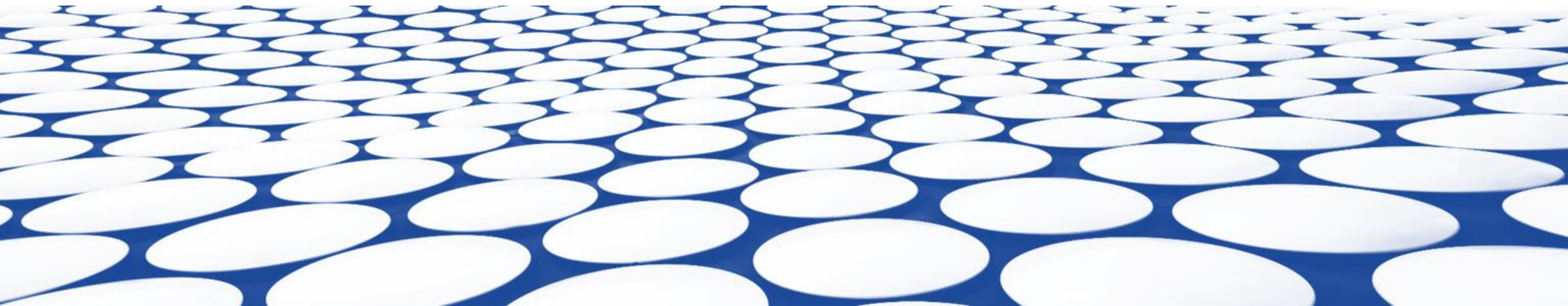




Супер С-тау фабрика: обзор, физическая программа

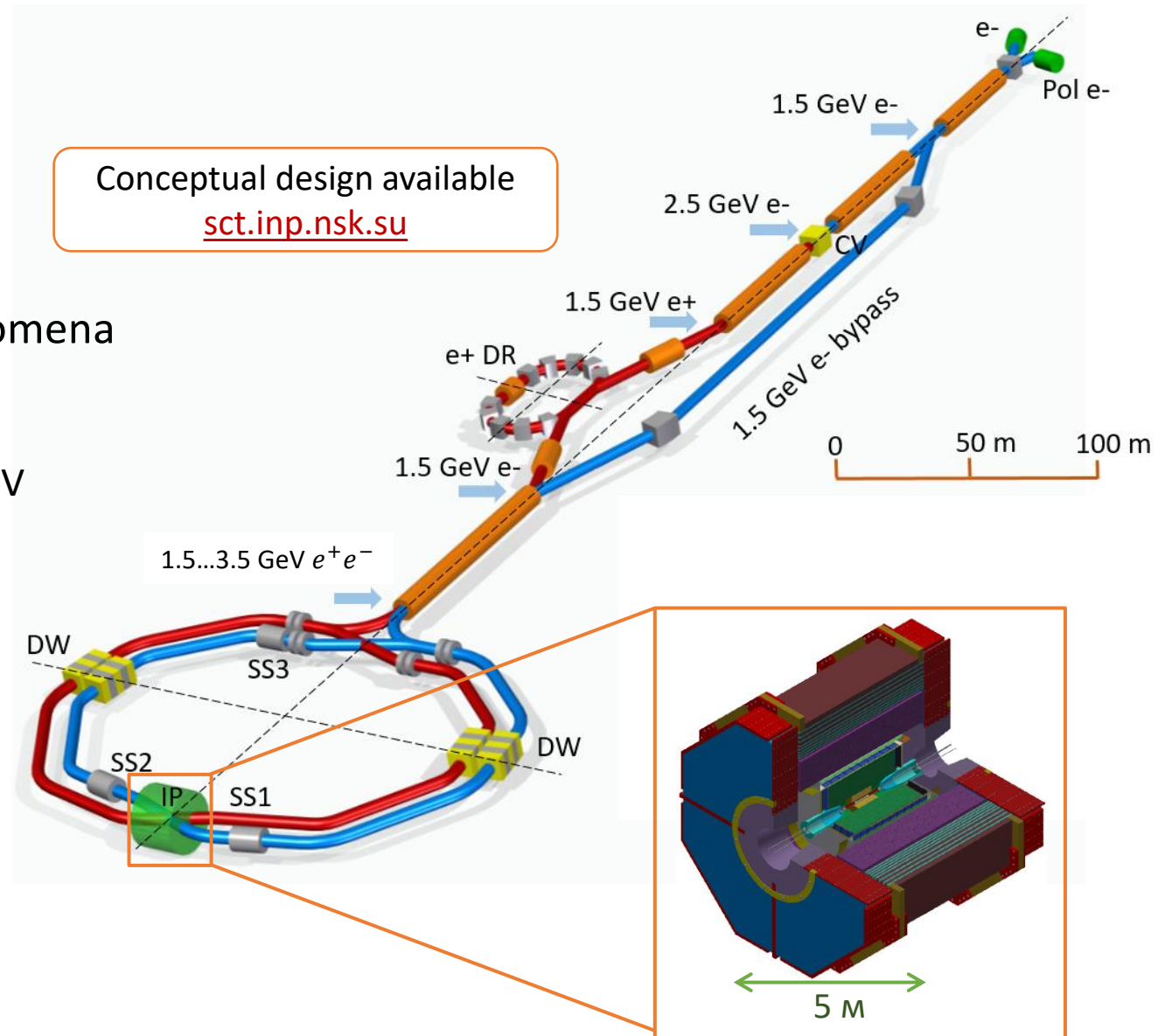
Виталий Воробьев, ИЯФ СО РАН

Семинар в ИЯИ, 14 февраля 2022

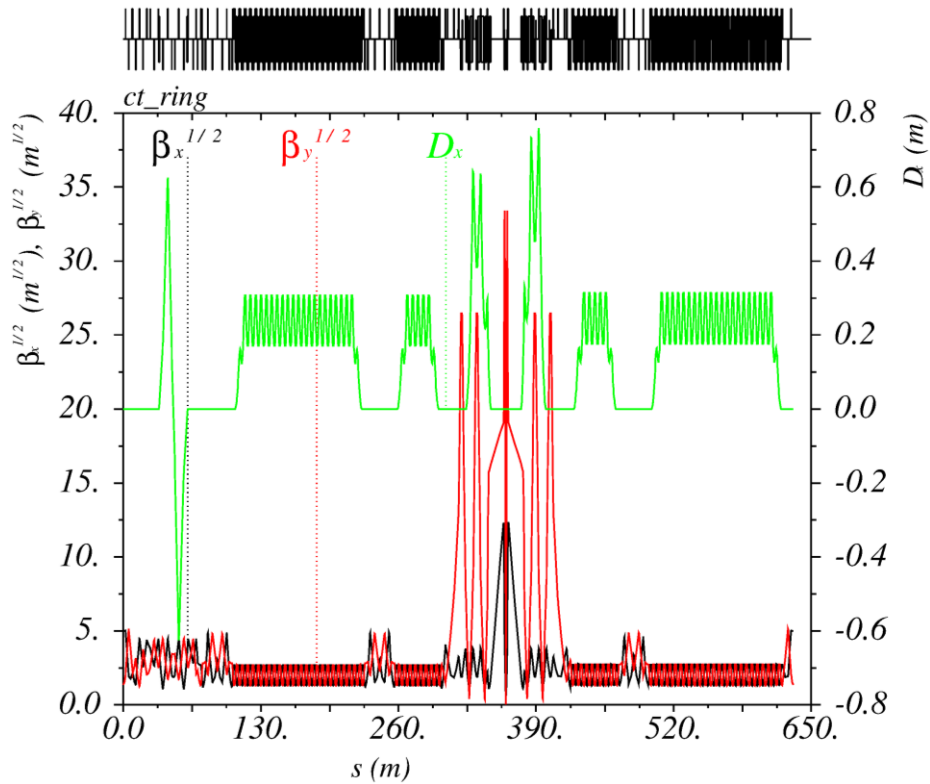


The SCT experiment

- Precision experiments with tau lepton and charmed hadrons, and search for BSM phenomena
- Electron-positron collider
 - Beam energy varying between 1.5 and 3.5 GeV
 - Luminosity $\mathcal{L} = 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ @ 2 GeV
 - Longitudinal polarization of the e^- beams
- Universal particle detector
 - Tracking system
 - Crystal electromagnetic calorimeter
 - Particle identification system



SCT Collider parameters (2021 update)



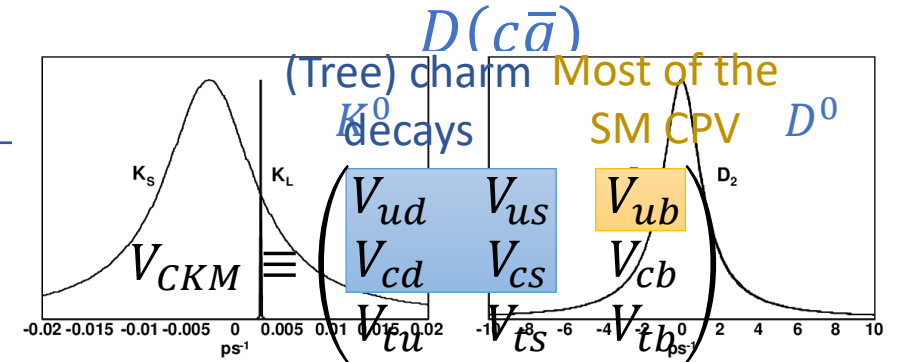
Продолжается оптимизация
динамической апертуры на низких
энергиях

E(MeV)	1500	2000	2500	3000	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_y^* (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
V_{RF} (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
ε_x (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
$\tau_{Touschek}$ (s)	3600	2900	2400	2600	6400
τ_L (s)	3100	1900	1600	1700	1600

Уникальность очарованного кварка

1. Единственный тяжелый *верхний* кварк, образующий адроны

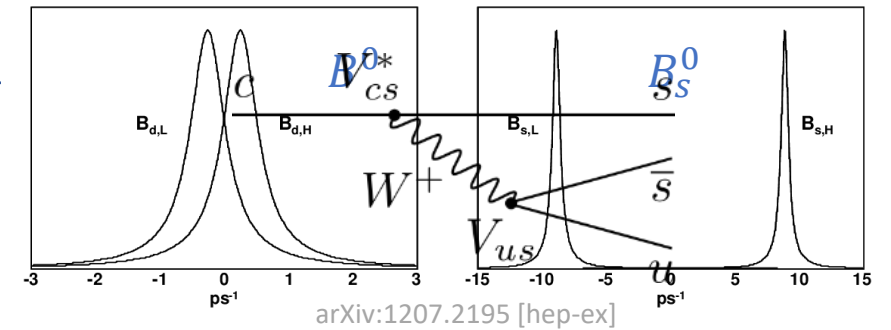
- Чувствительность к НФ, связанной с верхними кварками
- Динамика сильного взаимодействия очарованного кварка плохо рассчитывается в КХД



2. Малость параметров осцилляций D -мезонов $\mathcal{O}(10^{-2})$

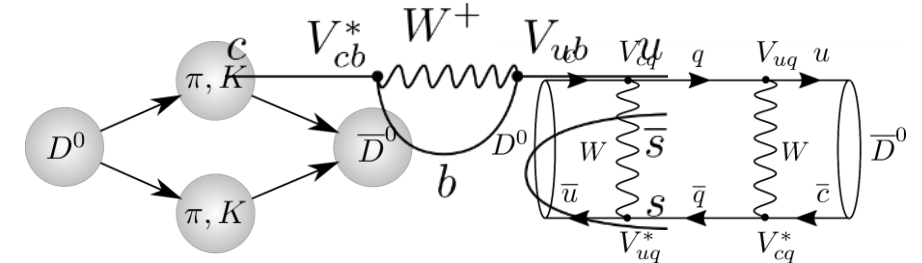
- Наблюдение осцилляций D в 2012 году
- Важна динамика на больших расстояниях
- Нуль-тест для вкладов НФ в осцилляции

$$x \equiv \frac{m_2 - m_1}{\Gamma}, y \equiv \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2\Gamma}$$



3. Малость CP -нарушения в распадах очарованного кварка $\mathcal{O}(10^{-4})$

- CP -нарушение в чарме обнаружено в 2019 году
- Матрица смешивания кварков – почти действительная для первых двух поколений
- Нуль-тест для вкладов НФ в CP -нарушение



Уникальность τ -лептона

1. Самый тяжелый лептон

- Потенциально более чувствителен к НФ, чем электрон и мюон

2. Единственный лептон, распадающийся в адроны

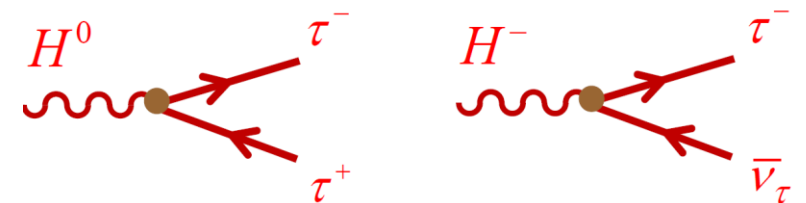
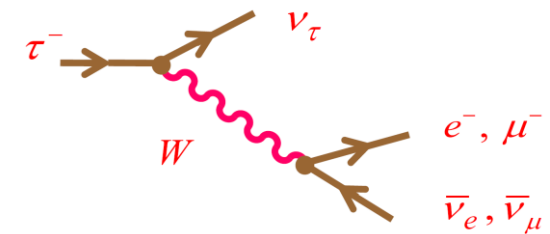
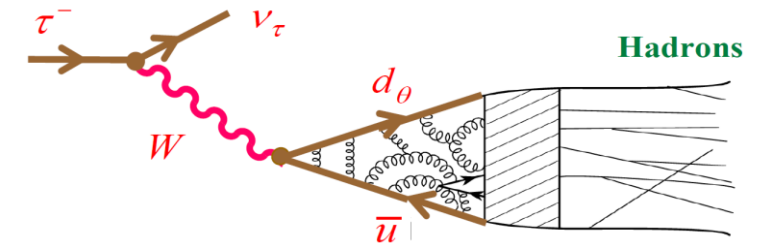
- Лаборатория для изучения сильного взаимодействия
- Измерение фундаментальных параметров СМ: α_s, V_{us}, m_τ

3. Лаборатория для проверки модели электрослабого взаимодействия

- Прецизионная проверка СМ в лептонных распадах тау

4. Лаборатория для поиска НФ

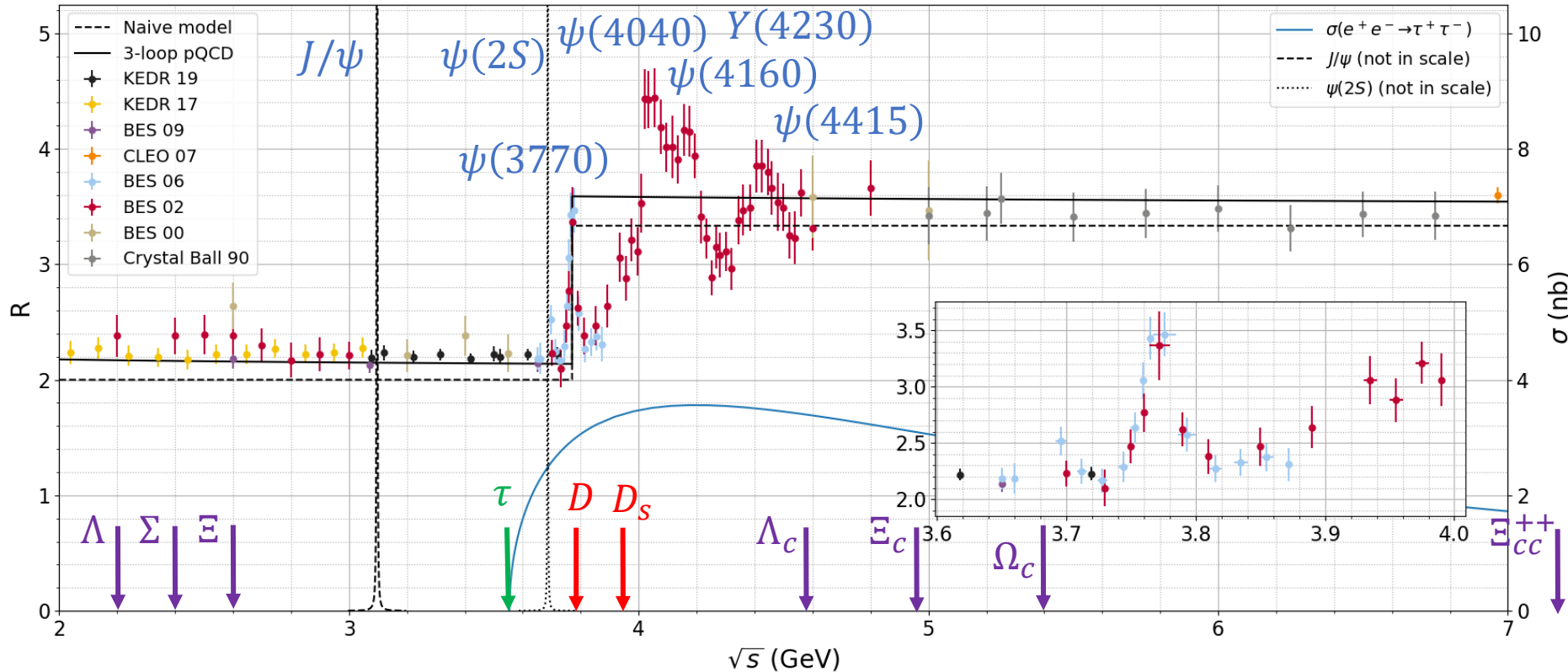
- Поиск нарушения CP -симметрии в рождении и в распадах тау
- Поиск распадов тау с нарушением лептонного аромата
- Поиск заряженного бозона Хиггса и т.д.



