

Pierwszy pomiar asymetrii Siversa dla gluonów  
w rozpraszaniu lepton-nukleon



Andrzej Sandacz



Seminarium sprawozdawcze DBP NCBJ  
Świerk, 9 stycznia 2018 r.

- ❖ Eksperyment COMPASS i aktywność grupy z NCBJ w 2017 r.
- ❖ Asymetria Siversa i orbitalny moment pędu gluonów w nukleonie

# COMPASS QCD facility at CERN (SPS)

Badanie struktury nukleonów za pomocą głęboko nieelastycznego rozpraszania mionów i procesu Drella-Yana oraz spektroskopii hadronów



~240 physicists, 12 countries + CERN, 24 institutions

# COMPASS setup

1.

High energy secondary hadron and polarised muon beams  
from SPS M2 beam line

2.

Two stages forward spectrometer  
Large Angle Spectrometer (SM1)  
Small Angle Spectrometer (SM2)

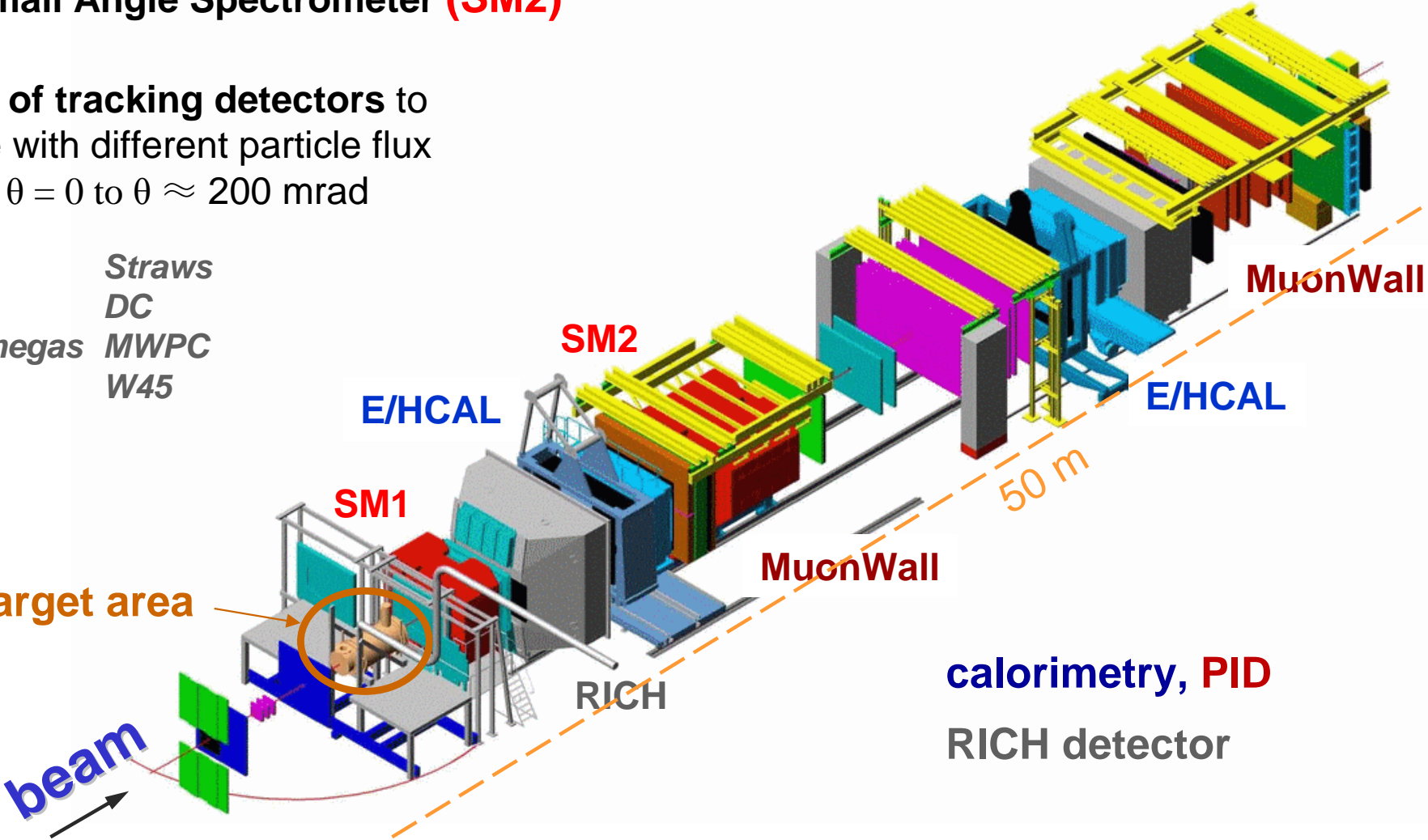
- large angular acceptance
- broad kinematic range

variety of tracking detectors to cope with different particle flux from  $\theta = 0$  to  $\theta \approx 200$  mrad

