

A Budapesti Neutron Centrum

(neutronos anyag- és szerkezetvizsgálat)

Dr. Belgya Tamás
Főigazgató-helyettes

MTA Energiatudományi Kutatóközpont,
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

Web: <https://www.bnc.hu>, <http://www.energia.mta.hu/>

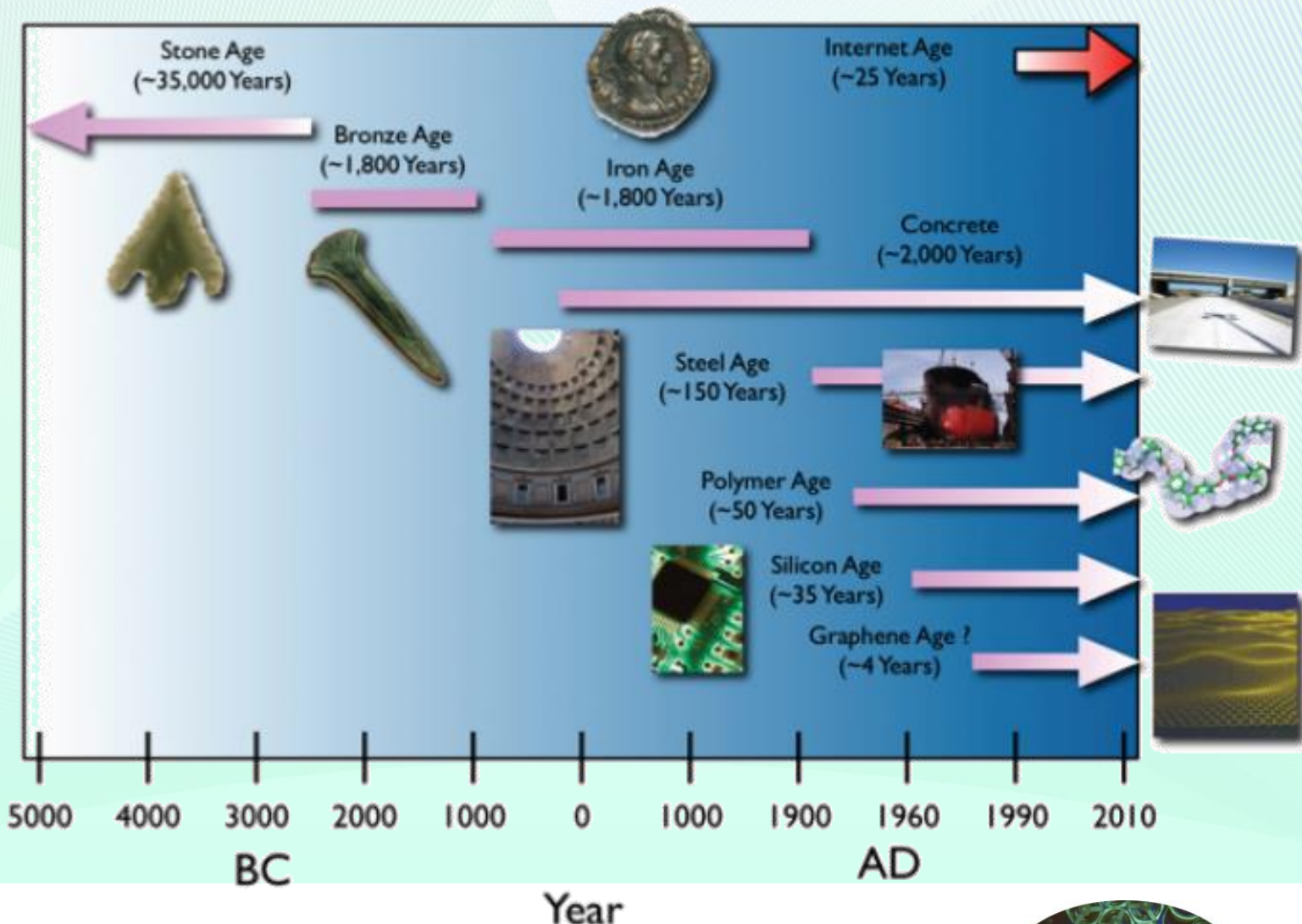
E-mail: belgya.tamas@energia.mta.hu



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



Az emberiség által használt és ismert anyagok

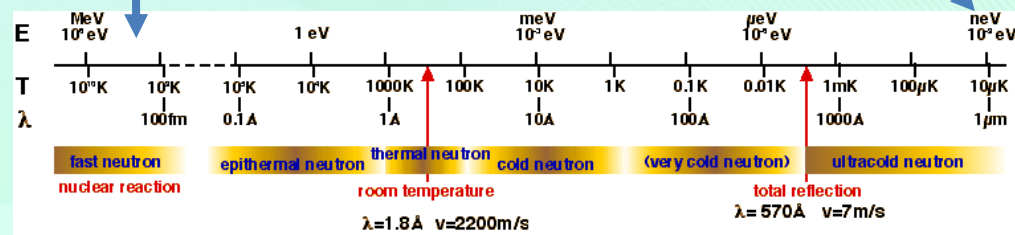
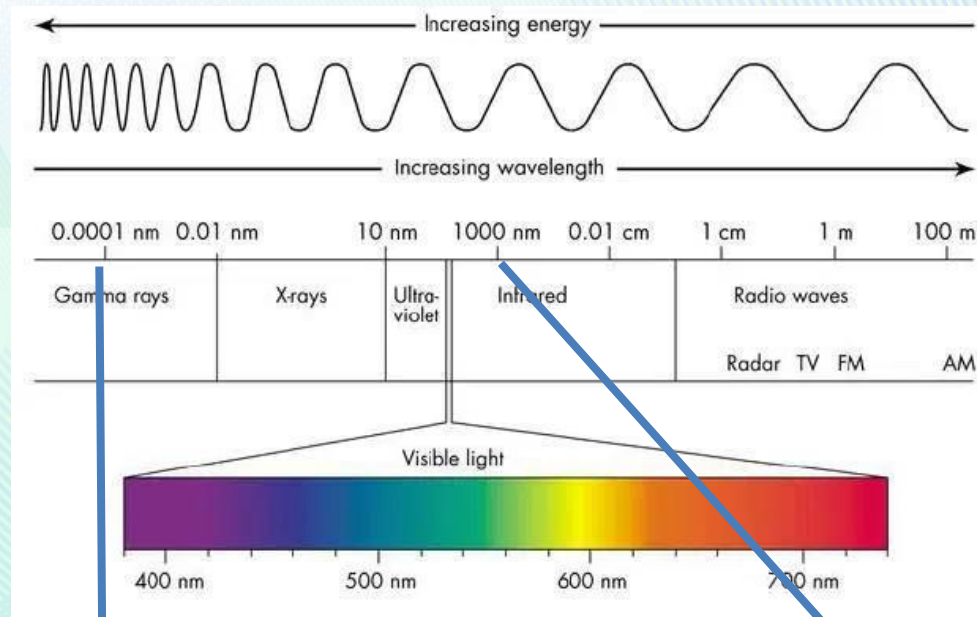


A neutronok

Röntgensugárzás, elektronok, fotonok és neutronok alkalmasak az anyag összetételének, makro- és mikroszerkezetének feltárására.

