STCF物理研究进展

吕晓睿[1]，周小蓉[2]（代表STCF物理模拟组)

[1]中国科学院大学

[2]中国科学技术大学

2026年超级陶粲装置研讨会， 西安

2026 年 6 月30日 - 7 月 5 日

主要内容

- STCF物理目标
- 物理模拟研究进展
- 总结和展望

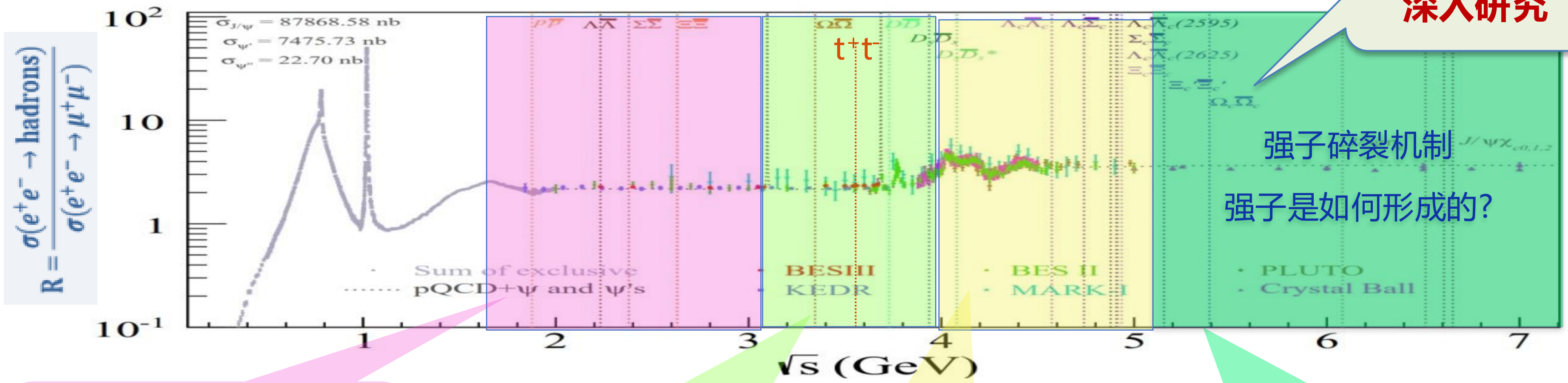
主要内容

- STCF物理目标
- 物理模拟研究进展
- 总结和展望

陶粲能区物理

- 微扰与非微扰**量子色动力学**的过渡能区
- **丰富的**共振结构、**巨大的**粲偶素态产生截面、阈值产生强子对和 τ 轻子对
- 大量**奇特量子数**强子、胶子态、多夸克态、夸克胶子混合态

有待进一步深入研究



- Nucleon/Hadron form factors
- Y(2175) resonance
- Mutltiquark states with s quark
- MLLA/LPHD and QCD sum rule predictions

- LH spectroscopy
- Gluonic and exotic
- LFV and CPV
- Rare/forbidden decays
- Physics with τ lepton

- XYZ particles
- Physics with D mesons
- f_D and f_{Ds}
- D_0-D_0 mixing
- Charm baryons

- Di-charmonium state
- New XYZ particle
- Hidden-charm pentaquark
- Multiquark state
- Charm baryons
- Hadron fragmentation

基本对称性检验

超子和陶轻子CP破坏

$K^0 - \bar{K}^0$系统CPT对称性

轻子味破坏等

探索色禁闭之谜

强子谱和强子结构

碎裂函数和能量关联

基本物理量精确测量

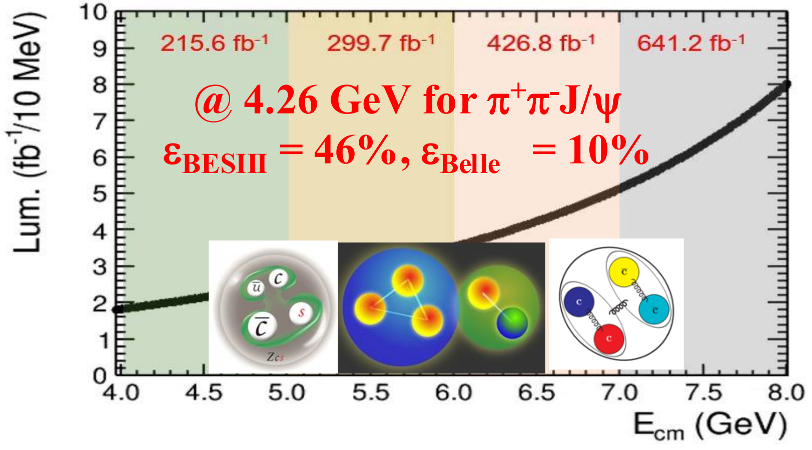
R值、陶轻子质量

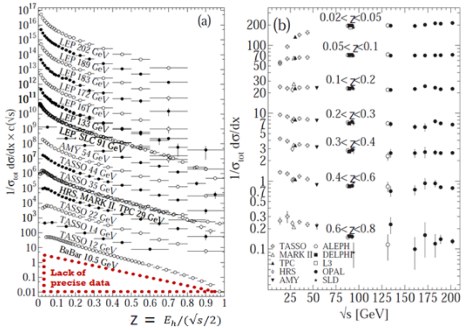
电磁、强跑动耦合常数

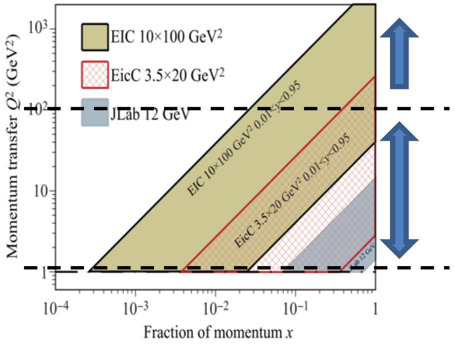
CKM矩阵元

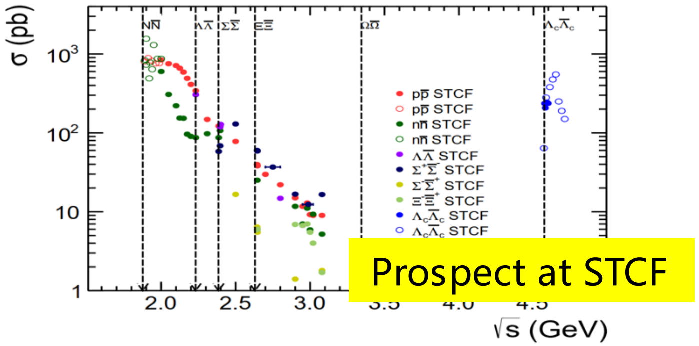
5-7 GeV新能区的物理潜力

- **Hadron spectroscopy**
  - Many threshold opens in 5-7 GeV which yield more potentials for hadron studies
  - Structures in more channels for **XYZ physics**, with larger production rates above 5 GeV
  - **P_c pentaquarks** in $e^+e^- \to J/\psi h\bar{h}$ **for** hidden-charm and $e^+e^- \to \Lambda_c\bar{D}^*\bar{p}, \Sigma_c^*\bar{D}^{(*)}\bar{p}$ for open-charmed pentaquarks
  - Energy region above 6 GeV is ideal for **fully charmed tetraquark states** via $e^+e^- \to J/\psi c\bar{c}$ etc.
- **Hadronization and hadron structure**
  - **Fragmentation functions** for charmed quark is avaliable
  - Synergy with Eic(C) facilities for FF studies
  - A non-zero Pauli **Form factors** provides evidence for the existence of higher Fock states, that require higher energies



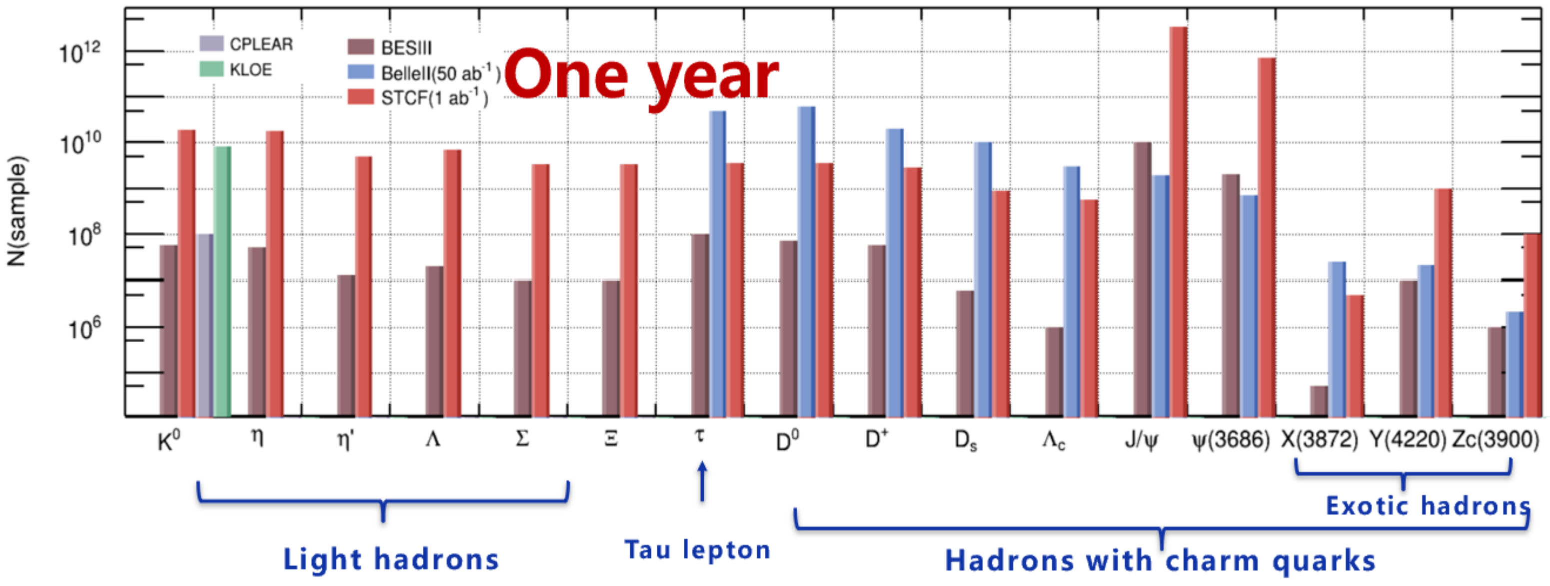






STCF上的预期样本统计量

- STCF能够产生**万亿级ψ样本**，**数十亿粲强子对和陶轻子对**，以及**大量的XYZ粒子**
- STCF具有**质心能量连续可调**，**阈值处成对产生**，**量子关联**等独特性质
- 基于**OSCAR框架**，STCF对关键物理过程开展**全模拟研究**，优化探测器软件性能，保证物理的可行性



