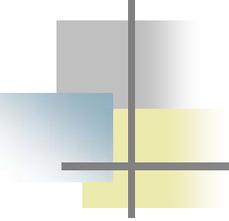


Эксперимент OLYMPUS

Александр Киселёв
Научная сессия ОФВЭ ПИЯФ РАН
Гатчина, 24.12.2009

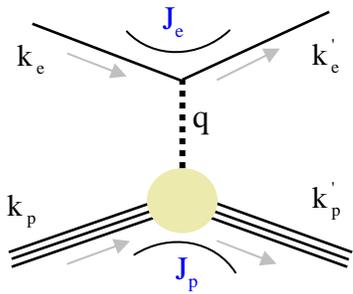


План доклада

- Проблема измерения форм-фактора протона
- Эксперимент OLYMPUS
- Участие ПИЯФ в эксперименте
- Статус и ближайшие планы

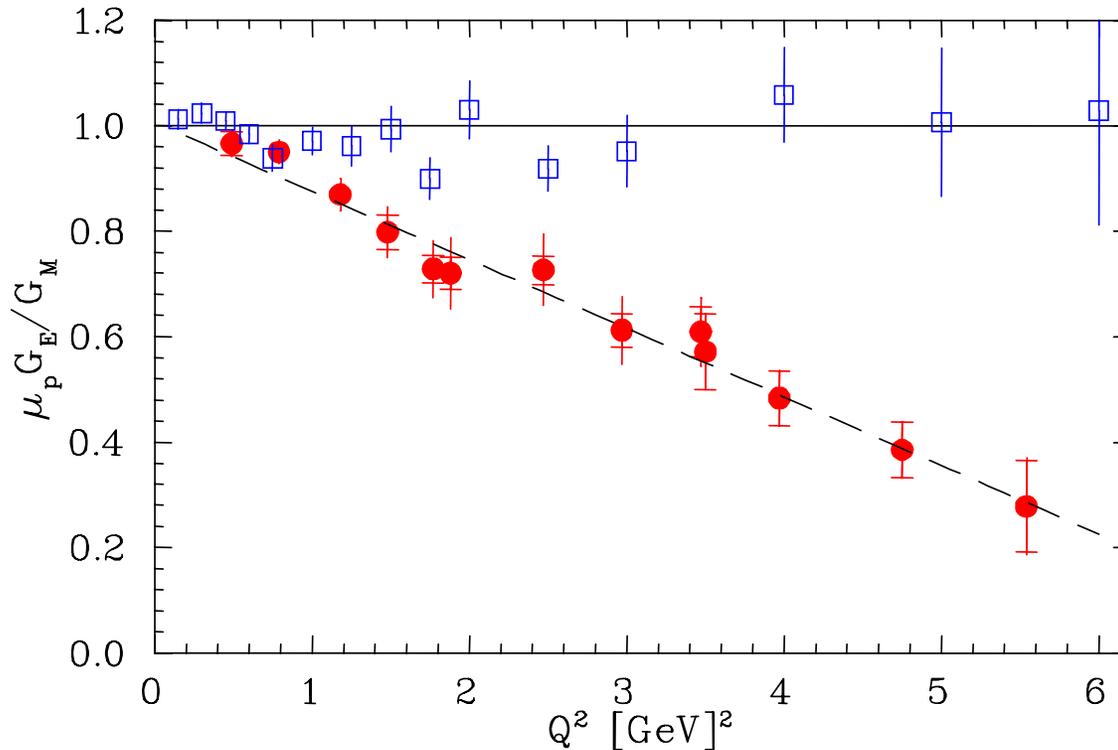
Форм-фактор протона

- Фундаментальная физическая величина, описывающая распределение электрического заряда и магнетизма в протоне
- Определяется кварковой структурой протона
- Амплитуда упругого e-p рассеяния в **однофотонном** приближении факторизуется с использованием форм-факторов в следующем виде:



$$M \sim \underbrace{e_e \cdot \bar{u}(k'_e) \gamma^\mu u(k_e)}_{J_e} \cdot \underbrace{\left(-\frac{1}{q^2}\right)}_{\gamma} \cdot \underbrace{e_p \bar{u}(k'_p) [G_E(Q^2) \gamma^\mu + G_M(Q^2) i \sigma^{\mu\nu} q_\nu] u(k_p)}_{J_p}$$

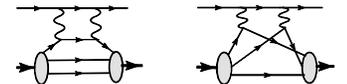
Экспериментальные данные по G_E/G_M

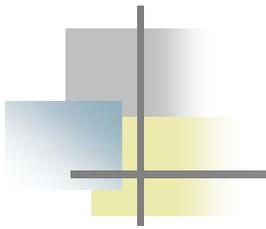


Rosenbluth separation
(SLAC)

Передача поляризации
(JLab Hall A)

Два метода - два разных результата!





Эксперимент OLYMPUS

- Накопительное кольцо **DORIS** (DESY, Гамбург), электроны и позитроны, $>100\text{mA}$
- Внутренняя протонная газовая мишень $\sim 3 \cdot 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$
@ $100 \text{ mA} \rightarrow L = 2 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- (Модифицированный) спектрометр **BLAST** из MIT
- Измеряемая величина: отношение сечений упругого e^+ -p и e^- -p рассеяния при энергии 2.0GeV в диапазоне $[0.35 \dots 0.90]$ по ϵ при Q^2 до $\sim 2.2 (\text{GeV}/c)^2$
- Прецизионное мониторингирование светимости
- Интегральная ошибка измерения $<1\%$

Спектрометр BLAST

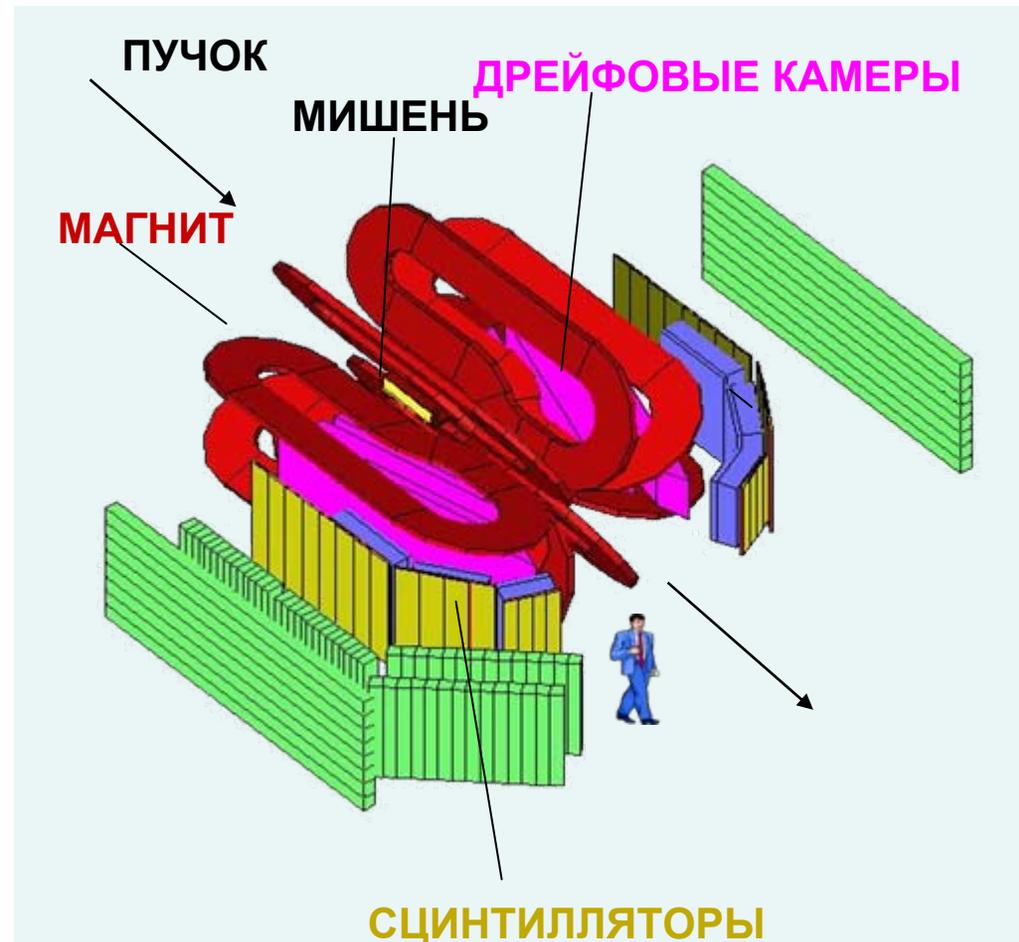
□ Большой угловой захват:
 $20^\circ < \theta < 80^\circ$, $-15^\circ < \phi < 15^\circ$

□ **МАГНИТ** $B_{\max} = 3.8 \text{ kG}$

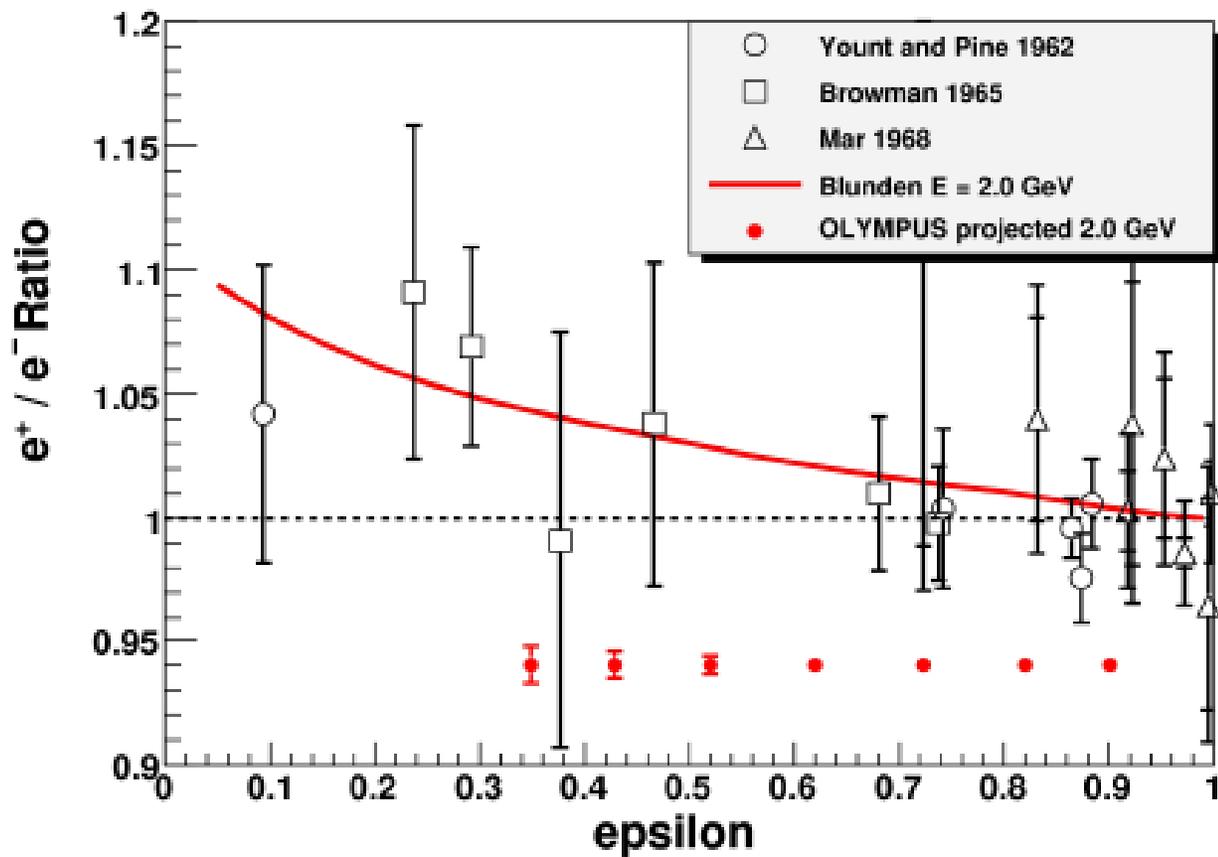
□ **ДРЕЙФОВЫЕ КАМЕРЫ**
Трекинг, PID (заряд)

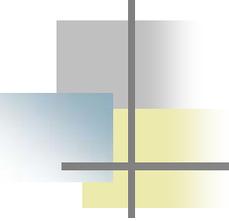
□ **СЦИНТИЛЛЯТОРЫ**
Триггер, ToF, PID (p/π)

- Переход с электронов на позитроны ~ 1 раз в день
- Смена полярности магнита ~ 1 раз в день
- Установка Lumi мониторов



