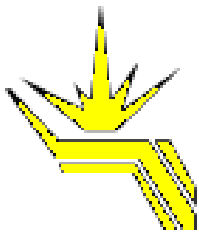


Измерение $\Gamma_{ee} \cdot B_h$ J/ψ мезона в эксперименте КЕДР

Харламова Татьяна

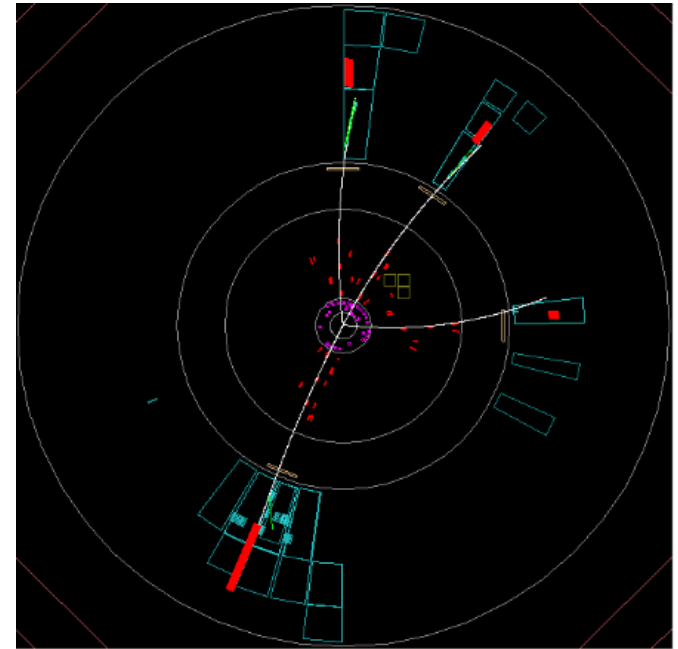


23 июня 2017 г.



План доклада

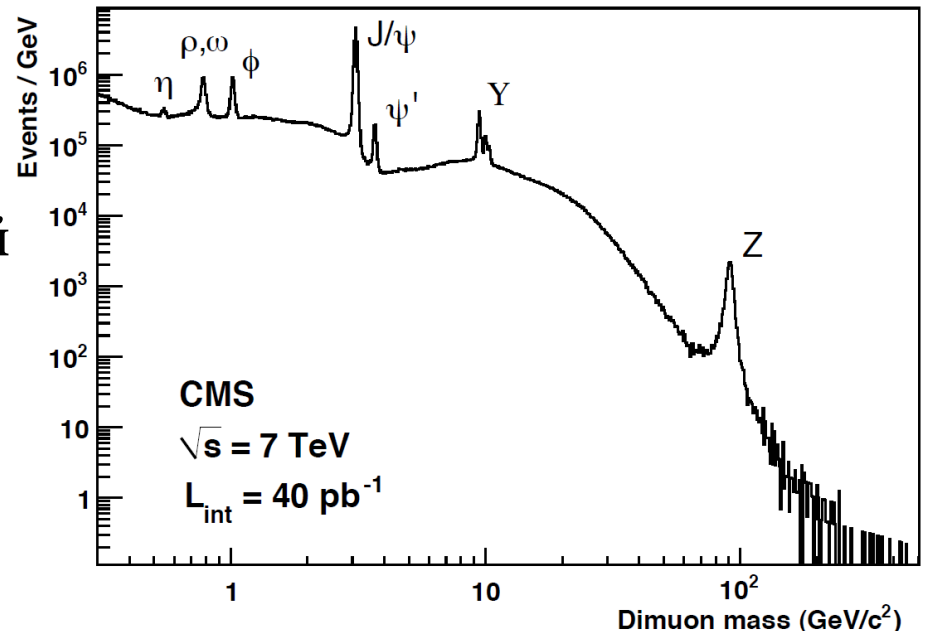
- Вступление
- Ускорительный комплекс ВЭПП-4М и детектор КЕДР
- Описание эксперимента
- Измерение светимости
- Отбор адронных событий
- Анализ данных
- Оценка систематических неопределённостей
- Результаты и заключение



Мотивация

- Полная и лептонная ширины J/ψ -мезона определяются фундаментальными свойствами сильного и электромагнитного взаимодействий c -кварков.
- Точное их знание обеспечивает настройку потенциальных моделей чармония, повышающую предсказательные возможности этих моделей для более сложных кварковых состояний.
- В современных адронных экспериментах, таких как ALICE, ATLAS, CMS, LHCb:

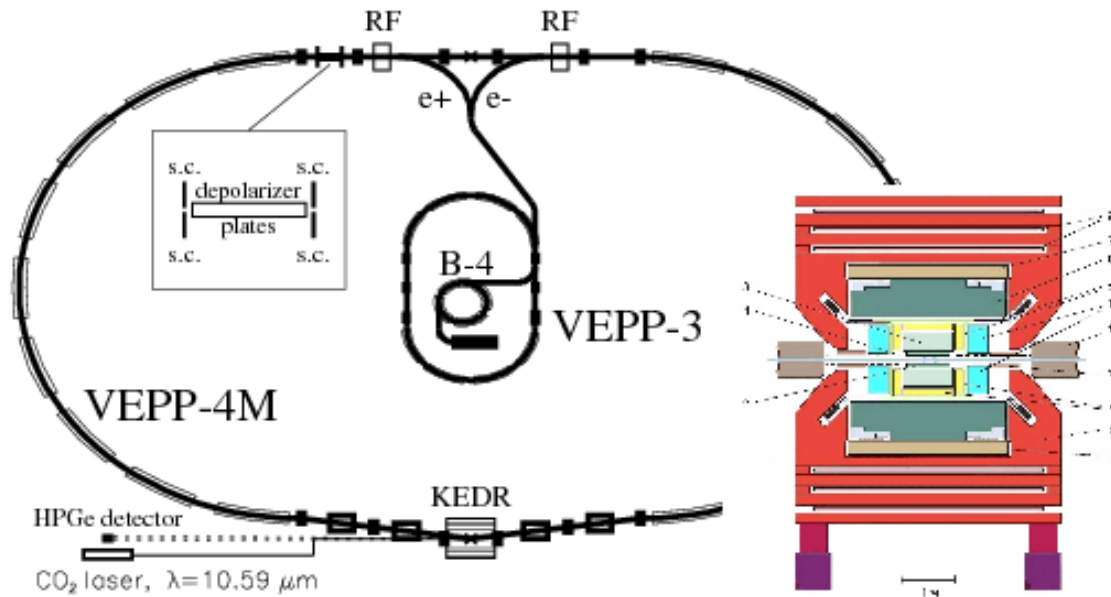
- проверка предсказания различных КХД-моделей,
- методическое значение
- определения эффективностей
- и калибровки детектора.



