

Podivnosti na LHC

Krejčí Jan, GMK Bílovec, jankrejci.gmk@gmail.com
Mahdal Radek, Gymnázium Česká Lípa, thyros@seznam.cz
Miklíková Adéla, Gymnázium L. Jaroše, miklikova.am@seznam.cz
Mrázek Jan, Gymnázium Kroměříž, honza.mrazek@gmail.com
Novotný Tomáš, Gymnázium Česká Lípa, nvtn2@seznam.cz
Polcar Lukáš, Gymnázium Vysoké Mýto, polcarovi@tiscali.cz

Abstrakt

Cílem našeho miniprojektu bylo dokázání přítomnosti podivných částic při srážkách na LHC a analyzování rozpadů podivných částic pomocí programu MasterClass2011 v rozhraní ROOT. Naším úkolem bylo určit hmotnosti a počet vybraných podivných částic pomocí statistiky srážek.

1 Úvod

Podle standardního modelu se všechna hmota skládá z elementárních částic – leptonů a kvarků. Interakci mezi kvarky zprostředkovávají částice zvané gluony. Za normálních podmínek jsou kvarky vázány v hadronech (např. proton a neutron). Pokud chceme zkoumat samotné kvarky, musíme překonat tuto interakci. Toto je jeden z cílů urychlovačů částic.

Large Hadron Collider (LHC), v současnosti nejvýkonnější urychlovač, urychluje částice na rychlost blízkou rychlosti světla a dodává jim vysokou energii, která se při srážkách uvolňuje a umožňuje vznik velmi těžkých částic.

Jedním z experimentů na LHC je ALICE, který je zaměřen na studium interakcí částic za extrémních podmínek – především vysoké hustoty a teploty – v tzv. kvark-gluonového plazmatu. Kvark-gluonové plazma je stav, ve kterém se kvarky a gluony vyskytují volně. Problémem je důkaz existence tohoto extrémního stavu. V našem miniprojektu se budeme zabývat jedním z možných důkazů – zvýšení počtu podivných částic – nárůstu podivnosti. Podivné částice jsou charakteristické přítomností alespoň jednoho strange kvarku nebo anti-kvarku. Tyto částice ale nejsou stabilní, tudíž abychom je detekovali musíme sledovat produkty jejich rozpadu. Zaměřili jsme se rozpady v Tabulce 1. Vycházeli jsme ze vzorce [1]:

$$\begin{aligned} m^2 c^4 &= E^2 - (\vec{p}c)^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 c + \vec{p}_2 c)^2 \\ &= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 - (\vec{p}_1 c)^2 - (\vec{p}_2 c)^2 - 2(\vec{p}_1 \vec{p}_2) c^2 \end{aligned} \quad (1)$$

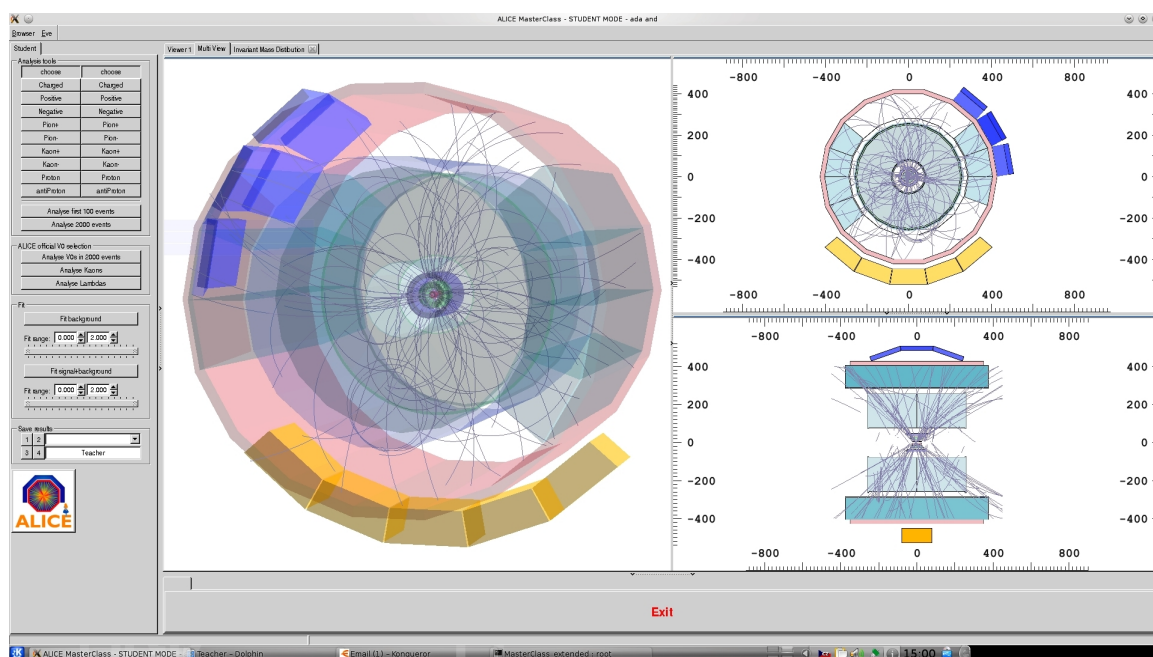
$$\begin{aligned} m^2 c^4 &= E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 - p_1^2 c^2 - p_2^2 c^2 - 2\vec{p}_1 \vec{p}_2 c^2 = \\ &= m_1^2 c^4 + m_2^2 c^4 + 2E_1 E_2 - 2\vec{p}_1 \vec{p}_2 c^2 \end{aligned} \quad (2)$$

