

Vyjádření školitele k doktorandskému studiu Mgr. Jana Kašpara

Mgr. Jan Kašpar se už od doby, kdy byl mým diplomantem, věnoval problematice pružného rozptylu nabitých hadronů při vysokých energiích. Je pororuhodné, že pro tento, zdánlivě nejjednodušší kolizní proces, který je realizován pomocí coulombických a hadronových interakcí, doposud neexistuje žádná teorie, která by byla schopna popsat jeho dynamické charakteristiky. Proto se k jeho popisu konstruují fenomenologické modely, které při asymptotických energiích splňují požadavky asymptotických teorémů, odvozených z tzv. prvních principů, o nichž se předpokládá, že platí v kvantové teorii. A právě tématem jeho diplomové práce bylo, aby pomocí metody eikonálového modelu, vypracované pracovníky Fyzikálního ústavu AV ČR popsal vliv coulombického rozptylu na hadronový rozptyl protonů při vysokých energiích v rámci Islamova modelu.

Po krátkém pracovním pobytu v FZÚ byl Mgr. Jan Kašpar přijat do kolaborace experimentu TOTEM na srážeci LHC v CERNu, jehož cílem je studium pružného a difrakčního rozptylu protonů při vysokých energiích. Prvním úkolem doktoranda bylo získání předpovědí do té doby publikovaných fenomenologických modelů elastického rozptylu protonů na protonech na LHC. Jeho výhodou bylo to, že se touto tematikou zabýval už dříve. Navíc však si musel osvojit poměrně širokou teoretickou oblast standardního reggismu, eikonálového popisu kolizních procesů při vysokých energiích a fenomenologických modelů konstruovaných na základě kvantové elektrodynamiky a kvantové chromodynamiky. To vyžadovalo vypracování celé řady minimalizačních programů v jazyku C++.

Dalším požadavkem kladeným na doktoranda byla aktivní účast v pracích v oblasti softwaru experimentu TOTEM. Úkolem Mgr. Kašpara bylo vypracování „alignment“ pro systém detektorů, tzv. „římských hrnců“, detekujících částice rozptýlené pod velmi malými úhly, které po interakci zůstávají uvnitř trubice srážecí LHC. Jednalo se o určení pozic senzorů uvnitř římských hrnců vůči sobě navzájem a také vůči ose svazku. Tato problematika byla pro experiment TOTEM přímo klíčová. Vypracování „alignment“ vyžadovalo nejprve tuto oblast teoreticky zpracovat a pak vypracovat celou řadu analyzujících minimalizačních a simulačních programů (opět v jazyku C++). Jeho pracovní výsledky byly použity při analýze pružného pp rozptylu při energii 7 TeV v intervalu přenosu impulsu $(-2.5, -0.36) \text{ GeV}^2$, a pak také při určení hodnoty totálního účinného průřezu pp rozptylu při této energii.

Samotná dizertace se v principu skládá ze dvou částí: z teoretické (tu tvoří kapitola 1 a část kapitoly 5) a pak experimentální (tu tvoří kapitoly 2 - 4 a zbytek kapitoly 5). Obě části pokrývají poměrně širokou oblast problémů, jejichž řešení vyžadovalo velké úsilí a poměrně hodně času. To také způsobilo, že dizertantu trvalo doktorandské studium zhruba šest let. V teoretické části jsem doktoranda vedl já jakožto jeho školitel, zatímco druhá experimentální část byla vypracována pod vedením dr. Mario Deile z CERNu a Mgr. Jan Kašpar ji vypracoval v rámci tzv. technické aspirantury v PH Div. v CERNu, kterou získal jakožto první Čech v historii.

Teoretická část vychází z původního zadání, zatímco druhá část vychází z jeho pracovního programu na experimentu TOTEM; a lze říci, že obsahuje řadu výsledků, jichž bylo při tom dosaženo. Pokud se týká první části, je patrné, že jí byla věnována menší pozornost; obsahuje několik nepřesností (podrobněji viz Dodatek) a ne zcela správných tvrzení.

Druhá experimentální část je psána daleko detailněji. Doktorand se při jejím vypracování zřejmě také více řídil pokyny vedoucích z CERNu. Po stručném popisu experimentální aparatury experimentu TOTEM přechází autor v kapitolách 2 a 3 k popisu metodiky experimentu (optik vhodných pro elastický rozptyl, rekonstrukce elastických případů). Čtvrtá kapitola popisující alignment tvoří těžiště dizertace. Princip a metodika alignmentu jsou formulovány pomocí maticového formalismu. Pak ale, při jejich aplikacích na konkrétní problémy alignmentu, se stává tato kapitola pro čtenáře dost obtížnou. Zachází se zde dost podrobně do všech detailů a ztrácí se tak přehled. Tyto dílčí problémy spíše patří do dodatku a neměly by být uváděny v základním textu dizertace. Poslední pátá kapitola pak zhodnocuje získaná data, tj. diferenciální účinný průřez pružného rozptylu protonů na protonech při energii 7 TeV. Výsledky, dosažené v dizertaci, jsou pak shrnuty v závěru. Také zde by některé formulace měly být formulovány přesněji (podrobněji viz Dodatek).

Doktorand byl několikrát pověřen prezentací výsledků experimentu TOTEM na řadě mezinárodních konferencí a workshopů a na poradách pracovní skupiny experimentu TOTEM. Aktivně se zapojil také do softwarové skupiny kolaborace. Jeho dizertace je rozhodně cenným přínosem v oblasti elastického rozptylu protonů na protonech při vysokých energiích (zejména kapitoly 3 - 5).

