



RONCSOLÁSMENTES NEUTRONANALITIKAI MÓDSZEREK RÉGÉSZETI ALKALMAZÁSAI A BUDAPESTI NEUTRONKÖZPONTBAN

**Káli György¹, Kasztovszky Zsolt², Kis Zoltán², Maróti
Boglárka²**

¹MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont,

²MTA Energiatudományi Kutatóközpont

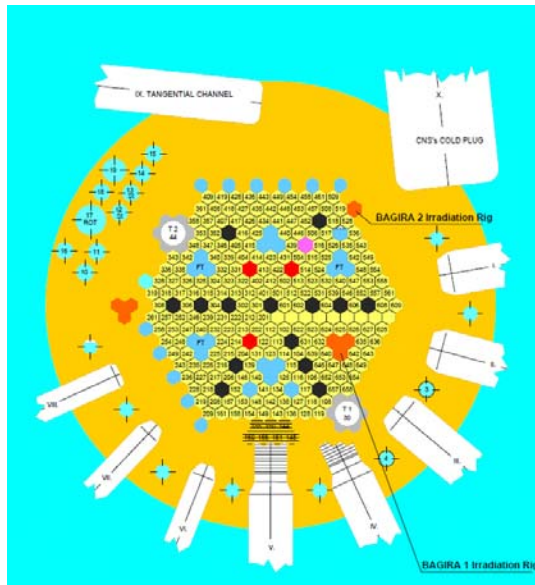
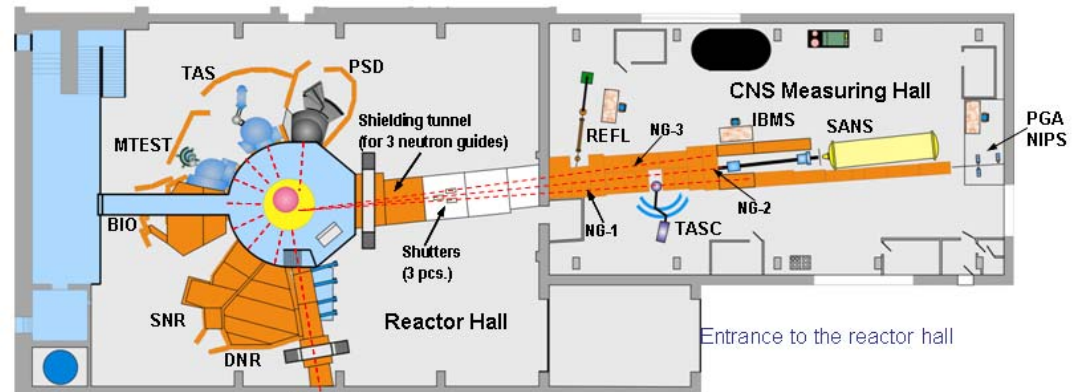
kasztovszky.zsolt@energia.mta.hu

A Budapesti Kutatóreaktor



10 MW-os vízhűtéses, vízmoderátoros kutatóreaktor

Fluxus (az aktív zónában): $2,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$



TOF – Time of flight spectrometer
(*under construction*)

DNR – Dynamic neutron
radiography

SNR – Static neutron radiography

BIO – Port used for biological
experiments

MTEST – Material testing
diffractometer

TAS – Triple axis spectrometer

PSD – Powder diffractometer

TOF
(neutron guide)

TOF
(measuring hall)

Cold neutron instruments:

REFL – Reflectometer

TASC - TAS – Triple axis spectrometer on CNS

SANS – Small-angle scattering spectrometer

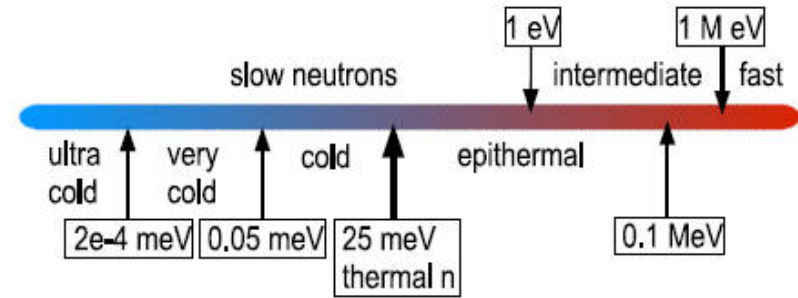
PGAA – Prompt gamma activation analysis

NIPS – Neutron-induced prompt gamma-ray
spectrometer

IBMS – In-beam Mössbauer spectrometer
(*under construction*)

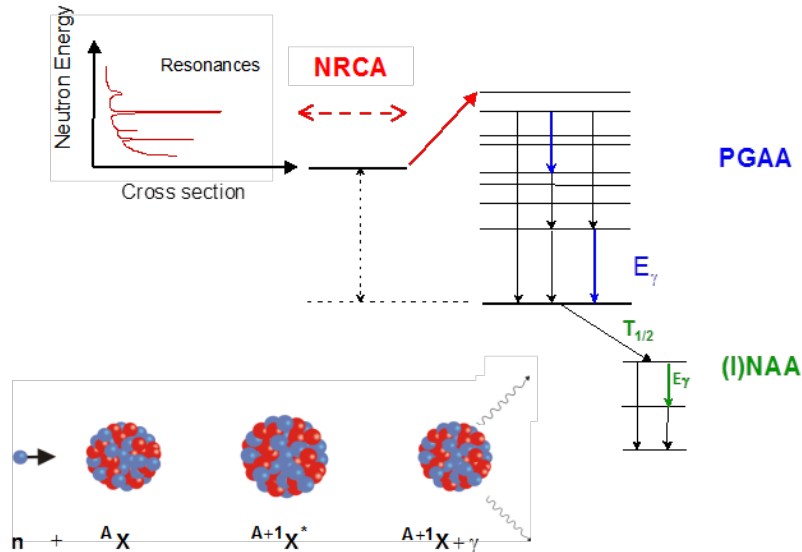
A neutron

- Tömeg: $m=939 \text{ MeV}/c^2$
- Töltés: $Q=0$
- Mágneses momentum: $\mu=-1,9 \mu_N$; Spin: $1/2$



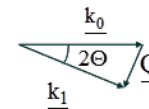
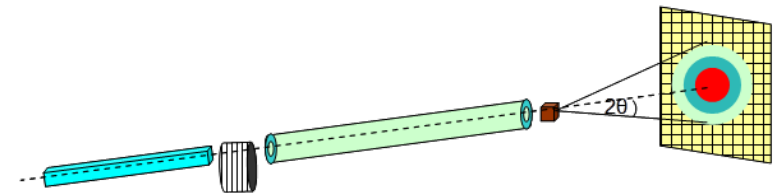
KÖLCSÖNHATÁSAI AZ ANYAGGAL

Sugárzásos befogás – (n,γ) reakció



Elemösszetétel: NRCA, PGAA, INAA

Szóródás (rugalmas v. rugalmatlan)



$$Q = k_1 - k_0$$

$$|k_1| = |k_0|$$

$$Q = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \Theta$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Szerkezet: SANS, TOF-ND

A NEUTRON

TELJESSÉGGEL ELEGET TESZ

A RONCSOLÁS MENTESSÉG KÖVETELMÉNYÉNEK!

- A neutron – semleges részecske – mélyen behatol a mintába
- Nagyméretű tárgyak helyezhetők a nyálábba – mintavétel nélkül
- Az indukált radioaktivitás *általában* gyorsan lecseng

ARCHEOMETRIÁBAN KORÁBBAN ALKALMAZOTT „NEUTRONOS” MÓDSZEREK

I. NEUTRONOK BEFOGÁSÁN ALAPULÓ MÓDSZEREK / Összetétel

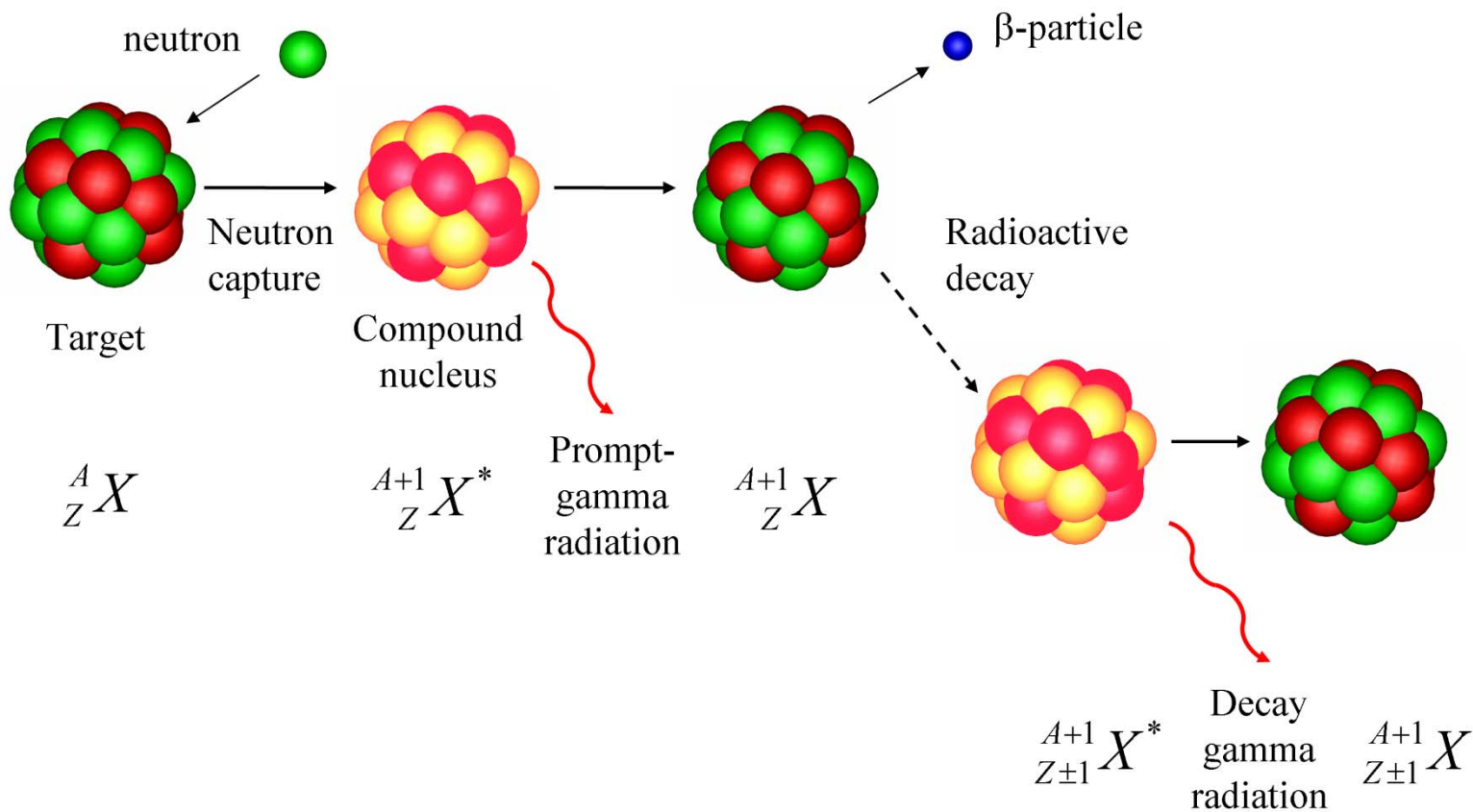
- 1, Hagyományos neutronaktivációs analízis (**INAA**)
- 2, Neutronaktivációs autoradiográfia (**NAAR**)
- 3, Prompt-gamma aktivációs analízis (**PGAA**)
- 4, Neutron rezonancia-befogásos analízis (**NRCA**)
- 5, Neutron tomográfia (**NT**) / **Képalkotás**

II. NEUTRONOK SZÓRÓDÁSÁN ALAPULÓ MÓDSZEREK / Szerkezet

- 1, Neutrodiffrakció (**ND**)
- 2, Kiszögű neutronszórás (**SANS**)

A PGAA MÓDSZER

A PGAA FIZIKAI ALAPJA

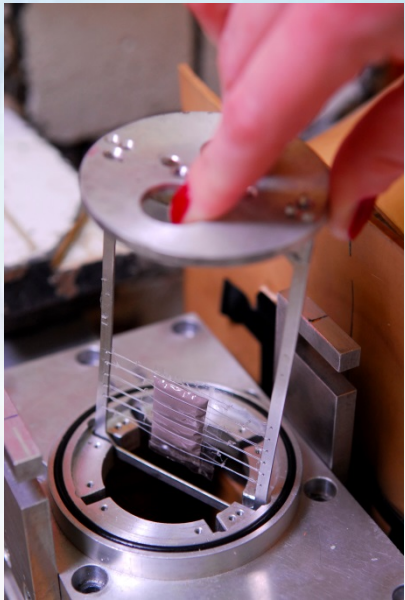
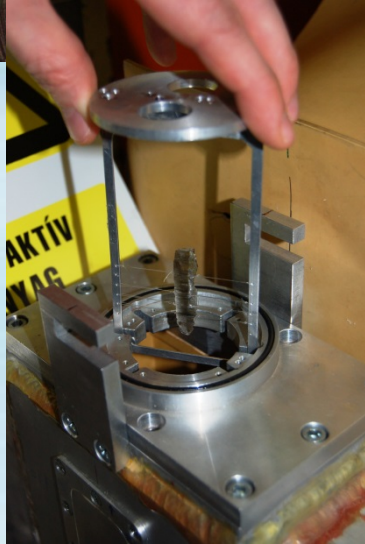


A BUDAPESTI PGAA FŐBB JELLEMZŐI

- 1996-2000 $2.5 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ termikus nyaláb
- 2000-2007 $5 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ hidegneutron nyaláb
- 2008- $1 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ hidegneutron nyaláb
- **'Sokelemes'** (fő- és nyomelemek)
- Minimális mintaelőkészítés
- **Roncsolásmentes** (nincs hosszú életű radioaktivitás, ill. mechanikai károsodás)
- Az átlagos elemösszetétel a fizikai, ill. kémiai formától függetlenül mérhető
- Archeometriai alkalmazások az **IKI**-ben **1998**-tól

