

## PITANJA IZ NUKLEARNE FIZIKE I RADIOAKTIVNOSTI

1. Kolika je (približno) veličina atoma a kolika atomske jezgre? Od kojih se čestica sastoji atomska jezgra i koja su osnovna svojstva tih čestica?
2. Zašto se elektroni ne mogu nalaziti u jezgri?
3. Na koji način je Chadwick "otkrio" neutron?
4. Protoni u jezgri se međusobno odbijaju električnom silom. Zašto se ne razlete?
5. Što je jaka nuklearna sila? Kako ona ovisi o udaljenosti? Kakav je doseg te sile?
6. Koja je razlika između nuklearne i električne sile između dva protona?
7. Što je atomski broj a što nukleonski broj nekog atoma?
8. Koliki je nukleonski broj jezgre atom ugljika  $^{12}_6\text{C}$ ? Koliki je broj protona i koliki broj neutrona u toj jezgri?
9. Što su izotopi? Po čemu se razlikuju izotopi nekog kemijskog elementa?
10. Kako se označavaju atomi nekog izotopa a kako njihove jezgre?
11. Koliko ima protona i neutrona u nuklidima:  $^{21}_{10}\text{Ne}$ ,  $^{60}_{27}\text{Co}$ ,  $^{108}_{47}\text{Ag}$ ,  $^{226}_{88}\text{Ra}$ ,  $^{235}_{92}\text{U}$ ? Koliko je elektrona u atomima tih izotopa?
12. Jezgra zlata ima 79 protona dok se broj nukleona u izotopima zlata kreće od 192 do 201. Koliki su minimalni i maksimalni broj neutrona?
13. Na koji način polumjer zakrivljenosti (objasnite relaciju) traga čestice u magnetskom polju ovisi o količini gibanja (brzini) čestice?
14. Što su nuklearne reakcije i kako nastaju? Što su jezgra-projektil i jezgra-meta?
15. Zbog čega je neutron pogodniji od protona kao projektil čestica?
16. Koji zakoni očuvanja (pojasnite) vrijede pri nuklearnim reakcijama?
17. Pokažite da jedna atomska jedinica mase odgovara energiji od  $931,5\text{MeV}$ ?
18. Dopunite sljedeće nuklearne reakcije:
 

a) $^{41}_{19}\text{K} + ? \rightarrow ^{44}_{20}\text{Ca} + ^1_1\text{p}$	b) $^{55}_{25}\text{Mn} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^{55}_{26}\text{Fe} + ?$
c) $^2_1\text{H} + \gamma \rightarrow ? + ^1_0\text{n}$	d) $? + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n}$
19. Popunite sljedeće jednadžbe nuklearnih reakcija:
 

a) $^4_2\text{He} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{15}_7\text{N} + ?$	b) $^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ?$	c) $^2_1\text{H} + ? \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$
d) $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ? + ^4_2\text{He}$	e) $^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow ? + ^4_2\text{He}$	f) $^{27}_{13}\text{Al} + ? \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^1_0\text{n}$
g) $^{31}_{15}\text{P} + ^1_0\text{n} \rightarrow ? + ^{31}_{14}\text{Si}$	h) $^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ?$	i) $^{11}_5\text{B} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^{11}_6\text{C} + \dots$
20. Za koje je vrijednosti  $a$  i  $b$  moguća nuklearna reakcija  $^a_X + ^4_2\text{He} \rightarrow ^b_Y + ^1_1\text{H}$ ?
 

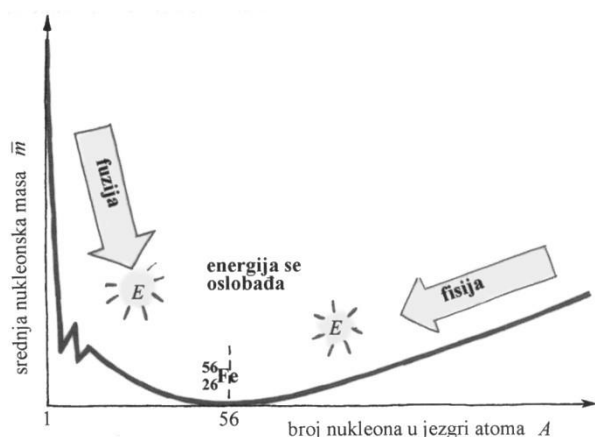
a) $a = 10, b = 5$	b) $a = 12, b = 8$	c) $a = 14, b = 4$	d) $a = 14, b = 8$
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------
21. Koje su od sljedećih nuklearnih reakcija moguće? (Za provjeru primijenite zakone nuklearnih reakcija!)
 

a) $^1_1\text{H} + ^3_2\text{He} \rightarrow ^4_2\text{He}$	b) $^1_1\text{H} + ^7_3\text{Li} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He}$
c) $^{238}_{94}\text{Pu} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{54}\text{Xe} + ^{97}_{40}\text{Zr} + 2^1_0\text{n}$	d) $^{11}_5\text{B} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^8_4\text{Be} + ^4_2\text{He}$
22. Napišite nuklearnu reakciju u kojoj iz jezgre  $^{27}_{13}\text{Al}$  bombardirane neutronima izlazi  $\alpha$ -čestica.

