

Проект «Супер Чарм-Тау Фабрики»

Виталий Воробьев, ИЯФ СО РАН

15.04.2021, ФИАН



Супер Чарм-Тау Фабрика

- Электрон-позитронный коллайдер для прецизионных экспериментов с тау лептоном и очарованными адронами и поиска новой физики
 - Энергия пучка от 1.5 до 3.5 ГэВ
 - Светимость $\mathcal{L} = 10^{35} \text{ см}^{-2} \text{с}^{-1}$ @ 2 ГэВ
 - Продольная поляризация электронов
- > Универсальный детектор частиц
 - о Трековая система
 - о Калориметр
 - о Система идентификации частиц



Параметры коллайдера 2021



 Продолжается оптимизация динамической апертуры на низких энергиях

E(MeV)	1500 2000 2500 3000 3500				3500		
Π (m)	632.94						
F _{RF} (MHz)	350						
q			740				
2θ (mrad)			60				
$\varepsilon_y/\varepsilon_x(\%)$			0.5				
β_x^* (mm)			100				
β_{γ}^{*} (mm)			1				
α			2.2×10^{-3}				
I(A)	2	2	2	2	2		
$N_{e/bunch} \times 10^{10}$	9	8	8	9	10		
N _b	292	328	328	292	262		
U_0 (keV)	21	67	164	340	629		
<i>V_{RF}</i> (kV)	1600	2000	2000	2000	3400		
ν_s	0.0164	0.016	0.0142	0.013	0.0155		
δ_{RF} (%)	2	1.9	1.7	0.014	1.6		
$\sigma_e \times 10^3$ (SR/IBS)	0.28/1	0.4/0.7	0.47/0.62	0.57/0.61	0.66/0.68		
σ_s (mm) (SR/IBS)	4/13	5/10	7/9.4	9.5/10.2	9.2/9.4		
$\varepsilon_{\chi}(nm)$ (SR/IBS)	3/21	4.7/12.7	7.4/10.5	10.6/11.6	14.5/14.8		
$L_{HG} \times 10^{35} (cm^{-2}s^{-1})$	0.5	0.8	1	1	1		
ξ_x	0.008	0.009	0.009	0.007	0.008		
ξ _y	0.11 0.12 0.11 0.092 0.084						
τ_{Touschek} (s)	3600 2900 2400 2600 6400						
τ_L (s)	3100 1900 1600 1700 1600						

Концепция детектора

- Импульсное разрешение на уровне 0.5% @ 1 ГэВ
- ▶ Герметичность ≈ 95% телесного угла
- \succ Реконструкция треков, начиная с $p_t pprox 50 \; \mathrm{M}$ эВ
- > Превосходное разделение $\mu/\pi/K/p$ до 1.5 ГэВ
 - \circ dE/dx в трековой системе
 - Черенковское излучение
 - μ/π разделение!
- > Хорошее π^0/γ разделение и регистрация γ в
 - диапазоне энергий от 10 МэВ до 3000 МэВ
 - Хорошее энергетическое разрешение
 - $_{\circ}~$ Быстрый калориметр ($\sigma_t < 1~{
 m hc}$)
- > Сбор данных с частотой ~300 кГц @ J/ψ



Энергетический диапазон



Рождение нерелятивистских частиц на пороге обеспечивает возможность их

 $\mathcal{L}~=10^{35}~\mathrm{cm^{-2}c^{-1}}$ Сезон набора данных

2 <i>Е</i> , ГэВ	Количество
3.1	$10^{12}J/\psi$
3.69	$10^{11}\psi(2S)$
3.77	$10^9 D \overline{D}$
4.17	$10^8 D_s \overline{D}_s$
3.55 ÷ 4.3	$10^{10} au au$
4.65	$10^8 \Lambda_c^+ \Lambda_c^-$

Физическая программа

СЧТФ – эксперимент с широкой программой прецизионных измерений



Загрузка и объемы данных

Основные процессы						
	J/ψ	$\psi(2S)$	$\psi(3770)$			
Е (МэВ)	3097	3686	3770			
σ (нбн)	1400	370	≈ 6			
<i>f</i> (кГц)	110	34	0.6			
Частота фоновых процессов (кГц)						
Космика	≈ 2					
Адронные события	19	17	16			
Bhabha	90	80	80			
Максимальная частота						
триггера 300 кГц						

