

## Exkluzivní produkce na LHC (Exclusive production at the LHC)

Filip Nechanský, Školitel: Mgr. Oldřich Kepka, Ph.D.

24. 6. 2016

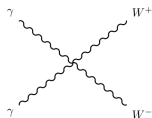
Obhajoba výzkumného úkolu

- ▶ Motivace měření
- ▶ Výsledku z prvního běhu LHC
- ▶ Monte Carlo
- ▶ Korekce
- ▶ Selekcce
- ▶ Předběžné výsledky

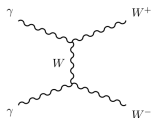
# Motivace pro měření fotonových procesů

## Produkce slabých bosonů

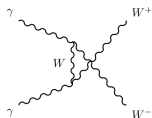
- ▶ Zajímavé hlavně kvůli anomálnímu kvadratickému vertexu



(a) QGC vertex



(b)  $t$ -channel

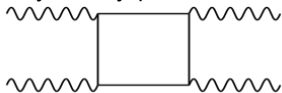


(c)  $u$ -channel

- ▶ Měřeno např. na experimentech ATLAS a CMS

## Rozptyl světla na světle

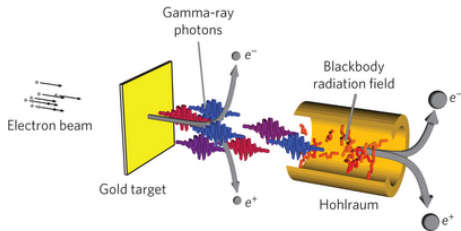
- ▶ Malý účinný průřez, zatím jen horní odhady účinného průřezu



- ▶ Chystá se měření na experimentu ATLAS

# Jak měřit fotonové interakce

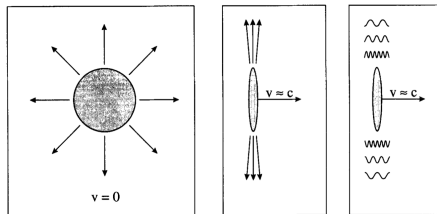
- ▶ Malý účinný průřez, roste s energií kolize
- ▶ Přímé měření pomocí vysokoenergetických fotonů - zatím žádné, je potřeba vysokých intenzit a energií
- ▶ Objevují se různé návrhy:
  - ▶ Lasery (ELI?), dva svazky vysoké intenzity a energie  $\approx MeV$ [2]
  - ▶ Vysokoenergetické fotony brzdného záření ( $\approx GeV$ ) a radiace černého tělesa (velký příspěvek párové produkce)[1]



# Aproximace ekvivalentním fotonem

- ▶ První verze - E. Fermi[3]
- ▶ Kolmá komponenta EM pole ultrarelativistických protonů (nabitých částic) je ekvivalentní kvazi-reálným fotonům
- ▶ Fotonové interakce lze pozorovat ve srážkách protonů

$$\sigma_{A_1 A_2 \rightarrow A_1 A_2 l^+ l^-}^{EPA} = \int \int P(x_1) P(x_2) \sigma_{\gamma\gamma \rightarrow l^+ l^-}(m_{l^+ l^-}) dx_1 dx_2$$



- ▶  $P(x)$  ekvivalentní fotonové spektrum protonu
- ▶ Závisí na impaktním parameteru

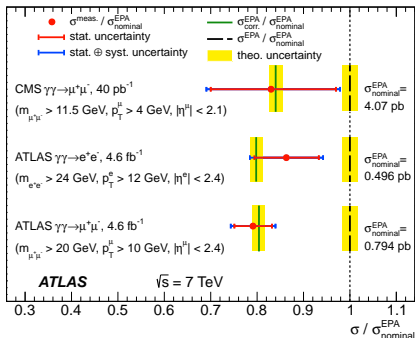
## Motivace měření - dileptony

- ▶ Měřený účinný průřez redukován dalšími interakcemi mezi protony - faktorizováno: "survival factor"
- ▶ Exkluzivní dileptonová produkce jako standardní svíčka exkluzivních procesů
- ▶ Neseperabilní pozadí dalších procesů (high-mass Drell-Yan)
- ▶ Jednoduchý finální stav - dva "back-to-back" miony
- ▶ Účinný průřez z QED

$$\sigma_{\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-} = \frac{4\pi\alpha^2}{s} \left[ \left( 1 + \frac{4m_l^2}{s} - \frac{8m_l^4}{s^2} 2 \ln \left( \frac{\sqrt{s}}{2m_l} + \sqrt{\frac{s}{4m_l^2} - 1} \right) - \left( 1 + \frac{4m_l^2}{s} \right) \sqrt{1 - \frac{4m_l^2}{s}} \right) \Theta(s - 4m_l^2), \right]$$

- ▶ Survival factor závisí na různých kinematických proměnných - můžeme to měřit?

