

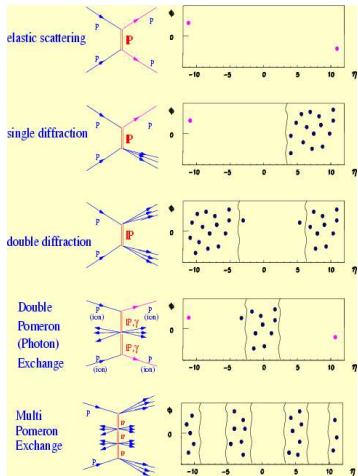
# Dvoufotonové výměny a anomální vazba $WW\gamma$ na LHC

Oldřich Kepka

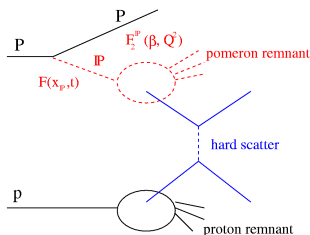
14. února, 2008  
Difrakční seminář, Praha

- Vyzařování pohybující se nabitě částice v QED
- Tříbozonový vertex v EW interakcích
- Účinný průřez  $WW$  produkce a pozadí
- Úhlová rozdělení produktů rozpadu  $WW$

# Typy difrakčních procesů

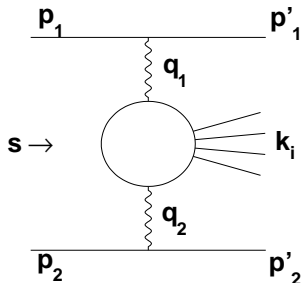


- měkká a tvrdá difrakce



- $\xi = (p_z - p'_z)/p_z \sim 0.001 \dots 0.1$   
rekonstruované dopřednými detektory
- pomeron odnese až 1 TeV
- studuje se struktura pomeronu -  
strukturální funkce  $F(\beta, Q^2)$
- $10^{-3} < \beta < 1$   $Q^2 \sim 10^4 GeV^2$

# Dvoufotonová výměna



- proton předává malou část své hybnosti fotonu  $q_i = p_i - p'_i$
- poměrná ztráta hybnosti protonu -  $\xi_i = (p_{iz} - p'_{iz})/p_{iz} \sim 0.001 - 0.1$
- hmota vzniklého systému  $W^2 = (q_1 + q_2)^2 \sim s\xi_1\xi_2$

nástin odvození, nejprve pro proton jako bodovou částici:

$$i\mathcal{M} = \bar{u}(p'_1)(-ie)\gamma^\alpha u(p_1) \frac{-g_{\alpha\beta}}{q_1^2 + i\epsilon} M^{\beta\gamma} \frac{-g_{\gamma\rho}}{q_2^2 + i\epsilon} \bar{u}(p'_2)(-ie)\gamma^\delta u(p_2) \quad (1)$$

výraz pro účinný průřez - komplikovaný:

$$d\sigma = \frac{4\pi\alpha^2}{q_1^2 q_2^2} \rho_1^{\mu\mu'} \rho_2^{\nu\nu'} M_{\mu'\nu'}^* M_{\mu\nu} \frac{(2\pi)^4 \delta(q_1 + q_2 - k) d\Gamma}{\{4(p_1 p_2)^2 - m_1^2 m_2^2\}} \frac{d^3 p'_1 d^3 p'_2}{2E_1 E_2 (2\pi)^6}$$

$$\rho_i^{\alpha\beta} = \frac{1}{2(-q_i^2)} \text{Tr}[(\not{p}_i + m_i)\gamma^\alpha (\not{p}'_i + m_i)\gamma^\beta]$$

matice hustoty virtuálního fotonu  $i$ :

$$\rho_i^{\alpha\beta} = -\left(g^{\alpha\beta} - \frac{q_i^\alpha q_i^\beta}{q_i^2}\right) C_i(q_i^2) - \frac{(2p_i - q_i)^\alpha (2p_i - q_i)^\beta}{q_i^2} D_i(q_i^2)$$

