

Efekty spinowe w ekskluzywnej produkcji mezonów ρ^0 w eksperymencie COMPASS



Seminarium Fizyki Wielkich Energii, Warszawa, 19 V 2006

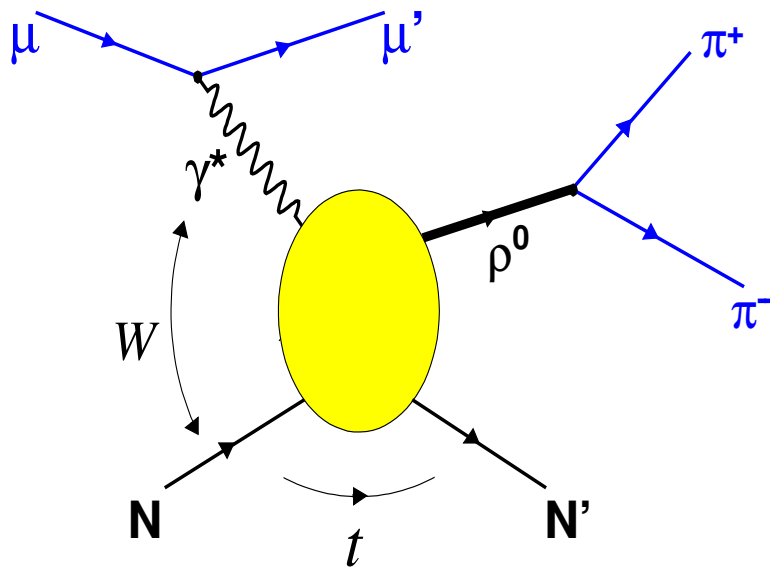
Oleg A. Grajek

IPJ, Zakład Fizyki Wielkich Energii (P-VI)

Plan:

- reakcja ekskluzywnej produkcji mezonów wektorowych (EVMP)
- motywacja
- eksperyment COMPASS
- selekcja danych do analizy
- efekty spinowe w EVMP
- wyniki
- podsumowanie

Reakcja ekskluzywnej produkcji mezonów wektorowych (EVMP)



Na niebiesko czastki (tory) rejestrowane przez spektrometr COMPASSa.

$$\text{BR}(\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^-) \approx 100\%$$

$$Q^2 = -q^2 = -(k - k')^2$$

$$x_{\text{Bj}} = Q^2 / (2\nu m_p), \quad \nu = p \cdot q / m_p$$

$$W^2 = (p + q)^2 \quad y = \nu / E_{\text{beam}}$$

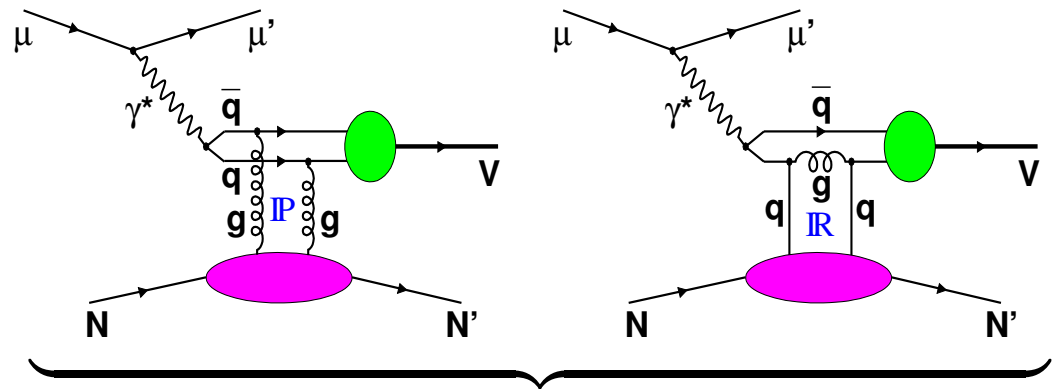
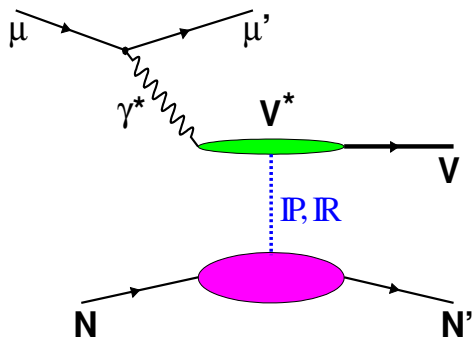
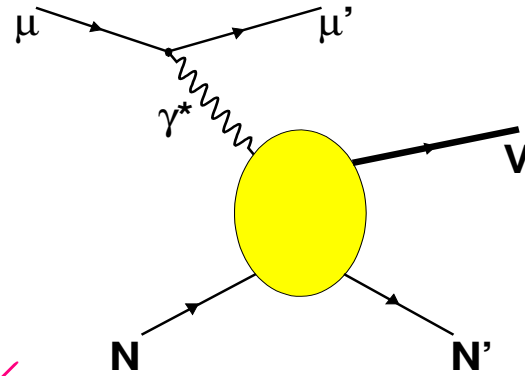
$$t = (p - p')^2 = (q - v)^2$$

$$p_t^2 \approx |t - t_{\text{min}}|$$

k, k', q, v, p, p' — 4-pędy cząstek $\mu, \mu', \gamma^*, \rho^0, N, N'$

- wymiana **reggeonów (R)** w kanale t
o parzystości **P naturalnej** (ρ, ω, f, a_2) i **nienaturalnej** (π, a_1)
- w zakresie energetycznym COMPASSa dominuje wymiana **pomeronu (P)**
 \implies proces **dyfrakcyjny** (parzystość naturalna)
- pozwala testować perturbacyjne i nieperturbacyjne aspekty oddziaływań silnych
- to seminarium \implies produkcja **niekoherentna** na **spolaryzowanej** tarczy ${}^6\text{LiD}$

Nieperturbacyjny i perturbacyjny opis reakcji EVMP



opis nieperturbacyjny:

modele oparte na VMD / GVMD

+ elementy teorii Regge

$$d\sigma/dQ^2 \propto (Q^2 + m_V^2)^{-2}$$

opis perturbacyjny:

modele oparte na pQCD

podst. przywidywanie: $d\sigma/dt|_{t=0} \propto [\bar{x} g(\bar{Q}^2, \bar{x})]^2$

$$N \equiv (Q^2 + m_V^2 + p_t^2), \quad \bar{Q}^2 = z(1-z)N, \quad \bar{x} = N/W^2$$

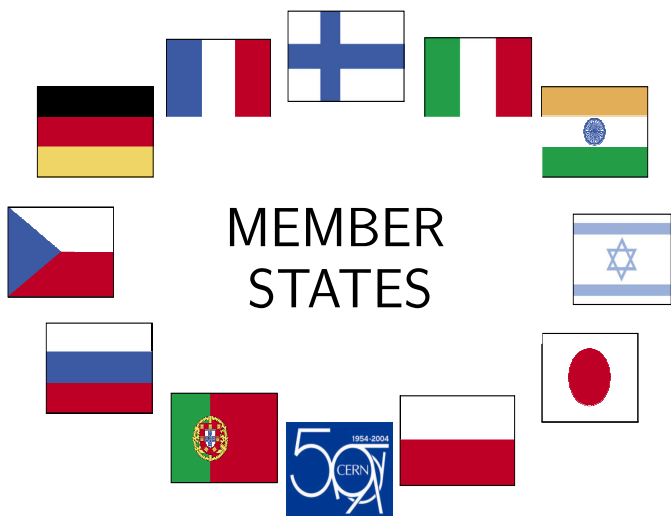
Motywacja dla badania reakcji EVMP

- badanie hadronowej struktury wirtualnego fotonu
- proces **dyfrakcyjny** \implies przy dużych W dominuje wymiana **pomeronu** w kanale t (badanie jego fizycznej natury, sprzężeń itp.)
- proces **ekskluzywny** \implies w obszarze stosowalności pQCD dostęp do **uogólnionych rozkładów partonów** (ang. **Generalized Parton Distributions, GPDs**)
- efekty spinowe w EVMP:
 - dość dobrze poznana dynamika reakcji dla niespolaryzowanej albo spolaryzowanej wiązki i **niespolaryzowanej tarczy**
 - \implies **spinowa macierz gęstości** (ang. spin density matrix, SDM) mezonów wekt.
 - \implies testowanie hipotezy **SCHC**
 - bardzo słabo znana dynamika reakcji dla **spolaryzowanych wiązki i tarczy**
 - \implies szczególna motywacja do badania **asymetrii podwójnie-spinowych**
 - \implies **zależne od spinu GPDs** (pQCD)

Eksperyment COMPASS (NA-58) w CERN-ie



Common
Muon and
Proton
Apparatus for
Structure and
Spectroscopy

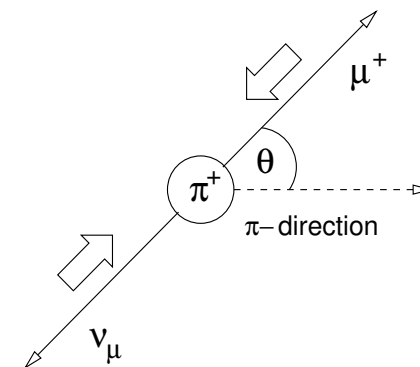
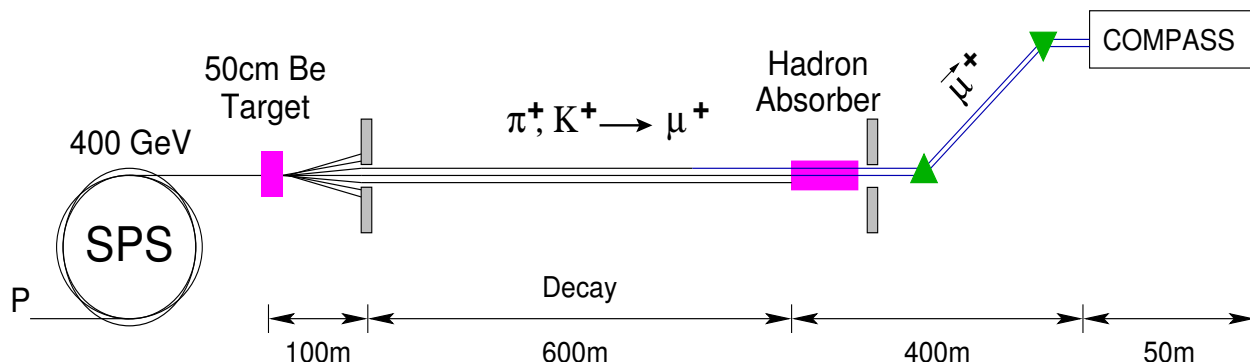


ok. 230 fizyków z 28 instytutów z 11 krajów + CERN
zatwierdzony w 1997r., rozpoczęcie budowy w 1998 r.
run techniczny w 2001 r., rozpoczęcie zbierania danych
w 2002 r.



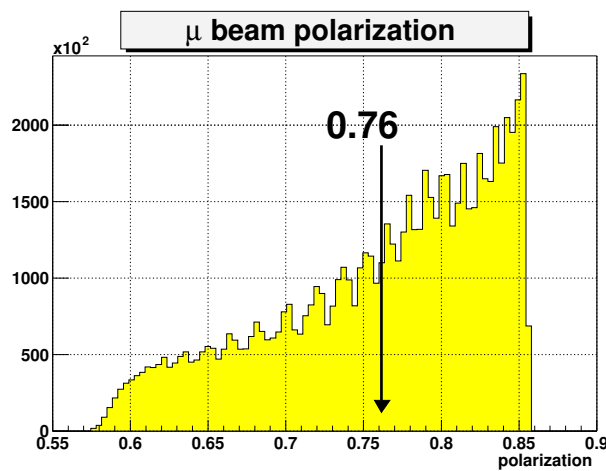
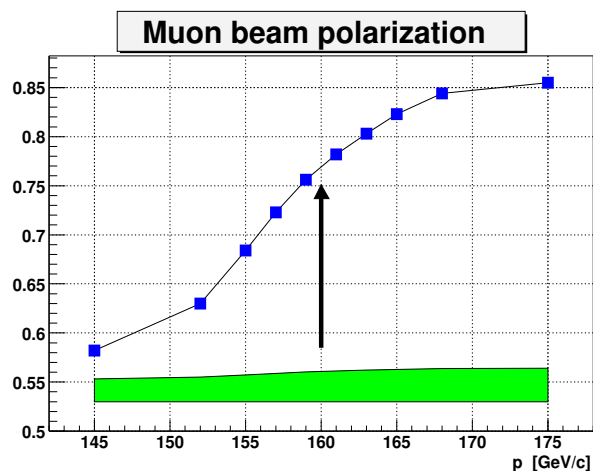
COMPASS — wiązka spolaryzowana

COMPASS wykorzystuje wiązkę **mionową** dostarczaną z **SPS** za pomocą linii wiązki **M2**



słabe rozpady $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
 naturalna polaryzacja mionów

