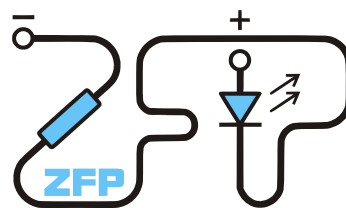


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum IV



Atomovka



Úloha č. A1

Název úlohy: Objevování částic v detektoru ATLAS v CERN

Jméno: Josef Iosephus Kučera

Datum měření: 10. 11. 2021

Připomínky opravujícího:



	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Theoretická část	0–2	
Výsledky a provedení měření	0–9	
Diskuse výsledků	0–4	
Závěr	0–1	
Použité knižstvo	0–1	
Celkem	max. 17	

Posuzoval:

dne:

Pracovní úkol

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 přiřadte 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.

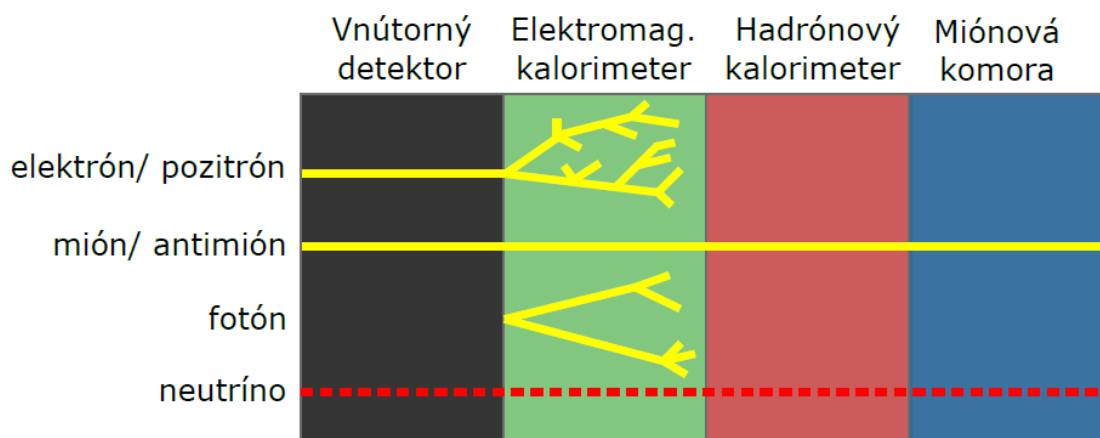
Theorie

LHC a rozpoznávání částic

Urychlovač LHC (Large Hadron Collider) je velká kruhová dráha, kde se srážejí hadrony (alias subatomární částice složené z kvarků). Hadrony jsou zde urychlovány na rychlosti blízké rychlostem světla a následně jsou sráženy v detektorech.

Jedním z nich jest detektor ATLAS složený ze 3 vrstev:

1. Vnitřního prostoru detektoru (zachycuje dráhy nabitých částic)
2. Kalorimetru (zobrazuje směr šíření energie)
3. Vnější mionové komory (zachycuje miony proletivší předchozími vrstvami)



Obr.1: Průlet jednotlivých částic detektorem ATLAS

Na Obrázku 1 vidíme, jak se dají poměrně snadno rozlišit 3 druhy částic (elektrony, miony a fotony).

Detektory však neumějí přímo detekovat částice s krátkými dobami životnosti, jako například Z boson, nebo kýžený Higgsův boson H , tedy musejí je detekovat nepřímou.

Detekce bosonů

Z boson (hmotnost $91,19 \text{ GeV}/c^2$) se po srážce v urychlovači rozpadá jako student během zkouškového. Přípustné možnosti rozpadu jsou elektron-positronový rozpad:

$$Z_0 \rightarrow e^- + e^+$$

případně (anti)mionový rozpad:

$$Z_0 \rightarrow \mu^- + \mu^+$$

Těžší kalibr Higgsův boson H (hmotnost $124,97 \text{ GeV}/c^2$) má tak trošku jiné možnosti rozpadu. My budeme zkoumat pouze následující:

$$H \rightarrow 2\gamma$$

$$H \rightarrow 2Z_0 \rightarrow 2l^- + 2l^+$$

kde první rozpad je rozpadem fotonovým a druhý rozpad je rozpadem na 2 páry leptonů l (tedy kombinace e^-e^+ a $\mu^-\mu^+$)

Invariantní hmotnost

Speciální teorie relativity předepisuje částicím tzv. klidovou hmotnost m_0 definovanou vztahem [1]:

$$m_0 = \sqrt{\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 + \left(\frac{|\vec{p}|}{c}\right)^2} \quad (1)$$

Hmotnost mateřské částice $m_0^{(M)}$ je invariantní a dá se tedy dopočítat z hmotností a hybností dceřiných částic [1]:

$$m_0^{(M)} = \sqrt{\left(\frac{E_1 + E_2}{c^2}\right)^2 + \left(\frac{|\vec{p}_1 + \vec{p}_2|}{c}\right)^2} \quad (2)$$

Částice	Druh	Hmotnost [GeV/c ²]	Rozpadová šířka Γ [GeV/c ²]
J/ψ	Vázaný stav kvarku c a jeho antikvarku	3.096900 ± 0.000006	$(92.9 \pm 2.8) \cdot 10^{-6}$
$\Upsilon(4S)$	Vázaný stav kvarku b a jeho antikvarku	10.5794 ± 0.0012	$(54.02 \pm 1.25) \cdot 10^{-6}$
Z	Boson Z	91.188 ± 0.002	2.495 ± 0.002
H	Higgsův boson	125.09 ± 0.24	$4.1 \cdot 10^{-3}$ (teorie)

Tab.1: Přehled částic rozpadajících se na páry leptonů a fotonů [2]

Chyba měření

Chyba prokládaných závislostí bude klesat podle Gaussovske relace [1] :

