

Физическая программа Супер-*c-t* фабрики

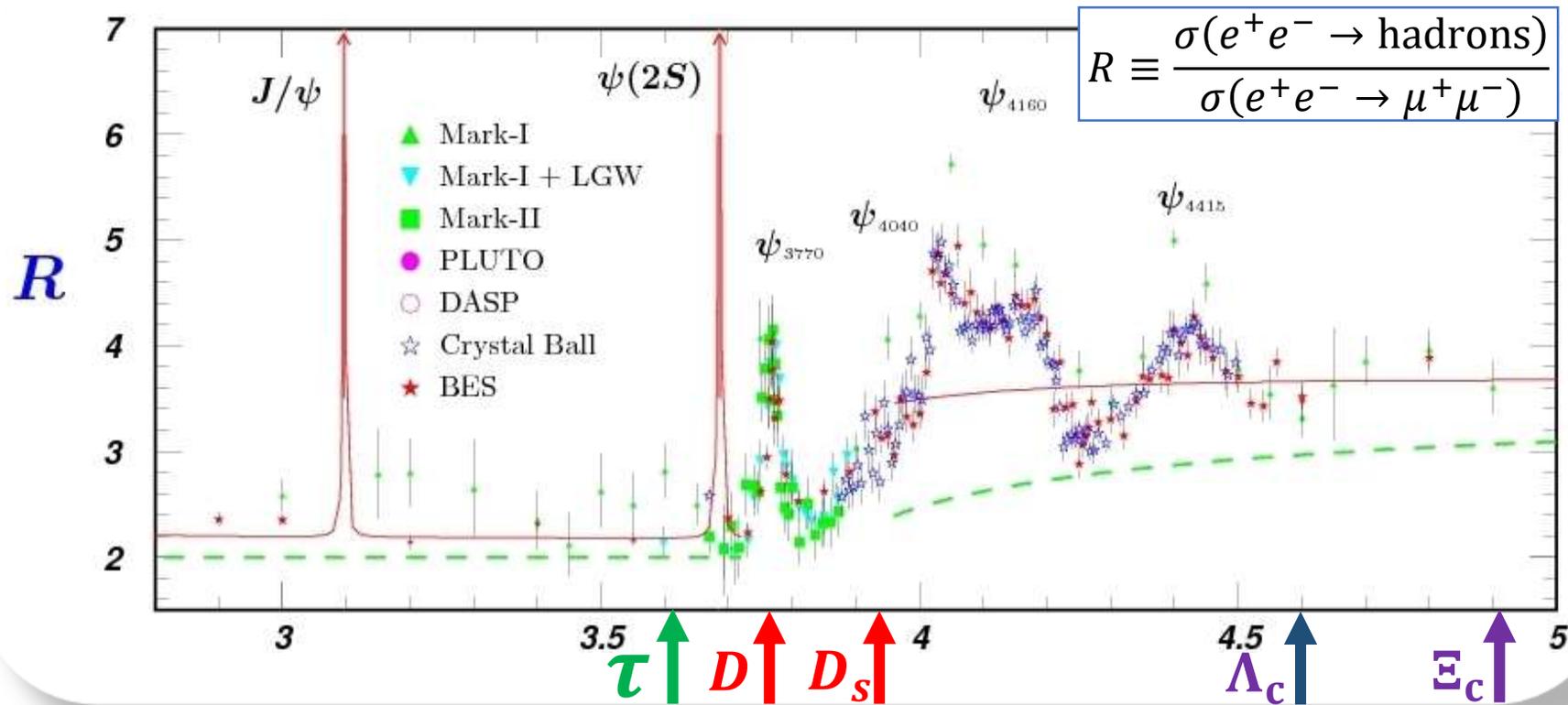
Воробьев В.С.

Научная сессия ИЯФ СО РАН

16 марта 2018 г.