- proton jako bodová částice:  $C_i(q_i^2) = D_i(q_i^2) = 1$
- pro částici se strukturou:  $C_i(q_i^2), D_i(q_i^2)$  jsou funkce elektrického a magnetického formfaktoru - změřené například v  $ep$

netriviální krok - EPA (equivalent photon approximation)

- hlavní příspěvek pro  $q_i \rightarrow 0$ , tj. oba fotony téměř reálné
- strukturu  $\int M_{\mu'\nu'}^* M_{\mu\nu} \delta(q_1 + q_2 - k) d\Gamma$  určují Wardovy identity
- většina členů vymizí pro  $q_i^2 \rightarrow 0$

$$d\sigma = \left(\frac{\alpha^2}{4\pi^2}\right) \frac{W^2}{s q_1^2 q_2^2} (4\rho_1^{++} \rho_2^{++} \sigma_{\gamma\gamma} + \dots) \frac{d^3 p'_1 d^3 p'_2}{E_1 E_2}$$

už jen přepis (přechod od  $p'_1 p'_2 \rightarrow \omega_1, \omega_2, -q_1^2, -q_2^2, \varphi$ , integrace přes  $\varphi$ )

$$d\sigma = \sigma_{\gamma\gamma} dN_1 dN_2 \quad (2)$$

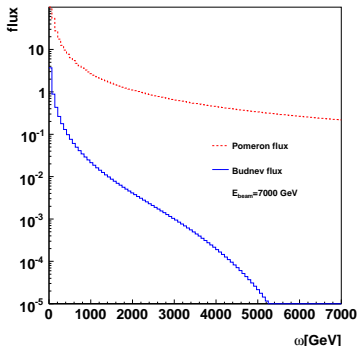
# Ekvivalentní fotonová aproximace

pro spektrum fotonů v EPA [1]:

$$dN = \frac{\alpha}{\pi} \frac{d\omega}{\omega} \frac{dQ^2}{Q^2} \left[ \left(1 - \frac{\omega}{E}\right) \left(1 - \frac{Q_{min}^2}{Q^2}\right) F_E + \frac{\omega^2}{2E^2} F_M \right]$$

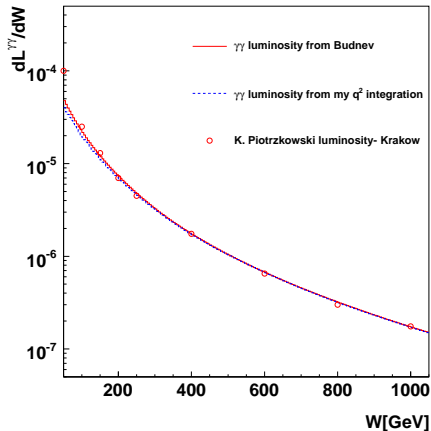
$$Q^2 = -q^2 \quad Q_{min}^2 \equiv m_p^2 \omega^2 / E(E - \omega)$$

...  $F_E, F_M$  - elektrický a magnetický (elastický) formfaktor protonu



- účinný průřez se faktorizuje  $\sigma_{\gamma\gamma}$  a pravděp. vyzáření fotonů o energii  $\omega_i$
- $d\sigma = \sigma_{\gamma\gamma}(W = 4\omega_1\omega_2)N(\omega_1)N(\omega_2) \frac{d\omega_1}{\omega_1} \frac{d\omega_2}{\omega_2}$
- $N(\omega)$  tok fotonů vyintegrováný přes  $Q^2$
- $\omega_{1,2} > 5 \text{ GeV}, Q_{max}^2 = 2 \text{ GeV}^2$

# Efektivní luminozita $pp \rightarrow p\gamma\gamma p$



- $W^2 = 4\omega_1\omega_2$

$$d\sigma = \sigma_{\gamma\gamma}(W) \frac{dL}{dW} dW$$

- $\gamma\gamma$  luminozita spočtená z fotonového toku  $N(\omega)$
- $N(\omega)$  buď vzatý z Budnev et al. [1] ( $Q^2$  vyintegrovaná formule, chyba ve znaménku!), nebo provedena vlastní numerická  $q^2$  integrace

