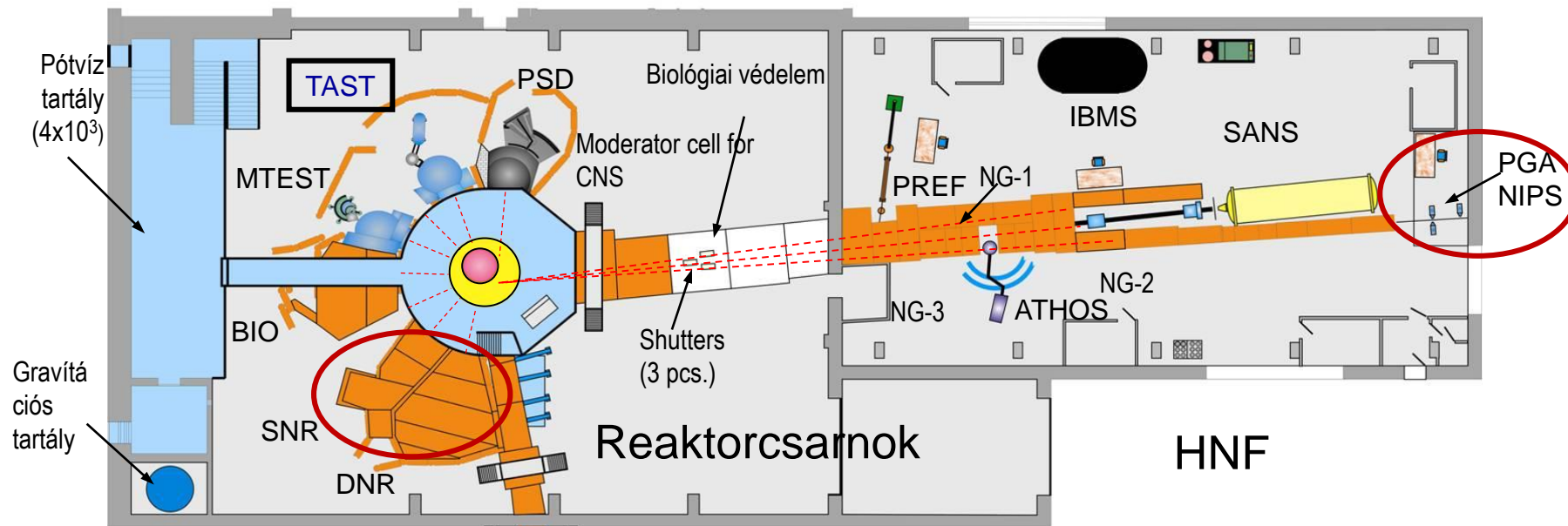
# A reaktor felhasználása



- *Függőleges csatornák, aktuálisan 46 db*
  - Izotópgyártás (41 csatorna, 188 tok, 27646 óra 2009-ben,  $^{128}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ );
  - Pneumatikus csőposta (1 db, 30 minta, 60 perc 2009-ben);
  - Anyag vizsgálatokra szolgáló hurok (1 db, folyamatos üzem);
  - Gyorsneutronos besugárzó csatornák (2 db, bórkarbid gyűrűvel szűrt);
- *Vízszintes csatornák, összesen 10 db, használatban 8 db!*
  - 6 berendezés a reaktorcsarnokban;
  - 7 berendezés a HNF mérőcsarnokban (Hidegneutron forrás 2001-ben üzembe helyezve);
  - 1 berendezés a TOF csarnokban (2007-ben üzembe helyezve);



# Mérőcsarnok elrendezés



## Reaktorcsarnok berendezései:

TOF: Repülési-ídő difraktométer

BIO: biológiai besugárzó csatorna

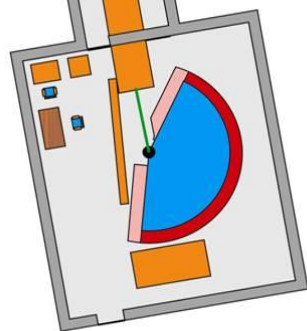
**RAD: Dinamikus neutron radiográfia**

MTEST: Difraktométer belsőfeszültség mérésére

TAST: Termikus három-tengelyű spektrométer

PSD: Pordifratométer

TOF  
(neutronvezető)



TOF-mérőcsarnok

## HNF reaktorcsarnok berendezései:

PREF: Polarizált neutron reflektométer

ATHOS: Háromtengelyű reflektométer

SANS: Kíszögű szórás spektrométer

IMBS: In-beam Mössbauer spektrométer

**PGAA: Prompt gamma aktivációs analitika**

**NIPS: Neutron indukált prompt gamma spektrométer**

GINA: Polarizált neutron reflektométer

Tervezés ill. kivitelezés alatt lévő berendezés:

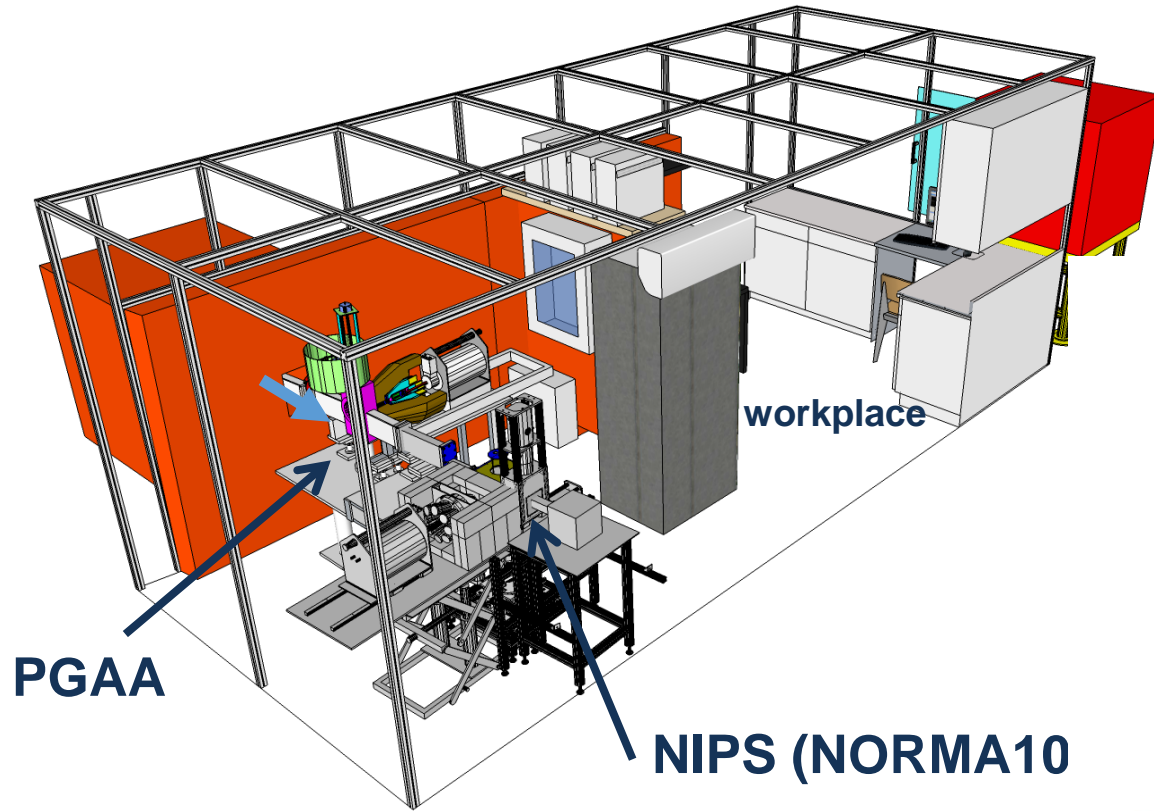
F-SANS: Fókuszált kíszögű szórás spektrométer

# **Neutronos elemanalitika**

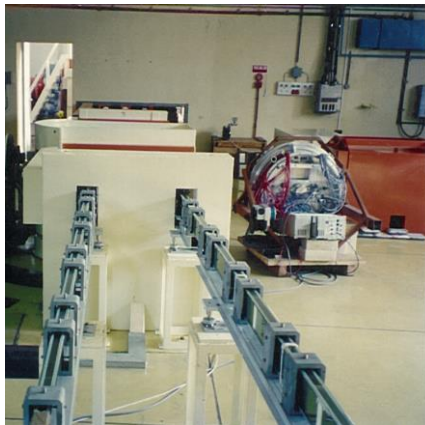
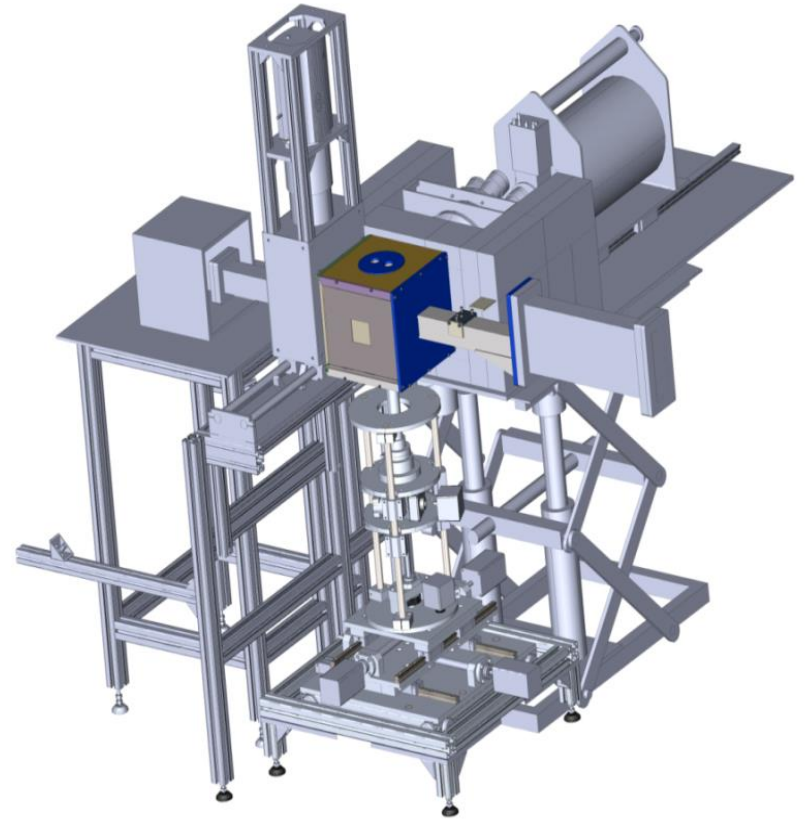
**MTA EK**

**Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium**

# A PGAA-MIPS berendezés (NAP VENEUS08 és Baross Gábor támogatás NAL)

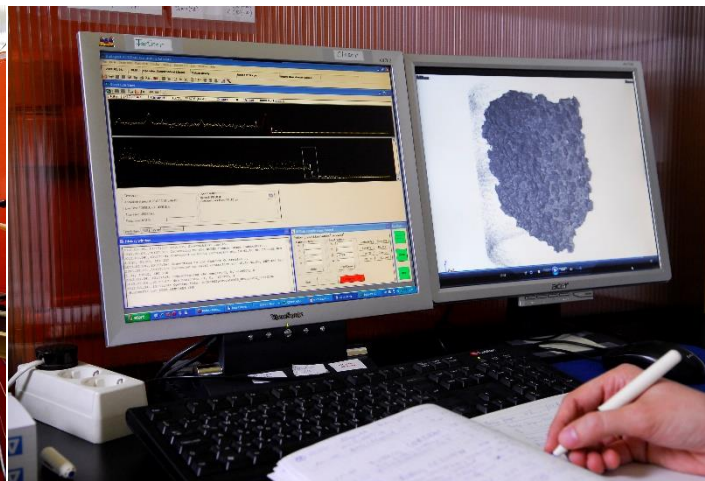
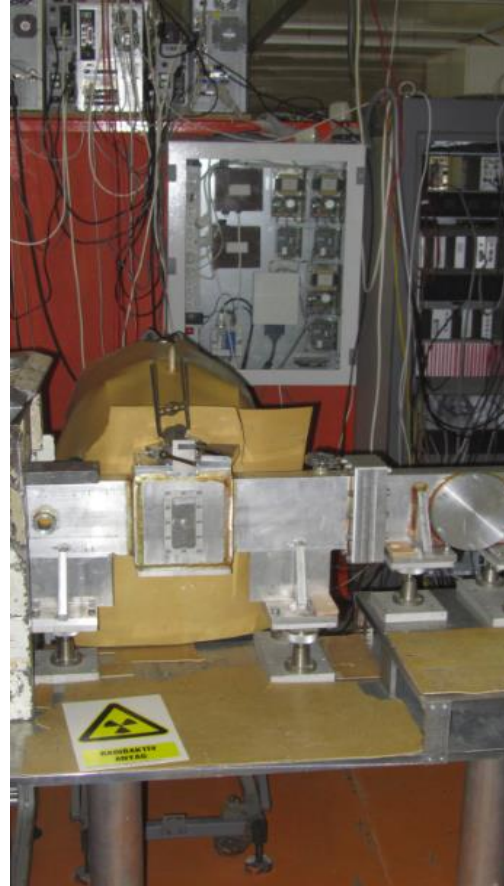