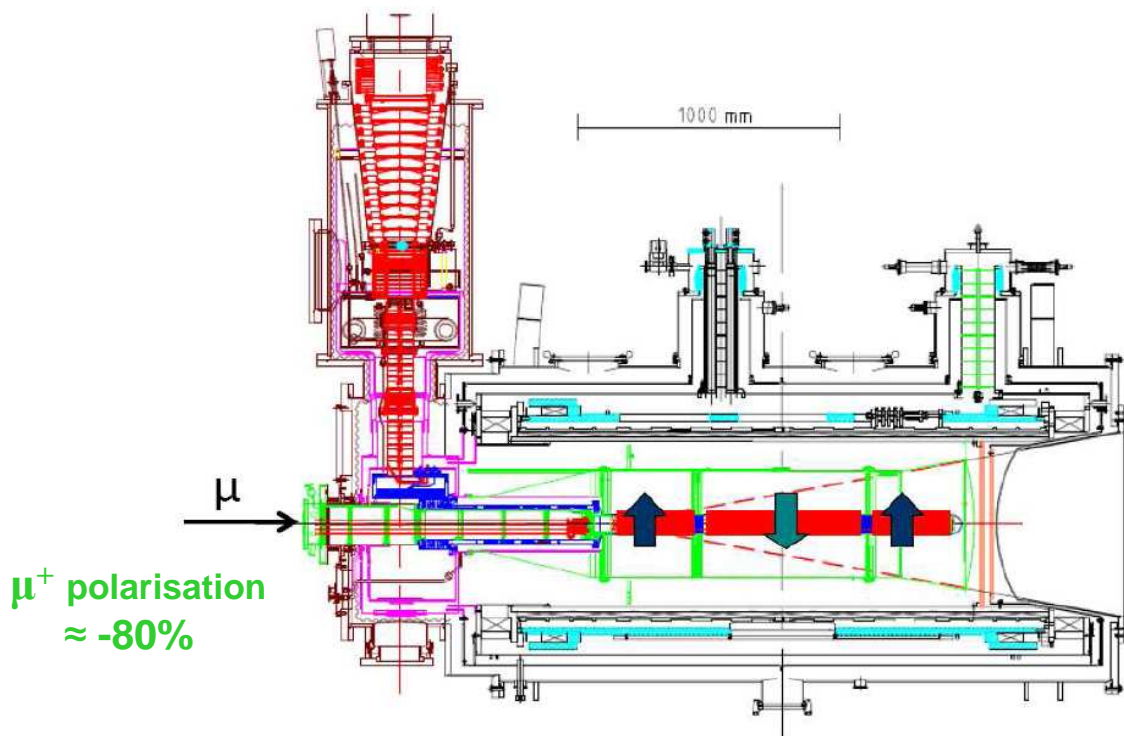
- |            |        |
|------------|--------|
| SciFi      | Straws |
| Silicon    | DC     |
| Micromegas | MWPC   |
| GEMs       | W45    |

3.

Flexible target area



# COMPASS polarised target



$^3\text{He} - ^4\text{He}$  dilution refrigerator ( $T \sim 50 \text{ mK}$ )

solenoid 2.5 T

dipole magnet 0.6 T

$\mu^+$  polarisation  
 $\approx -80\%$

Two 30cm and one 60 cm long target cells [two 60cm long cells in 2002-2004] with opposite polarization [Bradamante]

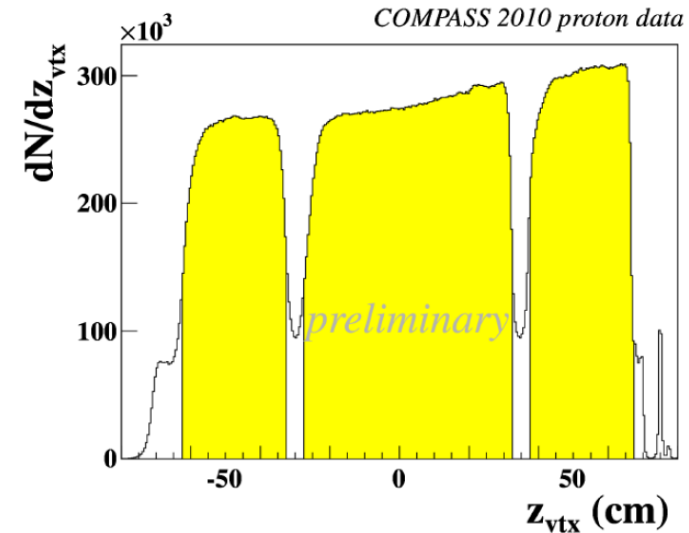
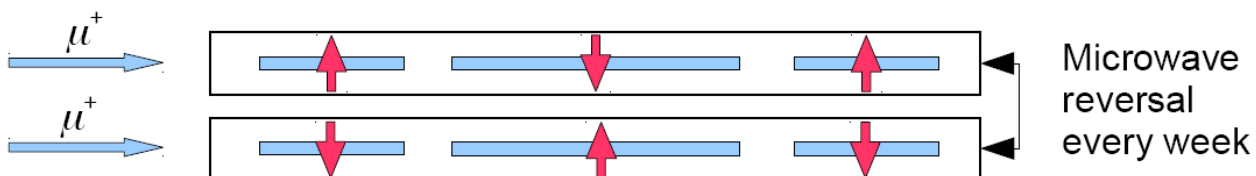
material:  $\text{NH}_3$  (protons) [ $^6\text{LiD}$  (deuterons)]

