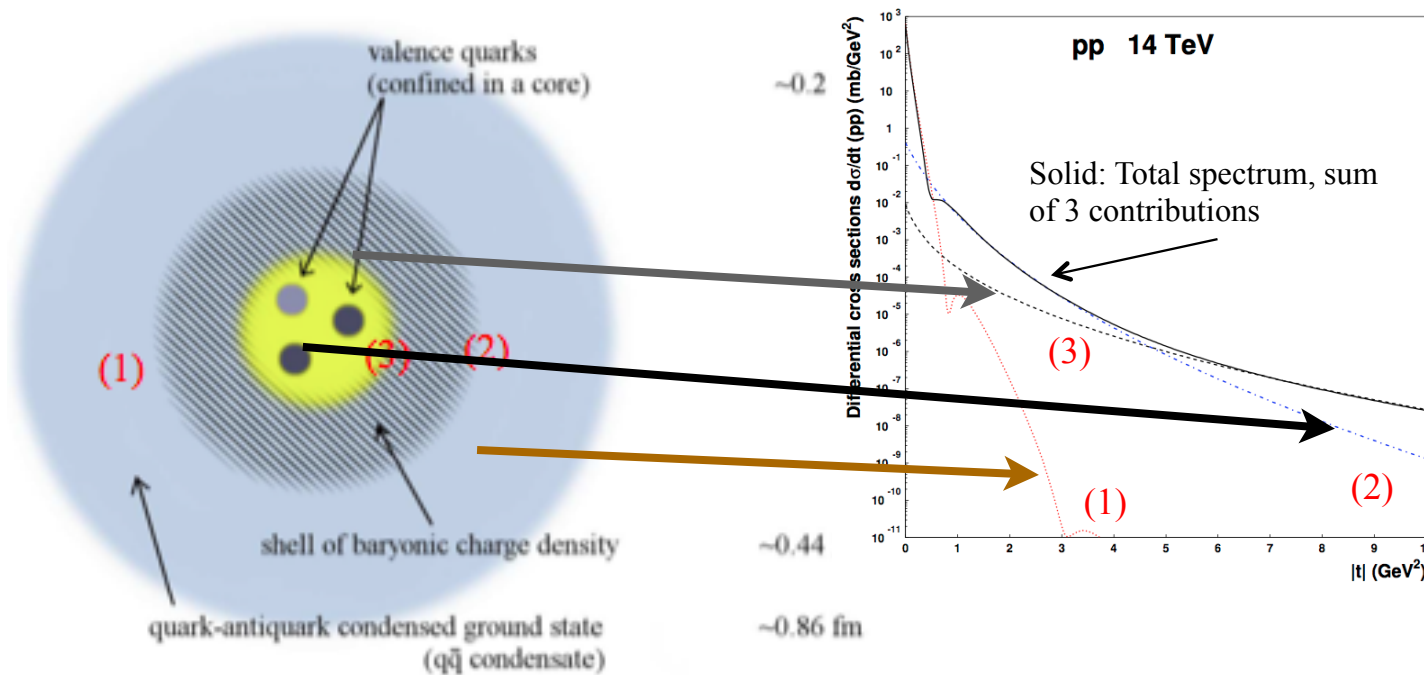


Elastyczny i całkowity przekrój czynny @ LHC

J. Królikowski

Instytut Fizyki Doświadczalnej UW

Elastyczny przekrój czynny pp



Próbkowanie zachodzi dla parametru zderzenia b rzędu:

$$b \sim \frac{1}{\sqrt{t}}$$

Dla małych t elastyczny różniczkowy przekrój czynny spada eksponencjalnie z t :

$$\frac{d\sigma}{dt} = A e^{-B(s)t}$$

Rozpraszanie dla małych t zachodzi przede wszystkim w koronie zewnętrznej

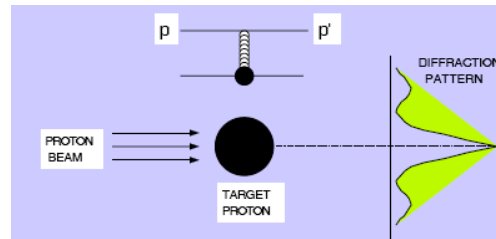
Ograniczenie Froissarta:

$$\sigma_{tot} \leq \left(\frac{\pi}{2m_\pi} \right) \times \ln\left(\frac{s}{1\text{GeV}} \right)$$

~2.4 b @7 TeV

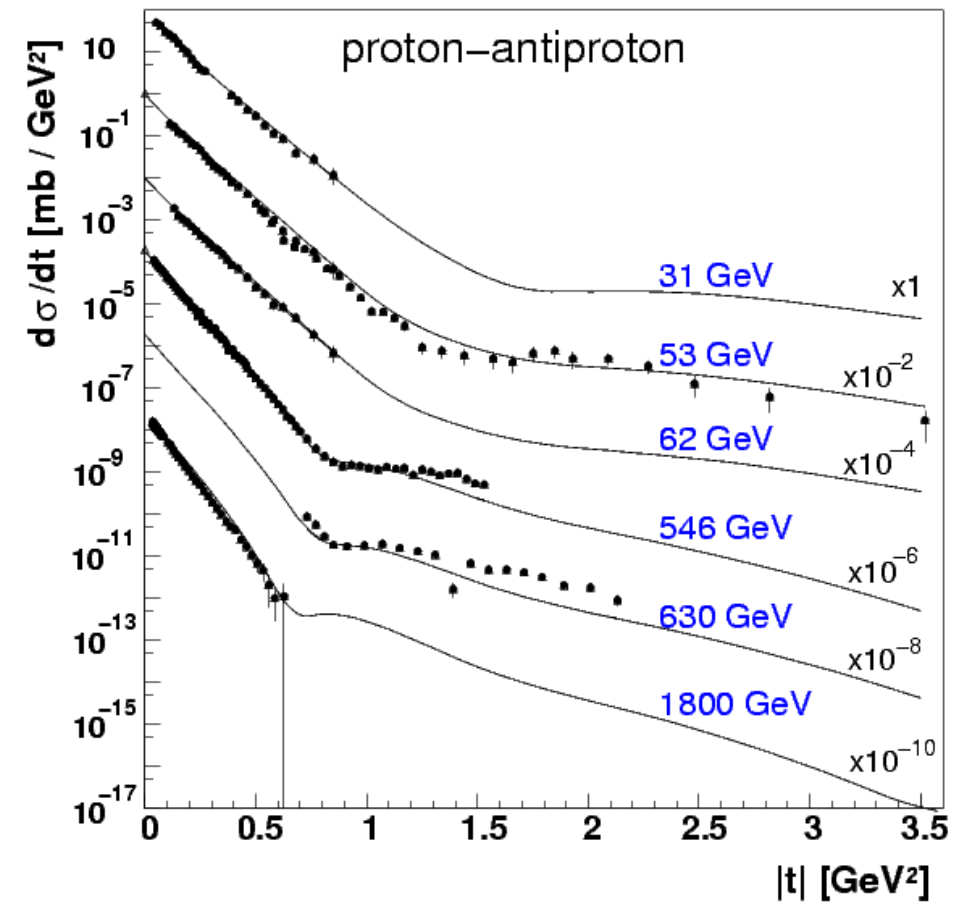
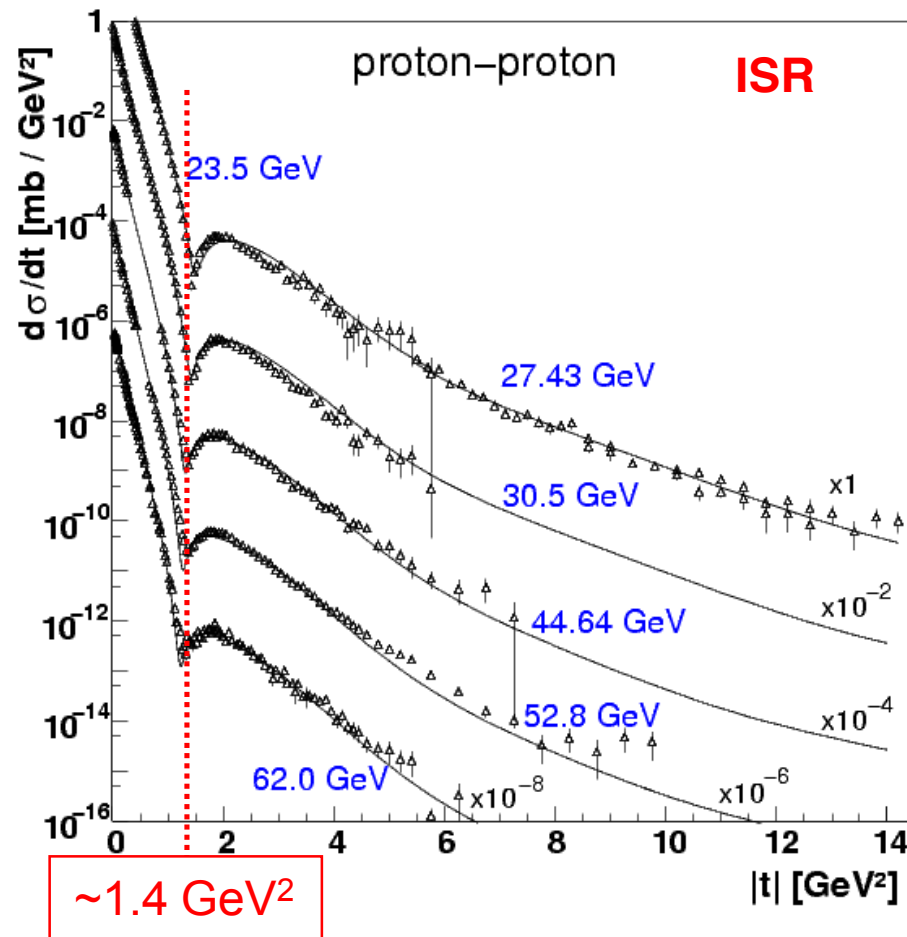
Historia: ISR pp vs TeVatron ppbar

Dyfrakcja Fraunhofer: $|t_{\min}| \cong p^2 \theta^2$



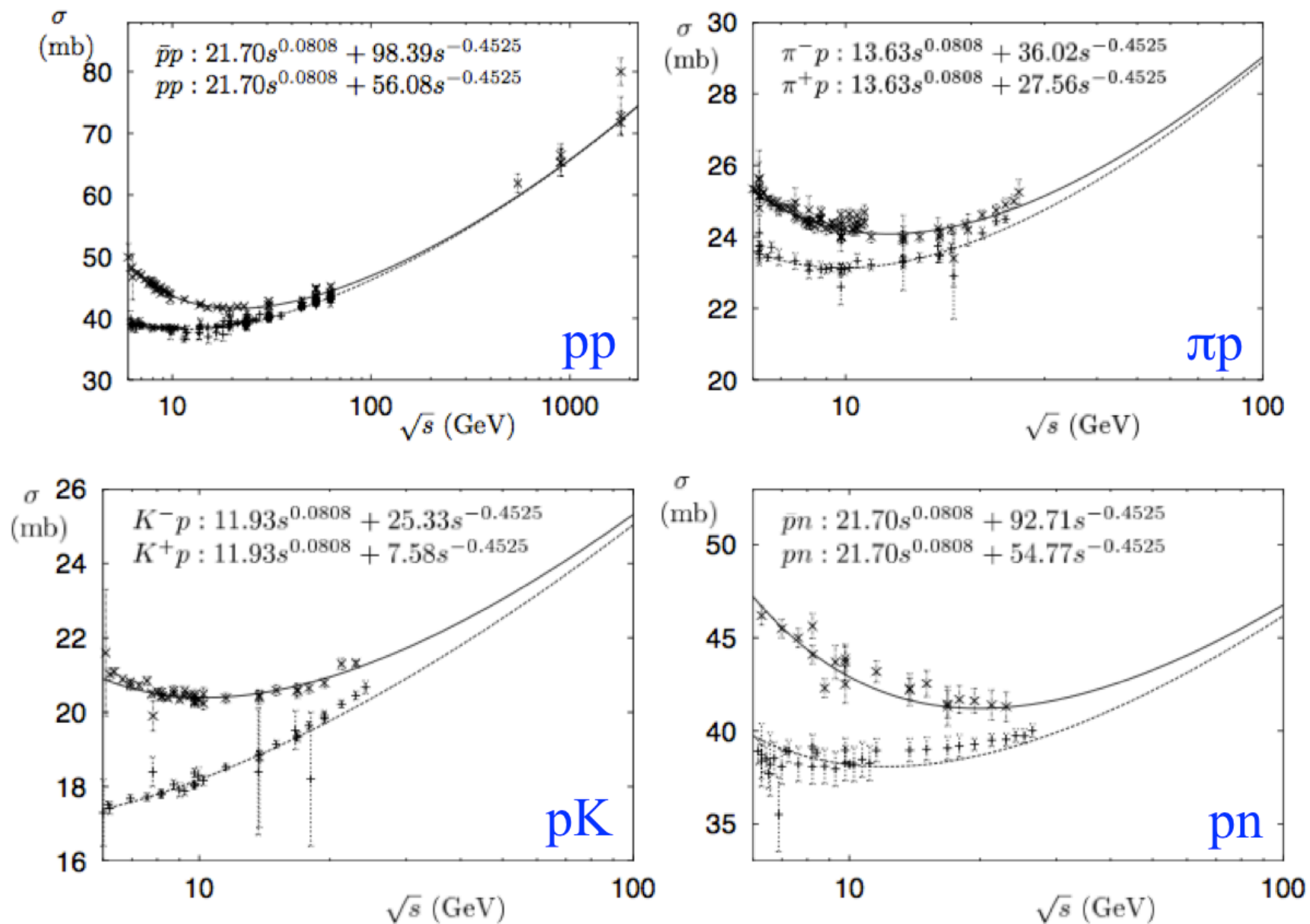
ISR 1972

TeVATRON 2000



Całkowite przekroje czynne vs. \sqrt{s} pre-LHC

S. Donnachie et al, "Pomeron Physics and QCD", Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology (No. 19), July 2005.



Nowe wyniki $\sigma_{\text{tot}} / \sigma_{\text{inel}}$: ALICE, ATLAS, CMS, TOTEM

Przykładowo: S. Chatrchyan et al. Phys. Lett. B722, (2013) 5-27

CMS PAS QCD-11-002

Measurement of the inelastic pp cross section at $\sqrt{s} = 7$ TeV

The CMS Collaboration

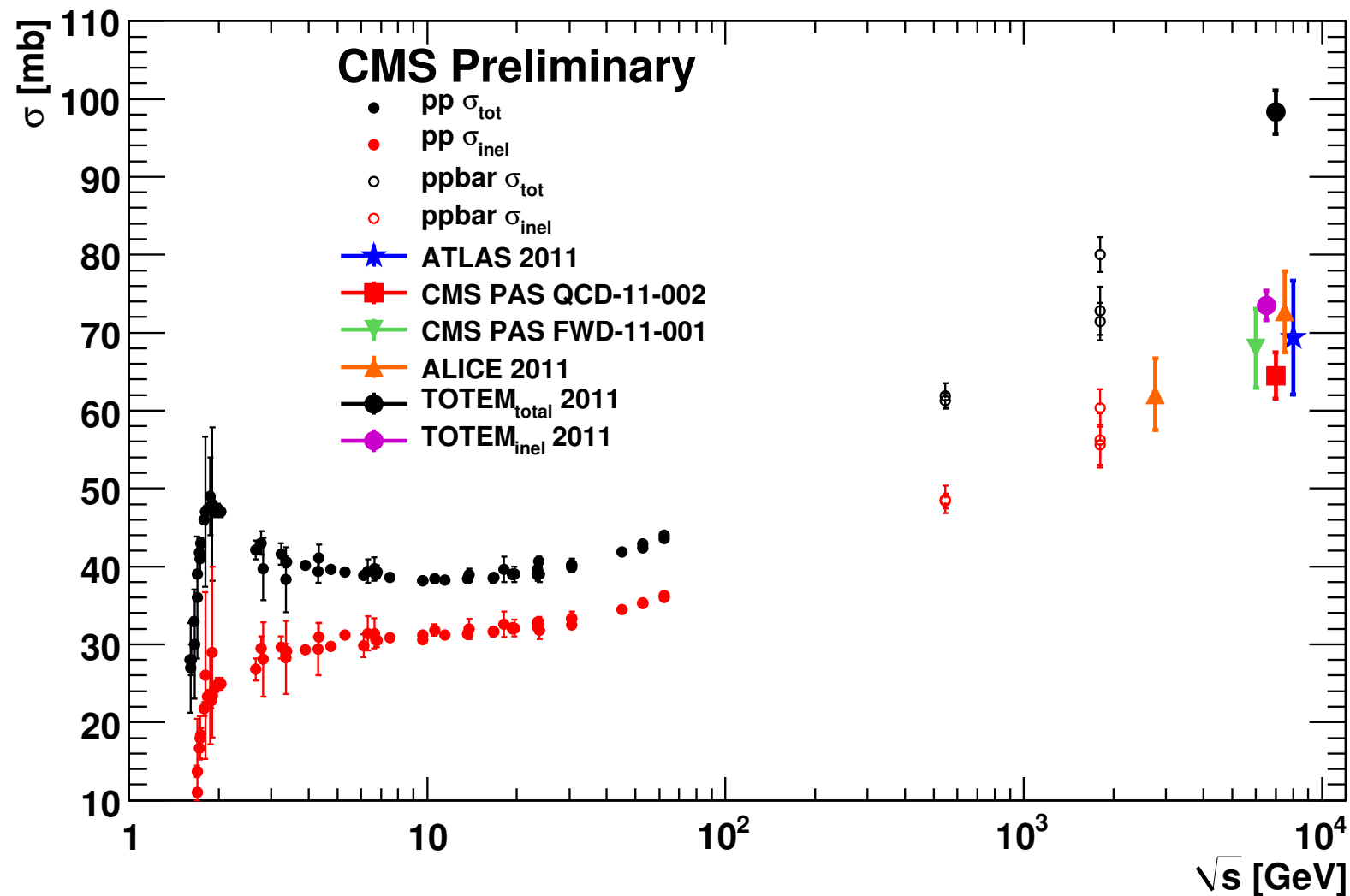


Figure 6: The results from the present CMS inelastic cross section analysis at $\sqrt{s} = 7$ TeV (red square) compared with the results from ATLAS [12], CMS (via pile-up counting) [9], ALICE [21], TOTEM [20] and lower energy pp and $p\bar{p}$ data from PDG [22].

