

超级陶-粲装置项目预研进展

Super Tau-Charm Facility (STCF)

郑阳恒

(代表STCF工作组)

2021年3月，第二届强子理论与实验联合研讨会，兰州

电子邮件: zhengyh@ucas.edu.cn

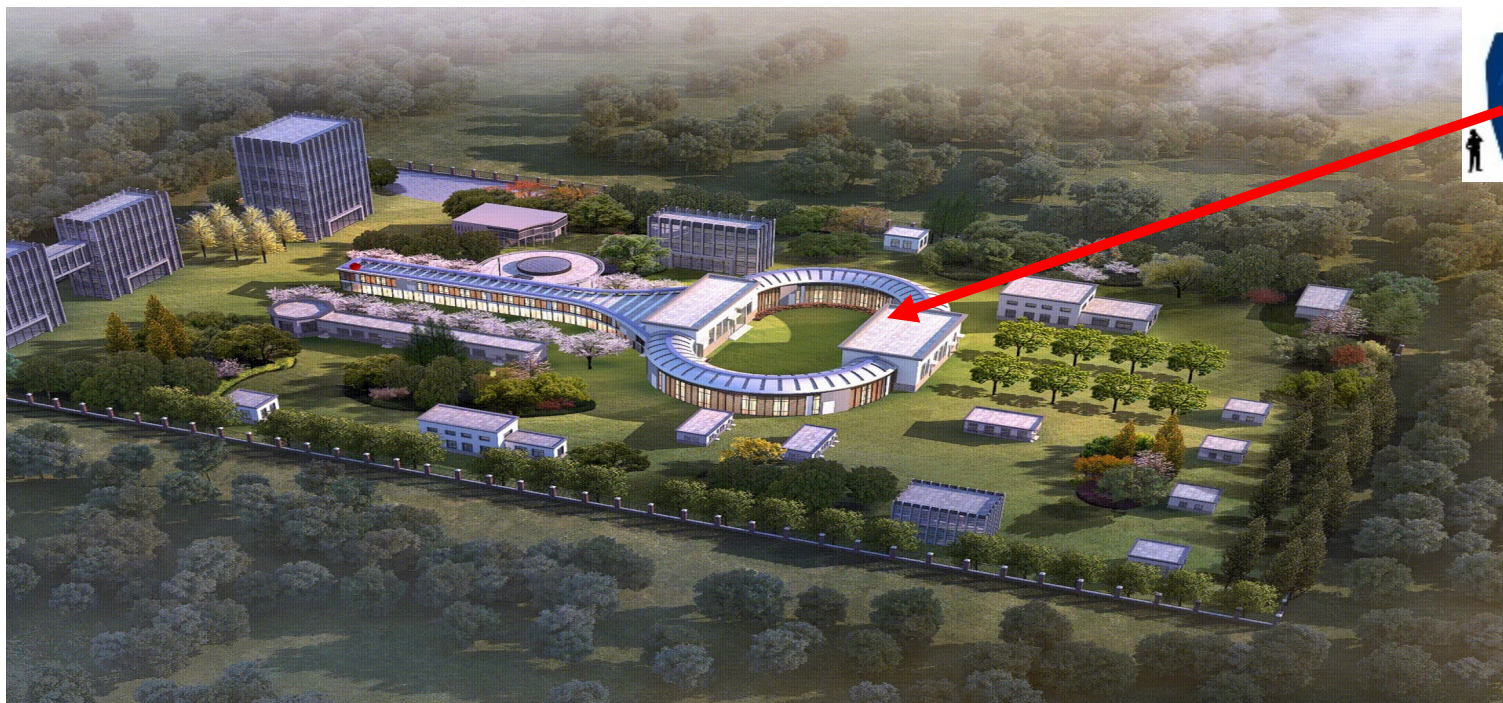
BEPCII vs STCF

BEPCII

- ❑ Peak luminosity $0.6-1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at **3.773 GeV**
- ❑ Energy range $E_{\text{cm}} = 2 - 4.9 \text{ GeV}$
- ❑ No Polarization

Designed STCF

- ❑ Peak luminosity $0.5-1 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at **4 GeV**
- ❑ Energy range $E_{\text{cm}} = 2-7 \text{ GeV}$
- ❑ **Single Beam Polarization (Phase II)**



若达到设计亮度，STCF运行1天所采集数据约为BEPC全年物理取数的一半或更多

STCF上的潜在物理亮点

物理概念设计报告CDR

- ◆ 多次组织workshop讨论CDR内容
- ◆ 国际评估已收到多位专家的返回意见

November 2019

- 15 Nov - 16 Nov Workshop of CDR theory for STCF in UCAS 2019

August 2019

- 04 Aug - 07 Aug Workshop of CDR theory for STCF 2019

June 2019

- 26 Jun - 27 Jun Workshop of Measurement and Control Technology for Accelerator of Super Tau-Charm Facility

March 2019

- 23 Mar - 24 Mar Workshop on Physics at STCF at UCAS 2019

March 2018

- 18 Mar - 21 Mar 2nd international workshop on High Intensity Electron-Positron Accelerator (HIEPA) at China (HIEPA2018)

Draft Version 2.0

Conceptual Design Report for

Super tau-Charm Facility (STCF) at China

-Physics Program-

STCF Working Group¹

¹University of Science and Technology of China, Hefei 230026, P.R.C

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R.C

³Institute of High Energy Physics, Beijing 100049, P.R.C

⁴Institute of Theoretical Physics, Beijing 100190, P.R.C

⁵Peking University, Beijing 100871, P.R.C

⁶Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, P.R.C

⁷Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan 115, R.C

⁸Nankai University, Tianjin 300071, P.R.C

⁹Nanjing University, Nanjing 210093, P.R.C

¹⁰Wuhan University, Wuhan 430072, P.R.C

¹¹Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, P.R.C

¹²Shandong University, Jinan 250014, P.R.C

¹³Fudan University, Shanghai 200443, P.R.C

¹⁴University of South China, Hengyang 421001, P.R.C

¹⁵Beijing Normal University, Beijing 100875, P.R.C

¹⁶State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics, Beijing, 100049, Hefei 230026.

DRAFT

Contents

1	Introduction	3
1.1	The STCF project in China	4
1.2	The data samples at STCF	6
1.3	The experimental uncertainties	6
1.4	Physics Potential at STCF	6
2	Charmonium and XYZ Physics	12
2.1	The XYZ puzzles	12
2.2	Limitations of current experiments	12
2.3	Opportunities in solving the XYZ puzzles	13
2.4	Opportunities in higher charmonium states	16
3	Charmed hadron physics	20
3.1	Charmed meson	20
3.1.1	$D_{(s)}$ leptonic decays	20
3.1.2	D^0 - D^0 mixing and CP violation	22
3.1.3	Rare and forbidden decays	24
3.1.4	Charmed meson spectroscopy	24
3.2	Charmed baryon	25
3.2.1	Hadronic weak decays	25
3.2.2	Electromagnetic and weak radiative	25
3.2.3	CP Violation	25
3.2.4	Spectroscopy	25
4	Tau Physics	33
4.1	Precision Measurement of the τ Properties	33
4.1.1	τ mass and lifetime	33
4.1.2	Measurement of $a_\tau = (g-2)_\tau/2$	33
4.2	The Determination of the SM Parameters	34
4.2.1	The universality test	34
4.2.2	The Michel parameters	35
4.2.3	The strong coupling α_s extraction	35
4.2.4	The CKM element V_{cb} extraction	36
4.3	CP Symmetry Tests	36
4.3.1	CP violation in $\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^+ \nu_\tau$	36
4.3.2	Measurement of the electric dipole moment of τ	37
4.3.3	CPV with polarized beam	37
4.4	Flavor Violating τ Decays	37
4.4.1	The decay $\tau^- \rightarrow 3l$	38
4.4.2	The decays $\tau^- \rightarrow l\gamma$	38
4.4.3	The decays $\tau^- \rightarrow lM_1 M_2$	38
4.5	Summary	38
5	Precision tests with light hadrons	40
5.2.1	η/η' decays	40
5.2.2	Hyperon polarization	43

三大类物理亮点

1. QCD and hadronic physics

2. Flavor physics and CP violation

3. New Physics search

关键科学问题:

1. 非微扰强相互作用和强子结构
2. 标准模型精确检验和新物理寻找

实验装置定位: 独特的非微扰强相互作用和强子结构专用研究平台

项目推动策略

◆ 团结小同行

- ◆ 以物理的专业兴趣、加速器、探测器的、电子学、计算机关键技术为驱动；
- ◆ 吸引全世界的优秀头脑加盟；
- ◆ 全力**聚焦预研**。

◆ 说服大同行

- ◆ 讲清楚物理故事，技术上争取**合作共赢**。

◆ 争取科学共同体的支持，影响国家和地方政府的决策

- ◆ 讲好应用相关故事，**力争多赢**，服从国家战略。

BES实验的特色物理亮点

- ◆ τ 质量测量
- ◆ R scan
- ◆ X(1835)等一系列轻强子的发现
- ◆ Z_c 、 Z_{cs} 系列多夸克态信号的发现
- ◆ Λ_c 产生衰变测量
- ◆ CKM & Decay constants & δ 的测量
- ◆ Polarization of Baryons in J/ψ
- ◆ ...

Threshold \Rightarrow 高统计量、低本底

结论：只要阈值上获取数据的统计量不受到挑战，就能产出特色的物理成果。

BEPCII/BESIII 实验的升级计划

◆ Two steps of maximum beam energy (BE) upgrade

◆ Step 1: upgrade on the power cooling system in the summer of 2018

→ BE up to 4.7 GeV (done)

Step 2: R&D of a new ISPB magnet by 2020

→ BE up to 4.9 GeV (done)

◆ BEPCII → BEPCIII (亮度: 约3倍; 能量: 最高5.6GeV; 经费: 约2亿)

Energy	Physics motivations	Current data	Expected final data	T_C / T_U
1.8 - 2.0 GeV	R values Nucleon cross-sections	N/A	0.1 fb ⁻¹ (fine scan)	60/50 days
2.0 - 3.1 GeV	R values Cross-sections	Fine scan (20 energy points)	Complete scan (additional points)	250/180 days
J/ψ peak	Light hadron & Glueball J/ψ decays	3.2 fb ⁻¹ (10 billion)	3.2 fb ⁻¹ (10 billion)	N/A
$\psi(3686)$ peak	Light hadron & Glueball Charmonium decays	0.67 fb ⁻¹ (0.45 billion)	4.5 fb ⁻¹ (3.0 billion)	150/90 days
$\psi(3770)$ peak	D^0/D^\pm decays	2.9 fb ⁻¹	20.0 fb ⁻¹	610/360 days
3.8 - 4.6 GeV	R values XYZ /Open charm	Fine scan (105 energy points)	No requirement	N/A
4.180 GeV	D_s decay XYZ /Open charm	3.2 fb ⁻¹	6 fb ⁻¹	140/50 days
4.0 - 4.6 GeV	XYZ /Open charm Higher charmonia cross-sections	16.0 fb ⁻¹ at different \sqrt{s}	30 fb ⁻¹ at different \sqrt{s}	770/310 days
4.6 - 4.9 GeV	Charmed baryon/ XYZ cross-sections	0.56 fb ⁻¹ at 4.6 GeV	15 fb ⁻¹ at different \sqrt{s}	1490/600 days
4.74 GeV	$\Sigma_c^+ \Lambda_c^-$ cross-section	N/A	1.0 fb ⁻¹	100/40 days
4.91 GeV	$\Sigma_c \bar{\Sigma}_c$ cross-section	N/A	1.0 fb ⁻¹	120/50 days
4.95 GeV	Ξ_c decays	N/A	1.0 fb ⁻¹	130/50 days

STCF上的数据样本

STCF在不同能量点上运行1年产生的事例样本

Table 1: The expected numbers of events per year at different energy points at STCF

CME (GeV)	Lumi (ab ⁻¹)	samples	σ (nb)	No. of Events	remark
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	
		$\psi(3686) \rightarrow \tau^+\tau^-$		2.0×10^9	
3.770	1	$D^0\bar{D}^0$	3.6	3.6×10^9	
		$D^+\bar{D}^-$	2.8	2.8×10^9	Single Tag
		$D^0\bar{D}^0$		7.9×10^8	Single Tag
		$D^+\bar{D}^-$		5.5×10^8	
		$\tau^+\tau^-$	2.9	2.9×10^9	
4.040	1	$\gamma D^0\bar{D}^0$	0.40	4.0×10^6	CP _{D⁰\bar{D}^0} = +1
		$\pi^0 D^0\bar{D}^0$	0.40	4.0×10^6	
		$D_s^+ D_s^-$	0.20	2.0×10^8	
		$\tau^+\tau^-$	3.5	3.5×10^9	
4.180	1	$D_s^{++} D_s^- + c.c.$	0.90	9.0×10^8	Single Tag
		$D_s^{+-} D_s^- + c.c.$		1.3×10^8	
		$\tau^+\tau^-$	3.6	3.6×10^9	
4.230	1	$J/\psi\pi^+\pi^-$	0.085	8.5×10^7	
		$\tau^+\tau^-$	3.6	3.6×10^9	
		$\gamma X(3872)$			
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	Single Tag
		$\Lambda_c \bar{\Lambda}_c$	0.56	5.6×10^8	
		$\Lambda_c \bar{\Lambda}_c$		6.4×10^7	
		$\tau^+\tau^-$	3.4	3.4×10^9	
4.0-7.0 > 5	3 2-7	300 points scan with 10 MeV step, 1 fb ⁻¹ /point several ab ⁻¹ high energy data, details dependent on scan results			

快速模拟与离线软件设计

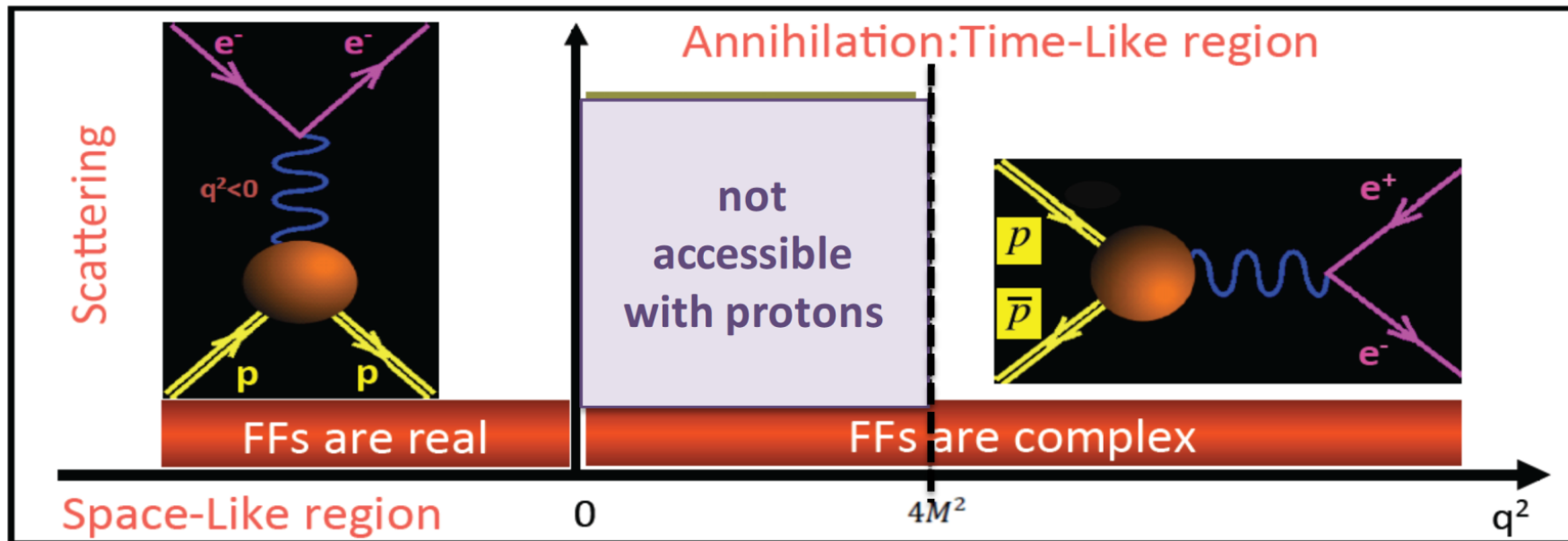
强相互作用与强子结构

探索核子结构

◆ Deep Inelastic Scattering & e^+e^- are complementary

Crossing symmetry:

$$\langle N(p') | j^\mu | N(p) \rangle \rightarrow \langle \bar{N}(p') N(p) | j^\mu | 0 \rangle$$



$$J^\mu = \langle N(p') | j^\mu | N(p) \rangle = e \bar{u}(p') \left[\gamma^\mu F_1(q^2) + \frac{i \sigma^{\mu\nu} q_\nu}{2M} F_2(q^2) \right] u(p)$$

Fermi & Dirac form factors

$e^+e^- \rightarrow p\bar{p}, n\bar{n}, \Lambda\bar{\Lambda}$ threshold

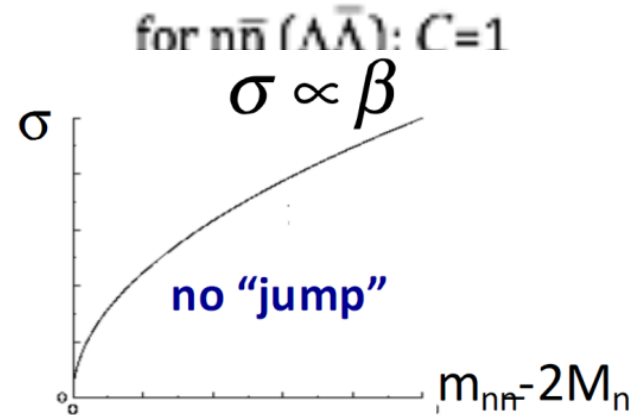
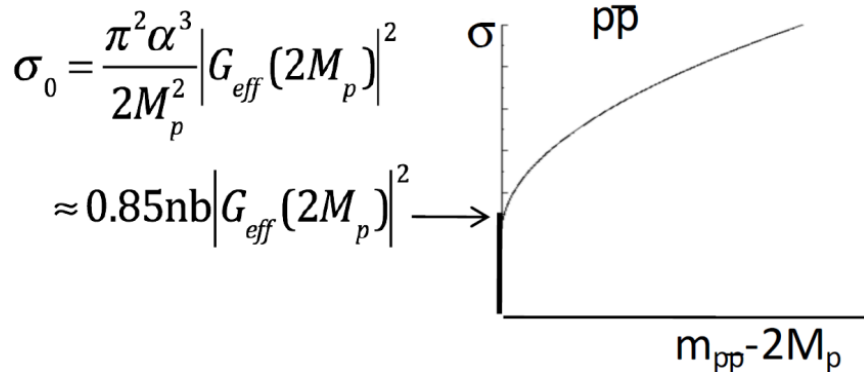
Integrated cross section:

$$\sigma_{pp} = \frac{4\pi\alpha^2 \beta C}{3m^2} |G_{eff}(m_{pp})|^2 (1 + 1/2\tau)$$

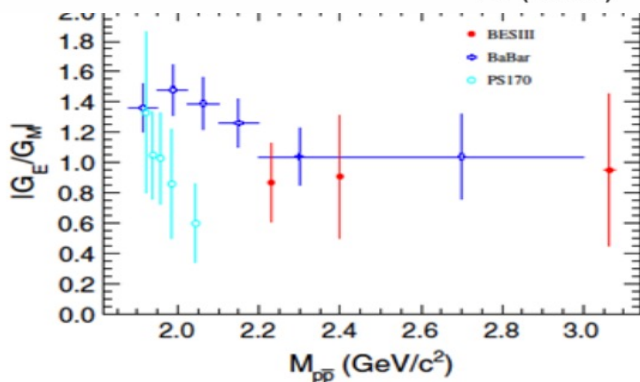
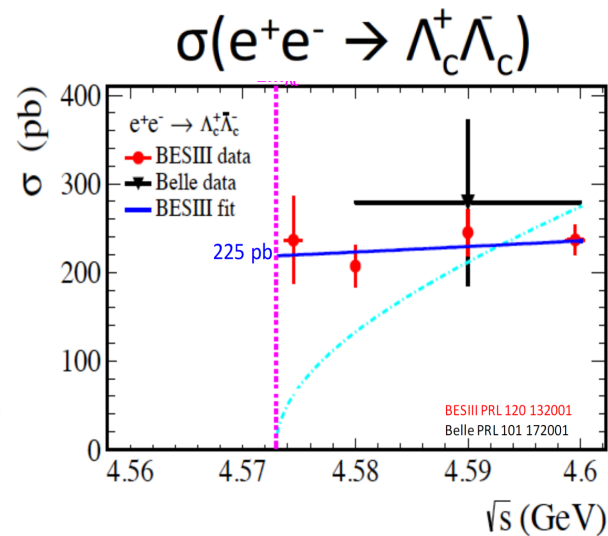
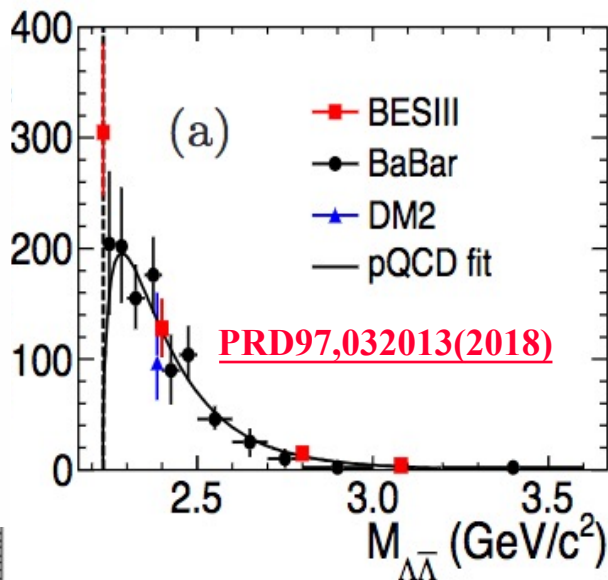
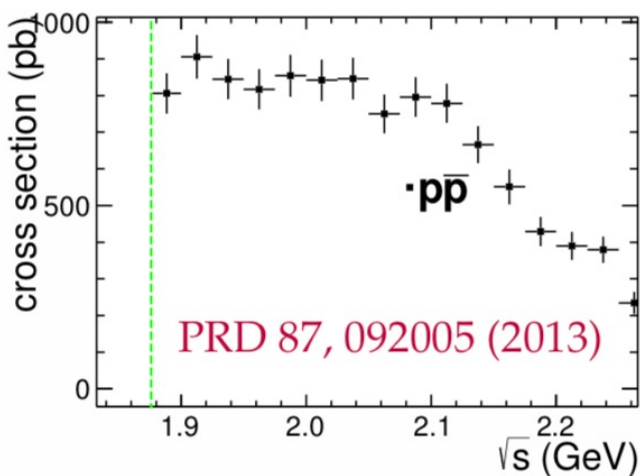
for $p\bar{p}$: $C = \frac{\pi\alpha / \beta}{1 - \exp(-\pi\alpha / \beta)} \rightarrow \frac{\pi\alpha}{\beta}$

