

Oscilace neutrin

D. Houška ¹, A. Krpenský ², M. Robotková ³, J. Štorek ²

¹ Česko-anglické gymnázium České Budějovice

² Gymnázium Chodovická Praha

³ Gymnázium Velké Meziříčí

Supervisor: Bc. Michal Křelina, teoretický fyzik

Abstrakt

Svou prací jsme zjistili, že na scintilačním detektoru s Gaudoliniem s rozměry krychle o straně o 20 m jsme ve vzdálenosti 47,49 km schopni detekovat $5,3 \times 10^{-5}$ ν_e/s elektronových neutrin z JE Temelín a ve vzdálenosti 84,23 km $6,4 \times 10^{-6}$ ν_e/s elektronových neutrin z JE Dukovany za ideálních podmínek. Pro účelnost experimentu by bylo vhodné zvětšit objem detektoru.

Úvod

V svém projektu jsme se zaměřili na teoretický výpočet počtu detekovaných elektronových neutrin z jaderných elektráren Temelín a Dukovany v ideálním případě. Fiktivní detektor jsme umístili do bývalého uranového dolu Okrouhlá Radouň.

Neutrino

Neutrino je elementární částice s nenulovou hmotností patřící do skupiny leptonů. Poprvé bylo předpovězeno W. Paulim v roce 1931. V dnešní době známe tři typy neutrin (elektronové, mionové, tauonové) a jejich antičástice. Na rozdíl od ostatních leptonů nemá neutrino elektrický náboj, tudíž na něj nepůsobí elektromagnetická síla. Interaguje pouze slabou interakcí a gravitační silou (ta je vzhledem k jeho hmotnosti zanedbatelná). Má poloviční spin, stejně jako ostatní leptony.

Slabá interakce

Slabá interakce je jednou ze čtyř základních známých sil, která působí mezi všemi částicemi. Aplikuje se především při radioaktivním β rozpadu: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ a při jiných rozpadech exotických částic. Poměr interakcí je znázorněn v tabulce č. 1.

Tabulka 1

Interakce	Poměr
Silná	1
Elektromagnetická	1/137
Slabá	10^{-5}
Gravitační	10^{-41}

Oscilace neutrin

Oscilace neutrin je přeměna jednoho typu neutrina na jiný typ. První teorii o oscilaci neutrin navrhl B. Pontecorvo poté, co experimenty dokázaly nižší počet elektronových neutrin detekovaných ze Slunce, než se předpokládalo. Dnes se již dá pravděpodobnost oscilace spočítat pomocí tzv. Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS) matice v kvantové mechanice. Oscilace může probíhat pouze za předpokladu, že částice je hmotná. Jelikož je tento jev u neutrin prokázáný, vyvozujeme z toho, že neutrino má nenulovou hmotnost.

Matice PMNS se skládá z šesti parametrů, které se musí experimentálně změřit. Pro naše účely jsou relevantní parametry θ_{12} , θ_{13} a Δm_{12} , Δm_{13} , jejich aktuální hodnoty na základě experimentu jsou v tabulce č. 2:

Tabulka 2

Veličina	Hodnota
θ_{12}	34,054°
θ_{13}	9,2174°
Δm_{12}	$7,59 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$
Δm_{13}	$2,32 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$