PLAN

1. Przypomnienie podstaw dla zderzeń pp : $d\sigma_{el}/dt$, Re/Im, twierdzenie optyczne, σ_{inel}
2. Normalizacja strumienia: metoda Van der Meera
3. TOTEM— dedykowany detektor do pomiaru $d\sigma_{el}/dt$ w LHC
4. Metody pomiaru i wyniki σ_{inel} w ATLAS i CMS przy $\sqrt{s} = 7$ TeV
5. Wyniki dla promieniowania kosmicznego przy $\langle\sqrt{s}\rangle = 57$ TeV
6. Podsumowanie

1. Przypomnienie podstaw:

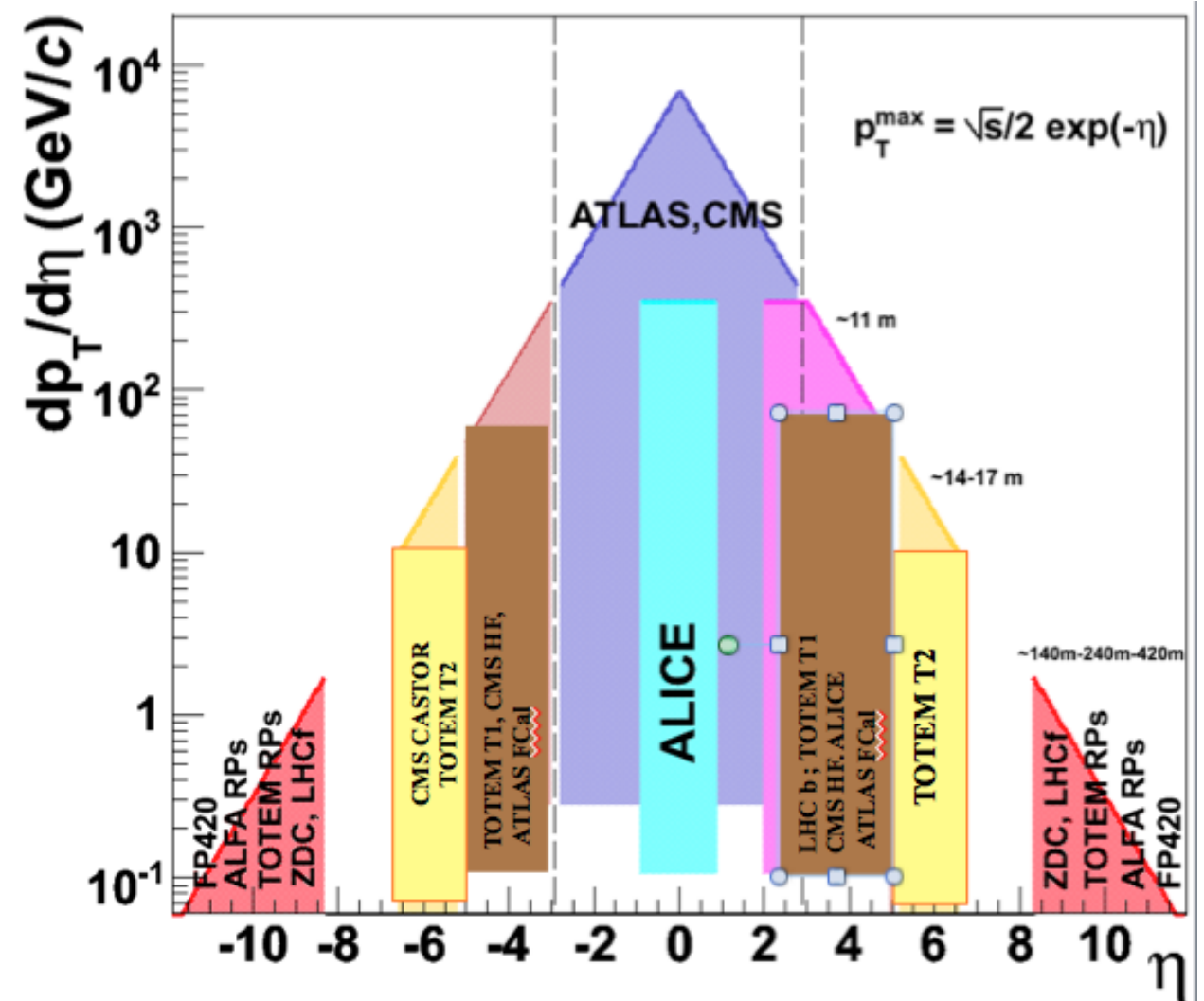
$d\sigma_{el}/dt$, Re/Im, twierdzenie optyczne, σ_{inel}

Terminologia, topologia i metodologia miękkich procesów:

1. **elastyczny pp — —>pp**: 20-25% całkowitego PCz; trudny do pomiaru — wymaga specjalnej aparatury przy małych kątach,
2. **Dyfrakcyjne pp — —> pX (SD) lub XY (DD)**: 25-30% całkowitego PCz; w modelu Regge spowodowany przez Pomeron; rozpoznawanie przede wszystkim przez duże przerwy pomiędzy grupami cząstek na rozkładach y (η),
3. **Niedyfrakcyjne(ND) rozpraszanie pp** — wszystko inne — 50-60% całkowitego PCz; najłatwiejszy do pomiaru — dużo cząstek, które mogą być (łatwo?)

$\sigma_{inel}(pp)$ i $\sigma_{tot}(pp)$

- Pomiar poprzez twierdzenie optyczne i elastyczny przekrój czynny jest najczystsze (TOTEM)
- Eksperymenty przy LHC (ALICE, ATLAS i CMS) mierzą bezpośrednio tylko część przypadków nieelastycznych. Ekstrapolacja do całości wymaga założeń fizycznych, modeli analitycznych i MC
- To samo dotyczy pomiaru przypadków dyfrakcyjnych (SD) przy LHC (także TOTEMu)
- To samo dotyczy eksperymentów promieni kosmicznych (AUGER, HiRes, EAS-TOP, AGASA, Fly's Eye...) choć inna jest systematyka tych pomiarów (patrz Cz.5).

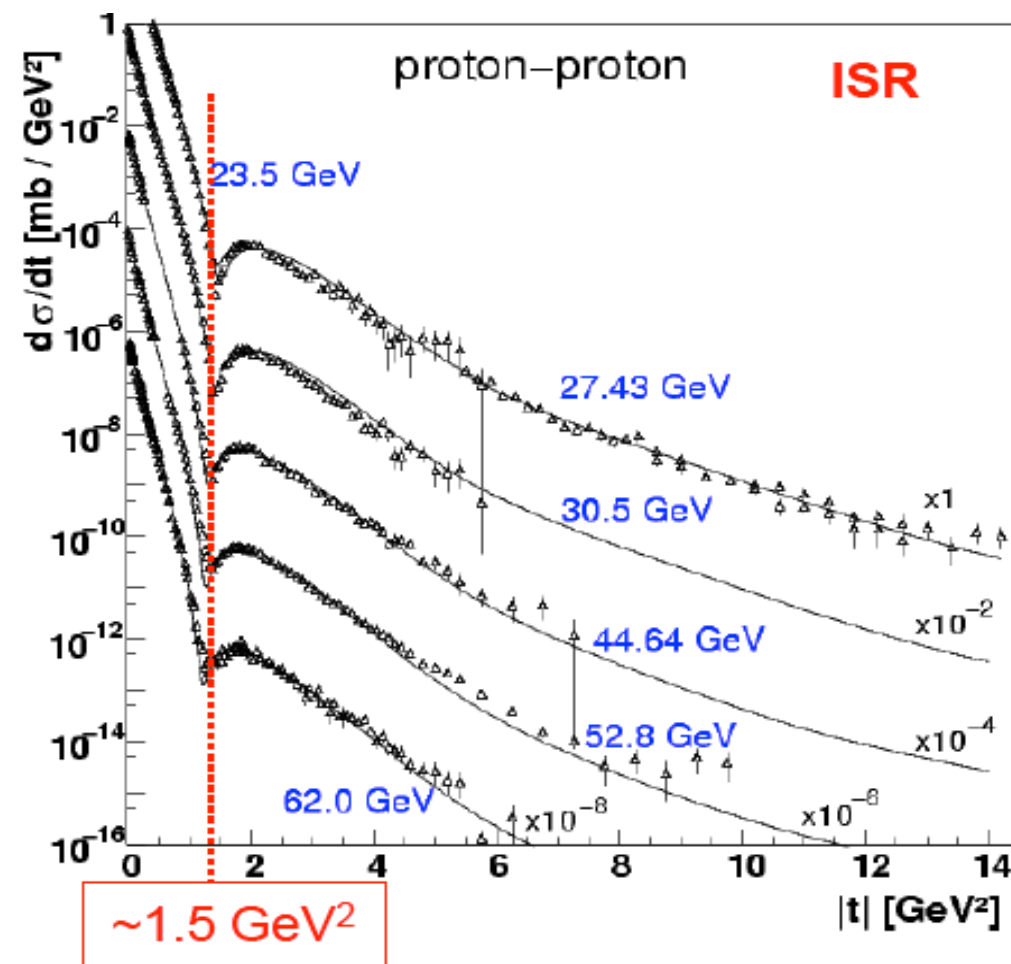


Elastyczny różniczkowy przekrój czynny Struktura dyfrakcyjna z danych ISR

Nachylenie
maksimum
dyfrakcyjnego $B(s)$
dla $t \sim 0$

ROŚNIE z energią —
rozmiar protonu
PUCHNIE!

$$\sqrt{s} = 23.5 - 62 \text{ GeV}$$



Całkowity przekrój czynny

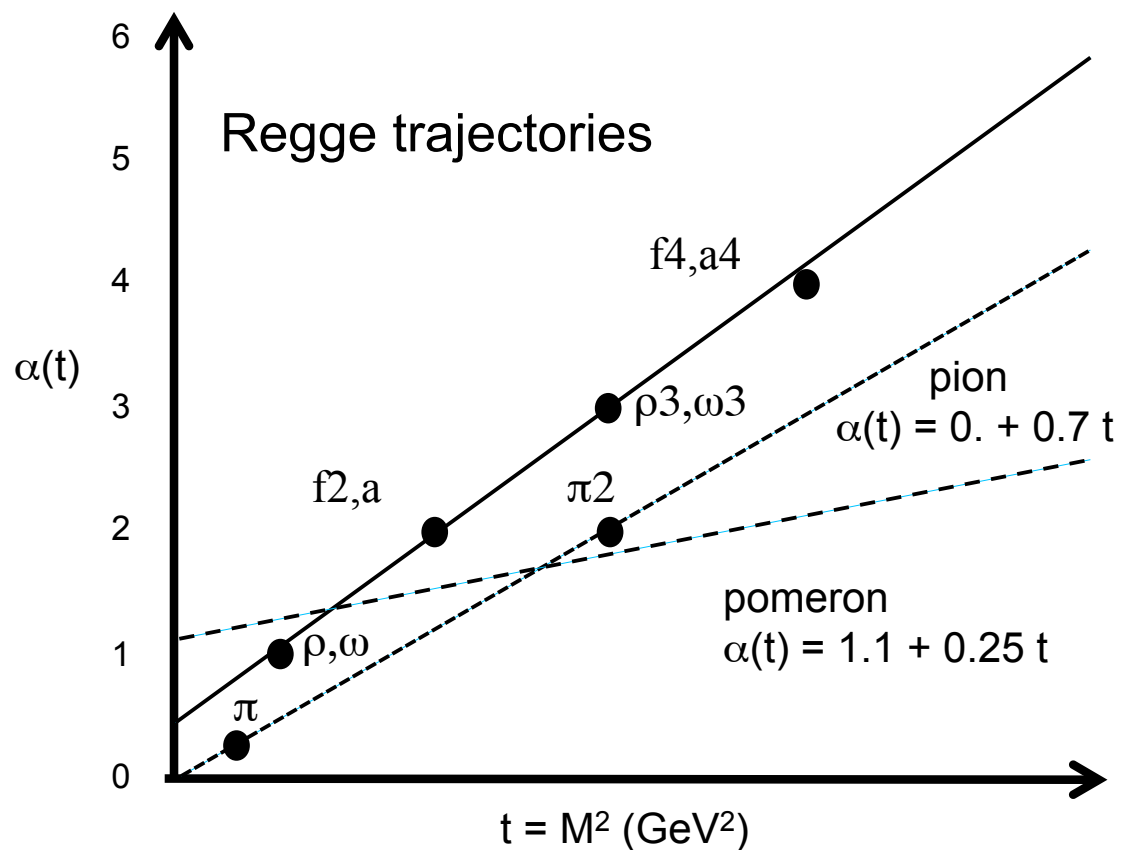
Twierdzenie optyczne

$$\sigma_{tot}^2 = \frac{16\pi (\hbar c)^2}{1 + \rho^2} \left. \frac{d\sigma_{el}}{dt} \right|_{t=0}$$

$$\rho = \frac{\operatorname{Re} A_{el}}{\operatorname{Im} A_{el}} \Big|_{t=0}$$

Podstawy teoretyczne miękkich procesów (elastycznego, dyfrakcyjnych, całkowitego σ)

trajektoria
Pomeronu: $\alpha=1$



To model Regge— wymiana mezonów i pomeronu (glueball?).

Obserwacja doświadczalna— trajektorie Regge— spiny cząstek w funkcji mas układają się na liniach prostych parametryzowanych przez t.zw trajektorie Regge :

$$\alpha(t) = \alpha + \alpha' \cdot t$$

Przekroje czynne:

$$\sigma(s) \sim \text{Im} A(s, t = 0) = s^{\alpha-1}$$

T Regge, Il Nuovo Cimento, 14 (1959) 951; G F Chew and S C Frautschi, Physical Review Letters 8 (1962) 41.

Trajektorie mezonowe:
 $\alpha=0—0.5$

Parametryzacje miękkich przekrojów czynnych

Wkłady od Pomeronu (zależnie od stopnia skomplikowania modeli):

$$\sigma(s) \propto \text{Im}A(s, t = 0) \sim s^{\alpha-1},$$

$$\sigma(s) \propto \text{Im}A(s, t = 0) \sim \ln(s),$$

$$\sigma(s) \propto \text{Im}A(s, t = 0) \sim \ln^2(s),$$

zaś parametryzacje przekrojów czynnych stosowane np. w pakietach obliczeniowych (COMPETE):

$$\sigma(s) = c_1 + c_2 * s^{-0.5} + c_3 * s^{0.08},$$

$$\sigma(s) = c_1 + c_2 * s^{-0.5} + c_3 * \ln^2(s),$$

$$\sigma(s) = c_1 + c_2 * \ln(s) + c_3 * \ln^2(s).$$

2. Normalizacja strumienia:

cluster counting i metoda Van der Meera,

jak to się robi w promieniowaniu kosmicznym — patrz Cz. 5

Na przykładzie CMS.

Wzór podstawowy:

$$L(t) = \frac{R}{\sigma_{\text{vis}} A(t, n_b, \dots)}$$

gdzie: R - liczba przypadków pewnego typu na jedn. czasu, σ_{vis} — przekrój czynny na ten typ przypadków, $A(t, n_b, \dots)$ — akceptacja jako funkcja czasu, liczby przypadków tła (pile-up) etc.

CMS: dwa detektory do pomiaru świetlności: **HF** — kalorymetr do przodu — przede wszystkim wykorzystywany do testów systematyki, i **Pixel Detector** — podstawowy detektor w metodzie cluster counting.

Metoda Cluster counting wykorzystuje dane z przemiatania wiązek metodą Van der Meera.

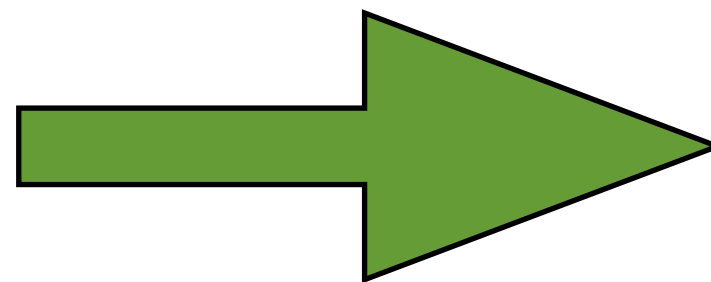
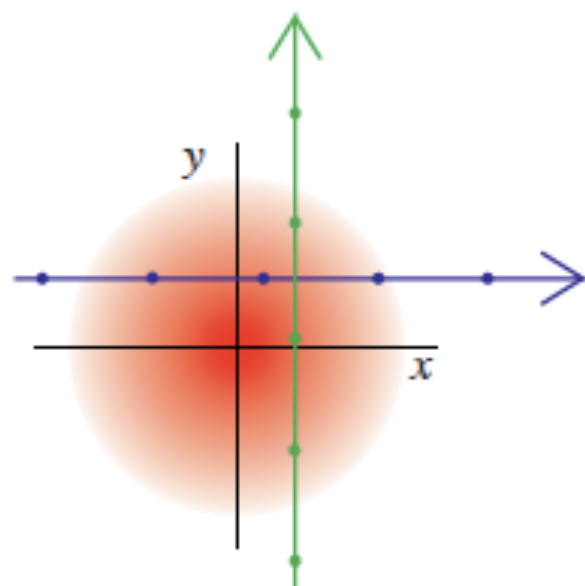
Zbieranie danych dla przemiatania Van der Meera

Wzór podstawowy:

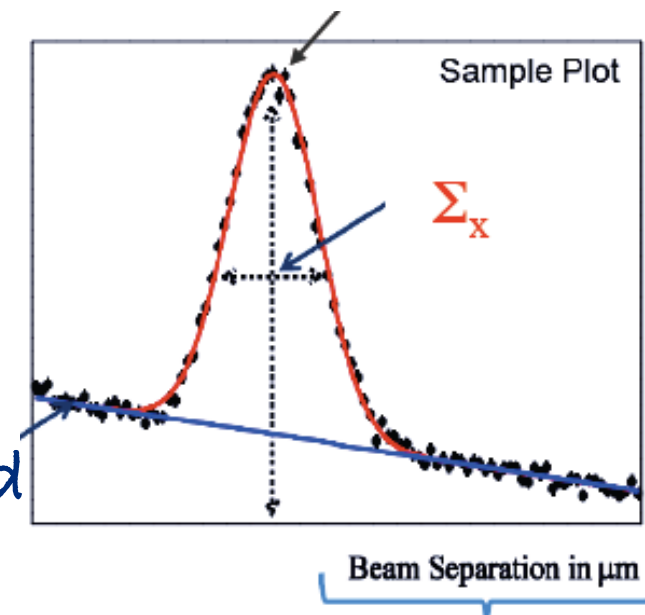
$$\frac{dN}{dt} = \frac{n_{\text{bunch}} f I_1 I_2}{2\pi \Sigma_X \Sigma_Y} \sigma_{\text{vis}}$$

Kilka okresów zbierania danych w 2012 i 2013. Każdy kolejny dostarczał lepszycy danych.