polarization:  $\approx 90\%$  [ $\approx 50\%$ ]

dilution factor :  $\approx 16\%$  [ $\approx 40\%$ ]



Luminosity  $5 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



**Skład grupy z NCBJ:**

prof. dr hab. A. Sandacz (kierownik), dr W. Augustyniak, dr hab. K. Kurek,  
dr B. Mariański, P. Orpel (magistrant), dr A. Szabelski, dr P. Sznajder

## Analizy wykonywane w 2017 r., w których Zespół odgrywał wiodącą rolę

- pomiar **asymetrii Siversa** dla głęboko nieelastycznej produkcji par hadronów z dużym pędem poprzecznym na poprzecznie spolaryzowanych protonach i deuteronach  
=> sygnatura **orbitalnego momentu pędu gluonów w nukleonie**

*przedmiot obronionej w 2016 r. rozprawy doktorskiej **A.Szabelskiego**  
końcowe wyniki opublikowane w Phys. Lett. B 772 (2017) 854*

- wyznaczanie **elementów spinowej macierzy gęstości** (SDME) w ekskluzywnej produkcji mezonów  $\rho^0$  i  $\omega$  na niespolaryzowanych protonach  
=> czułe na uogólnione rozkłady partonów (GPDs) oraz pozwalają badać mechanizm prod. (m.in spinową strukturę amplitud oraz wymieniane liczby kwantowe w kanale  $t$ )

*analiza kontynuowana w 2017 r., upublicznienie wyników w 2018 r.*

- **pomiar różniczkowych przekrojów czynnych** dla ekskluzywnej produkcji mezonów  $\omega$  na niespolaryzowanych protonach

*pierwszy pomiar przy pośrednich energiach; temat rozpoczętej w 2017 r. pracy magisterskiej*

- **monitorowanie kalibracji** energetycznej i czasowej **kalorymetrów elektromagnetycznych** dla nowo zebranych danych przygotowywanych do analizy fizycznej

## Wymierne wyniki zespołu w 2017 r.

- liczba prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach **9**
- liczba prac przyjętych lub wysłanych do publikacji **4**
- liczba prac opublikowanych nierecenzowanych **2**
- liczba referatów konferencyjnych (w imieniu współpracy COMPASS) **4**
- liczba prezentacji na zebraniach współpracy COMPASS **11**

## Inna działalność

- Udział w komitetach redakcyjnych 5 publikacji COMPASS-a (KK, AS, ASz, PSz)
- Międzynarodowy Komitet Doradczy konferencji IWHSS -17 w Cortonie, Włochy (AS)
- Komitet Organizacyjny konferencji DSPIN-17 w Dubnej (KK, AS)
- Udział w posiedzeniach Rady eksperymentu COMPASS (*Collaboration Board*) (AS)
- Dyżury przy zbieraniu danych w 2017 r. (33 zmiany po 8 godz.)
- Pełnienie funkcji „week coordinator-a” (24 godz. x 7 dni) w czasie zbierania danych (KK)
- Opieka nad magistrantem z Wydz. Fizyki PW (AS)

# Współprace i finansowanie pozastatutowe

## • Współprace

- Współpraca krajowa pomiędzy zespołami z NCBJ, Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Warszawskiego w ramach Konsorcjum „COMPASS-PL”
- Współpraca zagraniczna w związku z analizą danych pomiędzy Saclay, Uniwersytetem we Freiburgu, Uniwersytetem w Moguncji i NCBJ

## • Finansowanie pozastatutowe

- Projekt „Eksperyment COMPASS – badanie trójwymiarowej i spinowej struktury nukleonu” w ramach umowy z NCN nr UMO-2015/18/M/ST2/00550 --- do maja 2018 r.