Вступление

- Лучшее измерение $\Gamma_{ee} \cdot V_h$ было проведено в эксперименте BES в 1995 году с точностью 7 %
- Наиболее точное на сегодня измерение Γ_{ee} (<2%) получается из измерений произведения $\Gamma_{ee} \cdot V_{\mu\mu}$ и вероятности распада $V_{\mu\mu}$
- На коллайдере ВЭПП-4М имеется уникальная возможность измерения энергии пучков с точностью превосходящей 10^{-5} с помощью метода резонансной деполяризации
- Цель эксперимента – получить Γ_{ee} из адронных распадов со сравнимой точностью

Ускорительный комплекс ВЭПП-4М и детектор КЕДР



- Энергия пучка 1 ÷ 6 ГэВ
- Число банчей 2 × 2
- Для $E = 1.5$ ГэВ
 - Ток в пучке 1.5 мА
 - Светимость $10^{30} \frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$

- Измерение энергии методом резонансной деполяризации:
 - Точность однократного измерения $\simeq 1 \times 10^{-6}$
 - Точность интерполяции (5 ÷ 15) × 10⁻⁶ (10 ÷ 30 кэВ)

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow$ адроны

Резонансная часть

Интерференция

$$\sigma_{n.r.}^{hadr}(W) = \frac{12\pi}{W^2} \left\{ \left(1 + \delta_{sf} \right) \left[\frac{\Gamma_{ee}\tilde{\Gamma}_h}{\Gamma M} \text{Im} f(W) - \frac{2\alpha\sqrt{R}\Gamma_{ee}\tilde{\Gamma}_h}{3W} \lambda \text{Re} \frac{f^*(W)}{1-\Pi_0} \right] - \frac{\beta\Gamma_{ee}\tilde{\Gamma}_h}{2\Gamma M} \left[\left(1 + \frac{M^2}{W^2} \right) \arctan \frac{\Gamma W^2}{M(M^2 - W^2 + \Gamma^2)} - \frac{\Gamma M}{2W^2} \ln \frac{\left(\frac{M^2}{W^2} \right)^2 + \left(\frac{\Gamma M}{W^2} \right)^2}{\left(1 - \frac{M^2}{W^2} \right)^2 + \left(\frac{\Gamma M}{W^2} \right)^2} \right] \right\}$$

Вклад жестких фотонов

• Здесь $f(W) = \frac{\pi\beta}{\sin \pi\beta} \left(\frac{W^2}{M^2 - W^2 - iM\Gamma} \right)^{1-\beta}, \quad \beta = \frac{4\alpha}{\pi} \left(\ln \frac{W}{m_e} - \frac{1}{2} \right)$

$$\delta_{sf} = \frac{3}{4}\beta + \frac{\alpha}{\pi} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{1}{2} \right) + \beta^2 \left(\frac{37}{96} - \frac{\pi^2}{12} - \frac{1}{36} \ln \frac{W}{m_e} \right)$$

Сечение процесса $e^+e^- \rightarrow$ адроны

- Учет интерференции

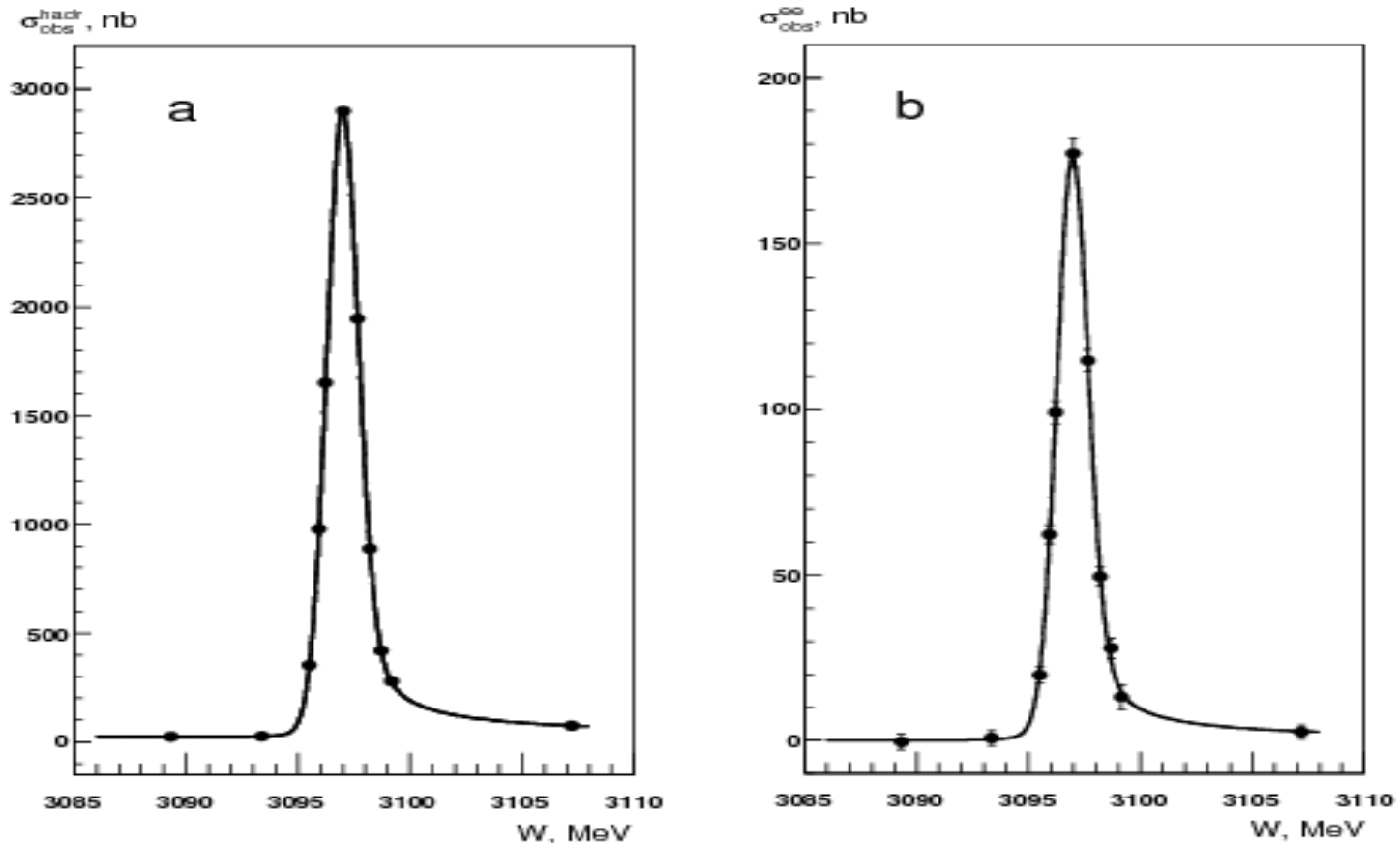
$$\tilde{\Gamma}_h = \Gamma_h \times \left(1 + \frac{2\alpha}{3(1 - \text{Re} \Pi_0) \mathcal{B}_h} \sqrt{\frac{R}{\mathcal{B}_{ee}}} \sum_m \sqrt{b_m \mathcal{B}_m^{(s)}} \langle \sin \phi_m \rangle_\Theta \right)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{R \mathcal{B}_{ee}}{\mathcal{B}_h}} + \sqrt{\frac{1}{\mathcal{B}_h}} \sum_m \sqrt{b_m \mathcal{B}_m^{(s)}} \langle \cos \phi_m \rangle_\Theta$$

- В приближении некоррелированных фаз от разных распадов:

$$\tilde{\Gamma}_h \approx \Gamma_h = \sum_m \Gamma_m \qquad \lambda \approx \sqrt{\frac{R \mathcal{B}_{ee}}{\mathcal{B}_h}} = 0.39$$

Описание эксперимента



Сканирование J/ψ резонанса, апрель 2005 г.

