

Hordozható neutronforrások működési elve, alkalmazásuk

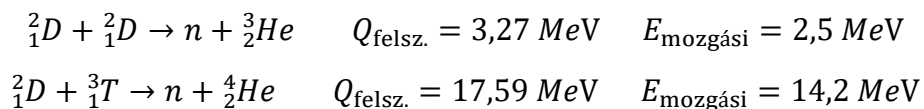
1, Bevezetés, neutronforrás fogalma, hordozható fajtáik

Neutronforrásnak az olyan eszközöket hívják, amik neutronokat bocsájtanak ki magukból. Függetlenül a mechanizmustól, az alapelve ezeknek a neutronforrásoknak a transzmutációs reakciók. Mégpedig azon transzmutációs reakciók ahol az atommagról neutron szakad le. Neutront előállítani háromféleképpen lehetséges: gyorsítókkal (accelerators), radioizotóppal vagy nukleáris reaktoral. Az első kettő fajtába tartoznak a kompakt vagy hordozható neutronforrások. [1]

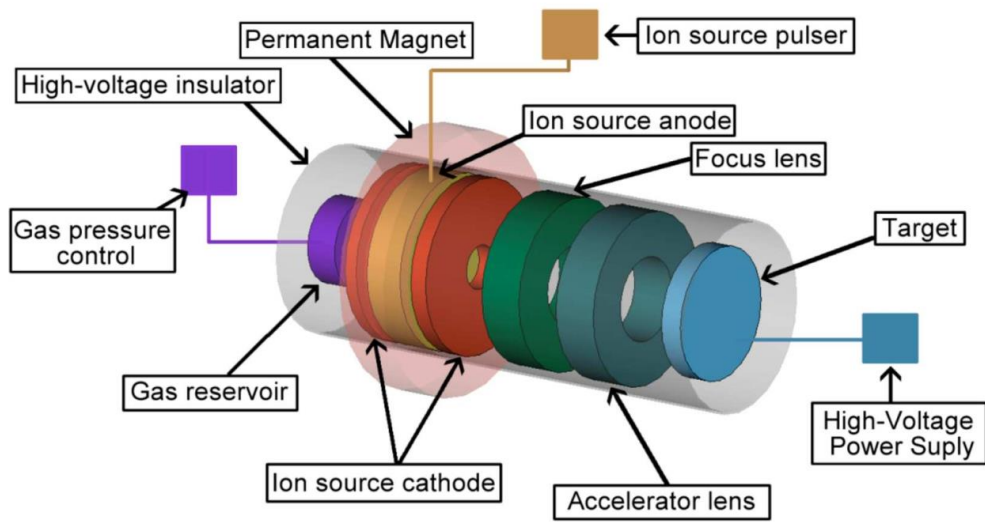
2, Gyorsítók (accelerators) működési elve, neutrongenerátorok

A gyorsítóban (accelerators) egy lineáris részecske gyorsítóval valamilyen célsanyagot bombázunk, aminek hatására kiválnak részecskék a célpont anyagból. Jól megválasztott reakciófelekkel, és a megfelelő energiabefektetéssel neutronok kibocsájtását tudjuk elérni.

Egyik fajtája a neutron generátor ahol a hidrogén izotópjait ütköztetjük egymással. Így kétféle energiájú neutron kibocsájtását érhetjük el az alábbiak szerint:

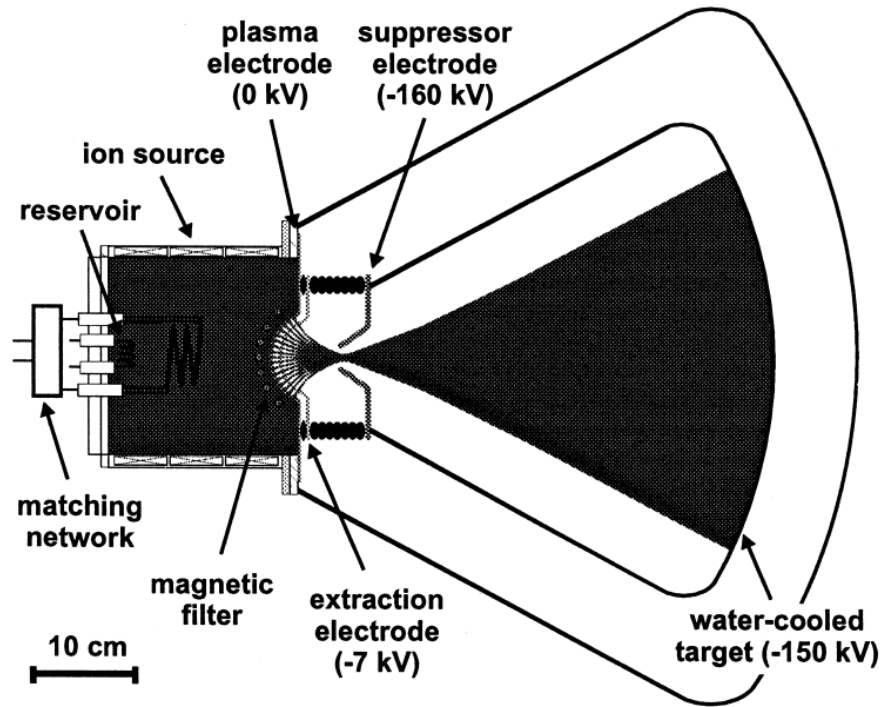


Általában ezek a rendszerek Penning ionforrást használnak, hogy ionizálják a deutérium gázt. A Penning ionforrás magas feszültséget és elektrosztatikus tereket használ a gáz ionizálására és irányítására. Felépítését az 1. ábra illusztrálja. Az ionsugár gyorsítócsövön keresztül a tríciummal dúsított célpont anyaggal ütközik [2]. Ez a célpont anyag lehet titánnal bevont réz, ahol a titán fém-hidrid formájában tudja megtartani a tríciumot [3].



1. ábra: a Penning ionforrás felépítése

Példa az ilyen neutrongenerátorokra a sealed tube neutrongenerátorok ahol az ionforrás, a gyorsítócső és a célpont anyag egy légmentesen zárt egységben vannak. Az ilyen egységekben általában tríciummal dúsított célpont anyag van, és deutérium-trícium gázkeverékkel vannak feltöltve. Felépítését a 2. ábra tartalmazza. [3]

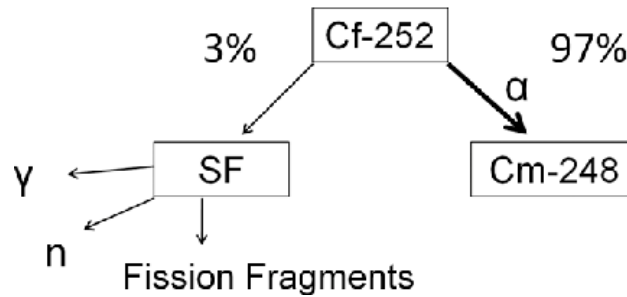


2. ábra: a sealed tube neutrongenerátor sematikus diagramja

3, Radioizotópos neutronforrások

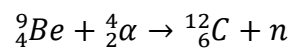
A radioizotópos neutronforrások előállíthatóak nukleáris reaktorokban transzurán elemekből. Három fajtát különböztethetünk meg. Példákat a neutronforrásokra a 1. táblázat tartalmaz.

Az első fajtája egy tiszta elem radioaktívan bomló izotópjá, de ezek közül csak a Cf-252-es izotópjának van elegendően nagy neutronkibocsájtása az izotóp spontán bomlása miatt (SF).



4. ábra: A Cf-252 izotóp bomlási eloszlása

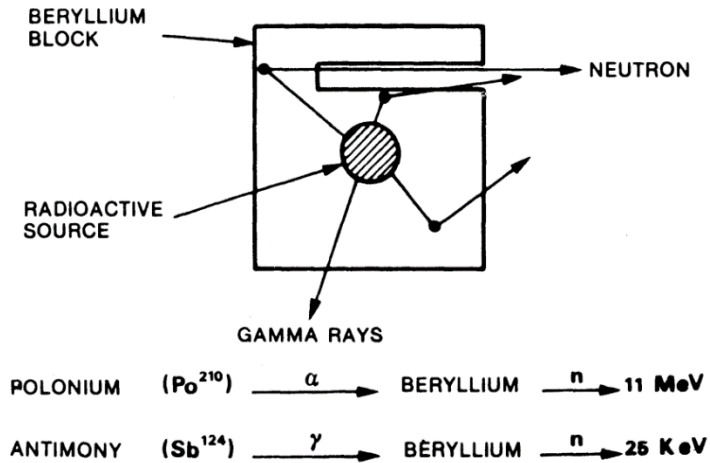
A második fajtája egy alfa-részecske sugárzó izotóp és egy befogó elem keverékéből készül. A kibocsájtott neutron a befogó elemből származik (például Po²¹⁰-Be keverék). A berillium és az alfa-részecske között a következőképpen zajlik reakció:



A harmadik fajta radioizotópos neutronforrás egy gamma-sugárzó izotóp és egy befogó elem keverékéből áll. A kibocsájtott neutron ebben az esetben is a befogó elemből származik (például Sb¹²⁴-Be keverék). A két keverék vázlatos felépítését a 3. ábra tartalmazza. [1]

1. táblázat: radioizotópos neutronforrások

Source	Half-life		Reaction	Neutron yield (n.s ⁻¹ g ⁻¹)	Neutron energy (MeV)
¹²⁴ Sb-Be	60	d	(γ.n)	2.7.10 ⁹	0,024
²¹⁰ Po-Be	138	d	(α.n)	1.28.10 ¹⁰	4,3
²⁴¹ Am-Be	458	a	(α.n)	1.10 ⁷	~ 4
²²⁶ Ra-Be	1620	a	(α.n)	1.3.10 ⁷	~ 4
²²⁷ Ac-Be	21,8	a	(α.n)	1.1.10 ⁹	~ 4
²²⁸ Th-Be	1,91	a	(α.n)	1.7.10 ¹⁰	~ 4
²⁵² Cf	2,65	a	fission	2.34.10 ¹²	2,3



3. ábra: A keverék neutronforrások vázlata

3, Hordozható neutronforrások alkalmazása

A kompakt neutronforrások széles körben alkalmazzák. Az orvostudományban a Cf^{252} izotópot radiológiai kezelésekre alkalmazzák [4], emellett neutrongenerátorokat is alkalmaznak (boron neutron capture therapy) egyes daganatfajták besugárzására [5].

A neutrongenerátorokat a radiográfiai képalkotásra is használják, illetve akár anyagok felderítésére is (akna detektálás). A nagy behatolási mélysége miatt noninvazív vizsgálatokra használható, például: relikviák tanulmányozása. A neutrongenerátorok különböző felhasználási formáit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: neutrongenerátorok alkalmazási formái

Applications	Neutron-matter reactions	Accelerator systems	Neutronics & energies	Remarks	
Interrogation of materials/structures	(n, γ)	PGNAA	<u>P</u> , CW	<u>cold</u> , thermal	Compact, rugged, transportable (portable for landmine detection & well logging), minimal innate γ background & large, scannable beams
		DGNAA	<u>P</u> , CW	cold, thermal	
		NRCA	<u>P</u> , CW	epithermal	
		FNAA	<u>P</u> , CW	fast	
		APT	P (ns)	$D(T, \alpha)n$, $E_n=14$ MeV	
Radiography & imaging	(n, γ)	+ PGNAA	<u>P</u> , CW	<u>cold</u> , thermal	Combined tomographic and activation analysis techniques, neutron polarization analysis of magnetic materials
		+ NRCA	<u>P</u> , CW	epithermal	
		+ FNAA	<u>P</u> , CW	fast	
		RITS	P	thermal	
		polarization	<u>P</u> , CW	cold, polarized	
Irradiation effects on electronics	Neutron-induced soft errors (SEU)	<u>P</u> , CW	fast, selective	High flux to speed up testing/certifying processes, matching test and environmental spectra	
Neutron capture therapy	BNCT	P, CW	epithermal	Compact and suitable for operation in hospitals, good flux and clean beam, development of boron-bearing pharmaceuticals	
Isotope production	${}^N X(n, \gamma) X^{N+1*}$	CW	selective	Compact, prevalently located near isotope processing and generation facilities	
Nuclear data & cross section measurements	reaction & scattering	<u>P</u> , CW	all	Flexible and multi-purpose beamline and endstations	
Nuclear astrophysics	n-capture, β -decay, (n, γ) decay rate, calorimetry	<u>P</u> , CW	fast	High-intensity beams needed for microgram samples	
ADS science & technology	subcritical fission, transmutation	P	thermal to epithermal (?)	Intense beams & reliable operation	

5. Irodalomjegyzék

[1] P. Von der Hardt, H. Röttger; *Neutron Radiography Handbook*; D. Reidel Publishing Co.; London, England; **1981**

[2] W. L. Araujo, T. P. R. / Campos; *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, 3302; **2010**

[3] J. M. Verbeke, K. N. Leung; *Applied Radiation and Isotopes*, 53, 801–809; **2000**

[4] A. R. Boulogne, A. G. Evans; *Applied Radiation and Isotopes*, 20, 453-46; **1969**

[5] C. Andreani, I. S. Anderson, J. M. Carpenter, G. Festa, G. Gorini, C.-K. Loong , R. Senesi; *Physics Procedia*, 60, 228 – 237; **2014**