

18. ročník, úloha V. 3 ... beta rozpad (3 body; průměr 2,70; řešilo 23 studentů)

Při měření rozpadu neutronu na elektron a proton proměřovali čeští vědci energii vylétávajícího elektronu. Jak mohou pouze na základě údajů z tohoto měření poznat, zda nevzniká při tomto rozpadu ještě jiná částice? Uvažujte, že neutron je před rozpadem v klidu.

Úlohu vymyslel Pavel Augustinský.

Pro pořádek nejprve zjistíme, zda se může dvoučásticový rozpad vůbec realizovat a vypočítáme energii elektronu. Uvažujme, že při rozpadu vzniká pouze proton a elektron. Celkovou energii částice můžeme vyjádřit relativistickým vztahem

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2,$$

kde c je rychlost světla, m_0 klidová hmotnost částice a p její hybnost. Protože byl neutron původně v klidu, budou hybnosti elektronu a protonu opačné.

Platí také zákon zachování energie

$$E_{n0} = E_p + E_e,$$

kde E_{n0} je klidová energie neutronu a E_p a E_e jsou energie protonu a elektronu. Po odečtení E_e od obou stran rovnice a jejím následným umocněním dostáváme

$$E_{n0}^2 + E_e^2 - 2E_e E_{n0} = E_p^2.$$

Nyní dosadíme za celkovou energii protonu a za klidovou energii neutronu a vyjádříme celkovou energii elektronu. Využijeme toho, že hybnosti elektronu a protonu jsou stejné, členy $p^2 c^2$ můžeme tedy odečíst.

$$\begin{aligned} m_n^2 c^4 + m_e^2 c^4 + p^2 c^2 - 2m_n c^2 E_e &= m_p^2 c^4 + p^2 c^2, \\ E_e &= \frac{m_n^2 - m_p^2 + m_e^2}{2m_n} c^2. \end{aligned}$$

Vědci by naměřili energii, která je rozdílem celkové a klidové energie elektronu

$$E = \frac{m_n^2 - m_p^2 + m_e^2}{2m_n} c^2 - m_e c^2 = \frac{(m_n - m_e)^2 - m_p^2}{2m_n} c^2.$$

Zde je důležité si všimnout, že neplatilo-li by $m_n > m_e + m_p$, nebyl by takovýto rozpad vůbec kinematicky možný! Rozpad je tedy realizovatelný a pro energii elektronu číselně vychází $E = 1,25 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 181 \text{ keV}$.

Vyřešme tuto úlohu pro zajímavost tak, jak ji vyřešila historie. Až když v roce 1932 James Chadwick prokázal existenci neutronu, mohl být hlouběji pochopen beta-rozpad, tj. spontánní emise elektronu jádrem atomu. Jednoduché vysvětlení bylo: původcem beta-radioaktivity je rozpad neutronu na proton a elektron (tato varianta je možná, jak jsme ukázali výše). Podrobnější zkoumání beta-rozpadu však odhalilo zdánlivý paradox. Spektrum energií produkovaného elektronu se totiž naměřilo *spojité*, což je v rozporu představou, že se jedná o dvoučásticový rozpad. V tom případě by měl elektron vždy jednu energii přesně určenou zákonem zachování energie a hybnosti.

Na záchranu zákona zachování energie postuloval Wolfgang Pauli existenci další částice, která při beta-rozpadu vzniká. Tato částice ve mnohem lehčí než elektron a elektricky neutrální, Enrico Fermi ji proto pojmenoval *neutrino*. Tato myšlenka se úspěšně ujala, i když samotné neutrino bylo detekováno až v polovině padesátých let.

Jirka Lipovský

jirka@fykos.mff.cuni.cz