23. Kemijski element kalifornij ( $Cf-245$ ), s atomskim brojem  $Z = 98$ , fizičari su stvorili tako da su jezgrama-projektilima  ${}^{12}_6C$  pogađali metu-uran. Napišite jednadžbu te nuklearne reakcije.
24. Što je srednja nukleonska masa? Koja jezgra ima najveću a koja najmanju srednju nukleonsku masu?
25. Objasni tvrdnju: Pri spajanju  $Z$  protona i  $N$  neutrona u atomsku jezgru ukupna se masa smanjuje.
26. Što je defekt mase? Što je energija vezanja jezgre? Kako su povezani defekt mase i energije vezanja?
27. Objasni energiju vezanja po nukleonu.
28. U tablici su navedeni podaci za tri atomske jezgre i njihove energije vezanja. Koja je od navedenih jezgri najmanje stabilna a koja je najstabilnija?

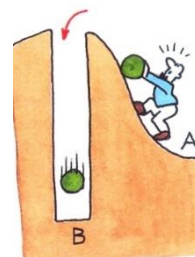
JEZGRA	BROJ NUKLEONA	ENERGIJA VEZANJA
Berilij	9	58,2MeV
Molibden	96	830,7MeV
Olovo	207	1629MeV

- a) Najstabilnija je jezgra molibdena a najmanje stabilna jezgra berilija.
- b) Najstabilnija je jezgra olova a najmanje stabilna jezgra berilija.
- c) Najstabilnija je jezgra berilija a najmanje stabilna jezgra olova.
- d) Najstabilnija je jezgra molibdena a najmanje stabilna jezgra olova.
- e) Ništa ne možemo zaključiti o stabilnosti jezgri na osnovu tih podataka.
29. U nuklearnim reakcijama po jezgri se oslobađa približno  $10^6$  puta više energije nego što se u kemijskim procesima oslobađa po jednoj molekuli. Zašto?
30. Što su nuklearne reakcije? Kako se zove energija koja se oslobađa pri nuklearnim reakcijama?
31. Što je nuklearna dolina? Koja je jezgra na dnu nuklearne doline? A koja je najviše iznad dna?
32. Objasni pomoću nuklearne doline nuklearnu fisiju i nuklearnu fuziju.
33. Što se na temelju slike nuklearne doline može zaključiti o mogućnostima da se kao izvor nuklearne energije upotrebe sljedeći nuklearni procesi:

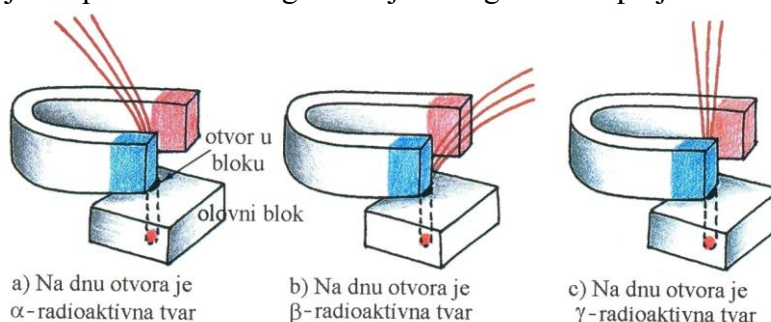


- a) fisija teških i fuzija lakih jezgara,
- b) fisija lakih i fuzija teških jezgara,
- c) fisija i fuzija teških jezgara,
- d) fisija i fuzija lakih jezgara,
- e) fisija i fuzija bilo koje jezgre.
- Koje su od ovih tvrdnji točne?
34. Prosječna masa po nukleonu:
- a) veća je u jezgrama produktima fisije nego u jezgri iz koje su ti produkti nastali,
- b) manja je u jezgrama produktima fisije nego u jezgri iz koje su ti produkti nastali,
- c) jednaka je u jezgrama produktima fisije i u jezgri iz koje su ti produkti nastali.
35. Što je nuklearna fisija? Napišite jednu fisijsku nuklearnu reakciju.
36. Kako se dijeli (opišite) jezgra urana pri fisiji?
37. Kako nastaje lančana nuklearna reakcija? Čemu služi moderator? Što je kritična masa?
38. Na koji se način kontrolira lančana nuklearna reakcija u nuklearnom reaktoru?
39. Što je nuklearna fuzija? Navedi jedan primjer nuklearne fuzije.
40. Zašto se nuklearnom fisijom i fuzijom oslobađa velika energija?
41. Što su termonuklearne reakcije i zašto se tako nazivaju? Koje su najpovoljnije termonuklearne reakcije?