PGAI(maging)/NT



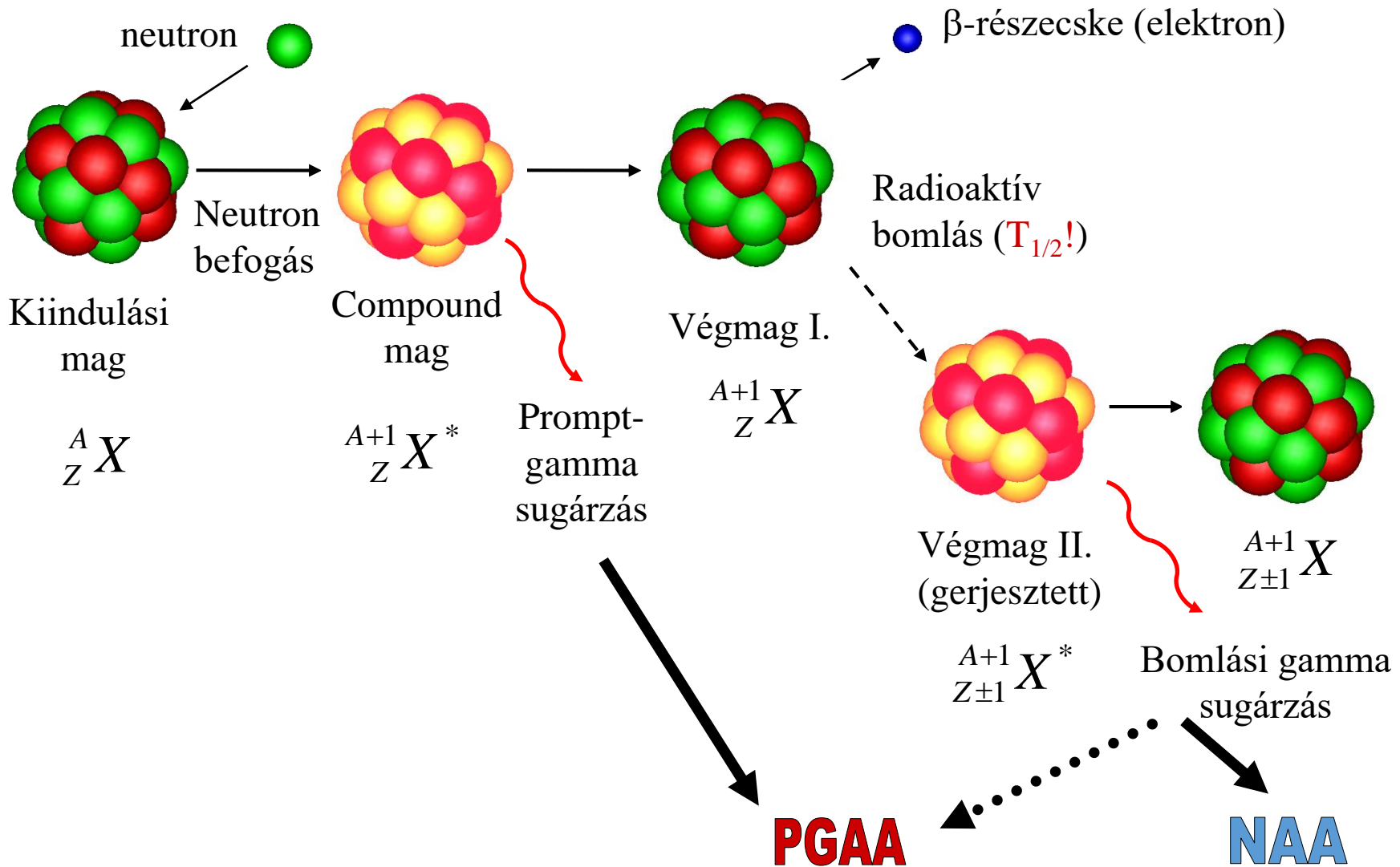
Neutronvezető szupertükrök

# Műszerfotók





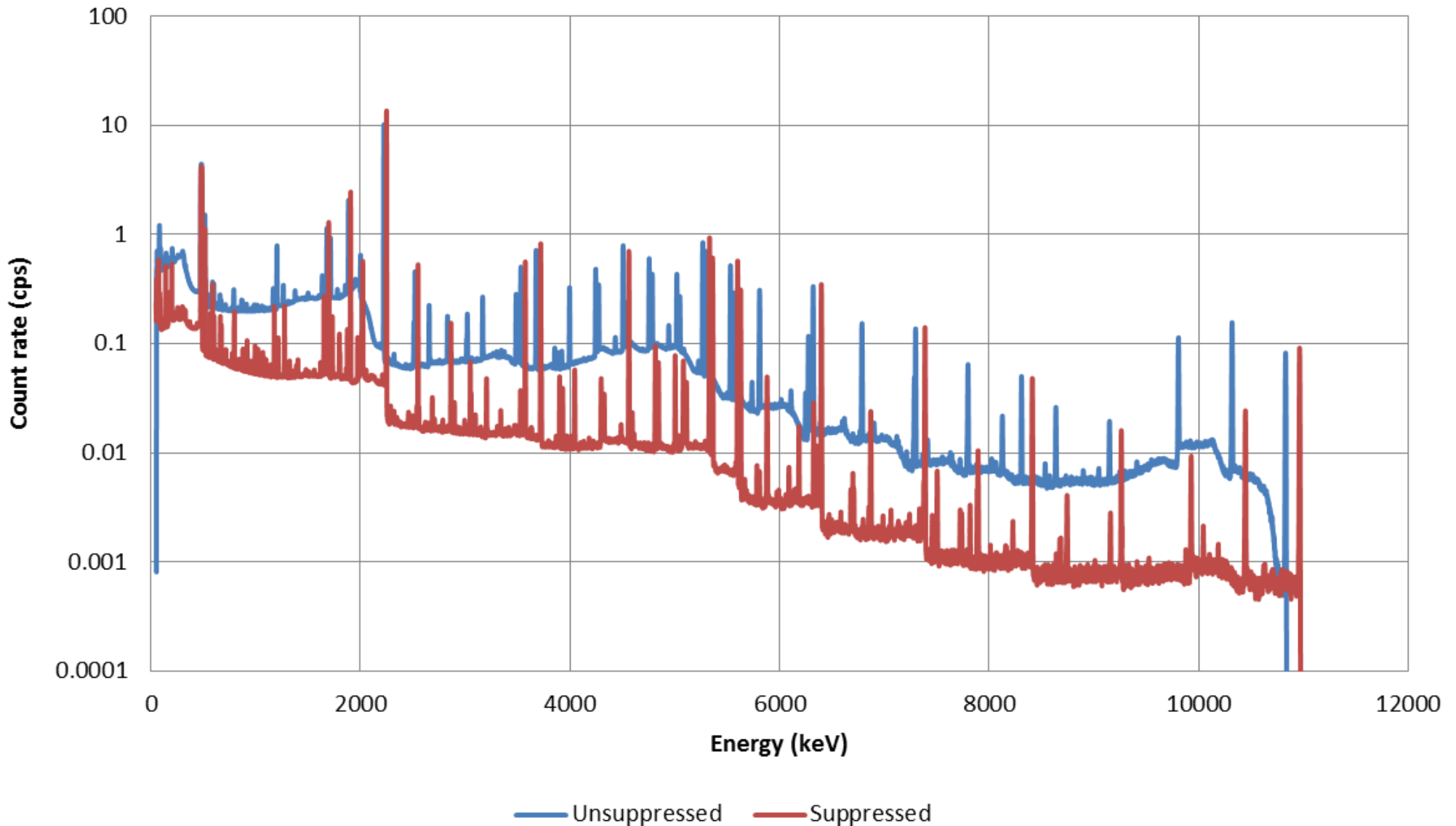
# A Prompt Gamma Aktivációs Analitika fizikai alapja



# Prompt Gamma Spektrum

nagy tisztaságú germánium detektorral mérve

## Compton-suppression up to 11 MeV



# Elemi összetétel meghatározása neutronokkal

$$A_\gamma = m \cdot S \cdot t; \quad S = \frac{N_A}{M} \cdot \theta \cdot \underbrace{\sigma_0 \cdot P_\gamma}_{\sigma_\gamma} \cdot \phi \cdot \varepsilon(E_\gamma) \cdot f(E_\gamma)$$

↑  
**Csúcsterület  
Illesztésből**

←  
**PGAA könyvtárból**

**$m$  : Az elem tömege**

**$S$  : Érzékenység**

**$A_\gamma$  : Csúcsterület**

**$N_A$  : Avogadro-szám**

**$M$  : Moláris tömeg**

**$\theta$  : Izotóparány**

**$\sigma_0$  : neutron befogási  
hatáskeresztszmet**

**$P_\gamma$  : Gamma bomlási valószínűség**

**$\phi_0$  : Neutron fluxus**

**$\varepsilon(E_\gamma)$  : Detektorhatásfok**

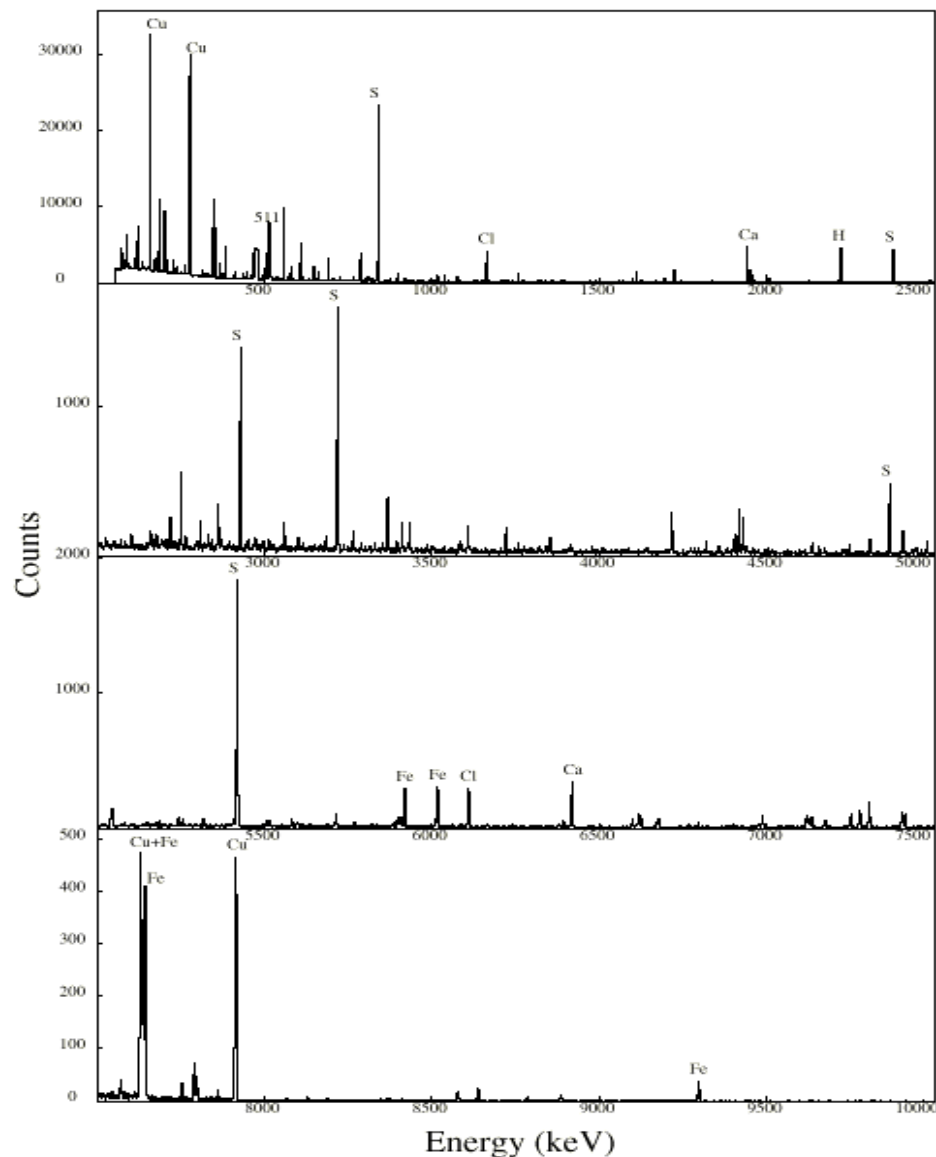
**$f(E_\gamma)$**

# Mélytengeri vulkanizmus mintáinak vizsgálata (*Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratóriummal*)

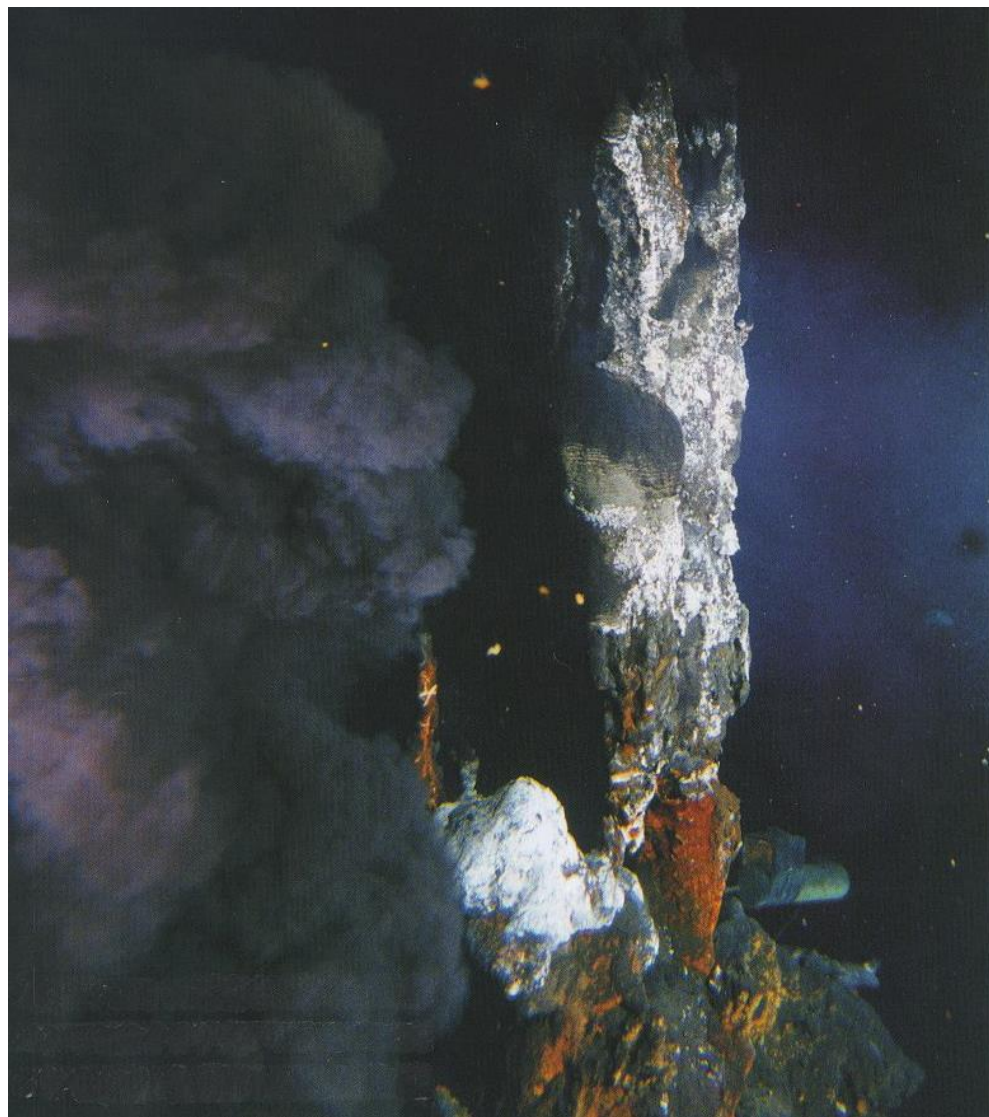
**Mélytengeri kürtőket találtak a  
Csendes Óceáni törésvonalak mentén  
az Alvin tengeralattjáróval**