$L = 230 \text{ нбн}^{-1}$, 250 тыс. J/ψ мезонов

$\sigma_W = 0.67 \pm 0.01 \text{ МэВ}$

Процедура подгонки сечения

Одновременная обработка двух каналов:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(N_i^{exp} - N_i^{theor})^2}{N_i^{exp}} + \sum_i \frac{(n_i^{exp} - n_i^{theor})^2}{n_i^{exp}}$$

адроны

электроны

$$N_i^{theor} = L_i \cdot \sigma^{hadr}(W_i)$$

$$n_i^{theor} = L_i \cdot \sigma^{ee}(W_i)$$

Светимость

в каждой точке:

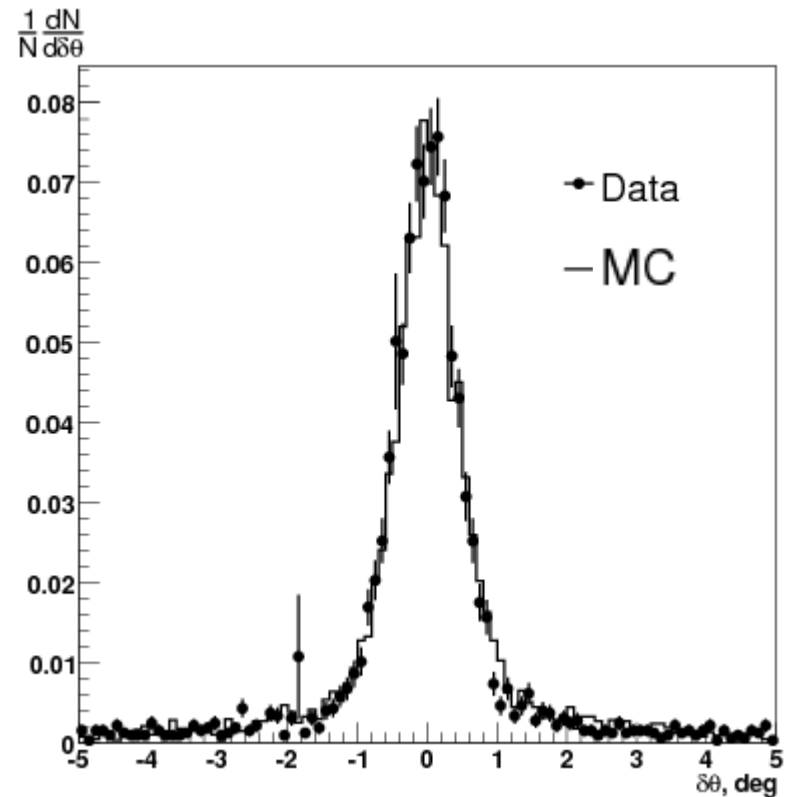
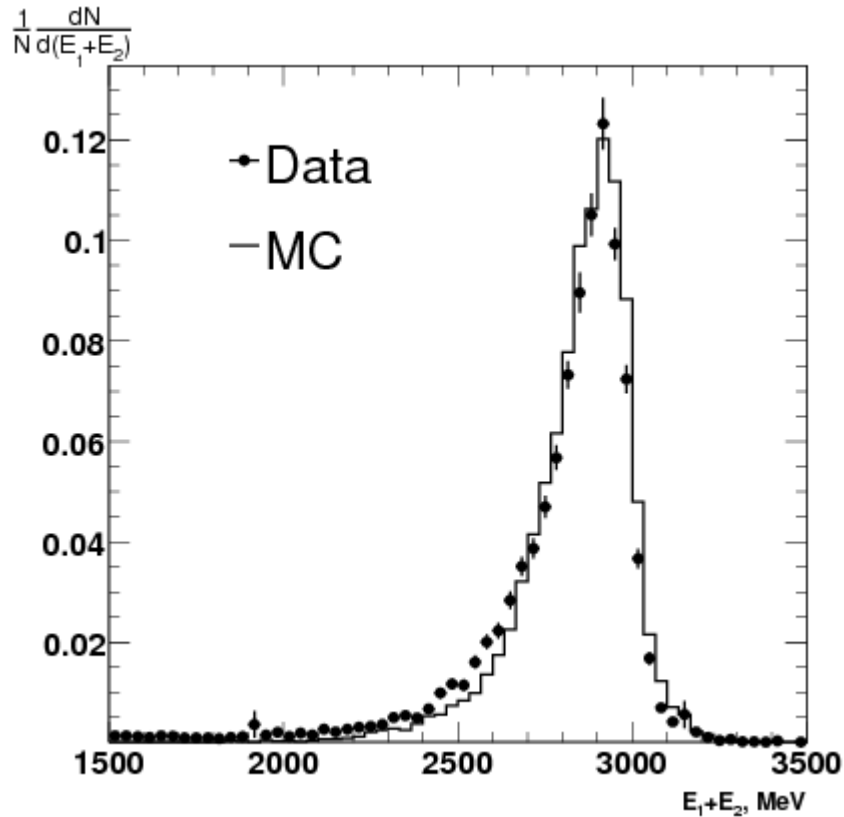
$$L_i = \frac{N_i^{exp} + n_i^{exp}}{\sigma^{hadr}(W_i) + \sigma^{ee}(W_i)}$$

Параметры фитирования:

- лептонная ширина $\Gamma_{ee} \cdot V_h$
- величина подложки
- величина энергетического разброса σ_W
- сдвиг массы Δm

Значения $\Gamma_{ee} \cdot V_{ee}$ и V_{ee} фиксировались по PDG

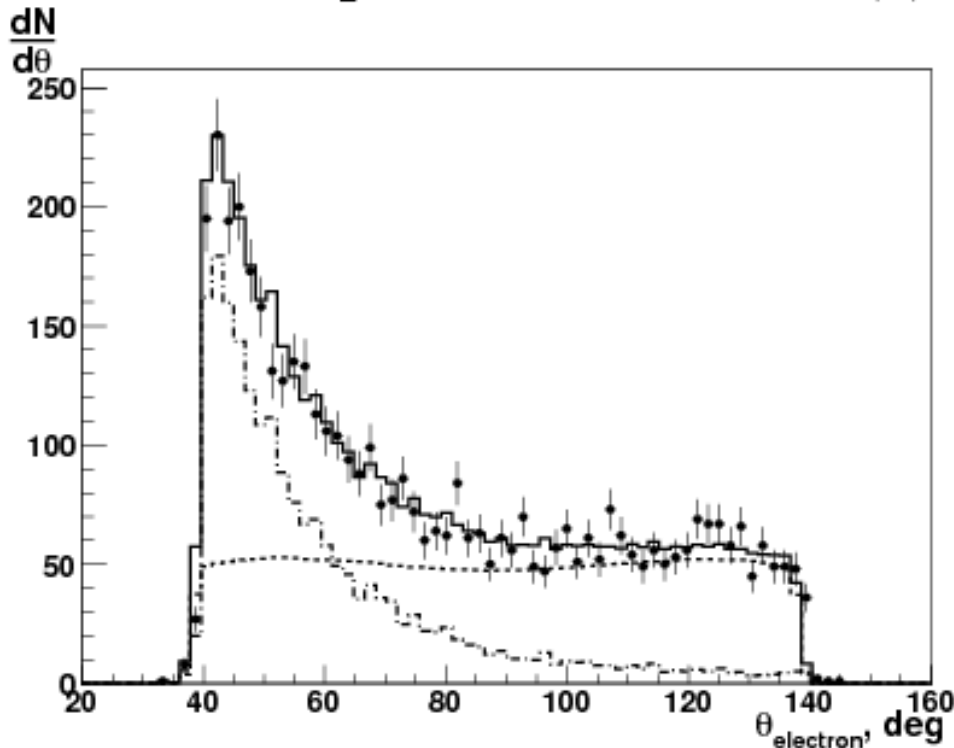
Отбор e^+e^- событий



Для измерения светимости отбирались события с двумя коллинеарными кластерами в LKr калориметре, $(E_1+E_2) > 2000$ МэВ