# Předešlá měření

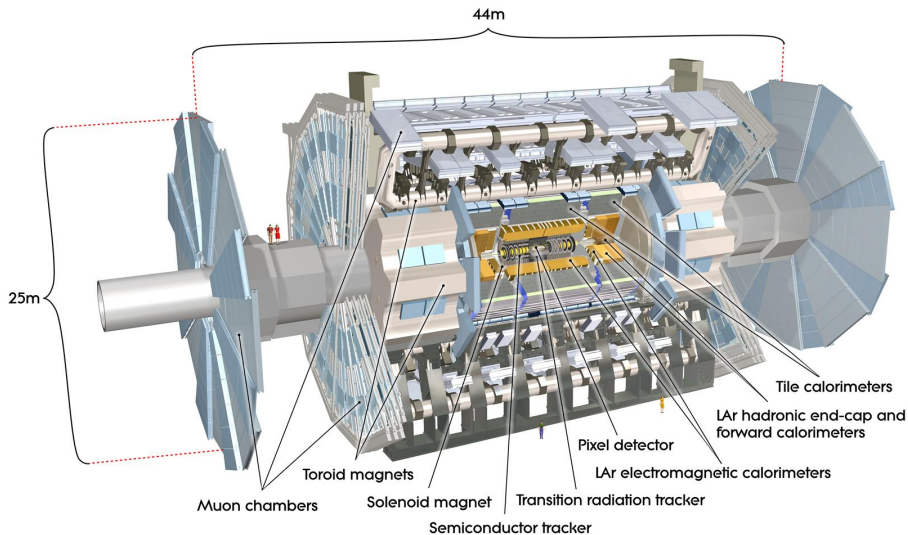


- ▶ Survival factor měření jak na ATLAS na CMS pro 7 TeV
- ▶ Výsledky shodné s teoretickou předpovědí
- ▶ Survival factor má hodnotu kolem 80 %

Měření:  $\sigma_{\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-}^{\text{excl}} = 0.628 \pm 0.032(\text{stat.}) \pm 0.021(\text{syst.}) \text{ pb}$ ,

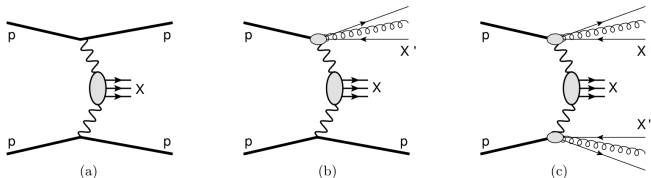
Předpověď:  $\sigma_{\gamma\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-}^{\text{EPA}} = 0.638 \pm 0.011 \text{ pb}$

# Měření na experimentu ATLAS pro $\sqrt{s} = 13$ TeV





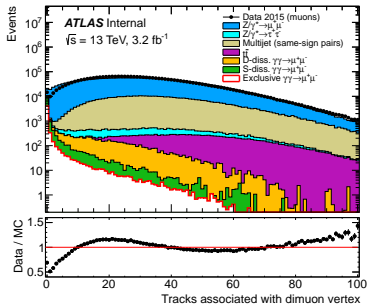
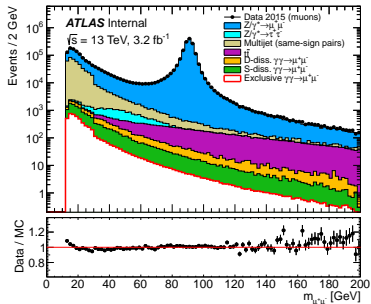
- ▶ Disociace protonů - soft QCD, single- a double disociační komponenta:



