

# Z boson v simulovaných p+p srážkách

A. Blažek, D. Káčerek\*, H. Korcina\*\*, J. Sova\*\*\*

Gymnázium Velká okružná, Žilina

Gymnázium, Plzeň, Mikulašské nám. 23\*

První soukromé jazykové gymnázium, Hradec Králové\*\*

Gymnázium, Sušice\*\*\*

adamynos219@gmail.com

kacerekdan@gmail.com\*

korcina.hugo@psjg-hk.cz\*\*

sova.jan24@gmail.com\*\*\*

## Abstrakt

Práce se zabývá simulováním proton-protonových srážek, při kterých vzniká boson Z. Cílem bylo stanovit základní charakteristiky této částice a přesvědčit se, že nasimulované výsledky odpovídají experimentálně naměřeným datům z experimentu ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) na LHC (Large Hadron Colider).

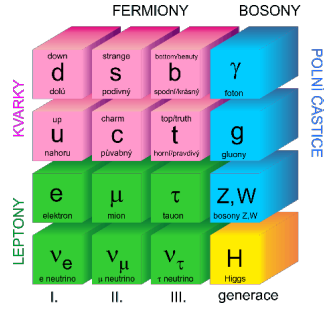
## 1 Úvod

Slabá interakce je výběrová interakce, která působí pouze na levotočivé částice hmoty. Dosah interakce je konečný, zhruba  $10^{-17}$  m, jelikož její polní částice mají nenulovou hmotnost. Typickým příkladem slabé interakce je beta rozpad neutronu na proton.

Kořeny Standardního Modelu elementárních částic sahají až do 60. let 20. století, ten ze současného hlediska obsahuje všechny elementární částice. Tyto částice lze rozdělit do dvou skupin. První obsahuje nosiče sil, tzv. polní částice. Jde o tmel, který udržuje hmotu ve vesmíru pohromadě a zprostředkovává její interakci. Druhá skupina obsahuje částice tvořící hmotu. Patří sem leptony (např. námi analyzovaný elektron) a kvarky, ze kterých se skládají proton a neutron. Mimo tyto skupiny ještě standardní model obsahuje Higgsův boson, částici, která určuje klidovou hmotnost některých ostatních částic. Standardní model řeší jen interakce popsané kvantovou teorií pole, nepopisuje tedy gravitaci, která doposud nebyla s kvantovou teorií spojena. Poslední objevenou částicí standardního modelu byl v roce 2012 Higgsův boson a o rok později byla za jeho objev udělena Nobelova cena.

## 2 Analýza dat

Large Hadron Collider (LHC) je urychlovač protonů. Byl vybudován ve středisku jaderného výzkumu CERN. Do provozu byl uveden v roce 2008 a jeho obvod je 27 kilometrů.



Obrázek 1: Tabulka elementárních částic dle dělení Standardního Modelu

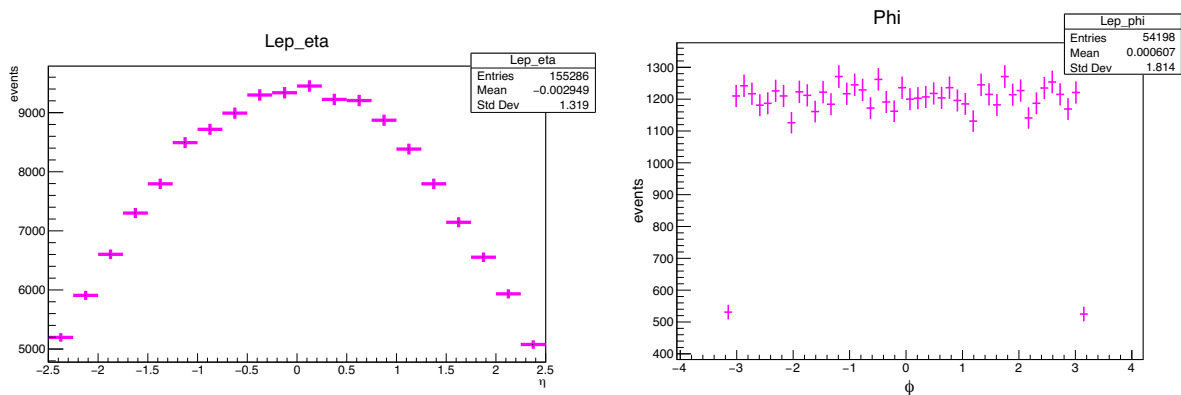
Současná těžišťová energie srážky je 13,6 TeV, ale v rámci našeho projektu jsme simulovali srážky s energií 7 TeV pomocí programu Herwig [2]. Motivací bylo využít starší data experimentu ATLAS pro porovnání s našimi výsledky. Ve výpočtu jsme využili maticový element, ve kterém se pár kvark antikvark anihiluje za vzniku bosonu Z, který se následně rozpadá. Ověřili jsme, že rozpadové poměry odpovídají tabelovaným hodnotám: hadronově 70 %, na neutrino 20 % a na nabitě leptony zbylých 10 %. Z boson je velmi obtížné hledat v hadronovém rozpadu, který vede na jety v koncovém stavu. Musíme se tedy spojit s výtěžkem 3,3%, který získáváme z analýzy elektron-pozitronového rozpadového kanálu.