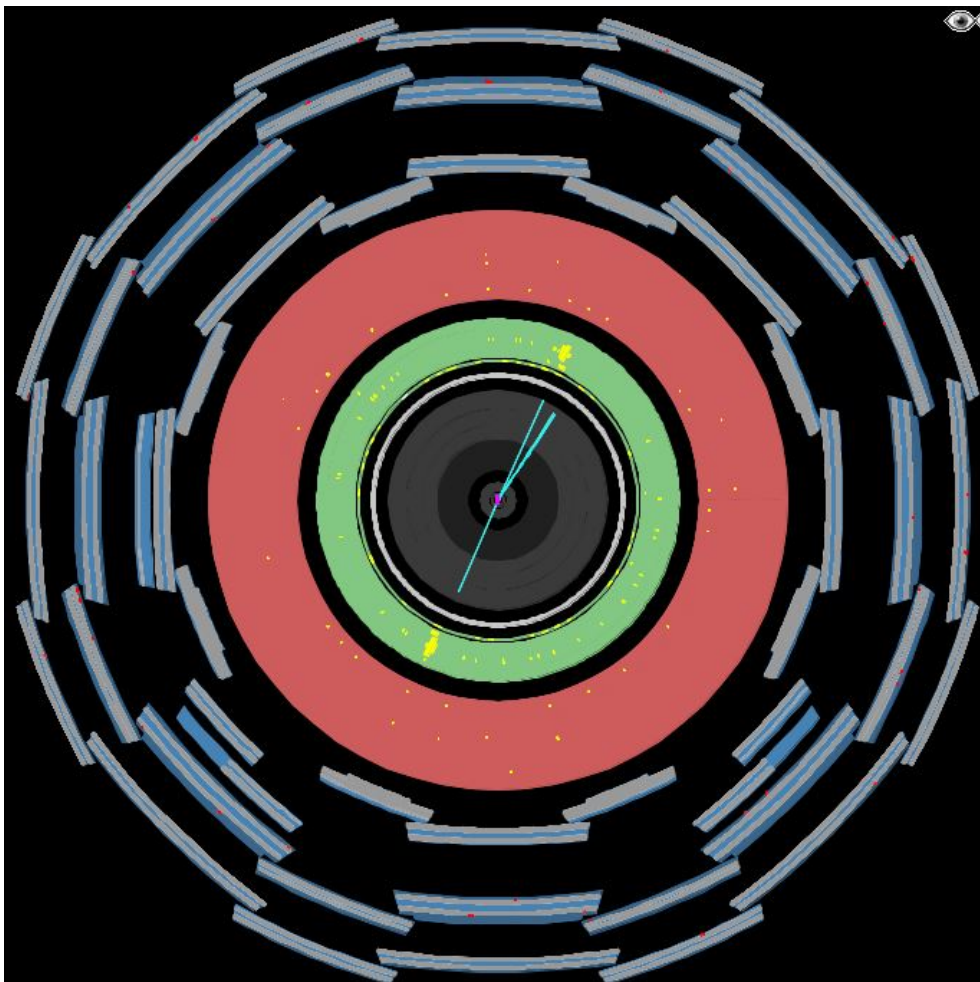
$$\sigma(N) = \frac{A}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

kde A jest konstanta rozměru chyby σ .

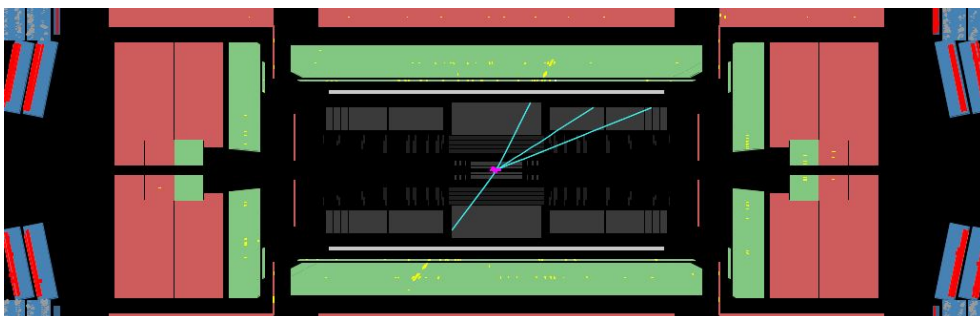
Výsledky měření

1) Identifikace naměřených dat v programu HYPATIA

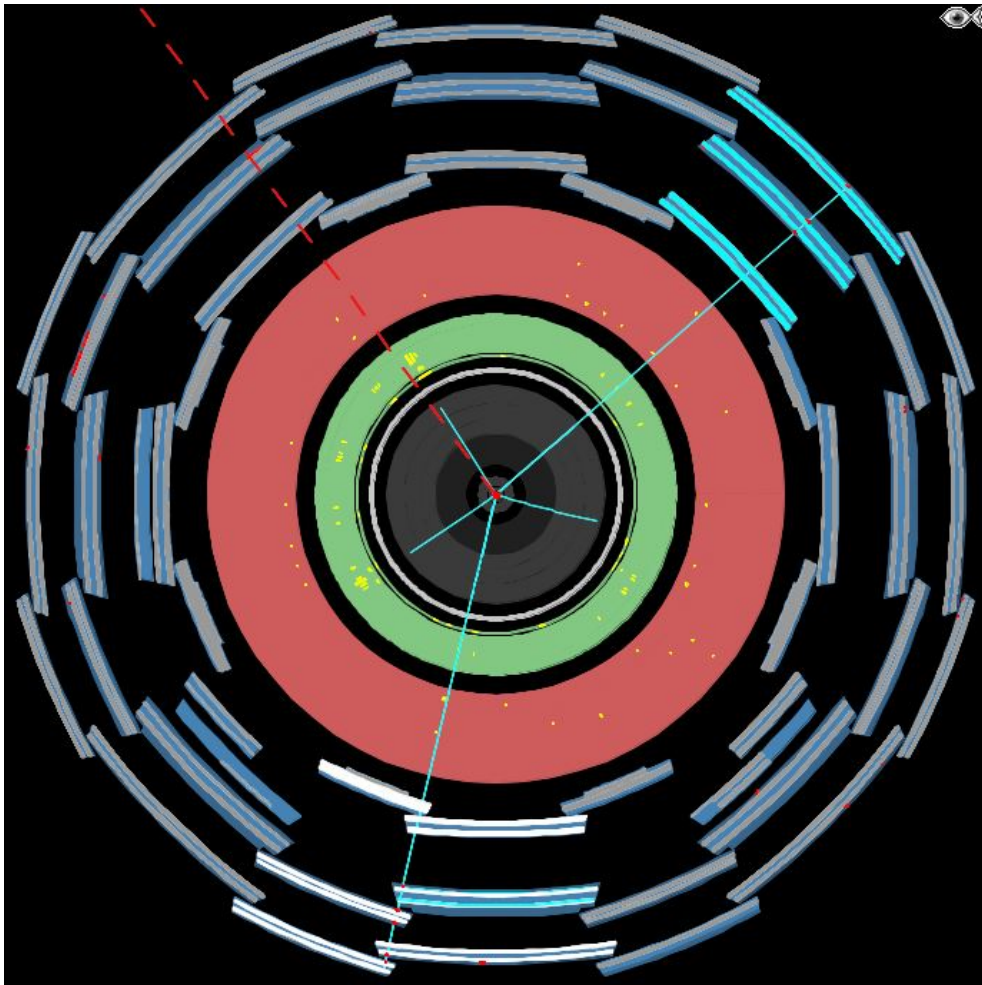
Zpracovali jsme 50 událostí z datové sady č.5 pomocí programu HYPATIA, kde jsme rozlišovali 3 typy událostí (elektron-positronový rozpad, (anti)mionový rozpad, fotonový rozpad) pouze pro energie vyšší než 5,0 GeV dle následujícího klíče:



