

Fizyka na akceleratorze HERA: eksperyment H1

- Motywacja budowy akceleratora HERA, najważniejsze dokonania
- Przykłady zagadnień szczegółowych którymi zajmuje się krakowska grupa eksperymentu H1
- Software analizy danych eksperymentu H1 : H1OO

HERA : motywacja budowy , najważniejsze pomiary

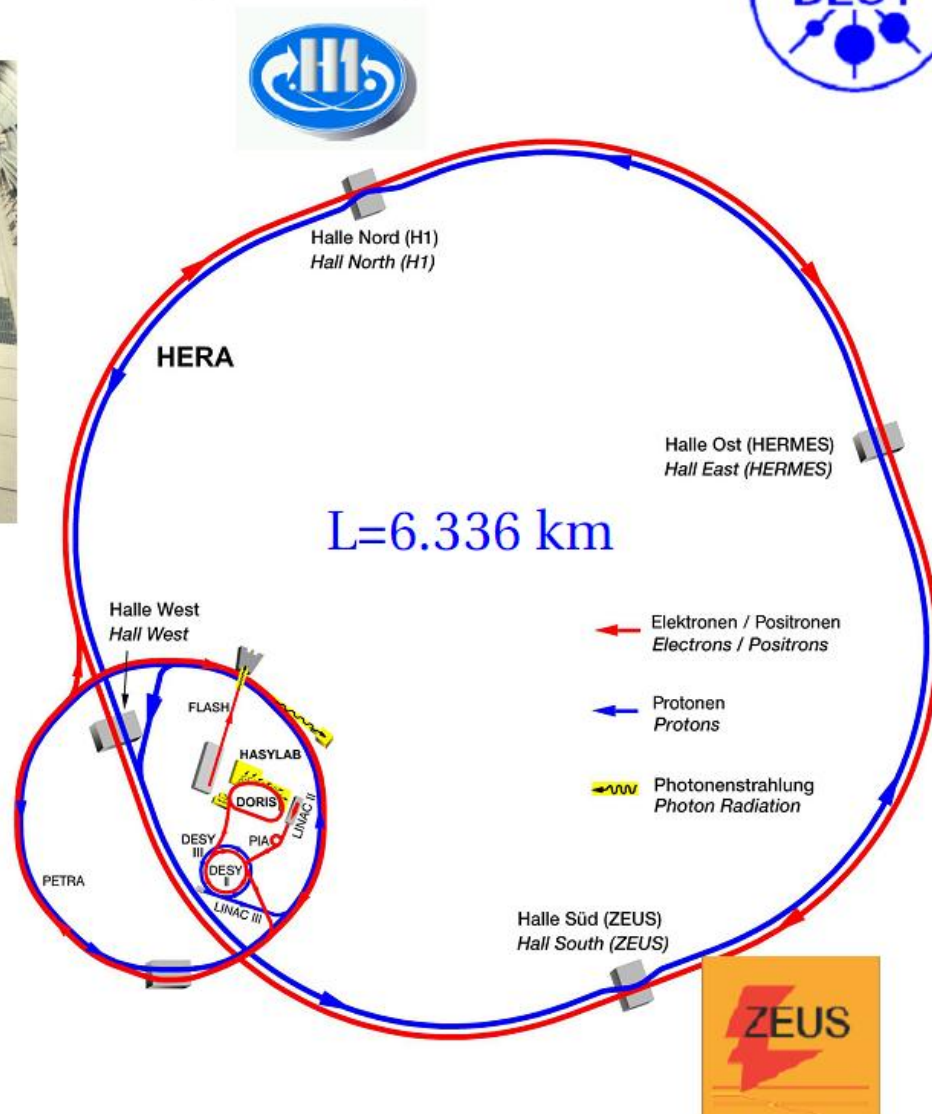
- HERA: Zderzacz elektron/pozytron - proton
- Motywacja budowy zderzacza elektron-proton
- Elementy teorii rozpraszania głęboko nieelastycznego
- Pomiar funkcji struktury protonu i jego znaczenie dla QCD oraz eksperymentów na LHC
- Fizyka małych wartości x -Bjorkena
- Testy Modelu Standardowego
- Podsumowanie



Hadron Elektron Ring Anlage HERA



- Jedyne na świecie zderzacz elektron-proton
- Działał w latach 1992-2007
- p: 460-920 GeV
- e: 27,6 GeV
- 2 eksperymenty na zderzających się wiązках (H1, ZEUS) + HERMES (stała tarcza gazowa)



BUDOWA I FINANSOWANIE HERA

Międzynarodowy wkład w budowę akceleratora HERA
(1984-1990)

	Institute of Particle Physics Projekt, budowa systemu transportu energii pomiędzy akceleratorami UAC 1 i DESY II. Projekt, konstrukcja i testy systemu pomiaru czasu relatywistycznego dla detektorów HERA, oraz systemy pomiarowe wagi protonów dla DESY.
	Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) / DESY Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	Max-Planck-Institut für Physik Projekt, konstrukcja, testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Roma Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	National Institute for Subatomic Physics (Nikhef), Amsterdam Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	Brookhaven National Laboratory (BNL), Upton, New York Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	Ústav jaderné fyziky, Praha Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.
	Институт ядерной физики, Новосибирск Budowa i testy w 1987 r. aparatu rozdzielającego magnetyczny i radiacyjny, oraz systemu pomiarowego. Opracowanie narzędzi, wykonanie wytycznych i testów technologicznych w testach, produkcja i montaż 200 modułów, z których 120 zmontowanych zostało przez DESY, pozostałe 80 zmontowanych zostało przez DESY.

Meganaukowe Forum OECD o fizyce cząstek, 1995:

„Jak dotychczas, zbudowana w DESY HERA, projekt zrealizowany ze znaczącym zagranicznym wkładem, w tym dwu regionów pozaeuropejskich, jest jedynym akceleratorem powstałym w ramach międzynarodowej współpracy”

Polska



Współpraca z fizykami, inżynierami i technikami przebywającymi w DESY przez okres 1-3 lat. Równocześnie przebywało w DESY około 40 specjalistów z polskich ośrodków badawczych:

Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków
Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, Kraków
Instytut Informatyki UJ, Kraków
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW, Warszawa
Instytut Problemów Jądrowych, Otwock-Świerk
Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów UW, Warszawa
Instytut Fizyki PAN, Warszawa

the total effort. Despite initial skepticism, the construction of HERA within this model of cooperation was a resounding success. This outcome is perhaps best illustrated by the fact that construction was completed within the original time estimate of six and a half years and within the original budget of DM654 million (1980 constant DM). The

Kalorymetr H1 (LAr) : 45000 kanałów

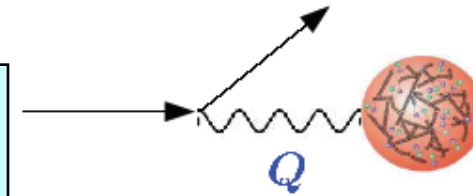


Krakowska grupa H1 uczestniczyła w budowie kalorymetru (puszki Faradaya na elektronikę analogową wraz z chłodzeniem, kablowanie, oprogramowanie akwizycji danych)

Motywacja fizyczna budowy zderzacza elektron-proton

~100 lat temu :Rutherford...

α -Au, $E_\alpha = 5,5 \text{ MeV}$



~54 lata temu:Hofstadter...

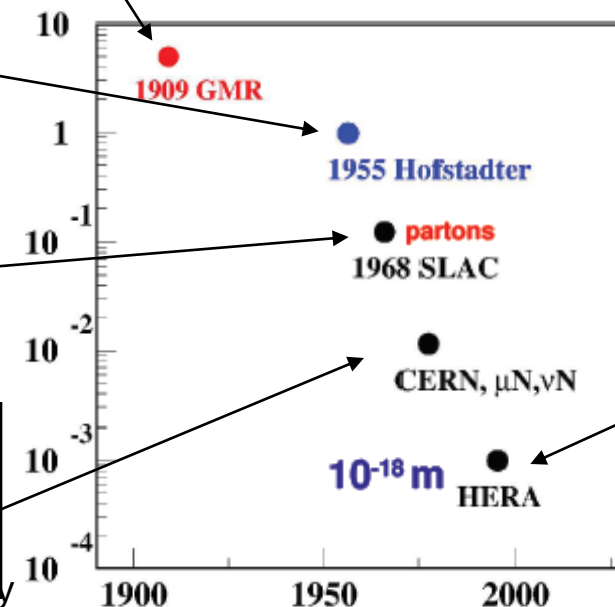
Elektron-Deuter $E_e \leq 250 \text{ MeV}$

Zasięg oddziaływania n-p $\sim 10^{-15} \text{ m}$

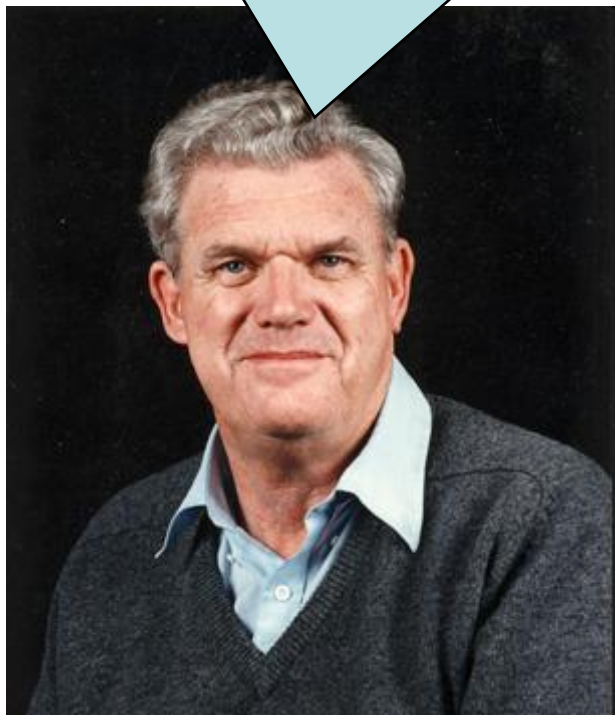
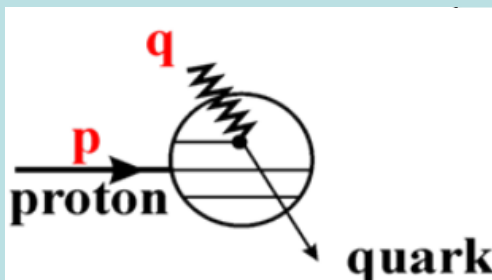
$$\delta \text{ [fm]} \simeq \frac{200 \text{ MeV}}{Q}$$

~40 lat temu SLAC 30 GeV
elektrony na tarczy wodorowej –
odkrycie partonów

~30 lat temu wiązki neutrinowe i
mionowe w CERN – własności
elektrosłabe partonów=kwarków



HERA
1991-2007



W momencie w którym ECFA utworzyła grupę roboczą dla projektu HERA wydaje się że główną motywacją fizyczną było badanie struktury materii przy największych wartościach Q^2



Nagroda Nobla 1990:

Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall, Richard E. Taylor

"For pioneering investigations concerning deep inelastic scattering of electrons on protons, which have been of essential importance for the development of the quark model in particle physics"

Motywacja fizyczna dla HERA

Poszukiwanie nowych cząstek i oddziaływań

- Substruktura kwarków i leptonów
- Leptokwarki
- Oddziaływania kontaktowe
- Skalarne oraz wzbudzone elektrony i neutrina

Testowanie teorii oddziaływań elektroślabych

- Chiralna struktura teorii
- Nowe ciężkie bozony

2010-01-28

Czerwiec 1985

LOI H1

• Substructure of Quarks and Leptons

If the quarks and electrons are not pointlike but have a substructure corresponding to a mass scale Λ of up to ≈ 5 TeV, sizeable effects at HERA may show up in the inclusive scattering cross-sections and polarisation asymmetries (e.g. through the existence of contact interactions). Other evidence for substructure would be given by the observation of excited electrons or by the formation of leptoquarks which would be easily identified by their preferred decay into heavy leptons and quarks.

• New Gauge Interactions

New gauge bosons up to masses of 500 GeV should show up as modifications of the inclusive cross-sections at high Q^2 . These can be further studied (e.g. the existence of a righthanded vector boson W_R or higher mass Z^0 's and W 's) using polarized beams.

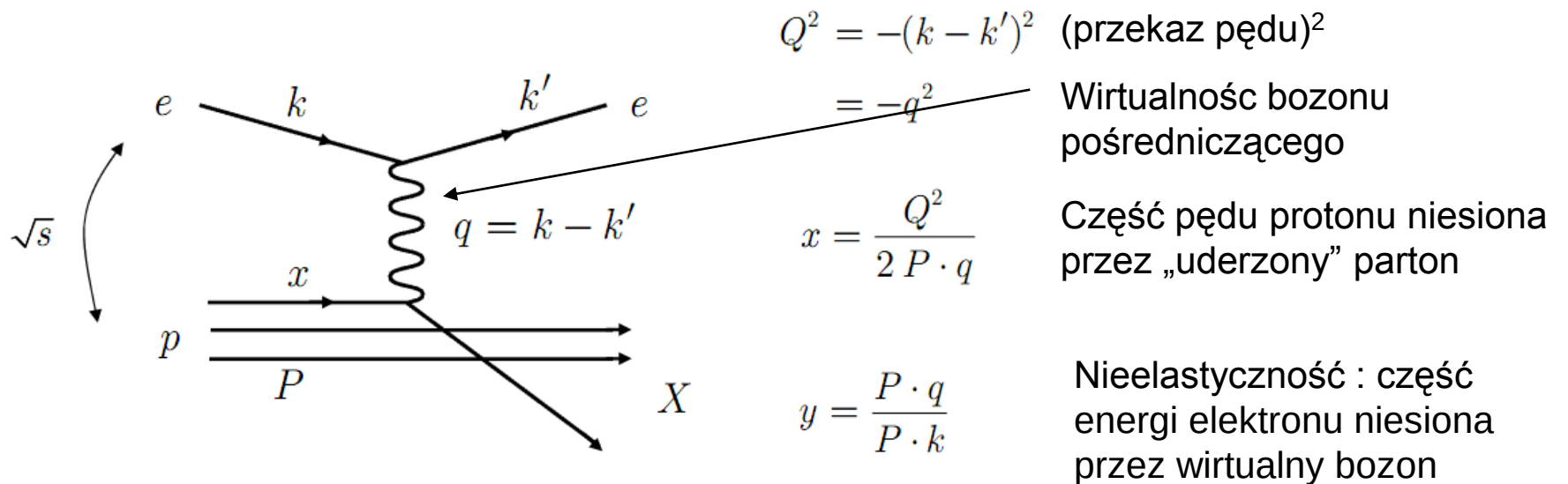
• Spectroscopy of "electron-like" Particles

New particles such as scalar electrons and neutrinos, neutral and charged heavy leptons or excited electrons can be produced at HERA with masses up to 150 GeV. The accessible mass range is substantially higher than at other colliders. Moreover the event topology for these events is particularly simple and very different from standard events such that they will be easy to identify and interpret.

The above examples illustrate the need for the detector to have excellent identification for leptons (especially for electrons) and excellent granularity and resolution for jets and for missing transverse energies since the final states will in general contain several leptons (including neutrinos) and quark and gluon jets. Excellent hadron calorimetry with good granularity is also required for the inclusive measurements of neutral and charged current interactions.