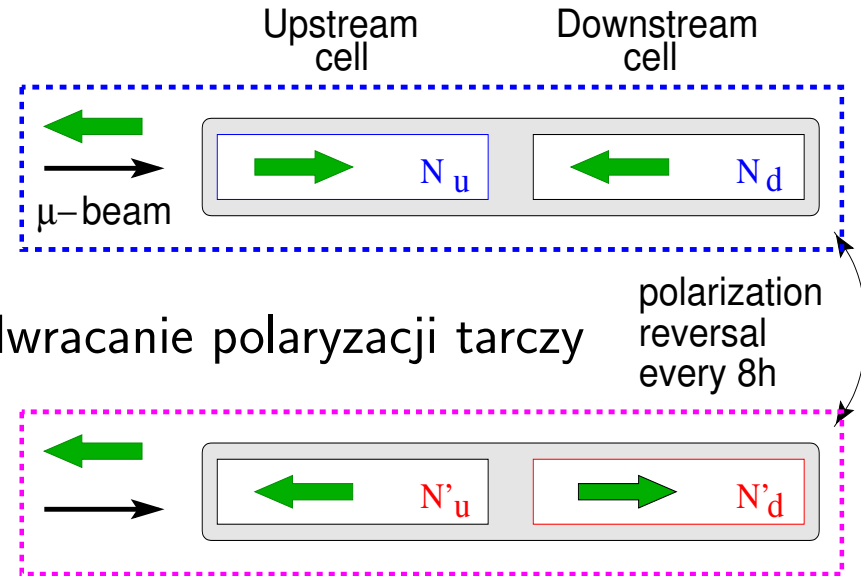
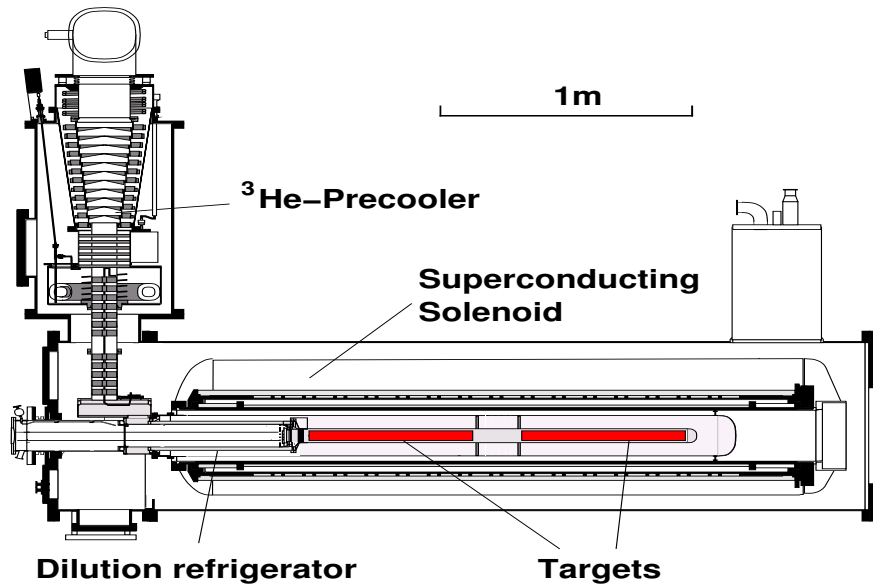
wiązka o intensywności $2 \times 10^8 \mu$ /napętnienie (spill); $T_{\text{spill}} = 4.8 \text{ s}$; $T_{\text{cykl SPS}} = 16.2 \text{ s}$
 świetlnosc $\sim 5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$



$$E_{\text{beam}} = 160 \text{ GeV}$$

$$P_{\text{beam}} = -0.76$$

COMPASS — tarcza spolaryzowana

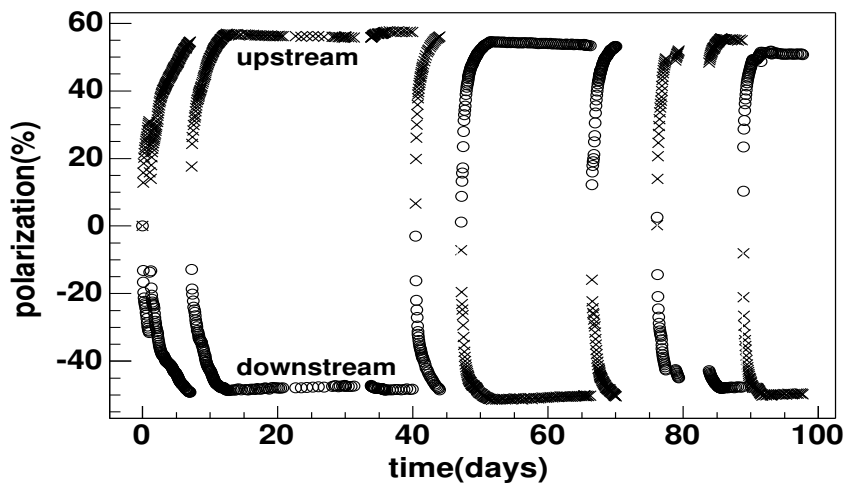


Tarcza: 2 cylindry o $L = 60$ cm i $\varnothing = 3$ cm każdy, spolaryzowane **przeciwnie**

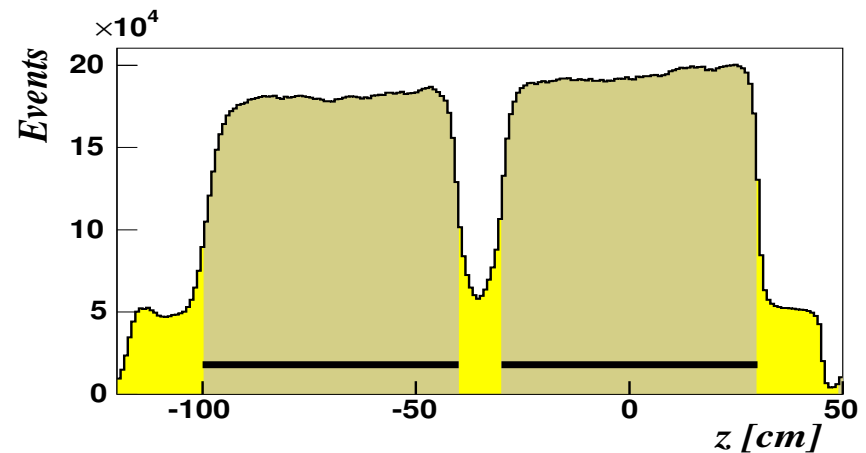
Materiał polaryzowalny: ${}^6\text{LiD}$

Polaryzacja: Dynamical Nuclear Polarization

Chłodzenie: ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ dilution refrigerator

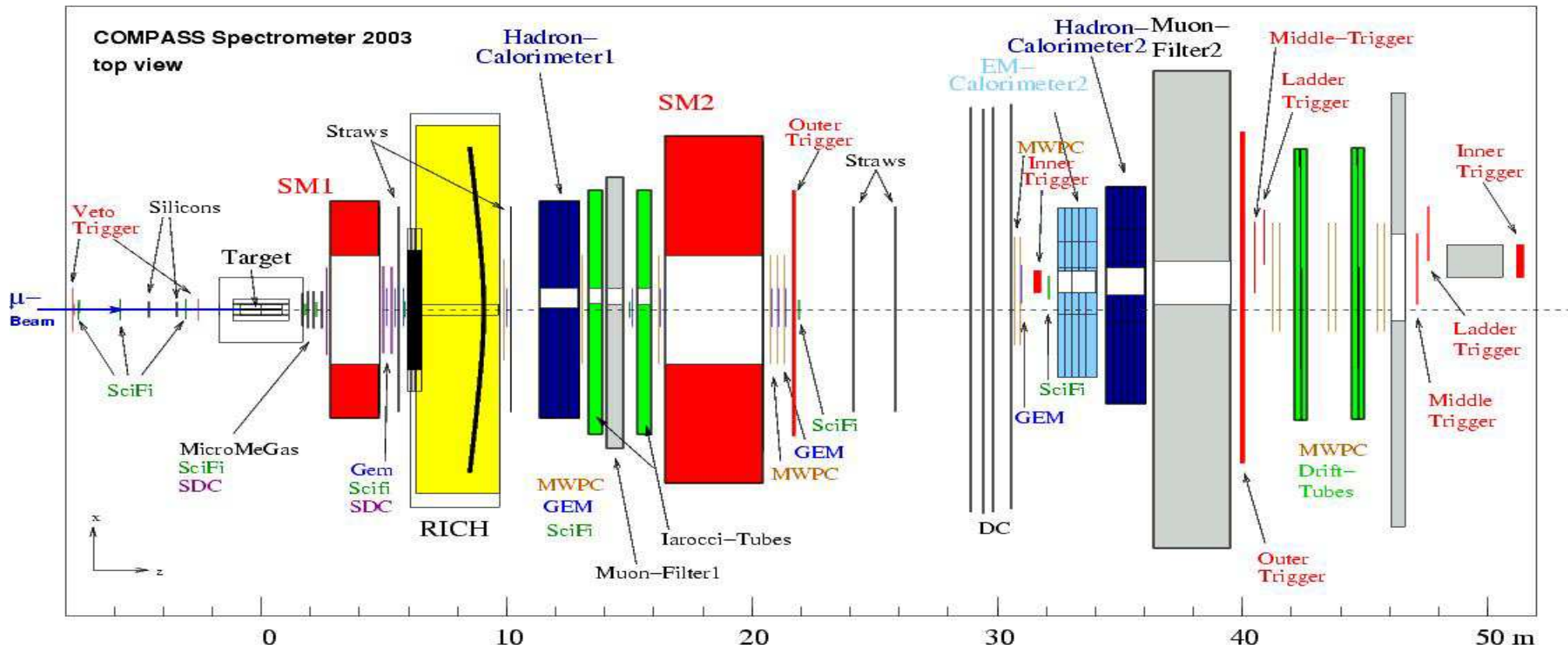


$$P_{\text{targ}} = 0.50 - 0.53$$



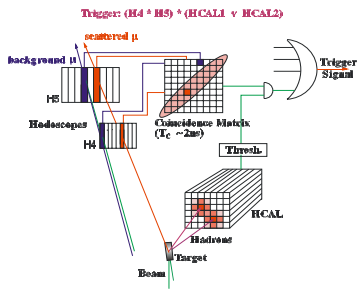


COMPASS — spektrometr (2003 r.)



- spektrometr 1-ramienny, dł. ok. 60 m
- 2 podukłady (LAS, SAS), każdy wyposażony w magnes dipolowy (odp. SM1 i SM2)
- detektory śladowe, m.in. **MicroMeGas**, **GEM**, komory dryfowe, MWPC, komory słomkowe
- 2 detektory mionów: Muon Wall (LAS i SAS)
- kalorymetry: 2 hadronowe (LAS i SAS), 1 elektromagnetyczny (SAS)
- identyfikacja cząstek: RICH

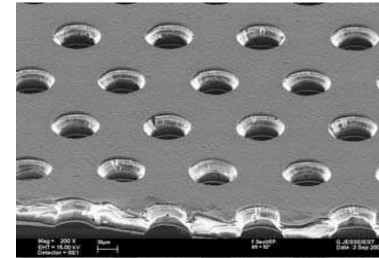
COMPASS — pierwszy CERN-owski eksperyment XXI wieku



Trigger-System



MicroMeGas



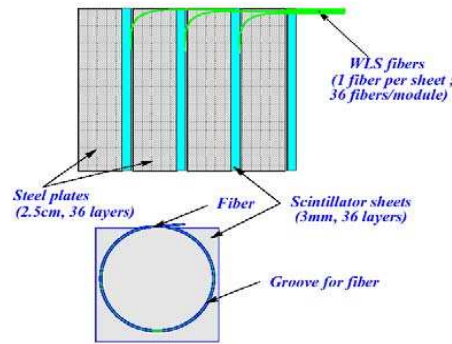
GEM



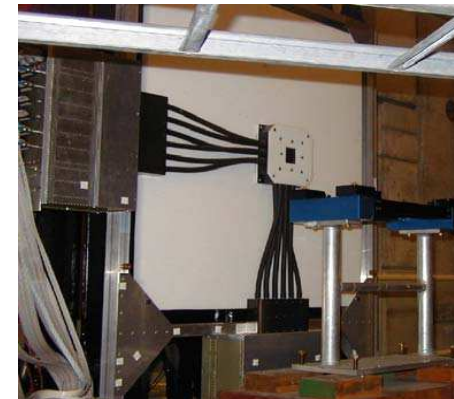
Straws



Readout electronics



Calorimeter readout

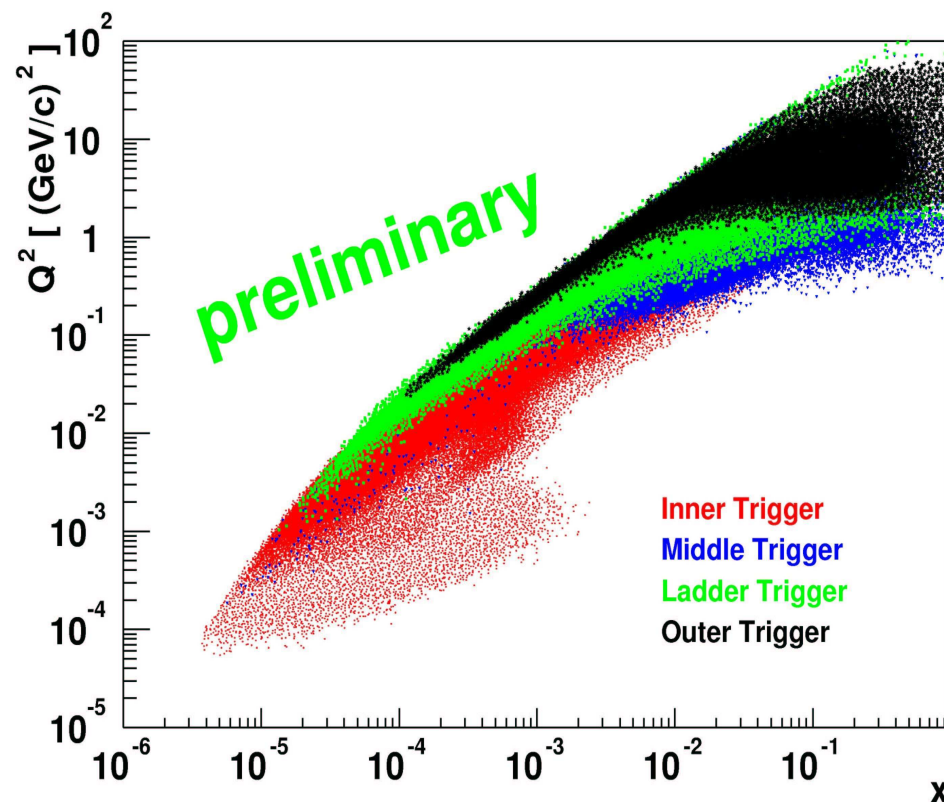
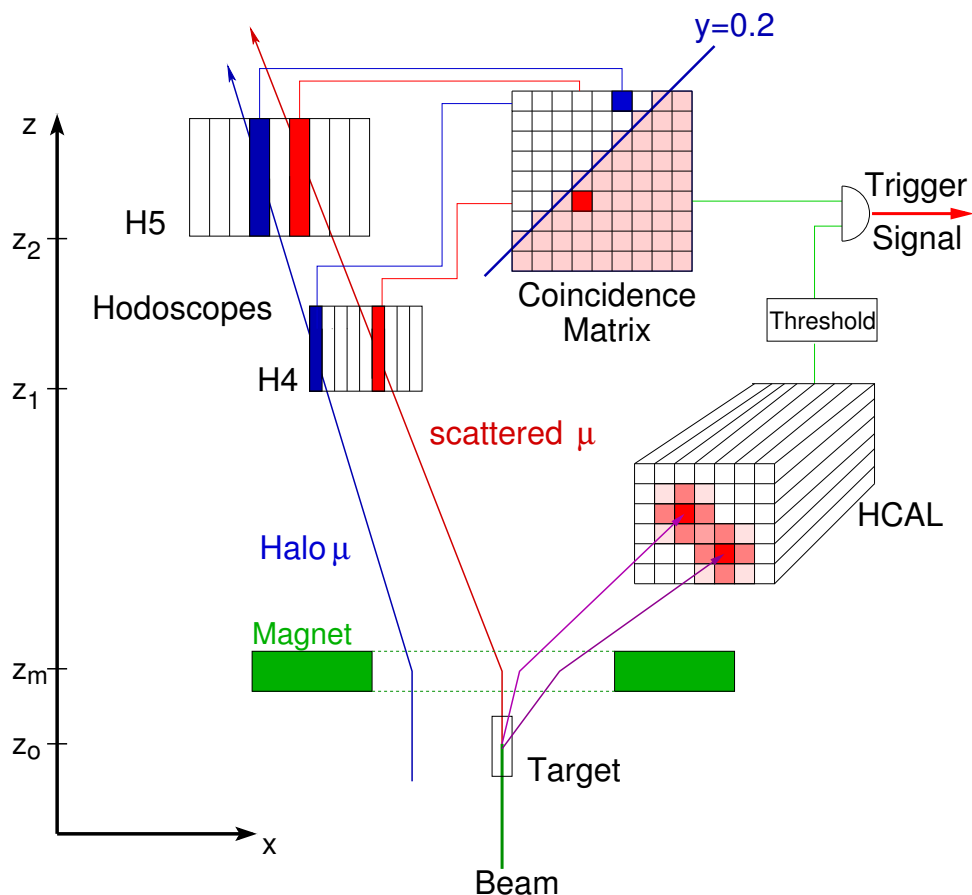


