

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího     posudek oponenta  
 bakalářské práce     diplomové práce

Autor: Bc. Martin Povišer  
Název práce: Rozpady  $\eta$  na tři piony  
Studijní program a obor: Fyzika, Obecná fyzika (FOF)  
Rok odevzdání: 2023

Jméno a tituly vedoucího: Mgr. Martin Zdráhal, Ph.D.  
Pracoviště: Ústav částicové a jaderné fyziky, MFF UK  
Kontaktní e-mail: zdrahal@ipnp.mff.cuni.cz

## Odborná úroveň práce:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné     vzhledem k rozsahu přiměřený počet     méně podstatné četné     závažné

## Výsledky:

- originální     původní i převzaté     netriviální kompilace     citované z literatury     opsané

## Rozsah práce:

- veliký     standardní     dostatečný     nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné     vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet     četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího:

Posuzovaná práce se týká konstrukce disperzní parametrizace amplitudy rozpadu  $\eta$  mezonu na tři piony. Analýza tohoto procesu umožňuje studovat vlastnosti silných interakcí na nízkých energiích — zejména dává informaci o pion-pionových rozptylech. Avšak nejdůležitější výstupem z analýz tohoto procesu je zpřesnění informací o hmotách nejjednodušších kvarků, tj. u a d kvarků. Proto je tento proces široce studován jak na teoretické, tak na experimentální úrovni.

Standardním teoretickým aparátem pro studium těchto procesů je chirální poruchová teorie (ChPT) — nízkoenergetická efektivní teorie vycházející z kvantové chromodynamiky. Jako efektivní teorie však má tu nevýhodu, že s každým zpřesňujícím řádem výpočtu (tzv. chirálním řádem) prudce narůstá počet volných nízkoenergetických vazbových konstant (LEC) potřebných k popisu výsledku. Pokud chceme amplitudy získat s přesností, již dosahují experimentální měření, je potřeba jít do minimálně dvou smyček, kde počet takovýchto volných parametrů dosahuje několika desítek, a navíc se ve výsledku objevují jako různé lineární kombinace, což zvyšuje numerickou nejistotu výsledku při nepřesnosti určení hodnot LEC. Výsledek má také složitou analytickou strukturu.

Vhodnou alternativou k získání amplitudy jsou metody založené na disperzních relacích a unitaritě, které na základě výsledků pro amplitudy v nižším řádu dokáží přesně určit neanalytickou část výsledků ve vyšším řádu, a zbytek je popsán pomocí polynomu s malým počtem volných parametrů, tzv. subtrakčních konstant. To umožňuje zaprvé lepší organizaci a pochopení komplikované struktury dvousmyčkových výsledků, zejména v nalezení vhodných kombinací LEC vystupujících opakovaně ve výsledcích, a zjednodušení provedení fitu těchto kombinací. Zadruhé to umožňuje získání výsledků s lepší přesností než dvousmyčková ChPT, a také opuštění některých z předpokladů ChPT, což vede k jejich větší modelové nezávislosti.

Tyto metody byly pro studovaný případ popsány v člancích, jichž je vedoucí diplomové práce spoluautorem. Cílem této diplomové práce bylo zejména připravit počítačový kód, který umožní jejich praktické použití jak ve fitech experimentálních dat, tak při analýze teoretických výsledků.

Student se pustil cestou naprogramování kódu v knihovně symbolických manipulací Pythonu (SymPy), který na základě zadání vstupní parametrizace amplitudy v nejnižším řádu poloautomaticky disperzně spočítá parametrizaci výsledné dvousmyčkové amplitudy ve formě analytického výsledku využívající pevně dané kinematické funkce. Uživatel musí jen správně zadat fyzikálně možné intermediální stavy daného procesu a jeho crossingů; a také tvar polynomiální části.

To umožňuje organizaci výsledků různých teoretických přístupů a po doplnění numerického tvaru výše uvedených pevně daných funkcí je již vše připraveno k experimentálnímu fitu. Výhodou tohoto přístupu je nejen to, že je možné parametrizaci vstupních amplitud měnit podle požadavků uživatele, ale také umožňuje rozšíření tohoto kódu pro další amplitudy, intermediální stavy a započítání plného narušení izospinu souvisejícího s různými hmotami pionů.

