

Сравнение лептонных ширин $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$ J/ψ -мезона

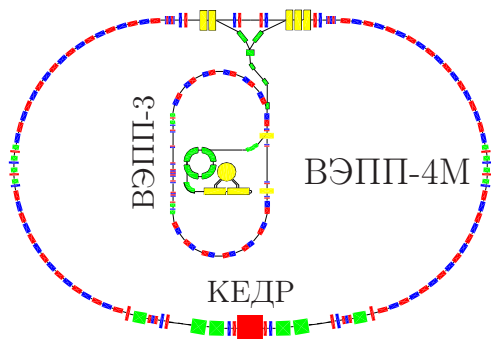
Е. М. Балдин

КЕДР/ВЭПП-4М

Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера
Новосибирск, 2013

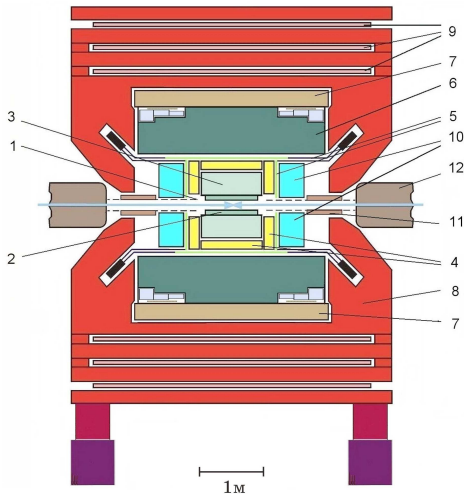


- 1 ВЭПП-4М/КЕДР
- 2 Теория
- 3 Эксперимент
- 4 Подсчёт числа распадов $J/\psi \rightarrow \ell^+ \ell^-$
- 5 Отбор событий
- 6 Моделирование
- 7 Систематические неопределённости
- 8 Результат



- Энергия пучка $1 \div 6$ 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 $(5 \div 15) \times 10^{-6}$ (10 ÷ 30 кэВ)
- Метод обратного комптоновского рассеяния:
 - Статистическая точность $\simeq 5 \times 10^{-5}$ / 30 минут
 - Систематическая точность $\simeq 3 \times 10^{-5}$ (50 ÷ 70 кэВ)



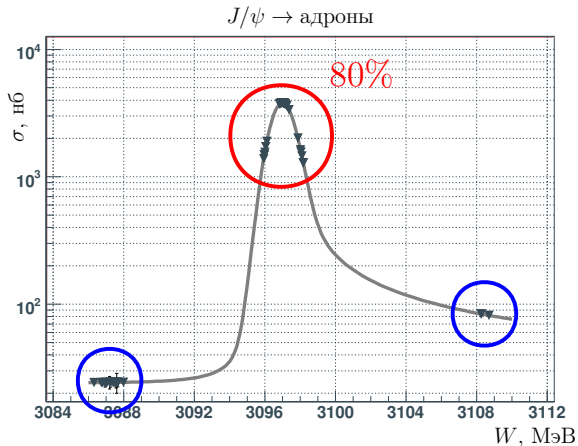
- ❶ Вакуумная камера
- ❷ Вершинный детектор
- ❸ Дрейфовая камера
- ❹ Аэрогелевые черенковские счётчики
- ❺ Времяпролётная система
- ❻ LKr калориметр
- ❼ Сверхпроводящая катушка
- ❽ Ярмо магнита
- ❾ Мюонная система
- ❿ Торцевой CsI калориметр
- ⓫ Компенсирующие катушки
- ⓬ Квадрупольные линзы

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{ee\rightarrow ee} = \frac{1}{M^2} (1 + \delta_{rc}) \left\{ \frac{9}{4} \frac{\Gamma_{e^+e^-}^2}{\Gamma M} (1 + \cos^2 \theta) \operatorname{Im} \mathcal{F} - \frac{3\alpha}{2} \frac{\Gamma_{e^+e^-}}{M} \left[(1 + \cos^2 \theta) - \frac{(1 + \cos \theta)^2}{(1 - \cos \theta)} \right] \operatorname{Re} \mathcal{F} \right\} + \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{КЭД}}^{ee\rightarrow ee}$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{ee\rightarrow \mu\mu} = \frac{1}{M^2} (1 + \delta_{rc}) \left\{ \frac{9}{4} \frac{\Gamma_{e^+e^-} \Gamma_{\mu^+\mu^-}}{\Gamma M} \operatorname{Im} \mathcal{F} - \frac{3\alpha}{2} \frac{\sqrt{\Gamma_{e^+e^-} \Gamma_{\mu^+\mu^-}}}{M} \operatorname{Re} \mathcal{F} \right\} (1 + \cos^2 \theta) + \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{КЭД}}^{ee\rightarrow \mu\mu}$$

