

Лаборатория релятивистской ядерной физики :

Физическая программа на ALICE

- Структура $f_0(980)$ мезона (Физика адронов: А.Залите)
- Поляризация J/Ψ в pp и AA (Физика тяжелых кварков: Е.Крышень, В.Никулин)
- Регистрация микроскопических черных дыр (Физика вне СМ: Е.Крышень)
- Глюонные плотности в нуклонах и ядрах из фоторождения кваркониев
- БФКЛ в фоторождении кваркониев
(Ультрапериферические столкновения на LHC
М. Жалов, В. Никулин,)

1. Структура скалярного изоскалярного $f_0(980)$ мезона

Масса 980 ± 10 МэВ Ширина 40 - 100 МэВ Радиус < 2 фм

$f_0(980) \rightarrow \pi\pi$ доминирует - вклад легких кварков

$f_0(980) \rightarrow K\bar{K}$ виден – вклад странных кварков

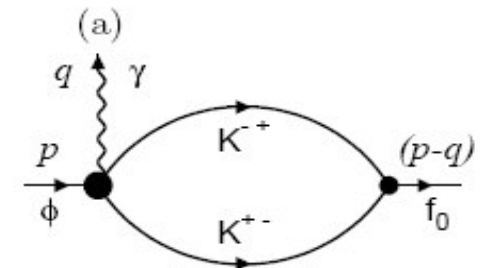
Гипотезы о структуре:

Дикварк (, Анисович ..) $f_0 = \cos \theta |s\bar{s}\rangle + \sin \theta \left| \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} + d\bar{d}) \right\rangle$

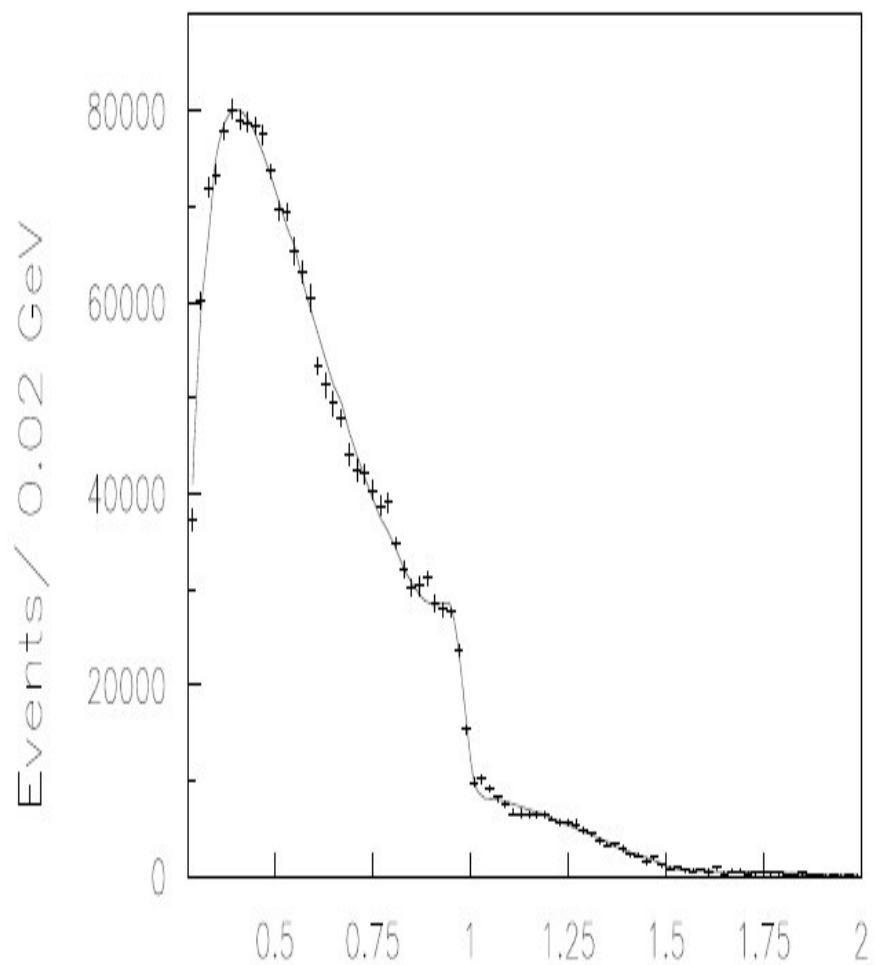
$$B(J/\Psi \rightarrow f_0(980)\phi) \approx 2B(J/\Psi \rightarrow f_0(980)\omega)$$

$$D_s \rightarrow f_0(980)\pi \approx 0.5 D_s \rightarrow 3\pi$$

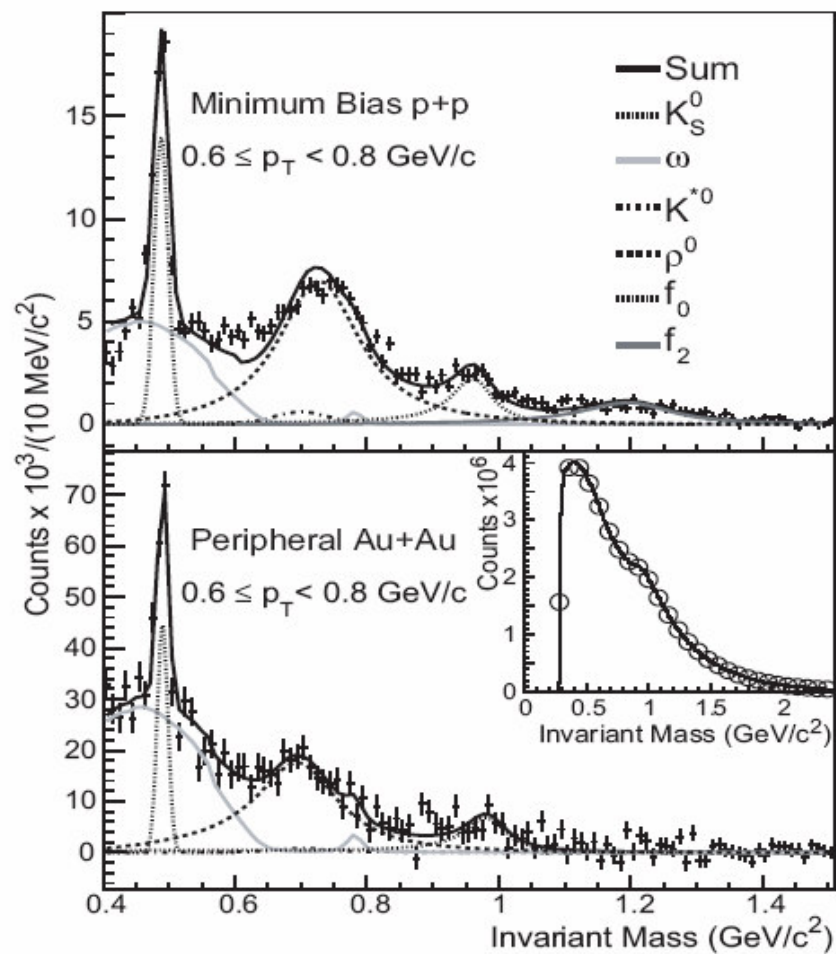
Молекула $K\bar{K}$ Из распада $\phi \rightarrow f_0(980)\gamma$



Тетракварк (Jaffe&Wilczek, Maiani&Polosa) $f_0 = \frac{[su][\bar{s}\bar{u}] + [sd][\bar{s}\bar{d}]}{\sqrt{2}}$