质心能量 (GeV)	积分亮度 (ab^{-1})	样本类型	截面 (nb)	事例数
3.097	1	J/ψ	3400	3.4×10^{12}
3.670	1	$\tau^+\tau^-$	2.4	2.4×10^{9}
3.686	1	$\psi(3686)$	640	6.4×10^{11}
		$\tau^+\tau^-$	2.5	2.5×10^{9}
		$\psi(3686)\to\tau^+\tau^-$		2.0×10^{9}
3.770	1	$D^0\bar{D}^0$	3.6	3.6×10^{9}
		$D^0\bar{D}^0$ 单标记		7.9×10^{8}
		$D^+\bar{D}^-$	2.8	2.8×10^{9}
		$D^+\bar{D}^-$ 单标记		5.5×10^{8}
		$\tau^+\tau^-$	2.9	2.9×10^{9}
4.009	1	$D^{*0}\bar{D}^0+\text{c.c.}\to D^0\bar{D}^0\gamma$	4.0	1.4×10^{9}
		$D^{*0}\bar{D}^0+\text{c.c.}\to D^0\bar{D}^0\pi^0$	4.0	2.6×10^{9}
		$D_s^+D_s^-$	0.20	2.0×10^{8}
		$\tau^+\tau^-$	3.5	3.5×10^{9}
4.180	1	$D_s^{+*}D_s^-+\text{c.c.}$	0.90	9.0×10^{8}
		$D_s^{+*}D_s^-+\text{c.c.}$ 单标记		1.3×10^{8}
		$\tau^+\tau^-$	3.6	3.6×10^{9}
4.230	1	$Y(4230)$	1.0	1.0×10^{9}
		$J/\psi\pi^+\pi^-$	0.085	8.5×10^{7}
		$\tau^+\tau^-$	3.6	3.6×10^{9}
		$\gamma X(3872)$	0.005	5×10^{6}
4.360	1	$\psi(3686)\pi^+\pi^-$	0.058	5.8×10^{7}
		$\tau^+\tau^-$	3.5	3.5×10^{9}
4.420	1	$\psi(3686)\pi^+\pi^-$	0.040	4.0×10^{7}
		$\tau^+\tau^-$	3.5	3.5×10^{9}
4.630	1	$\psi(3686)\pi^+\pi^-$	0.033	3.3×10^{7}
		$\Lambda_c\bar{\Lambda}_c$	0.20	2.5×10^{8}
		$\Lambda_c\bar{\Lambda}_c$ 单标记		1.5×10^{7}
		$\tau^+\tau^-$	3.4	3.4×10^{9}
2.0–3.0	1	扫描 100 个能量点，步长 10 MeV，1 fb^{-1}/能量点		
4.0–7.0	3	扫描 300 个能量点，步长 10 MeV，1 fb^{-1}/能量点		
> 5	2–7	根据扫描情况，在特定能量点收集大亮度样本		

基本对称性检验

- **时空分立对称性**的守恒和破坏在了解**宇宙演化和自然规律**中起着非常重要的作用。目前已知空间宇称P，时间反演宇称T，电荷宇称C以及CP联合变换对称性的**破缺已被实验证实**。
- **电荷宇称（CP）不对称性**是形成正反物质不对称的三大**必要条件**之一，历史上两次CP不对称性研究突破都**获得诺奖，但仍然**无法解释正物质多于反物质的谜团，亟需寻找超出标准模型CP不对称性的新来源。
- STCF将产生**高统计量**的J/ψ和ψ(2S)粲偶素粒子、粲强子、超子、陶轻子和轻介子 (K, η, η')等，能够从**多个方面**对各种对称性进行精确检验。

K介子CP破坏[1] | B 介子CP破坏 [2,3] | D介子CP破坏 [4] | 底重子CP破坏 [5]

1964实验发现K介子

Nobel Prize 1980

1973理论预言，2001实验证实

Nobel Prize 2008

2019实验发现

2025实验发现

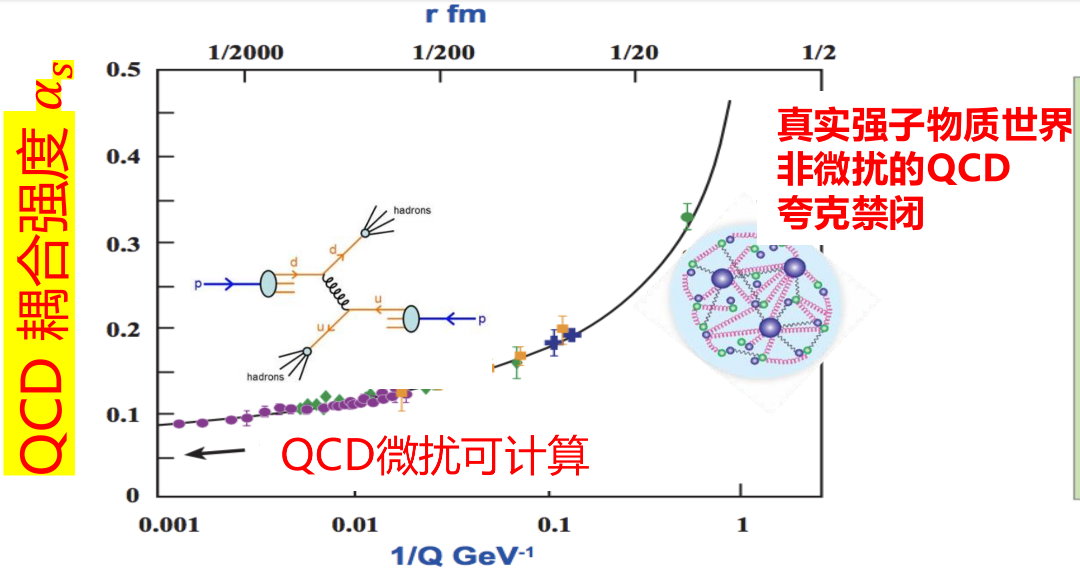
[1] PRL 1964, 13: 138-140
[2] PRL 2001, 87: 091801
[3] PRL 2001, 87: 091802
[4] PRL 2019, 122: 211803
[5] Nature 2025, 643: 8074

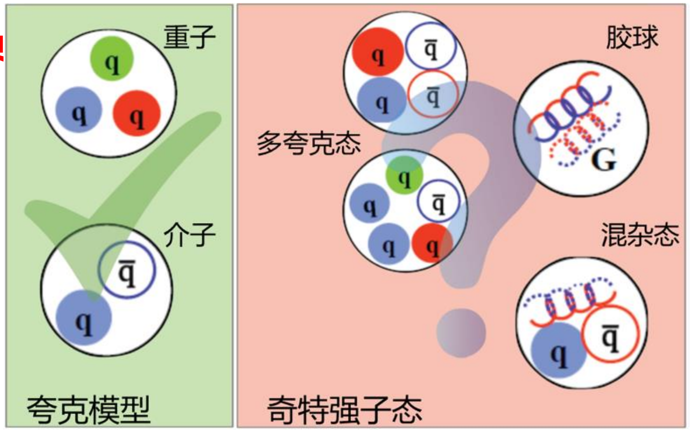
- 关键物理课题：
  - ✓ 超子和陶轻子的CP破坏和 EDM寻找
  - ✓ 中性$K^0-\bar{K}^0$系统中的CPT破坏寻找
  - ✓ 陶轻子和强子的稀有破坏寻找，如带电轻子味破坏

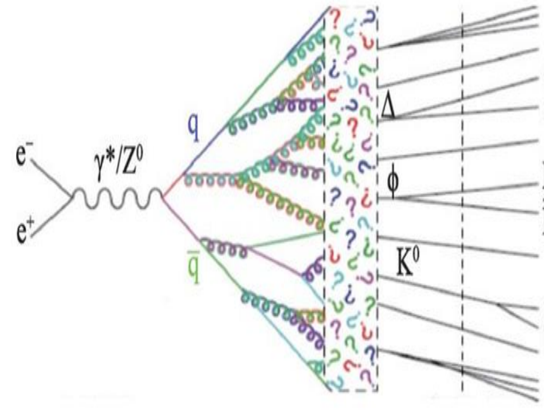
CP破坏研究前沿

<table>
<tr><th colspan="3">Current Status of CPV Research at the Quark Level</th></tr>
<tr><th>First Generation</th><th>Second Generation</th><th>Third Generation</th></tr>
<tr><td>Up/Down</td><td>Charm</td><td>Top</td></tr>
<tr><td rowspan="6">CPV in first generation is predicted to be far below current experimental sensitivity</td><td>Charm mesons: In 2009, LHCb discovered CPV at $\mathcal{O}(10^{-3})$, within SM predictions</td><td rowspan="2">Lifetime too short to form hadrons; decays before hadronization→ no "top hadron" CPV</td></tr>
<tr><td>Charm baryons: No CPV observed yet. SM predicts $\mathcal{O}(10^{-4})$; new physics could reach $\mathcal{O}(10^{-3})$</td></tr>
<tr><td>Strange</td><td>Bottom</td></tr>
<tr><td>Strange mesons: Discovered in 1964, CPV at level $\mathcal{O}(10^{-3})$, within SM predictions</td><td>Bottom mesons: Discovered in 2001 (BaBar/Belle), CPV at $\mathcal{O}(0.1)$, within SM predictions</td></tr>
<tr><td>Strange baryons: No CPV observed yet. SM predicts $\mathcal{O}(10^{-4}\text{–}10^{-5})$; new physics could reach $\mathcal{O}(10^{-3})$</td><td>Bottom baryons: Discovered by LHCb in 2025, CPV at $\mathcal{O}(0.1)$, within SM predictions</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">Only strange baryons and charm baryons remain unexplored for CP violation—a final frontier for new physics in hadronic physics.</td></tr>
</table>

色禁闭之谜





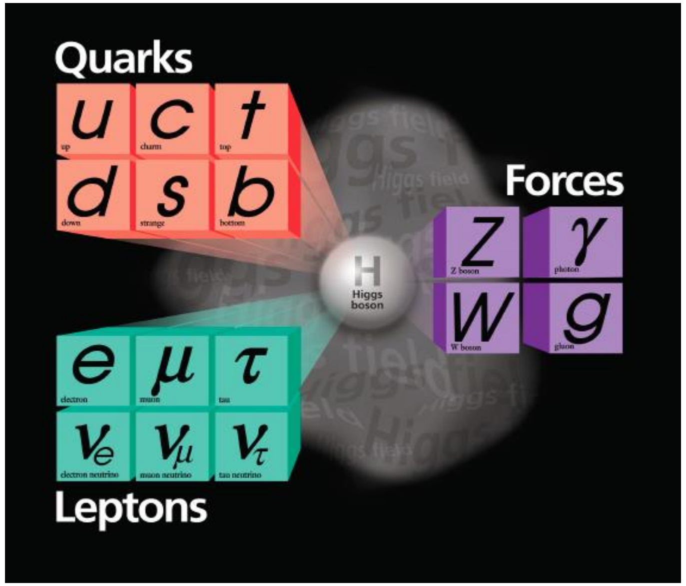


- **强子是物质世界基本组成单元**：理论预期存在胶球、混杂态、分子态、多夸克态等奇特强子态。强子谱的研究是探索与认识**强相互作用理论**的重要手段，STCF可以产生丰富的**奇特强子态**，在强子谱研究中具有**明显优势**。
- **夸克碎裂函数**描述夸克强子化的过程，正负电子对撞实验能够提供最干净的夸克碎了函数信息。**形状因子**是强子的**基本观测量**，能够探针其内部结构信息。