Измерение светимости

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{ee\rightarrow ee} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{QED}} + \frac{1}{W^2} (1 + \delta_{sf}) \left\{ \frac{9}{4} \frac{\Gamma_{ee}^2}{\Gamma M} (1 + \cos^2 \theta) \text{Im } f - \frac{3\alpha}{2} \frac{\Gamma_{ee}}{M} \left[(1 + \cos^2 \theta) \text{Re} \frac{f^*}{1 - \Pi_0(s)} - \frac{(1 + \cos \theta)^2}{(1 - \cos \theta)} \text{Re} \frac{f^*}{1 - \Pi_0(t)} \right] \right\}.$$



$$N_{\text{teor}} = L \int \varepsilon(\theta) \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) d\Omega + \frac{L}{Lt} N_{\text{sim}}^{\text{QED}}$$

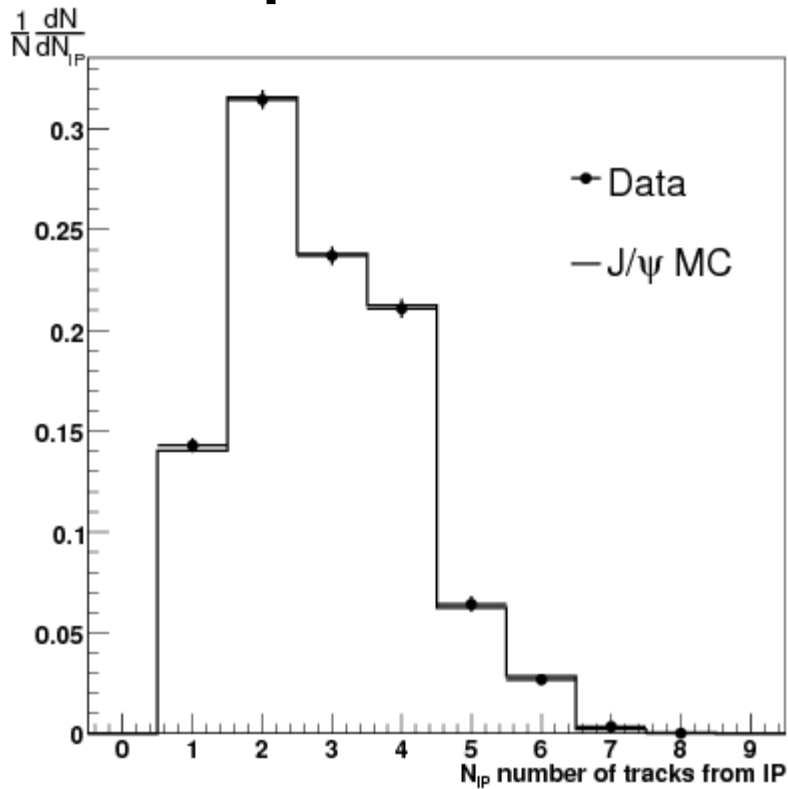
↖
↙

Вклад J/ψ
Электродинамический вклад

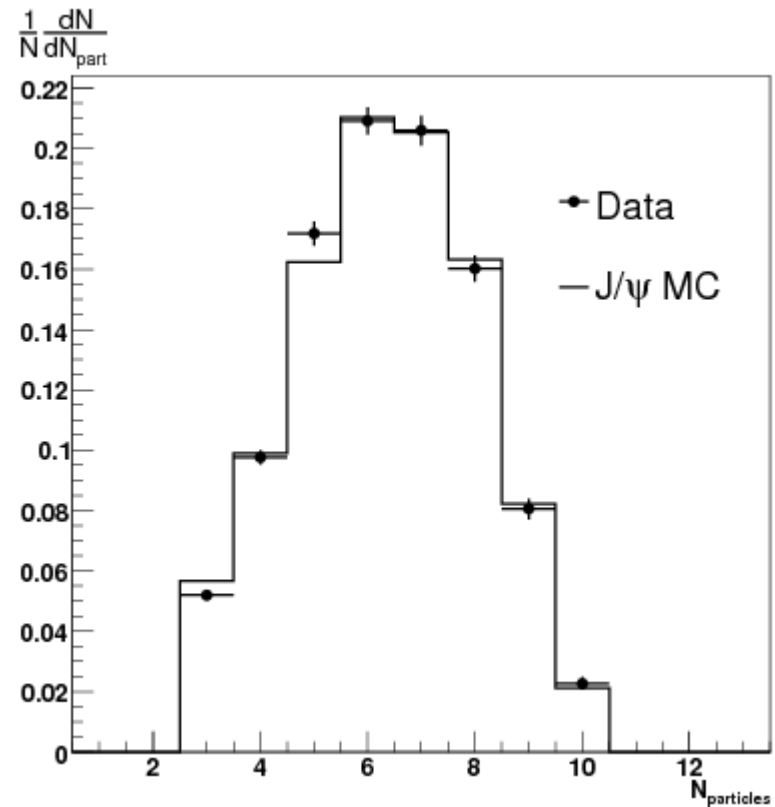
Условия отбора адронов

- Первичный триггер
 - Срабатывание 2 и более не смежных сцинтилляционных счетчика
 - Вето от ближайших к пучку кристаллов торцевого калориметра. Порог AVG 25 МэВ
- Вторичный триггер
 - Две и более заряженные частицы в детекторе по ВД, ДК, LKr
- Адроны
 - Энерговыделение в калориметре (700, 2500) МэВ;
 - Более 15% энергии выделилось в LKr калориметре
 - Хотя бы одна заряженная частица из места встречи:
 $\rho < 0.5$ см, $|z_0| < 13$ см, $P_t > 100$ МэВ;
 - Хотя бы три частицы в детекторе;
 - Моменты Фокса-Вольфрама $N_2/N_0 < 0.9$;
 - «Не космика» по мюонной системе;