## • Złożone wnioski grantowe

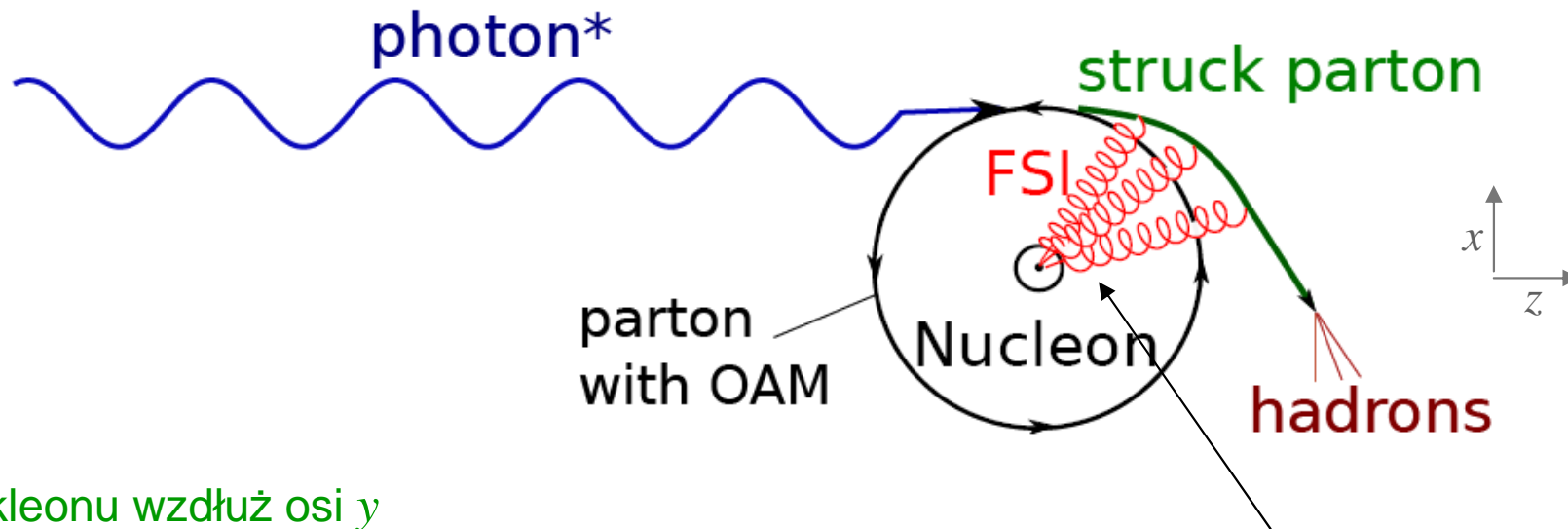
- Grant z NCN w konkursie HARMONIA 9 --- rozstrzygnięcie do kwietnia 2018



# Asymetria Siversa sygnaturą orbitalnego momentu pędu partonów

*jakościowe wyjaśnienie semi-klasyczne*

układ odniesienia foton-nukleon



spin nukleonu wzdłuż osi  $y$   
na rys. zakł. dodatni OAM partonu

chromodynamiczne soczewkowanie (FSI)

- ❖ Partony z dodatnimi  $x$  „widzą” większy strumień fotonów i są częściej wybijane niż partony z ujemnymi  $x$
- ❖ Przyciągające oddziaływanie silne w stanie końcowym (FSI) kieruje te pierwsze w kierunku ujemnych  $x$ , a drugie w przeciwnym kierunku



tzw. „efekt Siversa”, źródło azymutalnej asymetrii

# Dekompozycja spinu nukleonu i rola OMP gluonów

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2}\Delta\Sigma + \Delta G + L_q + L_g$$

- $\Delta\Sigma \approx 0.3 \pm 0.03$

(The COMPASS Collaboration, V.Yu. Alexakhin *et al.*, Phys. Lett. B 647,8 (2007))

- $\Delta G$  raczej małe, ale sytuacja nadal nierozstrzygnięta definitywnie

obecne pomiary  $\Delta g/g(x_g)$  dla umiarkowanych wartości  $x_g$  wskazują na małą dodatnią polaryzację gluonów

istotny wzrost dokładności wyznaczenia  $\Delta G$  spodziewany po uruchomieniu EIC

Marcin Stolarski on behalf of the COMPASS Collaboration, PoS (DIS2014) 211

The COMPASS Collaboration, C. Adolph *et al.*, Phys. Rev. D 87 (2013) 052018

D. de Florian, R. Sassot, M. Stratmann, W. Vogelsang, Phys.Rev.Lett. 113 012001 (2014)

- $L_q$  – obliczenia na sieciach QCD wskazują (dla kwarków walencyjnych) na znaczne wartości OMP, ale o przeciwnych znakach dla kwarków  $u$  i  $d$

