

## Príklady s tematikou štúdia jadrovej štruktúry

### Základné modely jadier

1. Ak je exc. energia 2+ stavu 91.4 keV aká bude energia ďalších troch rotačných stavov (4+, 6+, 8+)?
2. Nájdite vzťah medzi elektrickým kvadrupólovým momentom vzбудeného 2+ stavu (prvý rotačný stav na základnom stave) a intrinšickým kvadrupólovým momentom jadra v prípade natiahnutých (prolate) jadier? Vo všeobecnosti  $Q = \frac{3K^2 - J(J+1)}{(J+1)(2J+3)} Q_0$
3. V oblasti jadier s  $A = 150 - 170$  je skupina jadier, ktorá má kvadrupólový moment pri excitácii 2+ stavu (v rámci rotačného pásu na základnom stave)  $Q = -2$  b. Odhadnite deformáciu takého jadra.
4. Vysvetlite podobu asymetrického člena v Bethe-Weizsäckerovom vzťahu.
5. Môžeme mať pre izobary s nepárnym počtom nukleónov viacero stabilných izotopov? Svoje tvrdenie dokážte.
6. Aký typ excitácii prichádza v úvahu pri exc. energiách do 600 keV pre  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{U}$  a pre  $^{235}\text{U}$ ?

### Vrstvový model

1. Aké sú možné spiny a parity pre základný stav nasledujúcich nepárno-párnych jadier?
  - a.  $^7_3\text{Li}$
  - b.  $^{11}_5\text{B}$
  - c.  $^{31}_{15}\text{P}$
  - d.  $^{209}_{83}\text{Bi}$
  - e.  $^{51}_{23}\text{V}$
2. Aké sú možné spiny a parity pre základný stav nasledujúcich nepárno-nepárnych jadier?
  - a.  $^{14}_7\text{N}$
  - b.  $^{58}_{29}\text{Cu}$
  - c.  $^{38}_{17}\text{Cl}$
  - d.  $^{26}_{13}\text{Al}$
  - e.  $^{56}_{27}\text{Co}$
3. Jadrá  $^9_4\text{Be}$  a  $^9_5\text{B}$  majú v základnom stave nespárovaný nukleón na hladine  $1p_{3/2}$ . Aké sú možné spiny a parity pre základný stav jadra  $^{10}_5\text{B}$ ?
4. Skúste predpovedať pre jadro  $^{17}_8\text{O}$  spin a paritu pre základný stav jadra a prvé dva vzбудené stavy. Svoju predpoveď aj zdôvodnite

### Alfa rozpad

1. Porovnajzte celkovú potenciálovú bariéru pre alfa rozpad  $^{238}\text{U}$  vedúci na finálny stav so spinom a paritou a) 0+ b) 2+
2. V rozpade  $^{228}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{224}_{88}\text{Ra} + \alpha$  sa emitujú častice s energiou 5.423 MeV. Vypočítajte rozdiel hmotnostných úbytkov materského a dcérskeho izotopu.
3. V rozpade izotopy  $^{194}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{190}_{84}\text{Po} + \alpha$  sa emitujú častice s energiou 7.70 MeV. Hmotnostný úbytok izotopu  $^{190}\text{Po}$  je -5.315 MeV. Vypočítajte hmotnostný úbytok izotopu  $^{194}\text{Rn}$ .

4. Izotop  $^{214}\text{Po}$  sa rozpadáva alfa rozpadom na izotop  $^{210}\text{Pb}$ . Kinetická energia emitovaných alfa častíc je 7.386 MeV. Hmotnostný úbytok izotopu  $^{210}\text{Pb}$  je  $\Delta M = -14.73 \text{ MeV}$ . Aká je hmotnosť izotopu  $^{214}\text{Po}$ ?
5. Vypočítajte celkovú bariéru pre protónovú emisiu a alfa rozpad izotopu  $^{160}\text{Re}$  ( $Z = 75$ ) za predpoklady zmeny uhlového momentu hybnosti o 1
6. Odhadnite kinetickú energiu alfa častice emitovanej pri rozpade izotopu  $^{238}\text{U}$  na druhý vzбудený stav v dcérskom jadre. Energia vzbudeneho stavu je 163 keV. Hmotnostný úbytok pre  $^{238}\text{U}$  je 47.3 MeV a pre  $^{234}\text{Th}$  je 40.6 MeV
7. Alfa rozpad izotopu  $^{251}\text{Cf}$  na základnú hladinu dcérskeho izotopu  $^{247}\text{Cm}$  má energiu 6076 keV a relatívnu intenzitu 2.7%. Vetviaci pomer pre alfa rozpad  $^{251}\text{Cf}$  je 100% a polčas rozpadu 898 rokov. Teoretický parciálny polčas je 7.43 rokov. Vypočítajte:
  - a. Q hodnotu rozpadu
  - b. Faktor potlačenia alfa rozpadu

