

Svět podivných jader

V. Dvořáková¹, N. Hlom², T. Koc³, L. Tománková⁴

¹Gymnázium Velké Meziříčí, ²Gymnázium a OA Pelhřimov,

³Gymnázium Plzeň, Mikulášské nám. 23, ⁴Gymnázium Boskovice

¹vercadvorakova28@seznam.cz, ²hlom.vik@gmail.com,

³tomas.koc10@gmail.com, ⁴lindatomankova@email.cz

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou podivných jader. V úvodu rozebírá standardní model částic a vysvětluje pojmy jako jsou hyperjádru, hyperon a podivnost. Zaměřuje se na výpočet účinného průřezu u srážky fotonu s protonem za vzniku kaonu a hyperonu Λ pomocí Feynmanových diagramů. K výpočtu diferenciálních účinných průřezů byly použity modely BS1 a KM. Účinné průřezy byly následně srovnány s experimentálními daty.

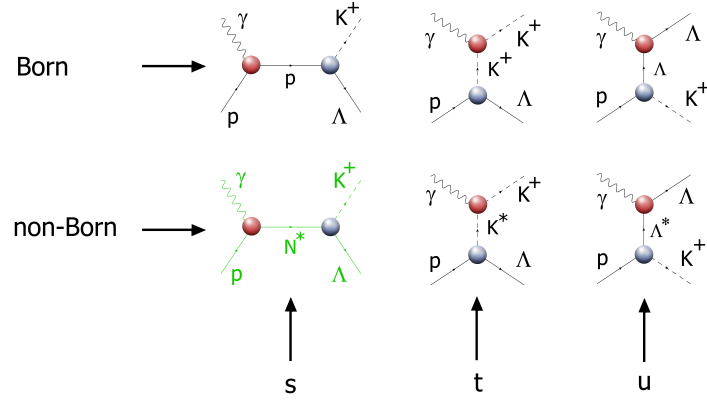
1 Úvod

Podle standardního modelu částic se elementární částice rozdělují do dvou základních skupin: fermiony, neboli částice hmoty, a bosony, které jsou přenašeči interakcí mezi fermiony. Fermiony se také dále rozdělují na kvarky a leptony. Jako příklad leptonů si můžeme uvést elektron, který je nejběžnější částicí této skupiny, nese záporný elektrický náboj a nachází se v obalu atomu. Vlastnosti kvarků se vyjadřují kvantovými čísly s různými názvy. Jedná se například o barvu, vůni nebo podivnost. Každý kvark má také svoji antičástici. Kvarky se většinou pojí silnou jadernou interakcí a tvoří hadrony. Spojením kvarku a antikvarku vznikají mezony. Nejlehčím a nejjednodušším z nich je pion. Pokud dojde ke spojení tří kvarků nebo tří antikvarků, vznikají baryony, mezi které můžeme řadit protony a neutrony. Protony a neutrony můžeme společně nazvat nukleony, jelikož se nacházejí v jádru atomu. Nukleony jsou tvořeny lehkými kvarky u (up) a d (down).

Co jsou ale podivná jádra? Jedná se o jádra, která obsahují kromě nukleonů i hyperon, potom se mluví o takzvaném hyperjádře. Hyperony se stejně jako nukleony řadí mezi baryony. Jediným rozdílem je, že se mezi jeho kvarky vyskytuje alespoň jeden s nenulovým kvantovým číslem značící podivnost. Jeden kvark u, nebo d je tedy zaměněn za kvark s (strange).

Podivné částice vznikají při reakcích silné interakce, které mají krátkou dobu trvání, jejich rozpad je ale pomalejší než by se očekávalo a je tedy způsoben slabou interakcí, která má dobu trvání až o deset řádů delší. Tato záhada pak byla vyřešena přidáním kvantového čísla podivnosti.

K objevu prvního hyperonu došlo roku 1947, kdy bylo pozorováno kosmické záření pomocí mlžné komory, jednalo se o mezon K^+ , neboli nabitý kaon. Nejprve nesl označení částice V, které bylo odvozeno od stopy, kterou částice zanechala v mlžné komoře. První hyperjádru bylo objeveno nedlouho poté roku 1952, opět pozorováním kosmického záření.



Obrázek 1: Feynmanovy diagramy pro zkoumanou interakci: v prvním řádku bornovské diagramy s výměnou protonu, kaonu a Λ hyperonu; v druhém řádku nebornovské diagramy s nukleonovou, kaonovou a hyperonovou rezonancí

2 Metodika

Naše práce spočívala v simulaci srážek fotonu a protonu za vzniku kaonu a Λ hyperonu. Počítali jsme závislost účinného průřezu (pravděpodobnosti vzájemné interakce) na jejich energii a úhlu, pod kterým se uvolní kaon vzhledem k dráze protonu. Účinný průřez se měří v jednotkách barn ($1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$).