- ▶ Dis. komponenta dominuje nad exkluzivní produkcí, redukce selekcí
- ▶ Monte Carlo simulace (pouze  $\mu\mu$ )
  - ▶ Exclusive - Herwig++ (signál)
  - ▶ SDiss - LPair, podstatné neodstranitelné pozadí signálu
  - ▶ DDiss - Pythia 8 (obsahuje efekt "survival factoru")
- ▶ Další (nefotonové) pozadí
  - ▶ Drell-Yan ( $Z/\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$ ) podstatné pozadí v preselekcí
  - ▶ Drell-Yan ( $Z/\gamma \rightarrow \tau^+\tau^-$ )
  - ▶  $t\bar{t} \rightarrow \mu^+\mu^-$
  - ▶ QCD Multijet (mis-identifikace jetů  $b\bar{b}$ ,  $c\bar{c}$ ), odhaduje se z dat

# Preselekcce

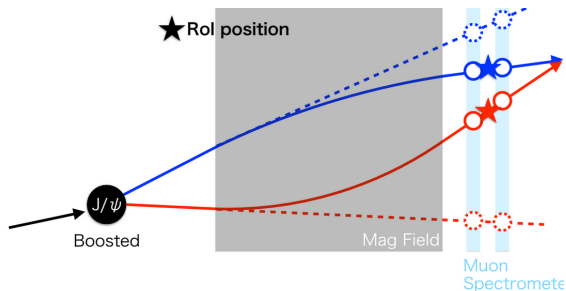
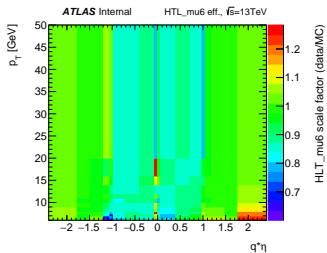
- ▶ Miony: Medium quality,  $p_T > 6$  GeV,  $|d0_{sig}| < 3$ ,  $|z_0 \sin \theta| < 0.5$  mm, gradient loose isolation
- ▶ Nabité částice:  $p_T > 400$  MeV, Tight Primary
- ▶ Selekcce událostí: Triggers, 2 good muons with opposite signs



- ▶ Dominováno Drell-Yanem a Multijet pozadím
- ▶ Potřebná korekcce distribuce počtu částic pro Drell-Yan

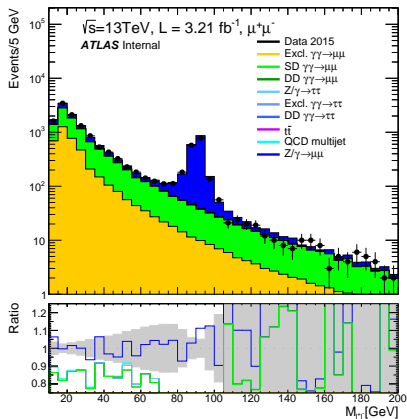
# Efektivita triggeru

- ▶ Rozdíl v efektivitě mezi daty a MC - scale factor
- ▶ Bylo potřeba odvodit pro low-pt ( $\mu\mu 6$ ) trigger
- ▶ Tag and Probe metoda - miony z rozpadu částic, jeden zatrigrovaný mion k selekci událostí, druhý mion jako sonda efektivity
- ▶ Použity rozpady  $J/\psi$  pro nízké hodnoty  $p_T$  a  $\Upsilon$  pro vysoké
- ▶ V současné době snaha o snížení nejistot a validaci



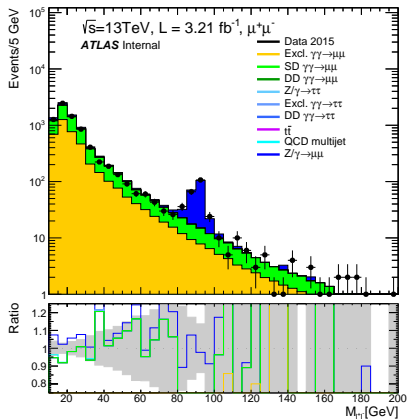
# Exkluzivní selekce

- ▶ Pouze dva miony ve finálním stavu, další srážky protonů (pile-up) znemožňují brát pouze události s dvěma miony
  - cut na další nabitě částice v blízkosti mionového vertexu ( $\Delta z < 1$  mm)