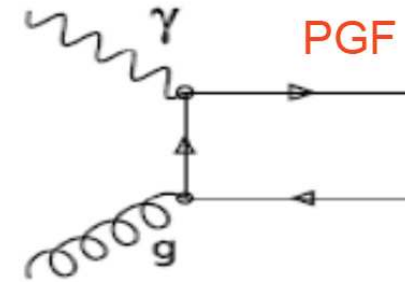
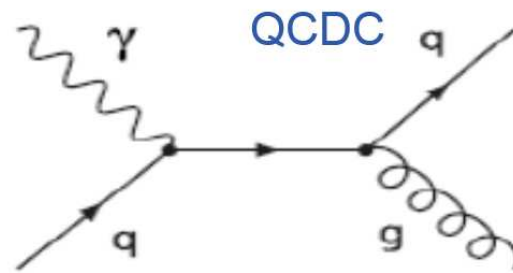
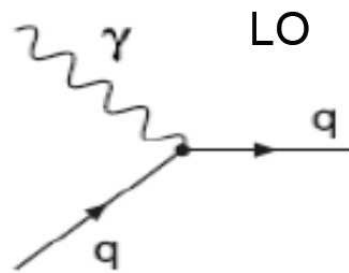
LHPC DW, S. N. Sirytsyn *et al.* arXiv:1111.0718, (2011)

- $L_g$  ???

efekt Siversa dla gluonów może być sygnałem ich orbitalnego momentu pędu

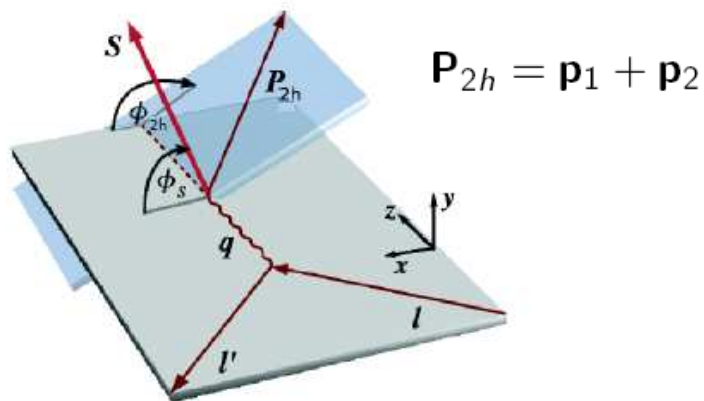
D. W. Sivers, Phys. Rev. D 41 (1990) 83

# Asymetria Siversa dla gluonów



selekcja zdarzeń z co najmniej jedną parą hadronów z dużymi pędami poprzecznymi zwiększa frakcje PGF i QCDC

$$\ell + N \rightarrow \ell' + 2h + X$$



$$\phi = \phi_{2h} - \phi_s$$

liczba przypadków  $N$  dla każdej z czterech konfiguracji tarczy

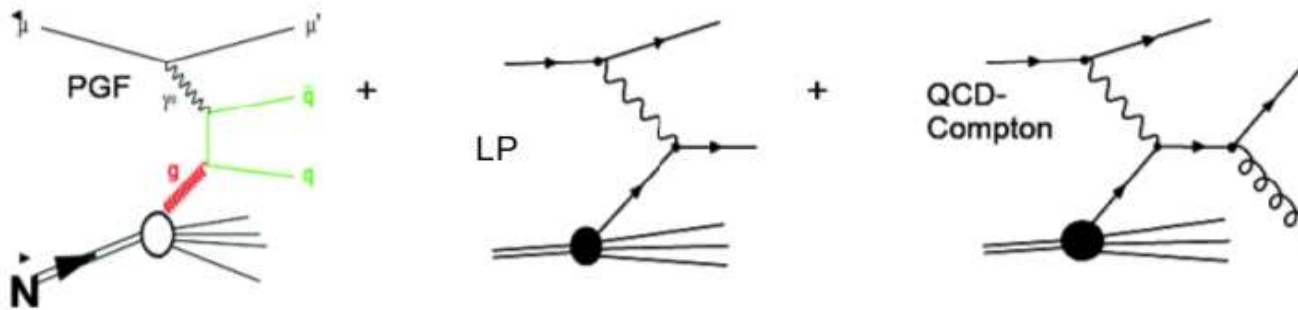
$$N(\phi) = an\Phi\sigma_0(1 + P_T f A^{\sin(\phi)} \sin(\phi))$$

- $a$  – akceptacja,  $n$  – gęstość tarczy
- $\Phi$  - strumień wiązki
- $\sigma_0$  – niezależny od spinu przekr. cz.
- $P_T$  – poprzeczna polaryzacja tarczy
- $f$  – czynnik rozcieńczenia

# Charakterystyczne elementy analizy

- selekcja zdarzeń z parą hadronów z dużymi  $p_T$   
zwiększenie udziału PGF  
silniejsza korelacja między  $\phi_{2h}$  i  $\phi$  gluonu

