

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum



Úloha č. A1

Název úlohy: Objevování částic v detektoru ATLAS v CERN

Jméno: Michal Grňo

Obor: FOF

Datum měření: 18. 11. 2020

Datum odevzdání: 2. 12. 2020

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0-3	
Teoretická část	0-2	
Výsledky a zpracování měření	0-9	
Diskuse výsledků	0-4	
Závěr	0-1	
Použitá literatura	0-1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:

dne:

## 1 Pracovní úkoly

1. Zpracujte přibližně 50 událostí z detektoru ATLAS programem HYPATIA.
2. Pomocí programu ROOT zobrazte histogram invariantních hmotností pro různě velké statistické soubory.
3. Identifikujte výrazné píky a přiřaďte je očekávaným částicím.
4. Zjistěte chybu střední hodnoty invariantní hmotnosti  $Z$  bosonu pro různě velké statistické soubory.
5. Vyneste zjištěné chyby do grafu jako funkci počtu událostí a srovnajte je s očekávanou závislostí.
6. Interpretujte výsledky statistického testu pro nové částice a rozhodněte, jestli byl učiněn objev.

## 2 Teoretická část

Úloha A1 spočívá v analýze dat ze simulace detektoru ATLAS Velkého hadronového urychlovače (*LHC*). V *LHC* dochází k vysokoenergetickým srážkám dvou částic, jejichž interakce může produkovat exotické částice s velkou hmotností a krátkou dobou rozpadu. Přestože životnost takových částic typicky nestačí ani na to, aby doletěly z místa srážky do detektoru, můžeme je identifikovat podle jejich specifických rozpadových produktů a klidových hmotností.

### 2.1 Bosony $Z$ , $H$

Nás budou zajímat především bosony  $Z^0$  a  $H^0$ , jejichž typické rozpady jsou následující:

$$Z^0 : e^- + e^+$$

$$Z^0 : \mu^- + \mu^+$$

$$H^0 : 2 Z^0$$

$$H^0 : 2 \gamma$$

Toto nejsou zdaleka jediné možné rozpady, ale jsou pro nás nejsnáze detekovatelné. Klidové hmotnosti těchto bosonů jsou:

$$m(Z^0) = (91.188 \pm 0.002) \text{ GeV}/c^2$$

$$m(H^0) = (125.09 \pm 0.24) \text{ GeV}/c^2$$

Další částice s podobnými rozpady, které budeme schopni detekovat, jsou mezony  $J/\psi$  (*charmonium*, vázaný stav  $c\bar{c}$ ) a  $\Upsilon$  (*bottomonium*, vázaný stav  $b\bar{b}$ ). Jejich klidové hmotnosti jsou:

$$m(J/\psi) = (3.096900 \pm 0.000006) \text{ GeV}/c^2$$

$$m(\Upsilon) = (10.5794 \pm 0.0012) \text{ GeV}/c^2$$

### 2.2 Klidová hmotnost

Z předchozího je zřejmé, že pro rozlišení těchto částic z rozpadových produktů bude důležité určit klidovou hmotnost. Protože se ale částice pohybují relativistickými rychlostmi, nestačí pouze sečíst klidové hmotnosti produktů. Místo toho máme k dispozici vztah ze speciální relativity:

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0 c^2)^2, \quad (1)$$

kde  $E$  je energie částice,  $p$  její hybnost a  $m_0$  klidová hmotnost. V případě rozpadových produktů umíme jejich energii přímo změřit a jejich klidovou hmotnost určíme z toho, o jaký druh částice se jedná. Z (1) tedy umíme dopočítat hybnost rozpadové částice. Díky zákonům zachování energie a hybnosti potom z těchto rozpadových produktů můžeme rekonstruovat klidovou hmotnost původní částice. Pro mnohočásticový systém totiž platí:

$$\left( \sum_n E_n \right)^2 = \left( \sum_n p_n c \right)^2 + (M_0 c^2)^2,$$

kde  $E_n$  jsou energie jednotlivých částic,  $p_n$  jsou jejich hybnosti a  $M_0$  je klidová hmotnost celého systému, a tedy i původní částice. Snadnou úpravou dostáváme:

$$M_0 = \frac{1}{c^2} \sqrt{\left(\sum_n E_n\right)^2 - \left(\sum_n p_n c\right)^2}. \quad (2)$$

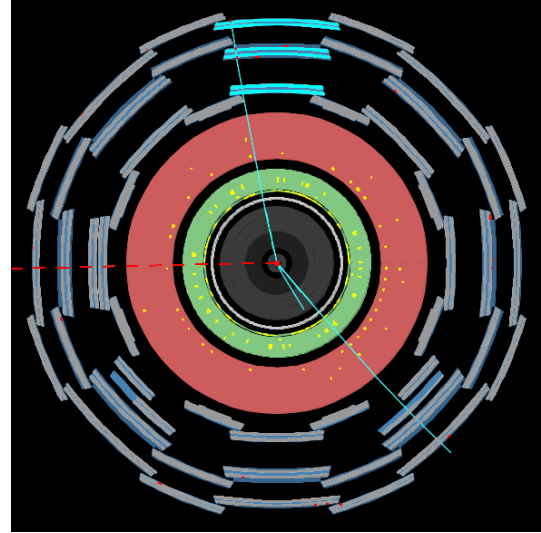
Ačkoliv rovnice (2) umožňuje rekonstrukci z obecného mnohačasticového rozpadu, nejspolehlivější je určení původní částice z páru rozpadových částic.

### 2.3 Identifikace částic

Data z detektoru budeme analyzovat v programu HYPATIA, který nám umožňuje zobrazit dráhy detekovaných částic na příčném a podélném řezu detektoru. Příčný řez je možné vidět na obrázku 1.

