

1 Analiza ATLAS-ovih podataka: $Z^0/\gamma^* \rightarrow \mu^+\mu^-$ i $W^\pm \rightarrow \mu^\pm\nu_\mu$

Pripremio: Nenad Vranješ

U ovoj vežbi ćemo rekonstruisati (mase) *gauge* bozona: Z^0 i W^\pm . Počecemo sa Z^0 .

Program se pokreće komandom:

```
python RunScript.py -n 1 -a ZAnalysis -s "data_Muons"
```

Proveriti prethodno da se fajl sa podacima `DataMuons.root` nalazi u direktorijumu `~/Input/Data`.

(a) Z^0 bozon se raspada na dva miona.

Pitanje: Koliki je faktor grananja raspada Z^0 bozona na dva miona? Konsultujte *Particle Data Group*, <http://pdg.lbl.gov>.

Pitanje: Kako možemo rekonstruisati masu Z^0 bozona znajući četvoroimpulse dva rekonstruisana miona?

(b) Skup podataka koji analizirate sadrži rekonstruisane Z^0 bozone, ali isto tako sadrži i događaje *fonskih* procesa (proces koji ostavljaju isti ekserimentalni "potpis" u detektoru).

Pitanje: Koje selekzione uslove treba primeniti da bi se izdvojili događaji produkcije Z bozona.

Pomoć prijatelja: pogledajte u fajlove `~/Analysis/ZAnalysis.py` i `~/Analysis/AnalysisHelpers.py`

Selekcionni kriterijumi se u fizici visokih energija često nazivaju *cut*-ovima.

(c) Iz *printout*-a programa izračunati relativnu i apsolutnu efikasnost svakog selekcionog uslova. Koji selekcionni uslov je najmanje efikasan?

(d) Koliko se podataka gubi zahtevom da su svi detektorski sistemi tokom uzimanja podataka radili u potpunosti (odnosno da događaji prolaze *Good Run List*)? Pomoć: zakomentarišite liniju

```
if not eventinfo.passGRL(): return False
```

 u fajlu `~/Analysis/AnalysisHelpers.py`. U python-u se linija programa komentariše znakom `#` ispred.

- (e) U *default*-noj selekciji u `~/Analysis/ZAnalysis.py` događaji su selektovani ako imaju tačno dva dobra miona suprotnog znaka, a **invarijantna masa** mionskog para zadovoljava uslov $m_Z - 20 < m_{\mu\mu} < m_Z + 20$ [GeV], gde je $m_Z = 91.188$ GeV.

Pitanje: Ako je prirodna širina Z^0 bozona $\Gamma_Z = 2.4952$ GeV, a rezolucija (transverzalnog) impulsa miona u ATLAS detektoru 2%, kolika je optimalna vrednost masenog "prozora" (u prethodnom primeru maseni prozor je ± 20 GeV), koju bi trebalo izabrati tako da selekcionni uslov obuhvati $\pm 3m_\sigma$, gde je m_σ masena rezolucija. Masena rezolucija je $m_\sigma = \sqrt{\Gamma_Z^2 + (\delta m_{\mu\mu})^2}$, gde je opet $\delta m_{\mu\mu}$ detektorska masena rezolucija.

Pomoć prijatelja:

$$m_{1,2} = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (p_{x,1} + p_{x,2})^2 - (p_{y,1} + p_{y,2})^2 - (p_{z,1} + p_{z,2})^2} = \sqrt{p_1 p_2 (1 - \cos\theta_{1,2})}.$$

Histogram je jedan od najčešće korišćenih "objekata" u fizici visokih energija. Pomoću histograma možemo saznati o kinematici čestica, karakteristikama događaja, proceniti udeo fonskih procesa, ili izmeriti osobine čestica (mase, širine). Standardni histogrami su definisani u `~/Analysis/StandardHistograms.py`, a pozivaju se u `~/Analysis/ZAnalysis.py`. Rezultati su zapisani u fajlu `~/results/data_Muons.root`.