Диапазон энергии ССТФ

Пороговое рождение нерелятивистских частиц обеспечивает оптимальные условия для их всестороннего изучения

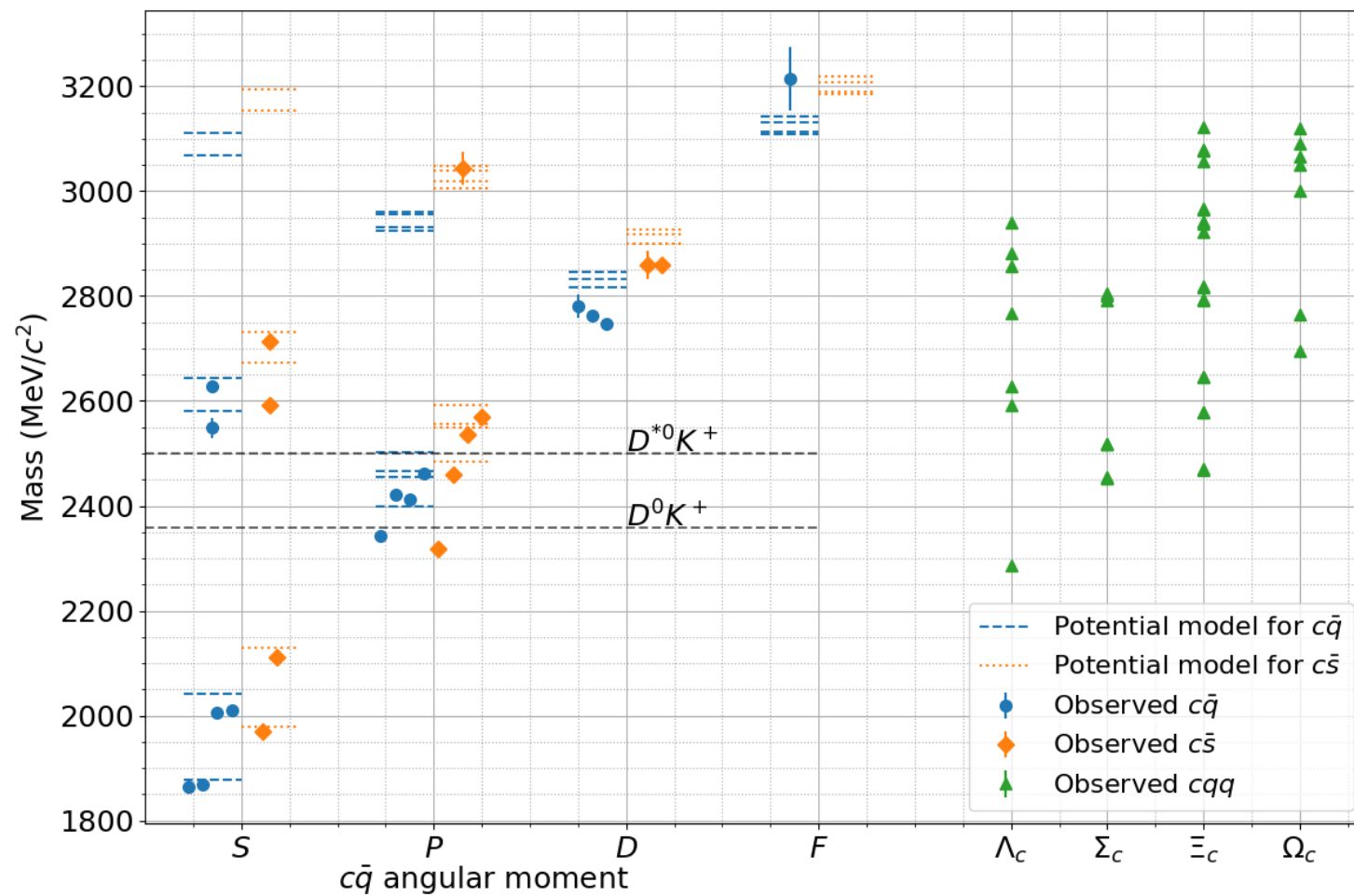
$$R \equiv \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})}{\sigma_0(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$



$\mathcal{L} = 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
A one-year dataset

$2E, \text{ GeV}$	Events recorded
3.1	$10^{12} J/\psi$
3.69	$10^{11} \psi(2S)$
3.77	$10^9 D\bar{D}$
4.17	$10^8 D_s\bar{D}_s$
$3.55 \div 4.3$	$10^{10} \tau\tau$
4.65	$10^8 \Lambda_c^+\Lambda_c^-$

Очарованные адроны (без экзотики)



Физическая программа

ССТФ – эксперимент с широкой программой прецизионных измерений

ФАНУ России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Бухардина
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИЯИ СО РАН)

Супер Чарм – Тау фабрика

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ
(Физическая программа, детали)

Новосибирск - 2017

sct.inp.nsk.su

- ✓ Измерение сильных фаз амплитуд распадов D -мезонов
- ✓ Измерение абсолютных вероятностей распадов
- ✓ Поиск редких распадов очарованного кварка
- ✓ CP -нарушение в чарме
- ✓ ...

Необходимо для изучения B мезонов на LHC***b*** и Belle II

charm

КХД



tau

- ✓ Физика возбужденного кваркония
- ✓ Молекулярные состояния
- ✓ Пороговые взаимодействия барионов
- ✓ Поиск глоболов в распадах J/ψ и ψ'
- ✓ ...

Проверка электрослабой модели

- ✓ Прецизионное измерение свойств τ лептона
- ✓ Параметры Мишеля, проверка лептонной универсальности
- ✓ Прецизионное измерение адронных распадов τ лептона
- ✓ Поиск нарушения CP и T симметрий в распадах τ
- ✓ ...

КХД, α_s , V_{us} . Проверка электрослабой модели, поиски нестандартных вкладов

Ключевые преимущества ССТФ

(помимо рекордной светимости)

1. Пороговое рождение пар τ -лептонов и очарованных адронов

- Хорошо определенное начальное состояние
- Малая множественность частиц конечного состояния
- Дополнительные кинематически ограничения

2. Продольная поляризация электронов в пучке

- Улучшение чувствительности к \mathcal{CP} -нарушению в процессах с барионами и τ -лептоном
- Измерение угла Вайнберга

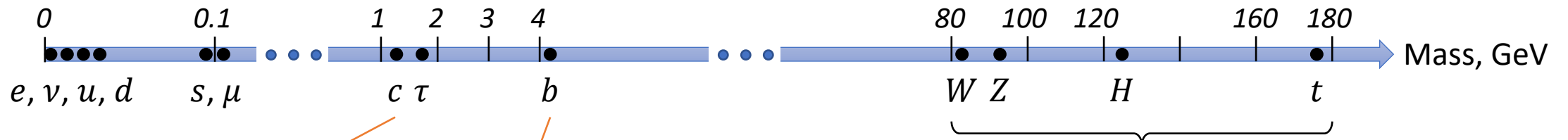
3. Рождение когерентных пар $D^0\bar{D}^0$

- Измерение параметров осцилляций и \mathcal{CP} -нарушения с помощью уникальных методик
- Измерение фаз амплитуд распадов

4. Полная реконструкция событий

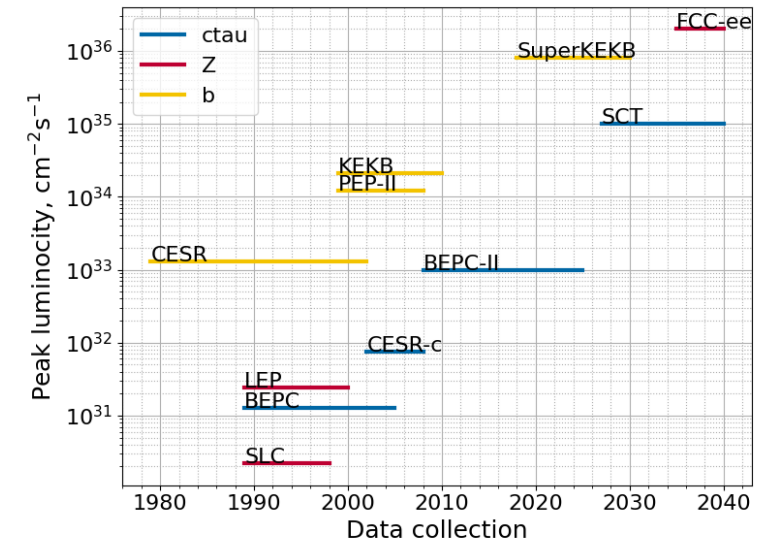
- Великолепное подавление фона
- Измерение *абсолютных* вероятностей распадов очарованных адронов и τ -лептона

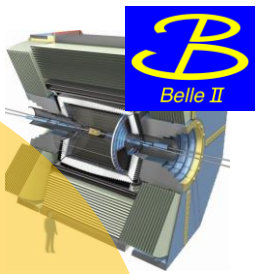
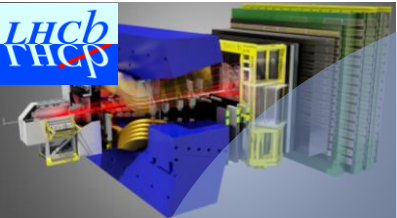
e^+e^- factories for flavor physics



	cτ-factories	B-factories	Z- and H-factories
Previous	BEPC, CESR-c	PEP-II (USA), KEK-B (Japan)	LEP, LEP-2 (CERN)
Now	BEPC-II (China)	Super KEK-B (Japan)	
Future	Super charm-tau factory <i>x100 gain in luminosity</i>	(+ LHCb (CERN))	FCC-ee (CERN), CEPC (China)

Основной принцип: производим в большом количестве известные частицы и детально изучаем их свойства





$$B^0 \rightarrow D^0 \pi^+ \pi^- \quad B^+ \rightarrow h_1^+ h_2^+ h_3^-$$

Только заряженные частицы
в конечном состоянии

B_s Λ_b $D^0 \rightarrow e\mu$ $\text{Время жизни и осцилляции } B^0$
 Ω_b СКМ γ

Σ_b $B_s^0 \rightarrow \mu\mu$ $\text{Время жизни и осцилляции } B_s^0$ φ_s

$B^0 \rightarrow \mu\mu$ $\tau \rightarrow \mu\mu\mu$

$D^0 \rightarrow \mu\mu$

Заряженный Хиггс

Ясный сигнал новой физики

Поиск темной материи

Ясный сигнал новой физики

Новые источники CPV

$D \rightarrow \text{невидимое}$ $\sin\theta_W$
 $\tau \rightarrow \mu\gamma$ $\text{Когерентные } D^0 \bar{D}^0$

CPV в очарованных адронах

$$J/\psi(c\bar{c}) \rightarrow W^+ s \quad J/\psi \rightarrow \text{адроны}$$

Спектроскопия очарованных адронов

$$X(3872) \rightarrow J/\psi \pi \pi$$

Осцилляции D^0

Нейтральные частицы
в конечном состоянии

$$Z_c(3900) \rightarrow J/\psi \pi$$

Абсолютные вероятности распадов

Поляризованный пучок

$$J/\psi(c\bar{c}) \rightarrow W^+ s \quad J/\psi \rightarrow \text{адроны}$$

$$b \rightarrow s/d \gamma$$

СКМ α, β $b \rightarrow ulv$

V_{ub}

V_{cb}

время жизни τ $B \rightarrow D^0 \tau \nu$

CPV в $D^0 \rightarrow h^+ h^-$

$$B \rightarrow K_S^0 \pi^0 \gamma$$

$\Upsilon(6S)$

$$B \rightarrow K^* l l$$

$$B \rightarrow K_S^0 K_S^0 K_S^0$$

$\Upsilon(5S)$

$$B \rightarrow D^* \tau \nu$$

$$B \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$$

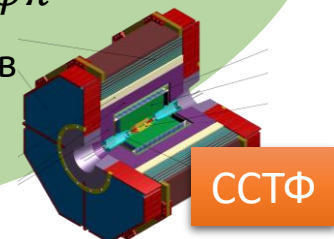
$$B \rightarrow h \nu \nu, \tau \nu$$

Заряженный Хиггс

Заряженный Хиггс

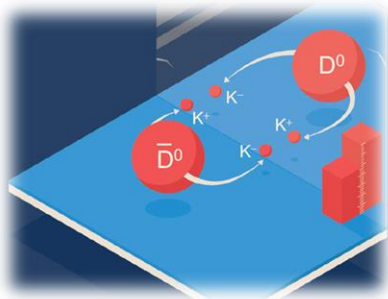
LFU

LFU

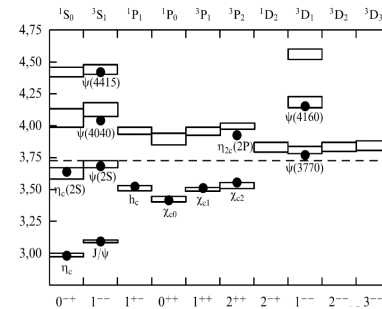


Experiments with charmed hadrons

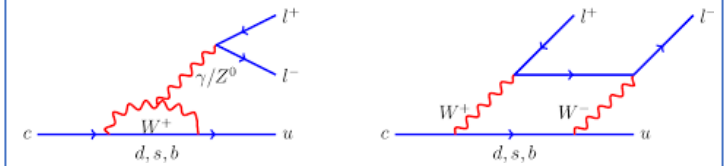
CP symmetry tests



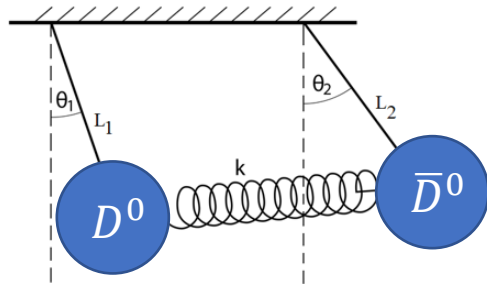
Spectroscopy



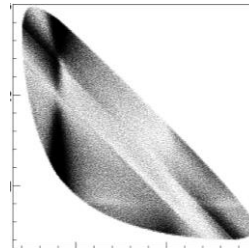
Rare and forbidden decays



Charm mixing



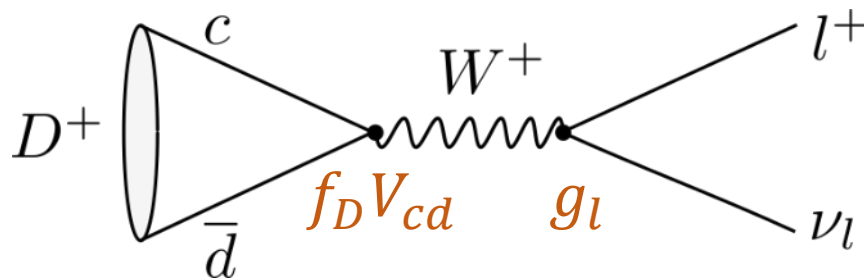
Branching fractions and decay dynamics



Other experiments

- Lepton universality tests
- Decays to invisible
- ...

(Semi-)leptonic $D_{(s)}$ decays



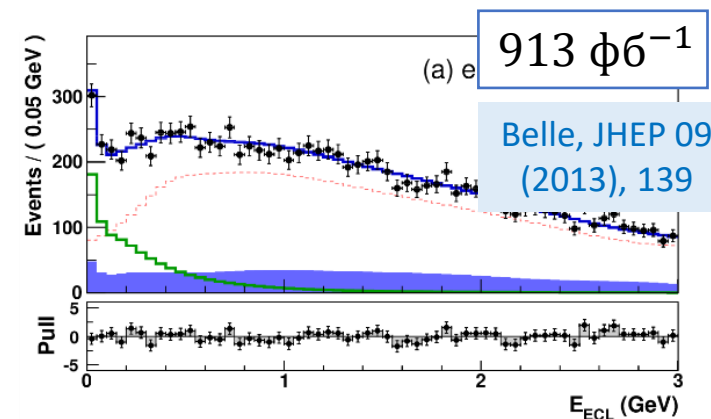
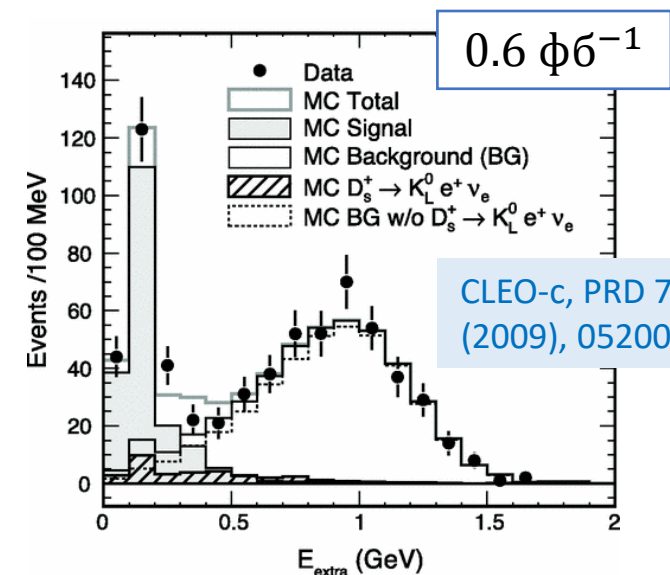
$$\Gamma(D^+ \rightarrow lv) = \frac{G_F^2}{8\pi} f_D^2 m_l^2 m_D \left(1 - \frac{m_l^2}{m_D^2}\right) |V_{cd}|^2$$

- Measurement of branching fractions : f_D, V_{cd}, V_{cs}
- Lepton universality test

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)

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

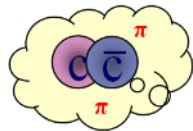
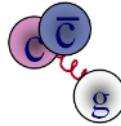
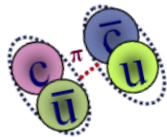


Detailed study of the charmonium-like states

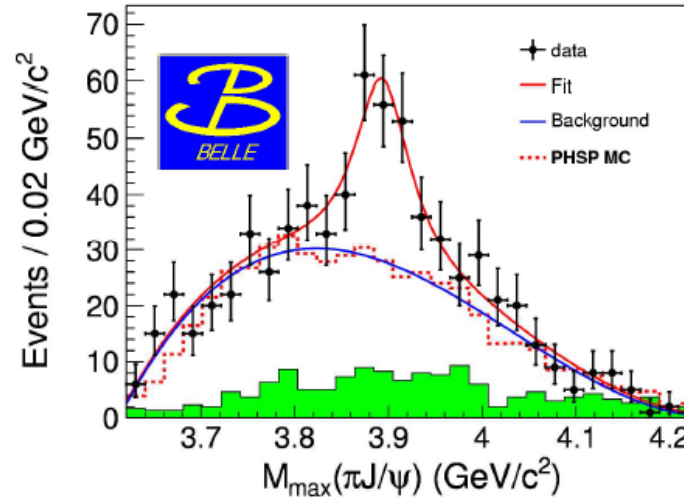
➤ Exiting QCD laboratory

➤ Cross sections to be measured as function of \sqrt{s} :

- $e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$
- $e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^0\pi^0$
- $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-$
- $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}, D^*\bar{D}, \dots$
- $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}\gamma$
- $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}(n\pi)$
- $e^+e^- \rightarrow D_s^+D_s^-$
- $e^+e^- \rightarrow D_s^+D_s^-(n\pi)$
- $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c\bar{\Lambda}_c$
- ...