$M(\pi^+\pi^-)$ GeV



Рекомбинация / Фрагментация

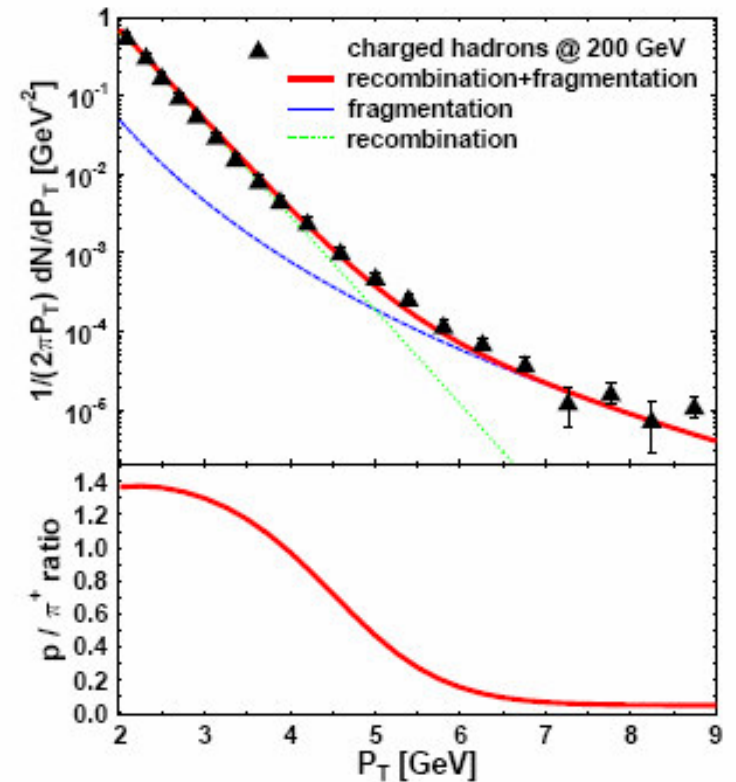
$$E \frac{N_M}{d^3P} = C_M \int \underline{d\sigma} \frac{P \cdot u(\sigma)}{(2\pi)^3} \int_0^1 dx w_a(\sigma; xP^+) |\phi_M(x)|^2 w_b(\sigma; (1-x)P^+). \sim C_M \omega^2 (P_T/2)$$

$$E \frac{N_B}{d^3P} = C_B \int_{\Sigma} d\sigma \frac{P \cdot u(\sigma)}{(2\pi)^3} \int_0^1 dx_1 dx_2 dx_3 \delta(x_1 + x_2 + x_3 - 1) \\ \times w_a(\sigma; x_1 P^+) w_b(\sigma; x_2 P^+) w_c(\sigma; x_3 P^+) |\phi_B(x_1, x_2, x_3)|^2 \propto C_B \omega^3 \left(\frac{P_T}{3} \right)$$

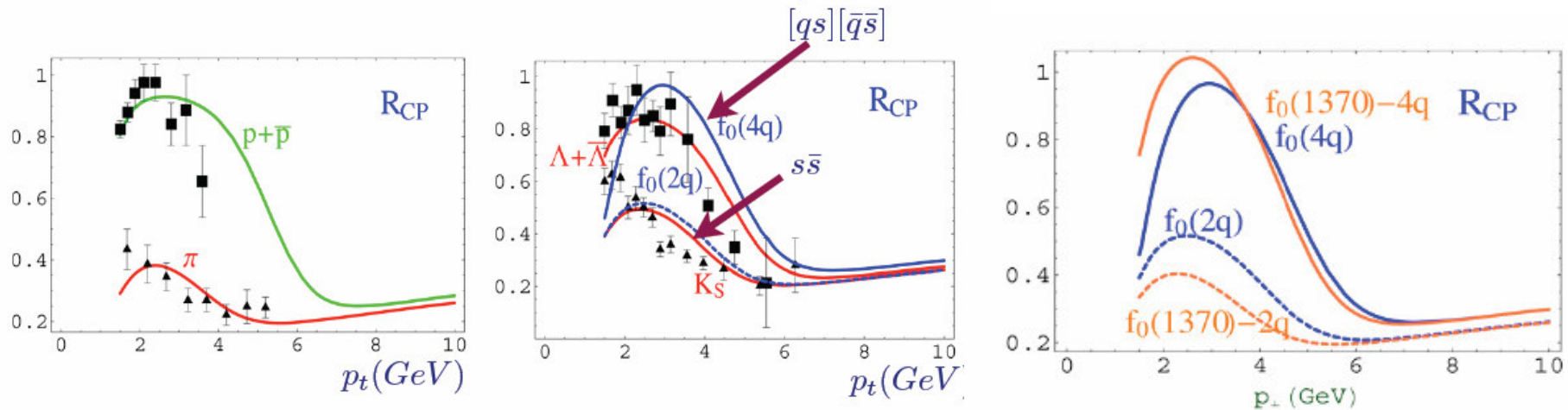
$$E \frac{d\sigma_h}{d^3P} = \sum_a \int_0^1 \frac{dz}{z^2} D_{a \rightarrow h}(z) E_a \frac{d\sigma_a}{d^3P_a}. \sim D(z) \otimes w(P_T/z)$$

$$w = e^{-P_T/\mu} \quad \frac{R}{F} = \frac{C_M}{\langle D \rangle} e^{-\frac{P_T}{\mu}} \left(1 - \frac{1}{z} \right)$$

$$w = A (P_T/\mu)^{-\alpha} \quad \frac{R}{F} = \frac{C_M A}{\langle D \rangle} \left(\frac{4}{\langle z \rangle} \right)^{\alpha} \left(\frac{P_T}{\mu} \right)^{-\alpha}$$



Nuclear modification factors for different particles



[Maiani, Polosa, Riquer, Salgado (2007)]

Проблемы в реализации идеи Майани и др.

1. Расчеты проведены без учета ширины
2. Волновая функция мезона - суперпозиция всех возможных конфигураций. Разные конфигурации доминируют в разных процессах формирования.

$$|f_0(980)\rangle = c_{diquark} |q\bar{q}\rangle + c_{tetra} |qq\bar{q}\bar{q}\rangle + c_{mol} |K\bar{K}\rangle + \dots$$

$$B(f_0 \rightarrow 2\gamma) \approx 10^{-4}$$

План – проанализировать возможность исследовать структуру мезона при его рождении в гамма-гамма при ультрапериферическом рассеянии

2. Поляризация J/ψ в pp и AA взаимодействиях

При рождении в pp проблемы как с механизмом рождения так и с поляризацией

эксперимент по изучению кварк-глюонной плазмы

*подавление выхода J/ψ из-за Дебаевской экранировки цветового заряда c -кварка в плотной кварк-глюонной среде считалось одним из наиболее ярких признаков формирования кварк-глюонной плазмы. Аналогичное подавление может возникать из-за взаимодействия J/ψ с адронами в конечном состоянии.

*понимание механизма рождения и поляризации J/ψ в ядро-ядерном взаимодействии.