Metoda polega na zmierzeniu profilu poprzecznego wiązek poprzez zmienianie (przemiatanie) położenia pionowego jednej wiązki względem drugiej



Peak Rate $\sim \mathcal{L}'_{\text{inst}} \sigma_{\text{vis}}$

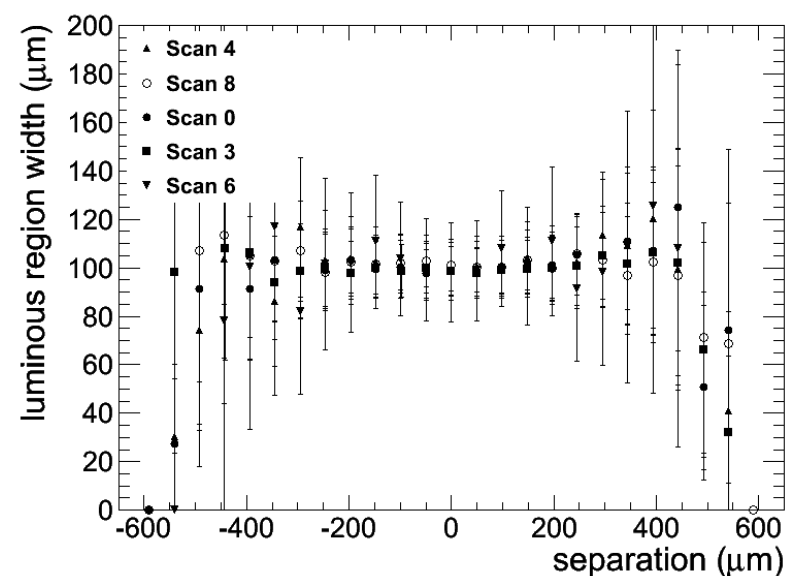
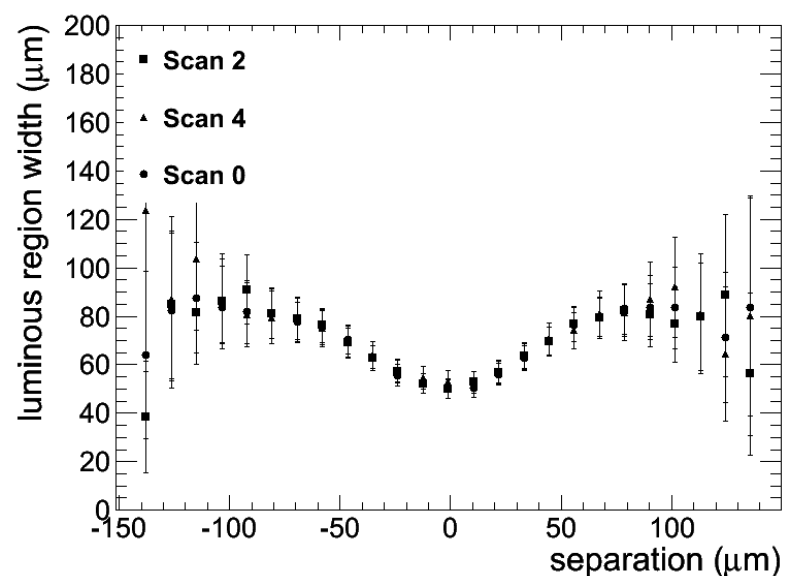
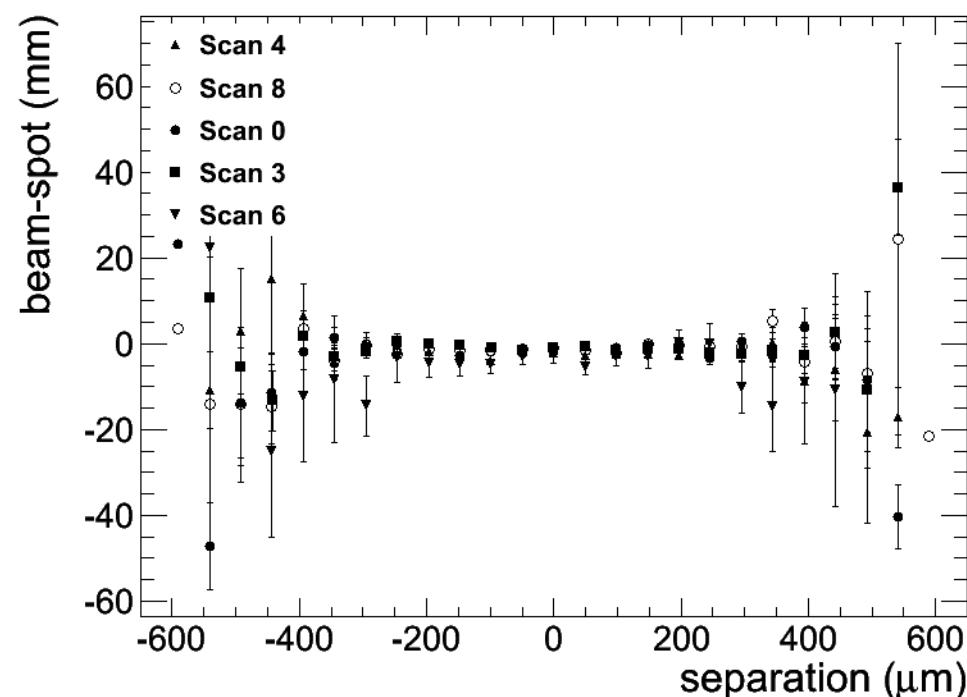
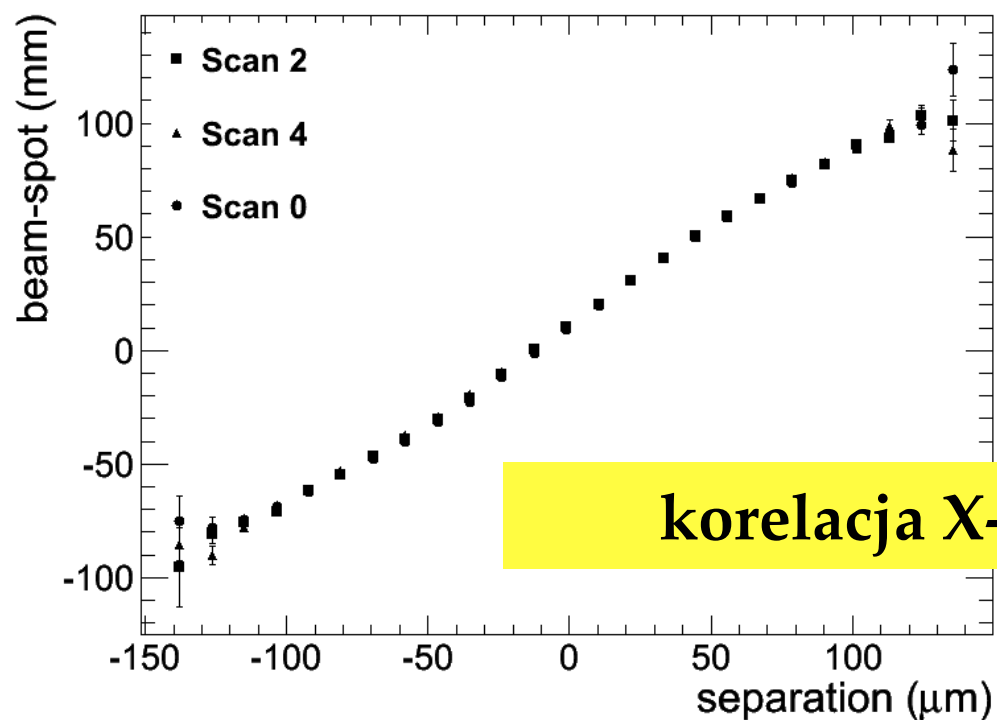


Background

From length scale calibration

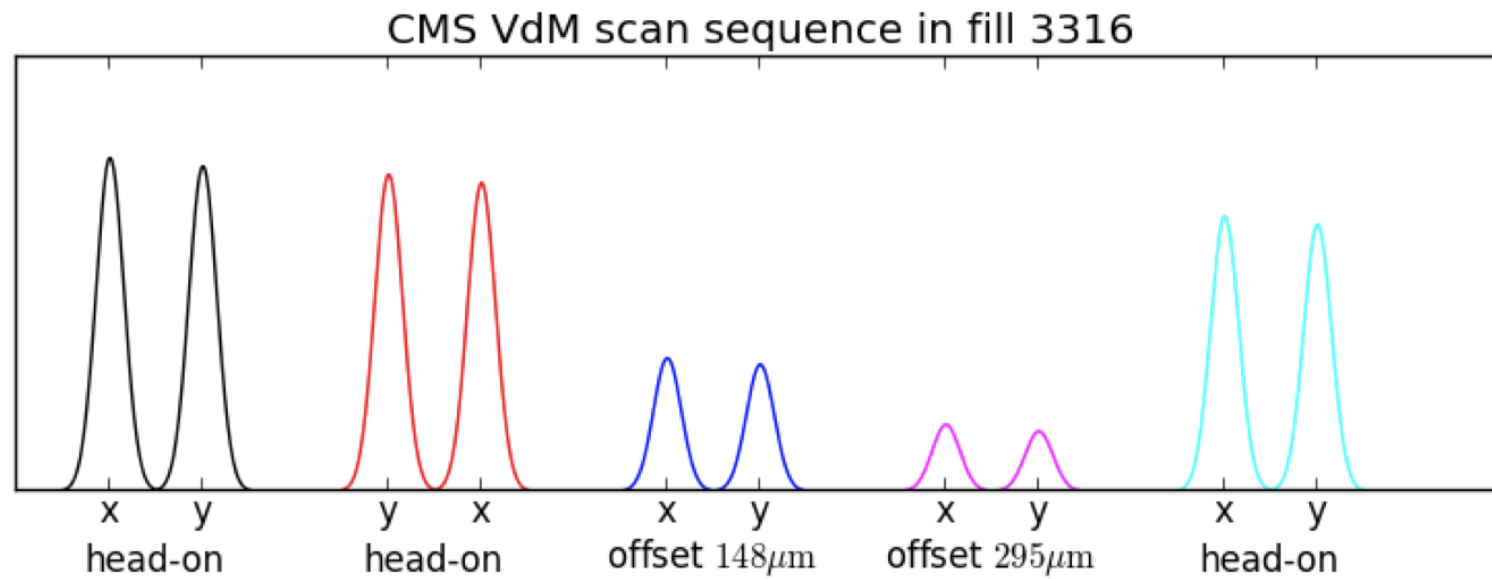
CMS – przemiatanie poziome

Średnia pozycja pionowa $\langle y \rangle$ i szerokość pionowa σ_Y dla dwóch sesji VdM w 2012 (kwiecień i listopad).

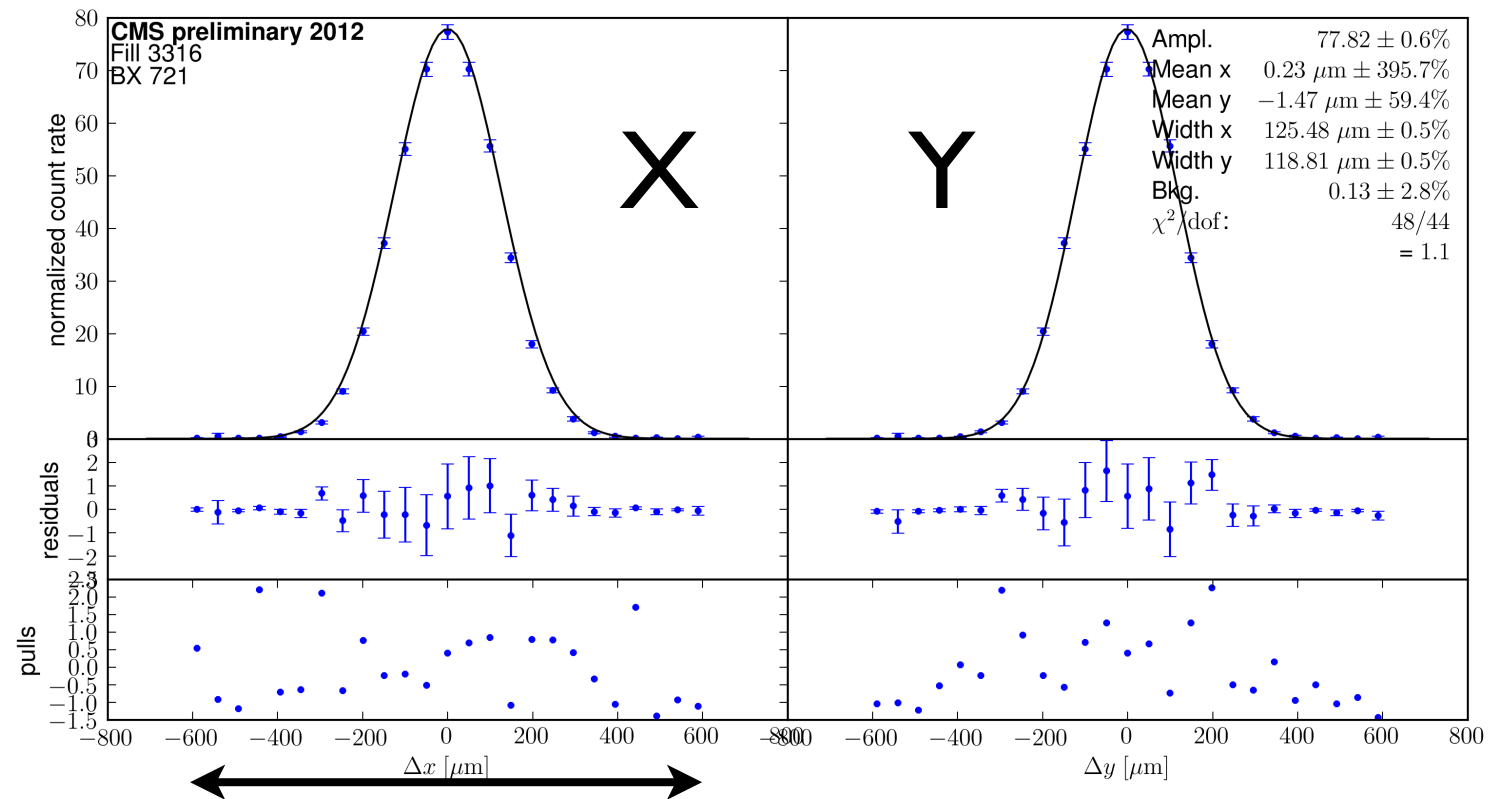


CMS 2012

Sekwencja przemiatań VdM w listopadzie 2012



Przykładowy profil intensywności wiązki dla konkretnego przecięcia wiązek (bx 721 fill 3316)



Definicja σ_{vis} w CMS poprzez pomiar pile-up dla różnego przekrywania się wiązek

$n_{\text{vis}}(\Delta X, \Delta Y)$ – średnia liczba klastrów (wierzchołków) w detektorze mozaikowym CMS przypadająca na 1 przypadek nieelastyczny dla przypadków 0-bias (– żądanie tylko zderzenia w CMS IP).

Jeżeli średnia liczba nieelastycznych zderzeń w jednym przecięciu – $\mu(\Delta X, \Delta Y)$, zaś średnia częstość zderzania paczek w LHC $f=11246$ Hz, to świetność L dana jest wzorami:

$$f \mu = L \sigma_{\text{inel}}$$

$$\langle \mathbf{n} \rangle = \mu n_{\text{vis}}; \quad \sigma_{\text{vis}} = \sigma_{\text{inel}} n_{\text{vis}}$$

$$L(\Delta X, \Delta Y) = \frac{f \langle \mathbf{n} \rangle}{\sigma_{\text{vis}}}$$

np.
 ≥ 2 tory
o $p_t > 200$
MeV

Precyzja $L \sim 3\text{—}4\%$

3. TOTEM— dedykowany detektor do pomiaru $d\sigma_{el}/dt$

Wg. referatu S. Giani na SPC 17.06.2014



TOTEM Total Cross-Section Measurements

7 TeV

elastic observables only:

$$\sigma_{tot}^2 = \frac{16\pi}{1+q^2} \frac{1}{\mathcal{L}} \left. \frac{dN_{el}}{dt} \right|_0 \quad (\rho=0.14 \text{ [COMPETE extrapol.]})$$

[EPL96]: $\sigma_{tot} = (98.3 \pm 2.8) \text{ mb}$

[EPL101]: $\sigma_{tot} = (98.6 \pm 2.2) \text{ mb}$

(different beam intensities)

σ_{tot}

test validity of
optical theorem
at ~3.5 % level

q independent:

$$\sigma_{tot} = \frac{1}{\mathcal{L}} (N_{el} + N_{inel})$$

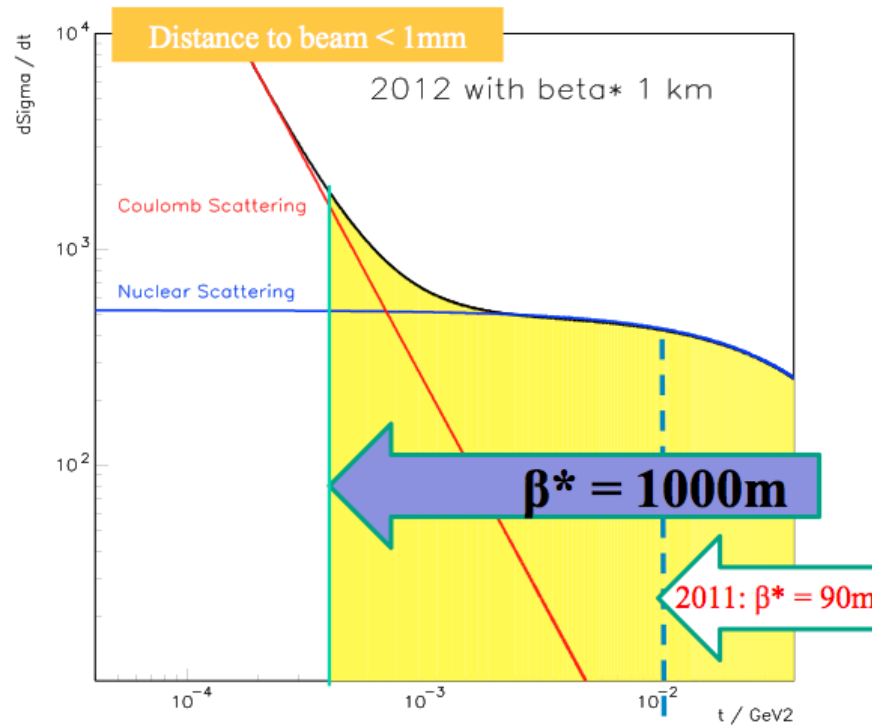
[EPL101]: $\sigma_{tot} = (99.1 \pm 4.3) \text{ mb}$

luminosity independent:

$$\sigma_{tot} = \frac{16\pi}{1+q^2} \frac{dN_{el}/dt|_0}{N_{el} + N_{inel}}$$

[EPL101]: $\sigma_{tot} = (98.0 \pm 2.5) \text{ mb}$

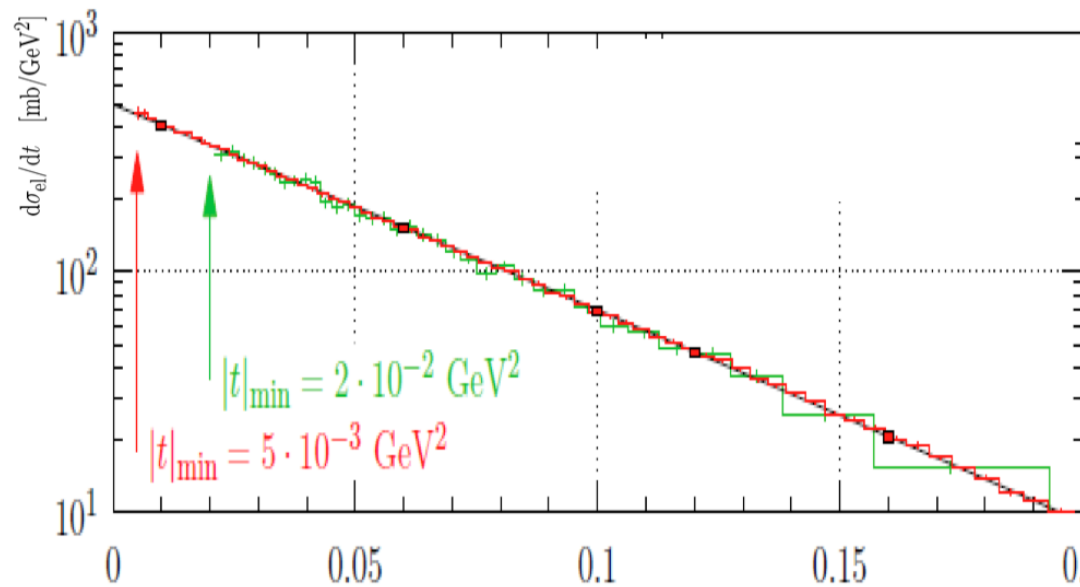
Całkowity przekrój czynny Twierdzenie optyczne



$$\sigma_{tot}^2 = \frac{16\pi (\hbar c)^2}{1 + \rho^2} \left. \frac{d\sigma_{el}}{dt} \right|_{t=0}$$

$$\rho = \frac{\text{Re } A_{el}}{\text{Im } A_{el}} \Big|_{t=0}$$

TOTEM 2013



TOTEM
 $\rho^2 = 0.009 \pm 0.056$
obl. COMPETE
 $\rho^2 = \sim 0.02$

$B = 19.9 \pm 0.3 \text{ GeV}^{-2}$



Total Cross-Section

Optical Theorem:

$$\sigma_{TOT}^2 = \frac{16\pi(\hbar c)^2}{1 + \rho^2} \cdot \left. \frac{d\sigma_{EL}}{dt} \right|_{t=0}$$

luminosity from CMS

$$\frac{d\sigma_{EL}}{dt} = \frac{1}{L} \cdot \frac{dN_{EL}}{dt}$$

ρ from COMPETE fit:

$$\rho = 0.14^{+0.01}_{-0.08}$$

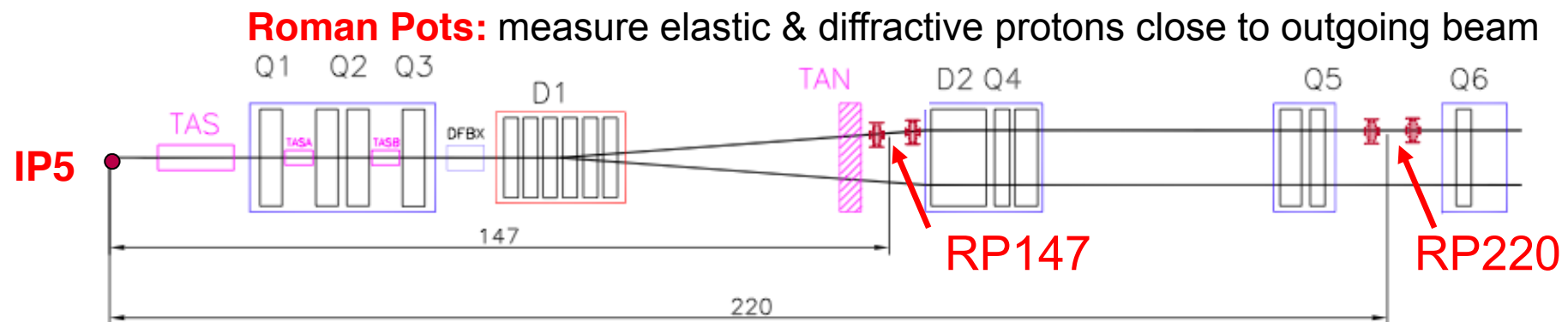
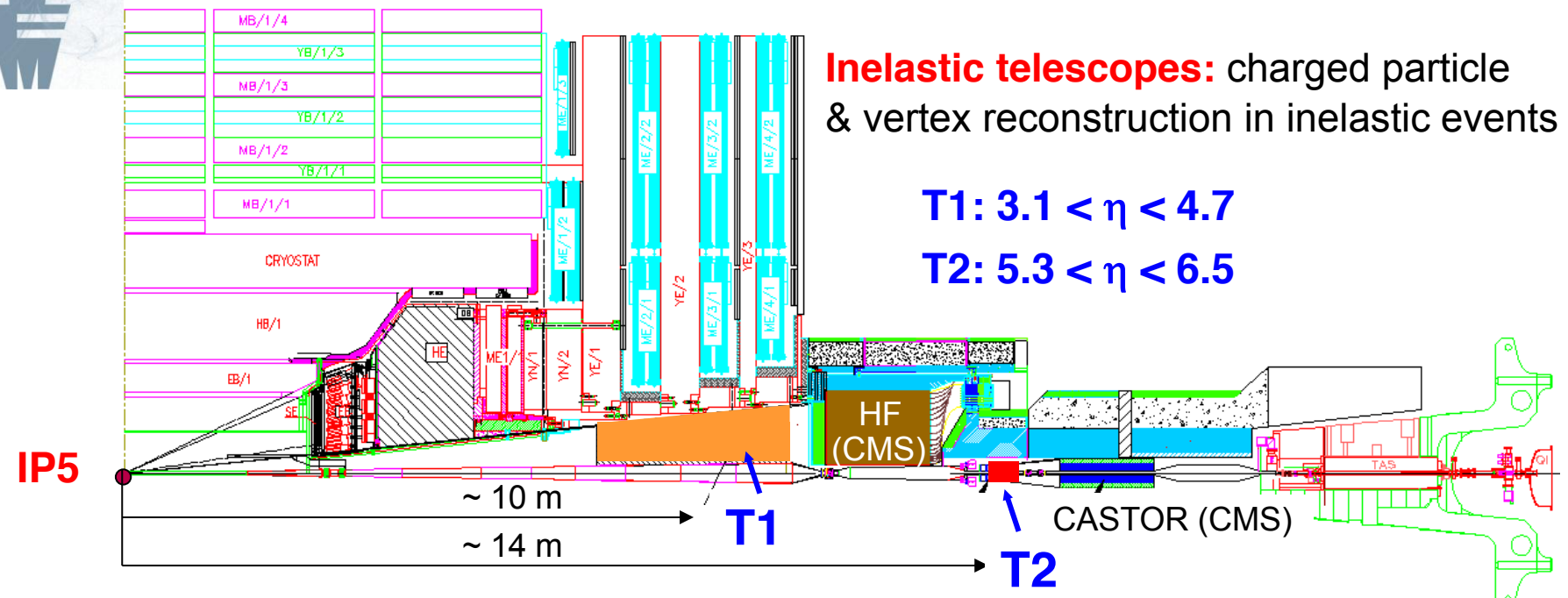
$$\sigma_{TOT} = \sqrt{19.20 \text{ mb GeV}^2 \cdot \left. \frac{d\sigma_{EL}}{dt} \right|_{t=0}}$$

$$\sigma_{TOT} = \sigma_{EL} + \sigma_{INEL}$$

TOTEM układ doświadczalny



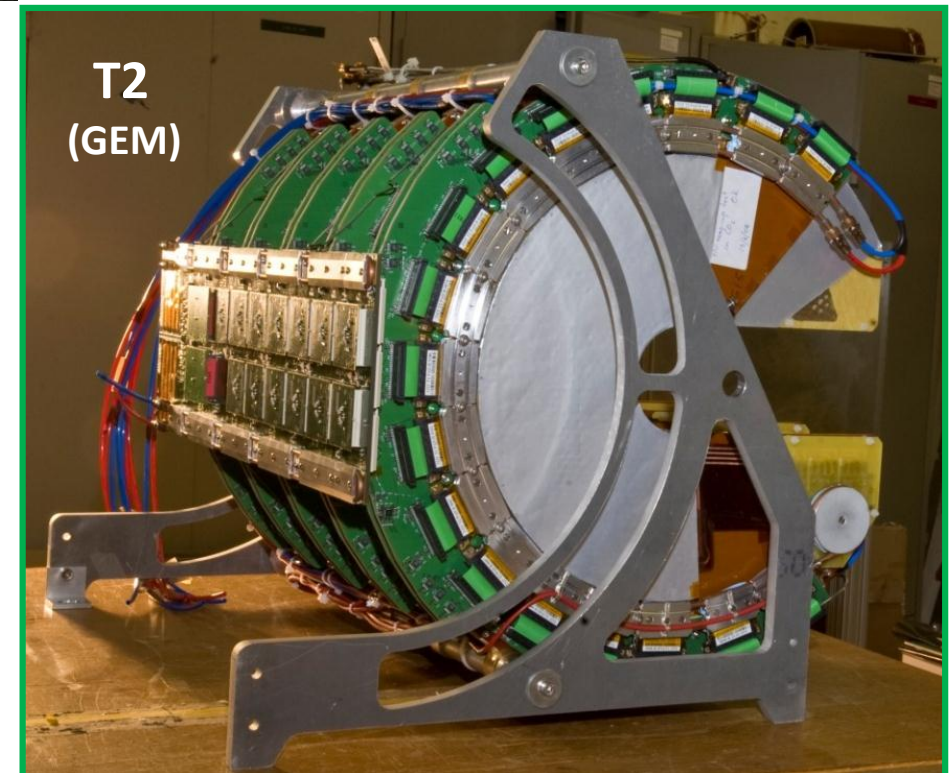
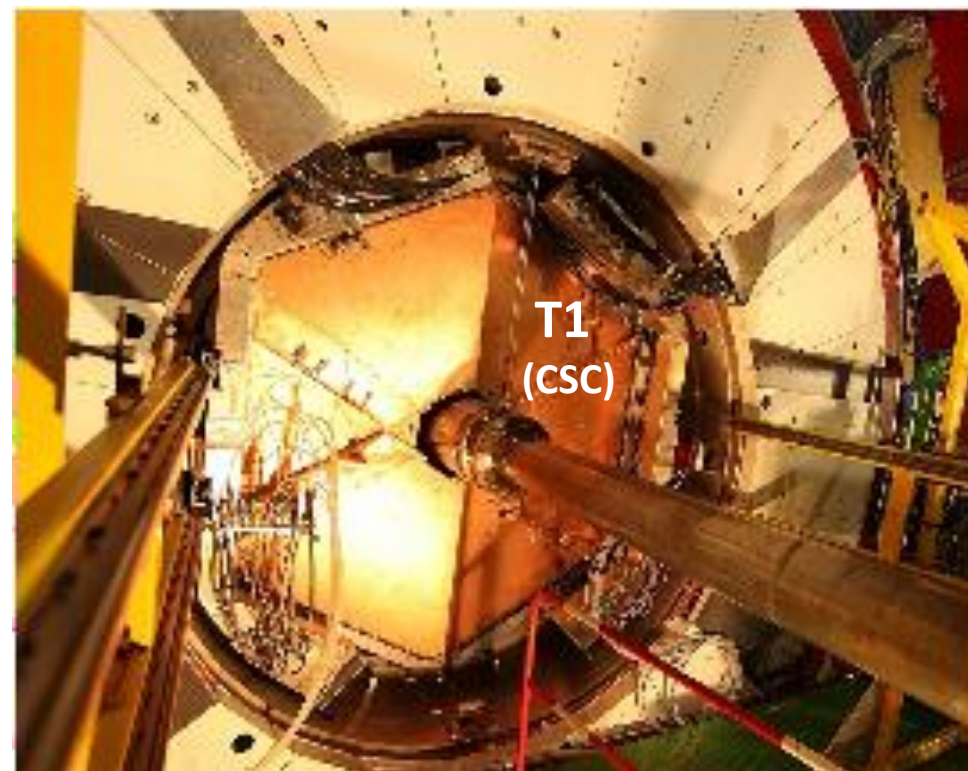
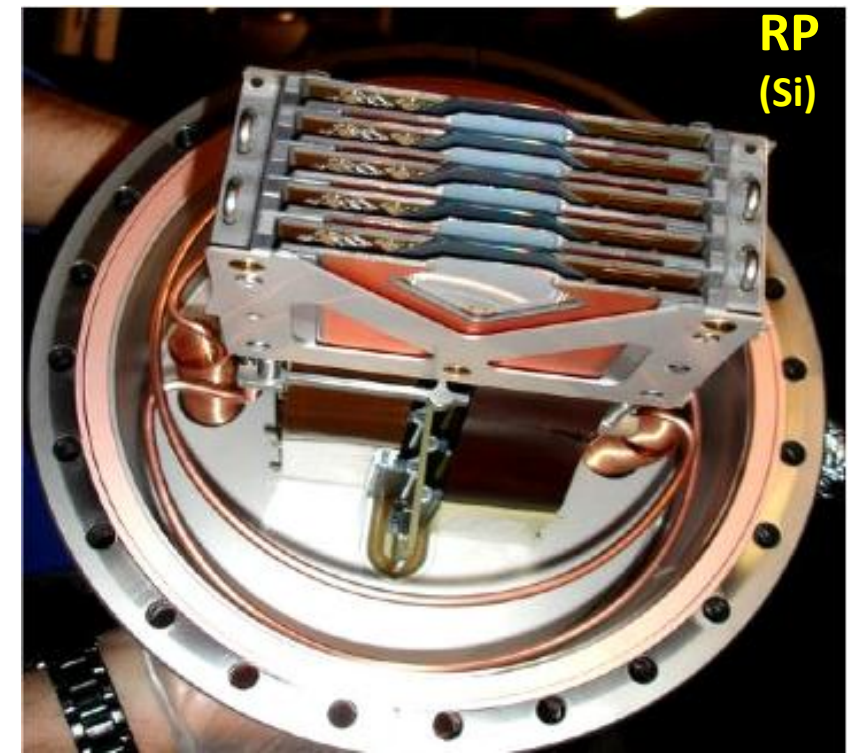
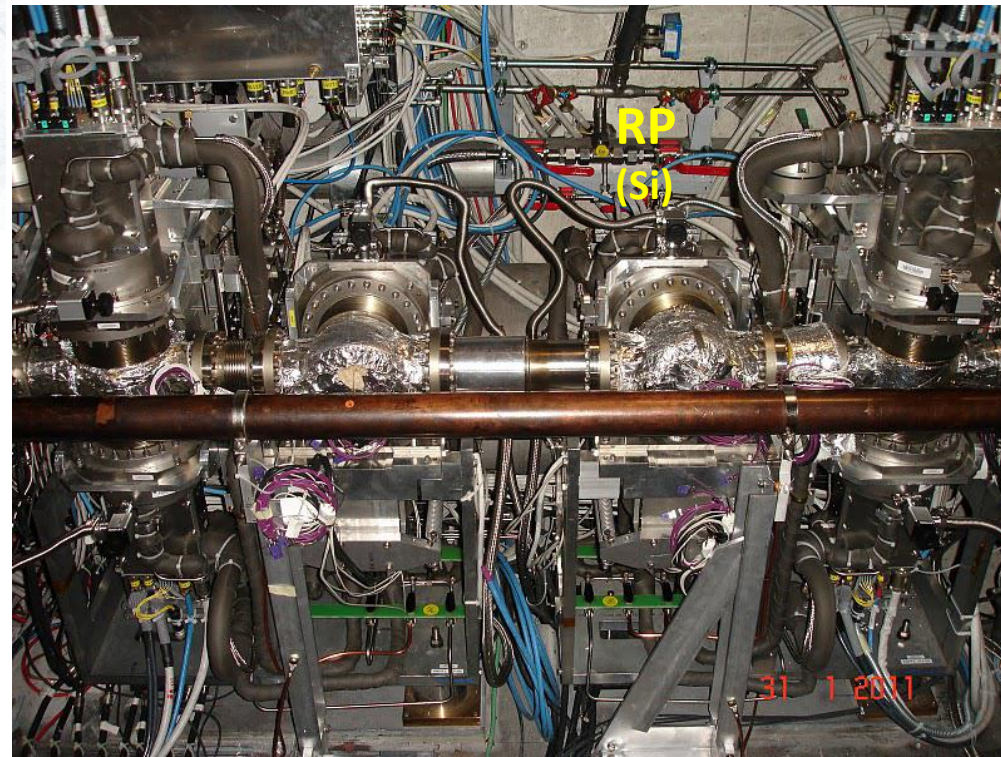
Experimental Setup @ IP5



Roman pots (G. Mattiae, 1972)



TOTEM Detectors



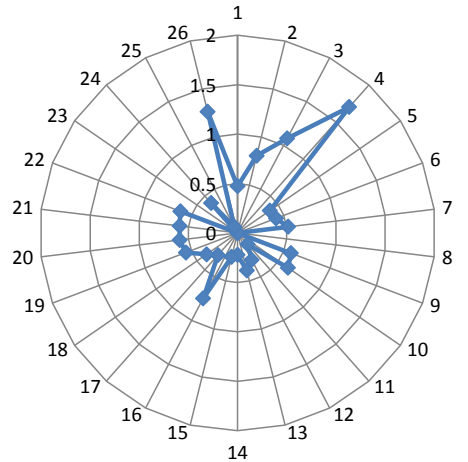


LHC Optics: RP sensitivity

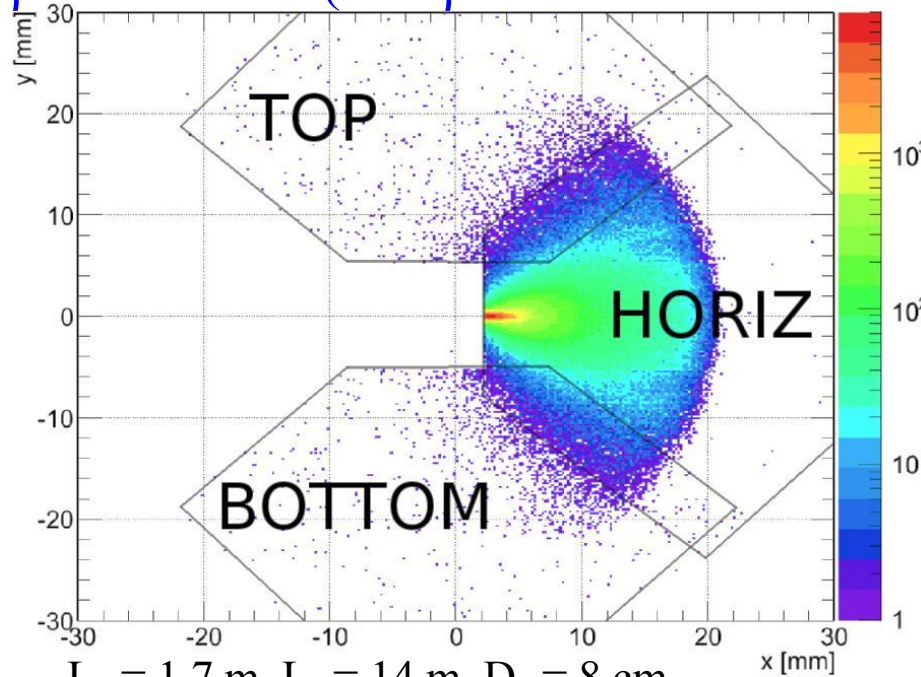
Optics parameters: data full non-linear fit, harmonics, displacements,...