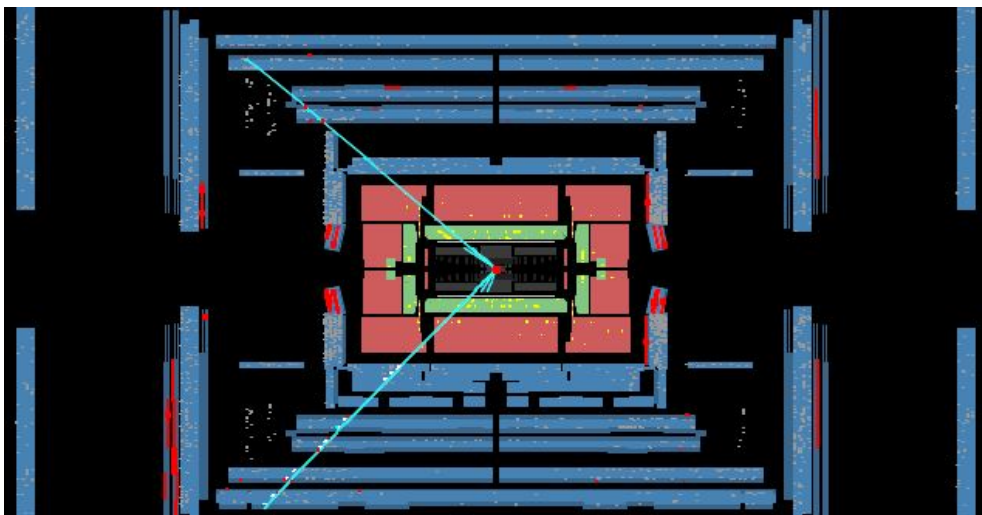
Obr.1: Elektron-pozitronová událost - příčný průřez detektoru [1]



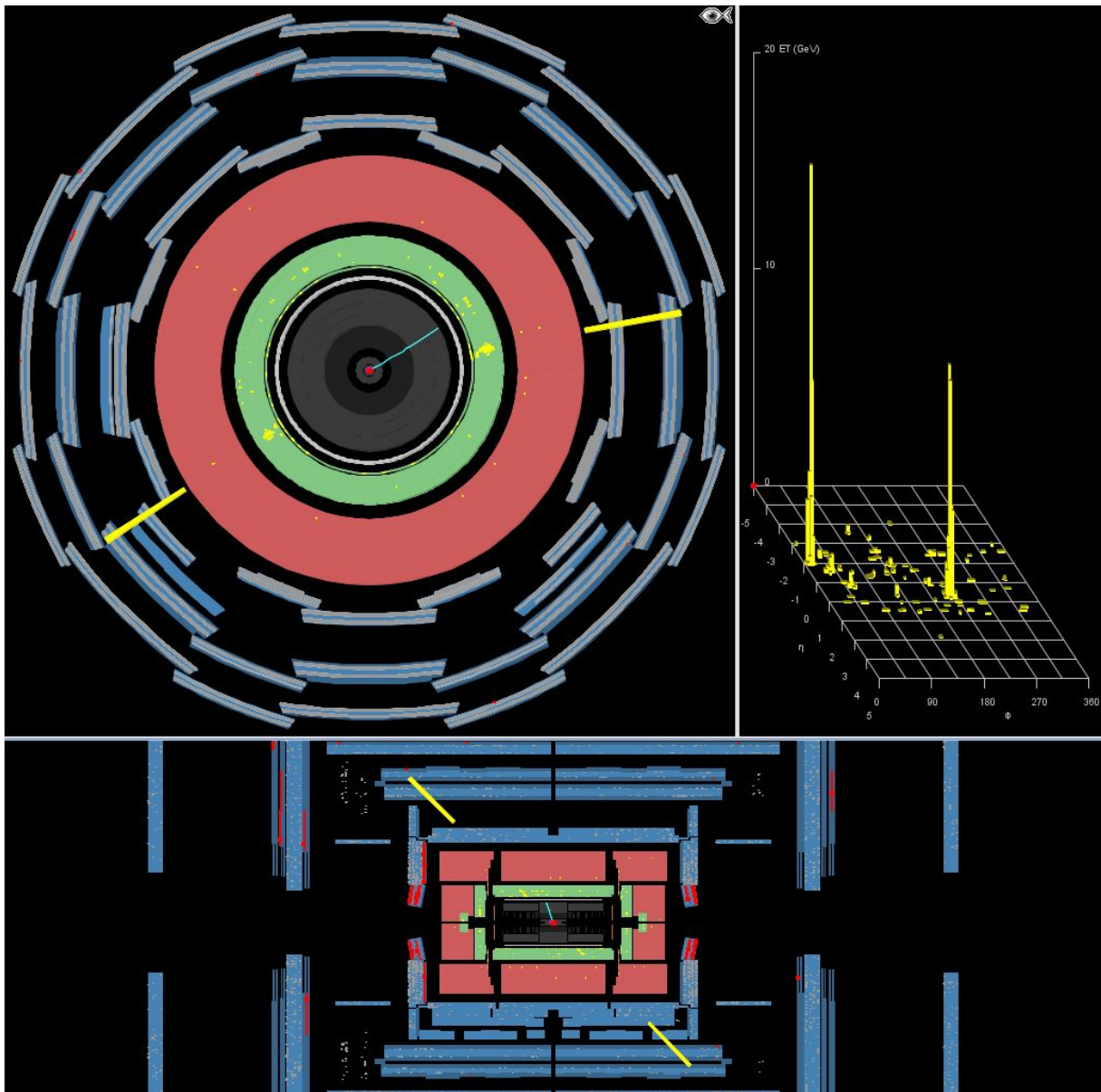
Obr.2: Elektron-pozitronová událost - podélný průřez detektoru [1]



