

Svět podivných jader

L. Jan*, J. Kutáč**, D. Trnková***, J. Vlček****

*Gymnázium Velké Meziříčí,

**Gymnázium Jiřího z Poděbrad, Poděbrady,

***Gymnázium Nad Štolou, Praha 7,

****Masarykovo gymnázium Příbor

Abstrakt

Naším hlavním tématem miniprojektu jsou částice ze zvláště podivného světa, které formují náš vesmír. Nespočetné množství jejich variací dává možnost vzniku i těch nejméně pravděpodobných věcí.

Od objevu elektronů, přes detekci kosmického záření, až po objevy podivných částic se oblast lidského chápání rozvinula jako plachty Galeony na širém moři vědy. Kosmické záření nám bylo větrem a my se chopili šance něco nového objevit. Stejně tak jako španělští conquistadoři jsme použili své nejlepší výtvarné dovednosti doby.

Zkoumali jsme interakce mezi podivnými částicemi. Rozčlenili jsme je do různých tříd a druhů, které by je charakterizovaly. Objevili jsme hyperjádra, která obsahují nejen nukleony, ale i hyperony. Použili jsme fotoprodukcii pro zkoumání spektra baryonových rezonancí a určení jejich základních vlastností.

1 Úvod

Objevování jednotlivých částic přináší do obyčejného života nové poznání světa. Po objevu elektronů, jako první elementární částice, nastal průlom ve vědě. J. J. Thompson [1] přišel s novým modelem atomu inspirovaného pudinkem, v němž jsou elektrony a protony smíchány dohromady a vytváří tak celkový neutrální náboj jádra.

Během několika dalších let byly objevovány další částice, nejčastěji v kosmickém záření. Toto záření bylo po velmi dlouhou dobu jediným zdrojem částic, jež měly vyšší energie než částice získávané z radioaktivních rozpadů. Částice kosmického záření dosahují energií až 10^{20} eV, byť s malou četností.

Za hranicemi atmosféry Země pozorujeme primární kosmické záření, které je tvořeno protony, deuterony, alfa částicemi, elektron-pozitronovými páry a jádry lehkých prvků. Jeho absorpcí v zemské atmosféře vzniká sprška sekundárních částic, která se skládá z měkké (nízkoenergetické protony, piony, elektromagnetická sprška) a pronikavé složky (vysokoenergetické miony, jaderná aktivní složka). Projevuje se šířkový efekt, kdy při přibližování k zemským pólům stoupá intenzita záření. Dále se uplatňuje východo-západní anomálie, takže záření, které přichází ze západního směru je intenzivnější než záření z východního směru. K detekci kosmického záření slouží mlžné komory, fotografické emulze a bublinové komory.

Existují čtyři fundamentální interakce: gravitační interakce, elektromagnetické interakce a silné a slabé interakce, které působí v okolí atomového jádra. Silná interakce působí

na nukleony v jádře atomu a drží pohromadě kvarky v nukleonech, je zprostředkována pomocí gluonů.

Některé z detekovaných částic kosmického záření měly zvláštní vlastnosti a začaly se označovat jako podivné částice. Tato práce si klade za cíl objasnit čtenáři vlastnosti těchto netradičních látek. S pomocí Feynmanových diagramů zkoumá proces a pravděpodobnost jejich vzniku a vysvětluje výrazné odchylky při měření vznikající zanedbáním určitých příspěvků v reakcích.

2 Teorie

Základní stavební jednotky našeho světa jde rozdělit do dvou kategorií. Fermiony jsou nositeli hmoty, zatímco bosony zprostředkovávají jednotlivé síly. Gluony reprezentující silnou interakci drží dohromady kvarky a vznikají tak větší částice - hadrony.

Hadrony se dále dělí na baryony (tři kvarky) a mezony (dva kvarky). U každého kvarku lze definovat jeho vůni. Vůně jednotlivých kvarků v hadronu nám dá jeho specifické vlastnosti jako náboj či hmotu. Například proton se skládá z dvou kvarků s vůní nahoru (up) a jednoho z vůní dolů (down) $p = \{u, u, d\}$. Naopak v neutronu se nachází dva down kvarky a jeden up kvark $n = \{u, d, d\}$. Kombinací protonů a neutronů (souhrně označovaných jako nukleony) vzniká jádro. Kromě vůně lze u kvarků definovat i barvu, přičemž kombinace barev v hadronu se vždy vyruší.