A PGAA és a NIPS-NORMA berendezés





A BUDAPESTI PGAA KÖZELÍTŐ KIMUTATÁSI HATÁRAI

Element		Detection Limit [ppm]																																																																									
stable isotope		0.01-1																																																																									
atomic weight		1-10																																																																									
σ - capture		10-100																																																																									
σ - scattering		100-1000																																																																									
		>1000																																																																									
		no data																																																																									
H 1 1.00794 0.3326 b 82.02 b	He 3-4 4.002602 0.007 b 1.34 b	B 10-11 10.811 767 b 2.7 b	C 12-13 12.011 0.00350 b 5.51 b	N 14-15 14.00674 1.9 b 11.51 b	O 16-17 15.9994 0.00019 b 4.232 b	F 19 18.998 0.0096 b 4.018 b	Ne 20-21-22 20.1797 0.039 b 2.628 b	Na 23 22.98977 0.530 b 3.26 b	Mg 24-25-26 24.305 0.063 b 3.71 b	Al 27 26.9815 0.231 b 1.503 b	Si 28-29-30 28.0855 0.171 b 2.167 b	P 31 30.9738 0.172 b 3.312 b	S 32-33-34-36 32.066 0.53 b 1.726 b	Cl 35-37 35.4527 3.5 b 16.8 b	Ar 36-38-40 39.948 0.675 b 0.683 b	K 39-40-41 39.0983 3.1 b 1.96 b	Ca 40-42-43-44 40.078 37.5 b 23.5 b	Sc 45 44.9559 27.5 b 23.5 b	Ti 46-47-48 47.867 6.09 b 4.35 b	V 50-51 50.9415 5.08 b 5.10 b	Cr 50-52-53-54 51.9961 3.05 b 3.49 b	Mn 55 54.9380 3.2 b 2.15 b	Fe 54-56-57-58 55.845 9.56 b 11.62 b	Co 59 58.9332 37.18 b 5.6 b	Ni 58-60-61-62-64 58.6934 4.49 b 18.5 b	Cu 63-65 63.546 3.78 b 8.03 b	Zn 64-66-67-68-70 65.39 2.75 b 6.38 b	Ga 69-71 69.723 2.75 b 6.83 b	Ge 70-72-73-74-76 72.61 2.20 b 8.60 b	As 75 74.9216 4.5 b 5.50 b	Se 74-76-77-78-80 78.96 11.7 b 8.30 b	Br 79-81 79.904 6.9 b 5.90 b	Kr 78-80-82-83-84-86 83.8 25 b 7.68 b	Rb 85-87 85.4678 0.38 b 6.8 b	Sr 84-86-87-88 87.62 1.28 b 6.25 b	Y 89 88.90585 1.28 b 7.70 b	Zr 90-91-92-94 91.224 0.185 b 6.46 b	Nb 93 92.90638 1.15 b 6.255 b	Mo 92-94-95-96-97-98-99-100 95.94 2.48 b 5.71 b	(Tc) (98)	Ru 96-98-99-100-101-102-104 101.07 2.56 b 6.6 b	Rh 103 102.9055 144.8 b 4.6 b	Pd 102-104-105-106-108-110 106.42 6.8 b 4.48 b	Ag 107-109 107.8682 63.3 b 4.99 b	Cd 112-111-112-113-114-116 112.411 2520 b 6.5 b	In 113-115 114.818 193.8 b 2.62 b	Sn 112-114-115-116-117-118-119-120-122-124 118.71 0.626 b 4.892 b	Sb 121-123 121.76 4.91 b 3.90 b	Te 127-128-129-130-132-134-136 127.6 4.7 b 4.32 b	I 127 126.90447 6.15 b 3.81 b	Xe 124-126-128-129-130-131-132-134-136 131.29 23.9 b -	Cs 133 132.90545 29.0 b 3.90 b	Ba 130-132-134-135-136-137-138 137.327 1.1 b 3.38 b	La 138-139-140-142-144-146 138.9055 8.97 b 9.66 b	Hf 174-176-177-179 178.49 104.1 b 10.2 b	Ta 180-181-182-183-184-186 180.9497 20.6 b 6.01 b	W 180-182-183-184-186 183.84 18.3 b 4.60 b	Re 185-187 186.207 89.7 b 11.5 b	Os 184-186-187-188-189-190-192 190.23 13.0 b 14.7 b	Ir 191-193 192.217 425 b 14 b	Pt 190-192-194-195-196-198 195.08 195.08 11.71 b	Au 197 196.96655 98.65 b 7.73 b	Hg 196-198-199-200-201-202 200.59 372.3 b 26.8 b	Tl 203-205 204.3833 3.43 b 9.89 b	Pb 204-206-207-208-209 207.2 0.171 b 11.12 b	Bi 209 208.98038 0.0338 b 9.156 b	(Po) (209)	(At) (210)	(Rn) (222)	(Fr) (223)	(Ra) (226)	(Ac) (227)	104	105	106

Ce 136 138 140 142.115 0.63 b 2.94 b	Pr 141 140.90765 1.1 b 2.66 b	Nd 142 143 144 146 144.24 51 b 16.6 b	(Pm) (145)	Sm 144 147 148 149 150.36 222 b 16.6 b	Eu 151 153 151.965 4530 b 9.2 b	Gd 152 154 155 156 157 158 160 157.25 700 b 16.6 b	Tb 159 158.92534 23.4 b 6.84 b	Dy 156 158 160 161 162.5 994 b 90.3 b	Ho 165 164.93032 64.7 b 8.42 b	Er 162 164 166 167.26 170 b 159 b 8.7 b	Tm 169 168.93421 100 b 6.38 b	Yb 168 170 171 172 173 174 176 173.04 34.8 b 23.4 b	Lu 175 176 174.976 74 b 7.2 b	Th 232 232.03805 7.37 b 13.36 b	(Pa) (231)	U 235 238 238.0289 175.9 b 8.9 b	(Np) (239)	(Pu) (244)	(Am) (243)	(Cm) (247)	(Bk) (247)	(Cf) (251)	(Es) (252)	(Fm) (257)	(Md) (258)	(No) (259)	(Lr) (261)
--	---	---	---------------	--	---	---	--	---	--	--	---	--	---	---	---------------	--	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

PGAA ALKALMAZÁSOK

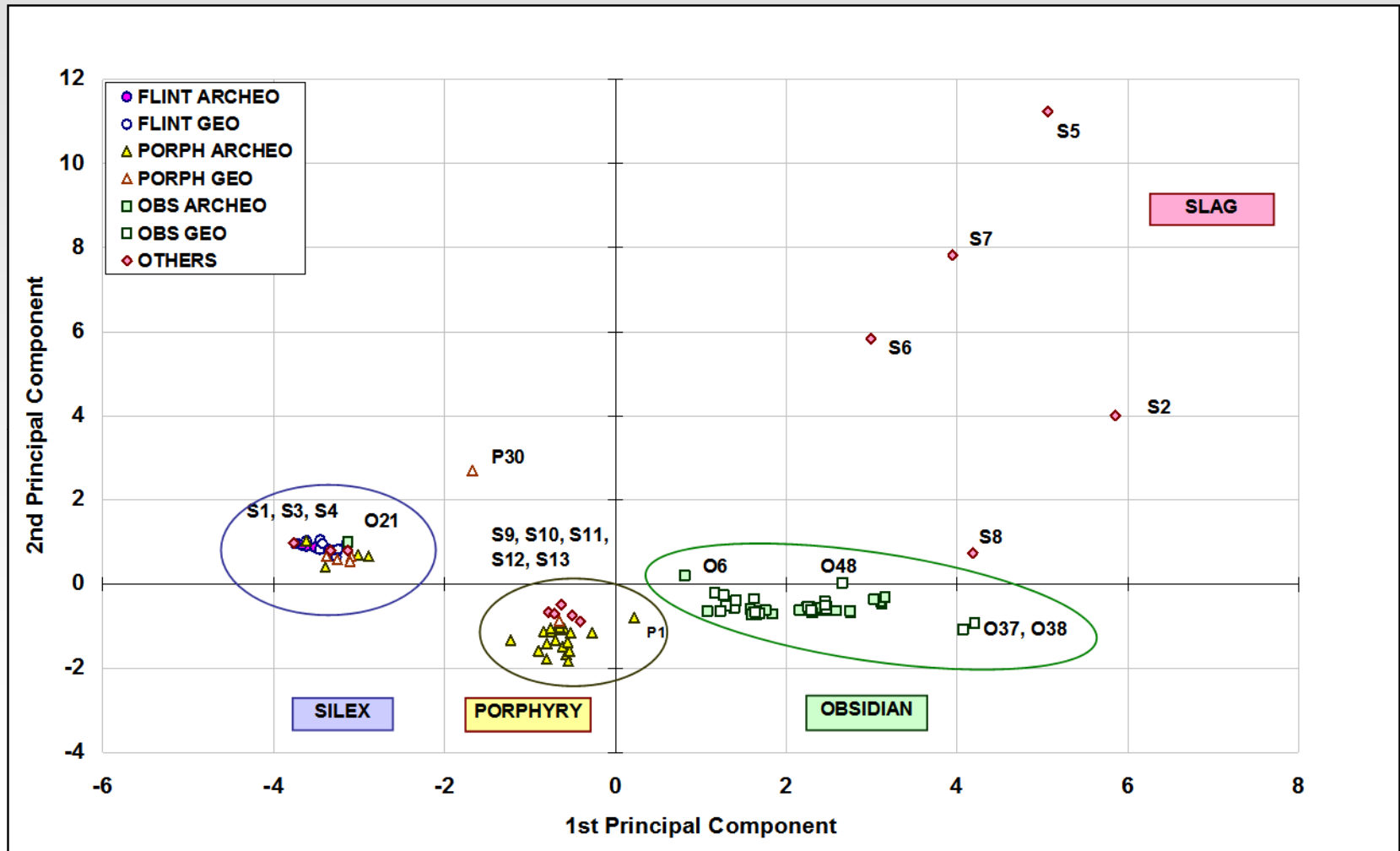
PATTINTOTT KŐESZKÖZÖK EREDETÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Paleolitikum: ~ 400000-9000 BP