Hit maps of simulated diffractive events for 2 optics configurations

(β^* = betatron function at the interaction point)



$\beta^* = 0.55$ m (low β^* = standard at LHC)



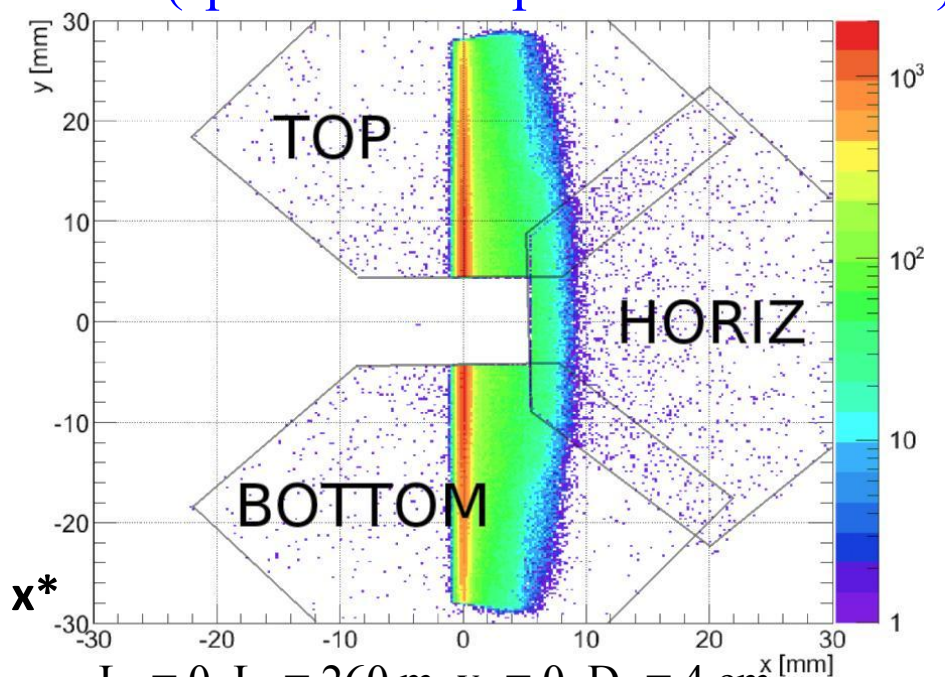
$L_x = 1.7$ m, $L_y = 14$ m, $D_x = 8$ cm

diffractive protons: mainly in horizontal RP

elastic protons: in vertical RP near $x \sim 0$

sensitivity only for large scattering angles

$\beta^* = 90$ m (special development for RP runs)



$L_x = 0$, $L_y = 260$ m, $v_y = 0$, $D_x = 4$ cm

diffractive protons: mainly in vertical RP

elastic protons: in narrow band at $x \cong 0$,

sensitivity for small vertical scattering angles

$$t = -p^2 \theta^2$$

$$\xi = \Delta p/p$$

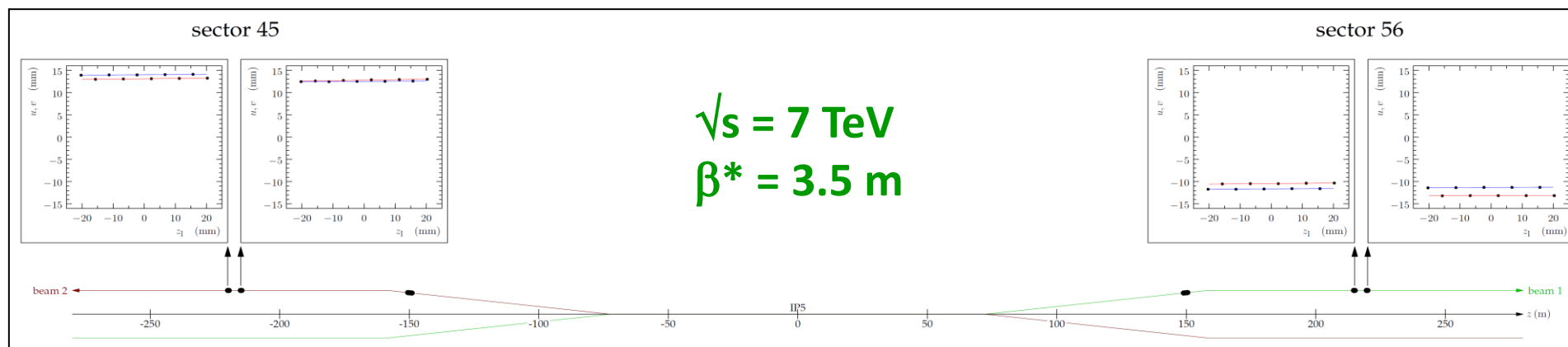
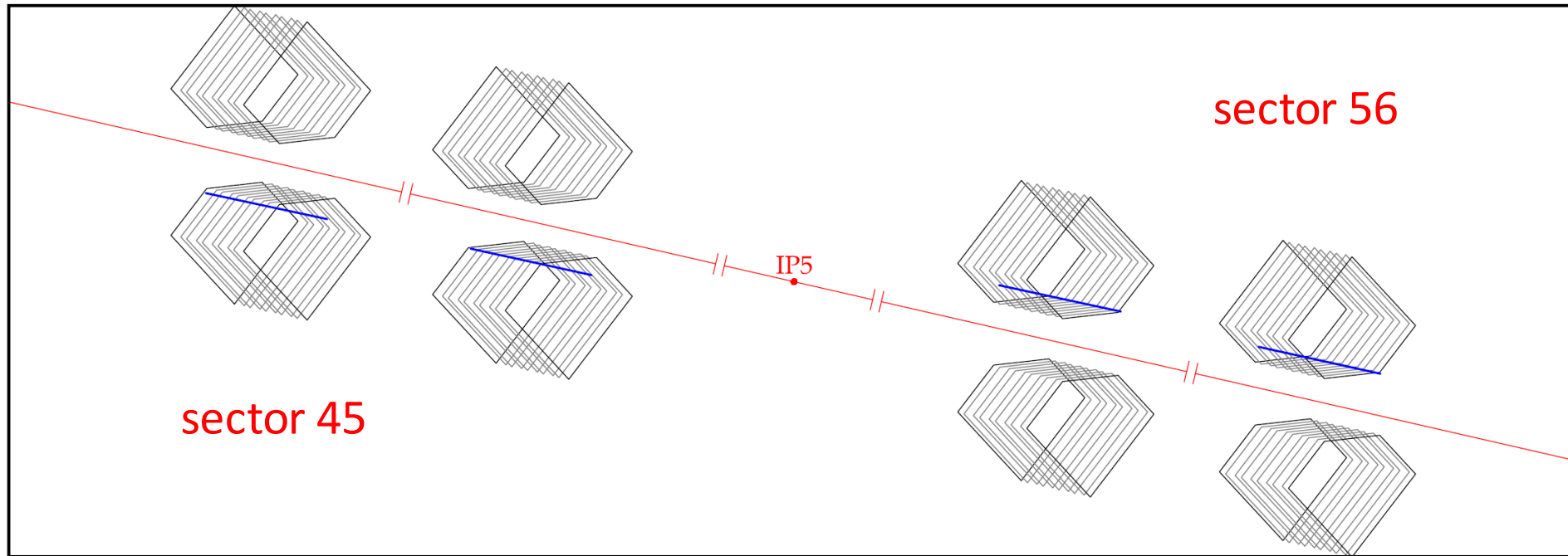
$$y = L_y \Theta_y + v_y y^*$$

$$x = L_x \Theta_x + \xi D + v_x x^*$$

	Beam width @ vertex	Angular beam divergence	Min. reachable $ t $
$\beta^* \sim 0.5-3.5$ m	$\sigma_{x,y}^* = \sqrt{\frac{\epsilon_n \beta^*}{\gamma}}$ small	$\sigma(\Theta_{x,y}^*) = \sqrt{\frac{\epsilon_n}{\beta^* \gamma}}$ large	$ t_{\min} = \frac{n_\sigma^2 p \epsilon_n m_p}{\beta^*} \sim 0.3-1 \text{ GeV}^2$
$\beta^* = 90$ m	large	small	$\sim 10^{-2} \text{ GeV}^2$



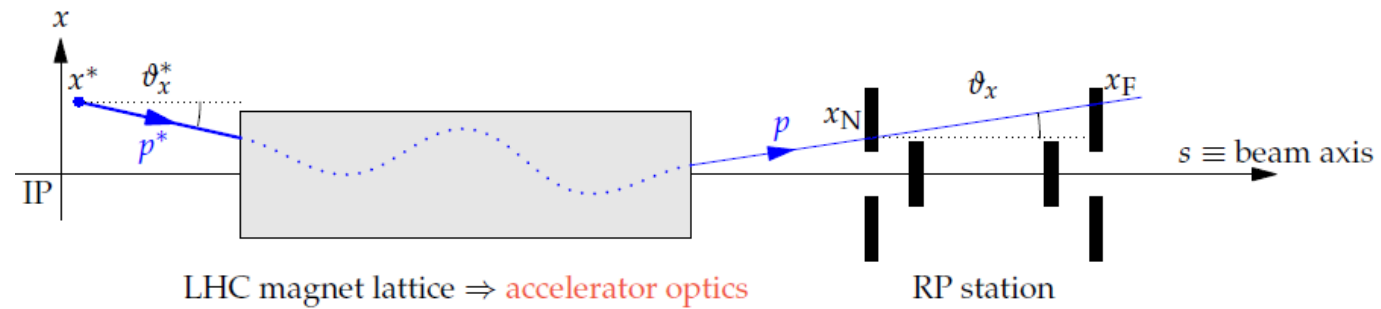
2010 Data First p-p Elastic Scattering Events



Rekonstrukcja



Proton Reconstruction @ LHC



(x^*, y^*) : vertex position
 (θ_x^*, θ_y^*) : emission angle: $t \approx -p^2 (\theta_x^{*2} + \theta_y^{*2})$
 $\xi = \Delta p/p$: momentum loss (elastic case: $\xi = 0$)

$$\text{Measured in RP} \begin{pmatrix} x \\ \Theta_x \\ y \\ \Theta_y \\ \Delta p/p \end{pmatrix}_{\text{RP}} = \underbrace{\begin{pmatrix} v_x & L_x & 0 & 0 & D_x \\ v'_x & L'_x & 0 & 0 & D'_x \\ 0 & 0 & v_y & L_y & 0 \\ 0 & 0 & v'_y & L'_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Product of all lattice element matrices}} \begin{pmatrix} x^* \\ \Theta_x^* \\ y^* \\ \Theta_y^* \\ \Delta p/p \end{pmatrix}_{\text{IP5}} \text{Values at IP5 to be reconstructed}$$

$$X_{RP} = L_x \Theta_x^* + V_x X^* + D_x \xi$$

$$Y_{RP} = L_y \Theta_y^* + V_y Y^*$$

L_x, L_y : effective lengths (sensitivity to scattering angle)
 V_x, V_y : magnifications (sensitivity to vertex position)
 D_x : dispersion (sensitivity to momentum loss); $D_y \sim 0$

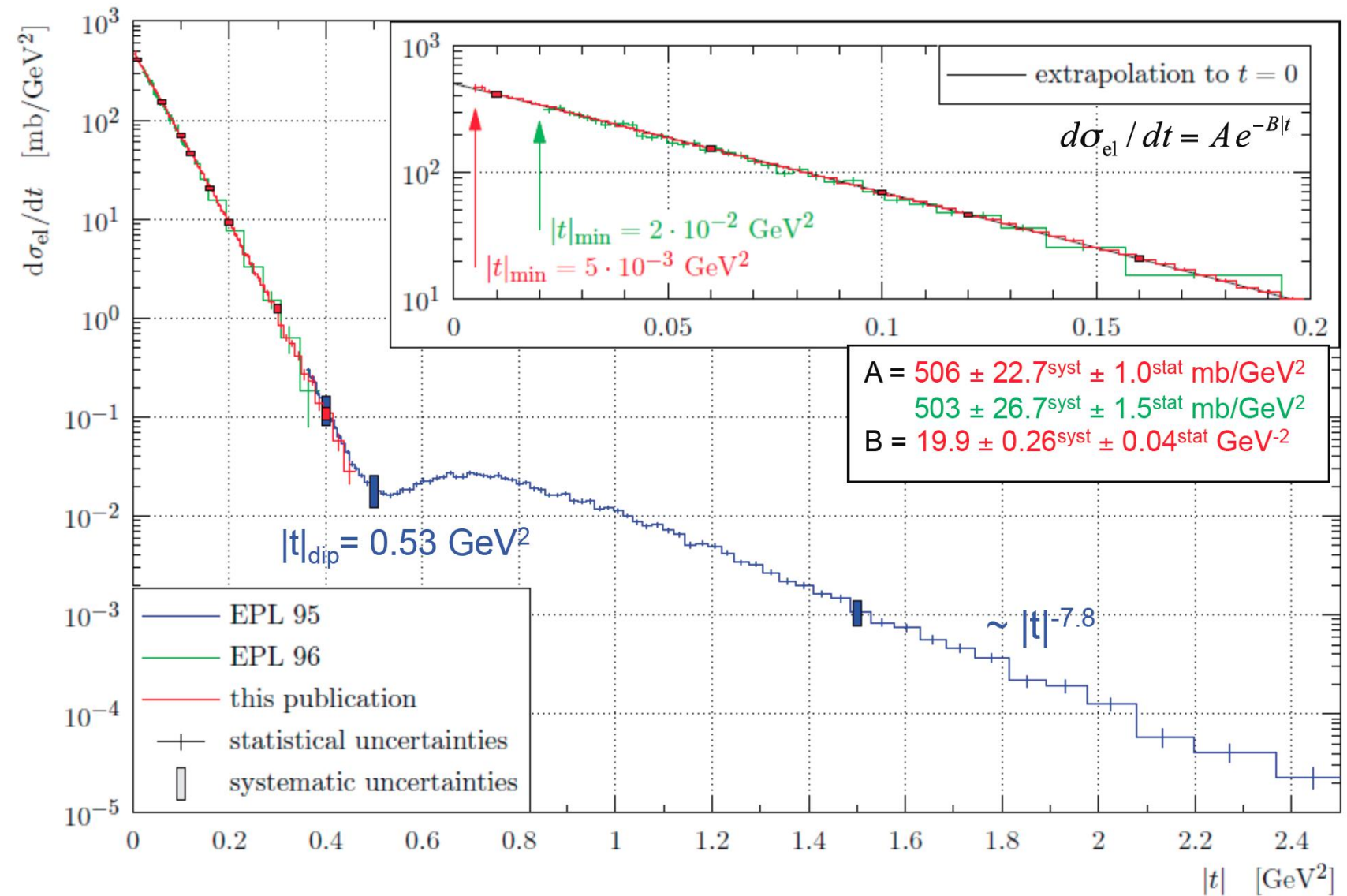
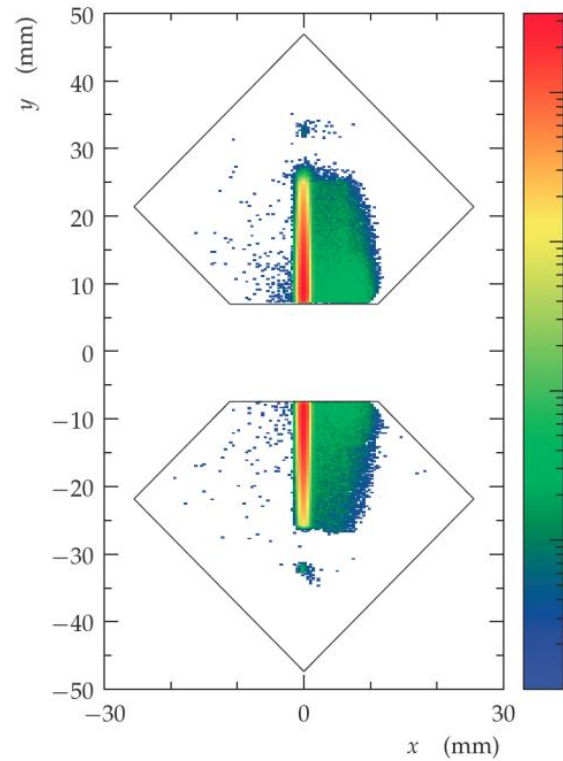
Reconstruction of proton kinematics = “inversion” of transport equation

Transport matrix elements depend on $\xi \rightarrow$ non-linear problem (except in elastic case!)