Scintillating fiber trackers

- nowe technologie
- detektory nowego typu: **MicroMeGas**, **GEM**
- nowe rozwiązania w detektorach „standardowych”
- nowa szybka elektronika do odczytu detektorów (ok. **250 000** kanałów detekcyjnych)
- system akwizycji danych à la LHC, z przetwarzaniem potokowym i buforowaniem danych



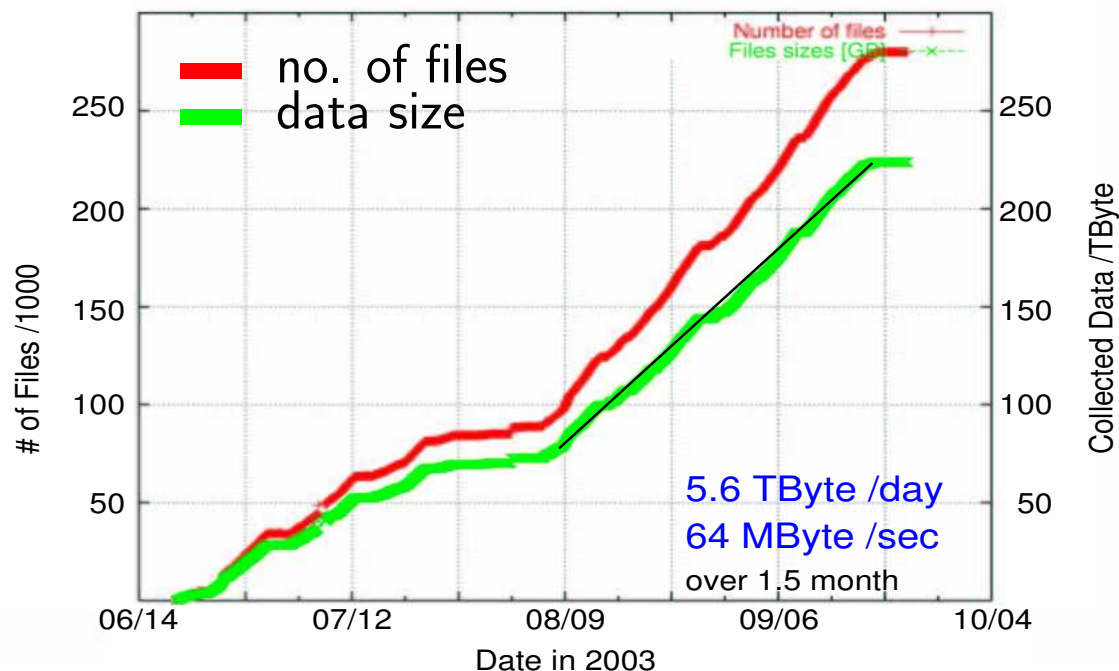
COMPASS — układ trygera



- tryger mionowy („geometryczny”) — **inkluzywny**
 - pary płaszczyzn hodoskopów scyntylacyjnych
 - podzielony na 4 podukłady: **Inner**, **Ladder**, **Middle** i **Outer Trigger**
- dodatkowo sygnał z jednego z kalorymetrów hadronowych — tryger **semiinkluzywny**
- tryger „czysto” kalorymetryczny (CT) — największe Q^2



COMPASS — zbieranie danych w latach 2002–2004



	2002	2003	2004
czas na wiązce [dni]	106	90	109
przygotowania [dni]	30	7	3
ϵ_{SPS}	0.90	0.63	0.67
ϵ_{spectr}	0.77	0.83	0.87
liczba przyp. ze zrek. wierzch. $\times 10^9$	~ 2.2	~ 2.5	~ 4.0
obj. danych [Tbyte]	~ 200	~ 250	~ 450

Efekty spinowe w ekskluzywnej produkcji mezonów ρ^0 — analiza

2 niezależne przypadki — przebadane w ramach niezależnych analiz:

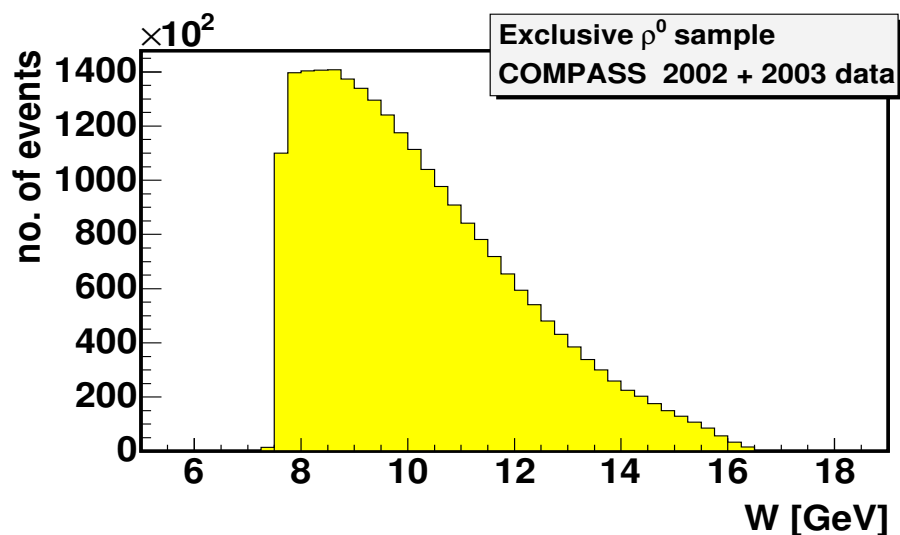
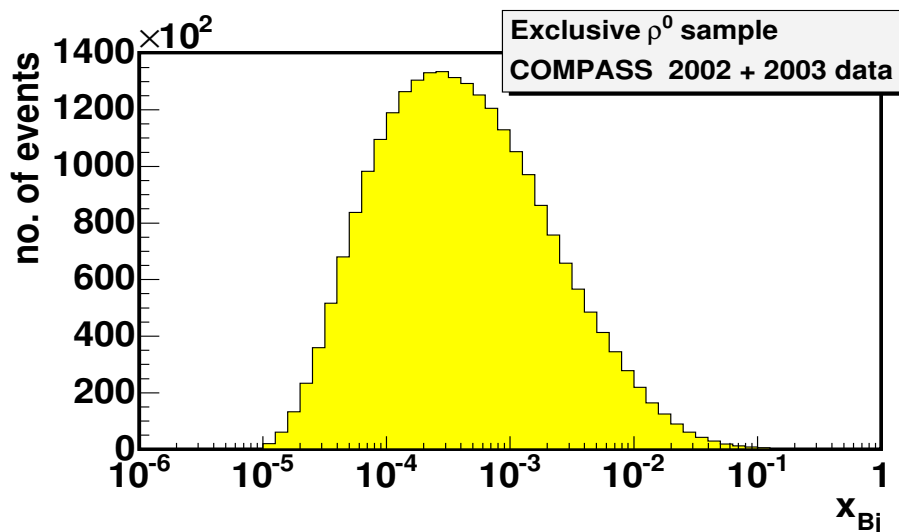
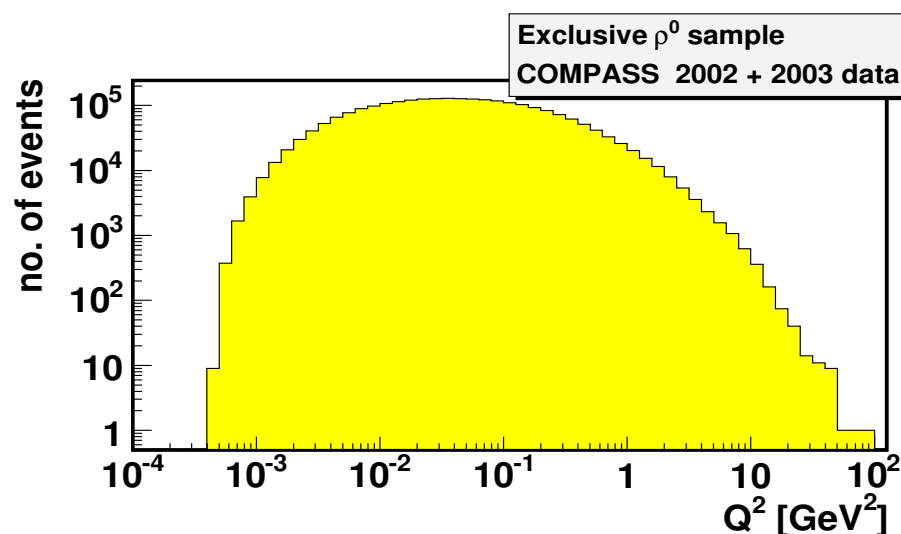
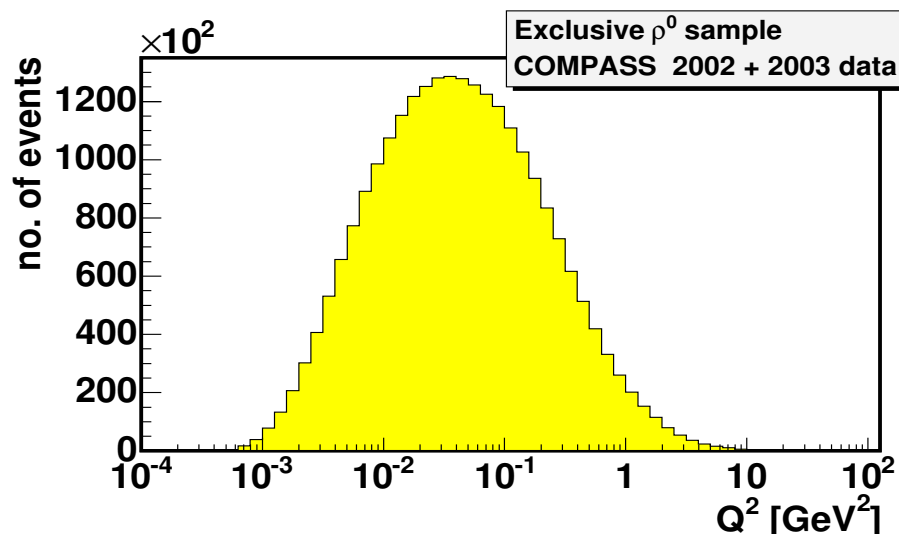
wiązka:	spolaryzowana	spolaryzowana
tarcza:	niespolaryzowana (zsypano przypadki z obu cel)	spolaryzowana
obiekt: badany:	spinowa macierz gęstości (SDM) mezonu ρ^0	asymetria podwójnie spinowa A_1^ρ
dane:	całe 2002	całe 2002 + 2003
zakres Q^2 :	$Q^2 > 0.01 \text{ GeV}^2$	cały dostępny

Tarcza **deuteronowa** (${}^6\text{LiD}$)

Selekcja przypadków z ekskluzywną produkcją mezonów ρ^0

- przypadek musi mieć zrekonstruowany wierzchołek pierwotny
wierzchołek pierwotny — w. oddziaływania mionu wiązki z nukleonem tarczy
- wierzchołek pierwotny musi być wewnątrz jednej z cel tarczy
- tylko przypadki z 3 torami wychodzącymi z wierzchołka pierwotnego
- jeden z 3 torów musi być torem mionu rozproszonego, pozostałe 2 muszą być torami hadronowymi i mieć przeciwne ładunki
- RICH nie używany do identyfikacji cząstek
 - 1) torom hadronowym przypisane hipotezy masowe m_{π^\pm} i $m_{K^\pm} \implies$
 - 2) obliczone masy $m_{\pi\pi}$ i m_{KK}
- $z_{\text{last}} < 33$ m dla torów pionów \implies obniża liczbę misidentyfikacji μ' jako π
- taki sam strumień mionów wiązki musi przechodzić przez obie cele tarczy (tylko w analizie asymetrii A_1^ρ)
- $E_{\mu'} > 20$ GeV i $\nu > 30$ GeV