STCF上强子谱学和夸克碎裂函数及强子形状因子的精确测量将提供夸克和胶子塑造强子内部结构信息，从而破解色禁闭难题。

基本物理量精确测量

- **基本物理量**或标准模型**基本参数**的精确测量，是**高精度检验标准模型**，**探索新物理**的重要途径。
- STCF能够对**R值**以及**陶轻子质量**、**CKM矩阵元**以及**强相互作用常数α_s**进行高精度测量：
  - **R值测量**：粒子物理中最基本的物理量之一，直接反映**夸克的味道和颜色**，发现**新粒子**，并对**精细结构常数**和**缪子反常磁矩**的理论计算提供实验输入。
  - **陶轻子质量**精度对于**轻子普适性**的精确检验具有重要意义。
  - **CKM矩阵**幺正性能够保证是否只有三代夸克，幺正性的破坏意味着第四代夸克的存在！
  - **强耦合常数α_s**的精度会直接影响希格斯物理、电弱物理和顶夸克物理的理论预言，对理解电弱真空的稳定性具有重要意义。



标准模型自由参数：

Masses

Parameter	Value	Method
m_u	1.9 MeV	Lattice
m_d	4.4 MeV	Lattice
m_s	87 MeV	Lattice
m_c	1.3 MeV	Collider
m_b	4.24 MeV	Collider
m_t	173 GeV	Collider
m_e	511 keV	Non-collider
m_μ	106 MeV	Non-collider
m_τ	1.78 GeV	Collider
m_Z	91.2 GeV	Collider
m_H	125 GeV	Collider

Couplings

Parameter	Value	Method
α	0.0073	non-collider + collider
G_F	1.17x10^{-5}	Non-collider
α_s	0.12	Lattice + collider

Flavour and CP violation

Parameter	Value	Method
θ_{12} (CKM)	13.1°	Collider
θ_{23} (CKM)	2.4°	Collider
θ_{13} (CKM)	0.2°	Collider
δ (CKM-CPV)	0.995	Collider
θ (strong CP)	~0	Non-collider

R值定义：

$$R \equiv \frac{\sigma^0(e^+e^- \to \text{hadrons})}{\sigma^0(e^+e^- \to \mu^+\mu^-)} \equiv \frac{\sigma^0_{\text{had}}}{\sigma^0_{\mu\mu}} \approx N_c \sum_f Q_f^2$$

描述夸克味道的混合的CKM矩阵：

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

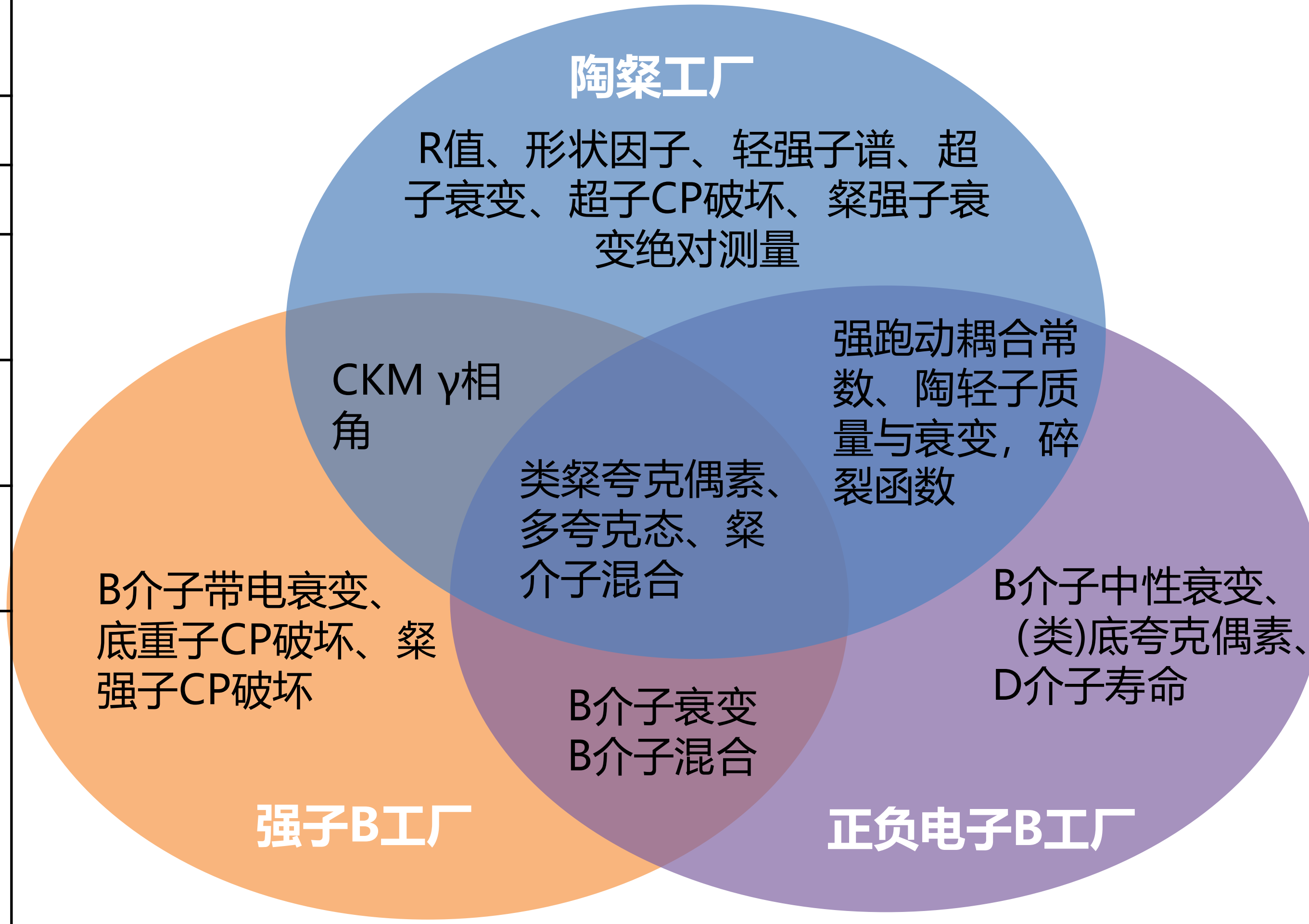
初步估计的物理潜力

基于快模拟

Physics goal	Observable	BESIII	Current world best	STCF prospect(1 ab^{-1})
Fundamental Symmetry	A_{CP} in hyperon decay	0.005	0.005	$\mathcal{O}(10^{-4})$
	weak phase in hyperon decay	1.2°	1.2°	0.04°
	Δ_{CP} in tau decay	-	0.25%	$\mathcal{O}(10^{-3})$
	EDM of hyperon	-	$\mathcal{O}(10^{-16})$ $e$cm	$\mathcal{O}(10^{-21})$ $e$cm
	EDM of tau	-	$\mathcal{O}(10^{-17})$ $e$cm	$\mathcal{O}(10^{-18})$ $e$cm
	cLFV in $\tau \to \mu\mu\mu$	-	2.1×10^{-8}	$\mathcal{O}(10^{-9})$
	cLFV in $J/\psi \to e\mu$	4.5×10^{-9}	4.5×10^{-9}	$\mathcal{O}(10^{-11})$
	cLFV in $J/\psi \to e\tau$	7.5×10^{-8}	7.5×10^{-8}	$\mathcal{O}(10^{-10})$
Quark Confinement	$N_{Y(4260)/Z_c/X(3872)}$	$10^7/10^6/10^4$	$10^6/10^5/10^6$	$10^9/10^8/10^6$
	Pentaquarks	-	P_cs in $J/\psi p(\Lambda)$	$\sigma_{J/\psi p\bar{p}} \simeq 4$ fb
	Di-charmonium	-	di-ψ	$\sigma_{J/\psi c\bar{c}} \simeq 10$ fb
	$N_{J/\psi/\psi(3686)}$	$10^{10}/10^9$	$10^{10}/10^9$	$10^{12}/10^{11}$
	Collins effects	0.3	0.3	$\mathcal{O}(10^{-3})$
	Baryon form factors	10%	10%	$\mathcal{O}(10^{-2})$
Physical Quantities	R value	3%	3%	$\mathcal{O}(10^{-3})$
	tau mass	160 keV	120 keV	$\mathcal{O}(10)$ keV
	$\lvert V_{us}\rvert$	-	1%	$\mathcal{O}(10^{-3})$
	$\lvert V_{cd}\rvert$	1.2%	1%	$\mathcal{O}(10^{-3})$
	$\lvert V_{cs}\rvert$	1.4%	1.4%	$\mathcal{O}(10^{-3})$
	Sys. unc. of γ from D decay	0.4°	0.4°	0.1°
	α_s	-	1.5%	$\mathcal{O}(10^{-3})$

STCF与Belle II, LHCb实验的协作和互补

装置名称	STCF	SuperKEKB/Belle II	LHC/LHCb upgrade I/II
对撞类型	e^+e^-	e^+e^-	pp
质心能量	2-7 GeV	10-11 GeV	13/14 TeV
峰值亮度	0.5×10^{35} $cm^{-2}s^{-1}$	8×10^{35} $cm^{-2}s^{-1}$	$(1.5\text{-}2.0)\times10^{33}$ $cm^{-2}s^{-1}$
预计运行时间	2032-	2019-2043	2024-2033，2036-2041
预期积分亮度	10 ab^{-1}	50 ab^{-1}	50/300 fb^{-1}
预期重要成果	确定奇特态强子谱结构；发现超子 CP 破坏；确定标准模型基本物理参数	底介子衰变性质和CKM相位角精确测量；粲物理和夸克偶素精确研究；新物理寻找	CKM矩阵参数精确测量；中性粲介子CP破坏参数精确测量；底强子中轻子普适性检验和稀有衰变寻找；奇特强子态研究



主要内容

- STCF物理目标
- **物理模拟研究进展**
- 总结和展望

物理模拟组主要任务

- 凝练关键物理课题和**建议书**科学目标
- 开展**OSCAR全链条模拟**，确定物理**敏感度**，**优化探测器方案**
- 计划和撰写**TDR物理部分**