**A túlhevített víz kiold a kőzetekből  
különféle ásványokat**

**A megvizsgált mintában réz- és  
vasszulfátokat találtak**



# PGA analízis eredménye (tömeg%)



	ALVIN 917-R4	ALVIN 1457-1R-C	ALVIN 1461-2R
<b>O</b>	45.9*	41(6), 44.9*	45.1*
<b>S</b>	20.0 (0.2)	0.151 (0.005)	0.16 (0.01)
<b>Ca</b>	11.3 (0.2)	7.22 (0.11)	7.25 (0.13)
<b>Fe</b>	9.28 (0.11)	9.65 (0.08)	9.37 (0.09)
<b>Cu</b>	7.67 (0.07)	---	---
<b>Al</b>	---	7.10 (0.07)	7.06 (0.12)
<b>Mg</b>	1.8 (0.2)	3.98 (0.11)	3.6 (0.2)
<b>Zn</b>	1.36 (0.05)	---	---
<b>P</b>	---	0.85 (0.18)	1.6 (0.2)
<b>Ni</b>	1.17 (0.003)	0.022 (0.002)	---
<b>Ti</b>	---	1.097 (0.008)	1.060 (0.010)
<b>Si</b>	0.55 (0.05)	22.6 (0.3)	22.3 (0.3)
<b>H</b>	0.368 (0.004)	0.0290 (0.0005)	0.027 (0.001)
<b>K</b>	0.27 (0.06)	0.138 (0.004)	0.16 (0.01)
<b>Cl</b>	0.194 (0.002)	0.0566 (0.0005)	0.0188 (0.0005)
<b>Mn</b>	---	0.154 (0.002)	0.161 (0.004)
<b>Na</b>	0.140 (0.014)	1.97 (0.04)	1.96 (0.05)
<b>V</b>	---	0.042 (0.002)	0.046 (0.003)
<b>Co</b>	0.0066 (0.0011)	0.0045 (0.0003)	0.0058 (0.0009)
<b>Sc</b>	---	0.0039 (0.0002)	0.0058 (0.0005)
<b>Cd</b>	0.00352 (0.00005)	---	0.00024 (0.00003)
<b>B</b>	0.00220 (0.00002)	0.000659 (0.000007)	0.000658 (0.000008)
<b>Dy</b>	---	0.00099 (0.00008)	0.00111 (0.00014)
<b>Gd</b>	0.000050 (0.000006)	0.000524 (0.000007)	0.000556 (0.000010)
<b>Sm</b>	0.00033 (0.00003)	0.000330 (0.000005)	0.000340 (0.000007)



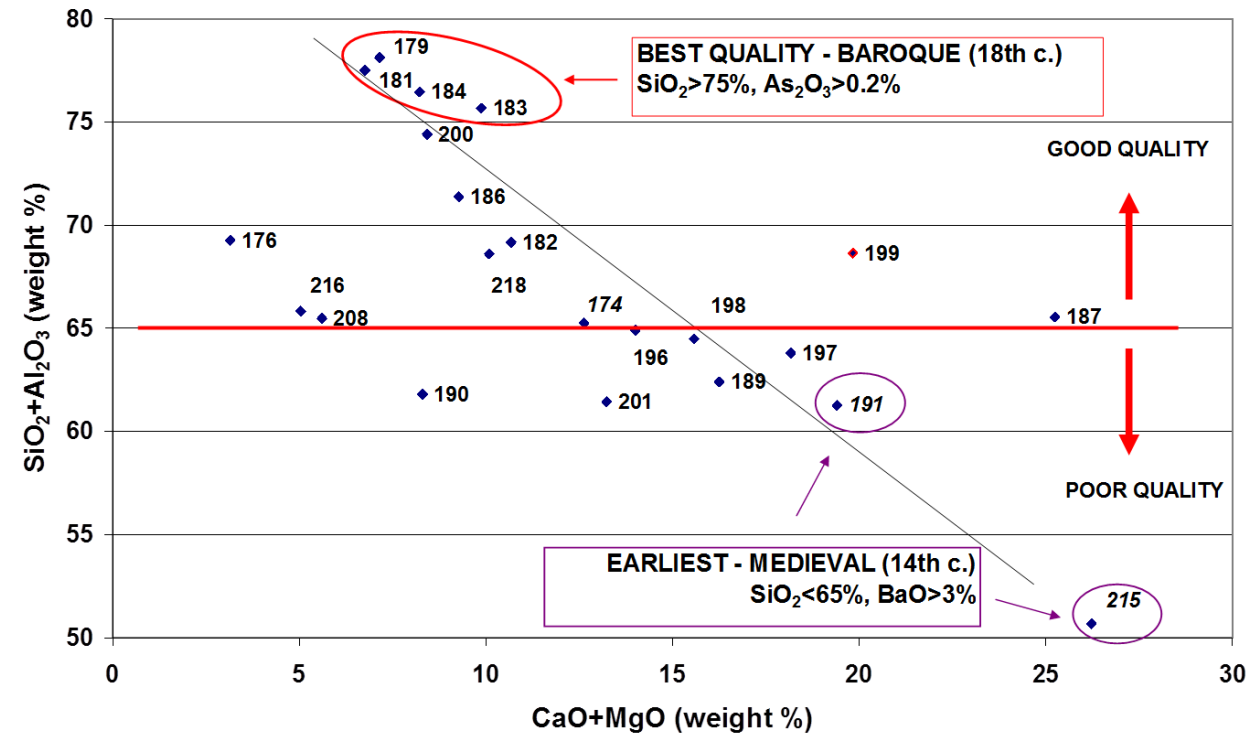
# Üvegtöredékek

*Jerzy Kunicki-Goldfinger - Inst. Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw*

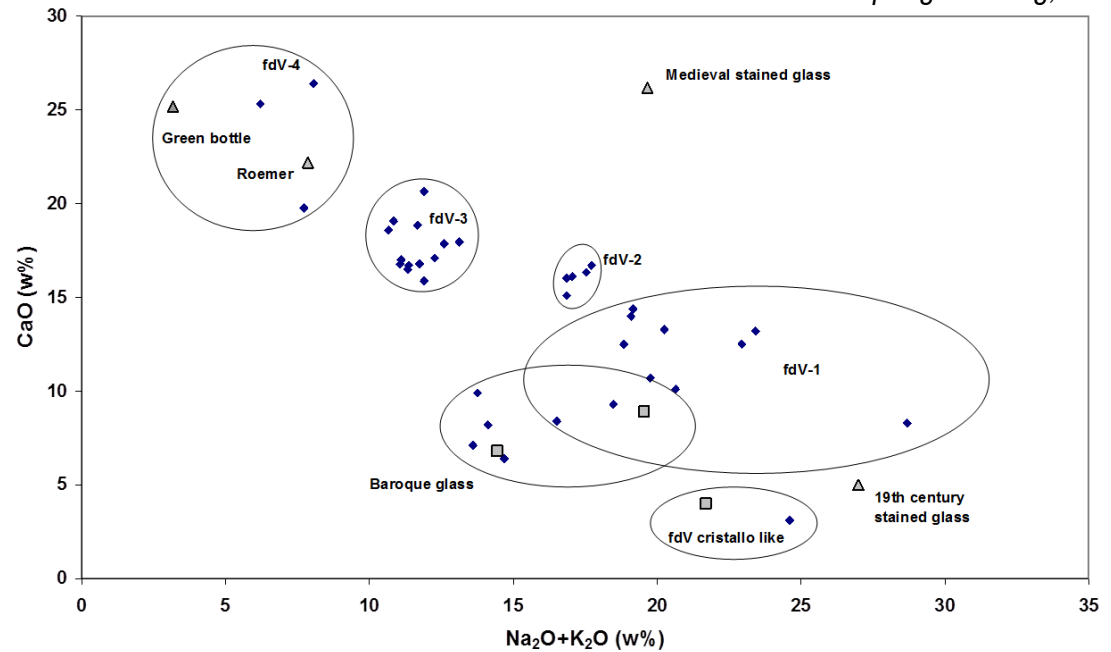


**45 középkori és barokk üvegtöredéket vizsgáltak**

**A cél a műhelyek azonosítása különös tekintettel a bór tartalomra**



Zs. Kasztovszky & J. Kunicki, *Proceedings of 37th ISA, Springer-Verlag, 2011*



# PGAA az űrben (A Mars körüli pályán)

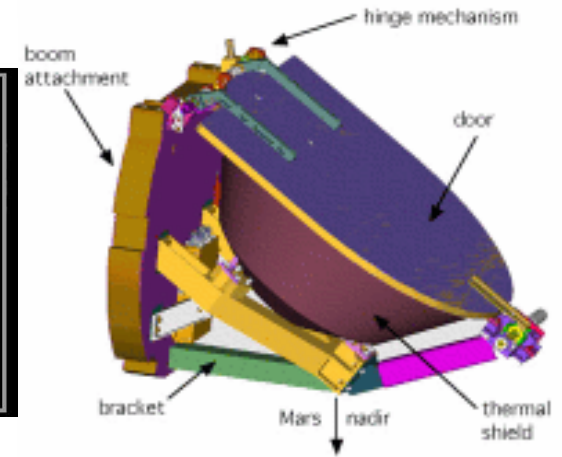
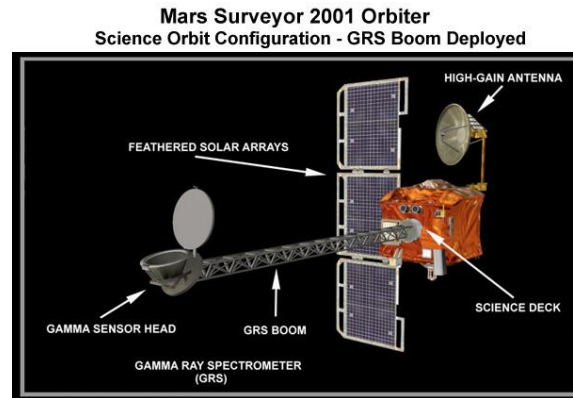
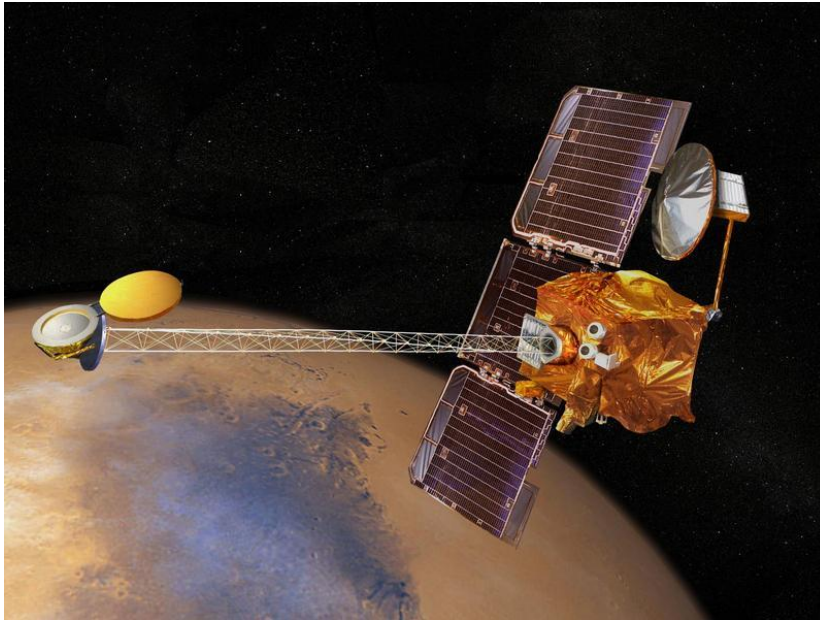


TABLE 2. Accumulation Time at Mars for 10% Relative Uncertainty in Concentration

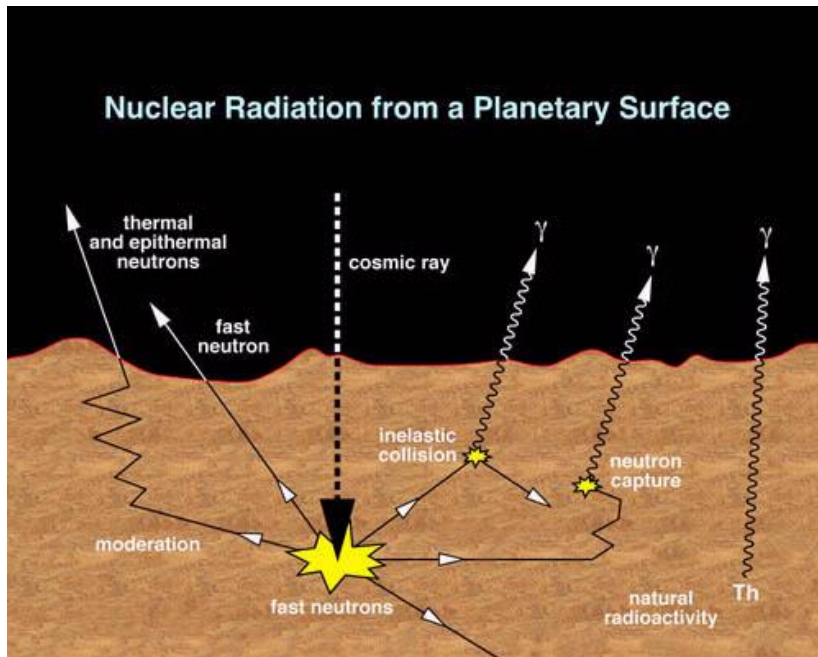
Element	Energy, MeV	Mode*	Model Composition	Signal†	Background‡	Time, hours
H	2.223	C	0.11%	1.5	0.024	300.
C§	4.438	I	0.60%	0.0871	0.113	13000.
N	10.829	C	2.8%	0.00190	0.00268	15000.
O§	6.129	I	46.6%	0.0192	0.0079	6.1 - O
Na	0.440	I	0.81%	0.249	0.105	730.
Mg	1.369	I	3.7%	0.217	0.0403	21. - Mg
Al	7.724	C	4.1%	0.0084	0.0040	1000.
Si	1.779	I	21.5%	0.191	0.031	1.2 - Si
S	3.539	C	21.5%	0.0198	0.0151	32.-
Cl	6.111	C	3.0%	0.0386	0.0091	210.
K	1.461	N	0.70%	0.932	0.0080	15.- K
Ca	1.461	N	0.12%	17.	0.038	4.0 - K
Ca	6.420	C	4.4%	0.0158	0.0067	440.
Ti	1.381	C	0.38%	0.111	0.0059	990.
Cr	8.884	C	0.15%	0.053	0.0028	13000.
Mn	7.244	C	0.34%	0.105	0.0049	1100.
Fe	7.632	C	13.5%	0.0455	0.0042	7.6 - Fe
	0.847	I	13.5%	0.199	0.0689	3.9 - Fe
Ni	8.999	C	52. ppm	0.106	0.00266	2.5 x 10 <sup>5</sup>
Gd	6.749	C	2.2 ppm	22.7	0.00616	69000.
Th	2.614	N	0.45 ppm	9.05 x 10 <sup>3</sup>	0.020	40. - Th
U	0.609	N	0.13 ppm	1.77 x 10 <sup>4</sup>	0.092	500.