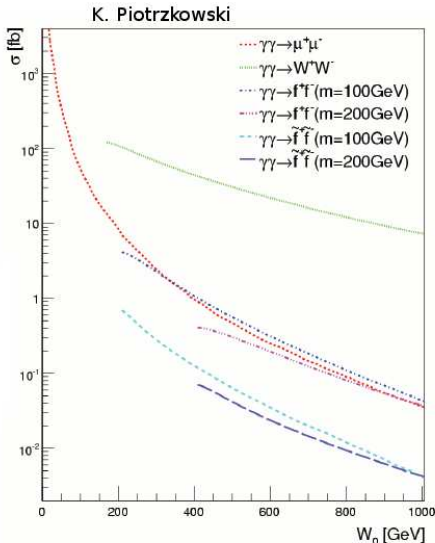
- vypočtená luminozita dobře souhlasí, až na malé hodnoty energie  $W$  systému  $\gamma\gamma$

# Účinné průřezy některých procesů

jako funkce  $W_0$  - minimální invariantní hmotnosti  $\gamma\gamma$

$$\sigma(W_0) = \int_{W_0}^{W_{max}} d\sigma_{\gamma\gamma \rightarrow i \bar{i}}(W) \frac{dL}{dW} dW$$

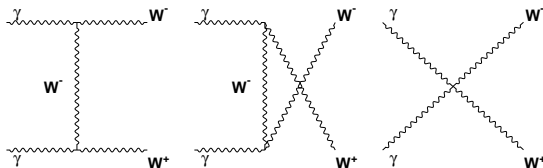
- největší signál  $\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu \doteq 70$  pb
- zajímavý proces  
 $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^- \doteq 100$  fb
- pro hypotetické těžké leptony  
 $f^+f^- \doteq 4$  fb ( $m=100$  GeV)  
 $f^+f^- \doteq 0.4$  fb ( $m=200$  GeV)
- lumi za první 3 roky  $30 \text{ fb}^{-1}$
- den ( $10^5 \text{ s}$ ) při  $\mathcal{L} = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 
  - $\sim 7000 \mu\mu$  událostí
  - $\sim 10 WW$  událostí



Cross sections for  $\gamma\gamma$  processes as a function of the minimal  $\gamma\gamma$  cms energy  $W_0$

# WW produkce ve Standardním modelu

v procesu  $p + p \rightarrow p\gamma\gamma p \rightarrow pW^+W^-p$



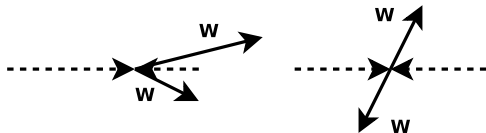
- $\sigma^{pp \rightarrow pWWp} = 95.5 \text{ fb}$ 
  - $\omega_{1,2} > 5 \text{ GeV}$ ,  $Q_{max}^2 = 2 \text{ GeV}^2$ , bez akceptance det.
- 10% rozdíl od  $\sigma^{pp \rightarrow pWWp} = 103 \text{ fb}$  (K. Piotrzkowski)
  - pravděpodobně díky odchylce  $\gamma\gamma$  luminosity pro malé  $W$



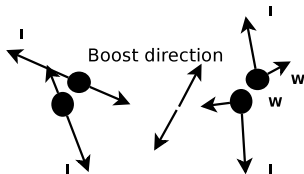
# Topologie konečného stavu

- lepton + jet
- lepton + lepton
- jet+jet - nebereme v potaz, QCD pozadí velké

rekonstrukce W je možná i v případě lepton + lepton události



- boost do CMS WW
- parametry boostu z odražených protonů



- známe velikosti hybnosti produktů v klid. soust W
- $\beta$  boostu W je určeno invariantní hmotností W
- chceme najít směry elektronů v CMS  $\hat{n}_{e1}, \hat{n}_{e2}$  a směr boostu  $\hat{n}_w$
- $\hat{n}_{e1}^{lab} = \alpha_1 \hat{n}_{e1} + \beta_1 \hat{n}_w$
- $\hat{n}_{e2}^{lab} = \alpha_2 \hat{n}_{e2} + \beta_2 \hat{n}_w$

- obecně dvě řešení, jediné řešení ve spec. případě; ještě nevyužita inf.  $E_T^{miss}$