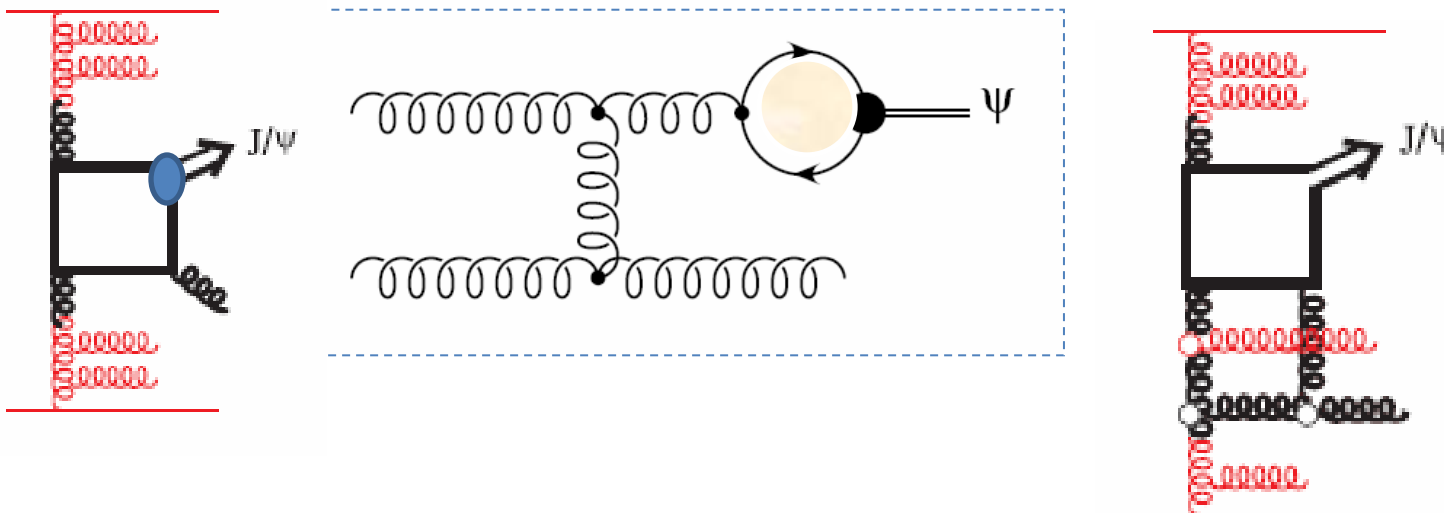
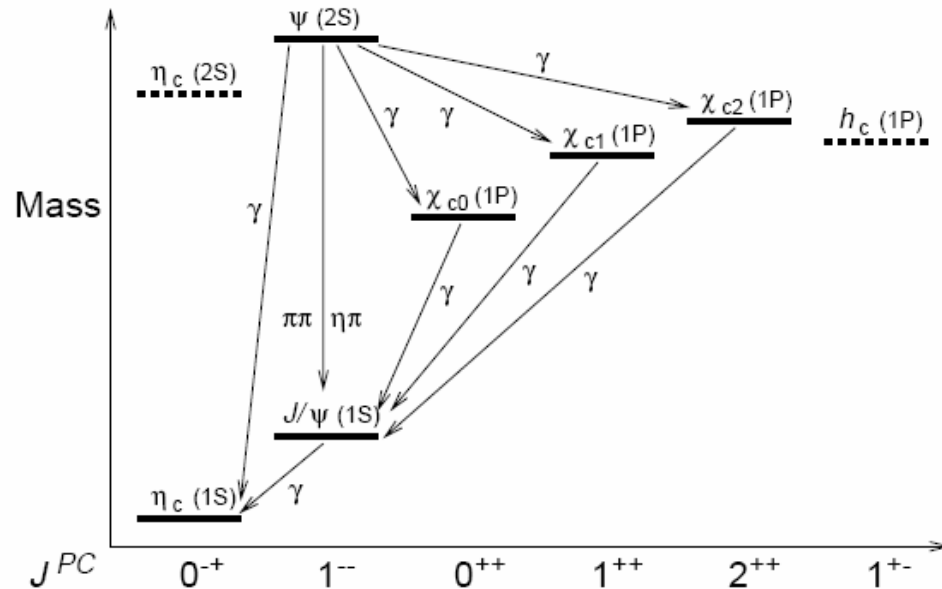
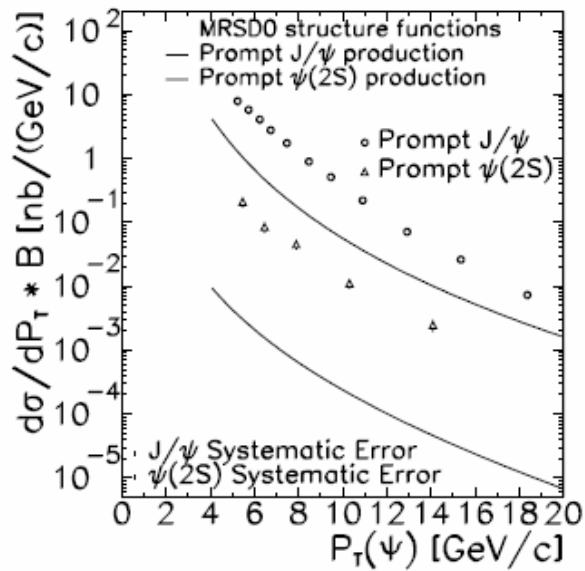
*Два предсказания для поляризации рожденного в плотной кварк-глюонной среде чармония с небольшими поперечными импульсами:

–поляризация либо отсутствует (эксперименты на РИК)

-либо должна быть поперечной и довольно большой – 0.3-0.4

-(Б.Иоффе, Д.Харзеев).

Механизмы рождения и поляризация в pp

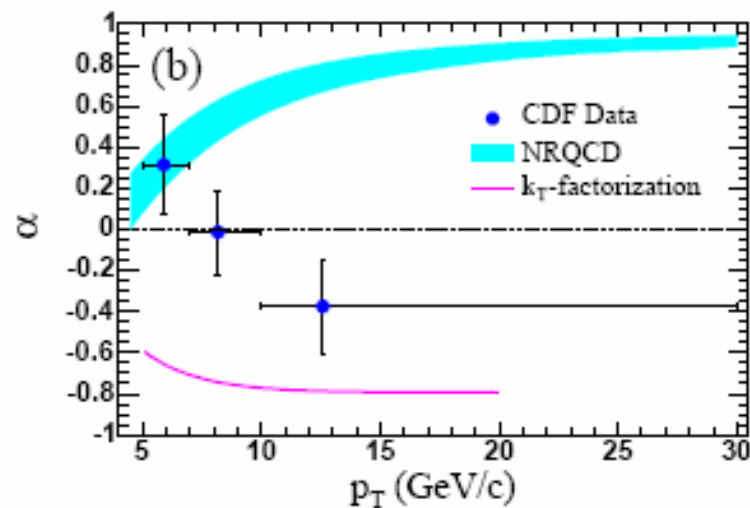
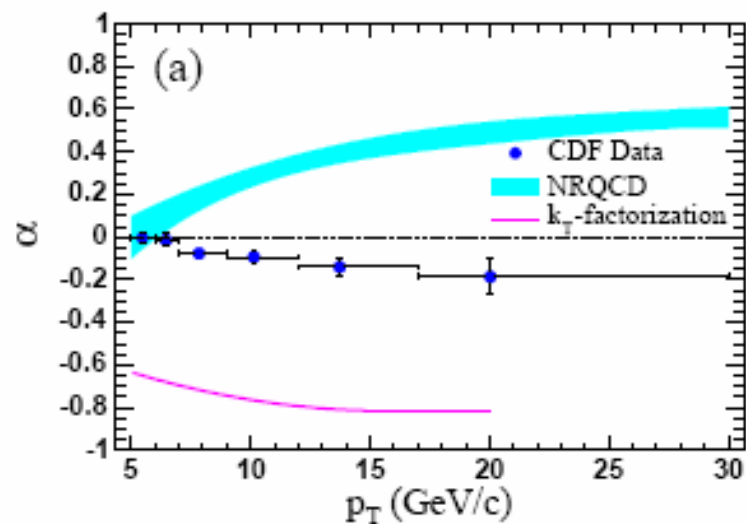
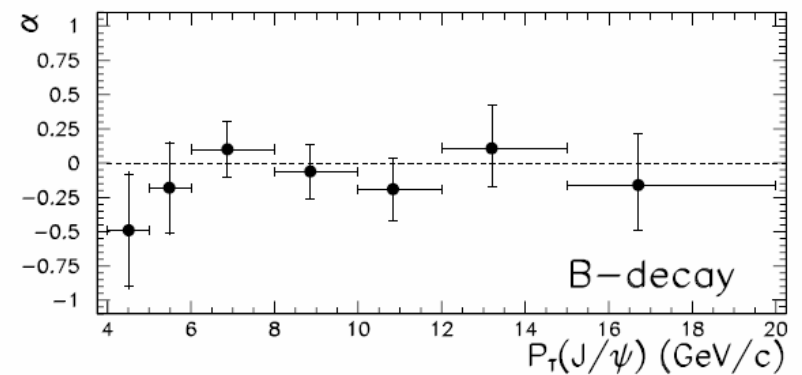
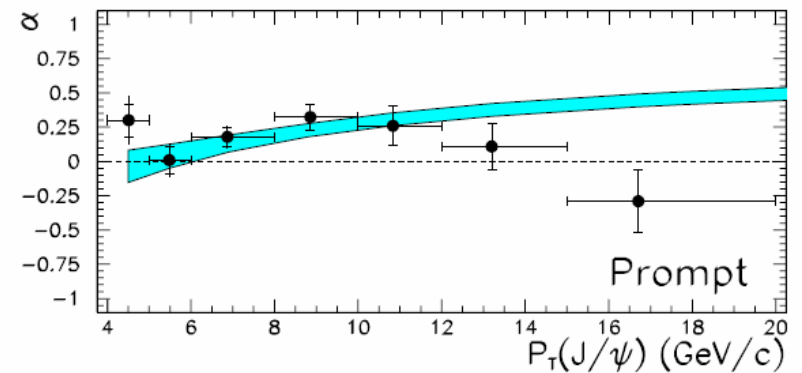