- HERA: Zderzacz elektron/pozytron - proton
- Trochę historii, motywacja eksperymentów na zderzaczu HERA
- **Elementy teorii rozpraszania głęboko nieelastycznego**
- Pomiar funkcji struktury protonu i jego znaczenie dla QCD oraz eksperymentów na LHC
- Fizyka małych wartości x -Bjorkena
- Przejście pomiędzy „twardymi” i „miękkimi” procesami w rozpraszaniu foton-proton, całkowity przekrój czynny γp
- Testy Modelu Standardowego
- Podsumowanie

Kinematyka rozpraszania głęboko nieelastycznego



$$Q^2 = xys$$

$$s = (k + P)^2$$

Kwadrat energii zderzenia w środku masy ep

$$x = \frac{Q^2}{Q^2 + W^2}$$

$$W^2 = M_X^2 = (q + P)^2$$

Kwadrat energii w środku masy foton-proton

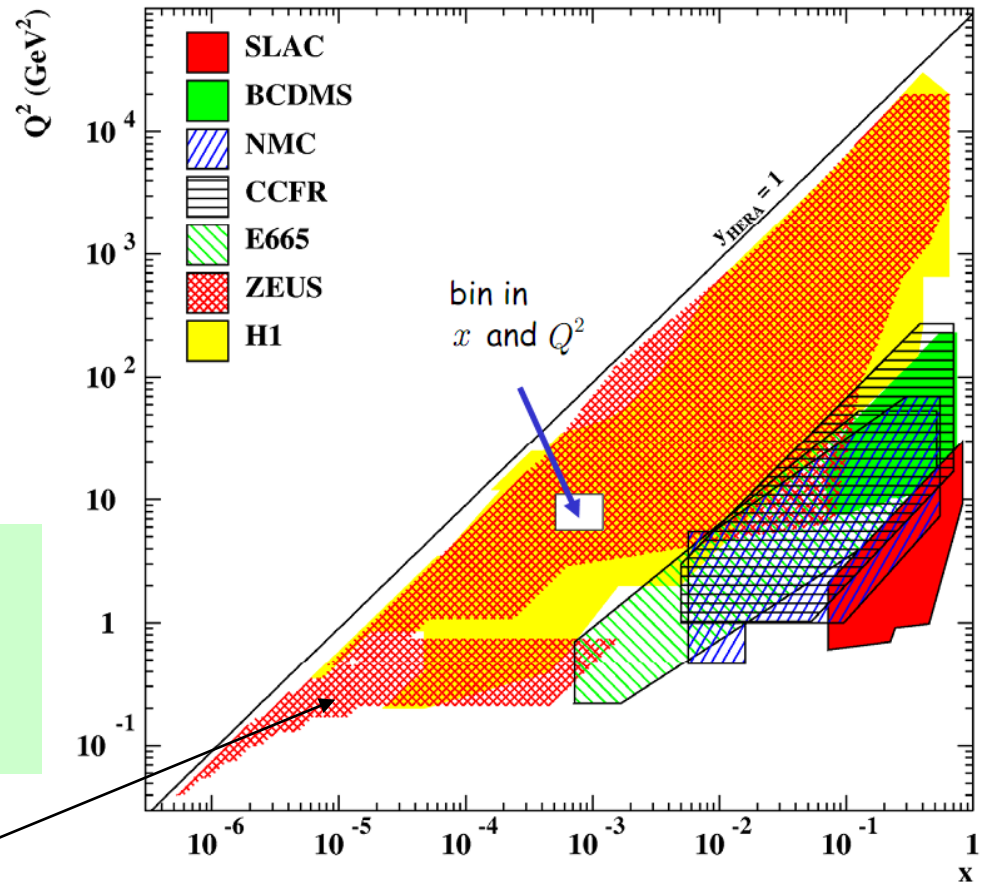
Zakres kinematyczny eksperymentów na HERA

- HERA powiększyła zakres dostępnych Q^2 i x o ok. dwa rzędy wielkości

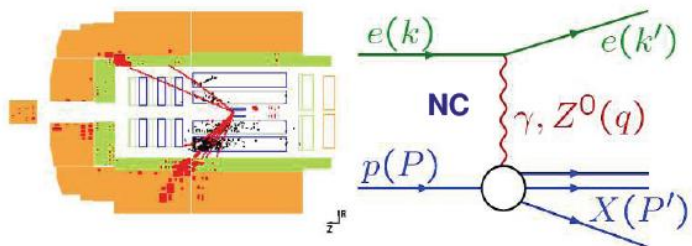
- Zdolność rozdzielcza HERA :
ok. 1/1000 rozmiarów protonu

- Zakres kinematyczny pomiarów na HERA obejmuje obszar „fizyki małych x ” ($x < 10^{-3}$ przy $Q^2 > 1$ GeV obszar perturbacyjny)

- $0.045 < Q^2 < 0.65$ GeV²
- $10^{-7} < x < 10^{-3}$

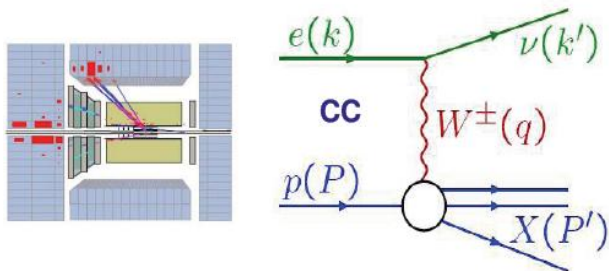


Procesy mierzone w eksperymentach na HERA



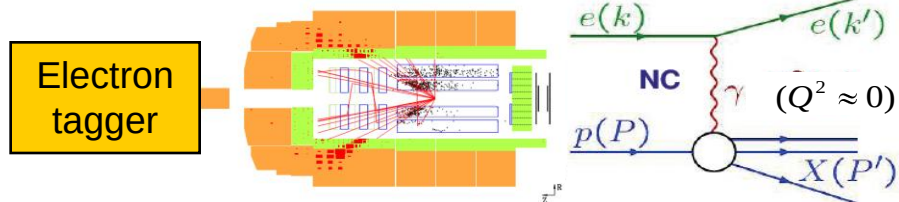
Prąd neutralny, sonda : wirtualny foton lub Z^0

Kinematykę zderzenia wyznaczamy z pomiaru kąta i energii elektronu (pozytonu) w stanie końcowym



Prąd naładowany, sonda : wirtualne $W^\pm$

Kinematykę zderzenia wyznaczamy z pomiaru końcowego stanu hadronowego



Fotoprodukcja, zderzenie kwazi-rzeczywistych fotonów z protonem emitowanych prawie równoległe do wiązki

Energia fotonu wyznaczamy z pomiaru energii fotonu w „znanym” elektronów umieszczonym poza detektorem centralnym

Pomiary inkluzywne : pomiary przekrojów czynnych w funkcji zmiennych DIS, bez wnikania w naturę końcowego stanu hadronowego

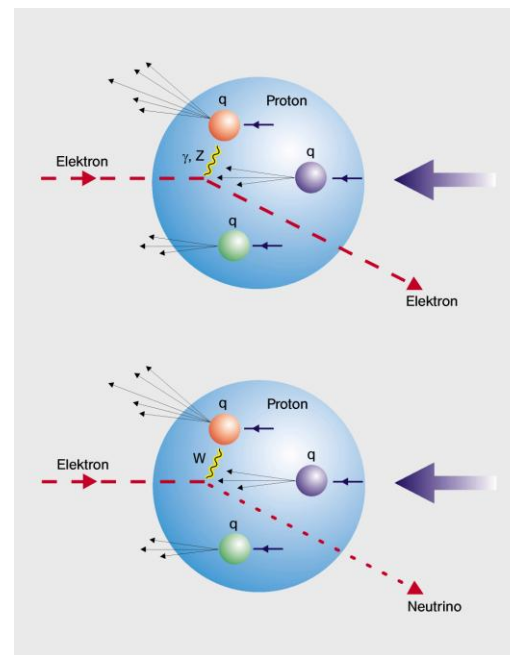
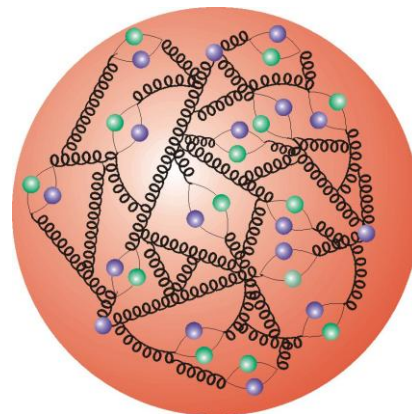
Pomiary własności **końcowych stanów hadronowych** → specjalność krakowskiej grupy H1

Fizyka procesów inkluzywnych

❑ Najważniejszym zadaniem pomiarów na akceleratorze HERA jest wyznaczenie **gęstości partonów w protonie**, które są niezbędnym elementem teorii procesów na LHC a w szczególności oszacowania tła QCD dla sygnałów nowej fizyki

❑ Proton składa się z kwarków walencyjnych (uud), morza par kwark-antykwarek i gluonów. Precyzyjne rozdzielanie wszystkich składników było możliwe dzięki kompleksowym pomiarom z wiązkami elektronów i pozytronów.

❑ Dla $Q^2 \geq M_Z^2 (M_W^2)$ można też badać procesy elektro-słabe (testy modelu standardowego). W tych badaniach istotną rolę odgrywa polaryzacja wiązki leptonowej



Przekrój czynny, funkcje struktury, gęstości partonów

Prądy neutralne:

$$e^\pm p : \tilde{\sigma}_{NC}^\pm = \frac{d^2 \sigma_{NC}^{e^\pm p}}{dx dQ^2} \frac{x Q^4}{2\pi \alpha^2 Y_+} = \tilde{F}_2 - \frac{y^2}{Y_+} \tilde{F}_L \mp \frac{Y_-}{Y_+} x \tilde{F}_3, \quad Y_\pm = 1 \pm (1-y)^2$$

$$\mathbf{F}_2 \quad [F_2, F_2^{\gamma Z}, F_2^Z] \quad F_2(x, Q^2) = \sum e_{q_i}^2 x(q_i + \bar{q}_i)$$

$$\mathbf{F}_3 \quad [xF_3^{\gamma Z}, xF_3^Z] \quad xF_3(x, Q^2) = x \sum_q B_i(q_i - \bar{q}_i)$$

$$\mathbf{F}_L \quad F_L = 0 (\sim x \alpha_s g \text{ at NLO})$$

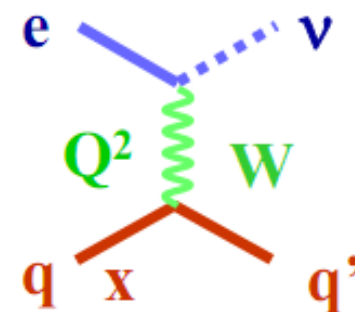
Kwarki +
antykwaraki

Kwarki
walencyjne

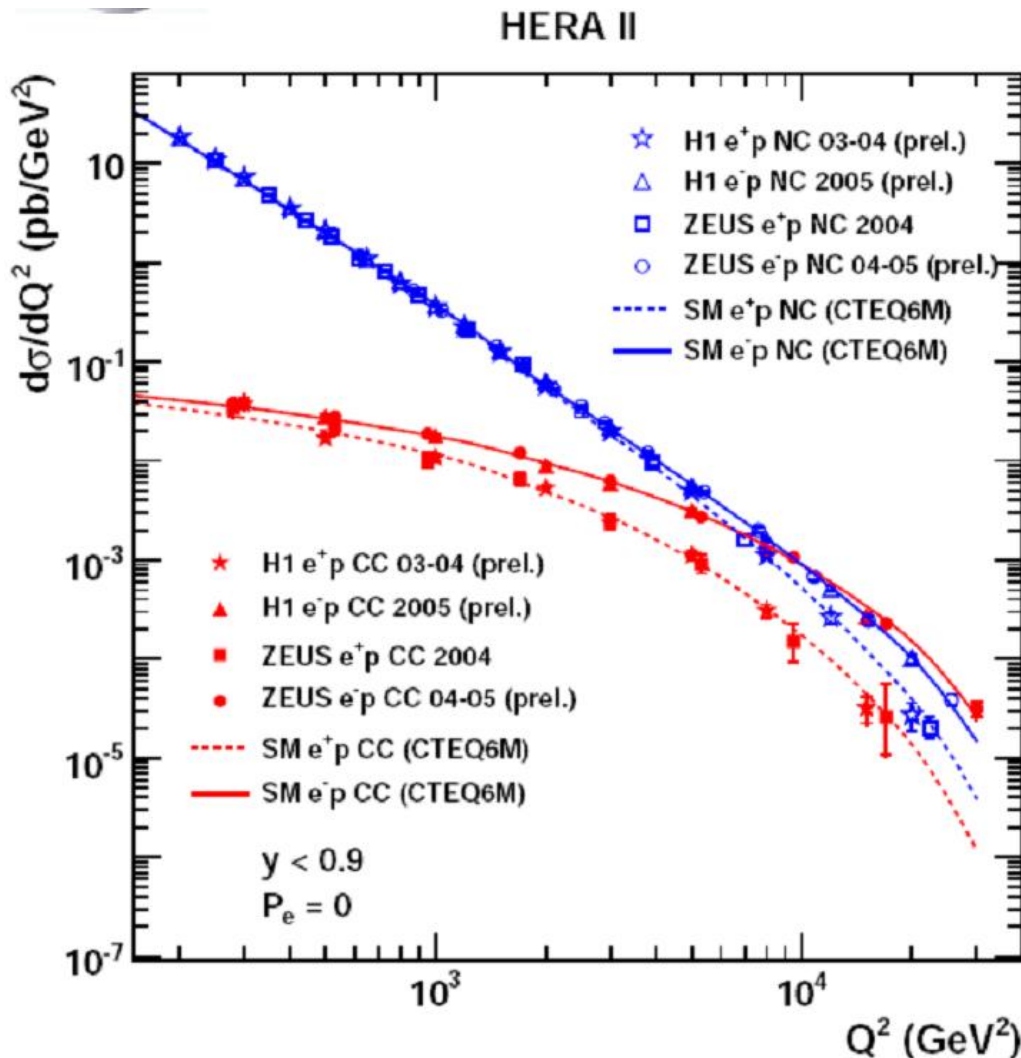
gluony

Prądy naładowane : składowe analogiczne ale wybierają zapach kwarków

$$\begin{aligned} W_2 &= x(\bar{u} + \bar{c} + d + s) \\ xW_3 &= x(-\bar{u} - \bar{c} + d + s) \end{aligned}$$



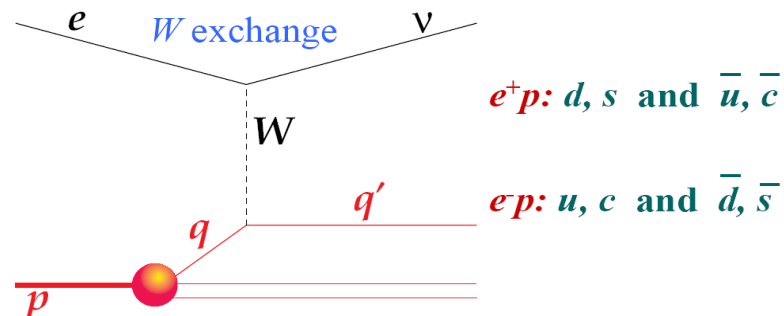
Unifikacja oddziaływań



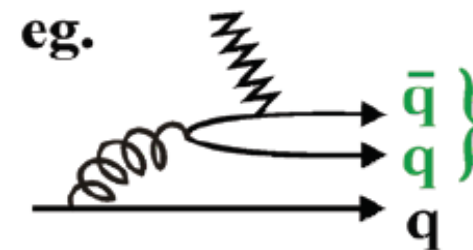
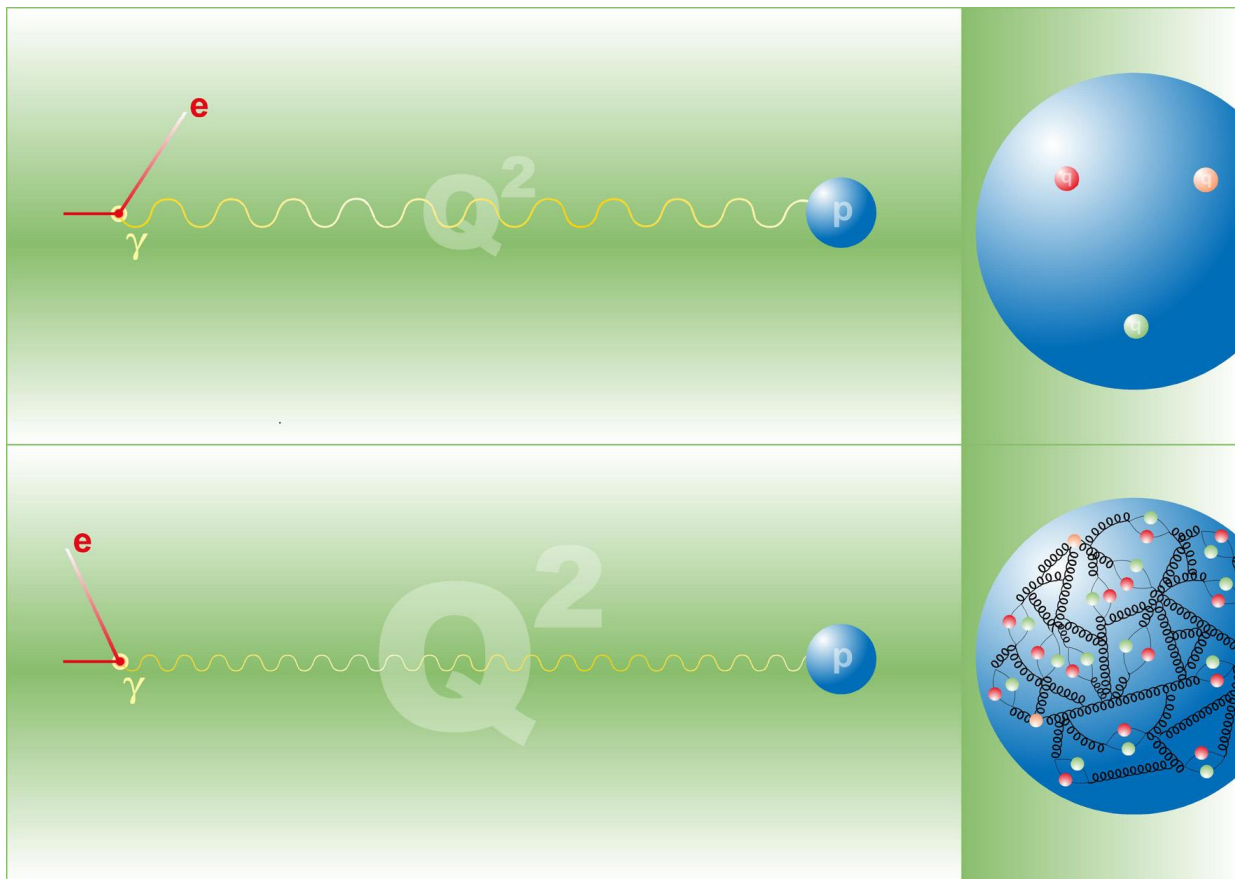
- Unifikacja oddziaływań słabych i elektromagnetycznych dla $Q^2 \approx m_W^2$