Энергетический диапазон

Симметричный e^+e^- коллайдер

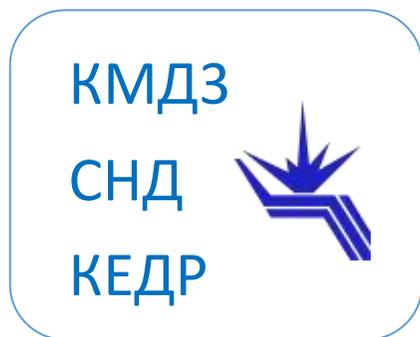


$$\mathcal{L} = 10^{35} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1} @ 2\text{ГэВ}$$

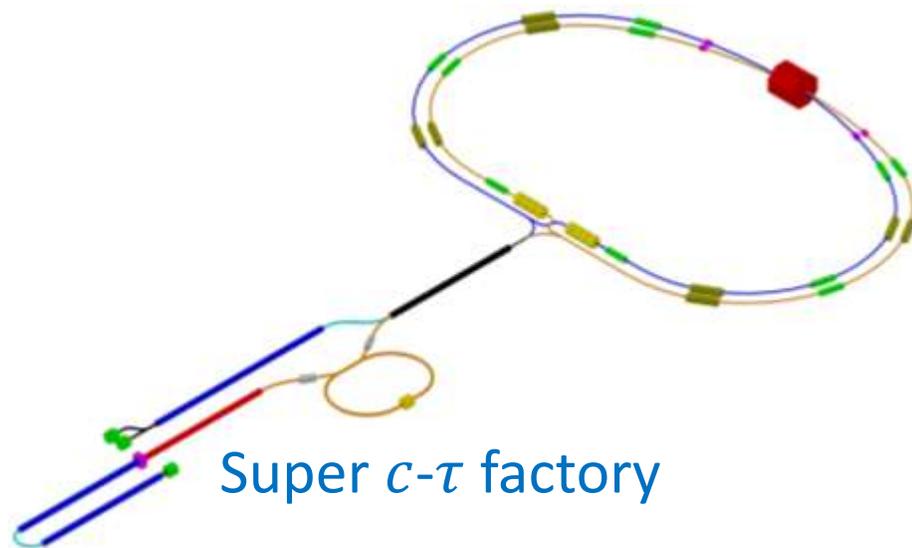
За год работы
Супер-с- τ фабрики

2E, ГэВ	Количество состояний
3.1	$10^{12} J/\psi$
3.69	$10^{11} \psi(2S)$
3.77	$10^9 D\bar{D}$
4.17	$10^8 D_s\bar{D}_s$
3.55 ÷ 4.3	$10^{10} \tau^+ \tau^-$
4.65	$10^8 \Lambda_c^+ \Lambda_c^-$

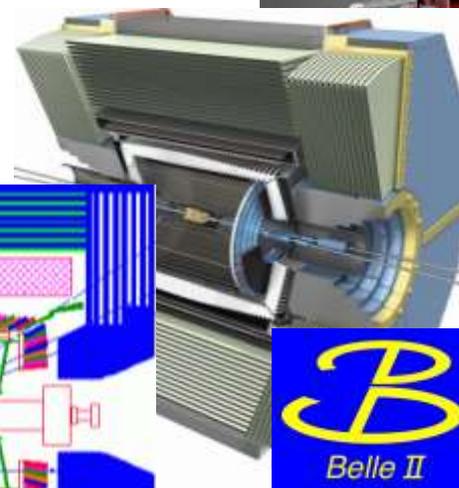
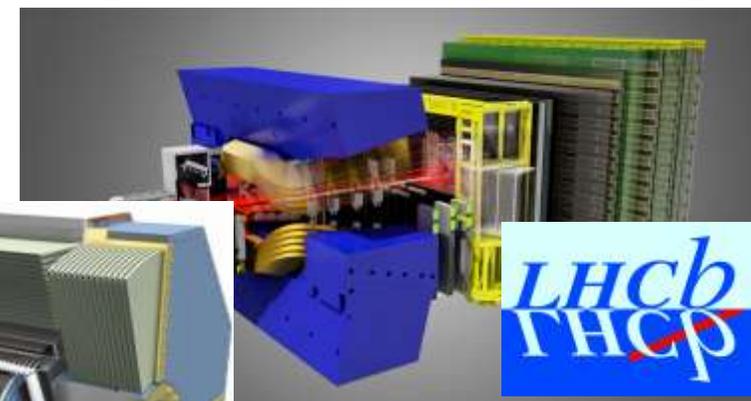
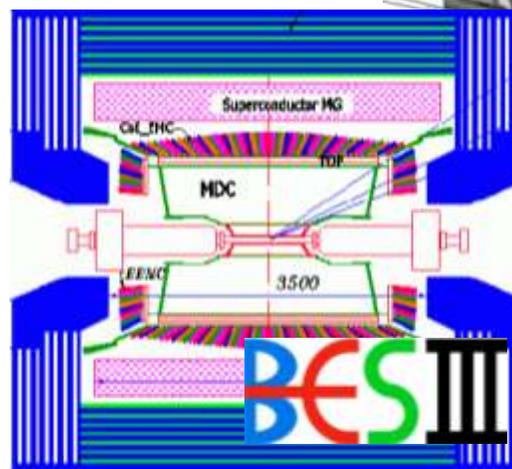
Эксперименты на встречных пучках



DAΦNE



Какое место в этом ландшафте должна занять Супер-с- τ фабрика?