Планируемая точность измерения

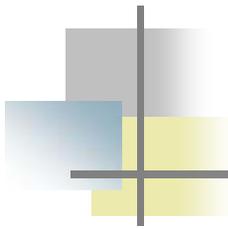




Коллаборация OLYMPUS

- MIT и университеты Arizona, Hampton, Colorado, Kentucky, New Hampshire
- DESY и европейские группы (Bari, Ferrara, Rome, Bonn, Erlangen, Mainz, Glasgow)
- ПИЯФ и ЕрФИ

Участники проекта от ПИЯФ: С.Белостоцкий,
Д.Веретенников, Г.Гаврилов, А.Жданов, А.Изотов,
А.Киселёв, Т.Кравченко, А.Крившич, О.Миклухо,
Ю.Нарышкин



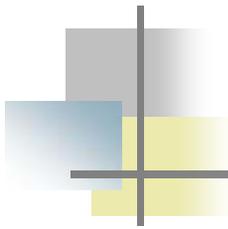
Статус эксперимента

- Одобрен DESY PRC в мае 2009

- Получил одобрение международной экспертной комиссии и успешно прошёл Technical Review в DESY в сентябре 2009

- US DoE подтвердило финансирование 1.5 месяца назад

Now!	Обсуждение TDR и MoU
2010	Доставка спектрометра BLAST в DESY, модификация DORIS, конструирование мониторов светимости
2011	Установка и тестирование детектора на пучке
2012	Набор данных
2013-2014	Обработка и анализ данных



Вклад ПИЯФ в эксперимент

- Monte-Carlo моделирование
- Поставка в эксперимент ep-elastic монитора светимости
- Slow Control и Online Monitoring software
- Detector alignment и tracking software
- Инсталляция, тестовые измерения, набор данных
- Обработка и анализ данных

ep-elastic монитор светимости

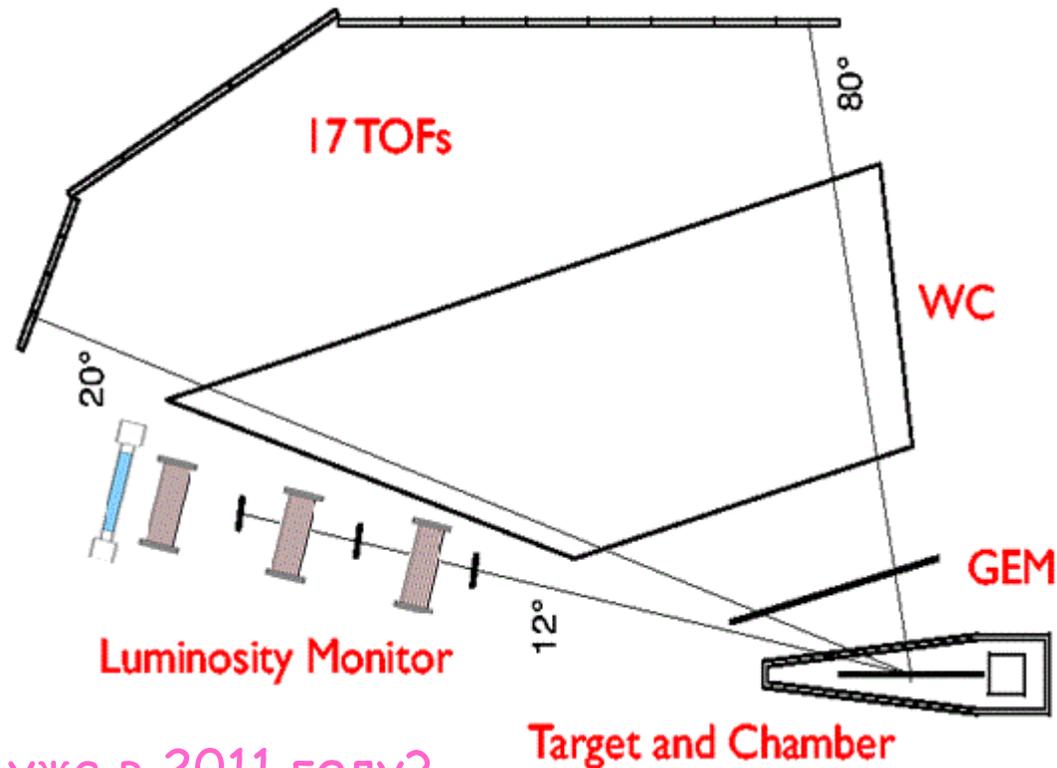
2x телескопа под 12° (GEM аксептанс):

SC

MWPCs

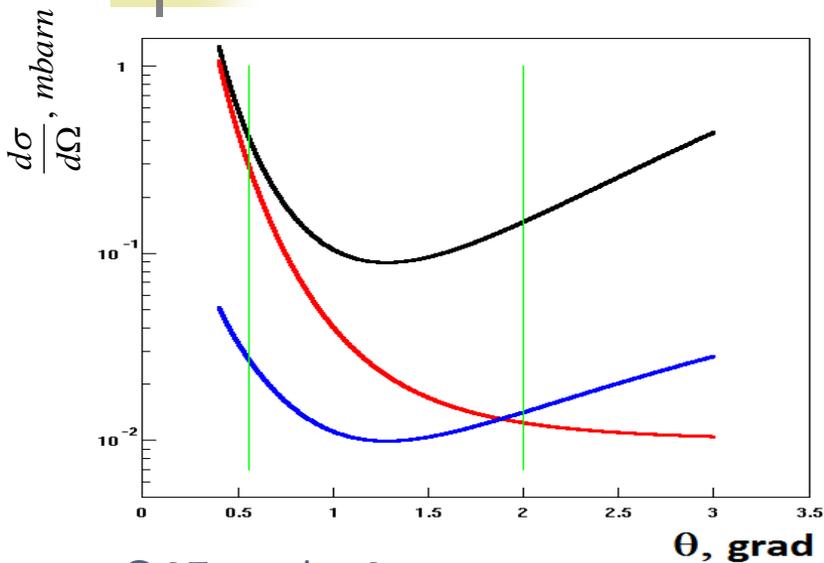


- Unified GEM/MWPC/SC tracker (redundancy)
- Мониторирование эффективности GEM'ов
- timing (улучшение соотношения сигнал/фон)



Тестовые измерения на пучке уже в 2011 году?

Monte-Carlo для Bhabha/Moeller монитора



Moeller
($e^-e^- \rightarrow e^-e^-$)

Annihilation
($e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$)

Bhabha
($e^+e^- \rightarrow e^+e^-$)

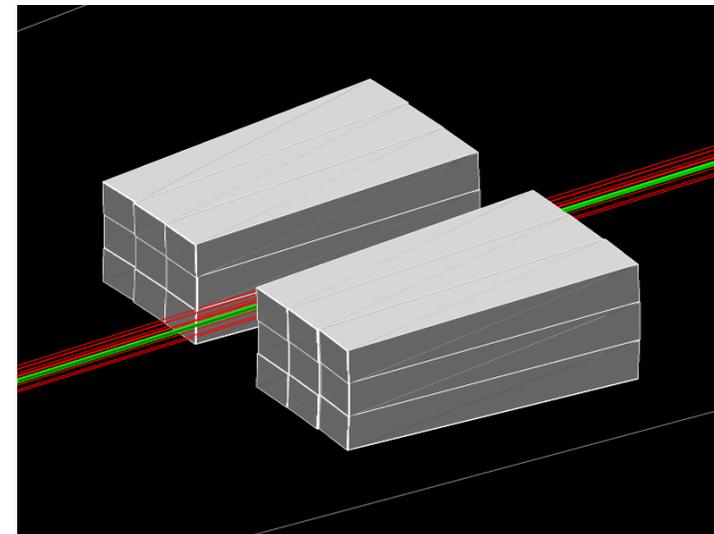
- @25mrad, ~3m от мишени
- Полезный счёт: десятки kHz

GEANT4 Monte-Carlo моделирование:

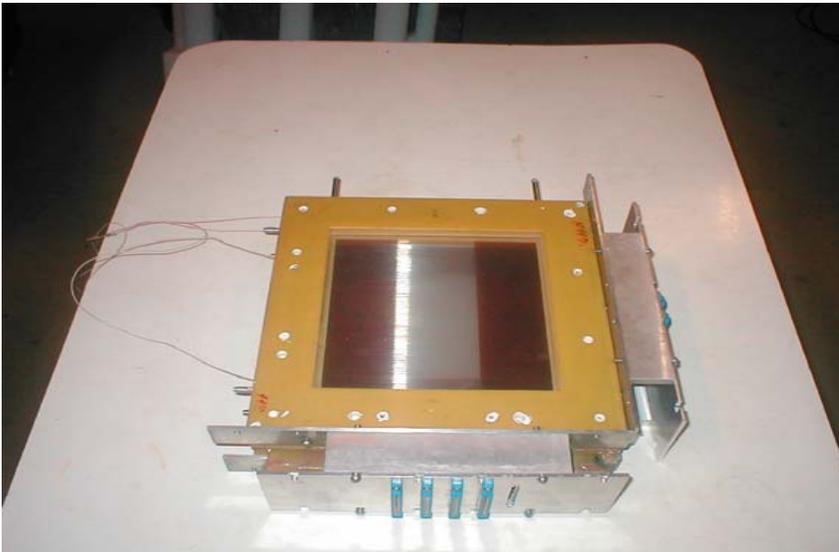
- Расположение, аксептанс, счётность
- Чувствительность к положению пучка
- Фооновые загрузки



- PbF_2 калориметр из эксперимента A4 (Univ. Mainz)



ep-elastic монитор светимости, камеры



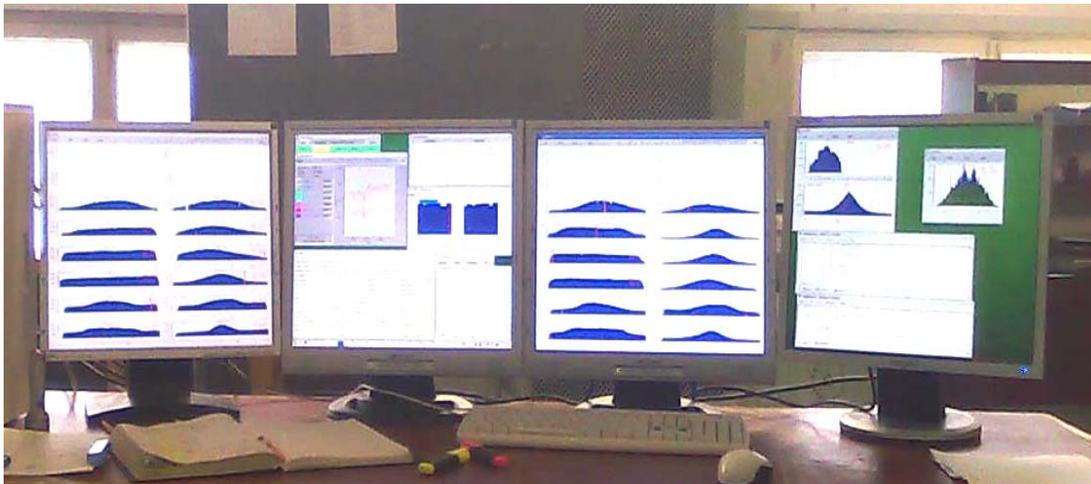
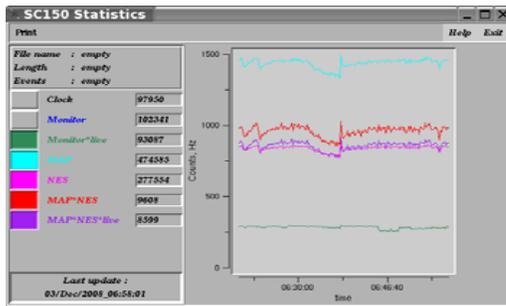
- 2x3 модуля (+1 запасной)
- X-Y-плоскости в одном модуле с выводом на одну backplane
- шаг анодных проволок 1мм
- зазор анод-катод 2.5мм
- активная зона $\sim 100 \times 100 \text{ мм}^2$, смещённая к краю frame'a

LeCroy PCOS4 readout (INFN Rome):

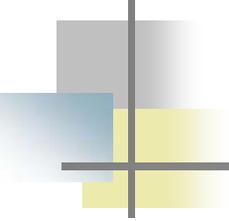
- VME стандарт, мёртвое время $\sim 15 \mu\text{s}$, multi-event буферизация
- fast cathode OR signal (триггер)
- может работать в сильном магнитном поле ...
- ... и в условиях облучения синхротронной радиацией