částice 1	částice 2	původní částice
proton	π^-	Λ
anti-proton	π^+	$\bar{\Lambda}$
π^+	π^-	K_S^0 (kaon)
π^-	Λ	Ξ (Xi)

Tabulka 1: Tabulka rozpadů částic v LHC při experimentu ALICE

2 Postup práce

Podstatou naší vědecké práce byla analýza dat z rozpadů částic s podivným kvarkem v detektoru ALICE. Tuto analýzu jsme prováděli v prostředí ROOT v programu Masterclass2011, jenž je zjednodušenou verzí programu používaného v CERNu.



Obrázek 1: Prostředí programu Masterclass

Naše úkoly zahrnovaly: ruční analýzu několika událostí z detektoru ALICE, analýzu reprezentativnějšího vzorku událostí a následně zpracování výsledků; vytvoření histogramů, stanovení počtu a hmotnosti sledovaných podivných částic.

Ruční analýza spočívala v určení hmotnosti původní částice z hmotnosti a hybnosti dceřiné částice (vycházeli jsme z rovnice 1). Tuto hmotnost jsme porovnali s hodnotou uvedenou na webu PDG[2]. Ruční analýza nezobrazuje reálnou skutečnost, jejím jediným účelem bylo objasnit princip celé práce, kterou dělá počítač automaticky.

K hromadné analýze jsme měli k dispozici 3 vzorky dat, každý obsahoval okolo 2000 událostí. Dále jsme vytvořili histogram každého vzorku zvlášť. Jednotlivé histogramy jsme nafitovali a tak zjistili hmotnost a počet vytvořených částic. Vzorky obsahovaly příliš malé množství událostí, tudíž jsme tyto vzorky sjednotili a poté jsme vytvořili histogramy pro námi sledované částice. Tyto histogramy jsme následně nafitovali. Do histogramu hromadné analýzy jsou rovněž zahrnuty částice, které nejsou z námi hledaného rozpadu (může se jednat o šum, kdy produkty rozpadu původní částice nemají odpovídající hmotnost/hybnost, nebo rozpadající částice nevycházejí ze stejného vertexu). Tyto částice jsme

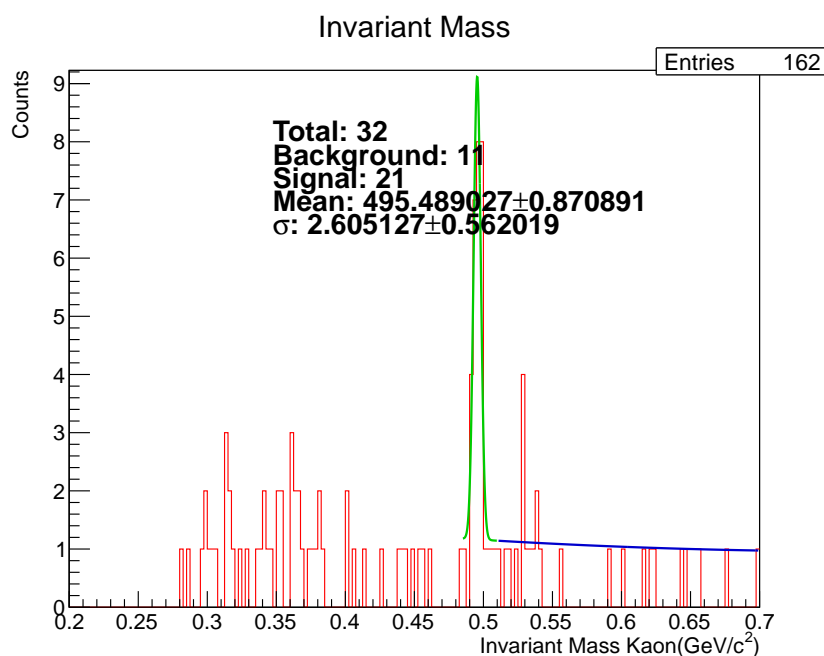
odečetli jako pozadí.