Sommerfeld resummation factor

in point-like approx:



The threshold production of baryon pair



Form factor reflects spatial distributions of **electric charge** and **current** inside the nucleon

STCF: 100× more statistics will much enhance the understandings of these 'unexpected' threshold enhancement! (Study $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}, n\bar{n}, \Lambda\bar{\Lambda}, \Sigma\bar{\Sigma}, \Xi\bar{\Xi}, \Omega\bar{\Omega}, \Lambda_c\bar{\Lambda}_c, \Sigma_c\bar{\Sigma}_c, \Xi_c\bar{\Xi}_c, \Omega_c\bar{\Omega}_c \dots$ @threshold)

理论框架和可观测测量



Near-threshold structures: cusps, triangle singularities and hadronic molecules

Feng-Kun Guo

Institute of Theoretical Physics, CAS

强子质量与结构论坛 2021. 03. 20

General model-independent analysis on threshold structures:

X.-K. Dong, FKG, B.-S. Zou, arXiv:2011.14517

Systematic spectrum of hadronic molecules:

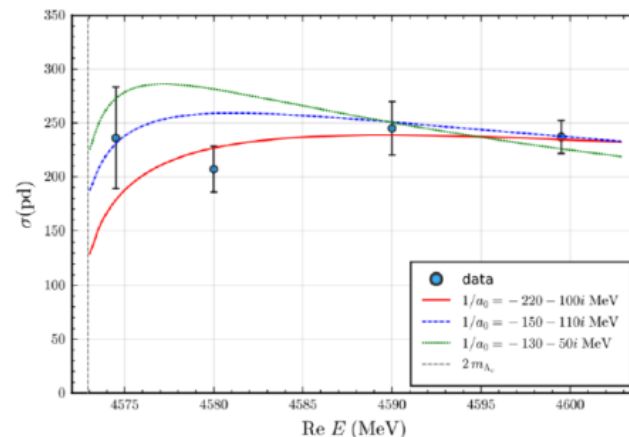
X.-K. Dong, FKG, B.-S. Zou, 物理学进展 41 (2021) 65 [arXiv:2101.01021]

Review article focusing more on TSs:

FKG, X.-H. Liu, S. Sakai, Prog. Part. Nucl. Phys. 112 (2020) 103757 [arXiv:1912.07030]

1

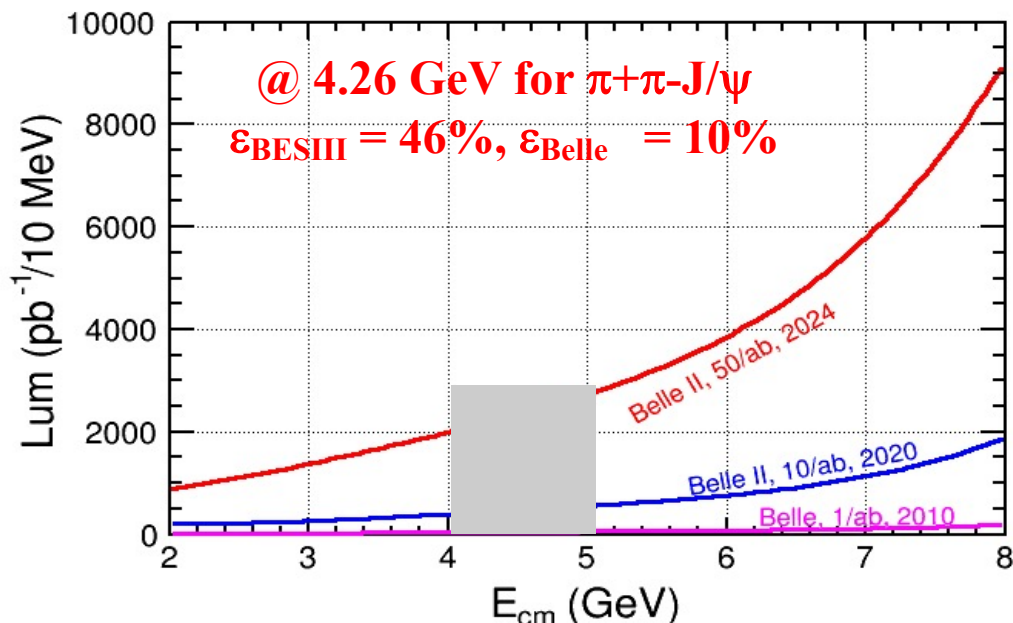
- ✓ $Y(4260)/\psi(4230)$ as a $\bar{D}D_1$ bound state
- ✓ Vector charmonia around 4.4 GeV unclear
- ✓ Evidence for $1^{--} \Lambda_c \bar{\Lambda}_c$ bound state in BESIII data
 - Sommerfeld factor
 - Near-threshold pole
 - Different from $Y(4630/4660)$



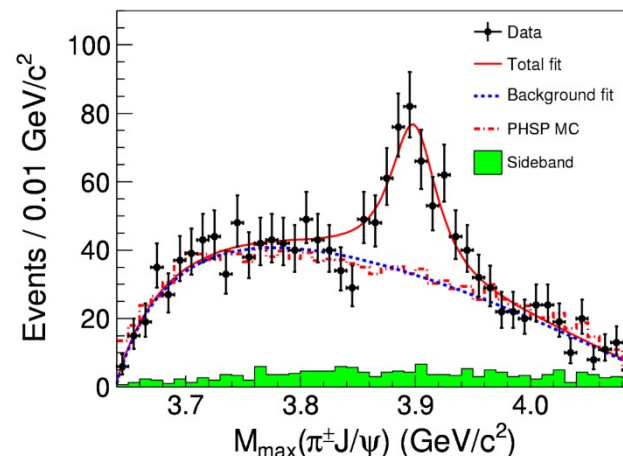
Data taken from BESIII, PRL120(2018)132001

- ✓ Many 1^{--} states above 4.8 GeV

STCF上的类粲偶素谱和奇特态粒子寻找



BESIII at 4.260 GeV: PRL110, 252001
0.525 fb^{-1} in one month running time



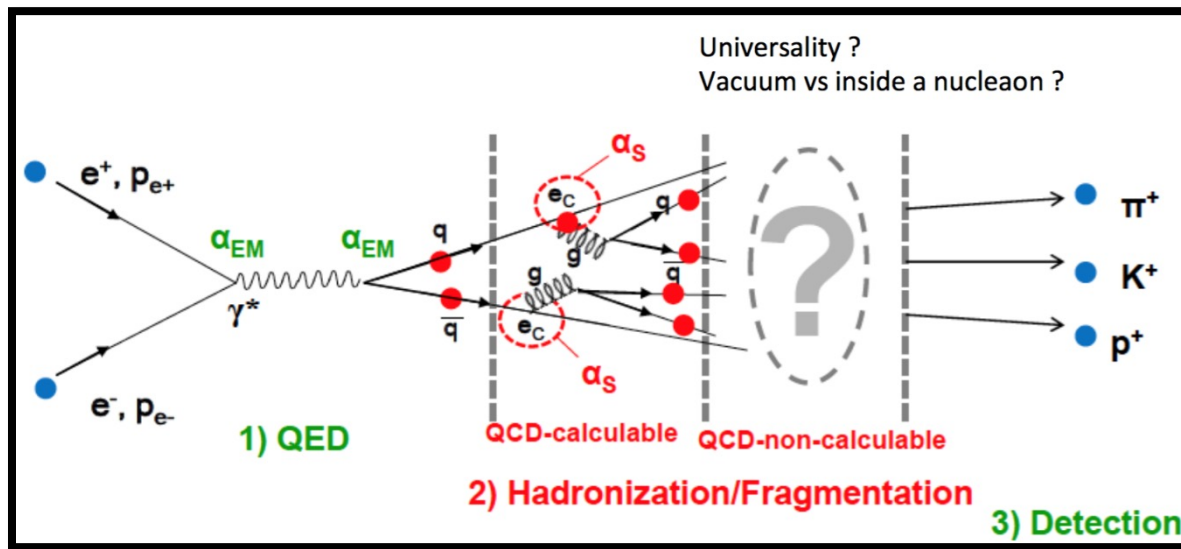
□ B factory : Total integrate effective

luminosity between 4-5 GeV is 0.23 ab^{-1} for
 50 ab^{-1} data

□ τ -C factory : scan in 4-5 GeV, 10 MeV/step,
every point have $10 \text{ fb}^{-1}/\text{year}$, 5 time of
Belle II for 50 ab^{-1} data

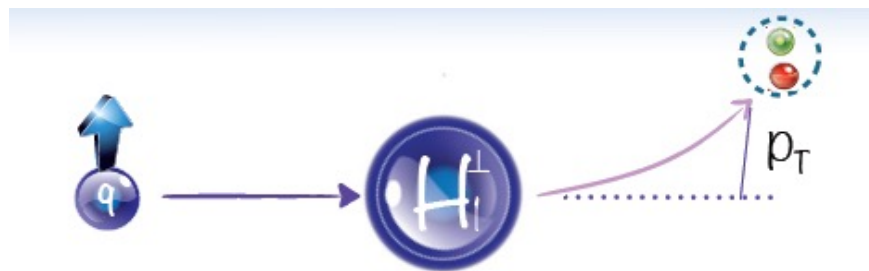
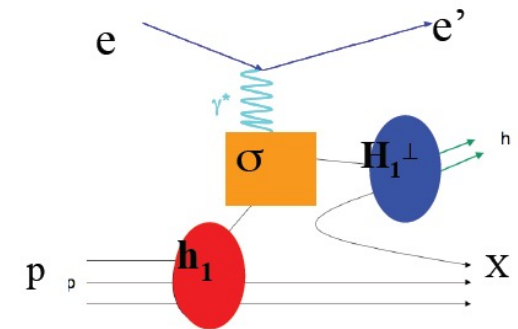
□ τ -C factory have much higher efficiency and
low background than B Factory

极化依赖的Collins碎裂函数测量



SIDIS

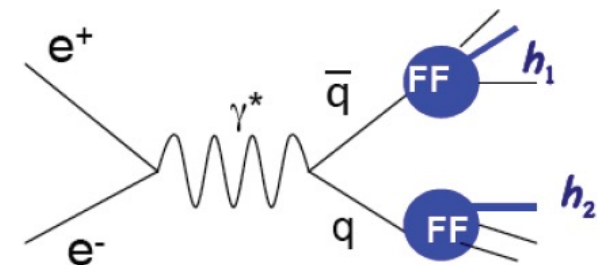
Transversity \otimes Collins FF



J. C. Collins, Nucl.Phys. B396, 161 (1993)

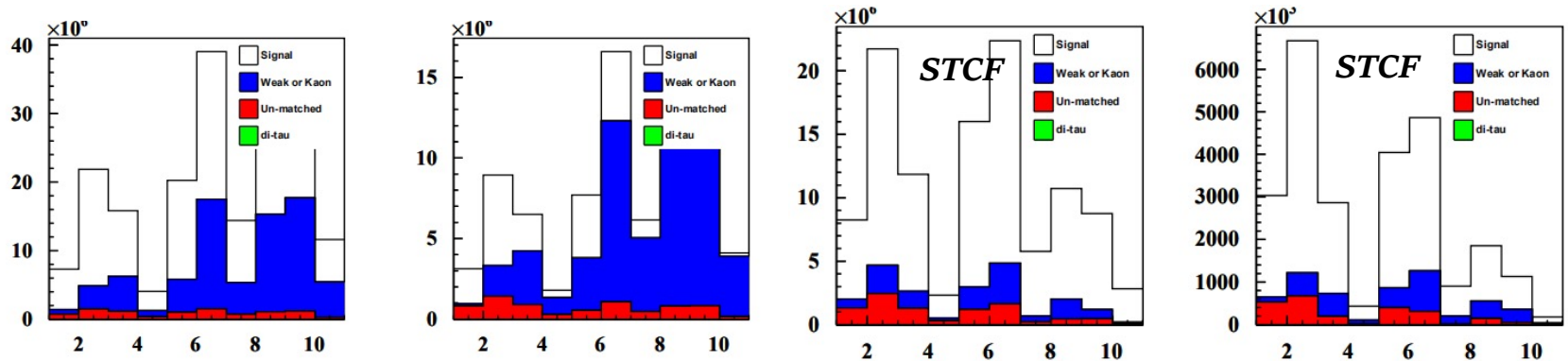
$e^+ e^-$

Collins FF \otimes Collins FF



Collins FF at STCF

- ❑ STCF is a perfect machine for studying Collins effect
- ❑ Poor performance for the traditional de/dx & TOF PID system for tracks $> 0.8\text{GeV}$
- ❑ This measurement suffer from systematic uncertain from $K - \pi$ mis-PID.
- ❑ The mis-PID is even worse in the case of KK Collins measurement.
- ❑ With 2.5 fb^{-1} $7\text{GeV } q\bar{q}$ MC ($\sigma \approx 5\text{nb}$ LundArlw), we study Collins effect at STCF.



Blue: $\pi - K$ mis-PID in KK Collins measurement.

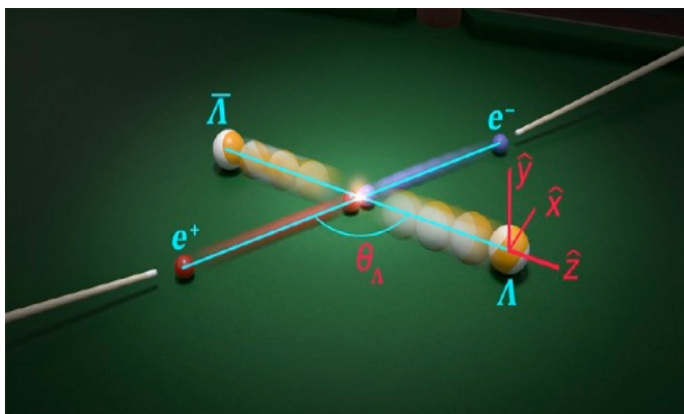
Left) de/dx&TOF. Right) a 1% mis-PID set in FastSim

- ❑ By setting the $K - \pi$ mis-PID at 1%, we obtain:
 - The statistical uncertainty for 25fb^{-1} MC is $\sim 10^{-3}$ to 10^{-2}
 - The statistical uncertainty for 1ab^{-1} MC is $\sim 10^{-4}$ to 10^{-3}

模拟结果：测量精度满足EicC的需求

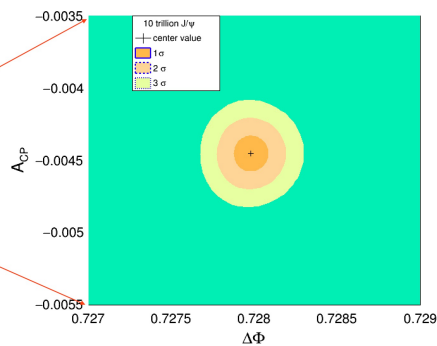
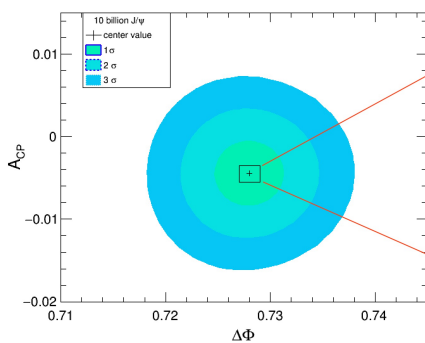
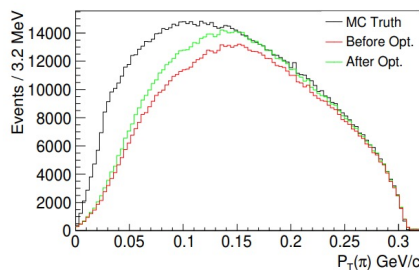
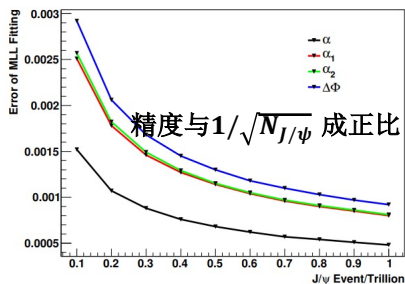
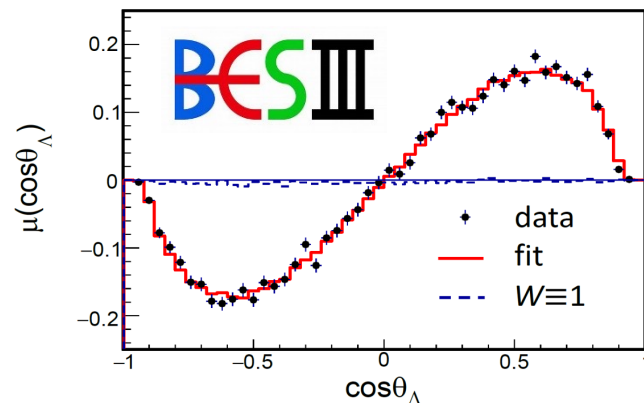
标准模型精确检验和新物理 寻找

Λ 超子的CP破坏



Exp: $A_{CP}(\Lambda) = -0.006 \pm 0.012 \pm 0.007$
 SM: $-3 \times 10^{-5} < A_{CP}(\Lambda) < 4 \times 10^{-5}$

Nature Phys. **15**, 631–634 (2019)



- 假设与BESIII相同的探测器性能, STCF上利用3.4trillion的 J/ψ 可将 Λ 的CP破坏敏感度提高至 1.2×10^{-4} ;
- 对低动量pion粒子的重建效率的优化能够大大提高统计量;
- 利用极化束流, 或“单色”对撞模式, 能够提高实验敏感度至 10^{-5} 。

τ 轻子的CP破坏

H. Sang *et al* arXiv:2012.06241 accepted by CPC

- The CPV source in $K^0 - \bar{K}^0$ mixing produces a difference in tau decay rate

In Theory :
$$A_Q = \frac{B(\tau^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \bar{\nu}_\tau) - B(\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^- \nu_\tau)}{B(\tau^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+ \bar{\nu}_\tau) + B(\tau^- \rightarrow K_S^0 \pi^- \nu_\tau)} = (+0.36 \pm 0.01)\%$$

2.8 σ away from the SM prediction

BaBar experiments : $A_{CP}(\tau^- \rightarrow K_S \pi^- \nu[\geq 0\pi^0]) = (-0.36 \pm 0.23 \pm 0.11)\%$

Theorist try to reconcile the deviation, **but not coverage even NP included**

- The CPV sensitivity with 1ab^{-1} data at 4.26 GeV:

$$A_{STCF} \sim 9.7 \times 10^{-4}$$

With 10ab^{-1} data:

$$A_{STCF} \sim 3.1 \times 10^{-4}$$

- Optimization including:
 - Improve the low-mom. track efficiency with **10%**
 - Position resolution of photon to be **4 mm**
 - π/μ mis-identification is **3%**

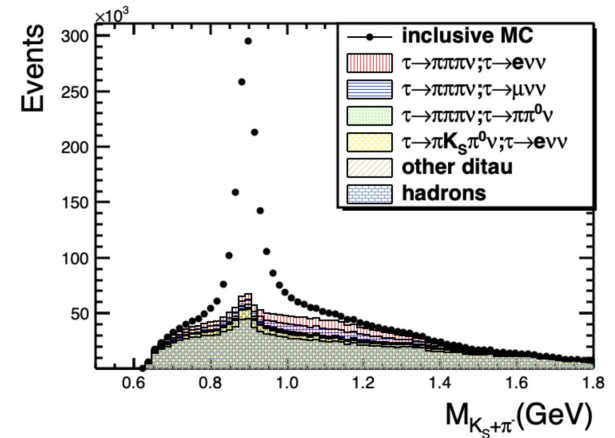


TABLE I. Signal and main backgrounds selection efficiency. These efficiencies include neither detector optimization nor y_L , no detector optimization but applying y_L , either detector optimization or y_L , respectively.

