

## Zadaci za auditorne vježbe iz predmeta Uvod u nuklearnu energetiku

1. Odrediti atomske gustoće za: a) Na ( $A=22.99$ ) gustoće  $0.97 \text{ g/cm}^3$ , b) Na i Cl ( $A=35.453$ ) u kristalu NaCl gustoće  $2.17 \text{ g/cm}^3$ , c) vodika ( $A=1.00797$ ) i kisika ( $A=15.9994$ ) te deuterija (izotopska učestalost  $0.015 \text{ a/o}$ ) u vodi gustoće  $1 \text{ g/cm}^3$ .
2. Nuklearni reaktor sadrži  $1500 \text{ kg}$  šipki urana obogaćenog  $20\%$  u U-235 (ostatak je U-238). Kolika je masa U-235 prisutna u reaktoru i kolike su gustoće jezgara izotopa U-235 i U-238? (gustoća urana je  $19.1 \text{ g/cm}^3$ )
3. Nuklearno gorivo sastoji se od  $\text{UO}_2$  tableta, gustoće  $10.5 \text{ g/cm}^3$  i obogaćenja  $30\%$  u U-235. Odrediti gustoću jezgara U-235 u gorivu.
4. Odredite ogrjevnju moć antracita u MJ/kg ako je poznato da se izgaranjem atoma ugljika oslobađa  $4.79 \text{ eV}$  energije. Pretpostaviti da je težinski udjel ugljika u antracitu  $0.98$  i da izgori kompletan ugljik. Na isti način odredite ogrjevnju moć  $1 \text{ kg}$  prirodnog urana ( $99.282\%$  U-238,  $0.712\%$  U-235,  $0.006\%$  U-234) i  $1 \text{ kg}$   $3\%$  obogaćenog  $\text{UO}_2$  goriva. Odrediti i broj atoma U-238 u  $1 \text{ kg}$  goriva. Pretpostaviti da se fisijom jezgra U-235 oslobodi  $200 \text{ MeV}$  energije.
5. Nuklearni reaktor sadrži  $55 \text{ t}$   $3\%$  obogaćenog  $\text{UO}_2$  goriva. Prosječni tok termičkih neutrona je  $2.73 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ . Kolika je snaga reaktora ako je udarni presjek za fisiju u U-235  $582 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ .
6. Koliko grama Po-210 je potrebno za proizvodnju  $25 \text{ W}$  električne energije na kraju jednogodišnje misije svemirske sonde i koja je početna aktivnost radioaktivnog materijala? Električna energija se proizvodi u termoelektričnom uređaju efikasnosti  $10\%$ . Kao izvor energije koristi se  $\alpha$  raspad Po-210. Vrijeme poluraspada Po-210 je  $138$  dana a energija po raspadu  $Q=5.4 \text{ MeV}$ .
7. SNAP generator koristi kao toplinski izvor reakciju  ${}_{94}\text{Pu}^{238} \rightarrow {}_{92}\text{U}^{234} + {}_2\text{He}^4$ . Inicijalno punjenje sadrži  $475 \text{ g}$   $\text{Pu}^{238}$ . Gustoća PuC je  $12.5 \text{ g/cm}^3$ . Vrijeme poluraspada za  ${}_{94}\text{Pu}^{238}$  je  $86$  godina a za  ${}_{92}\text{U}^{234}$  je  $2.47 \cdot 10^5$  godina. Atomske mase su za  $\text{Pu}^{238}$   $238.0496 \text{ ajm}$ ,  ${}_{92}\text{U}^{234}$   $234.0409 \text{ ajm}$ ,  ${}_2\text{He}^4$   $4.0026 \text{ ajm}$  i  $\text{C}^{12}$   $12.01 \text{ ajm}$ . Odrediti početnu volumnu gustoću toplinske snage i ukupnu toplinsku snagu izvora.
8. C-14 je radioaktivni izotop ugljika koji nastaje visoko u atmosferi djelovanjem kosmičkih zraka na dušik. Poluvrijeme života mu je  $5730$  godina. U arheološkim iskopinama nađen je komad drveta s aktivnošću  $5.5 \cdot 10^{-12} \text{ Ci}$  po gramu drveta, dok isti takav živući komad drveta ima aktivnost od  $7.5 \cdot 10^{-12} \text{ Ci}$  po gramu. Koliko radioaktivnih jezgara ugljika je prisutno u gramu starog drveta i kolika mu je starost?
