

Országos Szilárd Leó fizikaverseny 2009
Számítógépes feladat
Szabályozó rúd kalibrációja

Elméleti bevezetés

Az atomreaktorok külső beavatkozással történő szabályozása az aktív zónában elhelyezett neutronelnyelő anyagot tartalmazó ún. szabályozó rúddal valósítható meg. A szabályozó rúd mozgatásával a zónában lévő neutronelnyelő anyag mennyisége módosítható, ezzel változtathatjuk a reaktor neutron sokszorozási tényezőjét, azaz előállítható szubkritikus, kritikus és szuperkritikus reaktorállapot is. A reaktorfizikában a sokszorozási tényező (k_{eff}) helyett gyakran a *reaktivitást* (ρ) használják a láncreakció jellemzésére, mely definíció szerint

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}.$$

A reaktorban a maghasadás és egyéb magreakciók következtében a hasadóanyag mennyisége csökken, ebből következően a működés során csökken a reaktivitás, és szubkritikussá válhat a zóna. A reaktor hosszú távú működéséhez kompenzálni kell ezt a reaktivitás csökkenést. Emiatt indításkor a reaktorba több hasadóanyagot – s ezzel többlet reaktivitást – építenek be, mint amennyi a működéshez éppen hogy csak szükséges. Ezt a többlet reaktivitást nevezik *reaktivitás-tartaléknak*. A biztonságos működéshez viszont ezt a többlet reaktivitást szabályozó rúddal kompenzálni kell, „le kell kötni”, különben a reaktor erősen szuperkritikus lenne. A működés során a reaktivitás csökkenése a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával korrigálható.

Üzemeltetés szempontjából kulcsfontosságú tényező annak ismerete, hogy a szabályozórúd hosszegységenként mekkora reaktivitást köt le a zóna reaktivitás-tartalékából. A szimulációs feladat egy szabályozórúd reaktivitás-lekötésének meghatározása.

A feladat elvégzéséhez szubkritikus reaktorállapotra van szükség, ekkor az effektív sokszorozási tényező $k_{eff} < 1$, ill. az ebből származtatott *reaktivitás* $\rho < 0$.

Az önfenntartó láncreakció ebben az esetben nem valósul meg, a magára hagyott reaktor magától leáll. Azonban, ha külső forrást helyezünk az aktív zónába, a neutronok száma állandósult állapotba kerül, a kialakuló neutrons szám (N) és a zóna reaktivitása között a következő áll fenn:

$$\rho = -\frac{A}{N},$$

ahol A egy konstans arányossági tényező. Amennyiben változtatjuk a szabályozó rúd pozícióját (z), megváltozik a reaktivitás, és ezzel együtt a kialakuló állandósult neutrons szám is, azaz

$$\rho(z) = -\frac{A}{N(z)}.$$

Az A együttható meghatározásának egyik módja a fenti képletből adódik: szubkritikus zónában két különböző rúdpozícióban (z_1 és z_2) meghatározzuk a reaktivitást (ρ_1 és ρ_2) és az állandósult neutrons számot a detektoron (N_1 és N_2), majd a fenti képlet alapján a

$$\rho_1 - \rho_2 = \frac{A}{N_2} - \frac{A}{N_1}$$

összefüggésből kifejezhető A . Ez az eljárás a gyakorlatban is használatos a szabályzó rúd kalibrációs görbéjének meghatározásához. Az eljárás neve I/N módszer (arra utal, hogy a reaktivitás arányos az I/N -el).

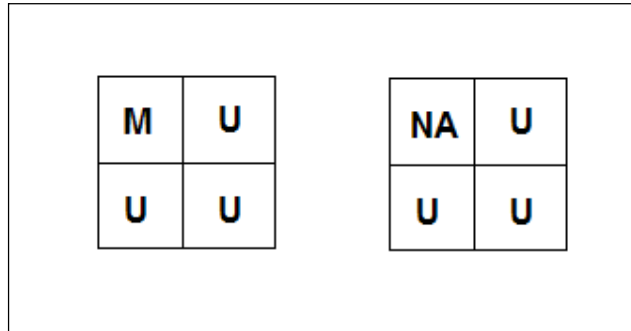
Feladat

A szimuláció alkalmazásával határozza meg a szabályzó rúd kalibrációjához szükséges A együtthatót, valamint határozza meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitás lekötést két különböző rúd-pozícióban!