## Další selekce

- ▶ Z resonance -  $m_{ll} < 70$  GeV nebo  $m_{ll} > 105$  GeV
- ▶ Miony "back-to-back"  $\implies$   
 $p_{T,\mu\mu} < 1.5$  GeV cut (naše volba)  
nebo akoplanarita  
 $1 - |\Delta\Phi_{\mu\mu}/\pi| < 0.008$

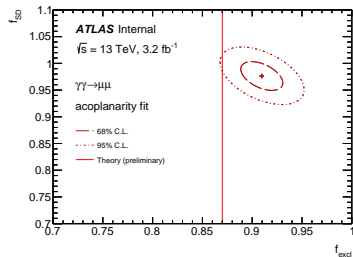
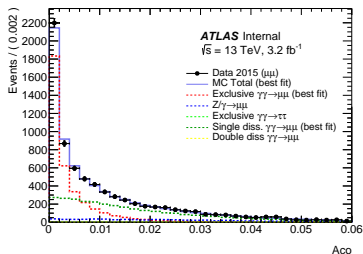


- ▶ Počty událostí pro nejdůležitější distribuce:

Selection	Data	Signal	S-diss.	D-diss.	$Z\gamma / \rightarrow \mu^+\mu^-$	QCD	$t\bar{t} \rightarrow \mu^+\mu^-$
Initial preselection	2933384	5605	8431	7667	2268000	590000	122000
1 mm exclusivity veto	14759	4451	6671	293	3900	50	0
Z region removed	12630	4351	6395	271	2000	50	0
$p_{T,\mu\mu} < 1.5$ GeV	8014	4291	3477	58	690	15	0

- ▶ 1174 signálních událostí pro 7 TeV vs 4291 pro 13 TeV
- ▶ Po exkluzivní selekci stále SDiss složka, nedá se odlišit (produkty mimo akceptanci detektoru - dopředné detektory?)
- ▶ Zvýšení počtu událostí díky většímu účinnému průřezu a zahrnutí nízkých hybností (použití triggeru pro nízké hybnosti mionů)

# Fit - předběžné výsledky



► Pro změření survival factoru se používá likelihood fit: Exkluzivní a single-diss. komponenta fitnutá na data

► Fit proveden v acoplanaritě:

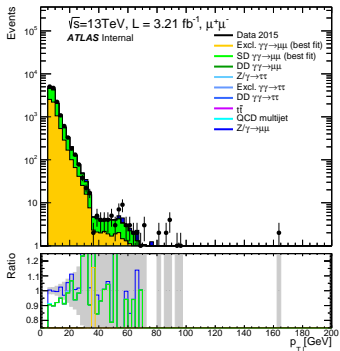
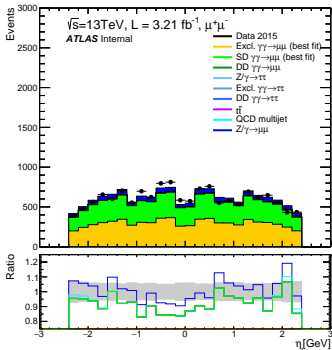
$exclratio(aco) :$

$$0.9086 + 0.0212 - 0.0210(stat)$$

► Surv. factor kolem 91%, předběžná teoretická hodnota nižší ( $\approx 87 \pm 2\%$ ), ale kompatibilní

► Předběžná systematická chyba 4%, očekává se snížení

# Kontrolní obrázky - aplikace survival factoru na data








Po kompletní selekci, dobrá shoda data/MC v rámci statistické chyby.



