

Podivnosti na LHC

O. Havelka¹, J. Jerhot², P. Smíštel³, L. Vozdecký⁴

¹Gymnázium Trutnov, ondra10ax@centrum.cz

²SPŠ Strojní a elektrotechnická, České Budějovice, jerrydog@seznam.cz

³Gymnázium Vyškov, vozdeckyl@gmail.com

⁴Gymnázium a OA Bučovice, smisa.p@seznam.cz

Abstrakt

Naším cílem byla identifikace částic z analýzy produktů jejího rozpadu při srážkách na urychlovači částic LHC v CERNu na projektu ALICE. Analýzu jsme prováděli na programu ALICE MasterClasses. Na naší práci navázala druhá skupina s modifikací spekter částic.

1 Úvod

Standardní model částicové fyziky [1] je teorie popisující elementární částice. Tyto částice dělíme do dvou základních skupin, na fermiony (kvarky a leptony), částice s poločíselným spinem, které tvoří viditelnou hmotu, a bosony, částice s celočíselným spinem, které zprostředkovávají interakce mezi kvarky a leptony, tedy elektromagnetickou, slabou a silnou interakci.

	I	II	III		
mass→	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
	QUARKS				
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν _e electron neutrino	ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	Z Z boson	
	LEPTONS				GAUGE BOSONS
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	W W boson	

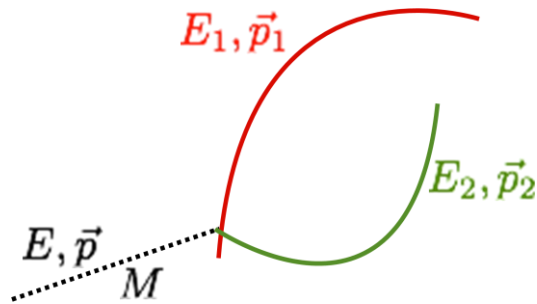
Obrázek 1: standardní model

Vazbou kvarku a anti-kvarku vznikají mezony (součtem poločíselných spinů vzniká spin celočíselný a součtem třetinových nábojů vzniká náboj taktéž celočíselný), naopak spojením 3 kvarků vzniká baryon (s poločíselným spinem a celočíselným nábojem).

2 Kinematika rozpadů částic

Při srážkách částic o vysokých energiích vzniká množství nestabilních běžně se nevyskytujících částic, které se postupně rozpadají zpět na stabilnější běžně se vyskytující částice.

Tyto nestabilní částice rychle zanikají a často jsou neměřitelné. Jejich vlastnosti tedy určujeme z vlastností jejich produktů (tj. energie a hybnosti).



Obrázek 2: rozpad nedetekovatelné částice

Vlastnosti následně rozpadlých částic lze snadno zjistit součtem vlastností produktů. Rovnice vychází z obecné teorie relativity.

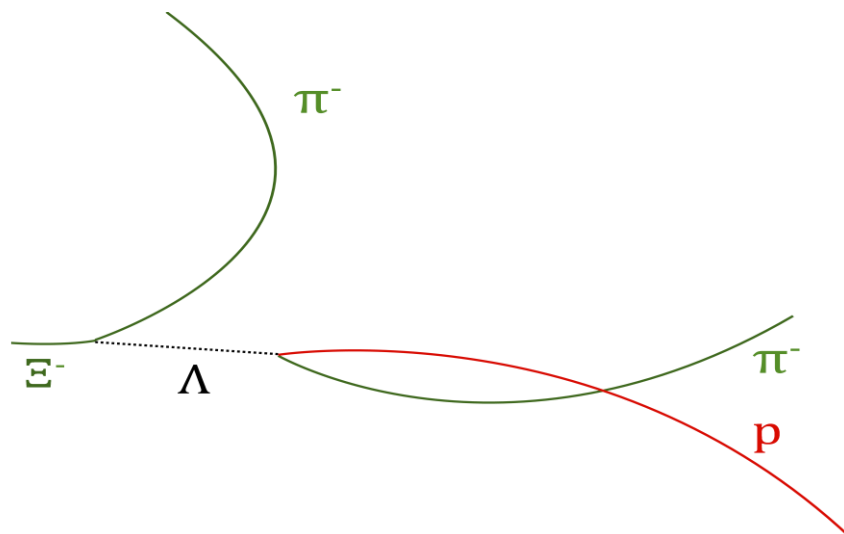
$$E^2 = m^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2 \qquad m^2 = \frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2}$$

$$E = E_1 + E_2 \qquad \vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

$$M^2 = \frac{(E_1 + E_2)^2}{c^4} - \frac{|\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2}{c^2} \quad (1)$$

– invariální hmotnost původní nedetekovatelné částice

Jako příklad můžeme uvést kaskádový rozpad Ξ^- [Xi- baryonu] na samotářský π^- a Λ mezon, který se posléze rozpadne na druhý π^- mezon a proton p^+



Obrázek 3: kaskádový rozpad

Neutrální částice není možné v detektoru ALICE sledovat přímo, protože nezanechávají ionizační stopu v ITS detektorech. Abychom prokázali, že v detektoru vznikají neutrální kaony a lambda baryony, musíme pátrat po produktech rozpadu těchto částic.