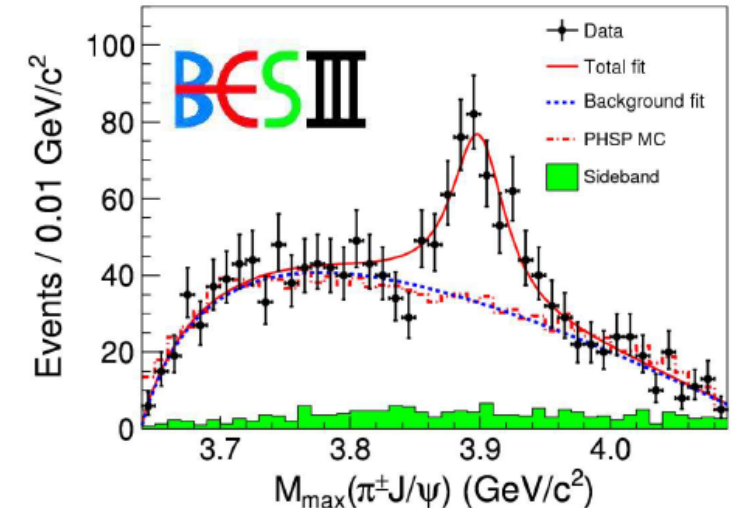


Belle with ISR: PRL110, 252002
967 fb⁻¹ in 10 years running time



- $M = 3894.5 \pm 6.6 \pm 4.5$ MeV
- $\Gamma = 63 \pm 24 \pm 26$ MeV
- 159 ± 49 events
- **>5.2 σ**

BESIII at 4.260 GeV: PRL110, 252001
0.525 fb⁻¹ in one month running time



- $M = 3899.0 \pm 3.6 \pm 4.9$ MeV
- $\Gamma = 46 \pm 10 \pm 20$ MeV
- 307 ± 48 events
- **>8 σ**

10 years vs. 0.1 year vs. 1 day at SCT

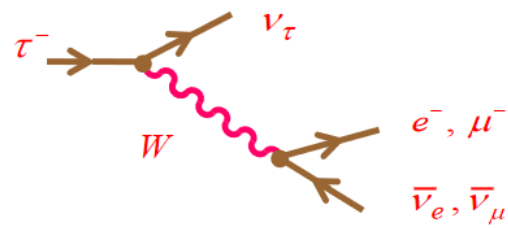


Tau lepton

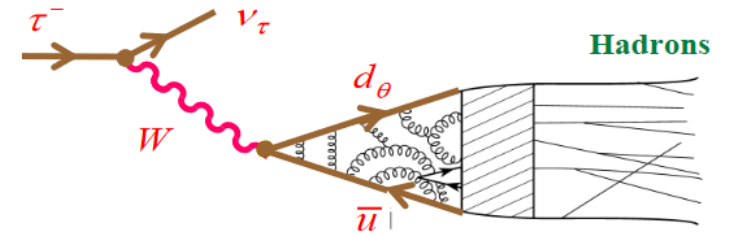
τ Physics

Prog. Part. Nucl. Phys. 75 (2014) 41

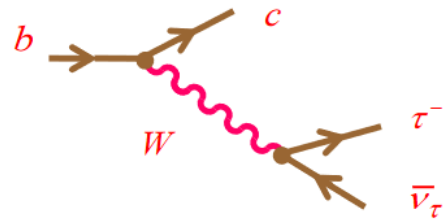
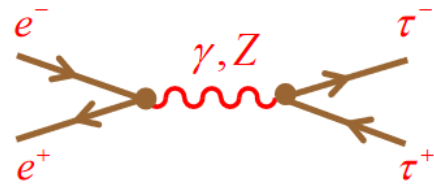
Decay



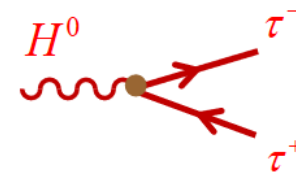
QCD



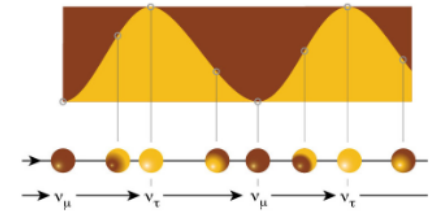
Production



New Physics



Neutrino Physics



A. Pich

τ Physics

2

Leptonic τ decays

Michel parameters

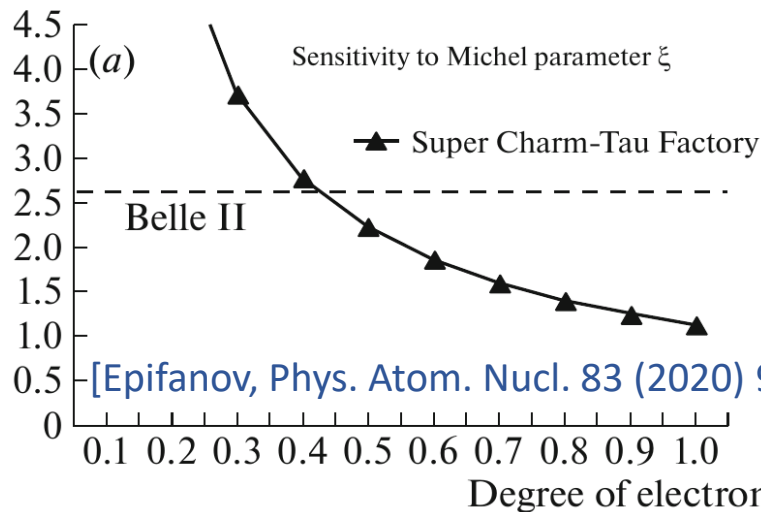
Tau polarization

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

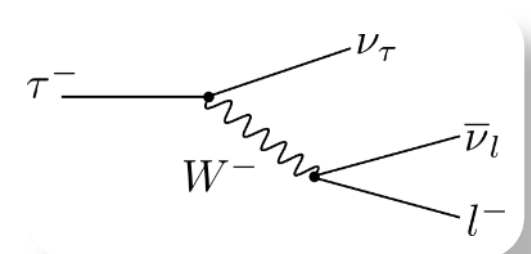
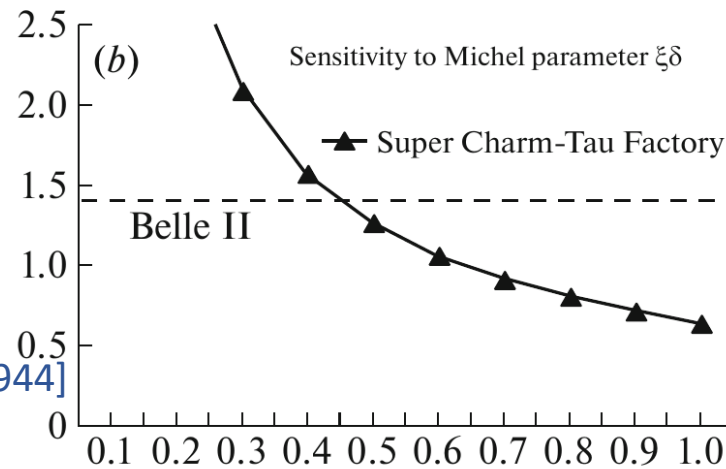
- SCT with polarized electrons allows measurement the tau lepton Michel parameters with precision better than that of Belle II

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

Statistical uncertainty of parameter ξ , 10^{-4}



Statistical uncertainty of parameter $\xi\delta$, 10^{-4}



Hadronic τ decays

Spectral functions

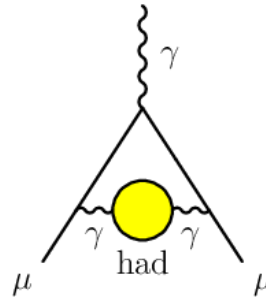
$$\frac{d\Gamma(\tau^- \rightarrow \text{had } \nu_\tau)}{d(\text{phsp})} = \frac{G_F^2}{4m_\tau} |V_{\text{CKM}}|^2 L_{\mu\nu} H^{\mu\nu}$$

- Measuring $|V_{ud}|$, $|V_{us}|$, $\alpha_s(m_\tau)$, and m_s
- Testing the factorization of hadronic and leptonic currents
- Testing conserved vector current
- Hadronic vacuum polarization in the non-perturbative region

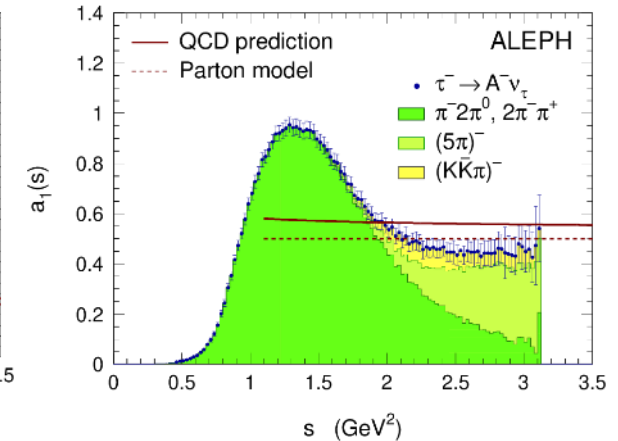
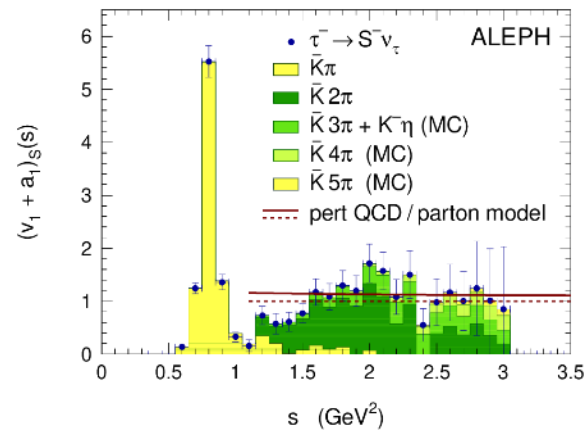
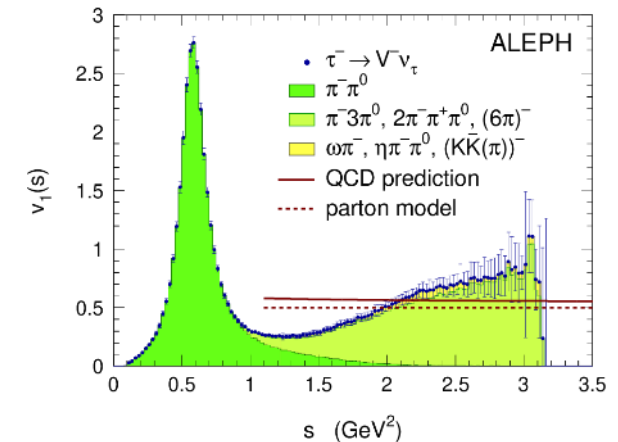
Second class currents

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

- Highly suppressed by isospin ($\tau \rightarrow \eta^{(\prime)}\pi\nu$, ...)



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



LFV and CPV with tau

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

- Allowed in several BSM scenario, including SUSY, leptoquarks, technicolor, and extended Higgs models
- $\mathcal{O}(10^{-9})$ – reachable upper limit at SCT for the branching of $\tau \rightarrow \mu \gamma$
- Requires excellent π/μ separation

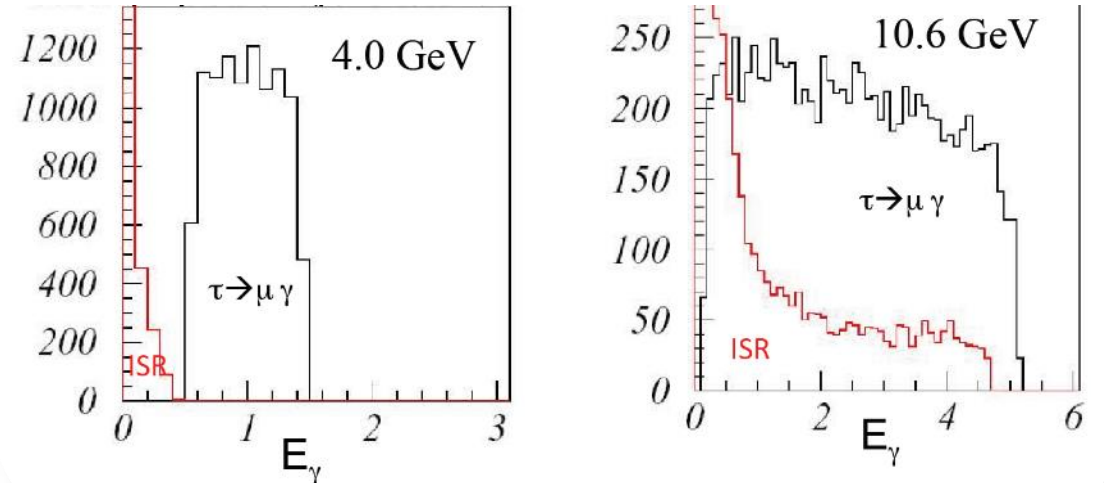
CP symmetry breaking

- CPV in tau production

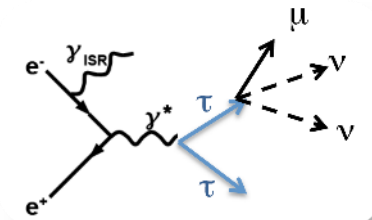
$$J_{EM} \propto F_1 \gamma^\mu + \left(\frac{i}{2m_\tau} F_2 + \gamma^5 F_3 \right) \sigma^{\mu\nu} q_\nu$$

- Current limit: $|d_\tau| \lesssim 10^{-17} e \cdot \text{cm}$
- Tau EDM with polarized electrons: $\sigma(d_\tau) \sim 10^{-20} e \cdot \text{cm}$
- CPV in tau decays (e.g., $\tau \rightarrow K\pi\nu_\tau$)

ISR photon background [arXiv:1206.1909 [hep-ex]]



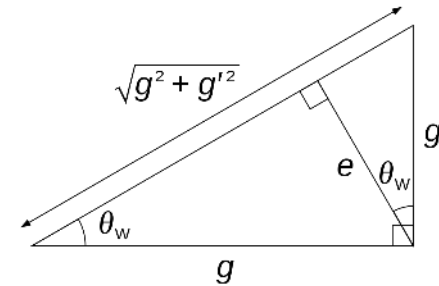
Beam polarization is essential for these measurements [PRD 51 (1995) 5996]



Electroweak model $SU(2)_L \times U(1)_Y$ (Glashow, 1961)

$$A_\mu = B_\mu^0 \cos \theta_W + W_\mu^0 \sin \theta_W$$

$$Z_\mu = W_\mu^0 \cos \theta_W - B_\mu^0 \sin \theta_W$$



The Weinberg angle

J/ψ cross section asymmetry

- Interference between the $e^+e^- \rightarrow \gamma^*, Z \rightarrow J/\psi$ processes produces left-right asymmetry of the total cross section

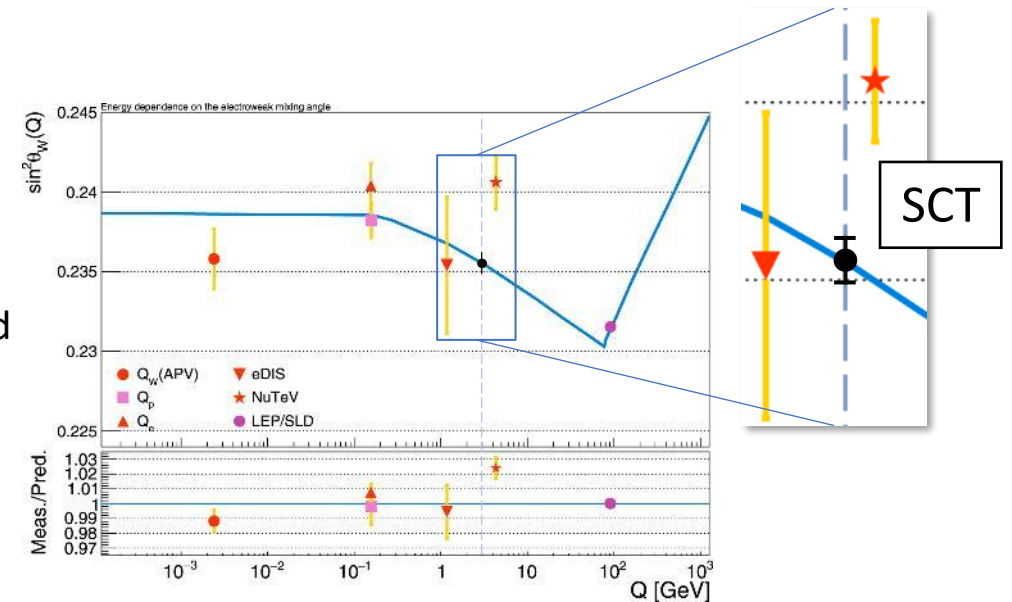
$$A_{LR} \equiv \frac{\sigma_+ - \sigma_-}{\sigma_+ + \sigma_-} = \frac{3/8 - \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c}{2 \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c (1 - \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c)} \left(\frac{m_{J/\psi}}{m_Z} \right)^2 P_e$$

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

- σ_+ (σ_-) is the total $e^+e^- \rightarrow J/\psi$ cross section for right- (left-)handed electrons
- P_e is the average electrons polarization, $P_e < 1$
- Statistical precision with a one-year data set:

$$\frac{\sigma(\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c)}{\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c} \approx 0.3\%, \quad \sigma(\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c) \approx 5 \times 10^{-4}$$

- It tests weak interaction of the charm quark
- An opportunity to observe deviation of the $\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c$ from its value at Z peak (test of the EW model)



JHEP 2020, 76 (2020)

Физическая программа: обновление 2022

Оглавление

Введение	8
1 Чармоний (К.Тодышев)	11
1.1 Состояния ниже порога $D\bar{D}^*$	12
1.2 Изучение экзотических состояний чармония	14
1.2.1 X -состояния	14
1.2.2 Y -состояния	16
1.2.3 Z_c -состояния	18
2 Спектроскопия состояний из легких кварков (М.Амосов)	21
2.1 Легкие кварки в кварковой хродинاميке	22
2.2 Модель конститuentных кварков	23
2.3 Экзотические состояния	26
2.3.1 Глюконий	26
2.3.2 Гибриды	28
2.3.3 Мезокаркасные состояния	28
3 Физика D -мезонов (В.Воробьев)	30
3.1 Введение	30
3.2 Обзор D -мезонов в первом эксперименте	33
3.3 Спектроскопия D -мезонов	35
3.4 Измерение абсолютных вероятностей распадов	39
3.5 Лептонные и полуплептоновые распады D -мезонов	41
3.6 Распад и запоронные распады D -мезонов	45
3.7 Смешивание в системе нейтральных D -мезонов	50
3.7.1 Введение	50
3.7.2 Распады некоррелированных состояний	53
3.7.3 Распады коррелированных пар D	54
3.7.4 Анализ распада $D \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$	55
3.8 Нарушение CP -симметрии в распадах D -мезонов	59
3.9 Измерение сильных фаз в распадах очарованных адронов в нейтральные каоны (В.Попов, П.Никлов)	64
3.9.1 Измерение сильных фаз с использованием полулептонных распадов нейтральных каонов	66
3.9.2 Измерение сильных фаз с использованием CP -собственного конечного состояния нейтрального каона	67
3.9.3 Оценка потенциальной точности измерения сильных фаз	68