确定物理敏感度：
- 公共数据样本产生；
- 程序框架和信号分析；
- 与BESIII实验结果对比

成立三个TDR物理工作组

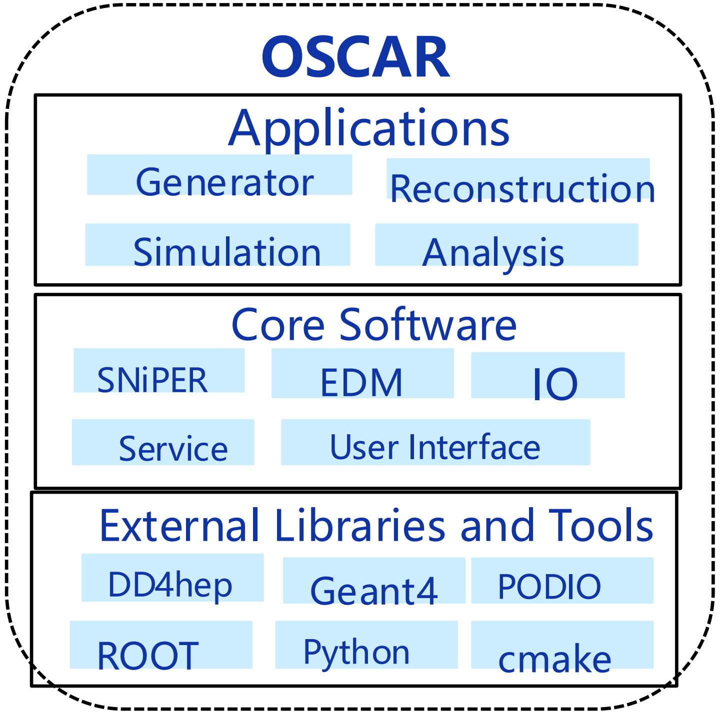
1. 基本对称性检验（召集人：张宇、刘明依）
2. 色禁闭之谜（召集人：耿聪、罗涛、康晓珅）
3. 基本物理量精确测量（召集人：康晓琳、李惠静）

探测器优化：
- 多径迹重建效率
- π^0重建效率
- 顶点拟合效率
- …

离线全模拟软件框架OSCAR

- Offline Software System of Super Tau-Charm Facility (**OSCAR**)
  - External Interface+ Framework +Offline
- **SNiPER framework** provides common functionalities for whole data processing
- Offline including Generator, Simulation, Calibration, Reconstruction and Analysis

详见7月3日黄性涛报告



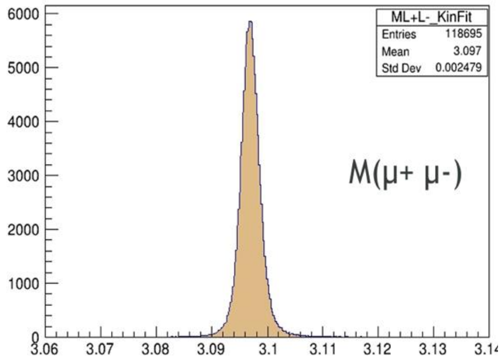
Detectors	Simulation	Digitization	Reconstruction	Analysis tools: Global PID	Analysis tools: Traditional combined PID	Analysis tools: Kinematic & Vertex Fit
ITK	Good state	Under optimization	Good state (ITK and MDC)	Charged tracks: Good state; Neutral tracks: Under development	Under optimization	Good state
MDC	Good state	Under optimization				
RICH	Good state	Good state	Good state			
DTOF	Good state	Good state	Good state			
BTOF	Good state	Good state	Under optimization			
EMC	Good state	Good state	Good state			
MUD	Good state	Good state	Under optimization			

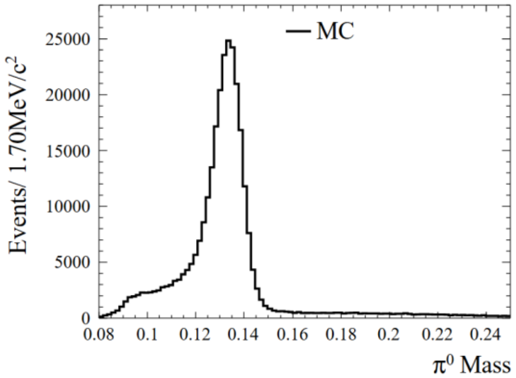
Good state
Under optimization
Under development

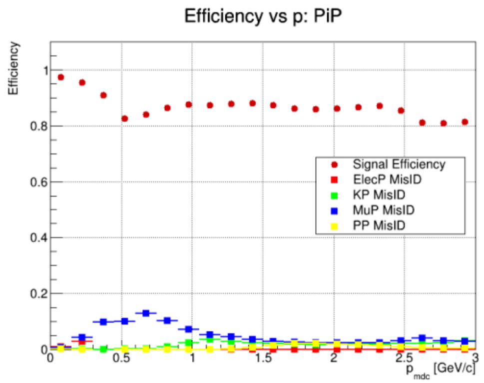
W.H. Huang et al 2023 JINST 18 P03004

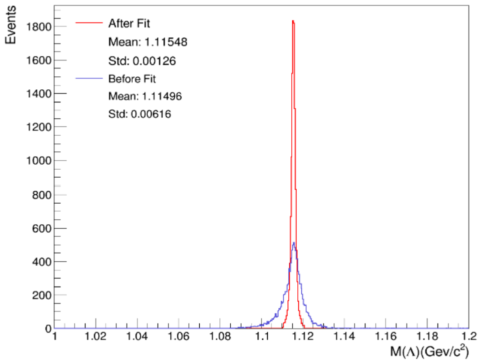
OSCAR全模拟

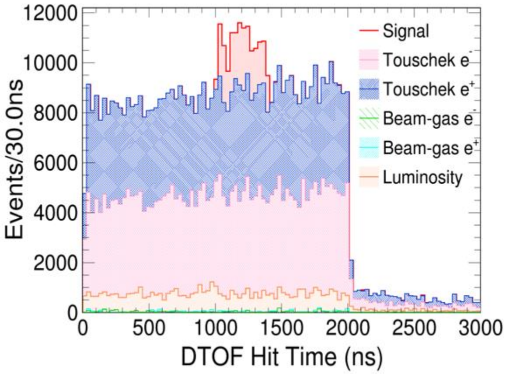
- **全模拟链条过程**









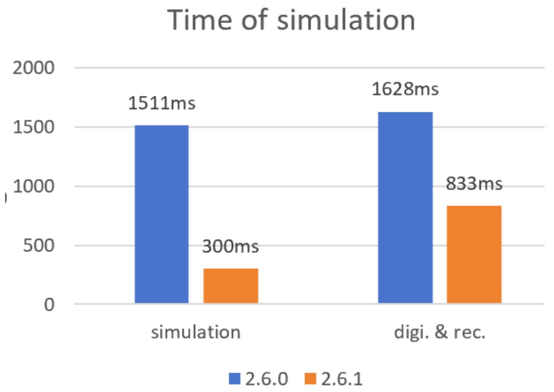


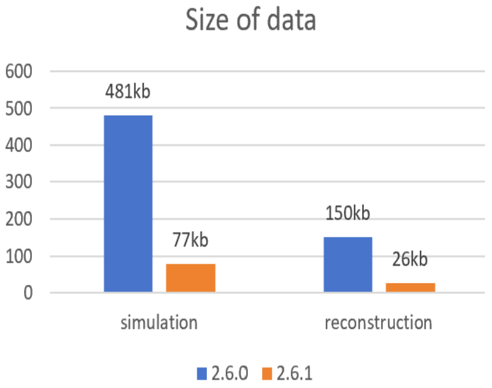
✓ **带电径迹重建** ✓ **中性粒子重建** ✓ **粒子鉴别系统** ✓ **运动学拟合** ✓ **本底混合**

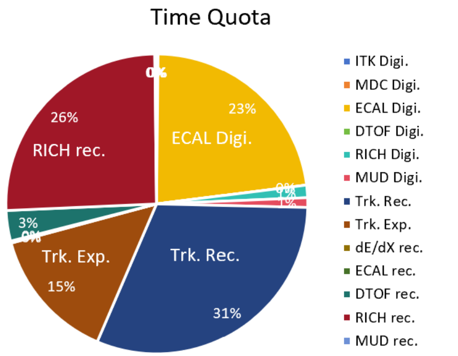
OSCAR下的产生子移植：

- Babayaga (巴巴散射，$\mu^+\mu^-$和$\gamma\gamma$过程)
- Madgraph + Pythia ($\tau\tau$过程)
- Ekhara, Diag36, Gluga (双光子过程)
- KKMC + EvtGen (粲偶素衰变)
- LundArlw, Pythia (强子末态)
- Phokhara, Conexc (初态辐射过程)

- **模拟/重建加速和事例大小优化**







全模拟模拟样本产生

- 能量点和物理事例模拟：按反应截面计算需要产生的样本量(截面单位nb)

Ecm/GeV	相关物理	巴巴散射	$\mu^+\mu^-$	$\gamma\gamma$	$\tau^+\tau^-$	双光子	强子末态
2.125	双光子、轻强子	1602	20.0	78.8	-	>20	44.15
3.097	超子物理、新物理	887	9.0	37.4	-	>20	~4500
3.770	粲介子，初态辐射过程	511	6.6	25.3	2.6	>30	24.4
4.03	D*, Ds	448	5.8	22.1	3.3	>30	26.6
4.26	XYZ粒子、陶轻子物理	401	5.2	19.8	3.5	>30	15.3
4.682	粲重子物理、	332	4.3	16.5	3.4	>30	15.0
6.0	双粲偶素、激发态XYZ	203	2.6	10.0	2.4	>30	8.4
7.0	碎裂函数	150	1.9	7.4	1.9	>30	6.2

基本对称性检验工作组

召集人：张宇、刘明依

物理目标	物理过程	性能检验	状态	完成人	TDR
超子CP破坏和EDM研究	$J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$	径迹重建和分辨，顶点拟合	Note completed	于明玉（山大） 张剑宇（国科大）	√
	$J/\psi \to \Xi^{+}\bar{\Xi}^{-}$		Note preparation	徐月（复旦）	
陶轻子物理(EDM，量子关联，稀有衰变)	$\tau \to \pi(\pi\pi^{0})\nu$	粒子鉴别，π^{0}重建	Note completed	鲍晨涛（中科大） 李晓康（北大）	√
	$\tau \to \pi\pi\pi\nu$		Working in progress		
	$\tau \to 3\mu$	π/μ鉴别	Working in progress	屈可立（山大）	
	Radiative decay	光子重建	Working in progress	赵志鹏（山大）	
中性粲介子混合、强相位差	C-even correlated $D\bar{D}$	D介子标记，光子/π^{0}重建	Working in progress	王英豪（兰大）	
Λ_c^{+}衰变中的CP破坏研究	$\Lambda_c^{+} \to \Lambda K^{+}, \Sigma^{0}K^{+}, \Sigma^{+}K_S^{0}$	π/K鉴别，光子重建	Published	王鸿鉴（兰大）	√
$K^{0}-\bar{K}^{0}$系统CPT对称性检验	$J/\psi \to K_S^{0}K\pi$	顶点拟合	Working in progress	张慧斌（国科大）	
Invisible decay	$J/\psi \to \omega/\phi\eta(')$	本底研究	Working in progress	陶智博、夏一航（吉大）	
重子数破坏	$\Lambda_c^{+} \to \pi/K$+invisible	粒子鉴别，中性强子	Draft in preparation	唐馨茹（南华）	
轻子味破坏	$J/\psi \to \gamma ll'$	轻子鉴别	Working in progress	陶智博（吉大）	