Excellent optics understanding needed: [CERN-PH-EP-2014-066](#)



Measurement of low- t Elastic Scattering



Data with $\beta^* 90\text{m}$ optics

Extrapolation to $t = 0$ and integration of elastic cross section:
 $25.4 \pm 1.1 \text{ mb}$ ($> 90\%$ of cross-section visible, $< 10\%$ extrapolated)



TOTEM Inelastic Cross-Section

T1 and T2 direct measurement

Inelastic events in T2: classification

tracks in both hemispheres

non-diffractive minimum bias

double diffraction

tracks in a single hemisphere

mainly single diffraction

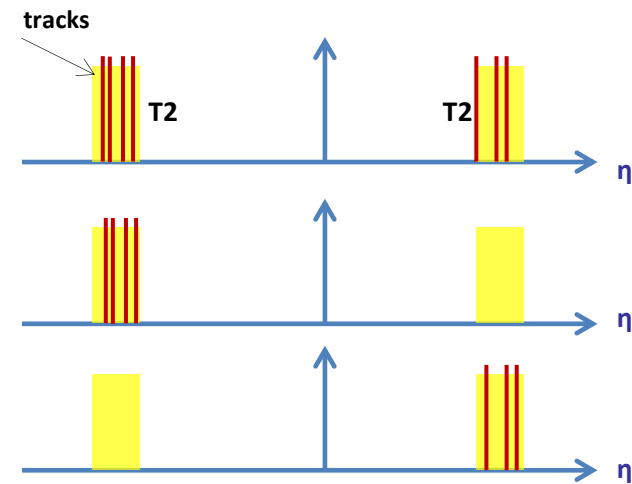
$M_x > 3.4 \text{ GeV}/c^2$

Corrections to the T1, T2 visible events (eff., μ)

$$\sigma_{\text{inel}, |\eta| < 6.5} = 70.5 \pm 2.9 \text{ mb}$$

Corrections for acceptance, gaps, DPE (MC/data)

→ $\sigma_{\text{inel}} = 73.7 \pm 0.1^{\text{stat}} \pm 1.7^{\text{syst}} \pm 2.9^{\text{lumi}} \text{ mb}$



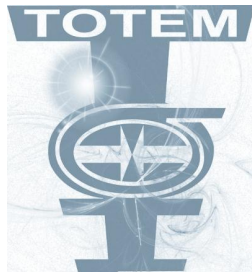
Inclusive measurement based on Optical Theorem

→ $\sigma_{\text{inel}} = \sigma_{\text{tot}} - \sigma_{\text{el}} = 73.1 \pm 1.3 \text{ mb}$

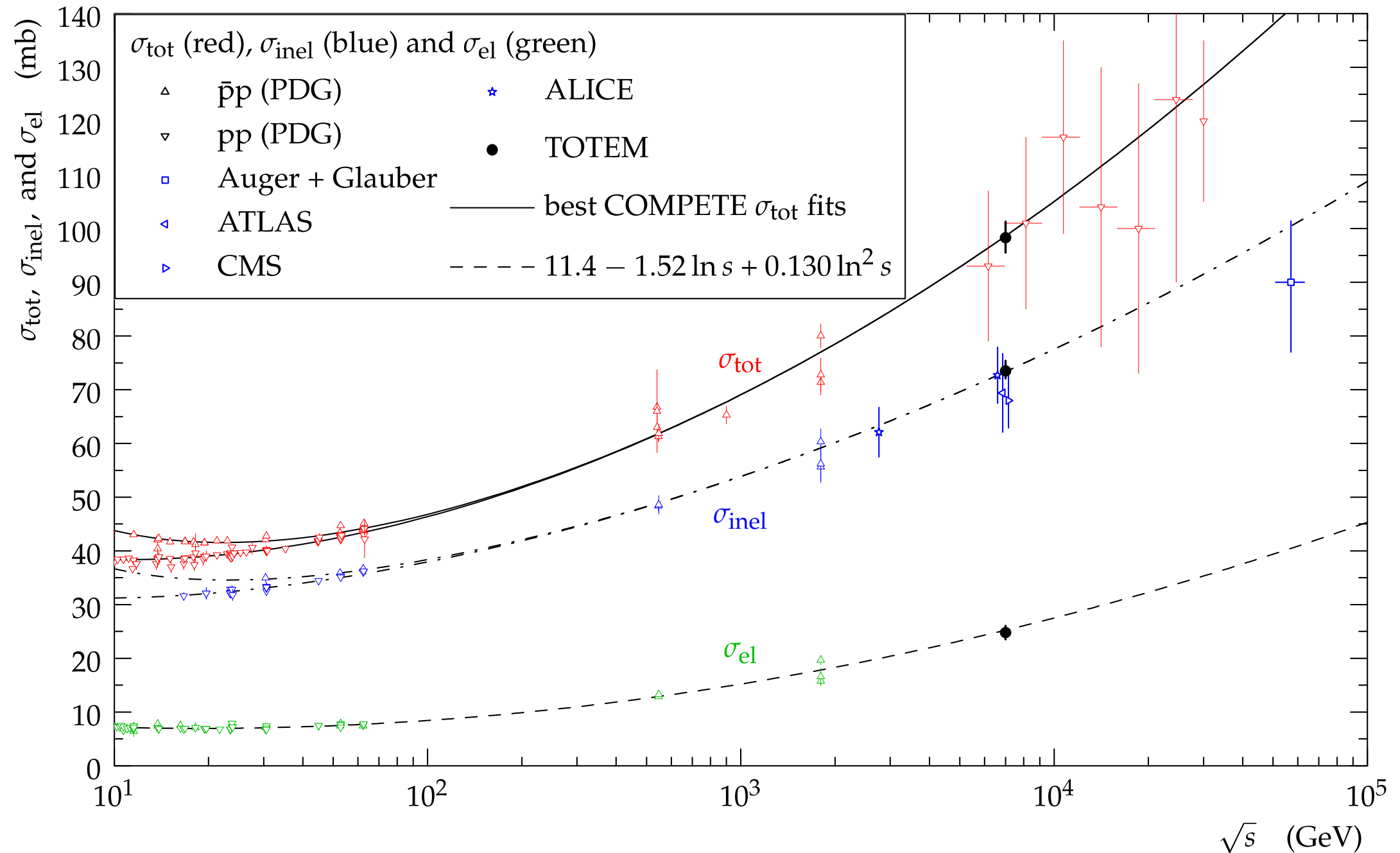
$$\sigma_{\text{inel}, |\eta| < 6.5} = 70.5 \pm 2.9 \text{ mb}$$

$$\sigma_{\text{inel}, |\eta| > 6.5} = 2.6 \pm 2.2 \text{ mb}$$

$$< 6.3 \text{ mb (95\% CL)}$$



Elastic, Inelastic, Total Cross-Sections [7TeV]



Była to metoda wyznaczania $d\sigma/dt$ w ISR 1972 gdy nie było pomiaru świetlności

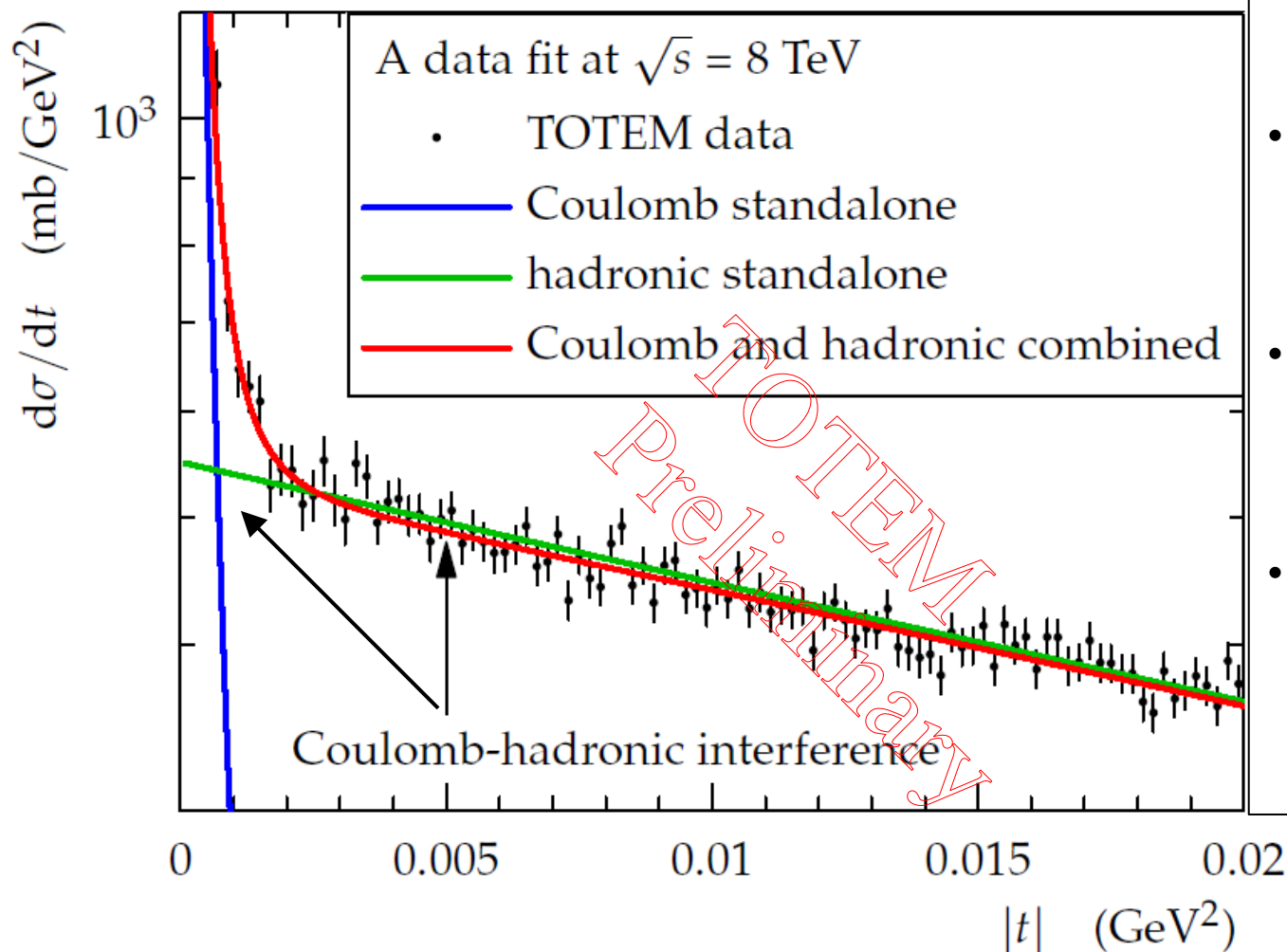


Coulomb-Nuclear Interference

Measure elastic scattering at $|t|$ as low as $6 \times 10^{-4} \text{ GeV}^2$:

- $\beta^* = 1000 \text{ m}$ optics
- RP approach to 3σ from the beam centre

$$d\sigma / dt \propto |F^{C+h}|^2 = \text{Coulomb} + \text{interference} + \text{hadronic}$$



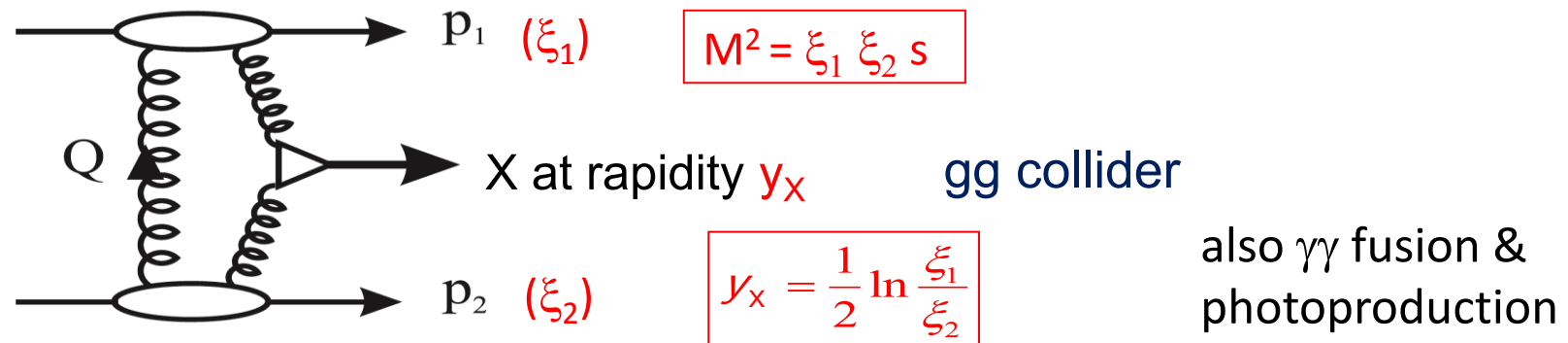
Preliminary Results:

- First observation of not constant hadronic slope B in pp elastic scattering
- Simplified West-Yennie (SWY) interference formula ruled out by data
- Evidence of Coulomb-hadronic interference at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
- TOTEM data exclude centrality of elastic scattering in the form it was derived via SWY formalism

TOTEM+ CMS



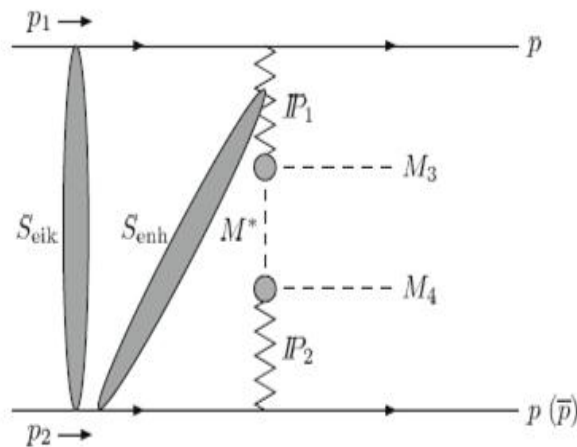
Central Exclusive Production (CEP)



- exchange of colour singlets with vacuum quantum numbers
 \Rightarrow selection rules for system X: $J^{PC} = 0^{++}, 2^{++}, \dots$ resonances, jets,?....
- With double-arm proton detection:
 - $\beta^* = 90\text{m runs: all } M(pp), \quad \mu \sim 0.05 - 0.5 \Rightarrow O(0.1-10 \text{ pb}^{-1}/\text{day})$
 - $\text{low } \beta^* \text{ runs: } M(pp) > \sim 350 \text{ GeV}, \mu \sim 30 - 50 \Rightarrow O(1 \text{ fb}^{-1}/\text{day})$
- Comparison/prediction from forward to central system:
- $M(pp) =? M(\text{central}), \quad p_{T,z}(pp) =? p_{T,z}(\text{central}), \quad \text{vertex}(pp) =? \text{vertex}(\text{central})$
- Prediction of central particle flow topology from proton ξ 's
 (rapidity gaps): $\Delta\eta_{1,2} = -\ln\xi_{1,2}$
- **CMS & TOTEM common runs: access to $O(\text{pb})$ production cross-sections**



1 resonance / meson pair
($\pi\pi$, KK , $\rho\rho$, $\eta\eta$)



CEP low-Mass States & Glueballs

LHC: a unique lab to study CEP low M states

- small p_T 's of final state mesons
 \Rightarrow **CMS tracking** $\Delta M \sim 10$ MeV (\ll ISR, RHIC, Tevatron)
- $\pi/K/p$ separation using CMS tracker dE/dx
- proton tagging in $\beta^* = 90m$ runs $\Rightarrow p_T \sim 40$ MeV
- **RP proton tagging** \Rightarrow no need to invoke rapidity gaps
- large η coverage & protons \Rightarrow exclusivity ensured with excellent S/B
- spin determination from decay angles & proton azimuthal correlations

Small $\xi \sim 10^{-3} 10^{-4}$ at LHC from RP vertices \Rightarrow pure gluon pair \Rightarrow masses $\sim 1-3$ GeV

Pomeron \approx colourless gluon pair/ladder

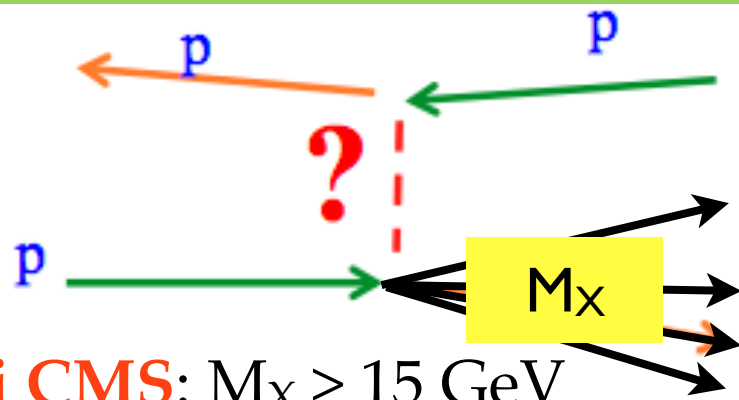
\Rightarrow Pomeron fusion likely to produce glueballs

- Past luminosity: $\sim 0.003 \text{ pb}^{-1} \Rightarrow$ need $\times 300$ ($\sim 1 \text{ pb}^{-1}$) to produce resonances
- Study of glueballs & χ_c in hadronic modes require $\times 3000$ ($\sim 10 \text{ pb}^{-1}$)
- Increase in integrated luminosity in high β runs may be obtained :
 - > Increasing bunch number (requires crossing angle for high β runs)
 - > Increasing running time

4. Metody pomiaru i wyniki σ_{inel} w ALICE, ATLAS i CMS przy $\sqrt{s} = 7$ TeV

- Dwie metody:
- SD
 - Zliczanie klastrów

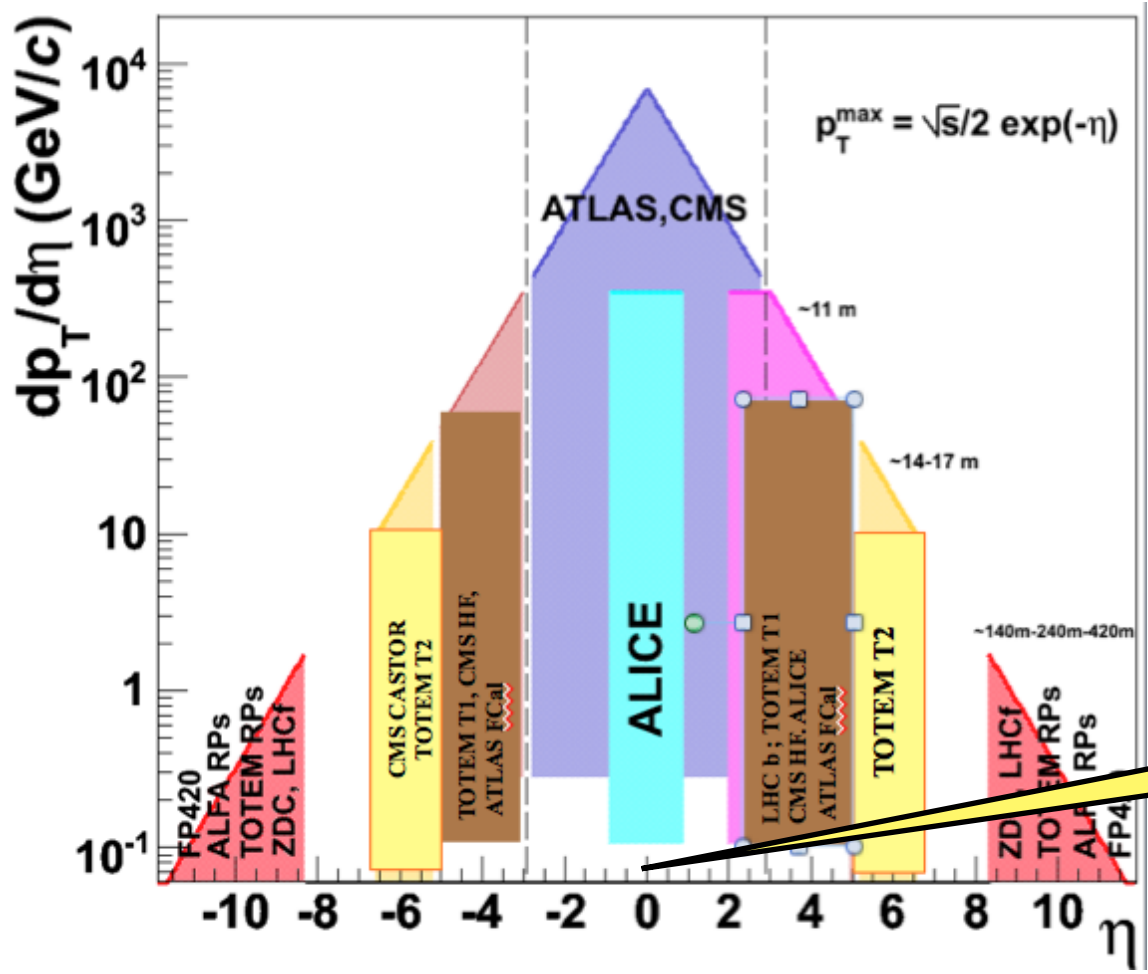
Pojedyncza dyfrakcja – zliczanie przypadków



Atlas i CMS: $M_X > 15$ GeV
z symulacji ($E_{min}=5$ GeV)

Odmienne detektory
Różne kryteria selekcji

Exp	Measurement	Result	Stat	Syst	Lum
ALICE	$\sigma_{Inel}^{(\xi > 5 \times 10^{-6})}$	62.1		+1.0 -0.9	± 2.2 mb
ATLAS	$\sigma_{Inel}^{(\xi > 5 \times 10^{-6})}$	60.3	± 0.05	± 0.5	± 2.1 mb
CMS	$\sigma_{Inel}^{(\xi > 5 \times 10^{-6})}$	60.2	± 0.2	± 1.1	± 2.4 mb
TOTEM	$\sigma_{Inel}^{(\xi > 2.4 \times 10^{-7})}$	70.5	± 0.1	± 0.8	± 2.8 mb
ALICE	σ_{Inel}	73.2		+2.0 -4.6	± 2.6 mb
ATLAS	σ_{Inel}	69.4		± 6.9	± 2.4 mb
TOTEM	σ_{Inel}	73.7	± 0.1	± 1.7	± 2.9 mb
CMS	$\sigma_{Inel}^{(>1 \text{ track})}$	58.7		± 2.0	± 2.4 mb
CMS	$\sigma_{Inel}^{(>2 \text{ tracks})}$	57.2		± 2.0	± 2.4 mb
CMS	$\sigma_{Inel}^{(>3 \text{ tracks})}$	55.4		± 2.0	± 2.4 mb



$$\xi = \frac{M_X^2}{s}$$

Pomiar wprost części σ_{inel} w obszarze centralnym (ALICE, ATLAS, CMS)

Metoda zaproponowana po raz pierwszy przez przez CMS.