Process	Raw eff. w/o y_L cut(%)	Raw eff. with y_L cut(%)	Optimized eff. with y_L cut(%)
$e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-, \tau^+ \rightarrow l^+\nu_l\bar{\nu}_\tau, \tau^- \rightarrow K_S\pi^-\nu_\tau$	22.8	22.2	32.8
$e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ (other than signal)	0.182	0.0403	0.0422
hadronic final states	0.304	0.0211	0.0179

粲介子的CP破坏

- STCF provide **a unique place** for the study of $D^0 - \bar{D}^0$ mixing and CPV by means of **quantum coherence** of D^0 and \bar{D}^0 produced through

$$\psi(3770) \rightarrow (D^0 \bar{D}^0)_{CP=-} \text{ or } \psi(4140) \rightarrow D^0 \bar{D}^{*0} \rightarrow \pi^0 (D^0 \bar{D}^0)_{CP=-} \text{ or } \gamma (D^0 \bar{D}^0)_{CP=+}$$

	1/ab @4.009 GeV (only QC QC+incoherent)		BelleII(50/ab)	LHCb(50/fb) (SL Prompt)	
$x(\%)$	0.036	0.035	0.03	0.024	0.012
$y(\%)$	0.023	0.023	0.02	0.019	0.013
r_{CP}	0.017	0.013	0.022	0.024	0.011
$\alpha_{CP}(\circ)$	1.3	1.0	1.5	1.7	0.48

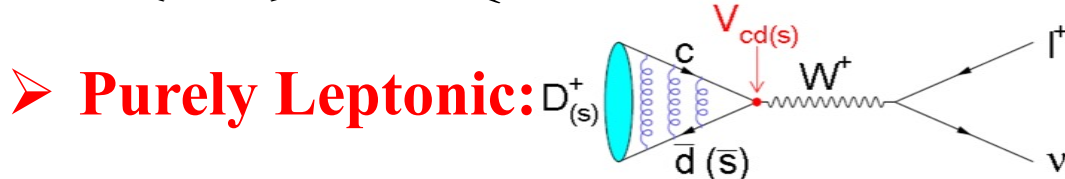
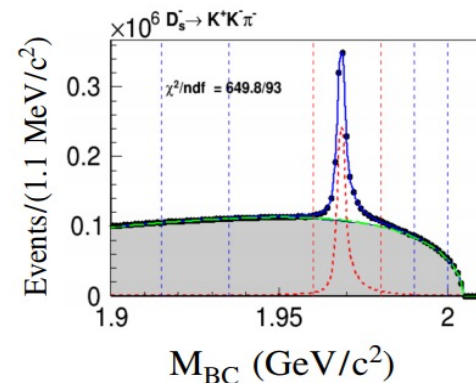
- The only QC results in the left column contains $D^0 \rightarrow K_S \pi \pi, D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$ and general CP tag decay channels
- The QC+incoherent results in the left column combines coherent and incoherent D^0 meson samples
- The BELLEII and LHCb results only contain incoherent $D^0 \rightarrow K_S \pi \pi$ channel

CKM矩阵元精确测量

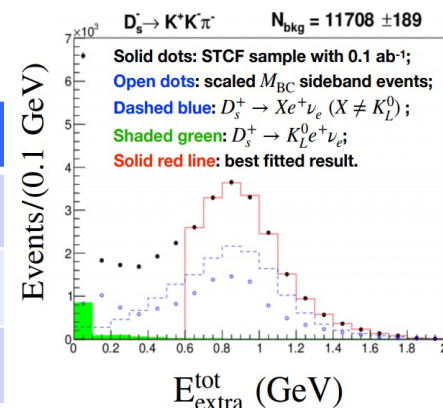
- CKM matrix elements are fundamental SM parameters that describe the mixing of quark fields due to weak

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

interaction.



	BESIII	STCF preliminary	BelleII
	3.2fb ⁻¹ @4.178 GeV	0.1ab ⁻¹ @4.009 GeV	50ab ⁻¹ @Y(nS)
$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)$	2.8% _{stat} 2.7% _{syst}	0.89% _{stat}	0.8% _{stat} 1.8% _{syst}
$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau)$	2.2% _{stat} 2.6% _{syst}	1.3% _{stat} ($\tau^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\tau$)	0.6% _{stat} 2.7% _{syst}



右手极化光子的寻找

- 标准模型预言 $b \rightarrow s\gamma$ 的末态光子为左手极化，寻找可能的光子右手极化现象可用于检验标准模型和探索新物理
- 利用 Cabibbo favor 过程 $D \rightarrow K_1(\rightarrow K\pi\pi)l^+\nu$ 定量描述 $B \rightarrow K_1\gamma$ 过程中的强子效应，获得模型无关的光子极化信息。
- 光子极化由 $\lambda_\gamma = \frac{4\mathcal{A}_{UD}}{3\mathcal{A}'_{UD}}$ 表示， $\mathcal{A}_{UD}(\mathcal{A}'_{UD})$ 是 $B \rightarrow K_1\gamma(D \rightarrow K_1(\rightarrow K\pi\pi)l^+\nu)$ 的不对称比值， \mathcal{A}_{UD} 的实验结果为 6.9 ± 1.7 。

Phys Rev. Lett. 125.051802

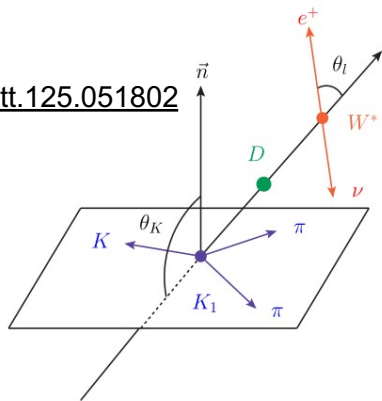
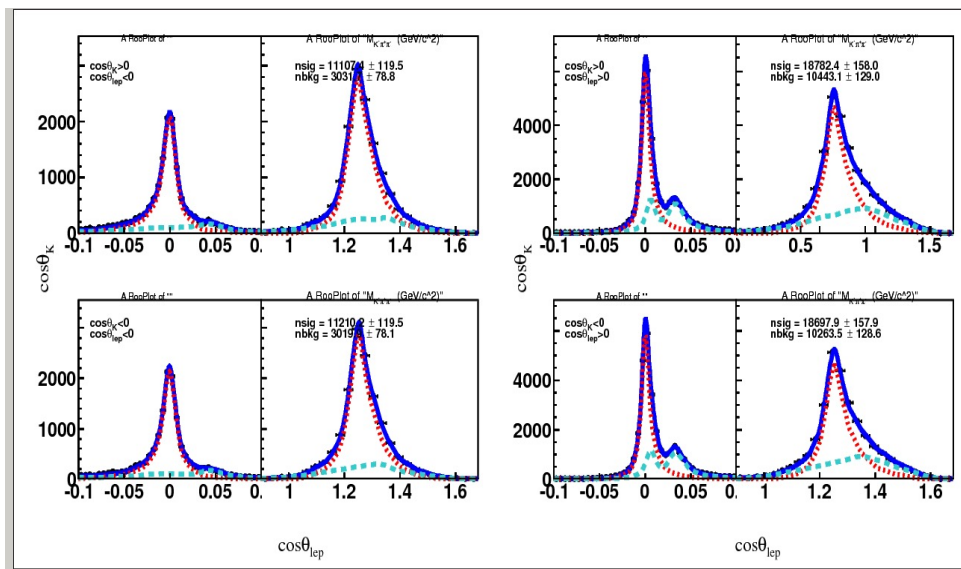


FIG. 1. Kinematics for $D \rightarrow K_{\text{res}}(\rightarrow K\pi\pi)e^+\nu$. The relative angle between the normal direction of the K_{res} decay plane and the opposite of D flight direction in the K_{res} rest frame is denoted as θ_K , while θ_l is introduced as the relative angle between the flight directions of e^+ in the $e^+\nu$ rest frame and the $e^+\nu$ in the D rest frame.

$$\mathcal{A}'_{UD} \equiv \frac{\Gamma_{K_1 e \nu_e}[\cos \theta_K > 0] - \Gamma_{K_1 e \nu_e}[\cos \theta_K < 0]}{\Gamma_{K_1 e \nu_e}[\cos \theta_l > 0] - \Gamma_{K_1 e \nu_e}[\cos \theta_l < 0]}. \quad (7)$$



Sensitivity of \mathcal{A}'_{UD} is 7×10^{-2} @1ab⁻¹

加速器设计亮点

紧凑型的主环设计，降低周长

○ 基于MBA（多弯铁）结构的弧区设计

- 2018年以前，主流观点是下一代对撞机的弧区采用FODO结构，如BNP超级陶瓷工厂第二版（2017-2018）和已建成的SuperKEKB
- 提出采用准MBA结构弧区强聚焦，可以降低总周长以降低建设成本，在相同周长下又能提供更多、更长的直线节，不仅可以为升级为极化束流提供更宽松的条件，而且也可以有更长的对撞区，从而在亮度优化和调节上具有更大的灵活性

参数	设计目标	MBA弧区的设计	FODO弧区的设计
周长/m	600~800	~570（有空余直线节）	~720（有空余直线节）
优化束流能量/GeV	2.0	2.0	2.0
束流能量范围/GeV	1-3.5	1-3.5	1-3.5
流强/A	2	2	2
发射度(ϵ_x/ϵ_y)/nm·rad	5/0.05	5.627/0.028	5/0.05
对撞点 β 函数(β_x/β_y)/mm	90/0.9	60/0.6	85/0.85
对撞交叉角 2θ /mrad	60	60	60
工作点（分数部分） ν_x/ν_y		0.562/0.590	
束-束频移 ξ_y	0.06	0.06（模拟）	0.04~0.06（估算）
Hourglass因数	0.8	0.8（估算）	0.8（估算）
优化能量处的亮度/ $\times 10^{35}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	≥ 0.5	1.0	0.6~0.9

基于高次谐波腔技术，主动调控束长

◆ 大交叉角 ($2\theta=60\text{mrad}$) 和crab waist的对撞机制

$$\diamond \xi_x = \frac{N_b r_e}{2\pi\gamma} \frac{\beta_x}{(\sigma_z \theta)^2}, \quad \xi_y = \frac{N_b r_e}{2\pi\gamma} \frac{\beta_y}{\sigma_y \sigma_z \theta}, \quad v_z = \frac{c\alpha\sigma_p}{2\pi\sigma_z}$$

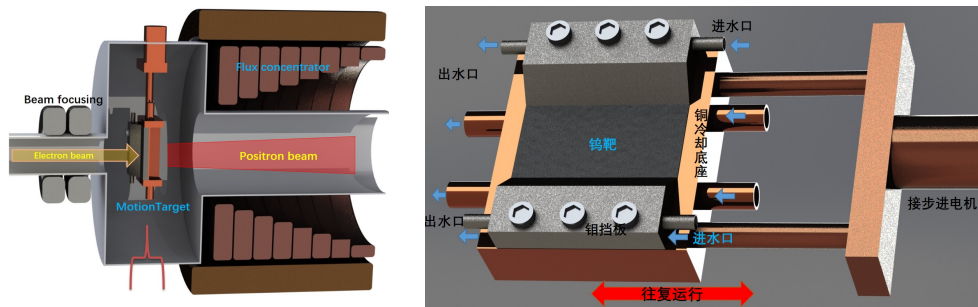
◆ 束团长度 σ_z 缩短有利于束-束相互作用参数 ξ 的提高；但根据束-束效应模拟研究经验， v_z 和 ξ_x 保持一定比例时有利于抑制束-束共振、提高亮度（例如，取 $v_z = 3\xi_x$ ），束团过短会导致 ξ_x 过大。通常的下一代对撞机如SuperKEKB等均考虑 σ_z 相当于10-20倍的 β_y 。综合考虑 $\beta_x = 0.06\text{m}$ 、 $\beta_y = 0.0006\text{m}$ 和 ξ_x 、 ξ_y 取合适的数值，目前取 $\sigma_z = 1\text{cm}$

◆ 能散、能量孔径、同步辐射损失均要求较高的高频腔压，因此束团自然长度较短；考虑集体效应后仍只有7mm左右，需要其他手段

◆ 优化真空室的阻抗设计，降低集体效应影响，使得束团长度的不可控被动增长降低；引入衍射极限储存环光源中使用的基于高次谐波腔的束团长度调控技术，主动调节，从而可以自由取得合适的束团长度，保障对撞亮度

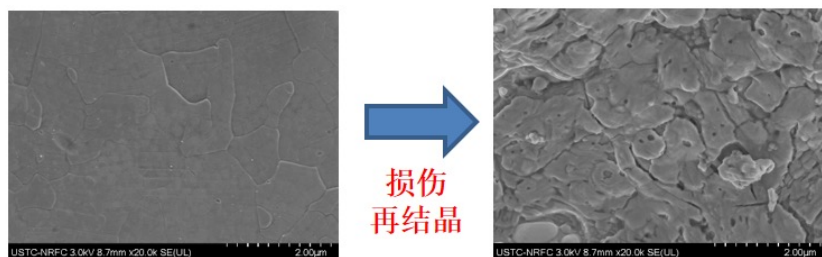
高流强正电子源集成创新

○ 高效的振荡冷却



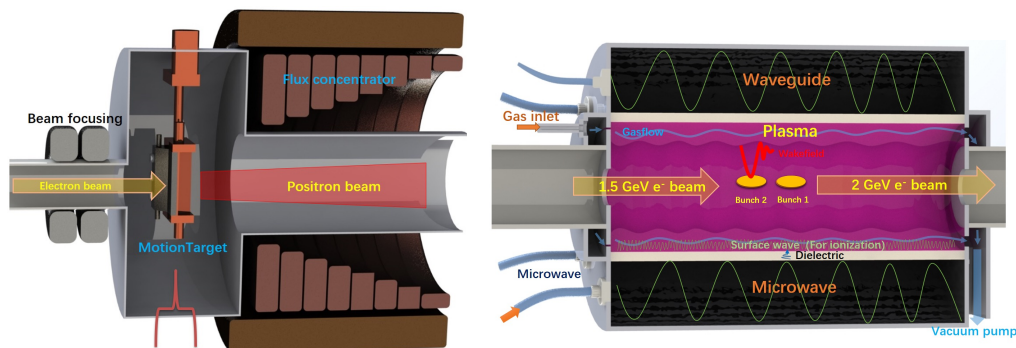
设计了振荡反复运动的水冷，比ILC的旋转硬摩擦接触式冷却方案的热传导效率更高。通过参数模拟可知，振荡式水冷可以将靶的瞬时温度从 1500°C 降低到 400°C ，从而有效提升正电子源寿命。

○ 正电子优化模拟程序考虑了热效应



传统的Geant、EGS等程序是单粒子模拟，无法仿真强流电子束打靶的热效应。自主设计了基于MATLAB的PIC-MCC程序，对电子束打靶的晶格损伤再结晶等过程进行模拟，研究打靶热效应对正电子产额的影响，从而进一步优化正电子源。

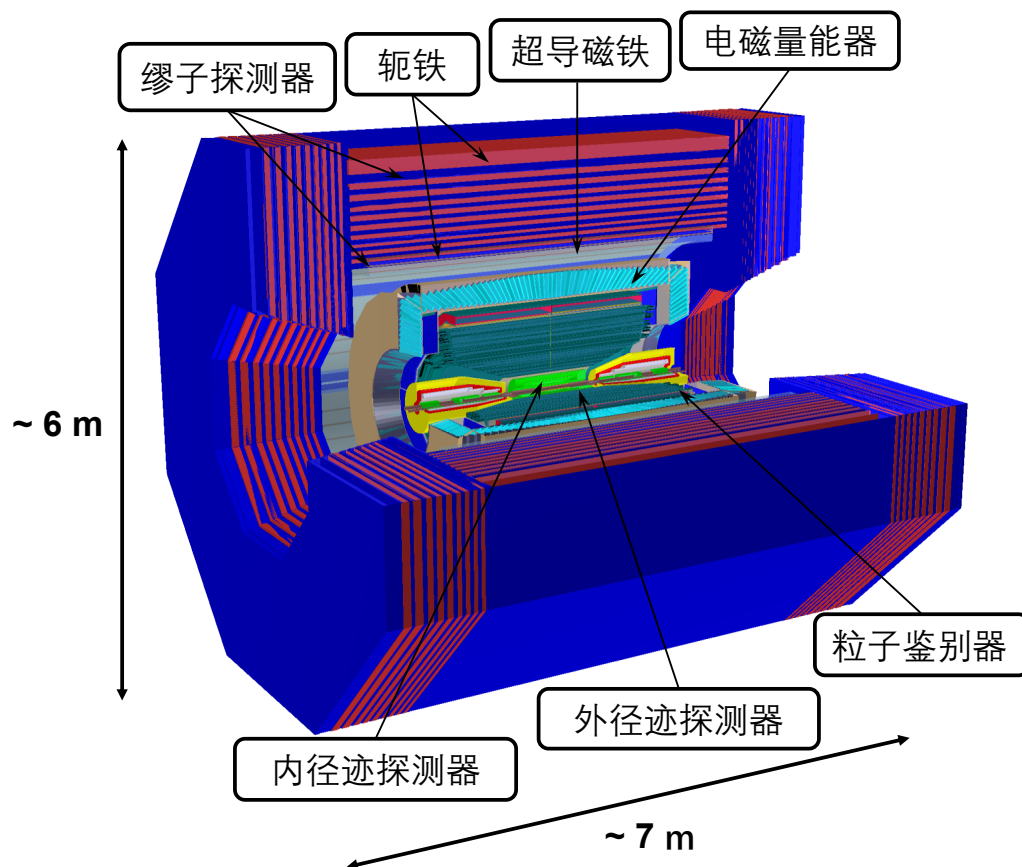
○ 中空等离子体能量倍增器



等离子尾场加速机制。通过多级的中空等离子体腔，可以提高打靶电子束能量，从而实现正电子的高产额并优化能谱。

探测器设计亮点

STCF探测器概念设计



物理需求:

- ◆ 对低能/动量粒子(<1GeV) 有很好的探测性能:高效率、高分辨
- ◆ 宽动量范围的强子鉴别: 直到2GeV的pi/K分辨
- ◆ 很好的缪子鉴别能力: 直到1.8GeV的mu/pi分辨
- ◆ ...