Az anyagtudományi vizsgálatokban a neutronok előnyei:

- Nagy behatolási mélység tömbi anyagok vizsgálatánál,
- A szerkezetvizsgálathoz megfelelő hullámhossz, energia
- Izotóp specifikus, spin és mágneses tulajdonságok



Neutronok szerepe az anyagvizsgálatban

- Neutronos képalkotás: heterogén tárgyak
 - Neutronabszorpció leképezésével
- Neutronbefogás: elemösszetétel
 - Neutron sugárzásos befogásával
- Neutronszórás: mikroszerkezet
 - Hosszabb hullámhosszú hideg neutronok segítségével ($\sim 10 \text{ \AA}$)
- Neutrodiffrakció: kristályos anyagok, fémek
 - Rövidebb hullámhosszú termikus neutronok segítségével ($\sim \text{\AA}$)
- **A neutronok a roncsolásmentes anyag és szerkezet vizsgálatra jól alkalmazhatók, a kutatásban és az ipar legtöbb ágában, pl. élettartam-vizsgálatok, minőségbiztosítás, technológia-fejlesztés**



BNC: Magyarország legnagyobb kutatási és K+F infrastruktúrája

A vizsgálatok helyhez kötöttek, a KFKI campuson, Csillebércen lehet elvégezni



BUDAPEST NEUTRON CENT
of the MTA Centre for Ener
the MTA Wigner Research Centre f

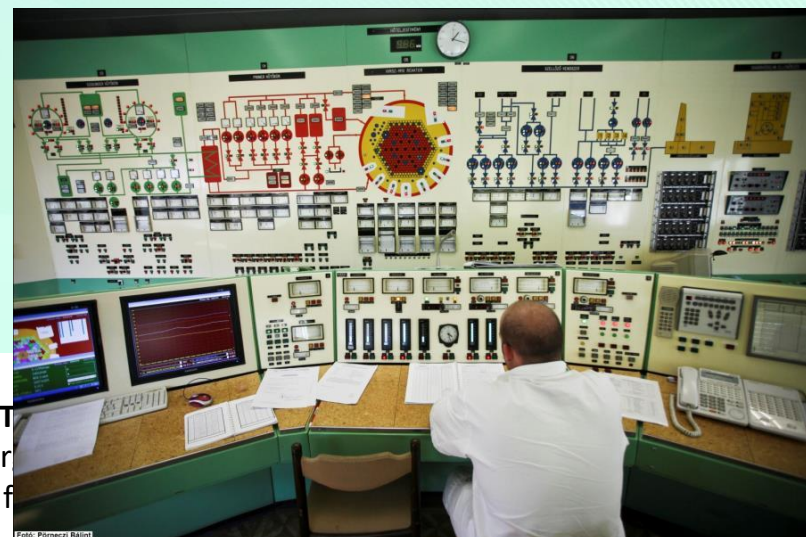
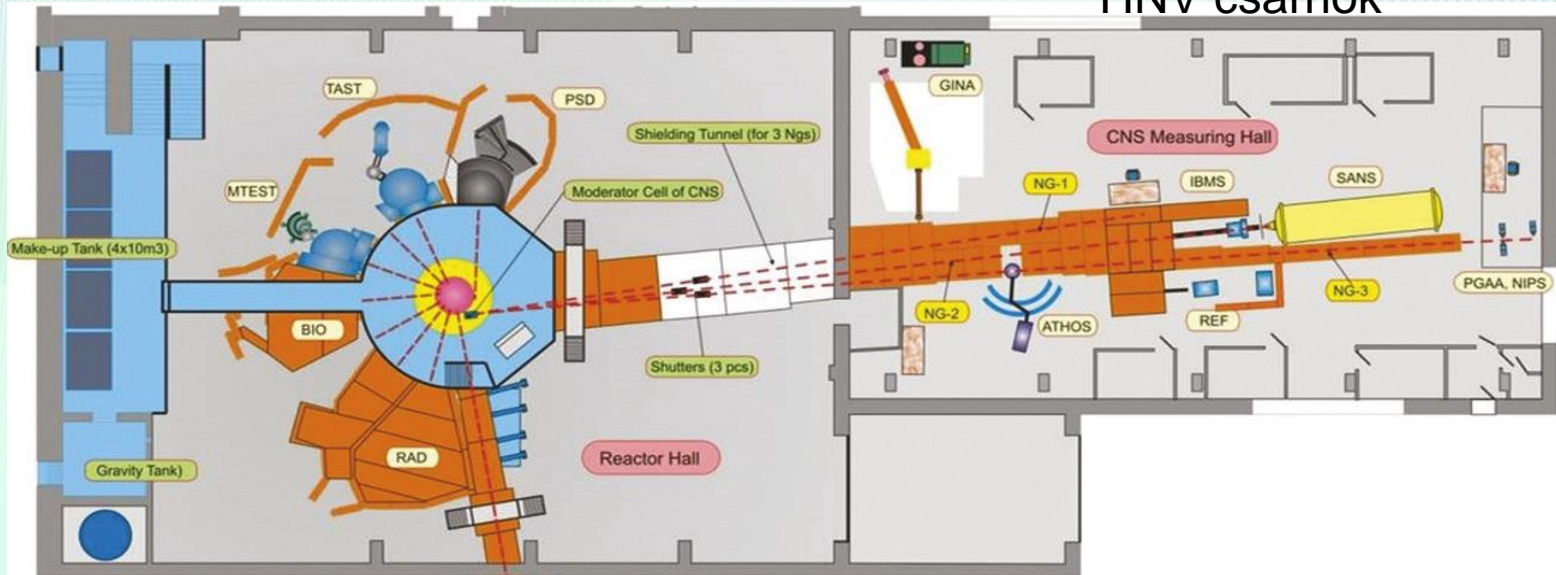


Foto: Pórnecz Balint

A BNC berendezései

Reaktorcsarnok

HNV csarnok



Reaktorcsarnok berendezései:

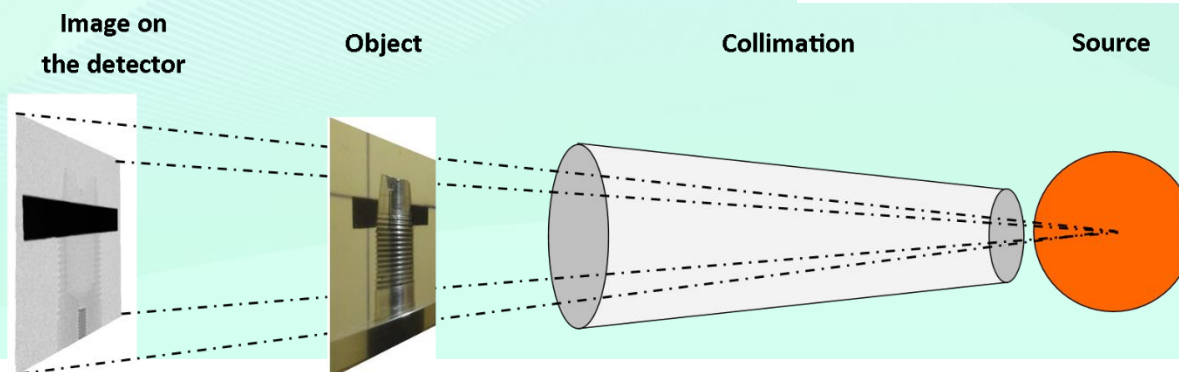
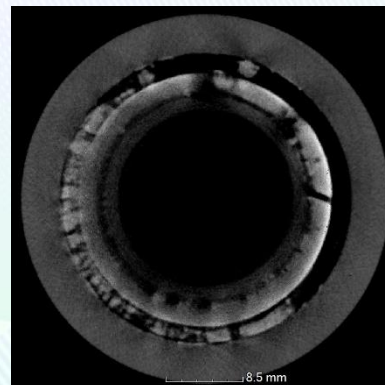
- TOF: Repülési-ídő diffraktométer
- BIO: biológiai besugárzó csatorna
- RAD: Dinamikus neutron radiográfia
- MTEST: Diffraktométer belsőfeszültség mérésére
- TAST: Termikus három-tengelyű spektrométer
- PSD: Pordiffraktométer

HNV reaktorcsarnok berendezései:

