

Radioaktív sugárzás és anyag  
köölcsönhatásán alapuló a  
szerkezet- és felületvizsgálatok

Kilépő részecske	Besugárzó részecske			
	foton	elektron	ion	neutron
Transzmisszió reflexió vagy abszorpció	Spektroszkópia, a sugárzás energiájától függően: NMR, ESR, IR, NIR, látható, UV-spektroszkópia Mössbauer – spektroszkópia	TEM		Neutron abszorpció (beleértve a magreakciókat, NAA, PGAA)
Szórás	Dinamikus fényszórás Röntgendiffrakció (XRD)	EELS LEED RHEED $\beta$ -sugárzás visszaszórása	RIBS ISS	Neutronszórás Kisszögű neutronszórás Nem-elasztikus neutronszórás

Kilépő részecske	Besugárzó részecske			
	foton	elektron	ion	neutron
Foton-emisszió	XANES vagy NEXAFS EXAFS Röntgenfluoreszcencia (XRF)	EMP	IMXA IEX PIXE CPIN RA CPAA	NAA PGAA
Elektron-emisszió	AES XPS (ESCA) UPS	AES SAM SEM	INS	
Ionemisszió	LAMMA	EIID	SIMS IMMA CPIN RA	Magreakciók (e.g. (n,p), (n, $\alpha$ ))

- AES: Auger-elektronspektroszkópia (Auger electron spectroscopy)
- CPINRA, CPAA: magreakciók töltött részecskékkel (charged particle activation analysis)
- EIID: iondeszorpció elektronbombázás hatására (electron induced ion desorption)
- ELS: karakterisztikus energiavesztéses elektron spektroszkópia (electron-energy-loss spectroscopy)
- EMP: elektron mikroszonda (electron microprobe)
- ESCA: elektronspektroszkópia kémiai elemzéshez (electron spectroscopy for chemical analysis)
- ESR: elektronspin rezonancia (electron spin resonance)
- EXAFS: kiterjesztett röntgenabszorpciós finomszerkezet (extended X-ray absorption fine structure)
- IEX: iongerjesztéses röntgenfluoreszcencia spektroszkópia (ion excited X-ray fluorescence spectroscopy)
- IMMA: ionmikroszonda tömegspektroszkópiával (ion micro-probe mass analyzer)
- IMXA: ionmikroszonda röntgen-spektroszkópiával (ion microprobe X-ray analysis)
- INS: ionokkal kiváltott elektronspektroszkópia (ion neutralization spectroscopy)
- IR: infravörös spektroszkópia (infrared spectroscopy)

- ISS: visszaszórt ionok spektrometriája ((ion scattering spectrometry)
- LEED: alacsony energiájú elektrondiffrakció (low energy electron diffraction)
- LEED: alacsony energiájú elektrondiffrakció (low energy electron diffraction)
- LAMMA: lézergyjlesztésű mikroszonda (laser micro-spectral analysis)
- n: neutron
- NAA: neutron aktivációs analízis (neutron activation analysis)
- NEXAFS (lásd EXAFS) near edge X-ray absorption fine structure
- NIR: közeli infravörös spektroszkópia (near-infrared spectroscopy)
- NMR: magmágneses rezonancia (nuclear magnetic resonance)
- p: proton
- PGAA: prompr gamma aktivációs analízis (prompt gamma activation analysis)
- PIXE: részecskebombázással kiváltott röntgenfotonok spektroszkópiája (particle induced X-ray emission)
- RHEED: nagy energiájú elektrondiffrakció (reflection high energy electron diffraction)

- RIBS: Rutherford-szórás (Rutherford backscattering spectroscopy)
- SAM: Auger-mikroszonda (scanning Auger microanalysis)
- SANS: kisszögű neutronszórás (small-angle neutron scattering)
- SEM: pásztázó elektronmikroszkóp (spektroszkópiával) (scanning electron microscopy)
- SIMS: Szekunder ion tömegspektroszkópia (secunder ion mass spectroscopy)
- UPS: fotoelektron-spektroszkópia ultraibolya gerjesztéssel (UV photoelectron spectroscopy)
- UV: ultraibolya spektroszkópia (ultraviolet spectroscopy)
- XPS: fotoelektron-spektroszkópia röntgen-gerjesztéssel (X-ray photoelectron spectroscopy)
- XRD: röntgendiffrakciós analízis (X-ray diffraction analysis)
- XRF: röntgenfluoreszcencia analízis (X-ray fluorescence analysis)
- XANES: X-ray absorption near edge structure (lásd EXAFS)
- IEX: ionbombázás hatására kilépő röntgenfotonok spektroszkópiája (ion excited X-ray fluorescence spectroscopy)