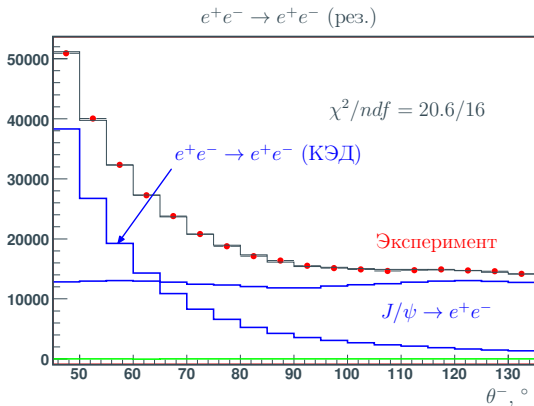
where $\mathcal{F} = \frac{\pi\beta}{\sin \pi\beta} \left(\frac{\frac{M}{2}}{-W + M - \frac{i\Gamma}{2}} \right)^{1-\beta}$, $\beta = \frac{4\alpha}{\pi} \left(\ln \frac{W}{m_e} - \frac{1}{2} \right) \simeq 0.077$

В интерференционных слагаемых опущены поправки, связанные с поляризацией вакуума.



В период с 19 декабря 2007 г. по 26 января 2009 г. в окрестностях J/ψ -резонанса было набрано $\sim 2.1 \text{ пб}^{-1}$ ($\sim 6.5 \cdot 10^6$ распадов J/ψ).

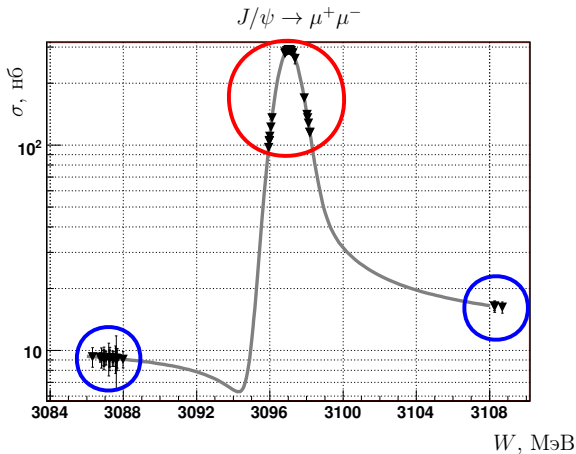
Подсчёт числа распадов $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ (резонанс)



$$\frac{dN_{ee}^{\text{эксп.}}}{d\theta} = aN_0^{\text{мод.}} \left(\text{Res}(\theta) + \frac{2\alpha}{3\mathcal{B}_{ee}} \langle F_{\text{рез.}}(E) \rangle \text{Int}(\theta) \right) + L_{\text{рез.}} \left(\frac{d\sigma}{d\theta} \right)_{\text{КЭД}}$$

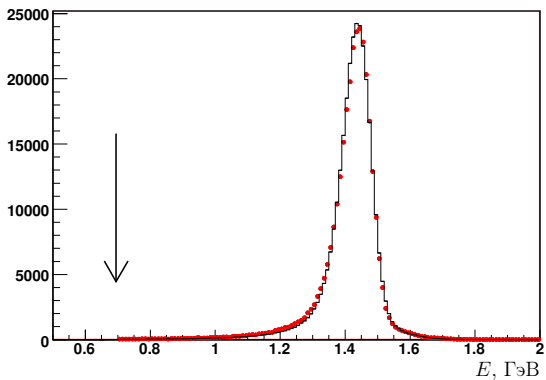
$$N_{J/\psi \rightarrow ee} = \frac{aN_0^{\text{мод.}}}{\mathcal{E}_{J/\psi \rightarrow ee}}, \quad \frac{\delta N_{J/\psi \rightarrow ee}}{N_{J/\psi \rightarrow ee}} = 0.33\%$$

Подсчёт числа распадов $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$

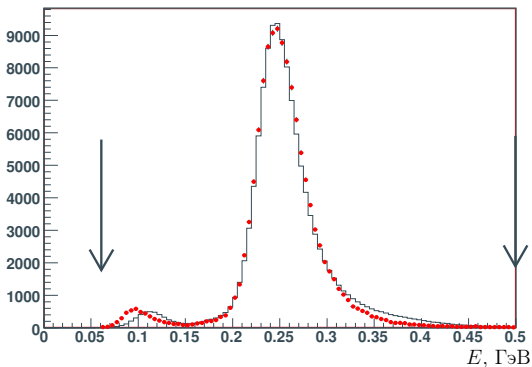


$$N_{J/\psi \rightarrow \mu\mu} = \frac{\left\{ N_{\text{рез.}}^{\text{эксп.}} - N_{\text{интер.}}^{\text{теор.}} - \frac{L_{\text{рез.}}}{L_{\text{подл.}}} \times \left(N_{\text{подл.}}^{\text{эксп.}} - N_{\text{интер.}}^{\text{теор.}} \right) \right\}}{\epsilon_{J/\psi \rightarrow \mu\mu}}, \quad \frac{\delta N_{\mu\mu}}{N_{\mu\mu}} = 0.29\%$$

