

ATOMSKO JEDRO

20.1. VELIKOST JEDRA

20.2. NUKLEONI

20.3. MASNI DEFEKT JEDER

20.4. JEDRSKE REAKCIJE

20.5. RAZPADI

20.6. AKTIVNOST IZOTOPA

20.7. CEPITEV JEDER – FISIJA

20.8. JEDRSKI REAKTOR

20.1. VELIKOST JEDRA

Samo velikost jedra so ugotovili na ta način, da so usmerili na tanek listič zlata ozek snop delcev α in opazovali sipanje teh delcev pri prehodu skozi listič. Večina delcev gre nemoteno skozi listič, nekaj se jih neznatno odkloni, nekaj pa se jih celo odbije. Tako velikega odklanjanja delcev ni mogoče razumeti drugače, kakor da je v središču atomov zlata zbrana skoraj vsa masa, ki je pozitivno naelektrena in se zaradi tega pozitivno naelektreni delci od nje odbijajo. Ker pride na več 100 milijonov delcev komaj po en zadetek jedra (to se zgodi tedaj, ko se delec odbije natančno nazaj), moramo sklepati, da je presek jedra (πr_j^2) več 100 milijonkrat manjši od preseka atoma (πr_a^2). Torej je polmer jedra r_j več 10^4 – krat manjši od polmera atoma r_a . Ker polmer atoma že poznamo, sledi $r_j = 10^{-14} m$. Eksperimentalni rezultati kažejo tudi, da so jedra težjih atomov večja. Polmer atomskega jedra se spreminja približno s tretjim korenom relativne atomske mase (A) elementa: $r_j = r_1 \sqrt[3]{A}$, kjer je r_1 polmer najlažjega jedra – vodika ($A=1$) in znaša $r_1 = 1,1 \cdot 10^{-15} m$.

20.2. NUKLEONI

Delci, ki sestavljajo atomska jedra se imenujejo nukleoni. Poznamo dve vrsti nukleonov: **protone in nevtrone**. Protoni (p) so električno pozitivni. Vsak proton nosi osnovni naboj $+e_0$. Nevtroni (n) pa so električno nevtralni. V prvem približku imata proton in nevtron enako maso, ali natančneje $m_n = 1,008665 u$; $e_n = 0$;
 $m_p = 1,007825 u$; $e_p = +e_0$.

Označujemo:

Z...vrstno število, ki pove število protonov v jedru;

N...število nevtronov v jedru;

A...masno število, ali $A=Z+N$

Elementi, ki po svojih kemičnih in optičnih lastnostih spadajo na isto mesto periodnega sistema, se imenujejo izotopi. Vsi izotopi istega elementa imajo isto vrstno število in jih kemijsko ne moremo ločiti.

$$E=mc^2$$

20.3. MASNI DEFECT JEDER

Splošno velja: mase vseh jeder so nekoliko manjše od vsote mas njihovih sestavnih delcev. Razliko imenujemo masni defekt. Zapišemo:

$\Delta m = \sum m - M$...masni defekt. Ta masa se ni mogla izgubiti. Po Einsteinovem zakonu se je morala pri zgraditvi jedra iz osnovnih delcev sprostiti ekvivalentna množina energije: $\Delta E = \Delta mc^2 = (\sum m - M) \cdot 930 \text{ MeV}$, kar obravnavamo kot **vezavno energijo**.

20.4. JEDRSKE REAKCIJE

Jedrske reakcije so reakcije med atomskimi jedri, oziroma med nukleoni ter med drugimi osnovnimi delci. Pri jedrskih reakcijah se spreminja sestava atomskih jeder, pri čemer se ali lastna energija spreminja v kinetično ali obratno. Ne glede na spremembe velja, da jedrske reakcije ne morejo spremeniti celotnega električnega naboja udeleženih delcev, niti se pri jedrskih reakcijah ne spremeni celotno število nukleonov. Jedrsko reakcijo na kratko napišemo takole: $Y(a,b)X$, kjer je Y začetno jedro, a vpadni delec, b emitirani delec in X novo jedro. Primer: ${}_{7}\text{N}^{14}(\alpha, p){}_8\text{O}^{17}$.