\*Mode refers to gamma rays produced by the processes of C, neutron capture; I, neutron inelastic scatter; and N, decay of natural radioactivity.

†Signal is in units of counts/second/mass fraction of the element.

‡Background is in units of counts/second.

§Only the contribution from the surface materials is considered.

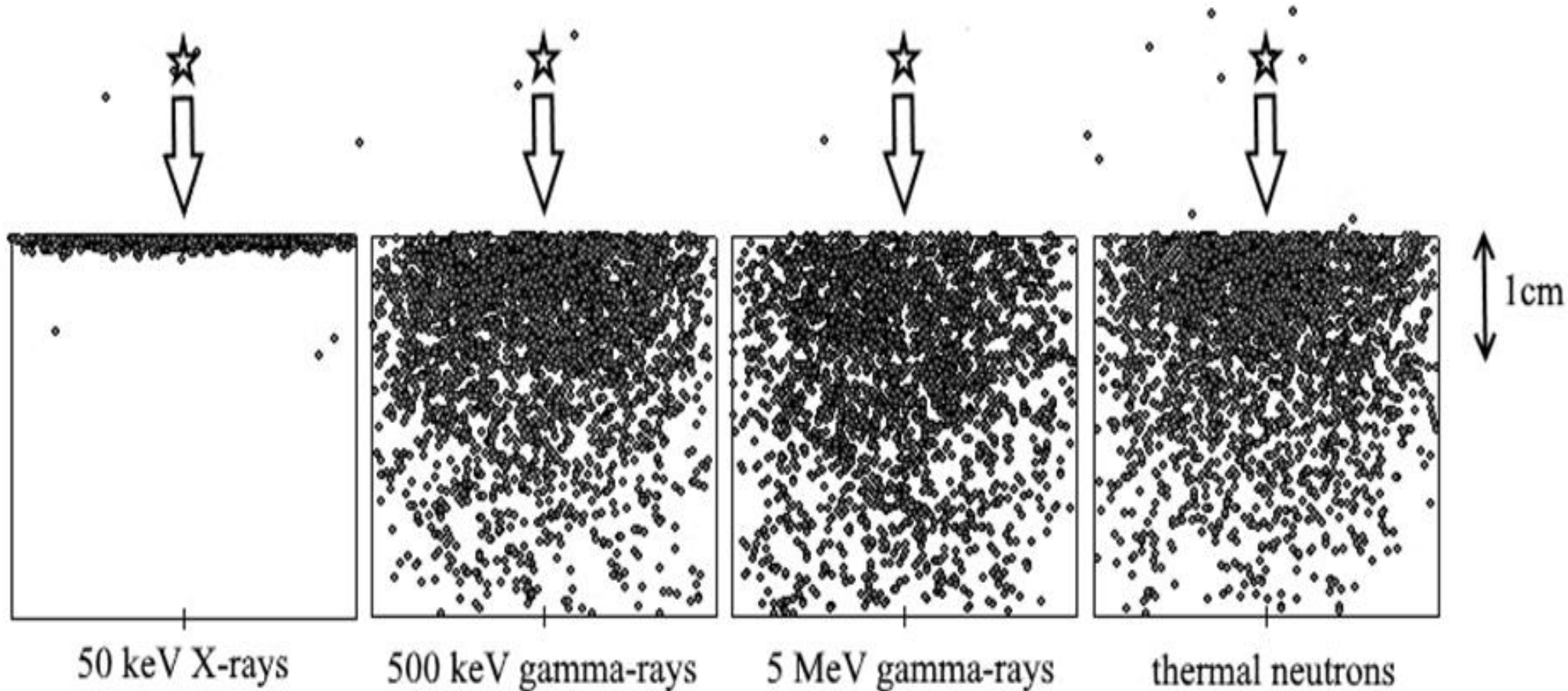




**Prompt gamma képződés**

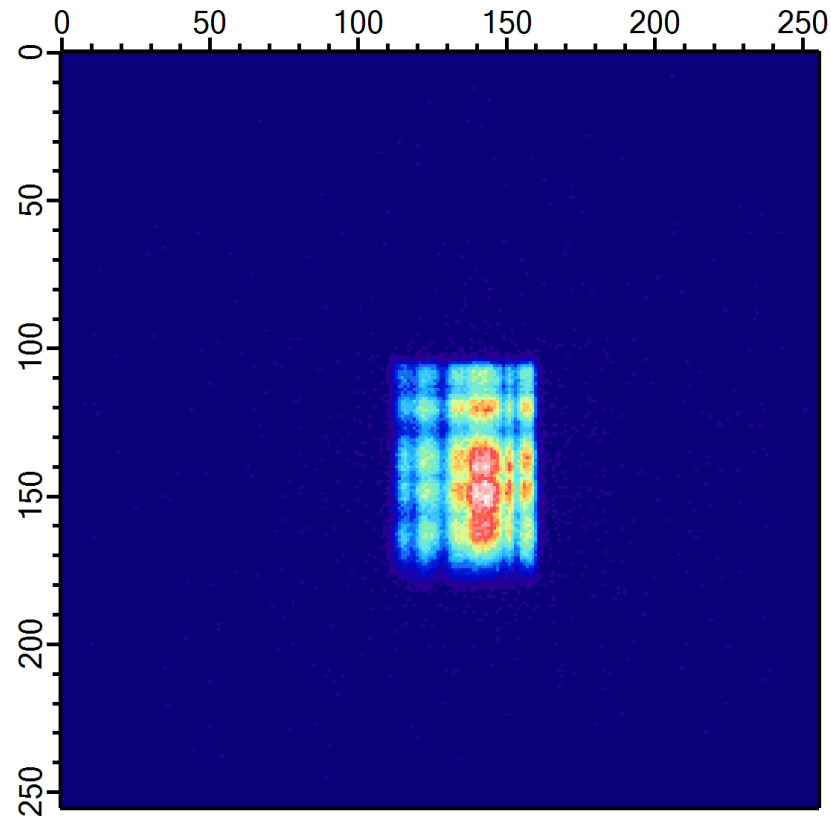
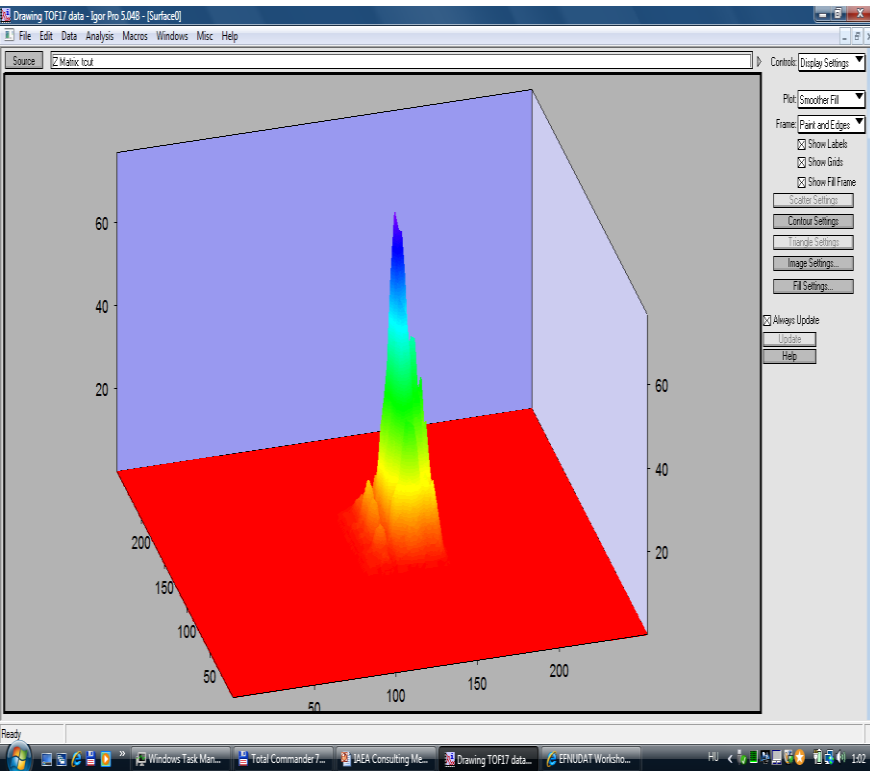
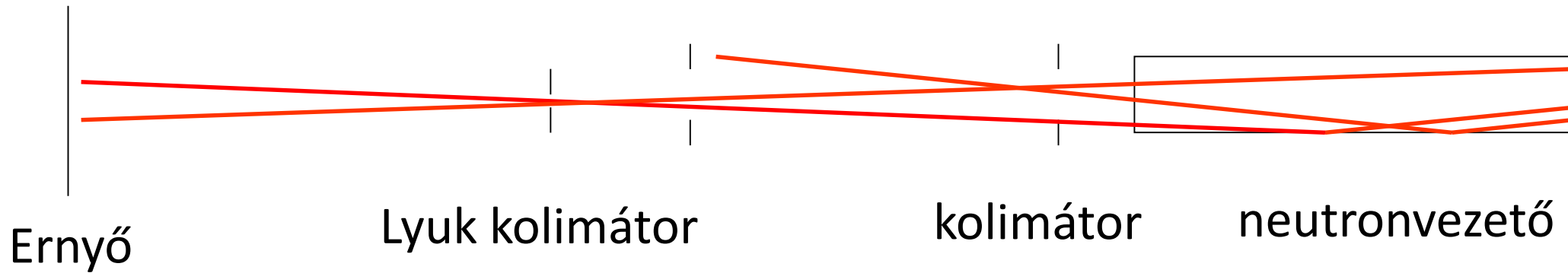
**Radiográfia és tomográfia**

# Röntgen-, gamma- és neutron sugárzás behatolása réz blokkba



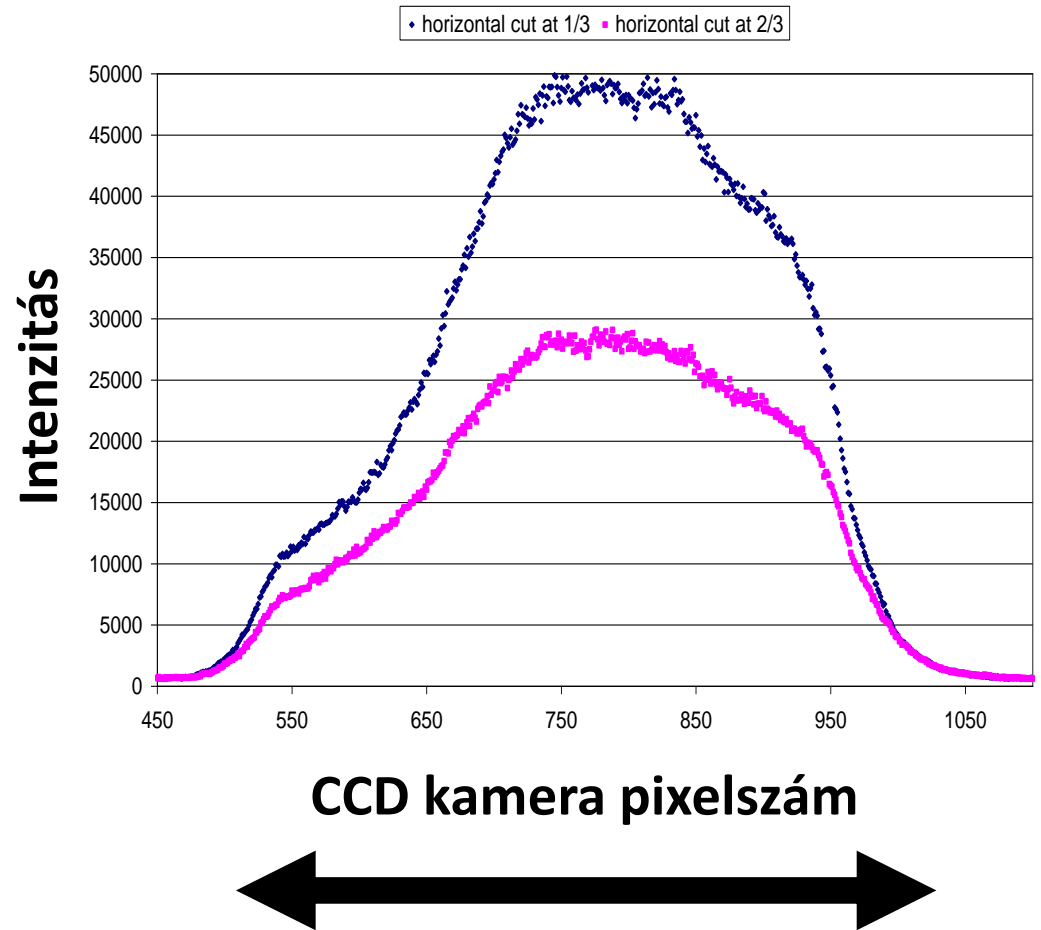
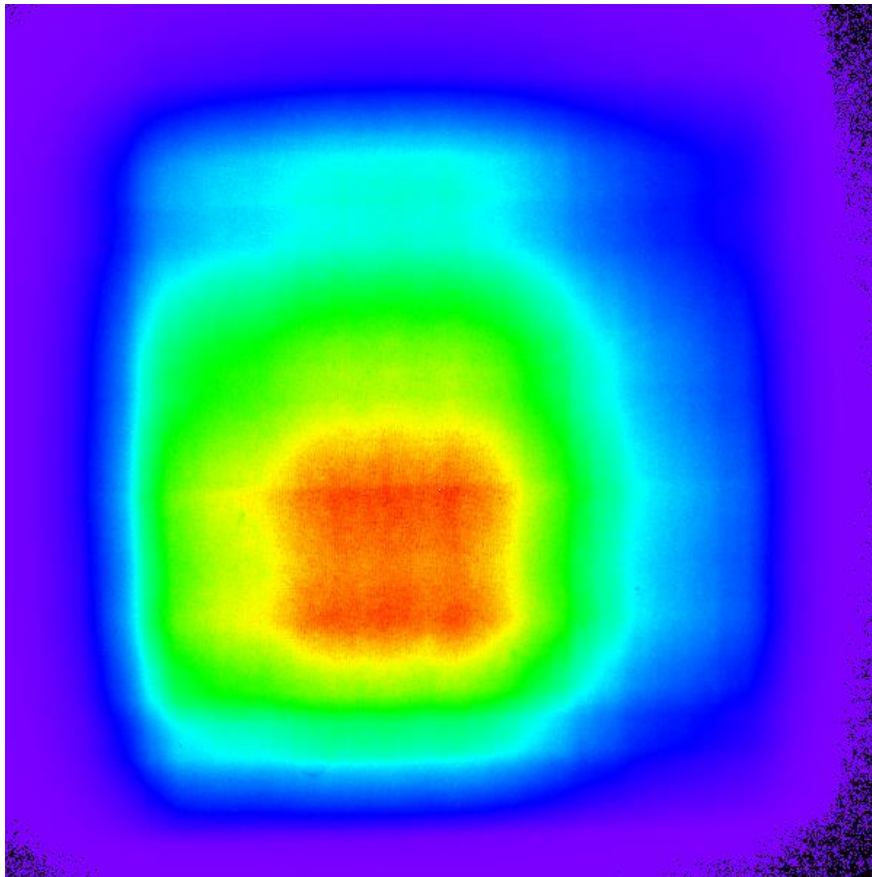
Monte Carlo N részecske kód (MCNP) számolással