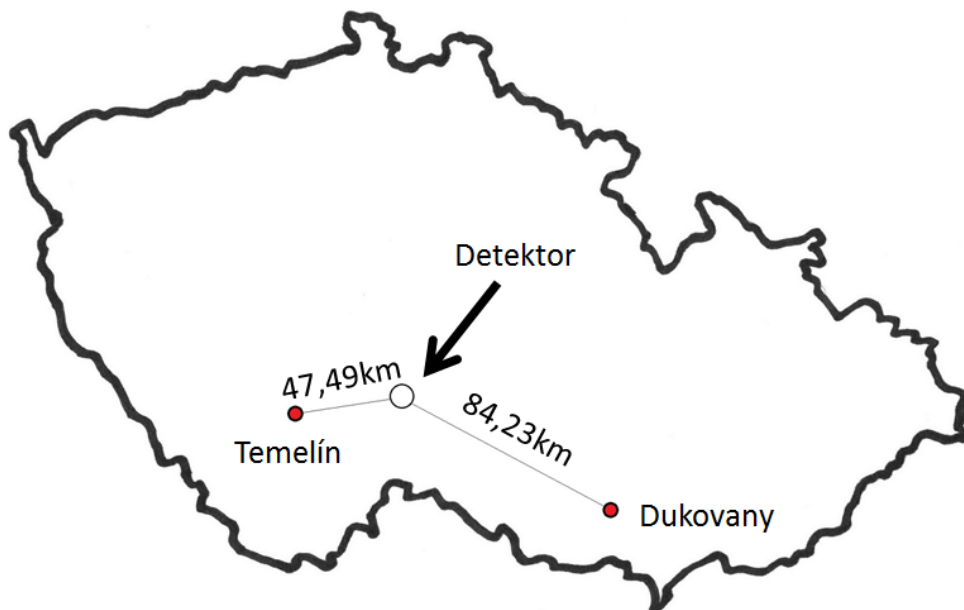
Zdroje neutrin

V současné době je známo 5 zdrojů neutrin detekovatelných na Zemi:

1. Slunce a jiné hvězdy – neutrina jsou jedním z výsledných produktů termonukleární fúze
2. Supernovy – neutrina vznikají i při výbuchu supernovy
3. Atmosféra – vznik neutrin při interakci kosmického záření s atmosférou
4. Planeta Země – přirozený radioaktivní rozpad hornin v nitru Země
5. Umělé zdroje – v urychlovačích částic, vedlejší produkty při reakcích v jaderných elektrárnách

Cíl výpočtu

V rámci našeho projektu jsme navrhli jednoduchý scintilační detektor pro detekci elektronových neutrin z jaderných reaktorů v Temelíně a Dukovanech. Součástí projektu bylo spočítat předpokládané teoretické množství detekovaných elektronových neutrin v ideálním případě. Pro umístění našeho detektoru jsme vybrali lokaci bývalého uranového dolu Okrouhlá Radouň. (obrázek č. 1) Detektor s předpokládaným rozměrem 20 x 20 x 20 m se skládá z tekutého scintilátoru s Gadoliniem. Tento detektor je ve vzdálenosti 47,49 km od JE Temelín a 84,23 km od JE Dukovany.