6

4 Очарованные барионы (Т.Углов)	70
4.1 Измерение форм-факторов очарованных барионов	71
4.2 Поиск CP -нарушений в распадах очарованных барионов	73
5 Физика τ -лептона (Д.Елифанов)	75
5.1 Введение	75
5.2 Свойства τ -лептона	76
5.2.1 Проверка лептонной универсальности	76
5.2.2 Масса τ -лептона	77
5.2.3 Время жизни τ -лептона	78
5.2.4 Электрослабой и магнитный дипольный моменты τ -лептона	79
5.3 Лептонные распады τ -лептона	81
5.3.1 Обобщенная структура запрещенного слабого взаимодействия	81
5.3.2 Обычные лептонные распады τ -лептона	83
5.3.3 Радиационные лептонные распады τ -лептона	84
5.3.4 Пятичастичные лептонные распады τ -лептона	86
5.4 Адронные распады τ -лептона	89
5.4.1 $\tau \rightarrow P \pi$ ($P = \pi, K$)	89
5.4.2 $\tau^- \rightarrow P^+ \pi^0 \gamma$ и $\tau^- \rightarrow P^+ \ell^+ \ell^- \pi$, ($P = \pi, K$; $\ell = e, \mu$)	90
5.4.3 $\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	91
5.4.4 Поиск токов второго класса в адронных распадах τ -лептона	92
5.4.5 Адронные распады τ в состоянии с каонами в конечном состоянии	94
5.5 CP -нарушение в распадах τ -лептона	97
5.6 Нарушение лептонного аромата в распадах τ -лептона	101
5.7 Измерение параметров Микелси в распадах $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_e$ с распадами мезона на лепту (Д.Ботров)	102
6 Измерение сечения $e^+e^- \rightarrow$ адроны	106
7 Двухфотонная физика (В.Дружинин)	110
8 Поиск Новой физики в распадах ϕ -кварка	111
8.1 Переходы $c \rightarrow (u, d) \ell^+ \ell^-$	112
8.2 Переходы $c \rightarrow u \ell^+ \ell^-$, $c \rightarrow u \gamma$, $c \rightarrow u \pi^0$	117
Заключение	121

7

- 2021: \approx 40 страниц
- 2022: \approx 120 страниц
- Около 10 активных авторов из ФИАН и ИЯФ
- Редакторы:
 - Г.В. Пахлова (ФИАН)
 - А.Е. Бондарь (ИЯФ)

Скоро на sct.inp.nsk.su

Регулярные международные совещания с обсуждением физической программы эксперимента

Workshops on future super charm tau factories:

1. December 2017, Novosibirsk ([link](#))
2. March 2018, Beijing ([link](#))
3. May 2018, Novosibirsk ([link](#))
4. December 2018, Orsay ([link](#))
5. November 2019, Moscow ([link](#)) + 1st general WP5 meeting
6. November 2020, Hefei (online, [link](#))
7. November 2021, Novosibirsk (hybrid, [link](#)) as 5th general WP5 meeting

CREMLINplus WP5 meetings:

8. 2nd general WP5 meeting, September 2020 (online, [link](#))
9. 3rd general WP5 meeting, February 2021 (online, [link](#))
10. 4th general WP5 meeting, July 2021 (online, [link](#))
11. The SCT Partnership kick-off meeting, November 18th, 2021 ([link](#))



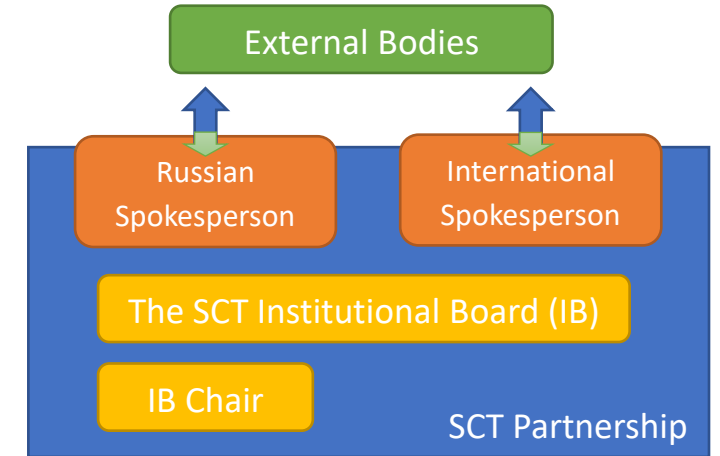
The SCT Partnership (SCTP)



Ivan Logashenko
IB Chair



Pavel Pakhlov
Russian Spokesperson



- 18 ноября 2021 запущено Партнерство, в задачи которого входит:
 1. Подготовка технического проекта детектора
 2. Развитие физической программы эксперимента
 3. Разработка правил работы для будущей полноценной коллаборации
- sct.inp.nsk.su/partnership

A Annex 1. The Partners

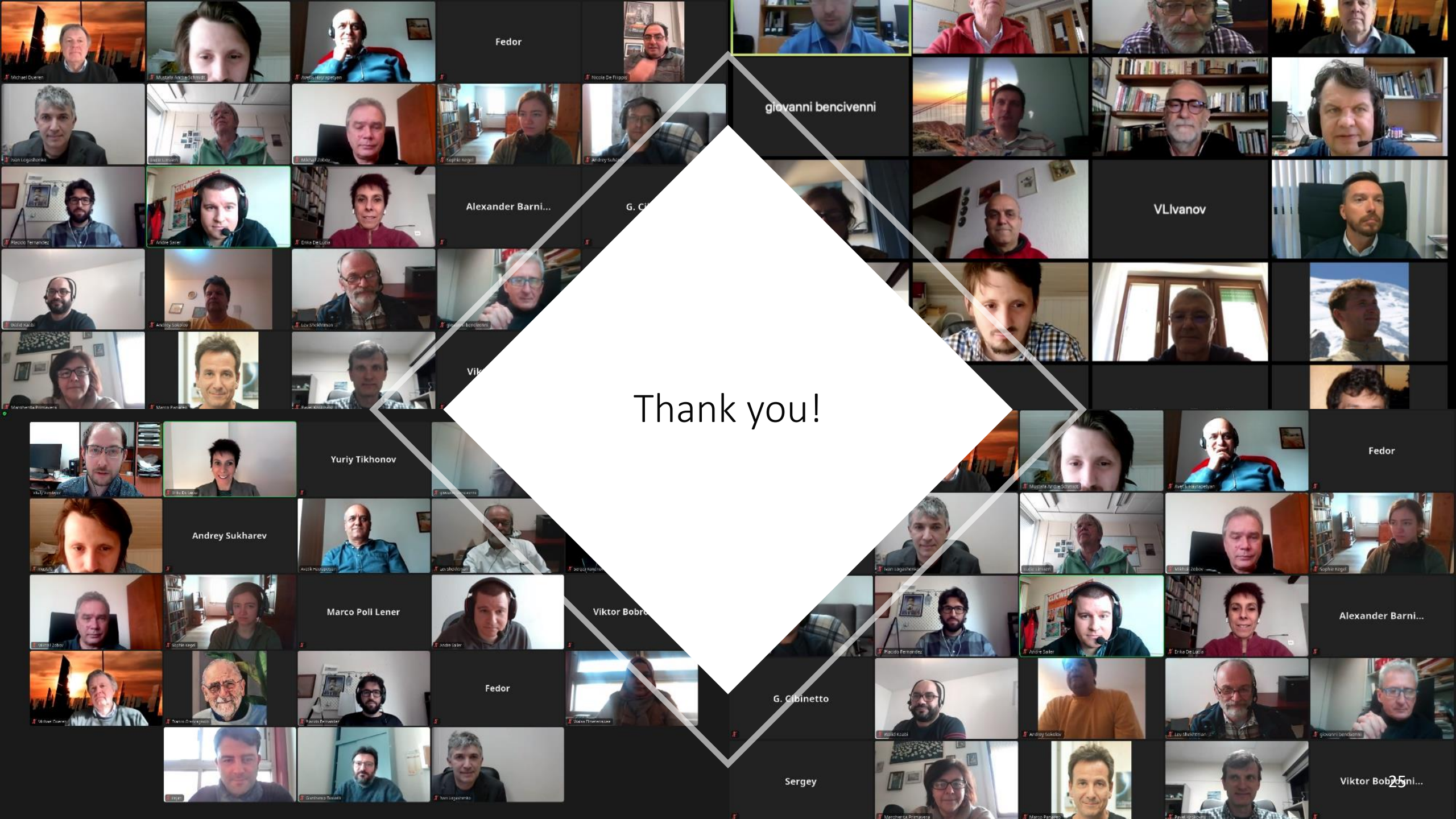
List of all Partners. To be updated each time a new Partner has joined.

Country	Affiliation	LoI signing date
Germany	Justus Liebig University (JLU) Giessen	2021.09.22
Russia	Novosibirsk State Technical University (NSTU)	2021.09.24
Russia	Novosibirsk State University (NSU)	2021.10.11
Russia	P.N. Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Science (LPI RAS)	2021.10.11
Russia	Budker Institute of Nuclear Physics (BINP)	2021.10.13
Russia	Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics (SINP MSU)	2021.10.29
Mexico	Physics Department, Center for Research and Advanced Studies (Cinvestav)	2021.11.12
International	Joint Institute for Nuclear Research (JINR)	2021.11.15
Russia	Higher School of Economics (HSE) University	2021.11.15
Russia	Institute of Nuclear and Radiation Physics (INRP) RFNC-VNIIEF	2021.11.16

Table 1: Updated on November 18, 2021.

Заключение

1. Прецизионные эксперименты (а не энергетический предел) будет определять актуальное состояние физики частиц в ближайшие десятилетия
2. Физическая программа ССТФ – уникальная и разнообразная
3. ССТФ – первая фабрика тяжелых ароматов с поляризованным пучком электронов
4. Развитие физической программы ССТФ – естественный и организационно самый простой способ сотрудничества



Thank you!

Fedor

giovanni bencivenni

Alexander Barni...

VLivanov

Viktor

Yuriy Tikhonov

Fedor

Andrey Sukharev

Marco Poli Lener

Viktor Bobro...

Alexander Barni...

Fedor

G. Cibinetto

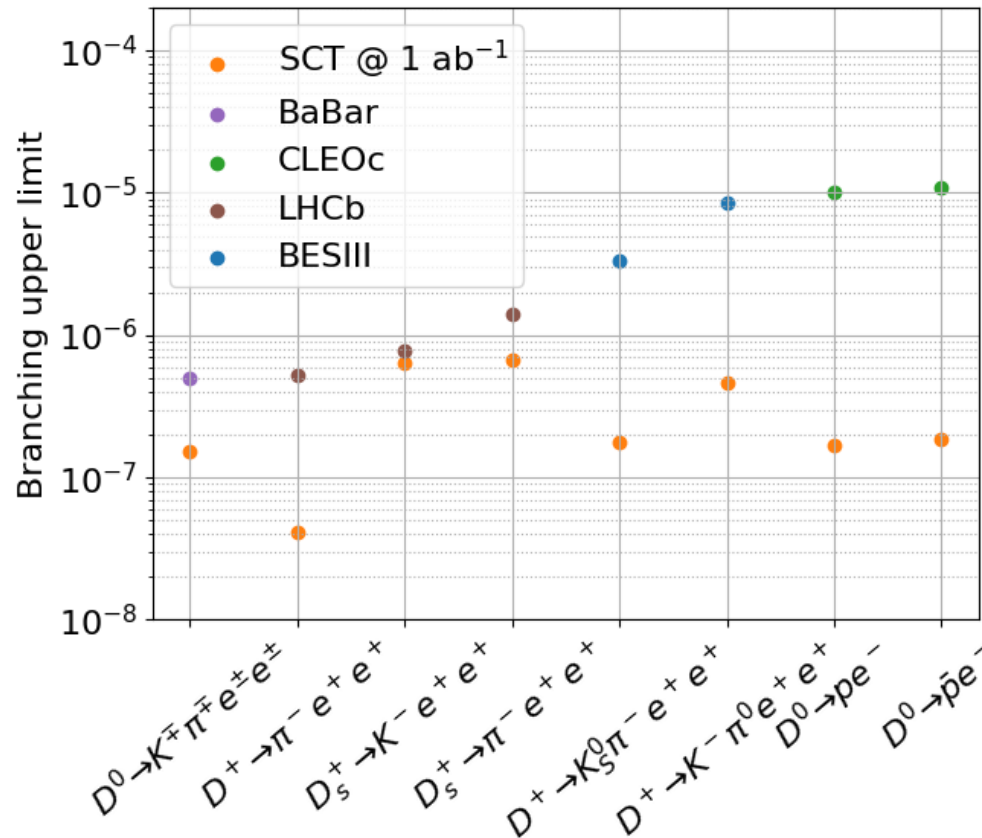
Sergey

Viktor Bob25ni...

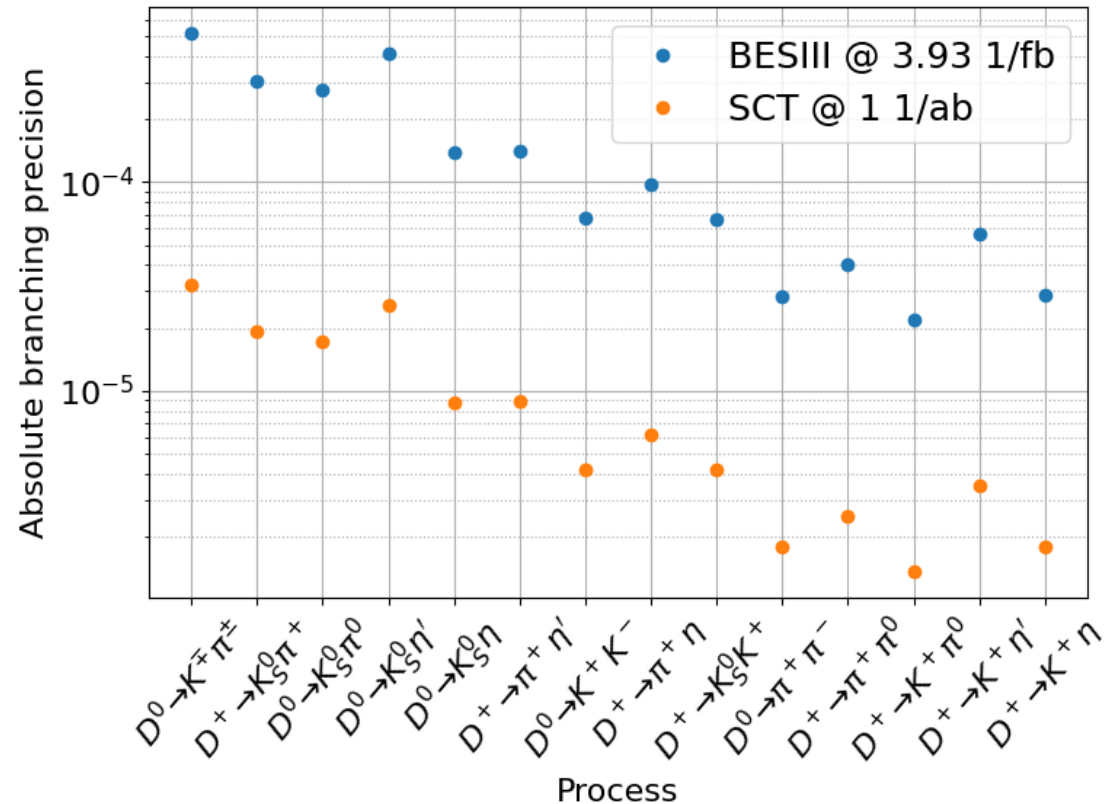
Backup

Прецизионное измерение вероятностей распадов и поиск запрещенных распадов D -мезонов

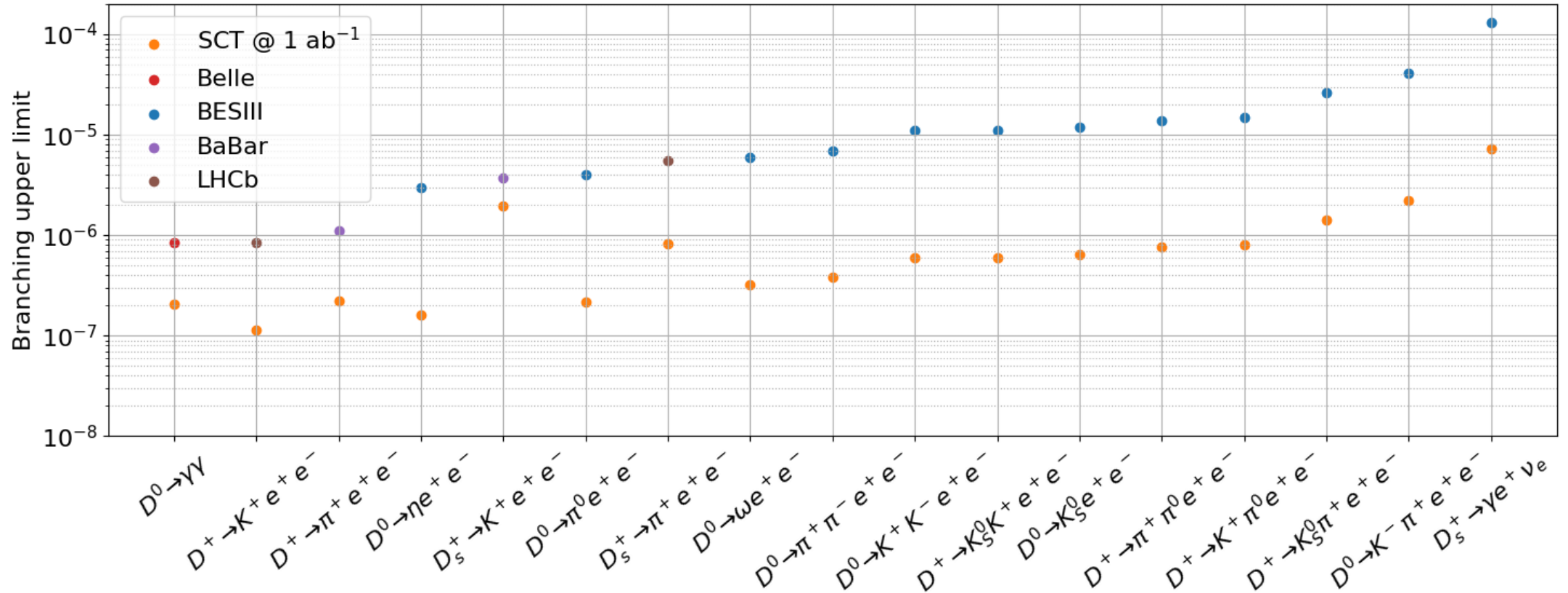
Верхние пределы на вероятности запрещенных распадов: прямой поиск НФ