$$\frac{1}{Q^2} \approx \frac{1}{Q^2 + m_W^2}$$

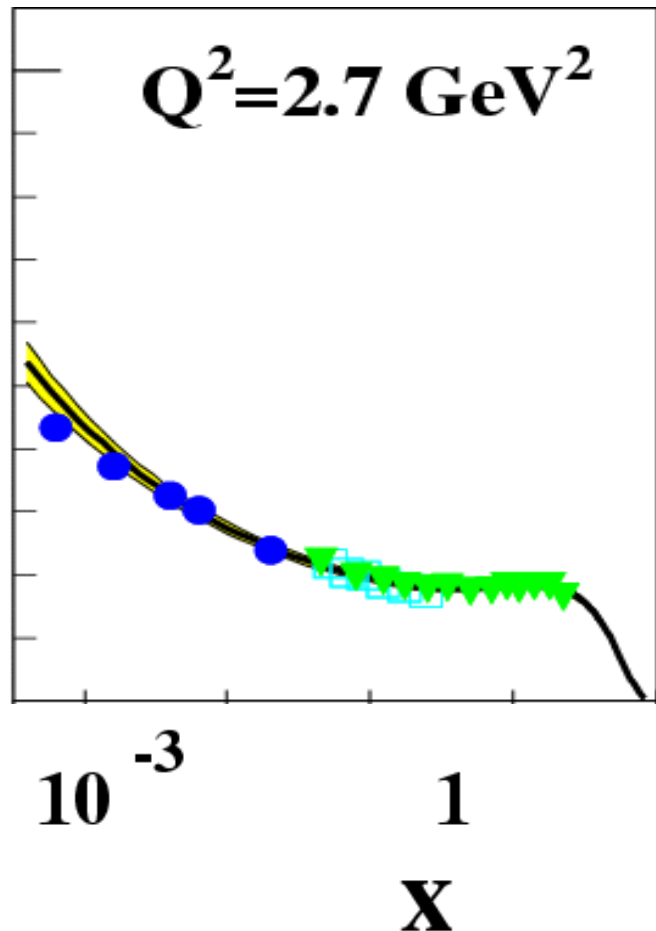
- Prąd naładowany testuje słabe sprzężenie kwaków



Ewolucja funkcji struktury



Ewolucja funkcji struktury



— ZEUS NLO QCD fit

tot. error

▲ BCDMS

□ E665

● ZEUS 96/97

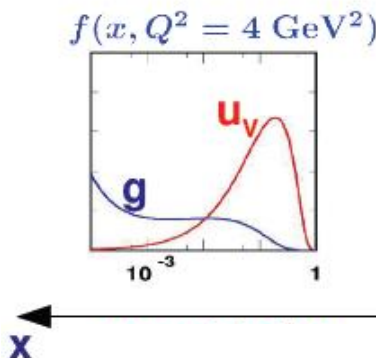
▼ NMC

W miarę jak rośnie Q^2 (zdolność rozdzielcza) coraz więcej partonów dzieli pomiędzy siebie pęd protonu → średnio muszą mieć coraz mniejsze x

- HERA: Zderzacz elektron/pozytron - proton
- Trochę historii, motywacja eksperymentów na zderzaczu HERA
- Elementy teorii rozpraszania głęboko nieelastycznego
- **Pomiar funkcji struktury protonu i jego znaczenie dla QCD oraz eksperymentów na LHC**
- Fizyka małych wartości x -Bjorkena
- Przejście pomiędzy „twardymi” i „miękkimi” procesami w rozpraszaniu foton-proton, całkowity przekrój czynny γp
- Testy Modelu Standardowego
- Podsumowanie

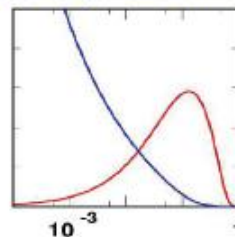
Ewolucja funkcji struktury, wyznaczanie gęstości partonów

Parametryzujemy gęstości partonów od x przy małej skali Q_0^2
Anzatz ! Tego nie da się wyliczyć (na razie)

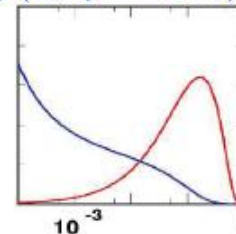


Ewoluuujemy gęstość partonów w Q^2 przy pomocy równań QCD (DGLAP)

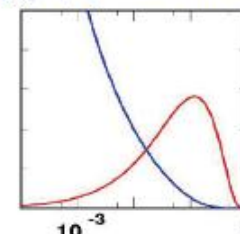
$f(x, Q^2 = 1000)$



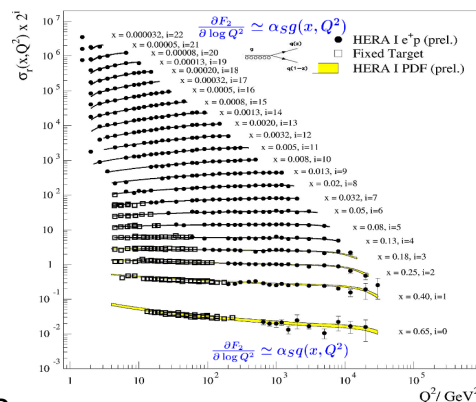
$f(x, Q^2 = 100)$



$f(x, Q^2 = 10000)$



- Wyliczamy przekrój czynny w całej dostępnej przestrzeni fazowej,
- porównujemy z danymi i poprawiamy parametryzację aż do uzyskania pełnej zgodności (iteracja)

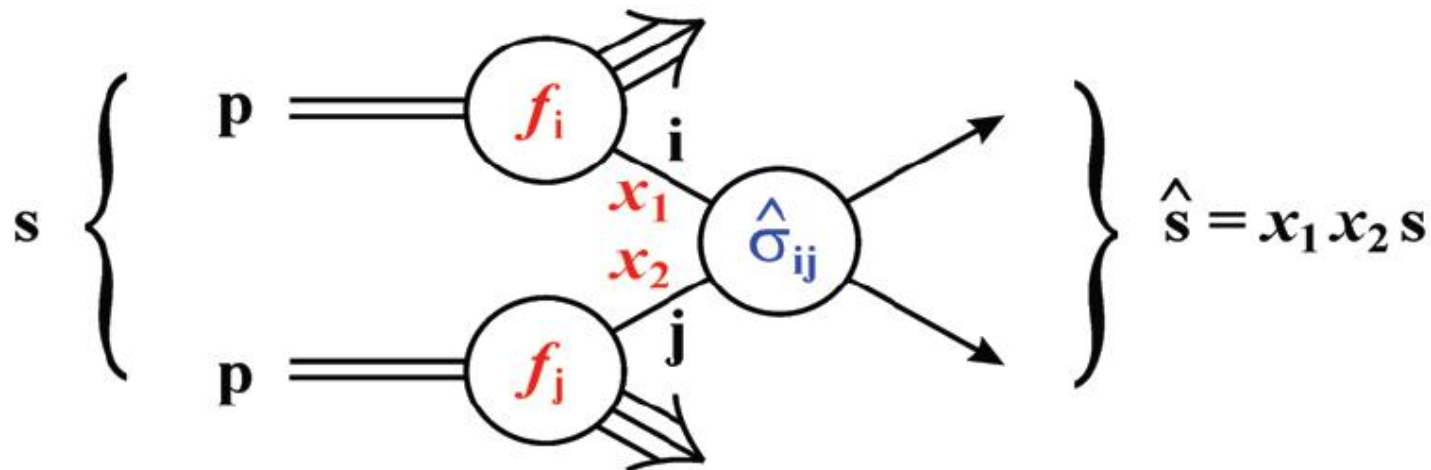




Przekroje czynne a gęstości partonów w QCD

$pp \rightarrow X$ LHC

$(p\bar{p} \rightarrow X$ Tevatron)

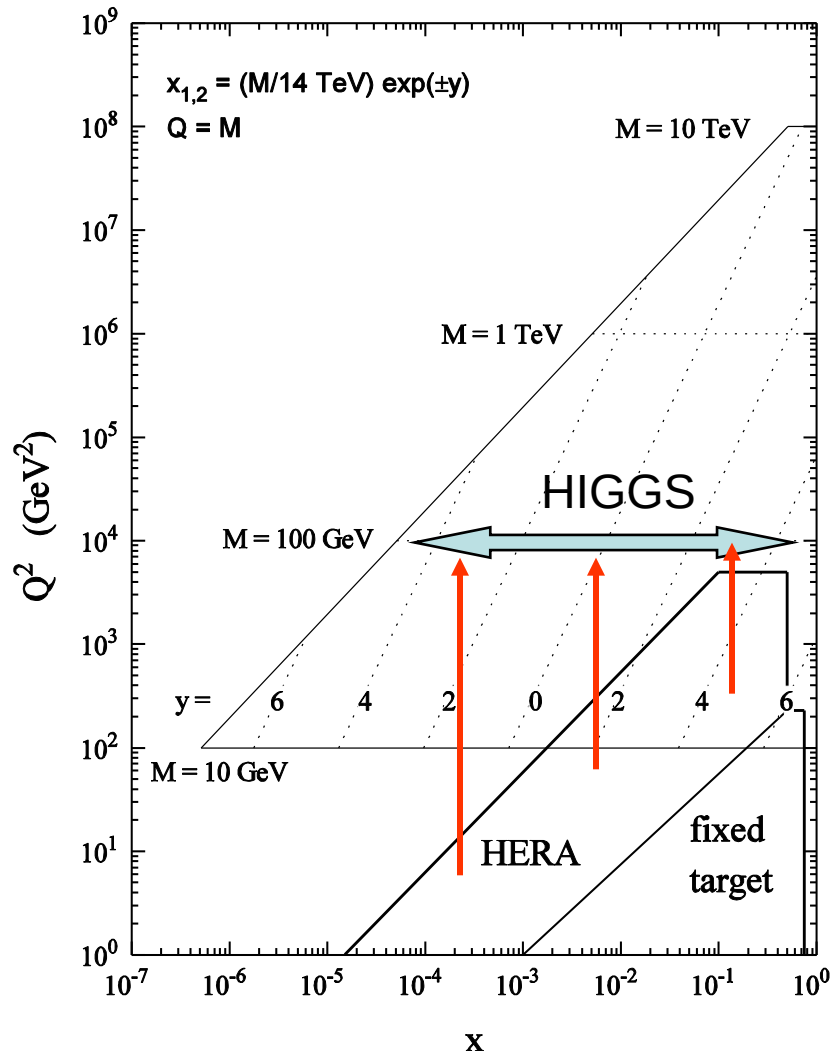


$$\sigma = \sum_{i,j} \int dx_1 dx_2 \underbrace{f_i(x_1, Q^2) f_j(x_2, Q^2)}_{\text{Te same, uniwersalne gęstości partonów}} \underbrace{\hat{\sigma}_{ij}(x_1 x_2 s, \alpha_s(Q^2))}_{\text{Przewidywane przez pQCD}}$$

Te same, uniwersalne
gęstości partonów

Przewidywane przez pQCD

Ekstrapolacja gęstości partonów do obszaru LHC



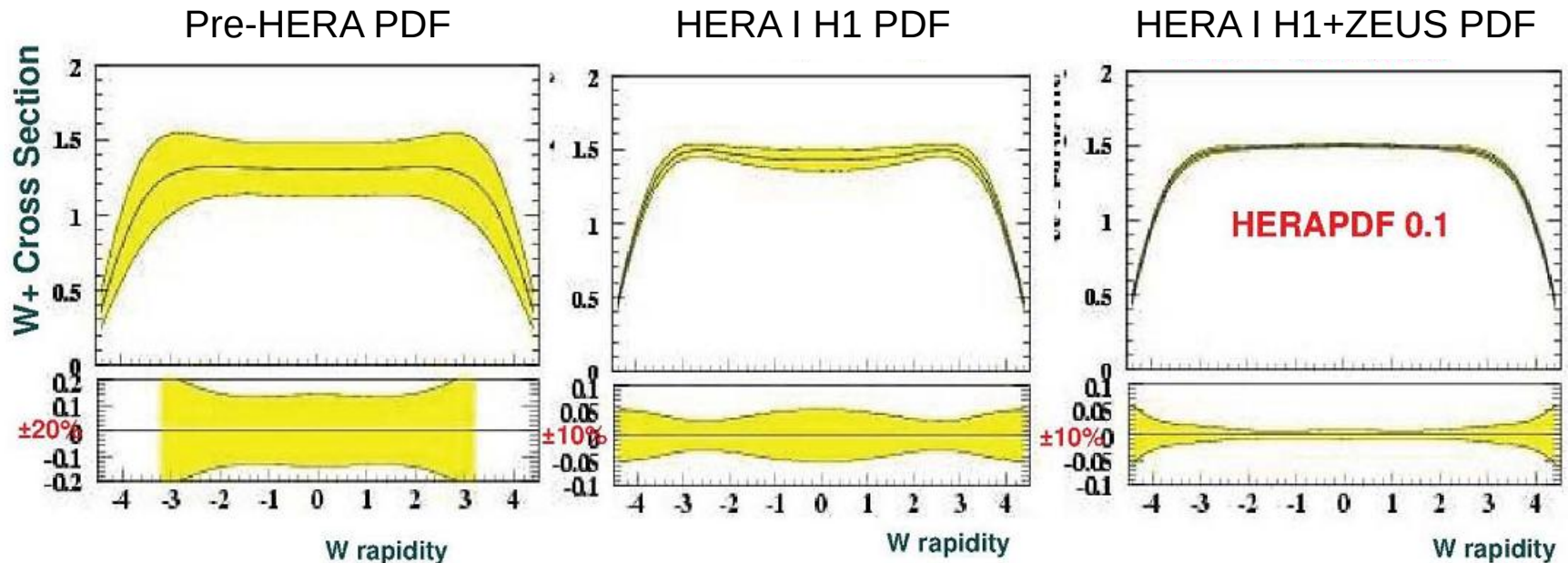
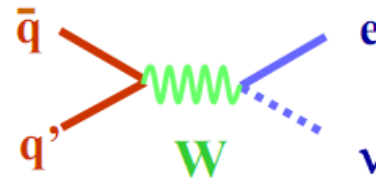
Wyprodukowanie w LHC obiektu o masie 100 TeV jest wynikiem zderzenia partonów z obszaru $x > 10^{-4}$

