

Экспериментальное определение

$$\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma \text{ и } \Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$$

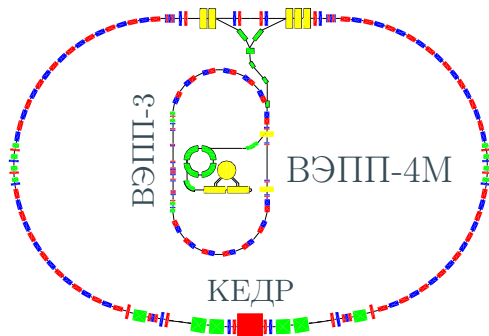
J/ψ -мезона

Е. М. Балдин

КЕДР/ВЭПП-4М

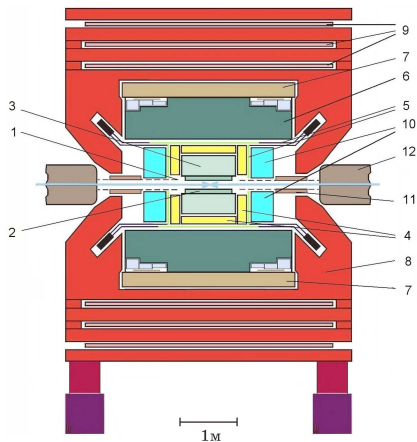
Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера
Новосибирск

- 1 Введение
- 2 ВЭПП-4М/КЕДР
- 3 Сканирование J/ψ
- 4 Теория
- 5 Экспериментальное определение $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$
 - Обработка данных
 - Эксперимент
 - Систематические неопределённости
- 6 Экспериментальное определение $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$
 - Обработка данных
 - Эксперимент
 - Систематические неопределённости
- 7 Результат
- 8 Сравнение с мировыми результатами

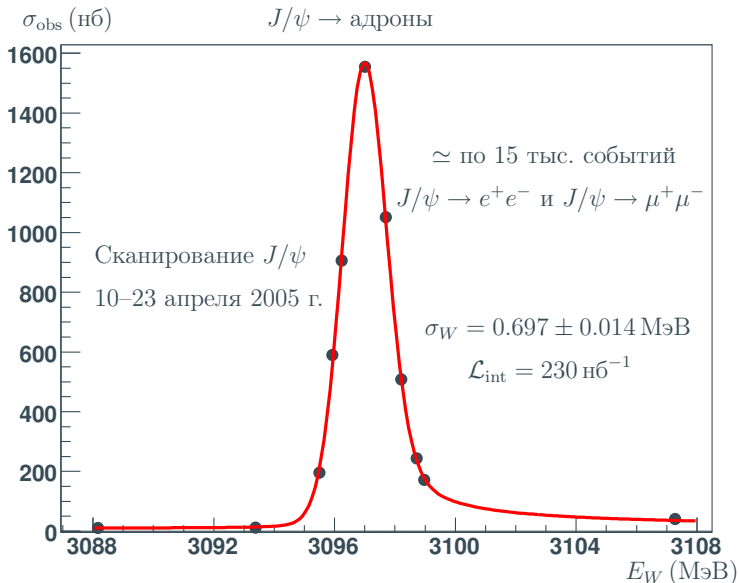


- Энергия пучка $1 \div 6$ ГэВ
- Число банчей 2×2
- Для $E = 1.5$ ГэВ
 - Ток в пучке 1.5 мА
 - Светимость $10^{30} \frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$

- Измерение энергии методом резонансной деполяризации:
Точность однократного измерения $\simeq 1 \times 10^{-6}$
Точность интерполяции $(5 \div 15) \times 10^{-6}$ ($10 \div 30$ кэВ)
- Метод обратного комптоновского рассеяния (2005):
Статистическая точность $\simeq 5 \times 10^{-5}$ / 30 минут
Систематическая точность $\simeq 3 \times 10^{-5}$ ($50 \div 70$ кэВ)



- 1 Вакуумная камера
- 2 Вершинный детектор
- 3 Дрейфовая камера
- 4 Аэрогелевые черенковские счётчики
- 5 Времяпролётная система
- 6 LKr калориметр
- 7 Сверхпроводящая катушка
- 8 Ярмо магнита
- 9 Мюонная система
- 10 Торцевой CsI калориметр
- 11 Компенсирующие катушки
- 12 Квадрупольные линзы



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

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{ee \rightarrow \mu\mu} = \frac{3}{4M^2} (1 + \cos^2 \theta) \left\{ \frac{3\Gamma_{e^+e^-} \Gamma_{\mu^+\mu^-}}{\Gamma M} \left(1 + \frac{3}{4}\beta\right) \operatorname{Im} \mathcal{F} - \right. \\ \left. - \frac{2\alpha \sqrt{\Gamma_{e^+e^-} \Gamma_{\mu^+\mu^-}}}{M} \left(1 + \frac{11}{12}\beta\right) \operatorname{Re} \mathcal{F} \right\} + \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{КЭД}}^{ee \rightarrow \mu\mu}$$