	BESIII	СЧТФ	Belle II
Интеграл светимости (1/аб)	≈ 0.02	10	50
Число событий (10 ¹⁰)	≈ 4	200	10
Размер события (кБ)	12	50	300
Сырые данные (ПБ)		100	200
Обработанные данные (ПБ)		10	80

 Характерные параметры системы хранения и вычислительного кластера понятны

> Подобные системы существуют

Контекст

Коллайдеры-фабрики



завершены работают проектируются

Эксперименты в области charm и тау



Протонные столкновения



Супер чарм-тау фабрика пороговый эксперимент нового поколения



Преимущества Супер чарм-тау фабрики

- Подход «предельной энергии» на LHC пока не позволил обнаружить новую физику
- Подход «предельной точности» становится все более актуальным: эксперименты на фабриках тяжелых кварков, эксперимент LHCb

Стратегические задачи

- 1. Поиск новой физики
- 2. Измерения в области непертурбативной квантовой хромодинамики (КХД)
- Изучение электрослабого взаимодействия кварков первого и второго поколений и лептонов

- 1. Пороговое рождение пар *τ* лептонов и очарованных адронов
 - Хорошо определенное начальное состояние
 - о Дополнительная кинематическая информация
- 2. Продольная поляризация электронов в месте встречи
 - *СР* нарушение в распадах очарованных барионов и *т* лептонов
 - о Измерение угла Вайнберга
- 3. Рождение когерентных пар $D^0 \overline{D}{}^0$ мезонов
 - Осцилляции чарма и *СР* нарушение
 - о Измерение фаз амплитуд распадов
- 4. Возможность полной реконструкции событий
 - Измерение абсолютных величин вероятностей распадов



Очарованные адроны

Лептонные распады $D_{(s)}$ мезонов



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

- ▶ Измерение бранчингов: f_D, V_{cd}, V_{cs}
- > Проверка лептонной универсальности

Table 1: LFU test at BESIII with (semi)leptonic *D* decays.

	$R(D_s^+)$	$R(D^+)$	$R(K^{-})$	$R(\bar{K}^0)$	$R(\pi^{-})$	$R(\pi^0)$
SM	9.74(1)	2.66(1)	0.975(1)[31]	0.975(1)[31]	0.985(2)[31]	0.985(2)[31]
BESIII	9.98(52)	3.21(64)	0.978(14)	0.988(33)	0.922(37)	0.964(45)

$$D_{s}^{+} \rightarrow \tau^{+}\nu, \tau^{+} \rightarrow e^{+}\nu_{e}\bar{\nu}_{\tau}$$
[Belle, JHEP 09 (2013), 139]
$$\int_{0}^{0} \int_{0}^{0} \int_{0}^$$

Состояния Х, Ү, Ζ

- Лаборатория для изучения явлений КХД
- > Измерение сечений:
 - $e^+e^- \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ • $e^+e^- \rightarrow J/\psi \pi^0 \pi^0$
 - $\circ e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^\circ\pi^\circ$
 - e⁺e⁻ → ψ(2S)π⁺π⁻
 e⁺e⁻ → DD̄, D^{*}D̄, ...
 - $\circ e^+e^- → D\overline{D}\gamma$
 - $e^+e^- \rightarrow D\overline{D}(n\pi)$
 - $\circ e^+e^- \to D_s^+ D_s^-$
 - $\circ e^+e^- \to D_s^+D_s^-(n\pi)$
 - $\circ e^+e^- \to \Lambda_c \overline{\Lambda}_c$
 - o ...