Besugárzás	Módszer	Elérhető rétegvastagság	Tipikus érzékenység	Elsődleges információ	Detektálható elemek és specieszek
Foton	NMR	tömbfázis	-	A tömbfázis és az adszorbeált molekulák kémiai állapota	Mágnesesen aktív magok ( $1/2$ spinű izotópok, kb. 80)
	ESR	tömbfázis	-	Elektronszerkezet	Paramágneses specieszek
	IR, NIR	0.5-2.5 $\mu\text{m}$	0.1-0.5 %	A tömbfázis és az adsz. molekulák geometriája és kötéserőssége	Funkciós csoportok
	Látható, UV spektroszkópia	0.1 $\mu\text{m}$	0.001-1000 ppm	Elem- és molekulaelemzés	Li-U
	UPS, XPS (ESCA)	3 nm	0.1 %	Specieszek, felület elemi összetétele, vegyérték, kémiai kötés	Li-U
	LAMMA	-	0.5%szervetlen	Mikroelem- és molekulaelemzés	Na-U

Besugárzás	Módszer	Elérhető rétegvastagság	Tipikus érzékenység	Elsődleges információ	Detektálható elemek és specieszek
Foton	AES	1 nm	0.1 %	Elemi összetétel, adszorbátum analízis	Li-U
	EXAFS, XANES, NEXAFS	50 nm	500 ppm	Oxidációs állapot, speciesz, koordinációs szám, szerkezet	Li-U
	XRF	10 <sup>4</sup> nm	1-10 ppm	A tömbfázis és a felületközeli régió elemi összetétele	Na-U
	XRD	10 <sup>4</sup> nm	-	A tömbfázis és a felület szerkezete, ásványos összetétel	
	Mössbauer	tömbfázis	1-1000 ppm	Kötőhelyek, szerkezet, kötés, kémiai környezet	Mössbauer-átmenettel rendelkező izotópok



Besugárzás	Módszer	Elérhető rétegvastagság	Tipikus Érzékenység	Elsődleges információ	Detektálható elemek és specieszek
Elektron	Elektron-diffrakció, beleértve LEED, RHEED Béta-visszaszórás	1 nm  Tömbfázis	-	Mikrokristályos fázisok azonosítása  Elemi összetétel, rétegvastagság	Li-U  H-U
	AES	1 nm	0.1 %	Elemi összetétel, adszorbátum analízis	Li-U
	SAM	1 nm	0.1 %	Elemi összetétel, adszorbátum analízis	Li-U
	EMP	10 <sup>3</sup> nm	0.1 %	A tömbfázis és a felületközeli régió elemi összetétele	Na-U
	EELS	100 nm	<0.1 %	Elemi összetétel, uazok a specieszek, mint az IR-ben, kötés, szerkezet	Li-U
	SEM	5 nm		Felület és tömbfázis morfológiája	
	TEM			Felület és tömbfázis morfológiája	

Besugárzás	Módszer	Elérhető rétegvastagság	Tipikus érzékenység	Elsődleges információ	Detektálható elemek és specieszek
Ion	ISS	1-100 $\mu\text{m}$	100 ppm	Elemi összetétel, az adszorbeált részecskék elhelyezkedése	Li-U
	SIMS	3-10 nm	0.1-10 ppm	Elemi, izotóp- és molekula összetétel	H-U
	IMMA	3-10 nm	0.1-10 ppm	Elemi, izotóp- és molekula összetétel	H-U
	CPINRA	$10^4$ nm	0.1-10 ppm	Elemi összetétel	
	IEX, PIXE	$10^4$ nm	0.1-10 ppm	Elemi összetétel, az adszorbeált részecskék elhelyezkedése	Na-U
	IMXA	$10^4$ nm	0.1-10 ppm	Elemi összetétel	
	RIBS	$10^3$ nm	0.01-1 %	Elemi összetétel, az adszorbeált részecskék elhelyezkedése	Li-U