色禁闭工作组

召集人：耿聪、罗涛、康晓珅

物理目标	物理过程	性能检验	状态	完成人	TDR
（类）粲偶素态、多夸克态	$X(3872)$扫描	能量刻度和分辨	Working in progress	赵祥（中科大）	
	$e^+e^- \to \pi Z_c(3900)$	径迹重建			
	$e^+e^- \to P_c\bar{p} \to J/\psi p\bar{p}$	径迹重建, 低能质子重建	Note preparation	董焯娟（中大）	√
	$e^+e^- \to J/\psi\eta_c$	径迹分辨	Note preparation	陈梓康（中大）	√
极化碎裂函数	$e^+e^- \to KK, \pi\pi, K\pi$	π/K鉴别	Working in progress		
电磁形状因子	$e^+e^- \to p\bar{p}$	质子鉴别	Working in progress	田文辉（中大）	
	$e^+e^- \to n\bar{n}$	中子鉴别	Working in progress	李梦翔（兰大）	
跃迁形状因子、超子衰变	$J/\psi \to l^+l^-\pi^0/\eta$	π/μ鉴别			
	$\Sigma^+ \to \pi^0 p, \Sigma^+ \to \gamma p$	光子/π^0重建			
	$\Lambda \to pe\nu$	顶点拟合，电子鉴别	Note preparation	周俊贤（复旦）	√
	$\Xi^- \to \Lambda e\nu$	顶点拟合，电子鉴别	Working in progress	韩许（中科大）	√
	$\bar{\Lambda}$ interacts with materials	束流管相互作用	Newly started	何思盈（河南大学）	

基本物理量精确测量工作组

召集人：康晓琳、李惠静

物理目标	物理过程	性能检验	状态	完成人	TDR
R值测量	$e^+e^- \to hadrons$	亮度测量			
双光子物理	$\gamma\gamma \to hadrons$	前向区	Working in progress	王杰（地大）	√
	$\eta_c \to \gamma\gamma$	光子鉴别	Working in progress	景新媚（国科大）	
陶轻子质量	$e^+e^- \to \tau^+\tau^-$ near threshold	能量刻度和分辨			
CKM矩阵元$\lvert V_{us}\rvert$, $\lvert V_{cs}\rvert$, $\lvert V_{cd}\rvert$	$D \to \pi\mu\nu$	D介子标记，π/μ鉴别	Working in progress	黄清源（国科大）	√
	$D \to \mu\nu$	D介子标记，π/μ鉴别	Note preparation	乔佳辉（河南师大）	√
	$D \to inclusive$	D介子标记	Working in progress	刘弘锐、栗佳元（华科）	
	$\tau \to K\nu$	π/K鉴别			
强相互作用跑动常数α_s	$e^+e^- \to \tau^+\tau^-, \tau \to l\nu\nu, \tau \to \pi\pi^0\nu_\tau, \to K\pi^0\nu_\tau$	π/K鉴别	Note preparation	李珊珊（湖南大学）	√

探测器设计方案优化

探测器模拟和重建

关键物理过程模拟

调整性能参数（快模拟）

确定最优化参数

探测器设计优化

关键物理过程的选择：

1. 物理目标重大，预期敏感度明确
2. 针对探测器的性能优化具体

快模拟提供的参数接口：

◆shower:
- gamEneScale 能量分辨
- gamTheScale theta角度分辨
- gamPhiScale phi角度分辨
- gamRecEffScale 中性粒子重建效率

◆带电径迹
- chgSigXY σ_{xy} 转换到动量分辨
- chgSigZ σ_z 转换到动量分辨
- chgRecEffScale 径迹效率
- chgVrScale 顶点分辨Vr
- chgVzScale 顶点分辨Vz

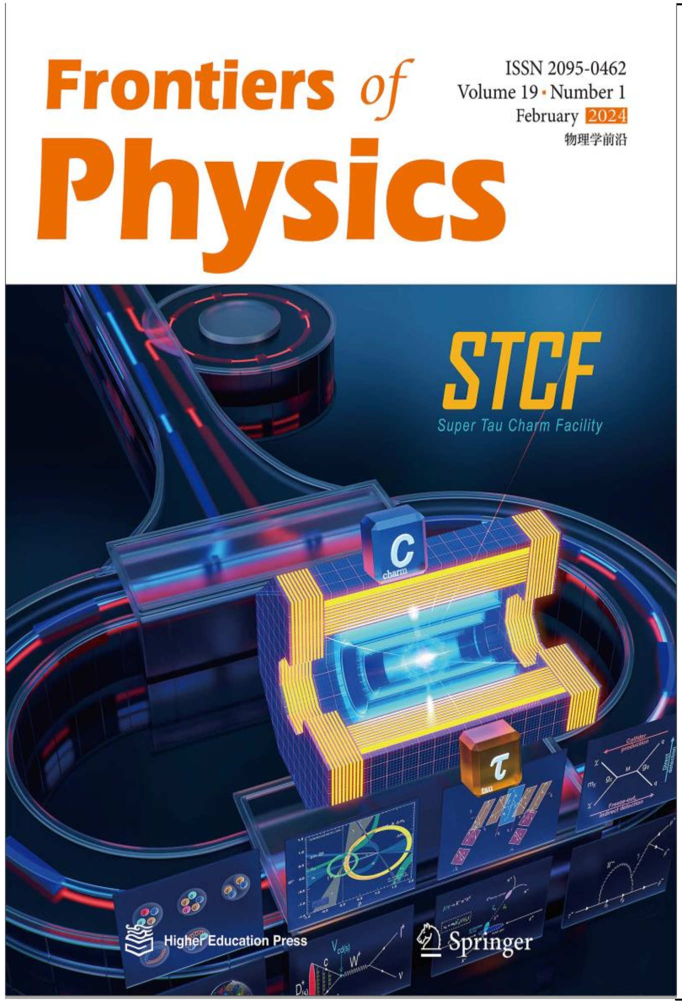
◆未使用:
- vtxRadScale
- vtxZdrScale

```
declProp( "gamEneScale" , par_gamEneScale=1.0 );
declProp( "gamTheScale" , par_gamTheScale=1.0 );
declProp( "gamPhiScale" , par_gamPhiScale=1.0 );
declProp( "gamRecEffScale" , par_gamRecEffScale=1.0 );
declProp( "chgSigXY"            , par_chgSigXY=-1 );    /
declProp( "chgSigZ"             , par_chgSigZ=-1 );
declProp( "chgRecEffScale" , par_chgRecEffScale=1.0 );
declProp( "chgVrScale"  , par_chgVrScale=1.0 );
declProp( "chgVzScale"  , par_chgVzScale=1.0 );
declProp( "vtxRadScale" , par_vtxRadScale=1.0 );
declProp( "vtxZdrScale" , par_vtxZdrScale=1.0 );
```

物理过程和优化参数

子探测器	性能检验	物理过程	优化	Scaling参数
径迹探测器	径迹重建和顶点/动量分辨	$e^+e^- \to \pi\pi J/\psi$	对撞点的径迹重建	径迹效率
		$J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$	长寿命粒子衰变的径迹重建、顶点分辨	径迹效率、顶点分辨
		$J/\psi \to \Xi^+\bar{\Xi}^-$	长寿命粒子衰变、多径迹重建	径迹效率
		$\Lambda \to pe\nu$	假径迹	假径迹混入
		D tag	径迹动量分辨	动量分辨
电磁量能器	光子/π^0重建和鉴别	$\Sigma^+ \to \gamma p$	光子鉴别，主要本底$\Sigma^+ \to \pi^0 p$	光子位置、能量分辨
		$\tau \to \gamma\mu$	光子鉴别，主要本底$\tau \to \pi\pi^0\nu$	光子位置、能量分辨
		$\tau \to \pi\pi^0\nu$	π^0重建,主要本底$\tau \to \pi\pi^0\pi^0\nu$	光子位置、能量分辨
粒子鉴别探测器/缪子探测器	π/μ粒子鉴别	$\tau \to \pi\nu$ at 7 GeV	高动量，主要本底$\tau \to \mu\nu\nu$	π/μ误判率和π鉴别效率
		$D \to \pi\mu\nu, D \to \pi\pi\mu\nu$	动量区间<1.0 GeV，主要本底$D \to \pi\pi\pi^0$	π/μ误判率和μ鉴别效率
		$D \to \mu\nu$	动量区间(1.0, 1.5) GeV, 主要本底$D \to \pi\pi^0, D \to \tau\nu$	π/μ误判率和μ鉴别效率
		$e^+e^- \to e^+e^-\pi\pi$	主要本底$e^+e^- \to e^+e^-\mu\mu$	π/μ误判率和π鉴别效率
		$J/\psi \to \mu\mu\eta$	主要本底 $J/\psi \to \pi\pi\eta$	π/μ误判率和μ鉴别效率
粒子鉴别探测器	π/K粒子鉴别	$e^+e^- \to KK + X$	动量区间<3.5 GeV，主要本底$e^+e^- \to \pi\pi + X$	π/K误判率
		D tag	动量区间<1.0 GeV	π/K误判率和π/K鉴别效率
		$\tau \to K\pi^0\nu$	动量区间<1.6，主要本底$\tau \to \pi\pi^0\nu$	π/K误判率
电磁量能器/缪子探测器	中性强子鉴别	$e^+e^- \to n\bar{n}, D \to K_{S/L}\pi\pi$	主要本底光子和噪声	$\gamma/n/K_L$误判率和鉴别效率