42. Usporedimo nuklearnu fuziju sa zornim mehaničkim primjerom na slici.



43. Kako se može proizvoditi tricij uporabom neutrona-projektila?
44. Koji radioaktivni produkt nastaje pri fuziji deuterija i tricija? Što izaziva radioaktivnost u fuzijskim elektranama (pri fuziji deuterija i tricija)?
45. Koje su glavne teškoće pri pokušaju praktične proizvodnje energije fuzijom?
46. Na koji način visoka temperatura omogućuje fuziju? Objasnite osnovu rada uređaja poznatog kao *tokamak*.
47. Objasniti razvoj i značaj nuklearnih reakcija.
48. Što je radioaktivnost?
49. Kako se  $\alpha$ -zračenje,  $\beta$ -zračenje i  $\gamma$ -zračenje ponašaju u magnetskom polju?
50. Objasnimo zakretanje snopa radioaktivnog zračenja u magnetskom polju na slikama a), b) i c).



51. Objasnite  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ -tip radioaktivnosti.
52. Emisijom  $\alpha$  čestice  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  prelazi u: (Napišite odgovarajuću nuklearnu reakciju!)
- a)  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ ,      b)  ${}^{224}_{84}\text{Po}$ ,      c)  ${}^{224}_{86}\text{Rn}$ ,      d)  ${}^{234}_{90}\text{Th}$ ,      e)  ${}^{236}_{90}\text{Th}$ .
53. Koje jezgre nastaju u  $\alpha$ -raspadu sljedećih izotopa:
- a)  ${}^{211}_{83}\text{Bi}$ ,      b)  ${}^{212}_{84}\text{Po}$ ,      c)  ${}^{232}_{90}\text{Th}$ ,      d)  ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ .
54. Razjasni obje vrste  $\beta$ -radioaktivnosti.
55. Kako se mijenjaju u  $\alpha$  i  $\beta$ -raspadu:
- a) broj nukleona i broj neutrona,  
b) broj protona i broj neutrona.
56. Koje jezgre nastaju u elektronskom  $\beta$ -raspadu sljedećih izotopa:
- a)  ${}^{15}_{7}\text{N}$ ,      b)  ${}^{214}_{83}\text{Bi}$ ,      c)  ${}^{26}_{12}\text{Mg}$ ,      d)  ${}^{57}_{26}\text{Fe}$ ,      e)  ${}^{65}_{29}\text{Cu}$ ,      f)  ${}^{64}_{29}\text{Cu}$ .
57. Beta negativnim raspadom  ${}^{214}_{82}\text{Pb}$  prelazi u:
- a)  ${}^{214}_{84}\text{Po}$ ,      b)  ${}^{215}_{84}\text{Po}$ ,      c)  ${}^{214}_{83}\text{Bi}$ ,      d)  ${}^{215}_{82}\text{Pb}$ ,      e)  ${}^{215}_{83}\text{Bi}$ .
58. Na temelju čega je Pauli pretpostavio postojanje neutrina?
59. Zašto se u magnetskom polju beta čestice jače otklanjaju nego alfa čestice?

60. Objasnite  $\gamma$ -radioaktivno zračenje. Kad atomska jezgra emitira foton gama zračenja? Kolika je energija fotona gama-zračenja u odnosu prema energiji fotona svjetlosti?
61. Određeni se nuklid može raspasti na dva načina: dio jezgri emitira pozitrona a drugi dio jezgri apsorbira jedan elektron iz prve staze svog atoma i uvlači ih u jezgru (tzv. elektronski K-uhvat). Napišite nuklearnu pretvorbu za oba načina.
62. Koje od navedenih zračenja pokazuju postojanje energijskih razina jezgre atoma?  
a)  $\gamma$ -spektar                                      b) svjetlost                                      c) apsorpcijski spektar  
d) X-spektar                                      e) infracrveni spektar
63. Što je vrijeme poluraspada? Koliki je (približno) raspon vrijednosti vremena poluraspada  $\alpha$ -radioaktivnih i  $\beta$ -radioaktivnih izotopa?
64. Od 10 000 jezgri nekoga radioaktivnoga izotopa u prva se četiri dana raspadne 5000 jezgri. Koja je od navedenih tvrdnji točna?  
a) U prva se dva dana raspalo 2500 jezgri.  
b) U sljedeća će se četiri dana raspasti preostalih 5000 jezgri.  
c) U prva se dva dana raspalo više jezgri nego u sljedeća dva dana.  
d) Svaki se dan raspadne jednaki broj jezgri.
65. Koliko se jezgara nekog radioaktivnog elementa raspalo nakon tri vremena poluraspada ako je u početku bilo  $N_0$  jezgara?
66. Pronađite greške u rečenici: „Vrijeme poluraspada  $\alpha$ -radioaktivnog deuterija jest 10,2s pa nakon 20,4s u promatranom uzorku preostaje samo još 75% njegove početne količine.“
67. Vrijeme poluraspada neke atomske jezgre iznosi 8 minuta. Nakon 32 minute od početnoga broja  $N_0$  jezgara raspadne se:  
a)  $15N_0/16$  jezgara,              b)  $N_0/16$  jezgara,              c)  $7N_0/8$  jezgara,              d)  $N_0/4$  jezgara.
68. Izvedite zakon radioaktivnog raspada i objasni relaciju koja izražava zakon radioaktivnog raspada.
69. Kako su povezani konstanta raspada i vrijeme poluraspada?
70. Što je aktivnost radioaktivnog uzorka? O čemu ovisi? U kojim se jedinicama mjeri?
71. Za koliko postotaka opadne aktivnost neke tvari za vrijeme koje je dvaput veće od vremena poluraspada?
72. Zašto se pri emisiji  $\beta$ -čestica iz jezgre, koja miruje, jezgra počne gibati u suprotnom smjeru?

