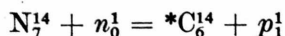


Ku vzniku rádioaktívnych izotopov vedú aj reakcie typu (n, p) , napríklad



Izotop ${}^*\text{C}_6^{14}$ sa vyznačuje β -rádioaktivitou a jeho poločas je asi 5 000 rokov. Výsledkom je opäť stabilný izotop dusíka, vznikajúci z ${}^*\text{C}_6^{14}$ podľa rovnice

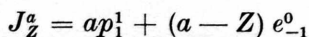


Pozitróny objavené v kozmickom žiarení a niekedy pozorované aj pri umelej rádioaktivite líšia sa od elektrónov nielen znamienkom svojho elektrického náboja, ale aj tým, že sa vyskytujú vzácné. Pri stretnutí sa pozitronu s elektrónom vzniká γ -žiarenie, ktorého energia je určená rovnicou $E_\gamma = 2m_0c^2 + K_+ + K_-$, kde m_0 je rovnako veľká pokojová hmotnosť pozitronu a elektrónu a K_+ a K_- sú ich pohybové energie pred premenou. Avšak pri takýchto premenách býva splnený nielen zákon o zachovaní energie, ale aj zákon o zachovaní hybnosti. Keďže v súradnicovom systéme, ktorý sleduje pohyb spoločného ťažiska pozitronu a elektrónu, ich celková hybnosť sa rovná nule, značí to, že nule sa rovná v tomto systéme aj celková hybnosť vznikajúceho γ -žiarenia. Ale to je možné len tak, že pri vzniku γ -žiarenia z pozitronu a elektrónu vzniknú aspoň dva fotóny. Keď pohybové energie pozitronu a elektrónu sú malé, podľa vyššie napísanej energetickej rovnice energia jedného z obidvoch vznikajúcich fotónov je $h\nu = m_0c^2 = 931,2 \text{ MeV} : 1\,836 = 0,51 \text{ MeV}$, čo dobre súhlasí s priamym pozorovaním.

Bol pozorovaný aj obrátený proces: vznik dvojice pozitron a elektrón v silovom poli jadier ťažších prvkov. Potrebná energia fotónu musí byť pochopiteľne aspoň $h\nu = 2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV}$.

S použitím jadrových reakcií vhodných typov vyrábajú sa dnes umele rádioaktívne izotopy (stručne rádioizotopy) už skoro všetkých prvkov. Používajú sa s veľkým úspechom a rozličným spôsobom nielen v prírodovedeckom výskume, ale aj pre liečebné účely a v technickej praxi.

16.11. Zloženie atómových jadier. Po objave prirodzenej rádioaktivity sa predpokladalo, že jadrá atómov sa skladajú z protónov a elektrónov. Za dostatočné zdôvodnenie tohto predpokladu sa považovala existencia β -rádioaktivity. Podľa tejto predstavy jadro atómu prvku s atómovým číslom Z a hmotnostným číslom a sa malo skladať z a protónov a $(a - Z)$ elektrónov. Príslušná schéma zloženia jadra je

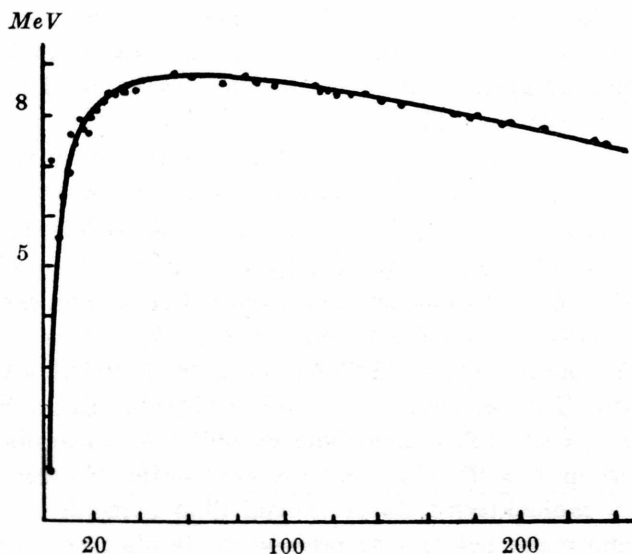


Ukázalo sa však, že táto predstava je v rozpore s mnohými teoretickými poznatkami modernej jadrovej fyziky. Preto po objavení neutrónu sovietsky

fyzik D. D. Ivanenko vyslovil dnes už všeobecne uznávaný predpoklad, že sa atómové jadrá skladajú len z protónov a neutrónov. Tieto elementárne častice dostali preto názov *nukleóny*. Podľa tejto predstavy schéma zloženia atómového jadra je