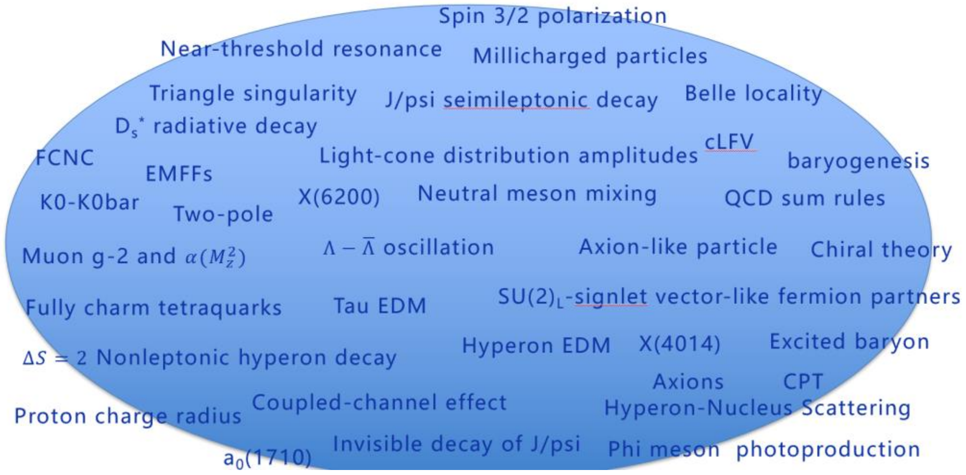
STCF物理和探测器概念设计



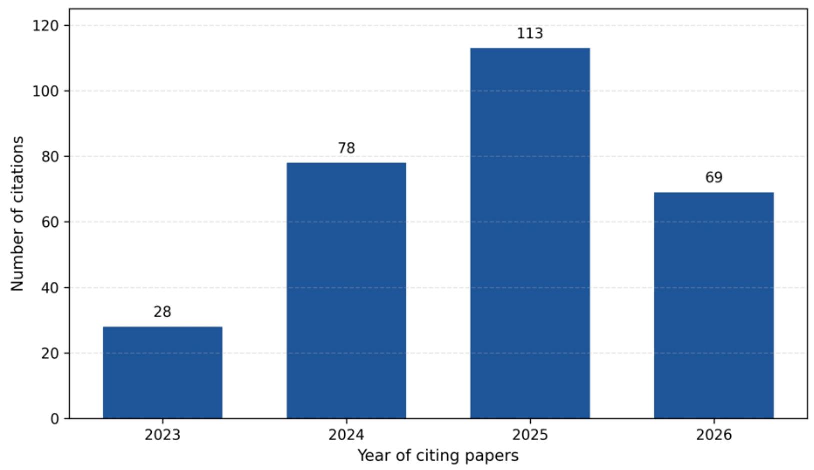
Contents

共计被引用289次

Rich physics potential beyond the CDR content



每年引用次数分布



CPV专题文章，完成审稿人第一轮意见回复

STCF

Contents

3

修改后

Contents

3

更多的STCF专题文章（白皮书）：

- 强子结构与强子谱
- 陶轻子物理
- 。。。

STCF 国际会议报告

1) La Thuile 2026, 1-7 March 2026, XXXIX edition of Les Rencontres de Physique de La Vallee d'Aoste, La Thuile, Aosta Valley, Italy
   中国科学技术大学 彭海平
2) DIS 2026, Bologna, Italy, 4-8 May 2026 山东大学 黄性涛
3) FPCP2026, Physikzentrum Bad Honnef, Germany, 18th-22nd May
   中国科学技术大学 周小蓉
4) Beauty2026, Maastricht, the Netherlands, 1st-5th June
   中国科学技术大学 刘建北
5) PHIPSI 2026, Pisa, 8th-11th June 山东大学 秦小帅
6) BEACH2026, Florence, Italy, June 8 to June 12, 2026， 中国科学技术大学 彭海平
7) 43rd International Conference on High Energy Physics, 30 July-5 August 2026, Natal, Brazil 中国科学技术大学 刘建北
8) NSTAR26. Seville/Spain from September 7th to 11th, 2026 复旦大学 严亮
9) PacificSPIN 2026 - The 13th Circum-Pan-Pacific Symposium on high energy spin Physics, 台北

总结与展望

- 围绕陶粲能区的重大科学问题，STCF完成三大物理亮点凝练
  - ✓ 基本对称性检验
  - ✓ 强相互作用非微扰本质探索
  - ✓ 基本物理量精确测量
- 基于OSCAR全模拟软件框架，STCF上开展了一系列关键物理过程的可行性研究
- 目前已完成数据模拟，分析程序的搭建和条件优化，并对探测器软件性能进行了验证
- 基于关键物理过程研究，优化探测器设计方案
- TDR正在撰写中

通过$J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$研究$A_{CP}$和EDM

note version 0.0

STCF Analysis Note

SAN-xxx

January 6, 2026

Study of Λ CPV and EDM at STCF

Mingyu Yu[a], Jianyu Zhang[b], Xingtao Huang[c], and Jinlin Fu[d]

[a]*Shandong University, Qingdao, 250100, China*
[b]*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing*

$$A_{CP} = \frac{\alpha + \bar{\alpha}}{\alpha - \bar{\alpha}}, \quad \alpha = \frac{2\mathrm{Re}(s^* p)}{|s|^2 + |p|^2},$$

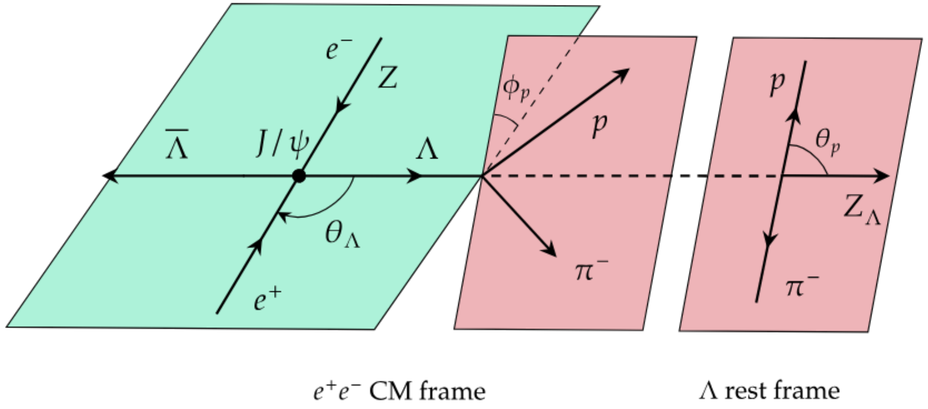
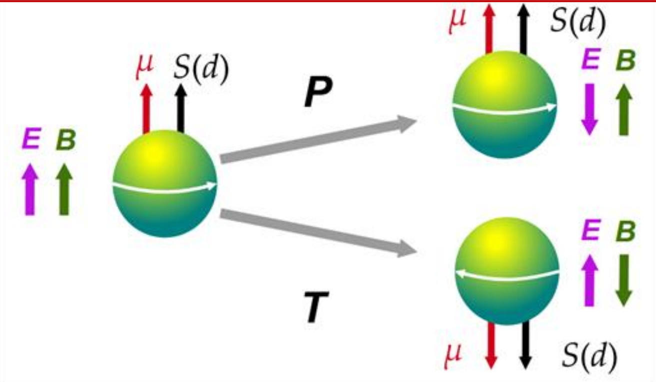


Fig. 2: Definition of the right-handed coordinate system used to describe the $J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$ process. In the e^+e^- center-of-mass system, the Λ is emitted along the $\hat{z}$ axis. The $\hat{y}$ axis is perpendicular to the plane of Λ and e^-. The hyperons are polarized along the $\hat{y}$ direction.



$$\mathcal{PHP}^{-1} = -(d\boldsymbol{\sigma}\cdot(-\boldsymbol{E}) + \mu\boldsymbol{\sigma}\cdot\boldsymbol{B}) = -\mathcal{H}_D + \mathcal{H}_\mu,$$

$$\mathcal{THT}^{-1} = -(d(-\boldsymbol{\sigma})\cdot\boldsymbol{E} + \mu(-\boldsymbol{\sigma})\cdot(-\boldsymbol{B})) = -\mathcal{H}_D + \mathcal{H}_\mu.$$

- $A_{CP}! = 0$, Λ衰变中的CP破坏来源于CKM弱相角
- $d! = 0$, Λ的EDM, 新的CP破坏来源

通过$J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$研究$A_{CP}$和EDM

➢ 基于1M统计量对参数统计误差进行估计

- STCF预计提供3.4x10^{12} J/ψ数据: 2.62 x10^{9}$J/\psi \to \Lambda(p\pi^-)\bar{\Lambda}(\bar{p}\pi^+)$
- 数据（$J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$分支比：1.88 x10^{-3}；$\Lambda \to (p\pi^-)$分支比：0.64)

- $J/\psi \to \Lambda\bar{\Lambda}$螺旋度振幅:$\epsilon_\mu(\lambda)\bar{u}(\lambda_1)\left(F_V\gamma^\mu + \frac{i}{2M_\Lambda}\sigma^{\mu\nu}q_\nu H_\sigma + \gamma^\mu\gamma^5 F_A + \sigma^{\mu\nu}\gamma^5 q_\nu H_T\right)v(\lambda_2)$

➢ 参数统计误差

- $\alpha_{J/\psi}$: 角度分布参数
- $\Delta\phi$: 螺旋度振幅相对相位
- A_{cp}: 描述cp破坏的可观测量$A_{cp} = \frac{\alpha_\Lambda+\alpha_{\bar{\Lambda}}}{\alpha_\Lambda-\alpha_{\bar{\Lambda}}}$
- sinW^2: weak-mixing angle
- Redm and Iedm: 电偶极形状因子实部和虚部

Parameters	BESIII (3M signal events)	Our fit (1M signal events)
α_Λ	$0.7524 \pm 0.0036 \pm 0.0008$	0.7641 ± 0.0103
$\alpha_{\bar{\Lambda}}$	$-0.7571 \pm 0.0036 \pm 0.0008$	-0.7466 ± 0.0101
$Re(G_2)$	$(9.71 \pm 0.06 \pm 0.24) \times 10^{-4}$	$(9.88 \pm 0.15) \times 10^{-4}$
$Im(G_2)$	$(9.14 \pm 0.04 \pm 0.23) \times 10^{-4}$	$(9.2 \pm 0.11) \times 10^{-4}$
P_L	$(-1.8 \pm 1.2 \pm 0.8) \times 10^{-3}$	$(-2.3 \pm 3.4) \times 10^{-3}$
$Re(F_A)$	$(-2.4 \pm 1.6 \pm 3.1) \times 10^{-6}$	$(-7.3 \pm 4.4) \times 10^{-6}$
$Im(F_A)$	$(-7.9 \pm 3.7 \pm 2.5) \times 10^{-6}$	$(-5.3 \pm 10.8) \times 10^{-6}$
$Re(H_T)$	$(-1.4 \pm 1.4 \pm 0.2) \times 10^{-6}$	$(0.6 \pm 4.1) \times 10^{-6}$
$Im(H_T)$	$(1.3 \pm 1.2 \pm 0.4) \times 10^{-6}$	$(4.7 \pm 3.2) \times 10^{-6}$
$\alpha_{J/\psi}$	$0.4748 \pm 0.0022 \pm 0.0017$	0.4645 ± 0.0061
$\Delta\Phi$	$0.7552 \pm 0.0042 \pm 0.0013$	0.7503 ± 0.0116
A_{CP}	$(-3.1 \pm 4.6 \pm 1.1) \times 10^{-3}$	$(1.1 \pm 1.3) \times 10^{-2}$
$Re(d_\Lambda)$	$(-3.1 \pm 3.2 \pm 0.5) \times 10^{-19}$	$(-1.4 \pm 9.3) \times 10^{-19}$
$Im(d_\Lambda)$	$(2.9 \pm 2.6 \pm 0.6) \times 10^{-19}$	$(10.7 \pm 7.3) \times 10^{-19}$