Slow Control и Online Monitoring software

- Интуитивно-понятный способ графического представления данных о состоянии детектора
- Архитектура "клиент-сервер"



- Опыт использования в эксперименте HERMES
- Успешное применение в поляризационной (p,2p) программе в Гатчине



Summary

- Эксперимент OLYMPUS принят к постановке
- ТИЯФ будет играть заметную роль в подготовке, проведении эксперимента и анализе данных

ep-elastic монитор светимости, счётчики

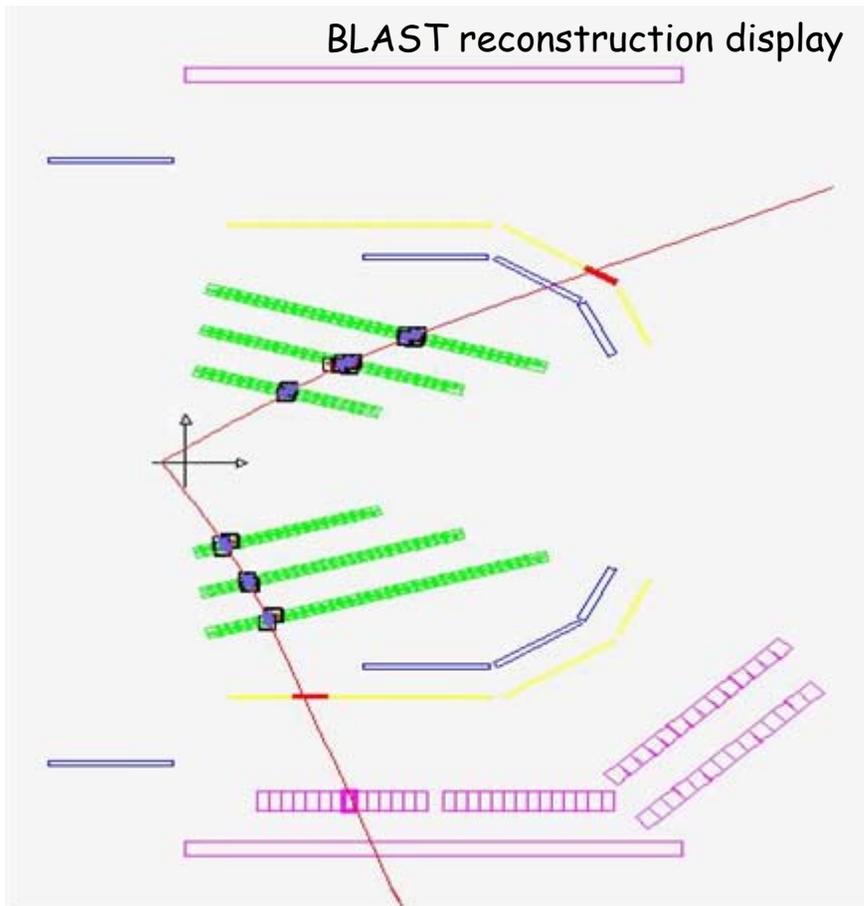


- BC-408 $\sim 100 \times 100 \times 15 \text{ mm}^2$
- Hamamatsu 1" R4998 PMTs
- (p,2p) эксперимент в ПИЯФ: короткие линии + 623B LeCroy LEDs: $< 150 \text{ ps}$ временное разрешение

V775N CAEN TDC readout:

- VME стандарт, мёртвое время $\sim 5 \mu\text{s}$, multi-event буферизация, block transfers

Survey, alignment & tracking software

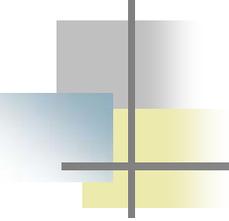


BLAST → OLYMPUS

- Повышенные требования к выстройке детекторов (survey + alignment with tracks)
- Максимально возможное разрешение по параметрам треков и сшивке вершин
- Включение GEM'ов в tracking
- Tracking для ep-elastic Lumi монитора
- Определение beam line параметров из tracking'a

Текущие планы (проп.камеры)

01-02/2010	Определение места расположения и геометрии модулей
03-??/2010	Разработка дизайна
??-10/2010	Изготовление и тестирование 3-х ХУ-модулей (1 плечо монитора)
11/2010	Испытания 3-х модулей на пучке в ПИЯФ
09-12/2010	Включение в DAQ
01-12/2010	Подготовка LV, HV, cabling, газовой системы и Slow Control в DESY
12/2010	Установка 3-х модулей на пучок в DESY в тестовой конфигурации
01-06/2011	Тестовые (фоновые) измерения в DESY
01-06/2011	Изготовление, тестирование и испытания в ПИЯФ ещё 3+1 модулей
07/2011	Установка всех 2x3 модулей на пучок в DESY
08-12/2011	OLYMPUS commissioning
01-12/2012	Набор данных



Текущие планы (счётчики)

01-02/2010	Определение места расположения и геометрии счётчиков
01-03/2010	Закупка сцинтилляторов (и ФЭУ?)
04-10/2010	Изготовление счётчиков
11/2010	Испытания на пучке в ПИЯФ
09-12/2010	Включение в DAQ
01-12/2010	Подготовка HV, cabling, и Slow Control в DESY
12/2010	Установка на пучок в DESY (1 плечо)
01-06/2011	Тестовые (фоновые) измерения в DESY
07/2011	Установка на пучок в DESY в окончательной конфигурации
08-12/2011	OLYMPUS commissioning
01-12/2012	Набор данных

Эксперимент: Rosenbluth separation

Сечение упругого электрон-протонного рассеяния
в **ОДНОФОТОННОМ** приближении :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_{lab}} = \frac{\sigma_{NS}}{\varepsilon(1+\tau)} \left(\tau G_M^2 + \varepsilon G_E^2 \right)$$

$$\tau \equiv \frac{Q^2}{4M^2} \qquad \frac{1}{\varepsilon} \equiv 1 + 2(1+\tau) \tan^2 \frac{\theta}{2}$$

Метод измерения: построение при фиксированном Q^2 зависимости приведённого сечения от ε :

$$\sigma_R = G_M^2 + \frac{\varepsilon}{\tau} G_E^2$$

Эксперимент: передача поляризации

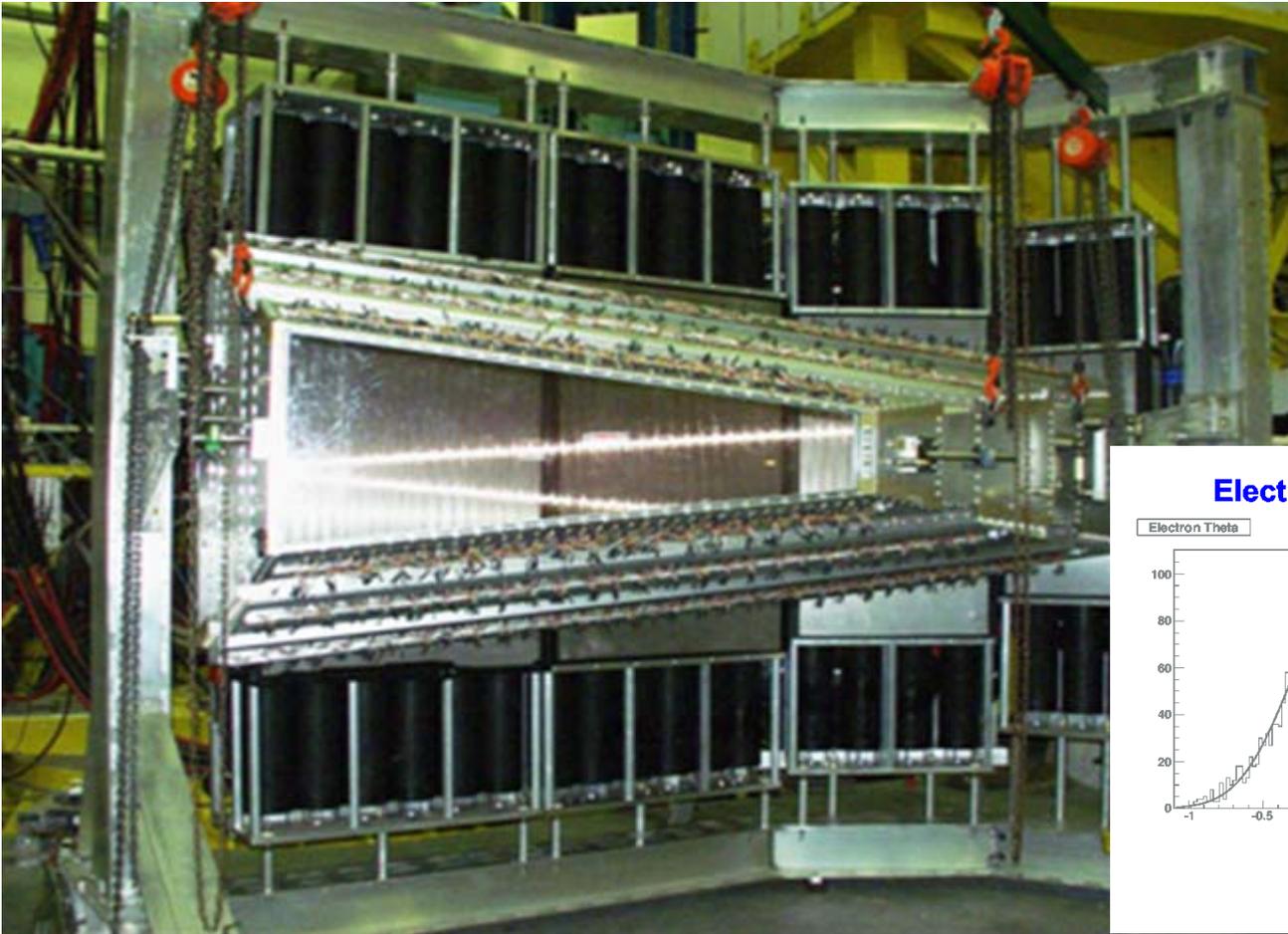
$$\vec{e} + p \longrightarrow e + \vec{p}$$

Метод: измерение отношения поперечной (P_t) и продольной (P_l) компонент вектора поляризации протона отдачи в плоскости рассеяния

В **однофотонном** приближении :

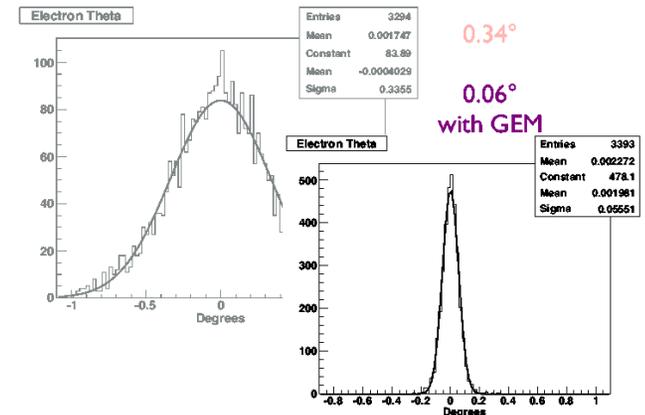
$$\frac{P_t}{P_l} = - \sqrt{\frac{2\varepsilon}{\tau(1+\varepsilon)}} \frac{G_E}{G_M}$$

Трековая система



- дрейфовые камеры (2x9 плоскостей)
- GEM upgrade
 - разрешение
 - отбор полезных СОБЫТИЙ