Dále jsme sledovali nukleonové rezonance vyvolané fotoprodukcí podivnosti na protonu. Právě díky těmto rezonancím mají grafy účinných průřezů svůj charakteristický tvar, především peak v menších energetických hodnotách. Samotnou nukleonovou rezonancí se označují excitované stavy nukleonů, které se svým projevem podobají rezonanci mechanické (odtud také název).

K výpočtu jsme použili Feynmanovy diagramy (viz obrázek 1), pro něž jsme určili danou amplitudu složenou z dílčích amplitud ke každému z diagramů.

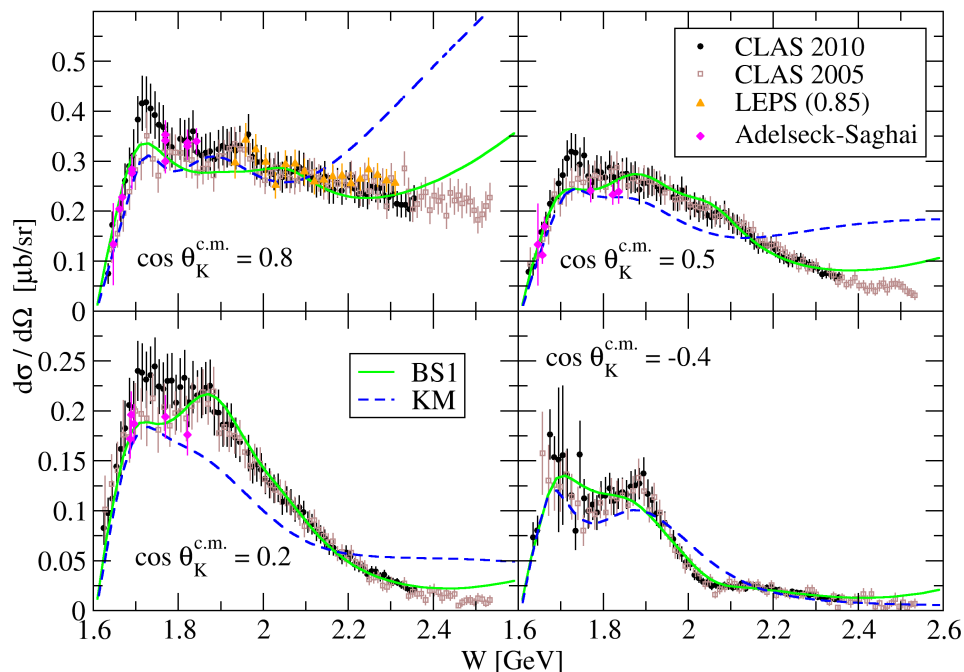
3 Výsledky a diskuze

Na obrázku 2 jsou znázorněny účinné průřezy v závislosti na energii jednotlivých kaonových úhlů. Energie na ose x je v GeV (gigaelektronvolt). Použili jsme modely BS1 [3] a KM [2] pro výpočet diferenciálních účinných průřezů a srovnali je s experimentálními daty ze třech různých experimentů. Model BS1 zahrnuje 16 rezonancí. Model KM pouze 6 rezonancí - 2 kaonové a 4 nukleonové. Modely se s experimentálními daty shodují od prahové hodnoty (1.6 GeV) do hodnoty 2.2 GeV. Pro vyšší hodnoty energií divergují.

Na obrázku 3 je znázorněn černou plnou čarou účinný průřez výpočítaný pomocí úplného modelu. Vystihuje data od 1.6 GeV do 2.2 GeV. Přerušované čáry zobrazují účinné průřezy při vynechání některých nukleonových rezonancí. Při vynechání rezonance $S_{11}(1535)$ dojde k nárůstu účinného průřezu nad prahem reakce a při vyšších hodnotách energie. Naopak při vynechání rezonance $S_{11}(1650)$ účinný průřez nad prahovou hodnotou energie poklesne. Vynecháním rezonance $F_{15}(1685)$ graf diverguje o 0.2 GeV dříve¹.

Pro výpočet účinného průřezu je nutné brát v úvahu všechny Feynmanovy diagramy

¹Při značení rezonancí v této práci následujeme obecný tvar L_{2I2J} , kde L je orbitální moment hybnosti, I je isospin a J je spin částice.