Сравнение моделирования и эксперимента

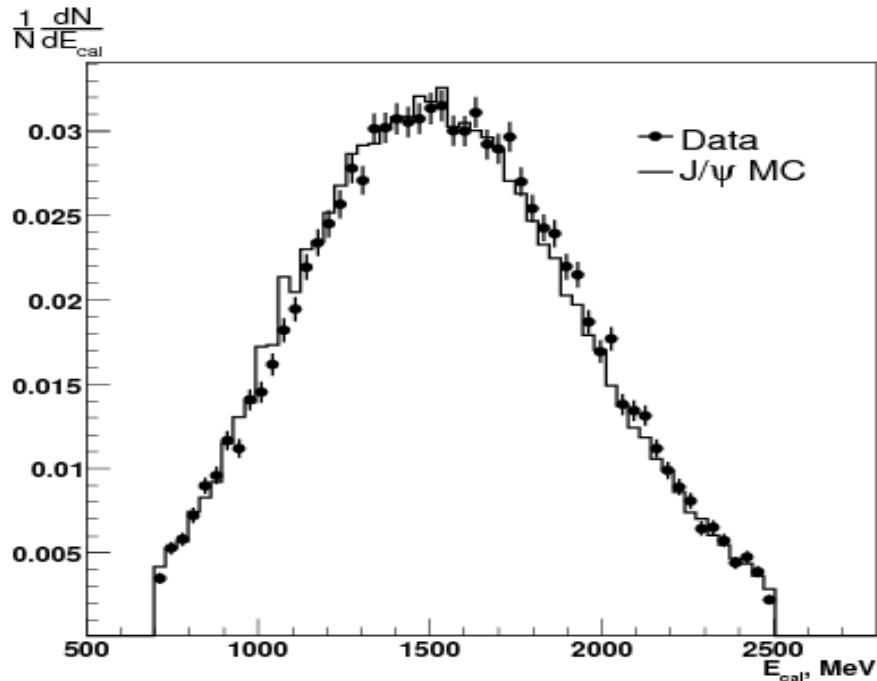


- Заряженная множественность

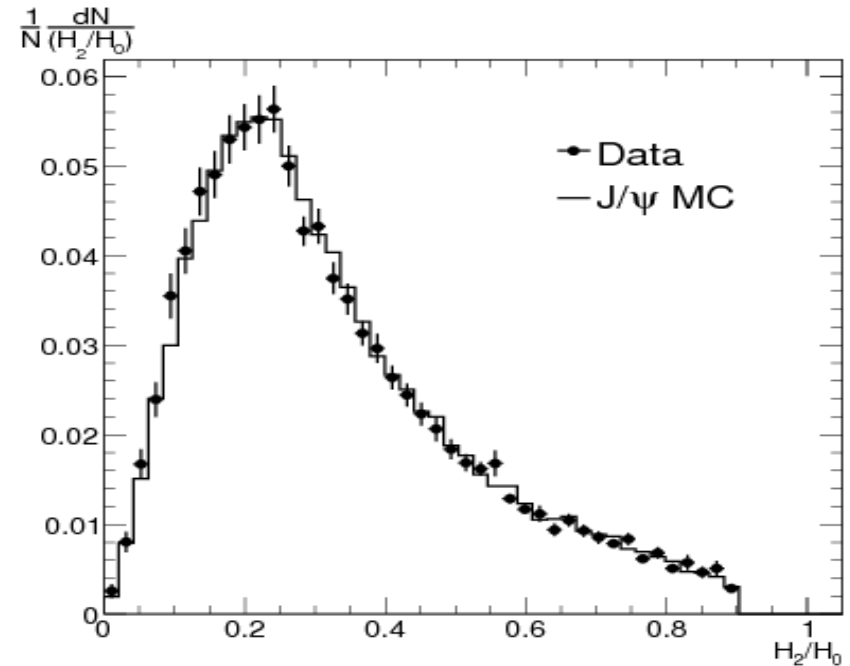


- Полное число частиц в событии

Сравнение моделирования и эксперимента

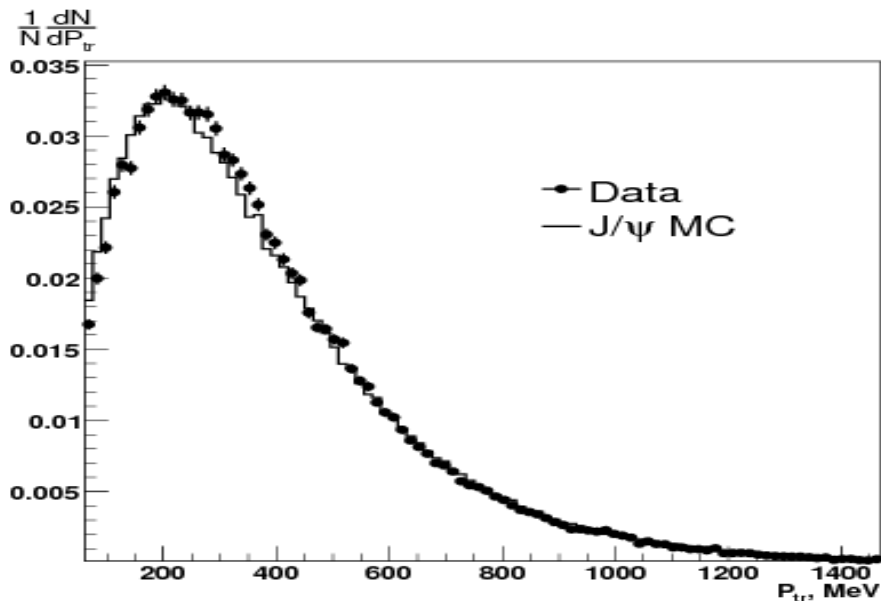
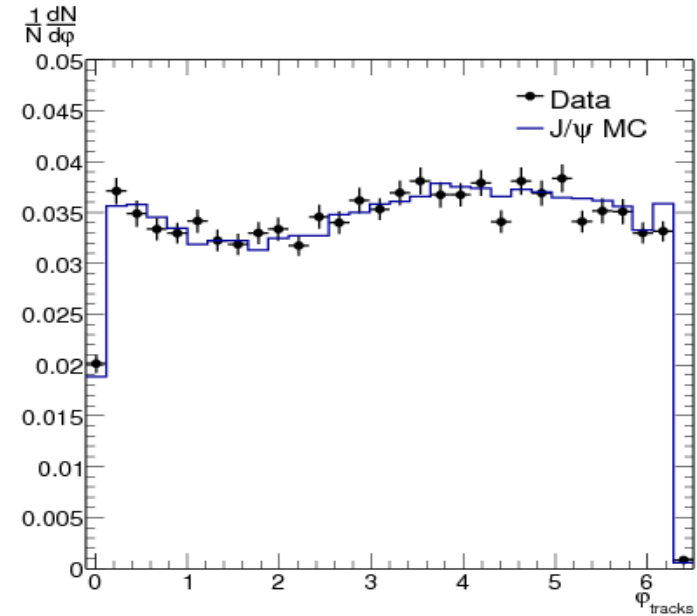
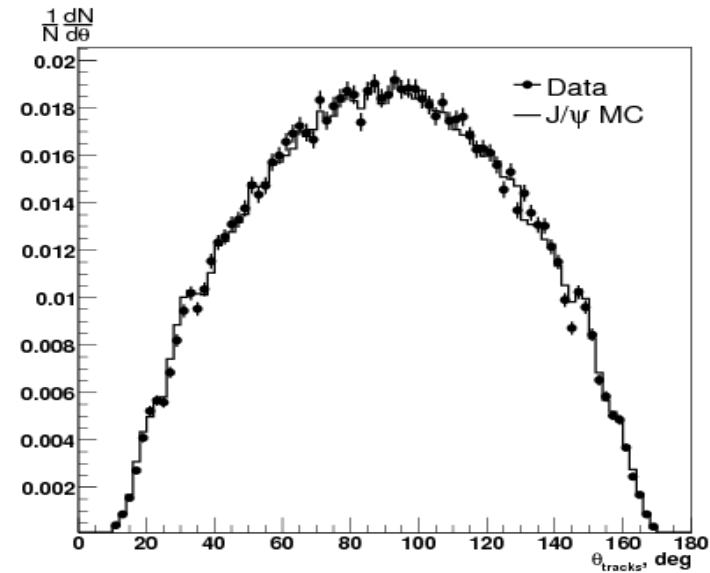