COMPASS — rozkłady zmiennych mionowych dla próbki ekskl. ρ^0

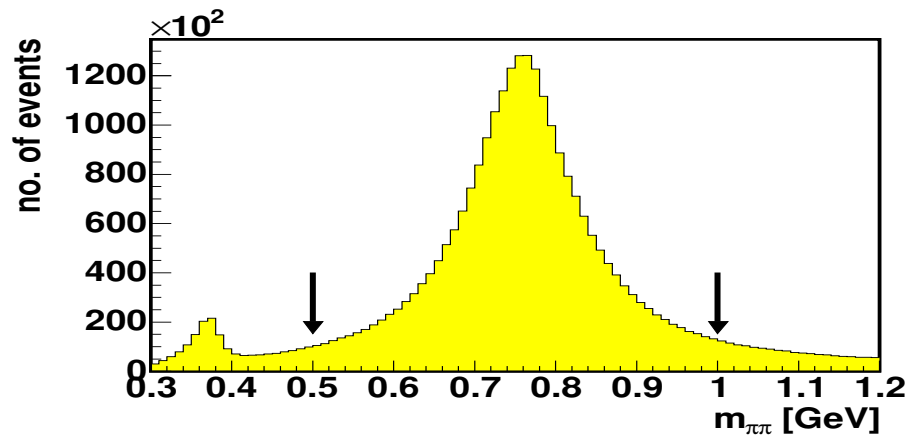


$$\langle W \rangle = 10.2 \text{ GeV}$$

Dla porównania: ZEUS i H1: $\langle W \rangle = 70 - 80 \text{ GeV}$

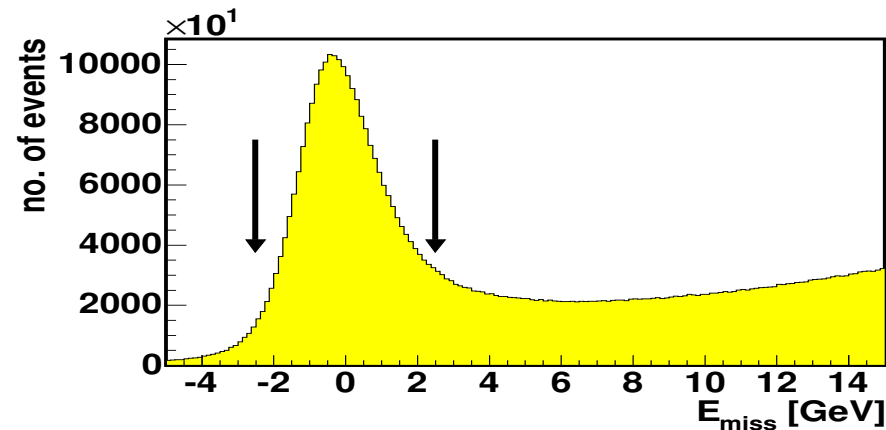
HERMES: $\langle W \rangle \approx 5 \text{ GeV}$

COMPASS — rozkłady zmiennych hadronowych dla próbki ekskl. ρ^0



$$m_{\pi\pi} \text{ [GeV]}$$

$$0.5 < m_{\pi\pi} < 1 \text{ [GeV]}$$

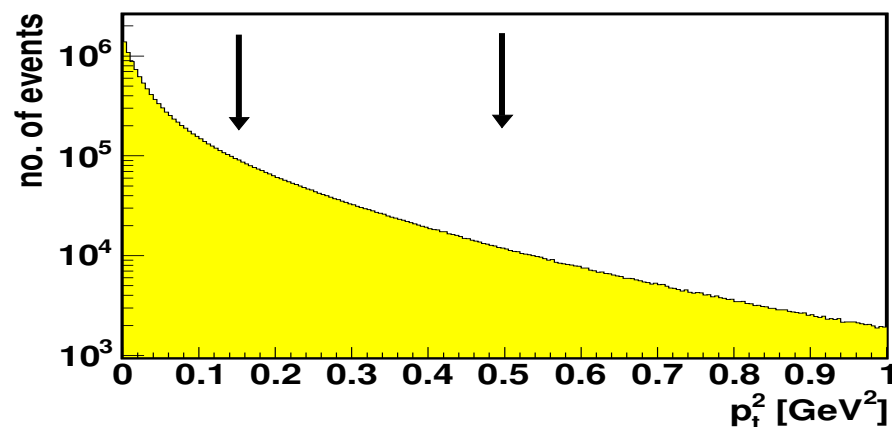


$$E_{\text{miss}} \text{ [GeV]}$$

$$E_{\text{miss}} = (m_X^2 - m_p^2) / 2 m_p$$

$$m_X^2 = (p + q - v)^2$$

$$-2.5 < E_{\text{miss}} < 2.5 \text{ [GeV]}$$



$$p_t^2 \text{ [GeV}^2\text{]}$$

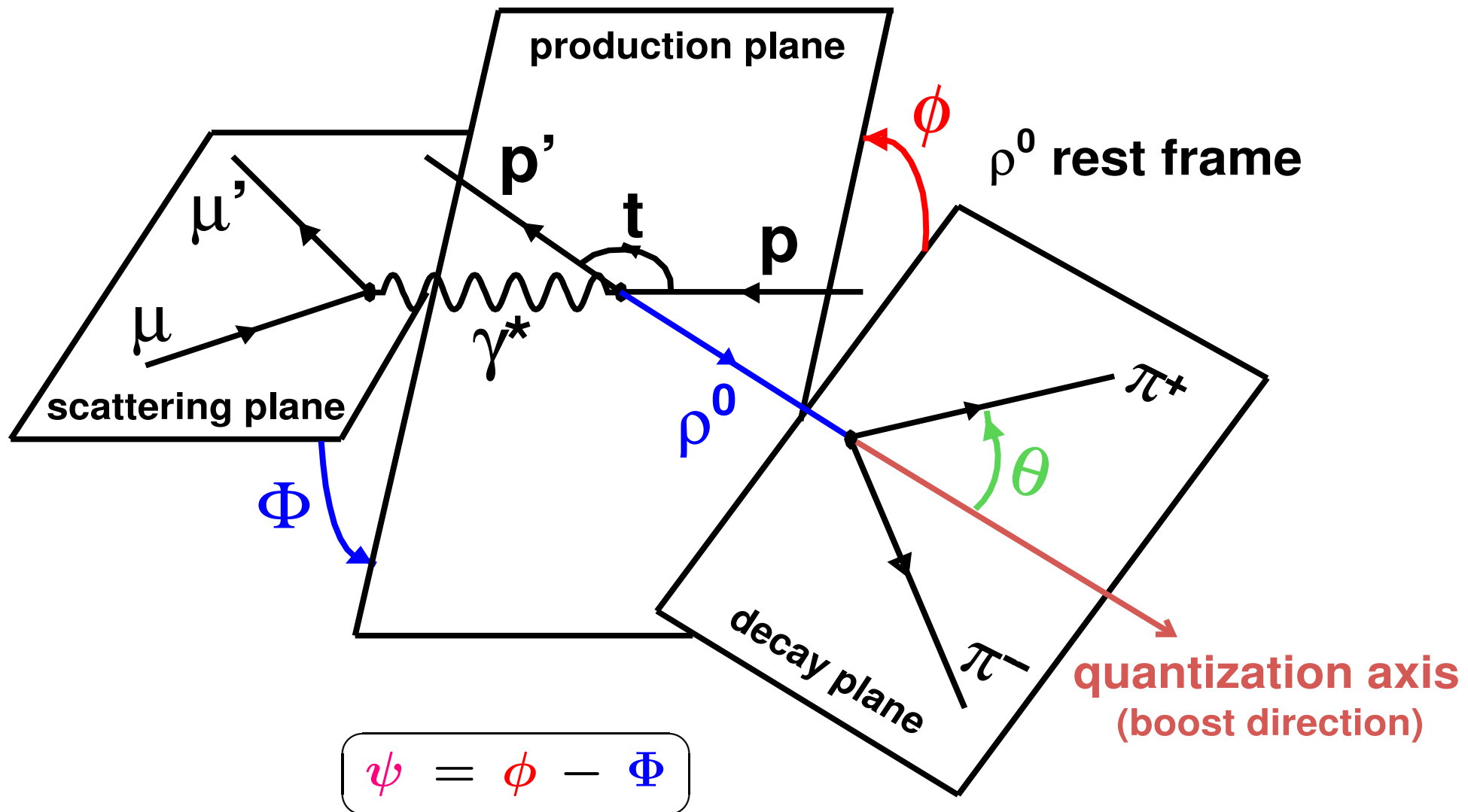
$$0.15 < p_t^2 < 0.5 \text{ [GeV}^2\text{]}$$

\Rightarrow produkcja niekoherentna

$$\langle p_t^2 \rangle = 0.27 \text{ GeV}^2$$

Kąty θ , ϕ , Φ i ψ dla ekskl. produkcji i rozpadu mezonów wektorowych

γ^* N center-of-mass frame



Spinowa macierz gęstości mezonu ρ^0 [1]

Formalizm poniżej wg pracy: K. Schilling, G. Wolf, Nucl.Phys.B 61 (1973) 381

- Standardowy formalizm dla reakcji 2-ciałowych (M. Jacob, G.C. Wick, 1959)
 \Rightarrow amplitudy skrętnościowe T dla reakcji $\gamma^* N \rightarrow V N'$:

$$T_{\lambda_V \lambda_{N'}, \lambda_\gamma \lambda_N} = \langle \lambda_V \lambda_{N'} | j_{\lambda_\gamma} | \lambda_N \rangle$$

- Spinowa macierz gęstości (SDM) mezonu wektorowego — $\rho(V)$:

$$\rho(V) \propto \sum_{\lambda_N \lambda_{N'}} T \rho(\gamma) T^\dagger, \quad \text{gdzie } \rho(\gamma) \text{ — spinowa macierz gęstości fotonu}$$

- Rozkład $\rho(V)$ w bazie macierzy hermitowskich ρ^α :

$$\rho(V) = \sum_{\alpha=0}^8 \Pi_\alpha \rho^\alpha$$

gdzie elementy SDM (SDME) ρ^α :

$$\rho_{\lambda_V \lambda_{V'}}^\alpha = (2N_\alpha)^{-1} \sum_{\lambda_N, \lambda_{N'}, \lambda_\gamma, \lambda_{\gamma'}} T_{\lambda_V \lambda_{N'}, \lambda_\gamma \lambda_N} \Gamma_{\lambda_\gamma, \lambda_{\gamma'}}^\alpha T_{\lambda_{V'} \lambda_{N'}, \lambda_{\gamma'} \lambda_N}^*$$

Γ^α , $\alpha = 0, 1, \dots, 8$ — hermitowskie macierze bazowe przestrzeni 3×3 , N_α — stałe normalizacyjne

Zasada zachowania parzystości P i własności symetrii macierzy Γ^α redukują liczbę niezależnych SDME $\rho_{\lambda\lambda'}^\alpha$ do 26.

Spinowa macierz gęstości mezonu ρ^0 [2]

- Przy braku separacji przekroju czynnego $\sigma(\gamma^* N \rightarrow V N')$ na wkłady σ_L i σ_T od fotonów odpowiednio γ_L^* i γ_T^* (np. COMPASS), definiuje się następujące SDME:

$$r_{ik}^{04} = \frac{\rho_{ik}^0 + \epsilon' R \rho_{ik}^4}{1 + \epsilon' R}, \quad r_{ik}^\alpha = \frac{c \rho_{ik}^\alpha}{1 + \epsilon' R},$$

gdzie: $\alpha = 1-3, 5-8, i, k = -1, 0, 1$

$c = 1$ dla $\alpha = 1-3$ i $c = \sqrt{R}$ dla $\alpha = 5-8$

$R = \sigma_L / \sigma_T, \quad \epsilon' \equiv \epsilon + \delta = \Gamma_L / \Gamma_T$

ϵ — parametr polaryzacyjny fotonu

$\delta = 2m^2 Q^{-2}(1 - \epsilon)$ — poprawka masowa dla $m \neq 0$ (m — masa leptonu)

- Rozkład kątowy cząstek w rozpadzie mezonu wektorowego na 2 cząstki **bezsponowe**:

$$\frac{d^3 N}{d \cos \theta d \phi d \Phi} \equiv W(\cos \theta, \phi, \Phi) = \sum_{\alpha=0}^8 \Pi_\alpha(\Phi) W^\alpha(\cos \theta, \phi)$$

gdzie:

$$W^\alpha(\cos \theta, \phi) = \frac{3}{4\pi} [D_{\lambda_V 0}^1(\phi, \theta, -\phi)]^* \rho_{\lambda_V \lambda_V}^\alpha(V) D_{\lambda_V 0}^1(\phi, \theta, -\phi)$$

$D_{\beta\gamma}^\alpha$ — Wignera funkcje obrotów

Rozkład kątowy produkcji i rozpadu (na 2 cząstki bezspinowe) mezonu wekt. w jawnej postaci

$$\begin{aligned}
 W(\cos\theta, \phi, \Phi) &= W(\cos\theta, \phi, \Phi)_{\text{unpolar.}} \pm W(\cos\theta, \phi, \Phi)_{\text{long. polar.}} = \\
 &= \frac{3}{4\pi} \left\{ \left\{ \frac{1}{2}(1 - r_{00}^{04}) + \frac{1}{2}(3 r_{00}^{04} - 1) \cos^2\theta - \sqrt{2} \operatorname{Re} r_{10}^{04} \sin 2\theta \cos\phi - \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. r_{1-1}^{04} \sin^2\theta \cos 2\phi - \epsilon \cos 2\Phi \times \right. \right. \\
 &\quad \left. \left(r_{11}^1 \sin^2\theta + r_{00}^1 \cos^2\theta - \sqrt{2} \operatorname{Re} r_{10}^1 \sin 2\theta \cos\phi - r_{1-1}^1 \sin^2\theta \cos 2\phi \right) - \right. \\
 &\quad \left. \epsilon \sin 2\Phi \left(\sqrt{2} \operatorname{Im} r_{10}^2 \sin 2\theta \sin\phi + \operatorname{Im} r_{1-1}^2 \sin^2\theta \sin 2\phi \right) + \right. \\
 &\quad \left. \sqrt{2\epsilon(1+\epsilon')} \cos\Phi \times \right. \\
 &\quad \left. \left(r_{11}^5 \sin^2\theta + r_{00}^5 \cos^2\theta - \sqrt{2} \operatorname{Re} r_{10}^5 \sin 2\theta \cos\phi - r_{1-1}^5 \sin^2\theta \cos 2\phi \right) + \right. \\
 &\quad \left. \sqrt{2\epsilon(1+\epsilon')} \sin\Phi \left(\sqrt{2} \operatorname{Im} r_{10}^6 \sin 2\theta \sin\phi + \operatorname{Im} r_{1-1}^6 \sin^2\theta \sin 2\phi \right) \right. \\
 &\quad \left. \right\} (\text{unpolar.}) \pm \\
 &P_b \left\{ \sqrt{1-\epsilon^2} \left(\sqrt{2} \operatorname{Im} r_{10}^3 \sin 2\theta \sin\phi + \operatorname{Im} r_{1-1}^3 \sin^2\theta \sin 2\phi \right) + \right. \\
 &\quad \left. \sqrt{2\epsilon(1-\epsilon)(1+2\delta/(1+\epsilon))} \times \right. \\
 &\quad \left[\cos\Phi \left(\sqrt{2} \operatorname{Im} r_{10}^7 \sin 2\theta \sin\phi + \operatorname{Im} r_{1-1}^7 \sin^2\theta \sin 2\phi \right) + \sin\Phi \times \right. \\
 &\quad \left. \left(r_{11}^8 \sin^2\theta + r_{00}^8 \cos^2\theta - \sqrt{2} \operatorname{Re} r_{10}^8 \sin 2\theta \cos\phi - r_{1-1}^8 \sin^2\theta \cos 2\phi \right) \right] \\
 &\quad \left. \right\} (\text{long. polar.}) \}
 \end{aligned}$$

23 niezależne SDME r_{ik}^{04} i r_{ik}^α : 15 (+8) dostępnych z wiązką niespolar. (spolar.)