Zaměříme se nejdříve na K^0 mezon. Protože musí platit zákon o zachování náboje, rozpadá se na kladný a záporný pion. Nejdříve se musí najít piony se společným vertexem (místem, kde mohlo dojít k rozpadu původní částice) a poté dosazením kladného a záporného pionu do rovnice (1) dostaneme invariantní (klidovou) hmotnost původní částice, z čehož určíme o jakou částici se jednalo.

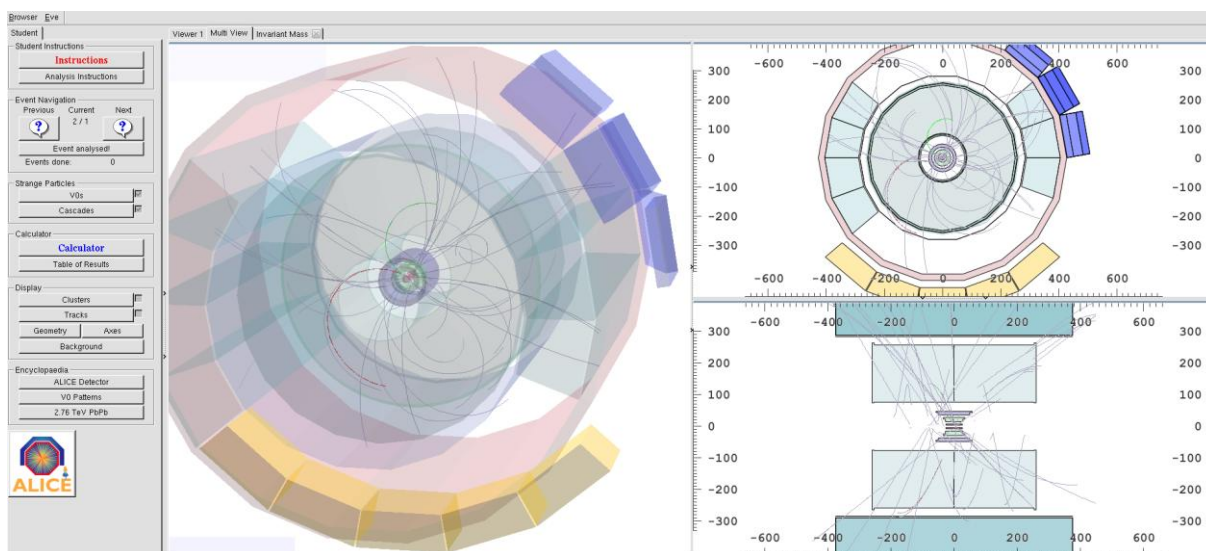
Může se taktéž stát, že výsledek neodpovídá žádné známé částici, potom tyto 2 piony nejsou párové, společný vertex je pouze zdánlivý, a jedná se o pozadí.

U Λ baryonů je postup stejný, jen se rozpadají na proton a záporný pion; anti-lambda baryony se rozpadají na anti-proton a kladný pion.

3 Popis experimentu

Naše práce spočívala v analýze dat získaných v experimentu ALICE na urychlovači částic v CERNu při srážkách p-p nebo Pb-Pb. Těchto srážek se pro analýzu provádějí miliony, my však kvůli časové tísně zpracovali nanejvýše stovky protonových srážek.

