

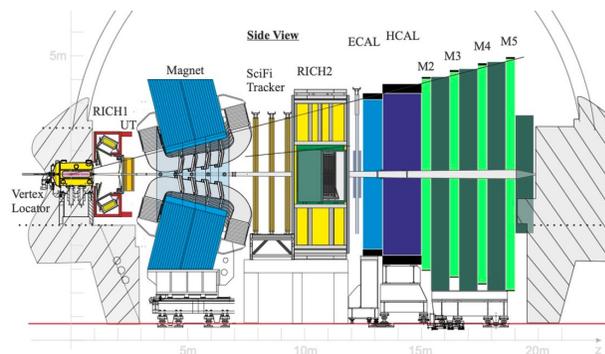


第十届中国LHC物理研讨会@山东大学, 2014.11.14-17



北京大学
PEKING UNIVERSITY

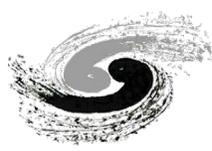
LHCb中国组2024年度总结



张艳席 @ 北京大学

2024.11.14

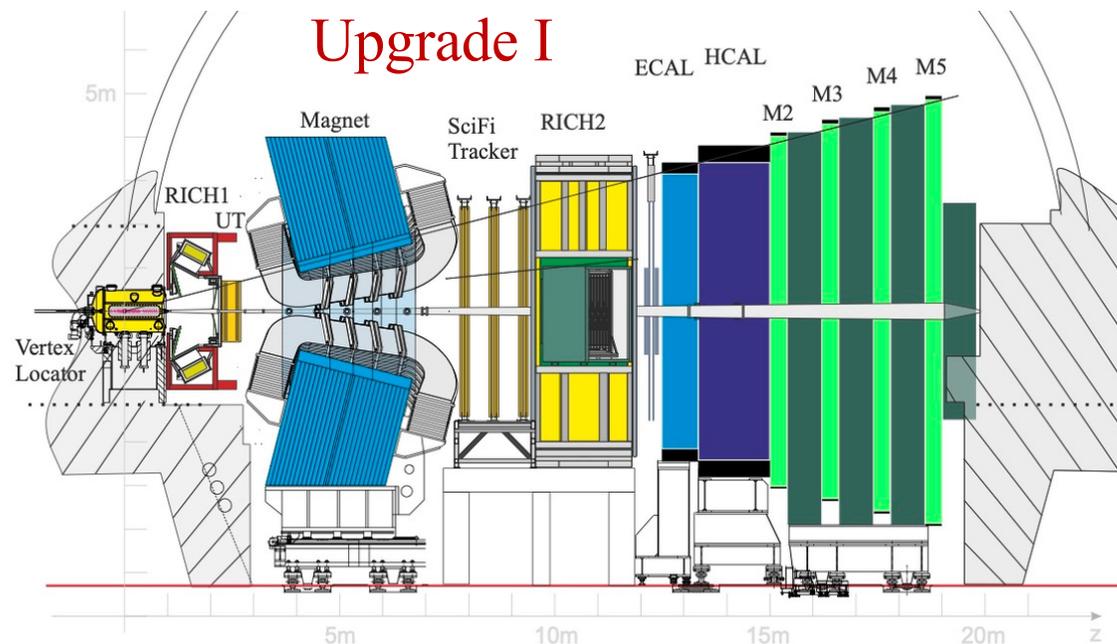
代表LHCb中国组



提纲

- **LHCb实验概况**
- **LHCb中国组单位与人员情况**
- **2024年度亮点物理成果**
- **探测器运行、升级和服务工作**
- **总结与鸣谢**

