

# Svět podivných jader

S. Hanáková<sup>1</sup>, A. Marešová<sup>2</sup>, F. Marek<sup>3</sup>, S. Řezníčková<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Nad Kavalírkou,

<sup>2</sup>Gymnázium Arabská,

<sup>3</sup>Gymnázium Nad Štolou,

<sup>4</sup>Gymnázium Tachov

## Abstrakt

Tento miniprojekt se zabývá podivnými jádry a částicemi. V úvodu se zaměřuje na představení problematiky a její následné využití a osvětluje pojmy hyperon, hyperjádru a podivnost. Rozebírá grafickou interpretaci procesu vzniku podivných částic – Feynmanovy diagramy. Počítá účinný průřez fotoprodukce mezonu  $K^+$  a hyperon  $\Lambda$ . V závěru srovnává reálné naměřené hodnoty s hodnotami vypočítanými pomocí modelů SL a KM.

## 1 Úvod

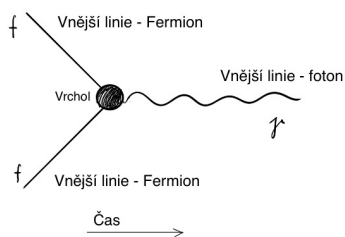
Pojmem podivná jádra, častěji hyperjádru, označujeme jádra, která kromě nukleonů (proton – 2 kvarky up a 1 down, neutron – 2 kvarky down a 1 up.) obsahují i tzv. hyperony. Hyperon je baryon (složen ze tří kvarků, popř. antikvarků) s nenulovou podivností, ergo se mezi jeho třemi kvarky nachází jeden kvark  $s$ .

Podivné částice vznikají při silných interakcích, ale jejich střední doba života je relativně dlouhá:  $10^{-10}$  s, což odpovídá interakcím slabým. Životnost silných interakcí se tedy liší o minimálně deset řádů. Na druhou stranu ale při rozpadu vznikají nukleony, jejichž reakční doba je opět mnohem kratší ( $10^{-24}$  s). Záhada byla vyřešena přidáním nového kvantového čísla podivnosti –  $S$  (ang. *strangeness*).

První podivná částice byla zaznamenána roku 1947 v Pyrenejích. Při pozorování kosmického záření pomocí mlžné komory byl zaznamenán i mezon  $K^+$  (mezon: částice s vlastnostmi bosonů – zprostředkovávají sílu, i hadronů - silně interagující subatomární částice), neboli nabitý kaon. Dříve označován jako částice  $V$  kvůli jeho stopě připomínající toto písmeno. O pět let později, v roce 1952, bylo objeveno i hyperjádru. Roku 1953 byly pozorovány další podivné částice – neutrální kaon  $K^0$  a hyperony  $\Lambda$  a  $\Sigma^+$ .

Hyperjádru a podivné částice nám poskytují spoustu nových informací nejen o vlastnostech nukleonů a o interakcích mezi hyperony a nukleony, ale i o jaderné struktuře, energetických hladinách jader a dalších jejich vlastnostech.

## 2 Metody studia rozptylových procesů



Obrázek 1: Feynmanův diagram reprezentující interakci dvou fermionů s fotonem.

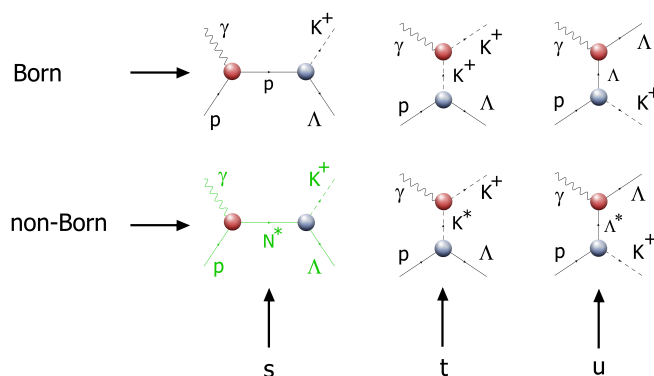
Fundamentálním aspektem studie rozptylů částic jsou Feynmanovy diagramy, schématicky znázorňující daný proces (viz obr. 1). Vyobrazují vnější a vnitřní linie (částice), vrcholy (interakce) a zobrazují průběh procesu v čase. Dle těchto diagramů pak lze zkonstruovat invariantní amplitudu  $M$ .