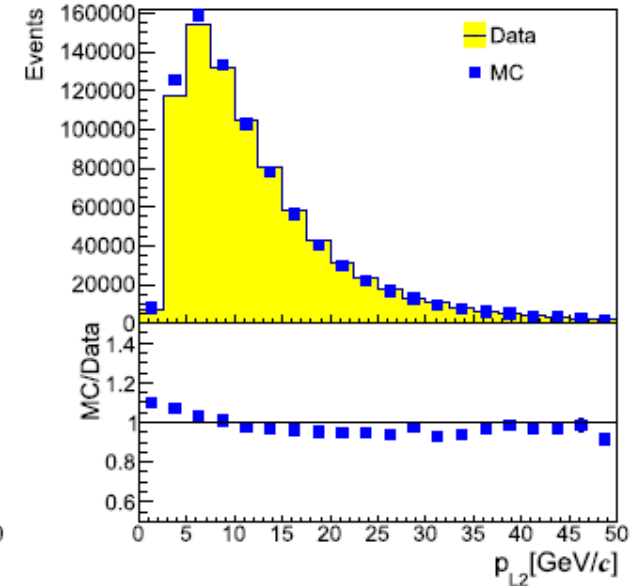
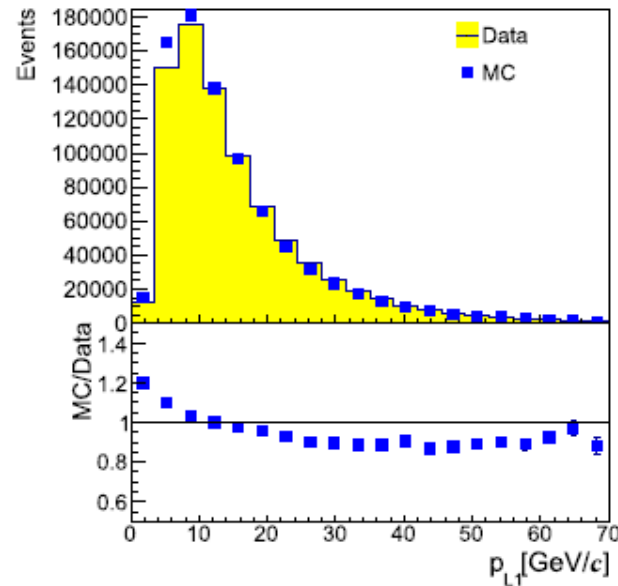
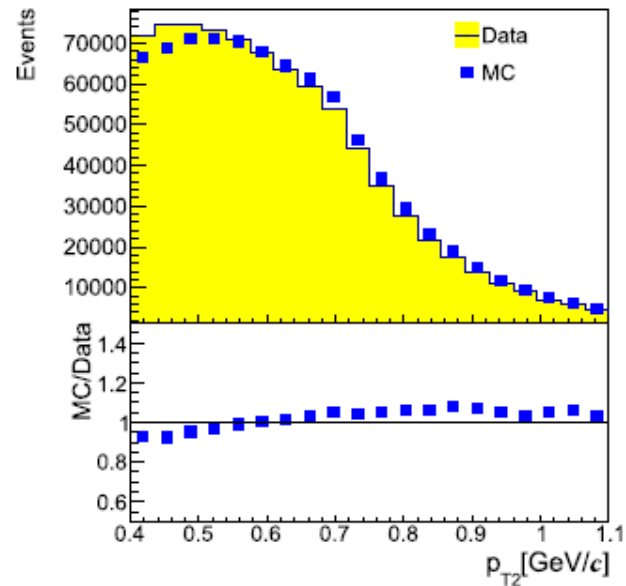
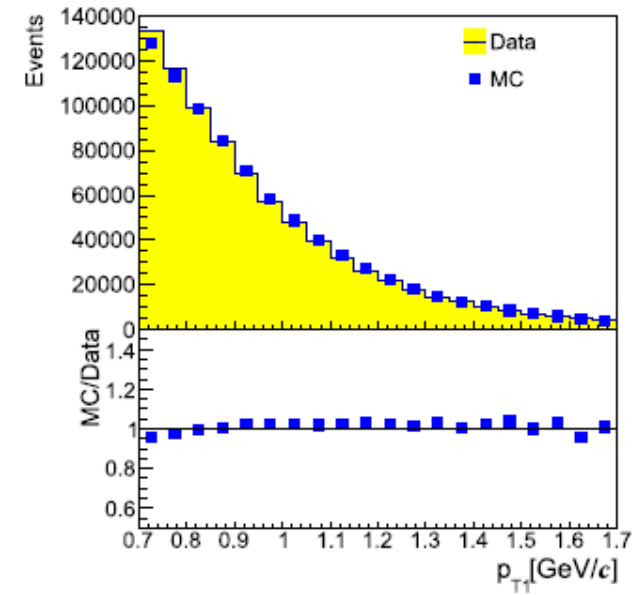
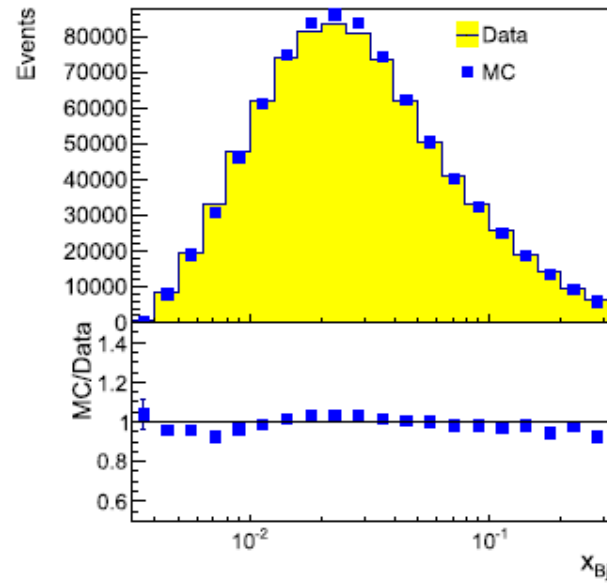
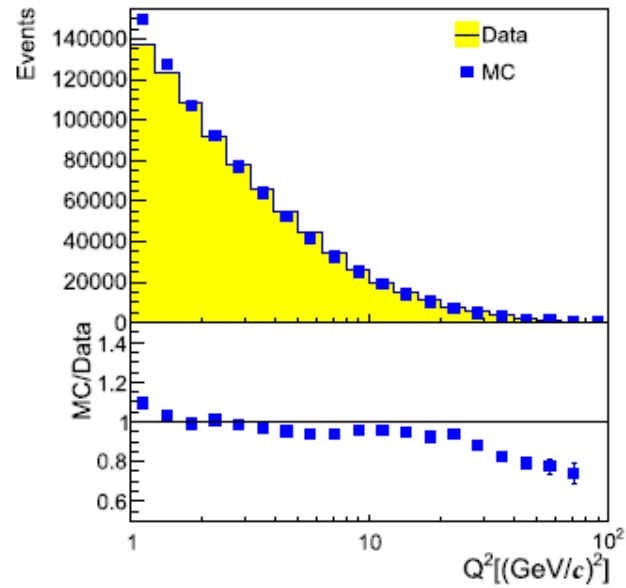
- jednoczesne dopasowanie asymetrii Siversa dla 3 procesów