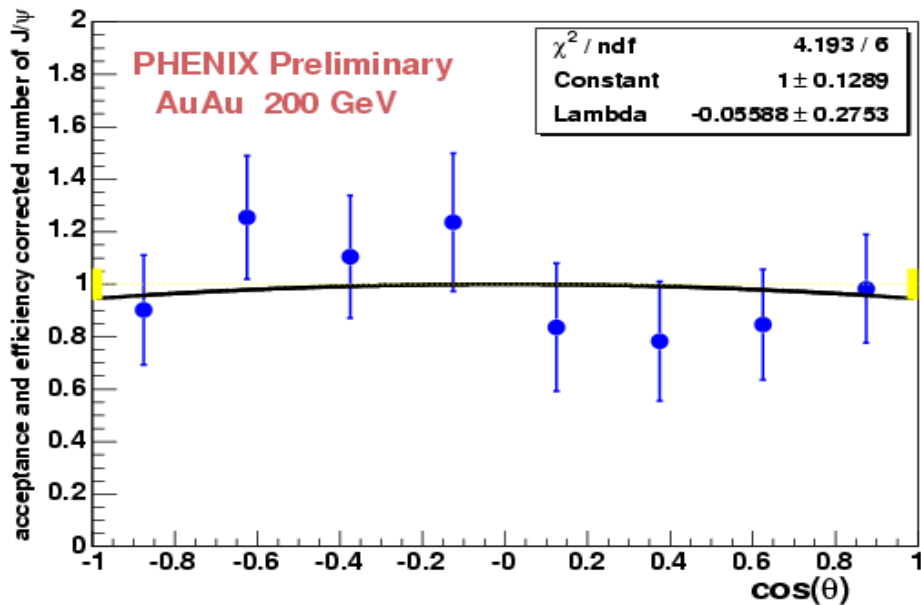
Durham (MRS)

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} \sim 1 + \alpha \cos^2\theta$$

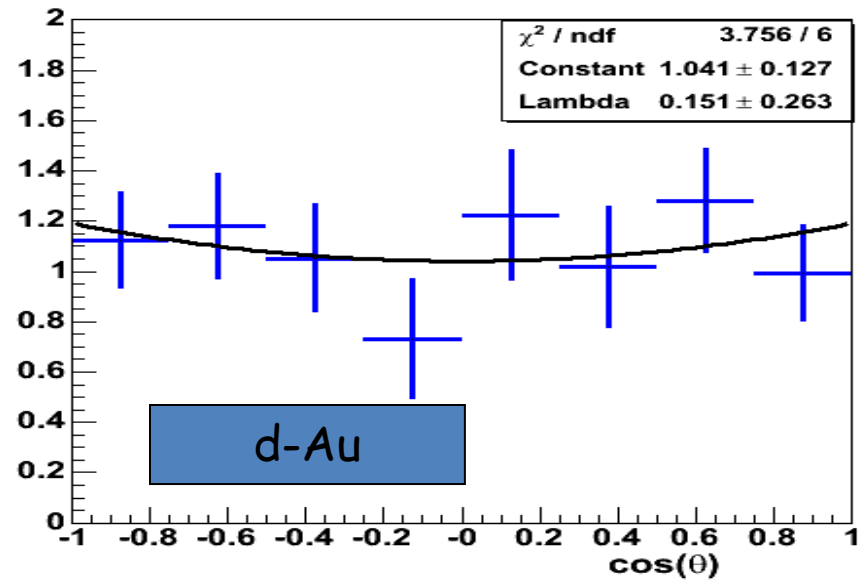
- $\alpha = 0$ - неполяризованная
- $\alpha > 0$ - поперечная поляризация
- $\alpha < 0$ - продольная поляризация

FNAL RUN 2
Proton-antiproton





$$\alpha = 0.06 \pm 0.28(\text{stat}) \pm 0.05(\text{syst})$$

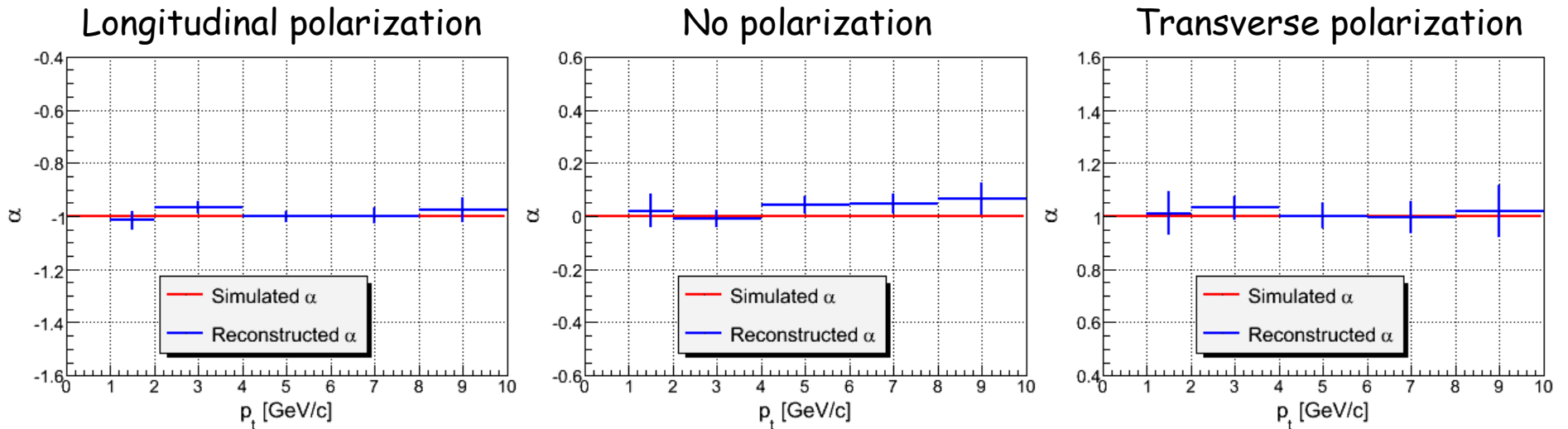


$$\alpha = 0.15 \pm 0.26(\text{stat}) \pm 0.04(\text{syst})$$

Отсутствие поляризации у чармония, рожденного в
ядро-ядерном (слева) и дейтрон-ядерном (справа)
взаимодействии при энергиях РИК. **Важно: энергии**
ниже чем на ЛНС

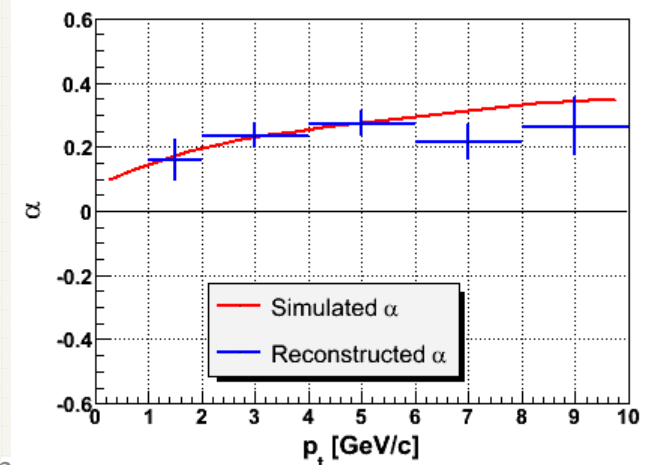
Tests on different polarization values

Similar studies made for several simulated polarization patterns



- Performance of reconstruction algorithm - wholly satisfactory results for different patterns
- Uncertainties up to 0.13 in the case of transverse polarization
- underestimation of polarization parameter in the case of p_t -dependent polarization - additional investigation is required

polarization, dependent on p_t



3.Рождение микроскопических черных дыр на ALICE

- Проблема масштабов (проблема иерархии):
 - сильное взаимодействие (масса нуклона) – 1 ГэВ
 - электрослабое (SM работает до масштаба) - 1000 ГэВ
 - гравитация (масса Планка M_P) - 10^{19} ГэВ

Введение экстраразмерностей позволяет понизить планковский масштаб, например, до 1 ТэВ →
тогда можно родить черную дыру с массой > 1 ТэВ

Закон обратных квадратов в 4D $F_{(4)P} = \frac{1}{M_{(4)P}^2} \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Проверен до расстояний 140 микрон

В $4+n$ пространстве $F_{4+n} \propto \frac{1}{M_{(4+n)P}^{2+n}} \frac{m_1 m_2}{r^{2+n}}$

- **Модель с большими экстра размерностями –**
n экстра размерностей компактифицируются с $R < 100 \mu\text{m}$.