P_b — polaryzacja wiązki

Hipoteza zachowania skrętności w kanale s

ang.: s -channel helicity conservation — SCHC

mezon wekt. **zachowuje skrętność** fotonu-rodzica, zdefiniowaną w kanale s :

$$\gamma_L^* \implies V_L$$

$$\gamma_T^* \implies V_T$$

$$\cancel{\gamma_L^* \implies V_T}$$

$$\cancel{\gamma_T^* \implies V_L}$$

Jeśli SCHC obowiązuje to tylko 5 SDME $r_{ik}^{04/\alpha} \neq 0$, 3 z nich **niezależne**:

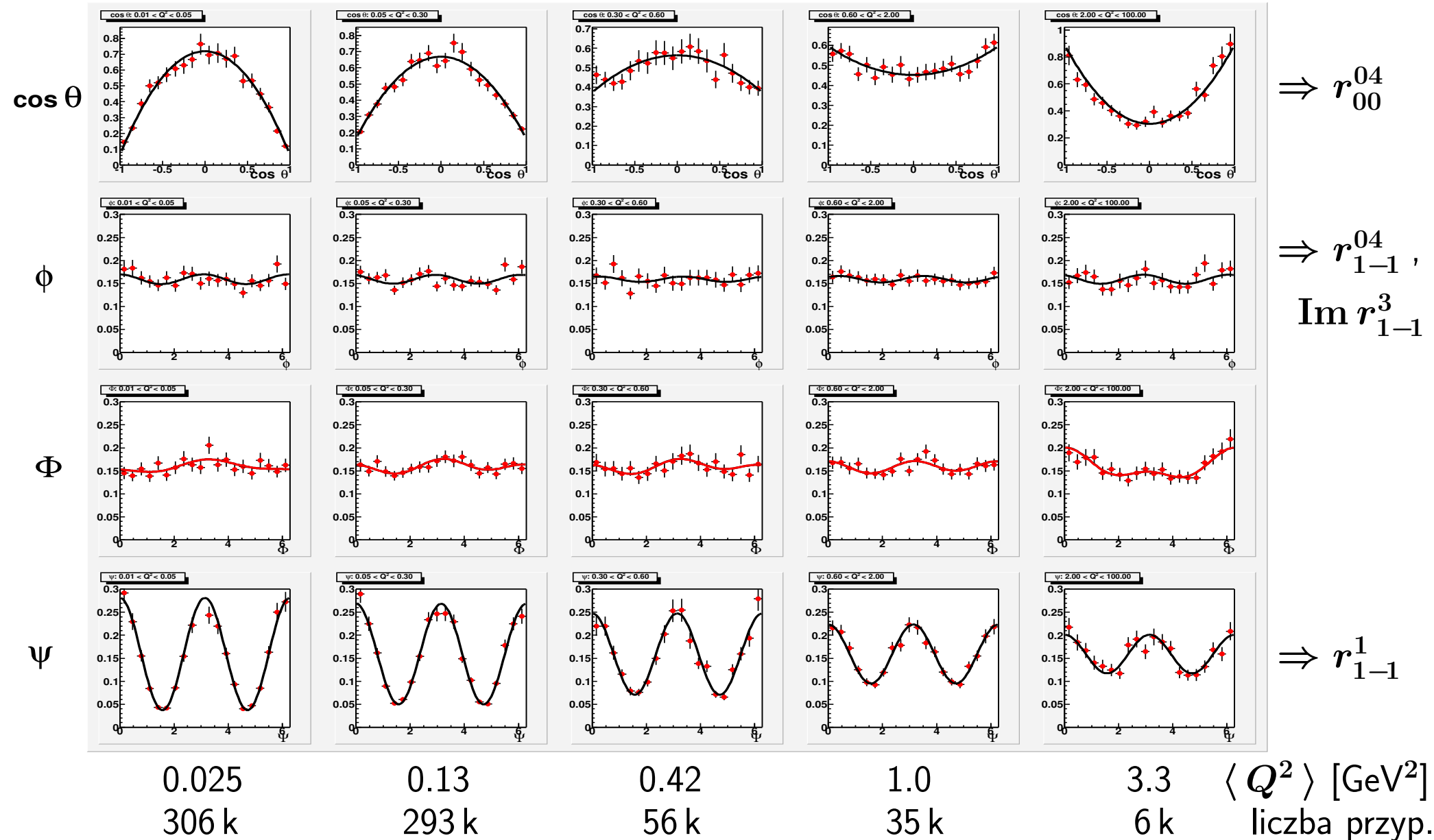
$$r_{00}^{04}, \quad \text{Im } r_{1-1}^2 = -r_{1-1}^1, \quad \text{Im } r_{10}^6 = -\text{Re } r_{10}^5$$

Cel badań:

- reakcja EVMP inicjowana przez fotony γ_T^* and γ_L^*
 \implies badanie względnych wkładów w zależności od zmiennych kinemat.
- testowanie samej hipotezy SCHC

COMPASS: 1-wym. rozkłady kątowe $W(\cos \theta)$, $W(\phi)$, $W(\Phi)$, $W(\psi)$

0.01 < Q^2 < 0.05 < Q^2 < 0.3 < Q^2 < 0.6 < Q^2 < 2.0 < Q^2



0.025
306 k

0.13
293 k

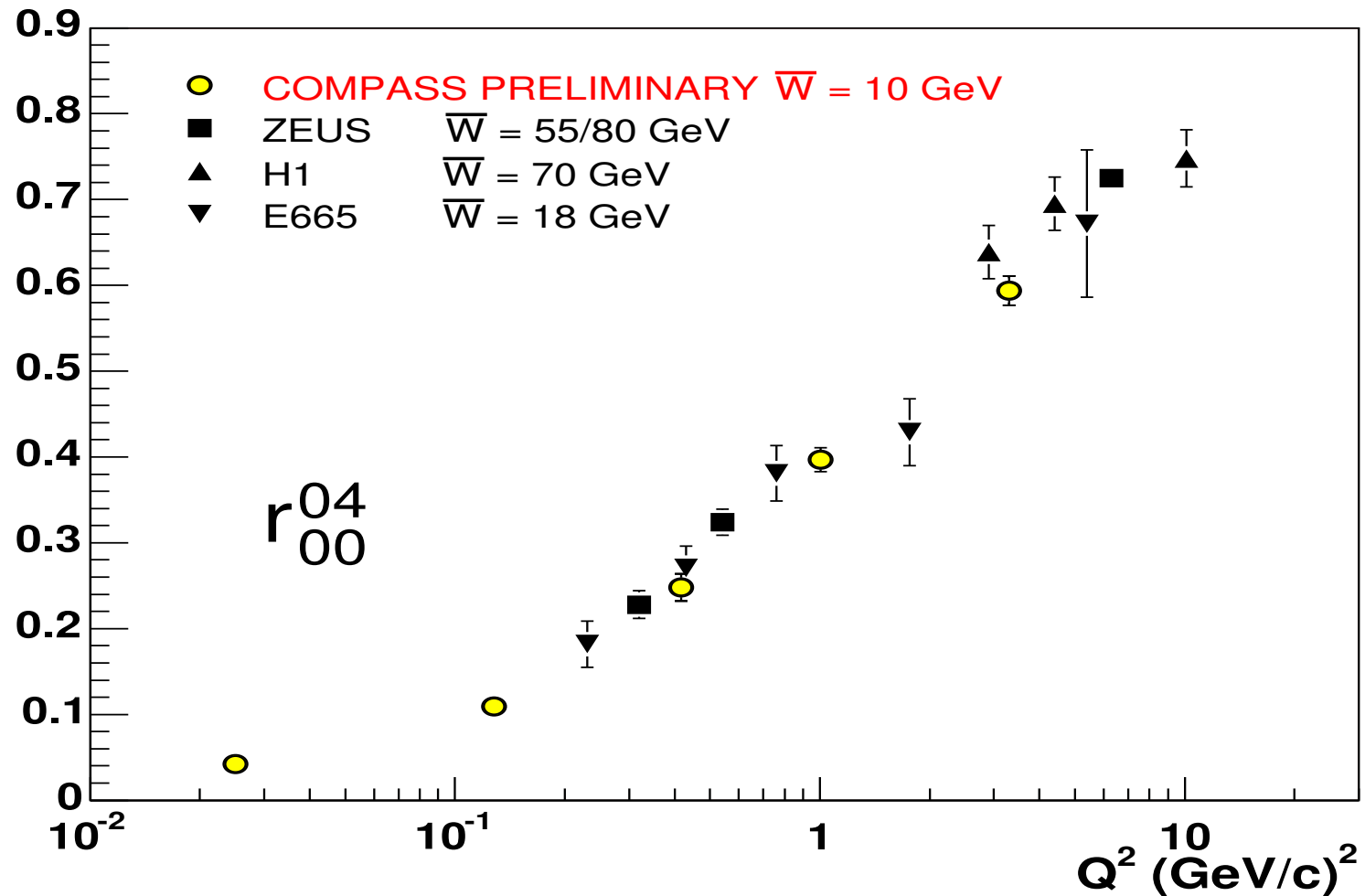
0.42
56 k

1.0
35 k

3.3 < Q^2 > [GeV²]
6 k liczba przyp.

Całkowita liczba przyp.: ~ 700 k

COMPASS: element r_{00}^{04} spinowej macierzy gęstości mezonu ρ^0



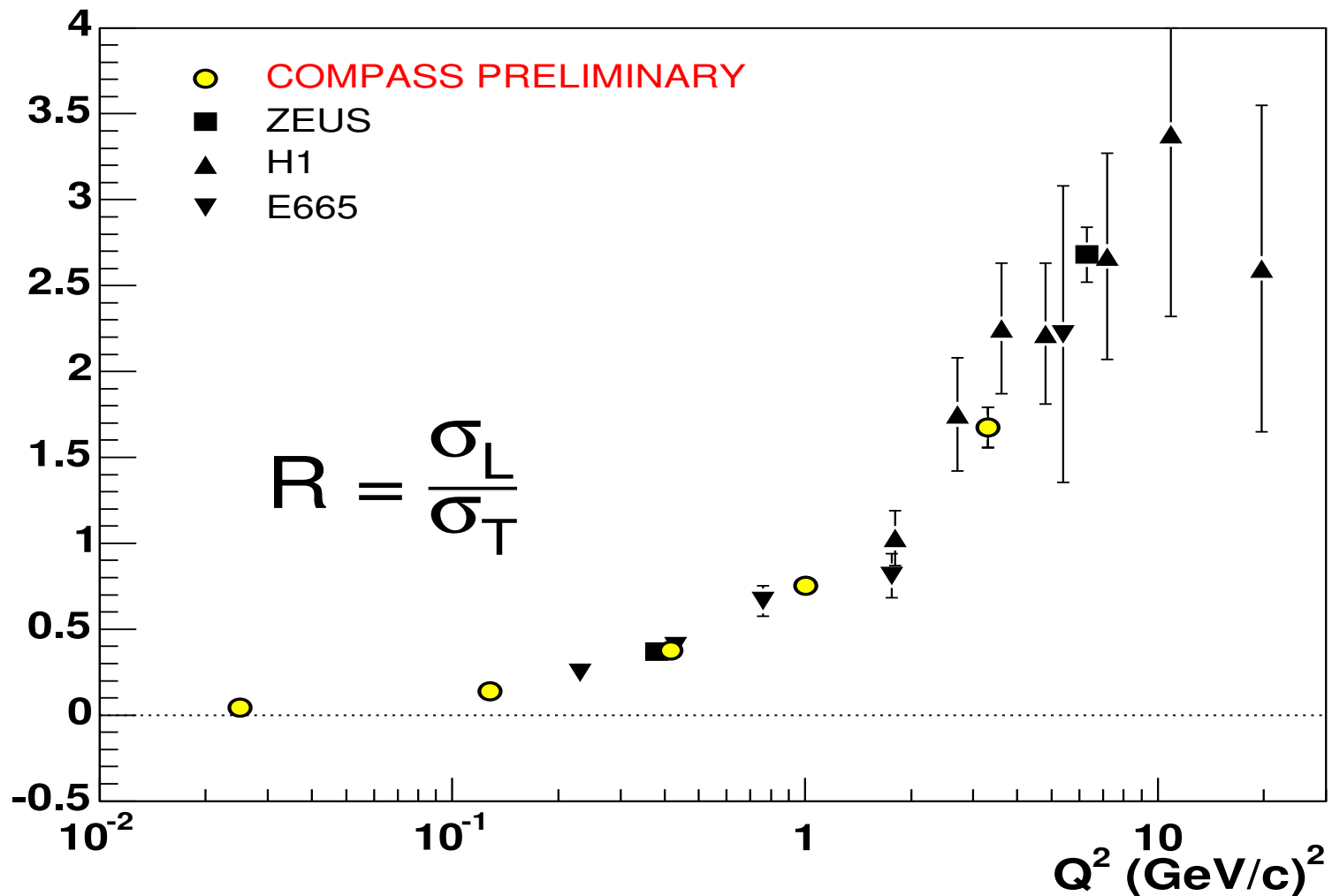
$$W(\cos \theta) = \frac{3}{4} \left[(1 - r_{00}^{04}) + (3 r_{00}^{04} - 1) \cos^2 \theta \right]$$

$$r_{00}^{04} = \frac{|T_{01}|^2 + \epsilon' |T_{00}|^2}{N_T (1 + \epsilon' R)}, \quad N_T = |T_{11}|^2 + |T_{-11}|^2 + |T_{01}|^2 \propto \sigma_T$$