Obliczenie przekroju czynnego na produkcję wymaga ekstrapolacji gęstości partonów w Q^2 z obszaru HERA tj. ok. 3 rzędów wielkości

Precyzja wyznaczenia gęstości partonów w obszarze kinematycznym HERA jest kluczowa dla eksperymentów na LHC

Znaczenie HERA PDF dla pomiarów na LHC

Przykład : produkcja W^{+-} :



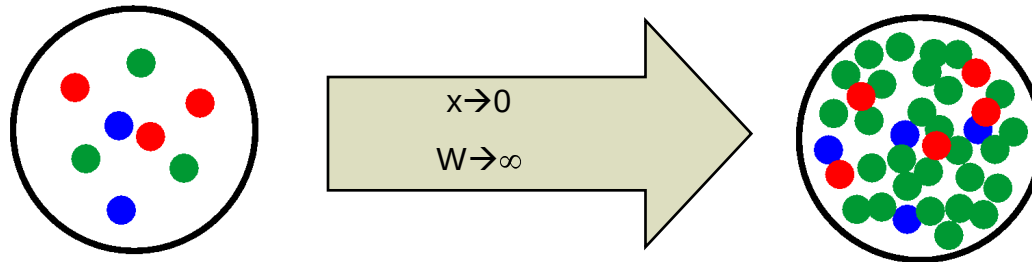
- Funkcje struktury w oparciu o dane DIS z okresu pre-HERA pozwoliłyby na obliczenie przekroju czynnego na produkcję W na LHC z dokładnością $< 20\%$
- Pomiar na HERA I redukuje tę niepewność do ok. 10%
- Połączone dane H1 + ZEUS redukuje niepewność σ_W do ok. 2% w obszarze centralnym

HERA : maszyna fizyki małych x

Dostępne tylko
dla zderzaczy

Fizyka małych x :

- Q^2 w obszarze perturbacyjnym ($\alpha_s \ll 1$)
- $W^2 \gg Q^2 \rightarrow x \ll 1$



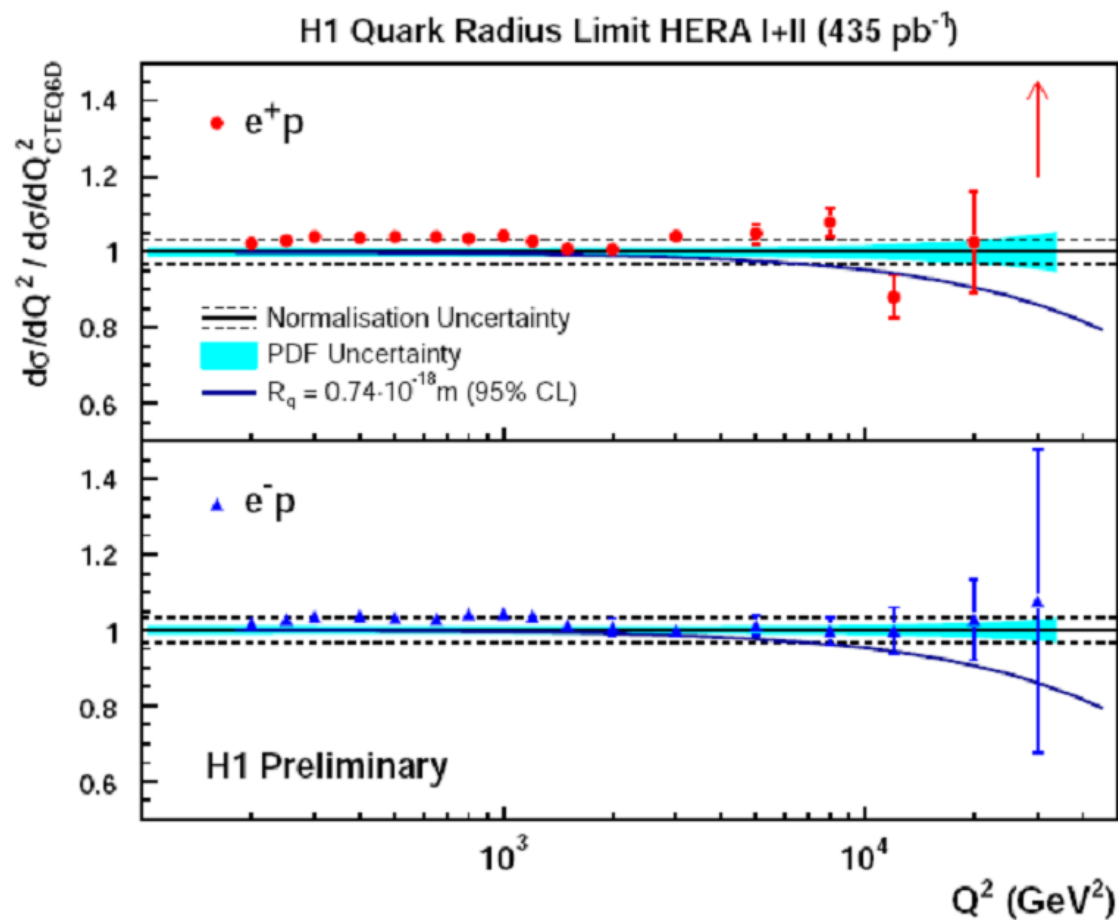
- Fizyka małych x stała się pierwszoplanowym zagadnieniem dla teorii i eksperymentów na HERA
- Aspekt poznawczy: QCD w obszarze małej stałej sprzężenia i dużej gęstości partonów, saturacja : stan równowagi pomiędzy promieniowaniem i rekombinacją partonów
- Aspekty praktyczne : czy stosowane metody przybliżeń (DGLAP) są wystarczające w obszarze małych x
- Duży wkład prof. Kwiecińskiego i jego wybitnych uczniów

Końcowe stany hadronowe

- Trochę historii, motywacja eksperymentów na zderzaczu HERA
- Elementy teorii rozpraszania głęboko nieelastycznego
- Pomiar funkcji struktury protonu i jego znaczenie dla QCD oraz eksperymentów na LHC
- Fizyka małych wartości x -Bjorkena
- Przejście pomiędzy „twardymi” do „miękkimi” procesami w rozpraszaniu foton-proton
- **Testy Modelu Standardowego**
- Podsumowanie

Ograniczenia na promień kwarku i nowe oddziaływania (kontaktowe)

Stopień zgodności $d\sigma/dQ^2$ z MS nakłada ograniczenia na modele wykraczające poza MS



•Promień kwarku wyznaczony z czynnika postaci

$$(1 - R_q^2 Q^2 / 6)$$

H1 : $R_q < 0.74 \cdot 10^{-18} \text{ m}$

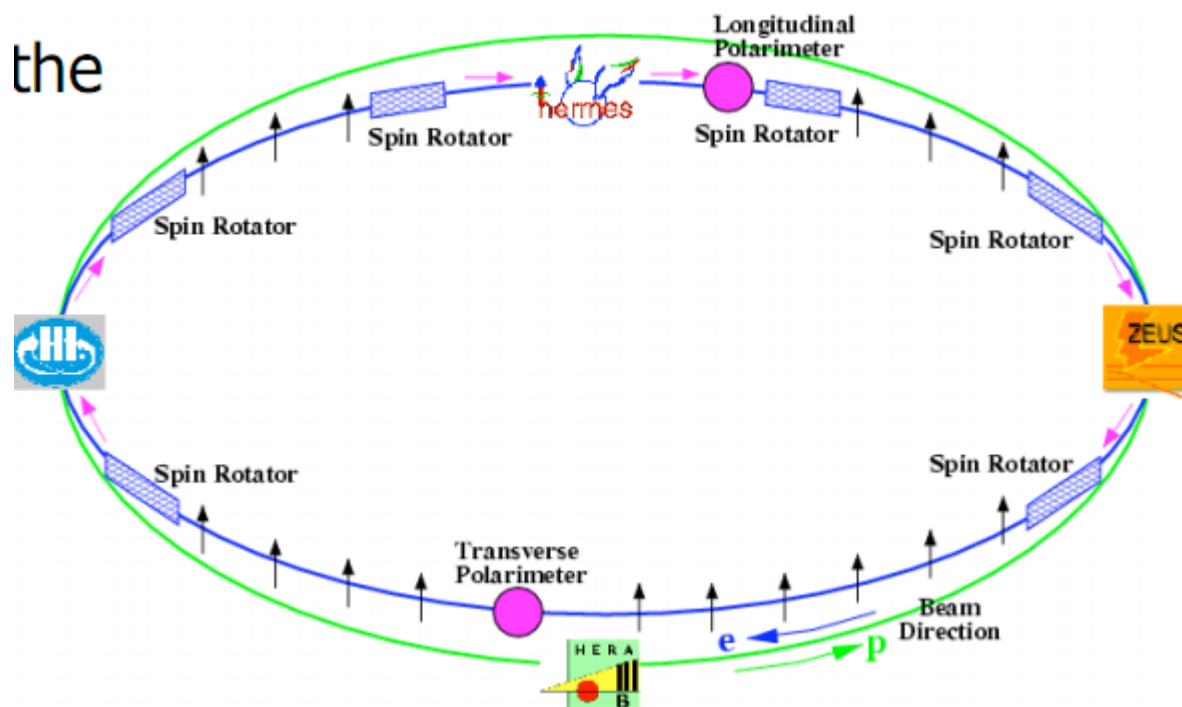
ZEUS : $R_q < 0.67 \cdot 10^{-18} \text{ m}$

•Zakładając strukturę Lorentzowską oddziaływania nowego typu można wyznaczyć dolną granice skali przy której mogłoby stać się widoczne w oddziaływaniu $e q$

HERA : 2-8 TeV

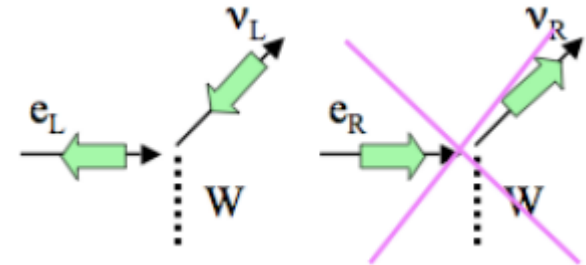
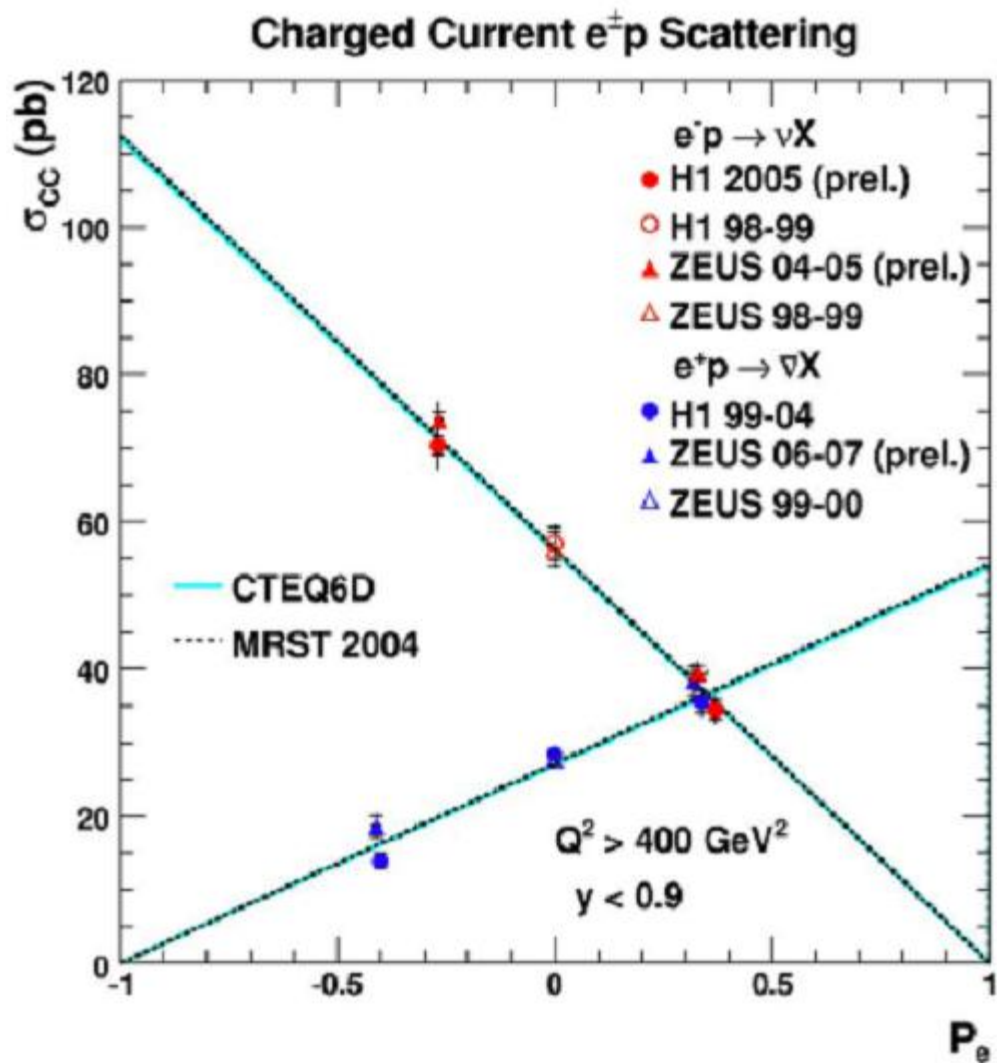
Polaryzacja e^+/e^-

- Polaryzacja poprzeczna „za darmo” : μ_e sprzęga się z polem B dipola prowadzenia wiązki
- Rotatory spinu dostarczają polaryzacji podłużnej, którą monitoruje się przy pomocy rozproszenia komptonowskiego wiązek laserowych



Polaryzacja typowa
30 do 40 % (tylko !)