Besugárzás	Módszer	Elérhető rétegvastagság	Tipikus érzékenysé g	Elsődleges információ	Detektálható elemek és specieszek
Neutron	Magreakciók	Tömbfázis	0.001-0.1 ppm	Elemi összetétel a tömbfázisban	Li-U
	NAA	Tömbfázis	0.001-0.1 ppm	Elemi összetétel a tömbfázisban	Li-U
	PGAA	Tömbfázis	0.001-0.1 ppm	Elemi összetétel a tömbfázisban	H-U
	Neutron-szórás	Tömbfázis		Szerkezet és morfológia	
	SANS	Tömbfázis		Szerkezet és morfológia	

# Neutronok alkalmazása



- Fizika: statisztikus fizikai rendszerek
- Részecskefizika: a neutronok elemi részekből (kvarkok, pionok, gluonok) állnak. Belső szerkezetük határozza meg a radioaktív bomlást, a mágneses momentumot, , elektromos dipól momentumot, stb.
- Szilárdtest fizika: szilárd anyagok mágneses szerkezete és dinamikája
- Magnetoelektronika: mágneses szenzorok, hard disc-ek, mágneses momentumok iránya, spinszelepek, stb.
- Szerkezeti kémia: mindent, ahol hidrogénkötések vannak.: racionális molekulatervezés
- Folyadékok és üvegek: átmenetek a két állapot között (memória hatás, számítógépes szimulációs technikák )

- Anyagtudomány: szerkezetérzékeny képalkotás, tomográfia, radiográfia. Belső szerkezetek, rejtett tárgyak vizsgálata.
- Anyagtervezés: Növekvő energiaárak, fokozódó környezetvédelmi követelmények új anyagok előállítását teszik szükségessé, pl. kis sűrűségű nanokompozitok.
- Nanoszerkezetek templátjai: nanoméretű rendezett blokk kopolimerek előállítása, melyek felhasználhatók katalizátorok, implantátumok, gyógyszerek, mágneses készülékek, stb. előállítására.
- Műszaki tudomány: A szerkezetek élettartamát befolyásoló mechanikai tulajdonságok vizsgálata

- **Biológia:** A neutronok különösen érzékenyek a molekulák ill. atomok dinamikájára, azaz a szerkezet megváltozásaira.
- **Biotechnológia:** Enzimek aktív szerkezetének, ill. aktív centrumainak vizsgálata felhasználható biotechnológiai folyamatok tervezésére. Pl. glükóz-izomeráz szerkezetének, aktív centrumának, a katalízist befolyásoló anyagok hatásának felderítése.
- **Gyógyszerkutató:** Enzimreceptor proteinek, nukleinsavak három-dimenziós szerkezetének felderítése. Pl. öregkori betegségek, Alzheimer-kór kezelése: a betegséget rosszul oldódó amyloid lerakódások kiválása okozza az agyban és az idegszálakban. A folyamatot szabályozó enzimek szerkezetének megismerése segíthet a gyógyszertervezésben.

- Hidrogén mint energiahordozó: a hidrogén biztonságos tárolása (fém-hidridek, könnyű elemek ionos hidrogénvegyületei).
- Energetika: a földgáz legnagyobb hányada metán-víz klatrátok formájában található. Ez nagy energiaforrást jelenthet, de hozzájárul az üvegházhatáshoz és a tengerek geológiai veszélyeihez. Öldtudomány: a felső földköpeny aktivitása felelős a földrengésekért és a vulkánkitörésekért. Az ásványok és a magma vizsgálata a köpenynek megfelelő körülmények között segítheti az előrejelzést.
- Archeológiai vizsgálatok: NAA, PGAA nagy neutronfluxussal. Rézkori, kb. 5200 éves emberi maradványok (Ötztal). Régen elfelejtett technológiák vizsgálata.