## 2.1 Naměřené elektrony

Jednou z veličin, kterou sme pri bozónu Z merali bola rapidita. Rapidita je bezrozmerná veličina, ktorá určuje smer pohybu priestorom. Pre telesá, ktoré majú rýchlosť blízku rýchlosti svetla rastie jej veľkosť limitne k pseudorapidite, čo je uhol, pod ktorým častica letí.

$$\eta = -\ln \left[ \tan \frac{\theta}{2} \right] \quad (1)$$

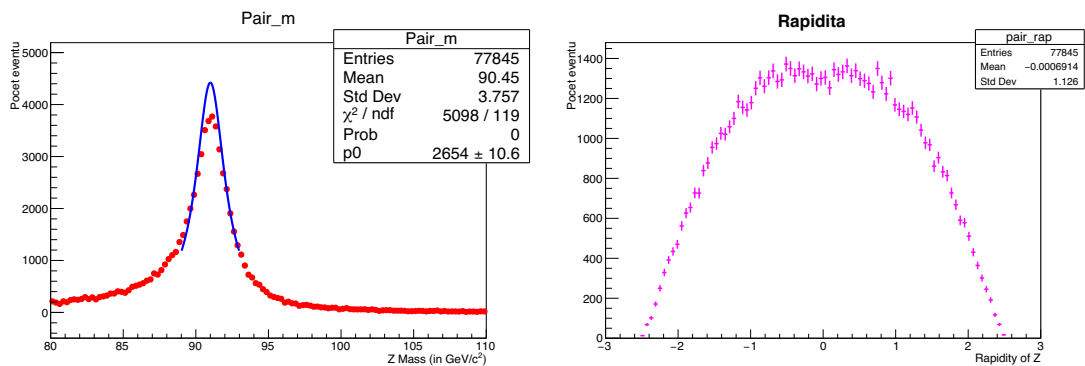
Uhol  $\phi$  je kolmý na os urýchľovača častíc, nadobúda hodnoty od  $-\pi$  rad do  $\pi$  rad. Analýza uhlu  $\phi$  je základnou analýzou objektov. Výsledná informácia udáva uhol častice, pod ktorým častica letí od miesta zrážky.



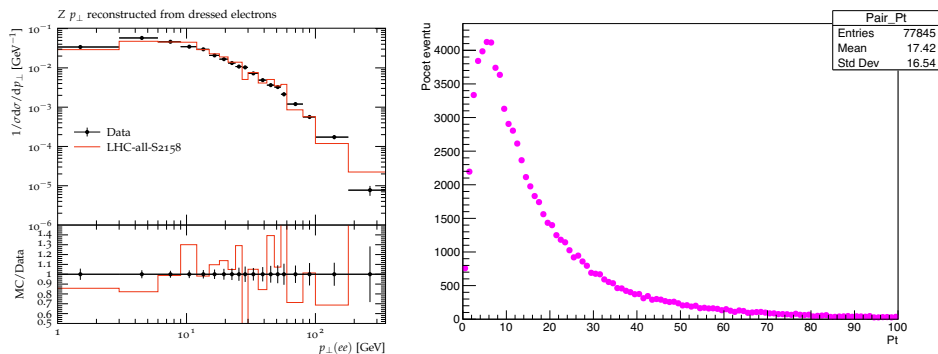
Obrázek 2: Rozdělení úhlových veličin pro naměřené elektrony a pozitrony.