Student při tvorbě kódu odvedl hodně práce. Kód je odladěn a plně funkční. V současné době probíhá řešení navazující diplomové práce jiného studenta, který kód použije k vlastnímu provedení fitu experimentálních dat a zpracování výsledků.

Před započítáním práce se student musel seznámit jak se základy ChPT, tak disperzních metod. Přitom si sám aktivně procházel odvození a důkazy používaných výrazů a tvrzení, a některé z nich uvedl i v textu diplomové práce. Samozřejmě musel také ovládnout knihovnu symbolických manipulací s výrazy SymPy, kterou v kódu intenzivně využívá.

Vlastní diplomová práce je bohužel poněkud nevyvážená. Po pěkně napsaném ukotvení práce (Úvod) následuje velmi zdařilý úvod do základů ChPT (kapitola 1) a disperzních metod (kapitola 3). Autor se rozhodl nejít s hlavním proudem, a tak se nejedná jen o další parafrázi běžného úvodu do těchto metod. Místo toho se zaměřuje na pro něj zajímavé části a snaží se prezentovat své pochopení tématu. Tento velmi slibný začátek navnadí čtenáře na sekci 3.4 a kapitolu 4, které se přímo týkají vlastní práce studenta. Tam se však autor vydal cestou velké stručnosti. Obávám se, že čtenář neznalý

originálních článku o disperzních metodách téměř ani nepochopí, jakým způsobem studentův kód pracuje, a jakým způsobem by jej měl použít. Jak jsem psal, při tvorbě kódu student odvedl hodně práce, a tak mne mrzí, že kapitola 4, která by měla čtenáře seznámit s jeho použitím, nejde více do hloubky, a čtenář k pochopení uvedeného příkladu musí konzultovat jak originální článek, tak studentův zdrojový kód. (V tomto ohledu mi připadá zdařilejší příklad, který student uvádí v appendixu B, i když bych i u něj komentáře rozšířil.) I pěkně zpracovaný vývojový diagram použití na obrázku 4.1 by si podle mne zasloužil podrobnější slovní popis v textu pro čtenáře, který se v originální literatuře tolik neorientuje. U práce tohoto typu bych očekával, že po jejím přečtení bude i ne úplně znalý čtenář blíže vědět to, v jaké formě má očekávat výsledek, jak má s kódem naložit, ale i to jakým způsobem kód přesněji pracuje.

Dostatečná prezentace studentem odvedené práce je všeobecně slabinou předkládaného textu. Student s pomocí kódu ověřil možnost fitu i explicitní výsledky parametrizace uvedené v literatuře. První je v diplomové práci uvedeno jen ve formě téměř nekomentovaného obrázku na straně 34. Druhé se čtenář dozví jen pokud podrobně prozkoumá kód přiložený k práci.

Posledními mými připomínkami k textu diplomové práce je, že bych číseloval všechny výrazy, aby na ně bylo možné odkazovat i v externích diskuzích, a rozšířil bych literaturu i na práce, které autor sice přímo nevyužíval, ale týkají se uváděných témat a tvrzení. Překvapilo mne, že v literatuře není uveden odkaz na článek Descotes-Genon and Knecht, 2012, jejichž výsledky student ověřoval (v kódu je má správně citované), a zaujal mne odkaz [17], u nějž není jasné, kam má vést. To jsou ovšem pouze drobné připomínky, které by šlo jednoduše odladit.

I přes výše uvedené nedostatky v každém případě doporučuji práci uznat jako práci diplomovou. Poněkud váhám s doporučením stupně hodnocení. Uvážím-li však nejen vlastní text práce, ale i jeho přílohu ve formě kódu a studentem odvedenou práci na něm, myslím, že si ještě zaslouží hodnocení stupněm výborně.

### **Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:**

#### **Práci:**

- doporučuji
- nedoporučuji

uznat jako diplomovou.

#### **Navrhuji hodnocení stupněm:**

- výborně
- velmi dobře
- dobře
- neprospěl

Místo, datum a podpis vedoucího:

Praha, 27. ledna 2023