# A neutronvezetőből egy lyukon keresztül kilépő neutronnyaláb hullámhossz eloszlása



0-1AA  
1-2AA  
2-3AA  
3-4AA  
4-5AA  
5-6AA  
6-8AA

# A neutronnyaláb képe a NIPS radiográfiai berendezéssel

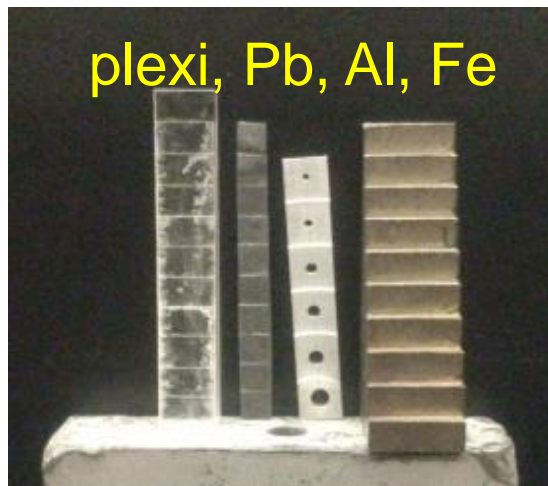


← ~28 mm →

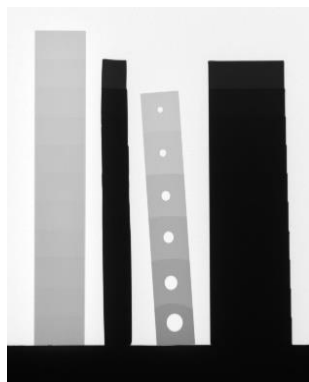
T. Belgya  
Institute of Isotopes HAS, Dept. of Nuclear  
Research  
CM on Neutron Source Spectra for EXFOR  
13 - 15 April 2011

# Komplementaritás és vastagság

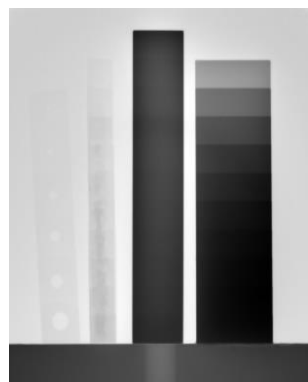
plexi, Pb, Al, Fe



200kV Rtg.



neutron



vizuálisan



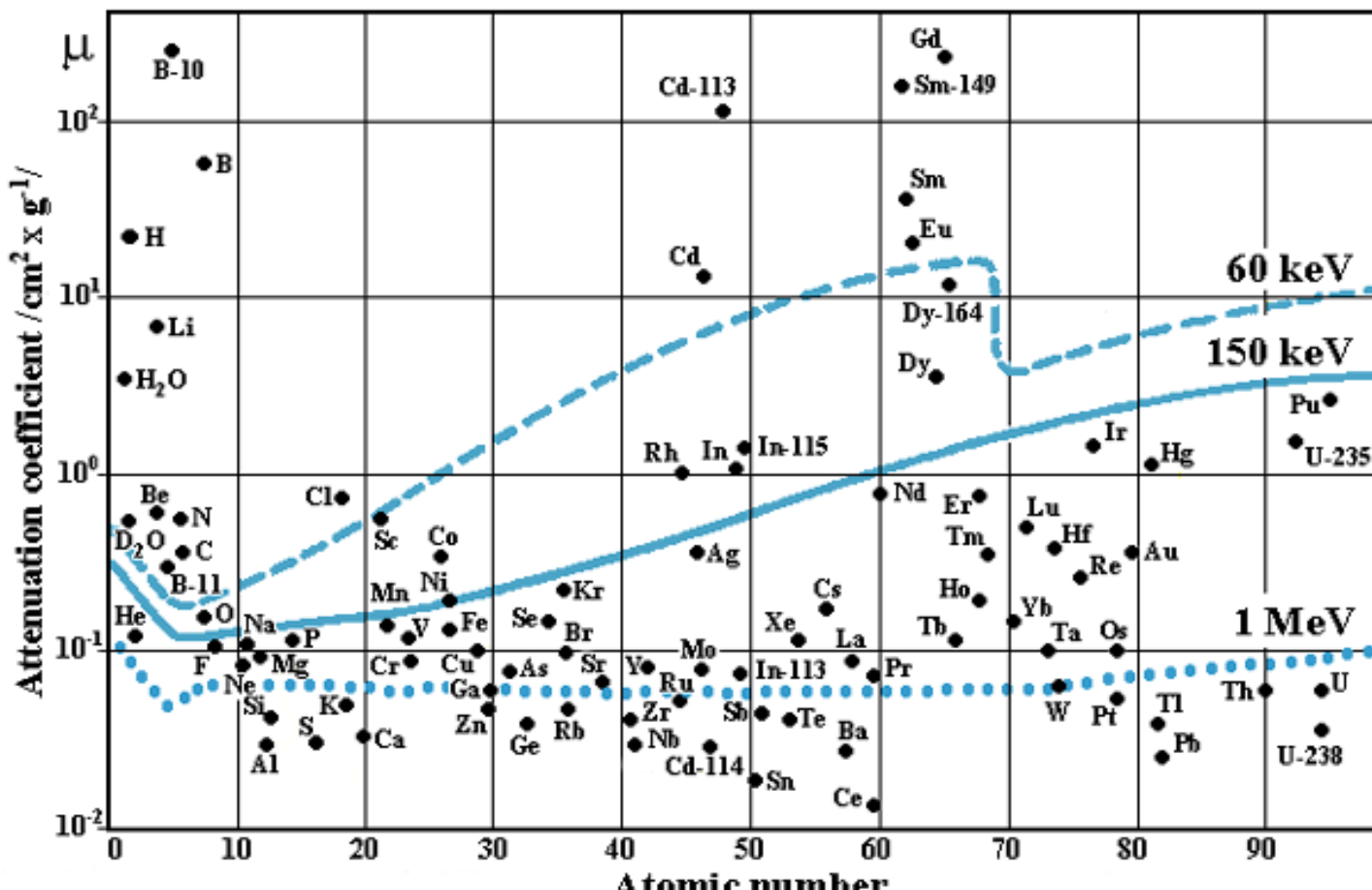
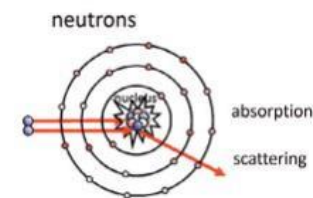
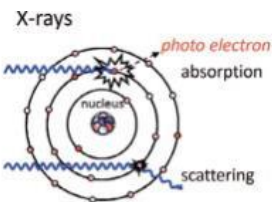
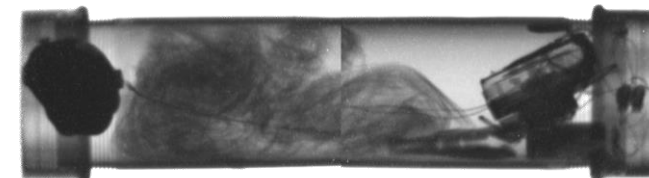
150 keV röntgen



1,25 MeV  
gamma



neutron



# Az iso-térfogat fogalma

Neutron kolimátor (rész)  
( $^6\text{Li}$ -polymer)

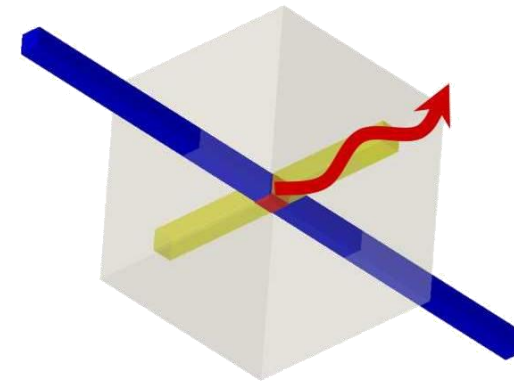
Gamma-kolimátor (Pb)



Mintatartó (Al)

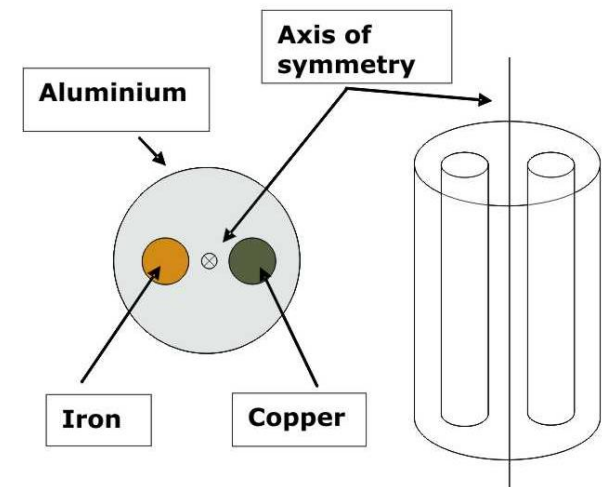
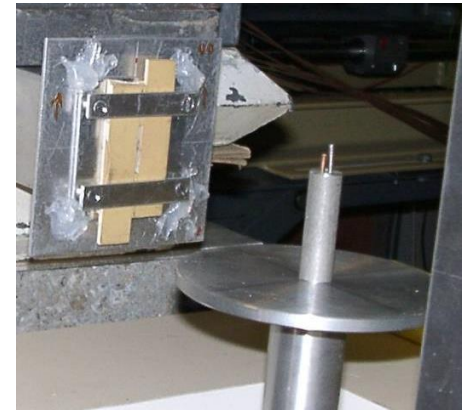
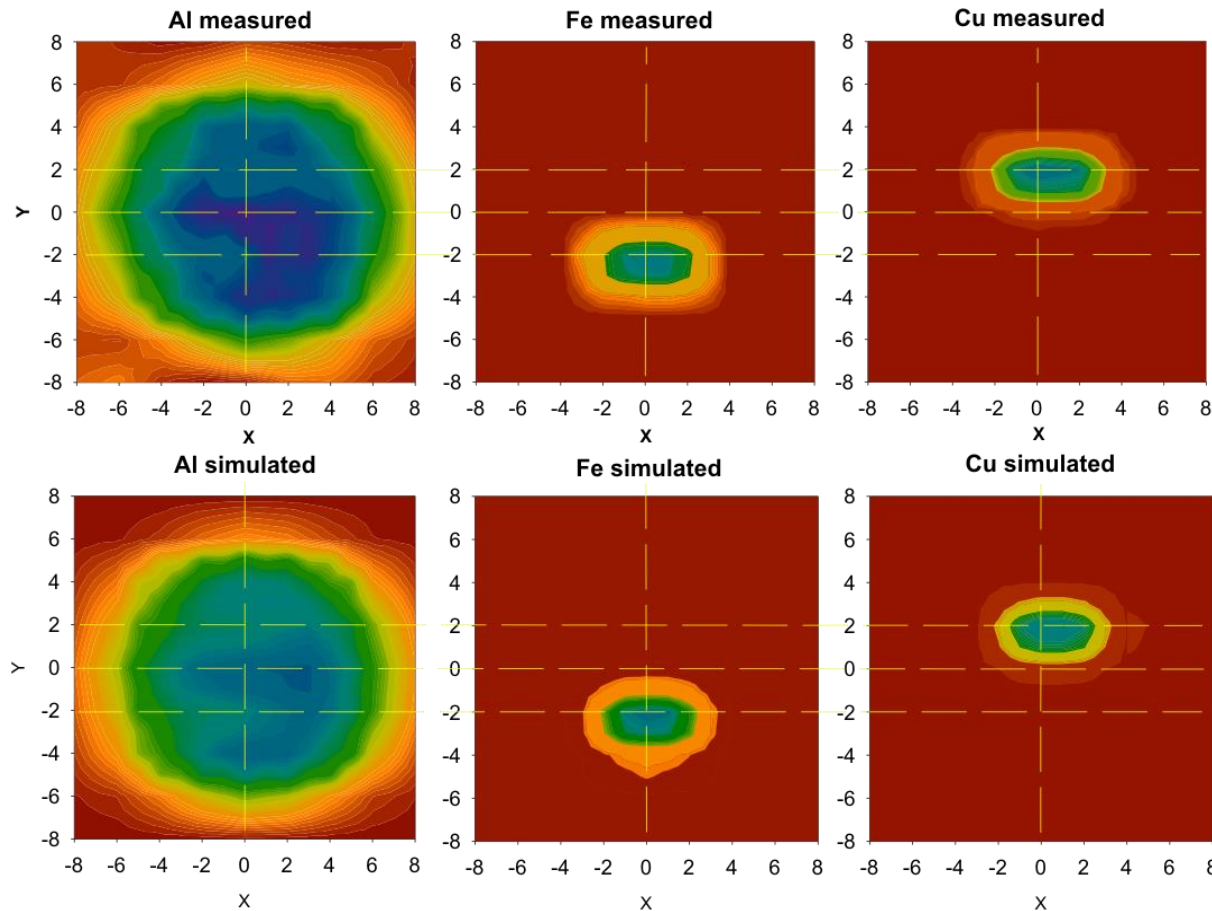
Iso-térfogat

Gamma-sugárzás a mintából



Ceruzá-neutronnyaláb

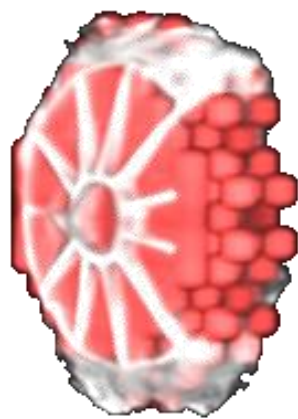
# Az első direkt elemanalízis kvázi 3D



- ❑ Forgatószos mintaletapogatás
- ❑ 2500 s idő per szög (összesen 5 nap!)