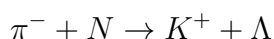
Hyperony nám vznikají výměnou jednoho z kvarků hadronu za kvark s podivnou vůní (strange) $\Lambda = \{u, d, s\}$. Nachází-li se v jádře alespoň jeden hyperon, dostáváme tzv. hyperjádرو. Kolik hyperonů se v jádře nachází, udává veličina podivnost značená písmenem S . Hyperjádرو Λ zapistujeme jako ${}^A_\Lambda Z$ kde Z je počet protonů a A celkový počet hadronů. Tím, že se hyperony a nukleony v podivnosti liší, nevztahuje se na hyperon v jádře Pauliho vylučovací princip a může tak nabývat zdánlivě stejného stavu jako jiný nukleon.

Na částicové bázi probíhá několik typů reakcí, ve kterých podivnost figuruje.

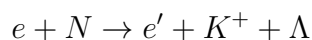
- Výměna podivnosti



- Vytvoření podivnosti



- Elektromagnetická produkce podivnosti

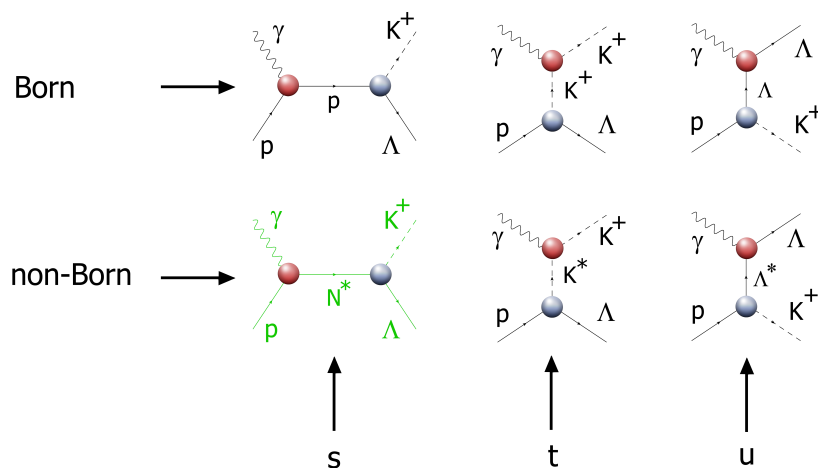


$$K^- = \{\bar{u}, s\}, K^+ = \{\bar{s}, u\}, N = \{d, d, u\}, \pi^- = \{\bar{u}, d\}, \Lambda = \{s, d, u\}$$

Pravděpodobnost, že k dané reakci dojde se nazývá účinný průřez a značí se písmenem σ .

3 Isobar model

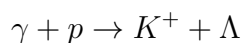
Při reakcích dochází ke vzniku virtuálních neboli výměnných částic. Tyto částice představují hadrony v základních či excitovaných stavech (rezonance). Průběh reakce můžeme reprezentovat pomocí Feynmanových diagramů, dokážeme tak znázornit všechny příspěvky jednotlivých virtuálních částic, přičemž každý příspěvek patří do jednoho ze tří topologicky



Obrázek 1: Feynmanovy diagramy přispívající k procesu.

odlišných kanálů s , t nebo u . Je-li hadron v základním stavu, daný diagram nazýváme bornovský, jeho protiklad v excitovaném stavu nese označení non-bornovský. Speciální postavení zastává příspěvek od excitovaného nukleonu – tuto část příspěvku označujeme jako rezonanční. Rezananční část jako jediná vytváří struktury v účinném průřezu a výrazně tak ovlivňuje pravděpodobnost proběhnutí reakce.

V našem experimentu jsme zkoumali speciální typ elektromagnetické produkce podivnosti kdy proton p přijímá foton γ , tzv. fotoprodukcí kaonu K^+ a Λ hyperonu.



Obrázek 1 zobrazuje všechny přispívající Feynmanovy diagramy. Horní řada zobrazuje diagramy s výměnou protonu, kaonu a Λ hyperonu, přispívající do pozadí. Dolní řada shrnuje diagramy s výměnou nukleonových, kaonových a hyperonových rezonancí.