Magyar Nemzeti Múzeum



A KÜLÖNBÖZŐ NYERSANYAGÚ KŐESZKÖZÖK OSZTÁLYOZÁSA



CSISZOLT KŐESZKÖZÖK

Magyar Nemzeti Múzeum,

ELTE Közöttan-Geokémiai Tanszék

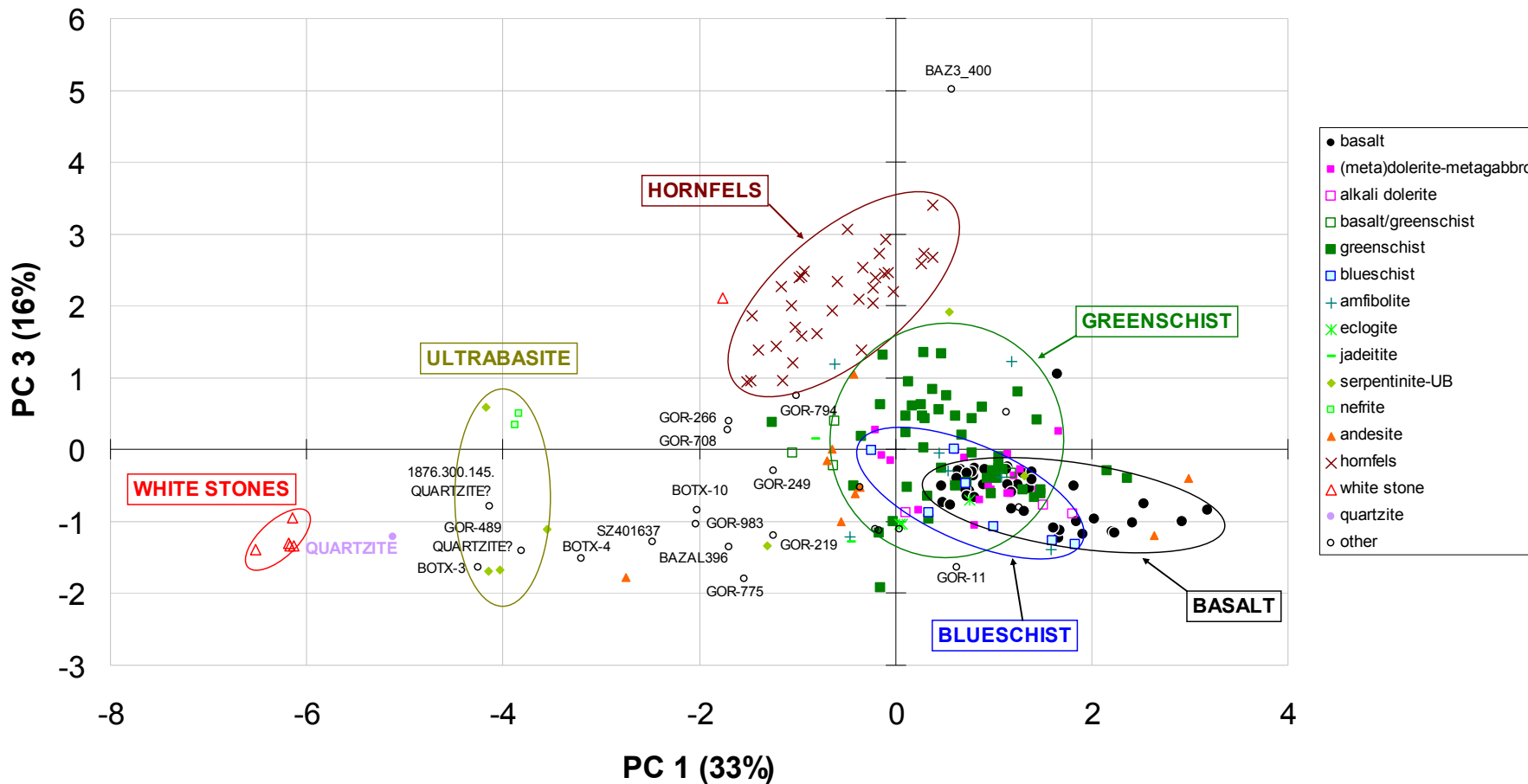


Neolitikum: ~ 9000-5000 BP



Fő kőzet típusok – Principal Component Analyses

PCA 1 and 3 (49%) for major elements



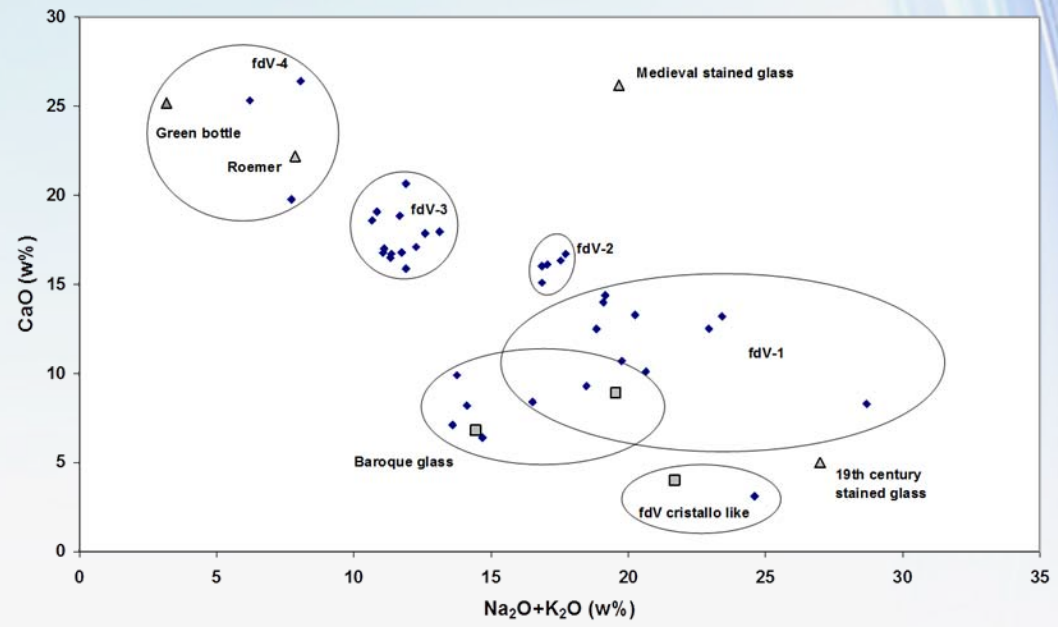
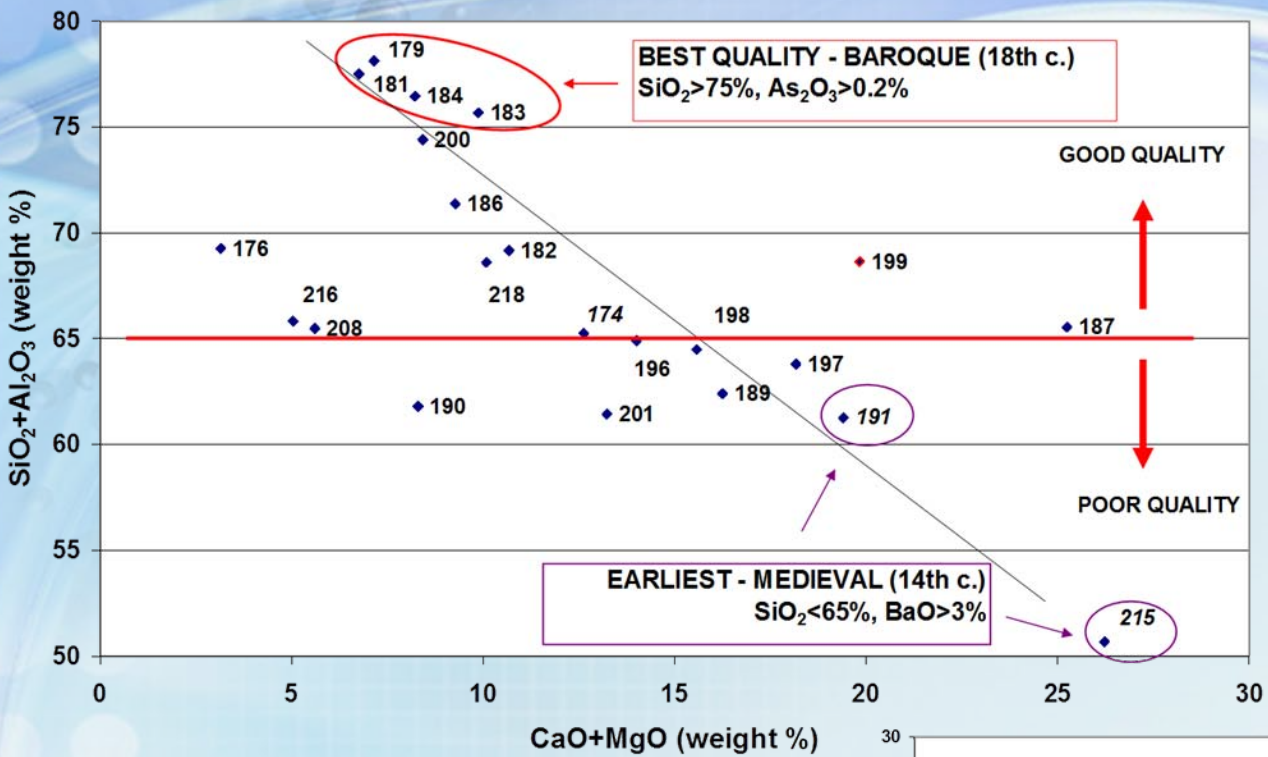
KERÁMIÁK

Simón Bolívar University, Caracas



VENEZUELAI KERÁMIA LELETEK





16th-17th c. fdV (Venetian) goblets



FÉMEK



Előzmény...

Archaeometry 26. 1 (1984), 96–103. Printed in Great Britain

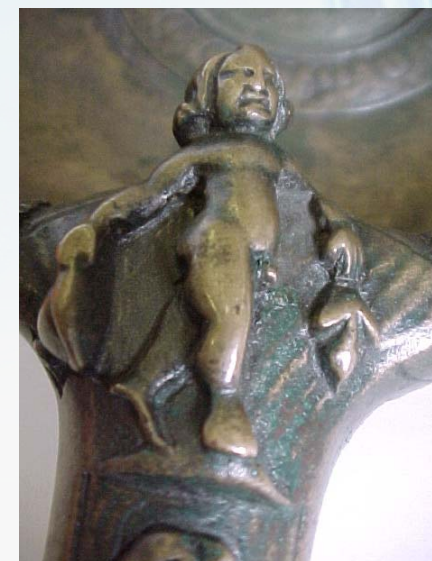
ANALYSIS OF COPPER-BASED METALLIC ARTIFACTS BY PROMPT GAMMA-RAY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS

M. D. GLASCOCK, T. G. SPALDING

The Research Reactor Facility, University of Missouri, Columbia, Mo. 65211, U.S.A.

J. C. BIERS and M. F. CORNMAN

The Museum of Art and Archaeology, University of Missouri, Columbia, Mo. 65211, U.S.A.



RÓMAI BRONZ FIBULÁK ÉS ÉRMEK

(MTA Régészeti Intézete)



- **Hegyeshalmi temető:** Korai (II.sz.) / Késői (IV.sz.)
mellékletek: **26 fibula** és összesen **383 pénzérme**
- A pénzek alapján a sírok 10-20 év biztonsággal keltezhetők
A "hagymafejes" fibulák belső kronológiája alaki jegyek alapján nem állapítható meg
- **Cél:** Összetétel alapján osztályozás, következtetés a műhelyre, kereskedelemre, stb.
- **Probléma:** A nyersanyag újrafelhasználása

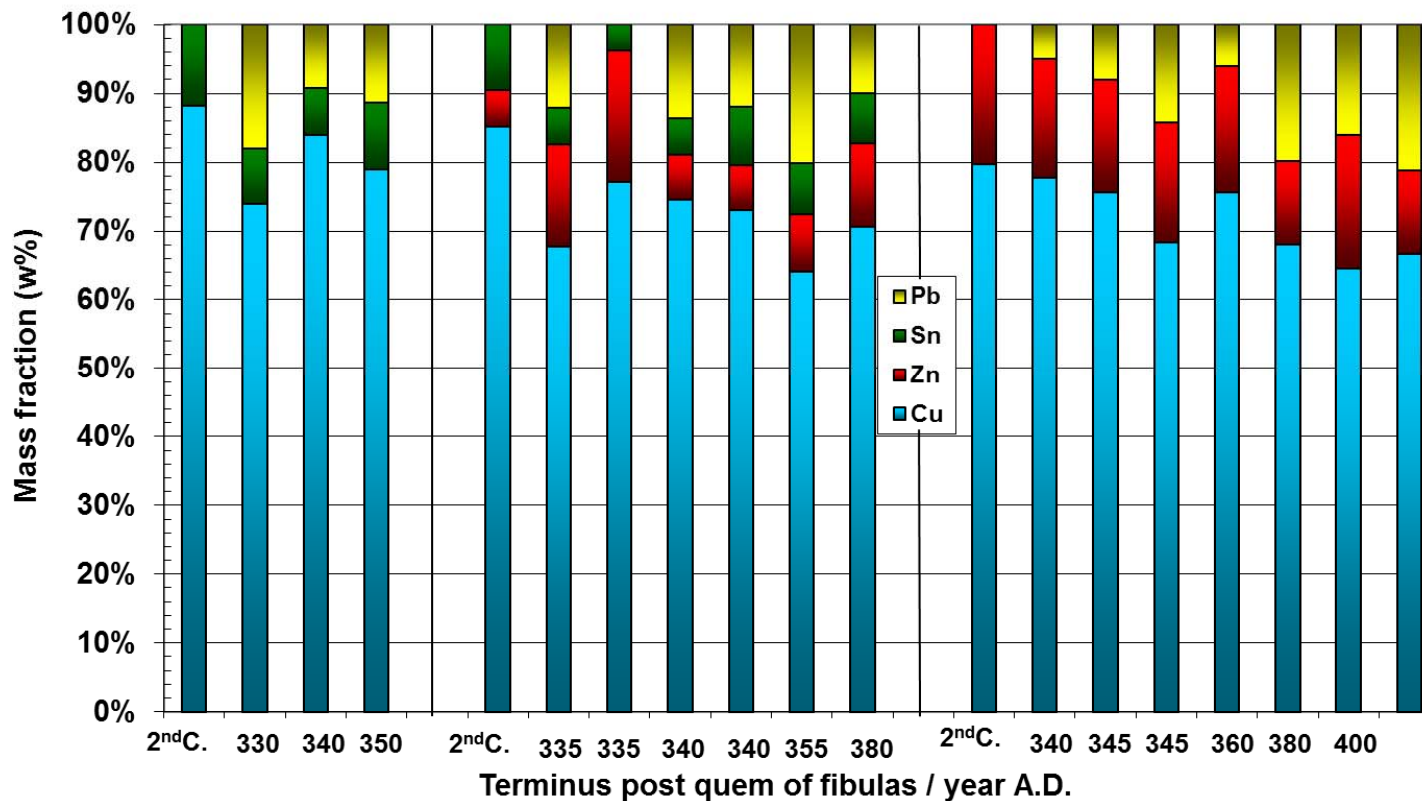


II-IV. sz. római fibulák, Hegyeshalom

Vaday Andrea MTA Régészeti Intézet



MAIN COMPONENTS OF BRONZE FIBULAS

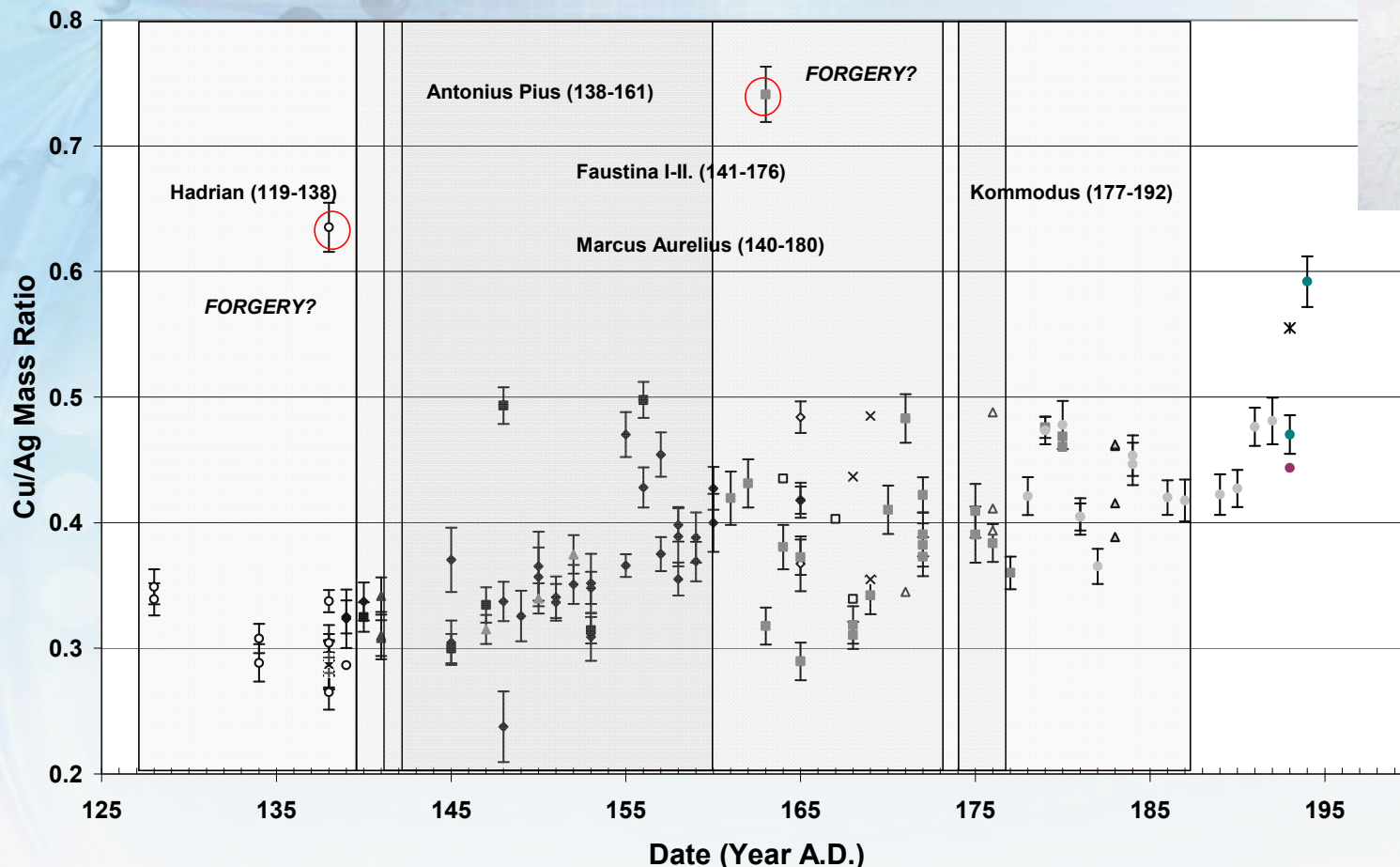


Cu, Sn, Zn, Pb, esetenként As, Sb mérése

Sn és Pb kimutatási határa túl magas (1-2%)

Római ezüst érmek

Inst. of Nuclear Chemistry and Technology, Varsó



- Cu/Ag arány mérése
- Jelentős, de láthatatlan Ag veszteség → „infláció”
- XRF-fel (felületi) nem mérhető
- Hamisítványok azonosíthatók

ZÁRÓ MEGJEGYZÉSEK

- A PGAA jól alkalmazható különböző anyagú (kő, kerámia, üveg, fémek) régészeti leletek összetételének vizsgálatára.
- A PGAA roncsolásmentes volta – a kisebb érzékenység ellenére is – felülmúlhatatlan előny.
- A fő- és nyomelem koncentrációk alkalmasak (lehetnek) a leletek osztályozására, ill. eredetének meghatározására.
- A régészeti, ill. geológiai referencia minták minél nagyobb száma kívánatos.
- A PGAA nem „mindenható”, kiegészítő módszerek alkalmazása ajánlott.
- Méréstechnikai szempontból az érzékenység növelése, ill. a térbeli összetétel-eloszlás („elemtérkép”) mérése fontos irány.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



FÜGGELÉK

AZ ELEMÖSSZETÉTEL KISZÁMÍTÁSA

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

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

m : az adott elem tömege

S : érzékenység

A_E : csúcsterület

N_A : Avogadro-szám

M : mólsúly

θ : Izotópgyakoriság

σ_0 : neutronbefogási hatáskeresztmetszet

I_γ : gammahozam

Φ_0 : neutron intenzitás

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

Bevezetve a fluxus-
független állandót

$$k_{0,c}(X) = \frac{(\theta \cdot \sigma_0 \cdot I_\gamma / M)_X}{(\theta \cdot \sigma_0 \cdot I_\gamma / M)_C}$$

$$\frac{m_X}{m_Y} = \frac{A_X}{A_Y} \cdot \frac{S_{\gamma,Y}}{S_{\gamma,X}} = \frac{A_X}{A_Y} \cdot \frac{k_{0,c}(Y)}{k_{0,c}(X)} \cdot \frac{\varepsilon_{\gamma,Y}}{\varepsilon_{\gamma,X}}$$