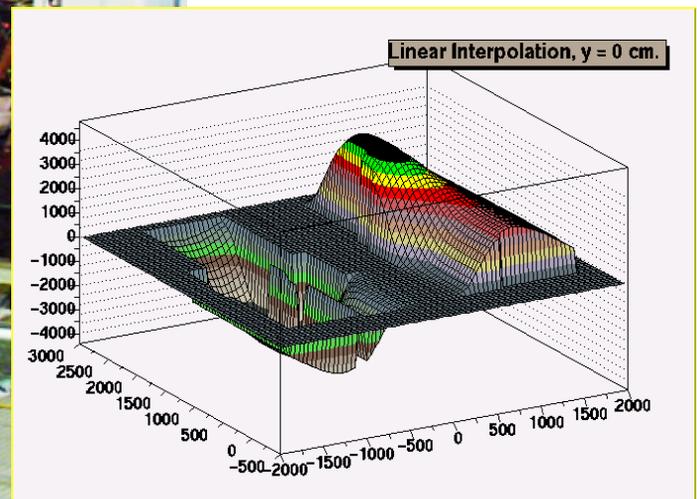
Electron Polar Angle Resolution



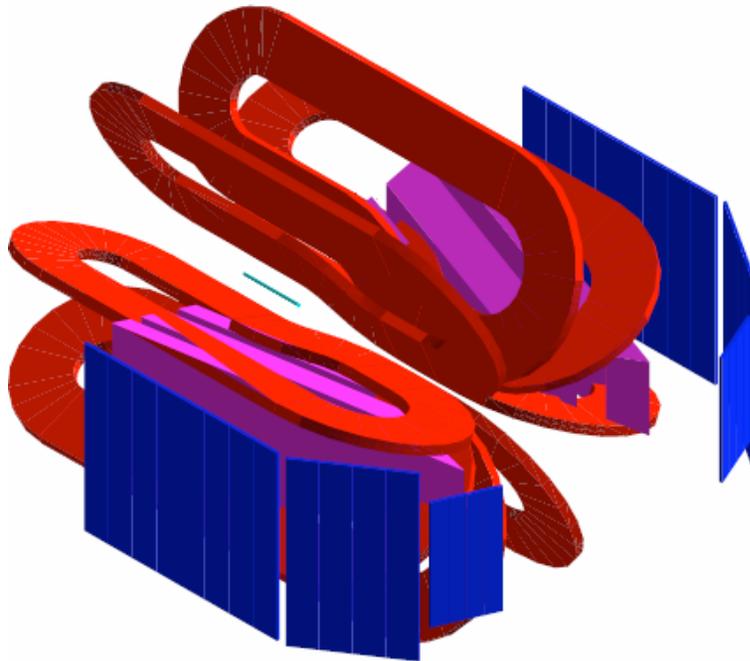
Тороидный магнит



- 8 катушек
 - 6730 A
 - 3700 G
- 3D карта магнитного поля
 - трекинг



BLAST Detector for OLYMPUS



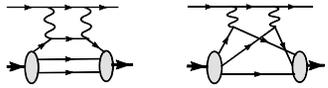
Reduced BLAST detector

- support frame
- toroidal magnet
- wire chambers
- time of flight scintillators

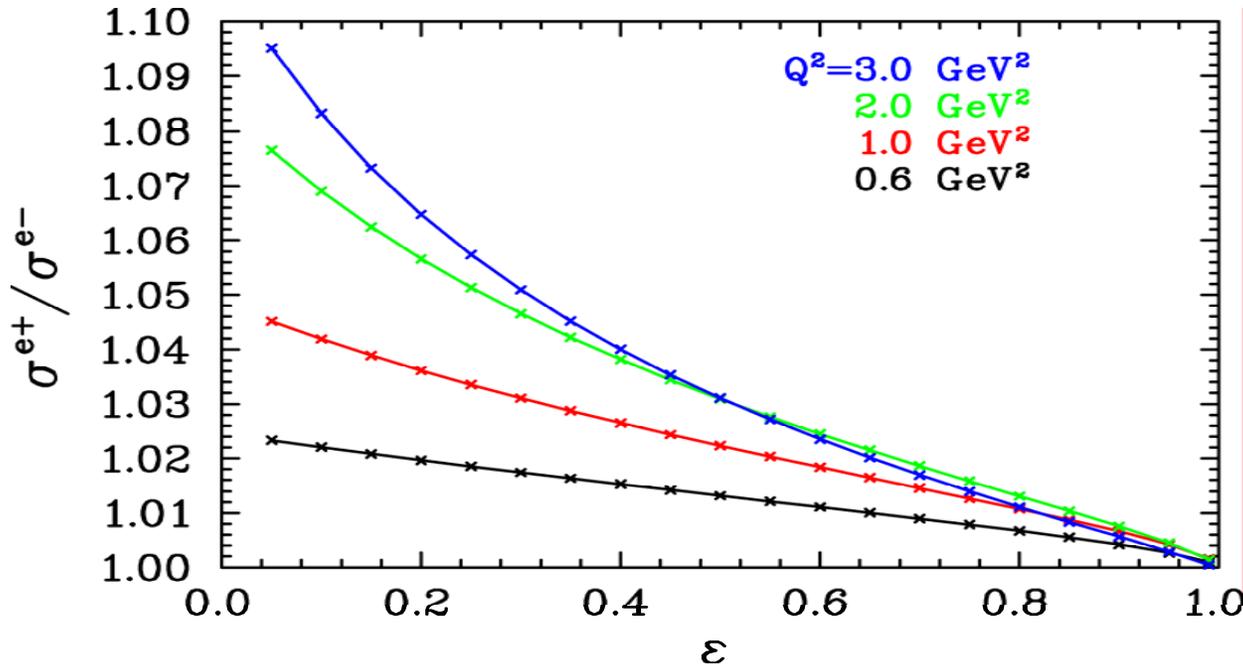
Upgrades to BLAST

- new target cell and chamber
- better TOF coverage
- luminosity monitors - M. Kohl
- improved tracking
- other ???

e^+p и e^-p упругое сечение



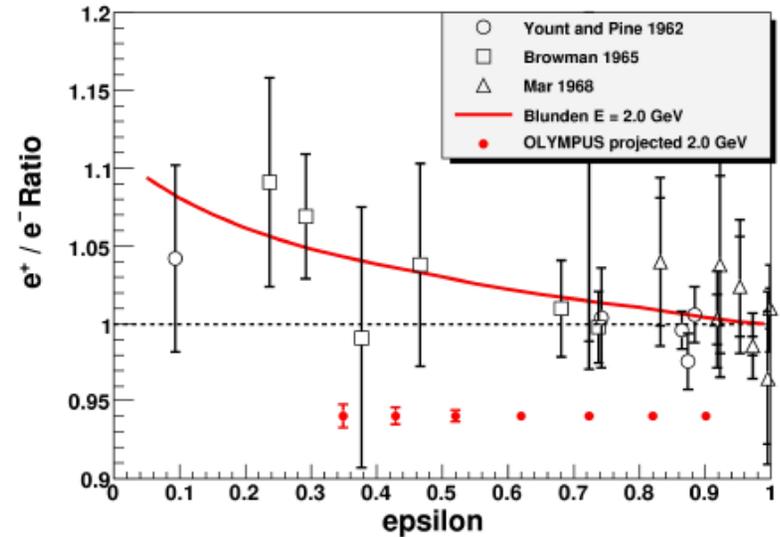
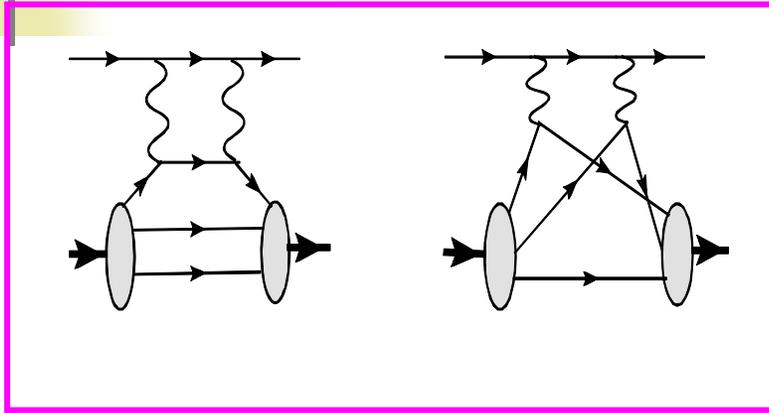
$$\frac{\sigma^+}{\sigma^-} \approx \frac{|M_{\text{Born}}|^2 + 2e_e e_p M_{\text{Born}} \text{Re}(M_{2\gamma}^*) + 2e_e e_p \text{Re}(M_{\text{e-bremstr}} M_{\text{p-bremstr}}^*)}{|M_{\text{Born}}|^2 - 2e_e e_p M_{\text{Born}} \text{Re}(M_{2\gamma}^*) - 2e_e e_p \text{Re}(M_{\text{e-bremstr}} M_{\text{p-bremstr}}^*)}$$



P.G. Blunden et al.,
Phys. Rev. C 72,
034612 (2005)

OLYMPUS. Study of $\mu_p G_E/G_M$ ratio in elastic ep-scattering at DORIS.

Contribution from two photon exchange diagram not taken into account in traditional analysis may be an explanation:



$$\frac{\sigma^+}{\sigma^-} \approx \frac{|M_{\text{Born}}|^2 + 2e_e e_p M_{\text{Born}} \text{Re}(M_{2\gamma}^*) + 2e_e e_p \text{Re}(M_{e\text{-bremstr}} M_{p\text{-bremstr}}^*)}{|M_{\text{Born}}|^2 - 2e_e e_p M_{\text{Born}} \text{Re}(M_{2\gamma}^*) - 2e_e e_p \text{Re}(M_{e\text{-bremstr}} M_{p\text{-bremstr}}^*)}$$

virtual photon polarization

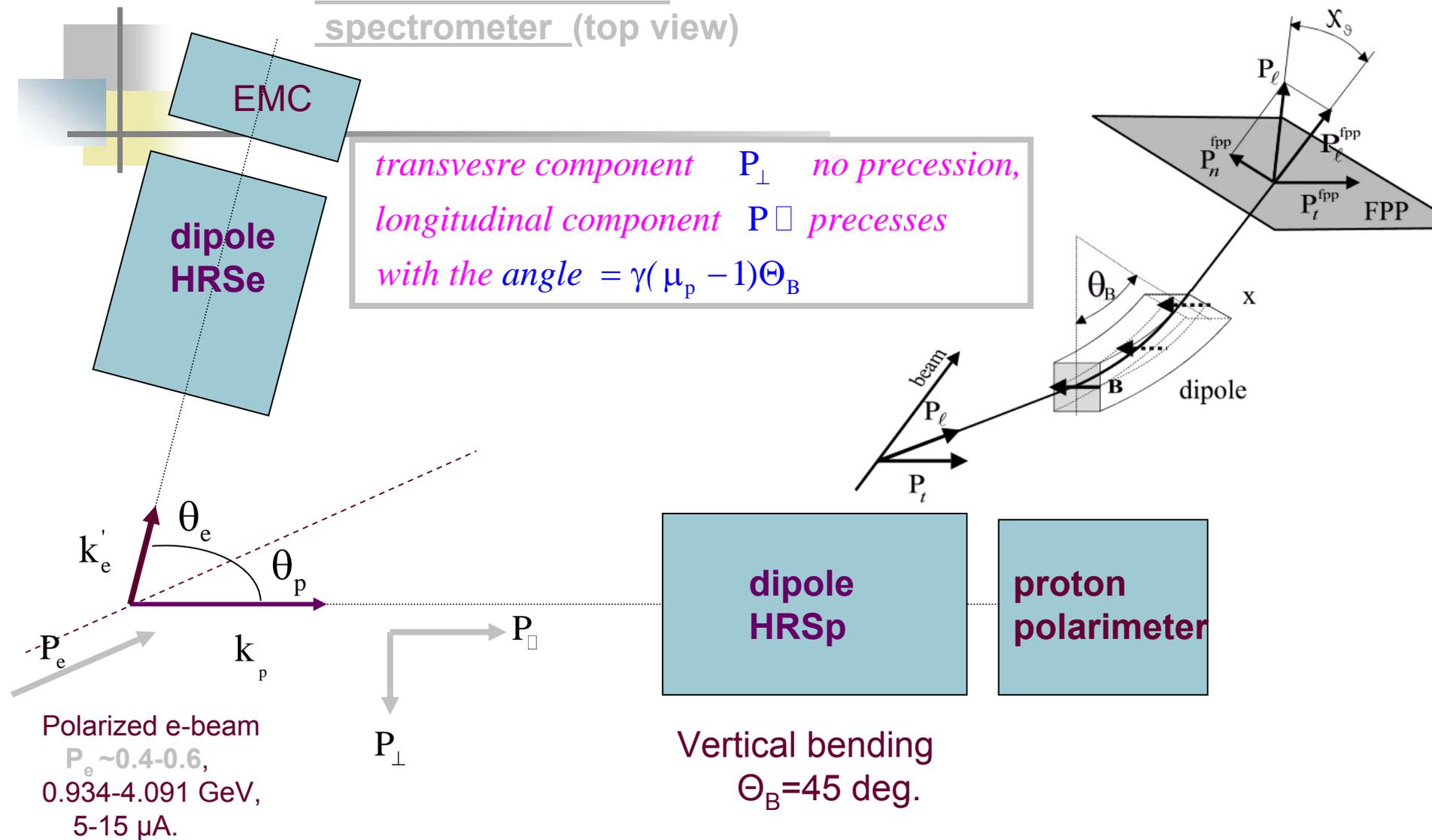
$$\varepsilon = [1 + 2(1 + \tau) \tan^2(\theta / 2)]^{-1}$$

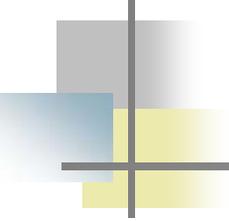
$$\tau = \frac{Q^2}{4M_p^2}$$

JLAB Polarization Transfer experiment

(V.Punjabi, C.F.Perdrisat, et al. Phys.Rev. C71, 2005)

JLAB Hall A two-arm spectrometer (top view)





Competition

Эксперименты, нацеленные на измерение отношения упругих e^+ -p и e^- -p сечений

	E_{beam} GeV	Светимость $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$	ϵ_{min}	Q^2 $(\text{GeV}/c)^2$	Сроки
VEPP-3	1.6	$\sim 10^{31}$	0.4	0.1 .. 1.8	2010 - 2012
JLab	5.7	$\sim 1.3 \cdot 10^{33}$	0.2	0.5 .. 2.1	2012 - ?
OLYMPUS	2.0	$\sim 2.0 \cdot 10^{33}$	0.4	0.6 .. 2.2	2012

Другие эксперименты

JLab

Approved experiment to compare e^+p to e^-p elastic scattering using secondary beams and the CEBAF Large Acceptance Spectrometer. Challenging systematics.