Liczba n przypadków nieelastycznych n w każdym zderzeniu paczek jest opisywana rozkładem Poissona:

$$P(n, \lambda) = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$$

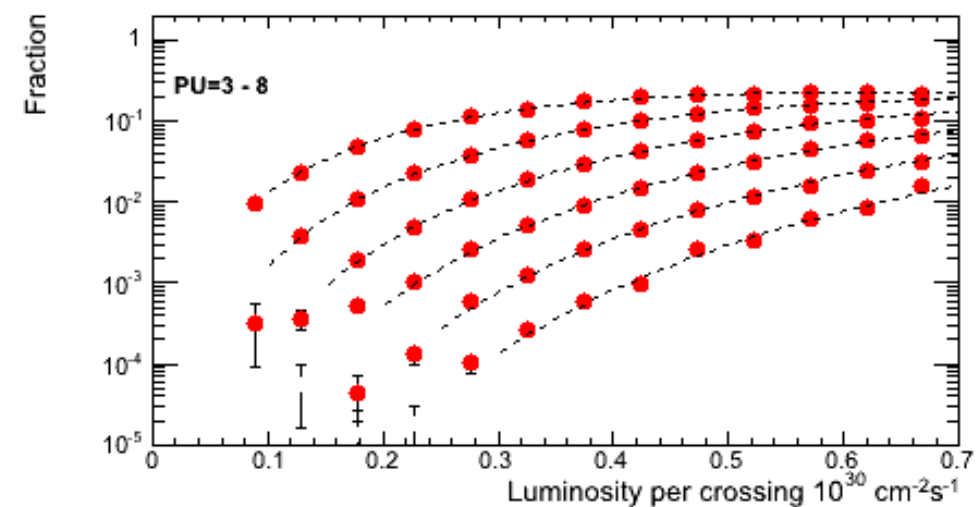
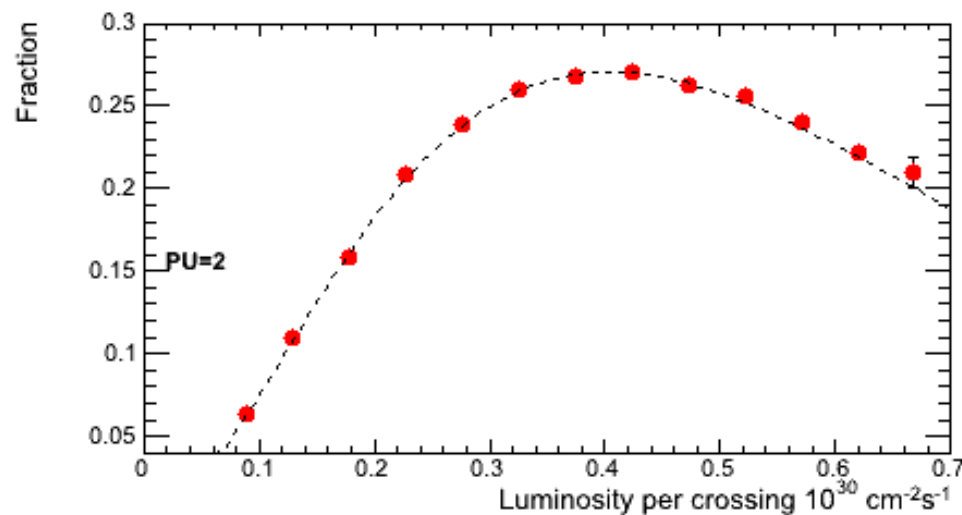
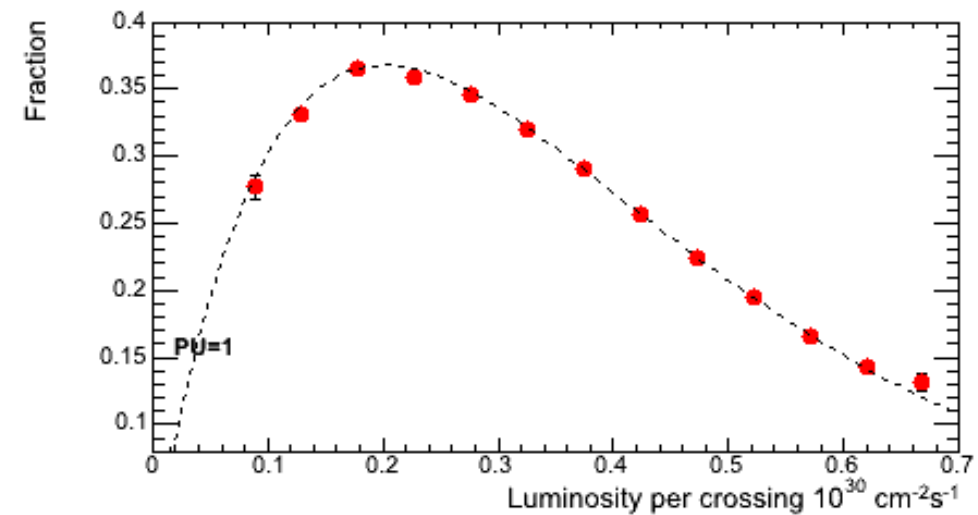
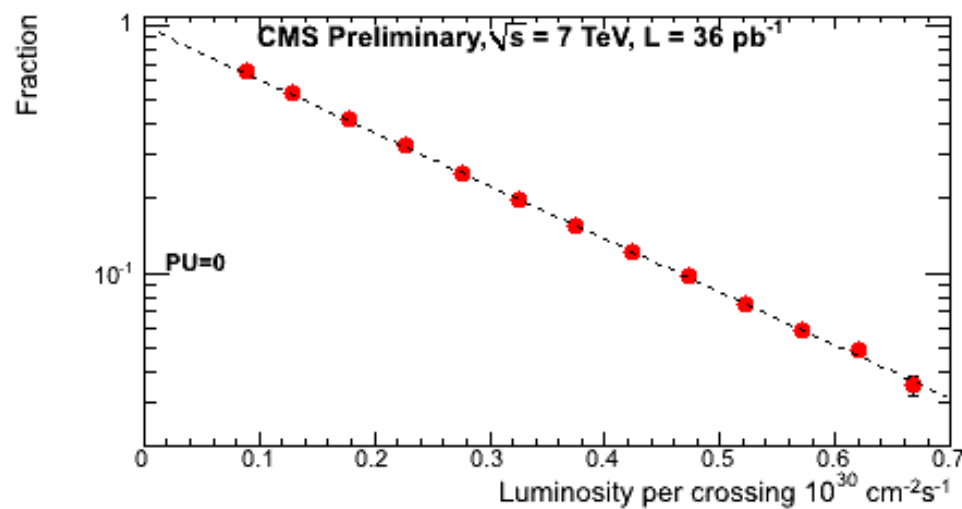
Średnia liczba zderzeń λ jest dana wzorem $\lambda = L * \sigma_{inel}$. Światłość L musi być niezależnie zmierzona.

Zliczanie wierzchołków w zderzeniach paczek dla różnych wartości L podczas napełnienia LHC i dopasowanie do rozkładu p . Ryby pozwala wyznaczyć σ_{inel} .

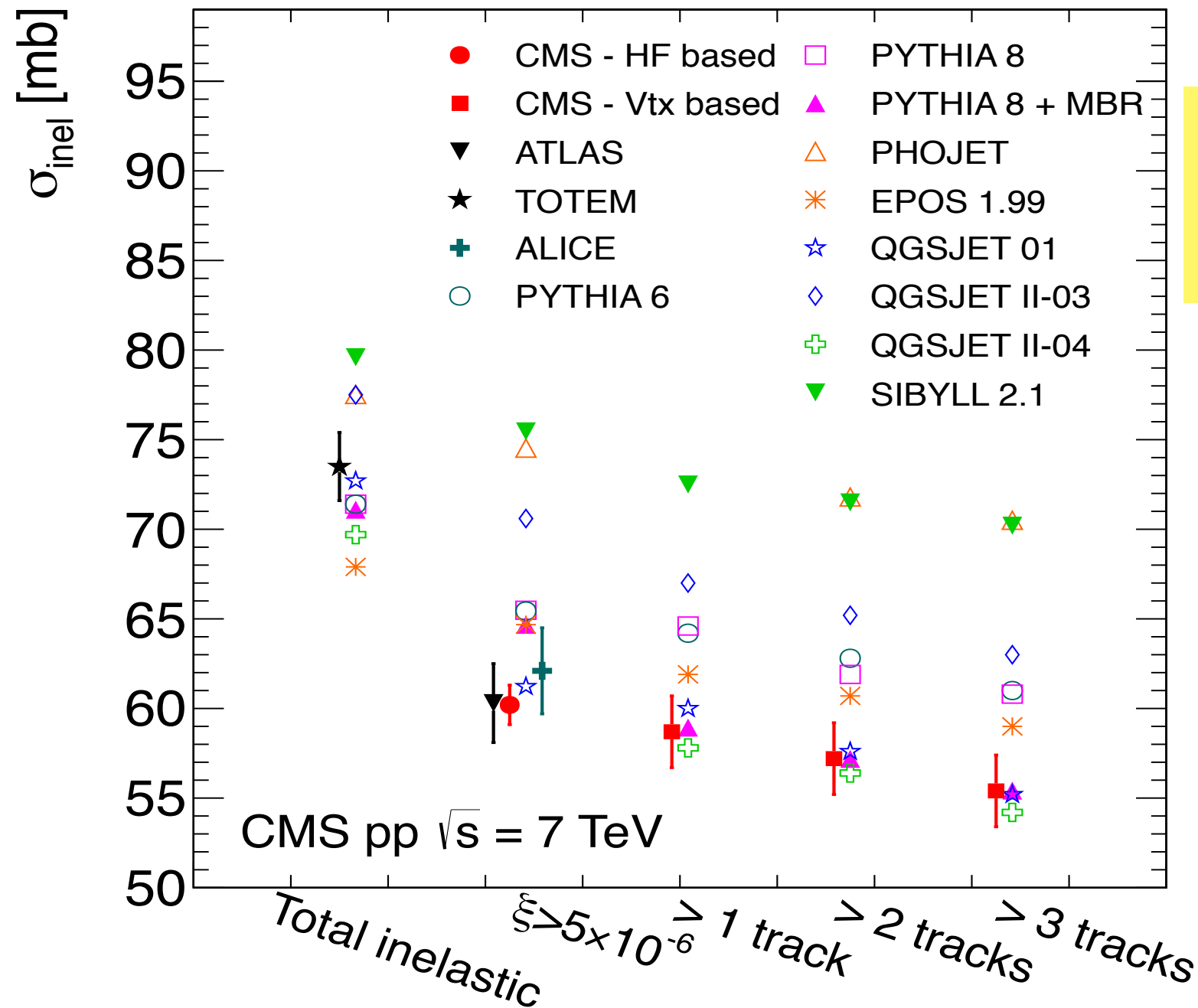
Wyzwalanie w sposób nieobciążony — paczki z mionem o dużym p_t , przypadek w mionem nie liczy się do n .

CMS

Prawdopodobieństwo znalezienia \mathbf{n} ($=0, 1, 2, 3-8$) przypadków z co najmniej dwoma torami o $p_t > 200$ MeV/c — — —> dopasowanie λ



Kompilacja wyników z LHC i porównanie z modelami MC



Niepewności modeli MC ~ 1 mb

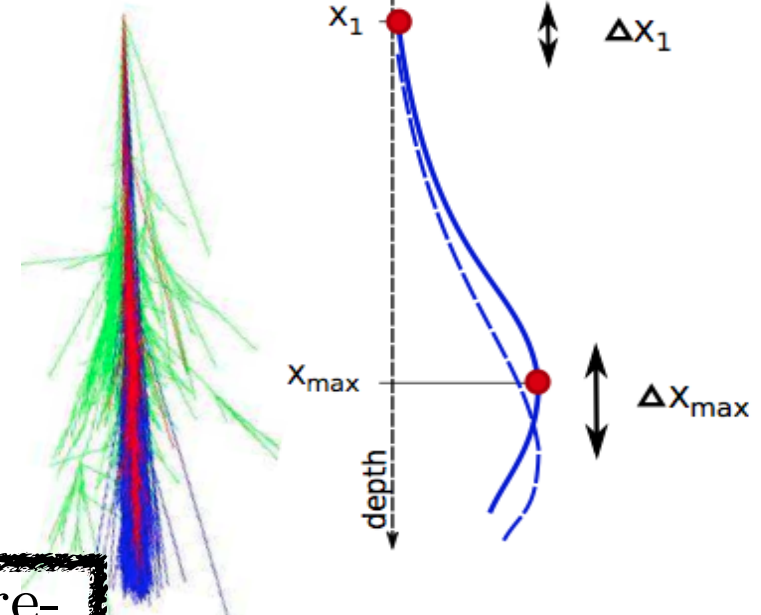
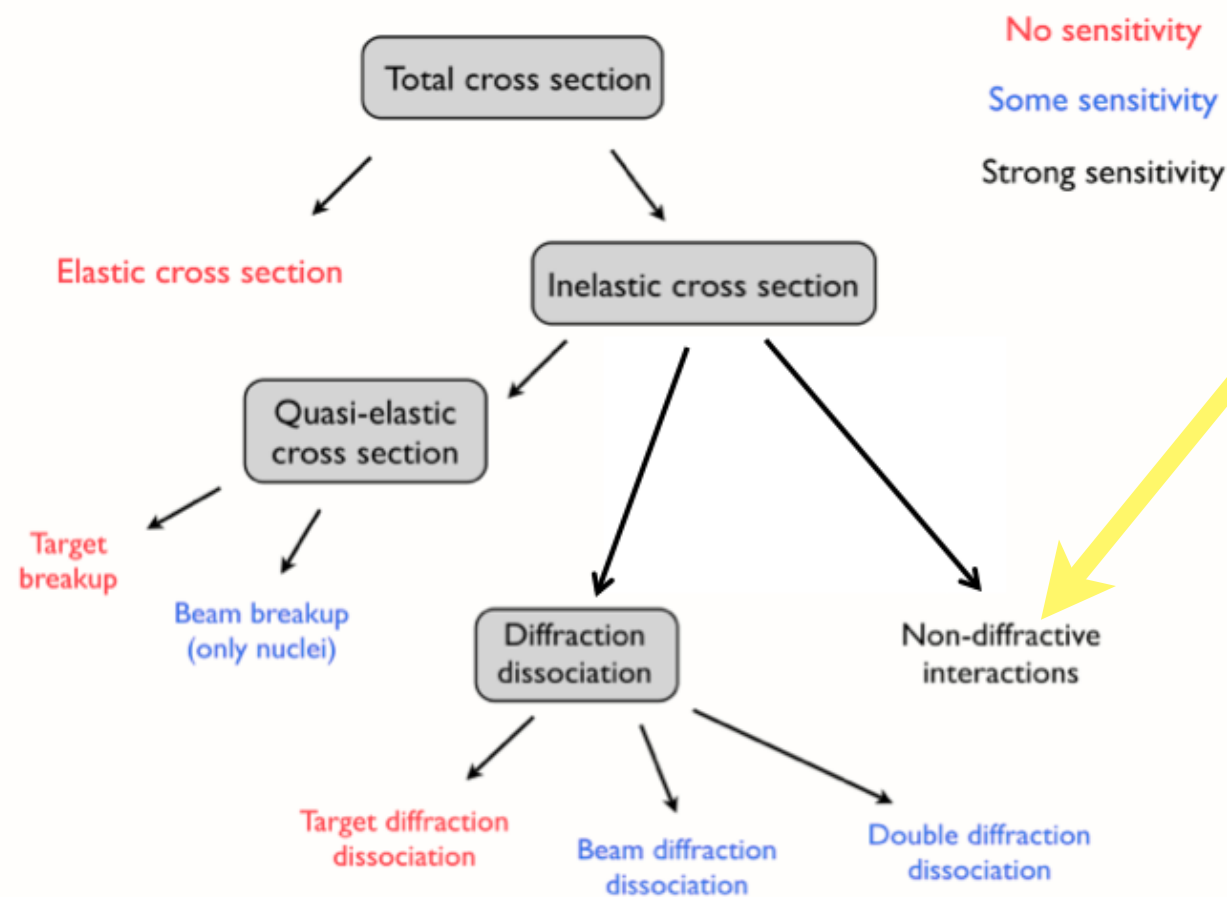
5. Wyniki dla promieniowania kosmicznego

$\sigma_{inel}(\text{proton-powietrze})$ przy $\langle\sqrt{s}\rangle = 57 \text{ TeV}$

Na co są czułe eksperymenty z promieniowaniem kosmicznym?