Obr.3: Mion-antimionová událost - příčný průřez detektoru [1]



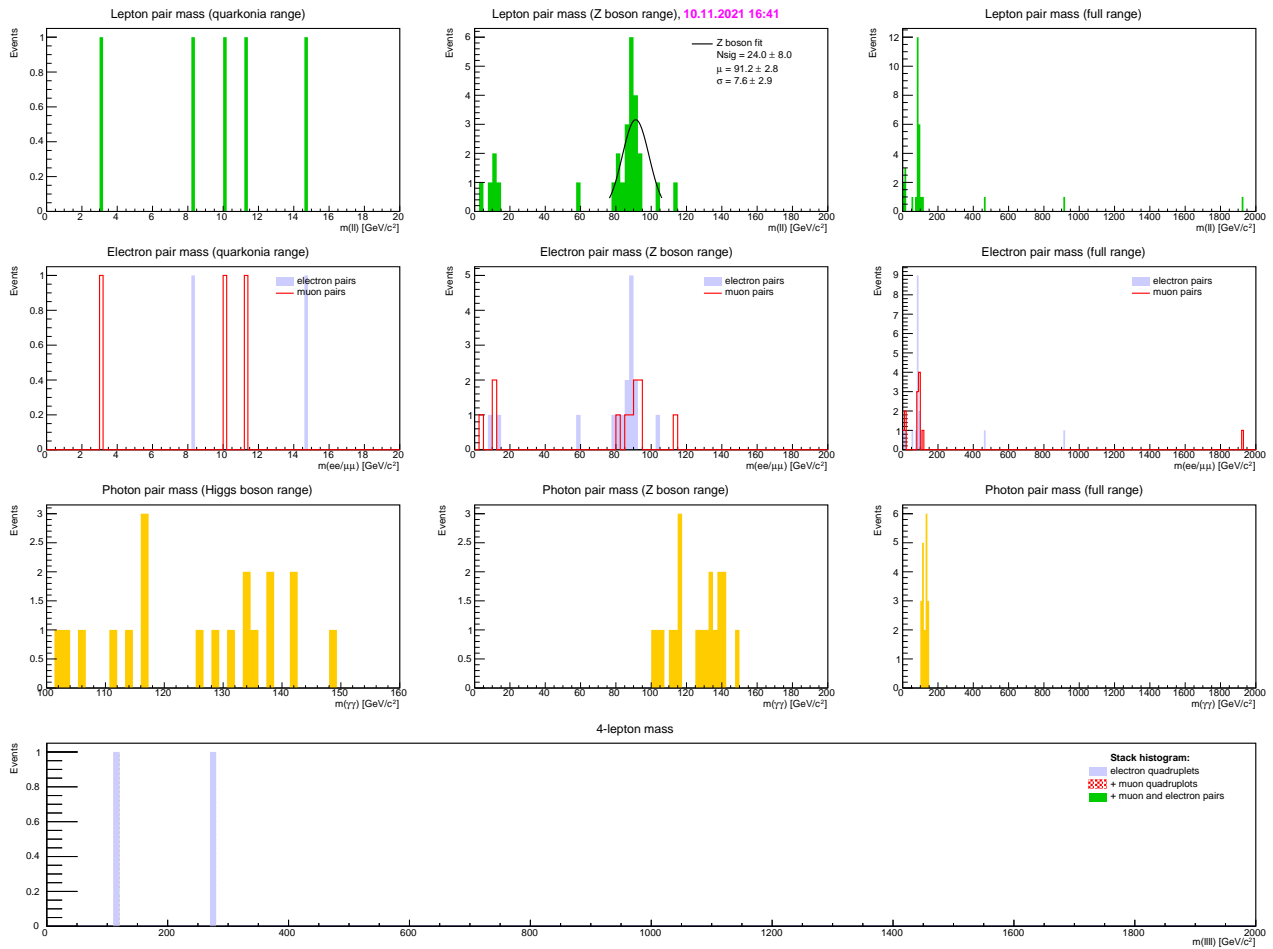
Obr.4: Mion-antimionová událost - podélný průřez detektoru [1]



Obr.5: Fotonová událost - příčný a podélný průřez detektoru, fyzikální objekty [1]