Novosibirsk

Similar experiment to DESY experiment has been considered. Positron currents are about an order of magnitude lower. No momentum measurement.

Parity violating electron scattering

Experiments at JLab and Mainz which measure transverse spin asymmetries are sensitive to two photon effects but not directly to the contribution which enters in G_E^p/G_M^p .

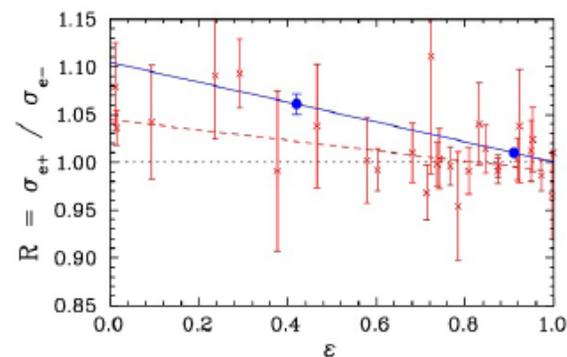
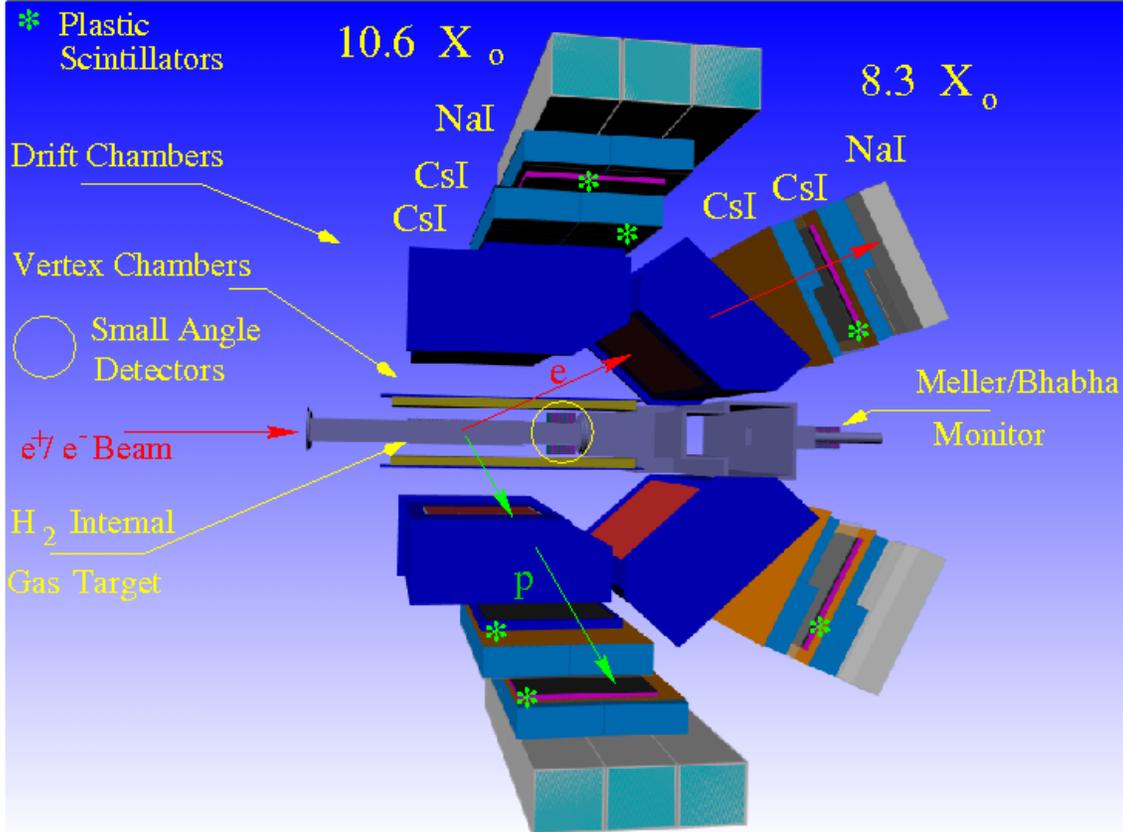
VEPP-3 experiment

$E_e = 1.6 \text{ GeV}$ (up to 2 GeV)

electron current $\sim 30 \text{ mA}$, positron current limited to $\sim 9 \text{ mA}$

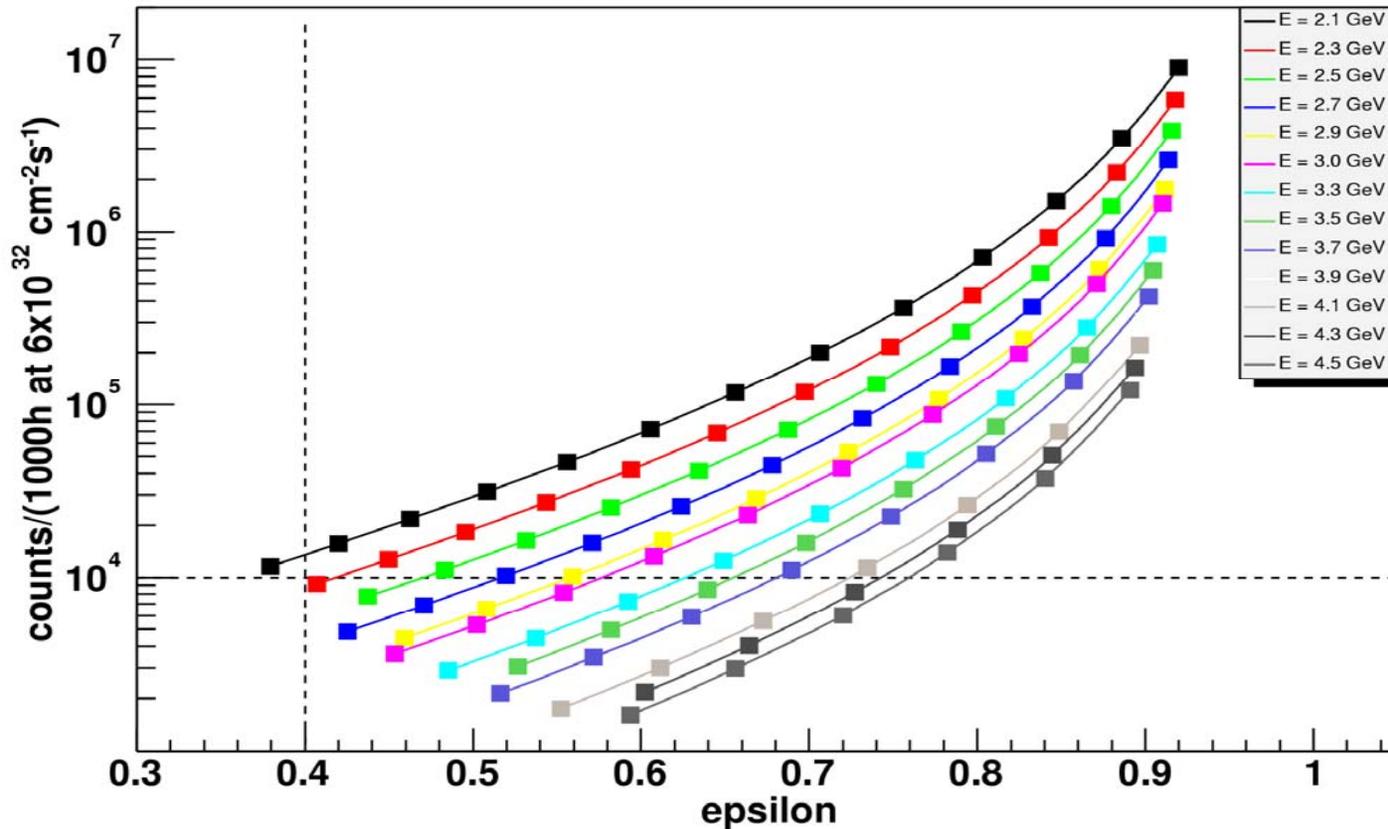
HERMES type gas target $10^{15} \text{ atoms/cm}^2$, $L \approx 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}$

Detection System, VEPP-3.



OLYMPUS: counting rates

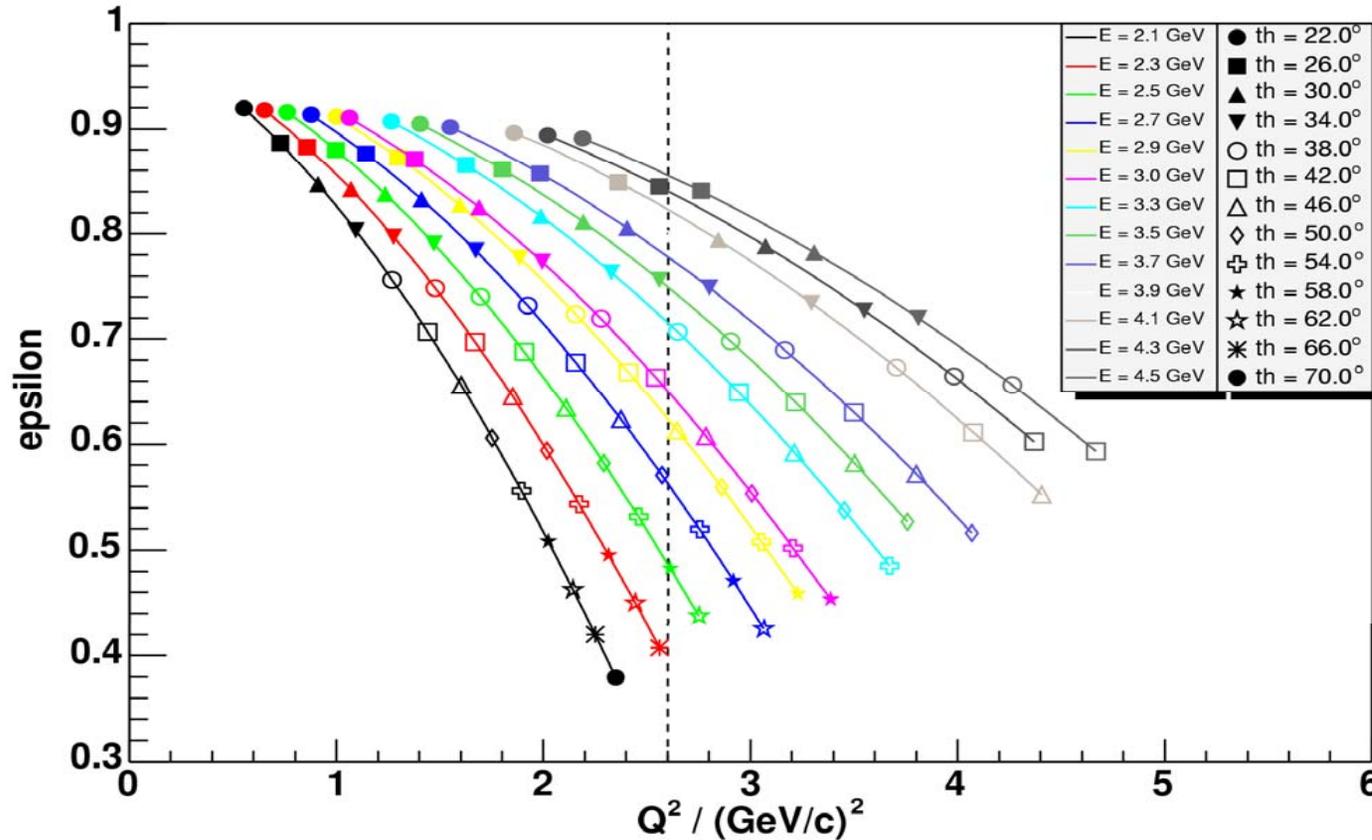
Counts vs. epsilon



- Sufficient counts at all angles only for $E < 2.3 \text{ GeV}$
- Epsilon = 0.4 achievable