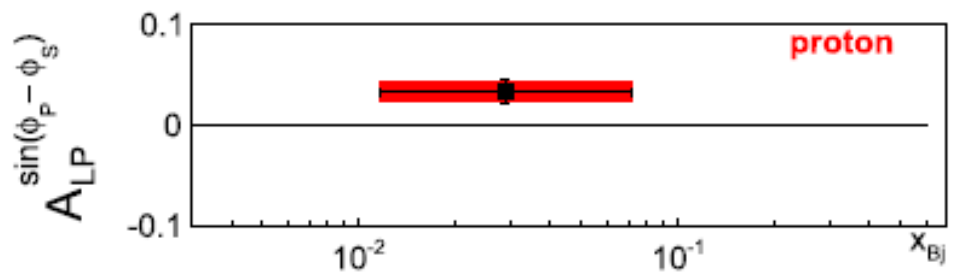
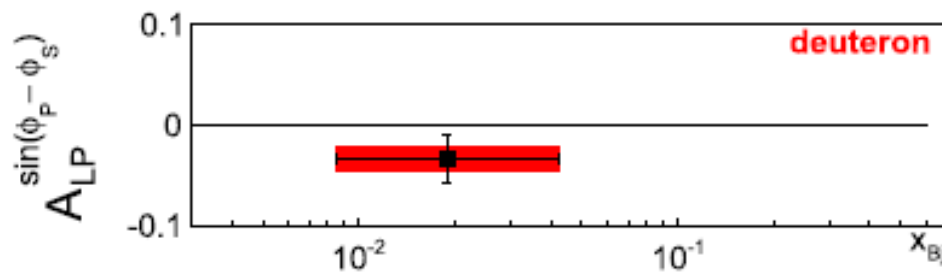
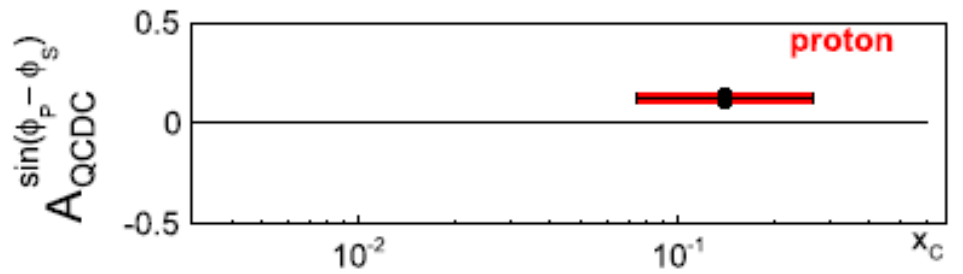
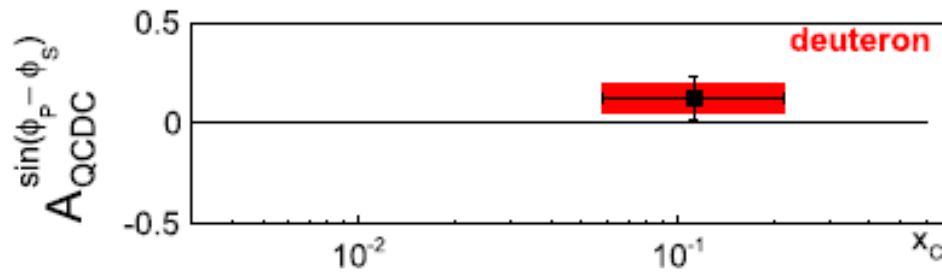
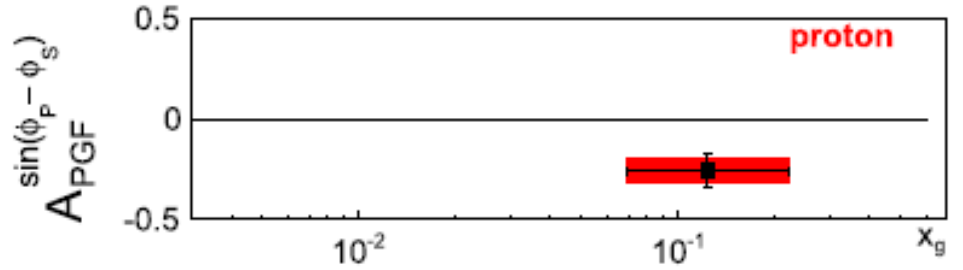
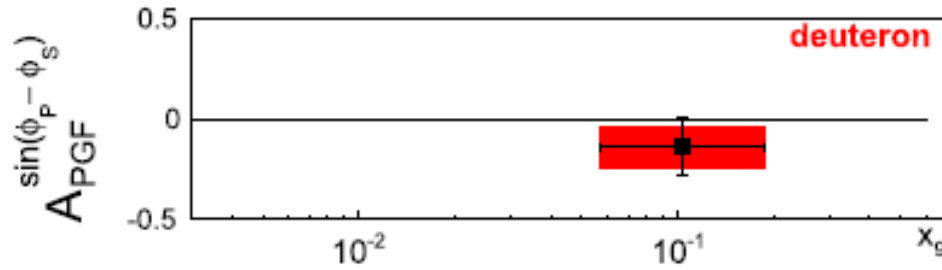
$$A^{\sin\phi} = R_{PGF} A_{PGF}^{\sin\phi}(\langle X_g \rangle) + R_{QCDC} A_{QCDC}^{\sin\phi}(\langle X_C \rangle) + R_{LP} A_{LP}^{\sin\phi}(\langle X_{Bj} \rangle)$$