- 1 Ровно два заряженных трека разных знаков, исходящих из одной точки в области встречи пучков;
- 2 $E_{\text{all}} - (E_+ + E_-) < 0.15 \text{ ГэВ}$;
- 3 Расколлинеарность по θ и по φ для частиц не превышает 10° ;
- 4 $p_{\pm} > 0.5 \text{ ГэВ}$,



- 5 $E_{\pm} > 0.7 \text{ ГэВ}$;
- 6 $\theta^- \in 41 \div 139^\circ$, $\theta^+ \in 38 \div 142^\circ$.



- ⑤ $0.06 \text{ GeV} < E_{\pm} < 0.5 \text{ GeV}$;
- ⑥ $\theta^- \in 49 \div 131^\circ$, $\theta^+ \in 46 \div 134^\circ$;
- ⑦ $|t^{\pm} \times \sin(\theta^{\pm}) - t_{90^\circ}| < 3 \times \sigma_t$, где $t_{90^\circ} = 2.40 \text{ нс}$, $\sigma_t = 0.36 \text{ нс}$;
- ⑧ Требуется отклик μ^- в мюонной системе.

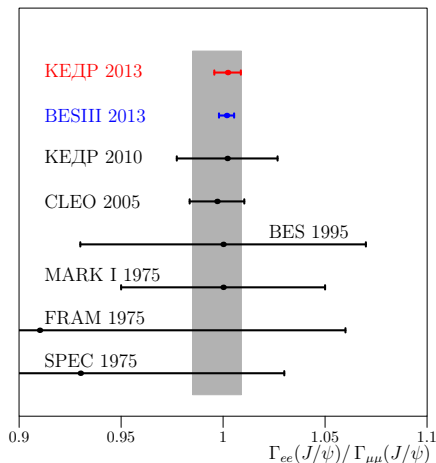
- $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$
 - Резонансный вклад $\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto (1 + \cos^2 \theta) + \text{PHOTOS}$
 - Интерференционные слагаемые с угловыми распределениями $(1 + \cos^2 \theta)$ and $(1 + \cos^2 \theta)^2 / (1 - \cos \theta) + \text{PHOTOS}$
 - $d\sigma_{\text{КЭД}}/d\theta$ (баба-рассеяние) BHWIDE и MCGPJ
- $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-(\gamma)$
 - Резонансный вклад $\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \beta \times (1 + \cos^2 \theta + (1 - \beta^2) \times \sin^2 \theta) + \text{PHOTOS}$
 - Интерференционное слагаемое $\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto (1 + \cos^2 \theta) + \text{PHOTOS}$
- Фон
 - $J/\psi \rightarrow$ адроны генератор BES
 - $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ BABAYAGA

В события моделирования добавлялись шумы, полученные во время эксперимента с помощью «случайного запуска».

Источник	Поправка, %	Ошибка, %
Интерференция		
Светимость (отн.)		0.01
Измерение энергии		0.02
Рад. поправки		0.10
Фоны		
$J/\psi \rightarrow$ адроны	-0.05	0.10
$e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$	-0.07	
Космика		0.07
Моделирование		
Баба-рассеяние		0.11
PHOTOS	+0.20	0.02
продолжение следует		

Систематические неопределённости (2)

Источник	Поправка, %	Ошибка, %
Триггер		
первичный	-0.70	0.20
вторичный	-1.17	0.11
Отбор событий		
трековая система	+1.18	0.10
калориметр	+0.27	0.10
мюонная система	-0.12	0.04
Ограничение по θ		0.10
Определение угла θ		0.14
Асимметрия отбора		0.14
Потеря времён в ToF	-22.3	0.26
Итого		0.48



$$\Gamma_{e^+e^-}(J/\psi)/\Gamma_{\mu^+\mu^-}(J/\psi) = 1.0022 \pm 0.0044 \pm 0.0048 \text{ (0.65\%)}$$

Итоговый результат

Что это даст?

- Уточнение массы c -кварка m_c

Что нужно сделать?

Что это даст?