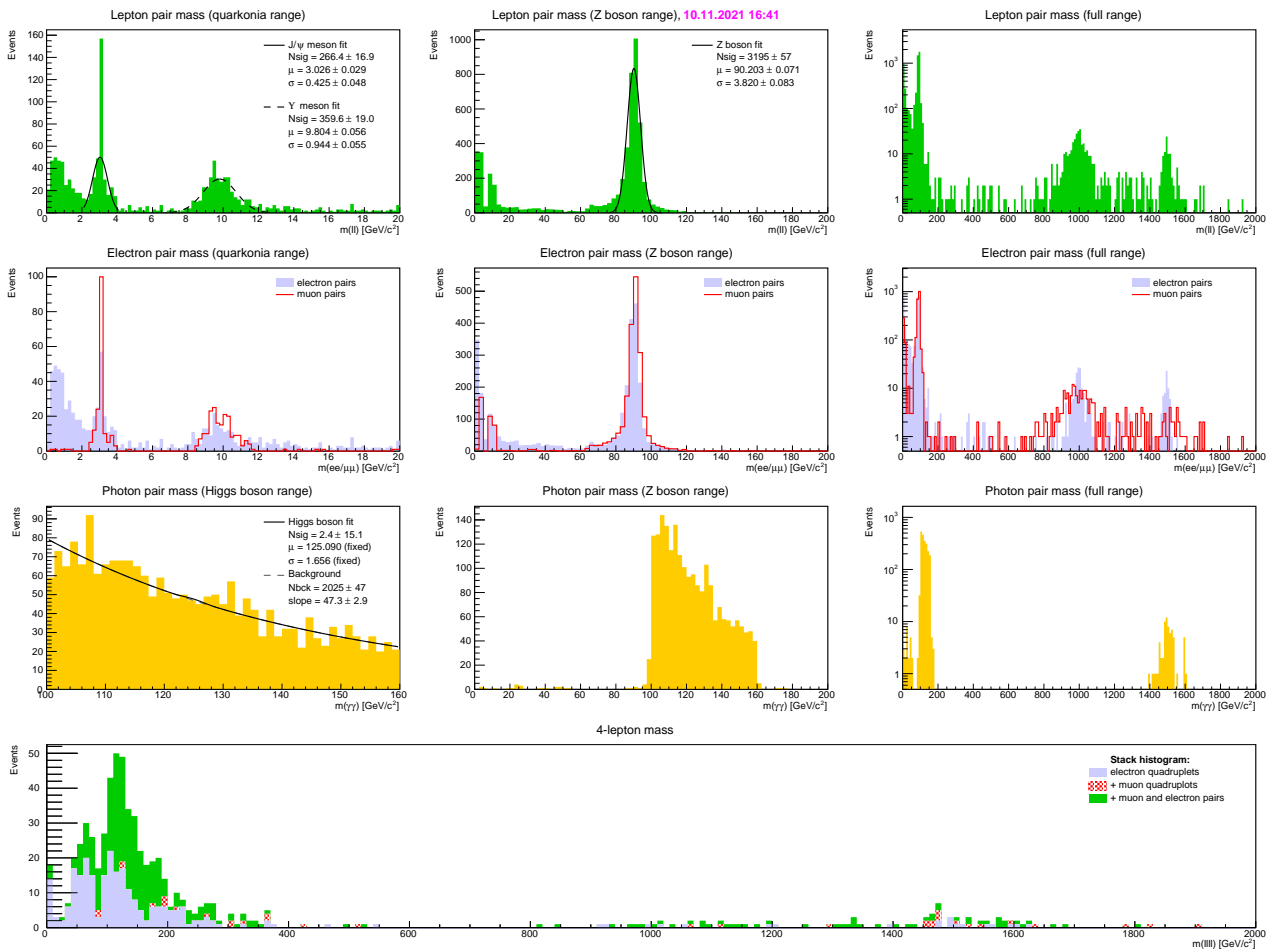
2, 3) Histogram invariantních hmotností pomocí programu ROOT

Data nám zpracoval progránek ROOT, který za nás spočetl invariantní hmotnosti a vykreslil je do následujícího grafu:



Obr.6: Histogramy invariantní hmotnosti (1 měření)

Lepších výsledků dosáhneme, pokud vyneseme do grafu všechna dosavadně naměřená data od studentů (zvětšíme statistický vzorek):