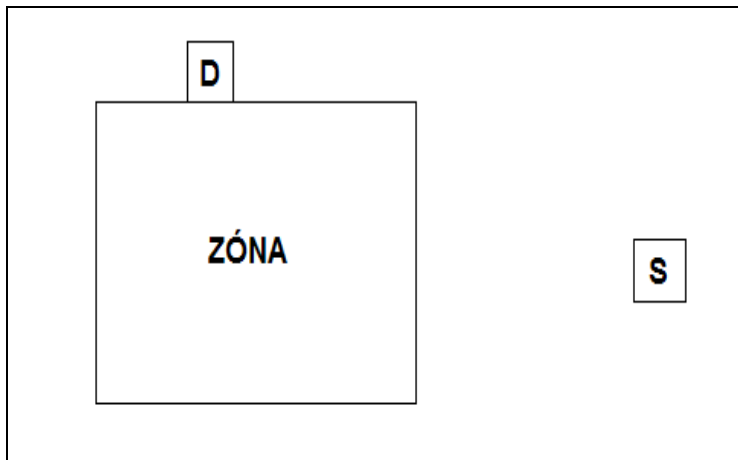
Lépések:

1. Építsen kritikus, szabályozó rúddal szabályozható reaktorzónát!
Utmutatás: A kritikus rendszer összeállításához olyan 4 pálcából álló köteget használjon alapegységnek, melyek 3 urán ill. 1 moderátor-pálcát tartalmaznak (ld. 1. ábra). A szabályozhatóságot egy olyan 4-es köteggel valósítsa meg, ahol a moderátor pálcá helyett neutronelnyelő pálcá (szabályozó rúd) van, ezt az elemet a zóna közepére helyezze el. A szimulációkor minden esetben *kapcsolja ki a hőmérsékleti visszacsatolásokat!* Moderátorként használjon nehézvizet, üzemanyag gyanánt dúsított uránt. Az öfenntartó nukleáris láncreakció beindításához mindenképpen szükség van egy *neutronforrásra*, ezért helyezzen el egy forrást a zónától távol (2. ábra). A kritikus reaktorállapotot a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával állítsa be úgy, hogy – miután a neutron-sokszorozás elindult – a forrást cserélje ki egy üres elemmel. A neutronok számának időbeli változását egy *detektorral* vizsgálja, melyet közvetlenül az aktív zóna mellé helyezzen (2. ábra)! A neutronforrás nélkül a reaktorunk akkor van kritikus állapotban, ha a detektor által érzékelt neutronok száma időben nem változik.
2. A kritikus állapot elérése után állítsa le a szimulációt, és helyezzen el egy forrást az elrendezéstől távol (a forrás sor-oszlop koordinátáját jegyezze fel, mert a további feladatok során azonos pozícióba kell majd visszahelyezni), majd a szabályozó rúd pozícióját növelje meg 5%-al (tolja beljebb a rudat a reaktorba, és ezzel hozza szubkritikus állapotba a rendszert) és indítsa újra a szimulációt! Vizsgálja meg a detektoron mért neutronok számának időbeli változását! Magyarázza meg a karakterisztikát, majd az állandósult állapot beállta után jegyezze fel a detektoron mért neutronok számát és állítsa le a szimulációt! Vegye ki a forrást rendszerből és folytassa (ne indítsa újra!) a szimulációt, majd jegyezze fel a detektor adataiból számított sokszorozási tényezőt (ez az utolsó két értékében egy átlag körül ingadozó mennyiség lesz, ezért célszerű egyes időlépésenként feljegyezni pár tipikus értéket és azokból átlagot számolni), és végül állítsa le a szimulációt!
3. A 2. feladat elvégzése után helyezze vissza a forrást az adott pozícióba, és ismét növelje a szabályozó rúd pozícióját 5%-al, majd indítsa újra a szimulációt! Ismételje meg a 2. feladat lépéseit az új rúdállás mellett is!
4. A 2. és 3. feladatban felvett detektorjelek, ill. sokszorozási tényezők felhasználásával határozza meg a fenti összefüggések alapján a rúd kalibrációjához szükséges A együtthatót, valamint határozza meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitás lekötést.
5. A szabályozó rudat (nem az egész elemet) cserélje meg egy, a zóna szélétől három pálcára lévő moderátor elemmel! Ismételje meg a 2. 3. és 4. feladatot, és hasonlítsa

össze a két pozíció mellett végzett szimulációk eredményeit! Magyarázza meg a tapasztalatait!



1. ábra: A zóna felépítéséhez használatos alapelemek, jelölés :
 U – urán; M – moderátor; NA – neutronelnyelő



2. ábra: Az alapelemből felépített zóna, a méréshez szükséges neutrontetektor (D) ill. a forrás (S) ajánlott elrendezése