PXD

- $\sim < 0.25\% X_0 / \text{layer}$
- $\sigma_{xy} < 130 \mu\text{m}$

MDC

- $\sigma_{xy} < 130 \mu\text{m}$
- $\sigma_p/p \sim 0.5\% @ 1 \text{ GeV}$
- $dE/dx \sim 6\%$

PID

- π/K (and K/p) 3-4 σ separation up to 2GeV/c

EMC

E range: 0.025-2GeV

σ_E (%) @ 1 GeV

Barrel: 2.5

Endcap: 4

Pos. Res.: $\sim 4 \text{ mm}$

MUD

- 0.4 - 1.8 GeV
- π suppression >30

内部径迹探测器：圆柱uRWELL

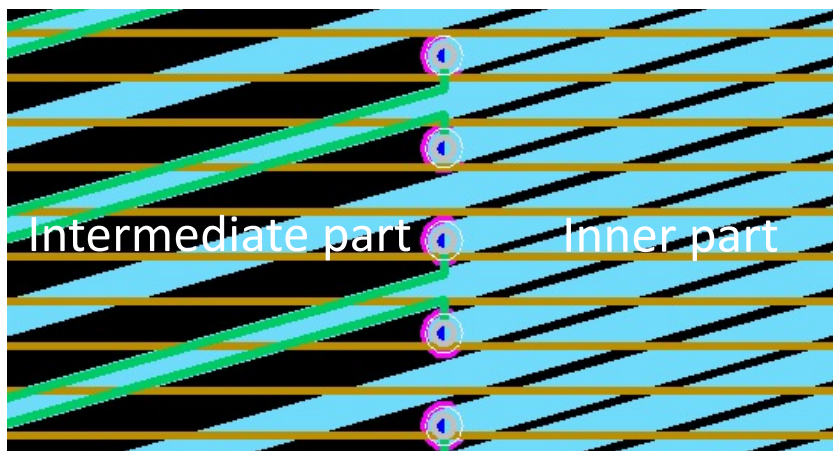
新的XV读出阵列设计：

- X strip 周期400 μm ，确保 $r\phi$ 分辨
- V strip 周期400-1600 μm ，降低占

制作平面型探测器并实验：

- 初步验证XV读出设计的可行性
- 新型XV读出可降低占有率30%-40%

优化工作进行中：调整气体及场强、降低电子漂移速度、增大洛伦兹角
→ $r\phi$ 向分辨率有望达到100 μm



Brown: X strips

Light blue: V strips with different length

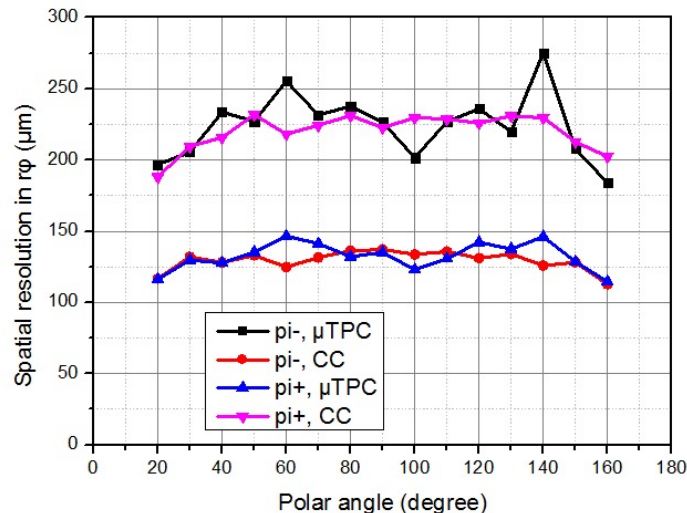
Light green: V-readout routing shielded by long V strips

Hole: via connecting V strip and V-readout routing

洛伦兹角 $^{\circ}$ 时 $r\phi$ 分辨率

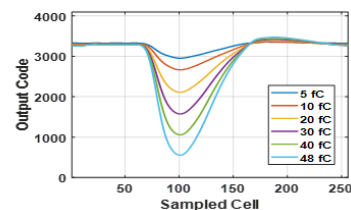
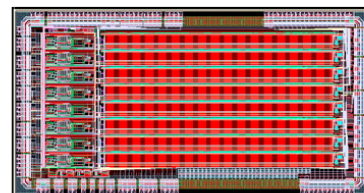
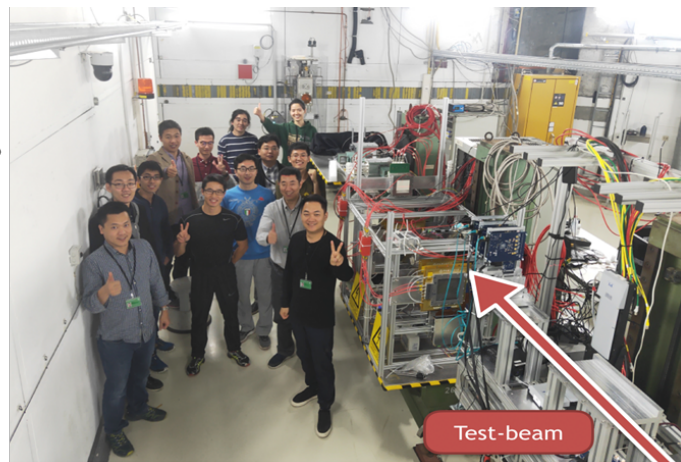
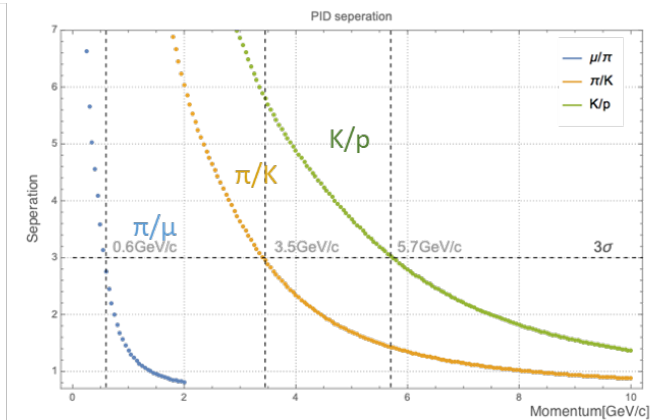
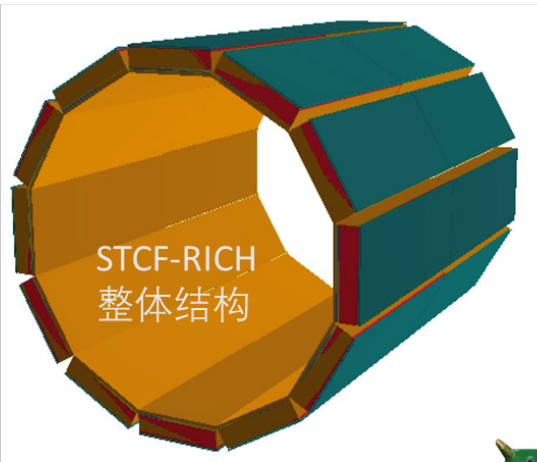
(μ -TPC模式算法)

洛伦兹角 16° 时 $r\phi$ 分辨率



桶部粒子鉴别器：RICH

- ✓ 模拟分析表明，采用C6F14液体辐射体及微结构气体探测器镀CsI光阴极设计，STCF桶部PID探测器可以区分动量最大2GeV/c的带电强子。
- ✓ PID原型机设计、制作和测试已完成。改进型的紧凑RICH样机制作中。



STCF ASIC输出脉冲波形



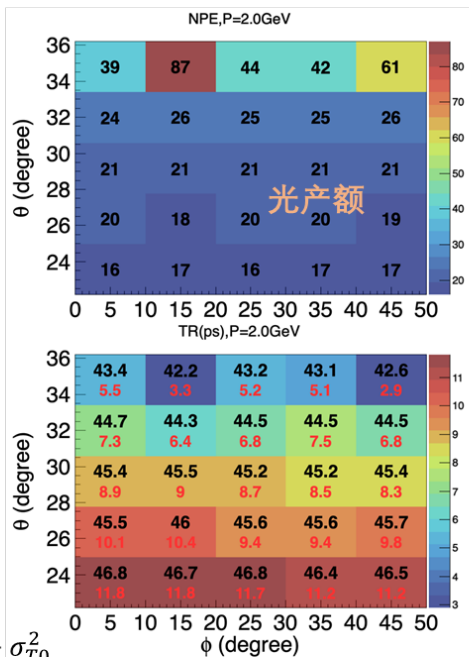
- 完成基于AGET的紧凑型RICH测试电子学的设计与制作，单板集成512通道，并对其进行了线性刻度，结果良好
- 完成了第一版纯模拟和包含数字化电路的前端STCFASIC的流片
- 完成了第一版STCFASIC的初步测试，核心性能满足应用需求。

- 快模拟和GEANT4模拟显示，正入射时RICH π/K 3σ 分辨能够达到 $>3\text{GeV}/c$ ， K/p 分辨 $>5\text{GeV}/c$
- 多种PID方法（切伦科夫角重建、最大似然法）完成初步开发

端盖粒子鉴别器：DIRC-TOF

已完成DFOB方案设计的Geant4模拟和优化

- DFOB由4个扇区组成
- 大面积石英辐射体+54只MCP-PMT
- 入射粒子任意角度击中, 本征时间分辨好于 $\sigma_{det} < 12ps$, 总时间分辨好于50ps

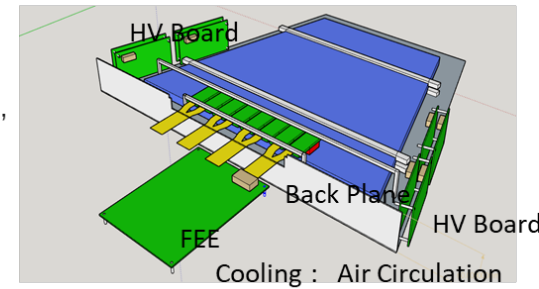


$$\sigma_{tot}^2 \sim \sigma_{det}^2 + \sigma_{trk}^2 + \sigma_{T0}^2$$

$$\sim \sigma^2 \left(\frac{\sum T_{i,cor} + \sigma_{TTS} + \sigma_{ele}}{N_{pe}} \right) + \sigma_{trk}^2 + \sigma_{T0}^2$$

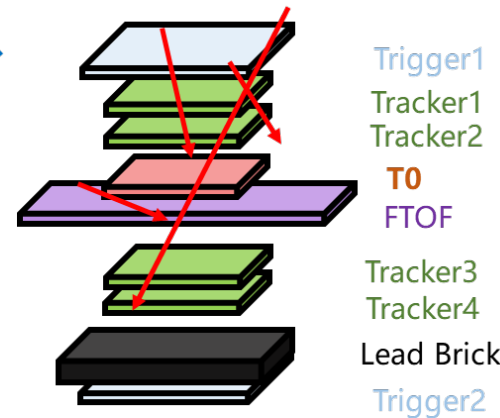
三分之一扇区等比样机研制中

- MCP-PMT已测试: 单通道TTS=42ps, 增益G~10⁶@2000V
- 大面积石英已加工完成
- 128通道电子学已制作中。

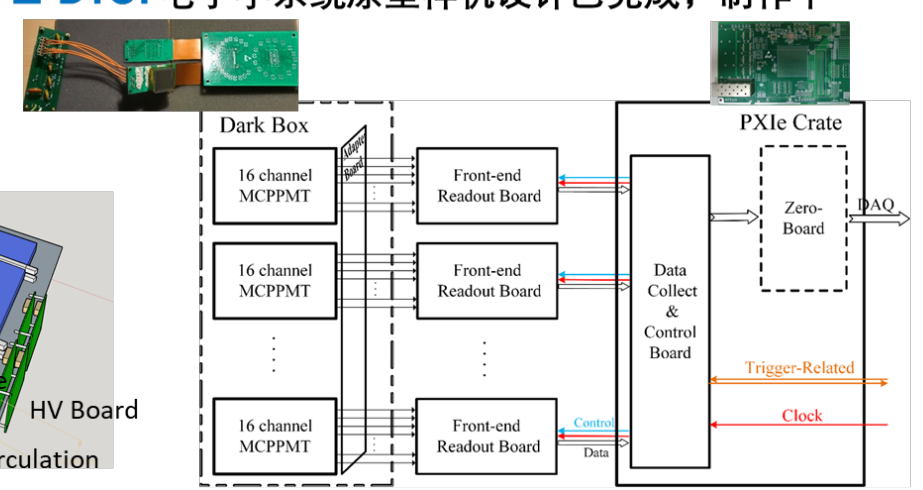


DTOF宇宙线测试平台

- Tracker: 多层 MicroMegas 径迹重建, $\sigma_{Angle} \sim 1mrad$
- Trigger: 2层闪烁体探测器符合触发。
- T0: $\sigma_{T0} < 30ps$
- 电子学及探测器制作与联调中。



DTOF电子学系统原型样机设计已完成, 制作中

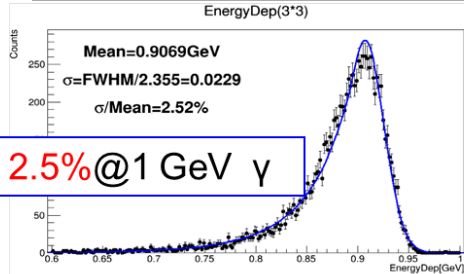
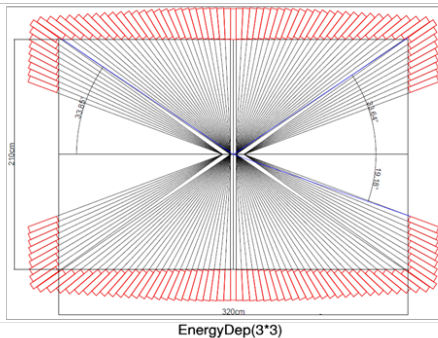


3/26/2021

电磁量能器：ECAL

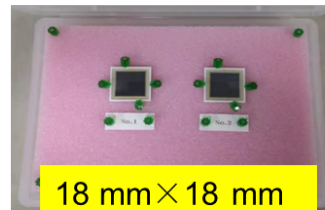
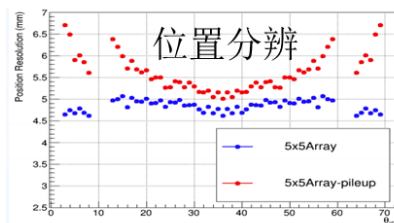
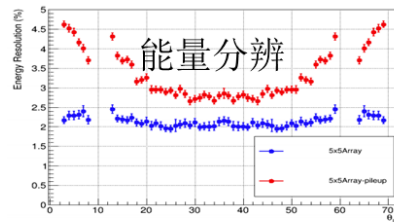
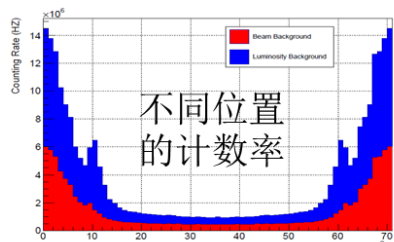
ECAL 基准设计已完成

- 全吸收：pCsI+APDs
- 15 X₀, 能量分辨：
2.5%@1GeV
- 桶部：51圈，每圈132根晶体
- 晶体端面尺寸~5 cm×5 cm

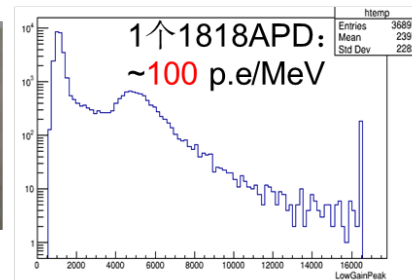


2021-3-26

本底影响分析

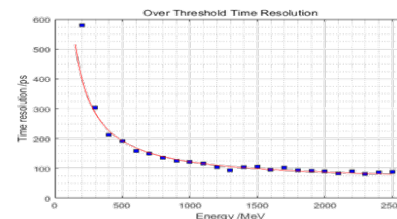
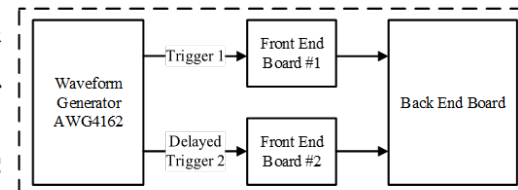
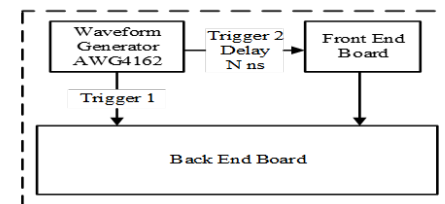


18 mm×18 mm
新型超大面积APD器件



研究了不同电子学定时方案：

- 前沿过阈触发+时间幅度修正
- 基于采样波形的最小二乘拟合
- 可实现电子学定时精度 <200ps

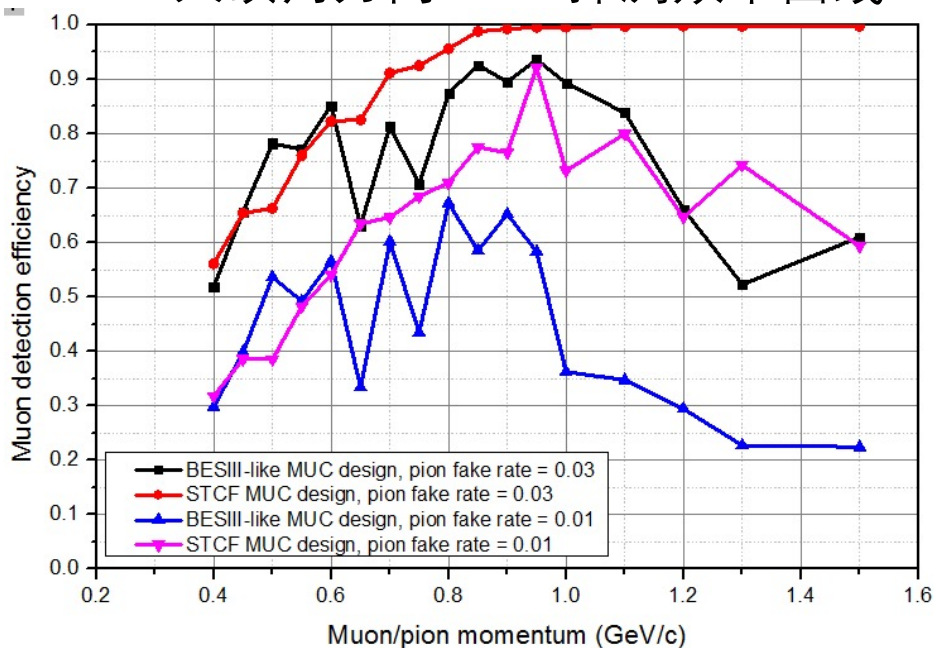


缪子探测器：RPC+塑闪

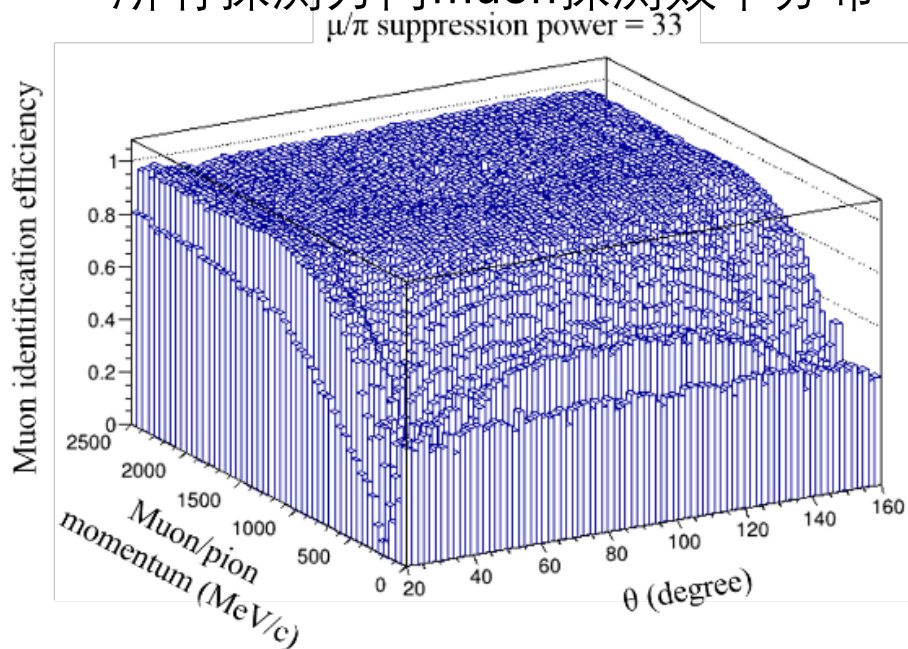
通过详细的设计与GEANT4模拟

- 确定Bakelite-RPC+塑闪的组合式探测器设计，优化参数；
- 完成带电粒子鉴别、中性粒子鉴别算法并初步整合框架；
- 模拟粒子鉴别效率，基本达到预期：以 $D_s \rightarrow \mu\nu$ 为例，pion误判率3%、1.7%、1%时，该反应选择效率相较BESIII提升50%、28%、10%。

天顶角方向muon探测效率曲线



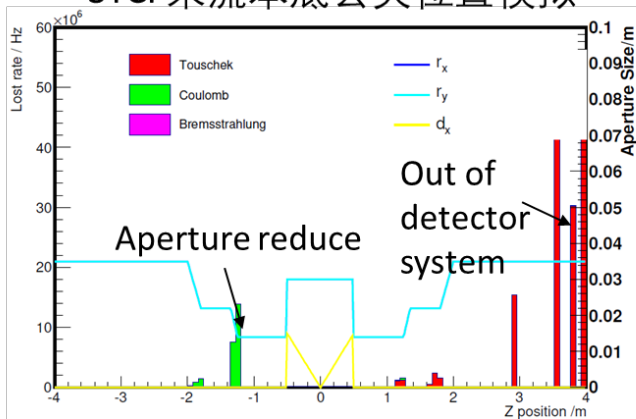
所有探测方向muon探测效率分布



束流本底模拟

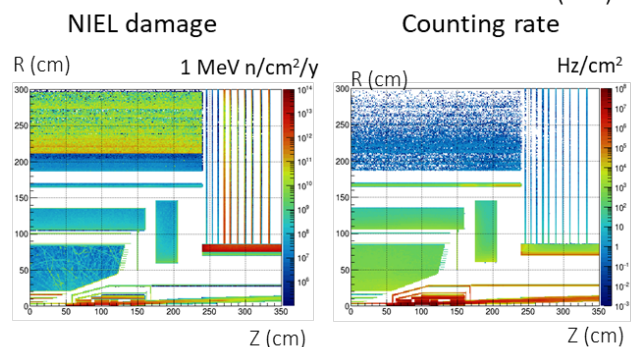
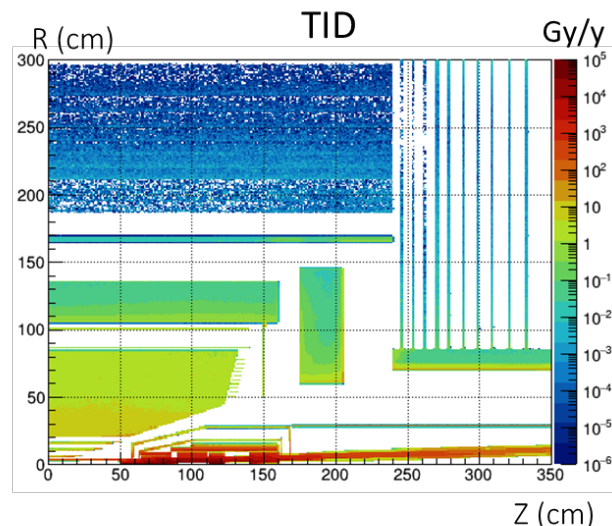
更新优化MDI结构，计算新的亮度、束流本底产生子：