Из сшивки F

$$M_{(4+n)P}^{2+n} \cdot R^n = M_{(4)P}^2$$

$$R = 10^{\frac{32}{n}-17} \left[\frac{1\text{TeV}}{M_{(4+n)P}} \right]^{1+\frac{2}{n}} \text{cm}$$

если $M_{(4+n)P} = 1 \text{ ТэВ}$ $n > 2$

Гипотеза:

1. Стандартная модель локализована на бране толщиной M_{EW}^{-1} в пространстве n размерностей
2. Гравитация во всем объеме, включая экстра размерности

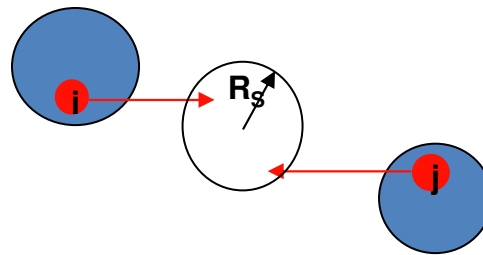
Наблюдаемые следствия:

1. События с одной струей с большим нескомпенсированным p_T и большой недостающей энергией – рождение гравитона
2. Рождение черных микродыр

$$R_S = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_P} \left[\frac{M_{\text{BH}}}{M_P} \left(\frac{8\Gamma\left(\frac{n+3}{2}\right)}{n+2} \right) \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

$$\sigma(M_{\text{BH}}) \approx \pi R_S^2 = \frac{1}{M_P^2} \left[\frac{M_{\text{BH}}}{M_P} \left(\frac{8\Gamma\left(\frac{n+3}{2}\right)}{n+2} \right) \right]^{\frac{2}{n+1}}$$

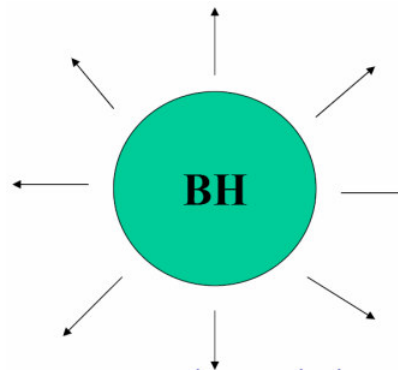
$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow \text{BH} + X)}{dM_{\text{BH}}} = \frac{dL}{dM_{\text{BH}}} \hat{\sigma}(ab \rightarrow \text{BH}) \Big|_{\hat{s}=M_{\text{BH}}^2}$$

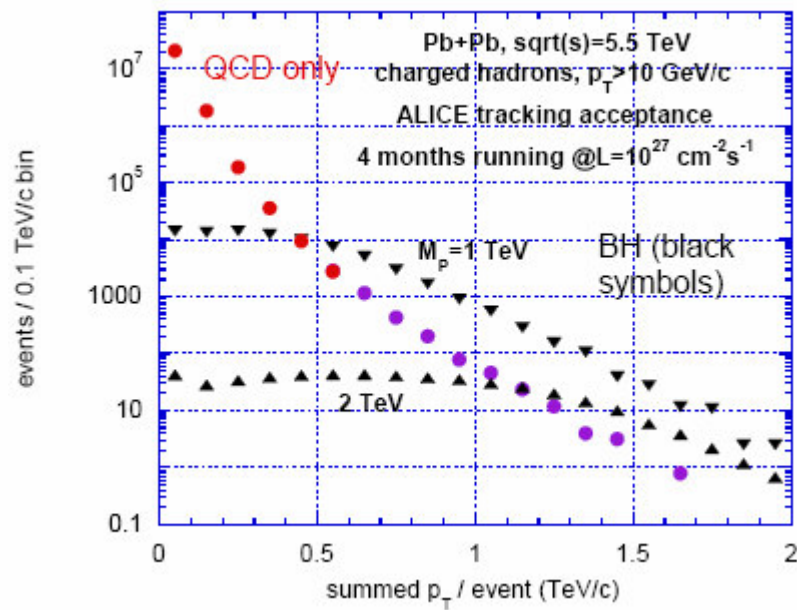
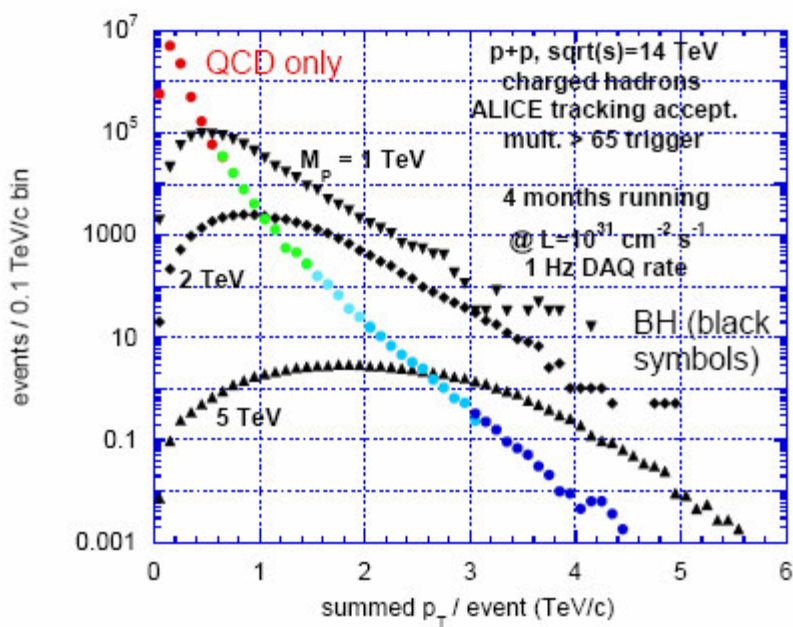
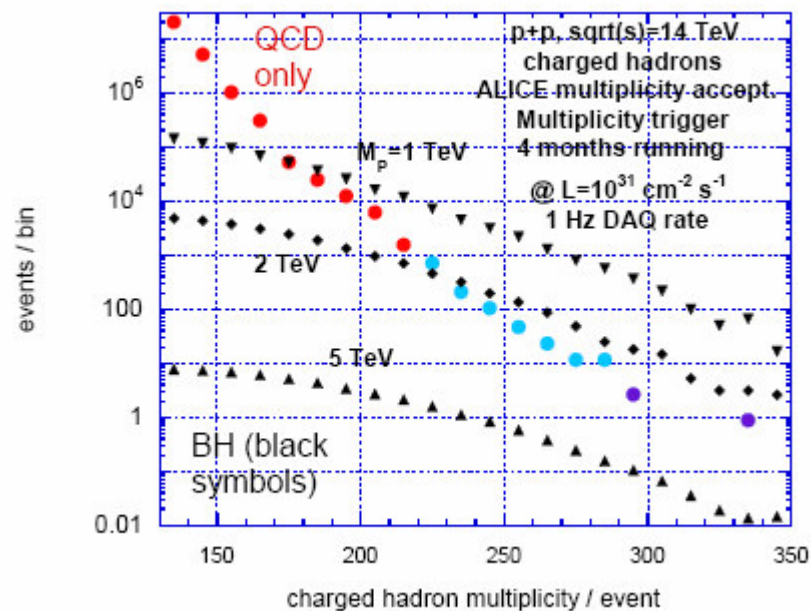
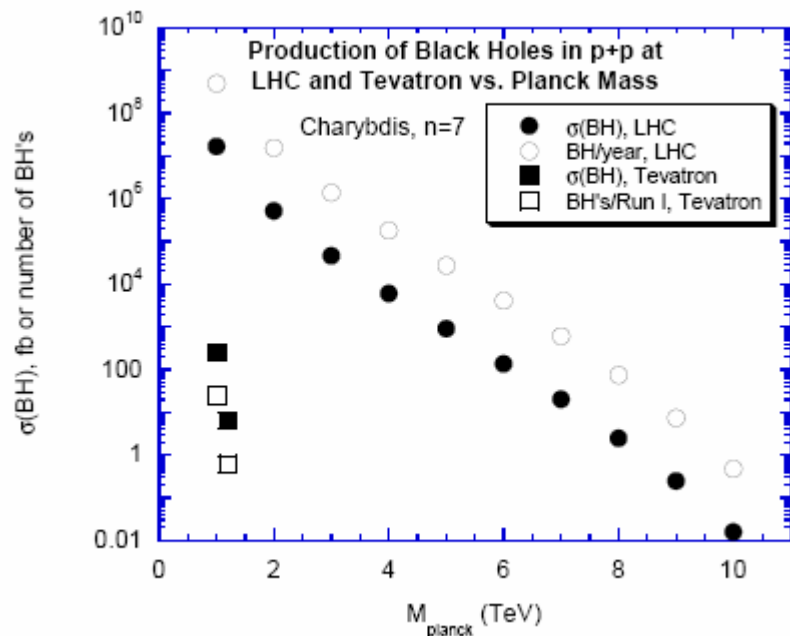