Tetszőleges két elem tömegarányát kapjuk

RÖNTGEN SPEKTROSKÓPIA – PIXE, hordozható XRF

Alkalmas:

- Felszín közeli 10-500 μm elemzésére
- Kimutatási határ 50-1000 ppm, Al-U

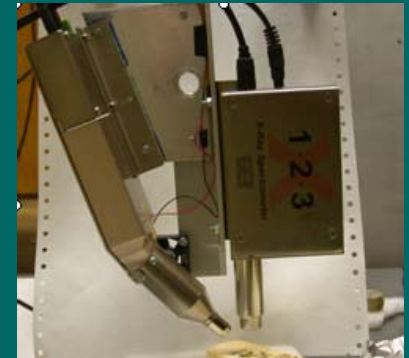
Előnyök:

PIXE

- Roncsolás mentes
- Precíz 3D pozicionálás (nagy tárgyak is)
- Minimális minta előkészítés
- Behatolási mélység 8-20 μm
- Nyalábméret: 4 mm^2

XRF

- Roncsolás mentes
- Gyors (terepi) elemzés
- Behatolási mélység 20-170 μm
- Nyalábméret: 25 mm^2



A PGAA ALKALMAZÁSA ÜVEGEK ARCHEOMETRIÁJÁBAN

- **FŐ- ÉS ADALÉK ÖSSZETEVŐK**

SiO_2 , Na_2O (>0.7%), K_2O , CaO , MgO (>1.5%),
 As_2O_3 (>0.2%), PbO (>0.5%), BaO (>1-2%), 2-3% B_2O_3 > 0.5 ppm

- **SZÍNEZŐ, OPÁLOSÍTÓ ANYAGOK**

SnO_2 (>2%). Co, Cu, Mn, Fe, Ag, Au, Hg

→ *Keltezés, gyártási technika, műhely (hamisítványok)*

- **SZENNYEZŐK**

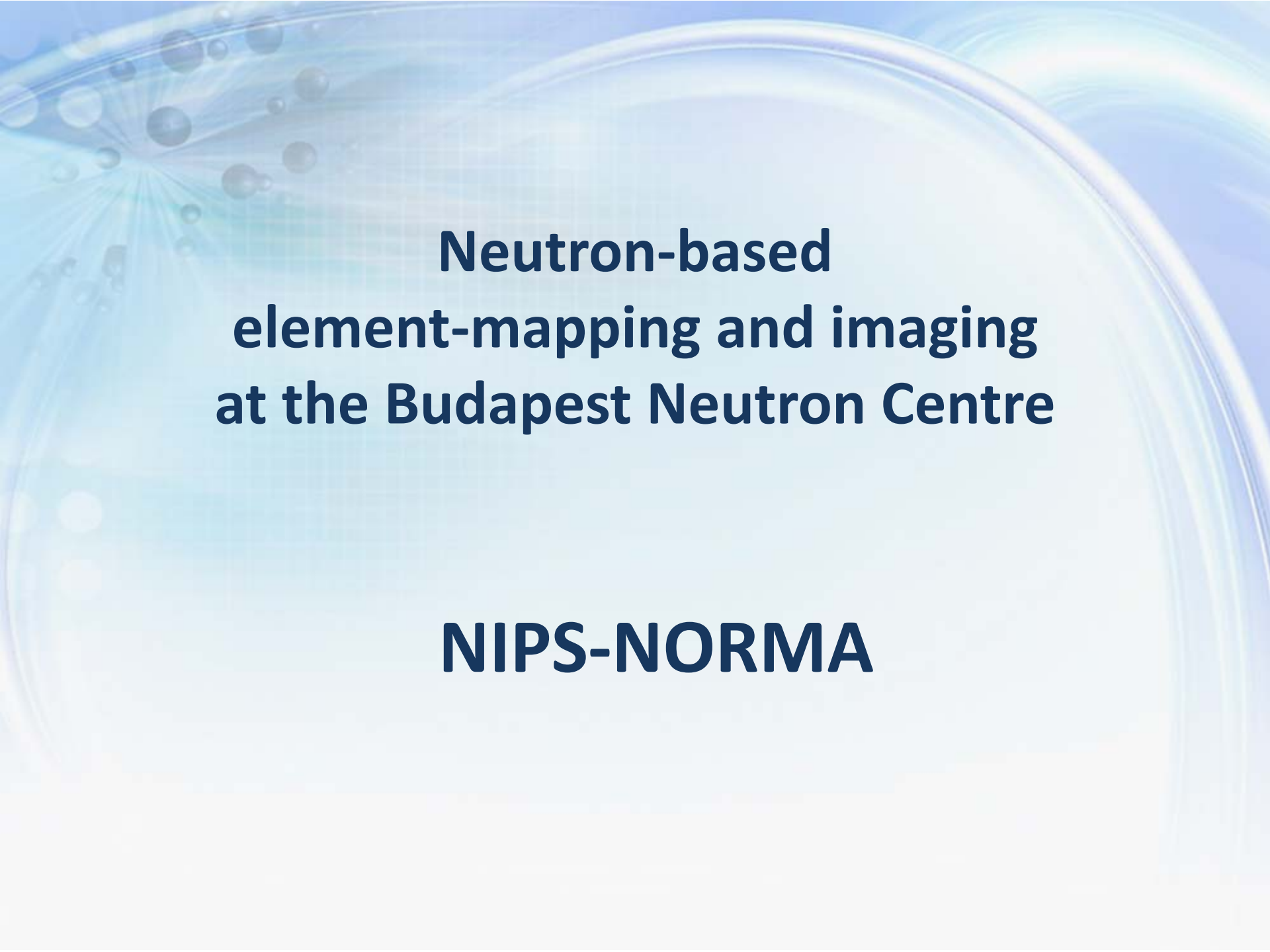
P_2O_5 (>2%), Al_2O_3 (>1%), TiO_2 , Fe_2O_3 , S(>2%), Cl

→ *Nyersanyag, eredet*

- **KILÚGOZÓDÁS: H_2O**

→ *Környezet, restaurálás*

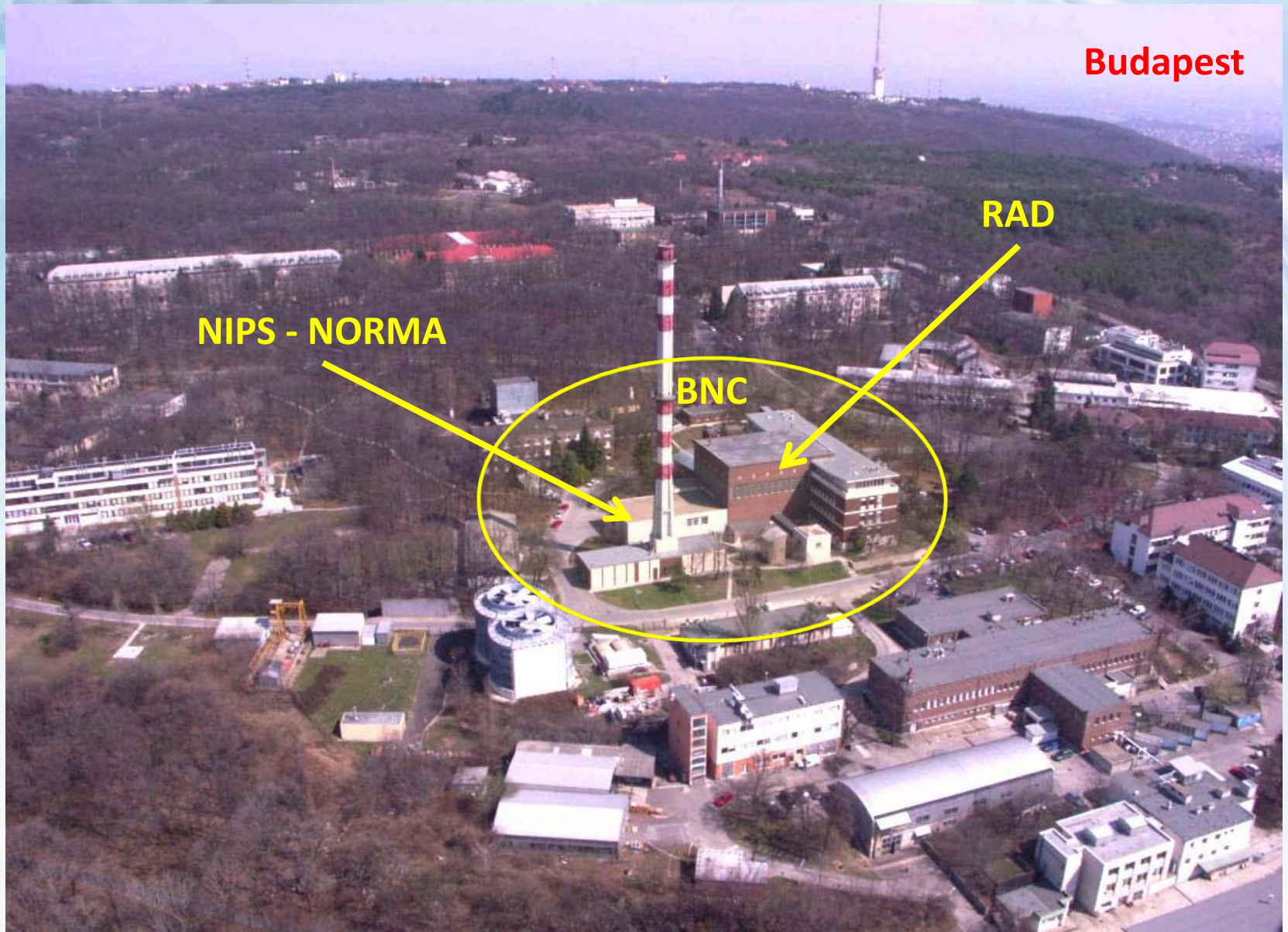
- **NEM MÉRHETŐ: Sb, Sr, Rb, Zr, Y, Zn**



**Neutron-based
element-mapping and imaging
at the Budapest Neutron Centre**

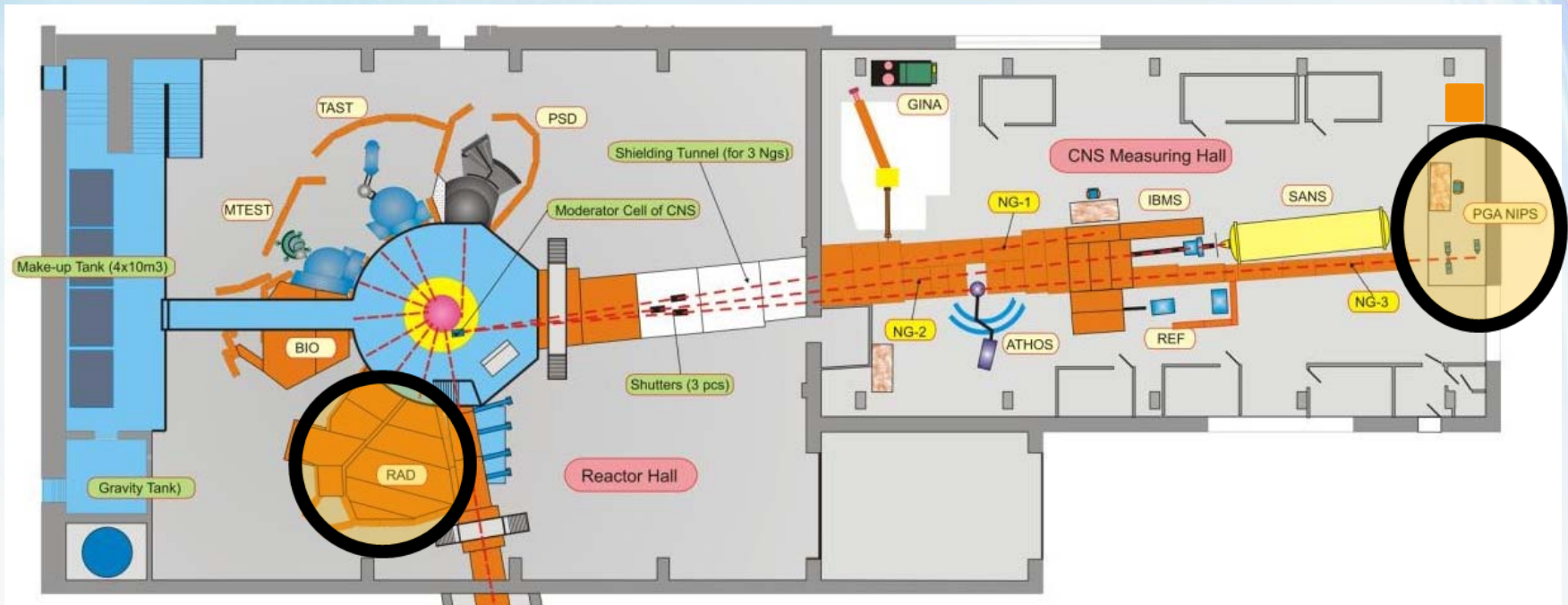
NIPS-NORMA

NIPS–NORMA and RAD at the BNC



NIPS–NORMA and RAD at the BNC

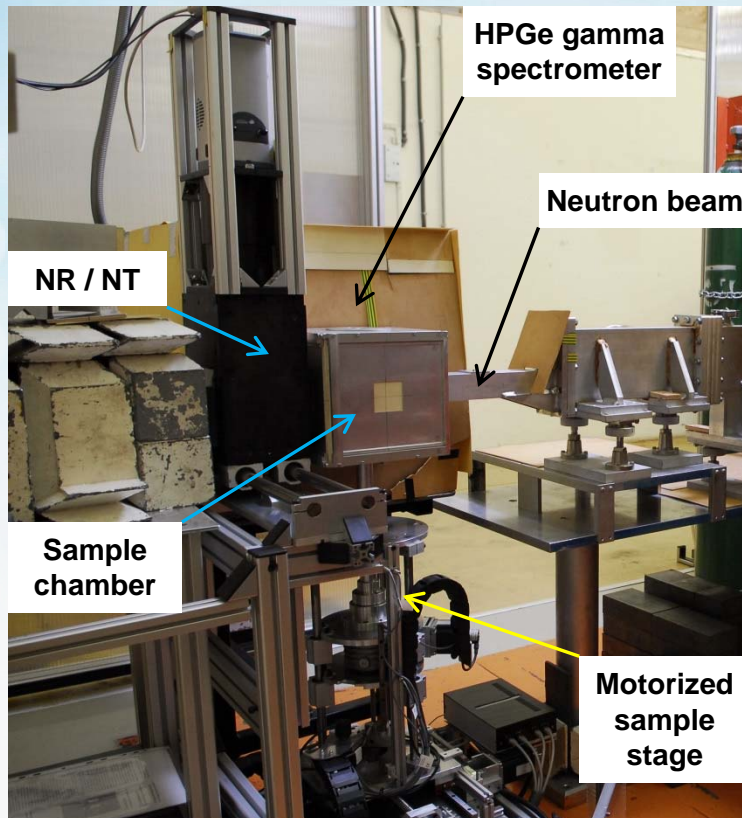
- Stations are located in the Cold Neutron Guide Hall and the Reactor Hall
- **NIPS** – Neutron Induced Prompt gamma-ray Spectrometry
- **NORMA** – Neutron Optics and Radiography for Material Analysis
- **RAD** – Static and Dynamic Neutron Imaging, X-ray and gamma-ray radiography