STCF束流本底丢失位置模拟



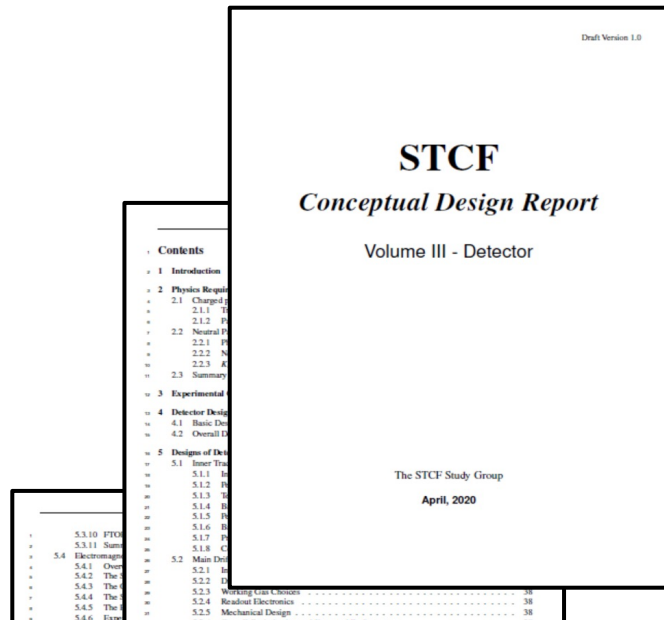
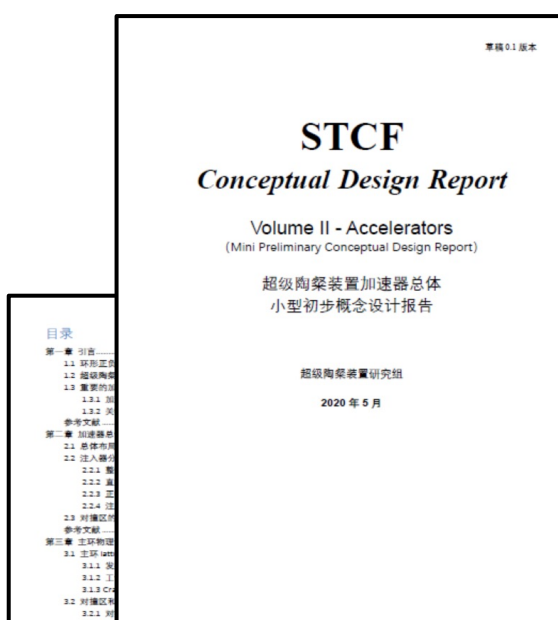
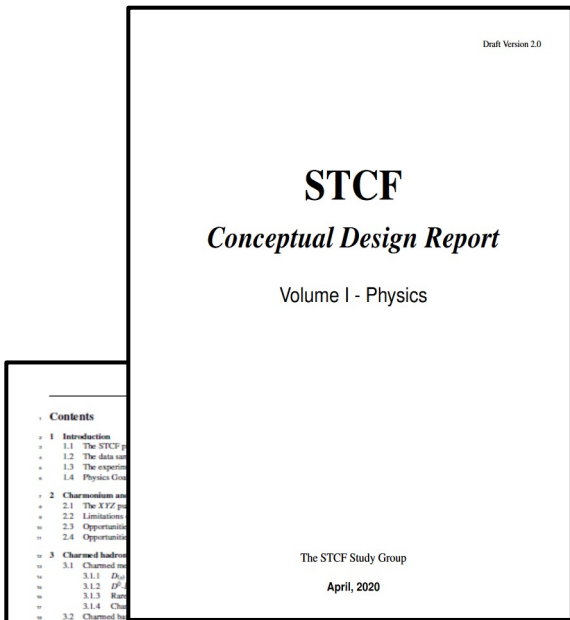
探测器、电子学系统：

- 最大TID: 50 Gy/y;
- 最大NIEL damage: 10^{11} n/cm²/y 级;
- 最大Counting rate: 10^9 Hz;
- 以 $L=10^{35}$ /cm²/s计，超过60%的效应来自亮度相关本底。



	RBB e [±]	RBB γ	Two photon process	Touschek effect	Coulomb Scattering	Bremsstrahlung
Cross section (mb)	2.99	2.99, n=0.3573	5.15	/	/	/
Luminosity	1×10^{35} /cm ² /s					
Particle rate (Hz)	5.98×10^8	1.07×10^8	1.03×10^9	1.12×10^9	2.09×10^8	2.1×10^6

概念性设计报告CDR



概念性设计报告正在同行评估中

路线与时间表及经费预算

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031-2040	2041-2042
成立合作组	■	■	■	■											
概念性设计报告	■	■	■	■											
技术设计报告	■	■	■	■	■	■	■								
工程建设							■	■	■	■	■	■	■		
调试与物理运行														■	
升级															■

- 质心能量: 2-7 GeV
- 亮度: $> 0.5 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- 具有进一步提升亮度和实现极化束流的潜力
- 双储存环: ~800 米, 注入器: ~300 米
- 预算: 预研~2.5亿, 建设~45 亿人民币
- 预研5年, 建设7年, 运行15年

STCF的应用

中国 GeV 能区正负电子加速器装置核心技术推广及应用

粒子物理研究比原子核更深层次的物质基本结构及其相互作用，涉及当代科学研究的最小尺度。基于加速器的粒子物理实验旨在实验室中模拟宇宙的早期状态，在高辐照背景、高计数率、大尺度范围、高密数据等极端条件下精确测量粒子对撞后末态产物相关的物理量，通常要求位置的测量精度小于百微米，时间分辨率小于十皮秒。为了达到实验目标，基于加速器的粒子物理实验广泛吸纳不同了领域的极端技术及方法，同时开展大量的新技术变革和原始创新。基于加速器粒子物理实验研究具有建设和运行周期长、经费投入高、实验规模大、综合产出丰富等特点，是多领域、多学科与多技术深度融合、全球合作的科学实验研究，其研究水平直接反映了一个国家乃至人类的经济、科学、技术和教育等综合实力。

约1万字

STCF的应用研究

◆ 多学科交叉研究平台延伸与发展

- ◆ 同步辐射光源(1 - 3.5 GeV); 强流正电子束; 自由电子激光;
- ◆ 先进射线探测和成像、高性能的电子学、计算机及网络

◆ 核心技术的研发及直接应用

- ◆ 专用集成电路(ASIC)设计; 医疗仪器; 射线成像; 海洋资源与环境探测装备; 空天辐射探测; 高端核仪器; 通用软件; 海量数据获取和人工智能

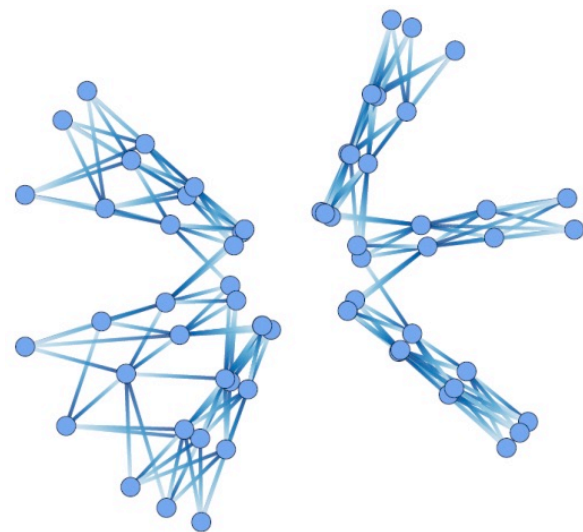
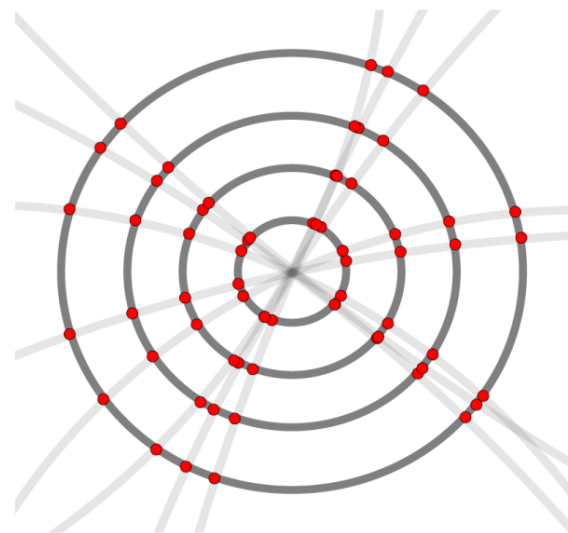
◆ 其他领域关键技术发展驱动

- ◆ 晶体材料需求; 我国精密数控加工技术提升; 低温超导技术;

大数据、深度学习领域的相关应用

粒子物理实验的数据特色

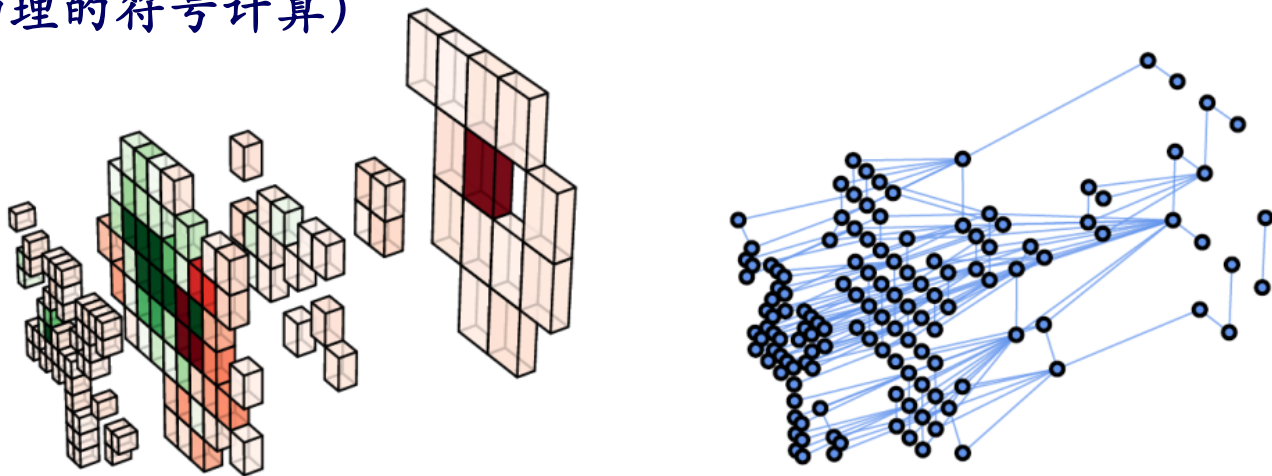
- ◆ 基于高频、海量对撞事例数据的快速模式识别 (pattern recognition)
 - ◆ 相当于每年获取超过 10^{12} 帧高维度图片
 - ◆ 深度学习数据处理工具：卷积神经网络、循环神经网络、图神经网络、决策树等
 - ◆ EB量级的数据（华为创新的存储解决方案解决了欧洲核子研究中心OpenLAB在研究过程中的EB级存储扩展等难题。）
- ◆ 充足且高纯度的标记 (Tagged) 数据样本
 - ◆ 实验上容易获得大于 10^6 准确标记的径迹和不同种类的粒子样本以及成熟的蒙特卡洛模拟技术产生满足需求的标记样本，为深度学习的提供独特的训练条件
- ◆ 规范的数据结构、标准的数据处理过程等
 - ◆ 利于构建结构化、模块化神经网络分层
- ◆ 高维的数据单元（像素）
 - ◆ 有利于二维图像识别算法向高维算法扩展的检验



深度机器学习背后的数学物理机制

粒子物理研究和深度机器学习研究的共同前沿

- ◆ 深度神经网络的参数**收敛机制** \Leftrightarrow 量子场论中的**对称性**，统计物理前沿
- ◆ 神经网络的**分层训练机制**研究：**结构化、模块化神经网络** \Leftrightarrow 粒子物理实验中规范的**数据结构**、标准的**模块化数据处理过程**
- ◆ 神经网络的小样本训练 \Leftrightarrow 机器学习所学到的模型与**符号逻辑**、知识系统相结合（理论物理的符号计算）



图神经网络 (GNN)

总结

- ◆ 陶粲能区具有独特性质和重大的科学发现潜力。超级陶-粲装置将使我国在该领域继续引领世界。
- ◆ 超级陶粲装置有重大的前沿科学问题和关键技术有待解决，对基础科学研究、高新技术推动以及人才培养等具有重要的科学意义和战略地位。
 - ◆ 为人才培养提供了一个非常理想的平台。
 - ◆ 在未来有利于在国内高校中维持和发展一支粒子物理实验研究的队伍。
- ◆ 组建国内外研究团队，正在开展可行性研究和概念性设计，准备开展关键技术预研，进展显著。
- ◆ STCF加速器、探测器技术预研工作对本领域的未来至关重要（可以与CEPC的预研技术共享）

正致力于开展超级陶粲装置概念性设计和预研，希望能够成为我国下一个基于加速器的国际合作大科学工程。

欢迎大家的参与！

谢谢！

Backup

北京正负电子对撞机已经运行了三十多年了，还能有多少物理潜力？

北京正负电子对撞机BESIII实验

Political Map of the World, November 2011

Home: <http://www.cern.ch/ftp/pub/publications/maps/publications>
Adaptation: por. Caldas

AUSTRALIA Independent state
Bermuda Dependency or area of special sovereignty
Sicily / AZORES Island / island group

Open 11/20/2011
Bismarck Region
Several possible 10/11/2011

Europe (16)

Germany(6): Bochum University,

GSI Darmstadt, Helmholtz Institute Mainz, Johannes Gutenberg

2008年：37个研究单位，~200成员，国外单位13个

2020年：74个研究单位，~500成员，国外单位29个

(每年都有新单位和人员加入，国内多所高校的实验物理研究方向得以长足发展。)

每年为本领域培养约20个粒子物理实验方向的博士

BESIII

~500 members

From 74 institutions in 15 countries

Huazhong Normal University, Huangshan College, Hunan University,
Hunan Normal University, Institute of High Energy Physics,
Institute of Modern Physics, Jilin University, Lanzhou University, Liaoning
Normal University, Liaoning University, Nanjing Normal University, Nanjing
University, Nankai University, North China Electric Power University,
Peking University, Qufu Normal University, Shanxi University,
Shanxi Normal University, Sichuan University, Shandong Normal University,
Shandong University, Shanghai Jiao Tong University, Soochow University,
South China Normal University, Southeast University, Sun Yat-sen University,
Tsinghua University, University of Chinese Academy of Sciences, University of
Jinan, University of Science and Technology of China,
University of Science and Technology Liaoning,
University of South China, Wuhan University, Xinyang Normal University,
Zhejiang University, Zhengzhou University

同行可能关注的问题

1. 北京正负电子对撞机已经运行了三十多年了，还能有多少物理潜力？
2. 既然BESIII实验上还有这么丰富的物理研究课题，为什么还要提出建造STCF？
3. STCF上潜在的**物理亮点**有哪些？
4. 项目如果十年后建成，未来与Belle II实验和LHCb实验的竞争性与互补性如何？
5. 项目推动的策略和路线图，经费和加速器、探测器预研进展情况如何？
6. 除了物理目标外，STCF上的应用研究、及对本领域的推动作用怎么样？
7. 潜在的建设选址？

BESIII 实验未来的研究潜力

arXiv:1912.05983v3 [hep-ex] 6 Apr 2020

Future Physics

BES

IHEP-Physics-Report

Published in Chinese Physics Letters

Abstract

There has recently been a dramatic renewal of interest in spectroscopy and charm physics. This renaissance has a plethora of charmonium-like XYZ states at the bottom of an intriguing proton-antiproton threshold $X(1835)$ meson state at BESIII, as well as the threshold charm baryons.

We present a detailed survey of the important physics that can be further explored at BESIII in its operation. This survey will help in the optimization of the experiment in the coming years, and provides physics motivation for higher luminosity.

Working Group

Part One: Introduction

Conveners: Mingyi Dong, E. Shengsen Sun,

Part Two: Light Hadron Physics

Conveners: Shuangshi Fang

Part Three: Charmonium Physics

Conveners: Wolfgang Kueh, Changzheng Yu

Part Four: R values, QCD and τ Physics

Conveners: Achim Denig, Rinaldo Baldini Ferroli, Xiaohu Mo, Christoph Florian Redmer, Karin Schoenning, Wenbiao Yan, Jianyong Zhang

Part Five: Charm Physics

Conveners: Hai-Bo Li, Jim Libby, Xiao-Rui Lyu, Hailong Ma, Hajime Muramatsu, Karin Schoenning

Part Six: Exotic Decays and New Physics

Conveners: Shenjian Chen, Alexey Petrov, Dayong Wang,

Part Seven: Summary

Conveners: Hai-Bo Li, Xiao-Rui Lyu, Xinchou Lou

Contents

Abstract

1 Introduction

- 1.1 Motivation
- 1.2 The BESIII detector and its upgrades
 - 1.2.1 Upgrade of ETOF
 - 1.2.2 Upgrade of Inner MDC with a CGEM
 - 1.2.3 Upgrade of Inner Chamber with an im
- 1.3 BEPCII upgrades

Bibliography

2 Light Hadron Physics

- 2.1 Introduction
- 2.2 Meson spectroscopy and the search for QCD ex
 - 2.2.1 Glueballs
 - 2.2.2 Hybrids
 - 2.2.3 Multiquarks
- 2.3 Baryon spectroscopy
- 2.4 BESIII amplitude analysis
- 2.5 Other physics opportunities
 - 2.5.1 Light meson decays
 - 2.5.2 Two photon physics
- 2.6 Prospects

Bibliography

3 Charmonium Physics

- 3.1 Introduction
- 3.2 Charmonium States Below Open Charm Thres
 - 3.2.1 The Theoretical Framework
 - 3.2.2 Results with the Current $\psi(3686)$ Data
 - 3.2.3 Prospects for the Charmonium Program
- 3.3 XYZ Physics
 - 3.3.1 Overview of BESIII Accomplishments
 - 3.3.2 Broad Problems in XYZ Physics

- 3.3.3 Possibilities for XYZ Data Taking 56
- 3.3.4 Comparisons with Other Experiments 59
- 3.4 Summary of Data Requirements 61

Bibliography

4 R values, QCD and τ Physics

- 4.1 Introduction
- 4.2 BESIII measurements related to R values
 - 4.2.1 The anomalous magnetic moment of the muon
 - 4.2.2 The running of the electromagnetic coupling
 - 4.2.3 Measurement of exclusive R values
 - 4.2.4 Inclusive R scan data
 - 4.2.5 Measurements of meson production
- 4.3 Baryon form factors
 - 4.3.1 Formalism
 - 4.3.2 State of the art
 - 4.3.3 Prospects with BESIII
- 4.4 Fragmentation function
- 4.5 τ physics at BESIII
 - 4.5.1 Measurement of the τ branching ratio
 - 4.5.2 Some τ -physics topics
 - 4.5.3 Measurement of branching ratios
 - 4.5.4 Mass measurement of τ leptons
 - 4.5.5 Discussion
- 4.6 Relative phase in vector charm meson decays
- 4.7 Study of $\phi(2170)$ with the BESIII detector
- 4.8 Prospects

Bibliography

5 Charm physics

- 5.1 Introduction
- 5.2 $D^{0(*)}$ and D_s^{*+} physics
 - 5.2.1 Leptonic decays
 - 5.2.2 Semileptonic decays
 - 5.2.3 Quantum-correlated decays
 - 5.2.4 Impact on CKM measurements
 - 5.2.5 CP violation and D mesons
 - 5.2.6 CPT violation in charm meson decays
 - 5.2.7 Absolute measurements of $|V_{cs}|$
- 5.3 Charmed baryons
 - 5.3.1 Λ_c^+ physics 141
 - 5.3.2 Prospects in Λ_c^+ physics 142
 - 5.3.3 Σ_c and Ξ_c physics 144
 - 5.3.4 The EM structure of charmed baryons 145

5.4 Summary 147

Bibliography

6 Exotic Decays and New Physics

- 6.1 Introduction 155
- 6.2 Rare decays of charmonia and charmed hadrons 156
 - 6.2.1 Weak decays of charmonia states 156
 - 6.2.2 Rare radiative and rare leptonic $D_{(s)}$ decays 158
- 6.3 Symmetry test in hyperon decays 161
 - 6.3.1 Probing CP asymmetry in hyperon decays 162
 - 6.3.2 Constraint on BNV from $\Lambda - \bar{\Lambda}$ oscillation 166
 - 6.3.3 More symmetry violation in hyperon decays 167
- 6.4 Charged Lepton Flavor (Number) Violation decays 168
 - 6.4.1 Decays of $J/\psi, \psi(3686) \rightarrow l_1 l_2, l_1 l_2 \gamma$ 170
 - 6.4.2 $\chi_c(\eta_c) \rightarrow l_1 l_2$ via photon tagging in $\psi(3686) \rightarrow \gamma \chi_c(\eta_c)$ 173
 - 6.4.3 (radiative) Leptonic decays of $D^0 \rightarrow l_1 l_2, \gamma l_1 l_2$ 174
 - 6.4.4 CLFV and LNV $D_{(s)}$ decays with light mesons 175
- 6.5 Searches for light (invisible) NP particles 175
 - 6.5.1 Physics of the Dark Sector 175
 - 6.5.2 (radiative) Invisible decays of charmonia 178
 - 6.5.3 Invisible decays of D mesons 178
 - 6.5.4 Invisible decays of light mesons 179
- 6.6 Off-resonance searches 179
 - 6.6.1 Rare charm production: $e^+e^- \rightarrow D^*(2007)$ 180
 - 6.6.2 Dark photon and dark Higgs searches 181
 - 6.6.3 Axion-Like particles 182
 - 6.6.4 Searches for fractionally charged particles 182

