



Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje

Studij računarstva

Fizika 2

Auditorne vježbe - 13

Atomska jezgra. Nuklearne raspadi. Nuklearni reakcije.

3. lipanj 2009.

Ivica Sorić

(Ivica.Soric@fesb.hr)

Ponavljanje – Jezgra atoma

- ♦ Jezgra atoma sastoji se od Z protona i N neutrona, koji se zajedničkim imenom nazivaju nukleonima. Ukupan broj A nukleona, $A=Z+N$, naziva se atomskim ili masenim brojem.
- ♦ Većina jezgara ima približno sferičan oblik. Polumjer jezgre može se izračunati relacijom $R=r_0A^{1/3}$, gdje je uobičajena vrijednost $r_0=1,4 \cdot 10^{-15}$ m.

Primjer 1

◆ Odredite gustoću jezgre masenog broja A!

◆ Rezultat: $\rho = 1,44 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$

Ponavljanje – Energija vezanja jezgre. Nuklearne reakcije

- ◆ Energija vezanja jezgre mase M , koja se sastoji od Z protona i $(A-Z)$ neutrona:

$$E_v = [Zm_p + (A-Z)m_n - M]c^2 = \Delta Mc^2$$

- gdje je:

$$\begin{aligned} m_p &= 1,007277 \text{ u} && \text{masa protona} \\ m_n &= 1,008665 \text{ u} && \text{masa neutrona} \\ 1 \text{ u} &= 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,48 \frac{\text{MeV}}{c^2} \end{aligned}$$

- ◆ Nuklearna energija reakcije $X(a,b)Y$:

$$Q = [(m_x + m_a) - (m_y + m_b)]c^2 = (E_{kb} + E_{ky}) - (E_{ka} + E_{kx})$$

- ◆ Udarni presjek nuklearne reakcije:

$$\sigma(a,b) = \frac{N_b}{n_a v n_m A \Delta x}$$

Primjer 2

- ◆ Koliko se energije oslobodi pri uhvatu slobodnog neutrona protonom (formiranje deuterona)? Masa deuterona je $2,013553u$.

- ◆ Rezultat: $E = 2,23 \text{ MeV}$.

Primjer 3

- ◆ Izračunati energiju oslobođenu pri fisiji 1 kg urana masenog broja 235, ako je energija po fisiji jedne jezgre 208 MeV.

- ◆ $E = 5.32 \cdot 10^{26} \text{ MeV} = 8,54 \cdot 10^{13} \text{ J}$

Primjer 4

- ◆ Izračunati energiju veze po nukleonu za atome:

$$a) {}^4_2\text{He}, \quad b) {}^{60}_{28}\text{Ni}, \quad c) {}^{109}_{47}\text{Ag}, \quad d) {}^{197}_{79}\text{Au}, \quad e) {}^{238}_{92}\text{U}.$$

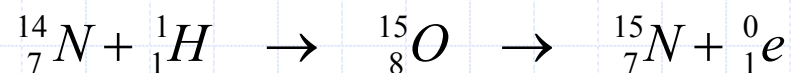
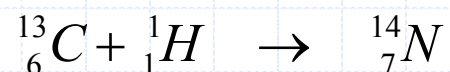
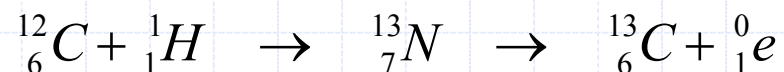
- ◆ ako su mase tih jezgara: $m_{\text{He}}=4,002603 \text{ u}$, $m_{\text{Ni}}=59,930787 \text{ u}$,
 $m_{\text{Ag}}=108,904756 \text{ u}$, $m_{\text{Au}}=196,966541 \text{ u}$, $m_{\text{U}}=238,05077 \text{ u}$,

- ◆ Rezultat:

- ◆ a) 6,82 MeV, b) 8,54 MeV, c) 8,32 MeV, d) 7,71 MeV, e) 7,37 MeV.