Characteristics of the NIPS–NORMA facility

● NIPS–NORMA, the „versatile”

- ▶ curved supermirror guides (2.5 Θ)
- ▶ various neutron and gamma collimation
- ▶ position-sensitive element analysis (PGAI)
- ▶ imaging system (NR/NT)



● Characteristics:

- ▶ cold n-spectrum: 1.5 – 2.5 – 8 Å
- ▶ no epithermal and fast components
- ▶ very low gamma-ray background
- ▶ HPGe + BGO detectors in Compton-suppression mode

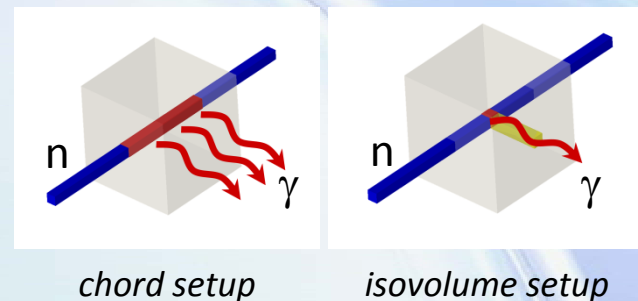
- ▶ camera: 16-bit 1 Mpx CCD
- ▶ FOV: 40×40 mm²
- ▶ L/D measured: 233
- ▶ spatial resolution: 0.2-0.5 mm
- ▶ S/N: $\sim 60000/2000 = 30$

- ▶ position accuracy:
 - ▶ translation: < 5 μm
 - ▶ rotation: < 0.002 deg

What we can offer at NIPS–NORMA

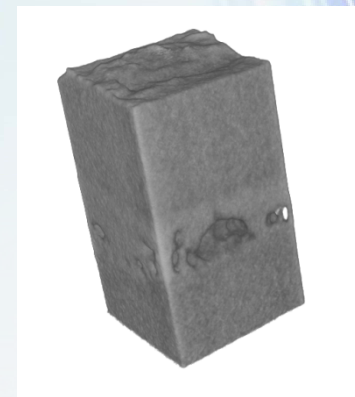
● PGAI (prompt-gamma activation imaging)

- ▶ collimating the neutron beam: *chord*
- ▶ + collimating the gamma detection: *isovolume*
- ▶ point-wise scanning: *2D/3D PGAA*
- ▶ resolution reached: *2 – 3 mm*
- ▶ very time consuming: *> days*



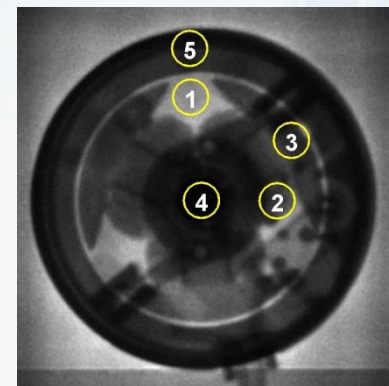
● Neutron Radiography/Tomography

- ▶ fast: *sec – hours*
- ▶ small objects: *in the range of cm's*



● Radiography/Tomography-driven PGAI

- ▶ visualize and locate the interesting regions first
- ▶ prompt-γ measurement only where it is needed
- ▶ can save substantial beam time



Egyptian Statuette

Aims:

- Determine the elemental composition of the statuette
- Compare the composition of the statuette, the goddess, the monkey figures and the palm stubs
- The origin of the iron containing palm stubs (meteoritic?)



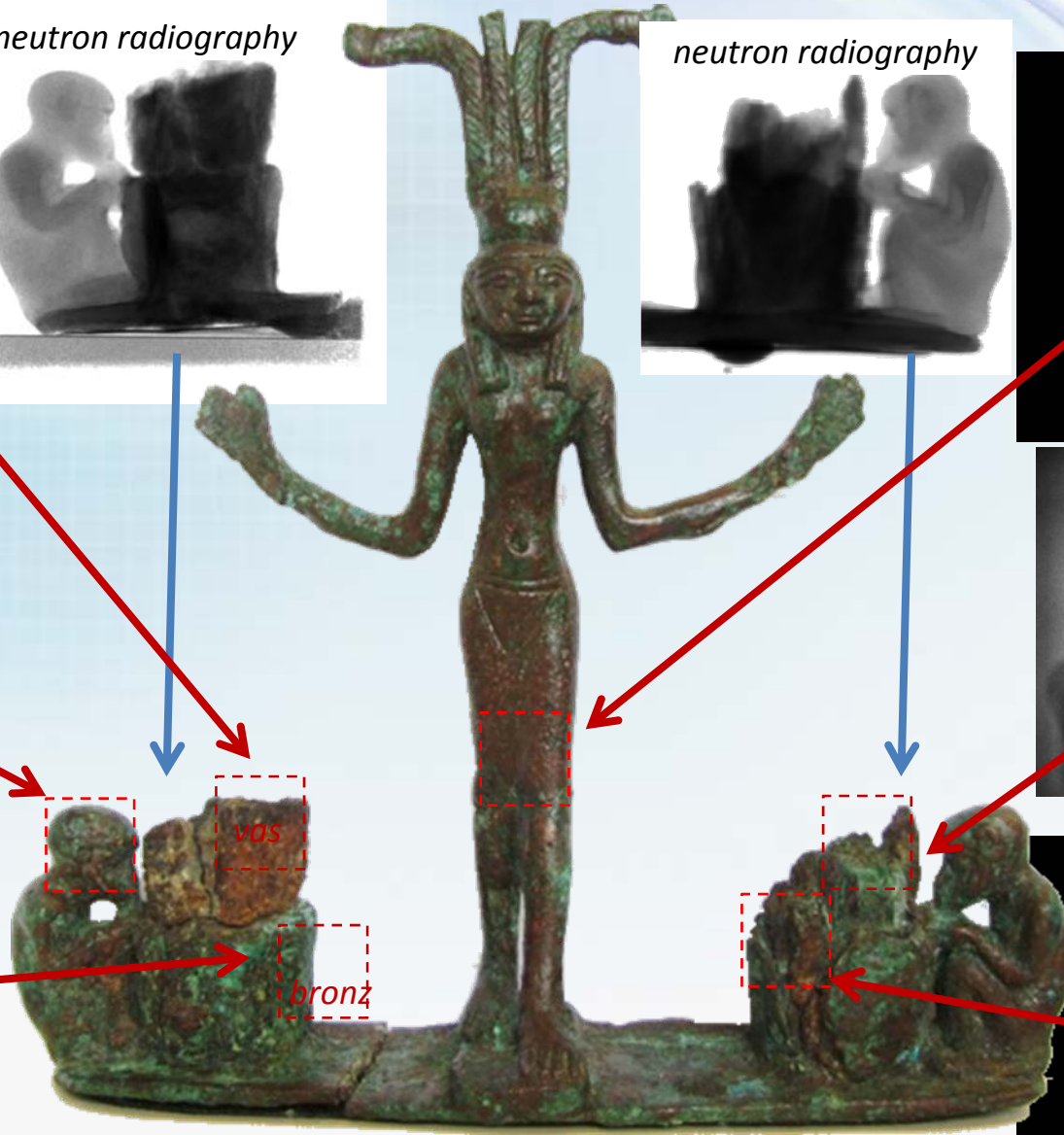
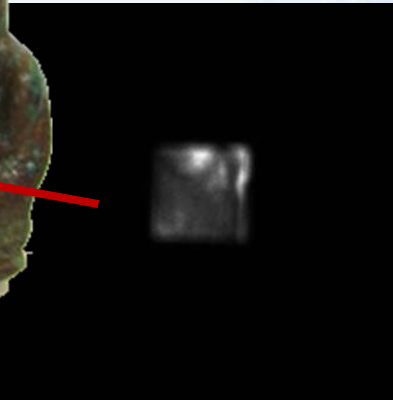
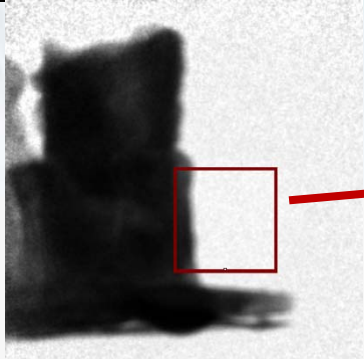
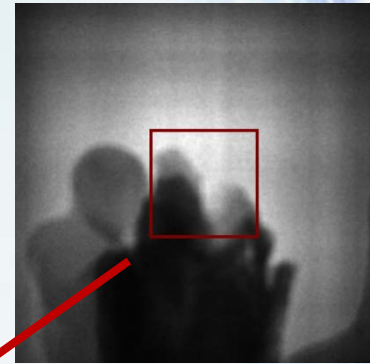
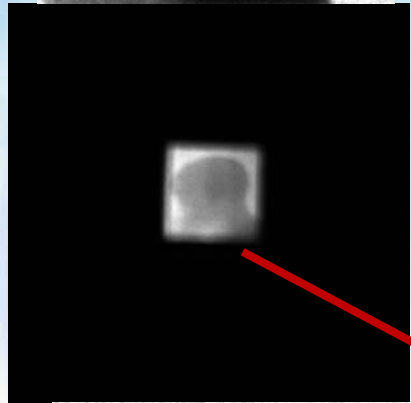
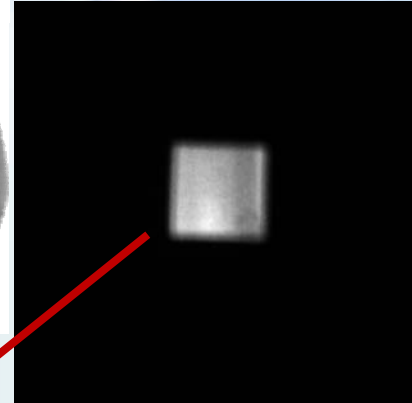
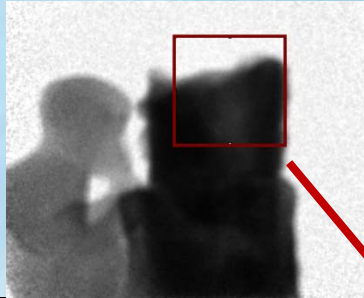
NIPS-NORMA

Egyptian Statuette

neutron radiography



neutron radiography



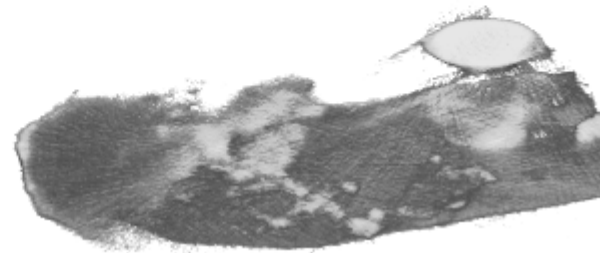
vas

bronz

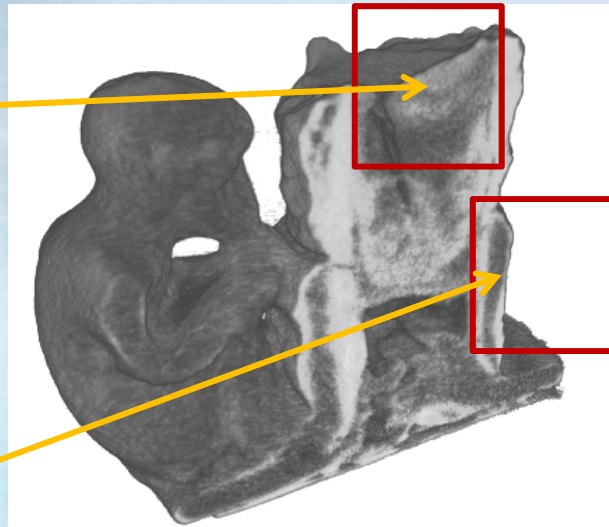
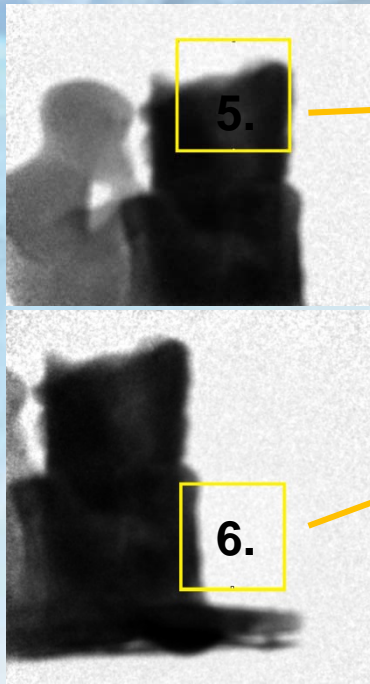
NIPS-NORMA



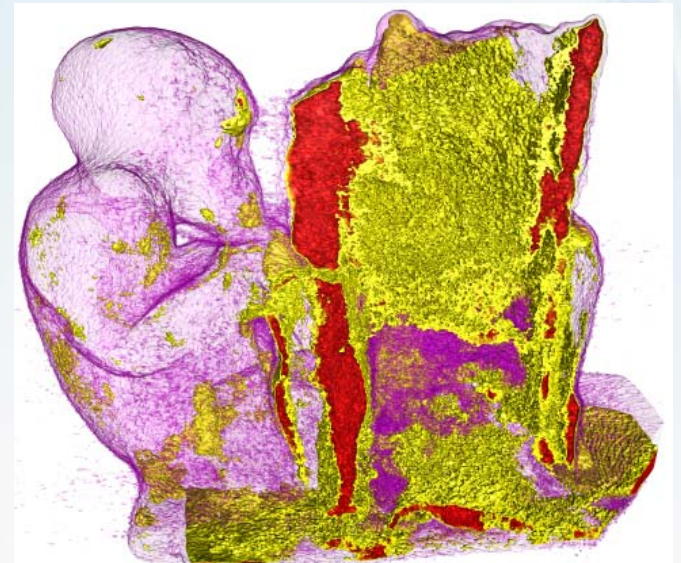
8.008 mm



NIPS-NORMA – PGAI-NT



PGAA – bulk analytical method
Neutronradiography – inhomogeneity
Combining of the results of complementary methods