---

## RAZLIČITI ZADACI ZA VJEŽBU

73. Odredite atomski i maseni broj jezgri koje se dobiju ako se u jezgrama: a)  $^{17}_8O$ , b)  $^{23}_{11}Na$ , c)  $^{26}_{12}Mg$  protoni zamijene neutronima a neutroni – protonima.
74. Koliko ima protona a koliko neutrona u masi  $m = 500g$  aluminija  $^{27}_{13}Al$ ? ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ )
75. Odrediti brzinu i energiju elektrona koji u magnetskom polju indukcije  $0,6T$  opisuje putanju okomitu na polje, polumjera  $0,5mm$ . ( $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}kg$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}C$ )

76. Jednostruko ionizirani atomi argona ubrzani naponom 800V ulijeću u magnetsko polje okomito na njegove silnice. U magnetskom polju razdijele se na snopove koji se gibaju kružnim lukovima polumjera 7,63 cm i 8,05 cm. Koliki je omjer masa izotopa argona?
77. Ioni nastali jednostrukom ionizacijom atoma neona ulete kinetičkom energijom 3,873 keV u homogeno magnetsko polje okomito na silnice. Pošto u magnetskom polju opisu polukružnice, ioni padaju na zastor. Odredite međusobnu udaljenost mjesta na koja padaju ioni ako su im mase  $3,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  odnosno  $3,65 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  a magnetska indukcija 0,24 T. ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )
78. Odrediti polumjer putanje  $\alpha$ -čestice ( $m = 6,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $q = 2e = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) energije 10 keV u magnetskom polju indukcije 1,8 T.
79. Protoni energije 2 keV ( $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) opisuju u magnetskom polju akceleratora putanju polumjera 2,5 m, okomito na magnetsko polje. Odredite magnetsku indukciju B.
80. Pi mezon ili pion ima masu  $139 \text{ MeV}/c^2$ . Izrazite masu piona u jedinicama atomske mase. Polazeći od mase piona, polučite tu masu u kilogramima!
81. Oslobađa li se ili troši energija pri nuklearnoj reakciji  ${}^{16}_8\text{O} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He}$ ? Koliki je iznos energije? ( $m_{\text{O}} = 15,99052u$ ,  $m_{\text{d}} = 2,01355u$ ,  $m_{\text{N}} = 13,99922u$ ,  $m_{\text{He}} = 4,00150u$ )
82. Napisati odgovarajuću nuklearnu reakciju i izračunati minimalnu energiju fotona koji "cijepa" jezgru helija  ${}^4_2\text{He}$  na tricij i proton. Masa atoma helija jest  $m({}^4_2\text{He}) = 4,0026u$ , tricija  $m({}^3_1\text{H}) = 3,01605u$  a protona  $m_p = 1,007277u$ .
83. Jezgra teškog vodika, deuterona ( ${}^2_1\text{H}$ ), sastavljena je od jednog protona i jednog neutrona. Njezina je masa 2,013553 u. Koliki je defekt mase za tu jezgru? Kolika je energija vezanja deuterona? ( $m_p = 1,007277u$ ;  $m_n = 1,008665u$ )
84. Iz poznatih masa protona i neutrona ( $m_p = 1,007277u$ ;  $m_n = 1,008665u$ ) izračunajte energiju vezanja po nukleonu jezgre  ${}^{12}_6\text{C}$ . Masa je atoma  ${}^{12}_6\text{C}$  prema definiciji točno 12 u a masa elektrona  $m_e = 0,000549u$ .
85. Masa  $\alpha$ -čestice je  $6,645 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  a ukupna masa dvaju protona i dvaju neutrona  $6,695 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Kolika se energija oslobodi kod stvaranja  $\alpha$ -čestice? (Izračunajte i zaokružite odgovor!)
- a) 2,813 MeV                      b) 28,13 MeV                      c) 281,3 MeV                      d) 2 813 MeV
86. Defekt mase jezgre  ${}^{16}\text{O}$  je  $2,4 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ . Kolika je energija potrebna za oslobađanje jednog nukleona iz jezgre?
87. Kolika se energija oslobodi pri formiranju 1 g helija od slobodnih protona i neutrona? ( $m_p = 1,007277u$ ,  $m_n = 1,008665u$ ,  $m(2, 2) = 4,00150u$ ) ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ )
88. Koliki su defekt mase i energija vezanja  ${}^{16}_8\text{O}$ ? Masa jezgre je  $m(8, 8) = 15,9905u$ , masa protona  $m_p = 1,007277u$ , masa neutrona  $m_n = 1,008665u$ .
89. Energija veze po nukleonu za aluminij iznosi 8,5 MeV. Kolika je masa jezgre aluminija  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  (izračunajte) u atomskim jedinicama? ( $m_p = 1,007277u$ ,  $m_n = 1,008665u$ )
- a) 27,21 u                      b) 14,54 u                      c) 24,35 u                      d) 13,08 u                      e) 26,97 u
90. Koliku energiju treba utrošiti da se izdvoji jedan proton iz jezgra  ${}^{13}_6\text{C}$ ? (Masa je atoma  ${}^{13}_6\text{C}$  13,00335 u, masa atoma  ${}^{12}_6\text{C}$  12 u a masa neutrona  $m_p = 1,007277u$ .) ( $m_e = 0,000549u$ )