$$\frac{dL}{dM_{\text{BH}}} = \frac{2M_{\text{BH}}}{s} \sum_{a,b} \int_{M_{\text{BH}}^2/s}^1 \frac{dx_a}{x_a} f_a(x_a) f_b\left(\frac{M_{\text{BH}}^2}{sx_a}\right)$$

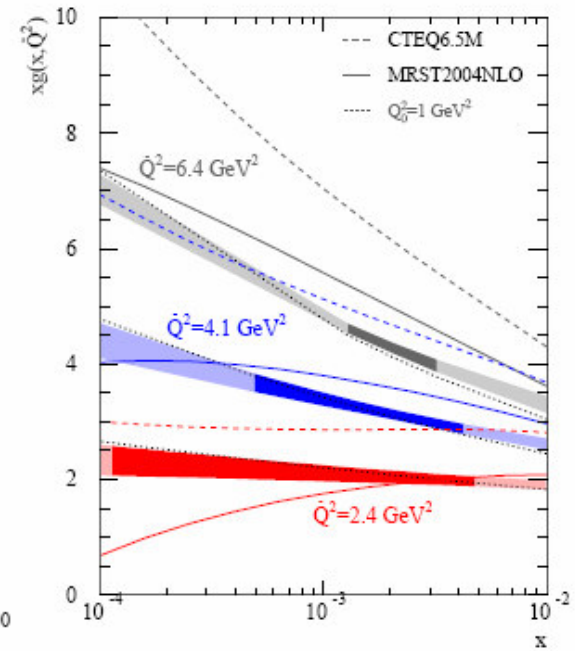
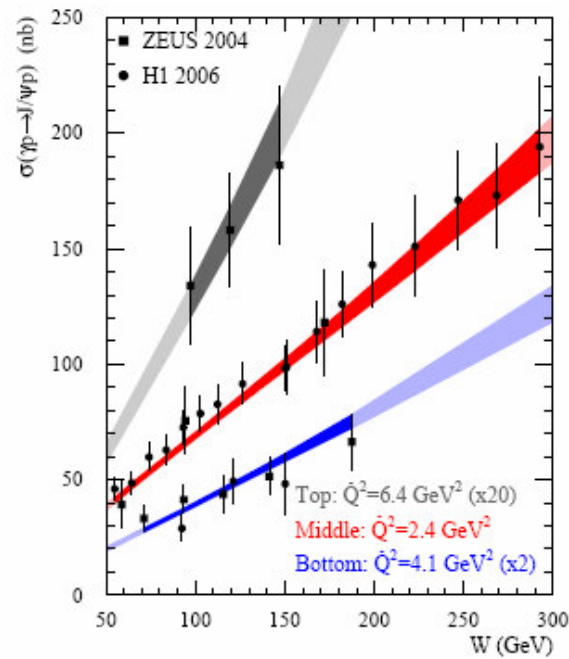
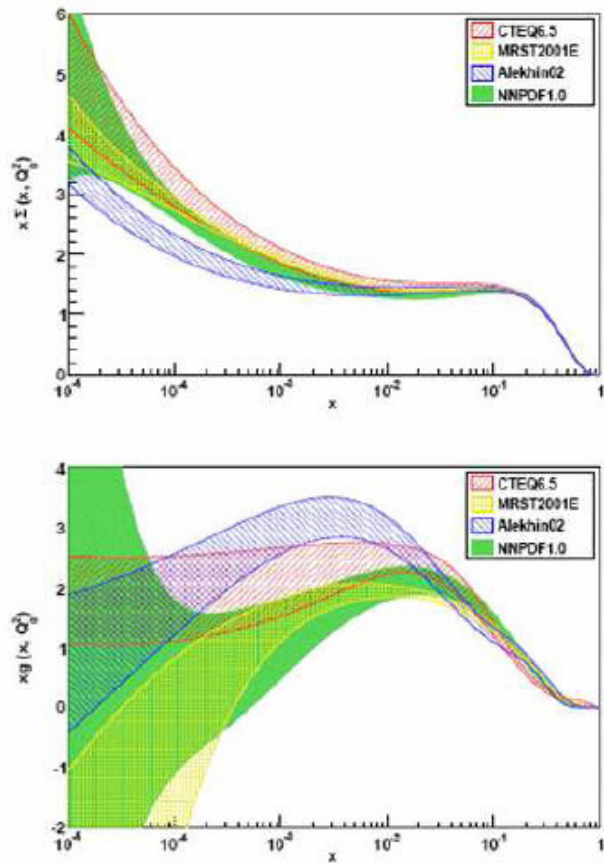
Black hole parameters at $M_P = 1$ TeV	Cross section	Rate at $\mathcal{L} = 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Events in 10^9 MB sample
$n = 7, M_{\text{BH}} > 1$ TeV	45 nb	0.45 Hz	700
$n = 7, M_{\text{BH}} > 5$ TeV	77 pb	7.7×10^{-4} Hz	1.3
$n = 2, M_{\text{BH}} > 5$ TeV	96 pb	9.6×10^{-4} Hz	1.6

$$\frac{dN}{dE} \sim \frac{(E/T_H)^2}{\exp(E/T_H) \pm 1}$$



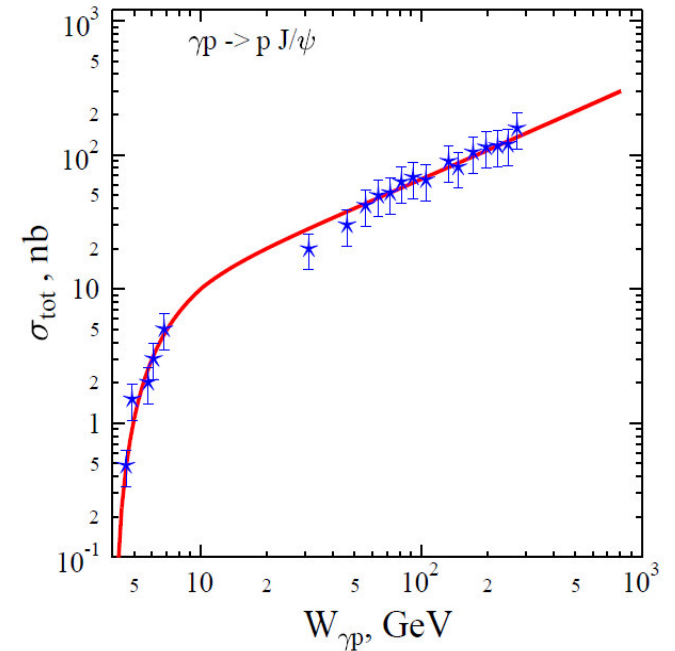
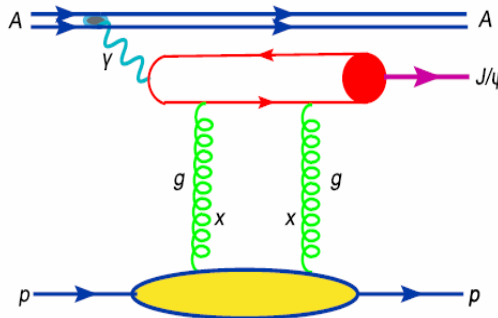
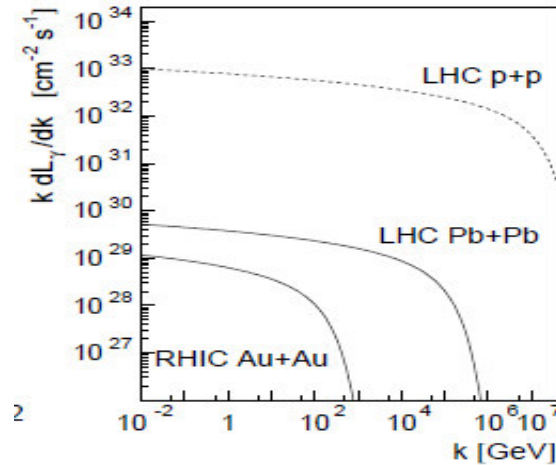


