

# Tételsor a „Reaktorfizika” című tantárgyhoz

2021. őszi félév (Kópházi József és Horváth András)

A tanuláshoz jól használhatók Szatmáry Zoltán tanár úr “Bevezetés a reaktorfizikába” és “Reaktorfizika mérnököknek” című jegyzetei, ezek a <https://oktatok.reak.bme.hu/dr-kophazi-jozsef/oktatas/> oldalról pdf formátumban letölthetők. A tananyag teljes egészében megtalálható ebben a két jegyzetben.

## 1. Alapfogalmak

1. Egy  $x$  irányban  $x_0$  vastagságú,  $y$  és  $z$  irányban végtelen kiterjedésű lemez céltárgyon mennyit gyengül a rá merőlegesen érkező  $I_0$  intenzitású párhuzamos neutronnyaláb, ha a közegnek csak az abszorpciós hatáskeresztmetszete különbözik nullától?
2. Miből áll a hatáskeresztmetszetek kettős additivitása?
3. Definiálja a szögfüggő neutronfluxust! Mi a fizikai tartalma?
4. Definiálja a szögfüggetlen neutronfluxust! Mi a fizikai tartalma?
5. Definiálja a neutronáram-sűrűség vektort!
6. Definiálja a neutronáramot!
7. Definiálja a parciális áramokat!
8. Hogyan határozható meg egy zárt  $V$  térfogatból kiáramló neutronok száma?
9. Ismertesse a szögfüggő fluxus  $\Omega$  változó szerinti sorfejtését az első két tagig!
10. Mi a parciális áramok ( $J^+$ ,  $J^-$ ) kapcsolata a szögfüggő fluxussal és a neutronárammal, mi a fizikai tartalmuk?
11. A differenciális transzportegyenlet.
12. Az integrális transzportegyenlet.

## 2. Diffúzióelmélet

1. Vezesse le a diffúzióegyenletet az időfüggetlen, izotróp szórású, egycsoport transzportegyenlet differenciális formájából! A szükséges határozott integrálokat nem kell kiszámolni, azok értékét a mellékelt segédletből vegye!
2. Vezesse le a Fick-törvényt az időfüggetlen, izotróp szórású, egycsoport transzportegyenlet differenciális formájából! A szükséges határozott integrálokat nem kell kiszámolni, azok értékét a mellékelt segédletből vegye!
3. Írja fel a neutronok időbeli mérlegét a kifolyási tag levezetésével egycsoport diffúziós közelítésben!
4. Milyen peremfeltételek alkalmazhatóak a transzportegyenlet és a diffúzióegyenlet esetében?
5. Mi az extrapolációs távolság?
6. Írja fel az energia és időfüggő általános diffúzióegyenletet!
7. Mi a kinetikus és a sztatikus sajátérték (általánosan)?
8. Mi a reaktorelmélet alaptétele? Miért hasznos?

9. Ismertesse a csoportállandók számításának összefüggéseit az egycsoport-modellhez! Miért nem jelenik meg a totális hatáskeresztmetszet csoportállandója az egycsoport diffúzióegyenletben?
10. Határozza meg és jellemezze a kinetikus sajátértékeket egycsoport közelítésben, homogén közegben! Aszimptotikusan melyik módus (sajátfüggvény) lesz a domináns és miért? Mi ennek a következménye?
11. Mi az anyagi és a geometriai görbületi paraméter?
12. Adjon feltételeket matematikai formában a kritikusságra! (hármát)
13. Határozza meg és jellemezze a sztatikus sajátértéket az egycsoport diffúzióelméletben!
14. Oldja meg a Helmholtz-egyenletet 1D, gömb és hasáb alakú csupasz reaktorra!
15. Oldja meg az egycsoport-diffúzióegyenletet egy  $a$  vastagságú, mindkét oldalán végtelen vastag reflektorral ellátott reaktorra! A megoldást vázolja fel grafikusán! (a sztatikus sajátértékegyenletet) Hogyan lehet meghatározni a kritikus méretet ebben az esetben?
16. Definiálja és jellemezze az albedót! Milyen jelentősége van a gyakorlatban?

### **3. Pontkinetika**

1. A pontkinetika alapötlete
2. Csak a prompt neutronok figyelembevételével hogyan írható le a neutronfluxus időfüggése? Diskutálja a kapott eredményt!
3. Vezesse le a pontkinetikai egyenletrendszer! (tetszés szerint heurisztikusan vagy az egycsoport diffúzióegyenletből)
4. Vezesse le a reciprokóra egyenletet!
5. Vázzolja fel a reciprokóra-egyenlet megoldásait grafikusán! Milyen az egyes időálladók előjele pozitív, negatív és nulla reaktivitás esetén? Jelölje be az ábrán a  $\rho = 0,5\%$  és  $-0,5\%$  reaktivitásokhoz tartozó időállandókat!
6. Mi a prompt kritikusság és a dollárban kifejezett reaktivitás? Milyen tartományban lehet biztonságosan reaktort üzemeltetni, és miért?
7. Állandósult állapotú kritikus reaktorba ugrásszerűen  $1\%$ -nál kisebb pozitív reaktivitást viszünk be. Hogyan fog változni az idővel a reaktor teljesítménye? Rajzolja fel grafikusán a neutronszámot mint az idő függvényét és jelölje be az ábrán az asszimptotikus viselkedést!
8. Oldja meg a pontkinetikai egyenletrendszer szubkritikus reaktor esetében, ha reaktorban időben állandó külső forrás van jelen! Milyen az asszimptotikus fluxus?
9. Oldja meg a pontkinetikai egyenletrendszer kritikus reaktor esetében, ha reaktorban időben állandó külső forrás van jelen!
10. Forrásmentes reaktorban vészleállítás történik, jellemezze a fluxus időbeli változását! A kvázi-stacioner állapotban lévő fluxus nagysága hogyan függ a reaktivitáscsökkenéstől (kezdeti állapotban a reaktor kritikus volt)