- ▶ Dileptonová produkce jako standartní svíčka exkluzivní photonové fyziky
- ▶ Určení survival factoru, v současné době měření pro 13 TeV
- ▶ Analýza v pokročilém stavu
- ▶ Potřeba zpřesnit efektivu triggeru a s ní i trigger "scale factor"
- ▶ Také potřeba dodělat systematické chyby
- ▶ Připravuje se "support note", plánuje se i článek
- ▶ Dlouhodobé plány:  $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-$  nebo  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$

# Reference

-  O. J. Pike, F. Mackenroth, E. G. Hill and S. J. Rose, “A photon–photon collider in a vacuum hohlraum,” *Nature Photon.* **8** (2014) 434–436.  
doi:10.1038/nphoton.2014.95
-  X. Ribeyre, M. Lobet, E. D’Humires, S. Jequier, V. T. Tikhonchuk and O. Jansen, “Pair creation in collision of  $\gamma$ -ray beams produced with high-intensity lasers,” *Phys. Rev. E* **93** (2016) no.1, 013201  
doi:10.1103/PhysRevE.93.013201 [arXiv:1504.07868 [physics.ins-det]].
-  E. Fermi, “On the theory of collisions between atoms and electrically charged particles,” *Nuovo Cim.* **2** (1925) 143 doi:10.1007/BF02961914 [hep-th/0205086].
-  Atlas Collaboration, Measurement of exclusive  $\gamma\gamma \rightarrow l^+l^-$  production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=7$  TeV with the ATLAS detector, *Phys.Lett. B* **749** (2015) 242-261
-  G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], “Studies of the performance of the ATLAS detector using cosmic-ray muons,” *Eur. Phys. J. C* **71** (2011) 1593 [arXiv:1011.6665 [physics.ins-det]].

# Back-up

# Analyzační software - ATLAS

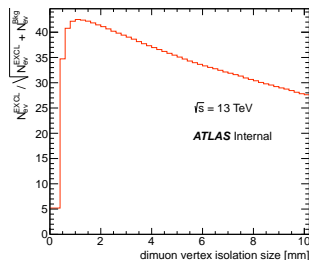
- ▶ RootCore framework
- ▶ AnalysisBase 2.4.5:
  - ▶ InDetTrackSelectionTool, TrackVertexAssociationTool, InDetTrackSmearingTool
  - ▶ Pileup reweighting tool
  - ▶ Muon efficiency correction, momentum scale/resolution correction
  - ▶ Muon isolation correction
  - ▶ Muon trigger efficiency correction (only for high-pt triggers)
- ▶ RooFit na Fitting
- ▶ Kobayashi Tool na určení Trigger efficiency

# Optimalizace exkluzivní selekce

- ▶ Maximalizace signifikance signálu:

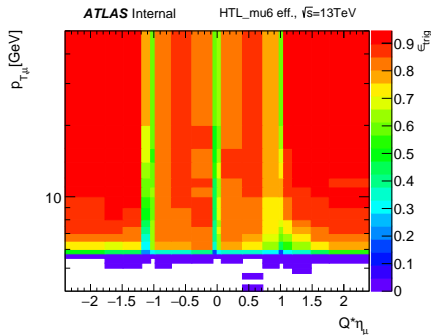
$$\text{significance} = \frac{N_{ev}^{EXCL}}{\sqrt{N_{ev}^{tot}}}$$

- ▶ Maximum v  $\Delta z \approx 1\text{mm}$

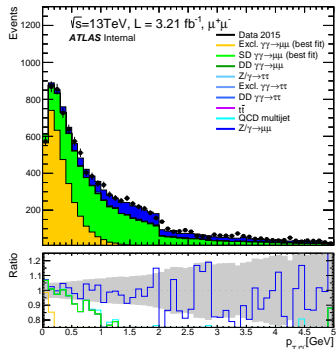
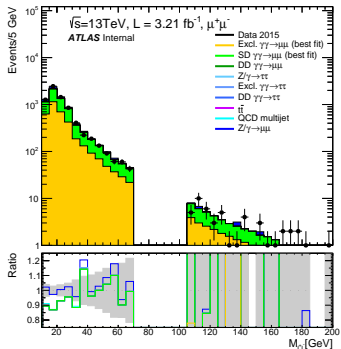


# Data and trigger

- ▶ 3.19 fb dat (celý rok 2015) v porovnání s 4.6 fb při 7 TeV
- ▶ Uvažujeme:
  - ▶ HLT\_2mu6\_10invm30\_pt2\_z10 for  $12 < m_{ll} < 30$  GeV
  - ▶ HLT\_2mu10  $m_{ll} > 30$  GeV



# Control plots



Pro pravý obrázek zanedbána selekce  $p_{T,\parallel} < 1.5 \text{ GeV}$ , opět dobrá shoda.