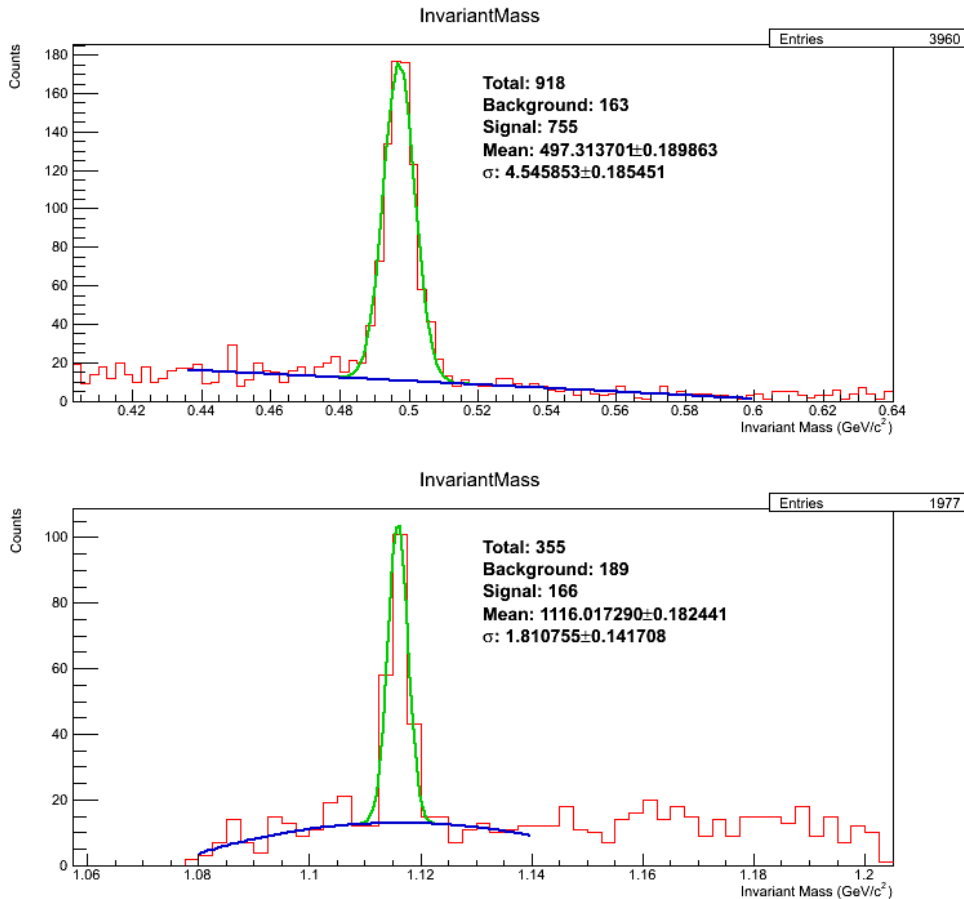
Analýzu jsme prováděli v programu ALICE MasterClasses.



Obrázek 4: ALICE MasterClasses

Analýza spočívala ve vyhledání vertexu a dvou částic, které z něj vylétají. Detektory zachytily jejich energii a hybnost. Na základě těchto údajů jsme určili, ze které částice pocházejí, nebo jestli jsou chybným pozadím.

Abychom potvrdili přesnost a mohli s jistotou říct, že se v detektoru po srážce tyto částice vyskytovaly, je nutno provést co nejvíce těchto analýz. Výsledné hodnoty se zapíší do tabulky a následně se udělá graf závislosti počtu výskytů částice na dané klidové hmotnosti částice.



Obrázek 5: peaky

Pokud je analýza správná, ve spektru invariální (klidové) hmotnosti můžeme pozorovat kombinatorické pozadí, vzniklé chybami a jinými nežádoucími částicemi, a výrazný peak v oblasti klidové hmotnosti detekované neutrální částice.

Tento graf jsme následně nafitovali, čímž se vytvořila teoretická Gaussova křivka opisující peak a druhá opisující pozadí. Z poměru částic v peaku (tzv. signálu) a celkového počtu částic (součtu částic v pozadí pod signálem a v signálu) se určí signifikance, stanovující spolehlivost daného měření.

$$\sigma = \frac{N_{sig}}{\sqrt{(N_{sig} + N_{bkg})}} \quad - \text{signifikance}$$

5 Závěr

Z analýzy jsme zjistili, že se při rozpadu vyskytuje velké množství částic o klidové hmotnosti cca 1,115 GeV a 0,497 GeV. Což souhlasí s hodnotami stanovenými PDG (mezinárodním sdružením částicových fyziků). Klidovou hmotnost 1,115 GeV mají baryony Λ a $\bar{\Lambda}$ a klidové hmotnosti 0,497 GeV odpovídá K^0 mezon.

Na naší práci navázala skupina s modifikací spekter částic média, kde se zabývají přítomností podivných částic, dokazující existenci kvark-gluonového plazmatu.

Poděkování

Na prvním místě bychom chtěli poděkovat našemu supervizorům Ing. *Olze Hájkové* a Ing. *Jaroslavu Adamovi* za trpělivost a nadšení, se kterým se nám věnovali.

Dále chceme poděkovat Ing. *Vojtěchu Svobodovi*, CSc., organizátorskému týmu a vedení FJFI za vytvoření této skvělé a zároveň poučné akce.

Reference

- [1] A Large Ion Collider Experiment
<http://home.web.cern.ch/about/experiments/alice>
- [2] Fyzika na ALICE
http://aliceinfo.cern.ch/public/MasterCL/alice-exercise-nov11_czech.htm
- [3] Standard model
http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model
- [4] Presentace supervisorů