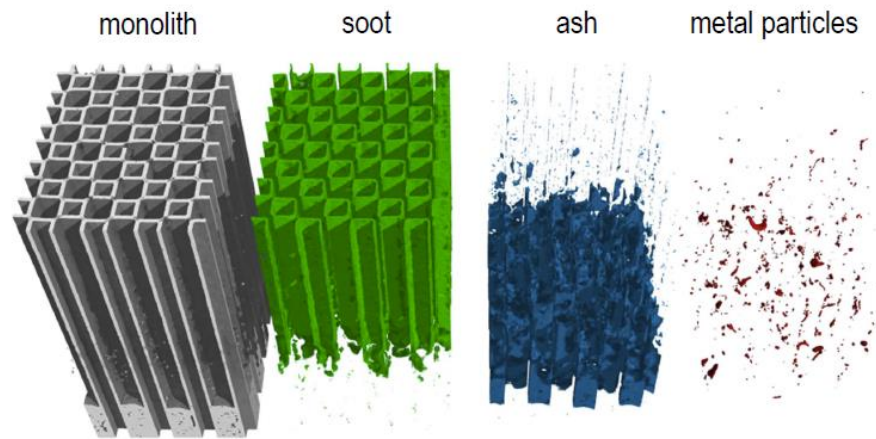
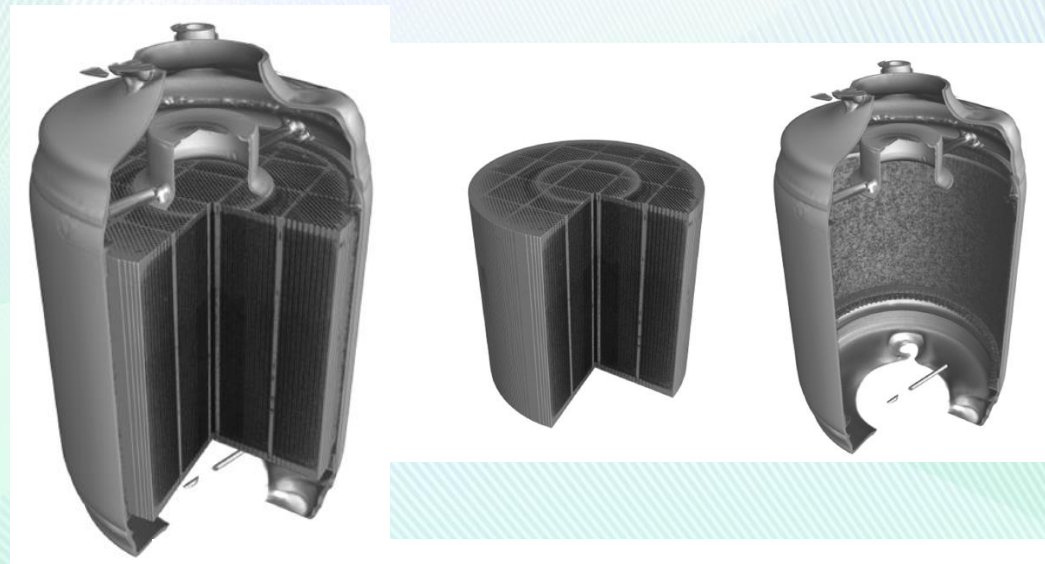
- PREF: Polarizált neutron reflektométer
- ATHOS: Háromtengelyű spektrométer
- SANS: Kiszögű szórás spektrométer
- IMBS: In-beam Mössbauer spektrométer
- PGAA: Prompt-gamma aktivációs analitika
- NIPS: Neutron indukált prompt-gamma spektrométer
- GINA: Polarizált neutron reflektométer
- F-SANS: Fókuszált kiszögű szórás spektrométer

1 Neutronradiográfia

- Radiográfia = Rajzolj a sugárással
- A radiográfia egy olyan képalkotási módszer, ahol a láthatatlan sugárzás és az anyag kölcsönhatását egy látható árnyékképpé alakítjuk
- Lehet neutron vagy röntgensugárással: pl. fémes / szerves anyagok



Diesel részecskeszűrő



monolith

soot

ash

metal particles



C. Grünzweig et al., Motortechnische Zeitschrift 04/2012, 326-331

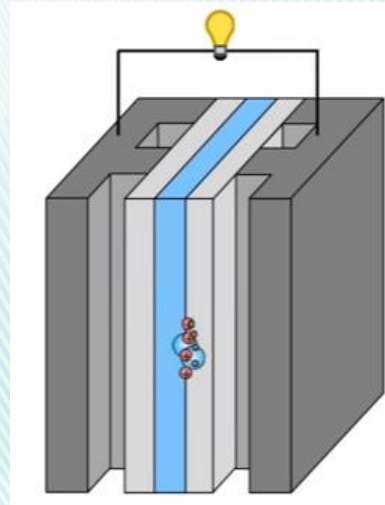
Kép szegmentálás: a különböző anyagok megkülönböztetése



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

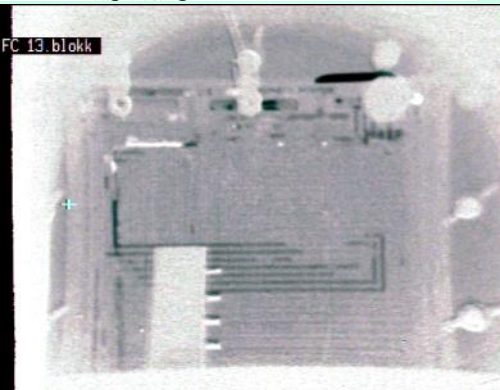
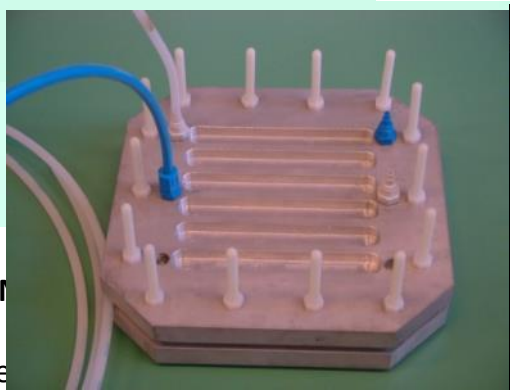
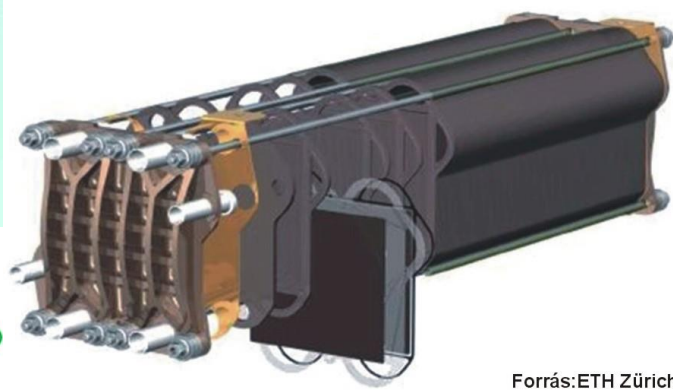
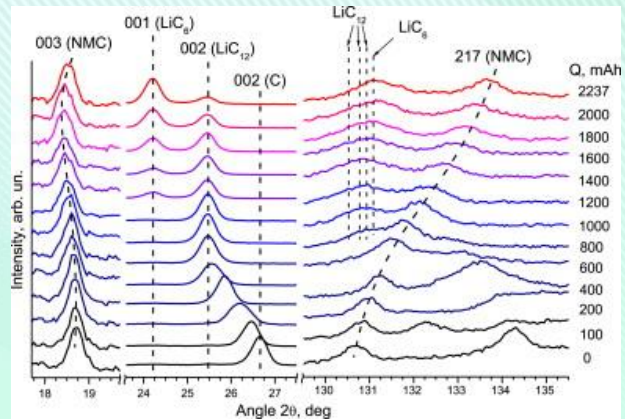


