

1. GUARDYAN

A GUARDYAN (*GPU Assisted Reactor Dynamic Analysis*) egy GPU-n (*Graphics Processing Unit*) futó Monte Carlo alapú neutrontranszport program. A szimuláció másodrendű felületek által meghatározott háromdimenziós térben követi a neutronok mozgását miközben azok kölcsönhatásba lépnek a térfogatban található izotópokkal. A transzport során folytonos energiaeioszlásokkal dolgozunk, melyek az ENDF (*Evaluated Nuclear Data File*) hatáskeresztmetszet táblázatból származó ACE (*A Compact ENDF*) formátumban adhatóak meg.

1.1. Függőségek

A fejlesztés linux alapú operációs rendszeren folyik, jelenleg az Ubuntu 16.04.2 verzióját használjuk a következő függőségekkel:

CUDA: 8.0

NVIDIA driver: 375.66

GCC: 5.4.0

Qt: 5.5.1

A program futtatásához két GeForce GTX 690 és négy Geforce GTX 1080 videokártya áll rendelkezésünkre.

1.2. A program felépítése

A CUDA/C++ nyelven írt kód alapvetően három nagyobb egységből áll. Az első modul felelős a hatáskeresztmetszet adatok beolvasásáért, a második a host oldali feladatokért, a harmadik egység maga a GPU kernel, mely a elvégzi a szimulációt. Jelenleg a host oldali kód 64350, míg a device kód 5094 sor.

1. táblázat. Jelenleg támogatott felületek típusai.

	S(x,y,z)
px	$x - x_0$
py	$y - y_0$
pz	$z - z_0$
p	$Ax + By + Cz - D$
cx	$y^2 + z^2 - r^2$
cy	$x^2 + z^2 - r^2$
cz	$x^2 + y^2 - r^2$
c/x	$(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - r^2$
c/y	$(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 - r^2$
c/z	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r^2$
s	$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - r^2$
so	$x^2 + y^2 + z^2 - r^2$

2. Geometria

Annak érdekében, hogy az alkalmazás egy valós reaktor geometriáján is képes legyen szimulációt végezni, meg kellett teremteni a geometria leíróhoz szükséges eszközöket. Más részecsketranszport kódokhoz (Serpent, MCNP, OpenMC) hasonlóan a GUARDYAN geometriai leírója is felületek, felületek által definiált cellák és a cellákat tartalmazó izotópok felsorolásából áll. A program számára ezek az adatok *xml* fájlban adhatóak meg.

2.1. Felületek

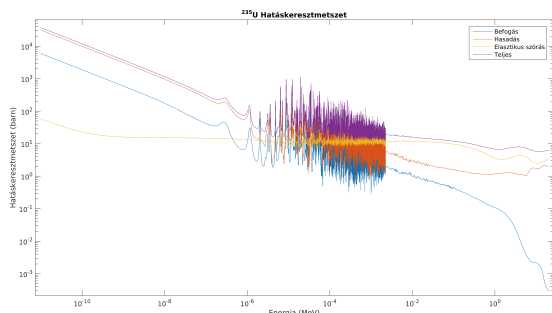
Első lépésként a geometria felépítéséhez a felületeket kell definiálnunk. A program jelenlegi verziójában támogatott az általános helyzetű gömb, sík és végtelen henger, illetve ezek néhány speciális esete, melyeket az 1. táblázat tartalmaz.

2.2. Cellák

A felületek megadása után a cellákat kell definiálnunk. Ehhez minden cellára meg kell adni a határoló felületeket, valamint a cellát homogénn kitöltő anyagot.

2.3. Izotópok

Az hatáskeresztmetszet adatok beolvasása előtt megadhatjuk az ACE formátumú fájlok elérési útját a programnak, így az képes az MCNP számára generált adatokat is használni. A beolvasott ^{235}U izotóp 296.3K hőmérsékletre tartozó adatai közül a hasadás, abszorpció és a rugalmas szórás hatáskeresztmetszetei láthatóak a 1. ábrán.



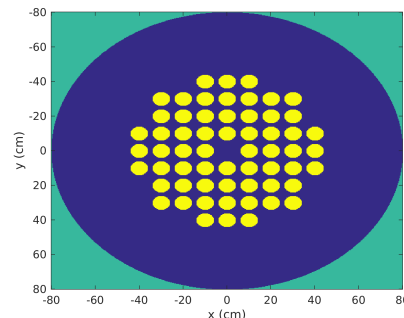
1. ábra. A program által beolvasott hatáskeresztmetszetek ^{235}U esetén

A jelenlegi megvalósításban minden izotópra külön tároljuk a hozzá tartozó energiafelosztást is. Egy adott energiájú neutron hatáskeresztmetszetének meghatározásához bináris keresést és lineáris interpolációt használunk.

2.4. Anyagok

Az anyagokat izotópokból alkothatjuk meg, megadva az egyes izotópok részarányát és a sűrűséget. A szimuláció előtt minden anyaghoz le-

generáljuk a teljes makroszkopikus hatáskeresztmetszetet és ezekből a majoráns hatáskeresztmetszet a Woodcock módszerhez.



