

Okno do fyziky elementárních částic

A. Bakočová, L. Krpálek, Š. Pošta

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

bakocovaanezka@seznam.cz, ladikkrpalek@gmail.com,
simaposta@seznam.cz

Abstrakt:

Těžiště tohoto miniprojektu spočívalo v popularizaci kvantové teorie, zvláště pak kvantové teorie pole se zaměřením na slabou interakci. Jmenovitě na interakci intermediálního Z^0 bosonu v leptonovém sektoru. Náš výzkum byl završen naměřením invariantní hmoty Z^0 bosonu s využitím Monte Carlo generátoru Herwig 7.

1 Úvod

Za elementární označujeme takové částice, které v současnosti považujeme za dále nedělitelné. Máme určitý model, z něhož vychází i naše další snažení v rámci tohoto projektu. Jedná se o takzvaný Standardní model částicové fyziky. Ten vysvětluje kvantové jevy na základě interakcí elementárních částic. Těmito částicemi jsou kvarky, leptony a intermediální bosony – zprostředkovávající silové interakce. Standardní model popisuje síly elektromagnetické, slabé a silné, nezahrnuje však síly gravitační.

Elektromagnetická síla je zprostředkována nehmotnými fotony γ , slabá síla bosony W^\pm a Z^0 a silná jaderná síla pomocí osmi gluonů g . Poslední ingrediencí Standardního modelu je Higgsův boson a i přestože nezprostředkovává žádnou z interakcí, pro teorii je nepostradatelný, neboť vysvětluje původ hmoty.

Existuje poměrně univerzální nástroj na získání pohybové rovnice, takzvaný Lagrangeův formalismus založený na Lagrangeově funkci, který obsahuje informaci o kinetické a potenciální energii námi studovaného systému. Kromě toho, že má Lagrangeův formalismus mnohá využití v klasické fyzice, dokonce jsou na něm založeny další pokročilé teorie jako je například kvantová teorie pole. Na rozdíl od kvantové mechaniky, která úspěšně popisuje především jednočásticový systém, je kvantová teorie pole schopna popisu interakce více částic. Klíčovou složkou bádání v oboru kvantové teorie pole je interakční Lagrangián L_{int} . My jsme se seznámili s interakčním Lagrangiánem slabé interakce.

Slabá interakce je zprostředkována intermediálními bosony W^\pm a Z^0 . Dochází v ní k interakci mezi jedním z těchto bosonů a dalšími částicemi. V rámci našeho projektu jsme se blíže seznámili s vektorovým bosonem Z^0 a jeho interakcí v leptonovém sektoru. Tato interakce je popsána následujícím Lagrangianem.

$$L = \frac{g}{2 \cos \theta_W} \bar{\Psi} \gamma^\mu (v - a\gamma_5) \Psi Z_\mu. \quad (1)$$

Rovnice (1) obsahuje interakci bosonu Z^0 se dvěma leptony, například dvojicí elektron pozitron $\bar{\Psi}$ a Ψ . Objevuje se zde také vazbová konstanta $\frac{g}{2 \cos \theta_W}$ vyjadřující míru významnosti slabé interakce. Dále se zde nachází vlnová funkce samotného bosonu Z_μ . Ve vzorci jsou dále obsaženy algebraická struktury $\gamma^\mu (v - a\gamma_5)$, které vyjadřuje narušení parity. Tento faktor vypovídá o narušení diskretní symetrie zrcadlení ve slabých interakcích.

2 Měření invariantní hmoty Z^0 bosonu

Zaměřili jsme se na interakce Z^0 bosonu. Neměli jsme reálná data, proto jsme použili Monte Carlo generátor, Herwig 7. Simulovali jsme 20000 událostí při těžišťové energii 13 TeV. Události jsme definovali jako srážku dvou protonů, při které vzniká Z^0 boson. Poté jsme je analyzovali. Zajímali jsme se o procesy, ve kterých jsme v koncovém stavu pozorovali právě dva leptony – například elektron-pozitronový pár nebo pár muon antimuon.

Z naměřených čtyř-hybností dvou vzniklých nabitých leptonů jsme zjistili čtyř-hybnost Z^0 bosonu a následně jsme spočetli invariantní hmotu Z^0 bosonu pomocí rovnice (2)

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m_z^2 c^4. \quad (2)$$

Kde \vec{p} značí tří-hybnost Z^0 bosonu a m_z invariantní hmotu Z^0 bosonu.

Histogram invariantních hmotností studovaného Z^0 bosonu jsme nejprve proložili Gaussovou funkcí (3)

$$f(x) = a e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

kde μ vyjadřuje střední hodnotu, tedy hodnotu, při které dosahuje Gaussova křivka svého maxima. Dále σ určuje směrodatnou odchylku a parametr a určuje výšku „peaku“. Gaussova funkce je hojně využívána v mnoha oborech matematiky a fyziky, ale pro analýzu těchto dat nebyla zcela ideální. Museli bychom kombinovat minimálně dvě Gaussovy křivky pro dosažení lepšího výsledku. Proto jsme se poté zaměřili na Breit-Wignerovo rozdělení (4)