NIPS-NORMA – PGAI-NT

1. Broken side, monkey head

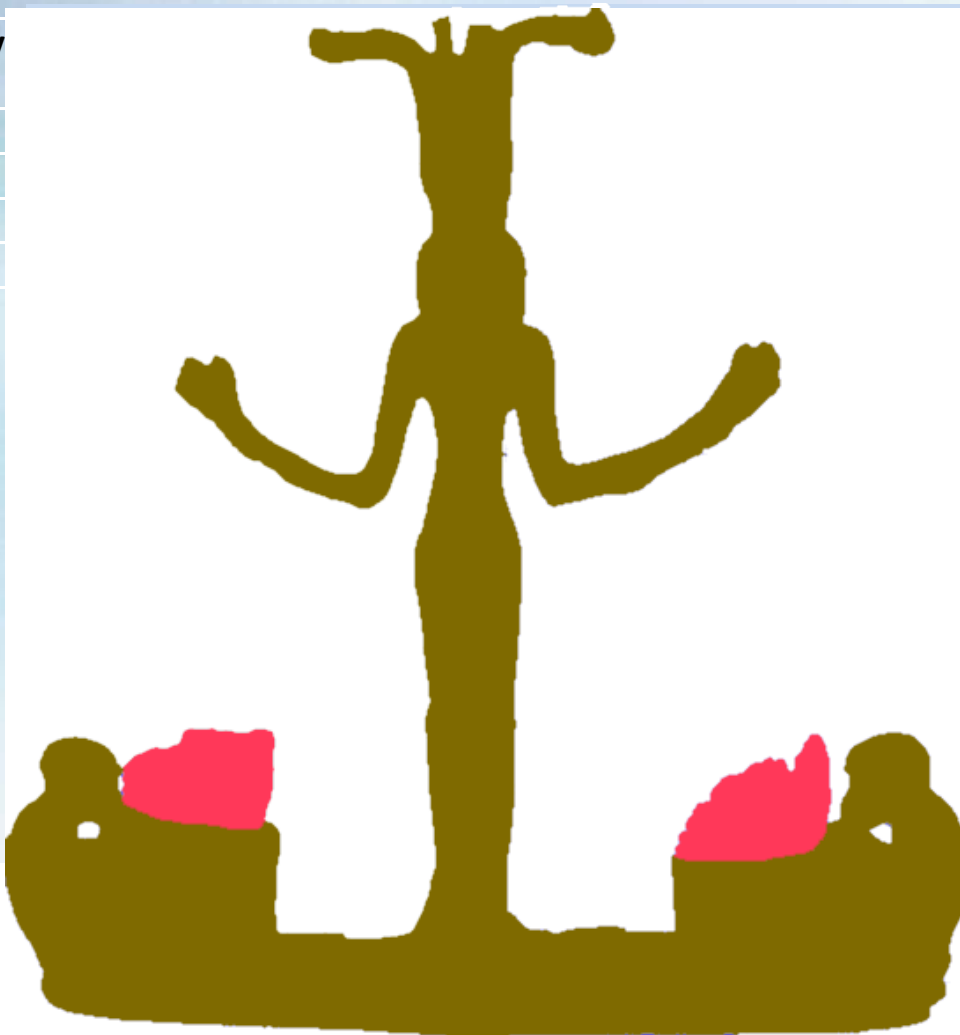
El.	wt%	±
Cu	86	0.4
Sn	14.0	0.4
Sn/Cu	0.162	0.004

4. Broken side, palm stub, iron

El.	wt%	±
K	1.1	0.1
Si	1.2	0.2
S	13.5	0.4
Mn	5.7	0.2
Fe	33	1
Cu	9.5	0.3
Sn	4.1	0.3
Pb	28	1.8
Sn/Cu	0.43	0.03

5. Broken side, palm stub, bronze

El.	wt%	±
Cu	76	1.1
Sn	12	1.2
Fe	6.4	0.3
Sn/Cu	0.16	0.01



2. Statuette, goddess leg

El.	wt%	±
Cu	86	0.4
Sn	13.8	0.4
Sn/Cu	0.160	0.005

6. Palm stub, upper

El.	wt%	±
Mn	0.42	0.02
Fe	19.4	0.4
Cu	61	0.6
Sn	8	0.5
Sn/Cu	0.131	0.010

3. Palm stub

El.	wt%	±
Mn	0.5	0.03
Cu	72	0.7
Sn	11.3	0.4
Fe	9.9	0.3
Sn/Cu	0.157	0.006

Co, Ni – not detected
PGAA D.L. (Co – 0.01 wt%; Ni –

Meteoritic origin was not confirmed



**Neutron and X-ray imaging
at the Budapest Neutron Centre**

RAD

RAD @ BNC

Characteristics:

Distance (L): 463 – 539 cm

Flux range: $4.6 - 3.38 \times 10^7 \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$

L/D = 170 – 195

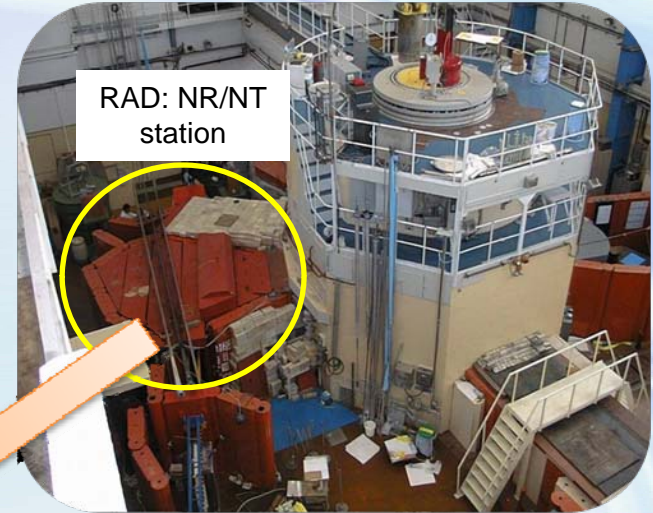
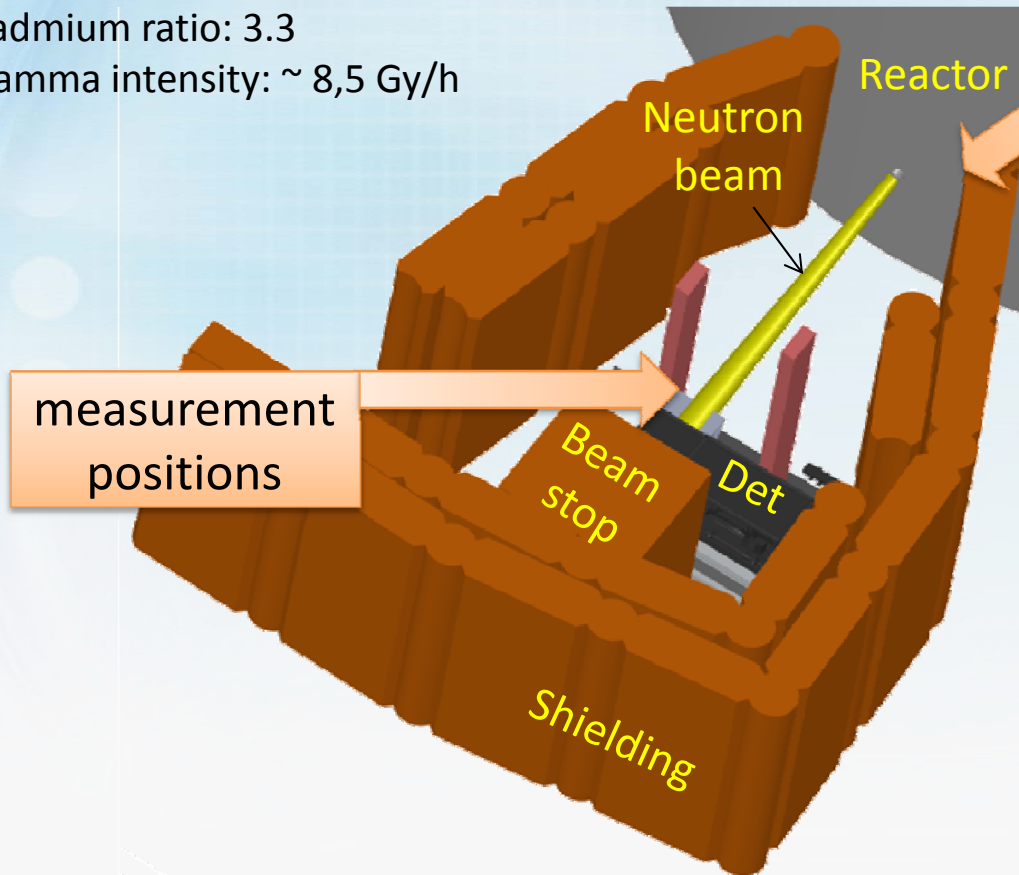
Beam size: $\varnothing 195 - 230 \text{ mm}$

$\Phi_{\text{subCd}}/\Phi_{\text{epi}} = 52$

Neutron to gamma ratio: $1.72 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}\text{mR}^{-1}$

Cadmium ratio: 3.3

Gamma intensity: $\sim 8,5 \text{ Gy/h}$



Imaging possibilities: neutron + X-ray

- 16-bit 4 Mpx sCMOS camera
- Low-light-level TV camera
- Photo-luminescent Imaging Plates

- NR/NT of larger objects (up to 250 kg)
- Larger FOV ($\sim 20 \times 20 \text{ cm}^2$) with lower spatial resolution (200-300 μm)
- Smaller FOV ($10 \times 10 \text{ cm}^2$, $4 \times 4 \text{ cm}^2$) with higher spatial resolution ($\sim 100 \mu\text{m}$)

- X-ray tubes: 25-300 keV; 5-10 mA

Improvements at RAD

● Capable of neutron, X-ray and gamma imaging

▶ static imaging:

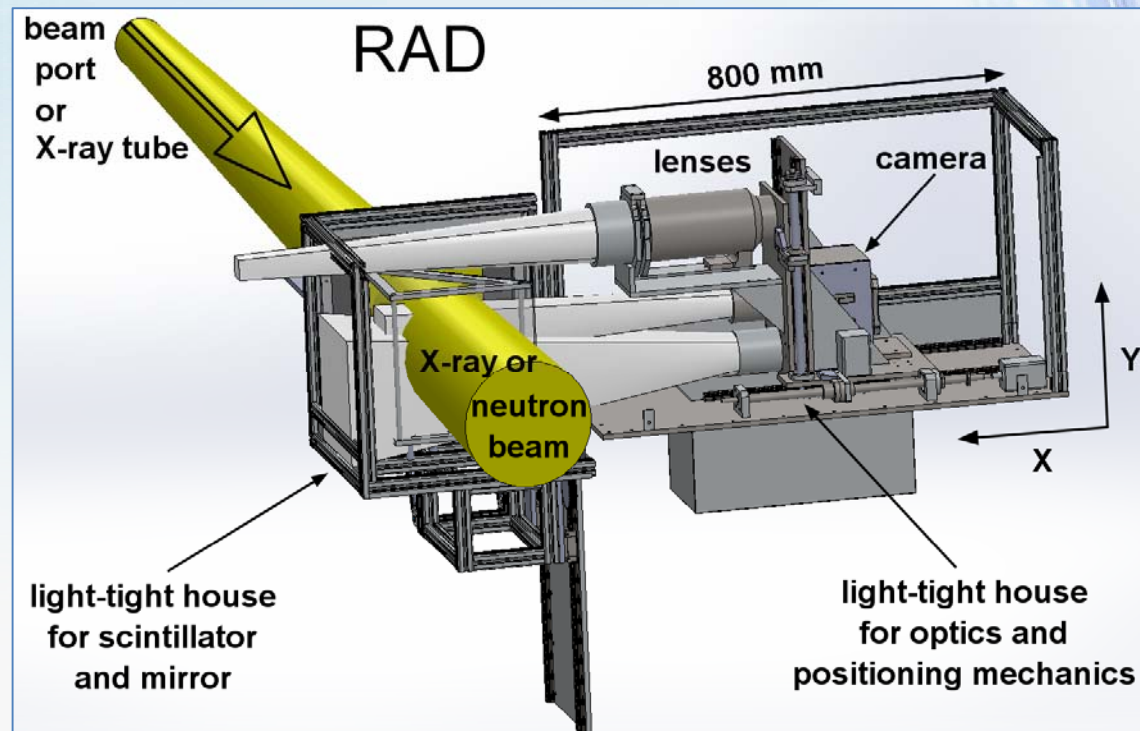
- radiography and tomography based on sCMOS camera (Andor Neo 5.5)
- neutron: $\text{Li}^6\text{F}/\text{ZnS}$, Gadox; X-ray: Gadox; gamma-ray: NaCs crystal

▶ dynamic imaging:

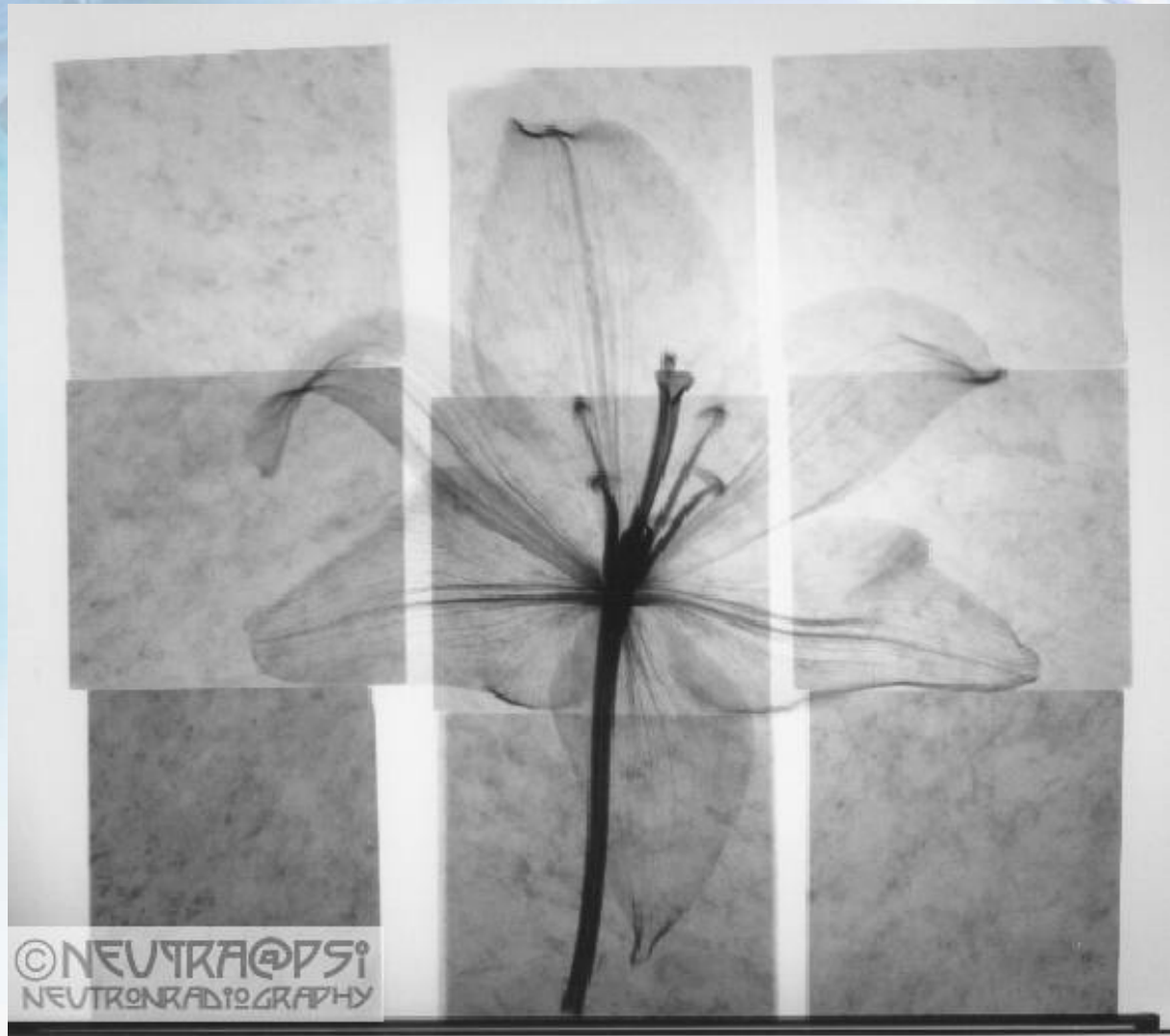
- radiography based on low-level-light analog TV camera (Vidicon tube) and digital sCMOS

