

toho rovnica vyjadrujúca jadrovú reakciu, pri ktorej boli neutróny po prvý raz pozorované, je správne

$$\text{Be}_4^9 + \alpha_2^4 = \text{C}_6^{12} + n_0^1 \quad (2)$$

Pri zrážkach neutrónov s jadrami atómov, ak nedôjde k jadrovej reakcii, platia zákony zrazu pružných gúľ, zákon o zachovaní mechanickej energie a zákon o zachovaní hybnosti. Podľa týchto zákonov keď v_0 je počiatočná rýchlosť neutrónov, pri centrálnom zraze rýchlosť neutrónom odrazeného jadra je

$$v = \frac{2m_n}{m_n + m} v_0$$

kde m_n je hmotnosť neutrónu a m hmotnosť neutrónom centrálnne odrazeného jadra. Práve napísaný vzorec umožňuje vypočítať hmotnosť neutrónu. Podľa najnovších meraní hmotnosť neutrónu je $m_n = 1,008\,66$. Je teda o niečo väčšia ako hmotnosť protónu $m_p = 1,007\,27$.

Voľný neutrón je nestály. S polčasom asi 30 minút rozpadá sa na protón, elektrón a tzv. *neutrino*, elektricky neutrálnu časticu s nulovou pokojovou hmotnosťou.

Je veľmi významné, že aj neutróny sú schopné spôsobovať jadrové premeny, pričom pravdepodobnosť ich priblíženia sa k atómovému jadru je značná, lebo ako častice elektricky neutrálne nie sú atómovými jadrami odpudzované. Jadrové premeny sú schopné spôsobovať neutróny rýchle aj tzv. *termické neutróny*, ktorých rýchlosť je určená tými istými vzorcami ako neusporiadaný tepelný pohyb atómov. Rýchle neutróny možno spomaliť, keď ich prúdu dáme do cesty tzv. *moderátor*, látku obsahujúcu mnoho ľahkých prvkov, avšak takých, že s ich jadrami neutróny nereagujú. Podľa zákonov mechaniky pri zrážkach s jadrami takýchto prvkov strácajú neutróny značnú časť svojej pohybovej energie.

Neutróny, pretože sú to častice bez elektrického náboja, takže sa nevyznačujú ionizačným účinkom, bezprostredne sa neprejavujú. Na detekciu neutrónov sa preto používajú vhodné jadrové reakcie, napríklad reakcia

$$\text{B}_5^{10} + n_0^1 = \text{Li}_3^7 + \alpha_2^4$$

Pri využívaní tejto reakcie steny ionizačnej komory sa opatria vrstvou vhodnej zlúčeniny bóru. Keď jadro bóru pohltí neutrón, vyšle α -časticu, ktorá sa prejaví svojím mohutným ionizačným účinkom.

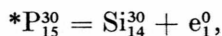
16.10. Objav kozmického žiarenia a umelá rádioaktivita. Štúdiom ionizácie atmosférického vzduchu v rozličných výškach aj vzduchu v pozoruhodných hĺbkach pod zemským povrchom sa zistilo, že zo svetového priestoru dopadá

na našu Zem ustavične a v rozličných smeroch zložené žiarenie, ktorého častice majú mimoriadne veľkú energiu 10^{10} až 10^{15} eV. Bolo nazvané *kozmicným žiarením*. Skladá sa z protónov, heliónov ale aj z jadier ťažších prvkov, avšak toto primárne zloženie kozmického žiarenia rozličnými jadrovými reakciami v zemskej atmosfére sa značne mení. Z *primárneho kozmického žiarenia* sa stáva takto *žiarenie sekundárne*, ktoré sa skladá zo svojej *mäkkej a tvrdej zložky*. C. D. Anderson r. 1932 pomocou Wilsonovej hmlovej komory objavil v tomto sekundárnom žiarení nové, dovtedy nepozorované častice, líšiace sa od elektrónov len v znamienku svojho elektrického náboja. Boli nazvané *pozitrónmi*. Ich značka je e_1^0 . Tento objav dosť úzko súvisí s objavom tzv. *umelej rádioaktivity* prvkov.

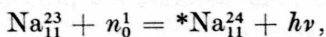
Pri svojich pokusoch s umelou premenou prvkov I. Curieová a F. Joliot-Curie zistili r. 1934, že hliník bombardovaný α -časticami vydáva žiarenie, aj keď zdroj α -žiarenia bol už odstránený. Intenzita tohoto zvyškového žiarenia sa s časom znižuje exponenciálne ako pri prvkoch s tzv. *prírodnou rádioaktivitou*. Bola preto vyslovená domnienka, neskoršie dokonale overená, že pri umelých premenách prvkov môžu vznikať aj nestále a preto rádioaktívne izotopy, ktoré pre svoj obyčajne pomerne krátky polčas sa v prírode nenachádzajú. Bolo dokázané, že pri bombardovaní hliníka α -časticami sa tvorí rádioaktívny izotop fosforu ${}^*P_{15}^{30}$ podľa rovnice



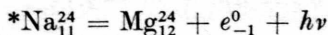
ktorý sa s polčasom 3,25 minút rozpadá na stabilný izotop kremíka, podľa rovnice



za vzniku pozitrónov objavených v kozmickom žiarení r. 1932 Andersonom. (Poznámka: Umele vyrobené rádioaktívne izotopy budeme rozlišovať od stálych izotopov pripisovaním hviezdičky k značke izotopu.) Rovnica (1) vyjadruje reakciu, ktorou umele rádioaktívny izotop bol po prvý raz vyrobený. Neskoršie sa zistilo, že umele rádioaktívne izotopy vznikajú z niektorých stabilných izotopov prvkov aj pôsobením neutrónového žiarenia. Napríklad z obyčajného sodíka vzniká pôsobením neutrónového žiarenia jeho rádioaktívny izotop podľa rovnice

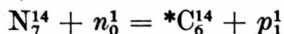


ktorý sa podľa rovnice



mení na stabilný izotop horčíka Mg_{12}^{24} .

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

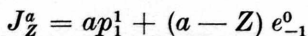


Pozitróny objavené v kozmickom žiarení a niekedy pozorované aj pri umelej rádioaktivite líšia sa od elektrónov nielen znamienkom svojho elektrického náboja, ale aj tým, že sa vyskytujú vzácné. Pri stretnutí sa pozitronu s elektrónom vzniká γ -žiarenie, ktorého energia je určená rovnicou $E_\gamma = 2m_0c^2 + K_+ + K_-$, 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