91. Reakcija ( $n, \alpha$ ) na  $^{10}_5B$  nastaje bombardiranjem bora vrlo sporim neutronima. Kolika je kinetička energija svake od nastalih čestica ako se pri toj reakciji oslobodi energija  $2,8MeV$ ?  
(Mase jezgara su:  $m_{Li} = 7,01445u$   $m_{He} = 4,00150u$ )
92. Kolika se energija oslobodi pri nuklearnoj reakciji  $^9_4Be + ^1_1H \rightarrow ^4_2He + ^6_3Li$ ? Kinetičke energije protona i  $\alpha$ -čestice iznose:  $E_{kp} = 5,45MeV$  i  $E_{k\alpha} = 4MeV$ .  $\alpha$ -čestica je izletjela pod kutom od  $90^\circ$  prema pravcu upadnog protona. Berilij je mirovao prije reakcije. (Masa su atoma:  $m_{Li} = 6,01513u$  i  $m_{He} = 4,00260u$ , a masa protona  $m = 1,007277u$ .) ( $m_e = 0,000549u$ )
93. Izračunajte energiju koju treba utrošiti za odvajanje jednog neutrona od jezgre  $^{23}_{11}Na$ .  
(Masa je neutrona  $m_n = 1,008665u$ , masa atoma  $Na-23$  je  $m(^{23}_{11}Na) = 22,989771u$  a masa atoma  $Na-22$  je  $m(^{22}_{11}Na) = 21,994437u$ .)
94. Izračunajte srednju energiju vezanja nukleona u jezgrama izotopa  $^{232}_{92}U$  i  $^{238}_{92}U$ . U kojoj jezgri je srednja energija vezanja jednog nukleona veća? (Masa jezgara urana-232 i urana-238 redom je:  $m(92, 141) = 232,98915u$  i  $m(92, 146) = 238,00032u$  a mase protona i neutrona:  $m_p = 1,007277u$  i  $m_n = 1,008665u$ .)
95. Izračunajte energiju vezanja neutrona u jezgri  $^{14}_7N$  ako u njoj energija vezanja po nukleonu iznosi  $7,48 MeV$  a u jezgri  $^{13}_6C$  iznosi  $7,24MeV$ .
96. Pri beta-raspadu ugljika  $^{14}_6C$  nastaju dušik  $^{14}_7N$  i elektron. Ako se pri toj pretvorbi oslobodi energija od  $155 keV$ , kolika je razlika atomskih masa atoma  $^{14}_6C$  i  $^{14}_7N$ ? ( $u = 1,66 \cdot 10^{-27}kg$ )
97. Koliki rad moramo obaviti da bismo jezgru izotopa bora  $^{10}_5B$  rastavili na sastavne protone i neutrone? Masa jezgre bora je  $m(5,5) = 10,01020u$  a mase protona i neutrona:  $m_p = 1,007277u$ ,  $m_n = 1,008665u$ .
98. Deuterij se proizvodi u nuklearnom reaktoru tako da se bombardira vodik brzim neutronima. Pritom se oslobađa  $\gamma$ -foton. Izračunajte energiju oslobođenog  $\gamma$ -fotona.  
( $m_p = 1,007277u$ ;  $m_n = 1,008665u$ ;  $m_D = 2,013553u$ ;  $u = 1,66 \cdot 10^{-27}kg$ )  
a)  $2,23MeV$       b)  $223eV$       c)  $222MeV$       d)  $1,8GeV$       e)  $18GeV$
99. Bombardiranjem izotopa litija  $^6_3Li$  deuteronom nastaju dvije  $\alpha$ -čestice. Pri tome se dobiva energija od  $22,3MeV$ . Izračunajte masu litija  $^6_3Li$ .  
(Masa je deuterona  $m_D = 2,013553u$  a masa  $\alpha$ -čestice  $m_\alpha = 4,00150u$ ) ( $u = 1,66 \cdot 10^{-27}kg$ )
100. Kolika se energija oslobodi pri nuklearnoj reakciji  $^7_3Li + ^1_1H \rightarrow 2^4_2He$ ? (Mase atoma su:  $m_{Li} = 7,01824u$ ,  $m_H = 1,00815u$  i  $m_{He} = 4,00388u$ .)
101. Odrediti energiju koja se mora utrošiti za nuklearnu reakciju  $^{14}_7N + ^4_2He \rightarrow ^{17}_8O + ^1_1H$ .  
(Mase atoma su  $m(^{14}_7N) = 14,00307u$ ;  $m(^4_2He) = 4,0026u$ ;  $m(^{17}_8O) = 16,99913u$  i  $m(^1_1H) = 1,00783u$ .)
102. Pretpostavimo da se kod fisije urana 0,1% mase prisutnog urana transformira u energiju. Kolika je energija proizvedena fisijom  $1kg$  urana?
103. Koliko se energije oslobodi pri fisiji urana  $^{235}_{92}U$  izazvanoj sporim neutronom, ako pritom nastaju jezgre  $^{141}_{54}Ba$  i kriptona  $^{92}_{36}Kr$  i tri neutrona? (Masa je jezgre  $^{235}_{92}U$   $234,99193u$ , jezgre  $^{141}_{54}Ba$   $140,8204u$  a jezgre  $^{92}_{36}Kr$   $91,9177u$ .) ( $m_n = 1,008665u$ )