Elektromobilitás – Li elemek és üzemanyag cellák

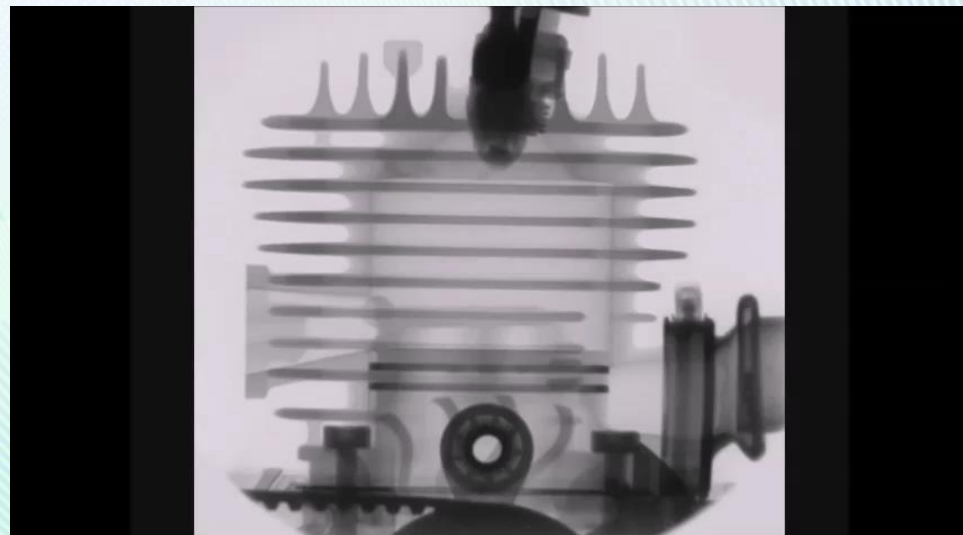
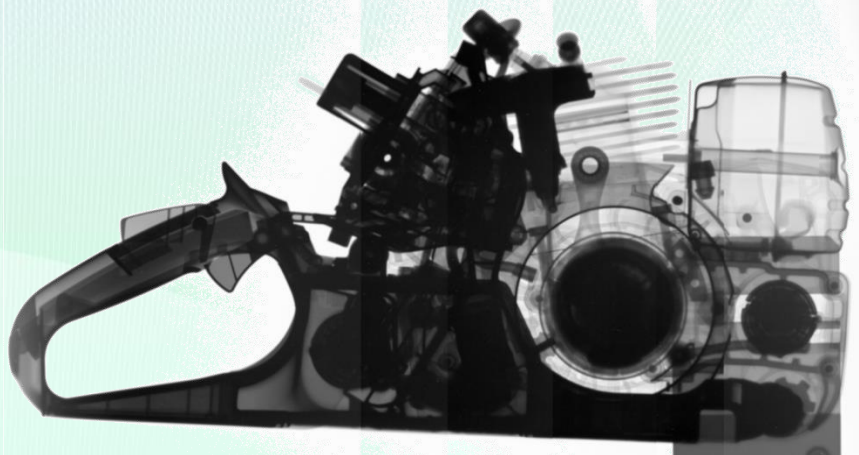


TOYOTA MIRAI

Range-extending hybrid



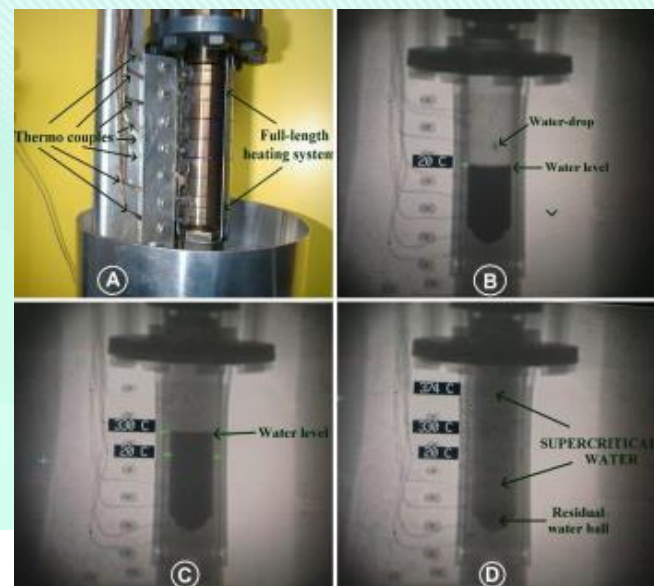
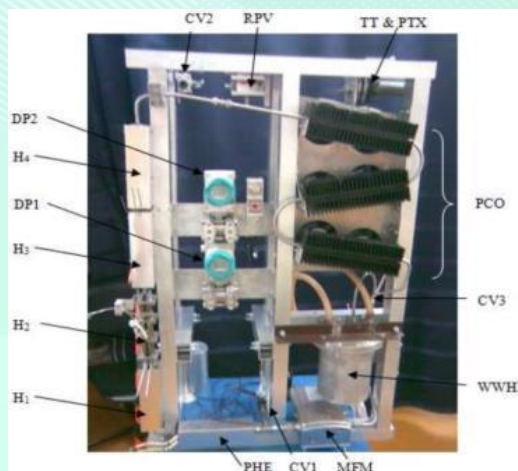
Valós idejű képalkotás (dinamikus radiográfia)



Áramlási viszonyok

Heterogén fázisok,
fázisátmenetek

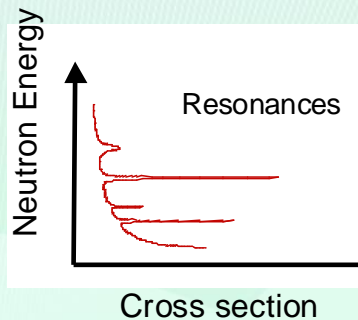
Pl. benzinpumpa, hűtő,
légkondicionáló



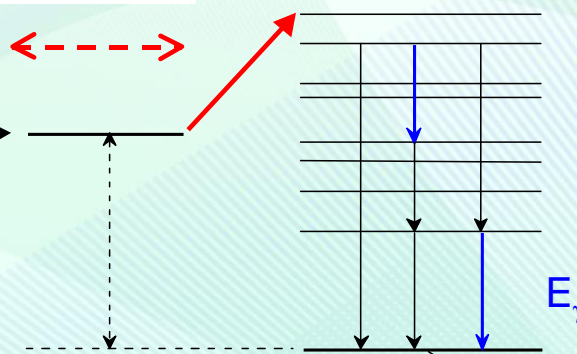
BUDAPEST NEUTRON CENTRE
a consortium of the MTA Centre for Energy Research and
the MTA Wigner Research Centre for Physics



2 (n,γ) reakció - elemanalitika

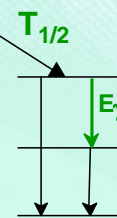
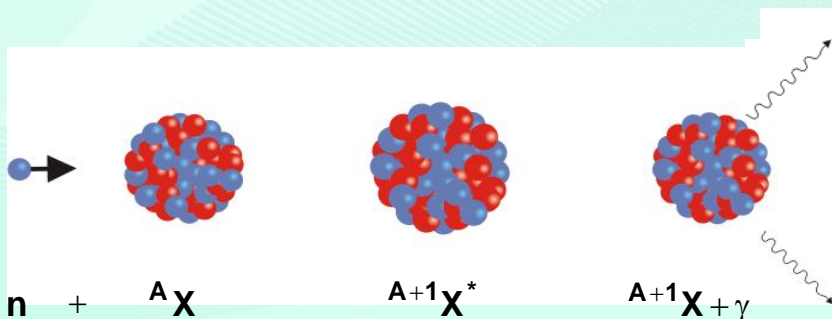


NRCA Neutron radiative befogás



PGAA

Prompt-gamma
aktivációs analízis

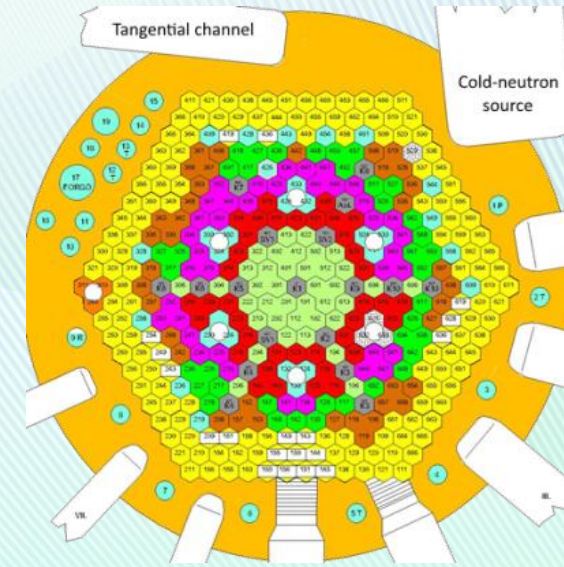


(I)NAA

Neutron aktivációs
analitika

**A befogási gamma-spektrum
minden elemre/izotópra jellemző**

Műszeres neutronaktivációs analízis

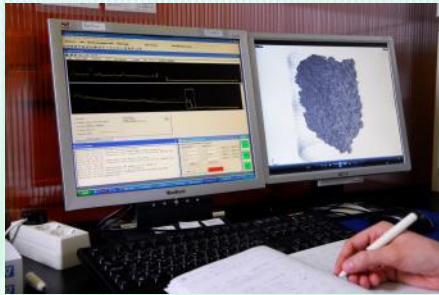


A minta neutronokkal történő besugárzása során keletkező mesterséges radioaktivitás segítségével az elemösszetétel meghatározható