- (f) Pregledati histograme definisane u `~/Analysis/StandardHistograms.py`, a pozivaju se u `~/Analysis/ZAnalysis.py`. Dodati histograme za lepton p_T i lepton η (sada postoje samo histogrami za *leading* i *trailing* lepton p_T i η). Promeniti broj binova u raspodelama mionskog p_T i invarijantne mase: umesto da širina bina bude 10 GeV, osnosbo 2 GeV, staviti vrednosti od 5 GeV i 1 GeV redom.

Izazov: definisati novi histogram u kome se prikazuje raspodela ugla između dva miona u transverzalnoj ravni:

$$\phi^{\mu_1, \mu_2} = \arccos\left(\frac{p_x^{\mu_1} \cdot p_x^{\mu_2} + p_y^{\mu_1} \cdot p_y^{\mu_2}}{p_T^{\mu_1} \cdot p_T^{\mu_2}}\right)$$

Gde se nalazi najveći broj događaja?

- (g) U *default*-noj selekciji u `~/Analysis/AnalysisHelpers.py` mioni su selektovani ako: (i) ispunjavaju *tight* nivo selekcije, (ii) transverzalni impuls miona ($p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} = p \cdot \sin\theta$) $p_T > 25$ GeV, (iii) je trag miona u detektoru je *izolovan* od okolne aktivnosti, konkretno deponovana energija u kalorimetru oko pravca miona ne sme da bude veća od 15% p_T miona, niti skalarna suma p_T tragova oko traga miona u detektoru tragova ne sme da pređe 15% p_T miona. Videti definiciju "dobrog" miona u `~/Analysis/AnalysisHelpers.py`

Pitanje: Ispitati uticaj selekcije miona na ukupan broj selektovanih događaja: (i) smanjenje praga na p_T miona na $p_T > 15$ GeV, (ii) izostavljanje izolacionih kriterijuma. Uporediti histograme izolacionih varijabli (`leadlep_ptconere130`, `lep_etconere120`) sa selekcionim uslovima $p_T > 25$ GeV i $p_T > 15$ GeV. Slično uporedite histograme mionskog p_T sa i bez izolacionih uslova. Kako interpretirate razlike?

- (h) Na histogramu invarijantne mase dva leptona naći maksimum, na osnovu tog maksimuma pročitati masu Z bozona sa x -ose. Kako se ta vrednost poklapa sa izmerenom masom Z bozona $m_Z = 91.188$ GeV?

Izazov: Masa rezonance se opisuje *Breit-Wigner-ovom* funkcijom^a. Fitujte histogram ovom funkcijom i odatle izračunajte masu Z^0 bozona. Pogledajte primer <https://mail.ipb.ac.rs/~nenadv/KursNS/Macros/fit.C>. Druga mogućnost je koristite `scipy function curve_fit`.

Sada prelazimo na W^\pm bozon. Ova čestica se raspada, između ostalog, na elektron ili mion i odgovarajuća neutrina: $W \rightarrow e\nu_e$, $W \rightarrow \mu\nu_\mu$.

(i) Objasnite zašto nije moguće izmeriti masu W bozona na isti način kao masu Z bozona.

Da bi ovaj problem bio prevaziđen moguće je izračunati transverzalnu masu (uzimajući informacije samo u x and y ravni):

(f) Show that the transverse mass is given by

$$m_T = \sqrt{2E_T^\nu p_T^\ell (1 - \cos(\phi_\ell - \phi_\nu))}, \quad (1)$$

gde je E_T^ν transverzalna energija neutrina, p_T^ℓ transverzalni leptona and ϕ_ℓ/ϕ_ν su uglovi leptona i neutrina u transverzalnoj ravni.

Relevantni parametri u ntupli koji se odnose na neutrina počinju sa `met_`.

(j) Program se pokreće komandom:

```
python RunScript.py -n 1 -a WAnalysis -s "data.Muons"
```

(k) Download-ujte i odgovarajuće simulirane Monte Karlo događaje, videti spisak odgovarajućih procesa u `Configurations/PlotConf_WAnalysis.py`

(l) Uporediti transverzalnu masu W bozona u realnim i simuliranim događaja komandom:
`python PlotResults.py`

^ahttps://en.wikipedia.org/wiki/Relativistic_Breit-Wigner_distribution