3.4×10^{12} J/ψ events

Parameter	Estimated Uncertainty
$Im(F_A)$	2.11×10^{-7}
$Im(H_T)$	6.24×10^{-8}
$Im(G_2)$	2.14×10^{-7}
P_L	6.63×10^{-5}
$Re(F_A)$	8.58×10^{-8}
$Re(H_T)$	8.0×10^{-8}
$Re(G_2)$	2.92×10^{-7}
α_Λ	2.01×10^{-4}
$\alpha_{\bar{\Lambda}}$	1.97×10^{-4}
$\alpha_{J/\psi}$	1.19×10^{-4}
$\Delta\Phi$	2.26×10^{-4}
A_{CP}	2.53×10^{-4}
$Re(d_\Lambda)$	1.81×10^{-20}
$Im(d_\Lambda)$	1.42×10^{-20}

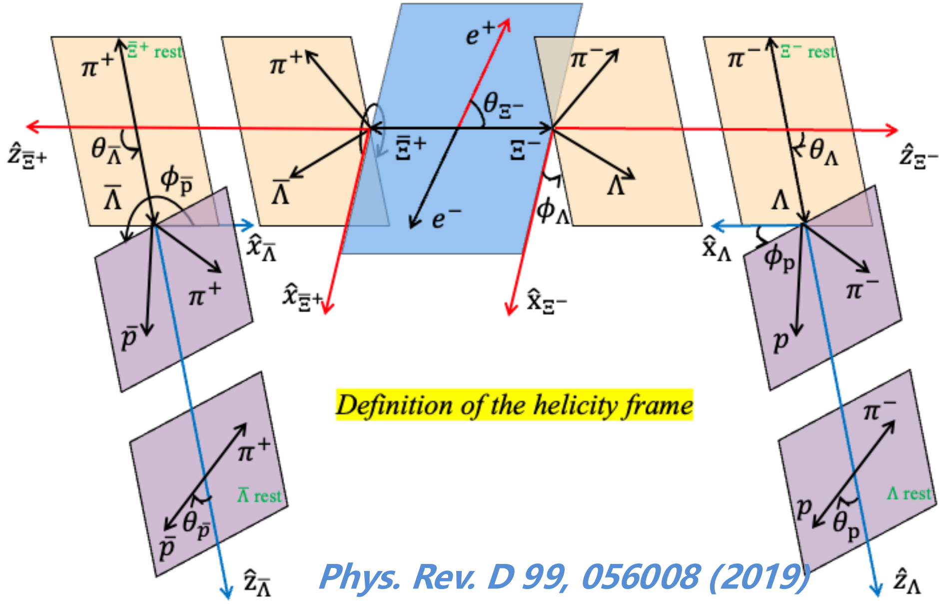
通过$J/\psi \to \Xi^-\bar{\Xi}^+$研究$A_{CP}$

基于1M统计量对参数统计误差进行估计

- STCF预计提供3.4x10^{12} J/ψ数据: 1.34 x10^9$J/\psi \to \Xi^-\bar{\Xi}^+ \to \Lambda\pi^-\bar{\Lambda}\pi^+ \to p\pi^-\pi^-\bar{p}\pi^+\pi^+$
- 数据（$J/\psi \to \Xi^-\bar{\Xi}^+$分支比：9.7 x10^{-4}；$\Xi^-(\bar{\Xi}^+) \to \Lambda\pi^-(\bar{\Lambda}\pi^+)$: 0.999；$\Lambda \to (p\pi^-)$分支比：0.64)
- scale因子 = $\sqrt{1M/1.34\times10^9} \approx 0.0272$

Parameters	1M signal	BESIII 09+12	STCF uncertainty
$\alpha_{J/\psi}$	0.5832 ± 0.0081	0.586 ± 0.012	2.2×10^{-4}
$\Delta\Phi$	1.2690 ± 0.0313	1.213 ± 0.046	8.5×10^{-4}
α_Ξ	-0.3769 ± 0.0048	-0.376 ± 0.007	1.3×10^{-4}
$\bar{\alpha}_\Xi$	0.3741 ± 0.0048	0.371 ± 0.007	1.3×10^{-4}
α_Λ	0.7555 ± 0.0074	0.757 ± 0.011	2.0×10^{-4}
$\bar{\alpha}_\Lambda$	-0.7552 ± 0.0074	-0.763 ± 0.011	2.0×10^{-4}
ϕ_Ξ	-0.0006 ± 0.0135	0.011 ± 0.019	3.7×10^{-4}
$\bar{\phi}_\Xi$	-0.0087 ± 0.0135	-0.021 ± 0.019	3.7×10^{-4}
$A_{CP}^{\Xi}=(\alpha_\Xi+\bar{\alpha}_\Xi)/(\alpha_\Xi-\bar{\alpha}_\Xi)$	0.0038 ± 0.0092	0.006 ± 0.013	2.5×10^{-4}
$A_{CP}^{\Lambda}=(\alpha_\Lambda+\bar{\alpha}_\Lambda)/(\alpha_\Lambda-\bar{\alpha}_\Lambda)$	0.0002 ± 0.0082	-0.004 ± 0.012	2.2×10^{-4}
$\Delta\phi_{CP}^{\Xi}=(\phi_\Xi+\bar{\phi}_\Xi)/2$	-0.0046 ± 0.0098	-0.005 ± 0.014	2.7×10^{-4}

- 联合角分布: $$\mathcal{W}(\xi;\omega) = \sum_{\mu,\bar{\nu}=0}^{3}\sum_{\mu'=0}^{3}\sum_{\bar{\nu}'=0}^{3} C_{\mu\bar{\nu}}a^{\Xi}_{\mu\mu'}a^{\Lambda}_{\mu'0}a^{\bar{\Xi}}_{\bar{\nu}\bar{\nu}'}a^{\bar{\Lambda}}_{\bar{\nu}'0}$$



参数统计误差

- $\alpha_{J/\psi}$:角度分布参数
- $\Delta\phi$：螺旋度振幅相对相位
- A_{cp} .描述cp破坏的可观测量$A_{cp} = \frac{\alpha_\Lambda+\alpha_{\bar{\Lambda}}}{\alpha_\Lambda-\alpha_{\bar{\Lambda}}}$

通过$e^+e^- \to \tau^+\tau^-$研究量子纠缠

note version 0.0

STCF Analysis Note

SAN-xxx

March 5, 2026

Feasibility Study of Probing Quantum Entanglement with Pair-Produced $\tau^+\tau^-$ at STCF

Chentao Bao[1], Mingyi Liu[2,3], Lailin Xu[2,3], Xiaorong Zhou[2,3], and Hai Chen[1]

[1] *School of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*
[2] *Department of Modern Physics, School of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*
[3] *State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics, Hefei 230026, People's Republic of China*

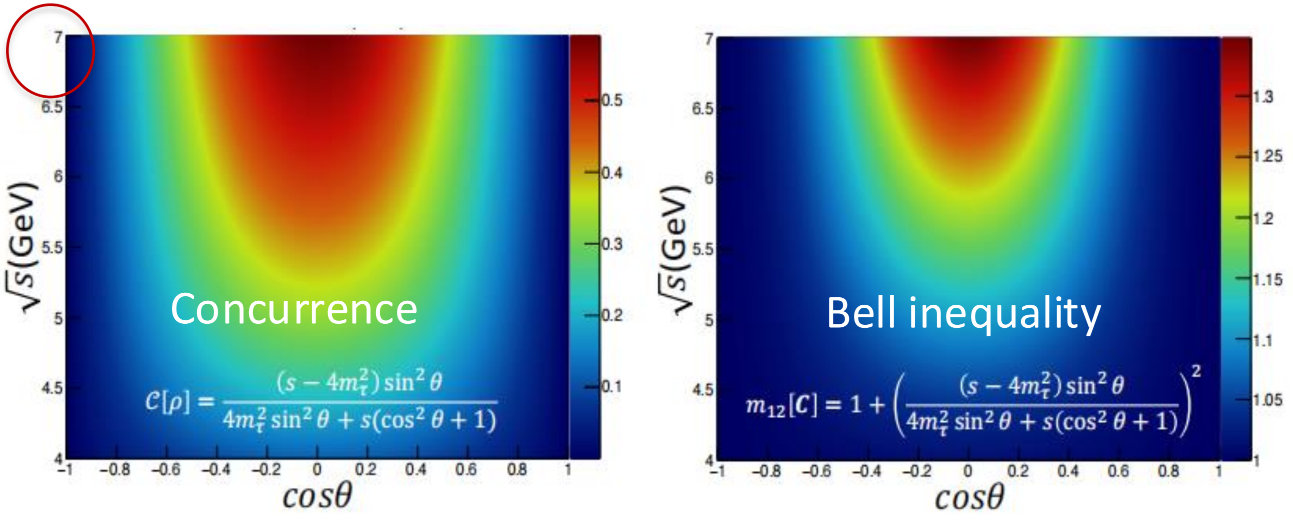
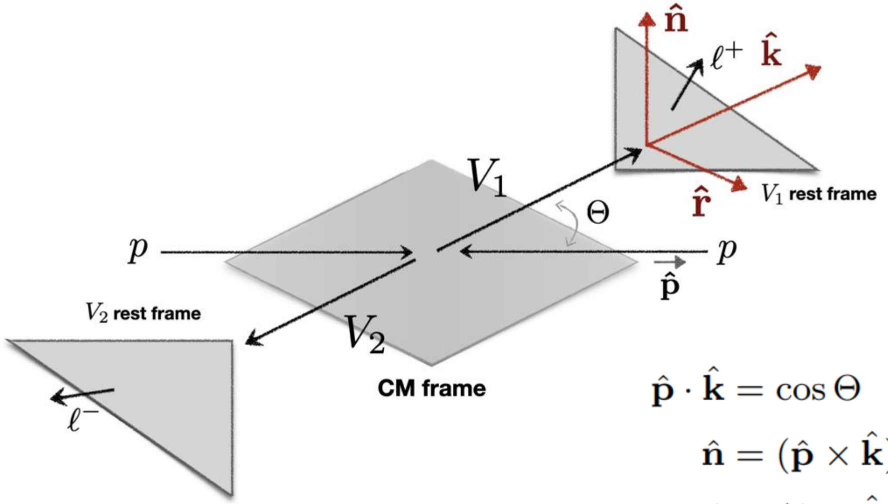


Fig. 2.1: A SM prediction for $C[\rho]$ (left) and m_{12} (right), as a function of the center-of-mass energy and the threshold on the polar angle of τ leptons, based on an analytical calculation.



$$\mathcal{C}[\rho] = \frac{(s-4m_\tau^2)\sin^2\Theta}{4m_\tau^2\sin^2\Theta + s(\cos^2\Theta+1)}, \quad \mathfrak{m}_{12}[\mathbf{C}] = 1 + \left[\frac{(s-4m_\tau^2)\sin^2\Theta}{4m_\tau^2\sin^2\Theta + s(\cos^2\Theta+1)}\right]^2.$$