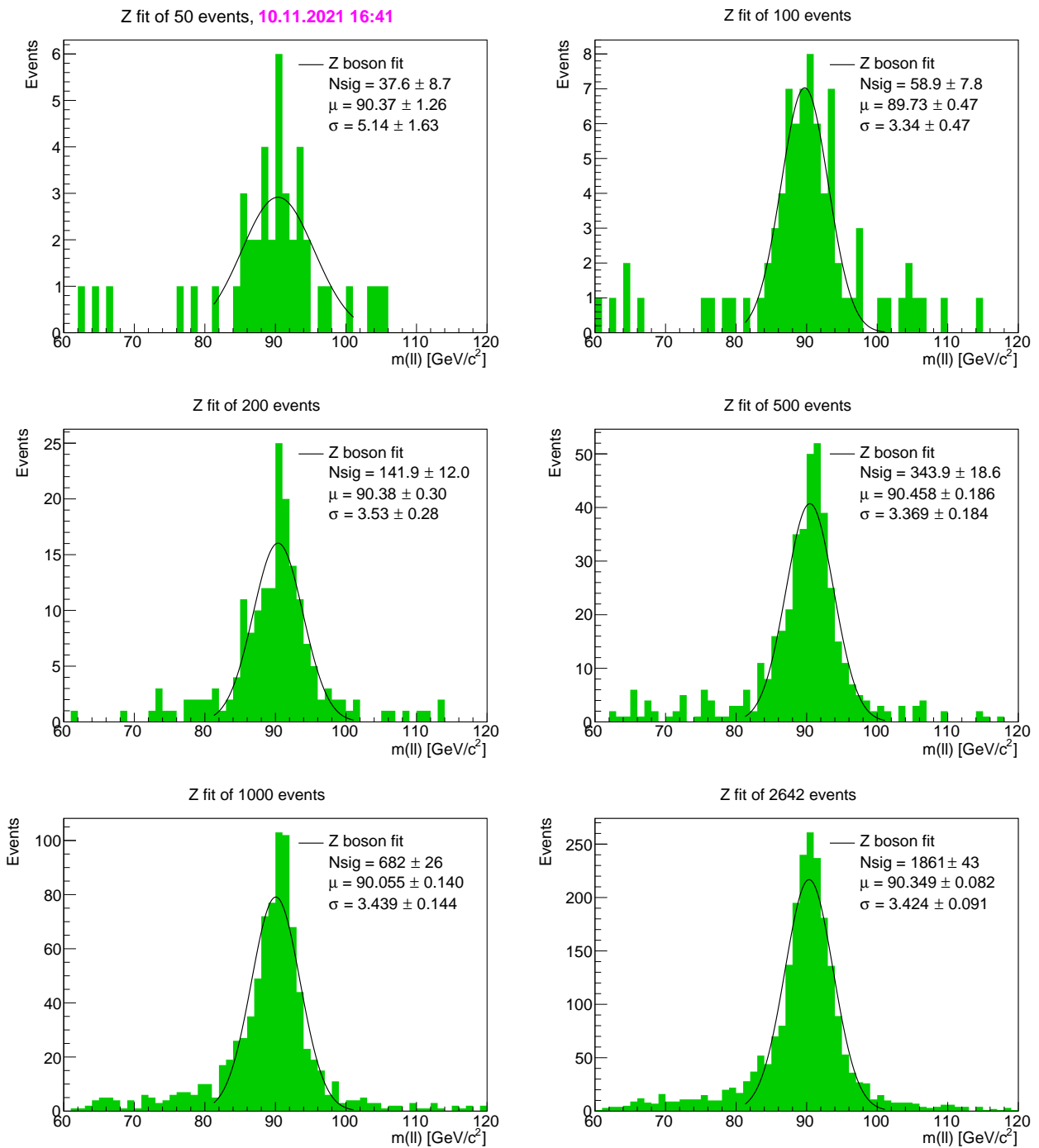


Obr.7: Histogramy invariantní hmotnosti (všechna měření)

Zde můžeme již vidět jasné projevy bosonu Z na hladině cca $90 \text{ GeV}/c^2$



Naměřené hodnoty Gaussovské relace (3) pro Z boson pro různé velké statistické soubory jsou uvedeny na Obr.8:

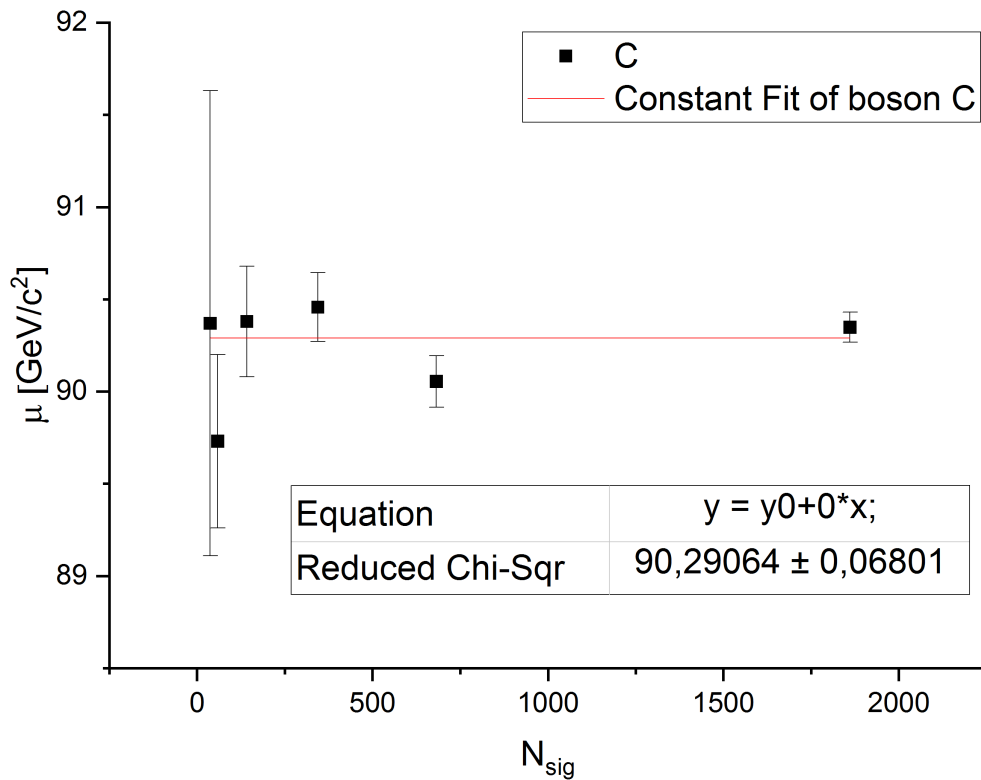


Obr.8: Prokládání gaussovské relace pro Z boson

4, 5) Chyba střední hodnoty invariantní hmotnosti Z bosonu

Hodnoty z obr.8 jsme vynesli 2 grafů a proložili jsme je odpovídajícími závislostmi v programu Origin.

