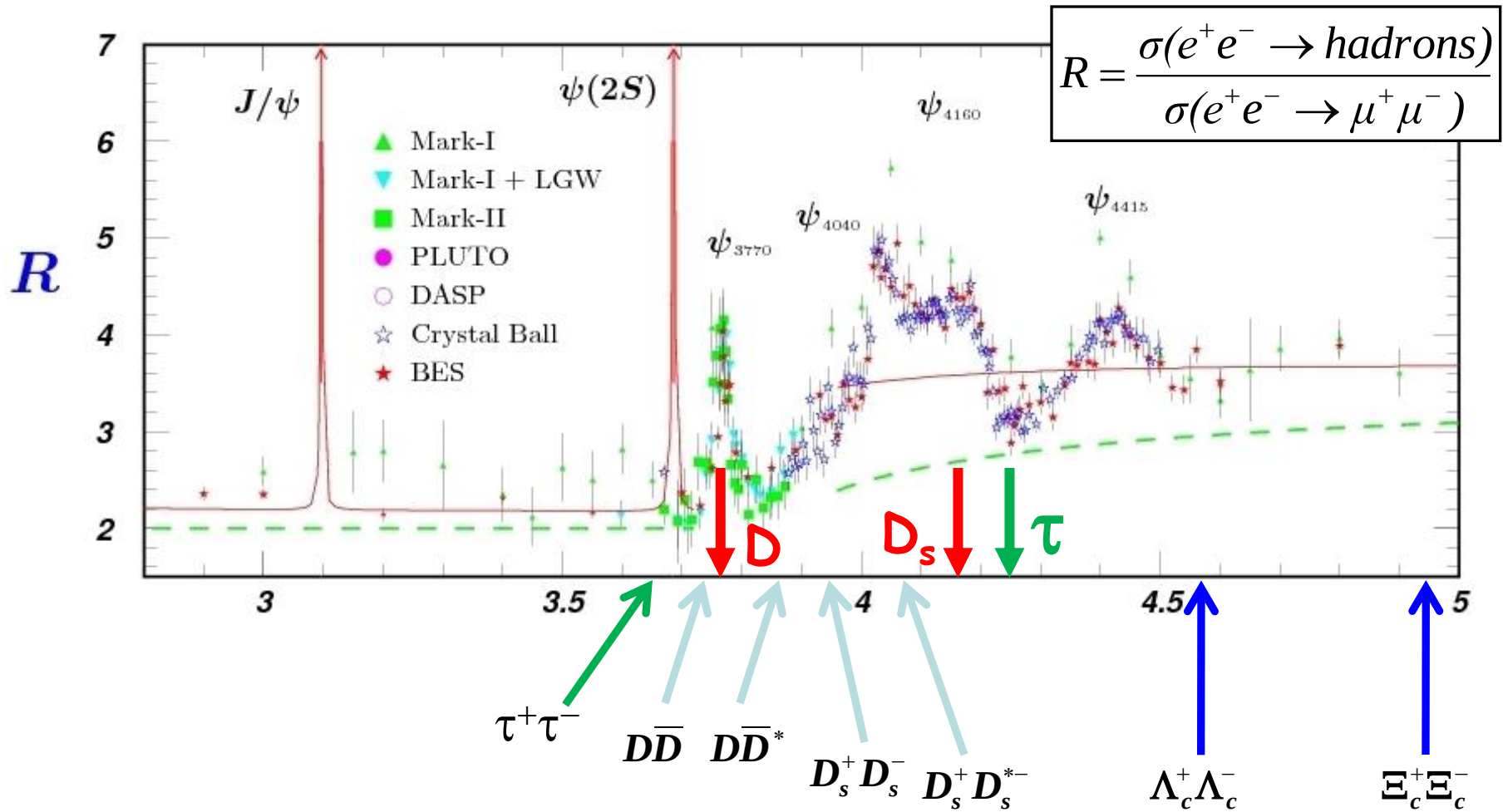


# С-т фабрика: физическая программа

Владимир Дружинин

Рабочее совещание, 18 октября 2010 года

# Область энергий



# Требуемая светимость

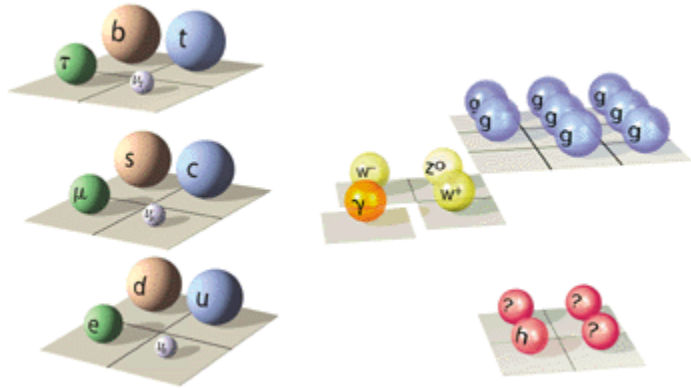
| CLEO-C                                                  |                      |                                     | BES-III/год      | C-τ             |
|---------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------|
| J/ψ                                                     | —                    | —                                   | $10 \times 10^9$ | } $\times 100$  |
| ψ(2S)                                                   | 54 пб <sup>-1</sup>  | $27 \times 10^6$                    | $3 \times 10^9$  |                 |
| ψ(3770)                                                 | 818 пб <sup>-1</sup> | $5 \times 10^6$ D-пар               | $3 \times 10^7$  |                 |
| 4.17 ГэВ                                                | 586 пб <sup>-1</sup> | $7 \times 10^5$ D <sub>s</sub> -пар | $2 \times 10^6$  |                 |
| τ <sup>+</sup> τ <sup>-</sup>                           |                      | $4 \times 10^6$                     | $2 \times 10^7$  | $10^{10}$       |
| Λ <sub>c</sub> <sup>+</sup> Λ <sub>c</sub> <sup>-</sup> |                      |                                     |                  | $5 \times 10^8$ |

В-фабрики уже произвели  $10^{10}$  очарованных адронов и  $10^9$  пар τ-лептонов

С-τ фабрики:  $10^{33} \rightarrow 10^{35} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$

В фабрики:  $10^{34} \rightarrow 10^{36} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$

# Зачем нужны $e^+e^-$ фабрики?



## Стандартная модель

- описывает все данные
- LHC: бозон Хиггса
- проблема иерархии
- много параметров
- объединение взаимодействий
- темная материя

## Новая физика (NP):

суперсимметрия, дополнительные измерения, ...

- Обнаружение новых частиц - LHC
- Непрямое наблюдение -  $e^+e^-$  фабрики
  - ✓  $\beta$ -распад: нейтрино, 1930-Паули, 1956
  - ✓  $K_L \rightarrow \mu\mu$ : с-кварк, 1970-GIM, 1974
  - ✓ CP-нарушение: 3-поколение, 1973-КМ, 1977, 1995

# Зачем нужны $e^+e^-$ фабрики

- Если NP будет открыта на LHC, то нужно будет определить, что это за NP
  - LHC определяет шкалу масс
  - Непрямые методы - масса  $\times$  константа связи
- Обе методики дополняют друг друга и позволяют выбрать модель
- Уже сейчас экспериментальные данные существенно ограничивают поле параметров моделей
- Непрямые методы позволят продвинуться по шкале масс до 10-100 ТэВ

# Физика на $e^+e^-$ фабриках

- Прецизионное определение параметров СКМ матрицы → новая физика

- Проверка соотношений унитарности по разным процессам (древесные /петлевые,  $CP/\bar{CP}$  )

- Редкие распады В-мезонов

- Физика D-мезонов

- прецизионные измерения
  - смешивание
  - $CP$ -нарушение
  - редкие распады

$$\begin{bmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{bmatrix} .$$

- Физика  $\tau$ -лептона

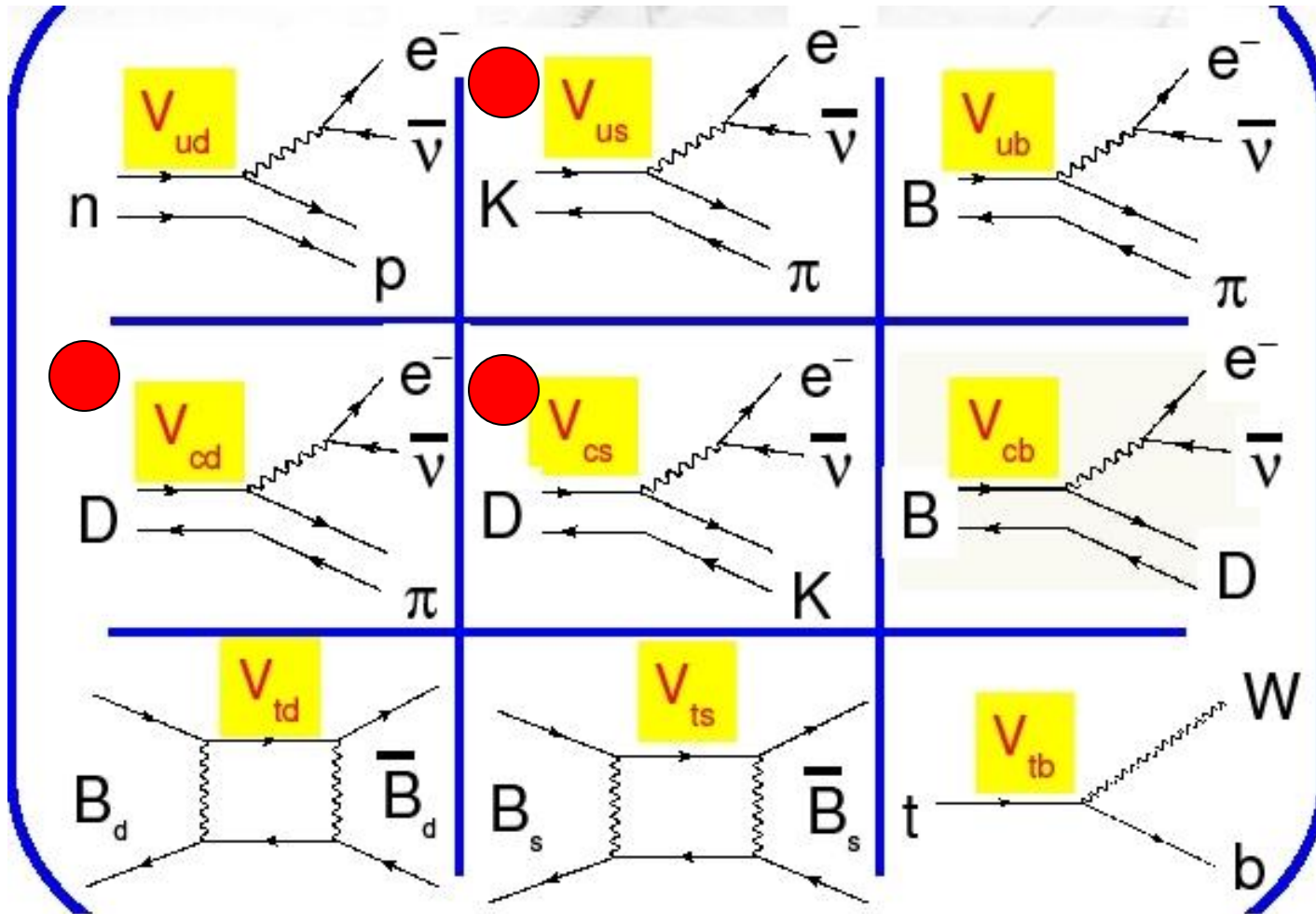
- прецизионные измерения
  - $CP$ -нарушение
  - редкие распады

$$\sum_k |V_{ik}|^2 = 1, \quad \sum_k V_{ki} V_{kj}^* = 0$$

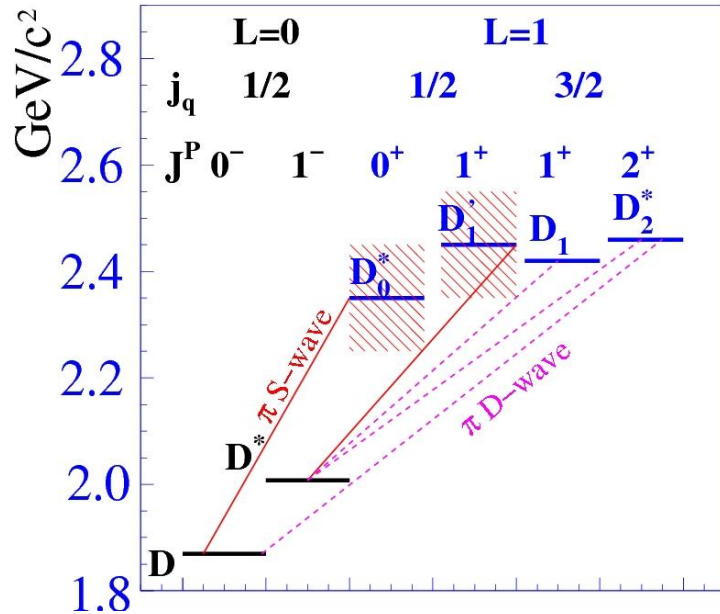
$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

- Адронная спектроскопия, поиск экзотики

# Матрица СКМ



# D-мезоны



Три типа D-мезонов:  
 $D^\pm$  (cd),  $D^0$  (du),  $D_s^\pm$  (ds)

$\sigma_{\max}$  для пар D-мезонов

|               | $D^+ D^-$ | $D^0 \bar{D}^0$ | $D \bar{D}^*$ | $D_s^+ D_s^-$ | $D_s^+ D_s^{*-}$ |
|---------------|-----------|-----------------|---------------|---------------|------------------|
| $E$ , ГэВ     | 3.77      | 3.77            | 4.02          | 4.01          | 4.17             |
| $\sigma$ , нб | 2.9       | 3.7             | $\sim 6.7$    | $\sim 0.25$   | $\sim 0.9$       |

Состояния  $D_J$  рождаются в  
 реакциях  $e^+e^- \rightarrow D^{(*)} \bar{D}_J$  с  
 $\sigma \sim 1$  нб (4.3-5 ГэВ)

C- $\tau$  фабрика может произвести  $6 \times 10^9$  пар D-мезонов и  $10^9$  пар  $D_s$ -мезонов в год. B-фабрики уже произвели  $10^{10}$  очарованных адронов

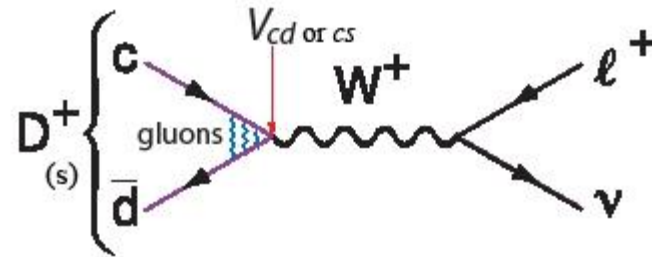
# Преимущества C-τ фабрики

- Множественность при  $E=3.77$  ГэВ примерно в 2 раза меньше чем при  $E=10.6$  ГэВ
- Парное рождение ( $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}$ ) позволяет использовать метод двойного мечения:
  - полностью реконструировать один D-мезон
  - затем или полностью реконструировать второй D-мезон (для адронных распадов )
  - или искать события с улетевшим нейтрино (для лептонных и полулептонных распадов)
- Когерентное рождение пары D-мезонов позволяет использовать квантовые корреляции для изучения смешивания D-мезонов и нарушения CP

# (Полу)лептонные распады

Измерение констант  
распада и формфакторов.

Изучение механизмов  
адронизации. Проверка  
решеточной КХД.



$$\Gamma(P^+ \rightarrow \ell^+ \nu) = \frac{1}{8\pi} G_F^2 f_P^2 m_\ell^2 M_P \left(1 - \frac{m_\ell^2}{M_P^2}\right)^2 |V_{q_1}|^2$$

Улучшение теории →  
 $V_{cs}, V_{cd}, V_{td}, V_{ts}, V_{ub}, V_{cb}$

С-τ фабрика:

- измерение вероятностей распада с точностью 0.5%.
- необходимая статистика для формфакторов.

| LQCD                              | EXP                               |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $f_D = 207 \pm 4 \text{ MeV}$     | $f_D = 207 \pm 9 \text{ MeV}$     |
| $f_{D_s} = 241 \pm 3 \text{ MeV}$ | $f_{D_s} = 258 \pm 6 \text{ MeV}$ |
| $f_{D_s}/f_D = 1.16 \pm 0.01$     | $f_{D_s}/f_D = 1.25 \pm 0.06$     |

# $D^0$ - $\bar{D}^0$ Mixing $i\frac{\partial}{\partial t}\begin{pmatrix} D^0(t) \\ \bar{D}^0(t) \end{pmatrix} = \left(M - \frac{i}{2}\Gamma\right)\begin{pmatrix} D^0(t) \\ \bar{D}^0(t) \end{pmatrix}$

Two state system:  $|D_{1,2}\rangle = p|D^0\rangle \pm q|\bar{D}^0\rangle$   
 Mass Eigenstates  $\neq$  Flavor Eigenstates

$D^0$ - $\bar{D}^0$  transitions observables

$$x = \frac{\Delta M}{\Gamma}, \quad y = \frac{\Delta\Gamma}{2\Gamma} \quad R_M = \frac{1}{2}(x^2 + y^2)$$

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \delta_{K\pi} + y \sin \delta_{K\pi} \\ y' &= y \cos \delta_{K\pi} - x \sin \delta_{K\pi} \end{aligned} \quad \left| \frac{q}{p} \right| \quad \text{Arg}\left(\frac{q}{p}\right)$$

Boxes and loops in charm transitions involve down-type quarks – this gives charm system unique new physics sensitivity.

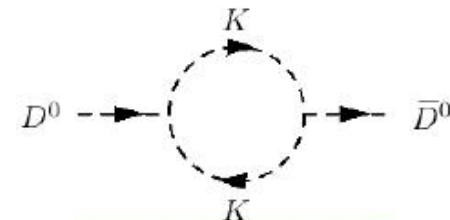
SM calculations based on box diagrams alone gives  $x \sim 10^{-5}$ ,  $y \sim 10^{-7}$  [Falk et al. PRD 65 (2002) 054034]

Long distance effects dominate  $x$ ,  $y$   
 Any CPV clear evidence for New Physics

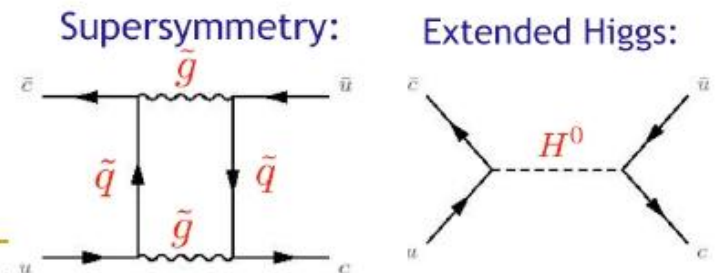
Short-distance

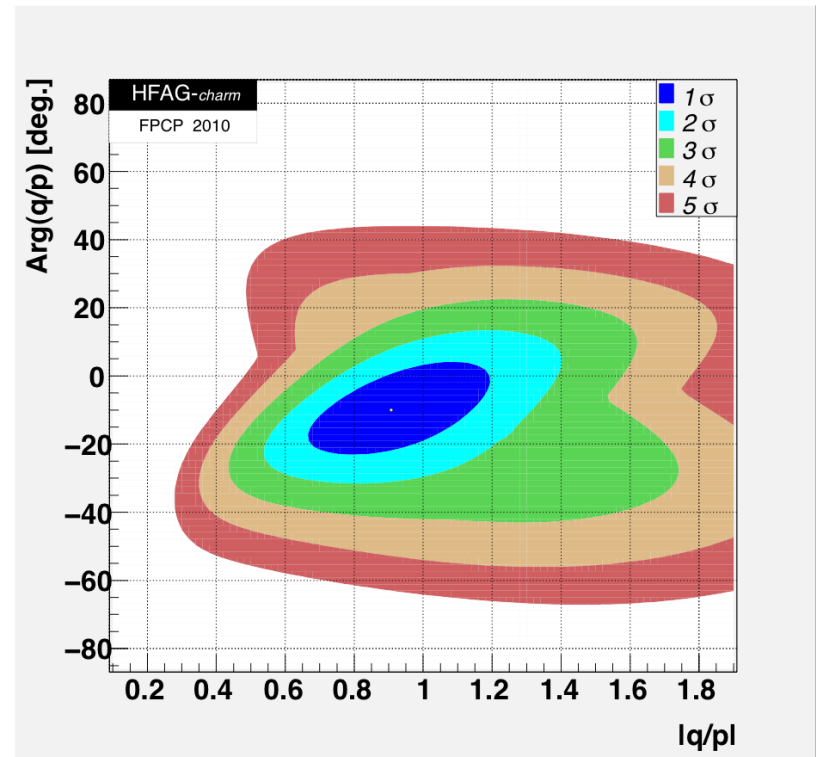
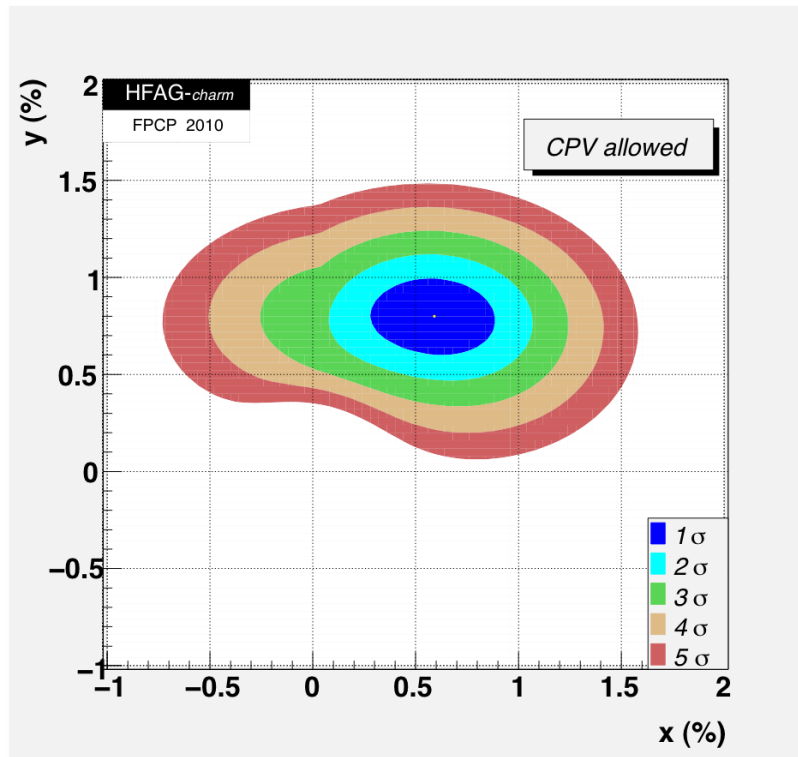


Long-distance



New-physics





| Parameter              | No <i>CPV</i>                | No direct <i>CPV</i>         | <i>CPV</i> -allowed    | <i>CPV</i> -allowed 95% C.L. |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| $x$ (%)                | $0.61^{+0.19}_{-0.20}$       | $0.59 \pm 0.20$              | $0.59 \pm 0.20$        | [0.19, 0.97]                 |
| $y$ (%)                | $0.79 \pm 0.13$              | $0.81 \pm 0.13$              | $0.80 \pm 0.13$        | [0.54, 1.05]                 |
| $\delta$ (°)           | $26.6^{+11.2}_{-12.1}$       | $28.3^{+11.3}_{-12.2}$       | $27.6^{+11.2}_{-12.2}$ | [0.7, 49.5]                  |
| $R_D$ (%)              | $0.3317^{+0.0080}_{-0.0081}$ | $0.3316^{+0.0080}_{-0.0081}$ | $0.3319 \pm 0.0081$    | [0.316, 0.348]               |
| $A_D$ (%)              | —                            | —                            | $-2.0 \pm 2.4$         | [-6.7, 2.7]                  |
| $ q/p $                | —                            | $0.98^{+0.15}_{-0.14}$       | $0.91^{+0.19}_{-0.16}$ | [0.60, 1.29]                 |
| $\phi$ (°)             | —                            | $-2.9^{+6.4}_{-6.6}$         | $-10.0^{+9.3}_{-8.7}$  | [-26.9, 8.4]                 |
| $\delta_{K\pi\pi}$ (°) | $21.6^{+22.1}_{-23.2}$       | $23.4^{+22.2}_{-23.3}$       | $23.2^{+22.3}_{-23.3}$ | [-23.2, 66.4]                |

# $D^0\text{-}\bar{D}^0$ смешивание на с-τ фабрике

- Интегральные по времени измерения
- Использование квантовых корреляций:  
 $e^+e^- \rightarrow D^0\bar{D}^0(\pi^0)$  ( $C=-1$ ),  $e^+e^- \rightarrow D^0\bar{D}^{*0} \rightarrow D^0\bar{D}^0\gamma$  ( $C=1$ )

На  $\psi(3770)$ -резонансе:

$$R_M = \frac{x^2 + y^2}{2} = \frac{N[D^0\bar{D}^0 \rightarrow (K^-\pi^+)(K^-\pi^+)]}{N[D^0\bar{D}^0 \rightarrow (K^-\pi^+)(K^+\pi^-)]}, \frac{N[D^0\bar{D}^0 \rightarrow (K^-e^+\nu)(K^-e^+\nu)]}{N[D^0\bar{D}^0 \rightarrow (K^-e^+\nu)(K^+e^-\nu)]}$$

При  $10^9$  пар D-мезонов  $\sim 150$  событий,  $\Delta R_M \sim 5 \times 10^{-6}$  ( $< 10\%$ )

$$y = \frac{1}{4} \left( \frac{\Gamma(I; S_+) \Gamma(X; S_-)}{\Gamma(I; S_-) \Gamma(X; S_+)} - \frac{\Gamma(I; S_-) \Gamma(X; S_+)}{\Gamma(I; S_+) \Gamma(X; S_-)} \right)$$

При  $10^9$  пар D-мезонов  $\Delta y \sim 8 \times 10^{-4}$  ( $\sim 10\%$ )

Ожидаемая чувствительность:

$1 \text{ аб}^{-1}$  на с-τ фабрике =  $10 \text{ аб}^{-1}$  на Супер В-фабрике

# Поиск нарушения CP

CP нарушение в распадах D-мезонов ожидается малым в СМ.

- Для CF и DCS распадов - ~~CP~~ = NP ( $D^{\pm} \rightarrow K_{S,L} \pi^{\pm}$ ,  $A_{CP} = 3.3 \times 10^{-3}$ ).
- Для SCS распадов -  $A_{CP} \sim 10^{-3}$ .

$$A_{CP} = \frac{\Gamma(D \rightarrow f) - \Gamma(\bar{D} \rightarrow \bar{f})}{\Gamma(D \rightarrow f) + \Gamma(\bar{D} \rightarrow \bar{f})}$$

На с-т фабрике CP-несохранение может быть проверено с чувствительностью  $\sim 10^{-3}$

Belle:  $D^0 \rightarrow K^+ K^-, \pi^+ \pi^-$

$$A_{CP}(K^+ K^-) = (0.43 \pm 0.30 \pm 0.11)\%$$

$$A_{CP}(\pi^+ \pi^-) = (0.43 \pm 0.52 \pm 0.12)\%$$

CLEO:  $D^+ \rightarrow K_S \pi^+, K_S \pi^+ \pi^0$

$$A_{CP}(K_S \pi^+) = (-0.6 \pm 1.0 \pm 0.3)\%$$

$$A_{CP}(K_S \pi^+ \pi^0) = (0.3 \pm 0.9 \pm 0.3)\%$$

CP нарушение в смешивании  $\rightarrow$  NP:

$$A_{SL} = \frac{\Gamma_{l+l+} - \Gamma_{l-l-}}{\Gamma_{l+l+} + \Gamma_{l-l-}} = \frac{1 - |q/p|^4}{1 + |q/p|^4}$$

При  $10^9$  пар D-мезонов  
 $\Delta|q/p| \sim 5\%$

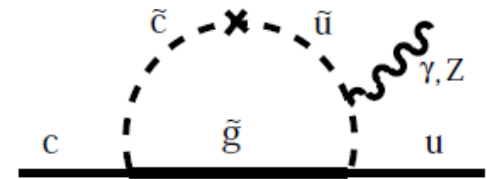
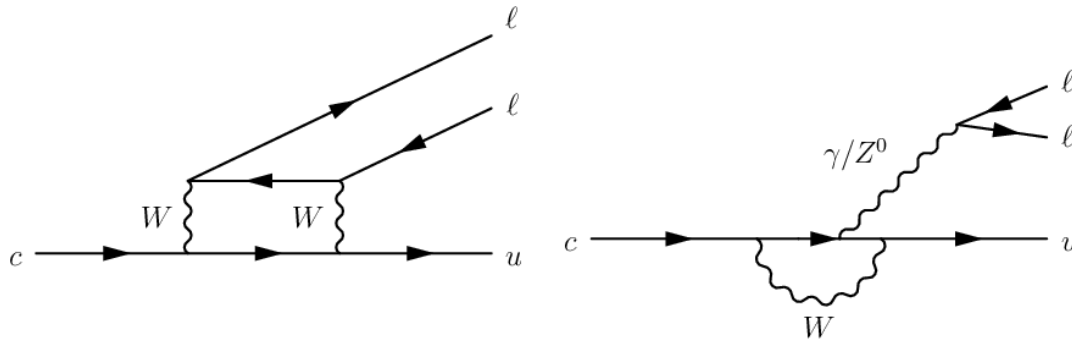
Использование квантовых корреляций, анализ распределений Далица и распределений T-нечетных моментов для многочастичных распадов увеличивает чувствительность.

# Редкие распады D мезонов

- FCNC ( $c \rightarrow u \ell^+ \ell^-$ )
  - $D^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  SM  $\sim 10^{-12}$  NP -  $10^{-6}$ 
    - CDF  $B < 4.3 \times 10^{-7}$
  - $D \rightarrow X_u \ell^+ \ell^-$  SM  $\sim 10^{-6}$  NP -  $10^{-6}$ 
    - D0  $B(D^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-) < 3.9 \times 10^{-6}$
    - CLEO  $B(D^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^-) < 7.4 \times 10^{-6}$
- LFV NP -  $10^{-6}$ 
  - BABAR  $B(D^0 \rightarrow \mu^+ e^-) < 0.81 \times 10^{-6}$
  - BABAR  $B(D^+ \rightarrow \pi^+ e^+ \mu^-) < 1.1 \times 10^{-5}$

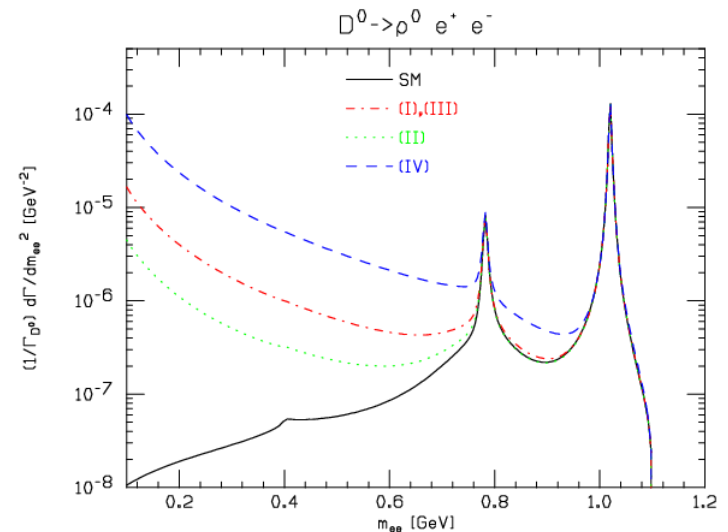
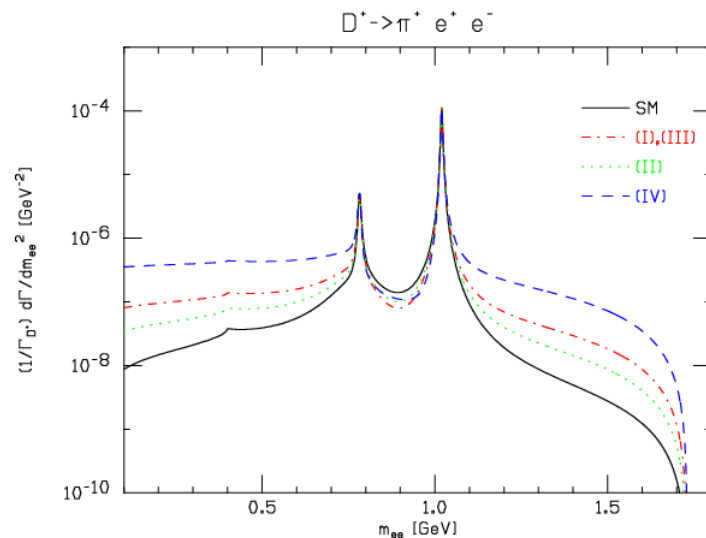
C-фабрика даст чувствительность  $\sim 10^{-8}$

# Редкие распады D мезонов



SM: short distance  $B(c \rightarrow u/l) \sim 10^{-8}$   
 long distance  $B(D \rightarrow \pi \phi \rightarrow \pi l l) \sim 10^{-6}$

NP -  $B \sim 10^{-6}$



# Очарованные барионы

- $\Lambda_c^+$  (udc),  $M \approx 2.29$  ГэВ,  $c\tau \approx 60$  мкм
- $\Xi_c^+$  (usc),  $M \approx 2.47$  ГэВ,  $c\tau \approx 132$  мкм
- $\Omega_c^0$  (ssc),  $M \approx 2.70$  ГэВ,  $c\tau \approx 21$  мкм
- $\sigma(e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda_c^-) \approx 0.5$  нб,  $5 \times 10^8$ /год
  - Измерение вероятностей распада
  - Редкие распады
  - Поиск нарушения CP

# Физика $\tau$ -лептона

- $10^{10}$  пар  $\tau$ -лептонов
  - В-фабрики  $\sim 10^9$
  - Супер-В  $\sim 7 \times 10^{10}$
- Набор статистики вблизи порога
  - $2E = 3.55$  ГэВ,  $\sigma = 0.1$  нб,  $N_{\tau\tau} = 10^8$
  - $\tau$ -лептоны рождаются в покое  $\rightarrow$  кинематические ограничения для адронных распадов  $\rightarrow$  малый фон
  - Фон от событий без  $\tau$  может быть измерен ниже порога

- Прецизионное измерение  $B_r$  и спектральных функций для адронных распадов
  - $e\nu\nu/\mu\nu\nu/\pi\nu/K\nu$  – лептонная универсальность
  - $\alpha_s$
  - $m_s, V_{us}$
- Изучение лоренцевской структуры лептонного распада
  - Энергетический спектр  $\rightarrow$  4 параметра мишеля, 2 зависят от поляризации  $\tau$ -лептона
    - поляризованные начальные пучки
    - измерение по распаду 2-го  $\tau$ -лептона

# LFV

Супер-В,  $75 \text{ ab}^{-1}$   
 $7 \times 10^{10}$  пар  $\tau$

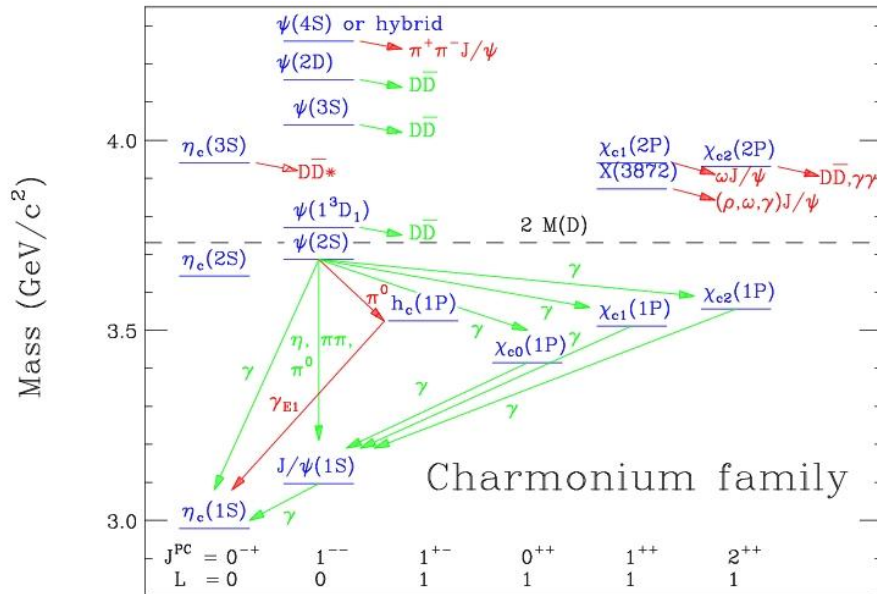
| Process                                     | Sensitivity         |
|---------------------------------------------|---------------------|
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu \gamma)$  | $2 \times 10^{-9}$  |
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow e \gamma)$    | $2 \times 10^{-9}$  |
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu \mu \mu)$ | $2 \times 10^{-10}$ |
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow e e e)$       | $2 \times 10^{-10}$ |
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \mu \eta)$    | $4 \times 10^{-10}$ |
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow e \eta)$      | $6 \times 10^{-10}$ |
| $\mathcal{B}(\tau \rightarrow \ell K_S^0)$  | $2 \times 10^{-10}$ |

- Распад  $\tau \rightarrow \mu \gamma$
- Лучший предел:  
 $4.4 \times 10^{-8}$ , BABAR по  $5 \times 10^8$  пар  $\tau$
- На  $\Upsilon(4S)$ :  
Фон от  $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-\gamma$   
Верхний предел  $\propto 1/\sqrt{L}$
- с-фабрика с  $10^{10}$   $\tau\tau$  - близкая или лучшая чувствительность

# Поиск ~~CP~~ в распадах $\tau$

- Нарушение  $CP \rightarrow NP$ , модели с заряженным хиггсом
- Две амплитуды с разными слабыми и сильными фазами
- $\tau^- \rightarrow K_S \pi^- \nu$ ,  $A_{CP} = 3 \times 10^{-3}$
- $\tau^- \rightarrow K^- \pi^0 \nu$
- Как наблюдать:
  - Асимметрия:  $\Gamma(\tau^+ \rightarrow f^+) - \Gamma(\tau^- \rightarrow f^-) \sim \sin \delta \sin \phi$
  - Модифицированная асимметрия  $\sim \sin \delta \sin \phi$
  - Асимметрия в тройном произведении  
 $\sigma \cdot (p_1 \times p_2) \sim \cos \delta \sin \phi$
- Поляризация пучков может увеличить чувствительность в несколько раз

# Чармоний



## Векторные мезоны:

$$J/\psi - 10^{12}$$
$$\psi(2S) - 10^{11}$$
$$\psi(3770) - 2 \times 10^9$$
 $\psi's - 10^8$ 

В распадах:

$$\eta_c(1S), \chi_{cJ} \sim 10^{10}$$
$$h_c = 10^8 \quad (\psi(2S) \rightarrow h_c \pi^0)$$

# Редкие распады $J/\psi$ мезона

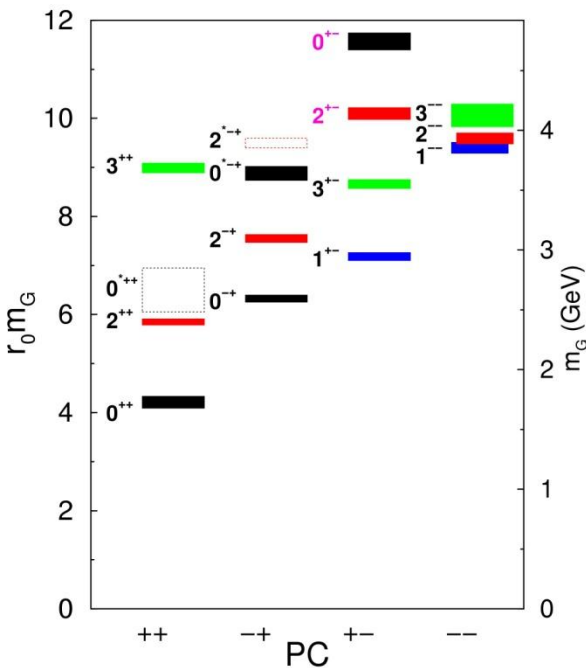
$$N(J/\psi) \sim 10^{12}$$

- Слабые распады:  $J/\psi \rightarrow D_s^{(*)} l \nu$ ,  $D_s^{*+} \rho^-$ ,  $D_s^+ \pi^-$   
 $B \sim (3-4) \times 10^{-9}$
- СМ для слабых распадов с  $\Delta S=0$ :  $Br \sim 10^{-11}$   
 $J/\psi \rightarrow D^0 \rho^0$ ,  $D^0 \pi^0$ . Чувствительность к NP.
- $cc \rightarrow ss$  переход:  $J/\psi \rightarrow \phi\phi$ ,  $B \sim 10^{-8}$
- Поиск NP в распадах с LFV:  $J/\psi \rightarrow l^+ l'^-$
- Нарушение CP в распадах  $J/\psi$

# Спектроскопия легких мезонов

- Низлежащие состояния чармония распадаются в легкие адроны с небольшой множественностью
- Можно выбрать моды распада  $c\bar{c}$ -мезонов для изучения состояний из легких кварков практически с любыми квантовыми числами
- Пример:  $B(J/\psi \rightarrow \eta' \gamma) = 0.5\% \rightarrow 5 \times 10^9$  меченых  $\eta'$   
CLEO измерил массу  $\eta'$ -мезона и распад  $\eta' \rightarrow 3\pi$ .
- Поиск глюболов ( $gg$ ) и гибридов ( $q\bar{q}g$ )

# Поиск глюболов и гибридов



- LQCD predicts the spectrum of glueballs
- Glueballs mix with ordinary mesons
- Requires detailed study of meson properties in various reactions and decay channels:

Скалярный глюбол –  $(f_0, a_0, K_0^*)$

- $J/\psi \rightarrow \gamma f_0, \phi f_0, \omega f_0, \rho a_0, K^* K_0^*$
- $\gamma\gamma \rightarrow f_0, a_0$
- с распадами в  $PP, VP, VV, V\gamma$

- Легчайший гибрид имеет экзотические квантовые числа  $1^{-+}$
- Масса - в диапазоне 1.3-2.2 GeV
- Кандидаты:  $\pi_1(1400)$ ,  $\pi_1(1600)$  наблюдались в  $\pi^- N \rightarrow \pi_1^- N$
- S-волновой распад  $\chi_{c1} \rightarrow \pi \pi_1$ , P-волновой распад  $J/\psi \rightarrow \rho \pi_1$

# Состояния чармония выше порога рождения D-мезонов

Недавно обнаруженные состояния:

- $C^+$ :  $X(3872)$ ,  $X(3940)$ ,  $Y(3940)$ ,  $Z(3930)$ 
  - $\chi_{cJ}(2P), \eta_c(3S)$  ?
  - Радиационные распады  $\psi(4040)$ ,  $\psi(4160)$ ,  $\psi(4415)$ .
  - Поиск адронных переходов  $\psi \rightarrow X, Y, Z$
- $1^{--}$ :  $X(4260)$ ,  $Y(4361)$ ,  $Y(4664)$ 
  - $\sigma(e^+e^- \rightarrow X) \sim 50$  pb.
  - Сканирование диапазона  $2E = 3.8-5$  ГэВ с интегральной светимостью  $100 \text{ fb}^{-1}$

# Физика на c-т фабрике

## Чармоний

- Спектроскопия, распады
- Спектроскопия легких адронов
- Редкие распады  $J/\psi$
- ...

## D-мезоны

- Спектроскопия
- (Полу)лептонные распады
- Редкие распады
- Смешивание
- CP нарушение
- ...

## Tau

- Спектральные функции
- Лептонная универсальность
- Лоренцева структура
- CP нарушение
- Распады с LFV
- ...

## C-барионы

- Вероятности распадов
- Полуперлептонные распады
- CP нарушение
- ...

# Для изучения каких процессов нужна продольная поляризация

- $\tau$ -ЛЕПТОНЫ
  - Лептонный спектр (параметры Мишеля)
  - Поиск нарушения  $CP$
- Барионы:  $\Lambda_c^+$ ,  $J/\psi \rightarrow \Lambda\Lambda$ 
  - Поиск нарушения  $CP$
- Поляризация не является абсолютно необходимой для этих измерений, но может значительно повысить их чувствительность
- $e^+e^- \rightarrow pp, nn, \Lambda\Lambda...$

# Нужны ли поляризованные позитроны?

|               | $e^-$ | $e^+$ |                                                 |           |
|---------------|-------|-------|-------------------------------------------------|-----------|
| $\sigma_{RR}$ |       |       | $\frac{1+P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1+P_{e^+}}{2}$ | $J_z = 0$ |
| $\sigma_{LL}$ |       |       | $\frac{1-P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1-P_{e^+}}{2}$ |           |
| $\sigma_{RL}$ |       |       | $\frac{1+P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1-P_{e^+}}{2}$ | $J_z = 1$ |
| $\sigma_{LR}$ |       |       | $\frac{1-P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1+P_{e^+}}{2}$ |           |

Для аннигиляции через фотон или Z-бозон:

$$\sigma_{P_{e^-} P_{e^+}} = \frac{1+P_{e^-}}{2} \frac{1-P_{e^+}}{2} \sigma_{RL} + \frac{1-P_{e^-}}{2} \frac{1+P_{e^+}}{2} \sigma_{LR}$$

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \frac{\sigma_{RL} + \sigma_{LR}}{4} \\ A_{LR} &= \frac{\sigma_{LR} - \sigma_{RL}}{\sigma_{LR} + \sigma_{RL}} \\ P_{\text{eff}} &= \frac{P_{e^-} - P_{e^+}}{1 - P_{e^+} P_{e^-}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (1 - P_{e^-} P_{e^+}) \frac{\sigma_{RL} + \sigma_{LR}}{4} \left[ 1 - \frac{P_{e^-} - P_{e^+}}{1 - P_{e^+} P_{e^-}} \frac{\sigma_{LR} - \sigma_{RL}}{\sigma_{LR} + \sigma_{RL}} \right] \\ &= (1 - P_{e^+} P_{e^-}) \sigma_0 [1 - P_{\text{eff}} A_{LR}], \end{aligned}$$

# Нужны ли поляризованные позитроны?

arXiv:hep-ph/0507011

Поляризация позитронного пучка

- ✓ увеличивает эффективную поляризацию,
- ✓ уменьшает относительную ошибку определения степени поляризации.

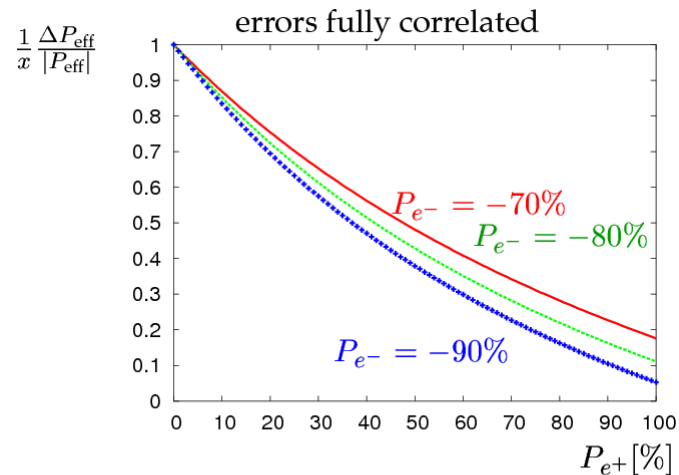
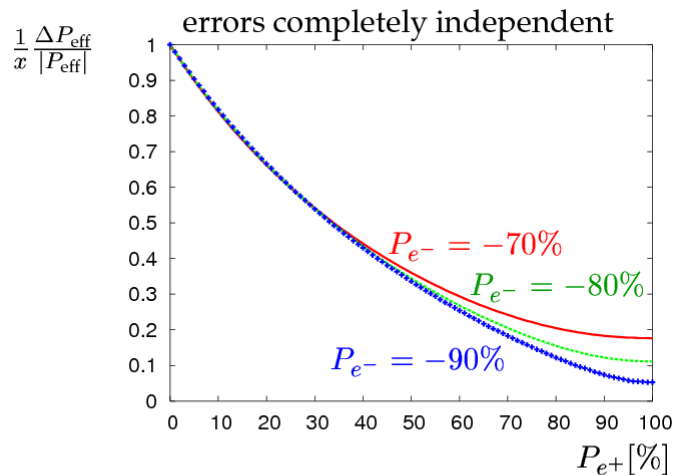
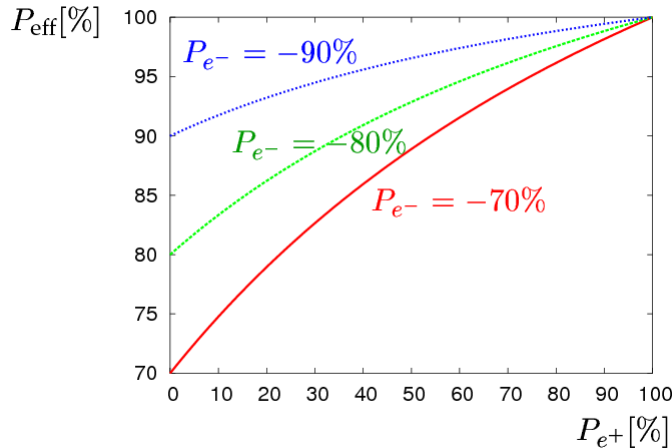


Figure 1.6: Relative uncertainty on the effective polarization,  $\Delta P_{\text{eff}}/|P_{\text{eff}}| \sim \Delta A_{\text{LR}}/A_{\text{LR}}$ , normalized to the relative polarimeter precision  $x = \Delta P_{e-}/P_{e-} = \Delta P_{e+}/P_{e+}$  for independent and correlated errors on  $P_{e-}$  and  $P_{e+}$ , see eqs. (1.25), (1.27).

# Требования к коллайдеру

- Светимость: чем больше, тем лучше
- Максимальная энергия:
  - 4.7 ( $\Lambda_c^+$ ), 5.1 ( $\Xi_c^+$ ), 5.5 ( $\Omega_c^0$ )
- Энергетический расброс:  $\sigma \sim 1$  МэВ
  - $J/\psi, \psi(2S), \sigma(e^+e^- \rightarrow \psi) \propto \Gamma/\sigma_E$
  - $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$  на пороге,  $\Delta p_h/p_h \propto (\sigma_E/E)^{1/2}$
- Поляризация
  - 3.1 ГэВ -  $J/\psi \rightarrow \Lambda\Lambda$ ,
  - 3.55 - 4.25 ГэВ -  $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$
  - 4.56 - 4.70 ГэВ -  $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda_c^-$

# Требования к детектору

- Загрузочная способность
  - $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ ,  $\sigma(20 < \theta < 160) \approx 0.5$  мкб при  $E=3.77$  ГэВ  $\longrightarrow f=50$  кГц
  - $e^+e^- \rightarrow J/\psi$ ,  $\sigma \approx 3$  мкб  $\longrightarrow f=300$  кГц
  - $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)$ ,  $\sigma \approx 0.6$  мкб  $\longrightarrow f=60$  кГц
- Идентификация частиц по сортам
  - $\pi/K$  - смешивание D0-мезонов
  - $\pi/\mu$  - распад  $\tau \rightarrow \mu \gamma$
- Зарядовая асимметрия в эффективности регистрации  $\pi$ - и K-мезонов - минимальна.