Samotné histogramy jsme proložili 2 křivkami – jednou křivkou jsme proložili pozadí a druhou vrchol (Gaussova křivka). Z histogramu jsme poté určili střední hodnotu hmotnosti podivné částice. Rovněž jsme určili počet podivných částic ve vzorku (odečtením pozadí od celkového počtu částic ve vrcholu).

3 Výsledky

Výsledkem ruční analýzy dat byla sada jednoduchých histogramů ukazujících hmotnostní rozložení.

U hromadné analýzy jsme získali 2 sjednocené histogramy s vyznačeným peakem a nafitovanou křivkou. Při hromadné analýze dat jsme nejprve zkoumali jednotlivé vzorky zvlášť, provedli jsme pouze analýzu Λ , $\bar{\Lambda}$ a kaonů. Jako příklad uvádíme histogramy na obr. 2 a 3.

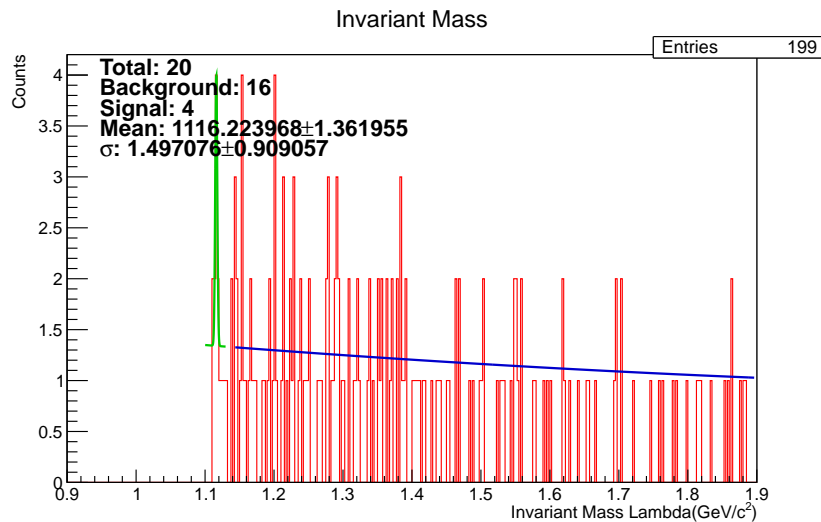


Obrázek 2: Nafitovaný K_S^0 pro jeden soubor dat.

Pro zvýšení statistiky jsme pro každou částici sečetli několik takovýchto histogramů. Z těchto histogramů jsme fitováním nejprve určili pozadí a poté počet částic v peaku. Rozdíl těchto hodnot dává počet pozorovaných částic. Výsledky shrnuje tabulka 2.

	K_S^0	Λ
hmotnost [MeV]	$495,9 \pm 0,5$	1116 ± 1
signal	190	31
pozadí	60	3
počet částic	130	28

Tabulka 2: Počet podivných částic ze 4 souborů dat



Obrázek 3: Nafitovaná Λ

4 Diskuze

Pro K_S^0 jsme stanovili hmotnost $495,9 \pm 0,4$ MeV a hmotnost Λ 1116 ± 1 MeV. Hodnoty hmotností podle PDG[2] jsou: $497,614 \pm 0,028$ MeV a $1115,683 \pm 0,006$ MeV respektive.

Obvyklý počet vzorků na analýzu se pohybuje v řádu milionů, nicméně náš vzorek zahrnoval okolo 6000 událostí. Tudíž výsledky, které jsme naměřili, nejsou zcela totožné s hodnotami stanovenými PDG. Chyba měření pro počet částic není uvedena, jelikož program MasterClasses vyhodnocoval tyto výsledky bez uvedení chyby.

5 Závěr

Zkoumali jsme produkci podivných částic zaznamenaných experimentem ALICE na LHC. Z charakteristických rozpadů jsme určovali počty K_S^0 , Λ , Ξ a $\bar{\Lambda}$. Pro kaony jsme stanovili hmotnost $495,9 \pm 0,4$ MeV a hmotnost lambdy 1116 ± 1 MeV. Hodnoty hmotností podle PDG jsou: $497,614 \pm 0,028$ MeV a $1115,683 \pm 0,006$ MeV respektive. Naše hodnoty, ačkoliv jsme je určovali z velmi malého vzorku, jsou velmi blízko hodnot stanovených PDG. Celkem jsme zjistili 130 K_S^0 a 28 Λ .

Poděkování

Rádi bychom poděkovali naší supervisorce Janě Crkovské, která nám trpělivě radila a pomohla překonat všechny technické i teoretické problémy, které se během našeho miniprojektu vyskytly. Rovněž bychom chtěli poděkovat organizátorům Týdne vědy na Jaderce, že nám umožnili vypracovat tento projekt.

Reference

- [1] IPPOG *Search for strange particles in ALICE - oficiální návod*. . 2011.
- [2] Particle Data Group webpage <http://pdg.lbl.gov/>. 2011.