## 2.2 Rekonstruovaný Z boson

Částice Z je elektricky neutrální s hmotností 91 GeV a se spinem 1. Je to tedy boson a nespĺňuje Pauliho vylučovací princip. Při nízkých teplotách se snaží zaujmout nejnižší energetický stav. Jeho existence byla předpovězena teoretiky Weinbergem, Glashowem a Salamem. Doba jeho existence je řádově  $10^{-25}$  s, což se nám také podařilo naměřit z proložení hmotnostního rozdělení Breit-Wignerovou funkcí. Střední doba života je dána jako inverzní hodnota šířky této funkce. Hmotnost a rapiditu Z bosonu jsme získali vektorovým součtem čtyřhybností naměřených elektronů a pozitronů. Příčný impuls je složka hybnosti částice. Zanedbává se jeden rozmer vektora hybnosti a z 3D obrazu sa stáva 2D obraz, ktorý ma o niečo menšiu vzdialenosť ako pôvodný model.



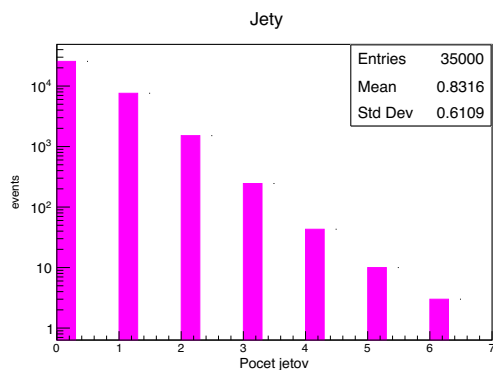
Obrázek 3: Hmotnost bosonu Z (vlevo), rapidita bosonu Z (vpravo)



Obrázek 4: Příčný impuls Z bosonu zrekonstruovaného z čtyřhybností elektronu a pozitronu. Levý obrázek obsahuje data z analýzy [3] a křivku našich dat. Pravý obrázek ukazuje tytéž výsledky získané naší analýzou.

## 2.3 Jety

V průběhu srážky vzniká velké množství částic, které kvůli svému barevnému náboji nemohou existovat samy o sobě, jsou to kvarky a gluony. Mají ale dostatečné množství energie na to, aby tyto vazby silné interakce „přetrhly“ a z uvolněné energie si vytvořily nové kvarky do páru. Tyto mezony se zase mohou rozpadat na kvarky nižších generací. Ve výsledku dostáváme spršku mnoha různých částic, kterým říkáme jet. Jet je shluk hadronů, který v detektoru splývá v jeden objekt. Rekonstrukce trajektorie jetu připomíná kužel.



### 3 Shrnutí

Data z našich výpočtů se přibližně shodují s daty naměřenými experimentem ATLAS [3]. Z proložení naměřených dat pro hmotnost Z bosonu jsme získali šířku 2,4 GeV, která odpovídá očekávané hodnotě. Rovněž jsme pozorovali, že Z boson není ve srážce produkován sám, ale doprovází ho množství dalších částic, jejichž toky klasifikujeme jako jety. Vidíme, že v našich datech jsou dvě události Z + 6 jetů.

### Poděkování

Chtěli bychom poděkovat především panu Ing. Miroslavu Myškovi, Ph.D., za odborné vedení práce, skvělé vysvětlení dané problematiky a milý přístup.

### Reference

- [1] H. J. Greenberg. *A Simplified Introduction to L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X*. <https://mirrors.nic.cz/tex-archive/info/simplified-latex/simplified-intro.pdf>. 2010.
- [2] M. Bahr et al., *Multi-purpose particle physics event generator*, Eur. Phys. J. C58 (2008) 639, <https://herwig.hepforge.org/>.
- [3] ATLAS Collaboration, *Measurement of the transverse momentum distribution of Z/γ\* bosons in proton–proton collisions at s=7 TeV with the ATLAS detector*, Phys. Lett. B 705 (2011) 415.