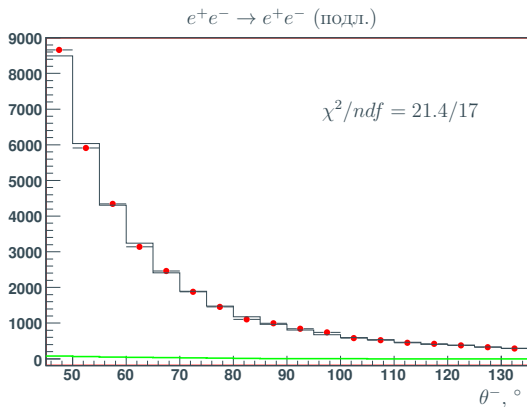
- Уточнение массы c -кварка m_c

Что нужно сделать?

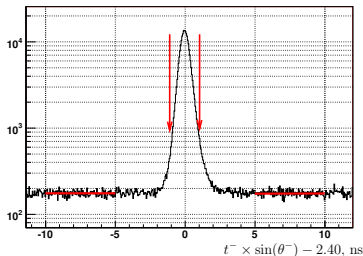
- Изучить стабильность энергетического разброса. Есть основания полагать, что она лучше 0.7%.
- Измерение энергии. Рассмотреть разные интерполяции, оценить систематику, и отбросить «проблемные» заходы.
- Двухчастичный генератор с излучением в конечном состоянии на замену или для проверки PHOTOS.
- Провести ревизию всех рассмотренных здесь систематических неопределённостей.

Число событий	N_{ee}	$N_{\mu\mu}$
набранных в «пике»	425786 ± 658	162515 ± 406
КЭД (фон)	190345 ± 770	5750 ± 181
$J/\psi \rightarrow$ адроны (фон)	373	215
$J/\psi \rightarrow \ell\ell$	235298 ± 774	156550 ± 446
Эффективность	$\varepsilon_{ee}, \%$	$\varepsilon_{\mu\mu}, \%$
ε_{ToF}		77.78
ε	60.14	51.55
N/ε	391281 ± 1287	390412 ± 1113

Подсчёт числа событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (подложка)



$$\frac{dN_{ee}^{\text{эксп.}}}{d\theta} = L_{\text{подл.}} \left\{ \langle b(E) \rangle N_0^{\text{sim}} \left(\text{Res}(\theta) + \frac{2\alpha}{3B_{ee}} \langle F_{\text{подл.}}(E) \text{Int}(\theta) \rangle \right) + \left(\frac{d\sigma}{d\theta} \right)_{\text{кЭД}} \right\}$$



$$\varepsilon_{\text{ToF}}^{\mu\mu} = \varepsilon_{\mu^+}(\text{ограничения на } \mu^-) \times \varepsilon_{\mu^-}(\text{ограничения на } \mu^+) = (77.78 \pm 0.12 \pm 0.03)\%$$

Проверка на возможную корреляцию $\varepsilon_{\mu^+(\mu^-)}$, $\varepsilon_{\mu^-(\mu^+)}$:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{ToF}}^{ee} \text{ real} = 76.35\% \\ \varepsilon_{e^+(e^-)} \times \varepsilon_{e^-(e^+)} = 76.51\% \end{cases} \Rightarrow \frac{\delta \varepsilon_{\text{ToF}}}{\varepsilon_{\text{ToF}}} = 0.21\%$$

The formulae used in this analysis are based on the analytical expression of radiative correction intergal in the soft photon approximation (SPA) first obtained in Y. I. Azimov *et al.*, JETP Lett. **21** (1975) 172.

The accuracy improved using E. A. Kuraev and V. S. Fadin, Sov. J. Nucl. Phys. **41** (1985) 466. as described in V. V. Anashin *et al.*, Phys. Lett. B **711** (2012) 280

In the SPA the formulae are equivalent to that of R. N. Cahn Phys. Rev. D **36** (1987) 2666 corrections beyond SPA are not essential for this analysis.

► Cross section



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

[Kuraev and Fadin, Sov. J. Nucl. Phys. 41, 466–472, 1985]

► Cross section

$$\langle F(E) \rangle = \frac{\sum L_i^{1\gamma} \operatorname{Re} \mathcal{F}(E_i)}{\sum L_j^{1\gamma} \operatorname{Im} \mathcal{F}(E_j)} \times \left(1 - \frac{\int \frac{(1+\cos\theta)^2}{(1-\cos\theta)} d(\cos\theta)}{\int 1 + \cos^2\theta d(\cos\theta)} \right),$$

$$\langle b(E) \rangle = \frac{\sum L_i^{1\gamma} \operatorname{Im} \mathcal{F}(E_i)}{\sum L_j^{1\gamma}},$$

where $L_{1\gamma}$ — integrated luminosity by single bremsstrahlung.

▶ $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ event counting

▶ $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (continuum)