Primjer 5

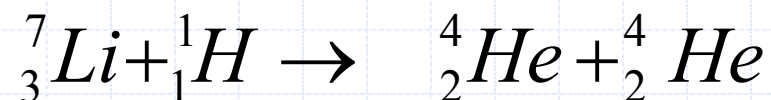
- ◆ Pretpostavljajući da je izvor energije Sunca energija koja se oslobađa pri nastajanju helija iz vodika po slijedećoj reakciji:



- ◆ izračunati koliko bi se tona vodika svake sekunde moralo pretvoriti u helij. Za veličinu solarne konstante uzeti vrijednost $1,35 \text{ kW/m}^2$, a za udaljenost od Zemlje do Sunca $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$. Pretpostavljajući da vodik sačinjava 35% mase Sunca, izračunati koliko bi godina mogle dostajati količine vodika na da bi Sunce zračilo neizmjenjeno. Za masu Sunca uzeti $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.
- ◆ Rezultat: $m = 600$ milijuna tona u sekundi; $t = 37$ milijardi godina.

Primjer 6

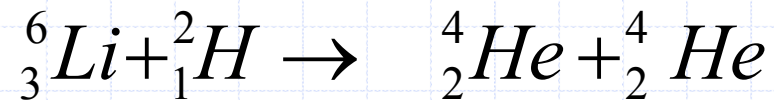
- U danoj nuklearnoj reakciji nastale α -čestice imaju jednake energije a njihovi vektori količina gibanja zatvaraju kut od 150° . Izračunati kinetičke energije protona i α -čestice pod pretpostavkom da je jezgra litija bila u stanju mirovanja prije reakcije. Mase jezgara su: $m_{\text{Li}}=7,016004 \text{ u}$, $m_{\text{H}}=1,007277 \text{ u}$, $m_{\text{He}}=4,002603 \text{ u}$.



- Rezultat: $E_{\text{kp}}=19,16 \text{ MeV}$, $E_{\text{k}\alpha}=18 \text{ MeV}$

Primjer 7 (domaći rad)

- ◆ Deuteron ubrzan u akceleratoru do kinetičke energije 1 MeV pogodi jezgru litija u stanju mirovanja. U reakciji nastaju dvije α -čestice koje se odbiju pod kutem od 180° . Izračunati njihove kinetičke energije. Mase jezgara su: $m_{\text{Li}}=6,015125 \text{ u}$, $m_{\text{H}}=2,013553 \text{ u}$, $m_{\text{He}}=4,002603 \text{ u}$.



- ◆ Rezultat: $E_{k1}=13,82 \text{ MeV}$, $E_{k2}=9,05 \text{ MeV}$

Ponavljanje – Atomska jezgra. Radioaktivni raspad.

- ◆ Jezgra atoma sastoji se od Z protona i N neutrona, koji se zajedničkim imenom nazivaju nukleonima. Ukupan broj A nukleona, $A=Z+N$, naziva se atomskim ili masenim brojem.
- ◆ Većina jezgara ima približno sferičan oblik. Polumjer jezgre može se izračunati relacijom $R=r_0A^{1/3}$, gdje je uobičajena vrijednost $r_0=1,4 \cdot 10^{-15}$ m.
- ◆ Broj jezgara u uzorku radioaktivnog materijala eksponencijalno se smanjuje prema zakonu radioaktivnog raspada:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

gdje je N_0 broj jezgri u trenutku $t=0$, N njihov broj u trenutku t , a λ konstanta raspada.

- ◆ Vrijeme potrebno da se broj jezgara smanji na polovicu zove se vrijeme poluraspada $T_{1/2}$, i vrijedi:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

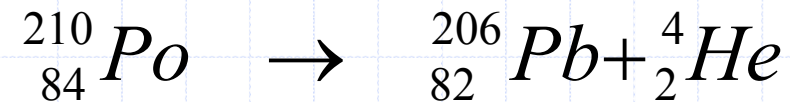
- ◆ Aktivnost radioaktivne tvari definira se kao

$$A = -\frac{dN}{dt} = (\lambda N_0) e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

gdje je A_0 početna aktivnost. Aktivnost se mjeri u bekerelima ($\text{Bq}=\text{s}^{-1}$)

Primjer 8

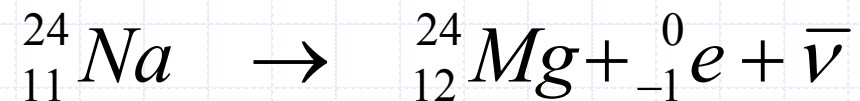
- U trenutku $t=0$, određena količina polonija izolira se u hermetički zatvorenoj posudi. Polonij emitira α čestice i prelazi u stabilno olovo. Nakon koliko vremena će u posudi biti jednake mase polonija i olova ako je vrijeme poluraspada polonija 138,4 dana?



- Rezultat: $t = 140,3$ dana.