Bibliography

7 Summary

Bibliography 193

Bibliography

Acknowledgements 197

丰富且具有挑战性的研究课题
引领当前国际上陶粲能区物理研究

BEPCII/BESIII 实验的局限性

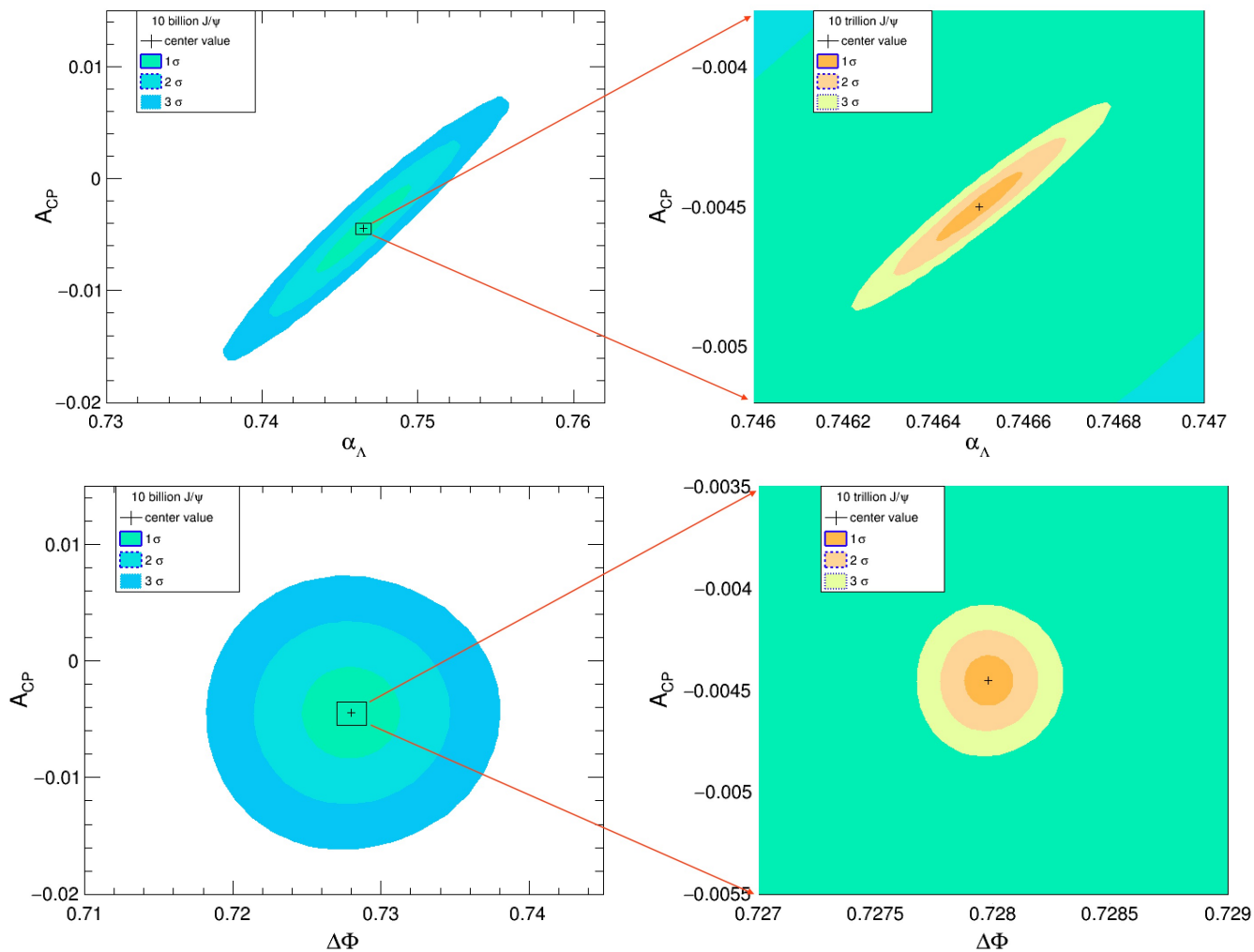
- ◆ BEPCII/BESIII 装置已经运行13年了（硬件设备设计寿命有限）；
- ◆ 现有储存环隧道长度和空间限制了BEPCII的进一步亮度升级（亮度难以有量级上的提升）；
- ◆ 陶粲能区很多具有挑战性的课题需要统计量量级上的提升，以及更高的对撞质心系能量；
- ◆ 来自Super-KEKB/Belle II实验的挑战（设计对撞亮度比KEKB提升了40倍 \Rightarrow ISR数据潜在挑战BESIII阈值产生的统计量）

建造超级陶粲装置（STCF）是BEPCII/BESIII的自然延伸，是我国未来粒子物理研究加速器基地的之一。

A_{CP} Sensitivities in STCF

- ◆ **3.4 trillion J/ψ events $\Rightarrow \Delta A_{CP} \sim 10^{-4}$**
 - ◆ One year data taking
 - ◆ Luminosity optimized at J/ψ resonance
 - ◆ Luminosity of STCF: $\times 100$
 - ◆ 1 year data taking
 - ◆ No polarization beams are needed
- ◆ **Challenge: Systematics control**
- ◆ **Full simulation results are necessary!**
- ◆ **Beam energy trick \Rightarrow Monochromatic collision (small beam energy spread) $\Rightarrow J/\psi$ cross-section: $\times 10 \Rightarrow \Delta A_{CP} \sim 10^{-5}$?**

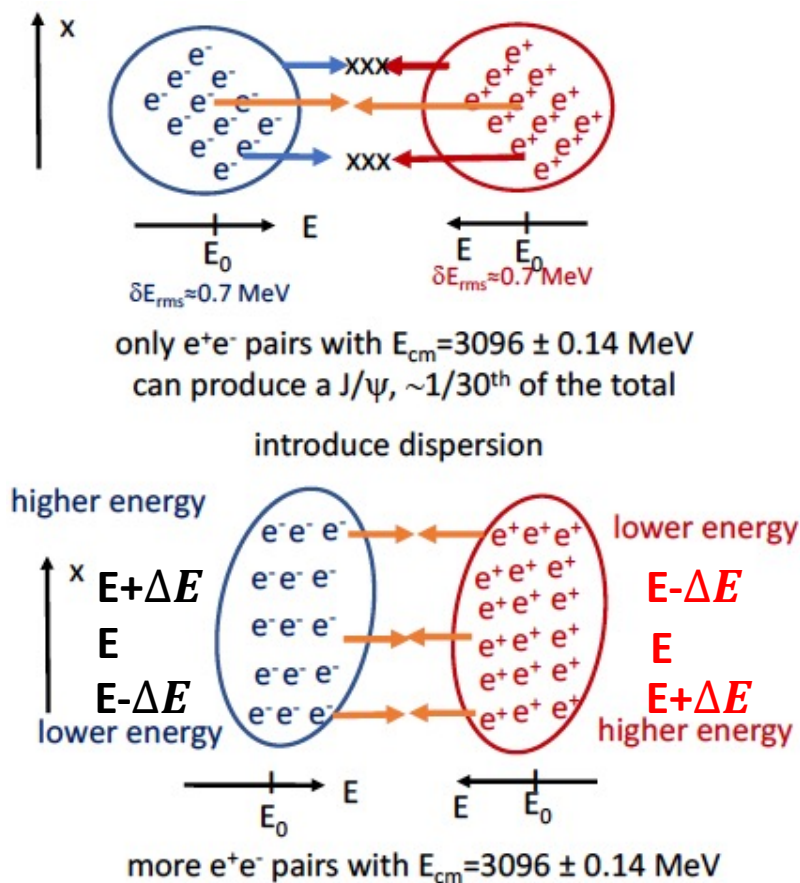
CPV in Hyperon Decays



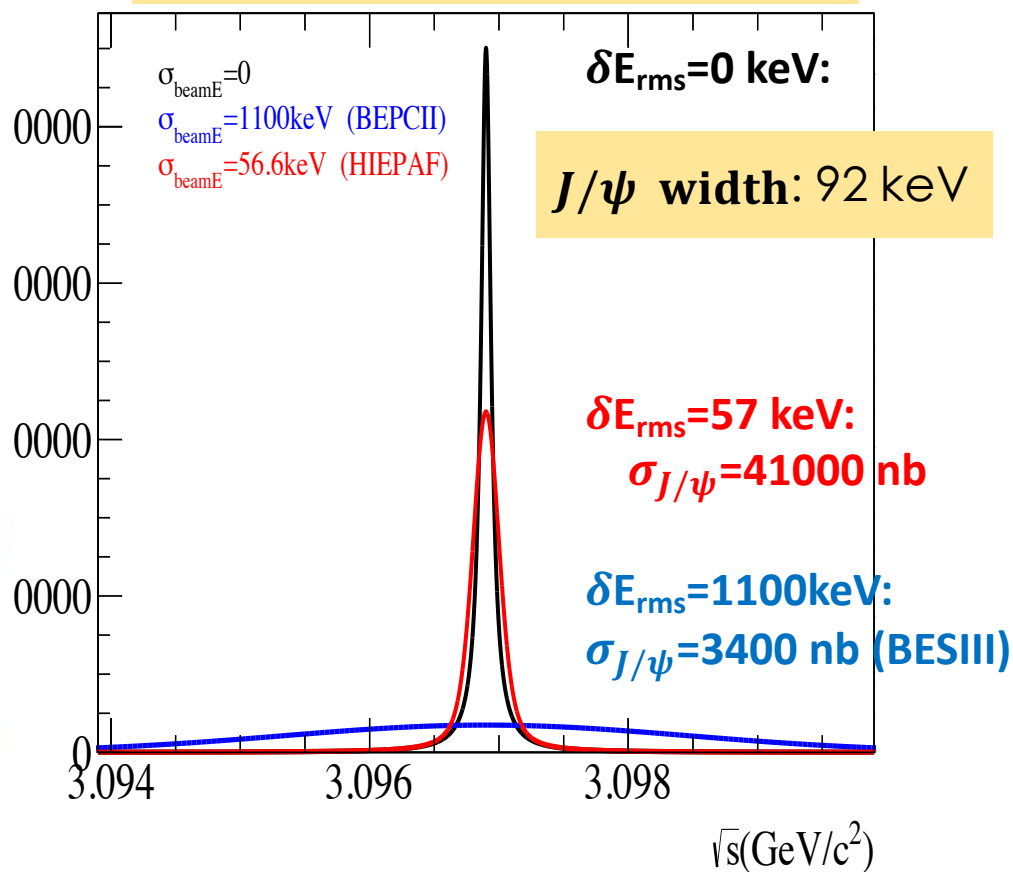
$$A_{CP} = ?? \pm 0.012 \pm 0.007$$

BESIII: 1.3 billion result

挑战单色对撞



J/ψ production cross-section



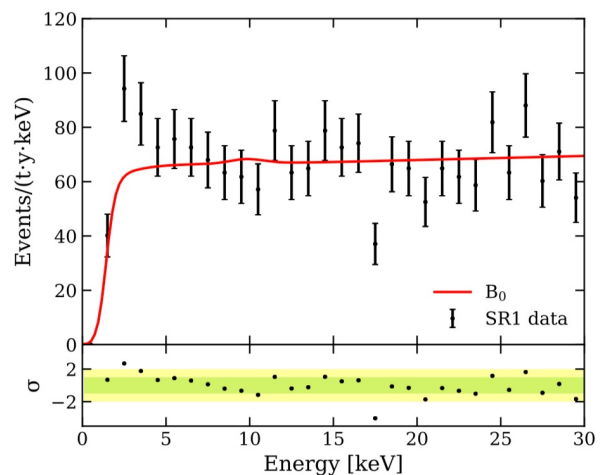
Alexander Zholents CERN SL/92-27/AP

Xiaoshuai Qin

在保证高亮度对撞的条件下实现单色对撞，非常具有挑战性！

亮点举例：低质量类轴子寻找

XENON1T
arXiv: 2006.09721



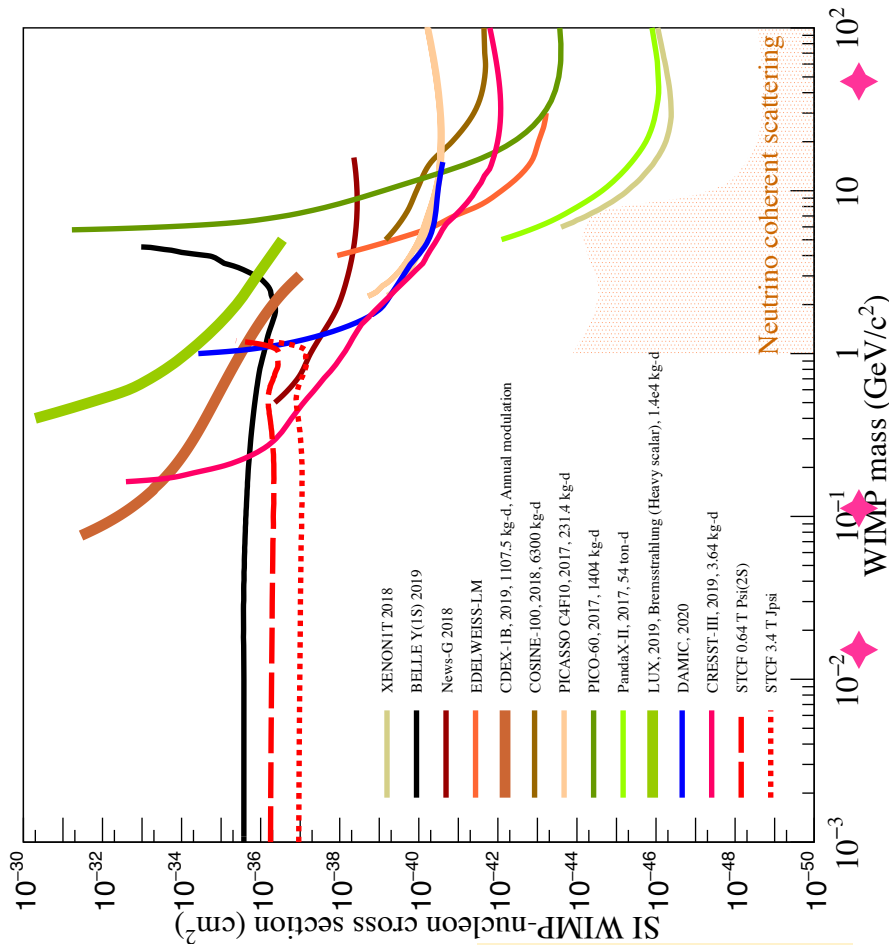
低能区超出 \Rightarrow 搜寻轴子的新一轮热点

低能区暗物质粒子搜寻现状

- ◆ 对撞机实验：大统计量实验（由标准模型粒子生成暗物质粒子）
- ◆ 低能区对撞机实验
 - ◆ 对象：低质量暗物质候选粒子(类轴子)
 - ◆ 正负电子对撞 \Rightarrow 丰富的运动学约束 \Rightarrow 寻找invisible衰变
 - ◆ 优势：统计量大、本底极低
 - ◆ 其他几类实验的必要补充

	分支比上限 (90% CL)	实验组
$\Upsilon(1S) \rightarrow \gamma + \text{invisible}$	$< 10^{-4} \sim 10^{-7}$	BaBar ^[PRL107, 021804 (2011)]
$\Upsilon(1S) \rightarrow \gamma + \text{invisible}$	$< 10^{-4} \sim 10^{-7}$	Belle ^[PRL122, 011801 (2019)]
$J/\psi \rightarrow \gamma + \text{invisible}$	$< 7.0 \times 10^{-7}$	BESIII ^[PRD101, 112005 (2020)]
$J/\psi \rightarrow \text{invisible}$	$< 7.2 \times 10^{-4}$	BES ^[PRL100, 192001 (2008)]
$\phi \rightarrow \text{invisible}$	$< 1.7 \times 10^{-4}$	BESIII ^[PRD98, 032001 (2018)]
$\omega \rightarrow \text{invisible}$	$< 7.3 \times 10^{-5}$	BESIII ^[PRD98, 032001 (2018)]
$\eta' \rightarrow \text{invisible}$	$< 5.2 \times 10^{-4}$	BESIII ^[PRD87, 012009 (2013)]
$\eta \rightarrow \text{invisible}$	$< 1.0 \times 10^{-4}$	BESIII ^[PRD87, 012009 (2013)]
$B^0 \rightarrow \text{invisible}$	$< 2.4 \times 10^{-5}$	BaBar ^[PRD86, 051105 (2012)]

WIMP与普通物质相互作用截面(SI)



◆ STCF的排除限（由分支比测量上限导出）

- ◆ 3.4 trillion $J/\psi \rightarrow \gamma A^0 \rightarrow \gamma \chi \chi$
- ◆ 0.64 trillion $\psi(2S) \rightarrow \pi \pi J/\psi, J/\psi \rightarrow \gamma A^0 \rightarrow \gamma \chi \chi$
- ◆ 估算基于BESIII在2020年发表的PRD101, 112005的结果，其过程为 $\psi(2S) \rightarrow \pi \pi J/\psi, J/\psi \rightarrow \gamma A^0 \rightarrow \gamma \chi \chi$ ；

Belle的数据来自PRL122, 011801，通过软件从该文的Fig.3上面抠出来的；

◆ 其他实验的数据来自SLAC网站
（<https://supercdms.slac.stanford.edu>）
下载的

Dark_Matter_limit_plotter.cdf文件；

注：粗略估算，只有数量级的意义

Mingang Zhao

STCF上的粲强子研究

- CLEOc: USD 99M, 对撞质心系由B能区降到陶粲能区, 专门研究粲强子物理 \Rightarrow 非微扰QCD + 新物理寻找
- LHCb: huge x-sec, boost, 9fb^{-1} now (x40 current B factories)
- B-factories (Belle(-II), BaBar): more kinematic constrains, clean environment, $\sim 100\%$ trigger efficiency
- τ -charm factory : Low backgrounds and high efficiency, Quantum correlations and CP-tagging are unique
- STCF :
 - 4×10^9 pairs of $D^{\pm,0}$ and $10^8 D_s$ pairs per year
 - 10^{10} charm from Belle II/year
 - Highlighted Physics programs
 - Precise measurement of (semi-)leptonic decay (f_D , f_{D_s} , CKM matrix...)
 - $D^0 - \bar{D}^0$ mixing, CPV
 - Rear decay (FCNC, LFV, LNV....)
 - Excite charm meson states D_J , $D_s J$ (mass, width, JPC, decay modes)
 - Charmed baryons (J^{PC} , Decay modes, absolute BF)
 - Light meson and hyperon spectroscopy studied in charmed hadron decays

Higgs粒子发现后的研究热点

- ◆ 寻找超出标准模型的新物理现象
- ◆ 对现有标准模型进一步修补与完善

STCF将挑战CP破缺、核子内部结构、非微扰强相互作用、新型强子态和新物理等重大前沿科学问题

提纲

- ◆ 潜在物理亮点
- ◆ 预研经费的申请情况
- ◆ 加速器、探测器关键技术预研进展及亮点
- ◆ 国内和国际合作情况
- ◆ 推动策略及路线
- ◆ 选址的初步考虑
- ◆ 总结

Global Analysis on Collins FF

Anselmino et al., PRD 87, 094019 (2013)

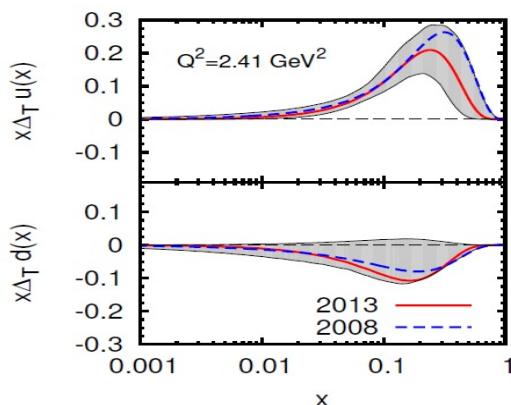
◆ The Q^2 evolution of Collins FFs was assumed following the extrapolation in the unpolarized FF, and this has not been validated.

◆ Low Q^2 data from e^+e^- collider is useful.