Dodatek – připomínky k textu dizertace (citace rovnic a prací podle dizertace)

1. Eikonálový model

a) Eikonálový model byl navržen Glauberem [15] tak, že hadronová amplituda byla definována pomocí eikonálové aproximace platné při nekonečných energiích, kdy eikonál byl definován integrálním výrazem, jehož integrand obsahoval příslušný potenciál. Když Adachi a Kotani [43]-[47] zkonstruovali reprezentaci amplitudy rozptylu v prostoru srážkového parametru platnou pro každou konečnou energii a pro každý kvadrát přenosu čtyřimpulsu t , vznikla otázka, jak určit v tomto formalizmu také odpovídající eikonál. Tito autoři ukázali, že eikonál lze definovat pomocí tzv. „modified short wavelength approximation“ tj. součtem integrálního výrazu obsahujícím příslušný potenciál a korekční funkce, která při nekonečných energiích vymizí a integrální výraz přechází v Glauberův tvar. Ovšem podmínky, za kterých to tito autoři odvodili, byly mnohem slabší, než podmínky, za kterých to odvodil Glauber. Doi a Kotani (Progr. Theor. Phys. 49 (1973) 242, 51 (1974) 1865) ukázali, že relativistickou amplitudu rozptylu lze zavést podobným způsobem, jak to bylo provedeno v případě nerelativistického potenciálového rozptylu. Obecně vzato, toto je dynamický modelový předpoklad a těžko se dá přímo rigorózně odvodit tak, aby platil při libovolné konečné energii bez jakýkoliv omezení.

Islam [v práci Nuov. Cim. XLVIII A (1967) 251 a v High energy physics and fundamental particles, Gordon & Brench, Science Publishers, p. 97] však ukázal, že pro amplitudu pružného rozptylu v Bornově aproximaci platí Glauberův vztah rigorózně a že v tomto případě je daný výraz relativisticky invariantní. Při jeho aplikaci na současný popis dvou dynamických mechanismů (např. interference mezi coulombickým a hadronovým rozptylem) se jejich společné působení popisuje pomocí eikonálu, který je dán součtem příslušných eikonálů, t.j., coulombického a hadronového. A tento vztah platí pro Bornovu amplitudu při všech energiích a při všech kvadrátech přenosu čtyřimpulsu t .

b) K popisu společného účinku coulomb. a hadronové interakce se standardně používá zjednodušená Betheho rovnice (1.59), kde relativní fáze mezi coulomb. a hadronovou amplitudou je dána výrazem (1.68) a to pouze v oblasti malých $|t|$. Pro větší $|t|$ se vliv coulomb. rozptylu zanedbává. Výraz (1.68) je aproximativní výraz pro West-Yennieho formuli (1.67), která na první pohled umožňuje určit hodnotu relativní fáze pro zcela obecnou závislost fáze hadronové amplitudy na t . Avšak bylo ukázáno [65], že tato relativní fáze je komplexní, pokud hadronová fáze na t závisí. V tomto případě pak postup West-Yennieho nelze aplikovat, neboť West-Yennieho fáze musí být reálnou veličinou. V práci [59] byla v rámci eikonálového modelu navržena metoda, která umožňuje určit místo relativní fáze přímo výslednou totální amplitudu a tak se tomuto problému vyhnout. Tato formule je omezena pouze jednou podmínkou, že platí s přesností do členů lineárních v konstantě jemné struktury α . A tato formule umožňuje umožnit její použití v minimalizačních programech (umožňuje rychlý výpočet).

c) Dizertant však pro srovnání výpočtů týkajících se zmíněné interference všechny výpočty převádí do konceptu komplexní relativní fáze a tvrdí, že provedl výpočty do všech řádů v α . Tato metoda však je fyzikálně stěží použitelná. Jednak používá rovnici (1.73), kde fáze coulomb. amplitudy je aproximativní z hlediska veličiny α . A dále proto, že tato metoda je výpočtově velmi pomalá (neumožňující její aplikaci v minimalizačních programech). Navíc vyžaduje zobecnění pojmu fáze tak, aby byla komplexní. Snad jediný význam jeho metody spočívá v tom, že může dát určitou informaci o přesnosti výpočtu všech použitých formulí.

d) V kapitole 2 (§2.3.1) v rovnici (2.17) zavádí hadronovou amplitudu s fází $\alpha P(t)$ s polynomem $P(t)$. Pak popisuje metodu, kterou používá k extrapolaci této amplitudy do $t = 0$ (viz obr. 2.21 a 2.22). To vše je možno použít jako hrubou aproximaci pouze v případě standardní t závislosti fáze hadronové amplitudy (což platí pro případ použitých modelů), nikoliv však pro její obecnou t závislost, např. takovou, která vede k periferálnímu obrazu elast. hadronového rozptylu. Škoda, že to dizertant v této části dizertace nezminil. Nepřesně se o tom zmiňuje v §1.2 s odkazem na práci [16], kde tvrdí, že její autoři „suggested a solution to this puzzle - modifying the phase such that it rises sharply in the low- $|t|$ region ...“. Popsaná změna fáze a její důsledek (periferalita elast. hadronového rozptylu) - to vše už bylo navrženo v práci V. Kundrát, M. Lokajíček Jr., M. Lokajíček, Czech. J. Phys. B31 (1981) 351 - o 30 let dříve.

e) Vliv magnetického formfaktoru pomocí tzv. efektivního formfaktoru $G_{\text{eff}}^2(t)$ studoval už Block v práci Phys. Rev. D 54 (1996) 4337.