4. Ультрапериферические столкновения: глюонные плотности в нуклонах и ядрах из фоторождения J/Ψ



Durham (MRS..)

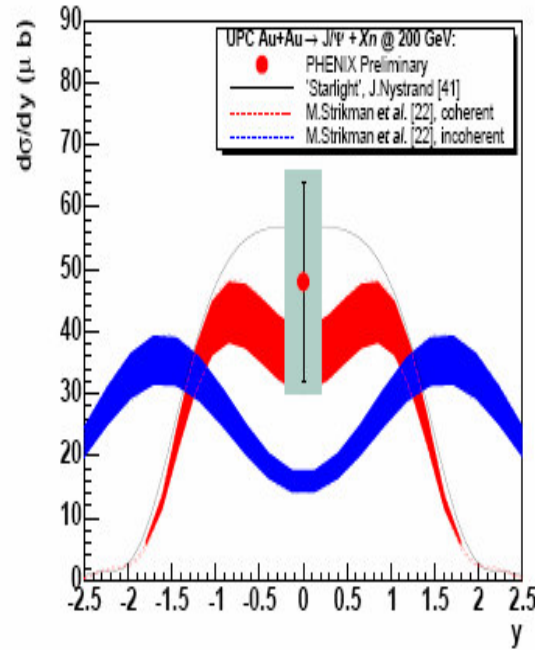
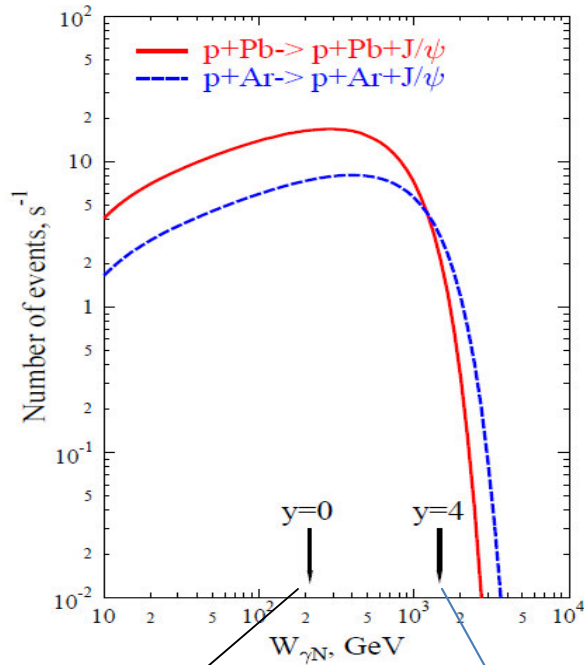
Когерентное фоторождение в pA ультрапериферических столкновениях



$$x = \frac{M_{J/\Psi}^2}{s} \quad s = 4 \omega p$$

$$\frac{d\sigma_{p \rightarrow p J/\Psi}(\omega)}{dt} = \frac{16\pi^3 \alpha_s^2 d^2\Gamma_{ee}}{3\alpha M_{J/\Psi}^5} \left| x g_N \left(x, \frac{M_{J/\Psi}^2}{4} \right) \right|^2 F_{2g}^2(t)$$

Измеряя сечение, которое пропорционально квадрату глюонной плотности, можно определить ее при очень малых x

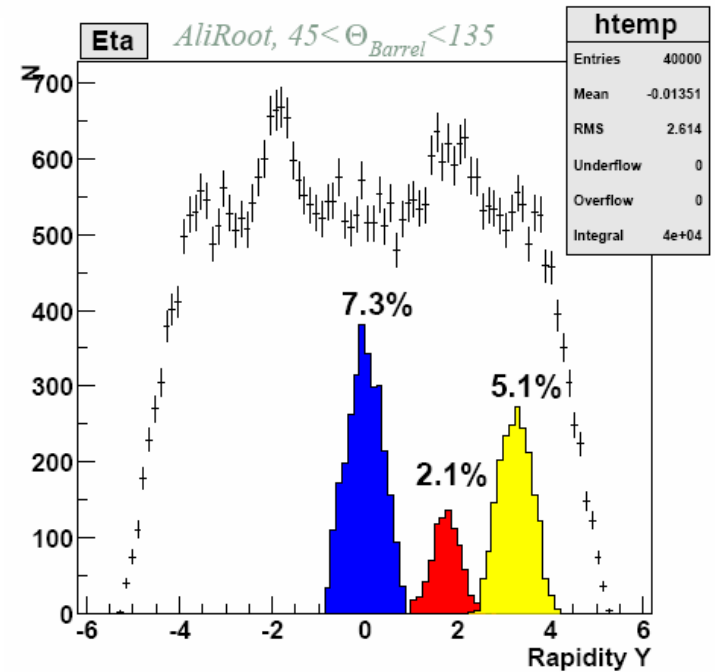


HERA $\chi \sim 10^{-4}$

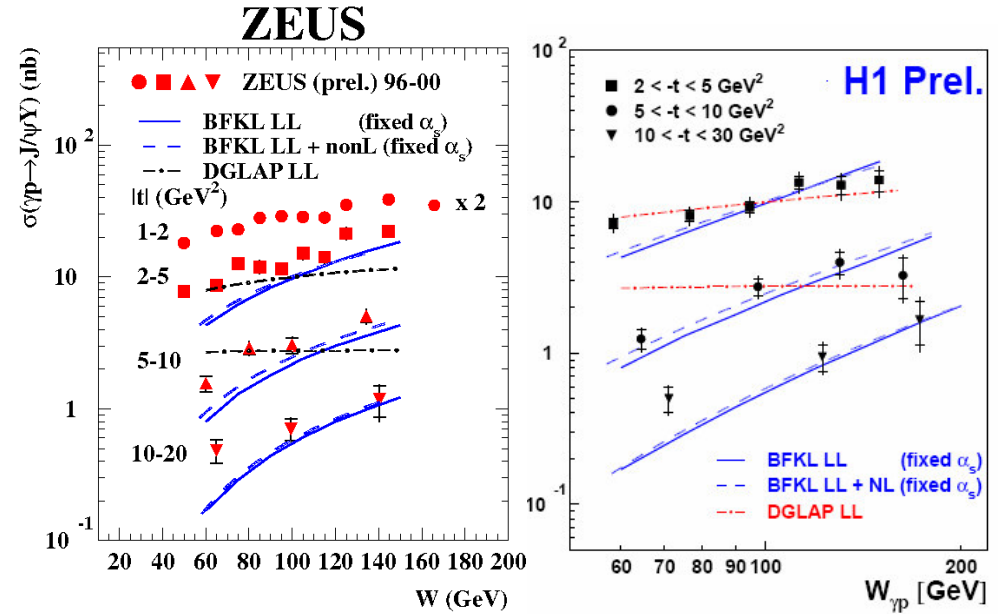
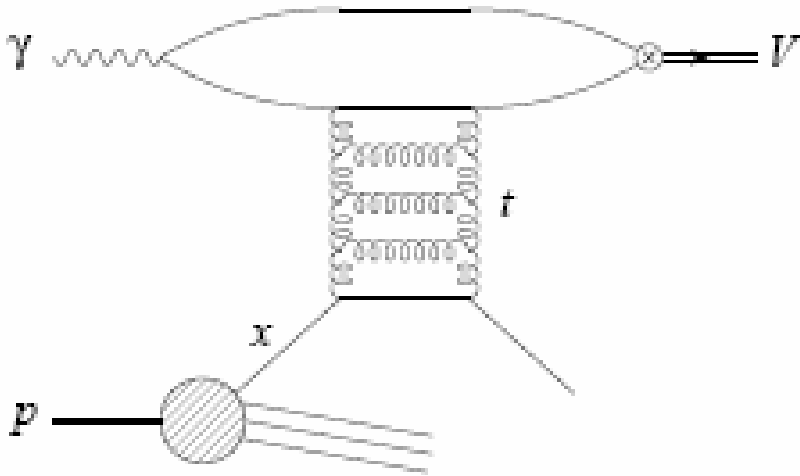
$\chi \sim 5 \cdot 10^{-6}$