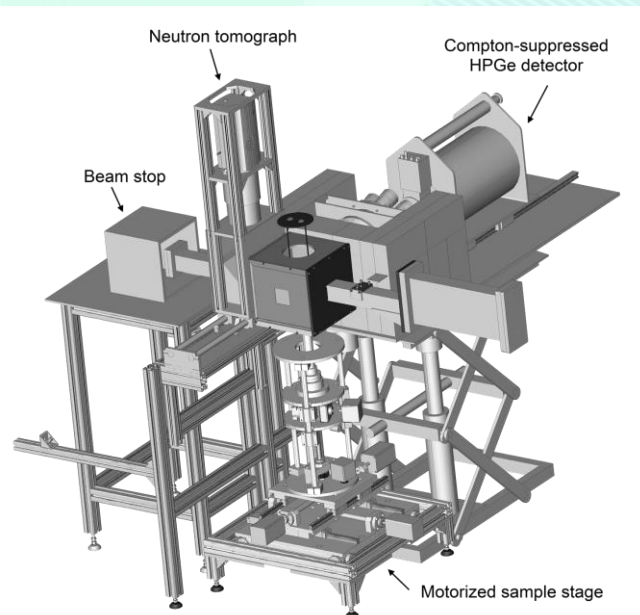
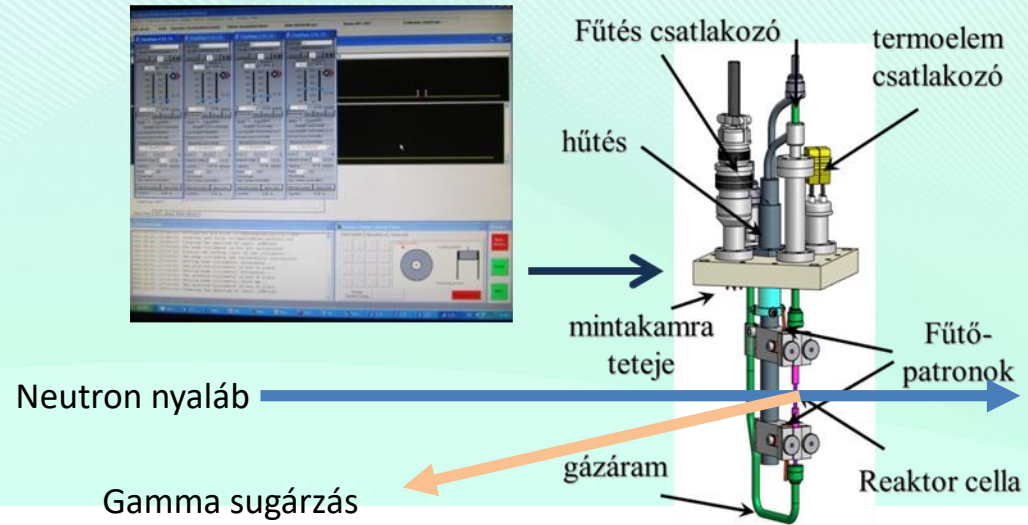
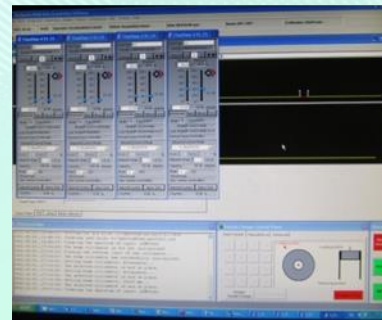
alkalmazás: nyomelem-analitika “egzotikus” vagy nem feloldható mátrixokban, Si-félvezetők, kábelek



Prompt-gamma aktivációs analízis



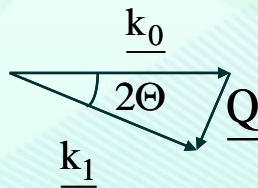
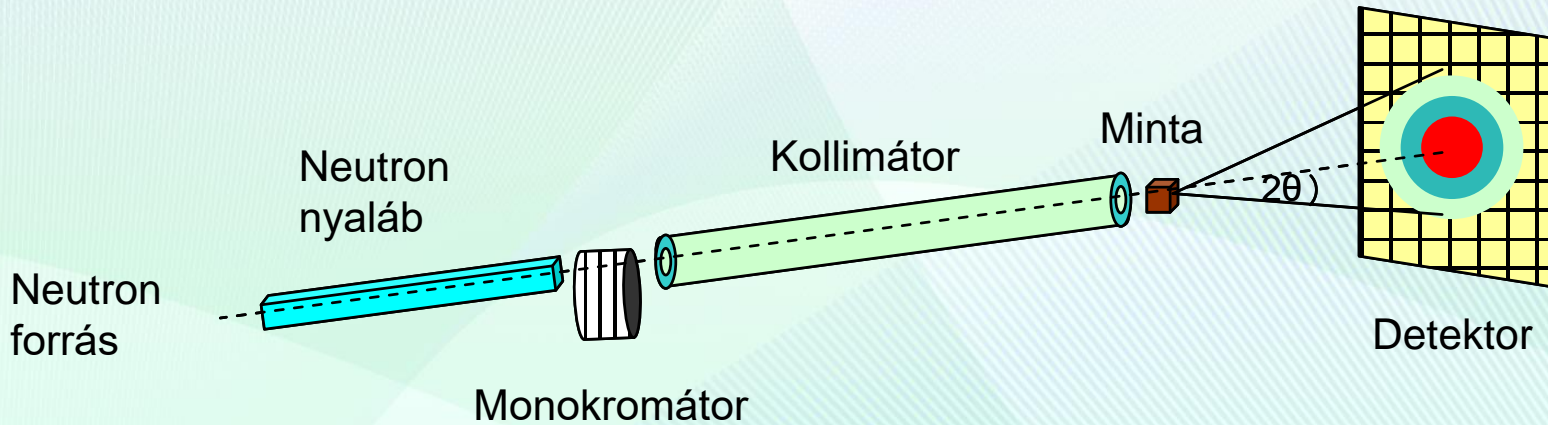
- Roncsolásmentes elemösszetétel
- Átlag (PGAA) v. lokális összetétel (PGAI)
- Gyors átfutási idő (pár óra-nap)
- Mintaelőkészítés nélkül
- Nagy méretű és időben változó minták is vizsgálhatók (in-beam katalízis)



BUDAPEST NEUTRON CENTRE
ortium of the MTA Centre for Energy Research and
the MTA Wigner Research Centre for Physics



3 Kiszögű neutronszerzés



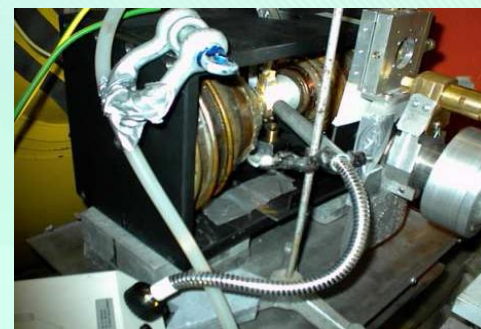
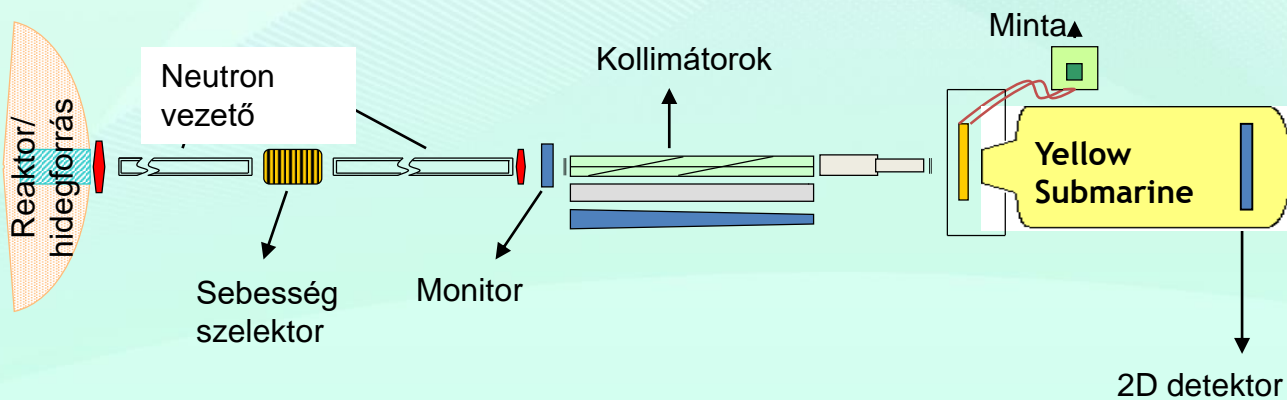
$$\underline{Q} = \underline{k}_1 - \underline{k}_0$$

$$|\underline{k}_1| = |\underline{k}_0| \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