# Fibula 3D PGAI elemeloszlás analízise az FRM-2 reaktornál

Időigényes  
Több napos  
mérés



Fe



S



Au



Cu



H



Ag



# Tárgyak PGAI-NR analízise lezárt Pb konténerben

Cu golyók

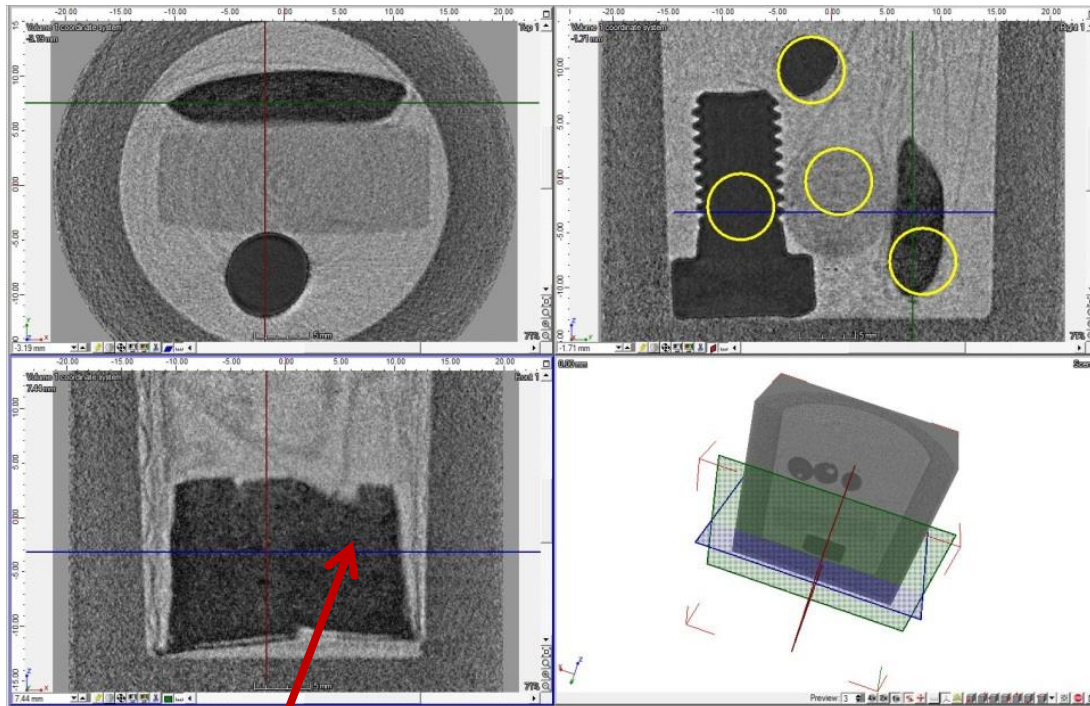
Urán oxid  
( $U_3O_8$ )

Aluminum  
henger

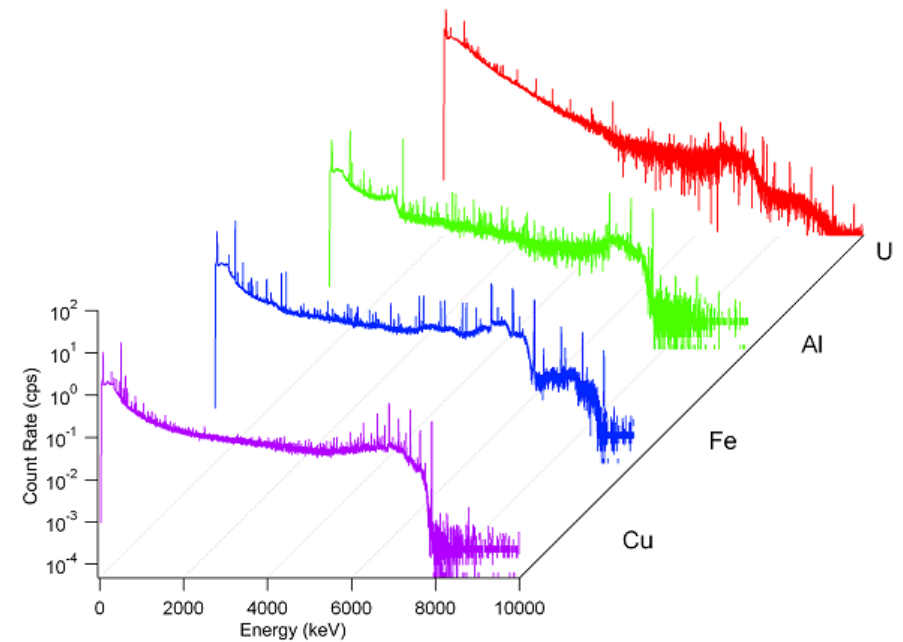
Vas  
csavar



# Tomográfias 3D vizualizáció a VGA stúdió szoftverrel

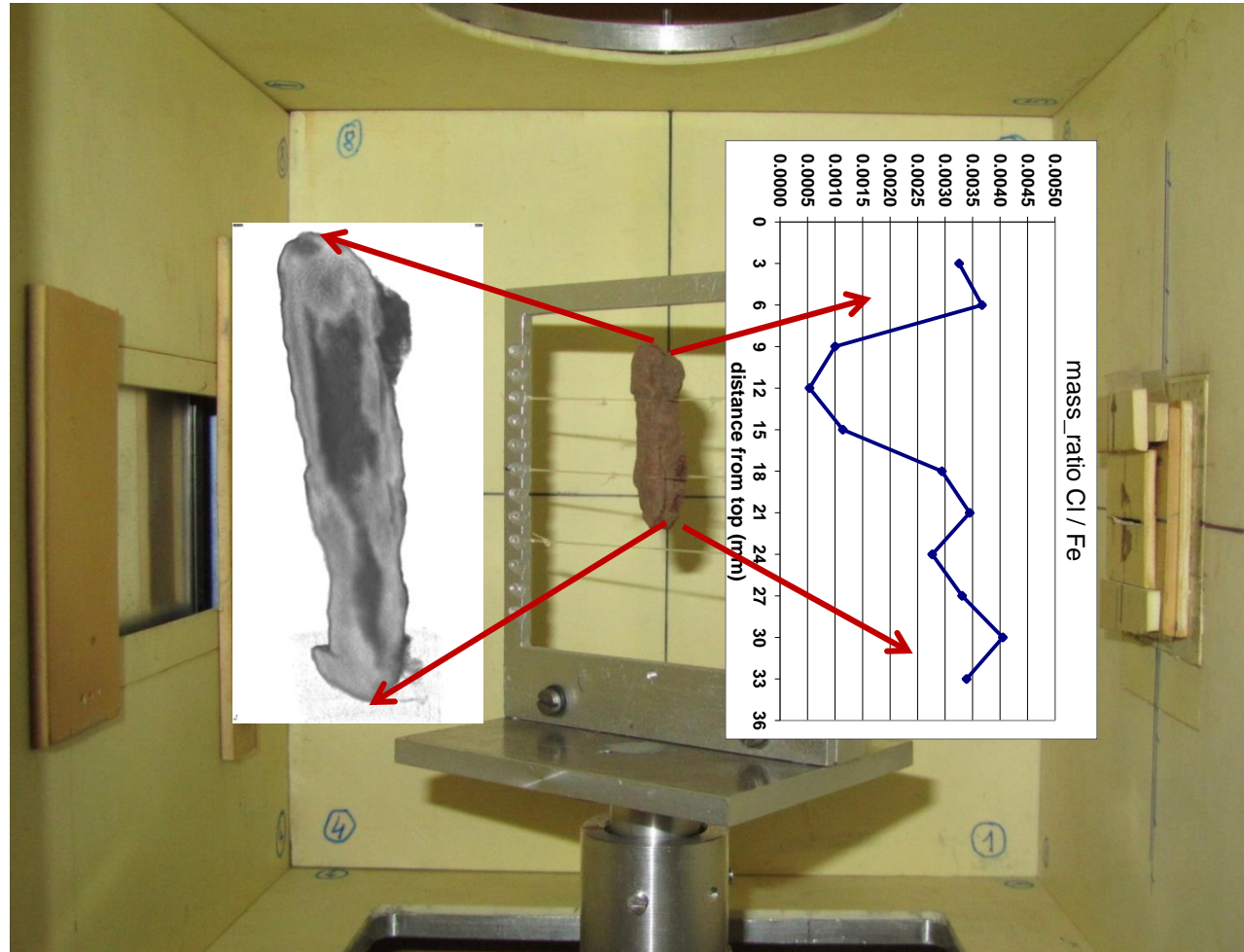


**Uránt tartalmazó FEP zacskó**



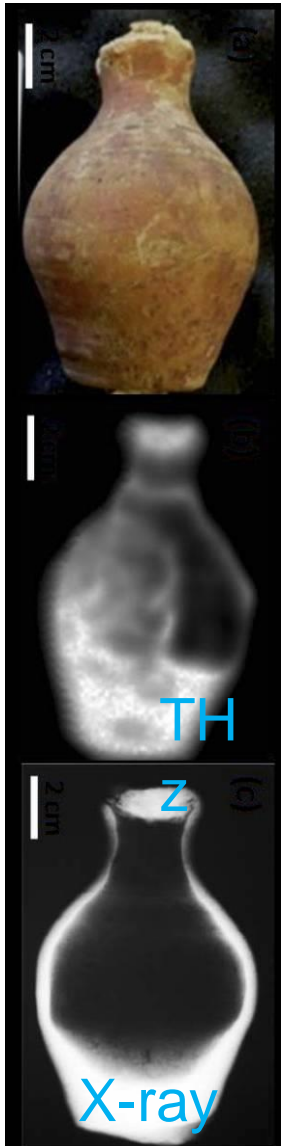
**A csúcsterület arányos az iso-térfogatban lévő anyag mennyiségével**

# A klór mennyiségi roncsolásmentes analízise archeológiai vas tárgyban (szög)



# Lezárt egyiptomi kerámia a XVIII<sup>th</sup> dinasztia korából, Museum of Aquitaine in Bordeaux

## Korábbi vizsgálatok



Az edény  
fényképe,  
97mm×64 mm

THz-es átvilágítás  
és X-ray  
radiografiája az  
edénynekr:

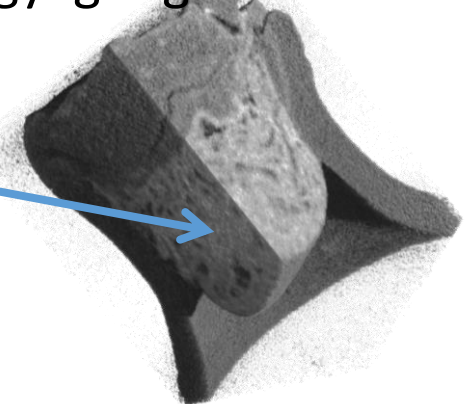
- Vörös agyag  
repedésekkel,
- Kétrészes dugó  
(agyag és egy  
ismeretlen anyag)
- Tartalom: mozgó,  
heterogén