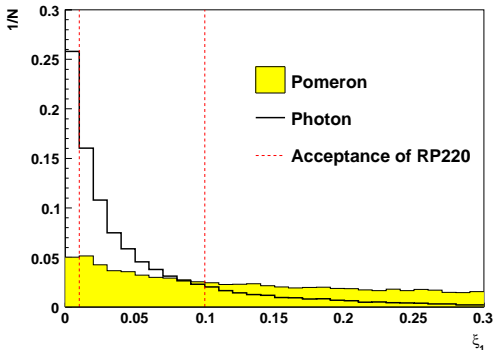
# Pozadí, vliv akceptance

- WW produkované inclusivní difrakcí  $\sigma_{INC}^{pp \rightarrow pWWp} = 64 \text{ fb}$

požadavek rekonstrukce alespoň jednoho letponu

- $\sigma_{\text{signal}}^{n_l > 0} = 27 \text{ fb}$
- $\sigma_{\text{back}}^{n_l > 0} = 17 \text{ fb}$

akceptance detektoru (FP220)  $0.01 < \xi_{1,2} < 0.1$



- QED příspěvek roste rychleji jako funkce  $\xi \rightarrow$  potlačení difrakčního pozadí díky akceptanci
- $\sigma_{\text{signal}}^{n_l > 0, acc} = 11 \text{ fb}$
- $\sigma_{\text{back}}^{n_l > 0, acc} = 0.7 \text{ fb}$

# Tříbozonová $WW\gamma$ interakce

Uvažovaný scénář:

- nové interakce - projevující se při velmi vysokých energiích
- modifikují self-interakci kalibračních bosonů
- projeví se jako malé změny vazbových konstant

Efektivní Lagrangián (zachovává C and P paritu zvlášť ):

$$\mathcal{L}/g_{WW\gamma} = i(W_{\mu\nu}^\dagger W^\mu A^\nu - W_{\mu\nu} W^{\dagger\mu} A^\nu) + i\kappa^\gamma W_\mu^\dagger W_\nu A^{\mu\nu} + i\frac{\lambda^\gamma}{M_W^2} W_{\rho\mu}^\dagger W_\nu^\mu A^{\nu\rho}$$

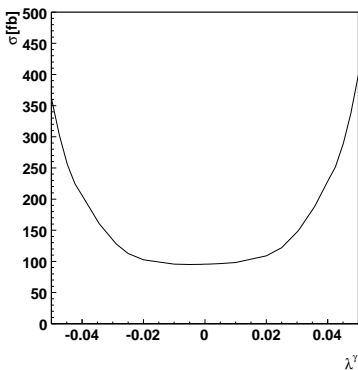
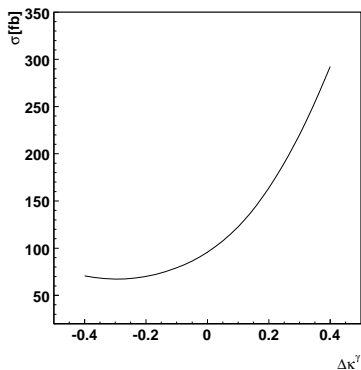
$$\begin{aligned}W_{\mu\nu} &\equiv \partial_\mu W_\nu - \partial_\nu W_\mu \\g_{WW\gamma} &= -e\end{aligned}$$

Interakce ve SM obržíme:

- $\kappa^\gamma \rightarrow 1$
- $\lambda^\gamma \rightarrow 0$

# Totální účinný průřez jako funkce $\Delta\kappa^\gamma$ , $\lambda^\gamma$

- implementace do nového programu FPMC (forward physics monte carlo)
  - zahrnuje relevantní modely difrakce
  - disociace protonu (Vojta J.)
  - maticové elementy s anomální vazbou počítané programem O'Mega



- téměř vždy roste, potřebujeme nějak rozlišit mezi  $\Delta\kappa^\gamma$ ,  $\lambda^\gamma$