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

Szög függvényében mérve a neutronok intenzitását nanométeres struktúrákról nyerhetünk információt

SANS: Kiszögű neutronszórási spektrométer



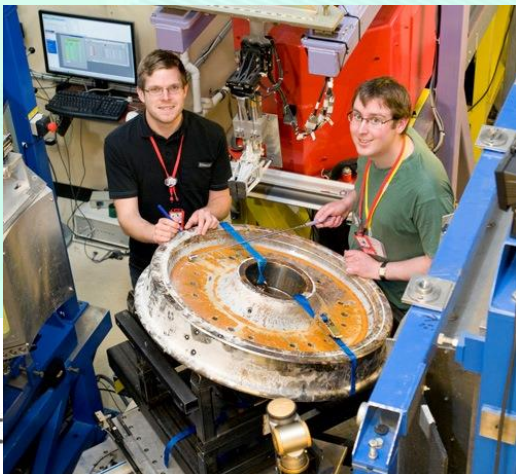
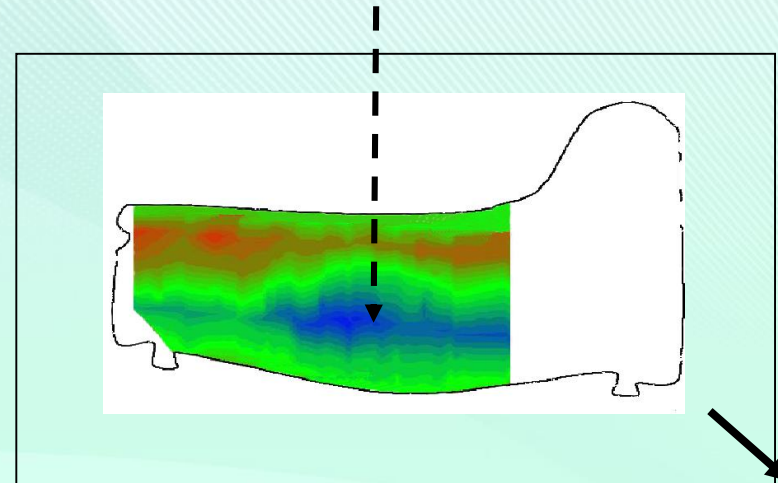
Fáradásvizsgálat - belső feszültség mérése diffrakcióval

A neutronokkal összetett tárgyak mélyebb rétegeiből is képesek vagyunk információt kinyerni, mindezt roncsolásmentesen



ICE baleset, Eschede 1998

A belső feszültség közvetlen, kísérleti mérésével a számítógépes végeelem számolások ellenőrizhetők



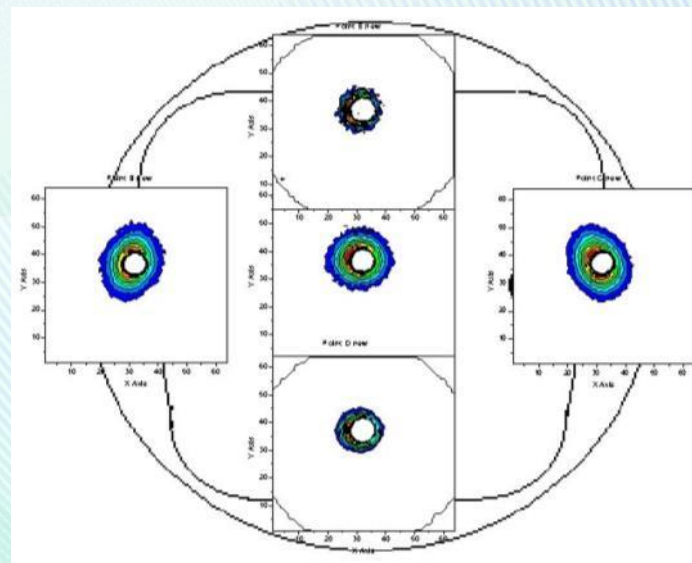
ICE Vonatkerék mérése (2014)
ISIS

BUDAPEST NEUTRON CENTRE

consortium of the MTA Centre for Energy Research and
the MTA Wigner Research Centre for Physics



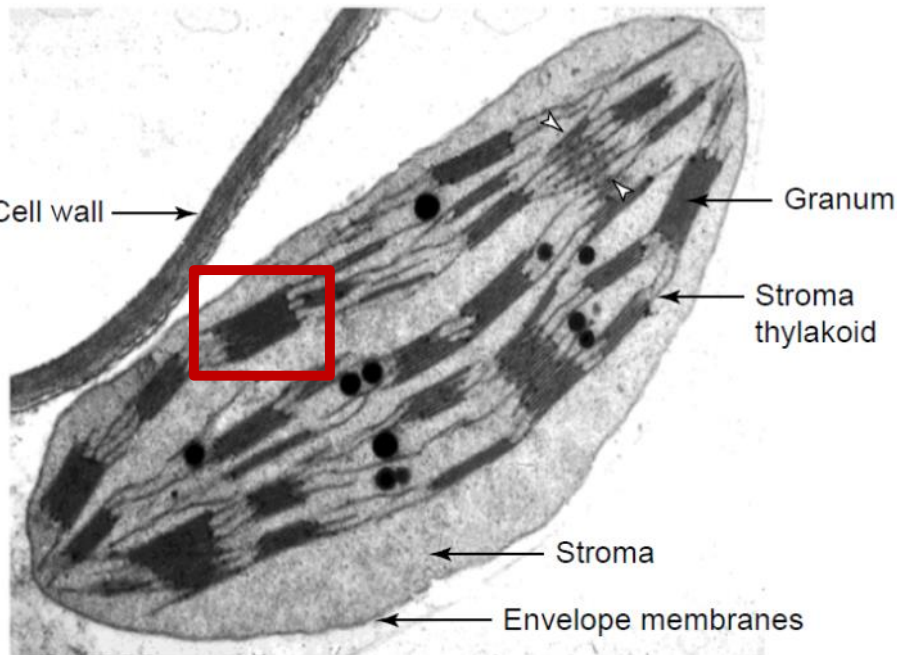
Formula 1 Ferrari-motor élettartam-növelő vizsgálata