9. Nakon dužeg provjetravanja zatvorena su podrumka vrata i u podrum počinje dotjecati iz tla radon-222 brzinom od  $6.6 \cdot 10$  atoma/s. Poluvrijeme raspada radona-222 je  $3.8$  dana a slobodni volumen podruma je  $230 \text{ m}^3$ . Podrum ima ograničenu komunikaciju s okolinom tako da se tijekom dana izmijeni  $1\%$  ukupnog volumena podruma. Uz pretpostavku homogene raspodjele radona po volumenu podruma odrediti ravnotežnu koncentraciju radona-222 i koncentraciju  $3$  sata nakon zatvaranja vrata.
10. Zlato, Au-198 ( $T_{1/2}=64.8$  sati) može se proizvesti bombardiranjem stabilnog Au-197 neutronima u reaktoru. Pretpostavimo da je tanka Au-197 folija mase  $0.1 \text{ g}$  provela  $12$  sati u reaktoru i ima aktivnost od  $0.9 \text{ Ci}$  neposredno nakon vađenja. Odrediti a) brzinu proizvodnje Au-198 dok je folija u reaktoru, b) koja je teoretska maksimalna aktivnost folije koja se može postići ovakvim načinom ozračivanja, c) koje je vrijeme potrebno da se postigne  $80\%$  te vrijednosti i d) nakon koliko vremena poslije vađenja folije aktivnost padne na  $0.3 \text{ Ci}$ ?
11. Jezgra nuklearnog reaktora sastavljena je od  $193$  gorivna elementa, svaki s  $517.4 \text{ kg}$   $\text{UO}_2$  goriva. Prosječno težinsko obogaćenje je  $2.78\%$  U-235. Srednji neutronske tok u jezgri reaktora je  $2.327 \cdot 10^{17} \text{ n/(m}^2\text{s)}$  na punoj snazi. Reaktor je radio  $6$  mjeseci na  $95\%$  pune snage. Izračunati koliki je porast temperature hladioca u jezgri reaktora treći dan nakon obustave, ako je maseni protok sustava za odvođenje ostatne topline (RHR)  $163 \text{ kg/s}$ . Udarni presjek za fisiju u U-235 je  $\sigma_f=582 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$ , energija oslobođena pri fisiji je  $200 \text{ MeV}$ , a specifični toplinski kapacitet hladioca  $c_p=4.2 \text{ kJ/kgK}$ .
12. Odrediti toplinsku energiju koju je potrebno odvesti iz jezgre nuklearnog reaktora u toku trećeg dana nakon obustave. Reaktor je na punoj snazi radio  $150$  dana, nakon čega je bio obustavljen  $5$  dana. Do kraja ciklusa dužine  $285 \text{ EFPD}$  (effective full power day) reaktor je radio na  $90\%$  pune snage. U jezgri reaktora nalazi se  $55$  tona  $4.3\%$  obogaćenog  $\text{UO}_2$  goriva. Na punoj snazi termički neutronske tok iznosi  $2.03 \cdot 10^{17} \text{ n/(m}^2\text{s)}$ , udarni presjek za fisiju U-235 na energiji  $0.0253 \text{ eV}$  je  $582 \text{ b}$ , a po jednoj fisiji oslobodi se  $200 \text{ MeV}$  energije.

13. Izračunati beskonačni multiplikacijski faktor za homogenu mješavinu pri omjeru  $N_m/N_g = 200$ . Moderator je ugljik C-12. Gorivo je obogaćeni metalni uran s obogaćenjem 5 atom % (izotopska učestalost). Poznato je:  $\sigma_s = 8.3$  barn za uran, 4.66 barn za C,  $\sigma_a = 694$  barn za U-235, 2.71 barn za U-238, 0.0034 barn za C,  $\sigma_f = 582$  barn za U-235,  $\nu = 2.43$ .