# Účinné průřezy & S/B poměr

- současné limity:

$$\text{CDF(2007)} \quad -0.46 < \Delta\kappa^\gamma < 0.39 \quad -0.18 < \lambda^\gamma < 0.17$$

$$\text{DELPHI} \quad -0.19 < \Delta\kappa^\gamma < 0.84 \quad -0.36 < \lambda^\gamma < 0.31$$

- signál ku pozadí pro  $\mathcal{L} = 3 \text{ fb}^{-1}$

	$\Delta\kappa^\gamma = 0.2$	$\lambda^\gamma = 0.04$
$S/\sqrt{B}$	3.8	7.7

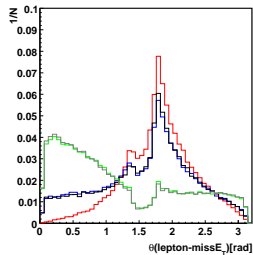
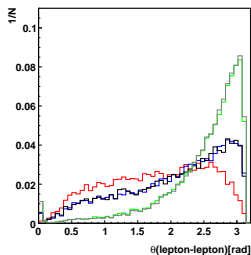
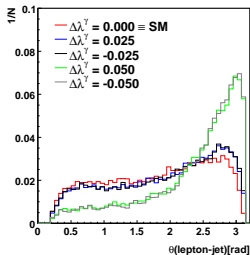
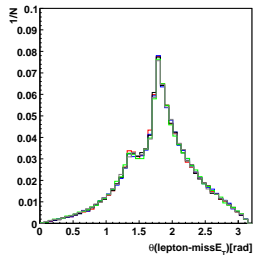
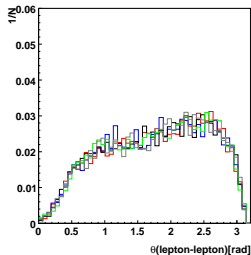
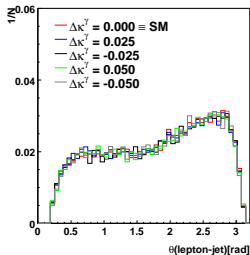
- signál ku pozadí pro  $\mathcal{L} = 100 \text{ fb}^{-1}$

$\Delta\kappa^\gamma$	$\sigma[\text{fb}]$	$S/\sqrt{B}$	$\lambda^\gamma$	$\sigma[\text{fb}]$	$S/\sqrt{B}$
0.1	122	8.9	0.02	109	4.5
0.05	107	3.9	0.015	105	3.2

- zlepšení přesnosti 10 resp. 20 krát pr  $\Delta\kappa^\gamma$  resp.  $\lambda^\gamma$

$$\frac{S}{\sqrt{B}} = \sqrt{\mathcal{L}} \epsilon_{\gamma}^{n_l > 0, acc} \frac{\sigma_{ac}(\Delta\kappa^\gamma, \lambda^\gamma) - \sigma_{SM}}{\sqrt{\sigma_{SM}^2 \epsilon_{\gamma}^{n_l > 0, acc} + \sigma_{B}^2 \epsilon_{\gamma}^{n_l > 0, acc}}}$$

# Úhlová rozdělení $\Delta\kappa^\gamma$ , $\lambda^\gamma$



- tvar rozdělení není tolik citlivý na  $\Delta\kappa^\gamma$ , ale na  $\lambda^\gamma$  ano
- bez akceptance

# Závěr

- poprvé v historii je možno využít hadron-hadron urychlovače jako  $\gamma\gamma$  collideru
- studium  $\gamma\gamma$  produkce různých částic
  
- totální účinný průřez  $pp \rightarrow pWWp$   $\sigma=95.5$  fb  
-chyba v Budnev toku opravena, správná implementace do FPMC  
-předpověď zatím plně nesouhlasí s predikcí ostatních
  
- přesnost současných limitů na anomální vazby může být zlepšena 10-20 krát na LHC (akceptance RP220 vzata v potaz)
- pomocí úhlové závislosti lepton - chybějící  $E_T$  rozlišíme mezi  $\Delta\kappa^\gamma$  and  $\lambda^\gamma$   
 $\Delta\kappa^\gamma, \lambda^\gamma?$

Reference:



V. M. Budnev, I. F. Ginzburg, G. V. Meledin and V. G. Serbo, Phys. Rept. **15** (1974) 181.