

Úloha 3: Energie a rozpad baryonů Δ .

Termín odevzdání: 11. dubna 2025

Baryony jsou částice skládající se z kvarků. Každý baryon je vlastním stavem *izospinu*, což je vektorový operátor $\hat{\mathbf{I}}$, jehož složky splňují komutační relace $[\hat{I}_i, \hat{I}_j] = i\varepsilon_{ijk}\hat{I}_k$ a $[\hat{I}_i, \hat{I}^2] = 0$, a kvadrát izospinu je $\hat{I}^2 = I(I+1)$. Kvantová čísla pro vybrané stavy soustav kvarků jsou uvedena v tabulce:

	n^0	p^+	π^-	π^0	π^+	Δ^-	Δ^0	Δ^+	Δ^{++}
I	1/2	1/2	1	1	1	3/2	3/2	3/2	3/2
I_z	-1/2	+1/2	-1	0	+1	-3/2	-1/2	+1/2	+3/2

Silná jaderná interakce je v případě lehkých kvarků v dobrém přiblížení invariantní vůči rotacím v izospinovém prostoru.¹ Její hamiltonián je tedy *skalární operátor* ve smyslu izospinu a působí na všechny izospinové stavy stejně.

1. Rozmyslete si, že pokud celkový hamiltonián $\hat{H}$ kvarkového systému je *skalární operátor* ve smyslu izospinu, mají všechny čtyři varianty částice Δ^α stejnou energii $E = E_\alpha = \langle \Delta^\alpha | \hat{H} | \Delta^\alpha \rangle$. (1 bod)
2. Modelujte nyní velmi obecně efekt nějaké ze zanedbaných interakcí přidáním jednoduchého *tenzorového operátoru* 3. řádu v izospinu ve tvaru $\hat{W} = \hat{T}_{-3}^{(3)} + \hat{T}_{+3}^{(3)}$ k hamiltoniánu. Uvažujte redukovaný maticový element $(\Delta | \hat{T}^{(3)} | \Delta) = i\gamma$, kde $\gamma \in \mathbb{R}$. Předpokládejte, že $|\gamma|$ je dost malé, takže je možné použít první řád poruchové teorie. Najděte vlastní stavy a energie této poruchy. (5 bodů)
3. V prvním řádu časové poruchové teorie je pravděpodobnost rozpadu částice úměrná výrazu $|\langle i | \hat{V} | f \rangle|^2$, kde i je počáteční stav částice, $\hat{V}$ je “interakční část” Hamiltoniánu odpovídající za rozpad, a f je koncový stav (příp. součin izospinových stavů koncových částic). Najděte relativní pravděpodobnosti níže uvedených možných rozpadů Δ^+ a Δ^0 za předpokladu, že $\hat{V}$ je *skalární operátor*. (4 body)
 - a) $\Delta^+ \rightarrow \pi^+ + n^0$ vs. $\Delta^+ \rightarrow \pi^0 + p^+$
 - b) $\Delta^0 \rightarrow \pi^0 + n^0$ vs. $\Delta^0 \rightarrow \pi^- + p^+$

¹Viz například: NA61/SHINE Collaboration, “Evidence of isospin-symmetry violation in high-energy collisions of atomic nuclei”, Nature Communications 16 (2025) 2849.