Prąd naładowany przy spolaryzowanej wiązce $e^{\pm}$



- Model Standardowy: $\sigma = (1 \pm P)\sigma_0$
- Ekstrapolacja do $P = \pm 1$ konsystentna z zerem
- Granica na masę prawego W (W_R)
 $M(W_R) > 208 \text{ GeV}$ (ok. 300 dla HERA I+II)

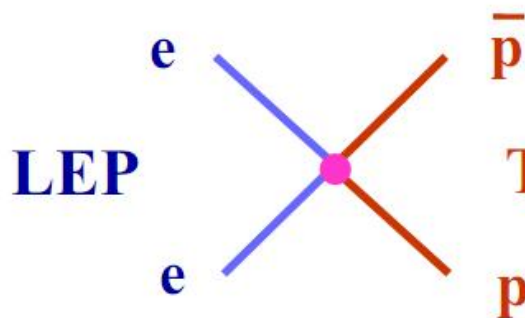


0.21 TeV, $\sim 0.9 \text{ fb}^{-1}/\text{exp.}$

$M_Z, \Gamma_Z \rightarrow 3 \text{ neutrina}$

Precyzyjne testy MS

$M_H > 114 \text{ GeV}$



HERA



0.32 TeV, $\sim 0.5 \text{ fb}^{-1}/\text{exp.}$

Gęstości partonów w protonie

Dyfrakcja, poprzeczna struktura protonu

Plansze „do podręcznika”



1.96 TeV, $\sim 4 \text{ fb}^{-1}/\text{exp.}$

M_W, Γ_W, m_t

Podsumowanie

- ❖ Wbrew początkowym założeniom HERA jest w pierwszym rzędzie „maszyną QCD”
- ❖ Najważniejszym osiągnięciem eksperymentów na HERA jest wyznaczenie gęstości partonów w protonie w zakresie x_{Bj} i Q^2 nieosiągalnym dla wcześniejszych eksperymentów rozpraszania głęboko nieelastycznego.
- ❖ Pomiar funkcji struktury w obszarze małych x_{Bj} stworzył doświadczalny punkt odniesienia dla teorii saturacji oraz metod obliczeniowych perturbacyjnej QCD.
- ❖ Pomiar rozpraszania głęboko nieelastycznego w obszarze bardzo dużych przekazów pędu (sięgających 40000 GeV^2) dostarczył szeregu ważnych testów modelu standardowego oraz „podręcznikowych” plansz

Krakowska grupa eksperymentu H1

Prof. Jacek Turnau

Dr hab. Lidia Goerlich

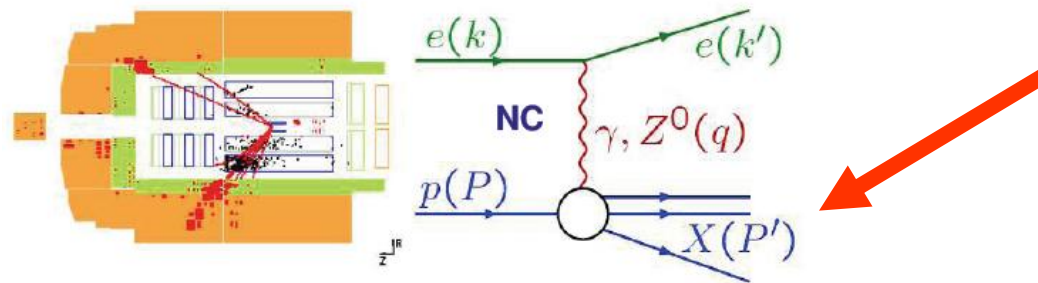
Dr hab. Stanisław Mikocki

Dr hab. Grażyna Nowak

Mgr Paweł Sopicki (doktorant)

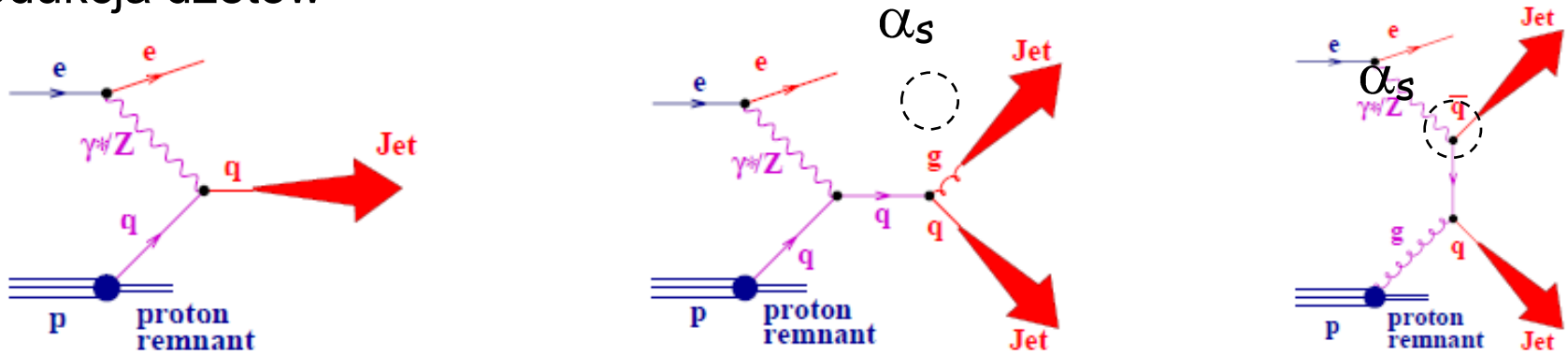
Mgr Izabela Milcewicz (doktorant)

Tematyka : badanie końcowych stanów hadronowych z punktu widzenia chromodynamiki kwantowej (QCD)



Końcowe stany hadronowe

Produkcja dżetów



Przekrój czynny (przewidywanie QCD):

$$\sigma = \sum_{a=q,\bar{q},g} \int dx \cdot f_a(x, \mu_F, \alpha_s) \cdot d\hat{\sigma}_a(x, \mu_F, \mu_R, \alpha_s(\mu_R)) \cdot D(x_p, \mu_F, \alpha_s)$$

Rozkład partonów w
protonie

Przekrój czynny na
„twardy” proces

Funkcja
fragmentacji

Project to measure azimuthal asymmetry of energy flow

- Azimuthal asymmetries in NC DIS
- Physics motivation
- ZEUS measurements
- Can we achieve better precision ?
- Possible extension of the project
- Conclusions

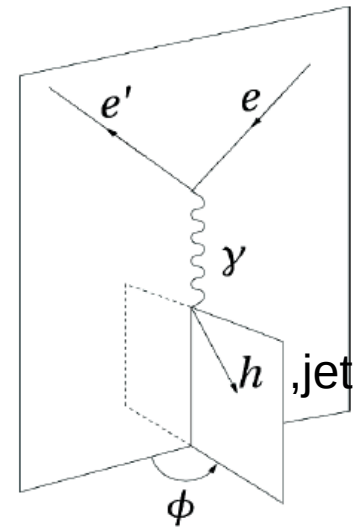
$$\frac{d\sigma^{ep \rightarrow ehX}}{d\phi} = A + B \cos(\phi) + C \cos(2\phi) + D \sin(\phi) + E \sin(2\phi)$$

Azimuthal asymmetry comes from :

- Partons with $p_T^{(\text{HCM,Breit})} > 0$ (BGF, QCDC, parameters B & C)
- Intrinsic parton momentum in the proton (negligible for $Q^2 > 100 \text{ GeV}^2$)
- Longitudinally polarized electron beam
- Parity violating interactions
- Non-perturbative QCD (instantons)

D & E

$\gamma^* p$ HCM frame



Predictions:

T-even $\gg 10 \times$ T-odd

but for longitudinal beam polarisation “ $\approx$ ”

T-odd (NC) < T-odd (CC)

Ahmed, Gehrmann, Phys.Let.B465(1999)297

Azimuthal asymmetry parameters

$$\langle \cos(\phi) \rangle = \frac{B}{2A}$$

$$\langle \cos(2\phi) \rangle = \frac{C}{2A}$$

$$\langle \sin(\phi) \rangle = \frac{D}{2A}$$

$$\langle \sin(2\phi) \rangle = \frac{E}{2A}$$

- Jet asymmetry $\phi = \phi_e - \phi_{\text{jet}}$
- Charged track asymmetry $\phi = \phi_e - \phi_h$
- Transverse energy flow asymmetry

$$\langle \cos \phi \rangle = \frac{\sum_i E_{iT} \cos \phi_i}{\sum_i E_{iT}}$$

$$\langle \cos 2\phi \rangle = \frac{\sum_i E_{iT} \cos 2\phi_i}{\sum_i E_{iT}}$$

$$\langle \sin \phi \rangle = \frac{\sum_i E_{iT} \sin \phi_i}{\sum_i E_{iT}}$$

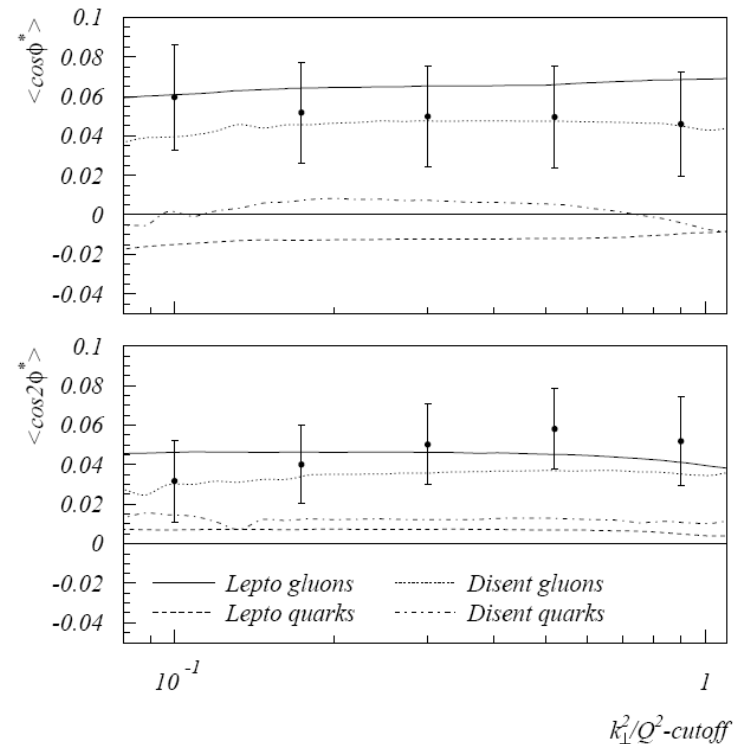
$$\langle \sin 2\phi \rangle = \frac{\sum_i E_{iT} \sin 2\phi_i}{\sum_i E_{iT}}$$

Measurement of azimuthal asymmetries in the hadronic final-state of deep inelastic scattering at HERA.

Magnus Lindström

$$\begin{array}{rclclcl} 10 \text{ GeV}^2 & < & Q^2 & < & 100 \text{ GeV}^2 \\ 0.2 & < & y_B & < & 0.65 \\ 156^\circ & < & \theta_{scl} & < & 176^\circ \end{array}$$

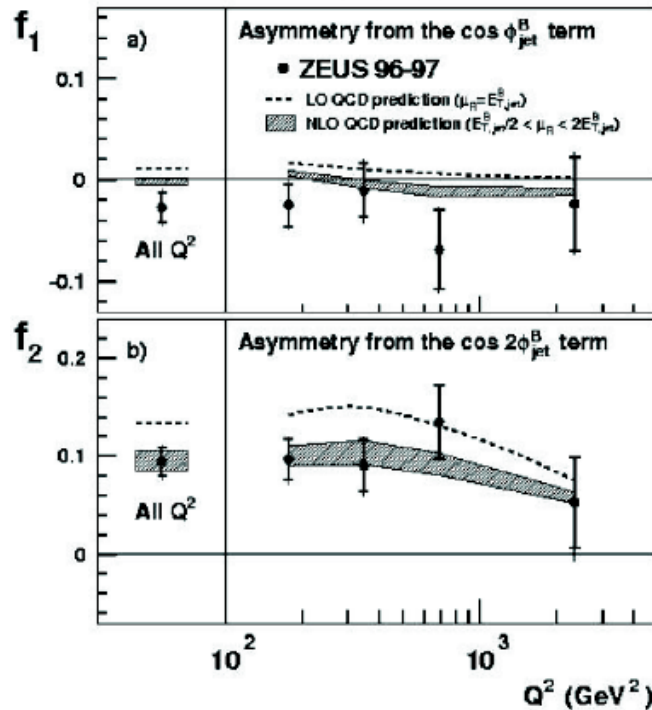
ISBN 91-7874-105-X
LUNFD6/(NFFL-7190)2000



Large systematic errors are characteristic for jet measurements because of migrations (jet purity)

ZEUS

Breit frame



Jet analysis

Fitted to experimental data

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{d|\phi_{jet}^B|} = \frac{1}{\pi} [1 + f_1 \cos(\phi_{jet}^B) + f_2 \cos(2\phi_{jet}^B)]$$

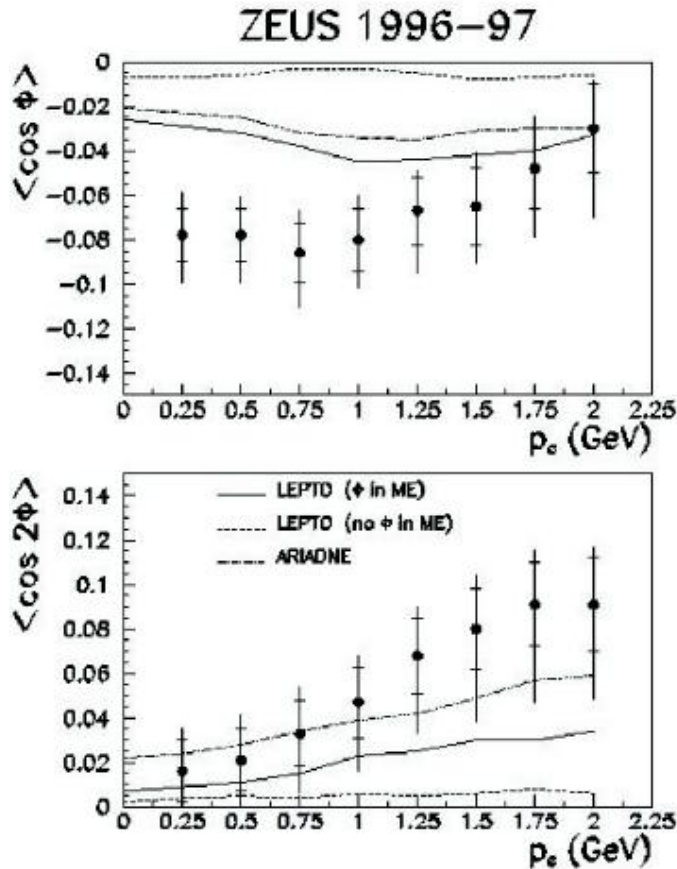
Small

Large

See Oscar Gonzalez thesis and
DESY 02-171, Phys.Lett. B551 (2003) 226-240

- the uncertainty in the absolute energy scale of the jets;
- the uncertainty in the MC modelling of the hadronic final state, which was estimated from the differences between ARIADNE and LEPTO-MEPS in correcting the data for

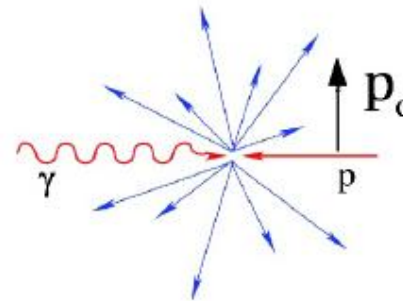
Published data



HCM frame
z, p_T method

Multiplicity method Charged hadrons

For hadrons with $p_T > p_c$



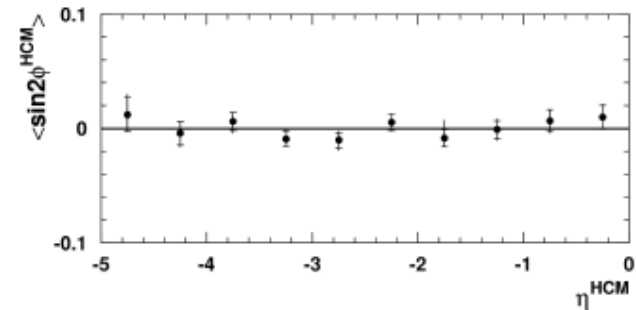
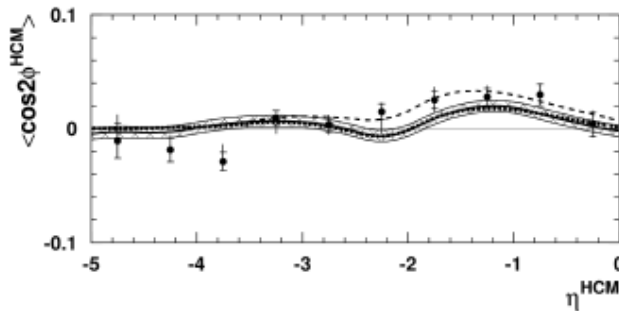
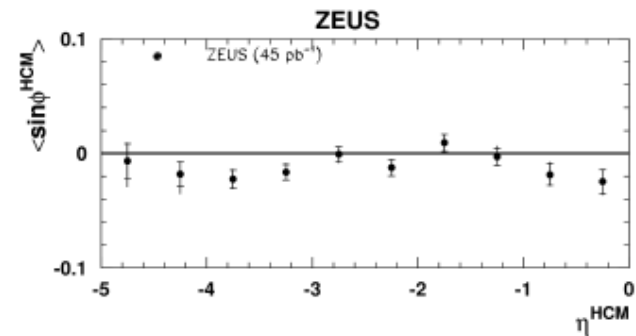
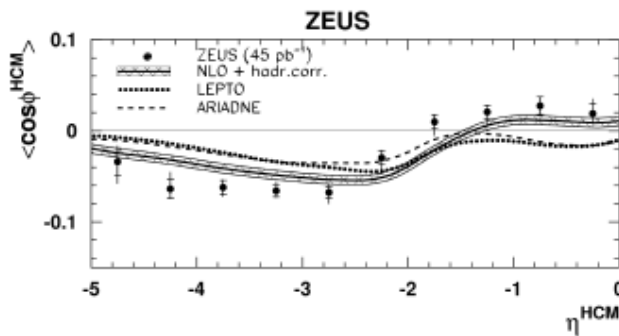
$$0.2 < z_h = \frac{P \cdot p_h}{P \cdot q} < 1$$