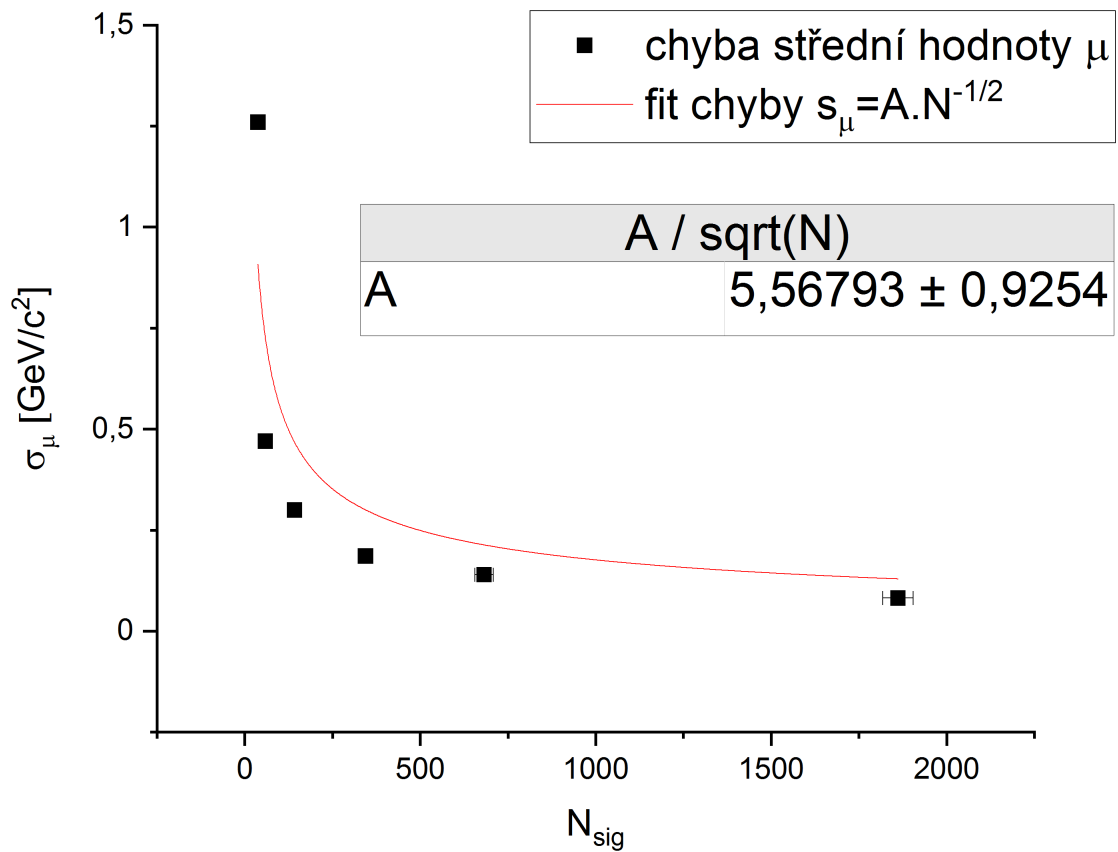
Nejprve závislost parametru μ na počtu měření N_{sig} :



Graf.1: Závislost střední hodnoty invariantních hmotností na počtu signálů

Tuto závislost jsme proložili konstantní funkcí. Vidíme, že naměřené hodnoty okolo ní oscilují.

Do dalšího grafu jsme pak vynesli závislost chyby určení parametru μ alias σ_μ na počtu měření N_{sig} :



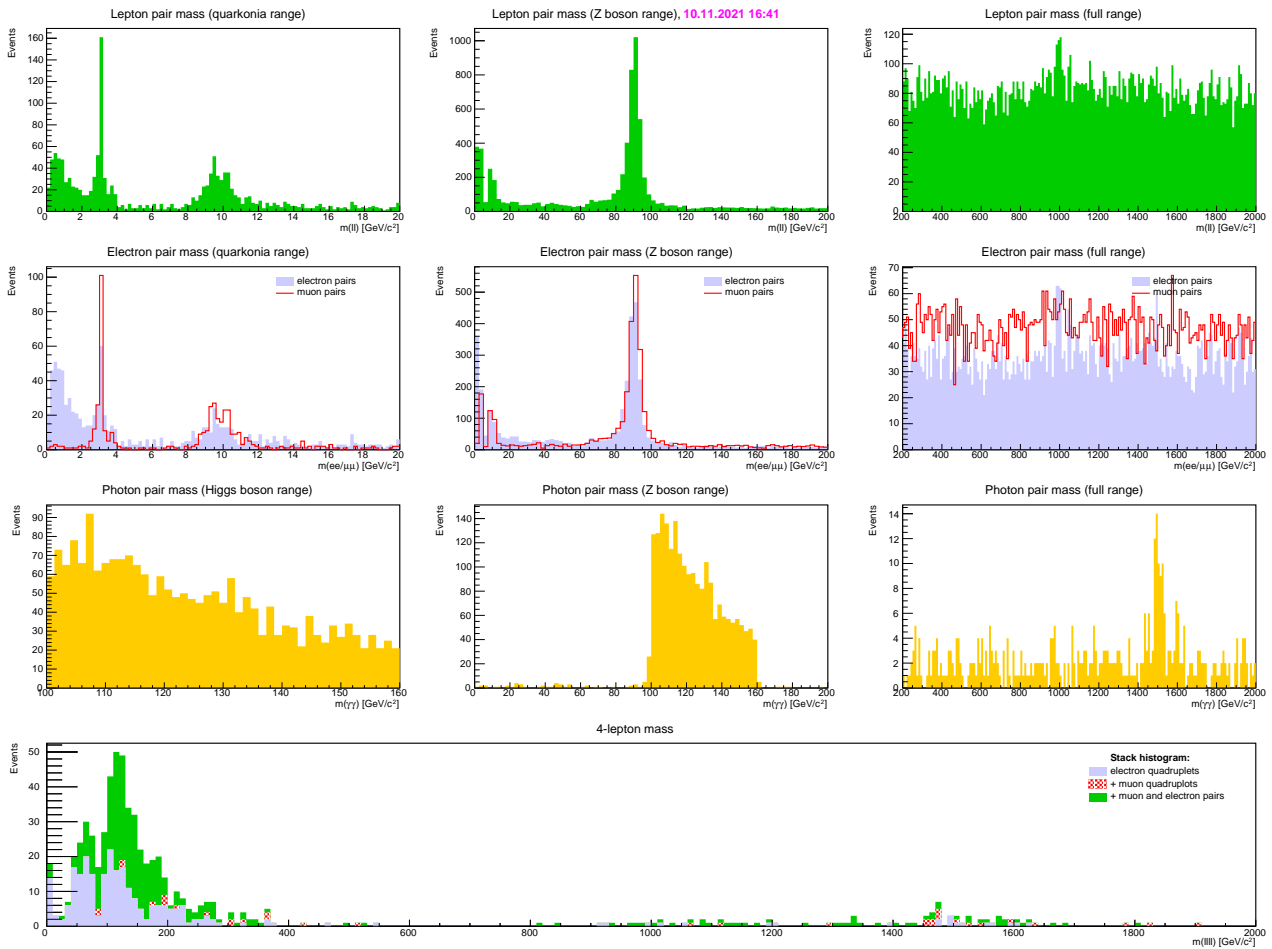
Graf.2: Závislost odchytky střední hodnoty invariantních hmotností na počtu signálů

Tyto hodnoty jsme proložili Gaussovskou relací (3).