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

[Азимов и др. Письма в ЖЭТФ 21, вып. 6, 378–382, 1975]

- Более точный результат для резонанса:

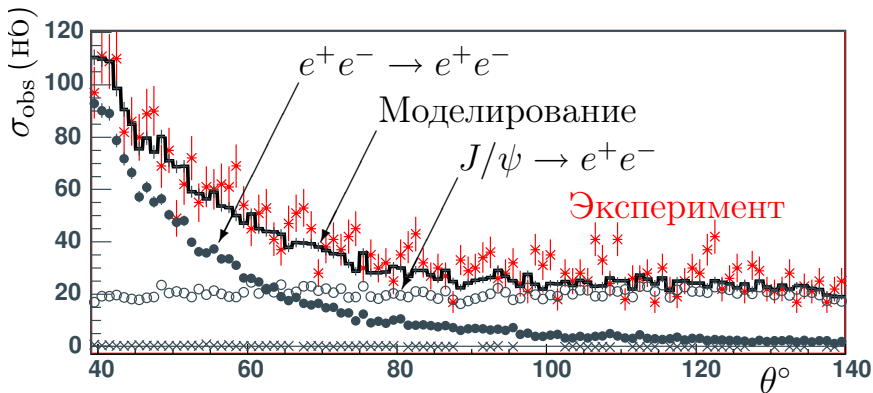
$$1 + \frac{3}{4}\beta \Leftarrow 1 + \frac{3}{4}\beta + \frac{\alpha}{\pi} \left(\frac{\pi^2}{3} - \frac{1}{2} \right) + \beta^2 \left(\frac{37}{96} - \frac{\pi^2}{12} - \frac{\ln(W^2/m_e^2)}{72} \right)$$

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

- Учёт энергетического разброса σ_W :

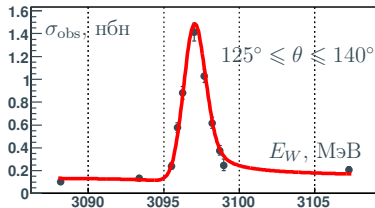
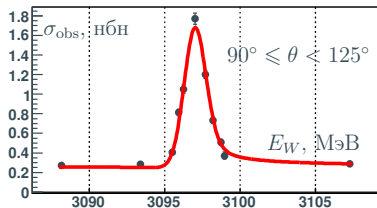
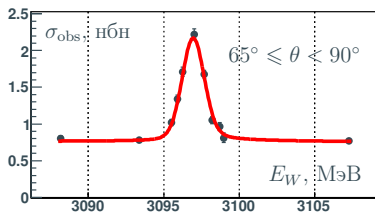
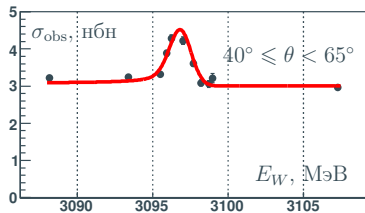
$$\sigma(W) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_W} \int \sigma_{th}(W') e^{\left\{ -\frac{(W-W')^2}{2\sigma_W^2} \right\}} dW'$$

- Для учёта влияния радиационных поправок в конечном состоянии на эффективность регистрации использовался пакет PHOTOS
- Для моделирования Vhabha-рассеяние использовались генераторы BHWIDE и MCGPJ.



$$\begin{aligned}
 N_{\text{экс.}}(E_i, \theta_j) = & \mathcal{R}_{\mathcal{L}} \times \mathcal{L}(E_i) \times \left(\sigma_{\text{пик}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{пик}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) + \right. \\
 & \left. + \sigma_{\text{интер.}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{интер.}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) + \sigma_{\text{Bhabha}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{Bhabha}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) \right),
 \end{aligned}$$

где $\sigma_{\text{пик}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \propto \Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-}/\Gamma$, а $\sigma_{\text{интер.}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \propto \Gamma_{ee}$



$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3365 \pm 0.0064 \text{ кэВ}$$

$$\mathcal{R}_L = (94.5 \pm 0.7)\% \quad \Gamma_{e^+e^-} = 6.0 \pm 0.6 \text{ кэВ} \quad (\text{параметры подгонки})$$

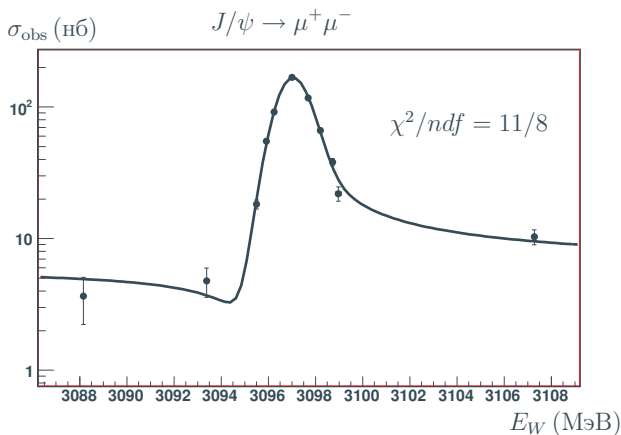
● Энергетический разброс	0.2%
● Измерение энергии в точке (10–30 кэВ)	0.3%
● Эффективность трековой системы	0.6%
● Эффективность LKr калориметра	0.2%
● Измерение угла θ	0.2%
● Измерение светимости (относительное)	0.8%
● Энергетические пороги	0.4%
● Отбракованные при записи события	0.5%
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3%
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.4%
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.4%
● Фон от $J/\psi \rightarrow$ адроны	0.2%
● Расчёт интерференции (неопределённость теории)	0.2%
● Процедура подгонки	0.2%

Итого: полная систематическая ошибка составляет **1.5%**
при статистической ошибке в **1.9%**.

$$N_{\text{Экс.}}(E_i) = \mathcal{R}_{\mathcal{L}} \times \mathcal{L}(E_i) \times \varepsilon^{\text{МОД.}}(E_i) \times \\ \times \left(\sigma_{\text{пик}}^{\text{теор.}}(E_i) + \sigma_{\text{интер.}}^{\text{теор.}}(E_i) + \sigma_{\text{подл.}}^{\text{теор.}}(E_i) \right) + A_{\text{кос.}} \times T,$$

где $\sigma_{\text{пик}}^{\text{теор.}}(E_i) \propto \Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma$, а $\sigma_{\text{интер.}}^{\text{теор.}}(E_i) \propto \sqrt{\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-}}$.

- \mathcal{L} — относительная светимость по однократному тормозному.
- Нормировка $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$ — берётся из анализа процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$.
- $A_{\text{кос.}}$ — число космических событий, прошедших отбор, в единицу времени.
- T — время набора статистики с учётом КПД набора.



$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3362 \pm 0.0052 \text{ кэВ}$$

$$\sqrt{\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-}} = 5.9 \pm 0.7 \text{ кэВ} \quad (\text{параметр подгонки})$$

• Энергетический разброс	0.4%
• Измерение энергии (точность 10–30 кэВ)	0.5%
• Абсолютная калибровка светимости	0.7%
• Эффективность	0.6%
• Измерение светимости	0.8%
• Энергетические пороги	0.4%
• Отбракованные при записи события	0.6%
• Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3%
• Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.5%
• Фон от $J/\psi \rightarrow$ адроны	0.6%

Итого: предварительная оценка систематической ошибки составляет **1.8%** при статистической ошибке в **1.6%**.

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование J/ψ

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3365 \pm 0.0064 \pm 0.0050 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3362 \pm 0.0052 \pm 0.0060 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование J/ψ

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3365 \pm 0.0064 \pm 0.0050 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3362 \pm 0.0052 \pm 0.0060 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

- PDG 2006

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.335 \pm 0.007 \text{ кэВ (2.1\%)}$$

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование J/ψ

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3365 \pm 0.0064 \pm 0.0050 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3362 \pm 0.0052 \pm 0.0060 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

- PDG 2006

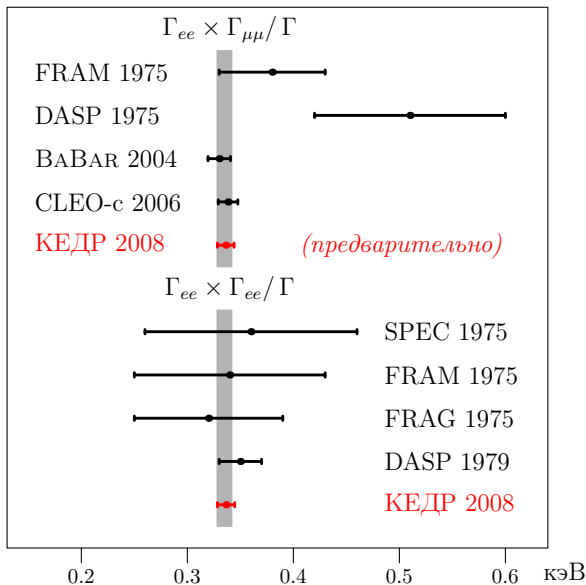
$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.335 \pm 0.007 \text{ кэВ (2.1\%)}$$

- BABAR (2004) ISR

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3301 \pm 0.0077 \pm 0.0073 \text{ кэВ (3.2\%)}$$

- CLEO-c (2006) ISR

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3384 \pm 0.0058 \pm 0.0071 \text{ кэВ (2.7\%)}$$



- 1 Введение
- 2 ВЭПП-4М/КЕДР
- 3 Сканирование J/ψ
- 4 Теория
- 5 Экспериментальное определение $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$
 - Обработка данных
 - Эксперимент
 - Систематические неопределённости
- 6 Экспериментальное определение $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$
 - Обработка данных
 - Эксперимент
 - Систематические неопределённости
- 7 Результат
- 8 Сравнение с мировыми результатами