14. U homogenoj mješavini prirodnog urana i nepoznatog moderatora faktor iskorištenja termičkih neutrona smanji se za 16.7% u odnosu na početnu vrijednost kad se omjer broja jezgara moderatora i goriva poveća 2 puta. Ako je mikroskopski udarni presjek za apsorpciju termičkih neutrona u prirodnom uranu  $\sigma_{ag} = 7.59 \times 10^{-28} \text{ m}^2$ , a odgovarajući presjek za apsorpciju u nepoznatom moderatoru  $\sigma_{am} = 0.01 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  odrediti gustoću jezgara moderatora. (Računati s gustoćom prirodnog urana od  $19.1 \text{ g/cm}^3$ ).
15. Izračunati faktore  $f$  i  $p$  za heterogeni termički reaktor moderiran običnom vodom gustoće  $700 \text{ kg/m}^3$ . Gorivo je obogaćeni  $\text{UO}_2$  gustoće  $10500 \text{ kg/m}^3$  s težinskim obogaćenjem od 4.3 %. Promjer šipke goriva je 0.95 cm a korak rešetke je 1.23 cm. Poznato je: mikroskopski udarni presjeci za apsorpciju termičkih neutrona u U-235, U-238 i vodi su 680 barn, 2.71 barn, 0.664 barn, inverzna vrijednost difuzijske dužine za metalni uran gustoće  $19000 \text{ kg/m}^3$  je  $64.5 \text{ m}^{-1}$ , mikroskopski transportni udarni presjek za vodu je 88.94 barn,  $\xi$  i  $\sigma_s$  za vodu su 0.924 i 103 barn.
16. Za neki lakovodni nuklearni reaktor odlučeno je da se gorivni elementi s gorivnim šipkama rasporeda  $16 \times 16$  (gorivo je 3% obogaćeni  $\text{UO}_2$  gustoće  $10.5 \text{ g/cm}^3$ , polumjera gorivne šipke 0.47 cm i koraka kvadratne rešetke 1.23 cm) zamijene gorivnim elementima istih vanjskih dimenzija ali s gorivnim šipkama rasporeda  $17 \times 17$ . Koliki je početni  $p$  i koliko će se promijeniti faktor  $p$  u odnosu na početni ako su dimenzije gorivne šipke u oba slučaja iste? Gustoća moderatora je  $0.7 \text{ g/cm}^3$ , a  $\xi \Sigma_s$  iznosi  $1.46 \text{ cm}^{-1}$ .
17. Koristeći slijedeće dvogrupne udarne presjeke:  $\Sigma_{a1} = 0.015 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu \Sigma_{f1} = 0.004 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\Sigma_{1-2} = 0.055 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\Sigma_{a2} = 0.12 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\Sigma_{a2\text{gorivo}} = 0.084 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu \Sigma_{f2} = 0.153 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\Phi_1/\Phi_2 = 2.18$ , odrediti faktore  $\epsilon$ ,  $p$ ,  $f$ ,  $\eta$ , i  $k_{inf}$ .
18. Heterogeni reaktor s 2% obogaćenim uranom ima slijedeće parametre:  $p = 0.85$ ,  $f = 0.92$ ,  $\epsilon = 1.02$ ,  $L_{tm}^2 = 7.5 \text{ cm}^2$  (difuzijska dužina termičkih neutrona u moderatoru),  $L_{sm}^2 = 27 \text{ cm}^2$  (dužina usporavanja neutrona u moderatoru), omjer volumena moderatora i goriva  $V_M/V_G = 5$ ,  $\sigma_{f235} = 579.5$  barn,  $\sigma_{a235} = 680$  barn,  $\sigma_{a238} = 2.71$  barn,  $\nu = 2.5$ . Odrediti buckling prema modificiranoj jednogrupnoj teoriji.
19. Brzi reaktor s oksidnim gorivom ima jezgru slijedećeg sastava:  $\text{PuO}_2$  (Pu-239) 3.5% volumno,  $\text{UO}_2$  (U-238) 26.5% volumno, strukturni materijali i košuljica iz nehrđajućeg čelika 25% volumno, hladilac (tekući Na) 45% volumno. Izračunati: a/ beskonačni multiplikacijski faktor, b/ difuzijsku dužinu, materijalni buckling i vjerojatnost izbjegavanja bijega za navedenu jezgru, te c/ kritični radijus za голу sfernu jezgru. Poznato je:  $\eta$  za  $\text{PuO}_2$  je 2.4 a za  $\text{UO}_2$  0.4,  $\Sigma_a$  za  $\text{PuO}_2$ ,  $\text{UO}_2$ , Na i čelik su 0.060, 0.008,  $4 \cdot 10^{-5}$  i  $0.0015 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\Sigma_{tr}$  za  $\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$  je 0.18, za Na je 0.08 i za čelik je  $0.25 \text{ cm}^{-1}$ .