Invariantní amplituda, také maticový element, je veličina významově ekvivalentní Feynmanovým diagramům. Amplituda klesá s každým dalším vrcholem interakce. Při její konstrukci se postupuje proti orientaci časové osy, a popisují se jednotlivé přítomné elementy procesu.

Jelikož je amplituda komplexní číslo, abychom s ní dále mohli pracovat, například při porovnávání teoretických a experimentálních dat, je nutné vytvořit kvadrát její absolutní hodnoty, čímž je konvertována na číslo reálné. Tento kvadrát je úměrný účinnému průřezu. Účinný průřez  $\sigma$  je praktické vyjádření pravděpodobnosti interakce částice a objektu (druhé částice). Čím menší je  $\sigma$ , tím menší je pravděpodobnost.

## 3 Fotoprodukce hadronů

K popisu procesu fotoprodukce mezonu  $K^+$  a hyperonu  $\Lambda$  využíváme výše zmiňované Feynmanovy diagramy. Při popisu procesu vzniku těchto částic jsme ale schopni změřit pouze počáteční a koncové stavy, nikoli samotnou interakci částic, kterou je třeba také zahrnout ve výpočtu. Toto řešíme rozdělením Feynmanova diagramu na několik kanálů. Tyto kanály se liší tím, jaké částice se vyměňují, přičemž částice na začátku a na konci zůstávají u všech diagramů stejné. Tyto diagramy poté dále rozlišujeme na Bornovské a non-Bornovské, podle toho, jestli probíhá výměna částic v základním či excitovaném stavu, viz obr. 2.



Obrázek 2: Bornovské a non-Bornovské diagramy procesu fotoprodukce  $K^+\Lambda$ .

Ve výpočtech nezohledňujeme veškeré možné průběhy interakce (tj. rezonance), ale pouze ty, které postačí pro popsání interakce tak, aby se výsledky výpočtu shodovaly s experimentem, jelikož zahrnování veškerých rezonancí do výpočtu by bylo příliš náročné.

Pro námi zvolené kanály vypočítáme invariantní amplitudy, jejichž sumací pak dostaneme celkovou invariantní amplitudu,

$$M = \sum_i M_i.$$

Dále spočítáme kvadrát této amplitudy

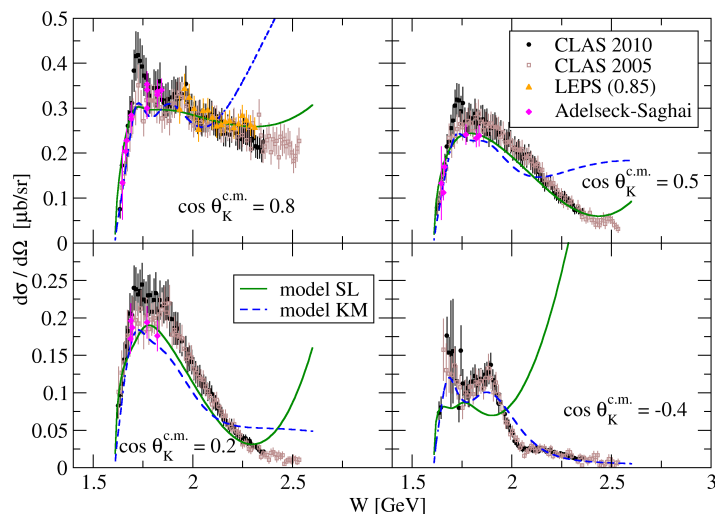
$$|M|^2 = |M_1|^2 + |M_2|^2 + \dots + |M_n|^2 + M_1 M_2^* + M_1^* M_2 + \dots,$$

neboť víme, že účinné průřezy jsou úměrné tomuto kvadrátu, tj.  $d\sigma/d\Omega \sim |M|^2$ .