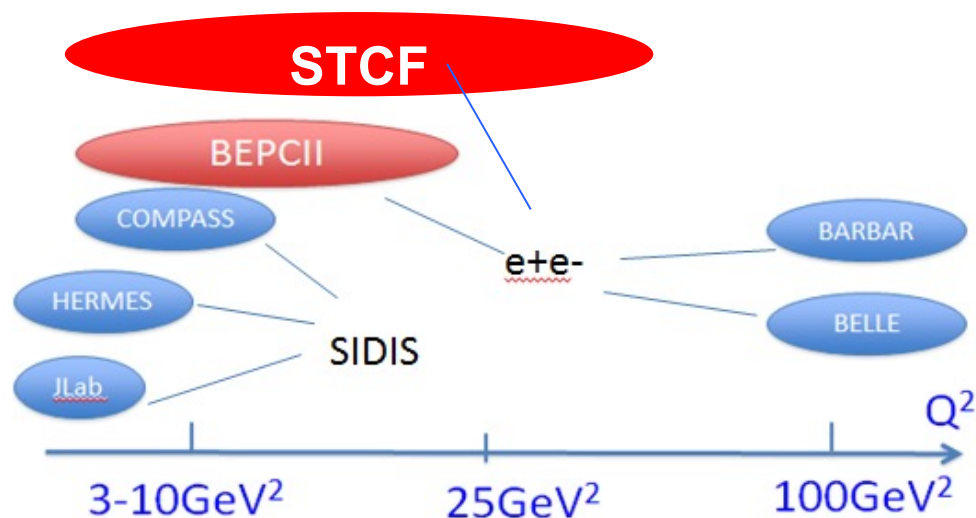
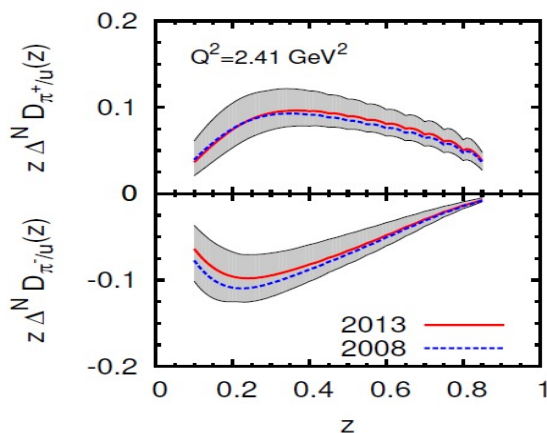
◆ BEPCII / STCF

◆ Similar Q^2 coverage with SIDIS in EicC

Transversity

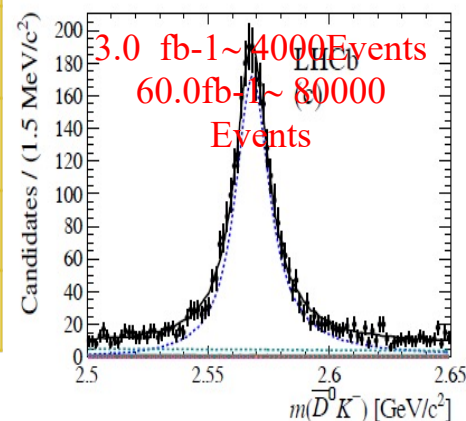
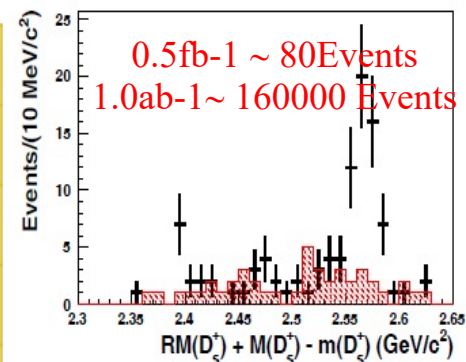


Collins pion



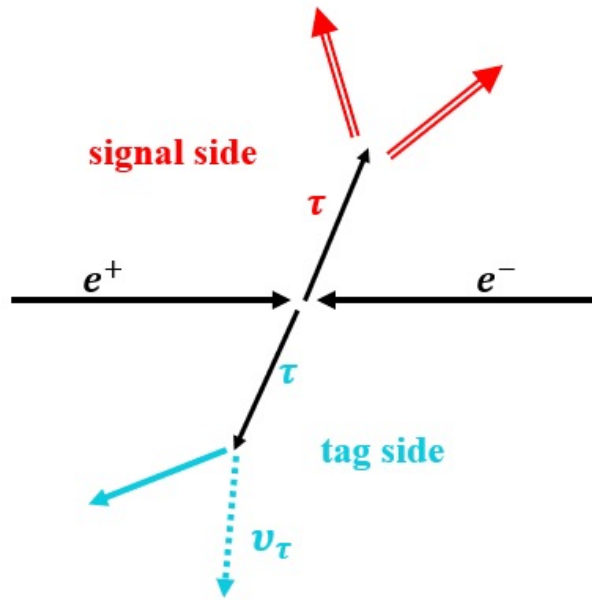
STCF上的粲强子研究

	STCF	Belle(-II)	LHCb
Production yields	★★	★★★★	★★★★★
Background level	★★★★★	★★	★★
Systematic error	★★★★★	★★★	★★
Completeness	★★★★★	★★★	★
(Semi)-Leptonic mode	★★★★★	★★★	★
Neutron/ K_L mode	★★★★★	★★	☆
Photon-involved	★★★★★	★★★★★	☆
Absolute measurement	★★★★★	★★★	☆



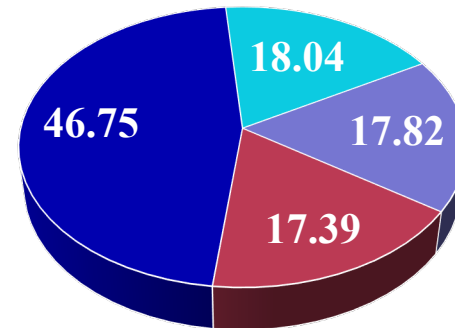
- Most are **precision** measurements, which are mostly dominant by the **systematic** uncertainty
- STCF has **overall advantages** in several studies

LFV: Studies of τ decays at STCF



- Precisely known kinematics of initial state
- Full reconstruction of signal side
- Neutrino in tag side is missing

■ electronic ■ muonic ■ pionic 1-prong ■ others



Channel 1:

signal side $\tau \rightarrow \gamma\mu$

tag side $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}, \pi\nu, \pi\nu\pi^0$ (total branching fraction $\approx 54\%$)

$$\text{STCF: } \mathcal{B}_{UL}^{90}(\tau \rightarrow \gamma\mu) < \frac{N_{UL}^{90}}{2\epsilon N_{\tau\tau}} \sim 1.2 \times 10^{-8}$$

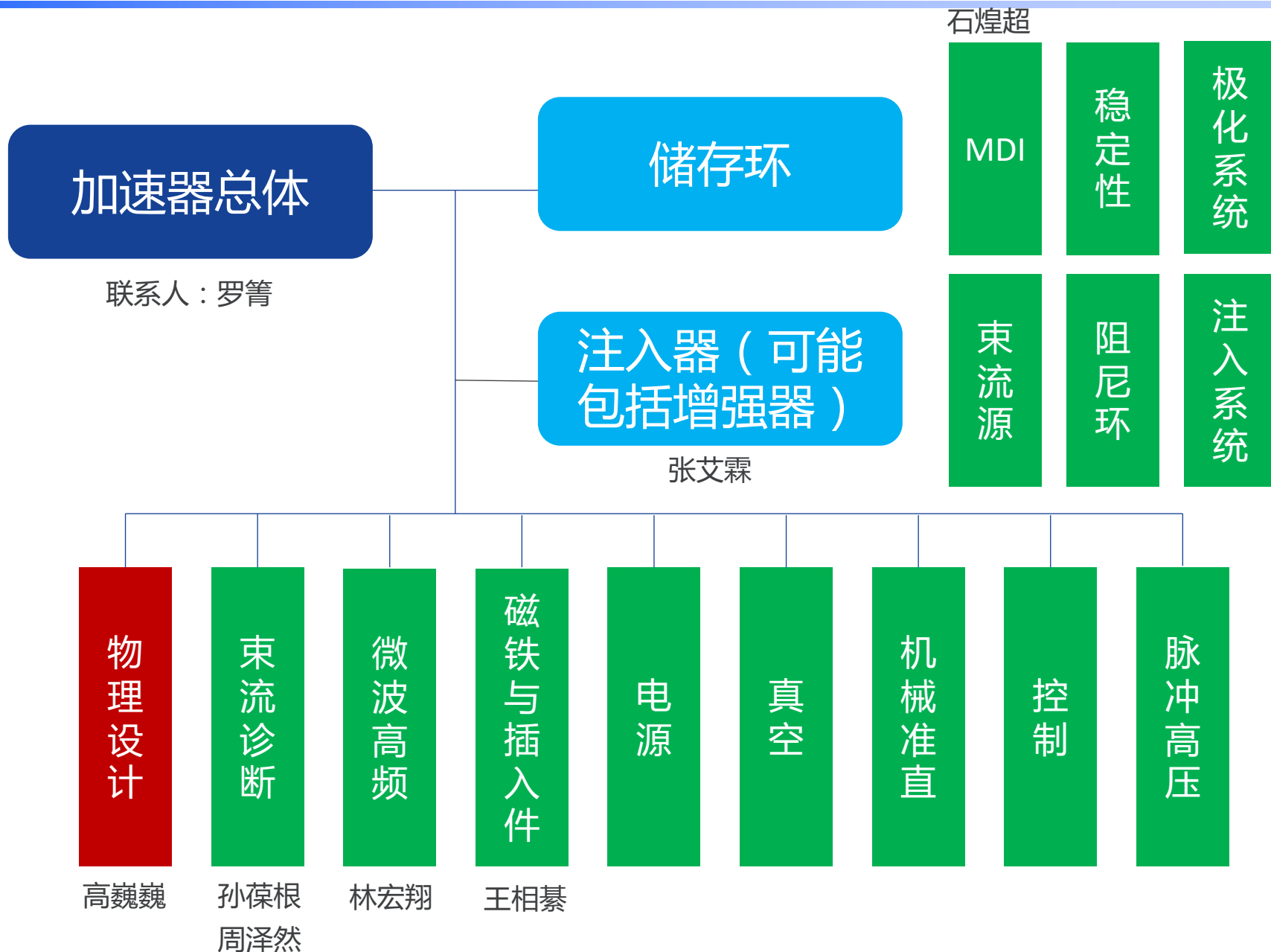
Channel 2:

signal side $\tau \rightarrow lll$ ($e^+e^-e^-, \mu^+\mu^-\mu^-, e^+e^-\mu^-, \mu^+\mu^-e^-, \mu^+e^-e^-, e^+\mu^-\mu^-$)

tag side $\tau \rightarrow e\nu\bar{\nu}, \mu\nu\bar{\nu}, \pi\nu + n\pi^0$ (total branching fraction $\approx 82\%$)

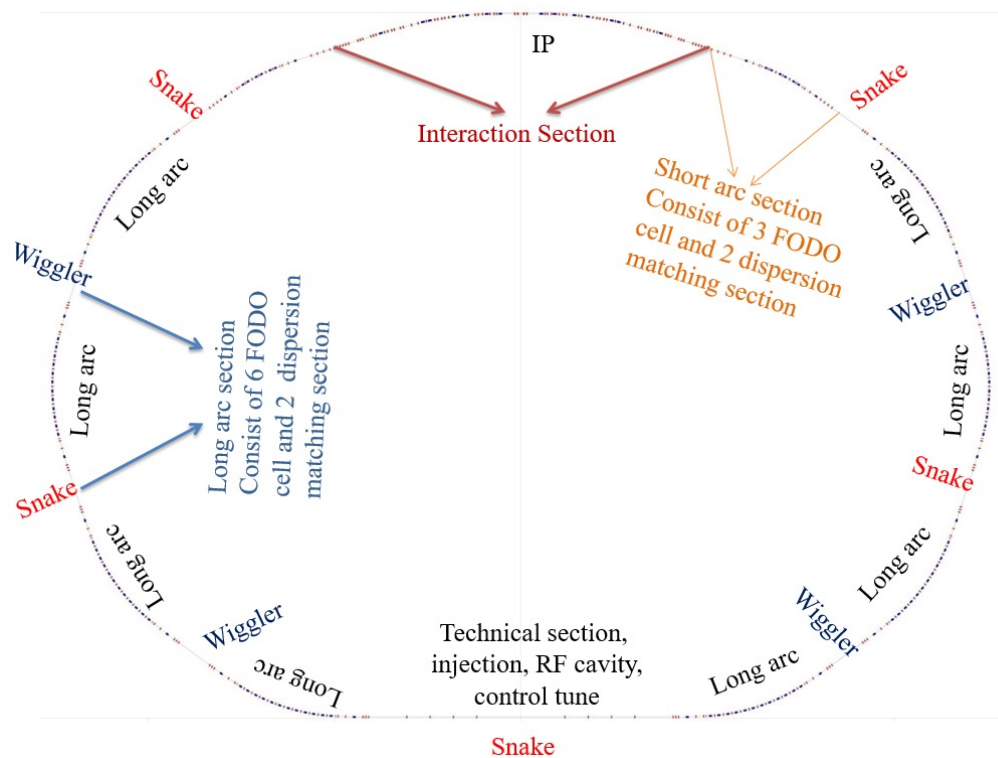
$$\text{STCF: } \mathcal{B}_{UL}^{90}(\tau \rightarrow 3l) < \frac{N_{UL}^{90}}{2\epsilon N_{\tau\tau}} \sim 1.4 \times 10^{-9}$$

加速器总体架构



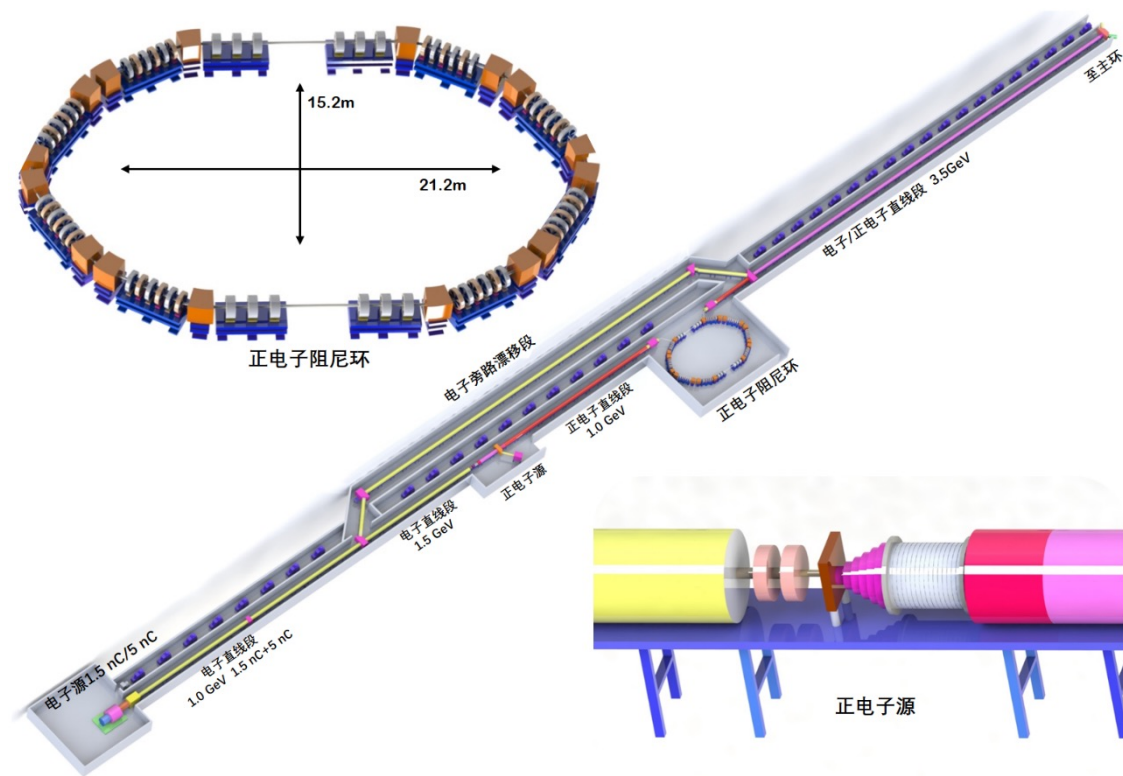
加速器储存环初步线性lattice设计结果

参数	数值
周长/m	707.258
束流能量/GeV	2, 1-3.5可调
对撞角(2θ)/mrad	60
流强/A	1.5
对撞点 β 函数(β_x^*/β_y^*)/mm	64.1/0.638
发射度($\varepsilon_x/\varepsilon_y$)/nm·rad	2.85/0.0285
工作点 ν_x/ν_y	30.523 / 28.538
自然色品(C_x/C_y)	-95.291/-346.239
动量紧缩因子	1.237×10^{-3}
自然能散	4.034×10^{-4}
单圈同步辐射损失/keV	78.4
对撞点束团尺寸(σ_x/σ_y)/ μm	13.61/1.39
垂直方向束-束频移 ξ_y	0.04-0.06 (估计)
Hourglass效应因数	0.8 (估计)
Luminosity/ $\times 10^{35}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	0.63-0.95



- ◆ 双环对称
- ◆ Large Piwinski Angle+Crabbed Waist
- ◆ 发射度nm级
- ◆ 考虑长直线节留给西伯利亚蛇等
- ◆ 超导直线加速器3.5GeV满能量注入

STCF 直线注入器设计



◆ 采用单脉冲双束团的注入方式，其中：**1.0GeV**、**1.5nC**的电子束经旁路用于电子注入；**5nC**电子束打靶产生正电子，为获得更高的正电子产额，打靶电子的能量设为**1.5GeV**。

◆ 这样的设计能够有效减少加速器的建造成本，同时还方便未来正负电子束的极化升级改造。

项目推动的策略和路线图，经费和加速器、探测器预研进展情况？

中国高能物理学会共识

中国高能物理学会网页：<http://www.ihep.cas.cn/xh/gnwlxh/zxdt/>

高能物理分会

主页 分会简介 最新动态 组织机构 学术交流 会员单位 科普园地 招聘信息

Welcome to High Energy Physics Association of China

当前位置：最新动态 > 中国物理学会高能物理分会关于基于加速器的中国高能物理未来发展的意见

中国物理学会高能物理分会关于基于加速器的中国高能物理未来发展的意见

中国物理学会高能物理分会第九届常务委员会第四次（扩大）会议

中国物理学会高能物理分会

关于基于加速器的

2016年8月20日至21日，中国物理学会高能物理分会在清华大学召开。2016年8月24日，中国物理学会高能物理分会在清华大学召开。2016年8月24日，中国物理学会高能物理分会在清华大学召开。

中国高能物理未来发展的可能途径。委员会对它们的前沿科学问题、技术先进性及在国际上的地位进行了广泛讨论。认为CEPC是我国未来高能加速器物理发展的首选项目。我国高能物理应该以CEPC作为发展战略目标，积极争取成为中国发起的国际大科学工程。在实现这一战略目标的过程中，要充分发挥和利用现有的BEPC的作用（包括升级改造及在该能区进一步发展），布置力量在高能量和高亮度前沿开展相关的预研究，培养和储备科研力量，掌握关键核心技术。在兼顾Higgs和Z工厂物理目标的前提下优化CEPC加速器和探测器的设计。高能物理分会将尽快组织制定基于加速器的中国高能物理发展路线图。

高能物理学界将同心协力，分工合作，全力以赴，推动我国高能物理的持续发展。

中国物理学会高能物理分会

2016年9月12日

中国物理学会高能物理分会

第十届委员会常务委员会第三次会议纪要

[2019] 002

2019年3月1日

高能所主楼A

王贻芳

论报告框架中

过与会人员

1. 大家一致

战略规划条件，这也符合

CEPC是我国未来高能加速

发起的国际大科学工程

CEPC。

2. 大家一致同意支持

但是作为我国高能实验物理在高亮度前沿的布局，积极开展项目预研是很有必要的，特别是该项目应该和BEPCII的升级改造相结合，充分挖掘其丰富的物理内容。建议由科大和国科大联合申请科学院先导B，或申请科技部的重点研发计划来支持STCF的预研。

布置在高能量前沿和高亮度前沿开展相关的预研究工作..