СР нарушение в D мезонах

- Всестороннее изучение СР нарушения в распадах D^0 , D^+ , D_s^+ мезонов на уровне точности ~ 10^{-4}
 - Преимущества полной реконструкции событий
 - Использование квантовых корреляций



CLEOc 0.818 fb⁻¹ @ 3774 MeV [PRD 81, 052013 (2010)]



long-distance dynamics is important in charm decays: re-scattering leads to the complex connections between the worlds of hadrons and quarks [I. Bigi] 16





Лептонные распады au

Параметры Мишеля

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

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





 $x \equiv$

Проверка лептонной универсальности

$$\Gamma(\tau^- \to \nu_\tau l^- \bar{\nu}_l) = \frac{G_\tau G_l m_\tau^5}{192\pi^3} f\left(\frac{m_l^2}{m_\tau^2}\right) r_{\rm EW}$$

Параметр	Расчет	Лучшее измерение
$\mathcal{B}(\tau^- \to \nu_\tau \mu^- \bar{\nu}_\mu)$	0.972564 ± 0.000010	$0.9796 \pm 0.0016 \pm 0.0036$
$\overline{\mathcal{B}(\tau^- \to \nu_\tau e^- \bar{\nu}_e)}$		[BaBar, PRL 105 (2010) 051602]

Адронные распады au

Спектральные функции

 $\frac{d\Gamma(\tau^- \to \text{had } \nu_{\tau})}{d(\text{phsp})} = \frac{G_F^2}{4m_{\tau}} |V_{\text{CKM}}|^2 L_{\mu\nu} H^{\mu\nu}$

- Факторизация адронного и лептонного токов
- Измерение $|V_{\mu d}|, |V_{\mu s}|, \alpha_s(m_\tau)$ и m_s
- Проверка сохранения векторного тока
- Информация об адронной поляризации вакуума в непертурбативной области $(v_1 + a_1)_S(s)$

Токи второго класса

 $J^{PG} = 0^{+-} (a_0), 1^{++} (b_1), \dots$

Подавлены по изотопической четности $(\tau \rightarrow \eta^{(\prime)} \pi \nu, ...)$

[Rev. Mod. Phys. 78 (2006) 1043]



LFV и CP нарушение с тау лептоном

$\tau \to \mu \gamma$

Разрешен в разных сценариях новой физики (суперсимметрия, лептокварки, technicolor, дополнительные бозоны Хиггса, ...)

$$\succ \mathcal{O}(10^{-9})$$
 — ожидаемый предел на бранчинг $au o \mu \gamma.$

СР нарушение

- СР нарушение в рождении тау
 $J_{EM} \propto F_1 \gamma^{\mu} + \left(\frac{i}{2m_{\tau}}F_2 + \gamma^5 F_3\right) \sigma^{\mu\nu} q_{\nu}$ текущее ограничение: $|d_{\tau}| \leq 10^{-17} \ e \cdot cm$
 - EDM тау с поляризованными электронами [PRD 51 (1995) 5996]: $\sigma(d_{\tau}) \sim 10^{-20} \ e \cdot \text{см}$

> СР нарушение в распадах тау (например, $\tau \to K \pi \nu_{\tau}$)



Electroweak model $SU(2)_L \times U(1)_Y$ (Glashow, 1961) $A_\mu = B^0_\mu \cos \theta_W + W^0_\mu \sin \theta_W$ $Z_\mu = W^0_\mu \cos \theta_W - B^0_\mu \sin \theta_W$



Угол Вайнберга

Асимметрия сечения в пике J/ψ

Интерференция между процессами $e^+e^- \to \gamma^*, Z \to J/\psi$ создает асимметрию сечения

$$A_{LR} \equiv \frac{\sigma_+ - \sigma_-}{\sigma_+ + \sigma_-} = \frac{3/8 - \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c}{2\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c \left(1 - \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c\right)} \left(\frac{m_{J/\psi}}{m_Z}\right)^2 P_e$$
$$A_{LR} \approx 4.7 \times 10^{-4} P_e$$

- о σ_+ (σ_-) сечение $e^+e^- \to J/\psi$ при правой (левой) поляризации электронов
- $\circ~P_e~$ средняя поляризация электронов, $P_e<1$
- > Достижимая статистическая точность за один сезон $\frac{\sigma(\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c)}{\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c} \approx 0.3\%, \qquad \sigma(\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c) \approx 5 \times 10^{-4}$
- > Проверка электрослабого взаимодействия очарованного кварка
- Наблюдение отличия sin² θ^c_{eff} от его значения в пике Z (проверка электрослабой модели)