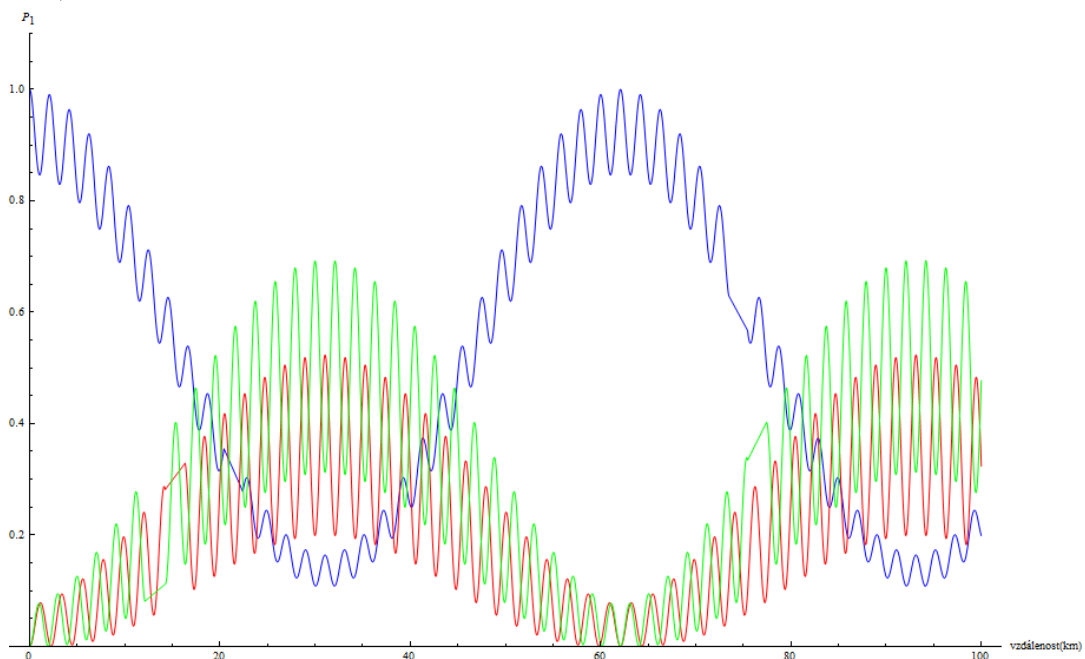


Obrázek 1

Výsledky výpočtů

Výpočet pravděpodobnosti oscilace jsme spočítali pomocí programu Mathematica, jehož výsledek je znázorněn na obrázku č. 2. Pro tento výpočet byla použita energie neutrina 2 MeV se vzdáleností do 100 km. Ve vzdálenosti 47,49 km od JE Temelín podle výpočtů očekáváme pravděpodobnost nalezení elektronového neutrina s pravděpodobností 0,623. Pro JE Dukovany, která je ve vzdálenosti 84,23 km, platí pravděpodobnost nalezení elektronového neutrina 0,264. Součet pravděpodobností všech tří typů neutrin je roven 1, to znamená, že zbylá pravděpodobnost je rozdělena mezi mionové a tauonové neutrina.

(obr. č. 2)



Obrázek 2

Pro výpočet množství detekovaných neutrin jsme vycházeli s přibližné produkce elektronových neutrin v reaktoru 5×10^{20} v_e/s pro tepelný výkon 3 GW. Dále jsme spočítali množství neutrin letících směrem na náš detektor, což je ze strany Temelína 14×10^{12} v_e/s a ze strany Dukovan 4×10^{12} v_e/s . Dále jsme spočítali počet neutrin, která doletí až k našemu detektoru dle vzorce:

$$\Delta N = N(1 - e^{-nL\sigma}),$$

kde N je počet částic, které vyletěly směrem k našemu detektoru, n je počet terčíkových jader na jednotku délky zeminy, L je vzdálenost mezi reaktorem a detektorem a σ je účinný průřez (pravděpodobnost interakce neutrina s terčíkovým jádrem), který jsme vzali přibližně $\sigma \approx 10^{-47}$ m^2 . V rámci tohoto výpočtu jsme došli k závěru, že počet ztracených neutrin na cestě k detektoru je zanedbatelný.

Pro výpočet reakcí v detektoru, který odpovídá počtu detekovaných částic, jsme použili vzorec:

$$\Delta N_{detekovaných} = Nn_0l\sigma,$$

kde $N = \Delta N$ z předchozího vzorce, n_0 je počet terčíkových jader na jednotku délky detektoru, l je tloušťka detektoru.

Celkové výsledky pro počet detekovaných neutrin jsou shrnuty v tabulce č. 3.

Tabulka 3

Čas	Temelín	Dukovany
1 sekunda	$5,3 \times 10^{-5}$	$6,4 \times 10^{-6}$
1 den	4,56	0,55
1 měsíc	136,9	16,58
1 rok	1643,2	202
3 roky	4929,7	606,1

Náš ideální případ zahrnuje, že detektor je složený jenom z Gadolinia, že JE pojedou na plný výkon celý rok a jiná podobná přiblížení.

Závěr

V rámci tohoto projektu jsme se seznámili se základy elementární fyziky, neutrinem a jeho oscilacemi. Spočítali jsme teoretický počet detekovaných neutrin, která k fiktivnímu místu měření letěla z JE Temelín a Dukovany. Na základě našich výpočtů jsme spočítali, že lze detekovat řádově dva tisíce v_e v ideálním případě za rok, v reálném případě by tento počet byl menší. V případě realizace takového experimentu navrhneme postavit detektor s větším objemem, aby se dosáhlo větší statistiky pro přesnější určení parametrů oscilací.

Reference

Bibliographic details for "Neutrino"

Page name: Neutrino ; Author: Wikipedia contributors; Publisher: *Wikipedia, The Free Encyclopedia.*; Date of last revision: 10 June 2012 01:45 UTC; Date retrieved: 19 June 2012 13:14 UTC; Permanent link: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Neutrino&oldid=496834228>; Primary contributors: [Revision history statistics](#); Page Version ID: 496834228