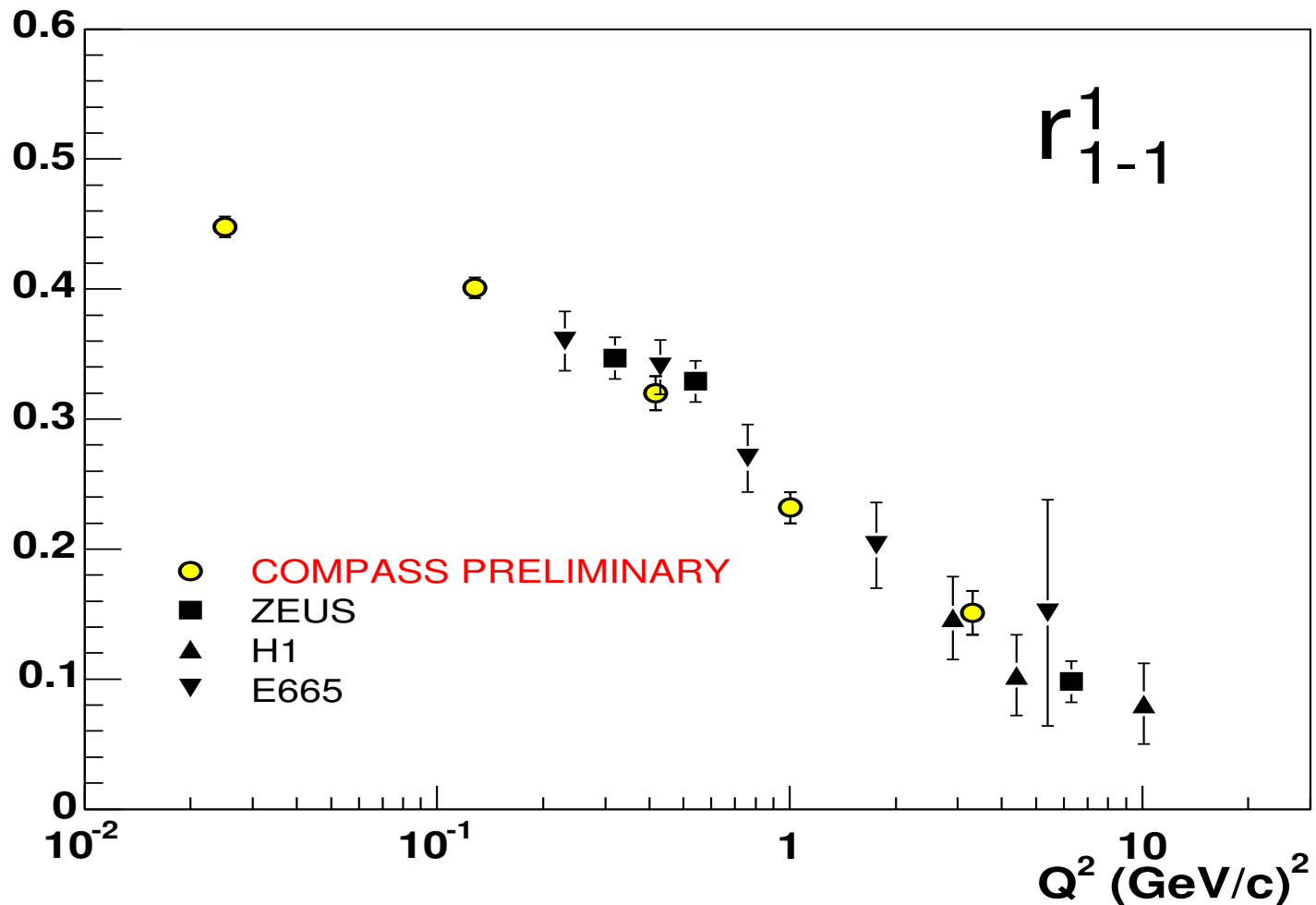
COMPASS: wyznaczenie stosunku $R = \sigma_L/\sigma_T$

Jeśli obowiązuje **SCHC** to

$$R = \frac{r_{00}^{04}}{\epsilon' (1 - r_{00}^{04})}$$



COMPASS: element r_{1-1}^1 spinowej macierzy gęstości mezonu ρ^0



Jeśli obowiązuje **SCHC** i w kanale t wymieniany jest obiekt o **naturalnej parzystości P** to

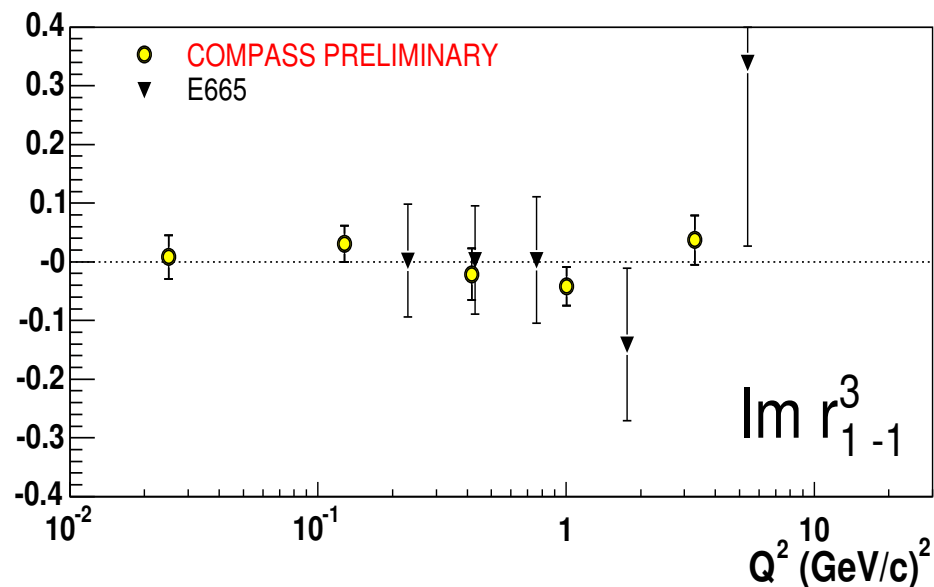
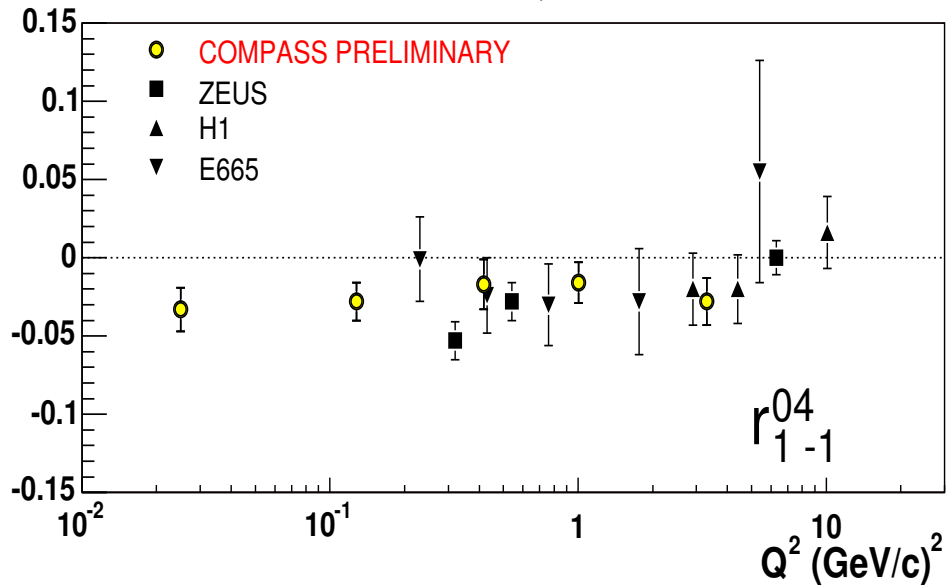
$$W(\psi) = \frac{1}{2\pi} (1 + 2\epsilon r_{1-1}^1 \cos 2\psi)$$

Zachodzi też związek

$$r_{1-1}^1 = \frac{1}{2} (1 - r_{00}^{04})$$

COMPASS: elementy r_{1-1}^{04} i $\text{Im } r_{1-1}^3$ spinowej mac. gęstości mezonu ρ^0

$$W(\phi) = \frac{1}{2\pi} \left(1 - 2 r_{1-1}^{04} \cos 2\phi + 2 P_b \sqrt{1 - \epsilon^2} \text{Im } r_{1-1}^3 \sin 2\phi \right)$$



Jeśli obowiązuje **SCHC** to

$$r_{1-1}^{04} = 0 \text{ i } \text{Im } r_{1-1}^3 = 0$$

Łamanie SCHC dla SDME r_{1-1}^{04} zaobserwowane w COMPASS-ie.

$\text{Im } r_{1-1}^3$ dostępny tylko za pomocą wiązki **spolaryzowanej**.

Asymetria podwójnie-spinowa A_1^ρ

- Definicja:

$$A_1^\rho = \frac{\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2}}{\sigma_{1/2} + \sigma_{3/2}}$$

- $\sigma \equiv \sigma(\gamma^* N \rightarrow \rho^0 N)$

- | | | |
|--|---------------------------|---|
| $\longrightarrow \vec{q}$ | $\longrightarrow \vec{q}$ | oś kwantyzacji |
| $1/2 \quad \vec{s}_\gamma \Rightarrow \Leftarrow \vec{s}_N$ | lub | $\vec{s}_\gamma \Leftarrow \Rightarrow \vec{s}_N$ |
| $3/2 \quad \vec{s}_\gamma \Rightarrow \Rightarrow \vec{s}_N$ | lub | $\vec{s}_\gamma \Leftarrow \Leftarrow \vec{s}_N$ |

- Możliwe źródła:

- wymiana trajektorii $a_1(1260)$ w kanale t
- interferencja amplitud z wymianą w kanale t reggeonów z naturalną i nienaturalną parzystością P
 - trajektorie z naturalną P : $\rho, \omega, f, a_2(1320), P$
 - trajektorie z nienaturalną P : $\pi, a_1(1260)$
- wymiana pomeronu:
 - P nieperturbacyjny („miękki”): $A_1^\rho \approx 0$
 - P pQCD („twardy”): możliwa $A_1^\rho \neq 0$

Trochę fenomenologii dotyczącej asymetrii A_1^p

Istnieją 3 klasy modeli:

- model oparty na GVMD: H. Fraas (1976)
 - podstawowa idea: wymiana reggeonów i „tradycyjnego” pomeronu w kanale t
 - wiąże asymetrię A_1^p z asymetrią inkluzywną A_1 : $A_1^p \approx 2 \cdot A_1$
 - stosowalny od $Q^2 \rightarrow 0$ do $Q^2 \approx 10-20 \text{ GeV}^2$
- modele oparte na pQCD: M.G. Ryskin (1999) *;
S.W. Gołoskokow i P. Kroll (2005); inni
 - wymiana pary perturbacyjnych gluonów w kanale t (model perturb. pomeronu)
 - wymiana par $q\bar{q}$ w kanale t (model perturb. reggeonów) — tylko w *
 - zawierają zależne od spinu GPDs: ΔG , Δq i $\Delta \bar{q}$ (kwarki tylko w *)
 - wiążą ΔG , Δq i $\Delta \bar{q}$ z A_1^p
 - obowiązują w obszarze stosowalności pQCD do reakcji EVMP: $Q^2 \gtrsim 4 \text{ GeV}^2$
- model łączący teorię Regge i idee pQCD: S.I. Manajenkow (1999)

Asymetrie podwójnie–spinowe (podłużne) dla ekskl. produkcji ρ^0 [1]

- Asymetria *mierzona* dla liczb przypadków (\mathcal{N}) oddz. mion–nukleon $\mu N \rightarrow \mu' N \rho^0$:

$$A_{LL}^{\text{meas}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\mathcal{N}_{+-}^u - \mathcal{N}_{++}^d}{\mathcal{N}_{+-}^u + \mathcal{N}_{++}^d} - \frac{\mathcal{N}_{++}^{u'} - \mathcal{N}_{+-}^{d'}}{\mathcal{N}_{++}^{u'} + \mathcal{N}_{+-}^{d'}} \right)$$

- Asymetria dla przekrojów czynnych **mion**–nukleon $\sigma(\mu N \rightarrow \mu' N \rho^0)$:

$$A_{LL}(\mu N \rightarrow \mu' N \rho^0) = \frac{\sigma(\mu N)_{\uparrow\downarrow} - \sigma(\mu N)_{\uparrow\uparrow}}{\sigma(\mu N)_{\uparrow\downarrow} + \sigma(\mu N)_{\uparrow\uparrow}} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{P_b} \cdot \frac{1}{P_t} \cdot A_{LL}^{\text{meas}}$$

- Asymetria dla przekrojów czynnych **foton**–nukleon $\sigma(\gamma^* N \rightarrow \rho^0 N)$:

$$A_1(\gamma^* N \rightarrow \rho^0 N) \approx \frac{1}{D} A_{LL}(\mu N \rightarrow \mu' N \rho^0)$$

gdzie:

