

# Измерение произведения электронной ширины $J/\psi$ -мезона на вероятность распада в лептоны

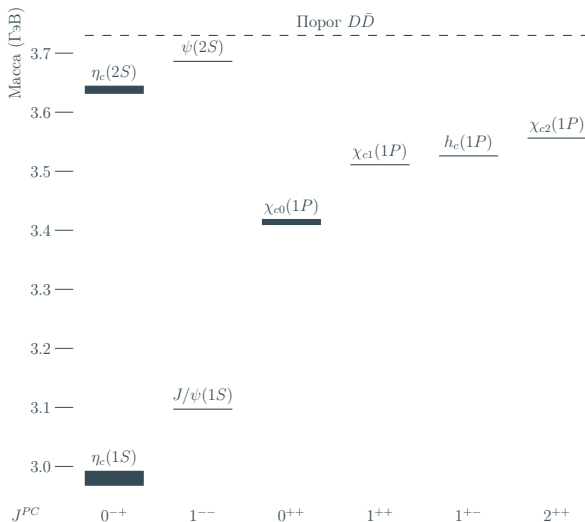
Учреждение Российской академии наук Институт ядерной физики  
им. Г. И. Будкера Сибирского отделения РАН

Новосибирск



- 1 Введение
- 2 ВЭПП-4М/КЕДР
- 3 База данных детектора КЕДР
- 4 Сканирование  $J/\psi$
- 5 Теория
- 6 Экспериментальное определение  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ 
  - Обработка данных
  - Сопоставление теории и эксперимента
  - Систематические неопределённости
- 7 Экспериментальное определение  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ 
  - Обработка данных
  - Сопоставление теории и эксперимента
  - Систематические неопределённости
- 8 Результат

$J/\psi$  — это атом водорода квантовой хромодинамики.



$J/\psi$  — это атом водорода квантовой хромодинамики.

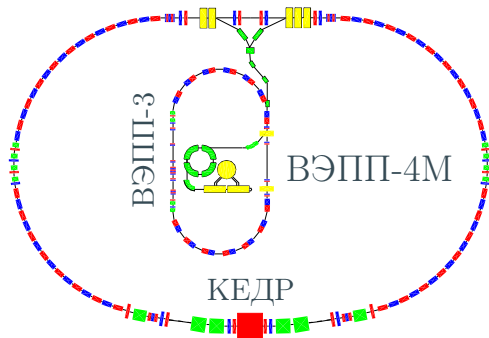
- $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma \oplus \Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma \oplus \mathcal{B}_{\ell\ell} \rightarrow \Gamma_{\ell\ell}, \Gamma$ 
  - $\mathcal{B}_{\ell\ell}$  известна с точностью 1% из  $\psi(2S) \rightarrow \pi\pi J/\psi$

$J/\psi$  — это атом водорода квантовой хромодинамики.

- $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma \oplus \Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma \oplus \mathcal{B}_{\ell\ell} \rightarrow \Gamma_{\ell\ell}, \Gamma$ 
  - $\mathcal{B}_{\ell\ell}$  известна с точностью 1% из  $\psi(2S) \rightarrow \pi\pi J/\psi$
- $\Gamma_{\ell\ell}, \Gamma \rightarrow$  информация о свойствах сильного взаимодействия
  - можно вычислить в рамках решёточной КХД;
  - можно предсказать с помощью правил сумм КХД;
  - можно получить в рамках потенциальных моделей.

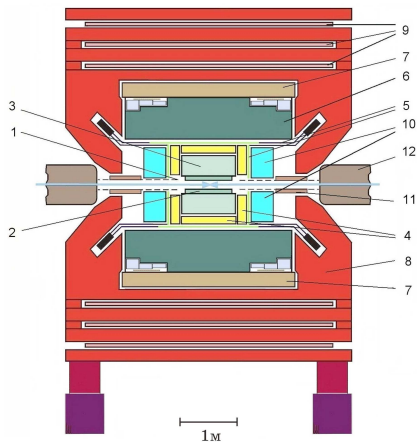
$J/\psi$  — это атом водорода квантовой хромодинамики.

- $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma \oplus \Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma \oplus \mathcal{B}_{\ell\ell} \rightarrow \Gamma_{\ell\ell}, \Gamma$ 
  - $\mathcal{B}_{\ell\ell}$  известна с точностью 1% из  $\psi(2S) \rightarrow \pi\pi J/\psi$
- $\Gamma_{\ell\ell}, \Gamma \rightarrow$  информация о свойствах сильного взаимодействия
  - можно вычислить в рамках решёточной КХД;
  - можно предсказать с помощью правил сумм КХД;
  - можно получить в рамках потенциальных моделей.
- Повышение точности измерений  $\Gamma_{\ell\ell}, \Gamma$  стимулирует прогресс развития теории



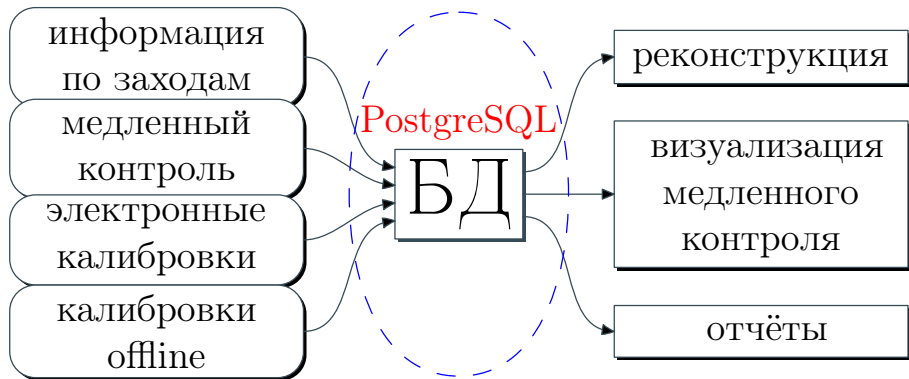
- Измерение энергии методом резонансной деполяризации:  
Точность однократного измерения  $\simeq 1 \times 10^{-6}$   
Точность интерполяции  $(5 \div 15) \times 10^{-6}$  ( $10 \div 30$  кэВ)

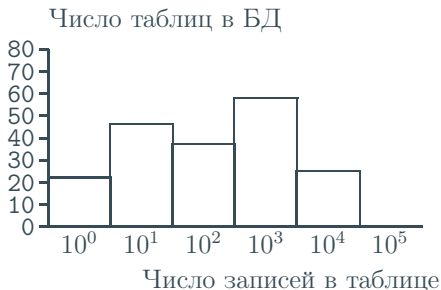
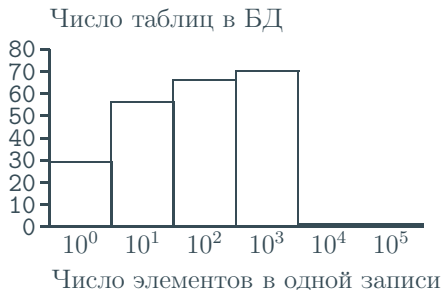
- Энергия пучка  $1 \div 6$  ГэВ
- Число банчей  $2 \times 2$
- Для  $E = 1.5$  ГэВ
  - Ток в пучке 1.5 мА
  - Светимость  $10^{30} \frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$



- 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

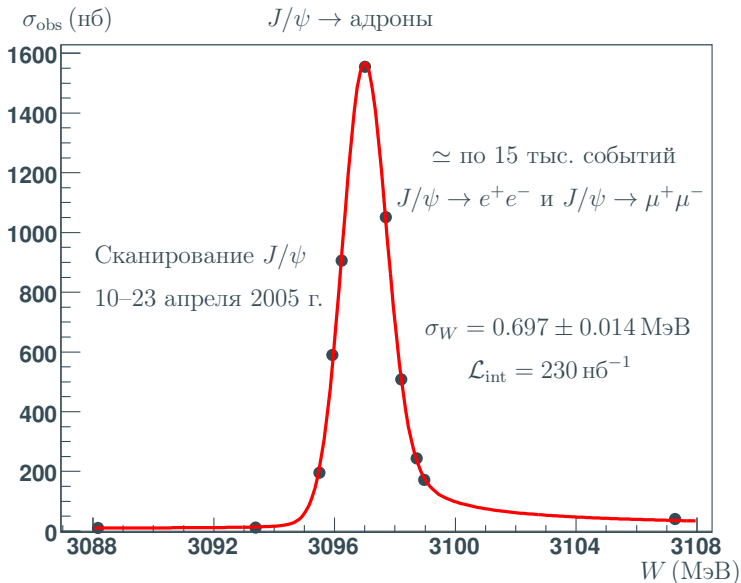






К 2010 году:

- Физический размер базы данных:  $\approx 25$  Гб;
- Размер резервной копии:  $\approx 5.9$  Гб;
- Число таблиц с данными:  $> 300$ ;
- Общее число записей:  $> 10^7$  штук, что соответствует  $2 \cdot 10^9$  чисел.



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

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

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]

$$\mathcal{F} = \left( \frac{\frac{M}{2}}{-W + M - \frac{i\Gamma}{2}} \right)^{1-\beta} \Leftarrow \mathcal{F} = \frac{\pi\beta}{\sin \pi\beta} \left( \frac{\frac{M}{2}}{-W + M - \frac{i\Gamma}{2}} \right)^{1-\beta}$$

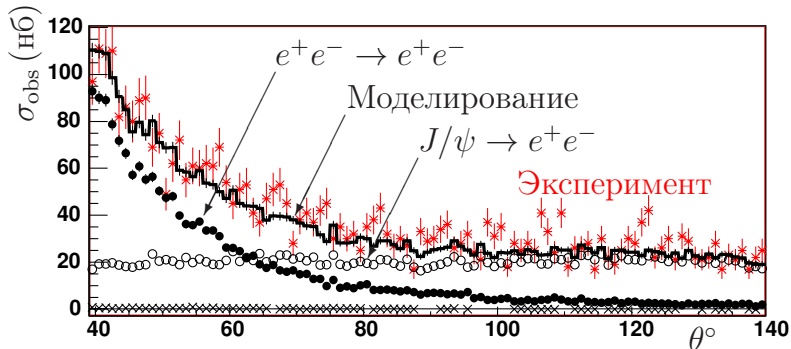
[К. Ю. Тодышев arXiv.org:0902.4100]

- Учёт энергетического разброса  $\sigma_W$ :

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

- $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$ 
  - Резонансный вклад.  $\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim (1 + \cos^2 \theta) + \text{PHOTOS}$ .
  - $\sigma_{\text{кЭД}}$  (Баба-рассеяние) генераторы BHWIDE и MCGPJ.
  - Интерференционные слагаемые с угловыми распределениями  $(1 + \cos^2 \theta)$  и  $(1 + \cos^2 \theta)^2 / (1 - \cos \theta)$ .
- $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-(\gamma)$ 
  - Резонансный вклад.  $\frac{d\sigma}{d\Omega} \sim (1 + \cos^2 \theta) + \text{PHOTOS}$ .
  - Подложка моделировалась с помощью генератора F. A. Berends et al.
- Фон
  - $e^+e^- \rightarrow$  адроны
  - $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$

- 1 Ровно два заряженных трека разных знаков, исходящих из одной точки в области встречи пучков.
- 2  $E_1 > 0.7 \text{ ГэВ}$ ,  $E_2 > 0.7 \text{ ГэВ}$  и  $E_1 + E_2 > 2. \text{ ГэВ}$ ;
- 3 Выделившаяся в калориметре энергия, не приписанная двум рассматриваемым частицам, не превышает 5% от полного энерговыделения;
- 4 Расколлинearность по  $\theta$  и по  $\varphi$  для частиц не превышает  $40^\circ$ .

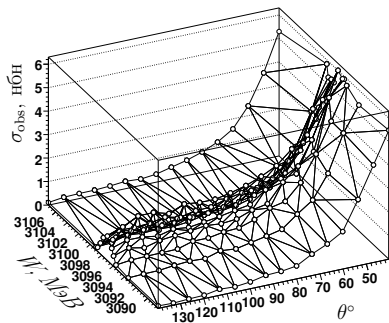


$$N_{\text{Экс.}}(E_i, \theta_j) = \mathcal{R}_{\mathcal{L}} \times \mathcal{L}(E_i) \times \left( \sigma_{\text{пик}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{пик}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) + \right.$$

$$\left. + \sigma_{\text{интер.}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{интер.}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) + \sigma_{\text{Bhabha}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) \cdot \varepsilon_{\text{Bhabha}}^{\text{мод.}}(E_i, \theta_j) \right),$$

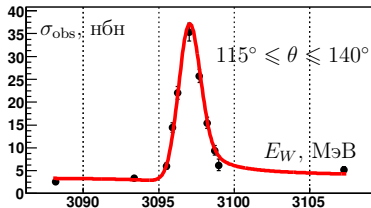
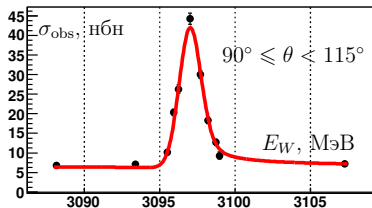
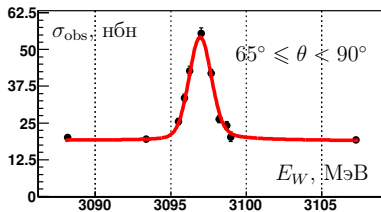
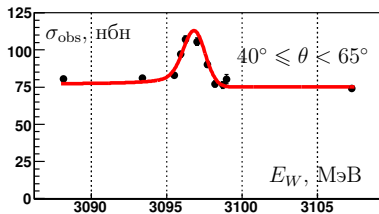
где  $\sigma_{\text{пик}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \propto \Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-}/\Gamma$ , а  $\sigma_{\text{интер.}}^{\text{теор.}}(E_i, \theta_j) \propto \Gamma_{ee}$





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

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



$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3323 \pm 0.0064 \text{ кэВ}$$

$$\mathcal{R}_L = (93.4 \pm 0.7)\% \quad \Gamma_{e^+e^-} = 5.7 \pm 0.6 \text{ кэВ} \quad (\text{параметры подгонки})$$

● Энергетический разброс	0.2 %
● Измерение энергии в точке (10–30 кэВ)	0.3 %
● Эффективность трековой системы	0.7 %
● Эффективность LKr калориметра	0.2 %
● Измерение светимости (относительное)	0.8 %
● Триггер	
● Антисовпадения в первичном триггере	0.4 %
● Отбракованные при записи события	0.2 %
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3 %
● Определение угла $\theta$	0.2 %
● Расчёт интерференции (теория)	0.2 %
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.4 %
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.4 %
● Фон от распадов $J/\psi$	0.2 %
● Процедура подгонки	0.2 %

● Энергетический разброс	0.2 %
● Измерение энергии в точке (10–30 кэВ)	0.3 %
● Эффективность трековой системы	0.7 %
● Эффективность LKr калориметра	0.2 %
● Измерение светимости (относительное)	0.8 %
● Триггер	
● Антисовпадения в первичном триггере	0.4 %
● Отбракованные при записи события	0.2 %
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3 %
● Определение угла $\theta$	0.2 %
● Расчёт интерференции (теория)	0.2 %
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.4 %
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.4 %
● Фон от распадов $J/\psi$	0.2 %
● Процедура подгонки	0.2 %

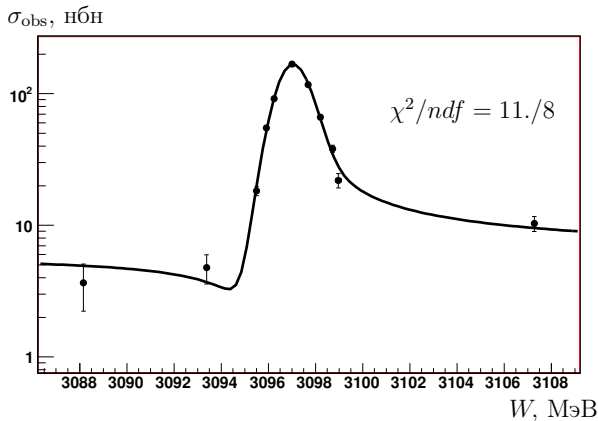
Итого: систематическая ошибка составляет **1.4 %** при статистической ошибке в **1.9 %**.

- 1 Ровно два заряженных трека разных знаков, исходящих из одной точки в области встречи пучков. При этом каждый из треков должен продолжаться в калориметре;
- 2  $60 \text{ МэВ} < E_{1,2} < 500 \text{ МэВ}$  и  $E_1 + E_2 < 750 \text{ МэВ}$ ;
- 3 Выделившаяся в калориметре энергия, не приписанная двум рассматриваемым частицам, не превышает 30 % от полного энерговыделения;
- 4 Расколлинearность по  $\theta$  не превышает  $10^\circ$ , а расколлинearность по  $\varphi$  не более  $15^\circ$ .
- 5  $p_{1,2} > 0.5 \text{ ГэВ}$  и  $p_1 + p_2 > 2 \text{ ГэВ}$ ;
- 6 Срабатывание хотя бы одного канала времяпролётной системы в заданном интервале времён.

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

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.



$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3318 \pm 0.0052 \text{ кэВ}$$

$$\sqrt{\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-}} = 5.6 \pm 0.7 \text{ кэВ} \quad (\text{параметр подгонки})$$

● Энергетический разброс	0.4 %
● Измерение энергии (10–30 кэВ)	0.5 %
● Разность эффективностей для $e^+e^-$ и $\mu^+\mu^-$	0.8 %
● Абсолютная калибровка светимости	0.7 %
● Измерение светимости	0.8 %
● Триггер	
● Антисовпадение в первичном триггере	0.4 %
● Отбракованные при записи события	0.2 %
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3 %
● Определение угла $\theta$	0.2 %
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.6 %
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.5 %
● Нерезонансный фон	0.1 %
● Фон от $J/\psi \rightarrow$ адроны	0.6 %



● Энергетический разброс	0.4 %
● Измерение энергии (10–30 кэВ)	0.5 %
● Разность эффективностей для $e^+e^-$ и $\mu^+\mu^-$	0.8 %
● Абсолютная калибровка светимости	0.7 %
● Измерение светимости	0.8 %
● Триггер	
● Антисовпадение в первичном триггере	0.4 %
● Отбракованные при записи события	0.2 %
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3 %
● Определение угла $\theta$	0.2 %
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.6 %
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.5 %
● Нерезонансный фон	0.1 %
● Фон от $J/\psi \rightarrow$ адроны	0.6 %

● Энергетический разброс	0.4 %
● Измерение энергии (10–30 кэВ)	0.5 %
● Разность эффективностей для $e^+e^-$ и $\mu^+\mu^-$	0.8 %
● Абсолютная калибровка светимости	0.7 %
● Измерение светимости	0.8 %
● Триггер	
● Антисовпадение в первичном триггере	0.4 %
● Отбракованные при записи события	0.2 %
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3 %
● Определение угла $\theta$	0.2 %
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.6 %
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.5 %
● Нерезонансный фон	0.1 %
● Фон от $J/\psi \rightarrow$ адроны	0.6 %

Итого: систематическая неопределённость составляет **1.9 %**  
при статистической ошибке в **1.6 %**.

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование  $J/\psi$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3323 \pm 0.0064 \pm 0.0048 \text{ кэВ} \quad (2.4 \%)$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3318 \pm 0.0052 \pm 0.0063 \text{ кэВ} \quad (2.4 \%)$$

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование  $J/\psi$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3323 \pm 0.0064 \pm 0.0048 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3318 \pm 0.0052 \pm 0.0063 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

Комбинации этих величин:

$$\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma = 0.6641 \pm 0.0082 \pm 0.0100 \text{ кэВ (1.9\%)}$$

$$\Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu} = 1.002 \pm 0.021 \pm 0.013 \text{ (2.5\%)}$$

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование  $J/\psi$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3323 \pm 0.0064 \pm 0.0048 \text{ кэВ} \text{ (2.4 \%)}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3318 \pm 0.0052 \pm 0.0063 \text{ кэВ} \text{ (2.4 \%)}$$

Комбинации этих величин:

$$\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma = 0.6641 \pm 0.0082 \pm 0.0100 \text{ кэВ} \text{ (1.9 \%)}$$

$$\Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu} = 1.002 \pm 0.021 \pm 0.013 \text{ (2.5 \%)}$$

- PDG 2008

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

- КЕДР/ВЭПП-4М сканирование  $J/\psi$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma = 0.3323 \pm 0.0064 \pm 0.0048 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3318 \pm 0.0052 \pm 0.0063 \text{ кэВ (2.4\%)}$$

Комбинации этих величин:

$$\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma = 0.6641 \pm 0.0082 \pm 0.0100 \text{ кэВ (1.9\%)}$$

$$\Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu} = 1.002 \pm 0.021 \pm 0.013 \text{ (2.5\%)}$$

- PDG 2008

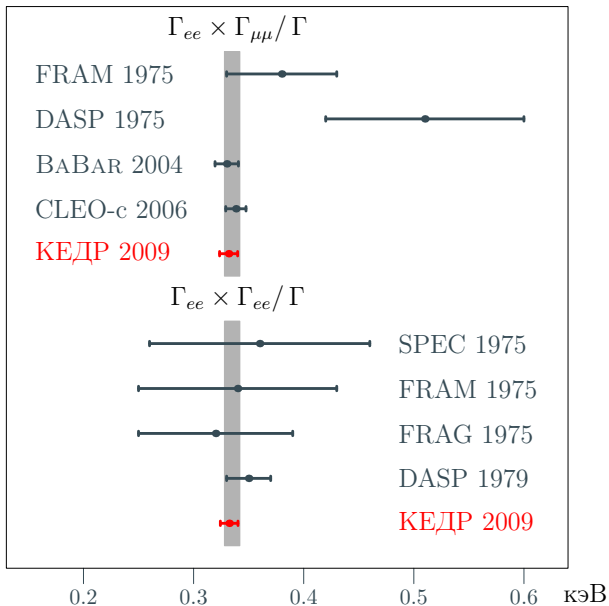
$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.335 \pm 0.007 \text{ кэВ (2.1\%)}$$

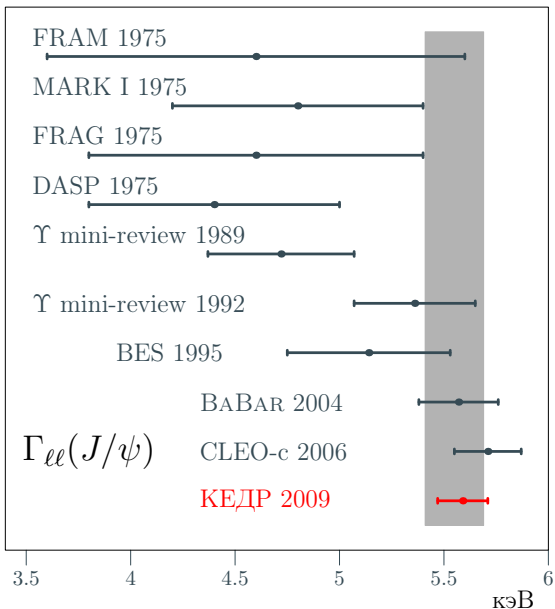
- DASP (1979)

$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{e^+e^-} / \Gamma_{\text{total}} = 0.35 \pm 0.2 \text{ кэВ (6\%)}$$

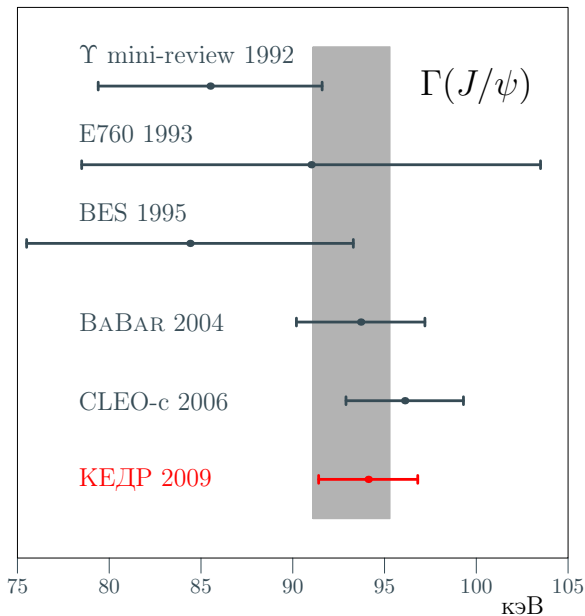
- CLEO-c (2006) ISR

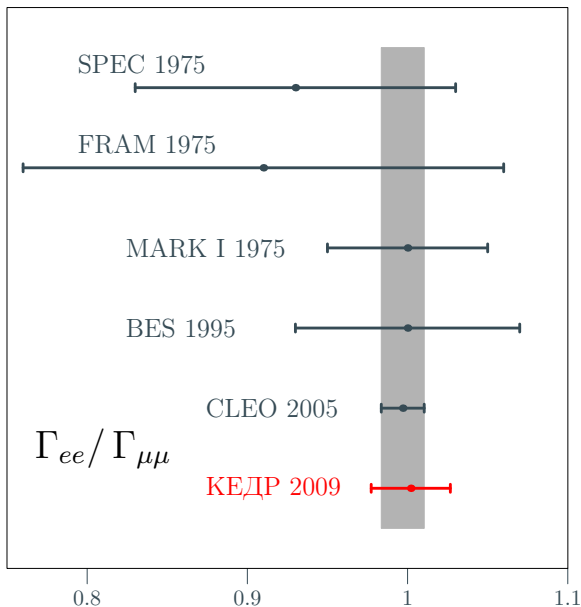
$$\Gamma_{e^+e^-} \times \Gamma_{\mu^+\mu^-} / \Gamma = 0.3384 \pm 0.0058 \pm 0.0071 \text{ кэВ (2.7\%)}$$







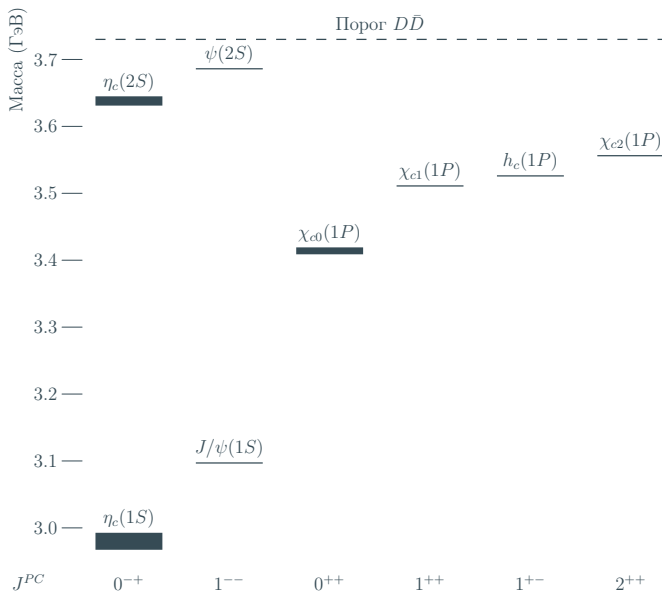




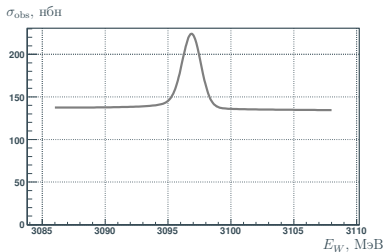
Основные результаты, полученные соискателем в процессе подготовки диссертации:

- Создана база данных детектора КЕДР и организована визуализация медленного контроля для обеспечения проведения экспериментов на комплексе ВЭПП-4М и последующего анализа экспериментальных данных;
- Измерена величина  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma_{J/\psi}$ -мезона.
- Измерена величина  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma_{J/\psi}$ -мезона.

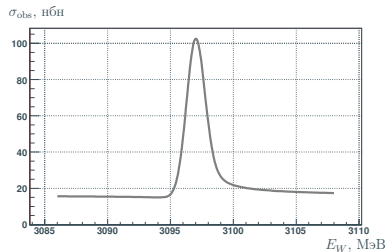
# Спектр чармония ниже порога рождения $D\bar{D}$



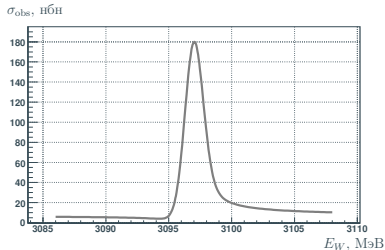
# Зависимость сечения $e^+e^- \rightarrow \ell^+\ell^-$ от энергии



$$e^+e^- \rightarrow e^+e^- \quad \theta \in 40^\circ \div 90^\circ$$



$$e^+e^- \rightarrow e^+e^- \quad \theta \in 90^\circ \div 140^\circ$$

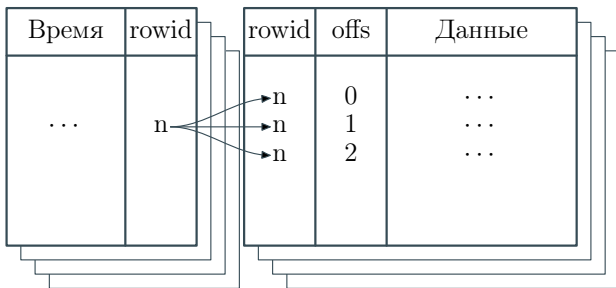


$$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^- \quad \theta \in 40^\circ \div 140^\circ$$

## Структурная единица БД

Ключевая таблица

Таблица данных



- `kdb_systemtable` — информация о таблицах (идентификатор, имя, тип данных, текстовое описание);
- `run_info` — информация об экспериментальных заходах (время начала захода и его номер).

```
#include "KDB/kdb.h"
int main() {
    KDBconn *conn; // Указатель на структуру соединения с БД.
    int run,id,LKrQLTY[9600],length;
    run=5461;      // Номер захода.

}
```

```
#include "KDB/kdb.h"
int main() {
    KDBconn *conn; // Указатель на структуру соединения с БД.
    int run,id,LKrQLTY[9600],length;
    run=5461;      // Номер захода.
    conn=kdb_open();
    id=kdb_get_id(conn,"lkrqlty"); // Идентификатор калибровки
    length=kdb_get_length(conn,id); // Размер калибровки

}
```



```
#include "KDB/kdb.h"
int main() {
    KDBconn *conn; // Указатель на структуру соединения с БД.
    int run,id,LKrQLTY[9600],length;
    run=5461;      // Номер захода.
    conn=kdb_open();
    id=kdb_get_id(conn,"lkrqlty"); // Идентификатор калибровки
    length=kdb_get_length(conn,id); // Размер калибровки
    kdb_read_for_run(conn,id,run,LKrQLTY,length);
}
```

```
#include "KDB/kdb.h"
int main() {
    KDBconn *conn; // Указатель на структуру соединения с БД.
    int run,id,LKrQLTY[9600],length;
    run=5461;      // Номер захода.
    conn=kdb_open();
    id=kdb_get_id(conn,"lkrqlty"); // Идентификатор калибровки
    length=kdb_get_length(conn,id); // Размер калибровки
    kdb_read_for_run(conn,id,run,LKrQLTY,length);
    kdb_close(conn);
}
```

- Получение данных из БД (cron, perl DBI);

```
13/03/2009 09:03:41 -29975 263219 343548 306172 371024 ...
13/03/2009 09:13:51 -29970 263670 343999 306612 371503 ...
13/03/2009 09:24:01 -29975 263219 344334 306172 371024 ...
13/03/2009 09:34:11 -29975 263219 343548 306172 371024 ...
13/03/2009 09:39:16 -29975 263219 344334 306172 371024 ...
...
```

- Получение данных из БД (cron, perl DBI);
- Создание графиков (gnuplot);

#N	name	formula	bot	top	min	max		Description
0	h12	d6/100.;d7/100.	min	max	5950	6050		Датчик Холла 1 и 2
1	h1	d6/100000.	5.9	6.1	5.95	6.05		Датчик Холла 1
2	h2	d7/100.						Датчик Холла 2

```
set timefmt "%d/%m/%Y %H:%M:%S"
```

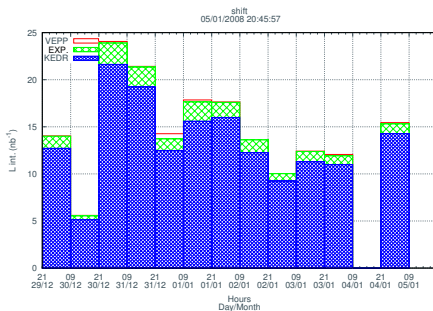
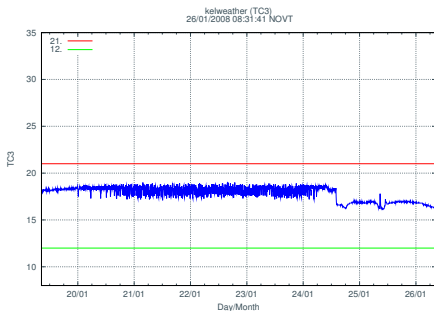
```
set format x "%H\n%d/%m"
```

```
set output "001-h1-day.png"
```

```
set terminal png medium size 640,480 interlace
```

```
plot ["13/03/2009 9:00":"17/04/2009 21:00"] [:] 'day.dat' \  
using 1:($9/100000.) title 'h1' with linespoints
```

- Получение данных из БД (cron, perl DBI);
- Создание графиков (gnuplot);
- Представление их в WWW (perl CGI).



Для представленного в докладе **рисунка**  $\chi^2/ndf = 53.7/41$ . При этом учитываются только статистические ошибки.

При дополнительном пересчёте ошибки энергии в ошибку сечения получается  $\chi^2/ndf \simeq 40.5/41$ .

► Сопоставление теории и эксперимента ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma$ )

Эксперимент	Результат (кэВ)	$\sqrt{(\text{сист.})^2 + (\text{стат.})^2}$ (кэВ)
BABAR	5.57	0.19
CLEO	5.71	0.16
PDG	5.55	0.14
КЕДР	5.59	0.12

Для получения значения лептонной ширины из  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\ell\ell} / \Gamma$  была использована вероятность распада  $J/\psi \rightarrow \ell^+ \ell^-$ , которая известна с процентной точностью  $\Gamma_{ee} / \Gamma = (5.94 \pm 0.06) \%$ .

► Сравнение  $\Gamma_{\ell\ell}$

Эксперимент	Результат (кэВ)	$\sqrt{(\text{сист.})^2 + (\text{стат.})^2}$ (кэВ)
BABAR	93.7	3.5
CLEO	96.1	3.2
PDG	93.2	2.1
КЕДР	94.1	2.7

Для получения значения полной ширины из  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\ell\ell} / \Gamma$  была использована вероятность распада  $J/\psi \rightarrow \ell^+ \ell^-$ , которая известна с процентной точностью  $\Gamma_{ee} / \Gamma = (5.94 \pm 0.06)\%$ .

► Сравнение  $\Gamma$



Эксперимент	Результат %	$\sqrt{(\text{сист.})^2 + (\text{стат.})^2}$ %
SPEC	93	10
FRAM	91	15
MARK I	100	5
BES	100	7
CLEO	99.7	1.3
КЕДР	100.2	2.5

► Сравнение  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$

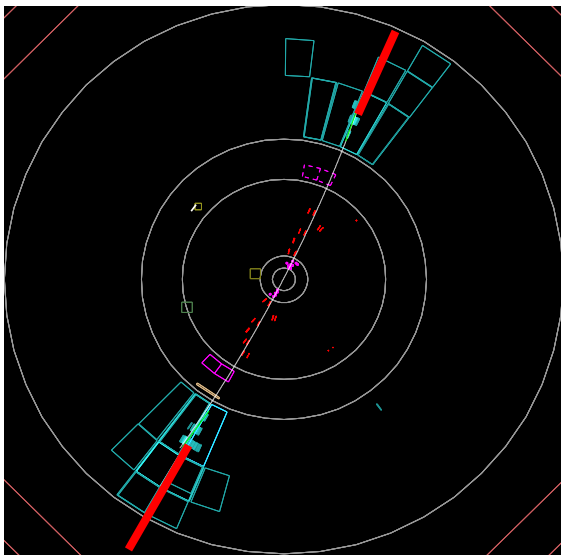
● Энергетический разброс	0.2 %
● Измерение энергии в точке (10–30 кэВ)	0.3 %
● Эффективность трековой системы	0.4 %
● Разность эффективностей для $e^+e^-$ и $\mu^+\mu^-$	0.4 %
● Абсолютная калибровка светимости	0.4 %
● Измерение светимости (относительное)	0.8 %
● Триггер	
● Антисовпадения в первичном триггере	0.4 %
● Отбракованные при записи события	0.2 %
● Эффективность сцинтилляционных счётчиков	0.3 %
● Определение угла $\theta$	0.2 %
● Сечение Баба-рассеяния (моделирование)	0.4 %
● Учёт радпоправок с помощью PHOTOS	0.3 %
● Фон от распадов $J/\psi$	0.2 %
● Фон от $J/\psi \rightarrow$ адроны	0.3 %

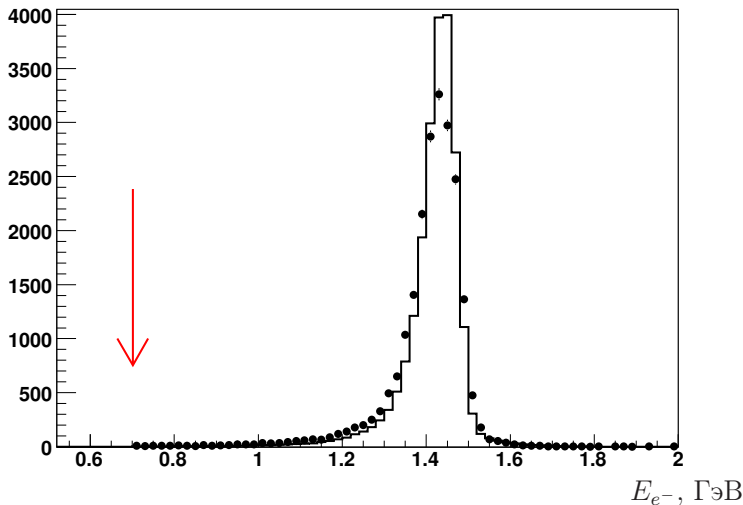
Итого: систематическая ошибка составляет **1.4 %** при статистической ошибке в **1.2 %**.

- Разность эффективностей для  $e^+e^-$  и  $\mu^+\mu^-$  0.8 %
- Вариация  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$  0.6 %
- Фон от распадов  $J/\psi$  0.6 %

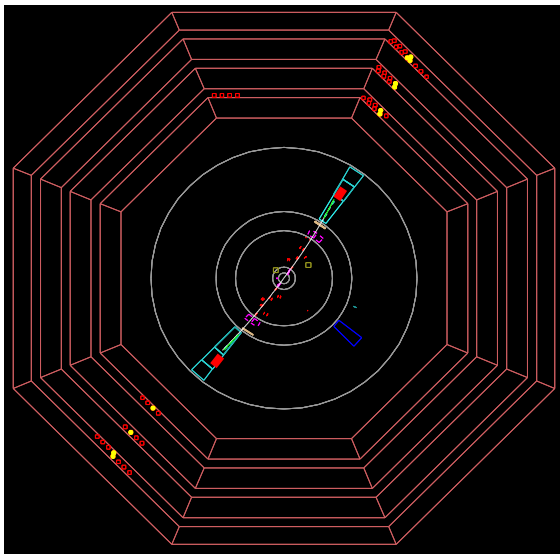
Итого: систематическая ошибка составляет **1.3 %** при статистической ошибке в **2.1 %**.

► Результаты





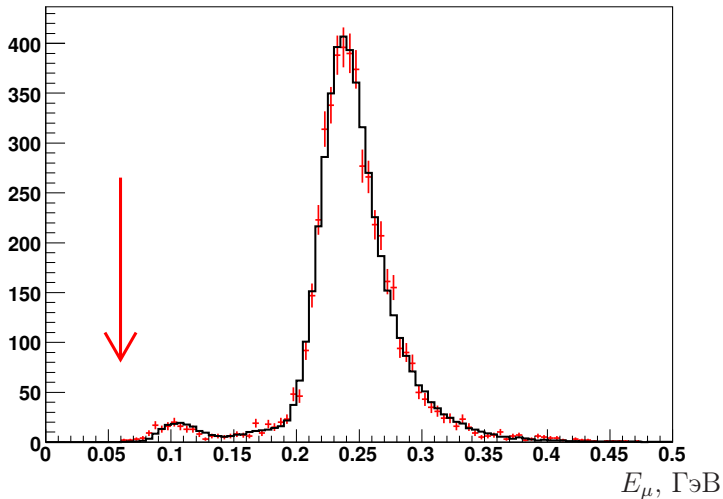
# Типичное $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ событие



► Отбор событий  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$



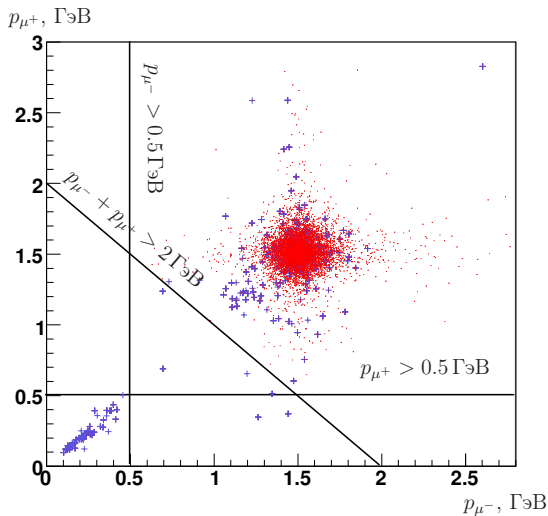
# Энергия мюона, выделившаяся в калориметре



► Отбор событий  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$



# Распределение импульса $\mu^+$ от импульса $\mu^-$



► Отбор событий  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$





Все ошибки, связанные с измерением энергии (положение пика, энергетический разброс и энергия в точке), малы из-за высокой точности определения энергии с помощью метода резонансной деполяризации

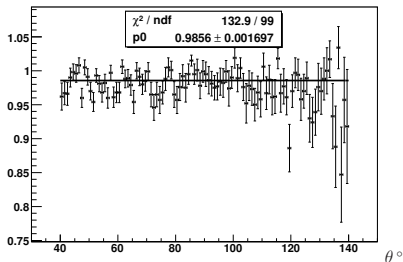
Кроме самих значений положения пика, энергетического разброса и энергии в точке сканирования, также известны их ошибки измерения. Систематические неопределённости, связанные с этими величинами, получались их вариацией в пределах этих ошибок с последующей подгонкой и извлечением параметров  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\ell\ell} / \Gamma$ .

Из-за сканирования по энергии неопределённость, связанная с измерением энергетического разброса, на порядок меньше, чем ошибка в определении самого разброса.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

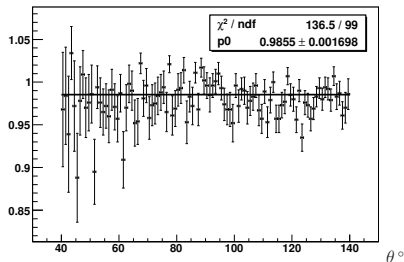
▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )



Для электронов

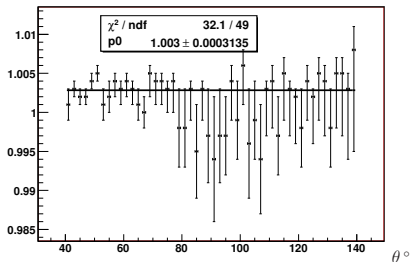
$$\Delta \Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma = (+0.65 \pm 0.7)\%, \quad \Delta \mathcal{R}_{\mathcal{L}} = +1.9\%$$



Для позитронов

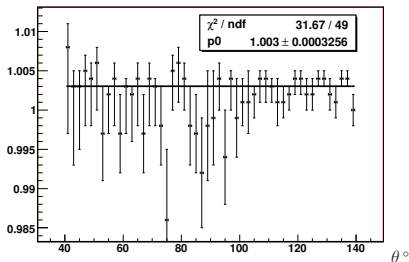
▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )



Для электронов

$$\Delta \Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma = (+0.1 \pm 0.2)\%, \quad \Delta \mathcal{R}_{\mathcal{L}} = -0.2\%$$



Для позитронов

► Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

► Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

Ошибка относительного измерения светимости получена сравнением двух независимых способов её измерения: по однократному тормозному излучению и по  $e^+e^-$  рассеянию в угловом диапазоне от  $18^\circ$  до  $31^\circ$ . При этом для определения светимости по  $e^+e^-$  учитывались резонансный  $J/\psi \rightarrow e^+e^-$  и интерференционный вклады, которые составляли около 5% от нерезонансного  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$  сечения.

▶ Систематические неопределённости  $(\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma)$

▶ Систематические неопределённости  $(\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma)$

▶ Систематические неопределённости  $(\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma)$

Влияние порогов на калориметр было оценено с помощью программы расчёта решения триггера с разными, но всегда завышенными значениями порогов калориметра, применяемого и к реальным событиям, и к моделированию. Вариация порогов в разумных пределах (от 15 до 25 МэВ при измеренном пороге  $\simeq 20$  МэВ) даёт оценку систематической неопределённости от этого вклада в 0.4 % и для  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ , и для  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ .

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

Для целей увеличения пропускной способности системы сбора данных отбраковывались события, в которых число сработавших трубочек в вершинном детекторе превышало 61.

Из событий, которые запускались по случайному запуску в триггере, была восстановлена вероятность срабатывания трубочек вершинного детектора из-за наводки во время эксперимента. Экспериментально определённая вероятность срабатывания по числу трубочек была добавлена в моделирование. При получении результата и для эксперимента и для моделирования было добавлено дополнительное условие на число срабатывания трубочек в вершинном детекторе: не больше 61 штуки.

Учёт этого эффекта на моделировании позволил оценить систематическую ошибку, связанную с этим эффектом в 0.2% и для  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ , и для  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ .

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

Эффективность срабатывания аргумента SC2 на эксперименте была оценена с помощью специально отобранных трёхтрековых космических событий, и она равна  $(99.7 \pm 0.3)\%$ .

▶ Систематические неопределённости  $(\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma)$

▶ Систематические неопределённости  $(\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma)$

▶ Систематические неопределённости  $(\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma)$

Детектор КЕДР имеет две системы, которые позволяют со сравнимой точностью определить угол  $\theta$  вылета частицы: трековую систему и электромагнитный калориметр. Сравнение разности определения угла вылета частиц, полученной по этим двум системам на эксперименте и на моделировании ( $0.02^\circ$ ), позволяет дать консервативную оценку для этой систематической ошибки в 0.2%.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )



Во время подгонки экспериментальных данных при извлечении  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$  можно зафиксировать коэффициент перед интерференционным членом, пренебрегая степенными радиационными поправками, либо использовать его как один из подгоночных параметров, либо ввести два независимых подгоночных параметров для каждого из угловых распределений интерференционного вклада. В зависимости от способа учёта интерференционного члена величина  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$  изменяется не более чем на 0.2%.

► Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

При извлечении  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$  для моделирования Баба-рассеяния использовалось два независимых генератора BHWIDE (декларируется точность около 0.3% для энергии пика Z-бозона) и MCGPJ (декларируется точность около 0.2% для энергии  $W = 0.4 \div 1.4$  ГэВ). Сравнение полученных результатов при использовании этих генераторов позволило оценить неопределённость значения  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ , связанную со знанием сечения Баба-рассеяния, в 0.4%, а значения  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  — в 0.6%.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

В алгоритм программы PHOTOS заложена вероятность излучения в главном логарифмическом приближении. Учёт радиационных поправок в конечном состоянии изменяет значение  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$  на 3.5 %, а  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  на 4.5 %. При лидирующем логарифме  $\mathcal{L} = \ln(W/m_e) \sim 10$  для  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$  и  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  систематические неопределённости равны 3.5 %/ $\mathcal{L} \simeq 0.4\%$  и 4.5 %/ $\mathcal{L} \simeq 0.5\%$  соответственно.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

Оценка резонансного вклада из моделирования от  $J/\psi \rightarrow p\bar{p}$  даёт 0.1%, что уже учтено при получении  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ . Из анализа моделирования следует, что вклад отличных от  $J/\psi \rightarrow p\bar{p}$  адронных мод в используемом отборе не превышает 0.1%. Из 100 тысяч событий моделирования  $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  не отобралось ни одного.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

В зависимости от числа разбиений  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$  событий на угловые интервалы (от 4 до 20 интервалов) по  $\theta$  итоговый результат смещался менее чем на 0.2%.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

Условие отбора	Потеря эффективности		
	эксп.	мод.	разница
Больше одного трека	0.22 %	0.20 %	0.02 %
Ровно два трека	3.36 %	1.54 %	1.82 %
Общая точка в плоскости $xу$	1.99 %	1.51 %	0.48 %
Общая точка по $z$	0.59 %	0.24 %	0.36 %
Два продолжения ДК $\rightarrow$ EMC	0.39 %	0.19 %	0.20 %

Нормировочный коэффициент для светимости  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$  при получении  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  берётся из анализа  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$ . Если разница эффективностей реконструкции между моделированием и экспериментом для процесса  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$  отличается от разницы для процесса  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ , то это может привести к систематическому сдвигу результата. Основное различие между моделированием и экспериментом для  $e^+e^-$  пар связано с трековой реконструкцией.

# Разность эффективностей для $e^+e^-$ и $\mu^+\mu^-$

Для оценки эффективности трековой реконструкции отбирались события, которые было можно подогнать одним общим треком с изломом близким к месту встречи. Точка излома предполагалась точкой рождения  $e^+e^-$  или  $\mu^+\mu^-$  пары и далее требовалась привязка не к месту встречи, а именно к этой точке.  $e^+e^-$  от  $\mu^+\mu^-$  различались по энерговыделению в калориметре. На отобранные таким образом события накладывались условия отбора для трековой реконструкции, которые в случае  $e^+e^-$  от  $\mu^+\mu^-$  схожи. Такой отбор событий для проверки выбран для унификации отбора  $e^+e^-$  и  $\mu^+\mu^-$  пар. И для электронов и для мюонов находилось отношение эффективности полученной на эксперименте к эффективности полученной на моделировании. Отношение полученных отношений эффективностей эксперимента к моделированию для  $e^+e^-$  пар к  $\mu^+\mu^-$  парам равно 99.6 %, что приводит к систематическому сдвигу результата  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  на  $-0.4\%$ . Систематическая неопределённость этого сдвига консервативно оценивается в  $0.8\%$ .

$$\triangleright \Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$$

$$\triangleright \Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu}$$



Совместно с извлечением параметра  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$  производится абсолютная калибровка светимости. Нормировочный коэффициент  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$ , извлекаемый из подгонки экспериментальных данных  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$  имеет статистическую ошибку 0.7%. Фиксация нормировочного коэффициента  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$  при извлечении  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  приводит к систематической неопределённости той же величины.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )



Для вычисления  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$  нет необходимости в абсолютной калибровке светимости. Фиксирование параметра  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$  для извлечения  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma$  уменьшает статистическую ошибку  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma$  с 1.9% до 1.4%. С учётом статистической ошибки  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu}/\Gamma$  в 1.6% это даёт для отношения  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$  статистическую ошибку в 2.1%.

При извлечении параметра  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee}/\Gamma$  одновременно с абсолютной калибровкой светимости параметр  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$  имеет статистическую неопределённость 0.7%. Вариация параметра  $\mathcal{R}_{\mathcal{L}}$  в этих пределах приводит к изменению отношения  $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$  на 0.6%.

► Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee}/\Gamma_{\mu\mu}$ )

Если в подгоночную формулу добавить в качестве параметра множитель перед сечением подложки  $\sigma_{\text{подл.}}(E_i)$ , то значение  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$  сдвигается чуть меньше чем на 0.1% при незначительном увеличении статистической ошибки.

► Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

Процесс $J/\psi \rightarrow \dots$	Вклад в отобранные события (%)
$\rho^+\pi^-$	$0.42 \pm 0.06$
$K^+K^-$	$0.12 \pm 0.02$
$\gamma\eta_c$	$0.11 \pm 0.04$
$K^+\bar{K}^{*-}$	$0.10 \pm 0.02$
$\rho^+\rho^-$	$0.08 \pm 0.01$
$\pi^+\pi^-$	$0.07 \pm 0.002$
$\gamma\pi^+\pi^-$	$0.06 \pm 0.01$
$K^+K^-\pi^0$	$0.04 \pm 0.01$
$\pi^+\pi^-\pi^0$	$0.02 \pm 0.05$
$\rho^+\rho^-\gamma$	$0.006 \pm 0.006$
$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	$0.001 \pm 0.001$
не измеренные моды	0.49

# Оценка вклада резонансного фона для $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ из эксперимента

Интервал $\theta$	Нет мюонной системы (%)		$J/\psi \rightarrow \text{hadrons}$ (%)	
	Экспер.	$J/\psi \rightarrow \mu\mu$	Оценка	Модел.
40°–140°	$15.8 \pm 0.05$	$15.9 \pm 0.01$		1.51
50°–130°	$3.33 \pm 0.22$	$2.37 \pm 0.03$	$1.00 \pm 0.22$	1.50
55°–125°	$3.51 \pm 0.24$	$2.31 \pm 0.04$	$1.24 \pm 0.24$	1.47
60°–120°	$3.71 \pm 0.27$	$2.29 \pm 0.04$	$1.47 \pm 0.27$	1.51
65°–115°	$3.97 \pm 0.31$	$2.27 \pm 0.04$	$1.76 \pm 0.31$	1.50
70°–110°	$4.05 \pm 0.35$	$2.28 \pm 0.05$	$1.83 \pm 0.35$	1.57

Космический фон был подавлен с помощью ТоF.

Итого: фон от распадов  $J/\psi \rightarrow$  адроны составляет  $1.5\% \pm 0.6\%$ .

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} / \Gamma_{\mu\mu}$ )

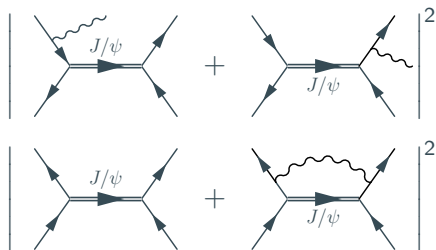


При вычислении сечения рождения резонанса использовалось приведённое в PDG значение полной ширины  $\Gamma$ . Её точность составляет около 2%, что даёт вклад в ошибку определения  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\ell\ell} / \Gamma$  на уровне 0.05%. Вклад от этой величины в систематическую ошибку определения  $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\ell\ell} / \Gamma$  не существен, поэтому данный эксперимент можно считать независимым измерением.

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{ee} / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times (\Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}) / \Gamma$ )

▶ Систематические неопределённости ( $\Gamma_{ee} \times \Gamma_{\mu\mu} / \Gamma$ )



Вклад от интерференций амплитуд перечисленных выше диаграмм подавлен фактором  $\Gamma/M$

[V. S. Fadin, V. A. Khoze and A. D. Martin Phys.Lett. B320 (1994)]

# Автор искренне признателен всему коллективу детектора КЕДР и ускорителя ВЭПП-4М

В. В. Анашину, В. М. Аульченко, А. К. Барладяну, А. Ю. Барнякову, М. Ю. Барнякову, С. Е. Бару, И. В. Бедному, О. Л. Белобородовой, А. Е. Блинову, В. Е. Блинову, А. В. Боброву, В. С. Бобровникову, А. В. Богомякову, А. Е. Бондарю, Д. В. Бондареву, А. Р. Бузыкаеву, А. И. Воробьёву, Ю. М. Глуховченко, В. В. Гулевичу, Д. В. Гусеву, В. Н. Жиличу, В. В. Жуланову, А. Н. Журавлёву, С. Е. Карнаеву, Г. В. Карпову, С. В. Карпову, В. А. Киселёву, С. А. Кононову, К. Ю. Котову, Е. А. Кравченко, В. Ф. Куликову, Г. Я. Куркину, Э. А. Куперу, Е. Б. Левичеву, Д. А. Максимову, В. М. Малышеву, А. Л. Масленникову, А. С. Медведко, О. И. Мешкову, С. И. Мишневу, И. И. Морозову, Н. Ю. Мучному, В. В. Нейфельду, С. А. Никитину, И. Б. Николаеву, И. Н. Окуневу, А. П. Онучину, С. Б. Орешкину, И. О. Орлову, А. А. Осипову, С. В. Пелеганчуку, В. В. Петрову, С. Г. Пивоварову, П. А. Пиминову, А. О. Полуэктову, И. Н. Попкову, Г. Е. Поспелову, В. Г. Присекину, А. А. Рубану, Г. А. Савинову, В. К. Сандыреву, Е. А. Симонову, С. В. Синяткину, Ю. И. Сковпеню, А. Н. Скринскому, В. В. Смалюку, А. В. Соколову, Е. В. Старостиной, А. М. Сухареву, А. А. Талышеву, В. А. Таюрскому, В. И. Тельнову, Ю. А. Тихонову, К. Ю. Тодышеву, Г. М. Тумайкину, Ю. В. Усову, А. Г. Шамову, Т. А. Харламовой, Д. Н. Шатилову, Б. А. Шварцу, С. И. Эйдельману, А. Н. Юшкову, сделавшим возможным проведение и обработку эксперимента.

# Автор искренне признателен всему коллективу детектора КЕДР и ускорителя ВЭПП-4М

В. В. Анашину, В. М. Аульченко, А. К. Барладяну, А. Ю. Барнякову, М. Ю. Барнякову, С. Е. Бару, И. В. Бедному, О. Л. Белобородовой, А. Е. Блинову, В. Е. Блинову, А. В. Боброву, В. С. Бобровникову, А. В. Богомякову, А. Е. Бондарю, Д. В. Бондареву, А. Р. Бузыкаеву, А. И. Воробьёву, Ю. М. Глуховченко, В. В. Гулевичу, Д. В. Гусеву, В. Н. Жиличу, В. В. Жуланову, А. Н. Журавлёву, С. Е. Карнаеву, Г. В. Карпову, С. В. Карпову, В. А. Киселёву, С. А. Кононову, К. Ю. Котову, Е. А. Кравченко, В. Ф. Куликову, Г. Я. Куркину, Э. А. Куперу, Е. Б. Левичеву, Д. А. Максимову, В. М. Малышеву, А. Л. Масленникову, А. С. Медведко, О. И. Мешкову, С. И. Мишневу, И. И. Морозову, Н. Ю. Мучному, В. В. Нейфельду, С. А. Никитину, И. Б. Николаеву, И. Н. Окуневу, А. П. Онучину, С. Б. Орешкину, И. О. Орлову, А. А. Осипову, С. В. Пелеганчуку, В. В. Петрову, С. Г. Пивоварову, П. А. Пиминову, А. О. Полуэктову, И. Н. Попкову, Г. Е. Поспелову, В. Г. Присекину, А. А. Рубану, Г. А. Савинову, В. К. Сандыреву, Е. А. Симонову, С. В. Синяткину, Ю. И. Сковпеню, А. Н. Скринскому, В. В. Смалюку, А. В. Соколову, Е. В. Старостиной, А. М. Сухареву, А. А. Талышеву, В. А. Таюрскому, В. И. Тельнову, Ю. А. Тихонову, К. Ю. Тодышеву, Г. М. Тумайкину, Ю. В. Усову, **А. Г. Шамову**, Т. А. Харламовой, Д. Н. Шатилову, Б. А. Шварцу, С. И. Эйдельману, А. Н. Юшкову, сделавшим возможным проведение и обработку эксперимента.



# Автор искренне признателен всему коллективу детектора КЕДР и ускорителя ВЭПП-4М

В. В. Анашину, В. М. Аульченко, А. К. Барладяну, А. Ю. Барнякову, М. Ю. Барнякову, С. Е. Бару, И. В. Бедному, О. Л. Белобородовой, А. Е. Блинову, В. Е. Блинову, А. В. Боброву, В. С. Бобровникову, А. В. Богомякову, А. Е. Бондарю, Д. В. Бондареву, А. Р. Бузыкаеву, А. И. Воробьёву, Ю. М. Глуховченко, В. В. Гулевичу, Д. В. Гусеву, В. Н. Жиличу, В. В. Жуланову, А. Н. Журавлёву, С. Е. Карнаеву, Г. В. Карпову, С. В. Карпову, В. А. Киселёву, С. А. Кононову, К. Ю. Котову, Е. А. Кравченко, В. Ф. Куликову, Г. Я. Куркину, Э. А. Куперу, Е. Б. Левичеву, Д. А. Максимову, В. М. Малышеву, А. Л. Масленникову, А. С. Медведко, О. И. Мешкову, С. И. Мишневу, И. И. Морозову, Н. Ю. Мучному, В. В. Нейфельду, С. А. Никитину, И. Б. Николаеву, И. Н. Окуневу, А. П. Онучину, С. Б. Орешкину, И. О. Орлову, А. А. Осипову, С. В. Пелеганчуку, В. В. Петрову, С. Г. Пивоварову, П. А. Пиминову, А. О. Полуэктову, И. Н. Попкову, Г. Е. Поспелову, В. Г. Присекину, А. А. Рубану, Г. А. Савинову, В. К. Сандыреву, Е. А. Симонову, С. В. Синяткину, Ю. И. Сковпеню, А. Н. Скринскому, В. В. Смалюку, А. В. Соколову, Е. В. Старостиной, А. М. Сухареву, А. А. Талышеву, В. А. Таюрскому, В. И. Тельнову, Ю. А. Тихонову, К. Ю. Тодышеву, Г. М. Тумайкину, Ю. В. Усову, А. Г. Шамову, Т. А. Харламовой, Д. Н. Шатилову, Б. А. Шварцу, С. И. Эйдельману, А. Н. Юшкову, сделавшим возможным проведение и обработку эксперимента.

# Автор искренне признателен всему коллективу детектора КЕДР и ускорителя ВЭПП-4М

В. В. Анашину, В. М. Аульченко, А. К. Барладяну, А. Ю. Барнякову, М. Ю. Барнякову, С. Е. Бару, И. В. Бедному, О. Л. Белобородовой, А. Е. Блинову, В. Е. Блинову, А. В. Боброву, В. С. Бобровникову, А. В. Богомякову, А. Е. Бондарю, Д. В. Бондареву, А. Р. Бузыкаеву, А. И. Воробьёву, Ю. М. Глуховченко, В. В. Гулевичу, Д. В. Гусеву, В. Н. Жиличу, В. В. Жуланову, А. Н. Журавлёву, С. Е. Карнаеву, Г. В. Карпову, С. В. Карпову, В. А. Киселёву, С. А. Кононову, К. Ю. Котову, Е. А. Кравченко, В. Ф. Куликову, Г. Я. Куркину, Э. А. Куперу, Е. Б. Левичеву, Д. А. Максимову, В. М. Малышеву, А. Л. Масленникову, А. С. Медведко, О. И. Мешкову, С. И. Мишневу, И. И. Морозову, Н. Ю. Мучному, В. В. Нейфельду, С. А. Никитину, И. Б. Николаеву, И. Н. Окуневу, А. П. Онучину, С. Б. Орешкину, И. О. Орлову, А. А. Осипову, С. В. Пелеганчуку, В. В. Петрову, С. Г. Пивоварову, П. А. Пиминову, А. О. Полуэктову, И. Н. Попкову, Г. Е. Поспелову, В. Г. Присекину, А. А. Рубану, Г. А. Савинову, В. К. Сандыреву, Е. А. Симонову, С. В. Синяткину, Ю. И. Сковпеню, **А. Н. Скринскому**, В. В. Смалюку, А. В. Соколову, Е. В. Старостиной, А. М. Сухареву, А. А. Талышеву, В. А. Таюрскому, В. И. Тельнову, **Ю. А. Тихонову**, К. Ю. Тодышеву, Г. М. Тумайкину, Ю. В. Усову, **А. Г. Шамову**, Т. А. Харламовой, Д. Н. Шатилову, Б. А. Шварцу, С. И. Эйдельману, А. Н. Юшкову, сделавшим возможным проведение и обработку эксперимента.