

Monte Carlo simulace vážených spinových asymetrií v Drellově–Yanově procesu

Téma projektu pro Studentský fakultní grant

Školitel: Mgr. Jan Matoušek, Ph.D.
Kontakt: jan.matousek@cern.ch
V168, 1. patro, Vývojové dílny Trója

Abstrakt

Úkolem je simulovat Drellovu–Yanovu produkci leptonových párů v interakci svazku π^- s příčně polarizovaným protonovým terčem metodou Monte Carlo, přidat do simulace Siversův efekt a prozkoumat, jak závisí vážená Siversova asymetrie na rozlišení v příčné hybnosti leptonového páru.

1 Úvod

Velká část našich informací o struktuře protonu pochází z experimentů hluboce nepružného rozptylu – deep inelastic scattering (DIS), zejména co se týče korelací mezi spinem protonu a jeho kvarků (tj. jejich polarizace) nebo mezi spinem protonu a příčnou hybností kvarků (což souvisí s jejich orbitálním momentem hybnosti). Chceme-li si ale být jistí, že studujeme opravdu strukturu protonu a ne jen nějaké vlastnosti DIS, musíme studovat i jiné fyzikální procesy a ověřit, že náš popis struktury je aplikovatelný i pro ně.

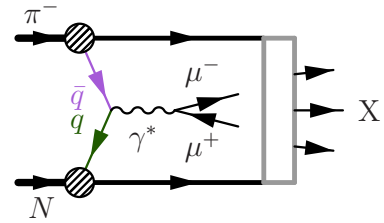
Dobrým nástrojem pro tento účel je Drellův–Yanův proces, tj. produkce páru leptonů $\ell^+\ell^-$ s velkou invariantní hmotou v interakci dvou hadronů. Tento proces totiž probíhá dominantně přes anihilaci kvarku z jednoho hadronu a antikvarku ze druhého, jak vidíme na obrázku 1. Tento proces jsme studovali na experimentu COMPASS v CERN se svazkem záporných pionů a s terčem obsahujícím příčně polarizovaná jádra vodíku – protony. Detekovali jsme páry $\mu^+\mu^-$, které v tomto případě vznikají dominantně interakcí kvarku \bar{u} v pionu s kvarkem u v protonu [1].

Měřením úhlového rozdělení $\mu^+\mu^-$ z Drellova–Yanova procesu jsme zkoumali korelaci příčné hybnosti kvarku u se spinem jeho příčně polarizovaného protonu (Siversův efekt), abychom ji mohli porovnat s výsledkem z DIS. Siversův efekt se projeví jako sinová modulace v úhlu ϕ_S , počet $\mu^+\mu^-$ v závislosti na ϕ_S má potom tvar $N(\phi_S) = N_0(1 + A_T^{\sin \phi_S} \sin \phi_S)$, kde velikost amplitudy $A_T^{\sin \phi_S}$ odpovídá velikosti Siversova efektu.

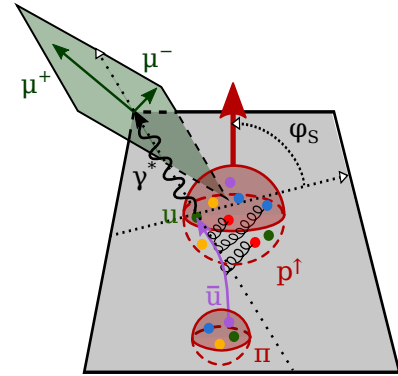
Jisté výhody skýtá měření rozdělení váženého velikostí příčné hybnosti mionového páru q_T vydělené hmotou protonu M_p [2]. Místo počtu mionových párů $N(\phi_S)$ tak plníme do histogramu sumu vah $W(\phi_S) = \sum_i \frac{q_{T,i}}{M_p}$, kde i běží přes všechny mionové páry v daném úhlovém binu, a očekáváme rozdělení ve tvaru

$$W(\phi_S) = W_0 \left(1 + A_T^{\sin \phi_S} \frac{q_T}{M_p} \sin \phi_S \right), \quad (1)$$

kde $A_T^{\sin \phi_S} \frac{q_T}{M_p}$ je tzv. vážená Siversova asymetrie. Hybnost q_T jsme schopni měřit s rozlišením asi 0.14 GeV/c (q_T se pohybuje zhruba 0 do 3 GeV/c). Otázka je, jak se konečné rozlišení v q_T promítne do výsledné vážené Siversovy asymetrie.