- Условия на энергвыделение подавляет события $e\bar{e}$, $\mu\bar{\mu}$, а также машинные фоны



- Моменты Фокса-Вольфрама позволяют уменьшить фон от коллинеарных событий

Характеристики адронных событий

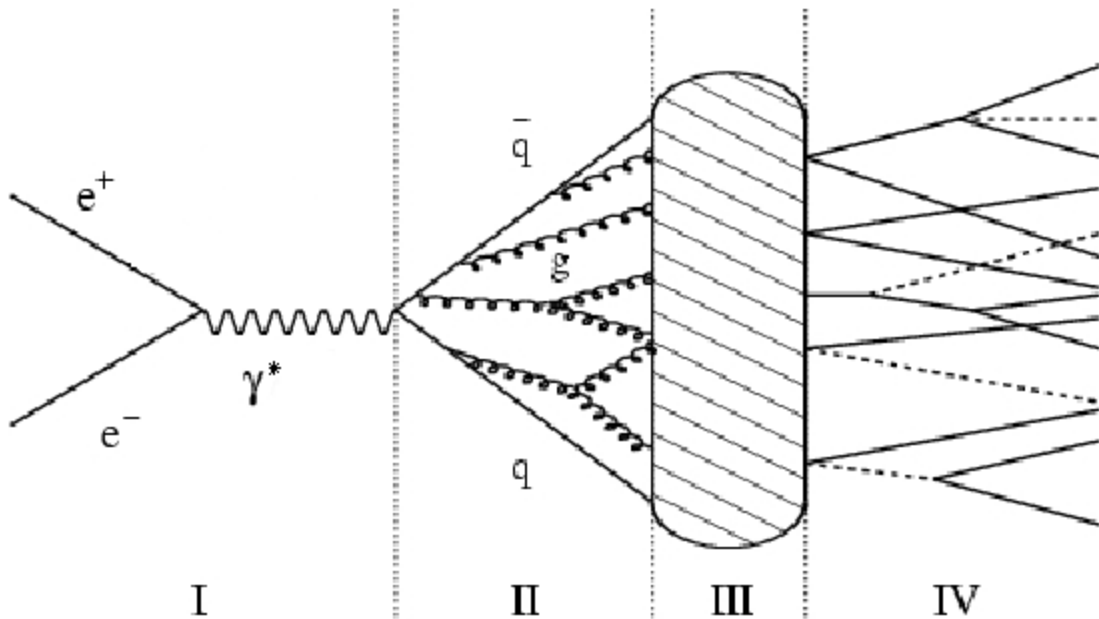


Распределения
по всем трекам
в событии

Моды распадов J/ψ в JetSet

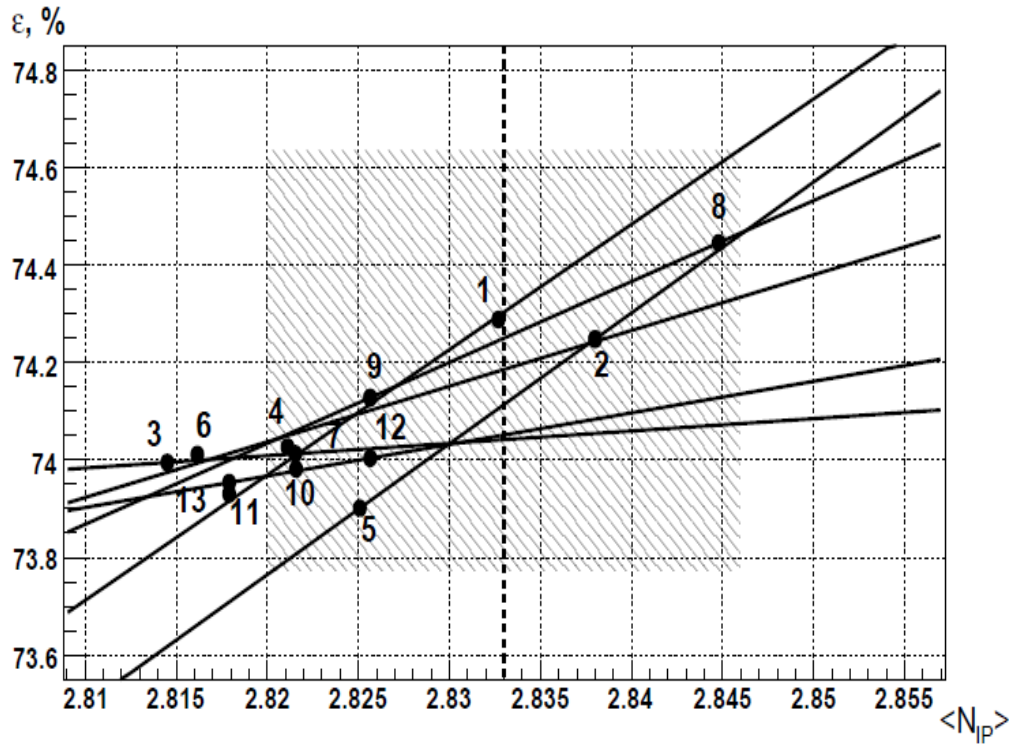
MODE	Вероятность	Частицы
1	0.0594	$e^+ e^-$
2	0.0593	$\mu^+ \mu^-$
3	0.8813	$q \bar{q}$

0.0823 $J/\psi \rightarrow 2$ х частичные
 моды распадов ($\eta\gamma$, $\rho\pi$, $a_2\pi$, $\omega\eta$, ωf_2 ,
 $\omega\rho$, $b_1\pi$, $K\bar{K}$, ϕf_1 , ϕK)
 0.1350 $J/\psi \rightarrow q\bar{q}\bar{q}$
 0.6640 $J/\psi \rightarrow \gamma g g, g g g$



- I. Исходный процесс
- II. Излучение жестких глюонов по теории возмущений
- III. Фрагментация партонов в адроны – лундская струнная модель
- IV. Распад нестабильных частиц

Эффективности регистрации адронов



Процедура оценки эффективности:

- Вариация одного из параметров JetSet
- Выбирался и варьировался дополнительный параметр для согласования $\langle N_{IP} \rangle$
- Определялась зависимость эффективности от множественности