Vidíme, že hodnoty σ dopočítané programem ROOT v rámci chybového rozsahu souhlasí s námi dopočítanými hodnotami pomocí fitování závislosti.

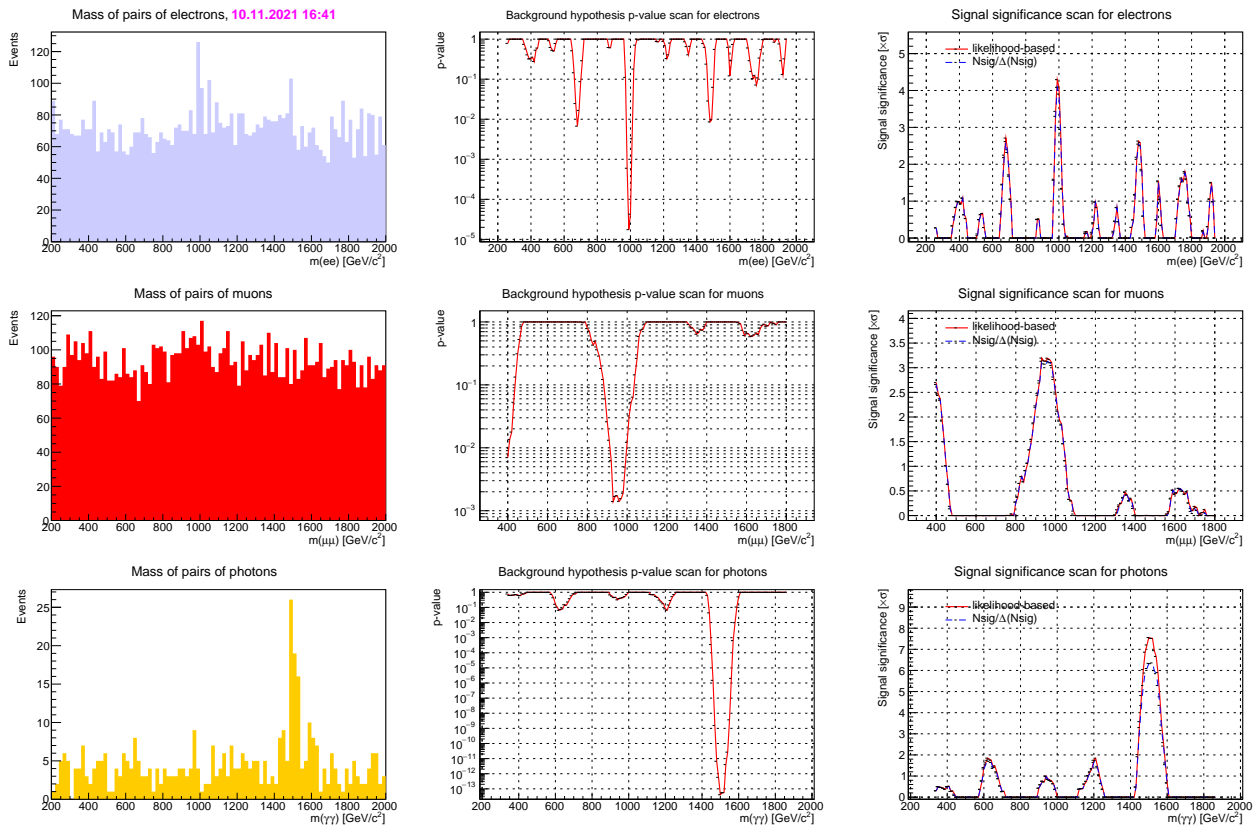
6) Objevování nových částic

V poslední části úkolu jsme si zahráli na objevitele. Do naměřených hodnot nám počítač automaticky vygeneroval hodnoty šumu pozadí a vznikl tak obrázek 9:



Obr.9: Invariantní hmotnosti po přidání pozadí

Nakonec jsme nechali počítač dopočítat statistické hodnoty signifikance Z a pozadí p a dostali jsme následující výstup:



Obr.10: Statistický test

Abychom mohli prohásit, že byl učiněn objev, musely by být hodnoty signifikance a pozadí následující:

SIGNIFIKANCE $Z \geq 5$ nebo $p \leq 10^{-7}$

Vidíme, že toto je splněno pro fotonové události na hmotnostech cca $1500 \text{ GeV}/c^2$. Tam jsme objevili novou částici! Jsme pařboidní!

Pro hodnoty SIGNIFIKANCE $Z \geq 3$ máme pro mionové události podezření na novou částici na hmotnostech cca $1000 \text{ GeV}/c^2$

Diskuze

Jsme pozitivní, s rostoucím vzorkem statistickým se naše hodnoty zlepšují!



Závěr

Zpracovali jsme 50 událostí z datové sady č.5 pomocí programu HYPATIA.

Stanovili jsme chybu střední hodnoty invariantní hmotnosti bosonu Z . Ověřili jsme, že hodnoty σ dopočítané programem ROOT v rámci chybového rozsahu souhlasí s námi dopočítanými hodnotami pomocí fitování závislosti a to $5,56 \pm 0,93$.

Objevili jsme mezi fotonovými událostmi novou částici na hmotnostech cca $1500 \text{ GeV}/c^2$! Nobelovka nás nemine!

Navíc máme podezření na další novou částici na hmotnostech cca $1000 \text{ GeV}/c^2$.

Reference

- [1] (A1) Objevování částic v detektoru ATLAS v CERN. [Základní fyzikální praktikum]. [online][cit. 15.11.2021]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_401.pdf
- [2] C. Patrignani et al., Review of Particle Physics, Chin. Phys. C40 (2016) s. 100001, Dostupné z: <http://pdg.lbl.gov/index.html>