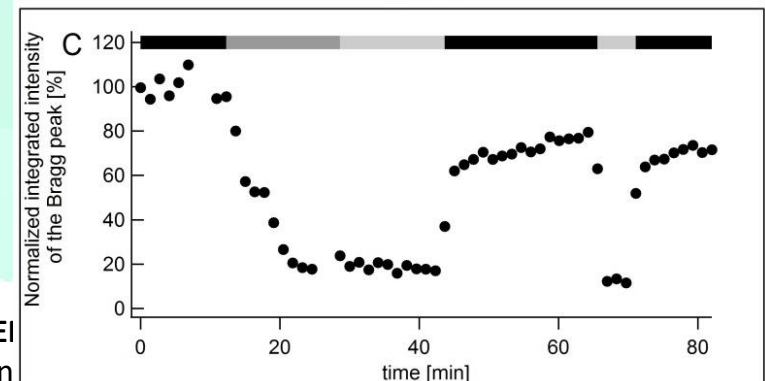
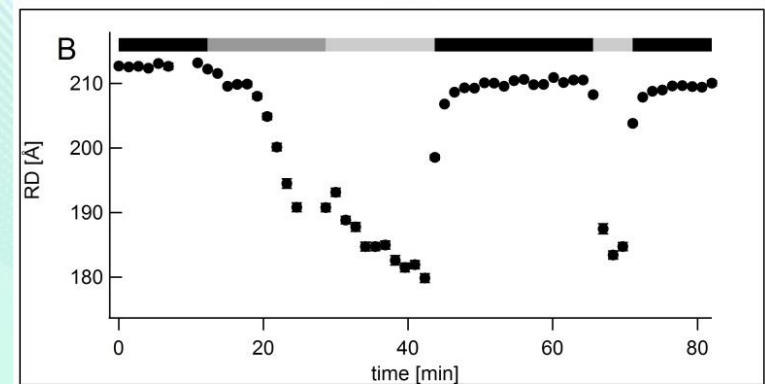
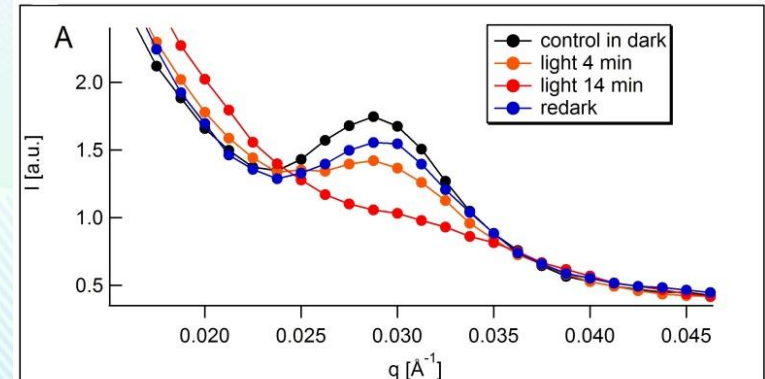
Kisszögű neutronszórással a dugattyú különböző pontjain a nanoszerkezeti elváltozásokból (ötvöző elemek kiválása) a mikrorepedések kiidulási gócaira kaptunk információt.

Fotoszintetikus membránok

Mesterséges fotoszintézis
Hidrogéntermelés (Gükóz)



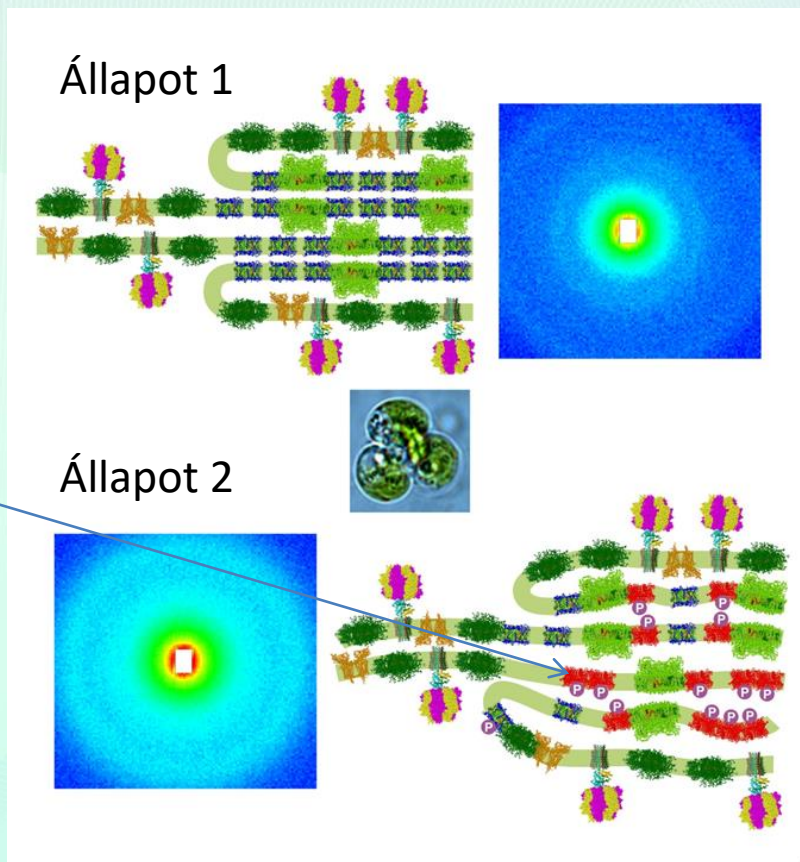
Könnyezőpálma



Védelmi mechanizmusok

State tranzíció (zöld alga)

Nagy és mtsai., *P. Natl. Acad. Sci. USA* 2014

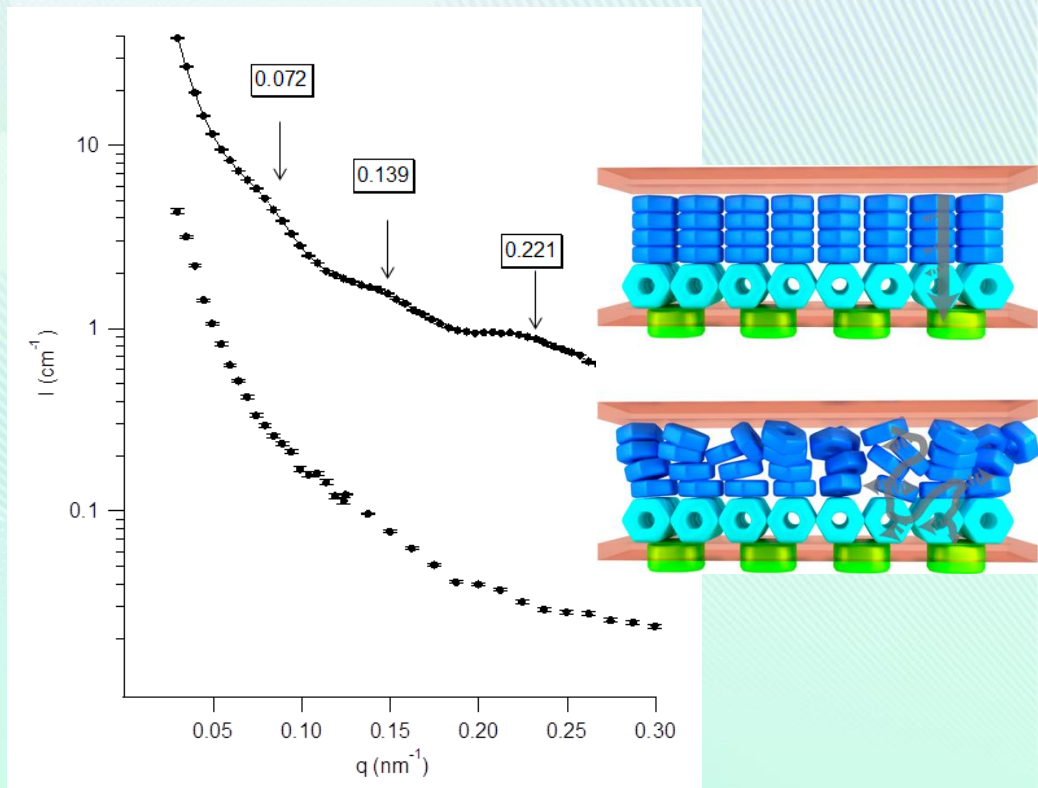


Eredmény:

- Közvetlen bizonyíték a állapot tranzíció és szerkezeti átalakulás között
- állapot 1 - rendezett állapot 2 - rendezetlen

Kiszáradás (cianobaktérium)