## Beta premena

1. Vypočítajte Q hodnotu pre beta premenu:
  - a.  $^{23}_{10}\text{Ne} \rightarrow ^{23}_{11}\text{Na}$        $\Delta M(^{23}_{10}\text{Ne}) = -5.154$      $\Delta M(^{23}_{10}\text{Ne}) = -9.529$
  - b.  $^{82}_{38}\text{Sr} \rightarrow ^{82}_{37}\text{Rb}$        $\Delta M(^{82}_{38}\text{Sr}) = -76.009$      $\Delta M(^{82}_{37}\text{Rb}) = -76.188$
2. Izotop  $^{232}\text{Np}$  má spin a paritu základného stavu 4+. Polčas rozpadu je 14,7 minúty. Rozpadáva sa beta premenou na izotop  $^{232}\text{U}$  s vetviacim pomerom  $b_{\beta} \approx 100\%$ . Väčšina rozpadov ( $i_{\text{rel}} = 90\%$ ) ide na vzбудenú hladinu ( $v^{232}\text{U}$ ) s exc. energiou 1194 keV. Odhadnite, aký spin a paritu môže mať táto hladina v izotope  $^{232}\text{U}$ ?
3. Odhadnutie charakteru prechodu  $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ . Využite  $Q_{\beta^-} = 283.3 \text{ keV}$  a  $T_{1/2} = 4.75 \times 10^{10}$  rokov. Vetviaci pomer pre tento  $\beta$  prechod aj jeho relatívnu intenzitu na základný stav  $^{87}\text{Sr}$  predpokladajte 100%
4. Izotop  $^{246}\text{Bk}$  má polčas rozpadu je 1,8 dní. Rozpadáva sa  $\beta$  premenou na izotop  $^{246}\text{Cm}$  s vetviacim pomerom  $b_{\beta} \approx 100\%$ . Približne 10%  $\beta$  premien ide na prvú hladinu rotačného pásu ( $v^{246}\text{Cm}$ ) na základnom stave so spinom a paritou 2+ a s exc. energiou 42 keV. Odhadnite, aký spin a paritu môže mať základný stav v izotope  $^{246}\text{Bk}$ ?
5. Určite typ beta premeny prenasledujúce prípady:
  - a.  $^{17}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O}$  ( $1/2^- \rightarrow 5/2^+$ )
  - b.  $^{22}\text{Na} \rightarrow ^{22}\text{Ne}$  ( $3^+ \rightarrow 0^+$ )
  - c.  $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$  ( $3/2^- \rightarrow 9/2^+$ )
6. Pri rozpade  $^{26}_{13}\text{Al} \rightarrow ^{26}_{12}\text{Mg}^*$  prebieha beta premena na vzбудené hladiny v dcérskom jadre s vetviacim pomerom pre beta premenu 100%. S relatívnou intenzitou  $i_{\text{rel}} = 97.3\%$  sa obsadzujú v jadre  $^{26}\text{Mg}$  vzбудená hladina s excitačnou energiou 1.8 MeV. Rozdiel hmotnostných úbytkov oboch izotopov je 4 MeV. Doba polpremeny je  $T_{1/2} = 7.4 \times 10^5$  rokov =  $2.33 \times 10^{13}$  sekúnd. Poznámka: Pre zjednodušenie postačuje brať rádové odhady vo výpočte. Napr. relatívnu intenzitu prechodu 100%, dobu polpremeny 1013 sekúnd a pod
  - a. Určite typ beta premeny ( $\beta^-$ ,  $\beta^+/\text{EC}$ ) tieto izotopy.
  - b. Určite či ide o povolený príp. zakázaný prechod.
  - c. Odhadnite zmenu spinu a parity pri tejto beta premene.
7. Aké spiny môže mať po beta premene stav obsadzovaný v dcérskom jadre, keď:
  - a. ide o prvú zakázanú beta premenu a materské jadro má spin a paritu 2-

- b. ide o povolený čistý Gamow-Tellerov (nie miešaný s Fermiho prechodom) prechod a materské jadro má spin a paritu 2-
  - c. ide o čistý fermiho prechod (nie miešaný s Gamow-Tellerovým prechodom) a materské jadro má spin a paritu 2-
  - d. ide o povolený beta prechod a materské jadro má spin a paritu 3-
8. Odvodte  $Q$  hodnotu pre záchyt pozitronu atómovým jadrom. Vypočítajte hmotnostný úbytok vytvoreného jadra, ak je  $Q$  hodnotu pre záchyt pozitronu izotopom  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  6.537 MeV a hmotnostný úbytok  ${}^{24}\text{Na}$  je -8.418 MeV.

## Emisia gama

1. Máme E1 a E2 prechod s  $E_\gamma = 1$  MeV pre jadro s  $A = 100$ . Aké sú pomery pravdepodobnosti prechodu?
2. Hladina deexcitujúca sa M2 gama prechodom s energiou 1 MeV v izotope so 100 nukleónmi má typickú dobu života približne 1.5 ns. Aká je približne doba hladiny v tomto izotope ak je energia de-excitácie 500 keV?
3. Predpokladajme deexcitáciu jadra s 250 nukleónmi zo vzbudenej hladiny  $9/2^-$  [734] s energiou 170 keV na základný stav s konfiguráciou  $5/2^+$  [622]. Aký bude polčas rozpadu pre tento prechod?
4. Odhadnite rádový rozdiel v polčasoch rozpadu pre 100 keV prechod v izotope  ${}^{212}\text{Bi}$  v prípade E1 a M2 charakteru.
5. Odhadnite dobu života vzbudeného  $16^+$  stavu s  $K=16$ , rozpadajúceho sa M2 prechodom s energiou 13 keV na  $14^-$  stav a E3 prechodom s 310 keV na  $13^-$  stav (oba stavy sú s  $K=8$ ).
6. V experimente sa zaregistruje 10000 alfa rozpadov obsadzujúcich vzbudenú hladinu v dcérskom jadre. Táto hladina sa s 25% pravdepodobnosťou deexcituje pomocou 280 keV gama prechodu. Pri 200 alfa rozpadoch sme v koincidencii registrovali 280 keV gama prechod, pričom účinnosť detektorov je 10%. Aký je koeficient vnútornej konverzie tohto prechodu?
7. Odhadnite kinetickú energiu atómového jadra pre nasledujúce prípady
  - a. Izotop  ${}^{69}\text{Zn}$  emituje z izoméneho stavu  ${}^{69m}\text{Zn}$  gama kvantum s energiou 439 keV.
  - b. Izotop  ${}^{12}\text{C}$  emituje zo vzbudeného stavu 15.1 MeV gama kvantum.