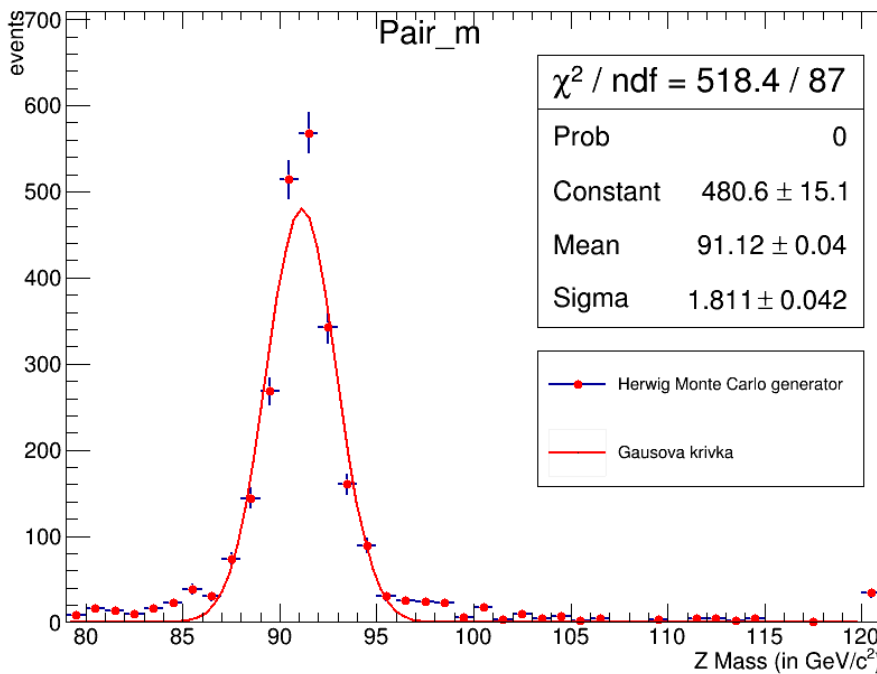
$$f(E) = C \frac{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}{(E - E_R)^2 + \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}. \quad (4)$$

V této rovnici vyjadřuje C konstantu, kterou jsme zároveň použili jako fitovací parametr p_0 . Dále E_R je energie rezonance, kterou jsme ztotožnili s parametrem p_1 a Γ je šířka rezonance přičemž $\frac{\Gamma}{2}$ jsme použili jako parametr p_2 .

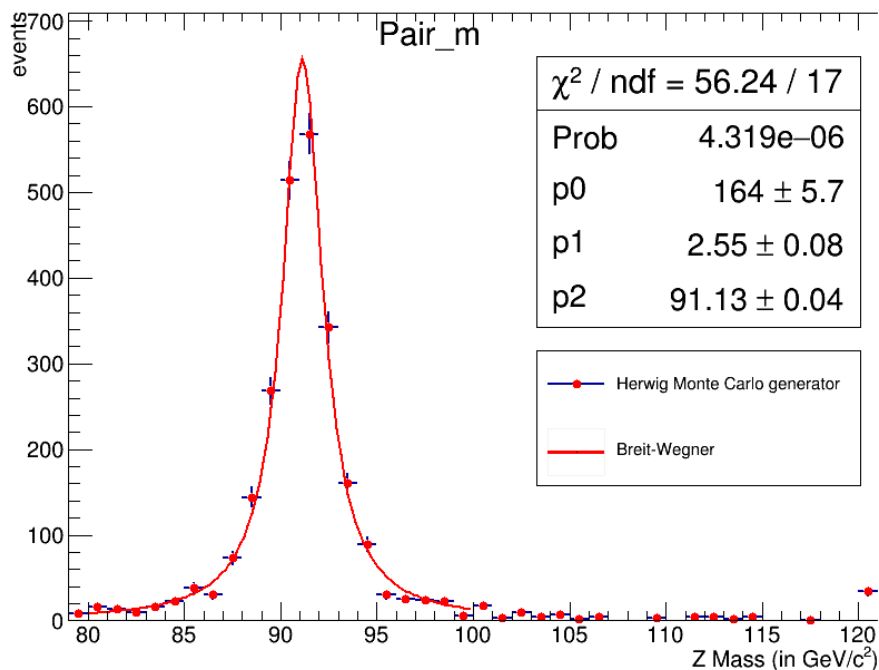
Breit-Wignerovo rozdělení naše výsledky vystihuje přesněji, nemá pouze statistický charakter, ale je podloženo fyzikální teorií.

Ze simulovaných dat a získaného fitovaného parametru p_2 Breit-Wignerova rozdělení jsme určili invariantní hmotu Z^0 bosonu m_z

$$m_z = (91.13 \pm 0.04) \frac{GeV}{c^2}.$$



Obr. 1: Rozložení invariantní hmoty Z^0 bosonu, simulovaná data jsou dále fitována Gaussovou funkcí



Obr. 2: Rozložení invariantní hmoty Z^0 bosonu, simulovaná data jsou fitována Breit-Wignerovým rozložením

3 Závěr

Seznámili jsme se s pokročilými fyzikálními teoriemi, především s principy v teorii pole se zaměřením na slabou interakci. Závěrem jsme změřili invariantní hmotu Z^0 bosonu $m_z = (91.13 \pm 0.04) \frac{\text{GeV}}{c^2}$.

4 Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat našemu vedoucímu Otovi Zaplatílkovi za obětavou pomoc a výborný výklad. Dále děkujeme organizátorům akce Týdne vědy.