ATLAS
CMS

Зачем нужна Супер- c - τ фабрика?

- Подход «предельной энергии» (LHC) пока не позволяет найти явления, не описываемые Стандартной Моделью (СМ)
- Подход «предельной точности» становится все более актуальным: эксперименты на фабриках тяжелых кварков, эксперимент LHCb

Стратегические задачи Супер- c - τ фабрики

- Измерения в области непertурбативной КХД
 - Формфакторы и распадные константы
 - Спектроскопия адронов
 - Динамика многочастичных распадов
- Изучение слабого взаимодействия кварков первого и второго поколений и лептонов
- Поиск новой физики

Преимущества Супер- c - τ фабрики

- Пороговое рождение пар τ лептонов и очарованных адронов
- Продольная поляризация электронов в месте встречи
 - CP нарушение в распадах очарованных барионов и τ лептонов
- Когерентное рождение пар $D^0\bar{D}^0$ мезонов
 - Измерение фаз амплитуд распадов
- Метод двойного мечения
 - Измерение абсолютных величин вероятностей распадов

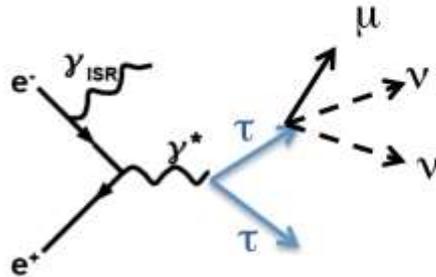
Нарушение лептонного числа

$$\tau \rightarrow \mu\gamma$$

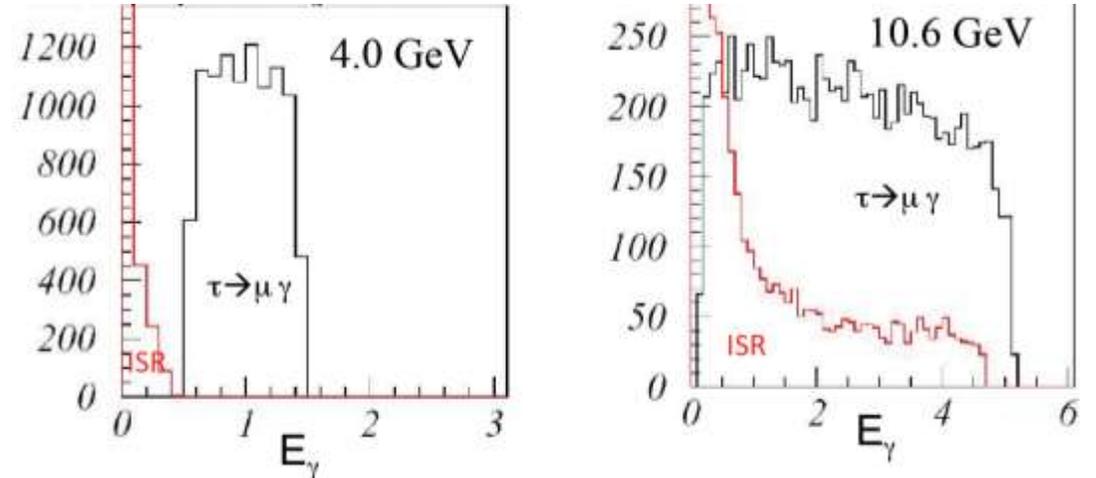
Позволяет ограничить многие сценарии новой физики (суперсимметрия, лептокварки, technicolor, дополнительные бозоны Хиггса, ...)

Основные фоновые процессы

- $\tau \rightarrow \mu\nu\nu + \text{ISR фотон}$
- $\tau \rightarrow \mu\gamma\nu\nu$
- $\tau \rightarrow \pi\nu + \text{ISR или пучковый } \gamma$



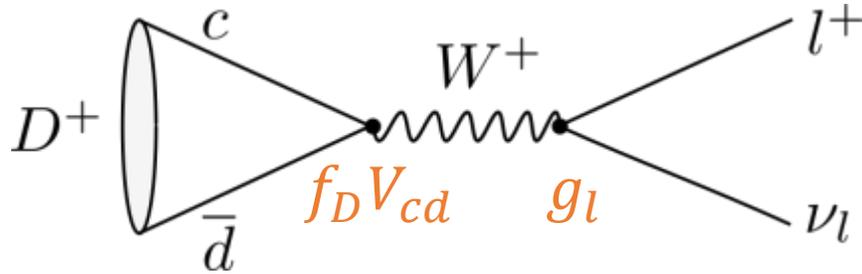
Фон от ISR фотона (Тоу МС) [А. Бобров, А. Бондарь]



- Пороговая кинематика дает преимущество
- Необходимо рекордное разделение π/μ в широком диапазоне энергий

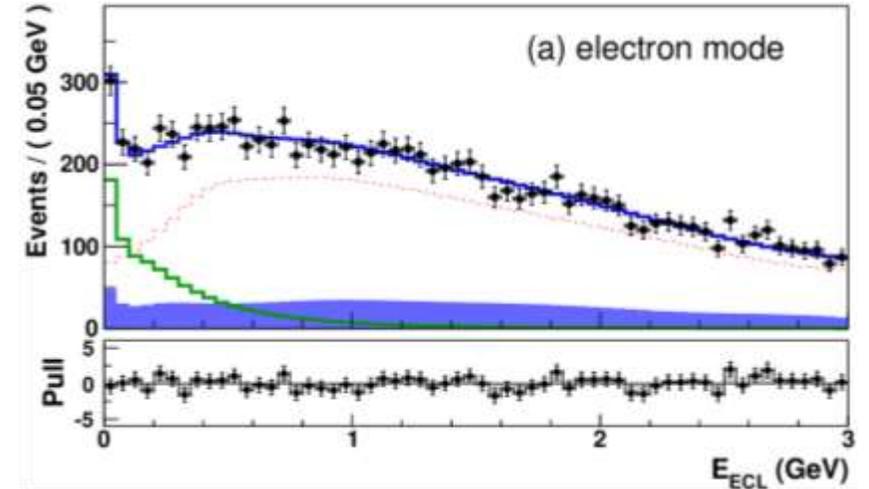
- Текущие пределы Belle и BaBar: $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 4.5 \times 10^{-8}$
- Belle II @ 50 аб^{-1} : $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 6 \times 10^{-9}$
- Супер-с- τ фабрика @ 10 аб^{-1} : $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 10^{-9}$

Лептонные распады $D_{(s)}$ мезонов



$$\Gamma(D^+ \rightarrow l\nu) = \frac{G_F^2}{8\pi} f_D^2 m_l^2 m_D \left(1 - \frac{m_l^2}{m_D^2}\right) |V_{cd}|^2$$

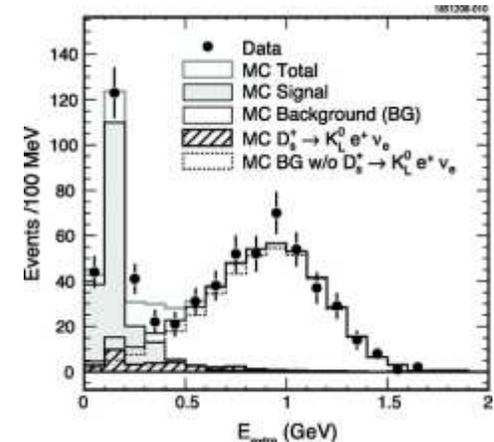
[Belle, JHEP 09 (2013), 129]



$$D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu, \tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$$

- Belle @ 913 fb^{-1}
- CLEO-c @ 600 pb^{-1} @ 4.17 ГэВ
- **Сигнал / фон $\sim 1 / 1$**
- **Сигнал / фон $> 10 / 1$**
- $f_{D_s} = (255.5 \pm 4.2 \pm 5.1) \text{ МэВ}$
- $f_{D_s} = (252.2 \pm 11.1 \pm 5.2) \text{ МэВ}$

[CLEO-c, PRD 79 (2009), 052002]



Супер-с- τ фабрика @ 600 fb^{-1} @ 4.17 ГэВ обеспечит точность $\approx 0.35 \text{ МэВ}$

Абсолютные вероятности распадов

LHCb может выполнять измерения только относительных вероятностей распада. Необходимы нормировочные абсолютные измерения

- $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
- $D^+ \rightarrow K^- 2\pi^+$
- $D_s \rightarrow K^- K^+ \pi^+$
- $D_s \rightarrow 3\pi X$
- $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$
- $\Xi_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$
- $\Xi_c^0 \rightarrow p 2K^- \pi^+$
- $\Omega_c^0 \rightarrow p 2K^- \pi^+$
- ...

[LHCb, Phys. Rev. D85 (2012), 032008]

Systematics on $f_{\Lambda_b}/(f_u + f_d)$.

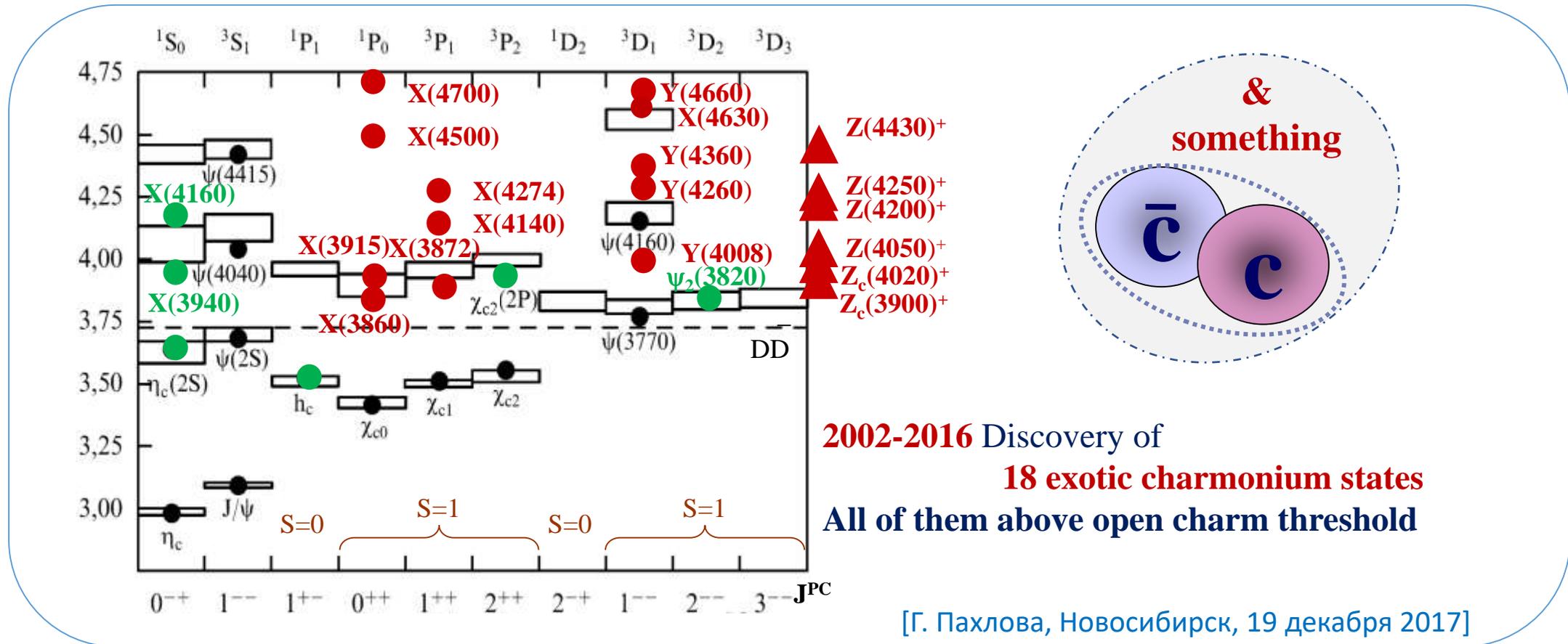
Source	Error (%)
Bin dependent errors	2.2
$\mathcal{B}(\Lambda_b^{00} \rightarrow D^0 p X \mu^- \bar{\nu})$	2.0
Monte Carlo modelling	1.0
Backgrounds	3.0
Tracking efficiency	2.0
Γ_{sl}	2.0
Lifetime ratio	2.6
PID efficiency	2.5
Subtotal	6.3
$\mathcal{B}(\Lambda_c^{++} \rightarrow p K^- \pi^+)$	26.0
Total	26.8