Статус проекта

- > 2011 год: проект СЧТФ вошел в число шести проектов класса мегасайенс, выбранных правительственной комиссией для реализации на территории России.
- > С 2017 года сформирован IAC, проводятся регулярные международные совещания
- > 2018 год обновленный концептуальный проект (продолжает развиваться)
- > 2020 год грант Еврокомиссии CREMLIN+, поддержка участия европейских групп в развитии проекта
- > 2020 год включение СЧТФ в проект Большой Саров
- > 2021 год решение о старте проекта?

План-график





На пути к международной коллаборации

Международные совещания

- 2017.12, Новосибирск (link)
- ▶ 2018.03, Пекин (<u>link</u>)
- ➢ 2018.05, Новосибирск (<u>link</u>)
- 2018.12, Opce (link)
- 2019.09, Москва (<u>link</u>)
- > 2020.11, Хефей (online, <u>link</u>)

Комитет советников

 Сформирован международный комитет советников (13 человек, Италия, CERN, США, Россия, Китай, Испания, Германия, Мексика, Польша)

Рабочие группы

- > Внутренний трекер
- > Дрейфовая камера
- > Система идентификации частиц
- > Калориметр
- Мюонная система
- Сверхпроводящая катушка и ярмо
- Физическая программа
- > Компьютинг
- Система сбора данных и триггер
- Пучковый фон





Precision experiments at Super Charm-Tau Factory Letter of Interest for Snowmass 2021 M.N. Achasov,¹ E.M. Baldin,¹ V.E. Blinov,¹ A.V. Bobrov,¹ A.V. Bogomyagkov,¹ A.E. Bondar, A.F. Burulutskov,¹ V.L. Chernvak,¹ V.F. Dmitriev,¹ V.P. Druzhinin,¹ A. Garmash,¹ S.I. Eidelman,¹ D.A. Epifanov,¹ A.G. Kharlamov,¹ I.A. Koop,¹ E.A. Kozyrev,¹ E.A. Kravchenko P. Krokovny,¹ I.B. Logashenko,¹ P.A. Lukin,¹ D.V. Matvienko,¹ D.A. Maximov,¹

G.P. Razuvaev,¹ Yu.A. Rogovsky,¹ A.A. Ruban,¹ A.S. Rudenko,¹ L. Shekhtman,¹ D. Shwartz,

B.A. Shwartz,¹ A.V. Sokolov,¹ A.M. Sukharev,¹ V.I. Telnov,¹ V.S. Vorobyev,¹ V. Zhilich,¹ R.R. Akhmetshin,² M.Yu. Barnyakov,² V.S. Bobrovnikov,² A.G. Bogdanchikov,²

A.R. Buzykaev,² V.L. Dorokhov,² F. Ignatov,² V.R. Groshev,² T.A. Kharlamova,² V.A. Kiselev A.N. Kozyrev,² V.M. Malvshev,² A.L. Maslennikov,² O.I. Meshkov,² K.Yu. Mikhailov,²

S.A. Nikitin,² A.A. Osipov,² S.V. Peleganchuk,² P.A. Piminov,² S.I. Serednyakov,² T.M. Shakirova,² D.N. Shatilov,² Yu.M. Shatunov,² D.A. Shtol,² A. Skrinskiy,² E.P. Solodov,² Yu.A. Tikhonov,²⁴/₂Yu.V. Yudin,² A.Yu. Barnyakov,³ N.N. Achasov,⁴ A.A. Dzyuba,⁵ E.E. Boos,⁴

M. Merkin,⁸ Y. Kudenko,⁷ A.V. Nefediev,⁸ T. Uglov,⁸ E. Solovieva,⁶ V.I. Rashchikov,⁹ O.V. Bakina,¹⁰ LR. Boyko,¹⁰ A. Guskov,¹⁰ Yu.A. Nefedov,¹⁰ A. Zhenchagov,¹⁰ M. Fincer,¹