BLAST@DORIS (OLYMPUS): acceptance

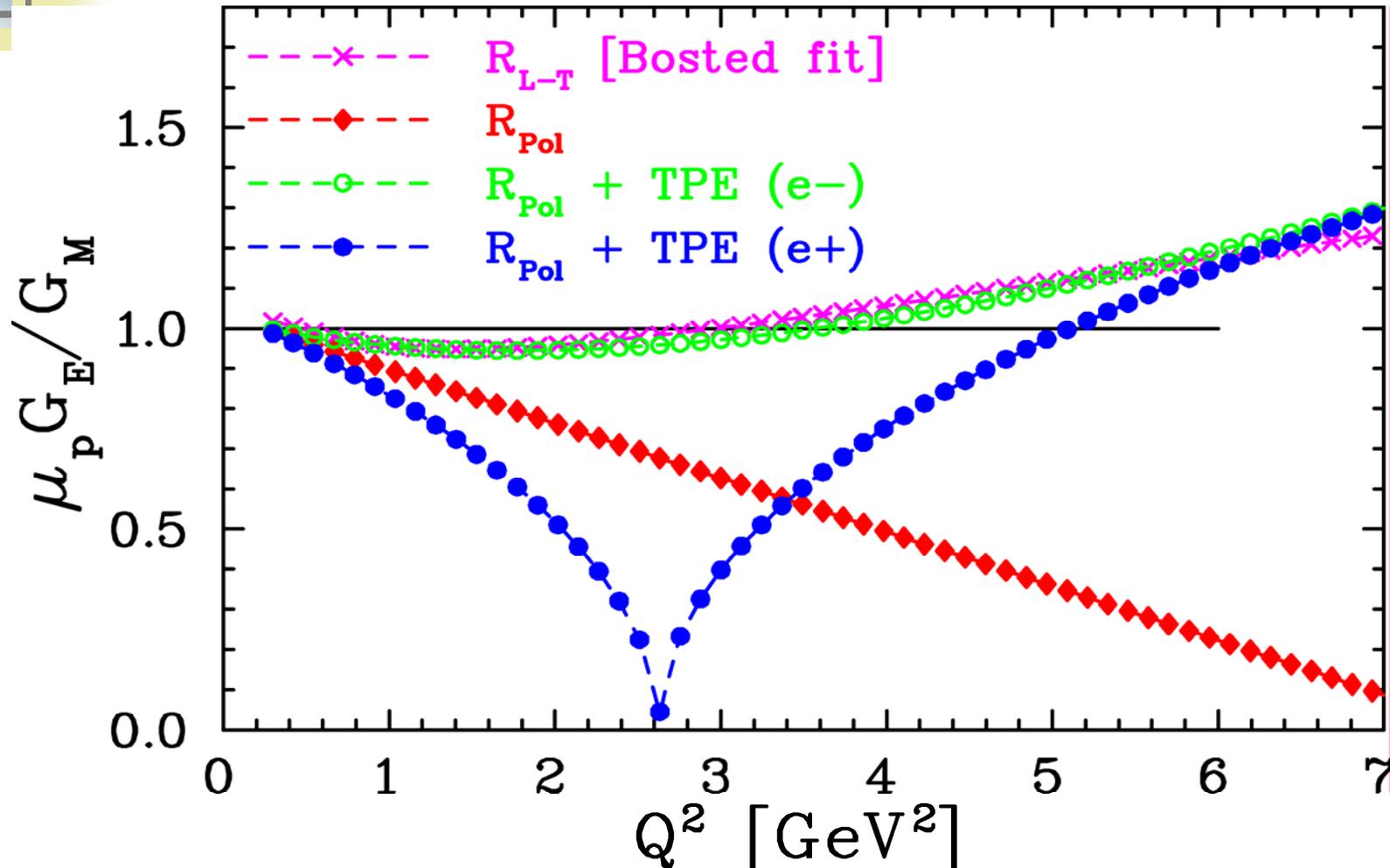
epsilon vs. Q^2



- Lowest epsilon ~ 0.4 only for $E < 2.3$ GeV
- At epsilon = 0.4, require $E > 2$ GeV to maintain $Q^2 > 2$ $(\text{GeV}/c)^2$

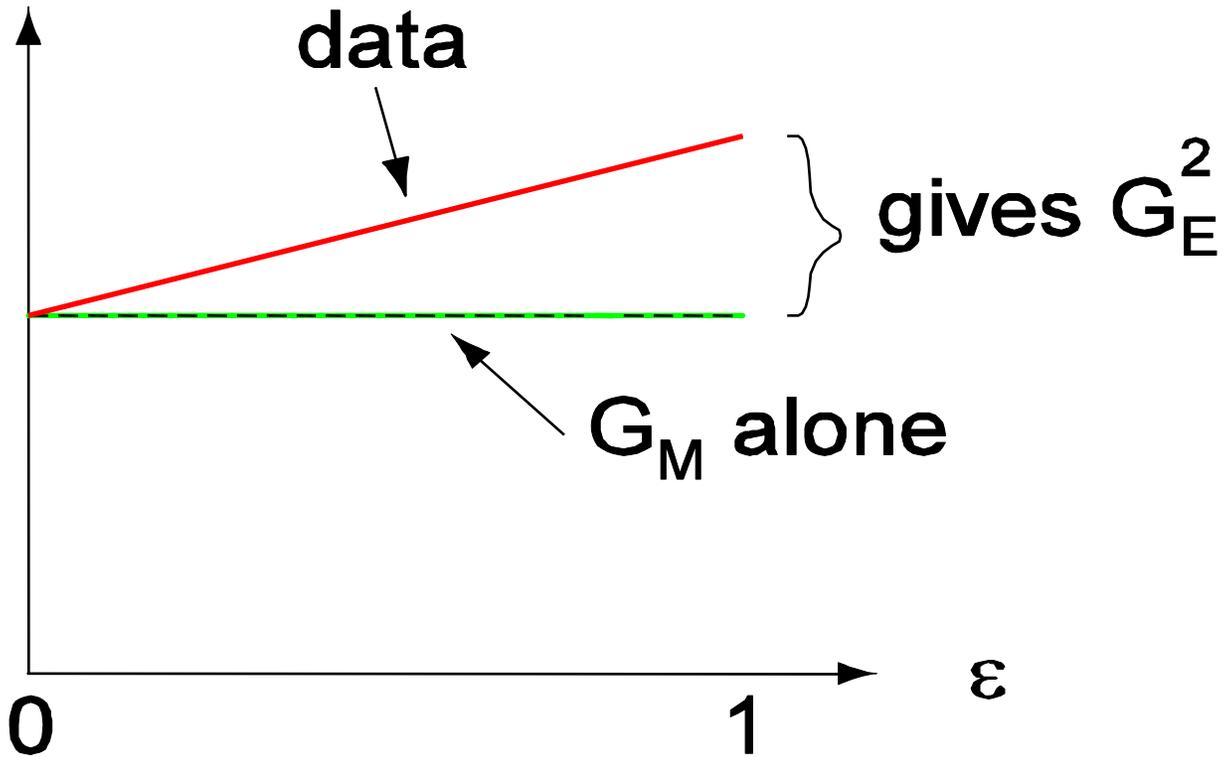
Prediction: proton form factor ratio

Blunden et al.



Rosenbluth separation, illustration

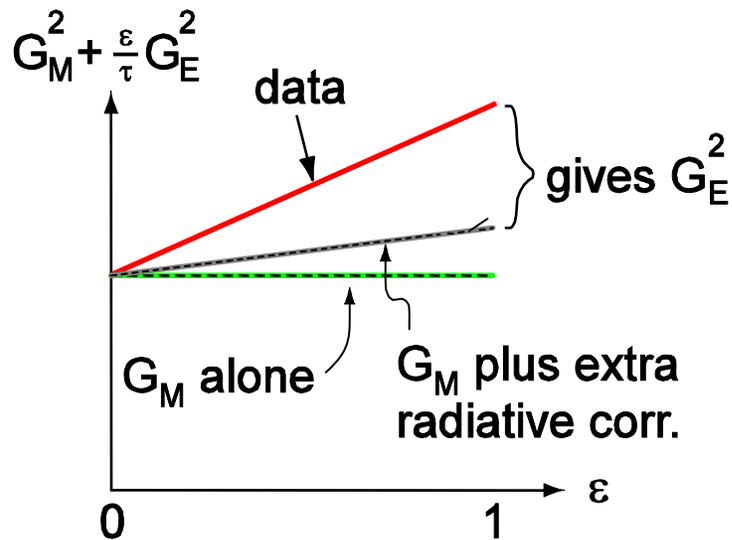
$$G_M^2 + \frac{\varepsilon}{\tau} G_E^2$$



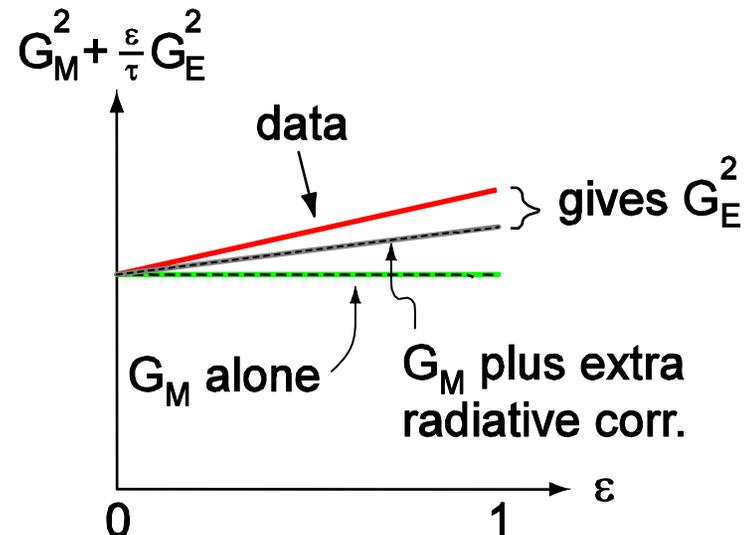
Possible explanation of discrepancy

Speculation : there are radiative corrections to Rosenbluth experiments that are important and are not included

missing correction : linear in ε , not strongly Q^2 dependent



Low τ (Low Q^2)



High τ (High Q^2)