作为我国高能物理在高亮度前沿布局，积极开展项目预研很有必要

该领域有重大科学问题有待研究，我国在物理研究、技术储备、人才队伍等都具有优势，应该继续在国际上保持领先地位。

国际高能物理领域共识

鉴于在该领域的**研究水平**、**技术储备**、**人才队伍**以及**国际地位**，**中国**是公认在国际上建设STCF**最理想场所**。

- 中国科学技术大学
- 清华大学
- 北京大学
- 上海交通大学
- 复旦大学
- 山东大学
- 浙江大学
- 南京大学
- 南京师大
- 南开大学
- 中山大学
- 高能物理研究所
- 兰州近代物理所
- 合肥物质研究院
- 合肥同步辐射国家实验室
- 西安光机所
- 中国科学院大学
- 南华大学
- 北京航空航天大学
- 湖南大学
- 湖南师大
- 四川大学
- 河南师大
- 河南科技大学
- 辽宁大学
- 广西大学
- 广西师大
- 兰州大学
- 香港大学
- 香港中文大学
- 黄山学院
- 武汉大学
- 华中师大
- Institute for Basic Science, Daejeon, [Korea](#)
- T. Shevchenko National University of Kyiv, [Ukraine](#)
- University Ljubljana and Jozef Stefan Institute Ljubljana, [Slovenia](#)
- Jozef Stefan Institute Ljubljana, [Slovenia](#)
- University of Silesia, Katowice, [Poland](#)
- Dubna, [Russia](#)
- Budker Institute and Novosibirsk University, [Russia](#)
- Stanford University, [USA](#)
- Wayne State University, [USA](#)
- Carnegie Mellon University, [USA](#)
- GSI Darmstadt and Goethe University Frankfurt, [Germany](#)
- Goethe University Frankfurt, [Germany](#)
- GSI Darmstadt, [Germany](#)
- Johannes Gutenberg University Mainz, [Germany](#)
- Helmholtz Institute Mainz, [Germany](#)
- LAL (IN2P3/CNRS and Paris-Sud University), Orsay, [France](#)
- Sezione di Ferrara, [Italy](#)
- L'Istituto di Fisica Nucleare di Torino, [Italy](#)
- L'Istituto di Fisica Nucleare di Firenze, [Italy](#)
- Scuola Normale Superiore, Pisa, [Italy](#)
- Laboratori Nazionali di Frascati, [Italy](#)
- INFN, Padova, [Italy](#)
- University of Pavia, Pavia, [Italy](#)
- University of Parma, [Italy](#)

➤ **超过50个**国内外大学和研究所意愿参与预研与建设
(欧洲：20个，美国：3个)

STCF项目形成



国家实验室，主要研究方向束流物理与加速器技术。



我国唯一以研究核探测技术与核电子学的国家重点实验室。

组织协调平台

1. 基本粒子与相互作用协同创新中心（筹）
2. 粒子科学与技术研究中心

从2013年起，受中国高能物理学会委托，中国科学技术大学牵头组织国内外的研究单位开展可行性研究和概念性设计工作。

□ 多次的国内外会议、香山会议，开展科学问题与关键技术探讨与共识

□ 项目推动：

- 向中科大学术委员会和校长汇报
- 向地方政府、中国科学院、科技部相关领导汇报

项目的启动



直接参与

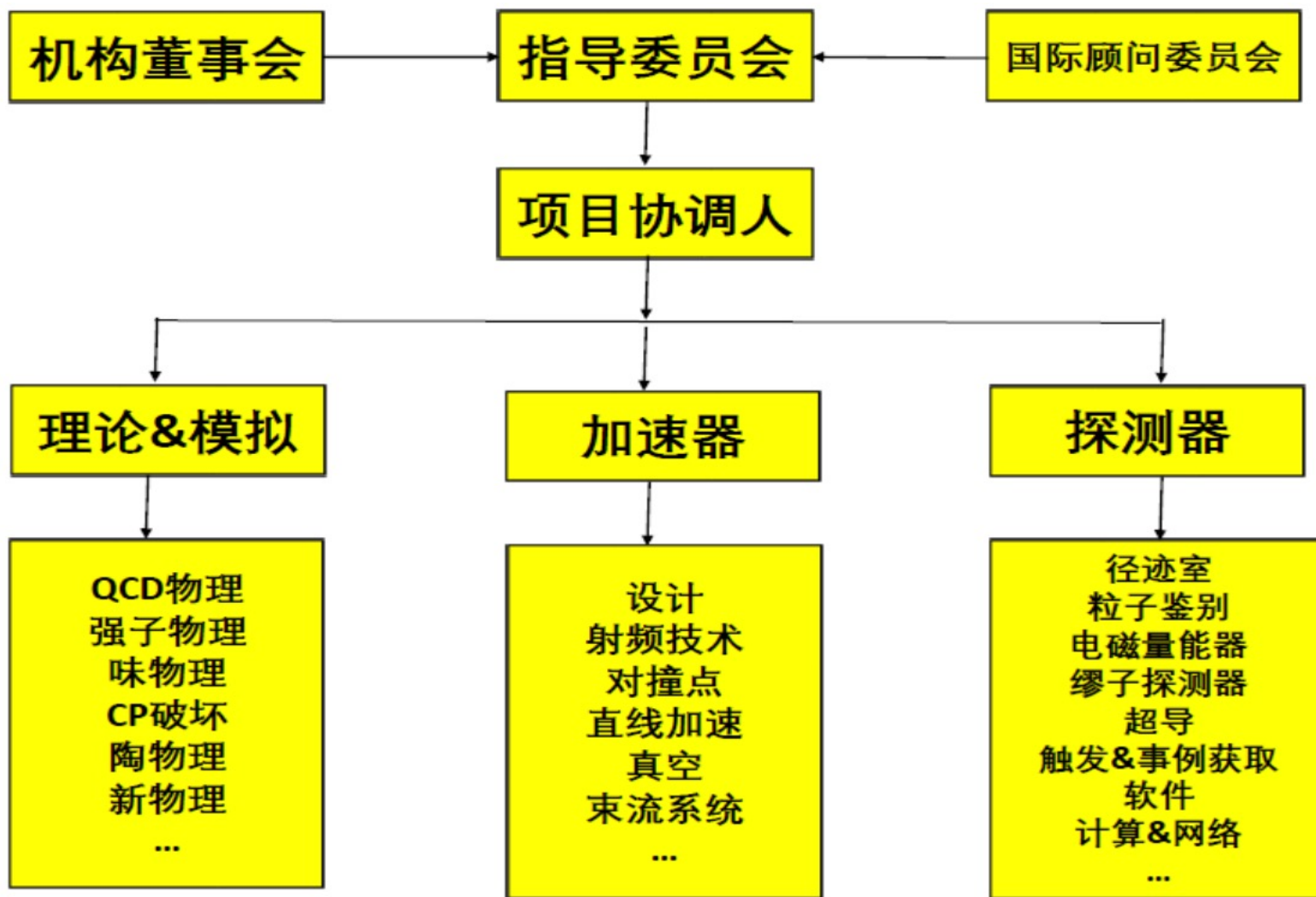
中国科学技术大学
中国科学院大学
中科院高能物理所
中科院理论物理所
中科院近代物理所
山东大学
福建工程学院
复旦大学
北京大学
南华大学
上海交通大学
南开大学
南京大学
辽宁大学
中山大学
武汉大学
北京师范大学
惠州学院

2018年3月份，中科大校学术委员会批准，支持启动经费1000+500万元，以合肥同步辐射实验室、核探测与核电子学国家重点实验室为基地，牵头组织国内外感兴趣的研究单位开展可行性研究和概念性设计。

CDR → TDR → 申请立项 → 工程建设 → 物理运行 → 升级
目标：7年内完成概念性设计报告(CDR)和技术预研报告(TDR)

项目组织

国际惯例，成立国际大科学工程**组织架构**



研究工作的活跃程度

一个项目的活跃程度可以参考indico上的会议次数

High Luminosity Tau Charm Physics

Indico for High Luminosity Tau Charm Physics R&D

会议次数

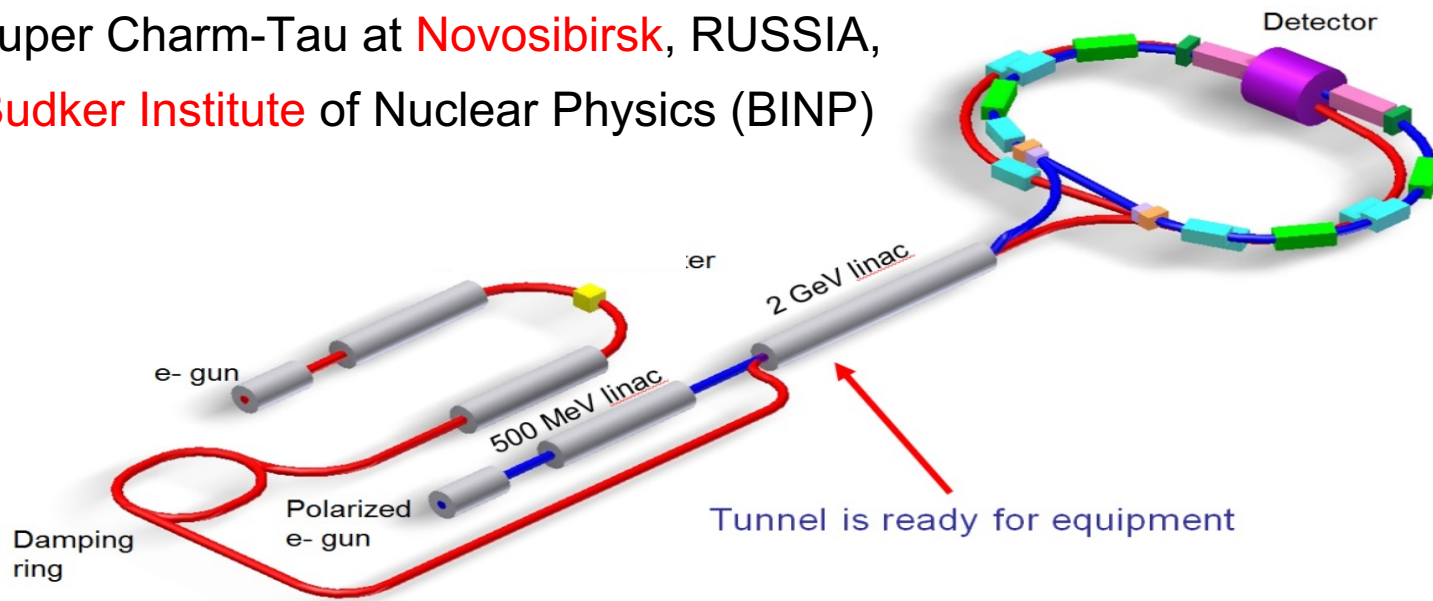
STCF Steering Committee	1 event	🛡️	➡️
STCF Accelerator	71 events	🛡️	➡️
STCF Physics	24 events		➡️
STCF Detector	250 events	🛡️	➡️
STCF Accelerator-Detector Joint meetings	9 events	🛡️	➡️

各课题组按计划开展研究工作，固定周会，每两个月项目联合会

国际合作



Super Charm-Tau at **Novosibirsk**, RUSSIA,
Budker Institute of Nuclear Physics (BINP)



- ❑ **俄罗斯**在STCF项目上有很长的历史，做了**大量的预研**工作
- ❑ 经过多次磋商，**初步达成部分关键技术预研和人才培养**的协议
- ❑ 科大与BINP**联合月会**，讨论和交流研究进展
- ❑ 巴黎联合研讨会成立项目的**国际咨询委员会**(28名成员、13个国家)

国际合作

➤ 俄罗斯BINP和新西伯利亚国立技术大学:

- 在**Super Charm-Tau**项目上有很长的历史,做了大量的**预研**工作
- 初步达成部分**关键技术攻关**和**人才培养**的协议
- **联合月会**(网络), 讨论和交流概念设计和关键技术研究



➤ 法国直线加速器实验室(LAL):

- FTOF关键技术联合攻关



➤ 意大利Frascati国家实验室:

- 微结构探测器关键技术、加速器物理研究



➤ 日本KEK研究所:

- 加速器物理及本底研究

➤ 德国美因茨大学(Johannes Gutenberg University of Mainz)

、瑞典乌普萨拉大学 (Uppsala) :

- 物理研究



JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ



UPPSALA
UNIVERSITET

国际合作

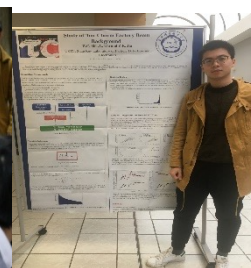
➤ 中国、俄罗斯和欧洲多边**定期联合研讨会**

- 2015 合肥(1月)
- 2018 北京(3月)、新西伯利亚(5月)、巴黎(12月)
- 2019 莫斯科(9月)
- 2020 广州(11月)



➤ 相关国际**会议**:

- International Workshop on Charm physics
- Conference on Flavor Physics and CP violation
- International workshop on Tau lepton Physics
- Gordon Research Conference
-



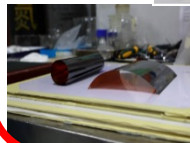
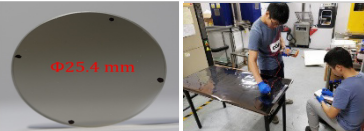
➤ 频繁的人员互访



多领域联合技术攻关

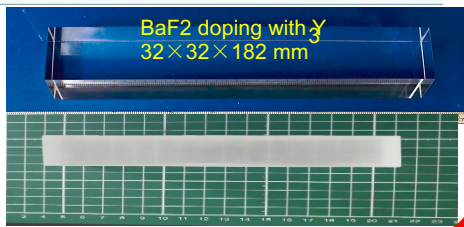
项目需求为驱动力，推动国内外多领域的关键技术联合攻关

中科院兰州化学物理所



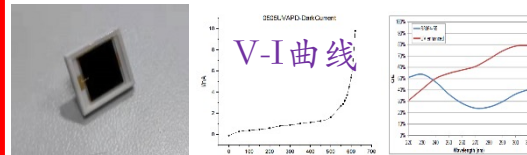
- DLC阻性电极基材的制备
- 新型光阴极的研制
- 大面积阻性THGEM制备
- 大面积阻性电极的制备

SICCAS 中国科学院上海硅酸盐研究所
Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences



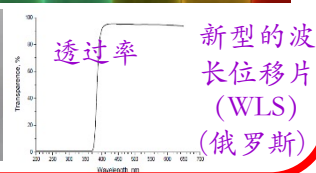
新型
晶体
研制

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS



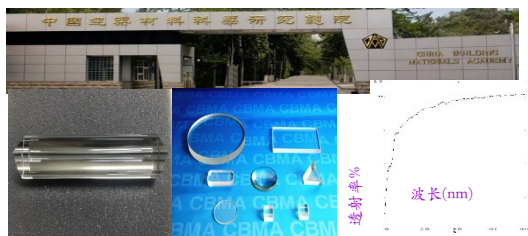
新型响应短波的雪崩光二极管(APD)

LumInnoTech
New generation of materials for optoelectronics



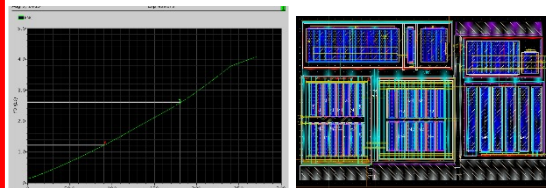
新型的波
长位移片
(WLS)
(俄罗斯)

中国建筑材料科学研究总院



切仑科夫光辐射体：超高纯度石英晶体

西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



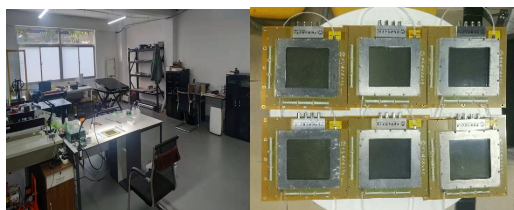
专用读出电子学芯片 (ASIC) 设计

上海光机精密机械研究所



大尺寸石英辐射体表面加工

合肥榛果智能技术有限公司



微网格气体探测器研发

中科院西安光学精密机械研究所



单阳极和多阳极MCP-PMT

经费支持

- 中国科学技术大学支持（1500万）
- 相关关键技术获得**国家自然科学基金**资助（在研）：
 - **重点**项目，一种基于Micromegas探测器的高计数率精确定时技术，340万，2020.01-2024.12
 - 联合**重点**项目，基于DIRC方法的超高分辨定时探测技术研究，300万，2020.1-2023.12
 - 联合**重点**项目，基于THGEM的切伦科夫粒子鉴别探测器研究，275万，2018.1-2021.12
 - 多个**面上项目**。。。

正在申请：

- 中科院国际伙伴-大科学培育专项（1000万）
- 科技部政府间国际科技创新合作（400万）

十三五没有得到科技部的**重点研发项目**支持，希望十四五期间尽快得到支持！
争取**科学院、地方政府**经费支持

建造带来的收益

◆ 国际粒子物理领域层面

- ◆ 具有独特性质和重大的科学发现潜力
- ◆ 继续在相关物理研究领域保持领先

◆ 国家层面

- ◆ 大科学装置/中心
- ◆ 保持国际合作、对外交流的窗口

◆ 粒子物理和原子核物理学学科层面

- ◆ 学科的生存与发展

◆ 国内高校层面

- ◆ 人才队伍的维持与发展

潜在的建设选址?

选址1: 安徽合肥

中共安徽省委文件

皖发〔2017〕30号



中共安徽省委 安徽省人民政府 中国科学院 关于印发《合肥综合性国家科学中心实施方案 (2017—2020年)》的通知

各市、县委,各市、县人民政府,省直各单位,各人民团体,中国科学院有关单位:

现将《合肥综合性国家科学中心实施方案(2017—2020年)》印发给你们,请结合实际认真贯彻执行。

中共安徽省委
安徽省人民政府
中国科学院
2017年9月7日

三、建设世界一流重大科技基础设施集群

- (一) 新建大科学装置
- (二) 提升拓展现有大科学装置性能
- (三) 谋划建设一批新的大科学装置

4. 正负电子加速器装置。开展新一代高流强正负电子加速器的概念与预制研究,谋划新建超高亮度的 τ -粲能区正负电子加速器。(承建单位:中国科学技术大学)



国家实验室, 主要研究方向
束流物理与加速器技术。

核探测与核电子学国家重点实验室

State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics
中国科学技术大学部

我国唯一以研究核探测技术与核电子学的**国家重点实验室**。

组织协调平台

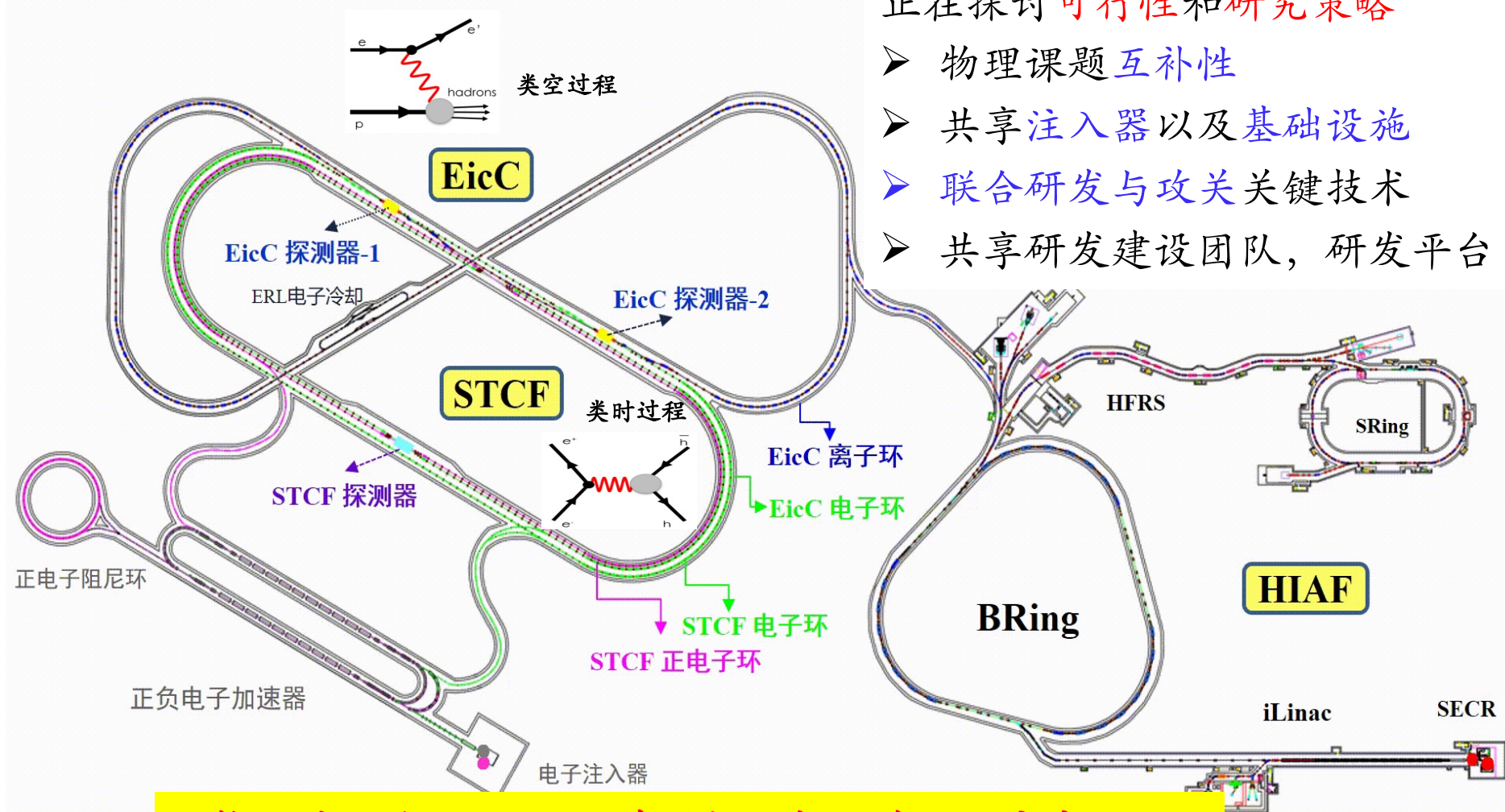
1. 基本粒子与相互作用
协同创新中心(筹)
2. 粒子科学与技术研究
中心

选址2: 惠州国际强子物理中心?

近代物理所: 以HIAF为基础, 建设中国电子离子对撞机(EicC)

正在探讨可行性和研究策略

- 物理课题互补性
- 共享注入器以及基础设施
- 联合研发与攻关关键技术
- 共享研发建设团队, 研发平台



物理的互补性 \Rightarrow 国际非微扰强相互作用研究中心!
共享注入器, 标准化储存环部件 \Rightarrow 显著减少总造价