M. Finger Jr., ¹¹ M. Volf, ¹² C.Z. Yuan, ¹³ J. Ritman, ¹⁴ M. Dueren, ¹⁵ A. Hayrapetya

F. Khalid,¹⁵ M. Schmidt,¹⁵ A. Denig,¹⁶ S.A. Wolff,¹⁶ M. Traxler,¹⁷ L. Schmitt,¹⁸ C. Schwarz,¹⁸ F. Nerling,¹⁹ K. Gandhi,²⁰ G. Venanzoni,²¹ A. Lusiani,²² M.E. Biagini,³

M. Boscolo,²³ B. Cao,²³ E. De Lucia,²³ C. Milardi,²³ B. Spataro,²³ S. Tomassini,²³ M. Zobov,²³ N. De Filippis,²⁴ Sh. Bilanishvili,²⁵ M. Migliorati,²³ F. Anulli,²⁶ G. Mandaglio,³

G. Cibinetto,²⁸ I. Garzia,²⁹ P. Roig.³⁰ A. Kupsc,³¹ P. Fernandez Declara,³² A. Sailer,³²

S. Nishida,³³ A. Gajes,³⁴ A.O. Poluektov,³⁵ O.B. Malyshov,³⁶ V. Smaluk,³⁷ and K. Azizi³⁸ ¹Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090, Russia ¹⁴ Machine Physics, Novembersk Static University, Novombersk, Golly, Rassia ³Budker Institute of Nuclear Physics, Novembersk, 630090, Rassia ³Budker Institute of Nuclear Physics, Novembersk, 630090, Novembersk State Technical University, Novembersk, 630090, Rassia ⁴Sobolev Institute of Mathematics, Novembersk, 630090, Rassia

Petersburg Nuclear Physics Institute named by B.P.Konstantinov of NRC "Kurchatov Institute ur Physics Institute numed by B.P.Konstantmov of NIC "Au Lensingwise Institute Numed by B.P.Konstantmov, Numer ⁶M, V.Lomonesov Moscow State University, Stobeltoga Institute of Nuclear Physics (SINP MSU), 1(2), Lenniskie gorg, GSP-1, Moscow 11999, Russian Federation ⁷Institute for Nuclear Research, Moscow, 117312 Russia

chedes Physics Institute of RAS, Moscow, 119991, Russia

¹ Loboles Physics Institute of RAS, Massion, 119991, Bassia "National Boosen's Nuclear Converts, 114509, Bassia Boosen's Nuclear Converts, 114509, Bassia "Based Conversite, Faculty of Mathel?psp., 19800 Pargers, Carls Republic "Boperations of Power System Engineering", Biosenersky of Word Bohersin, Palern 201 60, Carls Republic Biol Bash Range Papins, Chance Andrean of Storess, Bargang 10013, Chana Barg, Papins, Chance Andrean of Storess, Bargang 10013, Chana Barg, Papins, Chance Andreachery, Disresses, Storemany USE Bohashitzmetrus Jir Schwartsmachershows Gohld, Germany "PCSR Bohashitzmetrus Jir Schwartsmachershow Gohld, Germany "Packet Disresses Fundykov, Change Tengelster, Storemany "Packet Disresses Fundykov, Carl Structure, Storemany "Packet Disresses Fundykov, Carl Structure, Storemany "Packet Disresses Fundykov, Carl Structure, Storemany Packet Disresses Fundykov, Carl Structure, Storeman, S

Gothe University Frankfurt, 60223 Frankfurt an Main, Germany, Helmholtzenfre for Heavy Ion Research GubH, 64291 Darmstadt, Ger Vallabibbai National Institute of Technology, Savat 320007, Cajarat,

Precision experiments at electron-positron collider Super Charm-Tau Factory



Contact persons Eugenie Levichev (E.B. Levichev@inp.ntk.su), Alexander Bor Yury Tikhonov (louri Tikhonovillcern ch), Ivan Logashenki

Abstract

This document describes research program of Budker INP INO for the next two decades based on the flagship project of the Charm-Tau (SCT) factory. The SCT factory is designed to oper range from 2 to 6 GeV with peak luminosity of 1085 cmpolarization of the electron beam at the interaction region potential. The facility, equipped with a state-of-the-art uni precision measurements of decays of tau lepton and hadrons f generations.