20. Za jezgru vrijede slijedeće materijalne konstante: difuzijska konstanta  $D = 0.223 \text{ cm}$ ,  $\Sigma_a = 0.0572 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\epsilon = 1$ ,  $f = 0.775$ ,  $p = 1$ ,  $\eta = 2.1$ . Dužina usporavanja neutrona u moderatoru iznosi  $L_s = 5.2 \text{ cm}$ . Kritični radijus i masu goriva u sfernoj jezgri reaktora bez reflektora procijeniti na bazi modificiranog jednogrupnog postupka. Volumni udjel goriva u jezgri je 0.002, a gustoća goriva je  $19 \text{ g/cm}^3$ . Uzeti u obzir ekstrapolacijsku dužinu reaktora.

21. Goli, kritični reaktor u obliku kvadra ima slijedeće dimenzije:  $a=60$  cm,  $b=80$  cm,  $c=120$  cm. Ekvivalentni jednogrupni neutronske podaci za materijal reaktora su:  $\Sigma_a=0.032$  cm<sup>-1</sup>,  $D=0.76$  cm. Odrediti beskonačni multiplikacijski faktor za ovaj reaktor.
22. Odrediti kritični radijus gole, 120 cm visoke jezgre cilindričnog reaktora s termičkim neutronima ako su poznati slijedeći jednogrupni podaci:  $\Sigma_a=0.082$  cm<sup>-1</sup>,  $\Sigma_{tr}=0.342$  cm<sup>-1</sup>,  $v\Sigma_f=0.0843$  cm<sup>-1</sup>,  $\Sigma_f=0.03413$  cm<sup>-1</sup>.
23. Brzi reaktor napravljen je od homogene mješavine Pu<sup>239</sup> i Fe<sup>55</sup> i ima oblik kugle. Reaktor nije reflektiran. Mikroskopski udarni presjeci za apsorpciju u Pu i Fe su 2.11 i 0.006 barn, a odgovarajući transportni udarni presjeci su 6.8 i 2.7 barn.  $v$  za plutonij je 3.0 a mikroskopski udarni presjek za fisiju je 1.85 barn. Izračunati: radijus kritičnog reaktora i srednju vjerojatnost da neutron ostane unutar reaktora. Pretpostaviti da je Fe gustoća 7.8 g/cm<sup>3</sup> a da je gustoća plutonija 19.6 g/cm<sup>3</sup>. U zadatku nije potrebno uzeti u obzir ekstrapolacijsku dužinu.
24. Cilindrični goli reaktor ima omjer promjera i visine (ekstrapolirane dimenzije) 0.8 i pri tom je omjeru reaktor kritičan. Naći visinu jezgre ako su poznati slijedeći jednogrupni podaci:  $\Sigma_a=0.082$  cm<sup>-1</sup>,  $\Sigma_{tr}=0.342$  cm<sup>-1</sup>,  $v\Sigma_f=0.0843$  cm<sup>-1</sup>,  $\Sigma_f=0.03413$  cm<sup>-1</sup>. Naći omjer zakrivljenosti (buckling) toka neutrona za staru i novu konfiguraciju ako se zbog prikladnosti izvedbe omjer ekstrapoliranih dimenzija smanji za 25%, uz konstantan volumen reaktora baziran na ekstrapoliranim dimenzijama. Da li je bijeg neutrona iz sistema nakon promjene povećan ili smanjen?
25. Goli sferni reaktor radijusa 0.5 m radi na snazi 100 MW. Ako je makroskopski udarni presjek za fisiju  $\Sigma_f=0.0047$  cm<sup>-1</sup> odrediti maksimalnu i srednju vrijednost neutronske fluksa u reaktoru.
26. Homogeni cilindrični reaktor ima sljedeće karakteristike:  $k_{inf}=1.2$ ,  $L^2=100$  cm<sup>2</sup>,  $H=2R$ . Koliko se može uštedjeti na volumenu ako se oblik reaktora promijeni sa cilindričnog na kuglasti?