Při výpočtu účinného průřezu hadronů zanedbáváme jejich vnitřní strukturu a počítáme, že foton neinteraguje s kvarky tvořícími hadron, pracujeme tedy na úrovni hadronů a kvarky zanedbáváme. Také počítáme pouze s vnějšími efekty fotonu na hadron, od toho tzv. efektivní Lagrangián, který je odvozen od Lagrangeovy funkce popisující dynamiku systému.

## 4 Výsledky

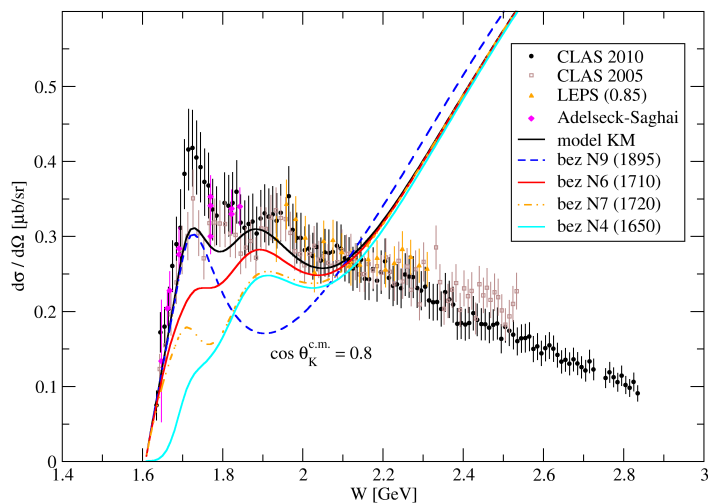
Výsledkem práce je srovnání reálných naměřených hodnot s hodnotami vypočítanými pomocí modelů SL [1] a KM [2]. Na obrázku 3. vidíme grafy jednotlivých modelů v závislosti na celkové energii v těžišťové soustavě a úhlu odchýlení  $K^+$  od původního svazku fotonů. Na ose y můžeme odečítat hodnoty diferenciálních účinných průřezů. Je možno vidět, že každý z modelů odpovídá naměřeným hodnotám nejvíce v jistých intervalech. Model SL odpovídá reálným hodnotám v malých úhlech, zatímco model KM se shoduje s naměřenými hodnotami ve velkých úhlech.



Obrázek 3: Srovnání předpovědí modelů SL a KM s naměřenými diferenciálními účinnými průřezy.

Dalšími výpočty jsme zkoumali dopad zanedbání jednotlivých rezonancí v modelu KM (viz obrázek 4). Je možno vidět že pokud zanedbáme kupříkladu rezonanci N9 o hmotnosti 1895 MeV, pak v energii 1,9 GeV chybí peak, který zde dle experimentálních hodnot má

být. Obdobně reagují hodnoty diferenciálního účinného průřezu na odstranění ostatních rezonancí.



Obrázek 4: Srovnání předpovědi modelu Kaon-MAID s experimentálními hodnotami.

## 5 Závěr

V rámci tohoto miniprojektu jsme se naučili základní práci s Feynmanovými diagramy a vyzkoušeli jsme si analytické výpočty jednoduchých rozptylových procesů. Dále jsme numericky vypočetli diferenciální účinný průřez pro ostřelování protonu fotonem za vzniku  $K^+$  a  $\Lambda$  s pomocí modelu SL a KM.

## Poděkování

Děkujeme Vojtěchu Svobodovi za pořádání Týdne vědy na Jaderce, díky kterému jsme se mohli seznámit s tímto tématem. Dále bychom chtěli poděkovat Daliboru Skoupilovi za odborný dozor, trpělivost a šetrné vysvětlování.

## Reference

- [1] J. C. David, C. Fayard, G.-H. Lamot, and B. Saghai, Phys. Rev. C **53**, 2613 (1996).
- [2] T. Mart and C. Bennhold, Phys. Rev. C **61**, 012201(R) (1999).