Obrázek 2: Graf diferenciálního účinného průřezu v závislosti na energii pro několik kaonových úhlů. K výpočtu byly použity modely BS1 [3] (plná křivka) a KM [2] (přerušovaná křivka). Experimentální data pocházejí z Ref. [5].

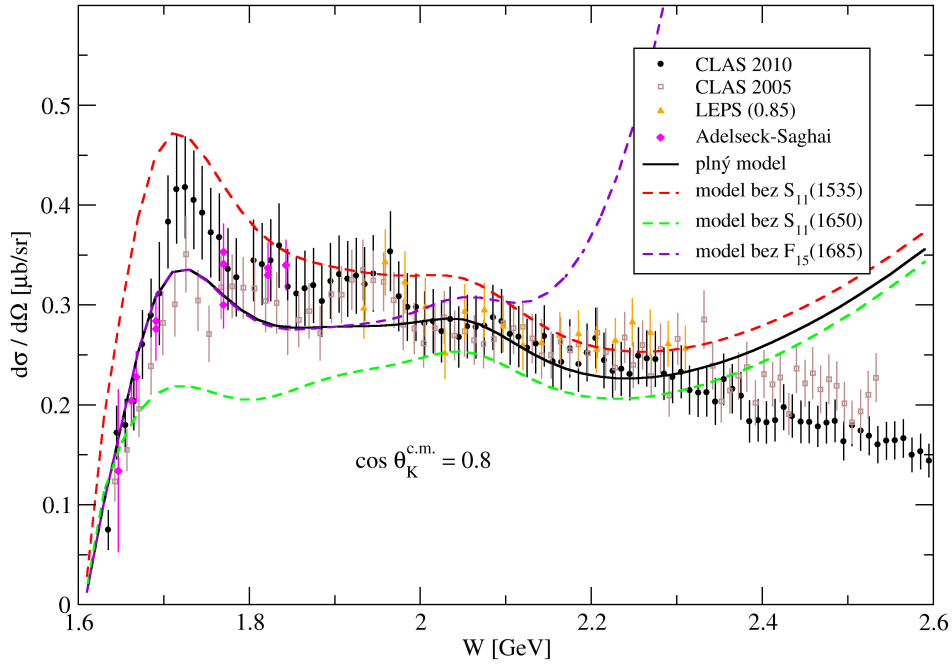
pro daný proces. Zanedbáním určitých diagramů dojde k výsledkům, které se neshodují s experimentálními daty.

4 Shrnutí

Zjistili jsme, že elementární částice se dělí na fermiony a bosony, přičemž fermiony patří mezi částice hmoty a bosony jsou přenašeči interakce mezi fermiony. Dozvěděli jsme se o hyperjádrech a hyperonech, přičemž hyperjádrem je atomové jádro, které má kromě nukleonů alespoň jeden hyperon a hyperon je nukleon, který nahrazuje kvark u nebo d za kvark s . Používali jsme také isobar model pro výpočty diferenciálních účinných průřezů, přičemž jsme zkoumali role nukleonových rezonancí. Zabývali jsme se i numerickým výpočtem účinného průřezu rozptylu elektronů na mionech.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Daliboru Skoupilovi, Ph.D. za vedení tohoto miniprojektu, Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., RNDr. Karlu Kolářovi, Ph.D., Barboře Svobodové za organizaci TV@FJFI a ÚJF AV ČR Řež za poskytnutí pracoviště pro náš miniprojekt.



Obrázek 3: Graf závislosti diferenciálního účinného průřezu na energii pro $\cos \theta_K^{c.m.} = 0.8$, k výpočtu jsme použili model BS1 [3], který je zobrazen plnou křivkou. Výpočty bez daných nukleonových rezonancí jsou zobrazeny přerušovanými křivkami.

Reference

- [1] D. Skoupil, *Svět podivných jader* (prezentace k TV@FJFI 2023).
- [2] T. Mart and C. Bennhold, *Phys. Rev. C* **61**, 012201(R) (1999).
- [3] D. Skoupil, P. Bydžovský, *Phys. Rev. C* **93**, 025204 (2016).
- [4] R. A. Adelseck and B. Saghai, *Phys. Rev. C* **42**, 108 (1990).
- [5] R. Bradford *et al.* (kolaborace CLAS), *Phys. Rev. C* **73**, 035202 (2006), M. E. McCracken *et al.* (kolaborace CLAS), *Phys. Rev. C* **81**, 025201 (2010), M. Sumihama *et al.* (kolaborace LEPS), *Phys. Rev. C* **73**, 035214 (2006).