Detektor se skládá ze čtyř podstatných částí: vnitřní části (na obrázku šedá) s magnetickým polem, které zakřívuje dráhu nabitých částic, elektromagnetického kalorimetru (na obrázku zelená), kde je absorbována energie elektromagnetických spršek, hadronový kalorimetr (na obrázku červená) a nakonec mionová komora (na obrázku šedomodrá<sup>1</sup>), do které z detekovatelných částic doletí pouze miony.

My se budeme pokoušet pouze o identifikaci párů elektron-pozitron, jejichž dráha typicky končí už v rámci vnitřní části, foton-foton, které byly detekovány v elektromagnetickém kalorimetru, a mion-antimion, které proletěly celým detektorem až do mionové komory.



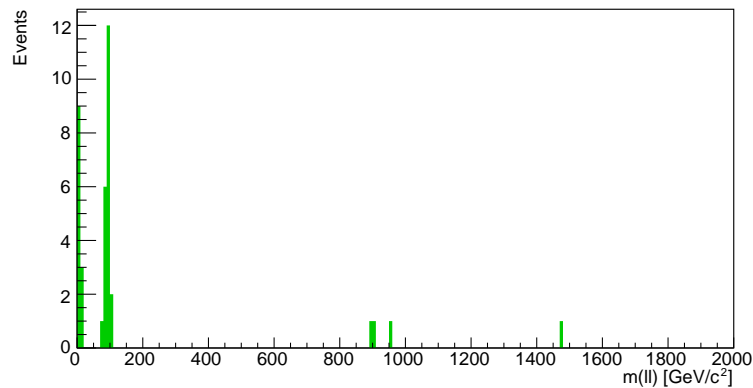
Obrázek 1: Příčný řez detektorem ATLAS

## 3 Výsledky měření

### 3.1 Události identifikované autorem

Z dostupných dat se nám podařilo identifikovat celkem 47 rozpadů na  $e^- + e^+$ ,  $\mu^- + \mu^+$  nebo  $2\gamma$ . Kritériem při určování bylo, zda je možné jednoznačně identifikovat, že obě částice vylétají z jednoho bodu, a tedy mohou být produktem jednoho rozpadu. Pokud z jednoho bodu vylétaly tři částice a nebylo zřejmé, které patří do jednoho rozpadového páru, tuto událost jsme přeskočili. Podařilo se také identifikovat celkem tři čtyřčasticové rozpady.

Z identifikovaných srážek jsme vypočítali invariantní hmotnosti potenciálních rozpadlých částic. Jak je vidět z obrázku 2, počty událostí jsou v řádu jednotek a většina energetického spektra má pouze osamocené události. Jediný zajímavý pík je kolem  $\sim 100$  GeV, detailnější histogram tohoto píku najdeme na obrázku 3.



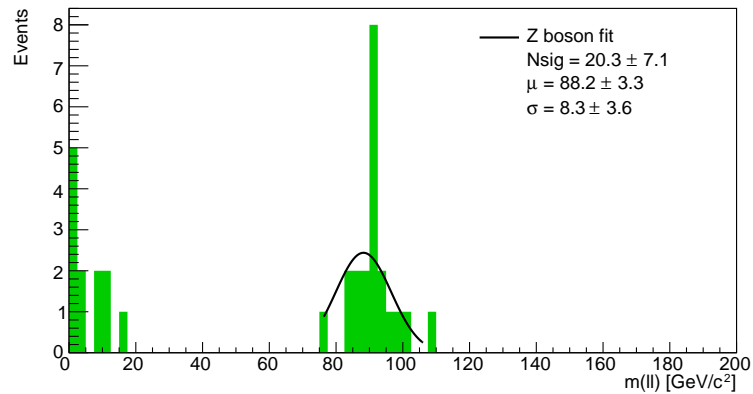
Obrázek 2: Histogram všech vypočítaných  $M_0$  z autorem identifikovaných srážek.

Fitem tohoto píku jsme získali invariantní hmotnost

$$M_0 = (88.2 \pm 3.3) \text{ GeV}/c^2,$$

<sup>1</sup>Jsou-li ve vašem prohlížeči PDF jiné barvy, než jaké jsou zde uvedeny, autor se vám omlouvá. Jedná se o technický problém, který se mu ani přes vynaloženou snahu nepodařilo eliminovat. Pokud jsou barvy tak moc k nepoznání, že vám to znemožňuje identifikaci jednotlivých částí, vězte, že jsou části detektoru vyjmenovávány v pořadí ze středu směrem ven. Pokud je jedna z barev, které vidíte, oktarínová, kontaktujte prosím autora a jako přílohu mu zašlete detailní informace o vašem systému a fyzickou fotografii monitoru.

což je v souladu s hmotností  $Z$  bosonu. Také jsme detekovali vyšší množství událostí v oblasti jednotek GeV – ty pravděpodobně pochází z rozpadů mezonů  $J/\psi$  a  $\Upsilon$ , počet událostí je ovšem příliš nízký na to, aby se dal rozumně proložit fitem.



Obrázek 3: Histogram vypočítaných  $M_0$  v okolí píku.

### 3.2 Soubor dat od různých autorů

V rámci praktika se shromažďují události identifikované všemi studenty, kteří se úlohy A1 účastní. Tento soubor obsahuje o několik řádů vyšší počet identifikovaných událostí, proto umožňuje identifikaci píků, které jsme ve vlastních datech nemohli pozorovat.

## 4 Diskuse

Hihi

## 5 Závěr

Hoho

## 6 Literatura

[1] Praktikum částicové a jaderné fyziky. Objevování částic v detektoru ATLAS v CERN. Dostupné z: [https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_401.pdf](https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_401.pdf). 26. září 2019