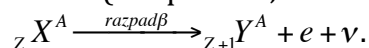
20.5. RAZPADI

RAZPAD ALFA

Alfa aktivno jedro se pomiri (zmanjša svojo notranjo energijo) tako, da odda delec alfa, to je **helijevo jedro**. Pri tem se sprosti nekaj energije, ki jo večinoma odnese delec alfa v obliki kinetične energije. Radioaktivno jedro z razpadom alfa odda dva protona in dva nevtrona. Vrstno število se torej zmanjša za 2, masno število se zmanjša za 4: ${}_Z X^A \xrightarrow{\text{razpada}} {}_{Z-2} Y^{A-4} + {}_2\text{He}^4$.

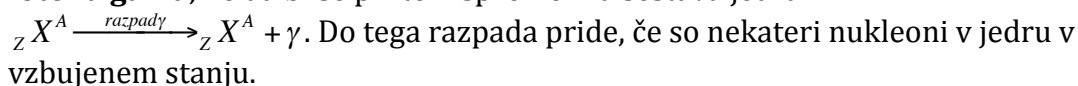
RAZPAD BETA

Beta aktivna jedra oddajajo elektrone, kar pomeni, da so žarki beta elektroni. Ker elektronov v jedru ni, sklepamo, da nastajajo ob razpadu. Na primer: nevtron se razcepi na proton in elektron. Pri tem imajo elektroni različne kinetične energije, kar pripelje na sklep, da se poleg elektronov sproščajo še neki delci, ki jih imenujemo **nevtrini**. Nevtrini odnesejo razliko kinetične energije izletelih elektronov in jih je zelo težko odkriti. Nevtrini nimajo niti električnega naboja niti mase (in pri tem niso fotoni). Torej se ob razpadu beta v jedru zgodi reakcija: $n \rightarrow p + e + \nu$. Nevtron se prelevi v proton, elektron in nevtrino (ν) pa izletita iz jedra. Število nevtronov v jedru se zmanjša za ena, število protonov pa se poveča za ena (kar pomeni, da se vrstno število Z poveča za ena). Zapišemo:



RAZPAD GAMA

Gama aktivno jedro se pomiri tako, da odda odvečno notranjo energijo v obliki **fotona gama**, ne da bi se pri tem spremenila sestava jedra:



20.6. AKTIVNOST IZOTOPA

Aktivnost izotopa pove število delcev, ki jih izotop seva v sekundi. Ker se pri razpadu radioaktivnega jedra sprosti en delec (foton, elektron ali helion), je aktivnost izotopa enaka številu radioaktivnih jeder, ki razpadejo v enoti časa. Enota za aktivnost je 1 razpad v sekundi. Imenuje se **bequerel** : $1\text{Bq}=1\text{ razpad/s}$. Večja enota je 1 **curie**: $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Bq} = 37\text{GBq}$. Hitrost razpadanja radioaktivnega izotopa izrazimo s časom, v katerem se število radioaktivnih jeder zmanjša na polovico. To je **razpolovni čas izotopa** (t_0). Število radioaktivnih jeder v trenutku t od začetka označimo z $N(t)$. Velja:

$$N(0) = N_0$$

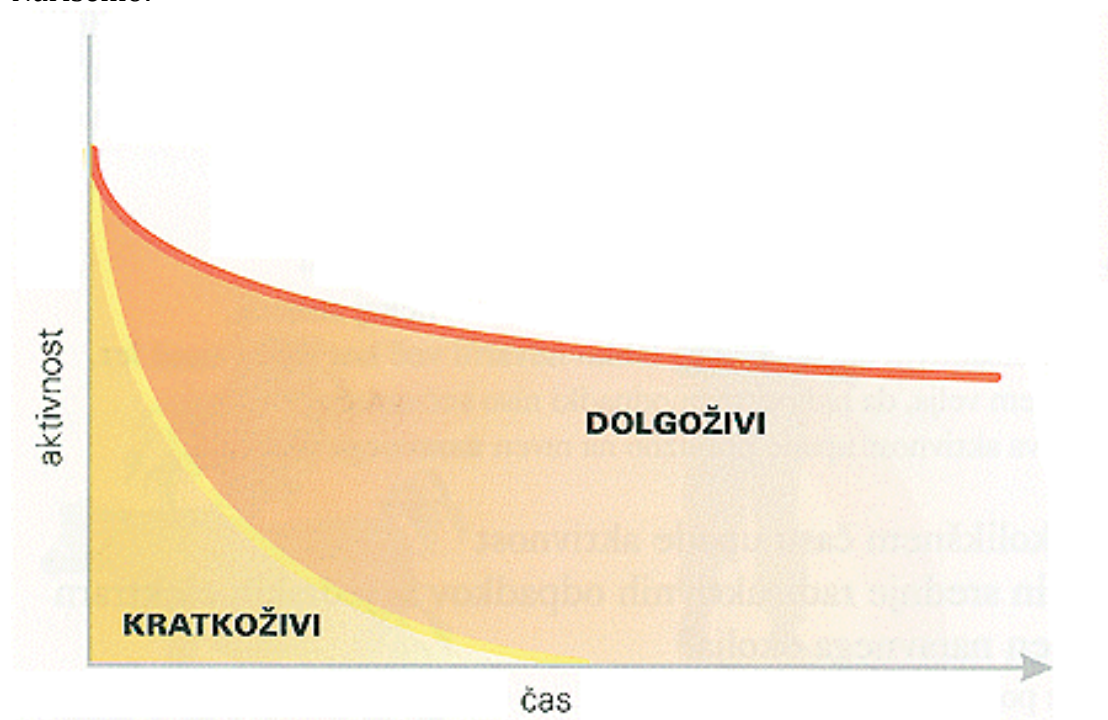
$$N(t_0) = \frac{N_0}{2} = N_0 2^{-1}$$

$$N(2t_0) = \frac{N_0}{4} = N_0 2^{-2}$$

$$N(3t_0) = \frac{N_0}{8} = N_0 2^{-3}$$

 $N(nt_0) = N_0 2^{-n}$, kjer je n poljubno pozitivno število. Namesto n lahko vstavimo t/t_0 in dobimo: $N(t) = N_0 2^{-t/t_0}$. Torej se število radioaktivnih jeder eksponentno zmanjšuje s časom.

Narišemo:

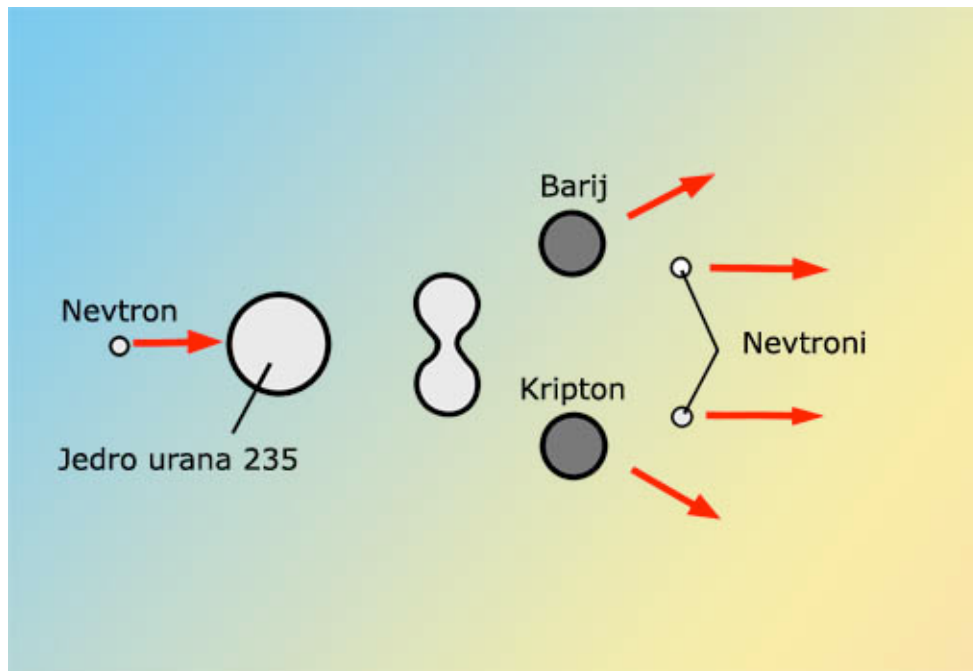


20.7. CEPITEV JEDER – FISIJA

Jedra težkih izotopov s konca periodnega sistema (npr. Urana in plutonija) so zelo nestabilna, so naravno radioaktivna (sevajo alfa, beta ali gama), vendar se včasih zgodi, da se enostavno razcepijo na dva dela. Ob **cepitvi ali fisiji jedra** nastaneta novi jedri X_1 in X_2 , med katera se povsem slučajno razdelijo nevtroni in protoni prvotnega jedra. Obenem se sprosti nekaj nevtronov (enkrat en nevtron, drugič dva ali trije, povprečno pa dva in pol) ter fotoni gama. Pomembno je, da se pri cepitvi jedra sprošča precejšnja jedrska energija – v celoti okrog 200 MeV na cepitev.

Spontana cepitev nestabilnih težkih jeder je dokaj redek dogodek. Za praktično izkoriščanje jedrske energije, sproščene pri cepitvah jeder, je odločilnega pomena, da lahko cepitve jeder povzročamo umetno. Da lahko jedra spodbudimo da se razcepijo npr. Z obsevanjem z nevtroni. Ena od možnih cepitev je tale: $n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{92}^{236}\text{U} \rightarrow {}_{55}^{141}\text{Cs} + {}_{37}^{93}\text{Rb} + 2n + \gamma$. Nastaneta jedri cezija in rubidija.

Izotopi, katerih jedra se po absorpciji nevtronov razcepijo, se imenujejo cepljivi ali fisijski izotopi. Najbolj znani so uran 235, uran 233 in plutonij 239.



20.8. JEDRSKI REAKTOR

Jedrski reaktor je naprava za izkoriščanje jedrske energije, ki se sprošča s cepitvijo fisijskih jeter. V njem se odvija kritična verižna reakcija cepljenja fisijskih jeter z nevtroni. Oglejmo si verižno reakcijo!

Fisijsko jedro (npr U_{235}) se po absorpciji nevtrona razcepi. S cepitvijo se sprosti precejšnja energija, poleg tega pa tudi nekaj nevtronov. Sproščeni nevtroni se lahko absorbirajo v drugih fisijskih jedrih, nastanejo nove cepitve, sprostijo se novi nevtroni itd. V snovi s fisijskimi jedri se tako pojavi verižna reakcija cepljenja fisijskih jeter.

Verižna reakcija je lahko **nadkritična**. V tem primeru število cepitev eksponentno narašča s časom. To se dogaja v atomski bombi. Verižna reakcija je lahko tudi **podkritična**. V tem primeru nevtroni večinoma pobegnejo iz snovi in verižna reakcija kmalu ugasne. Verižna reakcija je **kritična**, ko je število nevtronov v snovi stalno. Jedra se enakomerno cepijo.

V jedrskem reaktorju se dogaja, kot že rečeno, kritična verižna reakcija. Glavne komponente jedrskega reaktorja so: gorivo, moderator, hladilo s toplotnim izmenjalnikom, kontrolne palice, reflektor in zaščitni oklep.

Gorivo vsebuje fisijski izotop. V gorivu se cepijo uranska jedra, sproščajo se nevtroni, fotoni in toplota.

Moderator je lahka snov (voda, grafit, berilij), ki ima nalogo da prestreza nevtrone in jih moderira (upočasni).

Hladilo teče mimo gorilnih palic in odnaša toploto ter jo predaja toplotnemu izmenjalniku.

Kontrolne palice vsebujejo izotope, ki močno absorbirajo nevtrone. Z njimi regulirajo verižno reakcijo.

Reflektor obdaja reaktorsko sredico in odbija nevtrone, ki bi drugače pobegnili iz sredice. Narejen je iz podobne snovi kot moderator.

Zaščitni oklep je jeklena valjasta posoda, ki je obdana z debelim zidom iz posebnega (težkega) betona.