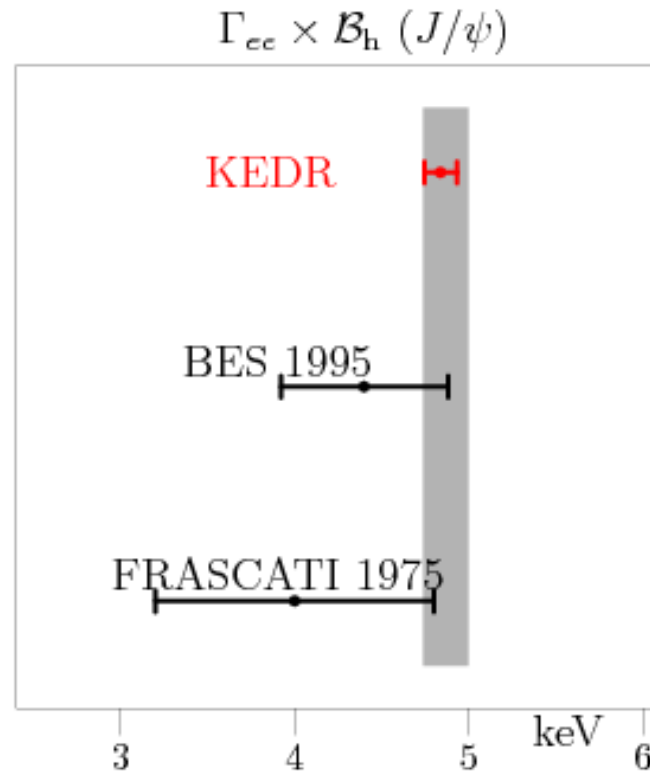
Настройка генератора событий

Version	JETSET modifications		$\langle N_{IP} \rangle$	$\varepsilon, \%$	$k - test$	$\chi^2_{MC-data}/ndf$
	σ_{P_T}, GeV	W_{min}, GeV				
1	0.36	1.0	2.83269	74.288	0.999	3.203/7
	σ_{P_T}, GeV	δW_{stop}				
2	0.6	0.2	2.838	74.248	0.996	4.387/7
3	0.7	0.2	2.816	74.010	0.806	9.596/7
4	0.7	0.17	2.821	74.027	0.933	7.282/7
Switched off parton shower						
5	0.6	0.2	2.825	73.901	0.999	6.697/7
	σ_{P_T}, GeV	W_{stop}, GeV				
6	0.65	0.56	2.815	73.995	0.663	8.497/7
7	0.65	0.52	2.822	74.013	0.903	4.761/7
	σ_{P_T}, GeV	$\delta W_{stop}, GeV$				
8	0.55	0.2	2.845	74.445	0.950	5.924/7
9	0.65	0.2	2.826	74.128	0.954	8.574/7
10	0.65	0.17	2.822	73.982	0.839	13.288/7
11	0.7	0.2	2.818	73.930	0.685	11.234/7
Symmetric fragmentation function						
	a	b				
12	1.0	0.7	2.826	74.004	0.979	10.483/7
13	0.5	0.65	2.818	73.954	0.986	9.514/7

Систематические неопределённости

Источник:	Ошибка, %
Измерение светимости -Калибровка LKг калориметра, вычисление упругого сечения $e e \rightarrow e e$, определение эффективности, вариация условий отбора	1.2
Детекторные неопределенности -Неэффективность триггера, описание ядерного взаимодействия, критерии отбора	0.8
Моделирование адронных событий - Настройка генератора $J/\psi \rightarrow$ адроны, моделирование потери трека	0.7
Ускорительные неопределенности -Измерение энергии в точке, машинный фон, не-гауссовость распределения по энергии в пучке	0.4
Остальные неопределенности -расчет сечения, модель интерференции. численное интегрирование, вариация $\Gamma_{ee} V_{ee}$	0.2
Квадратичная сумма	1.7

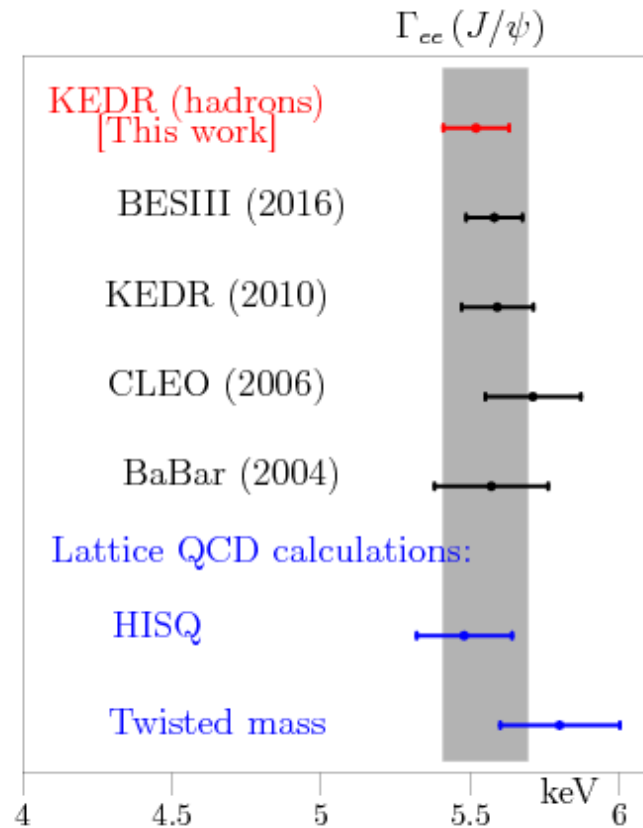
Результаты измерений



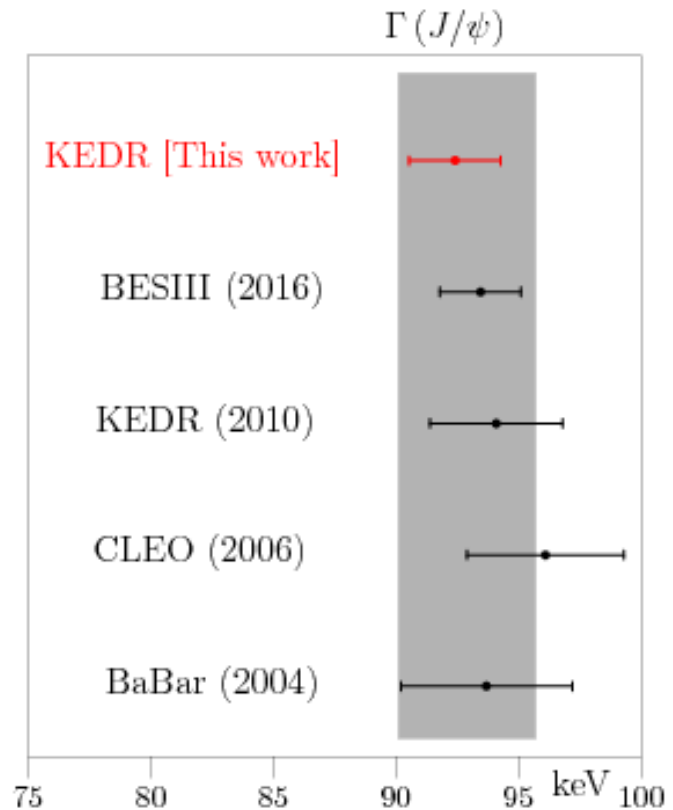
$$\Gamma_{ee} \cdot \mathcal{B}_h = 4.839 \pm 0.046(\text{стат.}) \pm 0.082(\text{сист.}) \text{ кэВ}$$

Ожидаемое значение $\lambda = 0.39$ фиксировалось при подгонке.
 При проверке систематик $\lambda = 0.36 \pm 0.14$

Результаты для Γ_{ee} и $\Gamma(J/\psi)$



$$\Gamma_{ee} = 5.52 \pm 0.11 \text{ кэВ}$$



$$\Gamma_e = 92.4 \pm 1.9 \text{ кэВ}$$

Используя $B_h(J/\psi) = (87.7 \pm 0.5)\%$ и $B_{ee}(J/\psi) = (5.971 \pm 0.032)\%$ из PDG