▶ different field of views:

- $250 \times 250 \text{ mm}^2$ (Sigma 50mm)
- $100 \times 100 \text{ mm}^2$ (Nikon 105mm)
- $40 \times 40 \text{ mm}^2$ (Nikon 300mm)



What is in this image?



a flower ... *behind 5 cm granite wall*

Intensity and contrast (neutrons, X-ray)

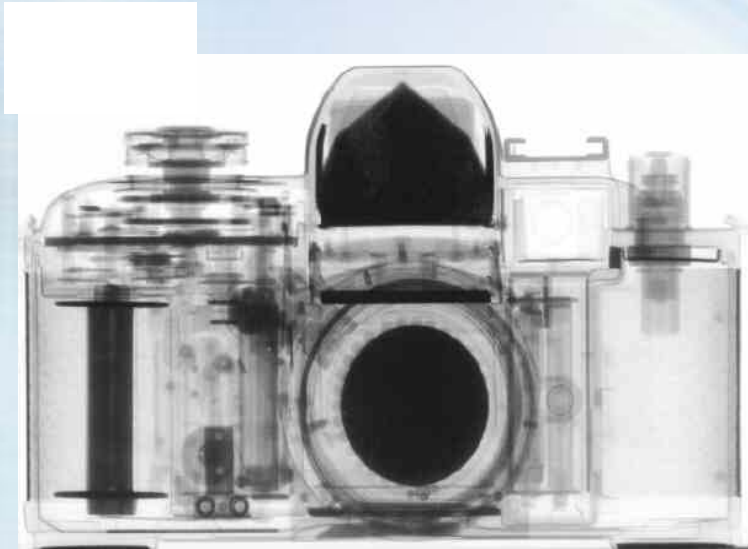
Radiographic contrast:

the difference between the intensities (grayvalues) of two adjacent areas.

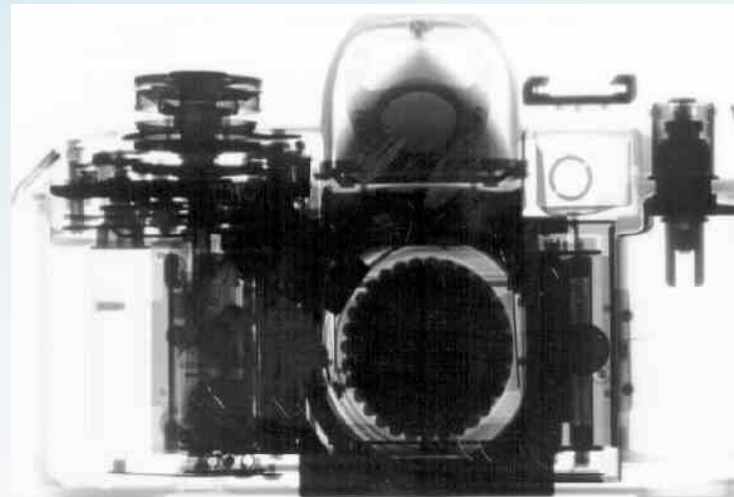
Mathematically it is the ratio of the difference and the sum of adjacent intensities.

$$\textit{contrast} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}$$

In practice a grayscale with various bit depth (12-16 bit) from black to white.



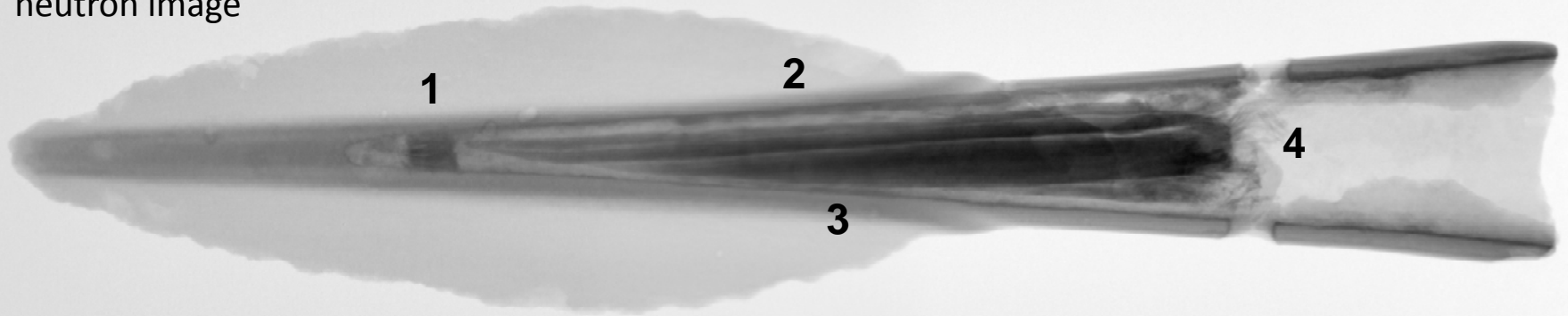
neutron



X-ray

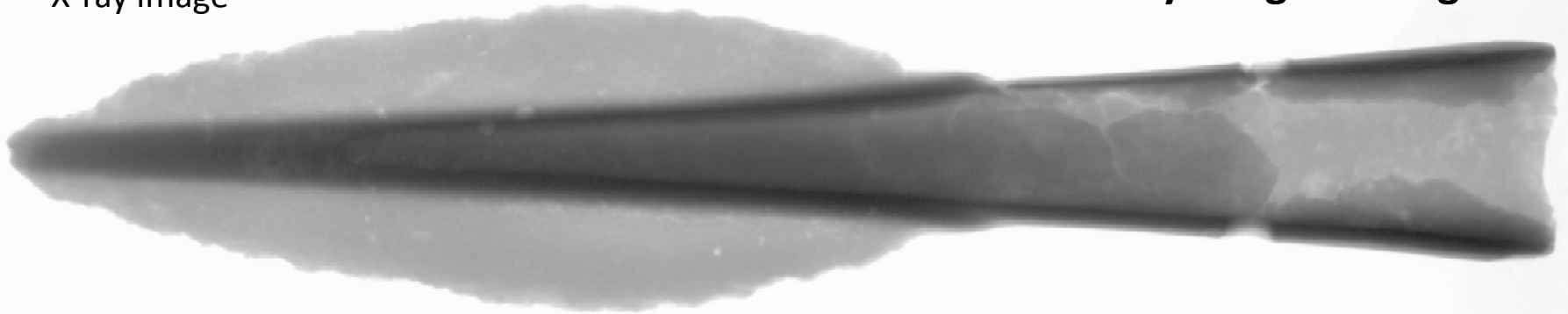
A bronze spearhead (Inv. nr.: HNM 75.1893.1200)

neutron image



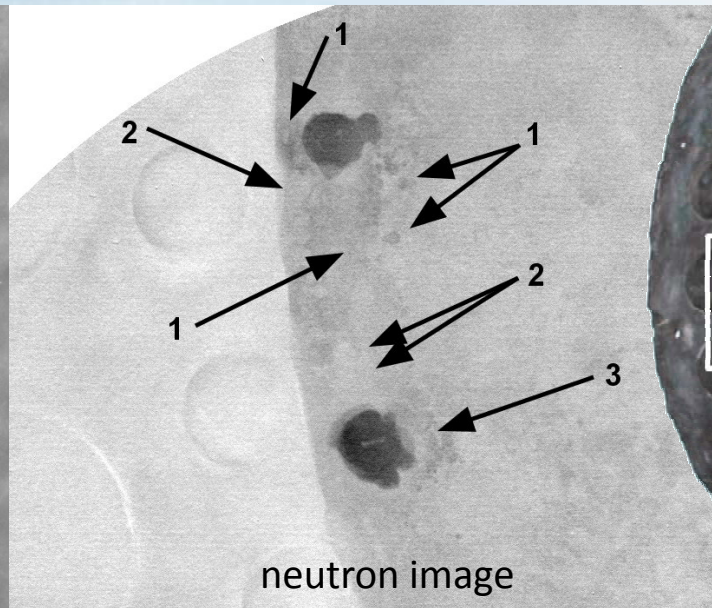
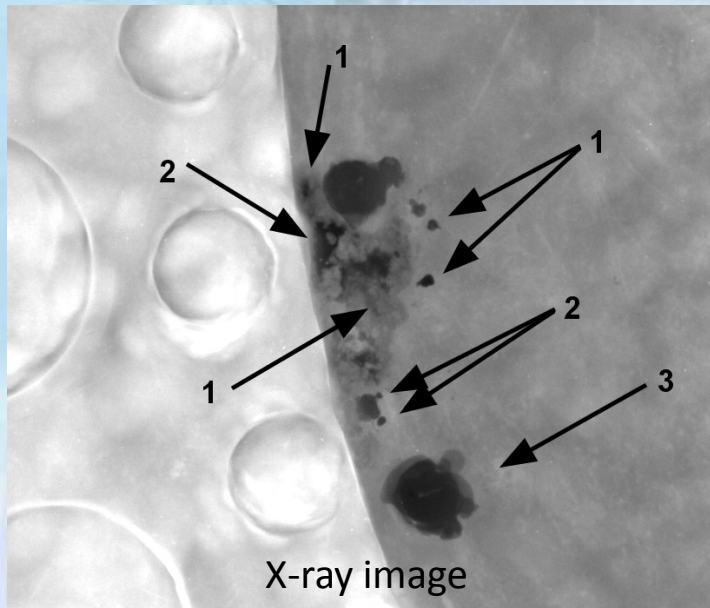
- Hollow is filled with different materials
- Not seen in the X-ray images → organic

X-ray image



1. small fibrous-like material
2. a sharp, long and slim wand
3. next to 2 a similar but thicker wand
4. around the bottom of wands a fibrous-like substance

Early Iron Age bronze shield from HNM



Do we see contrast? Cases if:

1. X-ray – yes, neutron – yes: e.g. bronze (rivet fragments)
2. X-ray – yes, neutron – no: high atomic number (e.g. lead)
3. X-ray – no, neutron – yes: low atomic number (e.g. organic)

Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

Káli György

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet

P. Fischl K.¹ – Kasztovszky Zs.² – Káli Gy.³ – Kis Z.² – Kiss V.⁴ – Maróti B.² – Mitcsenkov-Horváth E.³ – Szabó G.⁵

¹ Miskolci Egyetem, Történettudományi Intézet

² MTA Energiatudományi Kutatóközpont

³ MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

⁴ MTA BTK Régészeti Intézet

⁵ Wosinsky Mór Múzeum, Szekszárd



Gesta XIII (2014), 19–32. 19

BRONZKORI FÉMTÁRGYAK RONCSOLÁSMENTES NEUTRON ANALITIKAI VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

Journal of Analytical Atomic Spectrometry

JAAS



PAPER

[View Article Online](#)
[View Journal](#)



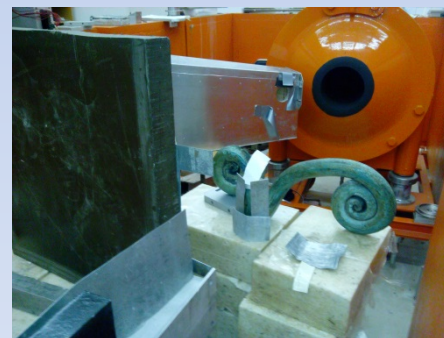
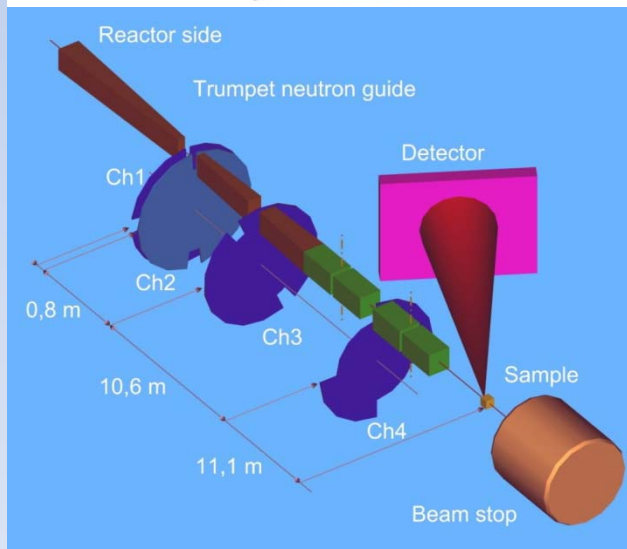
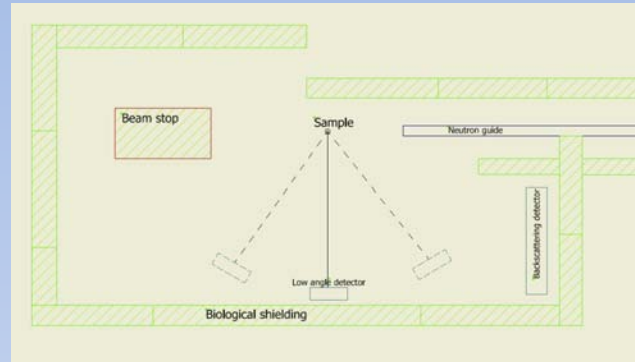
Cite this: DOI: 10.1039/c4ja00377b

Non-destructive analyses of bronze artefacts from Bronze Age Hungary using neutron-based methods

V. Kiss,^a K. P. Fischl,^b E. Horváth,^c Gy. Káli,^c Zs. Kasztovszky,^d Z. Kis,^d B. Maróti^d and G. Szabó^e

Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

A berendezés (TOF-ND)