104. Izračunajte  $Q$ -vrijednost reakcija:  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H}$  i  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ . Kolika se energija oslobađa pri dobivanju 1g tricija odnosno helija u tim reakcijama? (Masa je ovih jezgara:  $m({}^2_1\text{H}) = 2,014102u$ ,  $m({}^3_1\text{H}) = 3,016049u$ ,  $m({}^3_2\text{He}) = 3,01493u$ .) ( $m_p = 1,007277u$ ;  $m_n = 1,008665u$ )
105. U vodikovoj bombi zbiva se nuklearna reakcija  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ . Kolika srednja energija reakcije dolazi na jedan nukleon?  
(Mase jezgara  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$  i  ${}^4_2\text{He}$  redom su:  $2,01355u$ ,  $3,01550u$  i  $4,00150u$  a masa neutrona  $m_n = 1,008665u$ )
106. Koliko bi se kilovatsati energije dobilo pri nastajanju 1mg helija u nuklearnoj reakciji  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ ? Kolika je  $Q$ -vrijednost te reakcije? Mase jezgara  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$  i  ${}^4_2\text{He}$  redom jesu:  $2,01355u$ ;  $3,01550u$  i  $4,00150u$  a masa neutrona  $m_n = 1,008665u$ .
107. Ako se pri svakoj fisiji  ${}^{235}_{92}\text{U}$  oslobodi energija od  $200\text{MeV}$ , kolika se energija dobije: a) potpunom fisijom 1kg; b) fisijom 1 mola tog izotopa urana? ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ )
108. U nuklearnom reaktoru "izgori"  $0,04\text{g}$   ${}^{235}\text{U}$  za sat. Ako energija oslobođena fisijom jedne jezgre  ${}^{235}\text{U}$  iznosi  $200\text{MeV}$ , kolika je snaga reaktora?
109. Prosječno kućanstvo troši mjesečno  $2000\text{kWh}$  električne energije. Kolika masa urana  ${}^{235}\text{U}$  bi zadovoljila prosječnu godišnju potrebu kućanstva ako se pri svakoj fisiji urana oslobodi  $208\text{MeV}$  energije? Pretpostavite da je pretvorba nuklearne energije u električnu potpuna. ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ )
110. Kolika je električna snaga nuklearne elektrane koja dnevno troši  $150\text{g}$   ${}^{235}\text{U}$ ? Korisnost pretvorbe nuklearne energije u električnu je 20%. Srednja energija koja se oslobodi fisijom jedne jezgre iznosi  $200\text{MeV}$ .
111. Reaktor atomskog ledolomca troši dnevno  $m = 200\text{g}$  urana-235. Snaga (korisna) ledolomca iznosi  $P_k = 3,2 \cdot 10^4\text{kW}$ . Fisijom jedne jezgre urana-235 oslobodi se energija  $E_0 = 200\text{MeV}$ . Odredi korisnost motora ledolomca. Molna masa urana-235 je  $M = 235\text{g/mol}$ . ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ )
112. Neptunijev niz  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  završava stabilnim bizmutom  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ . Koliko je bilo  $\alpha$ -raspada a koliko  $\beta^-$ -raspada?
113. Koliko je alfa-raspada i beta-minus raspada potrebno da se jezgra  ${}^{238}_{92}\text{U}$  preobrazi u jezgru  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ?
114. Koja jezgra nastaje ako jezgra urana  ${}^{236}_{92}\text{U}$  "pretrpi" 7  $\alpha$ -raspada i 4 elektronska  $\beta^-$ -raspada?
115. Konačni proizvod radioaktivnog raspada plutonija s rednim brojem 94 i masenim 241 je  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ . Koliko je  $\alpha$  a koliko  $\beta^-$ -čestica emitirano prilikom toga raspada? (Objasnite odgovor!)  
a)  $4\alpha + 8\beta^-$  čestica                      b)  $8\alpha + 5\beta^-$  čestica                      c)  $5\alpha + 16\beta^-$  čestica  
d)  $12\alpha + 16\beta^-$  čestica                      e)  $5\alpha + 5\beta^-$  čestica
116. Izotop elementa s rednim brojem 93 i masenim brojem 237 početni je član radioaktivnog niza. Uzastopnim raspadima nastaju, uz nove jezgre, redom:  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ,  $\gamma$ . Odredite redni i maseni broj posljednje jezgre tog niza.  
a) 93 i 237                      b) 83 i 231                      c) 90 i 233                      d) 88 i 225                      e) 87 i 225
117. Koja bi se jezgra mogla potpuno razgraditi emitirajući 4  $\alpha$ -čestice, 3  $\beta^-$ -zrake, 2 pozitrona i jednu  $\gamma$ -zraku? (Izračunajte te zaokružite odgovor!)  
a)  ${}^{16}_7\text{N}$                       b)  ${}^{16}_9\text{F}$                       c)  ${}^{16}_8\text{O}$                       d)  ${}^{15}_7\text{N}$                       e)  ${}^{15}_9\text{F}$