### **4. Reaktivitásmérés**

1. Ismertesse a szuperkritikus reaktor esetében használatos reaktivitásmérési módszereket!

2. Milyen kísérleti módszerrel lehet biztonságosan megközelíteni egy reaktor kritikus állapotát? Ismertesse az eljárás matematikai hátterét (szubkritikus sokszorozás) és veszélyeit!
3. Ismertesse a pulzált neutronforrással történő reaktivitásmérés elvét!

## 5. Lassuláselmélet

1. Írja fel a lassulási egyenletet általános formájában, és ismertesse a fontosabb tulajdonságait!
2. Írja fel energia-változóban a lassulási egyenlet azon alakját, amely nem tartalmaz hasadási forrást! Milyen feltétel mellett igaz az egyenlet? (forrástól távol)
3. Vezesse le a szórási magfüggvényt letargia- és energia-változóban izotrop szórást feltételezve! Mi az átlagos logaritmikus energiacsökkenés, és hogyan függ a szóró mag tömegszámától?
4. Mi a lassulási és a szórási sűrűség? Milyen kapcsolat van a két mennyiség között?
5. A forrástól távoli letargián mi a lassulási sűrűség és a spektrum kapcsolata?
6. Oldja meg a lassulási egyenletet végtelen, abszorpció mentes közegre! (vezesse le a spektrumot és a lassulási sűrűséget)
7. Oldja meg a lassulási egyenletet végtelen, hidrogént és abszorbenst tartalmazó közegre! (vezesse le a spektrumot és a lassulási sűrűséget)
8. Oldja meg a általánosan a lassulási egyenletet! Milyen határesetnek felel meg a Fermi- és a Groeling-Goertzel-modell?
9. Ismertesse a lassulás Wigner-modelljét!
10. Mi a rezonanciaintegrál? Mi a végtelen hígítású rezonanciaintegrál? Mi a kapcsolatuk a rezonanciakikerülési valószínűséggel?
11. Ismertesse a magányos rúd és szabályos rácsok esetében a rezonanciaintegrálok kezelését! (csak kvalitatívan) Mi a Dancoff-faktor? (csak kvalitatívan)
12. Mi a reaktorfizikai Doppler-effektus? (csak kvalitatívan)
13. Ismertesse a neutronok termalizációját! (csak kvalitatívan)
14. Elemezze az abszorpció, a kifolyás, a lassulási forrás és az alacsony energián elhelyezkedő rezonanciák hatását a termikus spektrumra! (csak kvalitatívan)

## 6. Többcsoport módszerek

1. Ismertesse a neutroncsoportok alapötletét, definiálja a csoportfluxust és a csoportállandókat G energiacsoportot feltételezve! Írja fel a többcsoport diffúzióegyenletet, a removal hatáskeresztmetszetet alkalmazva!
2. Ismertesse a reaktorokfizikában használatos, rétegzett számítási sémáját! (csak vázlatosan)
3. Oldja meg a csupasz, egy dimenziós,  $x=-a$  és  $x=a$  síkokkal határolt rendszer kétcsoport diffúzióegyenletét! (határozza meg a csoportfluxusokat és a kritikussági feltételt)

4. Oldja meg a 3. feladatban szereplő kétcsoport diffúzióegyenletet reflektált esetben, azaz a  $x < -a$  és  $x > a$  tartományokon végtelen reflektor van!
5. Mi a véges differenciák módszerének alapötlete?
6. Határozza meg az  $x$ - $y$  koordinátákban diszkretizált diffúzióegyenlet!
7. Végesdifferencia-egyenletek megoldása: ismertesse a belső és külső iteráció lépéseit, hogyan határozható meg  $k_{eff}$ ? (csak vázlatosan)
8. Mi a belső iteráció? Mi a konvergencia feltétele? Igazolja, hogy a csoportállandók reális értékei mellett mindig konvergens!
9. Mi, és hogyan működik a külső iteráció?

## 7. Kiegészítés

1. Ismertesse a reaktorokban fellépő magátalakulások műszaki szempontból fontosabb folyamatait! (aktiváció, kiegészítés, láncok, stb)
2. Írja fel a Bateman-egyenletek általános formáját!
3. Milyen közelítéseket és számítási sémákat alkalmazhatunk a Bateman-egyenletek megoldására?
4. Írja fel a transzuránok keletkezésének egyszerűsített sémáját!
5. Jellemezze a keletkező transzuránok időbeli viselkedését a reaktorban!
6. Írja fel a xenon és szamárium izotópok időbeli változását leíró egyenleteket!
7. Oldja meg a xenon időbeli változását leíró egyenleteket egyenúlyi, és leállás utáni esetekre!
8. Oldja meg a szamárium időbeli változását leíró egyenleteket egyenúlyi, és leállás utáni esetekre!

## 8. Az adjungált egyenlet és alkalmazásai

1. A diffúzióegyenlet operátoros alakja, detektortér, detektorfüggvények
2. Az egycsoport adjungált diffúzióegyenlet
3. A perturbációs számítás alapjai, a reaktivitás és a fluxus perturbációja
4. A szabályozórúd jelleggörbéje