27. Goli reaktor u obliku kocke, stranice dužine 100 cm, ima neutronske fluks u sredini bilo koje vanjske stranice 5 puta manji nego u centru reaktora. Naći ekstrapolacijsku dužinu reaktora i omjer maksimalnog i srednjeg fluksa u jezgri.
28. Maksimalni termički neutronske tok u golom homogenom sfernom reaktoru promjera 4 m je  $10^{17}$  n/m<sup>2</sup>s, a tok na rubu jezgre je  $2 \cdot 10^{16}$  n/m<sup>2</sup>s. Odrediti ekstrapolacijsku dužinu  $d$ . Napomena: transcendentnu jednadžbu riješiti postupkom polovljenja, s točnošću na 3 decimale.

29. Koliko iznosi unesena negativna reaktivnost [%] u homogeni kritični reaktor ako se u običnu vodu doda 800 ppm borne kiseline? Dodavanje bora uglavnom utječe samo na faktor  $f$  koji prije dodavanja iznosi 0.93. Jedinica ppm označava koncentraciju  $H_3BO_3$  u vodi i definiran je kao broj grama prirodnog bora u  $10^6$  grama vode. Mikroskopski udarni presjek za termičku apsorpciju u prirodnom boru je 426 barn a u vodi je 0.66 barn. Atomska masa bora je 10.8.
30. Nuklearna elektrana ima snagu na pragu 1000 MWe i ukupnu efikasnost 30%. Inicijalno punjenje goriva na početku prvog ciklusa je 90000 kg  $UO_2$ . Nuklearna elektrana je na punoj snazi za vrijeme prva 3 mjeseca pogona, slijedeća 3 mjeseca je na 90% pune snage, do 9 mjeseca je na 100% snage a zatim linearno smanjuje snagu do iznosa od 50% nominalne na kraju 11-tog mjeseca pogona, nakon čega je elektrana obustavljena zbog prve izmjene goriva. Koliki je 'capacity' faktor ove elektrane, koliki je faktor raspoloživosti, koliko je trajanje ciklusa izraženo u EFPD i koliki je prosječni odgor trećine goriva koja se vadi za vrijeme prve izmjene.
31. Termički reaktor radi duže vrijeme na srednjem neutronsom toku od  $2 \cdot 10^{18}$  n/m<sup>2</sup>s. Koliko vremena nakon obustave treba da takav reaktor postigne maksimalnu koncentraciju ksenona i koliki je gubitak reaktivnosti zbog ksenona u tom trenutku? Ako želimo reaktor ponovno vratiti na snagu 2 sata nakon obustave kojom dodatnom rezervom pozitivne reaktivnosti, u odnosu na stacionarno stanje, moramo raspolagati. Poznato je:  $f=0.8$ ,  $\eta=1.9$ ,  $\nu=2.5$ , vrijeme poluraspada joda 6.7 h, vrijeme poluraspada ksenona 9.2 h, zastupljenost atoma joda pri fisiji 6.1 %, zastupljenost atoma ksenona pri fisiji 0.3 %, mikroskopski udarni presjek za apsorpciju u ksenonu  $\sigma=3 \cdot 10^6$  barn.