118. Apsorpcijom sporog neutrona jezgra  $^{235}\text{U}$  raspada se na dvije srednje teške jezgre (fisijska fragmenta) i nekoliko neutrona uz oslobađanje energije. Kolika se energija oslobodi ako pri fisiji jezgra  $^{235}\text{U}$  nastanu jezgra  $^{139}\text{La}$  i  $^{95}\text{Mo}$  i dva neutrona?  
(Masa atoma  $U$ -235 je  $235,043914u$ , masa atoma  $La$ -139 je  $138,90606u$  a masa  $Mo$ -95 je  $94,99057u$ .)
119. Vrijeme poluraspada urana je  $4,5 \cdot 10^9$  godina. Kolika mu je konstanta radioaktivnosti?
120. Vrijeme poluraspada nekog radioaktivnog elementa je 15 minuta. Koliki će biti udio radioaktivnih jezgara nakon 0,5 sati?
121. Tijekom četiri dana broj atoma radioaktivnog joda-128 smanjio se na trećinu početne vrijednosti  $N_0$ . Koliko je vrijeme poluraspada joda-128?
122. Vrijeme poluraspada radija-226 je 1600 godina. Koliki se postotak jezgara raspadne za 1000 godina?
123. Za koje vrijeme se u količini  $^{32}\text{P}$  od  $10^9$  atoma raspadne 10 atoma? Vrijeme poluraspada fosfora je 14,3 dana.
124. Vrijeme poluraspada nekog radioaktivnog izotopa iznosi 10 sati. Za koliko vremena se raspadne 15% početne količine?
125. Izotop neptunija  $Np$ -240 se emisijom elektrona i elektronskog antineutrina pretvara u izotop plutonija  $Pu$ -240. Koliko jezgara plutonija  $Pu$ -240 nastaje od  $10^6$  jezgri  $Np$ -240 za 4 sata ako je vrijeme poluraspada 60 minuta?
126. Nacrtajte graf radioaktivnog raspada 5g natrija-25 u ovisnosti o vremenu. Vrijeme poluraspada toga izotopa je 1min.
127. Neki element ima vrijeme poluraspada jedan dan. Koliki se postotak (izračunajte i zaokružite odgovor) početnoga broja čestica toga elementa raspadne nakon dva dana?  
a) 25%                                    b) 50%                                    c) 75%                                    d) 10%
128. U trenutku  $t = 0$  posuda sadrži  $N_0$  molekula radioaktivne tvari, vremena poluraspada  $T$ . Koliko molekula radioaktivne tvari će se raspasti nakon što prođe  $T/2$ ? (Izračunajte i zaokružite odgovor!)  
a)  $0,75N_0$                                     b)  $1,333N_0$                                     c)  $0,29N_0$                                     d)  $0,5N_0$
129. Iz  $10^5$  atoma neke radioaktivne tvari raspadne se u 10 sekundi 5 atoma. Koliko je vrijeme poluraspada?
130. Vrijeme poluraspada nekog radioaktivnog elementa je 15 minuta. Za koliko sati se početni broj radioaktivnih jezgara smanji na  $1/256$ ?
131. Koliko je vremena prošlo od početka radioaktivnog raspada ako je omjer početnog broja jezgara i broja neraspadnutih jezgara  $16 : 1$ ?
132. Neki radioaktivni preparat ima konstantu raspada  $\lambda = 1,44h^{-1}$ . Poslije kolikog vremena se raspadne 70% početnog broja jezgara?
133. Izotop radija ima vrijeme poluraspada 4 dana. Netom pripremljen uzorak tog izotopa u trenutku  $t = 0$  sadrži  $N$  atoma. Koliko je vrijeme u kojem se raspadne  $7N/8$  atoma?
134. Radioaktivni izotop  $^{226}\text{Ra}$  ima vrijeme poluraspada 1600 godina. Koliko se jezgara raspadne svake godine u uzorku mase  $1mg$ . Avogadrova je konstanta  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ .



135. Vrijeme poluraspada radioaktivnog izotopa  $Na-25$  je  $T = 1min$ . Ako imamo uzorak od  $20mg$  tog izotopa kolika će se masa uzorka raspasti za tri vremena poluraspada?
136. Vrijeme poluraspada izotopa  $^{226}Ra$  jest 1590 godina. Koliko bi grama ostalo od jednog grama čistog  $^{226}Ra$  nakon 3180 godina?
137. Dva radioaktivna izvora  $X$  i  $Y$  imaju jednaku početnu masu. Vrijeme poluraspada elementa  $X$  iznosi dva sata a elementa  $Y$  jedan sat. Koliki je omjer masa (izračunajte) tih dvaju izvora nakon četiri sata?
- a)  $m_X : m_Y = 1 : 2$       b)  $m_X : m_Y = 4 : 1$       c)  $m_X : m_Y = 8 : 1$       d)  $m_X : m_Y = 16 : 1$
138. Na raspolaganju imate dva radioaktivna uzorka: uzorak  $A$  mase  $64kg$  i vremena poluraspada 10 godina i uzorak  $B$  nepoznate mase i vremena poluraspada 20 godina. Nakon 40 godina iznos masa uzoraka je jednak. Koliko je iznosila početna masa uzorka  $B$ ?
139. Izotop  $^{24}_{11}Na$  raspada se emitirajući  $\alpha$ -čestice. Vrijeme poluraspada je 14,8 sati. Kolika je masa nastalog izotopa nakon 10 sati ako je početna masa  $^{24}_{11}Na$   $1mg$ ?
140. Period poluraspada stroncija  $^{89}_{38}Sr$  iznosi  $T = 51$  dan. Stroncij emitira  $\beta$ -čestice (elektronski  $\beta^-$ -raspad) i prelazi u itrij  $^{89}_{39}Y$ . Početna masa stroncija je  $m_0 = 8g$ . Koliko itrija će biti poslije  $t = 153$  dana?
141. Poluvrijeme života jednog izotopa fosfora je 14 dana. Ako uzorak sadrži  $3 \cdot 10^{16}$  jezgara tog izotopa kolika je njegova aktivnost? Rezultat izrazite i u Curiejima. ( $1Ci = 3,7 \cdot 10^{10}Bq$ )
142. Odredite aktivnost izvora  $^{226}Ra$  mase  $1g$  čije je vrijeme poluraspada  $T = 1600$  godina. ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}mol^{-1}$ )
143. Koliko je vrijeme poluraspada i konstanta radioaktivnog raspada izotopa kojemu aktivnost opadne za 10% nakon jednog sata? Koliko ima jezgara u trenutku kada je aktivnost  $3,7MBq$ ?
144. Nekom se radioaktivnom nuklidu za 16 dana aktivnost smanji 2 puta. Koliko puta će mu aktivnost biti slabija nakon 64 dana?
145. Za koliko postotaka opadne aktivnost neke tvari za vrijeme koje je dvaput veće od vremena poluraspada?
146. Nuklid  $^{137}_{55}Cs$  ima vrijeme poluraspada 30 godina. Kolika masa tog nuklida ima aktivnost  $1000Bq$ ? ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}mol^{-1}$ )
147. Usvrhu medicinskih istraživanja čovjeku je u krv unesena mala količina radioaktivnog natrija početne aktivnosti  $2kBq$ . Aktivnost  $1cm^3$  krvi uzete nakon 5 sati iznosila je  $0,267Bqcm^{-3}$ . Vrijeme poluraspada radioaktivnog natrija iznosi oko 15 sati. Koliki je ukupni obujam krvi čovjeka pod pretpostavkom da je radioaktivni izotop homogeno raspoređen u njoj?
148. Zamislimo da je zbog kvara nuklearnog reaktora koncentracija (broj čestica) radioaktivnog joda-131 ( $T = 8$  dana) u atmosferi postala tisuću puta veća od normalne. Radioaktivni jod ulazi u travu a iz trave putem probavnog sustava u mlijeko krava. To mlijeko nećemo piti. Kolika će biti koncentracija (broj čestica) radioaktivnog joda u tvrdom siru, napravljenom od zagađenog mlijeka, nakon 80 dana?