Obrázek 1: Feynmanův diagram Drellova–Yanova procesu.



Obrázek 2: Tentýž proces ve schématickém znázornění. Spin protonu a rovina produkce γ^* svírají úhel ϕ_S .

2 Výzkumný úkol

Úkolem je simulovat Drellův–Yanův proces včetně Siversova efektu metodou Monte Carlo a prozkoumat, jak závisí vážená Siversova asymetrie na rozlišení v q_T . Pro simulaci Siversova efektu je třeba znát jeho závislost na zlomku hybnosti protonu neseného kvarkem x a příčnou hybnost kvarku k_T^2 . K tomu lze využít výsledky různých extrakcí v DIS, např. práci [3].

3 Doporučení pro vypracování

Drellův–Yanův proces můžeme simulovat pomocí generátoru událostí Pythia [4]. Pro každou událost zjistíme úhel ϕ_S , q_T a náhodně posunutě q_T^{exp} , které simuluje rozlišení experimentu. Spočítáme váhu q_T^{exp}/M_p a zkoumáme rozdělení $W(\phi_S)$.

Siversův efekt ovšem zatím generátorů událostí, jako je Pythia, standardně implementován není. Je proto třeba u každé události zjistit x a k_T kvarku který se účastnil dané tvrdé srážky a podle velikosti k_T a úhlu mezi ní a polarizací terče $\phi_S - \phi_k$ přiřadit dané události pravděpodobnost, s jakou bychom takový kvark našli v protonu se Siversovým efektem. Vážeme-li události touto pravděpodobností, obdržíme rozdělení $W(\phi_S)$ ve tvaru (1) a fitem zjistíme váženou Siversovu asymetrii. Variováním rozlišení v q_T ověříme, jak se mění výsledek a zejména zda nedochází k systematickému posunu.

Pythia se používá jako knihovna, kterou voláme z hlavního programu, napsaného v jazyce C++ [5]. Pro statistické zpracování výsledků simulace je vhodné využít knihovny frameworku ROOT [6], který nabízí také další praktické funkce a lze ho používat v jazycích C++ a Python.

Základní přehled o fyzice částic lze získat např. v knihách prof. Žáčka [7] a prof. Hořejšího [8].

Reference

- [1] M. Aghasyan *et al.* (COMPASS), “First measurement of transverse-spin-dependent azimuthal asymmetries in the Drell-Yan process,” *Phys. Rev. Lett.* **119** no. 11, (2017) 112002, [arXiv:1704.00488 \[hep-ex\]](#).
- [2] J. Matoušek (COMPASS), “Weighted transverse spin asymmetries in 2015 COMPASS Drell–Yan data,” *PoS SPIN2018* (2018) 038, [arXiv:1812.08505 \[hep-ex\]](#).
- [3] A. Martin, F. Bradamante, and V. Barone, “Direct extraction of the Sivers distributions from spin asymmetries in pion and kaon leptonproduction,” *Phys. Rev. D* **95** no. 9, (2017) 094024, [arXiv:1701.08283 \[hep-ph\]](#).
- [4] “Pythia.” <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>.
- [5] “Pythia 8.2 worksheet.” <http://home.thep.lu.se/~torbjorn/pdfdoc/worksheet8200.pdf>.
- [6] “ROOT data analysis framework.” <https://root.cern.ch/>.
- [7] J. Žáček, *Úvod do fyziky elementárních částic*. Karolinum, 2005.
- [8] J. Hořejší, *Tajemný mikrosvět: Stručná historie standardního modelu*. MatfyzPress, 2019.