Квантовые корреляции

$$e^+e^- \rightarrow D^0\bar{D}^0: \quad \langle ij|\mathcal{H}|D^0\bar{D}^0\rangle \propto \langle i|\mathcal{H}|D^0\rangle\langle j|\mathcal{H}|\bar{D}^0\rangle - \langle i|\mathcal{H}|\bar{D}^0\rangle\langle j|\mathcal{H}|D^0\rangle$$

- В процессе $e^+e^- \rightarrow D^0\bar{D}^0$ пара D мезонов рождается в когерентном состоянии с $\mathcal{C} = -1$
- Чувствительность к фазам амплитуд распадов D мезонов дает уникальную возможность для измерения некоторых (фазовых) параметров
- Фазовые параметры необходимы для ключевых измерений в экспериментах Belle II и LHCb: углы треугольника унитарности β и γ , параметры смешивания D -мезонов

Чармониеподобные состояния



«Кризис-фестиваль» гарантирует множество задач в области новых $c\bar{c}$ -like состояний для Супер-с-т фабрики

Концептуальный проект



ctd.inp.nsk.su

В.П. Дружинин и др.

Чармоний

- Спектроскопия
- Распады
- Изучение легких состояний в распадах J/ψ

Очарованные мезоны

- Спектроскопия
- Распады
- Осцилляции
- CP нарушение

Очарованные барионы

- Распады
- CP нарушение

τ лептон

- Распады
- CP нарушение
- Поиск несохранения лептонного числа
- Проверка лептонной универсальности

Двухфотонная физика

- Поиск C -четных резонансов
- $\sigma(\gamma\gamma \rightarrow \text{hadrons})$

$\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})$

Требования к коллайдеру и детектору

Детектор

- Загрузка 300 кГц
- *Хорошее* энергетическое и импульсное разрешение
- *Высокая* эффективность регистрации мягких треков
 - **Вершинный детектор**
- *Рекордное* качество идентификации
 - π/K для изучения смешивания D мезонов
 - π/μ для редких распадов τ ($\tau \rightarrow \mu\gamma$)
- *Минимальная* CP асимметрия регистрации частиц

Коллайдер

- Светимость: чем больше, тем лучше
 - Интегральная светимость 10 аб^{-1}
- Энергетический разброс $\sigma_E \sim 1 \text{ МэВ}$
 - $\sigma(e^+e^- \rightarrow \psi) \propto \frac{\Gamma}{\sigma_E}$
 - Точность кинематической реконструкции $\tau^+\tau^-$ на пороге
- Максимальная энергия 5 ГэВ
 - **Область энергий от 5 ГэВ до 7 ГэВ?**
- Продольная поляризация e^-
- **Пучковый фон?**

Чтобы быть конкурентоспособными, мы должны получить светимость 50хBESIII, иметь продольно поляризованный пучок e^- , использовать продвинутые технологии в системах детектора

Основные итоги совещания в декабре

1. Физическая программа Супер-с-т фабрики обширна и сохранит свою актуальность в перспективе 10 лет
2. Для дальнейшего развития физической программы необходимо создать моделирование, включающее описание отклика детектора
3. Для успешного развития проекта необходимо совместное развитие физической программы, проекта детектора и ускорительного комплекса

Начата разработка среды для физического моделирования:

- Установлены основные генераторы событий
- Работает параметрическое моделирование детектора
- Над подробным моделированием детектора необходимо работать совместно с группами, отвечающими за подсистемы детектора

Заключение

1. Физическая программа Супер-с-т фабрики обширна и сохранит свою актуальность в перспективе 10 лет
2. Создание моделирования и программной инфраструктуры в целом необходимо для развития физической программы и проекта детектора
3. Для успешного развития проекта Супер-с-т фабрики необходимо значительно увеличивать количество вовлеченных людей, привлекать коллег из других российских и зарубежных исследовательских центров, университетов

Недавние и ближайшие события

- НИЕРА2015
- Совещание по физической программе (декабрь 2017, ИЯФ)
- Joint BESIII-LHCb Workshop (февраль 2018)
- НИЕРА2018 (март 2018)
- Satellite meeting (май 2018, ИЯФ)