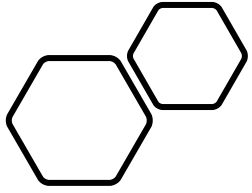


Прецизионное измерение вероятностей распадов



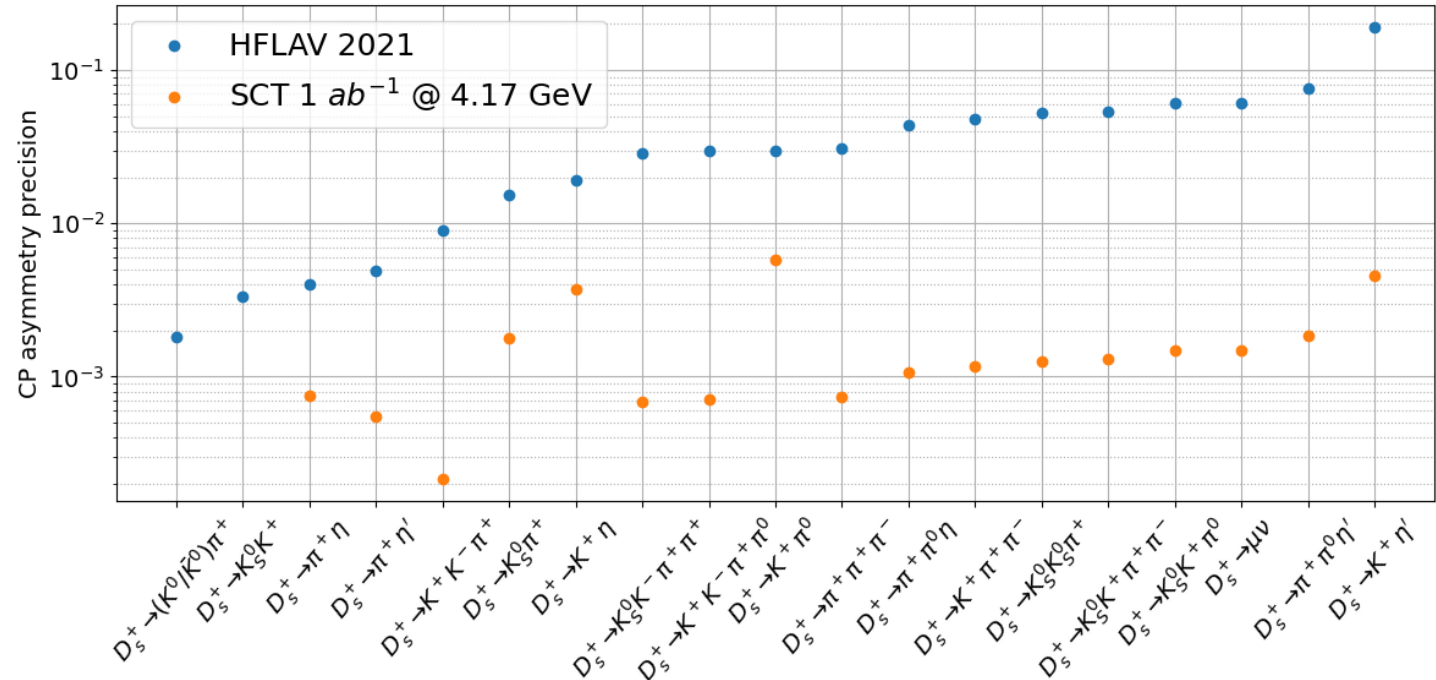
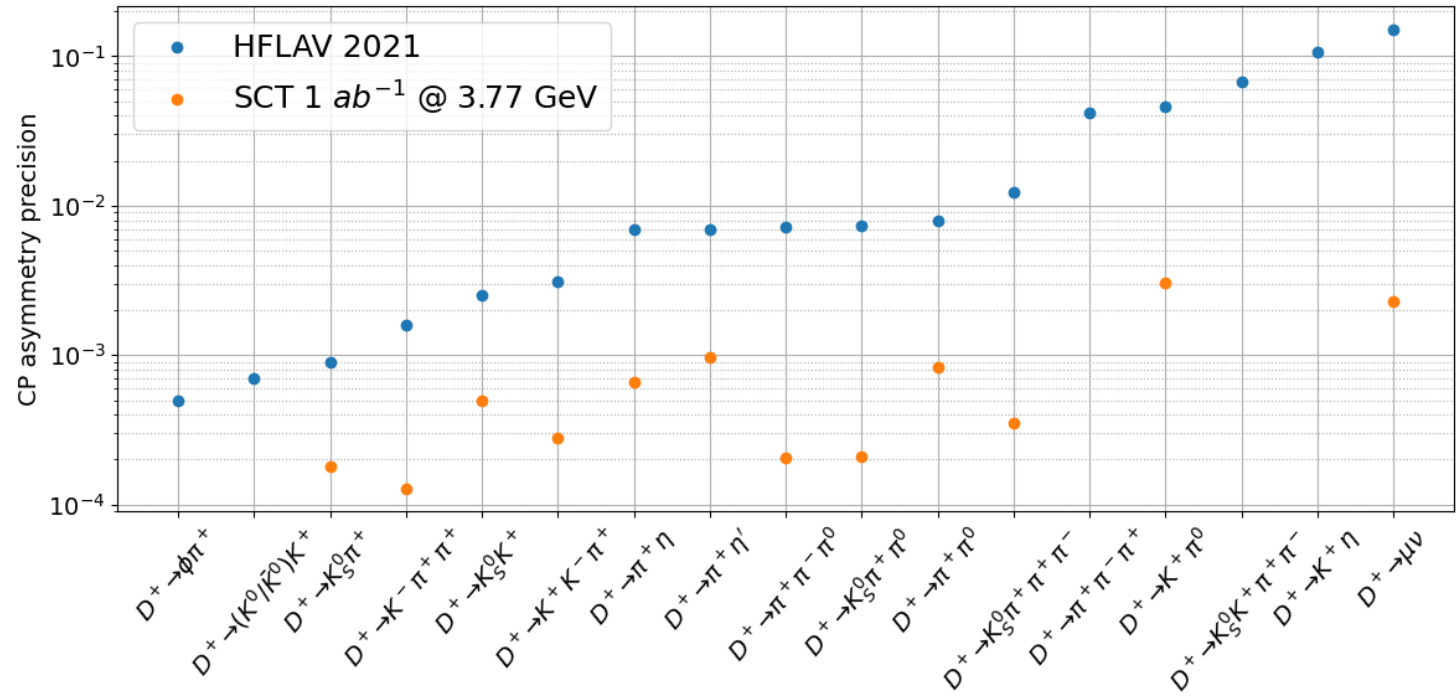
Поиск редких распадов D -мезонов





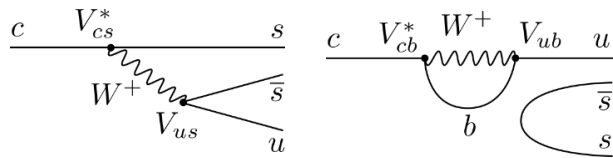
Изучение нарушения CP -симметрии в распадах D -мезонов

- Единственный эксперимент, чувствительный с CP -асимметрии в распадах D -мезонов на уровне $\mathcal{O}(10^{-3})$ в десятках конечных состояний, в том числе с нейтральными частицами в конечном состоянии



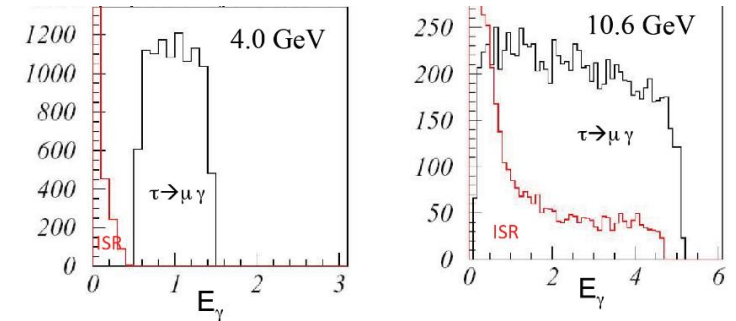
Ключевые задачи – лучшая мировая ТОЧНОСТЬ

Систематическое изучение нарушения CP -симметрии в распадах D -мезонов

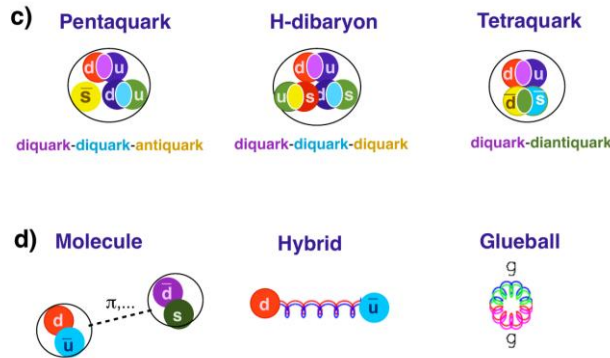
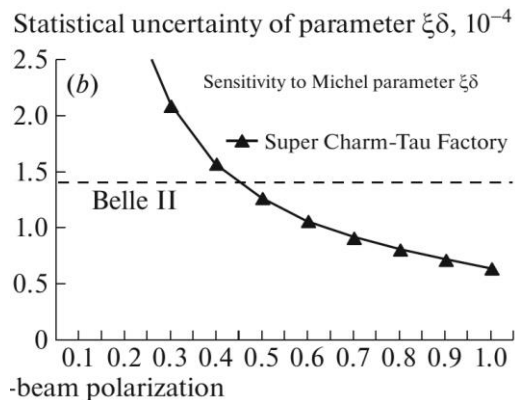


Всестороннее изучение феноменологии сильного взаимодействия в непертурбативной области

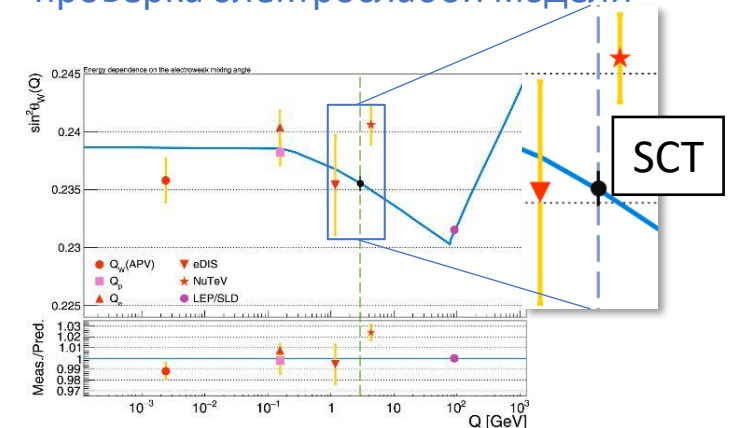
Поиск запрещенного распада $\tau \rightarrow \mu\gamma$



Прецизионное изучение Лоренц-структуры слабого заряженного тока в распадах $\tau \rightarrow l\bar{\nu}$



Измерение угла Вайнберга – прецизионная проверка электрослабой модели



Leptonic τ decays

Michel parameters

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

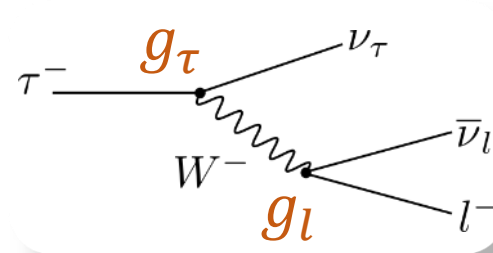
Tau polarization

- SCT with polarized electrons allows measurement the tau lepton Michel parameters with precision better than that of Belle II

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

Lepton universality test

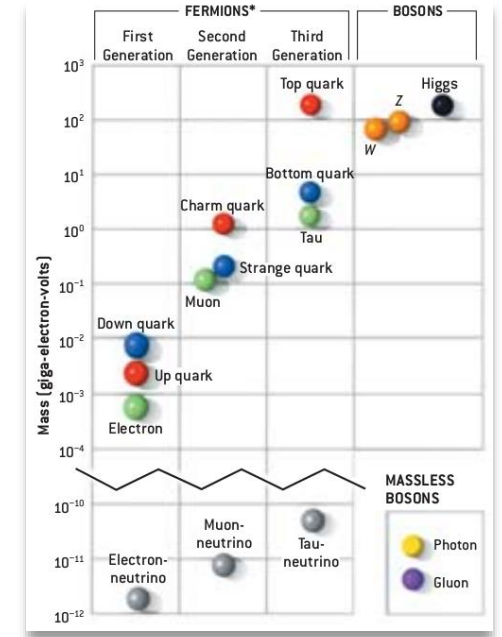
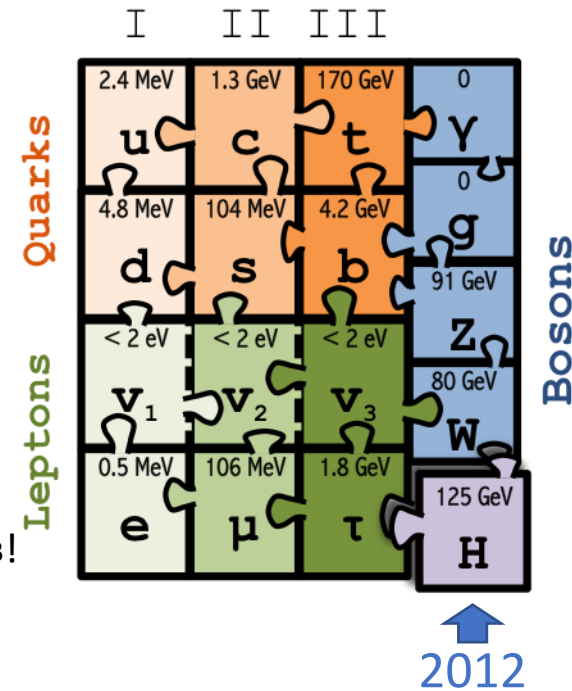
$$\Gamma(\tau^- \rightarrow \nu_\tau l^- \bar{\nu}_l) = \frac{G_\tau G_l m_\tau^5}{192\pi^3} f\left(\frac{m_l^2}{m_\tau^2}\right) r_{EW}$$



Parameter	Expectation	Best measurement
$\frac{\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow \nu_\tau \mu^- \bar{\nu}_\mu)}{\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow \nu_\tau e^- \bar{\nu}_e)}$	0.972564 ± 0.000010	$0.9796 \pm 0.0016 \pm 0.0036$ [BaBar, PRL 105 (2010) 051602]

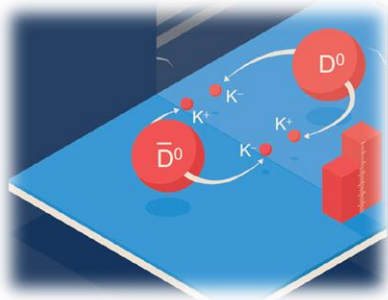
Статус Стандартной модели ФЭЧ

- **Стандартная модель (СМ)** – самая успешная физическая теория *на данный момент*
 - Калибровочные поля: переносчики взаимодействий
 - Поля материи: три поколения лептонов и кварков
 - Механизм Хиггса
- **Границы применимости СМ**
 - Темная материя
 - Масса нейтрино
 - Барионная асимметрия Вселенной
 - Проблема иерархий (почему бозон Хиггса такой легкий?)
 - Загадка аромата: почему три поколения? 18 (25) параметров!
 - ...
- **Поиск Новой физики (НФ)**
 - СМ может оказаться низкоэнергетичным приближением **более общей и красивой теории**
 - Наша задача – обнаружить явления, которые откроют дорогу к построению более общей теории

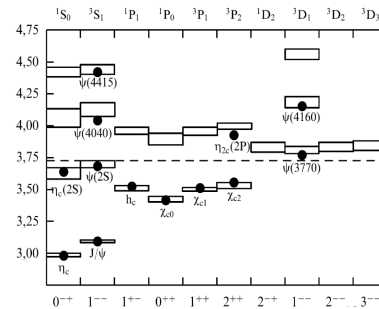


Эксперименты с очарованными адронами

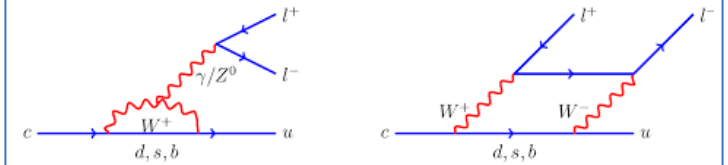
CP symmetry tests



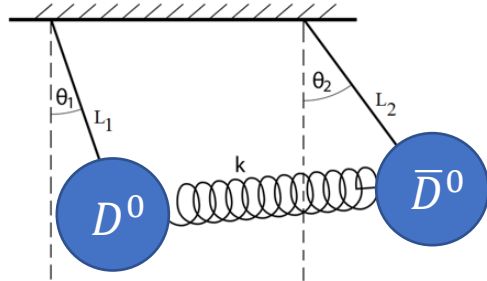
Spectroscopy



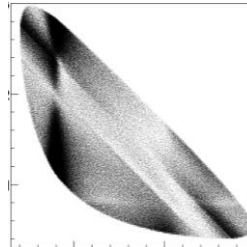
Rare and forbidden decays



Charm mixing



Branching fractions and decay dynamics



Other experiments

- Lepton universality tests
- Decays to invisible
- ...