Евростратегия

- В 2020 году состоялось обновление Европейской стратегии по физике элементарных частиц
- Заинтересованность в СЧТФ отражена в Physics \geq Briefing book: arXiv:1910.11775 [hep-ex]

Snowmass2021

- Письмо об СЧТФ в Snowmass 2021 (процесс стратегического) планирования в области физики частиц в США и в мире)
- > 38 организаций, 10 из РФ
- Задача 2021 года: подготовка white papers



CREMLINplus

CREMLIN P_LUS

Connecting Russian and European Measures for Large-scale Research Infrastructures



- > Грант Европейской Комиссии
- > Сроки: с 2020 по 2024 годы
- > Рабочий пакет 5 посвящен СЧТФ
 - Интернационализация проекта
 - Прототипирование элементов коллайдера
 - Разработка ПО для детектора
 - Прототипирование подсистем детектора
- > Партнеры ИЯФ в рамках проекта:
 - 1. CERN
 - 2. INFN (Ferrara, Bari, Lecce, Frascati)
 - 3. IJCLab (Orsay)
 - 4. JLU (Giessen)

Заключение

- Супер чарм-тау фабрика установка мирового класса для прецизионных экспериментов по физике частиц; центр притяжения квалифицированных специалистов и развития технологий
- 2. Проект СЧТФ хорошо проработан, СЧТФ является оптимальной якорной установкой для Большого Сарова
- Создание детектора и развитие физической программы эксперимента требует создания сильной международной коллаборации. Работы хватит всем.

Backup



SCT detector software

CREMLIN P_US

Connecting Russian and European Measures for Large-scale Research Infrastructures

• Task 5.3. Development of software for the design of an SCT detector







Detector geometry

• Task 5.3. Development of software for the design of an SCT detector

Subsystems described:

LIN P_US

for Large-scale Research Infrastructures

- Beam pipe and FF magnets
- Inner tracker \geq
- Drift chamber \geq
- Particle ID system \succ
- Crystal calorimeter \succ
- Superconducting coil \succ
- Muon system and yoke \succ

An option is implemented for each detector subsystem





Track reconstruction

 Simulating the ionization cluster counting mode

necting Russian and European Measures for Large-scale Research Infrastructures

 Boosted momentum resolution and particle identification

MLIN P LUS





• Task 5.3. Development of software for the design of an SCT detector





in output n-tuple



SCT event analysis

• Task 5.3. Development of software for the design of an SCT detector



Easily reproducible \succ data analysis

Python API

 \geq

Kinematic cuts

- Reconstruction of >particle decay chains
- Kinematic cuts \geq

Супер С-тау фабрика в Сарове





Коллайдерная программа в мире



2021: Dynamic^{$v_0} \bar{a} p^{e_{f}} \bar{t} u^{25} \bar{t}^{4} \bar{e}^{nm, \varepsilon_y = 126 \text{ pm}}$ </sup>



The goal is to provide longitudinal polarization at IP



Solenoid spin rotation angle is $\pi/2 B_{sol} = 7 \text{ T}$ at $E_{beam} = 3.5 \text{ GeV}$, L = 2.6 m

Longitudinal Polarization (number of snakes)



Charm decay rates

Time-dependent

$$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{Incoherent} \\ D^{*\pm} \rightarrow D\pi^{\pm}, & B \rightarrow DX, & e^{+}e^{-} \rightarrow c\bar{c} \rightarrow D\overline{D}X, & pp \rightarrow c\bar{c}X \\ |\langle f|\mathcal{H}|D^{0}(t)\rangle|^{2} = e^{-\Gamma t} |\mathcal{A}_{f}|^{2} \left[1 - \left(y \operatorname{Re}\lambda_{f} + x \operatorname{Im}\lambda_{f}\right)\Gamma t\right] + \mathcal{O}(x^{2}, y^{2}) \\ \downarrow |\langle f|\mathcal{H}|D^{0}\rangle|^{2} \propto |\mathcal{A}_{f}|^{2} \left(1 - y \operatorname{Re}\lambda_{f} - x \operatorname{Im}\lambda_{f}\right) + \mathcal{O}(x^{2}, y^{2}) \end{array} \end{array}$$