$$J_Z^a = Zp_1^1 + (a - Z)n_0^1$$

Podľa tejto schémy celkový počet nukleónov v jadre atómu sa rovná jeho hmotnostnému číslu, nazývanému preto aj *nukleónovým číslom*. Atómové číslo sa potom nazýva *protónovým číslom*. V jadrách atómov ľahkých prvkov je približne rovnaký počet protónov a neutrónov. Napríklad jadro He_2^4 sa skladá z dvoch protónov a dvoch neutrónov, alebo jadro C_6^{12} z 6 protónov a z 6 neutrónov. Avšak jadrá atómov stredných a najťažších prvkov obsahujú viac neutrónov ako protónov. Napríklad jadro uránu U_{92}^{238} obsahuje 92 protónov a 146 neutrónov.



Obr. 16.8.

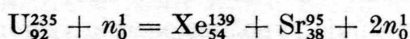
Keď sú známe presné hodnoty atómových hmotností izotopov, vyššie uvedená schéma zloženia atómového jadra z protónov ($m_p = 1,007\,27$) a neutrónov ($m_n = 1,008\,66$) umožňuje vypočítať energiu vzájomnej väzby nukleónov v jadre z hmotnostného úbytku s použitím princípu ekvivalencie hmotnosti a energie. Ukazuje sa, že táto energia je približne úmerná počtu nukleónov v jadre, takže na jeden nukleón pripadá približne rovnaká časť celkovej väzbovej energie, t. j. 7 až 8,5 MeV. Závislosť väzbovej energie pripadajúcej na jeden nukleón od hmotnostného čísla vyjadruje krivka na obr. 16.8. Z jej

priebehu je zrejmé, že táto energia je najväčšia pri stredne ťažkých prvkoch. To značí, že pri ich vzniku skladom pri tzv. *termonukleárnych reakciách* z prvkov ľahších, alebo rozkladom (*štiepením jadier*) prvkov ťažších sa energia uvoľňuje. Táto okolnosť má prvoradý význam pre výrobu atómovej energie, čím sa budeme zaoberať v nasledujúcom článku.

16.12. Refazové nukleárne reakcie a možnosti využitia atómovej energie.

Mnohé umelé premeny prvkov a všetky samovoľne prebiehajúce rádioaktívne premeny atómových jadier sú spojené s uvoľňovaním značných množstiev energie. Napriek tomu nádej na možnosť praktického využitia tejto energie bola dosť dlho malá. Z prirodzene rádioaktívnych prvkov v množstve pomerne väčšom sa nachádza v prírode len urán. Jeho samovoľný rozpad pre praktické účely je však príliš pomalý. Umelé rádioaktívne izotopy vyrábať vo väčšom množstve bolo dlho možné len s použitím umele urýchlených častíc. Avšak väčšina takýchto striel stráca svoju energiu pri pružných zrážkach a len ich malá časť reaguje s jadrami bombardovaných prvkov. Hoci pri umelej premene atómových jadier zásadne je teda možné získať energiu vo veľkom množstve, pre uvedené príčiny množstvo takýmto spôsobom získanej energie je stále neporovnateľne menšie ako energia do procesu vložená.

Nádej na možnosť praktického využitia jadrovej energie sa podstatne zväčšila až objavom nového druhu nukleárnej premeny, tzv. *štiepenia* atómových jadier najťažších prvkov. Štiepenie atómových jadier bolo najskôr pozorované pri uráne; môže nastať samovoľne aj účinkom neutrónov. Samovoľné štiepenie atómových jadier objavili sovietski fyzikovia K. A. Petržak a G. N. Flerov pri jadrách uránu U_{92}^{238} . Štiepenie jadier uránu objavili Hahn, Strassmann a Meitnerová r. 1937. Ich snahou bolo vyrobiť tzv. *transurány*, t. j. prvky s atómovým číslom $Z > 92$. Pri bombardovaní uránu neutrónmi zistili títo bádatelia umelú rádioaktivitu, ktorej pôvod dlho nemohli vysvetliť. Až po vykonaní veľkého počtu pokusov sa presvedčili, že ide tu o štiepenie izotopu uránu U_{92}^{235} za pôsobenia pomalých neutrónov. Výsledkom tohoto štiepenia môžu byť jadrá atómov rôznych stredne ťažkých prvkov, pričom vzniká súčasne aj niekoľko voľných neutrónov. Jedno z možných štiepení vyjadruje rovnica



Pretože v obidvoch takto vytvorených jadrách sú neutróny vo veľkej prevahe, nastáva pri nich po sebe rad β -premien, napríklad izotop Xe_{54}^{139} sa samovoľne mení ďalej takto