Предсказание для АА

Final state	Pb-Pb		Ca-Ca	
	σ	rate (per 10^6 s)	σ	rate (per 10^6 s)
ρ^0	5200 mb	2.6×10^9	120 mb	4.8×10^9
J/ψ	32 mb	1.6×10^7	$390 \mu\text{b}$	1.6×10^7
$\Upsilon(1S)$	$150-500 \mu\text{b}$	80 000–250 000	$2-8 \mu\text{b}$	80 000–320 000



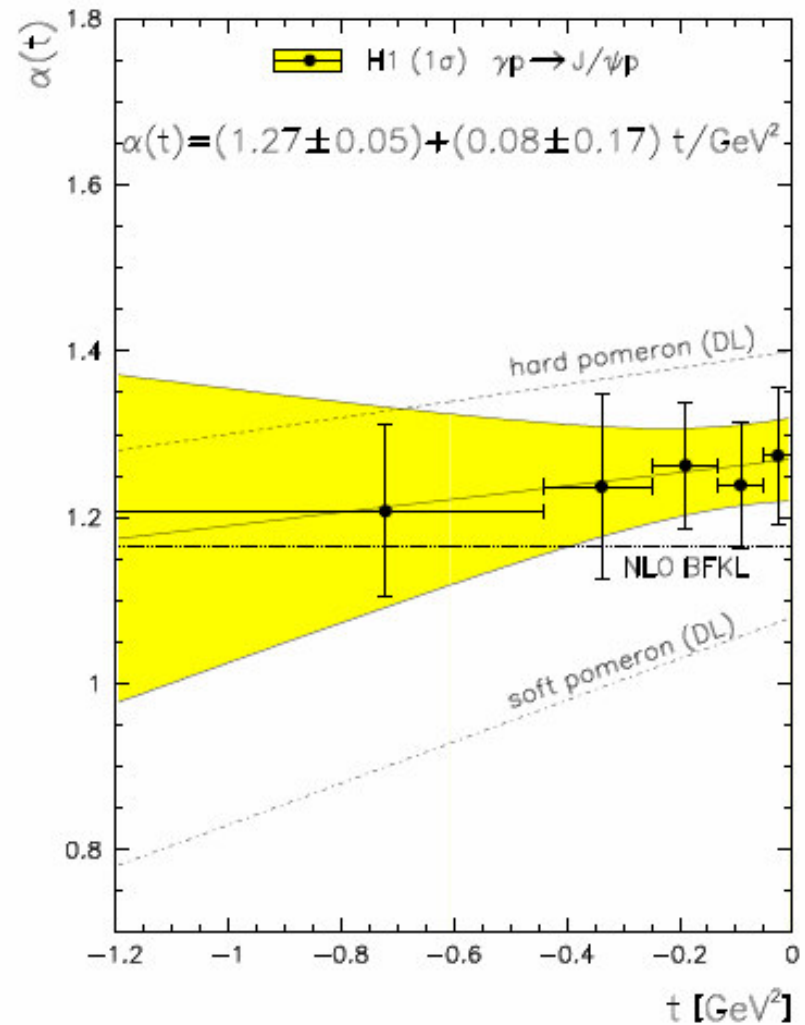
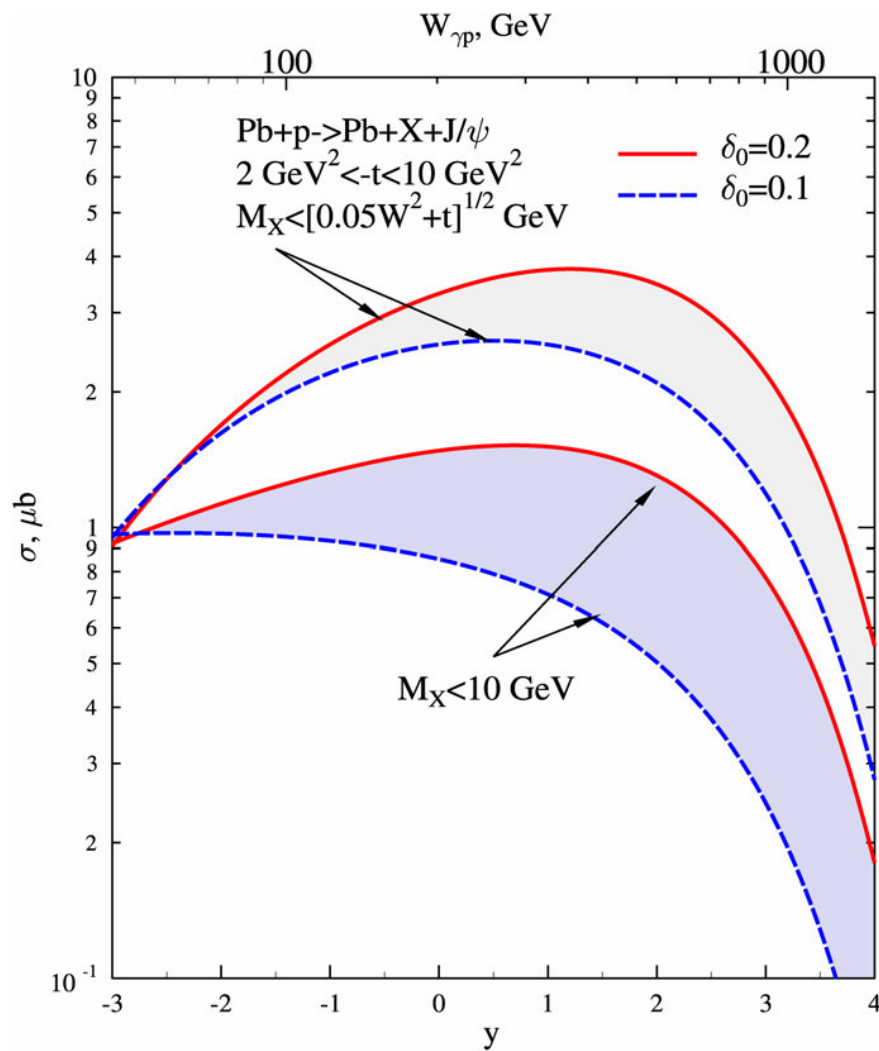
5. Определение эффективной траектории БФКЛ поперечна



В кинематике HERA энергии низкие, $\Delta u \approx 2-4$, для БФКЛ динамики мало.

$$\frac{d\sigma}{dydt} \propto \frac{I(x_{\min}, t)}{t^4} \left(\frac{xS_{pp}}{|t|} \right)^{2\delta_0 + 2\alpha't} \quad \delta_0 = \alpha(0) - 1 \quad \delta(t) = \delta_0 + \alpha't$$

$$I(x_{\min}, t) = \int_{x_{\min}}^1 x^{2\delta(t)} \left[\frac{81}{16} g_p(x, t) + \sum_i [q_{(i)p}(x, t) + \bar{q}_{(i)p}(x, t)] dx \right]$$



Сечение можно измерить до $s \approx 10^6 \text{ ГэВ}^2$ (на HERA
 измерено до $s \approx 4 \cdot 10^4 \text{ ГэВ}^2$) и более надежно определить
 эффективную траекторию жесткого КХД померона