- prawdopodobieństwa  $R_{PGF}$ ,  $R_{QCDC}$ ,  $R_{LP}$  – z sieci neuronowej wytrenowanej na MC
- trzykrotne sumowanie dla każdego przypadku odpowiadającej wagi  $\sim R_j$   
tyle samo równań co niewiadomych (j = PGF, QCDC, LP)  
optymalizacja błędów statystycznych asymetrii

# Porównanie rozkładów kinematycznych dla MC i danych dla tarczy protonowej



## Wyniki końcowe



$$A_{PGF}^{Siv,p} = -0.26 \pm 0.09(\text{stat.}) \pm 0.06(\text{syst.}) \quad \text{at } \langle x_g \rangle = 0.15$$

$$A_{PGF}^{Siv,d} = -0.14 \pm 0.15(\text{stat.}) \pm 0.10(\text{syst.}) \quad \text{at } \langle x_g \rangle = 0.13$$

## Podsumowanie

- ❖ Zaproponowano nową metodę analizy w celu uzyskania oceny asymetrii Siversa dla gluonów
- ❖ Pierwszy pomiar asymetrii Siversa dla gluonów w leptonprodukcji, opublikowany w 2017 r.
- ❖ Uśredniony wynik dla protonu i deuteronu =  $-0.23 \pm 0.08$  (stat)  $\pm 0.05$  (syst) różny od zera na poziomie  $\sim 2.5 \sigma$
- ❖ Fenomenologiczna ocena OMP gluonów na podstawie zmierzonej asymetrii możliwa w oparciu o modele struktury nukleonu
- ❖ Planowany pomiar dla deuteronów (w 2021) z dokładnością dorównującą dokładności obecnego wyniku dla protonów

## Uzyskany wynik

Pierwszy pomiar asymetrii Siversa dla gluonów  
w rozpraszaniu lepton-nukleon

jest zgłoszony do wyróżnienia dla zespołu

dr hab. Krzysztof Kurek (NCBJ)

dr Marcin Stolarski (LIP Lizbona)

dr Adam Szabelski (NCBJ)

Wynik został opublikowany w 2017 r.

COMPASS Collaboration, C. Adolph *et al.*, Phys. Lett. B 772 (2017) 854  
*'First measurement of the Sivers asymmetry for gluons using SIDIS data'*