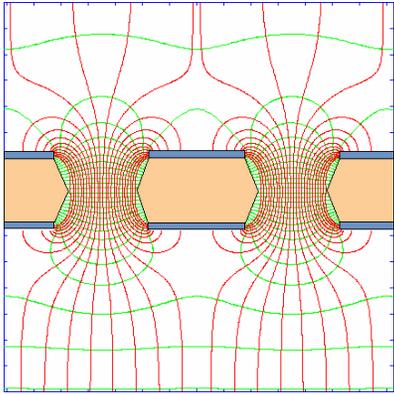
G_E term is proportionally smaller at large Q^2

effect more visible at large Q^2

Upgrade: GEM vertex detector

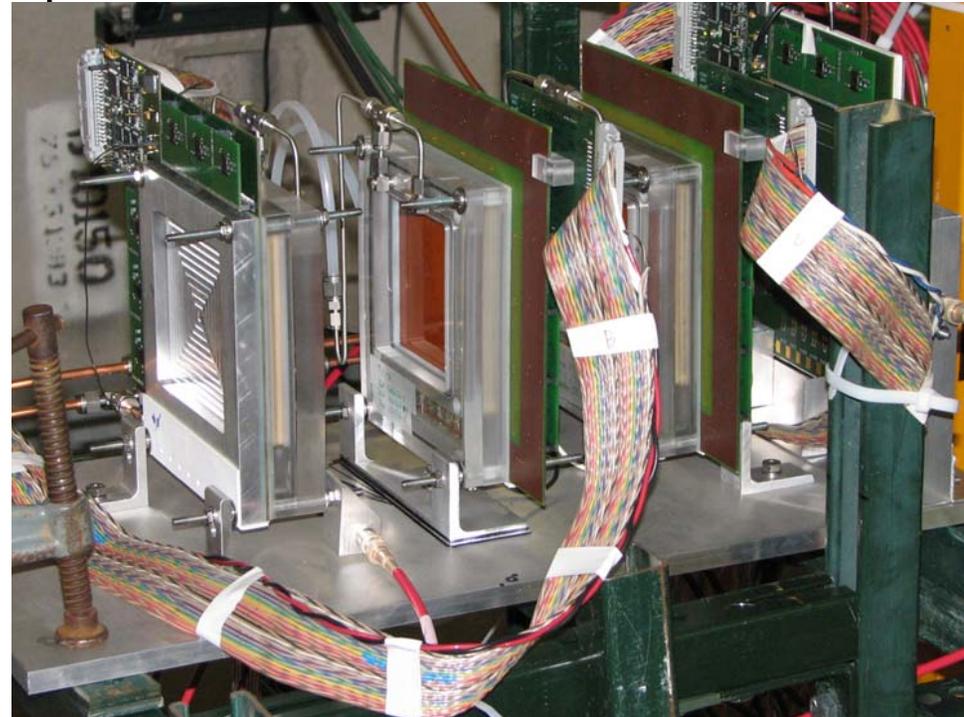
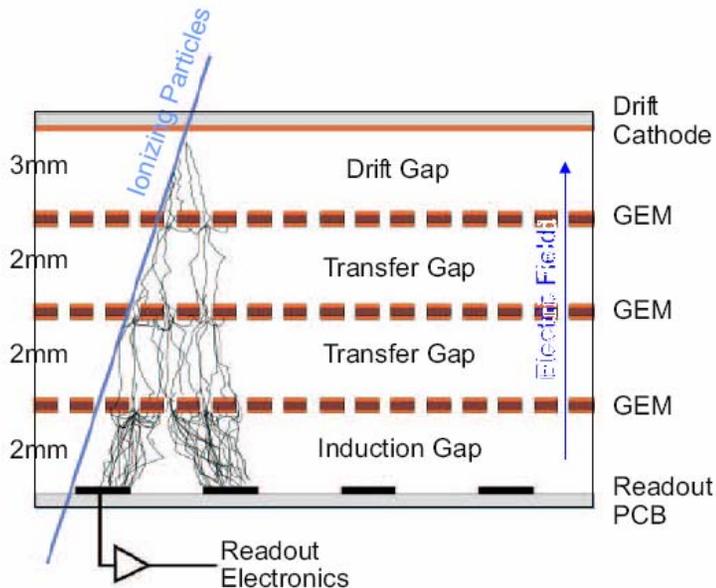
- GEM = Gas Electron Multiplier

introduced by F. Sauli in mid 90's, [F. Sauli et al., NIMA 386 \(1997\) 531](#)



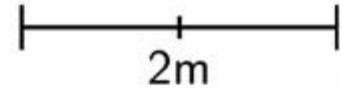
Copper layer-sandwiched kapton foil
with chemically etched micro-hole
pattern

gas amplification in the hole

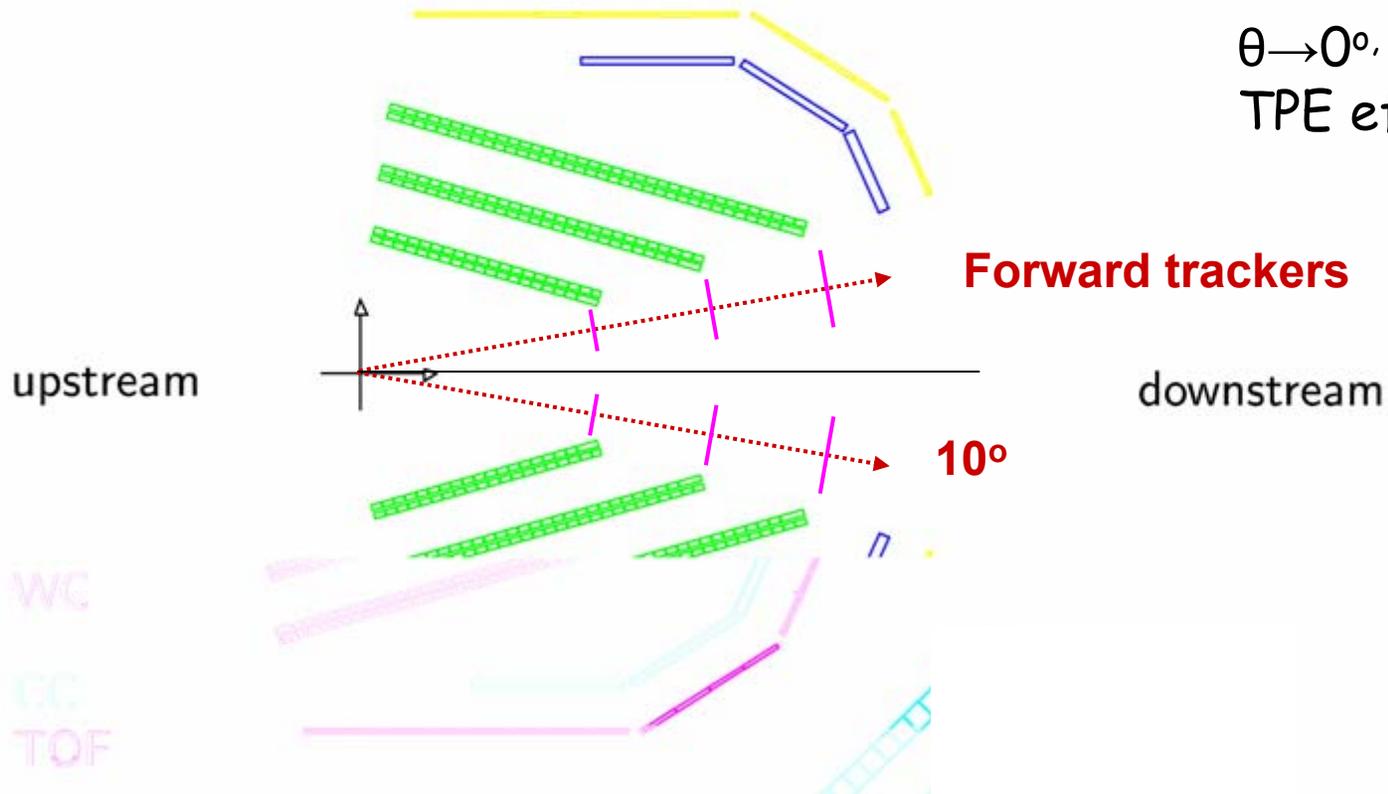


Upgrade: forward luminosity monitor

2 tGEM trackers, 30msr, 10° ,
 $R=160/230/300\text{cm}$, $dR=70\text{cm}$, 3 tracking planes



$\theta \rightarrow 0^\circ$, $\varepsilon \rightarrow 1$
TPE effects $\rightarrow 0$

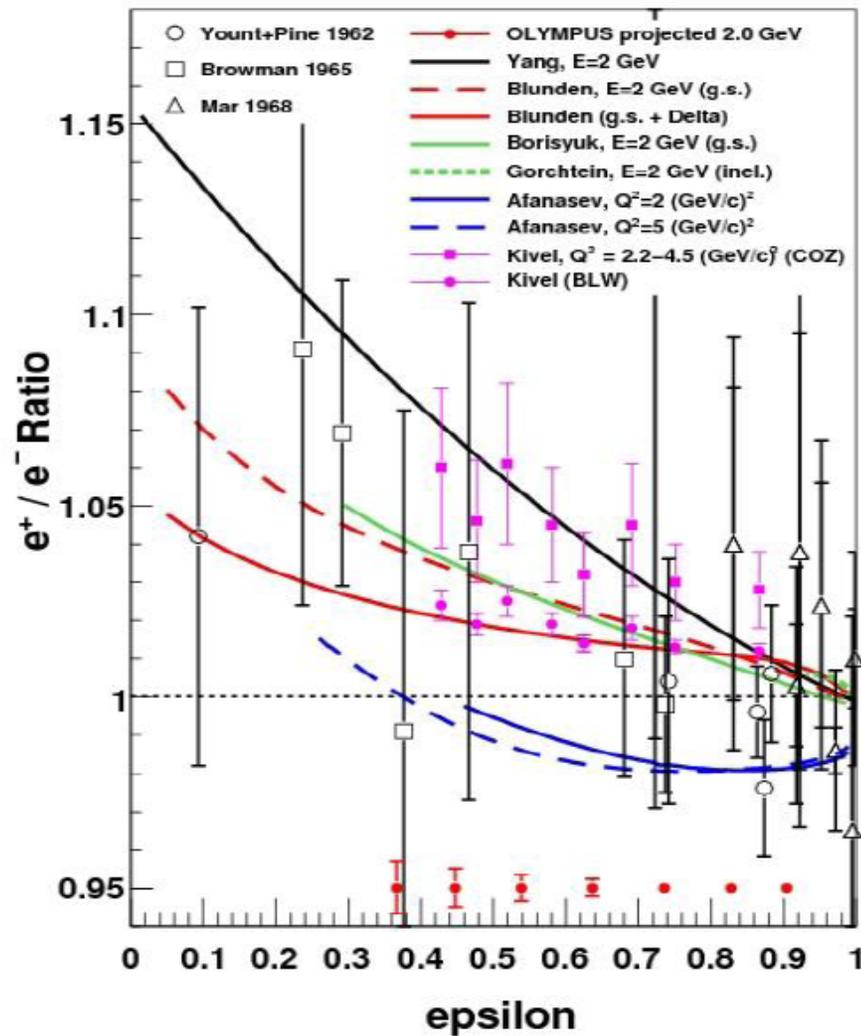


Projected OLYMPUS uncertainties

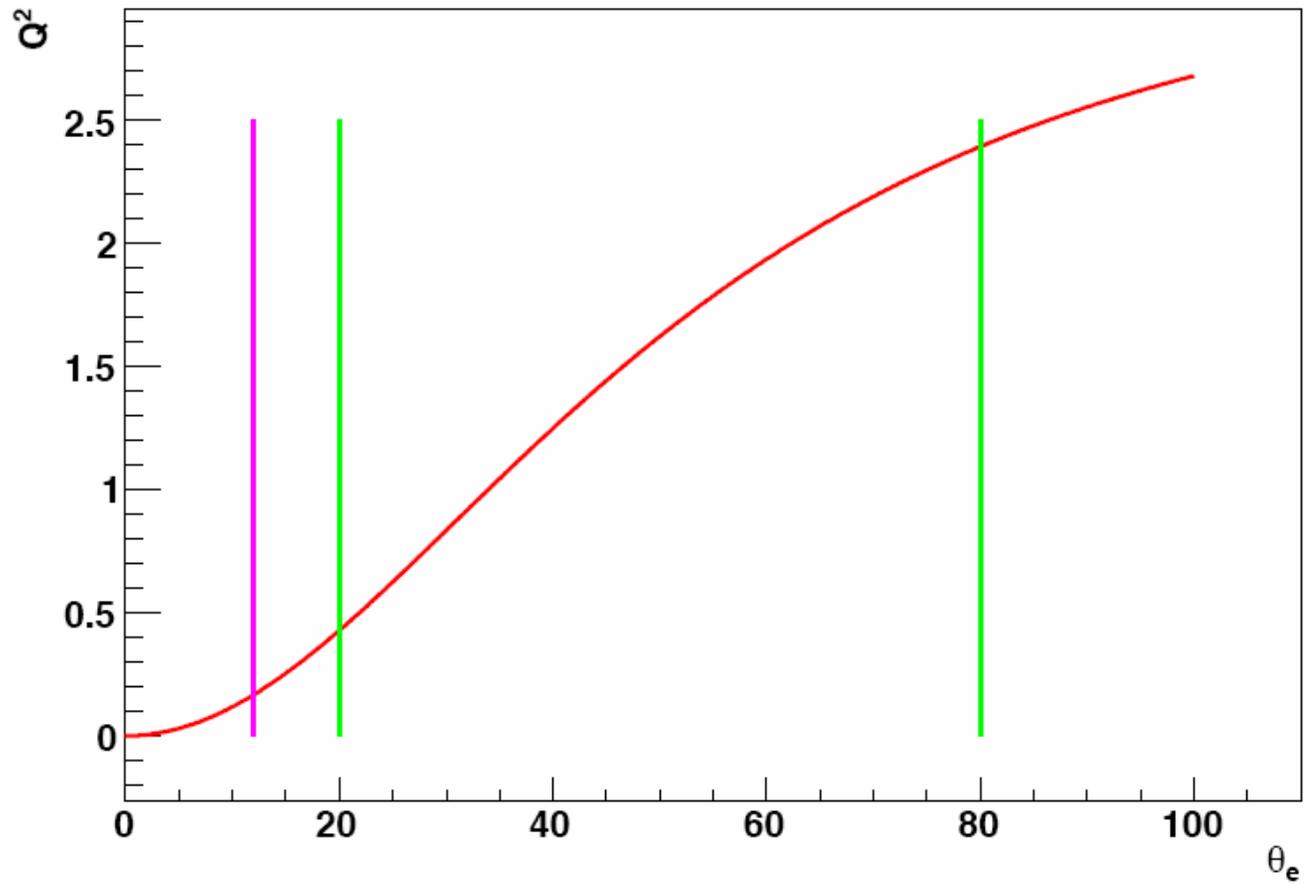
- Luminosity = $2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 500 hours each for e^+ and e^-
- 2 GeV energy