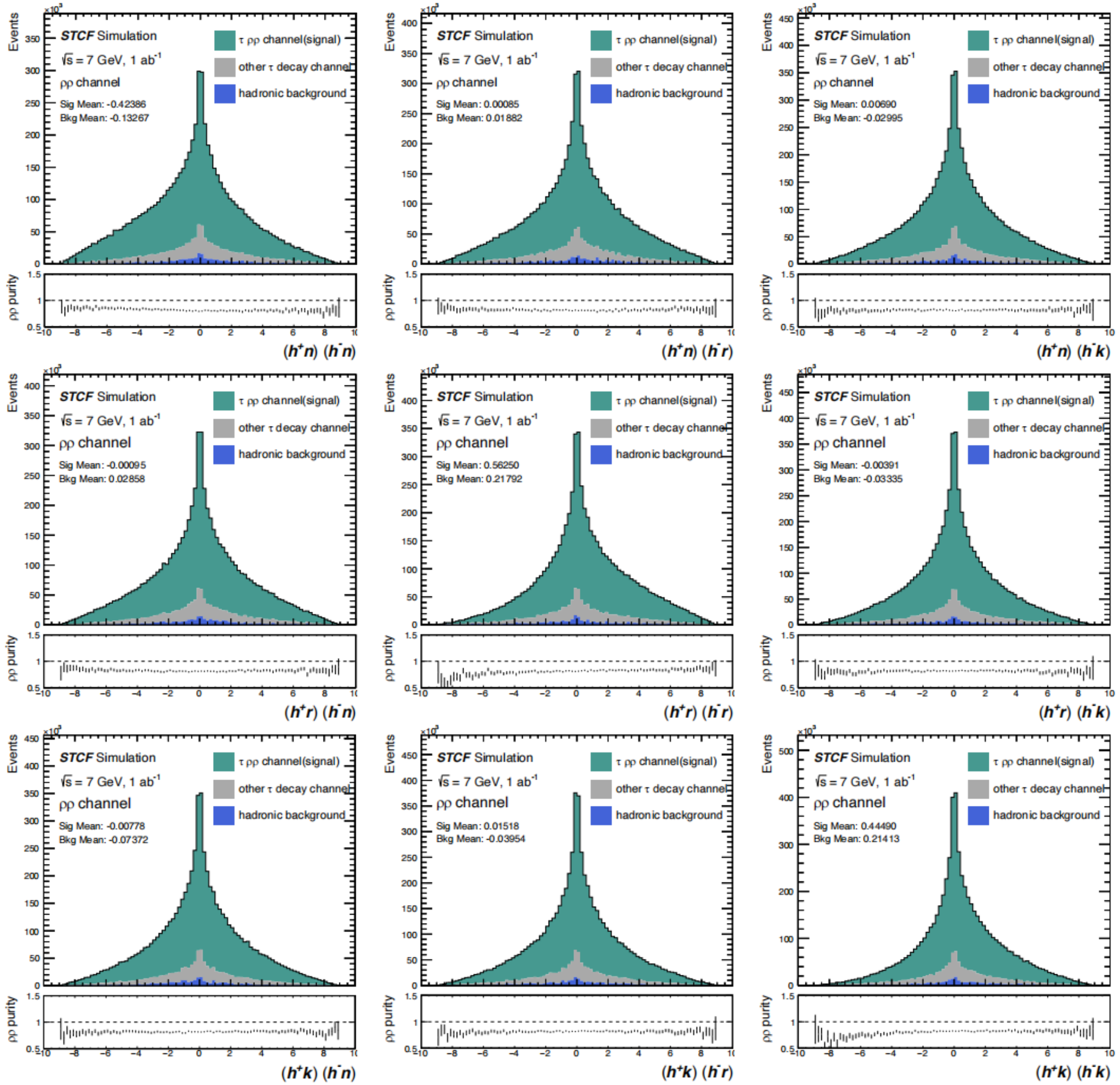
$$B_i^{\pm} = \frac{3}{\kappa_\pm}\cdot\frac{1}{\sigma}\int \mathrm{d}\Omega^{\pm}\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\Omega^{\pm}}(\mathbf{h}^{\pm}\cdot\hat{\mathbf{e}}_i) = \frac{3}{\kappa_\pm}\langle h_i^{\pm}\rangle,$$

$$C_{ij} = \frac{9}{\kappa_-\kappa_+}\cdot\frac{1}{\sigma}\iint \mathrm{d}\Omega^-\mathrm{d}\Omega^+\frac{\mathrm{d}^2\sigma}{\mathrm{d}\Omega^-\mathrm{d}\Omega^+}(\mathbf{h}^-\cdot\hat{\mathbf{e}}_i)(\mathbf{h}^+\cdot\hat{\mathbf{e}}_j) = \frac{9}{\kappa_-\kappa_+}\langle h_i^- h_j^+\rangle.$$

$$\hat{\mathbf{p}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = \cos\Theta$$
$$\hat{\mathbf{n}} = (\hat{\mathbf{p}}\times\hat{\mathbf{k}})/\sin\Theta$$
$$\hat{\mathbf{r}} = (\hat{\mathbf{p}}-\hat{\mathbf{k}}\cos\Theta)/\sin\Theta.$$

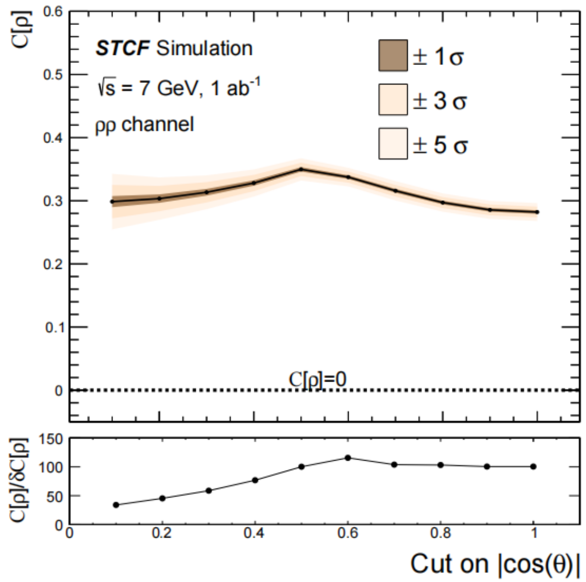
通过$e^+e^- \to \tau^+\tau^-$研究量子纠缠

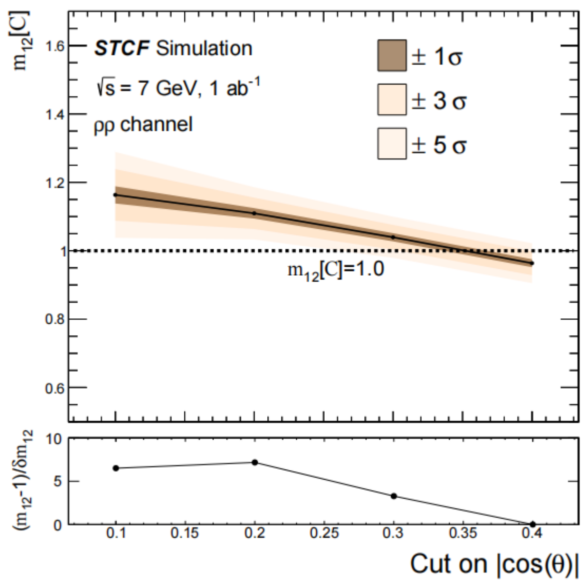
Background and signal events



step	Percentage of previous step		Signal purity
	Signal + BKG	Signal	
Total events	-	-	6.9%
Number of charged tracks = 2, total charge = 0	64.8%	78.1%	8.3%
Number of photons = 4	6.4%	21.7%	28.1%
Number of π^+ = 1, Number of π^- = 1	67.4%	79.6%	33.2%
Passed the particle pairing	19.0%	45.2%	78.9%
Passed event-level machine learning selection	75.8%	86.3%	89.9%
Passed the τ momentum reconstruction	95.0%	95.4%	90.3%

Cut-dependent significance





Λ_c^+衰变中的CP破坏

PHYSICAL REVIEW D **112,** 112002 (2025)

Prospects for P and CP violation in Λ_c^+ decays with a polarized beam at the Super Tau-Charm Facility

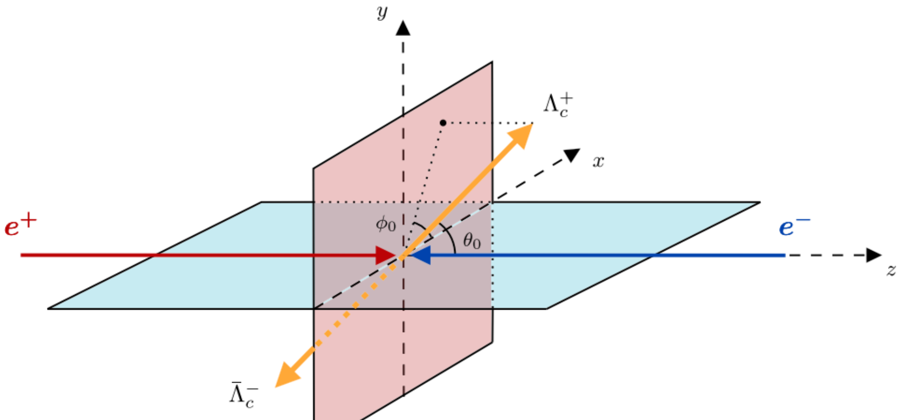
Hong-Jian Wang,[1,2] Cheng Wang,[1,2] Hao Sun,[3] Pei-Rong Li,[1,2,*] Xiao-Rui Lyu,[3,†] and Rong-Gang Ping[4,3,‡]

[1]*Lanzhou University, Lanzhou 730000, People's Republic of China*
[2]*MOE Frontiers Science Center for Rare Isotopes, Lanzhou University, Lanzhou 730000, People's Republic of China*
[3]*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, People's Republic of China*
[4]*Institute of High Energy Physics, Beijing 100049, People's Republic of China*

(Received 16 August 2025; accepted 12 November 2025; published 1 December 2025)

Weak decays of the charmed baryons offer an ideal platform to study parity (P) and charge conjugation-parity (CP) violation in the quark sector, to stringently test the Standard Model and search for new physics. It is a key goal in the next-generation positron-electron collider, such as the Super Tau-Charm Facility (STCF). Thanks to the quantum-entangled pair production with superhigh luminosity and the possibility of beam polarization, STCF provides a unique environment to probe such symmetry violations with unprecedented sensitivity. In this paper, we evaluate the precisions of the P-violating parameters and subsequently obtain the expected sensitivity of the CP-violating parameters in charmed baryon decays of $\Lambda_c^+ \to p\pi^0$, $p\eta$, ΛK^+, $\Sigma^0 K^+$, and $\Sigma^+ K_S^0$, regarding to different polarization setups in STCF. The study suggests that the implementation of longitudinal beam polarization in STCF would greatly enhance the experimental capability in studying P and CP violation.

DOI: 10.1103/6pdw-trsj



Based on FastSimulation