2. ábra. Geometriai elrendezés x-y irányú szelete víz hengerben található 60 urán-oxid rúd esetén.

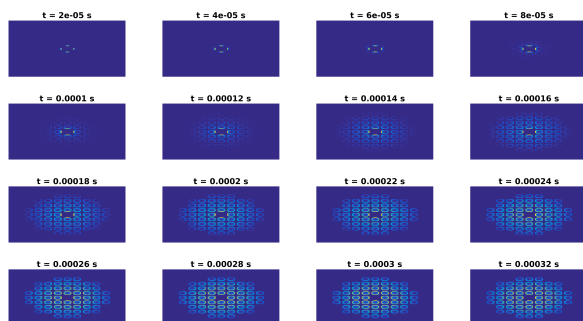
2.5. Memóriahasználát

Ha egy friss üzemanyagot tartalmazó VVER-440 reaktort alkotó fontosabb izotópokat vesszük figyelembe: ^1H , ^2H , ^4He , ^{10}B , ^{11}B , ^{16}O , ^{17}O , ^{90}Zr , ^{91}Zr , ^{92}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Zr , ^{93}Nb , ^{152}Gd , ^{154}Gd , ^{155}Gd , ^{156}Gd , ^{157}Gd , ^{158}Gd , ^{160}Gd , ^{174}Hf , ^{176}Hf , ^{177}Hf , ^{178}Hf , ^{179}Hf , ^{180}Hf , ^{235}U , ^{238}U , nyolc különböző anyagot definiálva, akkor a hatáskeresztmetszet táblázatból beolvasott adatok tárolásához egy hőmérsékleten összesen 102,4 MB memóriára van szükség a GPU-n. A jelenleg rendelkezésünkre álló videokártyák kettő illetve nyolc GB memóriával rendelkeznek, ha több hőmérsékletet és a kiegészítő izotópokat is figyelembe kívánjuk venni, akkor folyamatosan figyelni kell a memóriahasználatra.

3. Neutron transzport

A részecske transzport hagyományos Woodcock-módszeren alapul, melyhez szükséges majoráns

hatáskeresztmetszeteket egy közös energiára előre legeneráljuk. Valós ütközés esetén először implicit befogást alkalmazva csökkentjük a részecske súlyát a túlélés valószínűségével, majd a hatáskeresztmetszetek alapján sorsolunk egy reakciót. A következő MT számoknak megfelelő reakciókat vesszük figyelembe: $MT=2, 5, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 44, 45, 51-90, 101$.

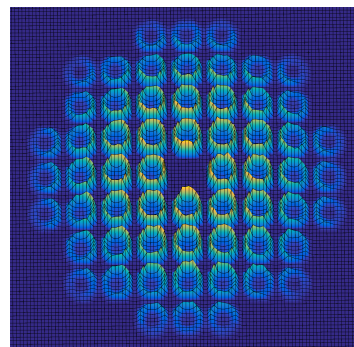


3. ábra. A $t = 0s$ időpillanatban egy $0.1MeV$ energiájú forrást alkalmaztunk az origóban.

Miután a reakciót kiválasztottuk, a neutron új energiájának és a szögének meghatározása attól függ, hogy az adathoz milyen ACE törvény (*ACE Law 3, 4, 7, 9, 11, 44, 61, 66*) van meghatározva, a szögeloszlás lehet izotrop vagy táblázatos formában adott. Figyelembe kell venni továbbá, hogy az adatok tömegközépponti vagy laboratóriumi koordináta-rendszerben adottak.

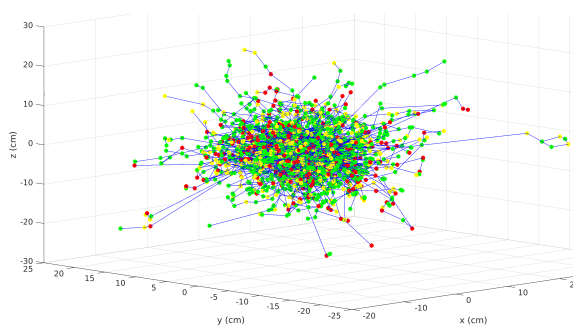
A 2. ábrán látható elrendezésben a $t = 0s$ időpillanatban egy $0.1MeV$ energiájú forrást alkalmaztunk az origóban. A 3. ábrán látható, hogy egyes időpillanatokban milyen a teljesítménysűrűség térbeli eloszlása. A 4. ábrán az $1ms$ után kialakult teljesítménysűrűség látható.

Lehetőség van a neutronok trajektóriájának kimentésére is. Az 5. ábrán ^{235}U gömb esetén



4. ábra. A teljesítménysűrűség $0.001s$ után

a $t = 0s$ időpillanatban $1eV$ energiájú neutronokat indítottunk az origóból. 500 neutron első nyolc reakciója látható az ábrán, zölddel jelölve a rugalmas szórást, pirossal a hasadást, sárgával minden egyéb reakciót.



5. ábra. Zölddel $MT=2$, pirossal $MT=18$, sárgával jelölve minden egyéb reakciót.