See Eduardo Rodriguez thesis and
DESY 00-040, Phys.Lett. B481 (2000) 199-212

DIS : $0.2 < y < 0.8$; $180 < Q^2 < 7220 \text{ GeV}^2$

Azimuthal asymmetries for $e^+ p \rightarrow e h X$

Data 1996–1997



Next-to-leading order not sufficient

Smaller values are expected

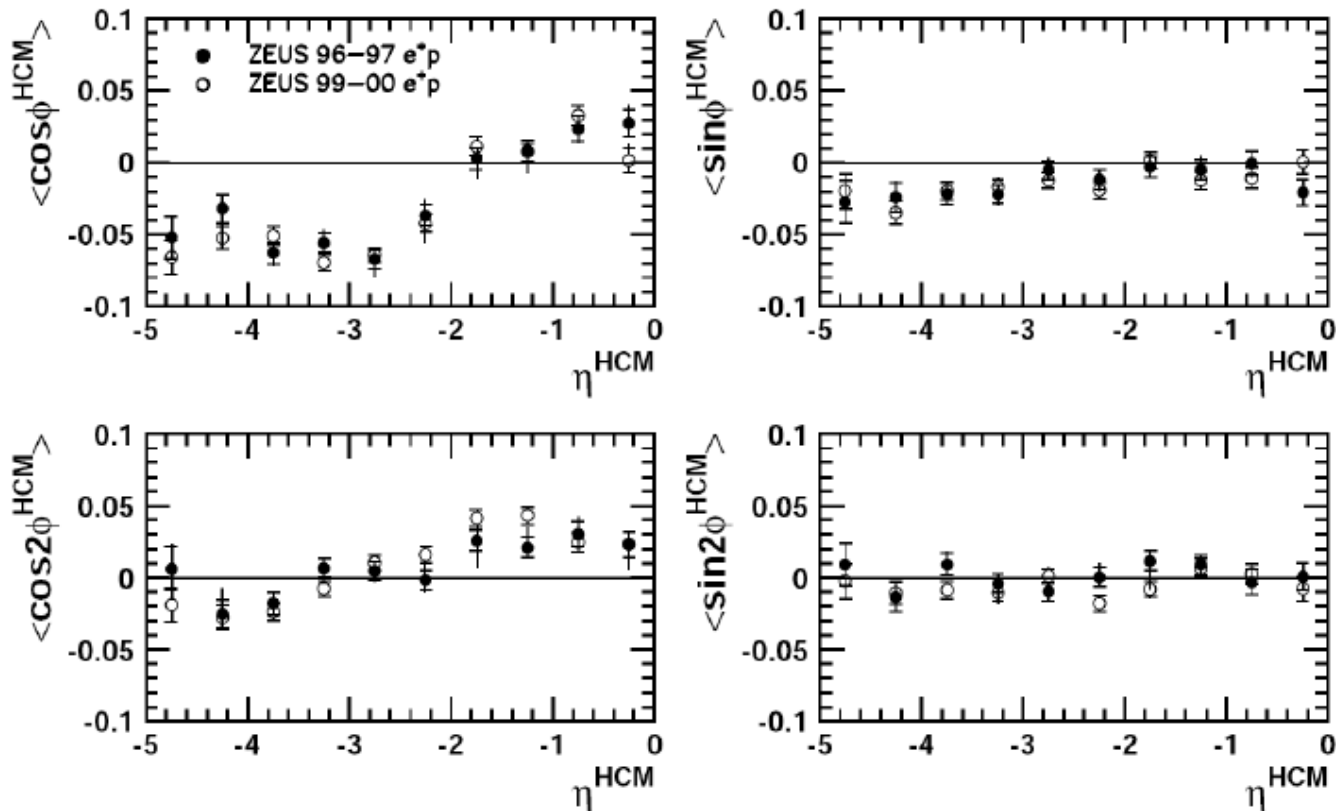
$$100 < Q^2 < 8000 \text{ GeV}^2, 0.2 < y < 0.8 \text{ and } 0.01 < x < 0.1$$

data collected in 1998-2000 ($E_{\text{proton}} = 920 \text{ GeV}$)

unpublished but available in A.Ukleja's thesis

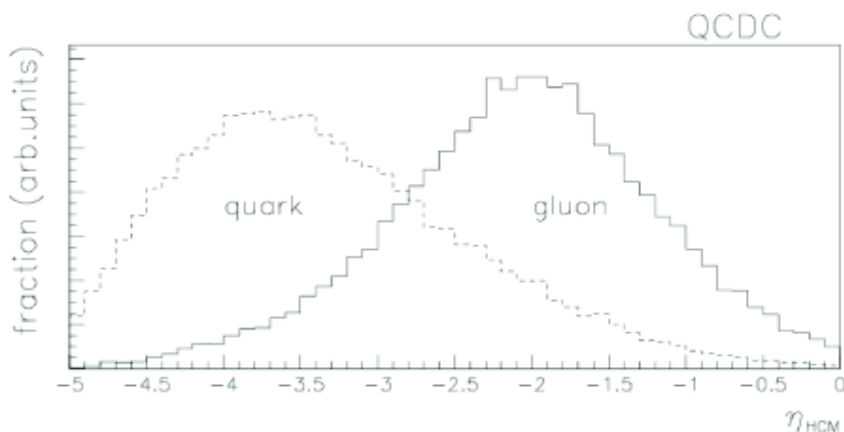
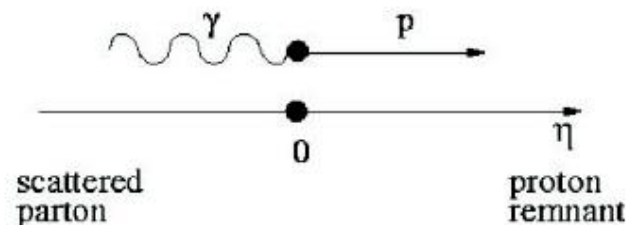
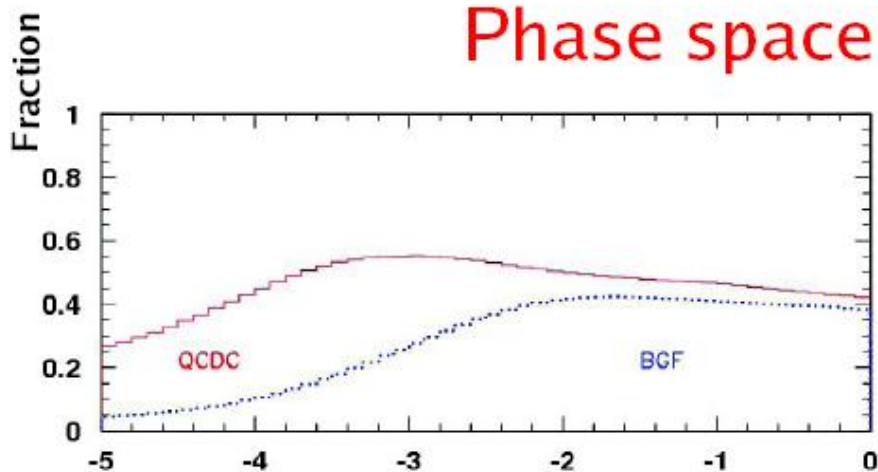
Comparison of 96-7 data with 98-00 data

ZEUS



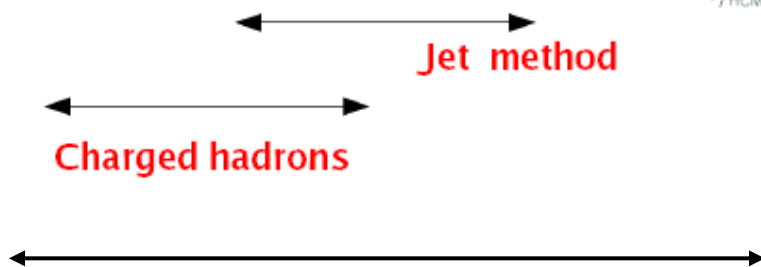
Good agreement

Phase space effects



- Study of $\langle \cos \phi \rangle$ and $\langle \cos 2\phi \rangle$ dependence on η_{HCM} allows to separate QCD/BGF and q/g contributions

- Detection range in η_{HCM} is important $\rightarrow E_T$ – flow method



Does it make sense to measure azimuthal asymmetry of high Q^2 events in 2009 ?

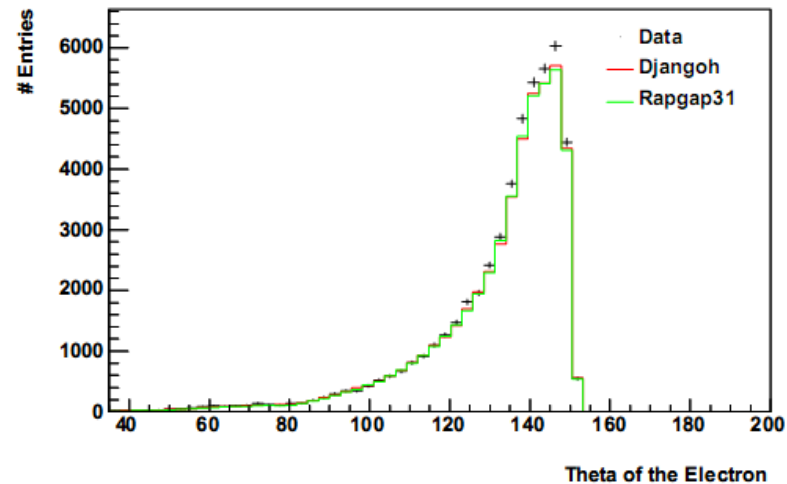
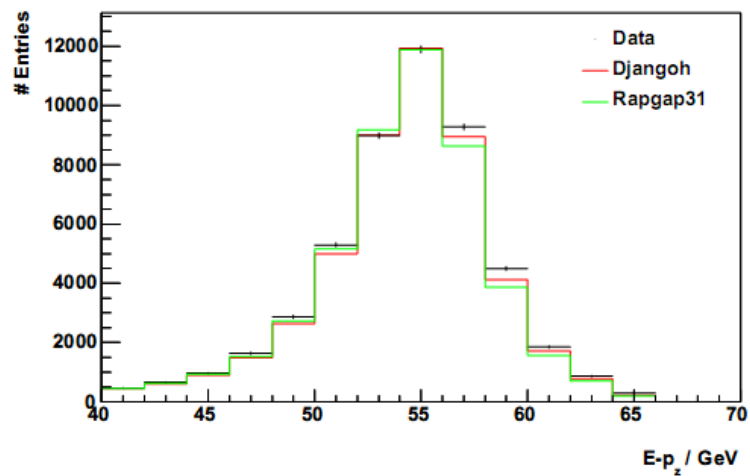
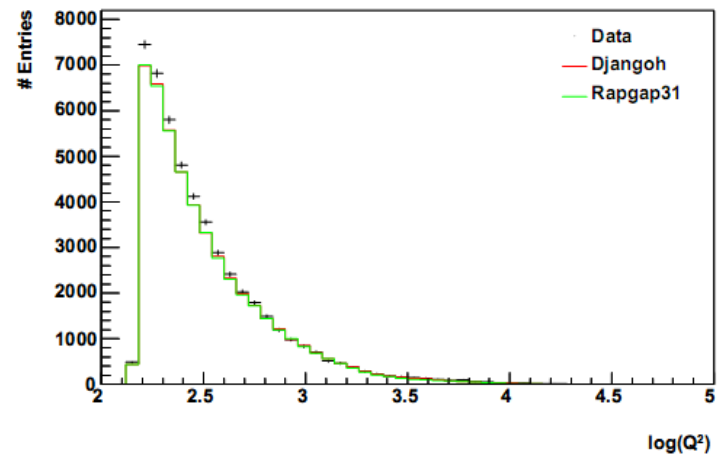
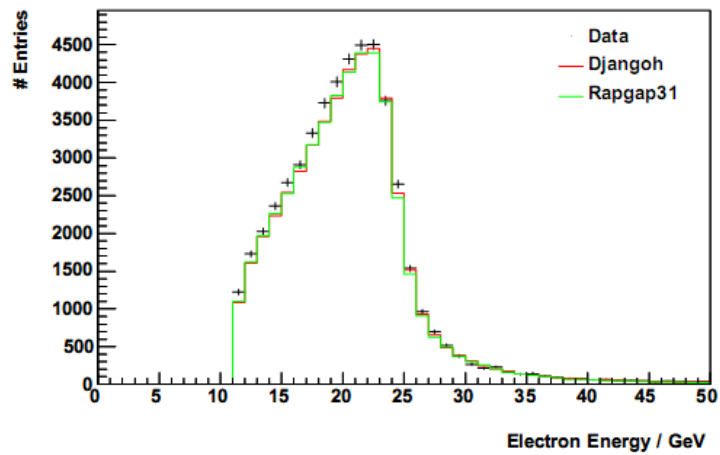
Two reasons for YES:

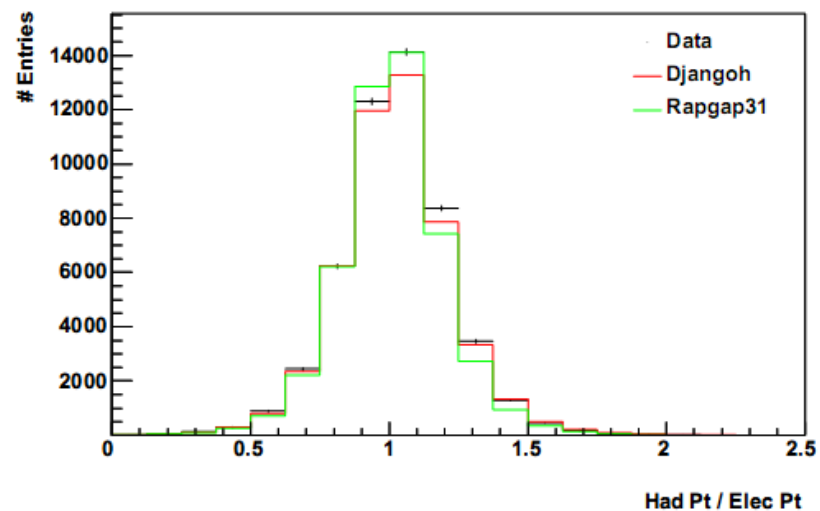
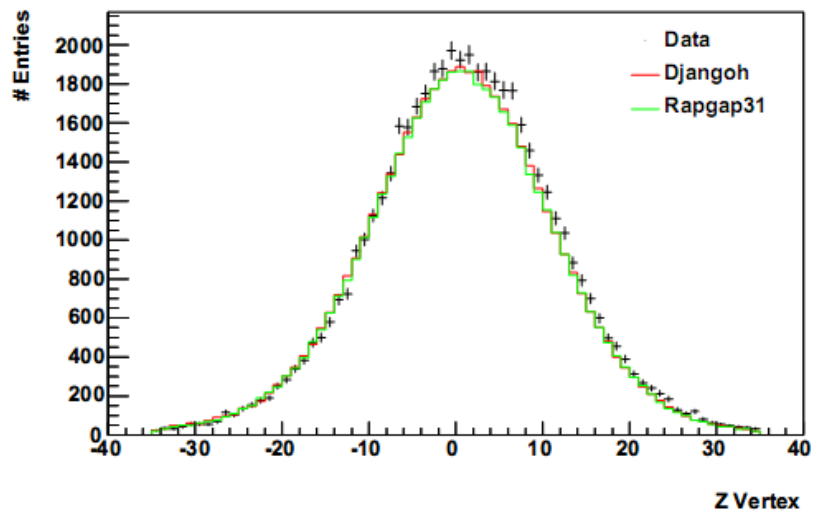
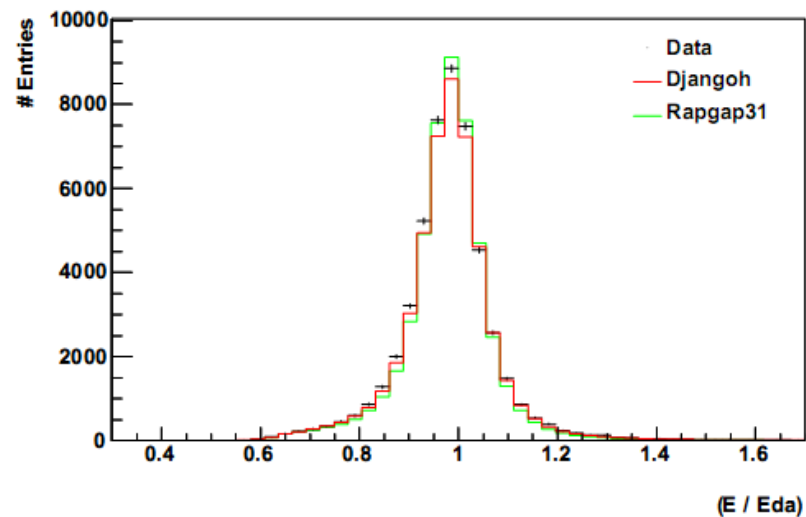
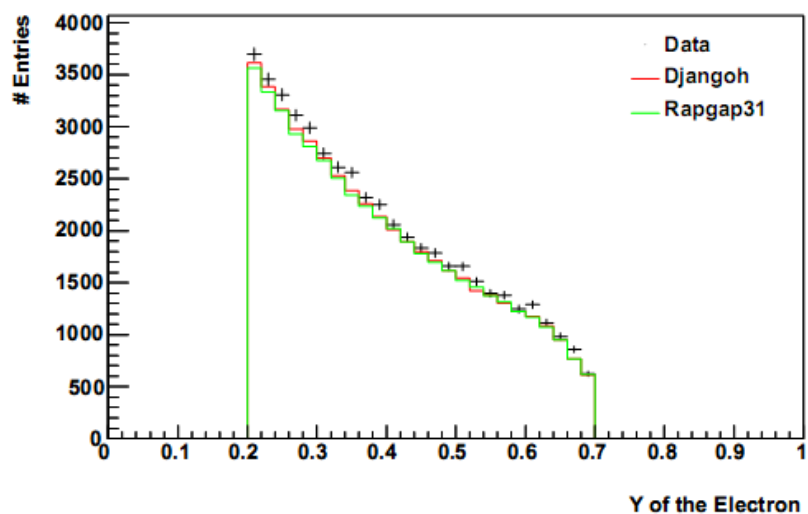
- ZEUS results published in 2006 suggest that NLO is not sufficient to describe the data → check results with different systematics
- There exists resummed calculation
(P.M.Nadolsky,D.R.Strump,C.P.Yuan, Phys Lett. **B 515** , 175 (2001))