32. Izračunati snagu reaktora 120 s nakon unošenja skokovite negativne promjene reaktivnosti od -120 pcm i od -6800 pcm. Koristiti aproksimaciju s jednom grupom zakašnjelih neutrona. Vrijeme života promptnih neutrona je  $5 \cdot 10^{-5}$  s. Snaga prije promjene je 1876 MW. Koliki je stabilni period za reaktivnost od 120 pcm po jednogrupnoj aproksimaciji a koliki je ako se koristi svih 6 grupa. Podaci o 6 grupa zakašnjelih neutrona su slijedeći:

grupa	1	2	3	4	5	6
$\beta_i$	0.000243	0.001363	0.001203	0.002605	0.000819	0.000166
$\lambda_i$ [s <sup>-1</sup> ]	0.0127	0.0317	0.115	0.311	1.4	3.87

33. Izračunati stabilni period kritičnog termičkog reaktora s U-235 nakon skokovitog povećanja reaktivnosti za 2 centa, koristeći jednu i šest grupa zakašnjelih neutrona. Koliko vremena treba da takav reaktor dođe od snage 10 kW na 1994 MW? Koristiti aproksimaciju s jednom grupom zakašnjelih neutrona. Kolika je unesena reaktivnost tijekom obustave ako se snaga smanji na 6.3% nominalne nakon 1 minute od obustave? Vrijeme života promptnih neutrona je  $5 \cdot 10^{-5}$  s. Podaci o 6 grupa zakašnjelih neutrona su slijedeći:

grupa	1	2	3	4	5	6
$\beta_i$	0.000243	0.001363	0.001203	0.002605	0.000819	0.000166
$\lambda_i$ [s <sup>-1</sup> ]	0.0127	0.0317	0.115	0.311	1.4	3.87

34. Nuklearni reaktor PWR tipa ima termičku snagu jezgre 3800 MWt, pri čemu je 96% te snage proizvedeno u gorivu. Jezgra se sastoji od 241 gorivnog elementa s 236 gorivnih šipki po elementu. Rastojanje od centra do centra gorivnog elementa je 20.7 cm, dužina gorivne šipke je 3.81 m, radijus šipke je 4.85 mm. Odrediti: ekvivalentni radijus i visinu jezgre, srednju volumnu gustoću snage u jezgri [MW/m<sup>3</sup>], srednju snagu proizvedenu po metru dužine gorivne šipke [kW/m], i srednji toplinski tok na površini gorivne šipke [MW/m<sup>2</sup>].

35. Nuklearna elektrana s 2 rashladne petlje i PWR reaktorom ima električnu snagu na pragu 632 MWe. Ako je ukupna efikasnost pretvorbe toplinske energije u električnu (uzevši u obzir sve gubitke i vlastitu potrošnju)  $\eta=33.58\%$ , izračunati: toplinsku snagu jezgre, protok pare po parogeneratoru, ukupni protok primarnog rashladnog sredstva i srednju temperaturu hladioca na primarnoj strani. Poznati su slijedeći podaci: svaka od dvije primarne pumpe unosi u sistem po 3 MW toplinske snage, temperatura hladioca na ulazu u jezgru je  $T_{IN}=560.3\text{ K}$ , entalpija pojne vode je  $h_{FW}=9.508 \cdot 10^5\text{ J/kg}$ , entalpija zasićene pare u parogeneratoru je  $h_s=2.78868 \cdot 10^6\text{ J/kg}$ , tlak i srednja temperatura na sekundarnoj strani parogeneratora su  $p=5.6\text{ MPa}$  i  $T_s=544.24\text{ K}$ . Pretpostaviti da je efektivni specifični toplinski kapacitet primarnog hladioca  $c_p=5.8855\text{ kJ/kgK}$ . Prijelaz topline kroz cijevi parogeneratora opisan je brojem  $27.03\text{ MW/K}$ , koji ima značenje prenesene toplinske snage po jedinici razlike temperature između primarne i sekundarne strane. Skicirati izgled primarnog kruga u ovom slučaju.
36. Termički reaktor s 103 t  $\text{UO}_2$  goriva i prosječnim težinskim obogaćenjem  $\text{U}^{235}$  od 2.3% radi duže vrijeme na snazi od 3636 MWth (srednji udarni presjek za fisiju  $\text{U}^{235}$  je 420 barn). Ako u stacionarnom stanju raspolažemo s viškom reaktivnosti od 1500 pcm u kom intervalu nakon obustave reaktora nije moguće postići kritičnost zbog zatrovanja ksenonom. Koliko iznosi maksimalni gubitak reaktivnosti zbog zatrovanja ksenonom i kad se javlja? Poznato je:  $f=0.87$ ,  $\eta=1.9$ ,  $v=2.5$ , vrijeme poluraspada joda 6.7 h, vrijeme poluraspada ksenona 9.2 h, zastupljenost atoma joda pri fisiji 6.1 %, zastupljenost atoma ksenona pri fisiji 0.3 %, mikroskopski udarni presjek za apsorpciju u ksenonu  $\sigma=3 \cdot 10^6\text{ barn}$ . Nelinearnu jednadžbu riješiti postupkom polovljenja intervala.
- 37.