AUGER

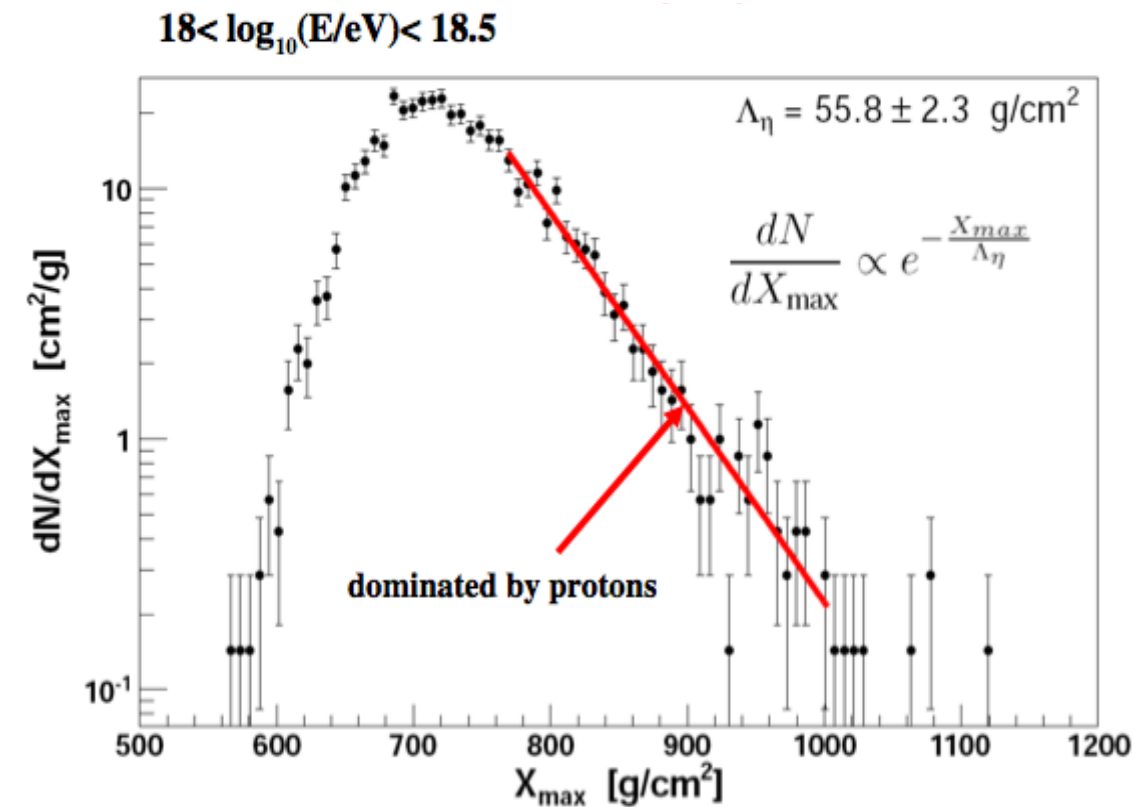
Maksimum kaskady w powietrzu



P. Abreu *et al.* [Pierre Auger Collaboration], "Measurement of the proton-air cross-section at $\sqrt{s} = 57 \text{ TeV}$ "
Phys. Rev. Lett. **109**, 062002 (2012)

Jak mierzyć x_1 i X_{max}

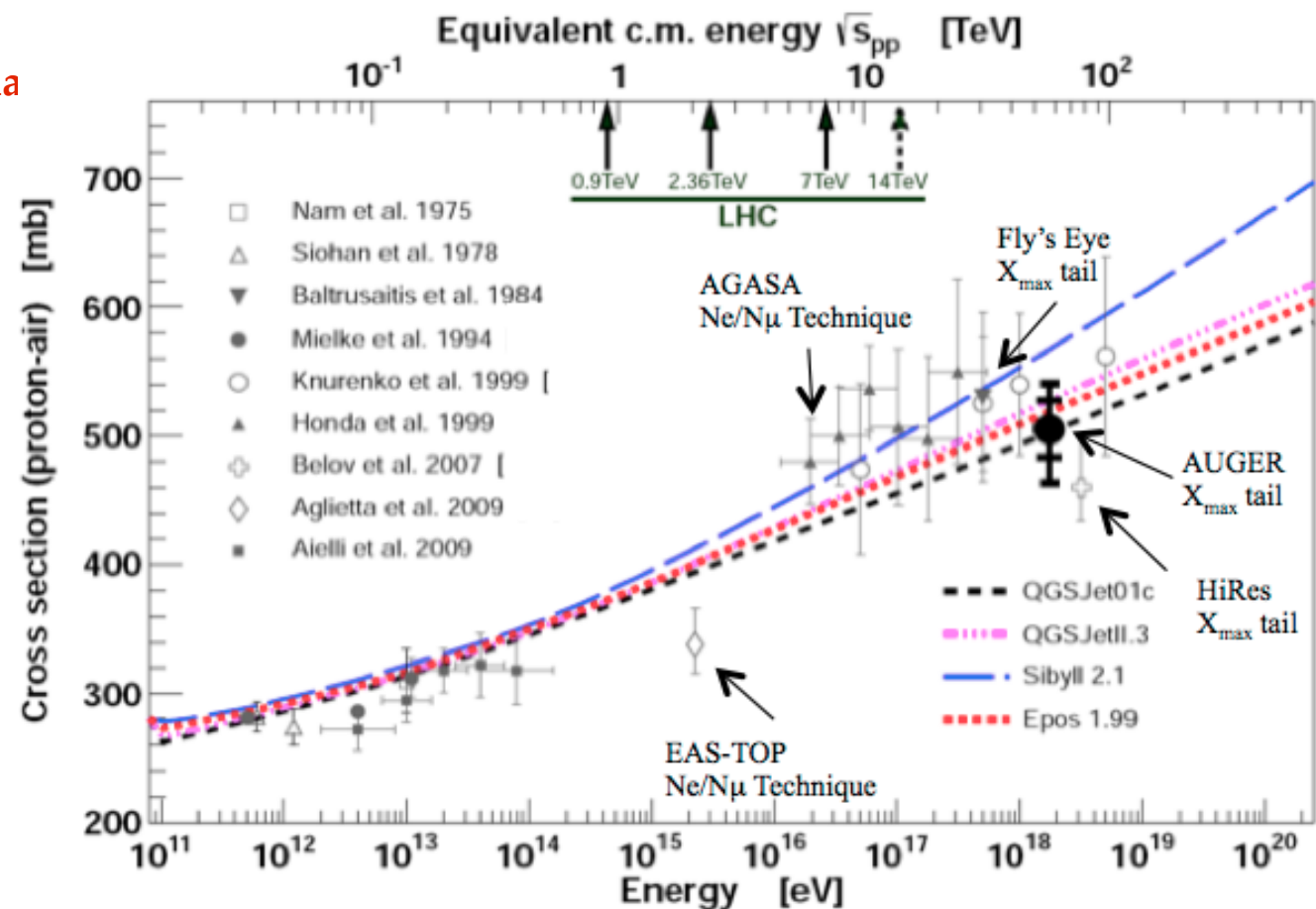
- Pomiar N_e / N_μ — czuły na X_{max} ; wymaga obliczeń MC; jeżeli mierzy się ponadto kierunek osi kaskady można wyznaczać X_1
- Pomiar „ogona” rozkładu X_{max} dla ustalonej energii cząstki pierwotnej (np. AUGER)



$$\sigma_{Inel}^{57TeV} (p - air) = 505 \pm 22 (stat)_{-36}^{+28} (syst) mb.$$

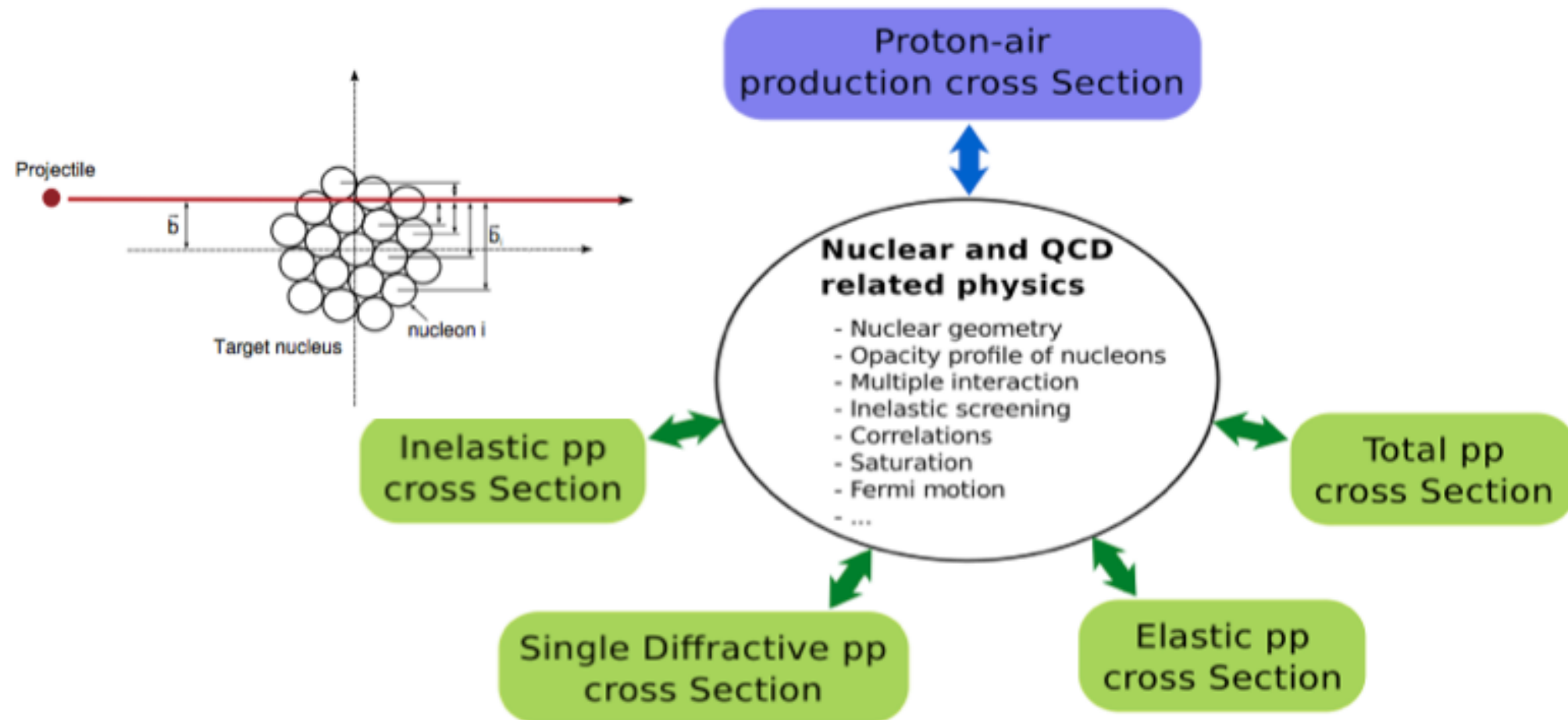
- Zależność σ_{inel} (proton- powietrze) od x_{ma} z symulacji MC.

P. Abreu *et al.* [Pierre Auger Collaboration], “Measurement of the proton-air cross-section at $\sqrt{s} = 57$ TeV” Phys. Rev. Lett. **109**, 062002 (2012)



Od proton- powietrze do nieelastycznego PCz proton-proton

Metoda opiera się na rachunkach w modelu Glaubera

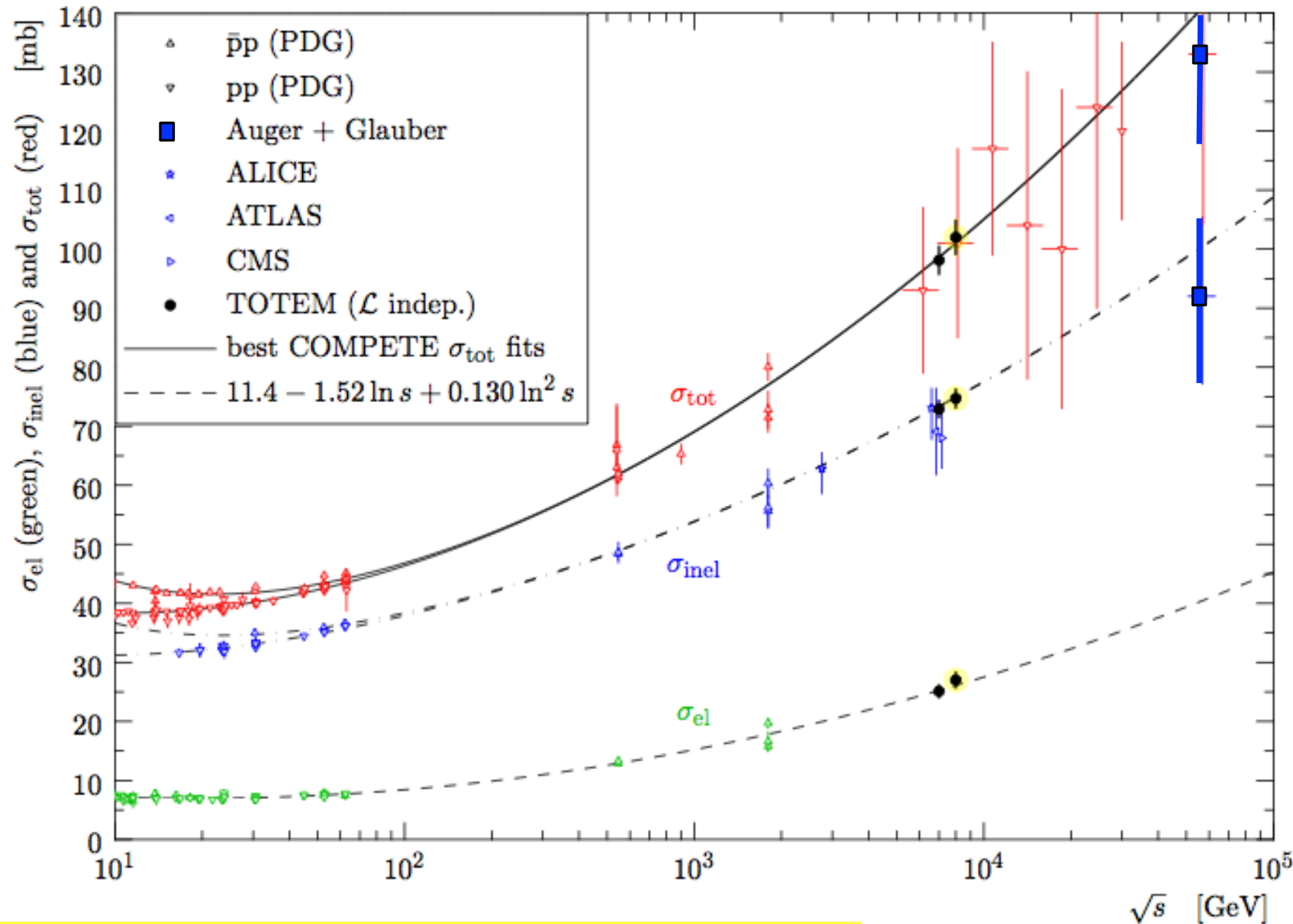


AUGER:

$$\sigma_{Inel}^{57TeV}(pp) = 92 \pm 7 (stat) \pm 9 (syst) \pm 7 (Gl.) mb$$

$$\sigma_{Tot}^{57TeV}(pp) = 133 \pm 13 (stat) \pm 17 (syst) \pm 16 (Gl.) mb.$$

6. Podsumowanie



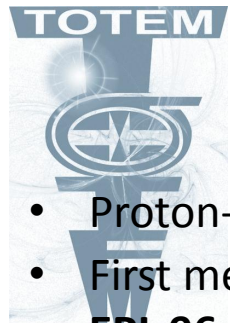
Parametryzacja Bloch- Halzen

M. M. Block and F. Halzen, "Forward hadronic scattering at 8 TeV: predictions for the LHC," Phys. Rev. D **86** (2012) 014006

$$\sigma_{Tot} = 37.1s^{-0.5} + 37.2 - 1.4\ln(s) + 0.3\ln^2(s)$$

$$\sigma_{Inel} = 62.6s^{-0.5} - 0.5 - 1.6\ln(s) + 0.14\ln^2(s)$$

Wybrana literatura (poza cytowanymi już pracami)



TOTEM Publications

- Proton-proton elastic scattering at the LHC energy of $\sqrt{s} = 7$ TeV , **EPL 95 (2011) 41001**
- First measurement of the total proton-proton cross section at the LHC energy of $\sqrt{s} = 7$ TeV **EPL 96 (2011) 21002**
- Measurement of the forward charged particle pseudorapidity density in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the TOTEM experiment, **EPL 98 (2012) 31002**
- Measurement of proton-proton elastic scattering and total cross-section at $\sqrt{s} = 7$ TeV, **EPL 101 (2013) 21002**
- Measurement of proton-proton inelastic scattering cross-section at $\sqrt{s} = 7$ TeV, **EPL 101 (2013) 21003**
- Luminosity-independent measurements of total, elastic and inelastic cross-sections at $\sqrt{s} = 7$ TeV, **EPL 101 (2013) 21004**
- A luminosity-independent measurement of the proton-proton total cross-section at $\sqrt{s} = 8$ TeV, **Phys. Rev. Lett. 111, 012001 (2013)**
- Double diffractive cross-section measurement in the forward region at LHC, **Phys. Rev. Lett. 111 (2013) 262001** .
- Measurement of pseudorapidity distributions of charged particles in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV by the CMS and TOTEM experiments CERN-PH-EP-2014-063, submitted to **EPJ**
- The TOTEM Experiment at the CERN Large Hadron Collider **JINST 3 (2008) S08007**
- Performance of the Totem Detectors at the LHC, **Int. J. Mod. Phys. A**
- LHC optics determination with proton tracks measured in the Roman Pots detectors of the TOTEM experiment CERN-PH-EP-TOTEM-2014-002, submitted to **New J. Phys**

ATLAS

- Sigma total from elastic cross-section, Nucl. Phys. B898 (2014) 465, patrz także L. Tompkins arXiv1402.2011;
- M. Trzebiński, Towards a Total Cross Section Measurement with the ALFA Detector at ATLAS, Proc. 19th Cracow Epiphany Conference on The Physics after the first phase of the LHC, 2013, Acta Phys.Polon. B44 (2013) pp.1363-1705
- G. Aad et. al Measurement of the Inelastic Proton-Proton Cross-Section at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS Detector, Nature Commun. 2 (2011) 463

ALICE

- Measurement of inelastic, single- and double-diffraction cross sections in proton--proton collisions at the LHC with ALICE, By ALICE Collaboration (Betty Abelev et al.), arXiv:1208.4968 [hep-ex], Eur.Phys.J. C73 (2013) 2456.

CMS

- CMS Collaboration (Serguei Chatrchyan et al.), Measurement of the inelastic proton-proton cross section at $\sqrt{s}=7$ TeV, arXiv: 1210.6718 [hep-ex], Phys.Lett. B722 (2013) 5-27,
- ditto, CMS PAS-QCD-11-002.

Teoria i przeglądy

- N. Cartaglia, Measurements of pp total, elastic, inelastic and diffractive cross sections, arXiv 1305.6131,
- J. R. Cudell et. al. (COMPETE), Brnchmarks for the Forward Observations at RHIC, Tevatron Run II and LHC", arXiv hep-ph 0206/172,
- J. R. Cudell et. al. σ_{tot} at thre LHC: Models and Experimental Consequences, arXiv 0911. 3508
- M.M. Block, Ultra-high Energy Predictions of Proton-Air Cross Sections from Accelerator Data: an Updat_e, arXiv:1109.2940 [hep-ph], Phys.Rev. D84 (2011) 091501.
- Martin M. Block, Francis Halzen., 'Soft' Hadronic Cross Sections Challenge Hidden Dimensions,, arXiv:1201.0960 [hep-ph].