## Neutronos vizsgálatunk

NT:  
Kötél szerű anyag

PGAI:  
Szerves anyag vsz. vászon  
v. kötél

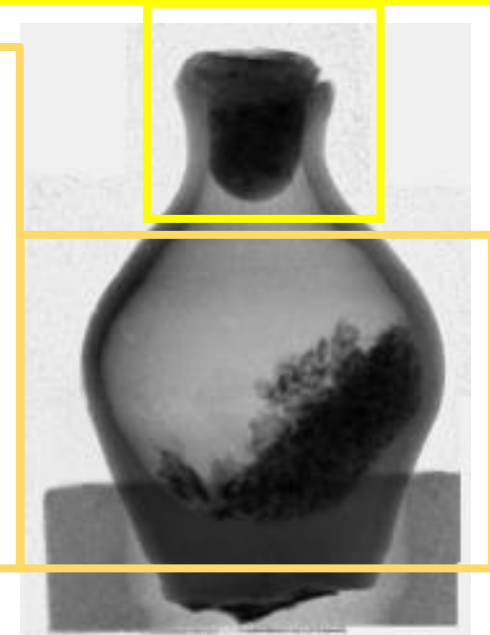
agyagdugó



Belső tartalom

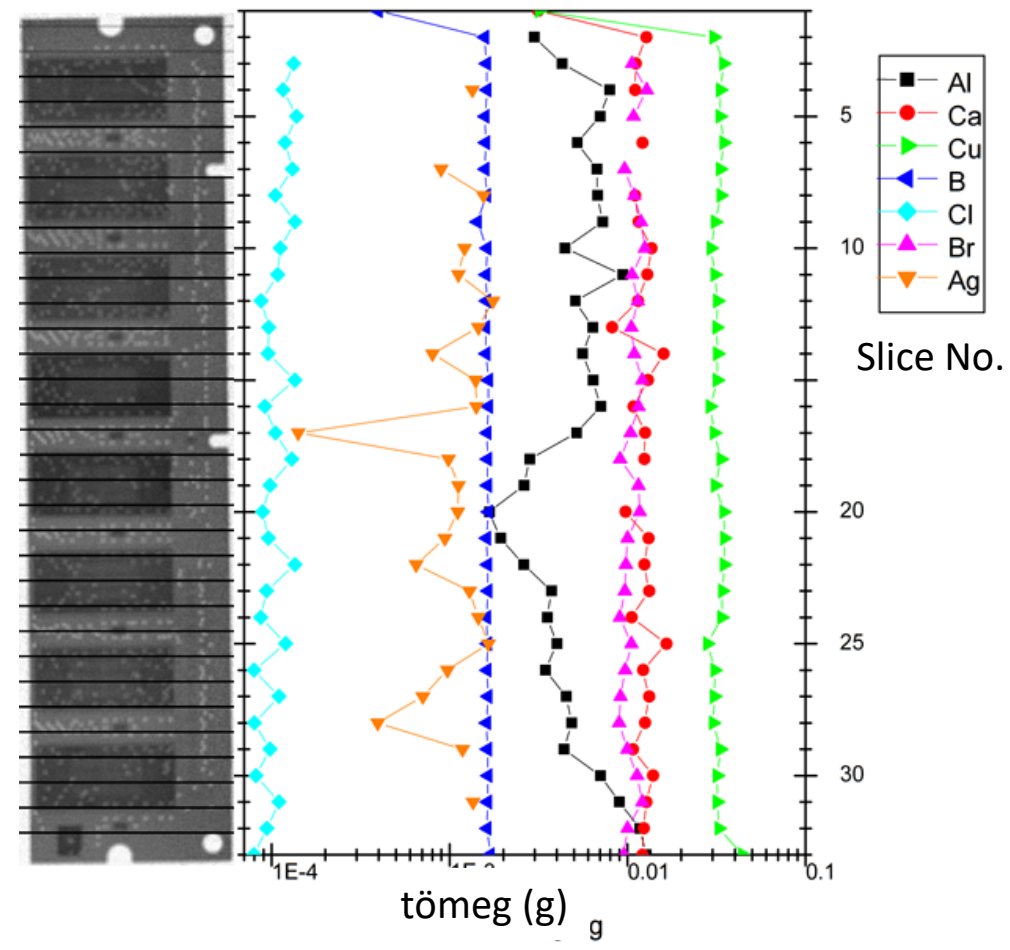
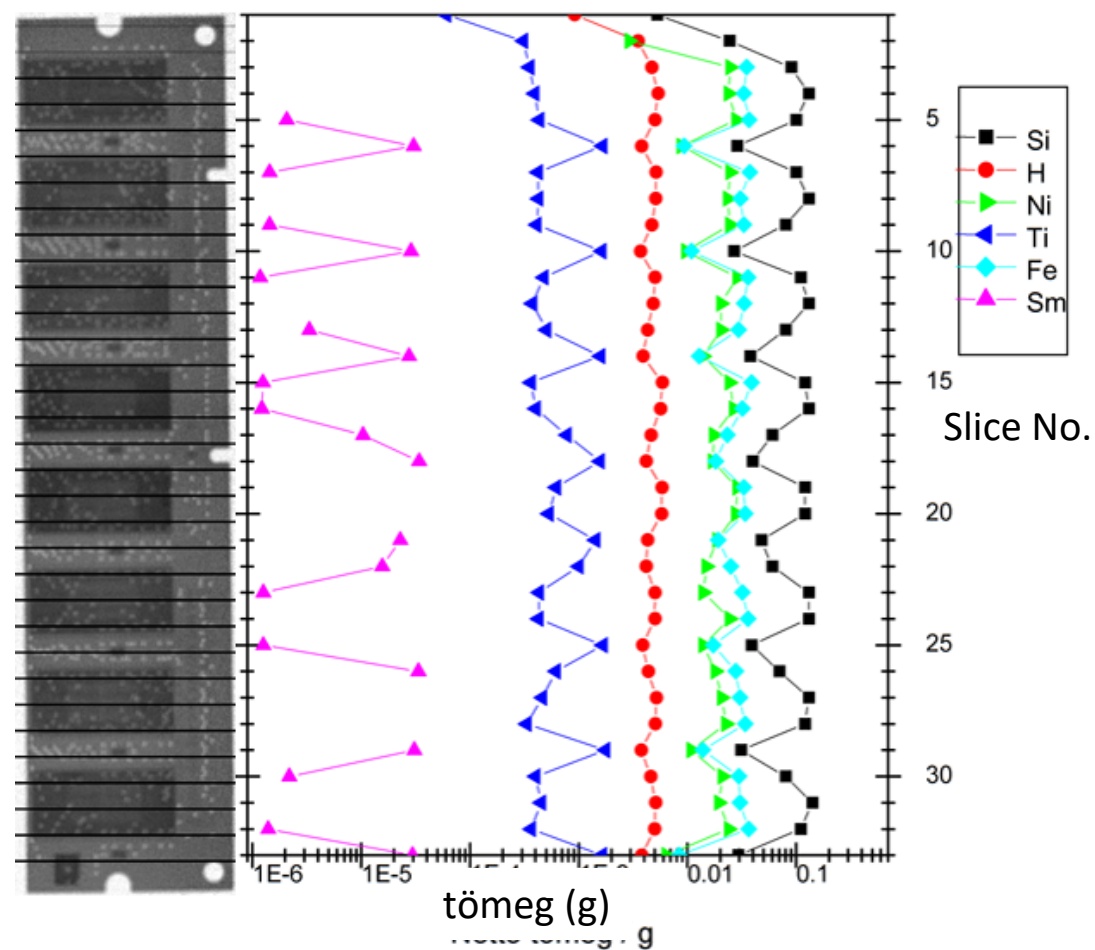
NR:  
Feltehetően szerves anyag

PGAI:  
főként H, C, N, S és Cl elemek, amely  
megerősíti a szerves anyag  
feltételezést



Az edény 2D képe

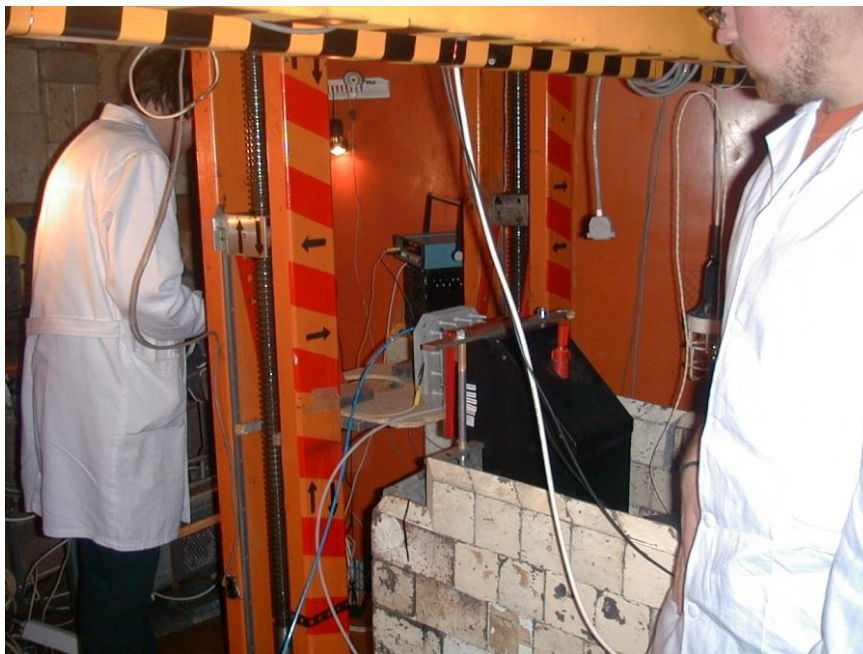
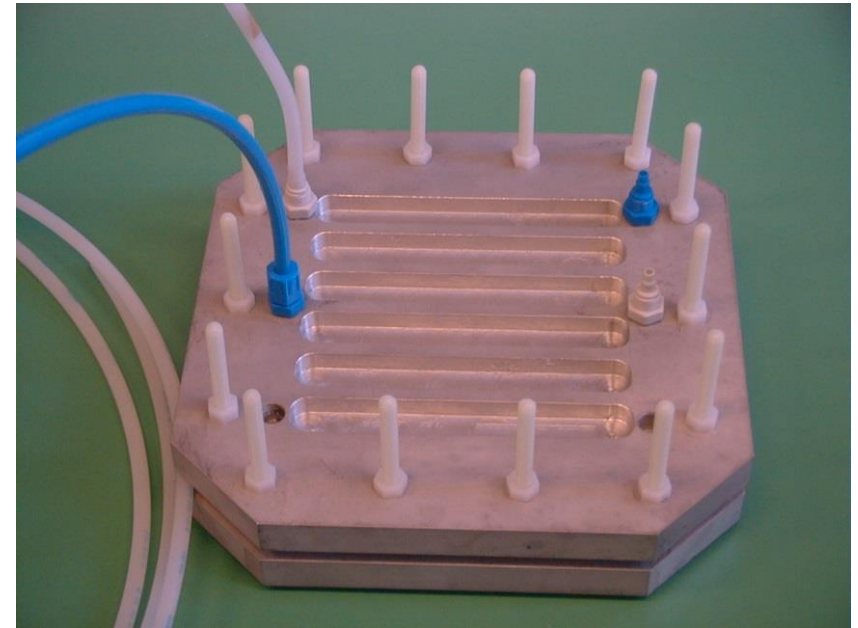
# Elmeeloszlás meghatározása PGAI-vel elektronikai hulladékban



# Üzemanyagcella működés közben DNR

- A katód előntése vízzel és az anód kiszáradása az üzemanyagcella üzemképtelenségét okozza
- A kontraszt változtatás módszere a folyamatok nyomon követésére ad lehetőséget
- BME együttműködés