$+$, $+$, $-$ — polaryzacje **wiązki** (stała) i **tarczy** (odwracana)

\uparrow , \uparrow , \downarrow — kierunki spinów **mionu** i **nukleonu**

P_b , P_t — polaryzacje wiązki i tarczy

D — czynnik **depolaryzacji** (ang. depolarization factor)

f — czynnik **rozcieńczenia** (ang. dilution factor)

Eksperymentalna metoda wyznaczenia A_1^ρ

Dla minimalizacji efektów systematycznych zastosowano:

- metodę 2^{go} rzędu z wagami:
 - każdemu przypadkowi przypisuje się wagę $w = fDP_b$
 - konstruuje się równanie 2^{go} rzędu na A_1^ρ :

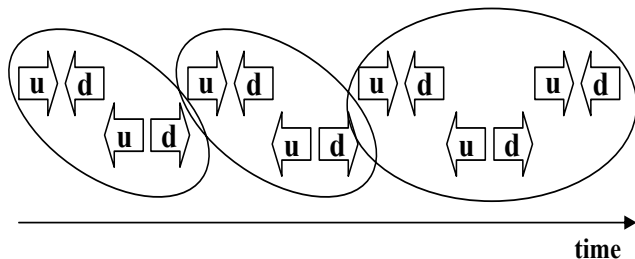
$$a(A_1^\rho)^2 + bA_1^\rho + c = 0$$

gdzie współczynniki a , b , c są funkcjami wag w , P_t i akceptacji cel tarczy a_u , a_d , a'_u , a'_d

- rozwiązanie fizyczne na A_1^ρ jest jednym z 2 uzyskanych (2-gie jest odrzucane):

$$A_1^\rho = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2a$$

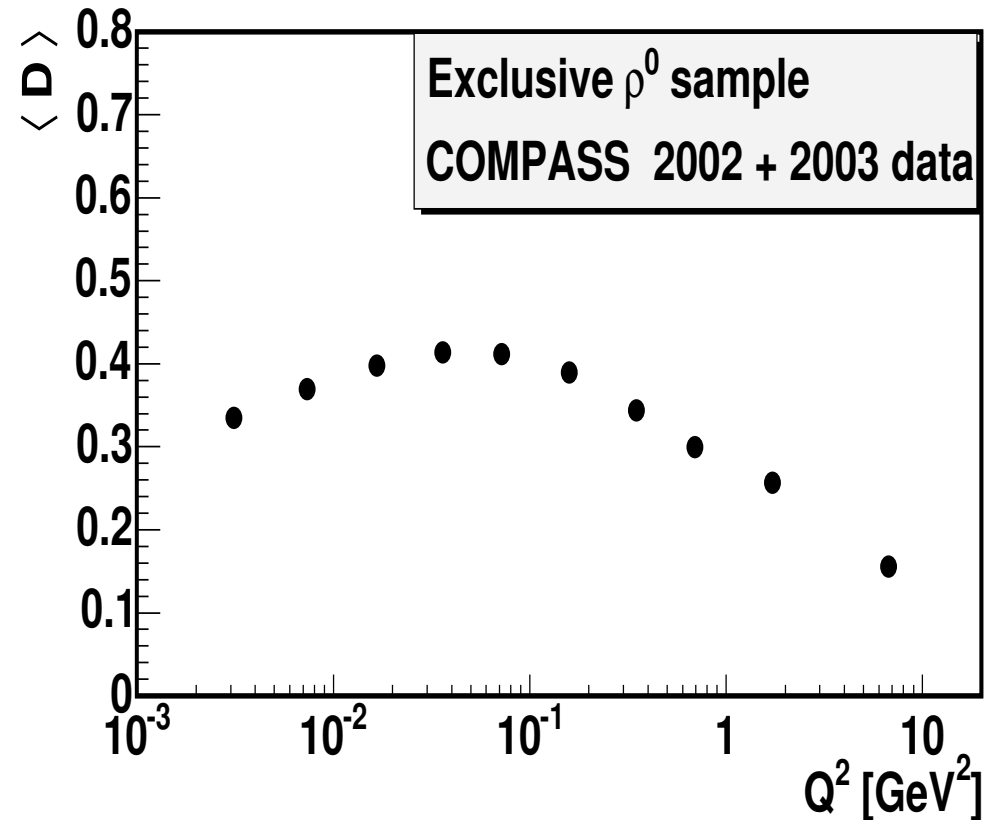
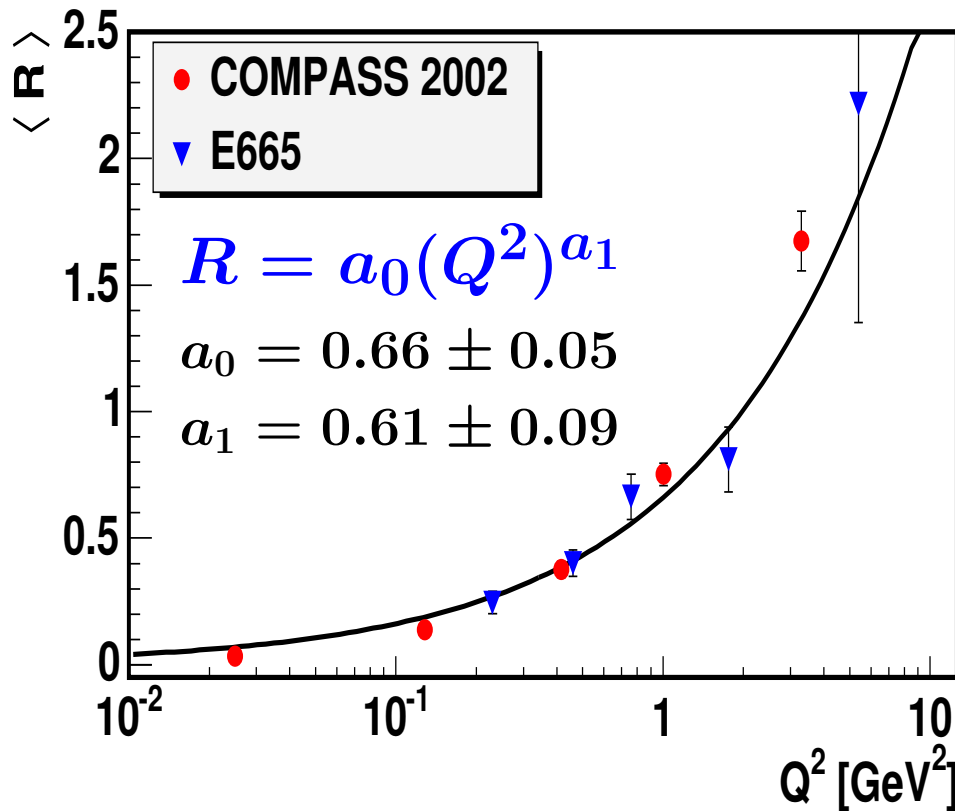
- **konsekwentne** grupowanie danych



N konsekwentnych „paczek” danych

$$A_1^\rho = \sigma_A^2 \sum_{i=1}^N A_{1,i}^\rho / \sigma_{A,i}^2$$

COMPASS: Czynniki depolaryzacji dla ekskluzywnej produkcji ρ^0



$$D(y, Q^2) = \frac{y \left[(1 + \gamma^2 y/2) (2 - y) - 2 y^2 m_\mu^2 / Q^2 \right]}{y^2 (1 - 2m_\mu^2 / Q^2) (1 + \gamma^2) + 2(1 + R) (1 - y - \gamma^2 y^2 / 4)}$$

$$\gamma^2 = Q^2 / \nu^2$$

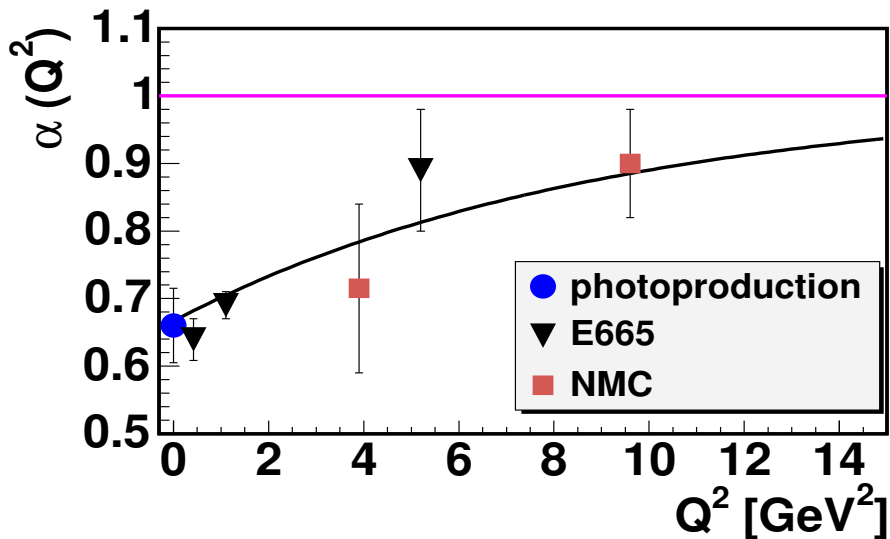
COMPASS: Czynniki rozcieńczenia dla ekskluzywnej produkcji ρ^0

- Definicja:

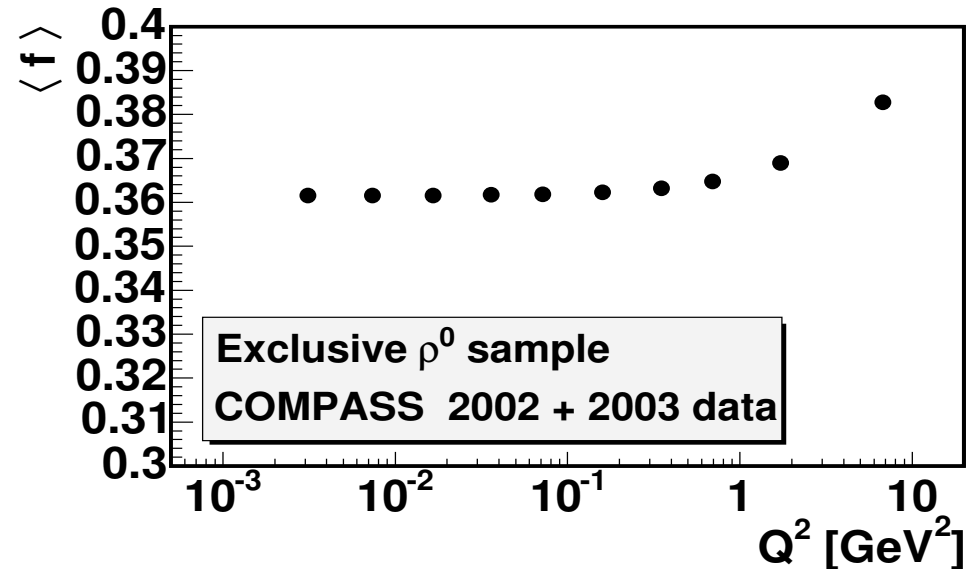
$$f_0 = \frac{n_D}{n_D + \sum_A n_A (\tilde{\sigma}_A / \tilde{\sigma}_D)}$$

n_D, n_A — liczby nukleonów w deuteronie i jądrze o liczbie masowej A w tarczy
 $\tilde{\sigma}_D, \tilde{\sigma}_A$ — przekrój czynny **na nukleon** na reakcję ekskluzywnej niekoherentnej produkcji ρ^0 na deuteronie i jądrze A

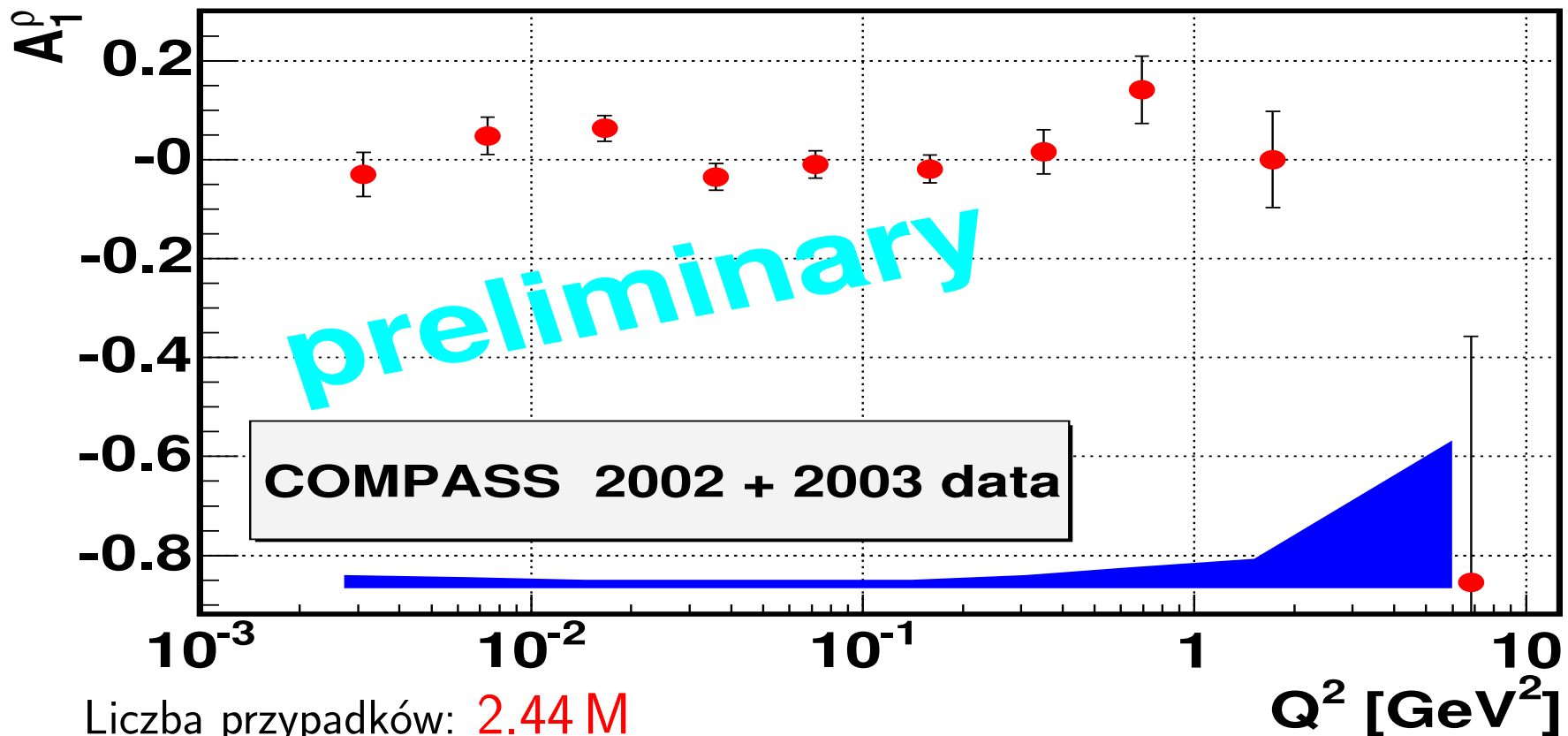
- Do wyznaczenia A_1^ρ używana jest wielkość $f = C_1 \cdot f_0$, gdzie czynnik C_1 uwzględnia fakt, że są **2 spolaryzowane deuterony** w jądrze ${}^6\text{LiD}$.
- f jest liczony dla każdego przypadku