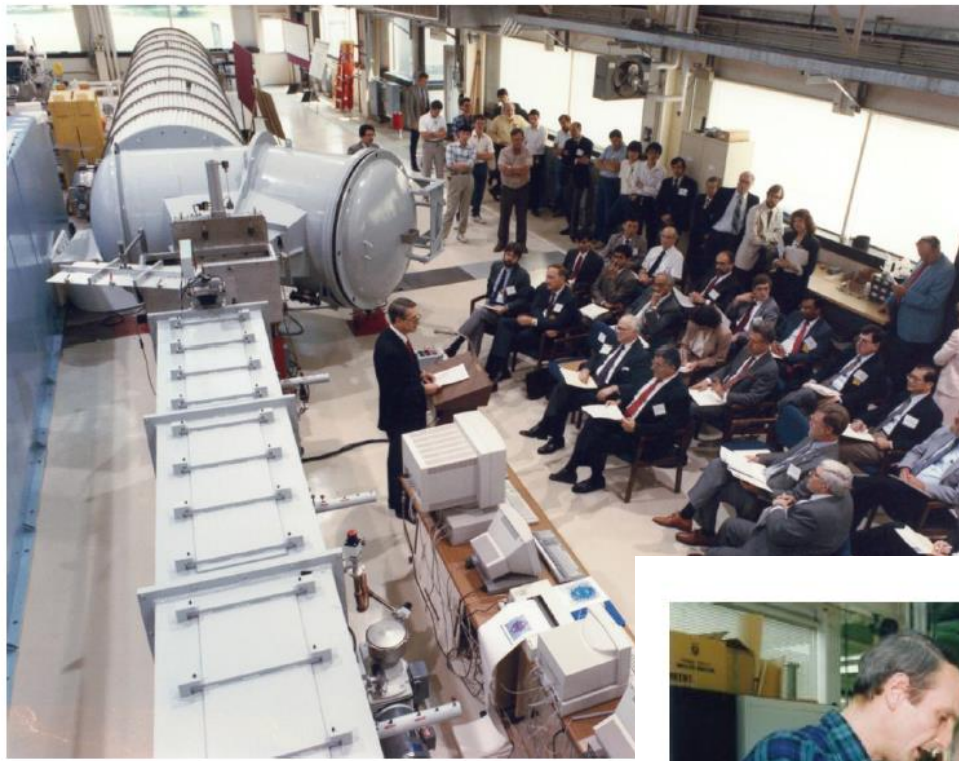
Eyal és mtsai., *P. Natl. Acad. Sci. USA* 2017



Eredmény:

- Hidratált állapotban: látszódik az első három rend (rendezett a rendszer, hatékonyan tudja a fény energiáját továbbítani)
- Száradás hatására eltűnik a periodicitás a rendszerből/csökken a kontraszt (megakadályozva a károsító többlet energia felhalmozódását)

A neutronos kísérletek társadalmi hatása



Olajipari példa (NIST)

Kisszögű neutronszórás (SANS) segítségével az EXXON olajtársaság Amerikában kidolgozta az olajpala és palagáz gazdaságos hasznosítását, amely jelentős befolyással bírt az olajárakra és az akkori nemzetközi politikára



a cons
t

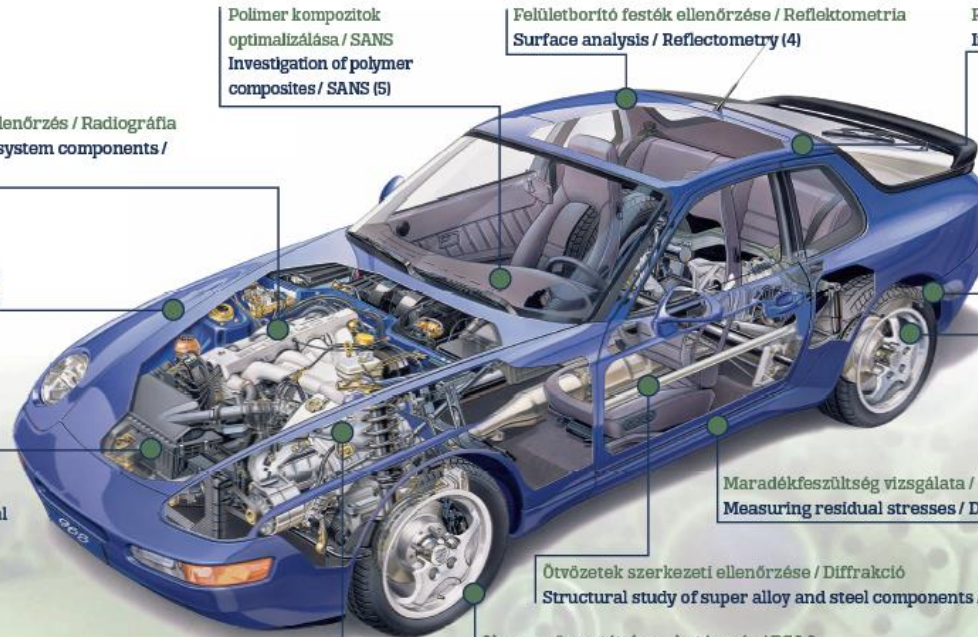
Cliff Shull, Nobel prize winner in 1994 for the development of neutron diffraction, visited the NBSR in 1995. Here he discusses NIST facilities and research with Chuck Majkrzak and Sushil Satija (left) and with Mike Rowe (right.)

BUDAPEST NEUTRON CENTRUM

**OTTHON VAGYUNK
AZ AUTÓIPARBAN!**



**NEUTRONS FOR
BUILDING A CAR!**



Motor átvilágítás, lerakódás ellenőrzés / Radiográfia
Imaging of automobile engine system components /
Radiography (3)

Szerkezeti anyagvizsgálat /
Diffrakció
Identification of structure and
microstructure / Diffraction (1)

Porózus anyagok
szerkezetvizsgálata / SANS
Characterization of the internal
structure of dense-porous
materials / SANS (5)

Üzemanyag áramlás ellenőrzése / Tomográfia
Visualization of oil flow in an engine operating
at high speed / Tomography (3)

Polimer kompozitok
optimalizálása / SANS
Investigation of polymer
composites / SANS (5)

Felületborító festék ellenőrzése / Reflektometria
Surface analysis / Reflectometry (4)

Felületi érdesség vizsgálat / SANS
Investigation of surface roughness / SANS (5)

Kibocsátás, kipufogó rendszerek
lerakódás vizsgálata / Tomográfia
Measuring the tickness of soot in the
exhaust pipes and location of ash
deposits / Tomography (3)

Alkatrészek belső feszültség
mérése / Diffrakció
Identification of the internal
stresses and irregularities /
Diffraction (2)

Maradékfeszültség vizsgálata / Diffrakció
Measuring residual stresses / Diffraction (2)

Ötvözetek szerkezeti ellenőrzése / Diffrakció
Structural study of super alloy and steel components / Diffraction (1, 2)

Abroncok összetétel meghatározás / PGAA
Composition analysis of tires / PGAA (6)



(1) PSD
Neutron
por diffrakto-
meter
Powder
diffractometer



(2) MTEST
Diffraktóméter
Diffractometer



(3) RAD
Neutron
radiográfia
és tomográfia
Thermal-
neutron and
X-ray imaging



(4) GINA
Polarizált
neutron
reflektóméter
Neutron
reflectometer
with polarization
option



(5) SANS
Késszögű szórási
spektrométer
Small angle
neutron
scattering
diffractometer



(6) PGAA
Prompt-gamma
aktivációs
analízis
Promp-gamma
activation
analysis

Közreműködők

Dr. Szentmiklósi László

Dr. Fábián Margit

Dr. Kis Zoltán

Maróti Boglárka

MTA EK Energia- és Környezetbiztonsági Intézet

Dr. Rosta László

Dr. Len Adél

Káli György

Dr. Almásy László

Dr. Ünneper Renáta

MTA Wigner FK Szilárdtest Fizikai Intézet

CERIC-ERIC



A Central European Research Infrastructure Consortium (CERIC) további anyagkutatói lehetőségeket rejt, melynek tagja Magyarország és a BNC a partner intézménye

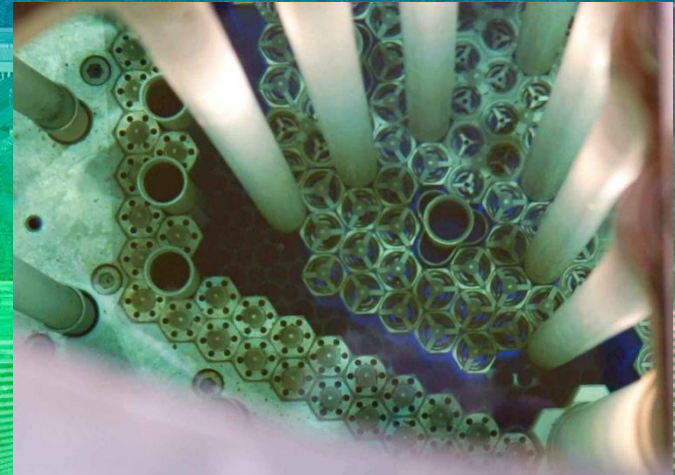
<http://www.ceric-eric.eu/index.php?n=Main.HomePage>



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



Változatos anyagvizsgáló és szerkezetkutató
eszközparkunkkal állunk a hazai és nemzetközi
szakmai közösség rendelkezésére!



Köszönöm a figyemet!



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