Заключение

- Измерена величина

$$\Gamma_{ee} \cdot B_h (\text{J}/\psi) = 4.839 \pm 0.094 \text{ кэВ}$$

Точность измерения составила 1.9 %

- С использованием $B_h(\text{J}/\psi)$ и $B_{ee}(\text{J}/\psi)$ получены величины:

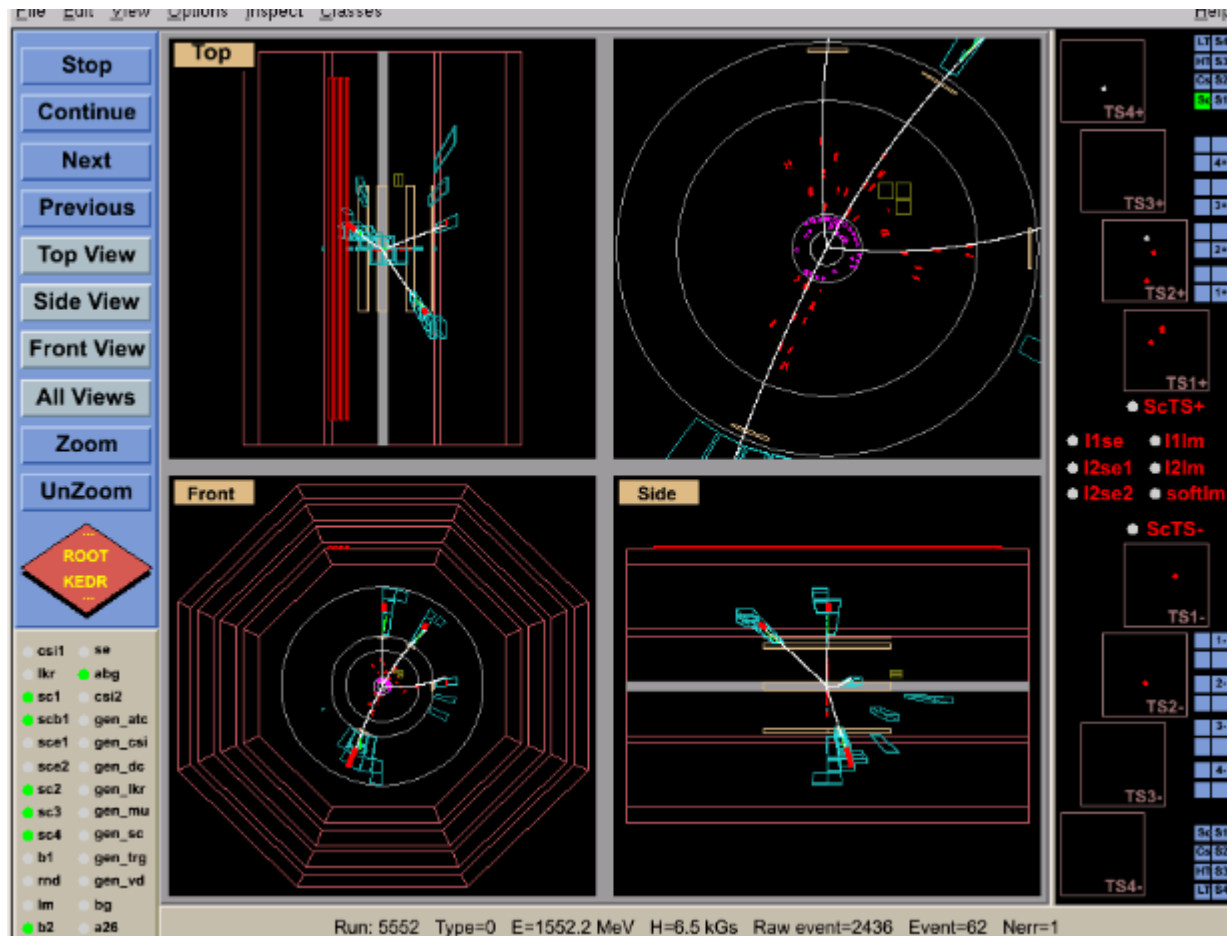
$$\Gamma_{ee} (\text{J}/\psi) = 5.52 \pm 0.11 \text{ кэВ}$$

$$\Gamma (\text{J}/\psi) = 92.4 \pm 1.9 \text{ кэВ}$$

Точность измерения составила 2 %

- Подготовлен текст статьи

Спасибо за внимание!



Отбор e^+e^- событий

- 2 кластера с энергией > 450 МэВ каждый
- Суммарная энергия этих двух кластеров > 2 ГэВ
- Кластеры лежат в диапазоне углов от 41 до 139° от оси пучков
- Расколлинearность по углу θ менее 7° , по углу φ - 10°
- Выделившаяся в калориметре энергия, не приписанная этим двум кластерам, меньше 20% от энергии пучков
- ≤ 3 дополнительных кластеров с энергией > 40 МэВ
- ≤ 2 дополнительных кластеров с энергией > 80 МэВ
- Сферичность по заряженным трекам < 0.05

Систематические неопределенности определения светимости

Source	%
Calorimeter alignment in respect to DC	0.2
Detection efficiency $\varepsilon_{ee}(\theta)$ calculation	0.3
Calorimeter response	0.3
Cross section calculation	0.4
MC statistics	0.2
Cuts variation	1.0
Sum in quadrature	1.2

Cut condition	Condition variation	%
θ_{min} cut	40-50 °	0.6
$(E_1 + E_2)$	1800-2200 MeV	0.5
$\Delta\theta$ acollinearity	5.2-8.6 °	0.3
$E_{cal} - (E_1 + E_2)$	no cut	0.3
max S_{ch}	0.02 - 0.08	0.3
$\Delta\phi$ acollinearity	no cut	0.3
n_{40}, n_{80}	no cut	0.2
Sum in quadrature		1.0

Систематические неопределенности

Source	%	Source	%
$J/\psi \rightarrow hadrons$ generator tuning	0.6	Nuclear interaction	0.2
Selection of MC samples for tuning	0.3	Tracking P_t/θ resolutions	0.2
MC statistics	0.3	Trigger efficiency	0.5
Efficiency of track reconstruction	0.1	Cuts variation	0.6
Measured PDG branchings	0.1	Sum in quadrature	0.8
Sum in quadrature	0.7		

Source	%	Cut condition	Condition variation	%
Collider background	0.2	Muon system	Tof time, $N_{tracks} > 1$	0.4
Non gaussian energy distribution	0.2	E_{cal}	500-2700 MeV	0.3
Energy interpolation	0.3	E_{LKr}/E_{cal}	$E_{LKr}/E_{cal} > 0$	0.3
Sum in quadrature	0.4	N_{IP}	$\rho < 1.5$ cm, $z_0 < 18$ cm, $P_t > 60$ MeV, $N_{IP} > 1$	0.2
		H_2/H_0	$H_2/H_0 < 1$	0.1
		Sum in quadrature		0.6

Precision test of J/ψ from full lattice QCD

f_v – vector meson decay constant

$$\langle 0 | \bar{\psi} \gamma^i \psi | v \rangle = f_v m_v \epsilon^i \quad \Gamma(v_h \rightarrow e^+ e^-) = \frac{4\pi}{3} \alpha_{QED}^2 e_h^2 \frac{f_v^2}{m_v}$$