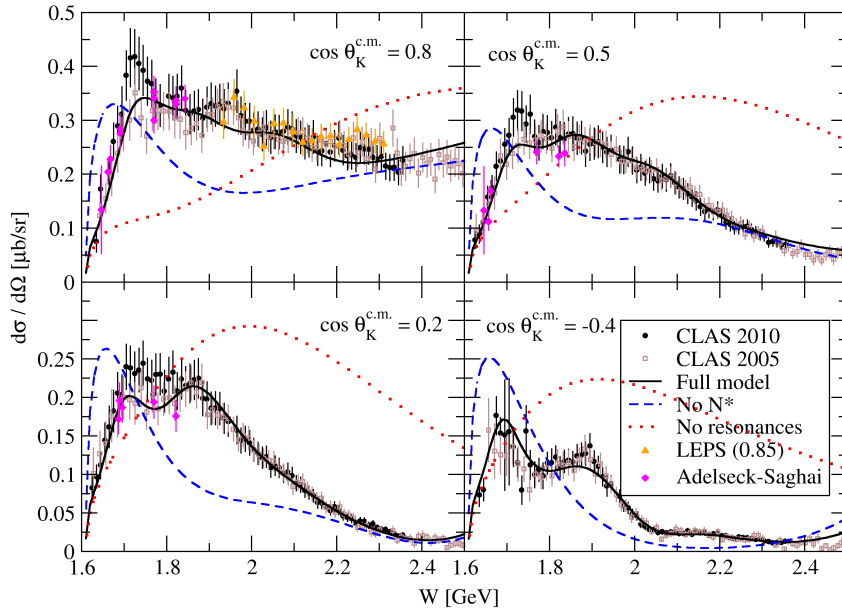
4 Diskuze výsledků

V rámci tohoto projektu jsme počítali účinný průřez fotoprodukce podivnosti, použili jsme Isobar model [2] a diskutujeme jednotlivé části. Výsledky těchto výpočtů jsou vyobrazeny na obr. 2. Výpočet s plným modelem vystihuje data, přičemž nukleonové rezonance vytváří výrazná maxima. Vynecháním nukleonových rezonancí dojde k poklesu účinného průřezu a zároveň účinný průřez ztratí rezonanční strukturu. Výpočtem bez všech rezonancí, tj. zahrnutím pouze pozadí, účinný průřez nabyde úplně jiného tvaru – nad prahem reakce dochází k poklesu, naopak na vyšších energiích pozorujeme nárůst.

Cílem této diskuze je dokázat, že pro výpočet účinného průřezu je nutné brát v úvahu všechny Feynmanovy diagramy pro daný proces. Zanedbáním určitých diagramů dochází k výsledkům, které se neslučují s experimenty.

5 Shrnutí

V našem miniprojektu jsme se zabývali fyzikou atomového jádra, hyperjádery a výpočty produkce hyperjader. Jaderná fyzika poznává struktury a charakteristiky všech energetických stavů jádra, pravděpodobnosti přechodů jádra do jiného stavu, rozpadů radioak-



Obrázek 2: Grafické znázornění účinného průřezu v závislosti na energii pro několik kaonových úhlů. Zobrazujeme výpočet s plným modelem (plná čára), s modelem bez nukleonových rezonancí (čárkovaná čára) a s modelem bez všech rezonancí (tečkovaná čára).

tivních jader, charakteristiku emitovaných částic, poznání účinných průřezů a charakter interakce jádra s ostatními jádry a dalšími elementárními částicemi. Hyperon Λ se odlišuje od ostatních baryonů v jádře svou nenulovou podivností, a není tak blokován Pauliho principem – může se tedy vyskytnout ve všech stavech, které jsou již zaplněné nukleony. Poznávali jsme záchyt hyperonu v jádře, věnovali jsme se jeho produkci a počítali jsme pravděpodobnost jeho vzniku. Zvláště jsme se zabývali teoretickým výpočtem příspěvku jednoho Feynmanova diagramu a numerickým výpočtem účinného průřezu.

Poděkování

Zejména bychom chtěli poděkovat ÚJF AV ČR v Řeži a Ing. Daliboru Skupilovi, Ph.D. za veškerou pomoc a věnovaný čas. Dále bychom rádi poděkovali FJFI ČVUT v Praze a organizátorům Týdne vědy na Jaderce za příležitost se účastnit této akce.

Reference

- [1] J. J. Thomson, Phil. Mag. **7**, 237(1904).
- [2] D. Skupil, P. Bydžovský, Phys. Rev. C **97**, 025202 (2018)