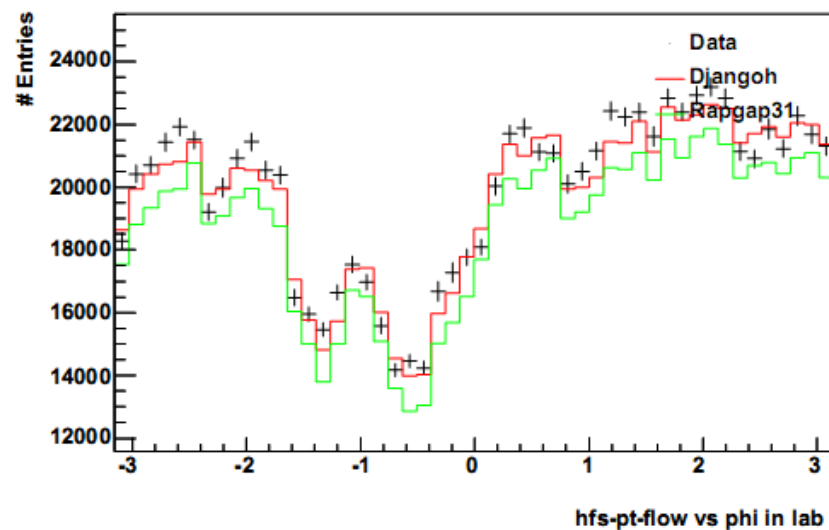
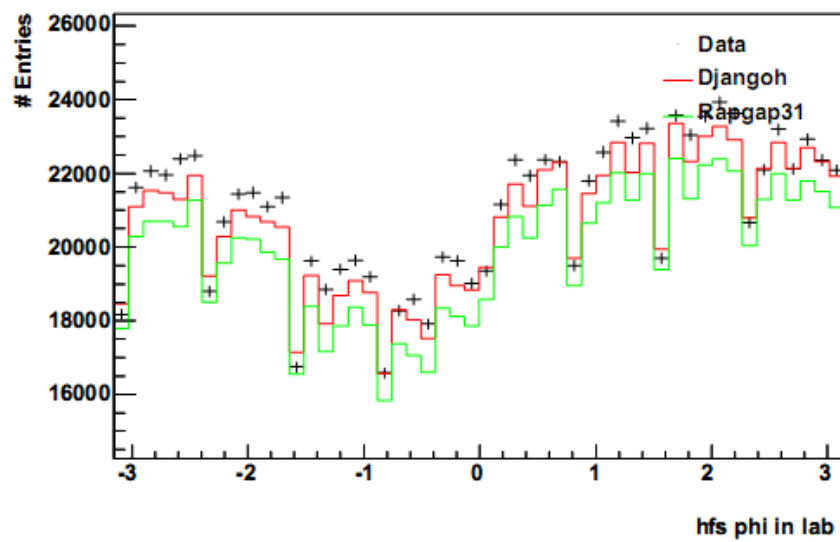
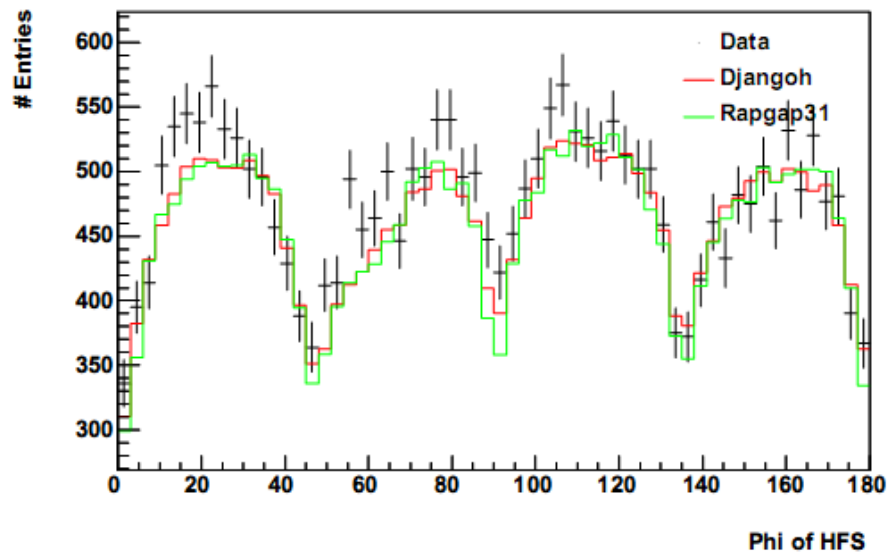
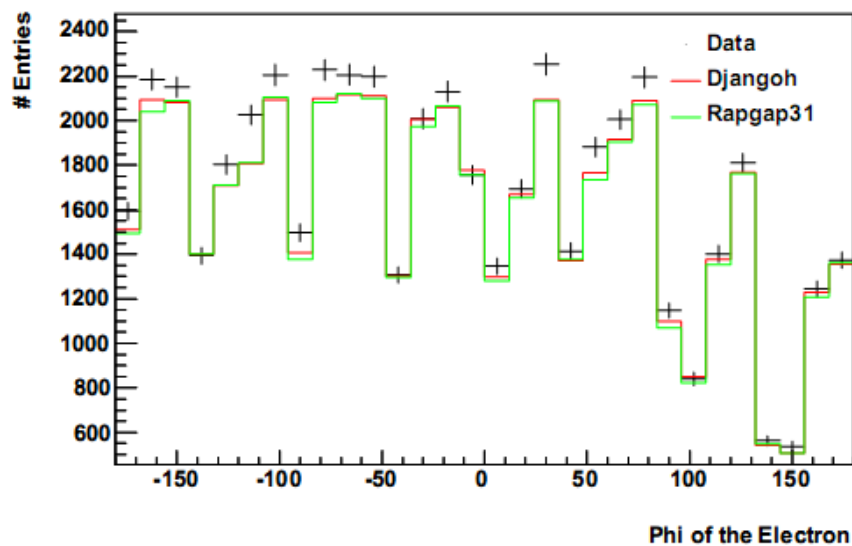
2004 data description by standard MC

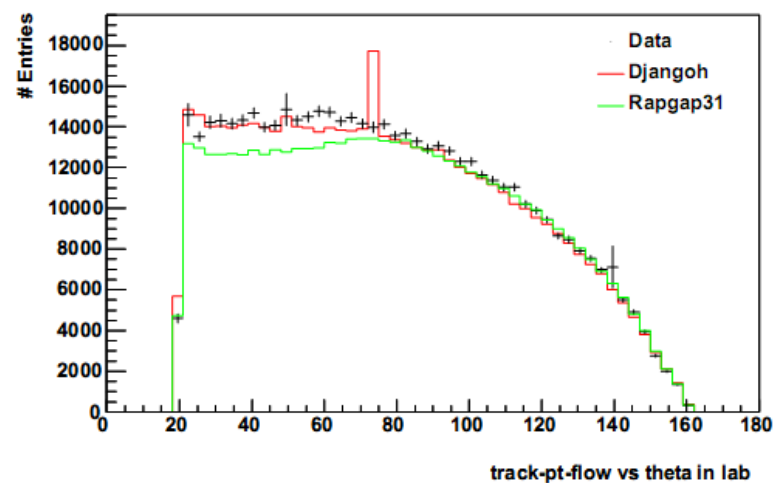
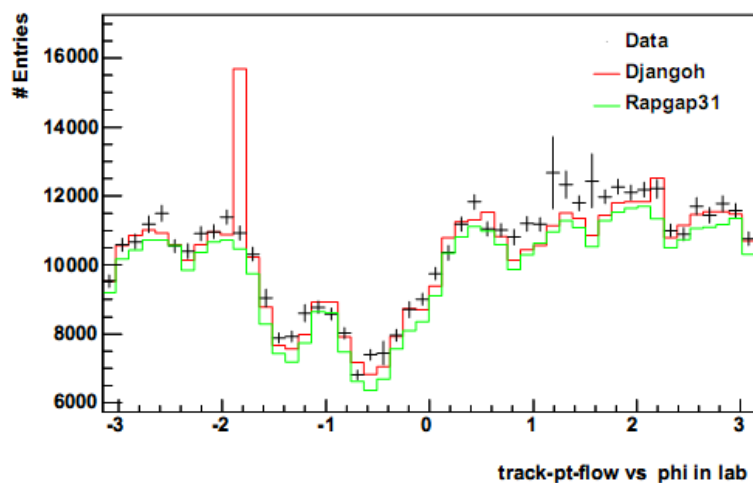
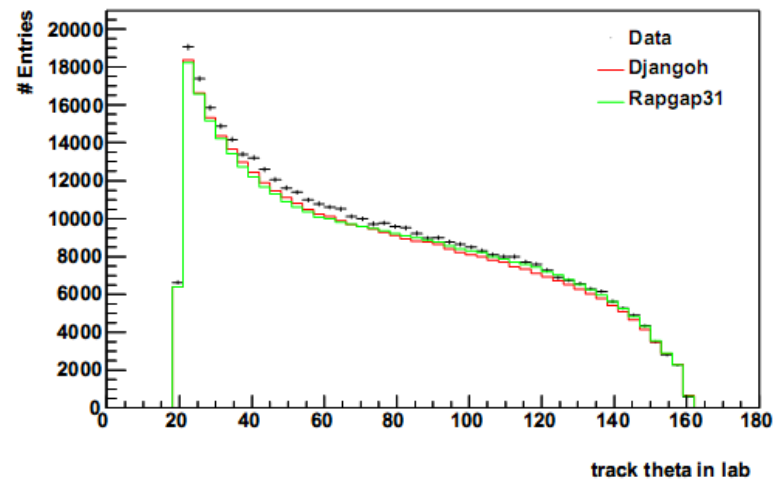
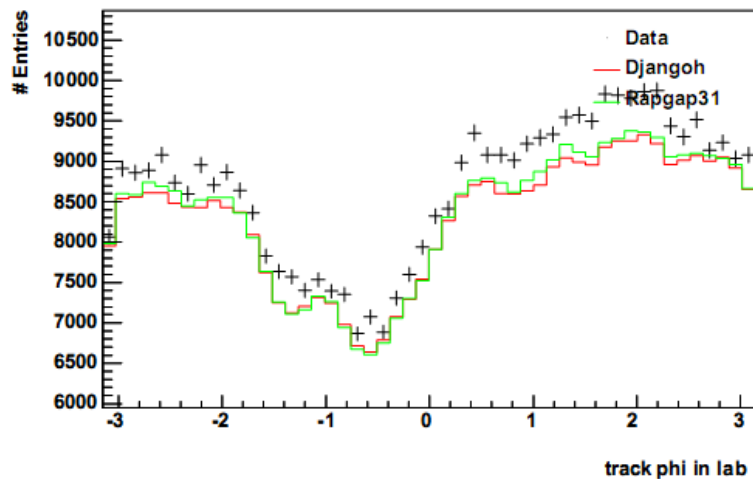
Maxim Gouzevitz high Q^2 selection :