Leptonic τ decays

Michel parameters

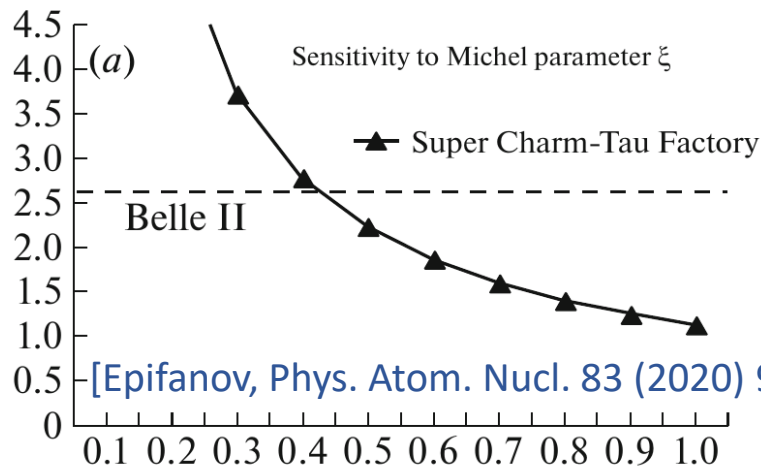
Tau polarization

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

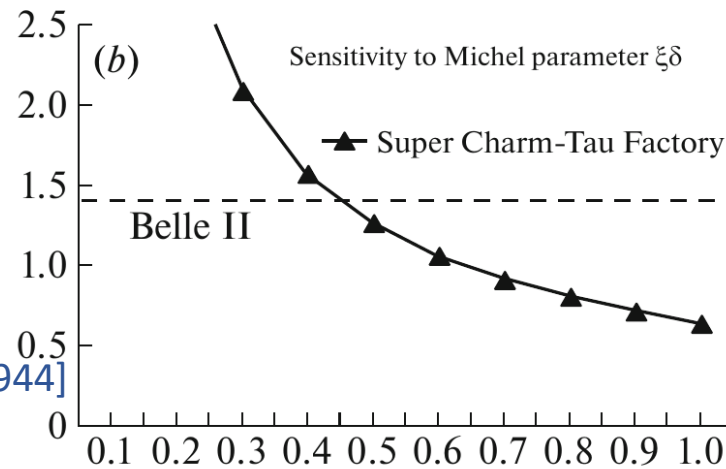
- SCT with polarized electrons allows measurement the tau lepton Michel parameters with precision better than that of Belle II

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

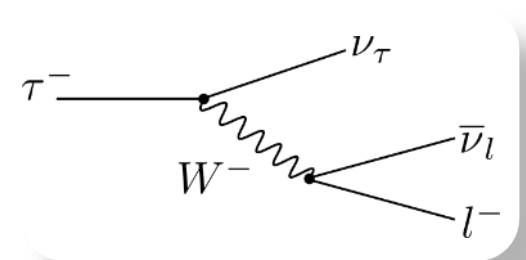
Statistical uncertainty of parameter ξ , 10^{-4}



Statistical uncertainty of parameter $\xi\delta$, 10^{-4}



[Epifanov, Phys. Atom. Nucl. 83 (2020) 944]



Leptonic τ decays

Michel parameters

Tau polarization

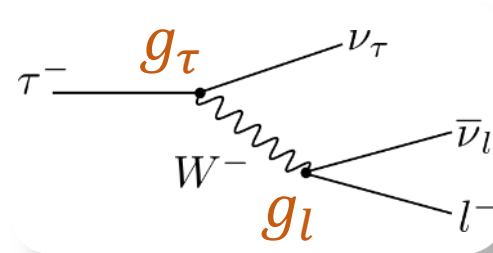
$$\frac{d\Gamma(\tau^\mp)}{d\Omega dx} \propto x(1-x) + \frac{2}{9}\rho(4x^2 - 3x - x_0^2) + \eta x_0(1-x) \mp \frac{1}{3}P_\tau \cos\theta_l \xi \sqrt{x^2 - x_0^2} \left[1 - x + \frac{2}{3}\delta \left(4x - 4 + \sqrt{1 - x_0^2} \right) \right]$$

- SCT with polarized electrons allows measurement the tau lepton Michel parameters with precision better than that of Belle II

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

Lepton universality test

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



Parameter	Expectation	Best measurement
$\frac{\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow \nu_\tau \mu^- \bar{\nu}_\mu)}{\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow \nu_\tau e^- \bar{\nu}_e)}$	0.972564 ± 0.000010	$0.9796 \pm 0.0016 \pm 0.0036$ [BaBar, PRL 105 (2010) 051602]

Release of the software framework for SCT detector

- ✓ The Aurora Software Framework v.1.0.0 is released
 - The framework is essential for designing the detector and studying the physics case
- ✓ The development was reported on the vCHEP21 conference. Proceedings are published

Major achievement

EPJ Web of Conferences **251**, 03017 (2021)
CHEP 2021

<https://doi.org/10.1051/epjconf/202125103017>

doi.org/10.1051/epjconf/202125103017

Software framework for the Super Charm-Tau factory detector project

Maria Belozyorova^{1,2}, Dmitry Maksimov^{1,2}, Georgiy Razuvaev^{1,2}, Andrey Sukharev^{1,2}, Vitaly Vorobyev^{1,2}, Anastasiia Zhadan^{1,2,}, and Daniil Zhadan^{1,2,**}*

¹Budker Institute of Nuclear Physics, 11, akademika Lavrentieva prospect, Novosibirsk, 630090, Russia
²Novosibirsk State University, 1, Pirogova street, Novosibirsk, 630090, Russia

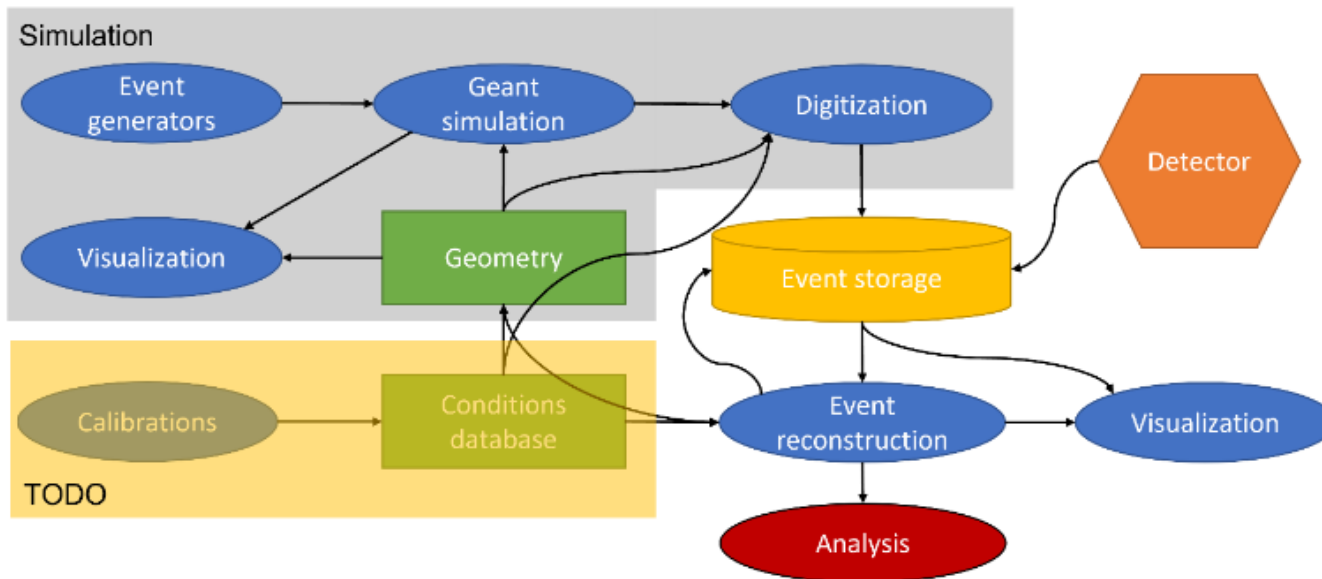
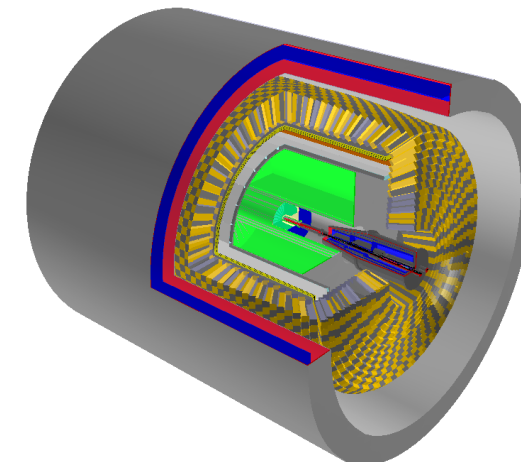


Fig. 1. Main data flows and operations in the detector software.



Work on the SCT detector software is in progress. There are still many components to be implemented

Hadronic τ decays

Spectral functions

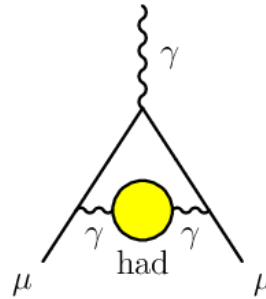
$$\frac{d\Gamma(\tau^- \rightarrow \text{had } \nu_\tau)}{d(\text{phsp})} = \frac{G_F^2}{4m_\tau} |V_{\text{CKM}}|^2 L_{\mu\nu} H^{\mu\nu}$$

- Measuring $|V_{ud}|$, $|V_{us}|$, $\alpha_s(m_\tau)$, and m_s
- Testing the factorization of hadronic and leptonic currents
- Testing conserved vector current
- Hadronic vacuum polarization in the non-perturbative region

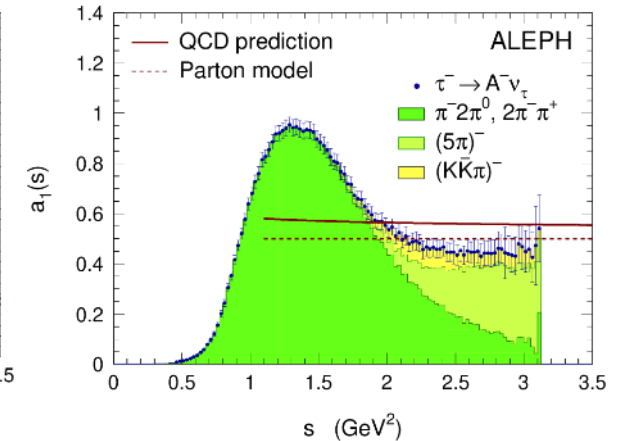
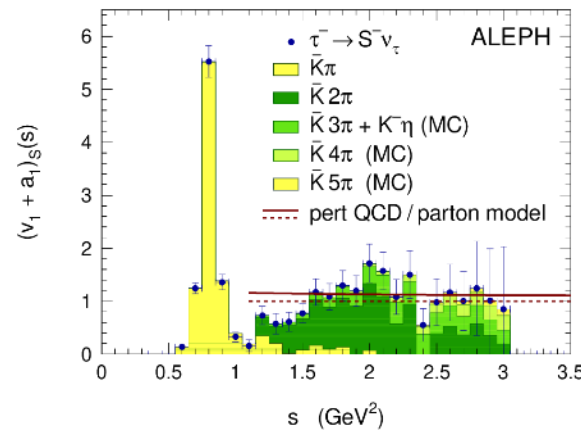
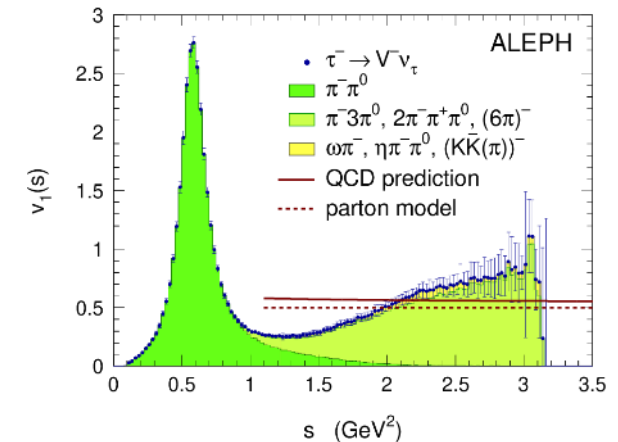
Second class currents

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

- Highly suppressed by isospin ($\tau \rightarrow \eta^{(\prime)}\pi\nu$, ...)



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



LFV and CPV with tau

$\tau \rightarrow \mu\gamma$

- Allowed in several BSM scenario, including SUSY, leptoquarks, technicolor, and extended Higgs models
- $\mathcal{O}(10^{-9})$ – reachable upper limit at SCT for the branching of $\tau \rightarrow \mu\gamma$
- Requires excellent π/μ separation

CP symmetry breaking

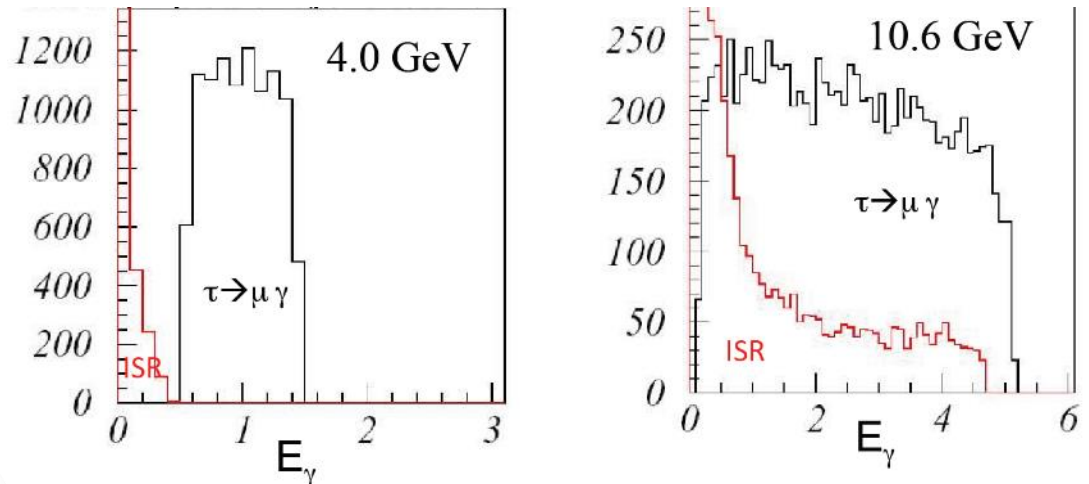
- CPV in tau production

$$J_{EM} \propto F_1\gamma^\mu + \left(\frac{i}{2m_\tau} F_2 + \gamma^5 F_3 \right) \sigma^{\mu\nu} q_\nu$$

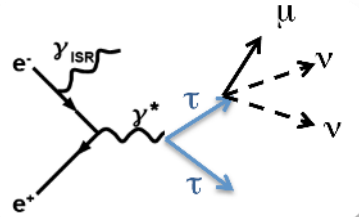
- Current limit: $|d_\tau| \lesssim 10^{-17} e \cdot \text{cm}$
- Tau EDM with polarized electrons: $\sigma(d_\tau) \sim 10^{-20} e \cdot \text{cm}$

- CPV in tau decays (e.g., $\tau \rightarrow K\pi\nu_\tau$)

ISR photon background [arXiv:1206.1909 [hep-ex]]



Beam polarization is essential for these measurements [PRD 51 (1995) 5996]



Измерение угла Вайнберга

- Interference between the $e^+e^- \rightarrow \gamma^*, Z \rightarrow J/\psi$ processes produces left-right asymmetry of the total cross section

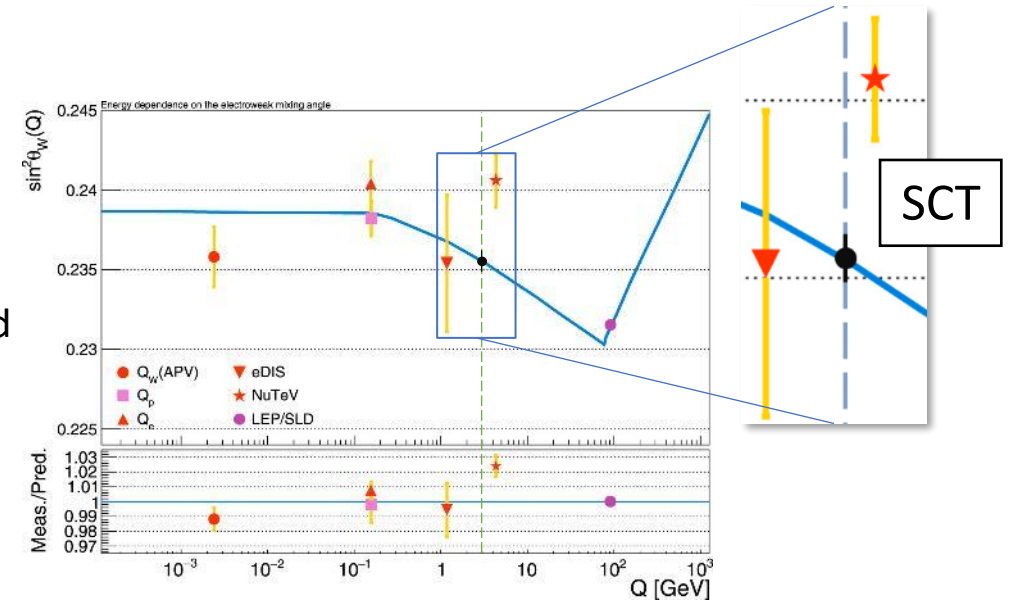
$$A_{LR} \equiv \frac{\sigma_+ - \sigma_-}{\sigma_+ + \sigma_-} = \frac{3/8 - \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c}{2 \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c (1 - \sin^2 \theta_{\text{eff}}^c)} \left(\frac{m_{J/\psi}}{m_Z} \right)^2 P_e$$

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

- σ_+ (σ_-) is the total $e^+e^- \rightarrow J/\psi$ cross section for right- (left-)handed electrons
- P_e is the average electrons polarization, $P_e < 1$
- Statistical precision with a one-year data set:

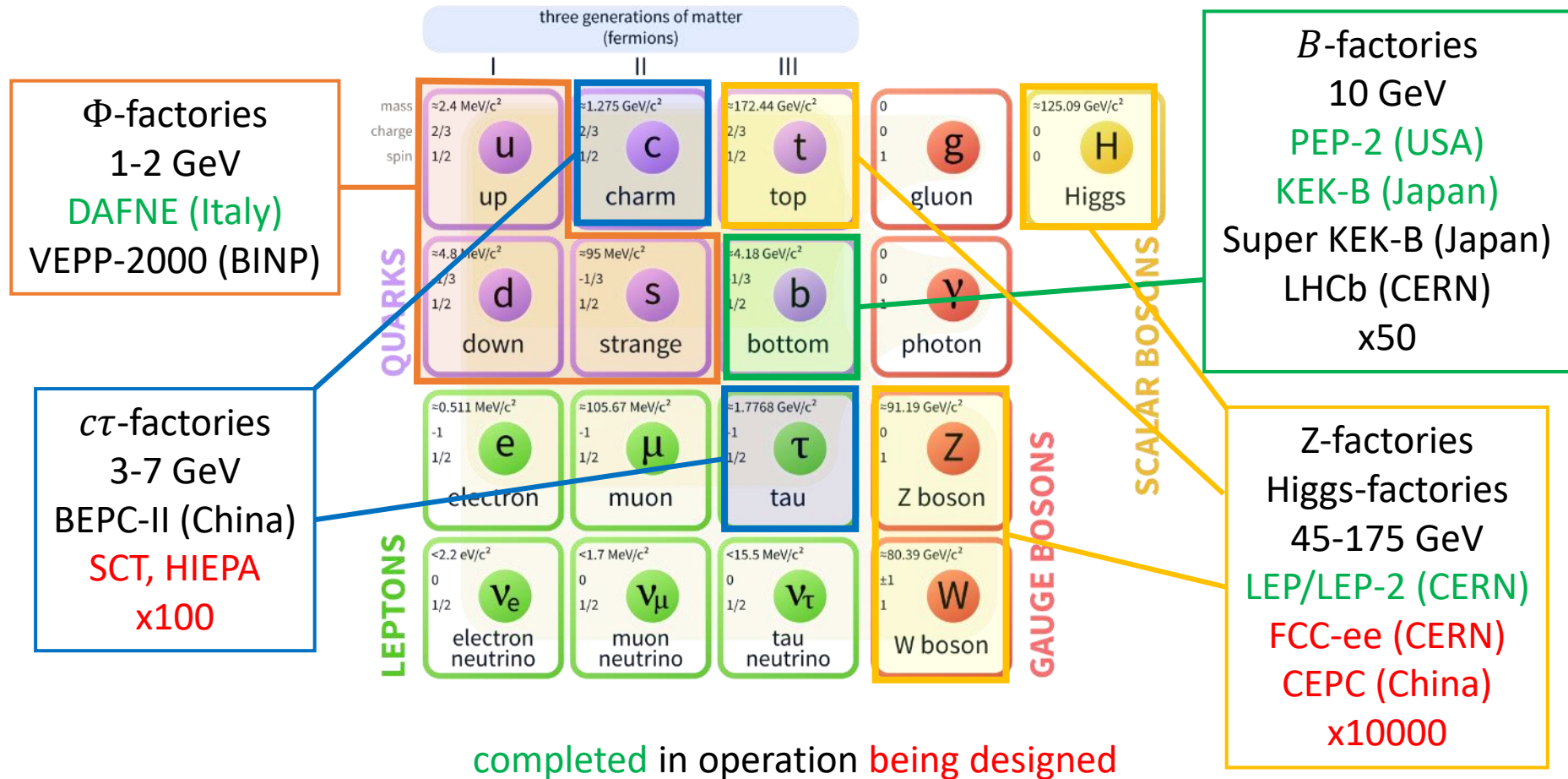
$$\frac{\sigma(\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c)}{\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c} \approx 0.3\%, \quad \sigma(\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c) \approx 5 \times 10^{-4}$$

- It tests weak interaction of the charm quark
- An opportunity to observe deviation of the $\sin^2 \theta_{\text{eff}}^c$ from its value at Z peak (test of the EW model)

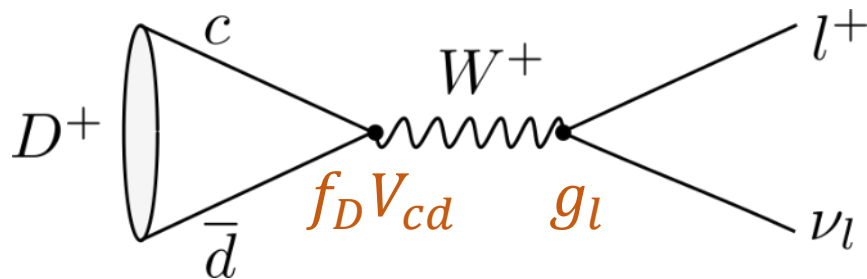


JHEP 2020, 76 (2020)

The factory colliders



(Semi-)leptonic $D_{(s)}$ decays



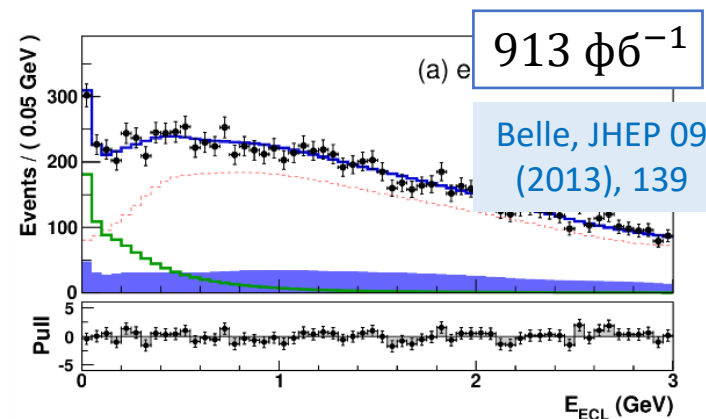
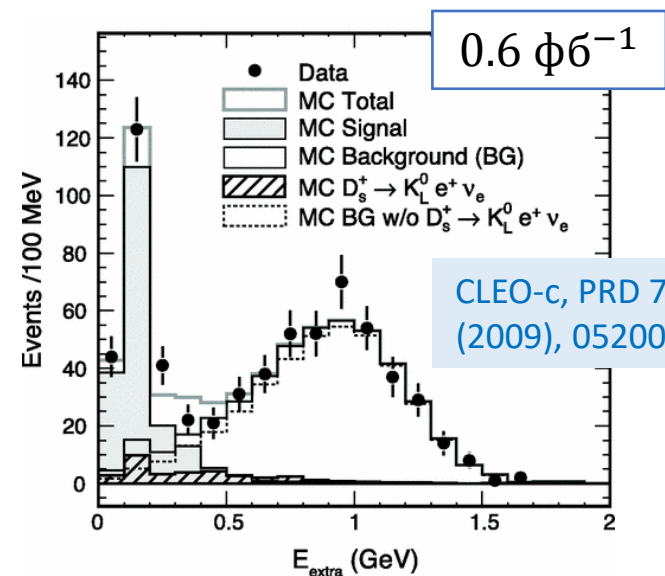
$$\Gamma(D^+ \rightarrow lv) = \frac{G_F^2}{8\pi} f_D^2 m_l^2 m_D \left(1 - \frac{m_l^2}{m_D^2}\right) |V_{cd}|^2$$

- Measurement of branching fractions : f_D, V_{cd}, V_{cs}
- Lepton universality test

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)

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

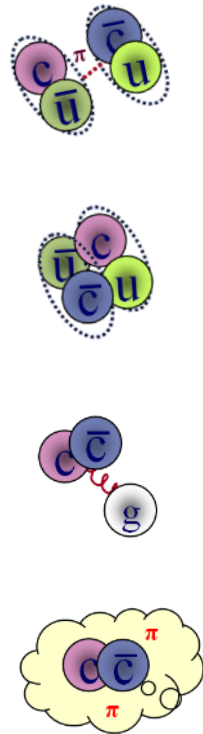


Detailed study of the charmonium-like states

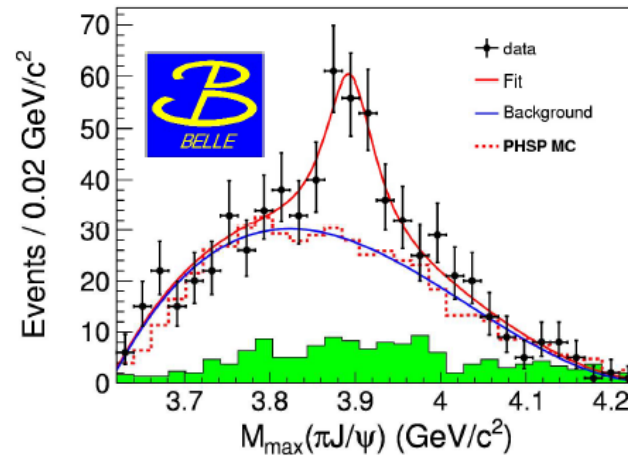
➤ Exiting QCD laboratory

➤ Cross sections to be measured as function of \sqrt{s} :

- $e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$
- $e^+e^- \rightarrow J/\psi\pi^0\pi^0$
- $e^+e^- \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-$
- $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}, D^*\bar{D}, \dots$
- $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}\gamma$
- $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}(n\pi)$
- $e^+e^- \rightarrow D_s^+D_s^-$
- $e^+e^- \rightarrow D_s^+D_s^-(n\pi)$
- $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c\bar{\Lambda}_c$
- ...

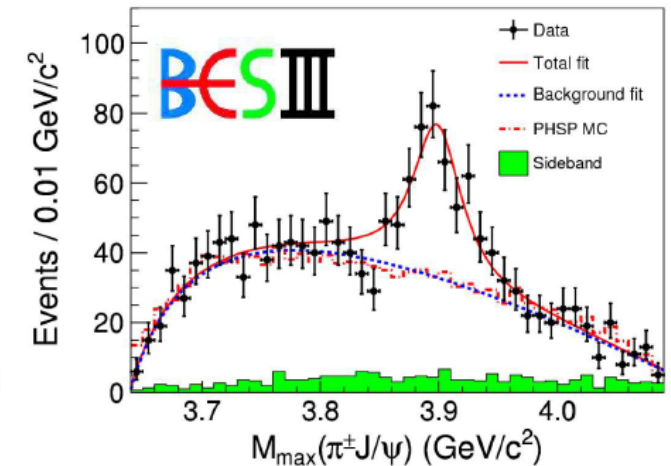


Belle with ISR: PRL110, 252002
967 fb⁻¹ in 10 years running time



- $M = 3894.5 \pm 6.6 \pm 4.5$ MeV
- $\Gamma = 63 \pm 24 \pm 26$ MeV
- 159 ± 49 events
- $>5.2\sigma$

BESIII at 4.260 GeV: PRL110, 252001
0.525 fb⁻¹ in one month running time

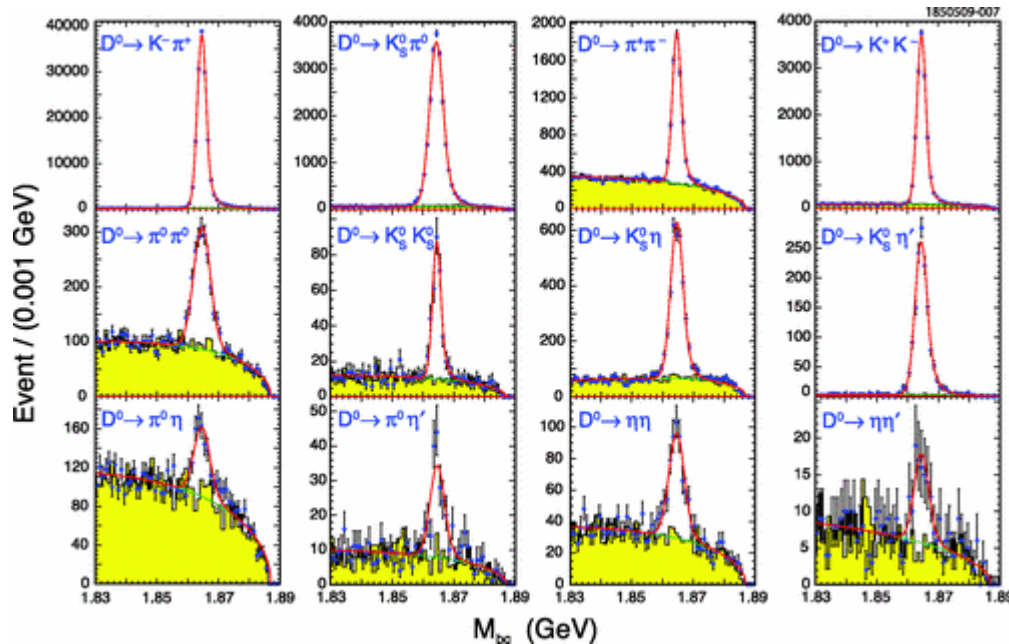


- $M = 3899.0 \pm 3.6 \pm 4.9$ MeV
- $\Gamma = 46 \pm 10 \pm 20$ MeV
- 307 ± 48 events
- $>8\sigma$

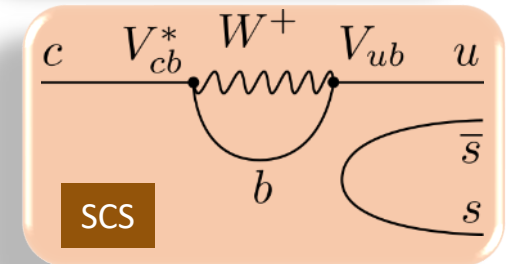
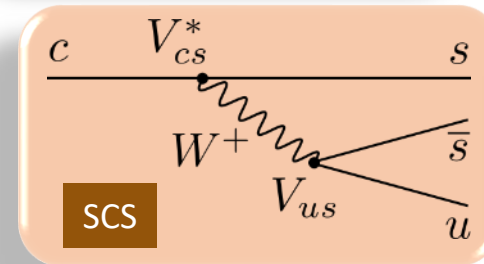
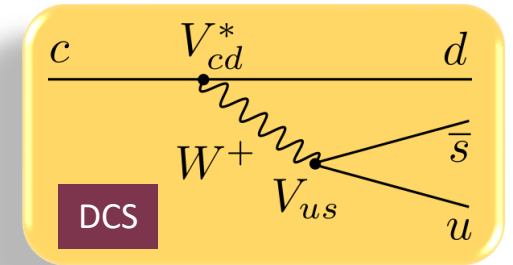
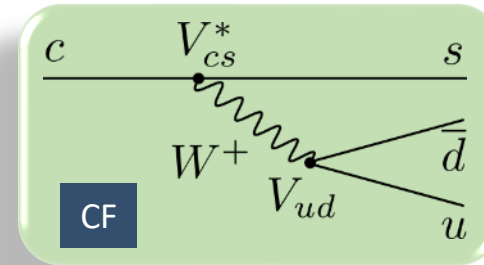
10 years vs. 0.1 year vs. 1 day at SCT

CPV in charm

- Measurement of CP asymmetries in decays of D^0 , D^+ , D_s^+ at the precision level of $\sim 10^{-4}$
 - Advantage of full event reconstruction
 - Coherent $D^0\bar{D}^0$ pairs



CLEOc 0.818 fb^{-1} @ 3774 MeV [PRD 81, 052013 (2010)]



$$\Delta A_{CP} = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$$

$$D^0 \rightarrow h^+ h^-$$



2019

long-distance dynamics is important in charm decays: re-scattering leads to the complex connections between the worlds of hadrons and quarks [I. Bigi] 43

The use of coherent $D^0\bar{D}^0$ pairs

Accessing the phases

- A pair of neutral D mesons produced at threshold carries photon quantum numbers $J^{PC} = 1^{--}$:

$$\psi_{DD} \propto D_1^0\bar{D}_2^0 + \mathcal{C}D_2^0\bar{D}_1^0, \quad \mathcal{C} = -1$$

- The interference term gives access to the phase difference between D^0 and \bar{D}^0 decay amplitudes

$$\delta_{K\pi} \equiv \arg\left(\frac{\mathcal{A}(\bar{D}^0 \rightarrow K^-\pi^+)}{\mathcal{A}(D^0 \rightarrow K^-\pi^+)}\right)$$

- Coherence factors and CP content of multibody decay amplitudes
- Phases of the $D^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-$

Essential input for B factories and LHCb

Accessing the charm mixing

- Measuring charm mixing with quantum correlations

- Charm mixing cancels at first order for the coherent decays

$$\Gamma_{ij} \propto |\langle i|D_2\rangle\langle j|D_1\rangle - \langle i|D_1\rangle\langle j|D_2\rangle|^2 + \mathcal{O}(x^2, y^2)$$

- Charm mixing contributes to non-coherent *time-integrated decays*

$$\Gamma_i \propto |\langle i|D\rangle|^2(1 - y \operatorname{Re}\lambda_f - x \operatorname{Im}\lambda_f) + \mathcal{O}(x^2, y^2)$$

- Several unique techniques to measure charm mixing and CP violation in charm based on this phenomenology
- Access to the $\mathcal{C} = +1$ state with $e^+e^- \rightarrow D^0\bar{D}^0\gamma$
 - Charm mixing contribution is doubled instead of being cancelled!