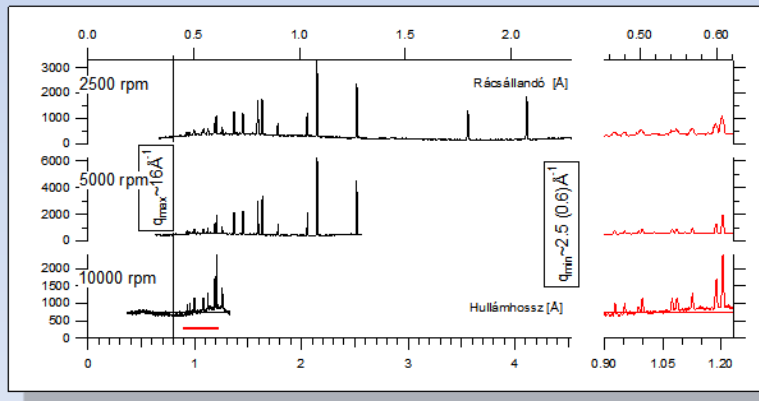
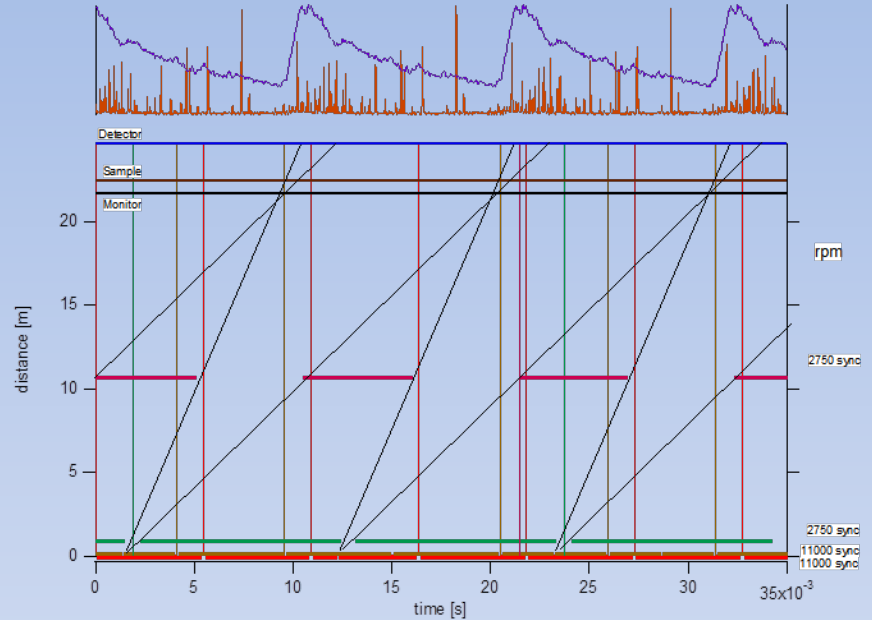
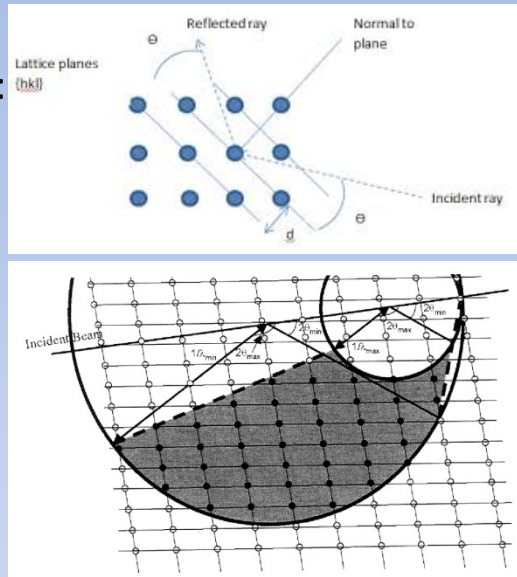


Az abaújdevecseri bronz tekerecs vizsgálata neutron diffrakcióval

Repülési idő diffraktometria (TOF-ND)

Röntgen diffrakció:
Szögdiszperzív

Repülési idő dfr.:
hullámhossz-
diszperzív



Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

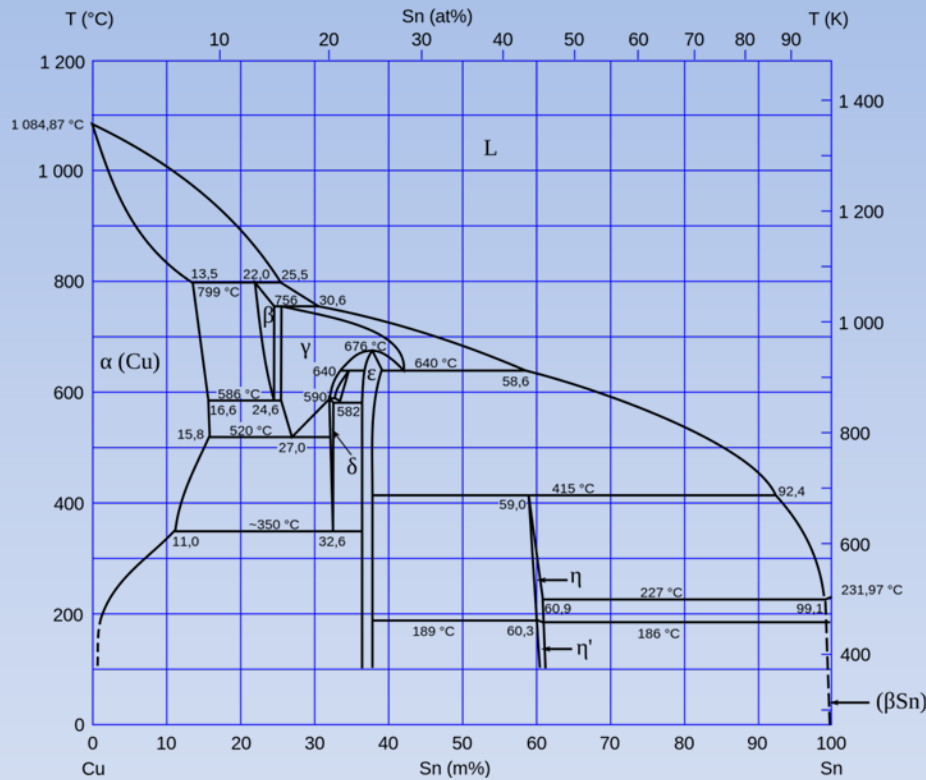
A tárgy

43 cm, 12 kg



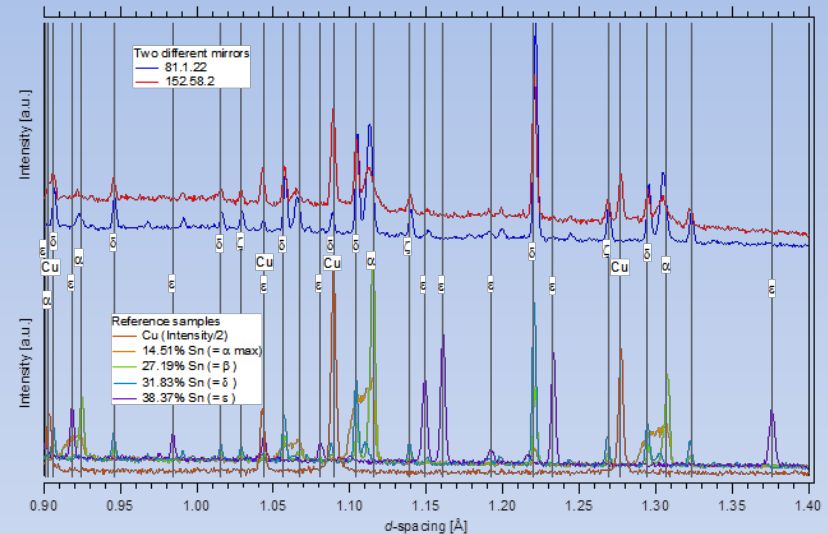
Az abaújdevecseri bronz tekerecs vizsgálata neutron diffrakcióval

Fázis analízis

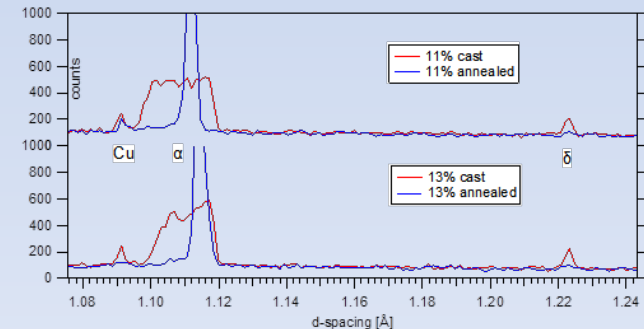


Réz-Ón egyensúlyi fázisdiagram

Magas óntartalmú, sokfázisú bronz

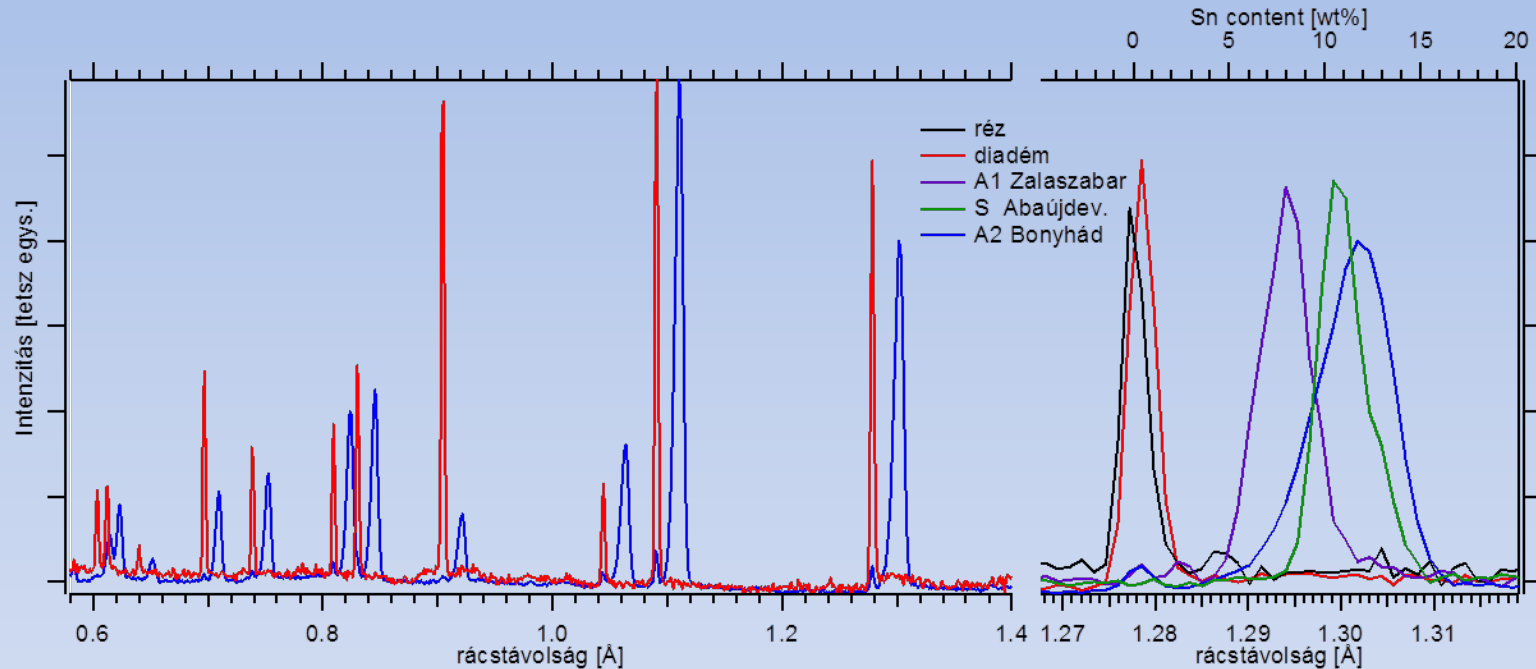


Nyers és temperált alacsony óntartalmú bronz ötvények α vonala



Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

Fázis analízis



Homogén ötvény
Lassú kihűlés
10,38±0,5wt% Sn
100% α szilárd oldat

Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

Textúra vizsgálat – a kristallitok orientációjának eloszlása



A tárgyon öt helyen végeztünk textúra mérést, két-két merőleges tengely körüli forgatással:

- Az egyik spirális rész közbülső menetén („1a”) szemből.
- Ugyanitt hátulról („1b”).
- A hajlított rúd nyolcszögű részén („2a”)
- A rúd kör keresztmetszetű részén („3a”)
- A megmunkált részen („4”)

Lendület 2015 nov.

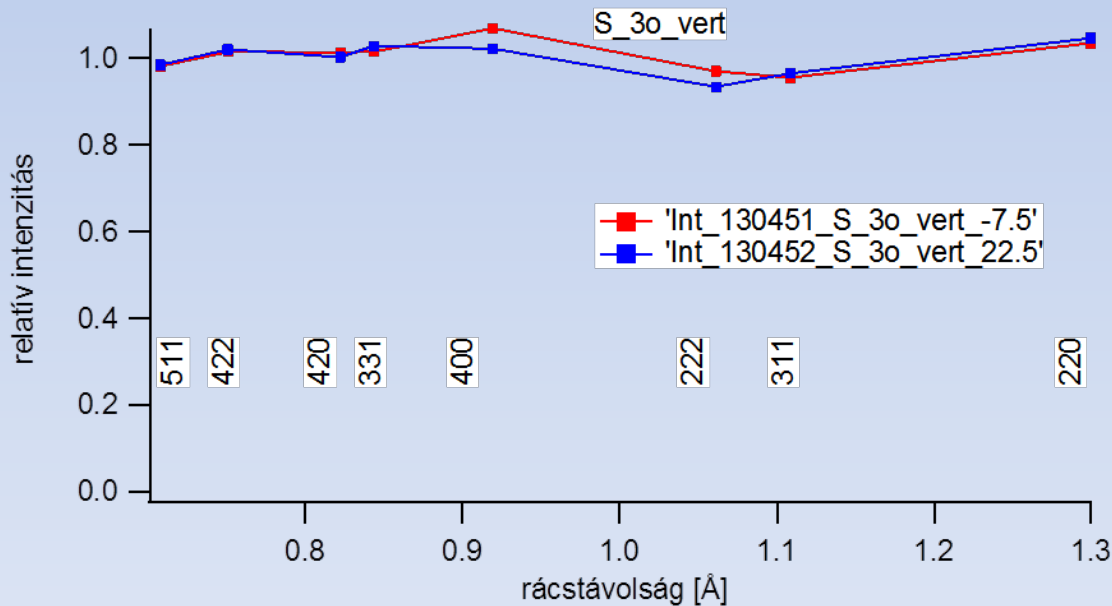
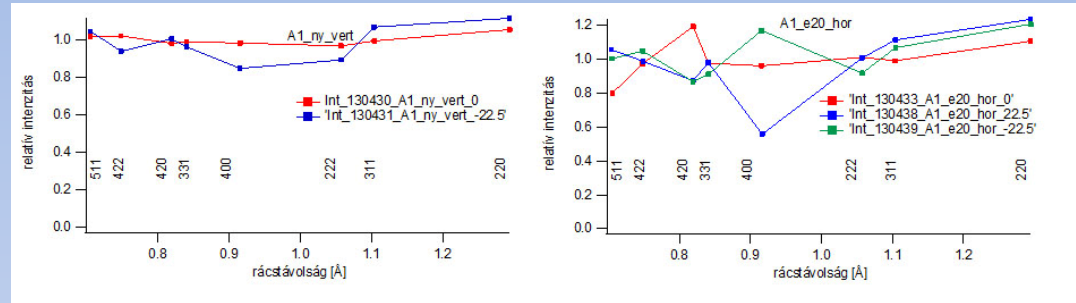
Káli György



Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

Textúra vizsgálat – a kristallitok orientációjának eloszlása

Bronz balta teste és éle:
Határozott anizotrópia



Szinte tökéletesen
textúramentes,
képlékeny alakítást nem
szenvedett.
A kör keresztmetszetű
részén tapasztalt
nagyon gyenge
anizotrópia valószínűleg
öntési textúra.

Az abaújdevecseri bronz tekercs vizsgálata neutron diffrakcióval

Köszönöm a figyelmet!

Káli György

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet