Физическая программа СЧТФ

Тимофей Углов

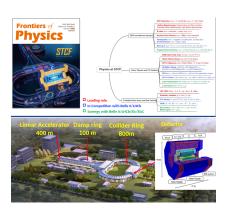
ФИАН, ВШЭ

timofey.uglov@gmail.com

21 февраля 2025 г.



Проекты Суперфабрик очарования



детали: доклад Xiaorong Zhou "The Project of Super Tau-Charm Factory in China"

Январь 2024 г.

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

Том 194, № 1

приборы и методы исследований

Эксперименты на Супер чарм-тау фабрике

М.Н. Ачасов, В.Е. Блинов, А.В. Бобров, Д.А. Бодров, А.Е. Бондарь, В.С. Воробьев, Д.С. Горбунов, В.П. Дружинин, Д.А. Епифанов, А.С. Кузмин, И.Б. Логашенко, Д.В. Матвиенко, А.В. Нефедьев, П.Н. Пахлов, Г.В. Пахлова, В.Е. Попов, Т.В. Углов

В обзоре обеуждается физическая программа нового эксперимента на Супер чарм-тах фабрике, основой которой станет мощный электрон-позитронный коллайдер со светимостью $\sim 10^{25}~{\rm cm}^{-2}~{\rm c}^{-1}$ и энергией в системе центра масс в интервале от 3 до 5 ГэВ. Сокременный детектор, расположенный вокруг точки столкновения пучков, обеспечит новый уровень точности измерений. Продольная поляризация электронного итчка наряду с рекордной светимостью поэколят тиккальному эксперименти успешню конкурировать с существующими супровойниками то вести Belle II и LHCh. Общитая физическая тогламма включат изэчение свойств и измерение физических параметров очарованных адромов, т-митона, чармония, экзотических состоящий, а также исследование рождения лёжих адропов в e+e-линигилящи и в деухфотонных процессах. Помимо проверки Стандартной модели и прецизионного измерения её параметров, планируется всесторовний поиск Новой филики за её предслами.

Ключеные слива: е"е"-коллайдер, полярилованные пучки, квантовая хромодинамика, т-лентон, физика очарованных адронов, Новая физика

PACS numbers 12.38 _4.12.68 _i.29.20.4b

DOI: https://doi.org/10.3367/LIFNe.2023.10.039583



21 февраля 2025 г.

Детектор

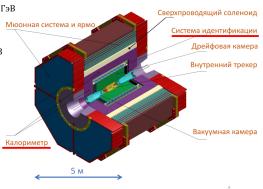
Импульсное разрешение на уровне $0.5\% \ @ 1\ \Gamma$ 9В Герметичность $\approx 95\%$ телесного угла Реконструкция треков, начиная с $p_t \approx 50\ \mathrm{MpB}$ Превосходное разделение $\mu/\pi/K/p$ до $1.5\ \Gamma$ 9В

- \circ dE/dx в трековой системе
- Черенковское излучение
- μ/π разделение!

Хорошее π^0/γ разделение и регистрация γ в диапазоне энергий от $10~{
m MpB}$ до $3000~{
m MpB}$

- Хорошее энергетическое разрешение
- $_{\circ}$ Быстрый калориметр ($\sigma_{t} < 1$ нс)

Сбор данных с частотой $\sim\!300~\mathrm{к}\Gamma\mathrm{ц}$ @ J/ψ



Энергетический диапазон Супер чарм-тау фабрики



Основные направления физической программы СЧТФ

Спектроскопия адронов

- чармоний
- легкие и экзотические адроны
- открытое очарование
- чармониеподобные состояния

Изучение СР-нарушений

- в распадах очарованных адронов
- ullet в распадах au-лептона

Прецизионная проверка СМ

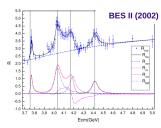
- лептонная универсальность:
 - очарованные адроны
 - ullet au-лептон
- ullet угол Вайнберга в распадах J/Ψ
- ullet параметры Мишеля в распадах au

За пределами СМ

- легкая экзотика
- редкие и запрещенные распады D-мезонов
- ullet запрещенные распады au
- ullet запрещенные распады J/Ψ

Спектроскопия очарованных адронов... ... в начале эры В-фабрик

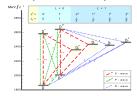




$$R=rac{\sigma(e^+e^-
ightarrow hadrons)}{\sigma(e^+e^-
ightarrow \mu^+\mu^-)}$$



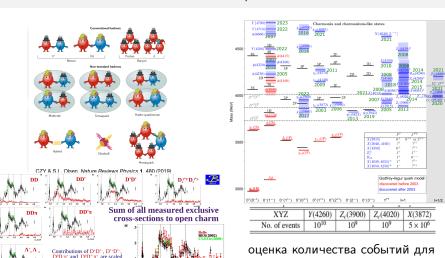
спектроскопия чармония



спектроскопия D-мезонов



Спектроскопия очарованных адронов... ... в начале эры СЧТФ



китайского проекта СТЧФ

Изучение СР-нарушений в распадах D-мезонов

Прямое

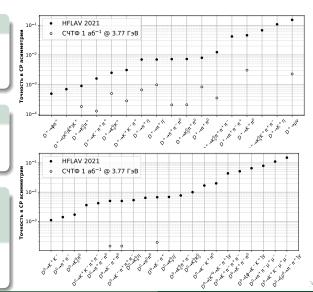
$$A_{CP}^{\pm} = \frac{\Gamma_{D^- \to f^-} - \Gamma_{D^+ \to f^+}}{\Gamma_{D^- \to f^-} + \Gamma_{D^+ \to f^+}}$$

Через смешивание

$$|q/p|$$
; SCTF: $\mathcal{O}(10^{-3})$

Интерференция прямой амплитуды и амплитуды со смешиванием

$$\varphi = \arg\left(\frac{q}{p}\frac{\overline{A}_f}{A_f}\right)$$



Изучение СР-нарушений в распадах au-лептонов

электрический дипольный момент $d_{ au}$

СМ предсказывает значения d_{τ} далеко за пределами чувствительности эксперимента \Longrightarrow любое отклонение от нуля свидетельствует о НФ. Belle:

 $-1.85 < \mathrm{Re}(d_{ au}) < 0.61 \ (10^{-17} \ e \cdot cm); \quad -1.03 < \mathrm{Im}(d_{ au}) < 0.23 \ (10^{-17} \ e \cdot cm)$ Поляризованные пучки позволяют существенно улучшить измерение $d_{ au}$, особенно его действительной части.

аномальный магнитный дипольный момент $a_ au = (g_ au - 2)/2$

теоретическая точность $\mathcal{O}(10^{-8})$ экспериментальная точность $\mathcal{O}(10^{-3})$

экспериментальная точность $\mathcal{O}(10^{-4})$

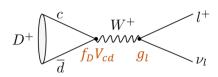
HФ: вклад в $a_I \sim m_I^2 \quad \Longrightarrow \quad a_ au$ чувствительнее к НФ, чем a_μ

ср-нарушения в адронных распадах au-лептона

ожидаемая точность $\mathcal{O}(10^{-4})$

Поляризованный пучок \Longrightarrow поляризованные au-лептоны. Можно не восстанавливать второй au-лептон. Нет зависимости от относительной фазы.

Лептонные распады очарованных адронов



$$\Gamma(D^+ o I^+
u) = rac{G_F^2}{8\pi} f_D^2 m_I^2 M_D \left(1 - rac{m_I^2}{M_D^2}
ight)^2 |V_{cd}|^2$$

$$R_{ au/\mu}^{
m SM} \equiv rac{\mathcal{B}(D^+ o au^+
u)}{\mathcal{B}(D^+ o \mu^+
u)} = rac{m_ au^2 \left(1 - rac{m_ au^2}{m_{D^+}^2}
ight)^2}{m_\mu^2 \left(1 - rac{m_\mu^2}{m_{D^+}^2}
ight)^2} = 2.67$$

BESIII (2019):
$$R_{\tau/\mu}^{\text{exp}}(D^+) = 3.21 \pm 0.64 \pm 0.43$$

 $R_{\tau/\mu}^{\text{SM}}(D_s^+) = 9.76$; $R_{\tau/\mu}^{\text{exp}} = 10.38 \pm 0.80$

Изучение распадов au-лептона

Проверка лептонной универсальности

$$\begin{split} \Gamma(\tau^- \to \nu_\tau l^- \bar{\nu}_l) &= \frac{G_\tau G_l m_\tau^5}{192 \pi^3} f\left(\frac{m_l^2}{m_\tau^2}\right) r_{\rm EW} \\ r_{\rm EW} &\approx 0.9915, f(x) = 1 - 8x + 8x^3 - x^4 - 12x^2 \ln x, \; G_l = \frac{g_l^2}{4\sqrt{2}m_W^2} \\ \frac{\mathcal{B}(\tau \to \mu \nu_\tau \bar{\nu}_\mu)}{\mathcal{B}(\tau \to e \nu_\tau \bar{\nu}_e)} &= 0.972564 \pm 0.000010 \; (\text{теория}) \\ \frac{\mathcal{B}(\tau \to \mu \nu_\tau \bar{\nu}_\mu)}{\mathcal{B}(\tau \to e \nu_\tau \bar{\nu}_e)} &= 0.9796 \pm 0.0016 \pm 0.0036 \; (\text{BaBar, 2010}) \end{split}$$
 Также в распадах $\tau \to \pi \nu_\tau, \; \tau \to K \nu_\tau$ и $\pi \to \mu \nu_\mu$ и $K \to \mu \nu_\mu$ $R_{\tau/P} = \frac{\Gamma(\tau \to P \nu_\tau)}{\Gamma(P \to \mu \nu_\mu)} &= \left|\frac{g_\tau}{g_\mu}\right|^2 \frac{m_\tau^3}{2m_P m_\mu^2} \frac{(1 - m_P^2/m_\tau^2)^2}{(1 - m_\mu^2/m_P^2)^2} \left(1 + \delta R_{\tau/P}\right) \end{split}$

Измерение параметров Мишеля

$$\frac{d\Gamma(\tau^{\mp})}{d\Omega dx} \propto x(1-x) + \frac{2}{9}\rho(4x^2 - 3x - x_0^2) + \frac{\eta}{2}x_0(1-x) + \frac{P_{\tau}}{2}\cos\theta_l \xi \sqrt{x^2 - x_0^2} \left[1 - x + \frac{2}{3}\frac{\delta}{\delta}\left(4x - 4 + \sqrt{1 - x_0^2}\right)\right]$$

➤ На СЧТФ с поляризованными e⁻ параметры Мишеля могут быть измерены с большей точностью, чем в эксперименте Belle II

$$x \equiv \frac{E_l}{E_{\text{max}}}, \qquad x_0 \equiv \frac{m_l}{E_{\text{max}}}$$

Измерение угла Вайнберга

Благодаря интерференции между амплитудами с γ^* и Z^0 возникает асимметрия сечения рождения J/Ψ в e^+e^- -аннигиляции:

$$A_{LR} \equiv \frac{\sigma_{+} - \sigma_{-}}{\sigma_{+} + \sigma_{-}} = \frac{3/8 - \sin^{2}\theta_{\text{eff}}^{c}}{2\sin^{2}\theta_{\text{eff}}^{c} \left(1 - \sin^{2}\theta_{\text{eff}}^{c}\right)} \left(\frac{m_{J/\psi}}{m_{Z}}\right)^{2} P_{e}$$

$$A_{LR} \approx 4.7 \times 10^{-4} P_{e}$$

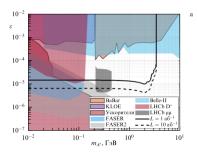
- $\circ \sigma_+ (\sigma_-)$ сечение $e^+ e^- \to J/\psi$ при правой (левой) поляризации электронов
- \circ P_e средняя поляризация электронов, $P_e < 1$

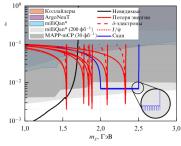
точность измерения на СЧТФ (1 год):
$$\frac{\sigma(\sin^2\theta)}{\sin^2\theta} \approx 0.3\%; \ \sigma(\sin^2\theta) \approx 5 \cdot 10^{-4}$$

Легкие состояния за пределами СМ

Описание Вселенной в рамках Стандартной модели не полно́ Новые частицы могли бы решить проблему, но они должны быть легкими, т.к. массивные частицы вносят вклад в массу бозона Хиггса и дестабилизируют электромагнитную шкалу.

Они должны быть легкими и слабо взаимодействовать с обычной материей Кандидаты: скрытый массивный фотон (A'), зеркальный $Z^{0'}$ миллизаряженные частицы.





Заключение

- Супер чарм-тау фабрика установка мирового класса для прецизионных экспериментов по физике частиц
- Два проекта в России и в Китае имеют проработанную физическую программу исследований, а также технические проекты ускорителя и детектора
- Решение о начале строительства ожидается в ближайшее время