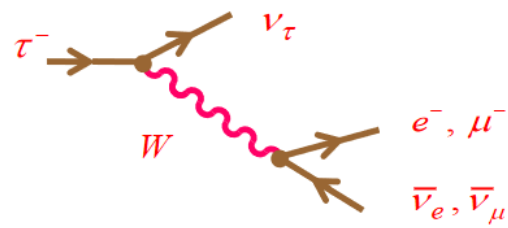


Tau lepton

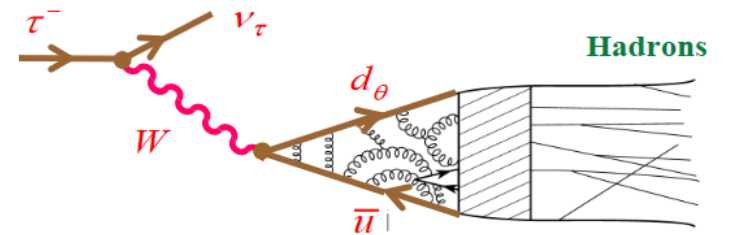
τ Physics

Prog. Part. Nucl. Phys. 75 (2014) 41

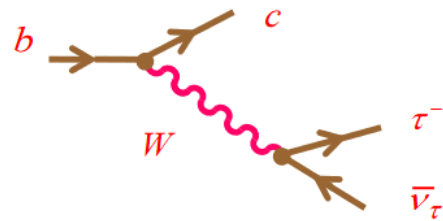
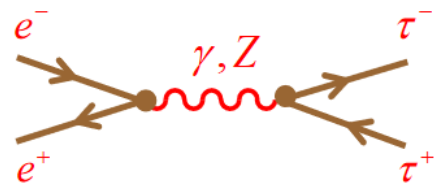
Decay



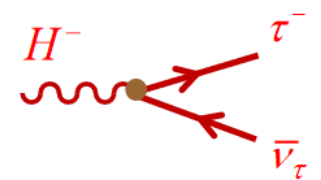
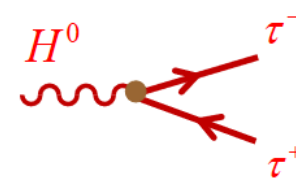
QCD



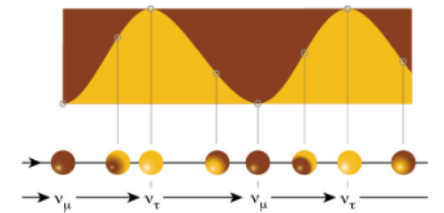
Production



New Physics



Neutrino Physics



A. Pich

τ Physics

2

Charm mixing

Measuring charm mixing with combination of coherent and incoherent D^0 decays

➤ CLEO-c [1]: 0.82 fb^{-1} @ $\psi(3770)$

- Joint analysis of 261 processes
- First measurement of $\sin \delta_{K\pi}$

$$y = (4.2 \pm 2.0 \pm 1.0)\%$$

$$R_D = (0.533 \pm 0.107 \pm 0.045)\%$$

$$\cos \delta_{K\pi} = +0.81 \pm 0.22 \pm 0.07$$

$$\sin \delta_{K\pi} = -0.01 \pm 0.41 \pm 0.04$$

[1] Phys. Rev. D86 (2012) 112001

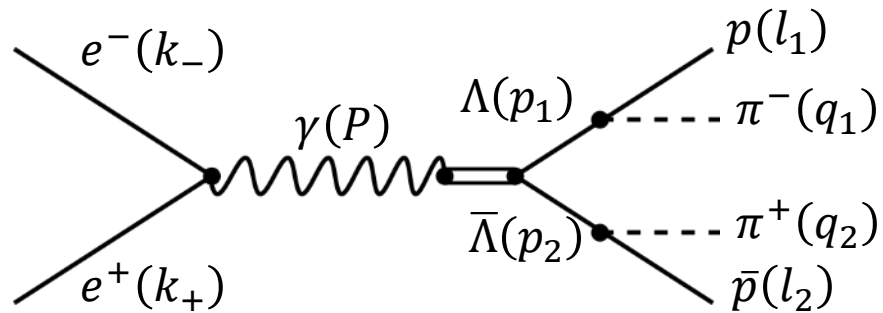
Coherent $D^0\bar{D}^0$ pair decays

$$\Gamma(i, j) \propto |\langle i|D_2\rangle\langle j|D_1\rangle - \langle i|D_1\rangle\langle j|D_2\rangle|^2 + \mathcal{O}(x^2, y^2)$$

TABLE III. D final states reconstructed in this analysis. [1]

Type	Reconstruction	Final states
f	Full	$K^- \pi^+, Y_0 - Y_7$
\bar{f}	Full	$K^+ \pi^-, \bar{Y}_0 - \bar{Y}_7$
S_+	Full	$K^+ K^-, \pi^+ \pi^-, K_S^0 \pi^0 \pi^0$
S_+	Partial	$K_L^0 \pi^0, K_L^0 \eta, K_L^0 \omega$
S_-	Full	$K_S^0 \pi^0, K_S^0 \eta, K_S^0 \omega$
S_-	Partial	$K_L^0 \pi^0 \pi^0$
ℓ^+	Partial	$K^- e^+ \nu_e, K^- \mu^+ \nu_\mu$
ℓ^-	Partial	$K^+ e^- \bar{\nu}_e, K^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu$

Λ formfactors



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

$$\alpha \equiv \frac{s |G_M^\psi|^2 - 4m_\Lambda^2 |G_E^\psi|^2}{s |G_M^\psi|^2 + 4m_\Lambda^2 |G_E^\psi|^2}, \quad \Delta\Phi \equiv \arg\left(\frac{G_E^\psi}{G_M^\psi}\right), \quad \alpha_1, \alpha_2$$

➤ CP asymmetry in $\Lambda \rightarrow p\pi^-$:

$$A_\Lambda \equiv \left| \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \right| \lesssim 5 \times 10^{-5}$$

○ SM limit:

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

○ Expected precision:

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

Setup	SCT one-year σ (10^{-4})			
	P_e	α	$\Delta\Phi$ (rad)	α_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

Charm decay rates

Time-dependent

Incoherent

$$D^{*\pm} \rightarrow D\pi^\pm, \quad B \rightarrow DX, \quad e^+e^- \rightarrow c\bar{c} \rightarrow D\bar{D}X, \quad pp \rightarrow c\bar{c}X$$

$$|\langle f | \mathcal{H} | D^0(t) \rangle|^2 = e^{-\Gamma t} |\mathcal{A}_f|^2 [1 - (y \operatorname{Re}\lambda_f + x \operatorname{Im}\lambda_f)\Gamma t] + \mathcal{O}(x^2, y^2)$$

$$|\langle f | \mathcal{H} | D^0 \rangle|^2 \propto |\mathcal{A}_f|^2 (1 - y \operatorname{Re}\lambda_f - x \operatorname{Im}\lambda_f) + \mathcal{O}(x^2, y^2)$$

Boost

$$\text{LHCb: } (\gamma\beta)_D \gg 1$$

$$\text{B factory: } (\gamma\beta)_D \sim 1$$

$$\text{c-}\tau \text{ factory: } (\gamma\beta)_D \ll 1$$

Time-integrated

Coherent (at rest)

$$e^+e^- \rightarrow D^{(*)0}\bar{D}^{(*)0}, \quad \mathcal{C}+: D^0\bar{D}^0\gamma, \quad \mathcal{C}-: D^0\bar{D}^0(\pi^0)$$

$$\langle ij | \mathcal{H} | D^0\bar{D}^0 \rangle \propto \langle i | \mathcal{H} | D^0 \rangle \langle j | \mathcal{H} | \bar{D}^0 \rangle + \mathcal{C} \langle i | \mathcal{H} | \bar{D}^0 \rangle \langle j | \mathcal{H} | D^0 \rangle$$

$$|\langle ij | \mathcal{H} | D^0\bar{D}^0 \rangle|^2 \propto |\mathcal{A}_i|^2 |\mathcal{A}_j|^2 [|\zeta_c|^2 + (1 + \mathcal{C})(x \operatorname{Im}(\xi_c^* \zeta_c) - y \operatorname{Re}(\xi_c^* \zeta_c))] + \mathcal{O}(x^2, y^2)$$

$$\xi_c \equiv \frac{p}{q}(1 + \mathcal{C}\lambda_i\lambda_j), \quad \zeta_c \equiv \frac{p}{q}(\lambda_j + \mathcal{C}\lambda_i)$$

Model-independent Dalitz analysis

Charm mixing measurement using $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$

$$e^+ e^- \rightarrow \psi(4040) \rightarrow D \bar{D}^*$$

- Coherent $\mathcal{C} = -1: D^0 \bar{D}^{*0} \rightarrow D^0 \bar{D}^0 \pi^0$

$$M_{ij}^- = K_i K_{-j} + K_{-i} K_j - 2 \sqrt{K_i K_{-j} K_{-i} K_j} (C_i C_j + S_i S_j)$$

- Coherent $\mathcal{C} = +1: D^0 \bar{D}^{*0} \rightarrow D^0 \bar{D}^0 \gamma$

$$M_{ij}^+ = K_i K_{-j} + K_{-i} K_j - 2 \sqrt{K_i K_{-j} K_{-i} K_j} (C_i C_j + S_i S_j) \\ + 2K_j \sqrt{K_i K_{-i}} (yC_i - xS_i) + 2K_{-j} \sqrt{K_i K_{-i}} (yC_i + xS_i) \\ + 2K_i \sqrt{K_j K_{-j}} (yC_j - xS_j) + 2K_{-i} \sqrt{K_j K_{-j}} (yC_j + xS_j)$$

- Incoherent $D^- D^{*+} \rightarrow D^- D^0 \pi^+$

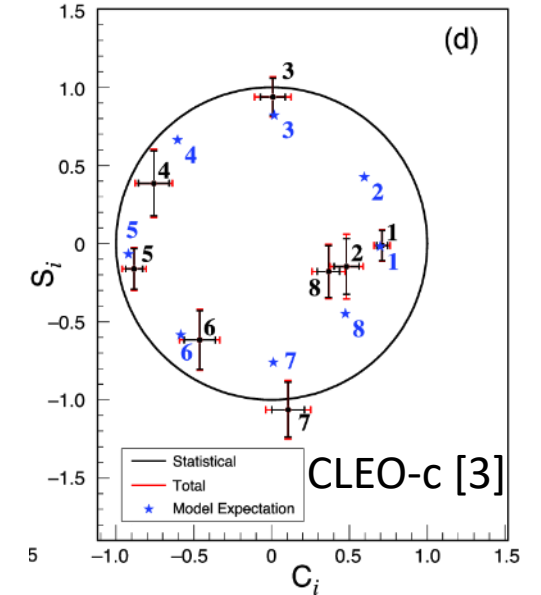
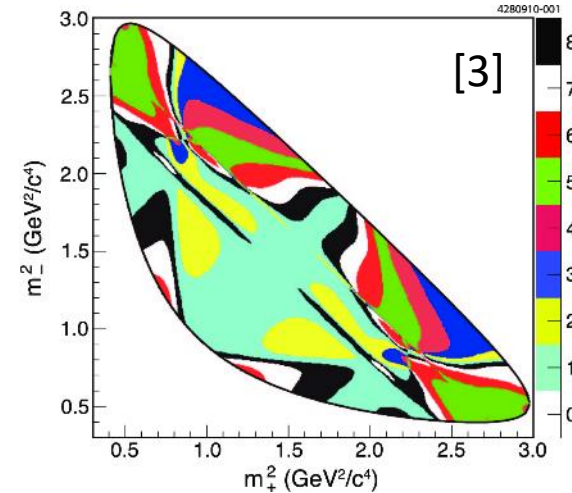
$$K_i' = K_i + \sqrt{K_i K_{-i}} (yC_i + xS_i)$$

[1] Phys. Rev. D68, 054018 (2003)

[2] Phys. Rev. D82, 034033 (2010)

[3] Phys. Rev. D82, 112006 (2010)

[4] JHEP 04 (2016) 033



$$Z_i = \frac{\int_{D_i} \mathcal{A}_D^* \mathcal{A}_{\bar{D}} dm_+^2 dm_-^2}{\sqrt{\int_{D_i} |\mathcal{A}_D|^2 dm_+^2 dm_-^2 \cdot \int_{D_i} |\mathcal{A}_{\bar{D}}|^2 dm_+^2 dm_-^2}}$$

$$C_i = \text{Re } Z_i, \quad S_i = \text{Im } Z_i$$

Model-independent Dalitz analysis

Charm mixing measurement using $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$

- Time-dependent analysis: [1,2]

$$\mathcal{P}_D(t, i) \propto e^{-\Gamma t} [K_i - \Gamma t \sqrt{K_i K_{-i}} (C_i y + S_i x)]$$

$$\mathcal{P}_{\bar{D}}(t, i) \propto e^{-\Gamma t} [K_{-i} - \Gamma t \sqrt{K_i K_{-i}} (C_i y - S_i x)]$$

- C_i and S_i are measured at threshold [3]
- x and y are the charm mixing parameters

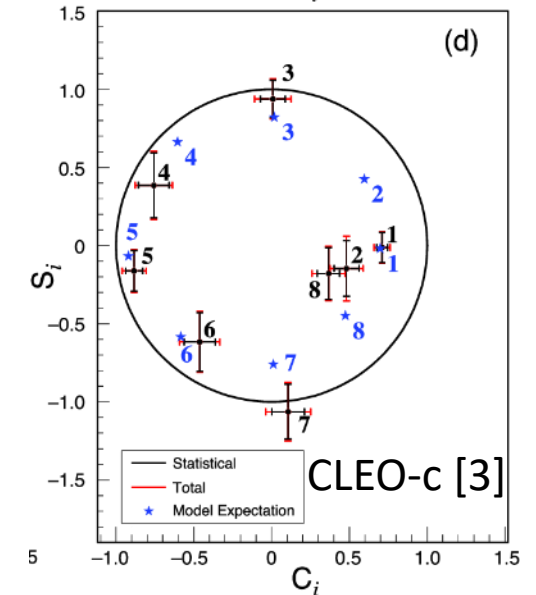
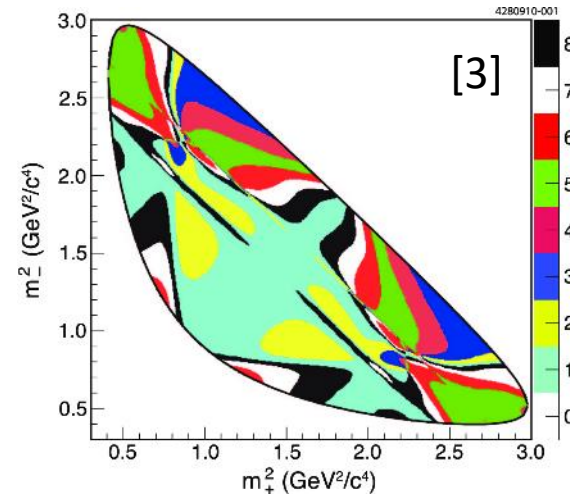
- LHCb [4]: 1.0 fb^{-1} @ 7 TeV , $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^+ \pi^-$

$$x = (-0.86 \pm 0.53 \pm 0.17)\%$$

$$y = (+0.03 \pm 0.46 \pm 0.13)\%$$



- [1] Phys. Rev. D68, 054018 (2003)
- [2] Phys. Rev. D82, 034033 (2010)
- [3] Phys. Rev. D82, 112006 (2010)
- [4] JHEP 04 (2016) 033



$$Z_i = \frac{\int_{D_i} \mathcal{A}_D^* \mathcal{A}_{\bar{D}} dm_+^2 dm_-^2}{\sqrt{\int_{D_i} |\mathcal{A}_D|^2 dm_+^2 dm_-^2 \cdot \int_{D_i} |\mathcal{A}_{\bar{D}}|^2 dm_+^2 dm_-^2}}$$

$$C_i = \text{Re } Z_i, \quad S_i = \text{Im } Z_i$$

European Strategy for Particle Physics Update

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

A contribution to the Update of the European Strategy for Particle Physics

Budker INF, Novosibirsk



Precision experiments at Super Charm-Tau Factory
Letter of Intent for Snowmass 2021

M.N. Achasov,¹ E.M. Balala,² V.E. Blinov,³ A.V. Belyaev,⁴ A.V. Buzin,⁵ A.E. Buzhau,⁶
A.F. Bushmakov,⁷ V.L. Chernus,⁸ V.F. Dmitriev,⁹ V.P. Druzhinin,¹⁰ A. Gerasim,¹¹
S.I. Golubev,¹² D.A. Epifanov,¹³ A.G. Kharlamov,¹⁴ I.A. Koop,¹⁵ E.A. Kozlov,¹⁶ E.A. Kravchenko,¹⁷
P. Kravtsov,¹⁸ I.B. Logunov,¹⁹ P.A. Lukin,²⁰ D.V. Matvienko,²¹ D.A. Mezhov,²²
G.P. Buzanov,²³ V.A. Rogozhki,²⁴ A.A. Infante,²⁵ A.S. Baidin,²⁶ L. Shalitin,²⁷ H. Stenqvist,²⁸
B.A. Sauer,²⁹ A.V. Skelton,³⁰ A.M. Sakhov,³¹ V.I. Telash,³² V.S. Vorobyev,³³ V. Zhilich,³⁴
B.R. Akhmetshin,³⁵ M.Yu. Baryshnikov,³⁶ V.S. Bobrovnikov,³⁷ A.G. Bogdanov,³⁸
A.H. Duzhkaev,³⁹ V.L. Doroshov,⁴⁰ F. Ignatov,⁴¹ V.R. Grubov,⁴² T.A. Kharlamova,⁴³ V.A. Kislov,⁴⁴
A.N. Kozlov,⁴⁵ V.M. Malyshev,⁴⁶ A.L. Maslennikov,⁴⁷ O.I. Moskhar,⁴⁸ K.Yu. Mikhailov,⁴⁹
S.A. Nikitin,⁵⁰ A.A. Opatov,⁵¹ S.V. Pliginskii,⁵² P.A. Puzosov,⁵³ F.K.I. Soudkiyev,⁵⁴
T.M. Shalimov,⁵⁵ D.N. Shadrin,⁵⁶ Yu.M. Stetsko,⁵⁷ D.A. Stetski,⁵⁸ A. Strizinski,⁵⁹ F.P. Skochkov,⁶⁰
Yu.A. Tikhonov,⁶¹ Yu.V. Yudin,⁶² A.Yu. Darygin,⁶³ N.N. Achasov,⁶⁴ A.A. Dzyuba,⁶⁵ E.E. Boos,⁶⁶
M. Markin,⁶⁷ Y. Kadnikov,⁶⁸ A.V. Nefediev,⁶⁹ T. Uglow,⁷⁰ E. Sokorikov,⁷¹ V.I. Raabichikov,⁷²
O.V. Bilina,⁷³ E.R. Horita,⁷⁴ A. Gaidas,⁷⁵ Yu.A. Nefedov,⁷⁶ A. Zaitsev,⁷⁷ M. Fritzer,⁷⁸
M. Finger Jr.,⁷⁹ M. Wal,⁸⁰ C.Z. Yuan,⁸¹ J. Homan,⁸² M. Dixon,⁸³ A. Hayrapetian,⁸⁴
F. Khajepour,⁸⁵ M. Schmidt,⁸⁶ A. Dorig,⁸⁷ S.A. White,⁸⁸ M. Trocher,⁸⁹ I. Schmidt,⁹⁰
C. Schwarz,⁹¹ F. Niering,⁹² K. Gundhi,⁹³ G. Vincomini,⁹⁴ A. Lodi,⁹⁵ M.E. Biagini,⁹⁶
M. Baccaro,⁹⁷ B. Cao,⁹⁸ E. De Lucia,⁹⁹ C. Milardi,¹⁰⁰ B. Spataro,¹⁰¹ S. Tomassini,¹⁰²
M. Zohar,¹⁰³ N. De Filippo,¹⁰⁴ Sh. Bhamhani,¹⁰⁵ M. Magreth,¹⁰⁶ F. Anze,¹⁰⁷ G. Mandaglio,¹⁰⁸
G. Chiosso,¹⁰⁹ I. Garcia,¹¹⁰ P. Bize,¹¹¹ A. Kopeck,¹¹² P. Fernandez Davlet,¹¹³ A. Sacke,¹¹⁴
S. Nishida,¹¹⁵ A. Gupta,¹¹⁶ A.O. Polubinskiy,¹¹⁷ O.R. Malyshev,¹¹⁸ V. Serdyuk,¹¹⁹ and K. Azizi¹²⁰

Contact persons:

Eugene Levichev (E.L.Levichev@inf.nsk.ru), Alexander Bu
Yury Tikhonov (yuri.tikhonov@cern.ch), Ivan Logashenko

Abstract

This document describes research program of Budker INF (IB) for the next two decades based on the flagship project of the Charm-Tau (SCT) factory. The SCT factory is designed to operate from 2 to 6 GeV with peak luminosity of 10^{33} cm^{-2} polarization 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 I generation.

December 2018

- The SCT physics potential is reflected in Physics Briefing book: [arXiv:1910.11775](https://arxiv.org/abs/1910.11775) [hep-ex]

Snowmass2021

- Letter of intent for SCT is signed by 100 colleagues from 38 organizations (including 10 Russian organizations)
- The 2021 goal: writing white papers



SnowMass2021