Márton Balaskó, László Horváth et al.:  
Physics Procedia 43 ( 2013 ) 254 – 263



# Lovas Szépművészeti Múzeum (Leonardo?)

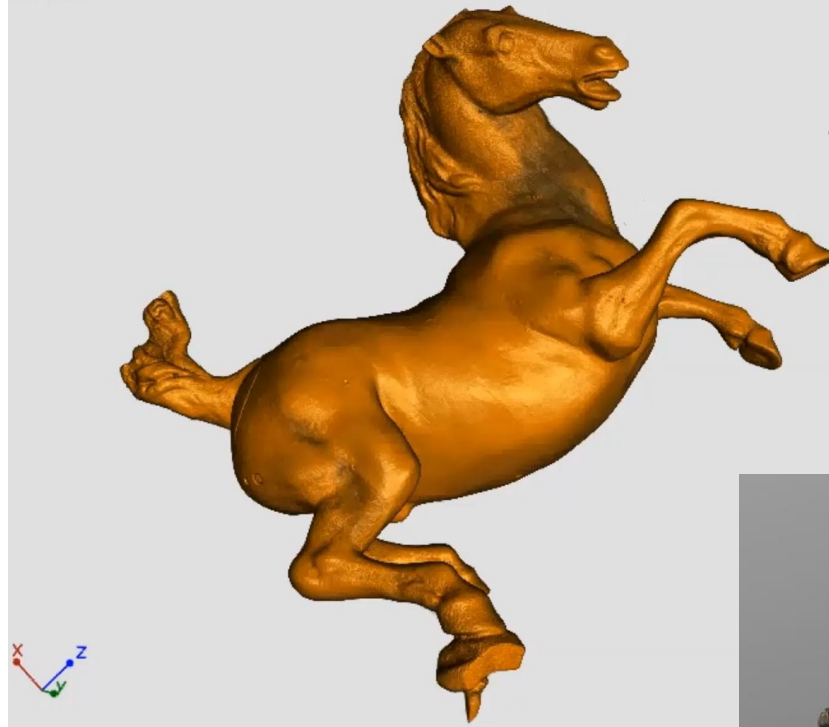
*neutron tomográfia:*

*X-ray tomográfia:*

*részletes szerkezeti információ*

*200 kV, kis behatolás a tömör bronz részbe*

3.24 mm



Scene

0.00 mm

**Neutron  
tomográfia (NT)**

**Előzetes  
eredmények**



- NT két átfedő részbe
- Viaszöntési technológiából visszamaradt nyomok

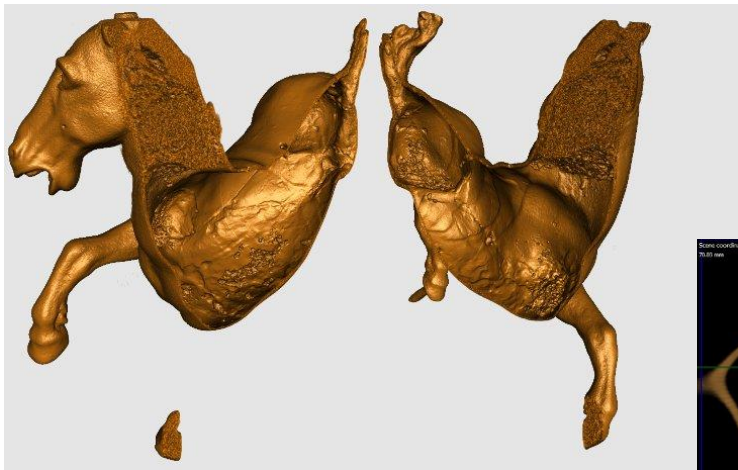


- Részletes struktúra
- Viaszöntési technológiából visszamaradt nyomok

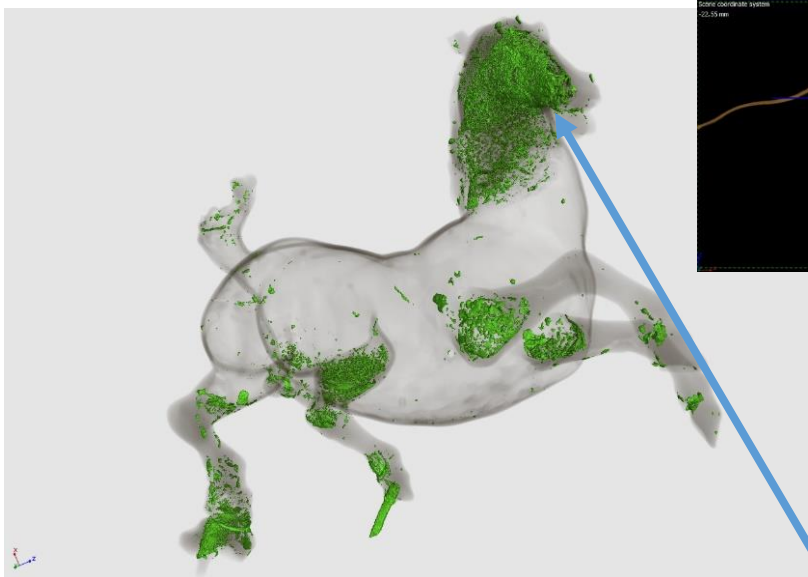
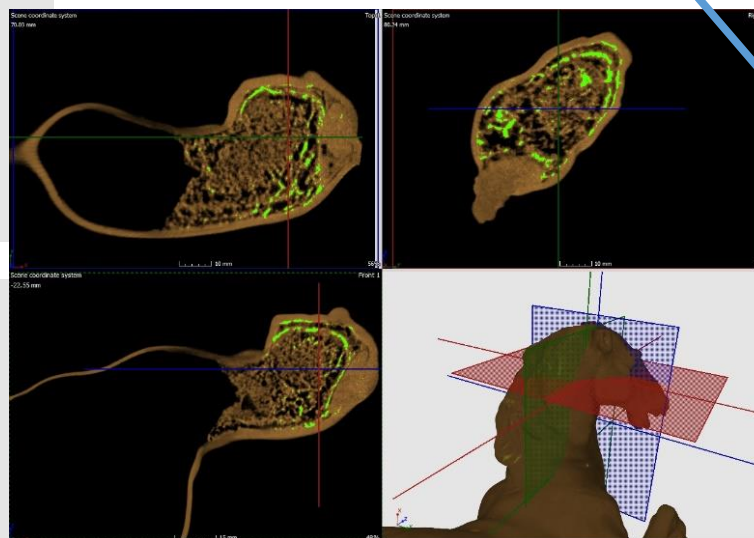
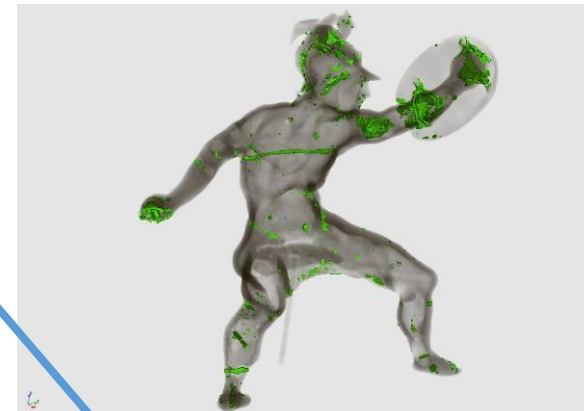
A Szépművészeti Múzeum újra nyitásának egyik fő látványossága

# Lovas Szépművészeti Múzeum (Leonardo?)

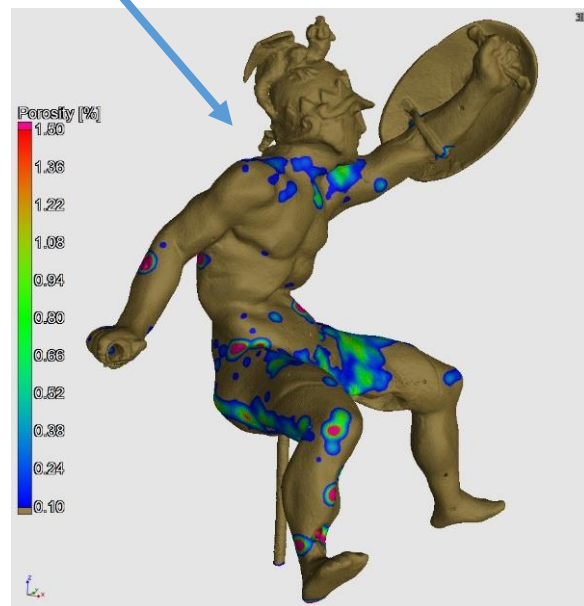
*neutron tomográfia: részletes struktúra információ*



- részletes struktúra
- Viaszöntési technológiából visszamaradt nyomok



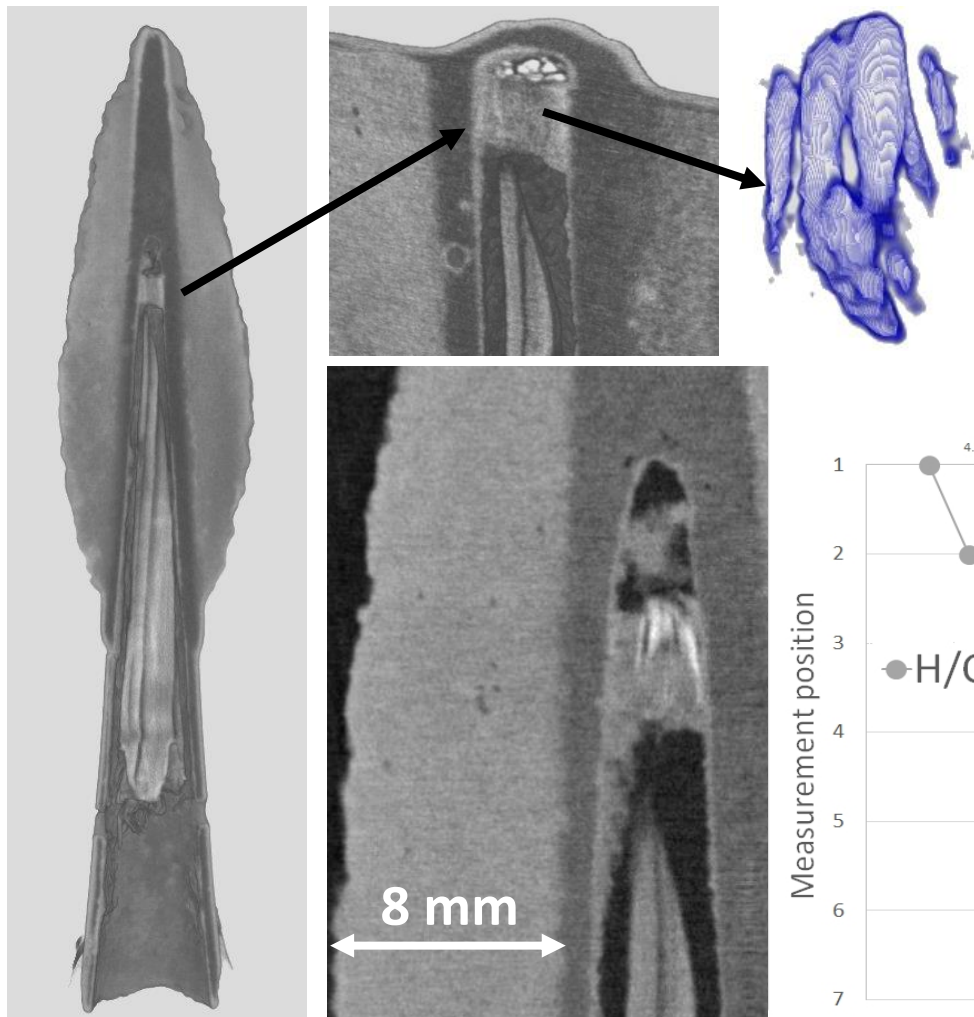
- Fal vastagság
- porozitás



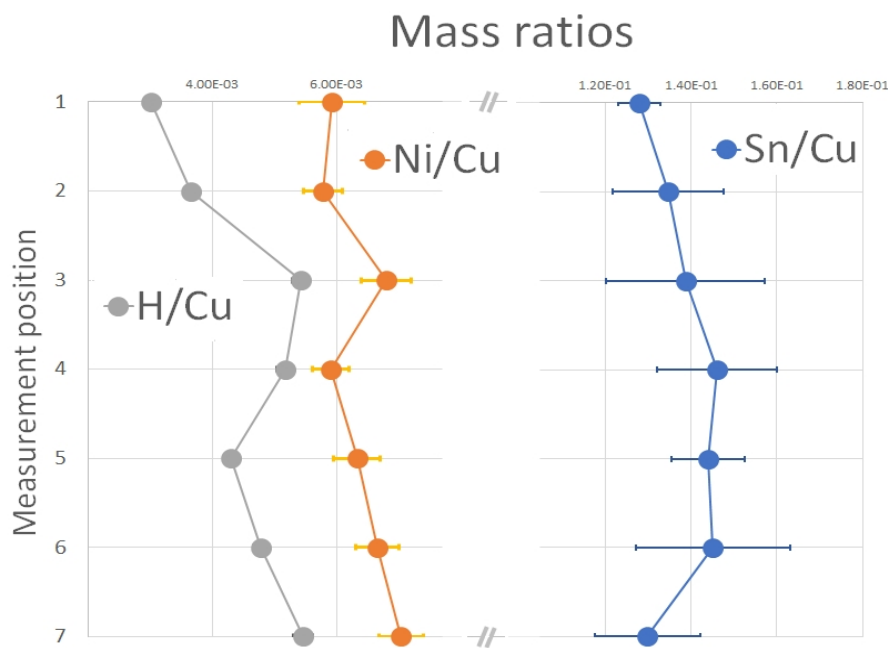
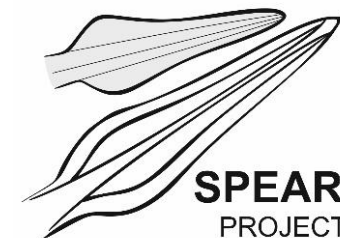


# Kikindai lándzsahegy

*neutron tomográfia:  
Belső felépítés, készítés technika és használat*

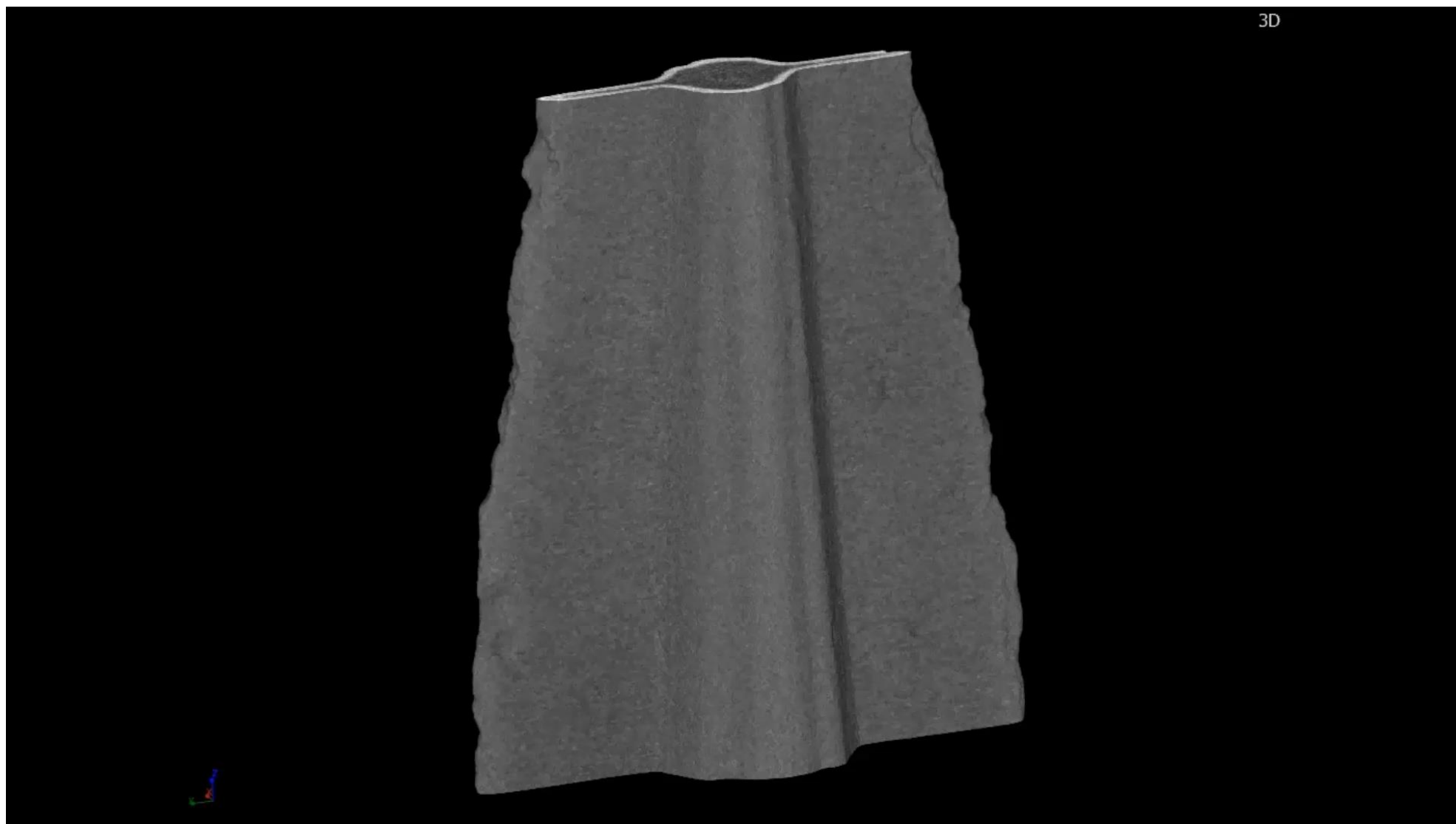


**Erősen  
neutronabszorbeáló  
anyag**



**Helyérzékeny  
neutronos  
analízis**

# Kikindai lándzsahegy



# Összefoglalás

- A neutronok segítségével **beleláthatunk** a tárgyak belsejébe, ahol az **atommagok neutronelnyelését észleljük**
- **Komplementer információt** kapunk a röntgenes radiográfia eredményeihez képest
- A neutronok képesek érzékelni a kis rendszámú elemeket, ezek közül a legfontosabb a **hidrogén**
- **3Ds elnyelési és elemi képzéskészítésre** is képes
- **Az anyagok átlagos elemi vagy izotóp összetétele roncsolásmentesen meghatározható → vizsgálat után további kísérletekre használható marad a tárgy**

# Köszönet a NAL munkatársainak





# Köszönöm a figyelmet!



**BUDAPEST NEUTRON CENTRE**  
a consortium of the MTA Centre for Energy Research and  
the MTA Wigner Research Centre for Physics