Time-integrated

Coherent (at rest)

 $e^{+}e^{-} \rightarrow D^{(*)0}\overline{D}^{(*)0}, \quad \mathcal{C}+: D^{0}\overline{D}^{0}\gamma, \quad \mathcal{C}-: D^{0}\overline{D}^{0}(\pi^{0})$ $\langle ij|\mathcal{H}|D^{0}\overline{D}^{0}\rangle \propto \langle i|\mathcal{H}|D^{0}\rangle\langle j|\mathcal{H}|\overline{D}^{0}\rangle + \mathcal{C}\langle i|\mathcal{H}|\overline{D}^{0}\rangle\langle j|\mathcal{H}|D^{0}\rangle$ $|\langle ij|\mathcal{H}|D^{0}\overline{D}^{0}\rangle|^{2} \propto |\mathcal{A}_{i}|^{2} |\mathcal{A}_{j}|^{2} [|\zeta_{\mathcal{C}}|^{2} + (1+\mathcal{C})(x \operatorname{Im}(\xi_{\mathcal{C}}^{*}\zeta_{\mathcal{C}}) - y \operatorname{Re}(\xi_{\mathcal{C}}^{*}\zeta_{\mathcal{C}}))] + \mathcal{O}(x^{2}, y^{2})$ $\xi_{\mathcal{C}} \equiv \frac{p}{q}(1+\mathcal{C}\lambda_{i}\lambda_{j}), \quad \zeta_{\mathcal{C}} \equiv \frac{p}{q}(\lambda_{j}+\mathcal{C}\lambda_{i})$

Формфакторы Λ



$$e^+e^- \to J/\psi \to [\Lambda \to p\pi^-][\overline{\Lambda} \to \bar{p}\pi^+]$$

$$\alpha \equiv \frac{s \left| G_{\rm M}^{\psi} \right|^2 - 4m_{\Lambda}^2 \left| G_{\rm E}^{\psi} \right|^2}{s \left| G_{\rm M}^{\psi} \right|^2 + 4m_{\Lambda}^2 \left| G_{\rm E}^{\psi} \right|^2}, \qquad \Delta \Phi \equiv \arg \left(\frac{G_{\rm E}^{\psi}}{G_{\rm M}^{\psi}} \right), \qquad \alpha_1, \alpha_2$$

▷ СР асимметрия в распадах Λ →
$$p\pi^-$$
:
$$A_{\Lambda} \equiv \left| \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \right| \lesssim 5 \times 10^{-5}$$

Ограничение в рамках СМ:

$$A_{\Lambda} \lesssim 5 \times 10^{-5}$$

о Ожидаемая точность:

$$\sigma(A_{\Lambda}) = 1.2 \times 10^{-4}$$

Cotur	SCT one-year σ (10^{-4})					
Setup	P_e	α	$\Delta \Phi$ (rad)	$lpha_i$		
$5D P_e = 0$	Fixed	1.5	3.1	2.8		
$5D P_e = 0.8$	1.3	1.2	1.6	0.9		
$3D P_e = 0.8$	4.3	1.2	2.4	3.4		

Проект Большой Саров

- Рядом с г. Саров создается новый Национальный центр физики и математики
- > Супер с-тау фабрика станет «якорным» проектом этого центра
- Декабрь 2020: письмо на имя Президента РФ от имени А.Е. Лихачева (ген. директор Росатом), А.М. Сергеева (президент РАН), В.А. Матвеева (директор ОИЯИ) с предложением о строительстве Супер с-тау фабрики в Сарове. Резолюция: Согласен, А.А.Фурсенко проработать с заинтересованными сторонами.
- В настоящее время вопрос активно прорабатывается в ГК «Росатом», Администрации Президента, МНВО.