M. Kohl

Richard Milner

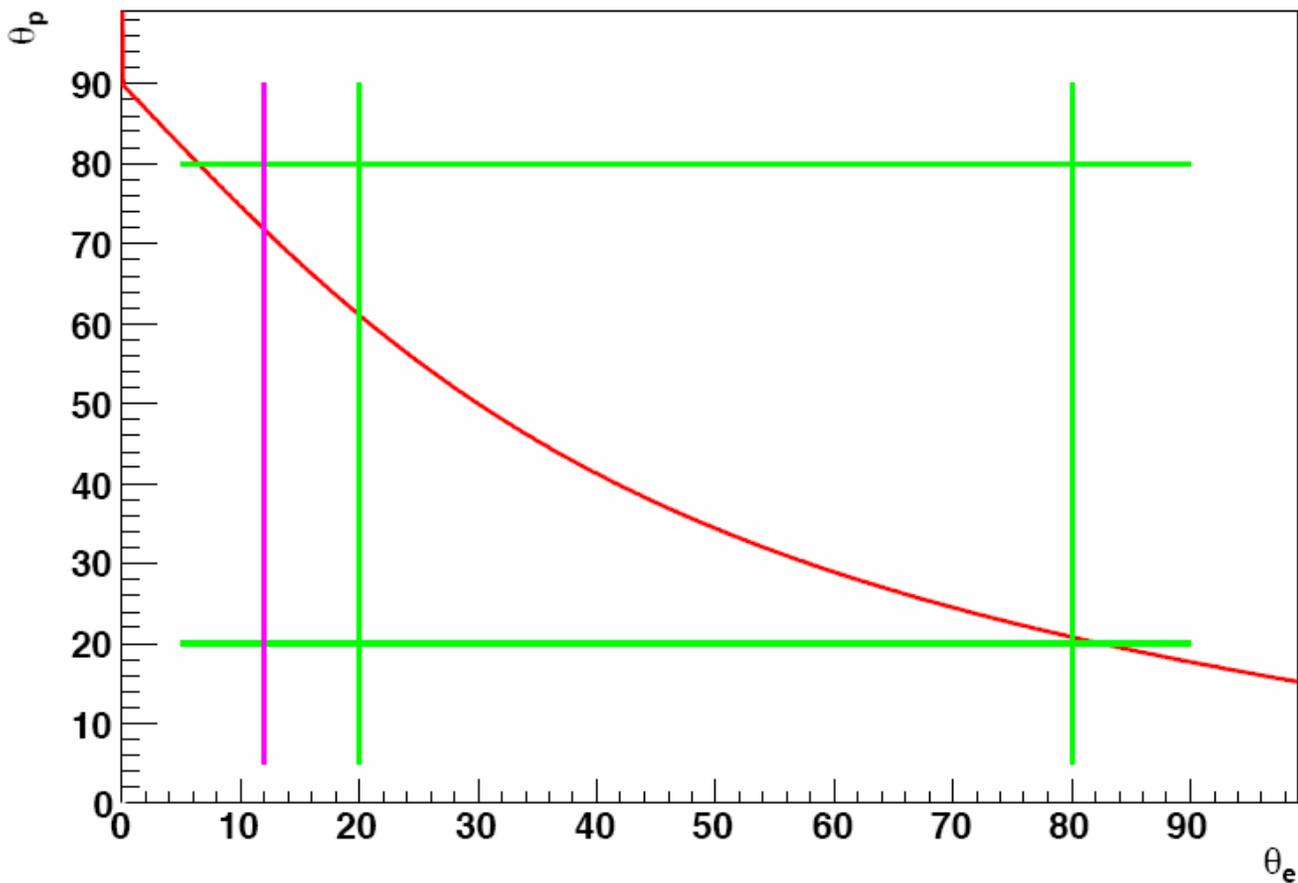


OLYMPUS Kinematics for $E_{\text{beam}} = 2.0 \text{ GeV}$



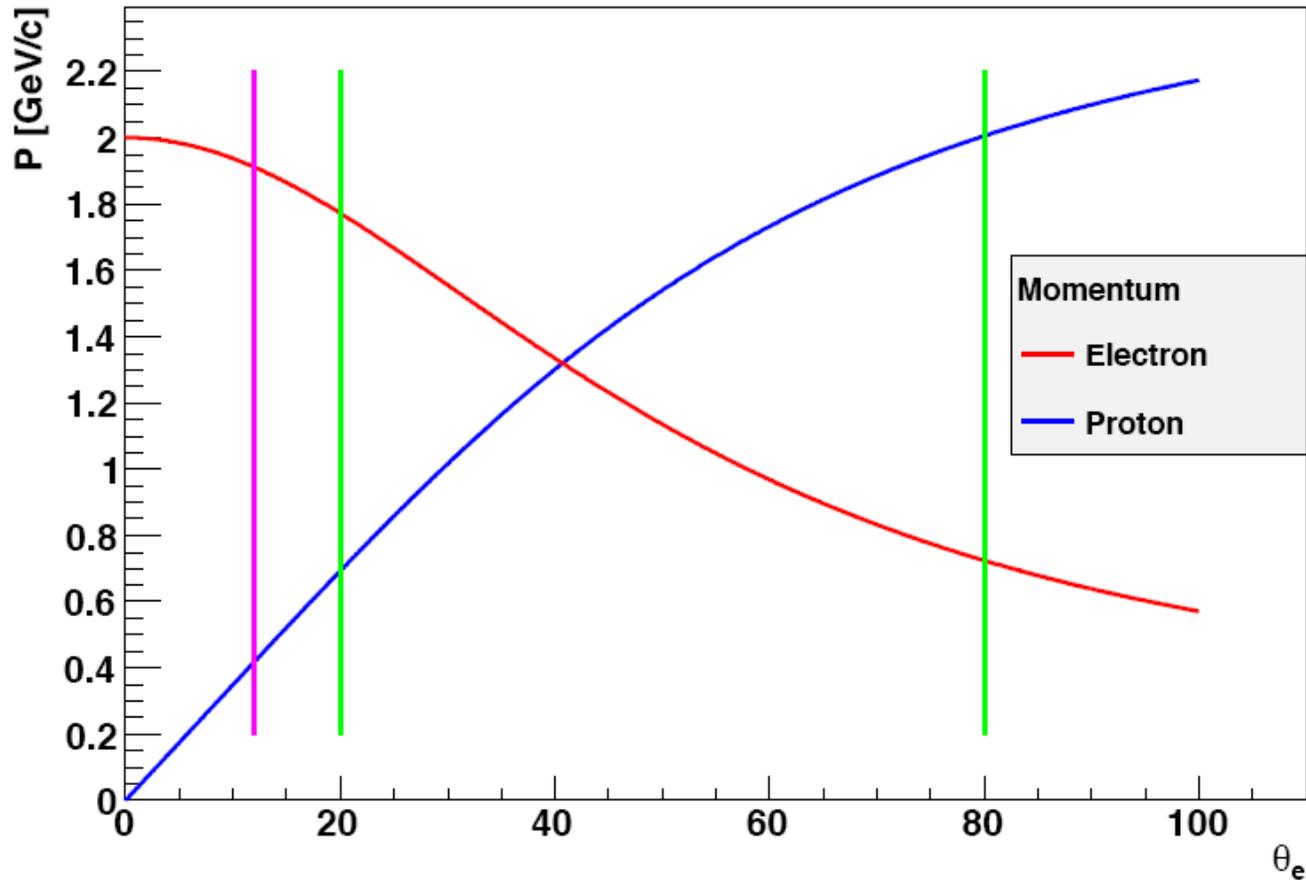
Angular Acceptance

OLYMPUS Kinematics for $E_{\text{beam}} = 2.0 \text{ GeV}$



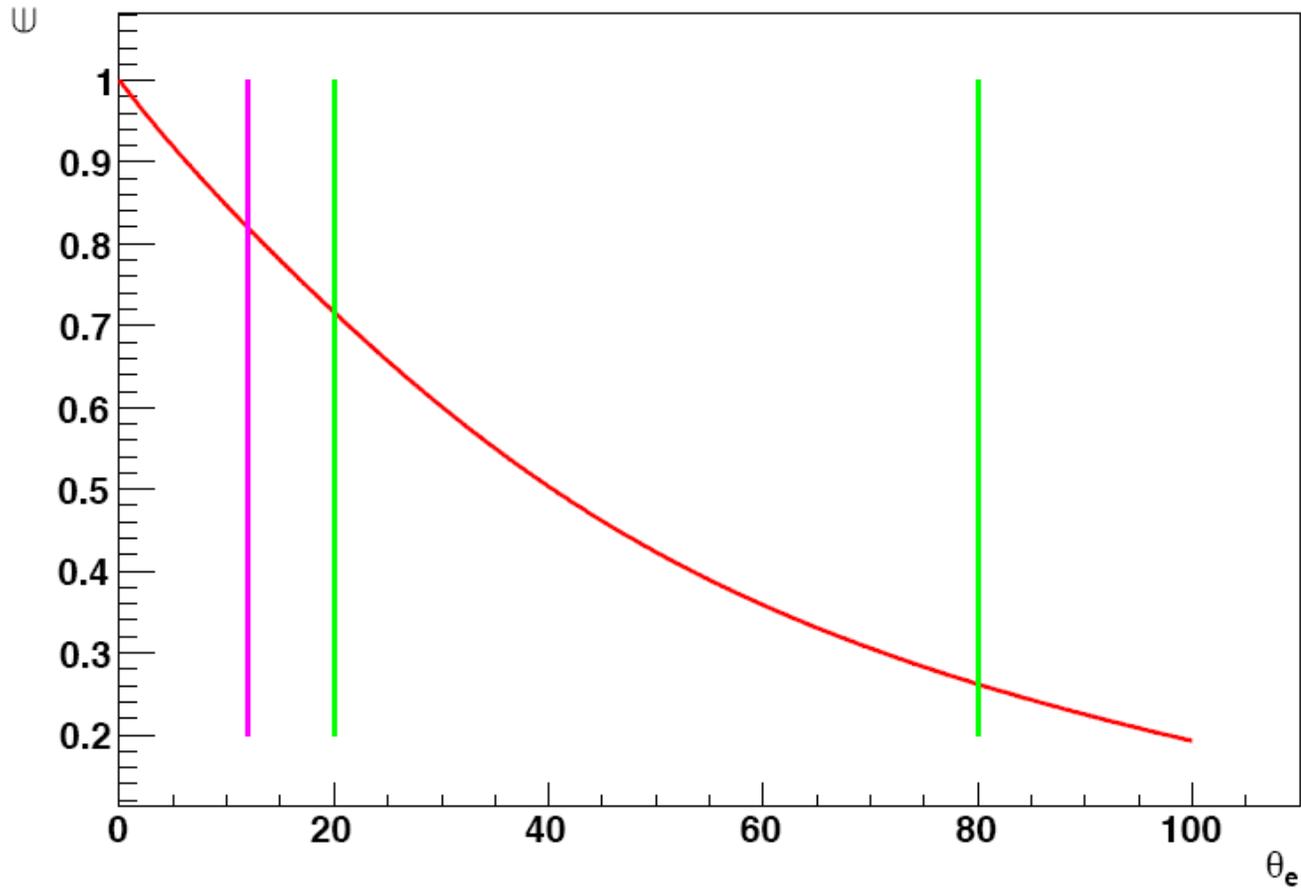
Momentum Range

OLYMPUS Kinematics for $E_{\text{beam}} = 2.0 \text{ GeV}$



Epsilon Range

OLYMPUS Kinematics for $E_{\text{beam}} = 2.0 \text{ GeV}$



Delta for PROTON

OLYMPUS Kinematics for $E_{\text{beam}} = 2.0 \text{ GeV}$