Primjer 9

- ◆ U trenutku $t=0$ određena količina izotopa natrija izolira se u hermetički zatvorenoj posudi. Pri radioaktivnom β raspadu natrij prelazi u stabilni izotop magnezija. Nakon 5 sati u posudi ima 210 mg magnezija, a nakon 10 sati 376 mg magnezija. Odredi vrijeme poluraspada natrija. Molarne mase natrija i magnezija su jednake.



- ◆ Rezultat: $T_{1/2} = 14,74$ sati.

Primjer 10

- Izotopska zastupljenost uranovih izotopa u Zemljinoj kori, u našem vremenu, jest 0,72% ($^{235}_{92}\text{U}$) i 99,2745% ($^{238}_{92}\text{U}$). Pretpostavljajući da njihov omjer u početku nije mogao biti veći od jedinice, izračunajte najveću starost Zemljine kore. Vrijeme poluživota $^{235}_{92}\text{U}$ je $7,038 \cdot 10^8$ godina, te $4,468 \cdot 10^9$ godina za $^{238}_{92}\text{U}$.

- Rezultat: $t_{\text{max}} = 5,94 \cdot 10^9$ godina.

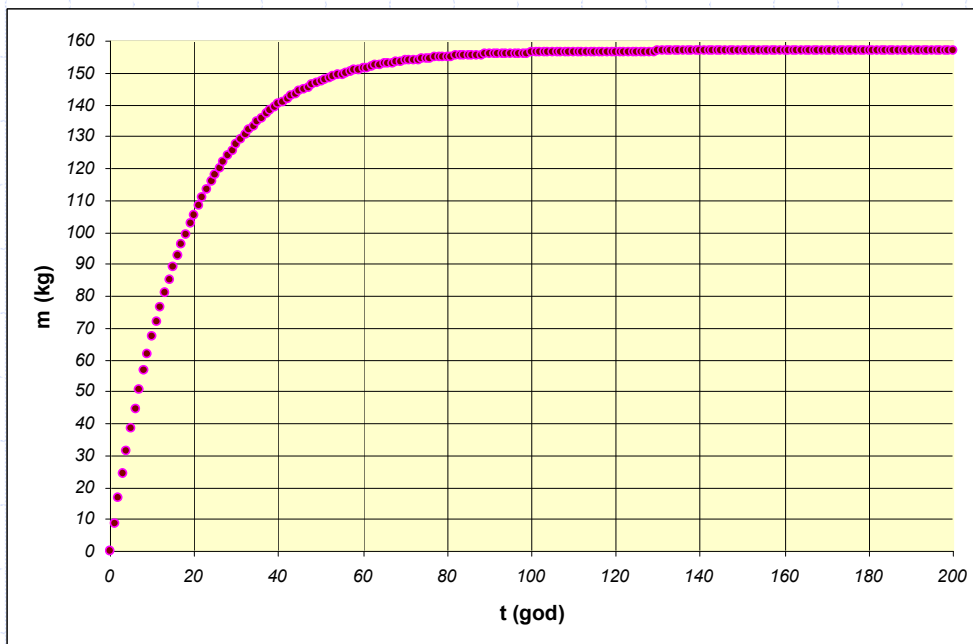
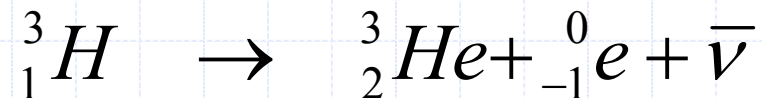
Primjer 11

- ◆ Na arheološkom nalazištu pronađen je komad ugljena težine 25g. Uzorak pokazuje aktivnost ugljika ^{14}C od 250 raspada po minuti. Koliko dugo je drvo od kojeg je potekao ugljik mrtvo, uz pretpostavku da je u trenutku umiranja koncentracija atoma ^{14}C u odnosu na stabilni izotop ^{12}C bila $1:10^{12}$. Vrijeme poluraspada ^{14}C je 5730 godina?

- ◆ Rezultat: 2460 godina

Primjer 12

- ◆ Nuklearni reaktor proizvode 1 gram tricija za 1 sat rada. Tricij je nestabilan β -izotop i ima vrijeme poluraspada 12,4 godina. Koliko će tricija biti u reaktoru nakon 1, 10 i 100 godina neprekidnog rada reaktora?



- ◆ Rezultat: $m_1 = 8,53 \text{ kg}$; $m_{10} = 67,15 \text{ kg}$; $m_{100} = 156,23 \text{ kg}$;