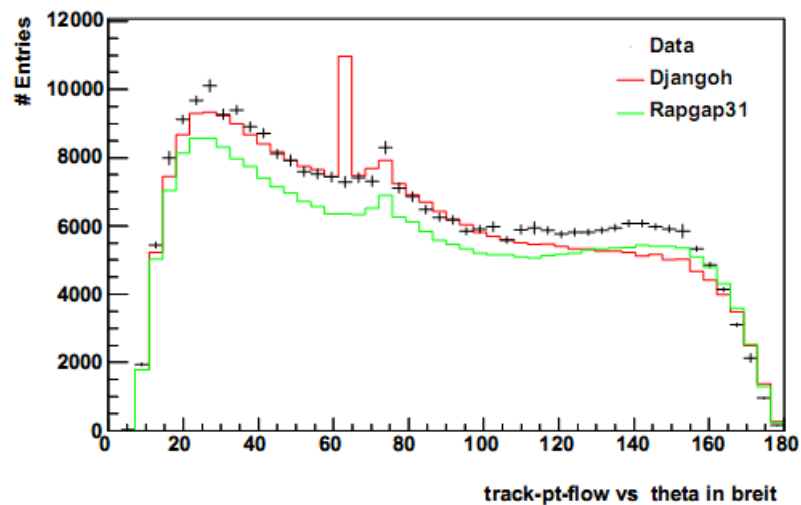
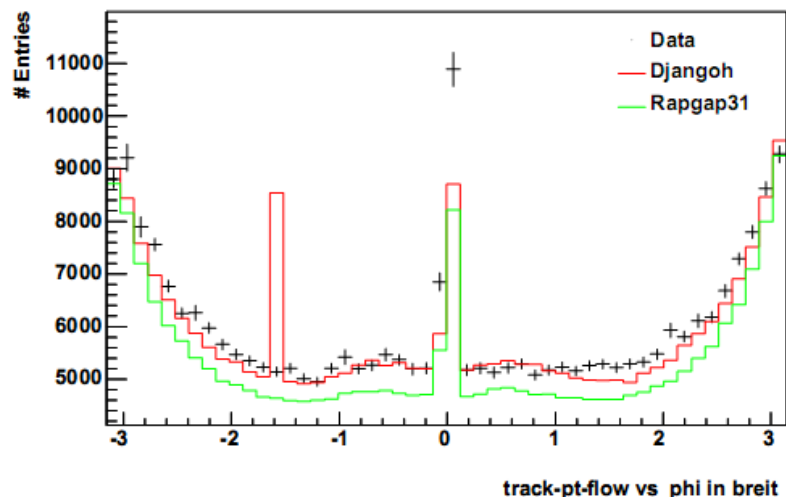
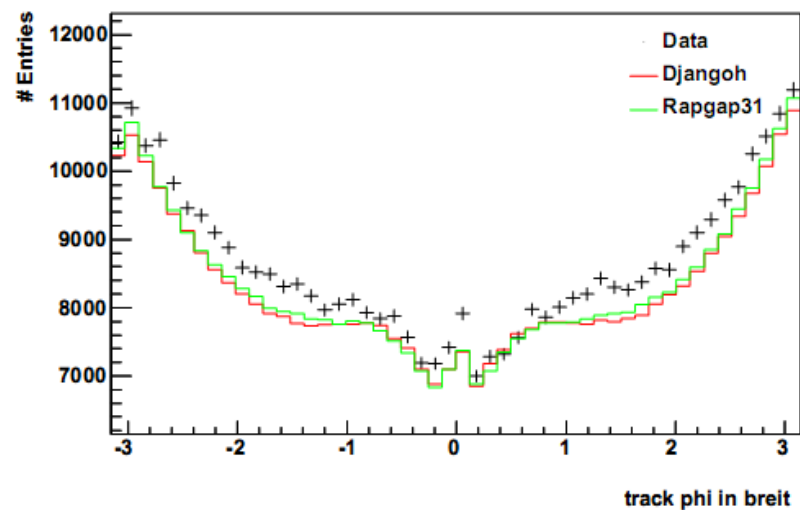
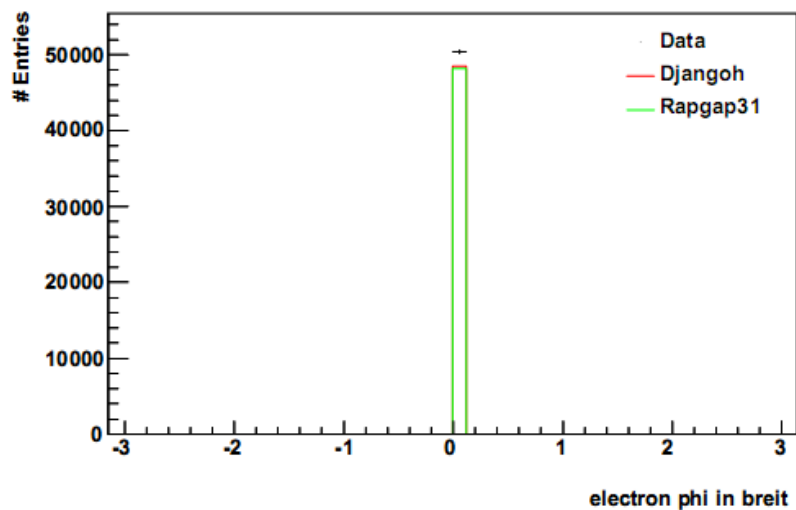
- DIS : $Q^2 > 150 \text{ GeV}^2$; $0.2 < y < 0.7$
- Electron cuts : Lar, $E_e > 11.0 \text{ GeV}$, $35.0 < E-p_z < 65.0$
- Fiducial : z-cracs; phi-cracs
- Electron reco ...
- Physical and non-ep noise reduction
- Trigger : only 67

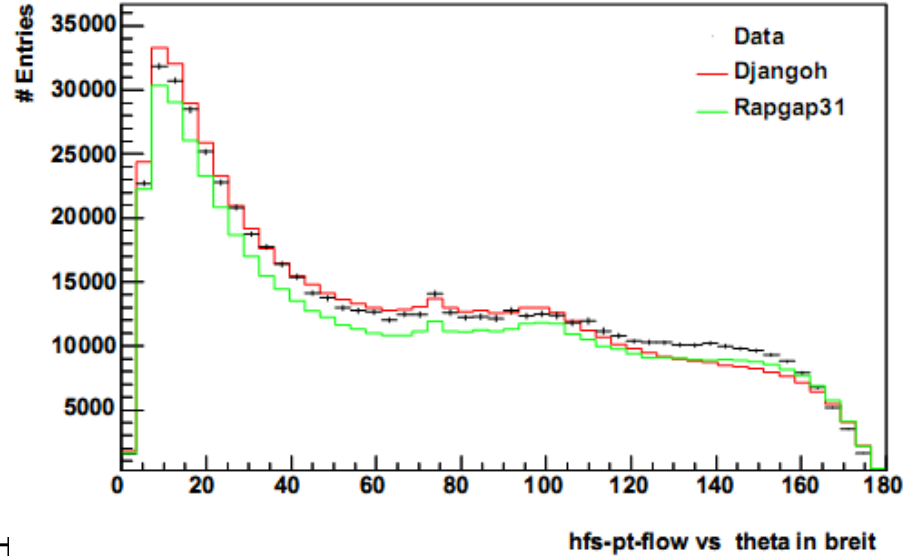
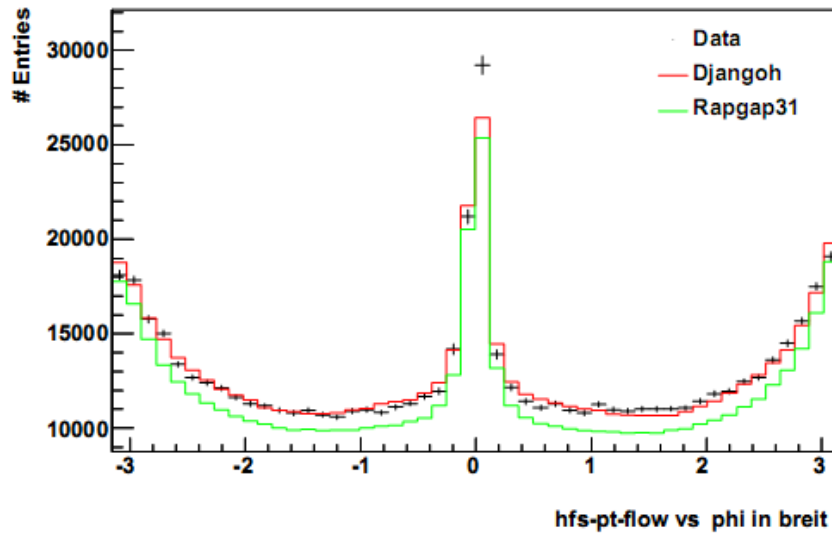
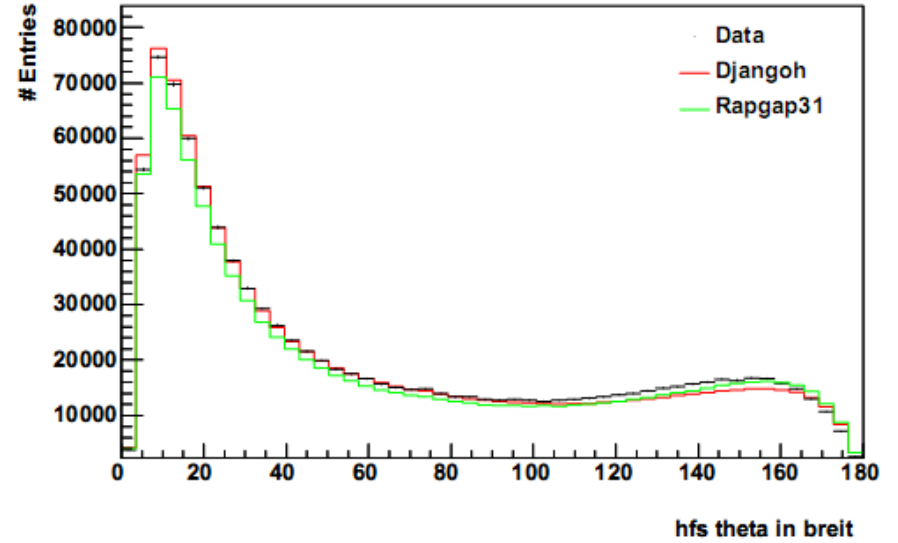
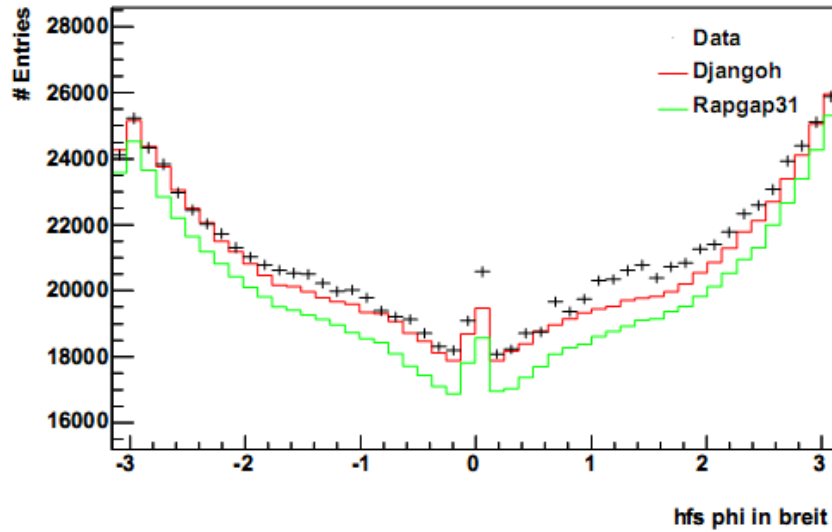












2010-01-28

Fizyka na H

Possible extensions of the project

Good understanding of the azimuthal asymmetry at the „inclusive unpolarized” level could possibly lead to other studies :

- Open charm azimuthal asymmetry

Azimuthal Asymmetries in DIS as a Probe of Intrinsic Charm Content of the Proton

L.N. Ananikyan* and N.Ya. Ivanov[†]

Yerevan Physics Institute, Alikhanian Br.2, 375036 Yerevan, Armenia

(Dated: February 2, 2008)

Measurements of the azimuthal distributions at large Bjorken x could directly probe the intrinsic charm content of the proton. As to the variable flavor number schemes, the charm densities of the recent CTEQ and MRST sets of parton distributions have a dramatic impact on the $\cos 2\varphi$ asymmetry in the whole region of x and, for this reason, can easily be measured.

- Asymmetry for polarized beam (probably much less interesting)
- Once E_T – flow asymmetry is well understood at high Q^2 we could try to apply the method to forward region (famous forward-jet small x problem)
- E_T flow method avoids large systematic errors due to large migrations

Conclusions

- Measurement of azimuthal asymmetry and comparison with ZEUS results seems to be interesting e.g. we could show importance of resummation calculation
- We have good understanding of detector, azimuthal distributions are well described by MC in lab, Breit distributions require more studies
- Good understanding of azimuthal asymmetry at inclusive (i.e. Hfs objects) level opens road to potentially more interesting exclusive measurements like open charm azimuthal asymmetry :

Dlaczego warto robić pracę magisterską w eksperymencie H1

- Eksperyment H1 ma już 16 lat → „Czarna robota” (kalibracje, poszukiwanie błędów softwaru etc. etc.) zostały dawno wykonane
- Po 16 latach analizy danych eksperyment H1 ma bardzo dobrze opracowany software z bardzo dobrą dokumentacją stale ulepszaną dla kolejnych pokoleń dyplomantów i doktorantów
- Dzięki dobrze opracowanym technikom eksperymentalnym dobry student który wcześniej rozpocznie pracę magisterską może zrobić wartościowe opracowanie naukowe

H100 Analysis Framework



News

- 04.09.2009 Latest Release is [3.4.12](#) - production release for DST7.
- 01.04.2009 Documentation for 3.4 series with Root 5.22a available now, [3.4 Class index](#).
- 24.11.2008 H1CURRENT Release is [3.3.11](#).

Next H100 meeting

General Information

- Reference Guide Releases / shortcuts:

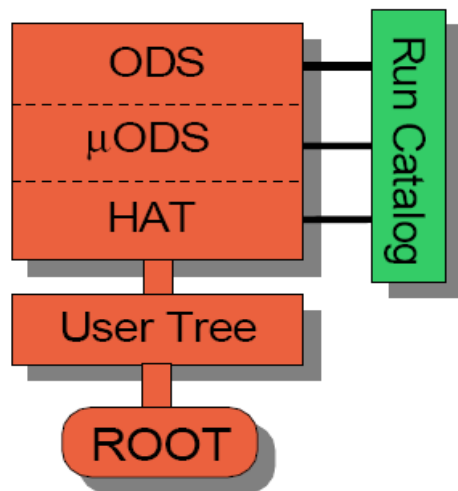
Recommended H100 release	3.1.15	3.2.2	3.3.11	3.4 (development)
run period	HERAI+II	HERAII	HERAII	HERAI+II
DST version	dst3	dst4	dst5,6	(dst7)
Userguide	3.1	3.2	3.3	3.4
Packages/People:	3.1	3.2	3.3	3.4
Class Index:	3.1	3.2	3.3	3.4
Hat:	3.1	3.2	3.3	3.4
Mods:	3.1	3.2	3.3	3.4
Examples/Programs:	3.1	3.2	3.3	3.4
Full Data Sets:	3.1	3.2	3.3	3.4
MC Sets:	3.1		3.3	3.4

Beginners

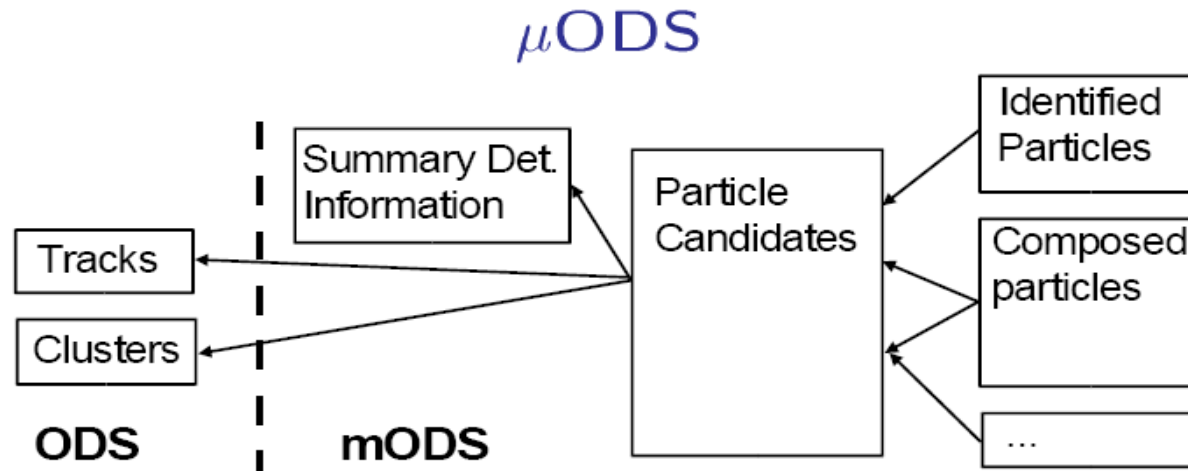
- [Userguide \(ps\)](#)
- [General H100 document \(ps\)](#)
- [Examples/macros \(ps\)](#)
- [Problem or Bug Report](#)
- [Environment checklist](#)
- [H100TroubleShooting](#)
- [H100 Manpages](#)
- [links to ROOT documentation](#)
- [Tutorials](#)
- [H1 Software Forum](#)
- [CVS: How To Use It](#)
- [CVS: Introduction](#)
- [How to use the debugger gdb](#)

H1OO Data Model

The new, object-oriented data model replaces **DST** with **ODS** and offers **additional information** on particle level in the **μ ODS** and on event level in the **HAT**.



- Different data layers are connected via the **Run Catalog**
- It **fully encapsulates** data access so that users only deal with **runranges** or **years**
- Only one package/language in analysis: **ROOT/C++**.
- **Analysis specific** data is stored in so called **User Trees**, **same handling** as official data layers.
- **Tested private code** easily portable to central production of **μ ODS** and **HAT**.



- List of **particle candidates** without doublecounting of energy/momentum
- Lists of identified particles, e.g. **scattered electron**
- Composed particles like **J/Ψ** or **jets**
- For some particles: calibrated detector information
- Transparent access from those candidates to their **ODS** tracks and clusters

→ **Best knowledge** of Physics Working Groups **centrally available**