$$\tilde{\sigma}_A = \sigma_p \cdot A^{\alpha(Q^2)} - 1$$



COMPASS: asymetria A_1^ρ dla ekskluzywnej produkcji ρ^0

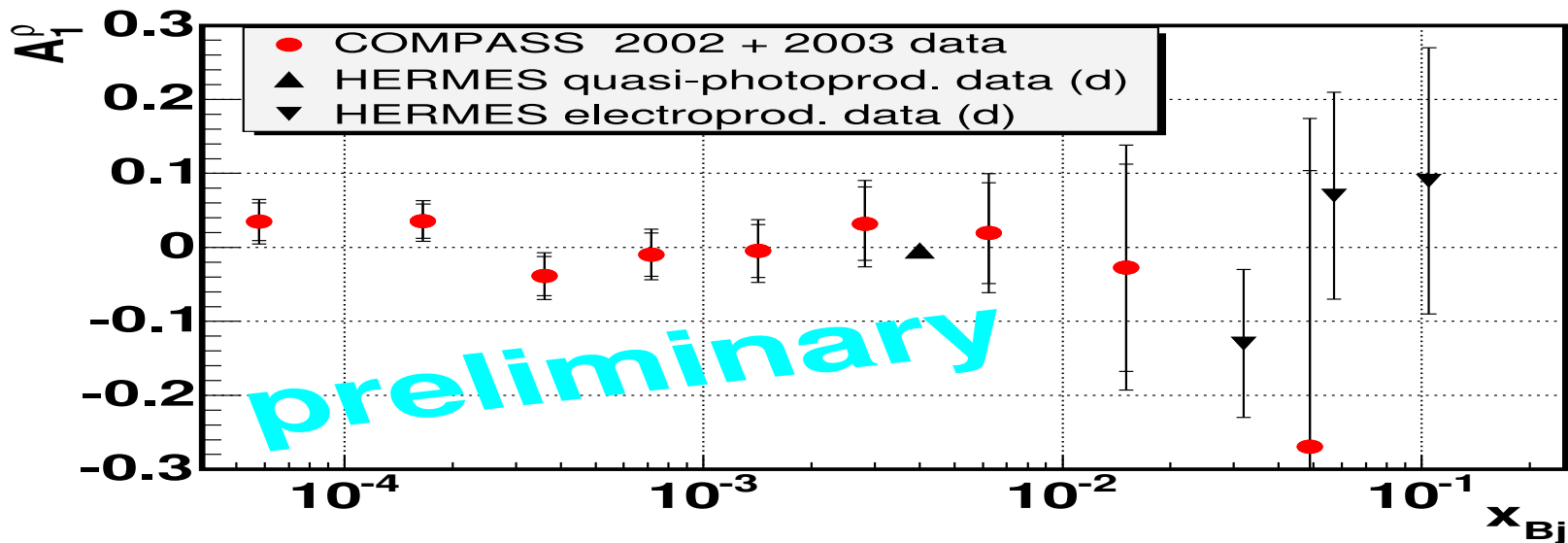
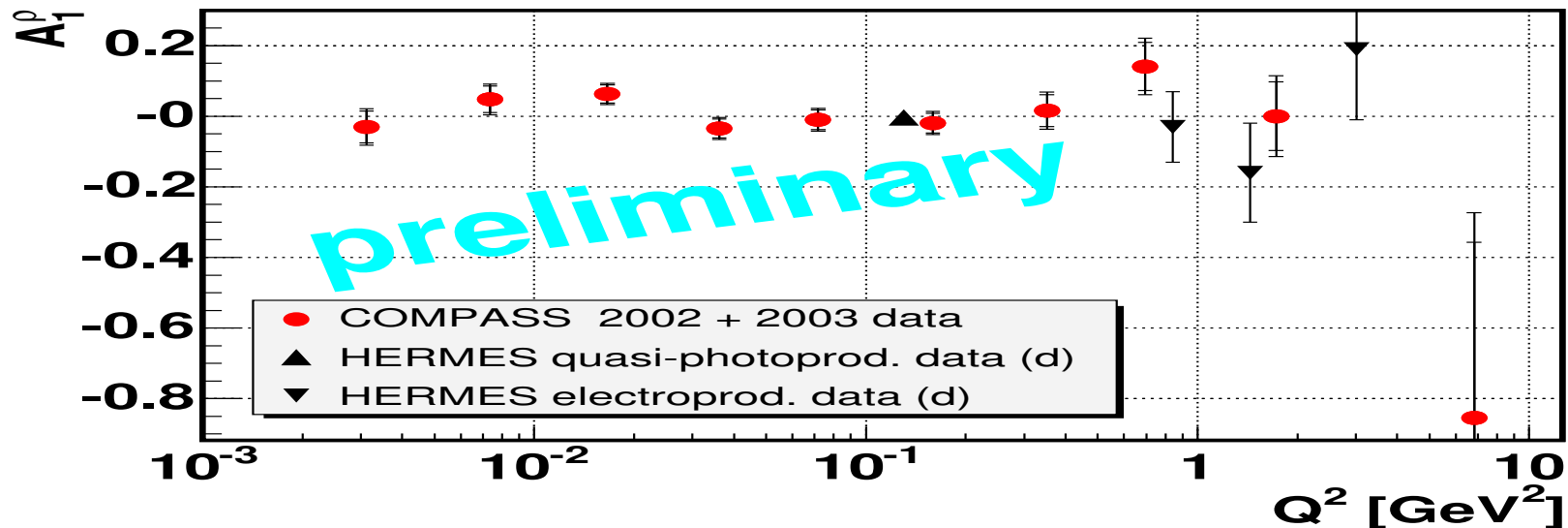


Liczba przypadków: 2.44 M

Błędy: kreski — stat., pasmo — syst.

Przedział Q^2	1	2	3	4	5	6	7	8
$\langle Q^2 \rangle$ [GeV ²]	0.017	0.036	0.072	0.16	0.35	0.69	1.7	8.2
$\langle x_{Bj} \rangle$	0.00017	0.00036	0.00071	0.0016	0.0037	0.0073	0.020	0.094
$\langle \nu \rangle$ [GeV]	57.7	61.3	62.7	62.6	59.4	60.2	56.7	54.1

Porównanie wyników COMPASS-a i HERMES-a dla $A_1^{\rho(d)}$

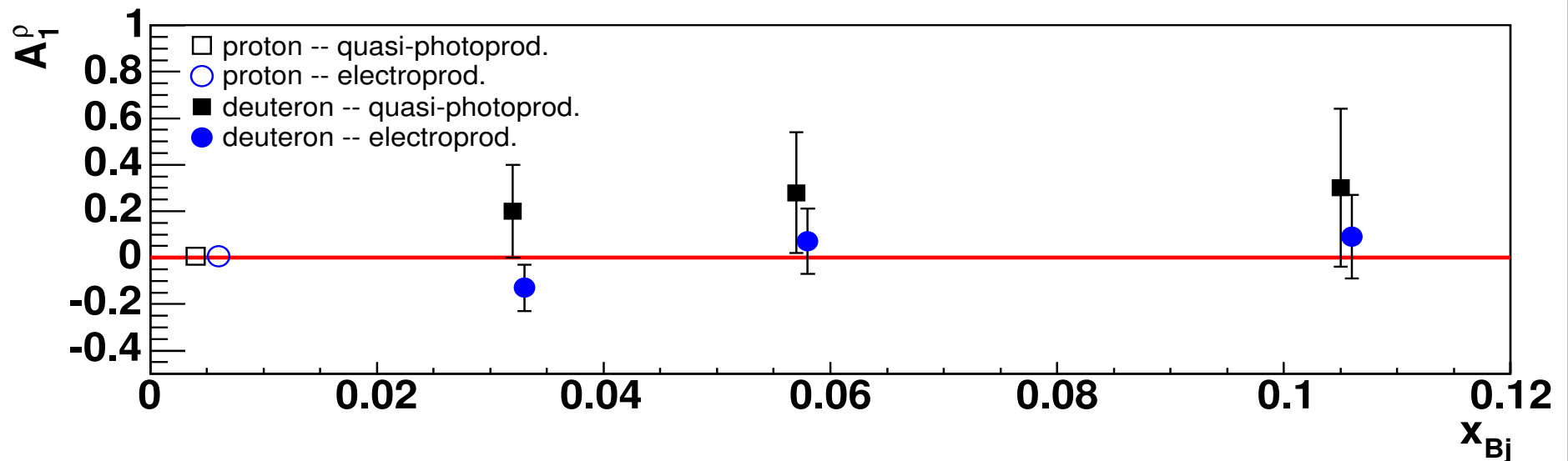
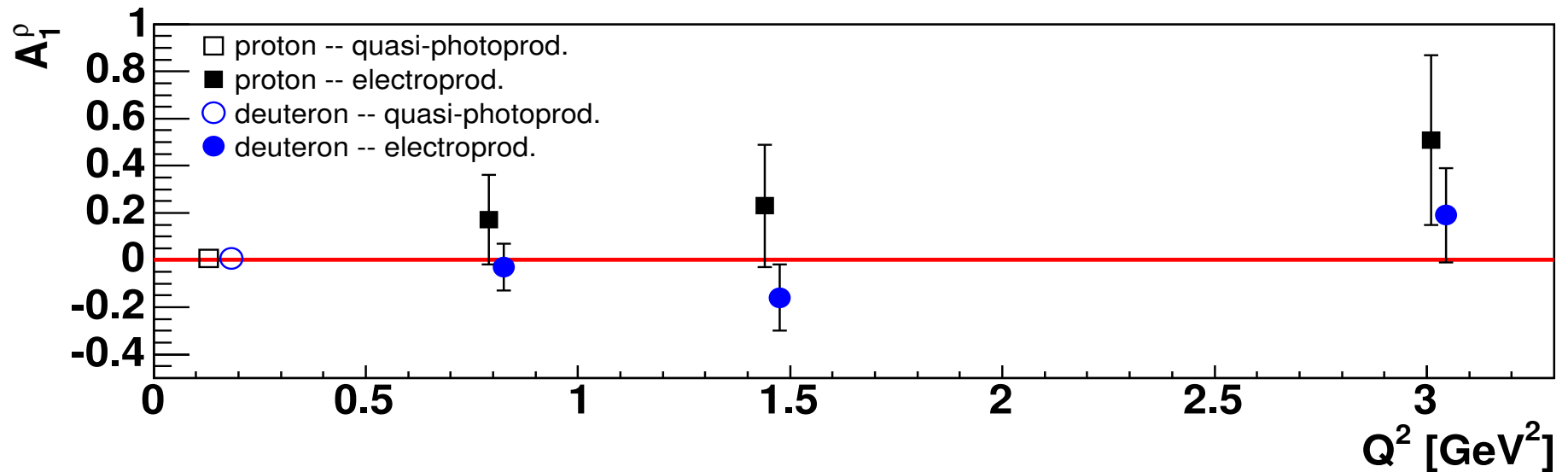


Błędy COMPASS-a: stat. (wewn.), kwadratowa suma stat. i syst. (zewn.)

Błędy HERMES-a: kwadratowa suma stat. i syst.

HERMES — wyniki dla A_1^p na tarczach protonowej i deuteronowej

Opublikowane w Eur. Phys. J. C 29 (2003) 171.



Błędy: kwadratowa suma stat. i syst.

Podsumowanie

Obie analizy:

- bardzo precyzyjne pomiary obserwacji spinowych dla EVMP w szerokim zakresie kinemat.
- rozszerzenie pokrywanego zakresu w Q^2 i x_{Bj} o 1–2 dekady w dół w porównaniu z innymi eksperymentami

Asymetria A_1^ρ dla ekskluzywnej produkcji mezonu ρ^0 :

- uzyskano wyniki fizyczne na pełnej próbie danych z lat 2002 i 2003
- w całym przebadanym zakresie Q^2 i x_{Bj} asymetria A_1^ρ jest **zgodna z zerem**
- \Rightarrow niewielki wkład trajektorii z **nienaturalną** parzystością P do amplitud prod. ρ^0
- planowane włączenie do analizy danych z r. 2004 \Rightarrow ok. 2-krotne zwiększenie liczebność próbki w stosunku do danych 2002–2003
 - \Rightarrow istotne zwiększenie precyzji w obszarze $Q^2 \gtrsim 4 \text{ GeV}^2$ (pomiar ΔG ?)

Elementy spinowej macierzy gęstości mezonu ρ^0 :

- wyniki dla 4 SDME i stosunku R zgodne z wynikami innych eksperymentów
- odstępstwo SDME r_{1-1}^{04} od 0 \Rightarrow **słabe łamanie SCHC** (zgodne z wynikiem ZEUS-a)
- podobna analiza na danych z 2003 r. w toku (planowane również włączenie danych z r. 2004)
- planowane wyznaczenie **23** (pełnego zestawu) elementów SDM