LHCb实验及其主要科学目标

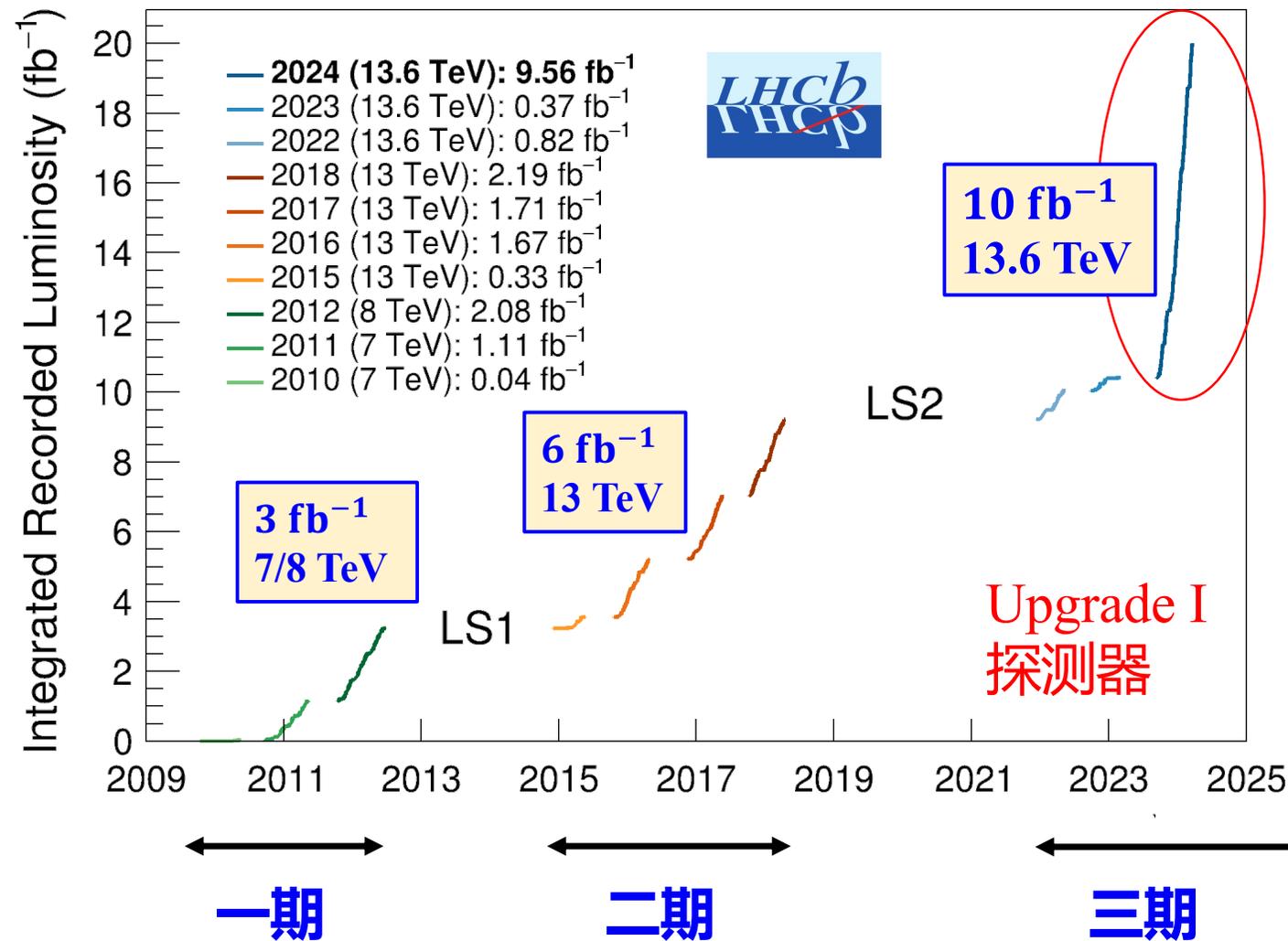


专注于重味夸克的研究



- 间接寻找新物理：电荷宇称破坏、稀有衰变
- 理解强相互作用：强子态、强子产生机制
- 其它：电弱物理，重离子物理，...

pp对撞数据



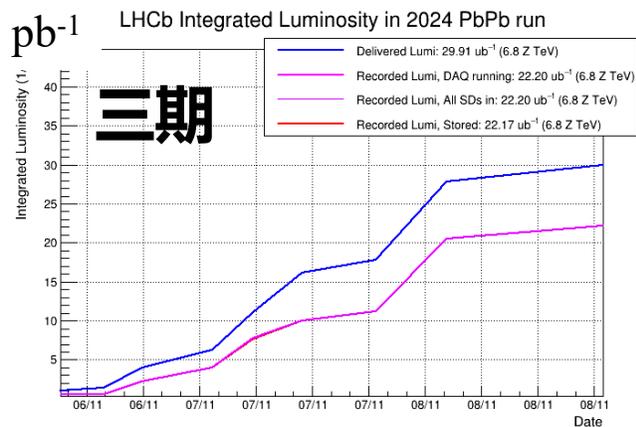
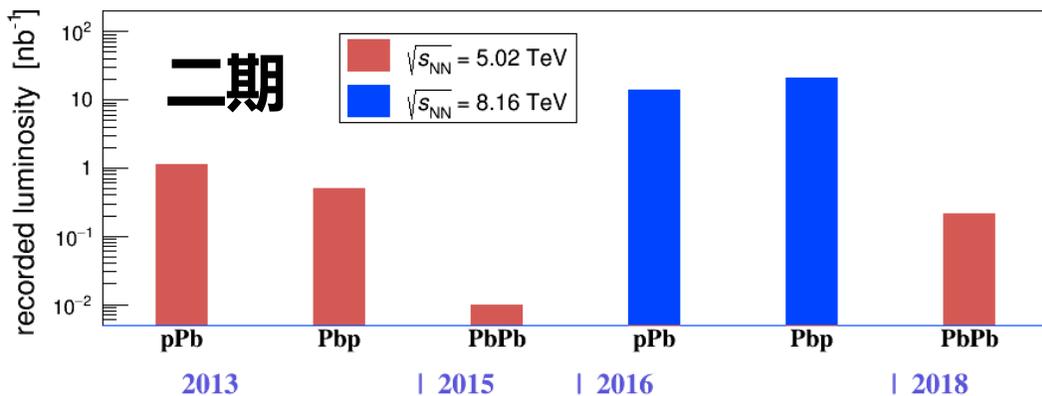
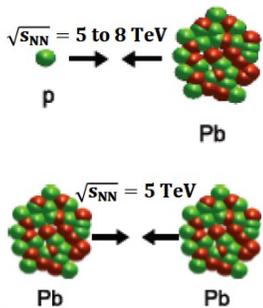
➤ 完成Upgrade I升级，稳定运行取数

- 瞬时亮度提高近5倍，2024新增数据 10 fb^{-1}
- 总量预计可达 25 fb^{-1}
- 触发效率提高约2倍

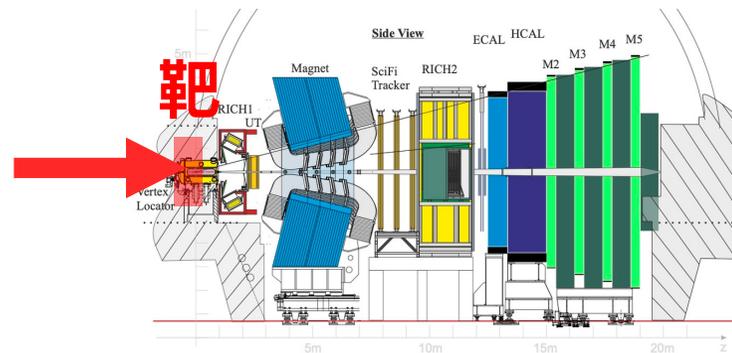
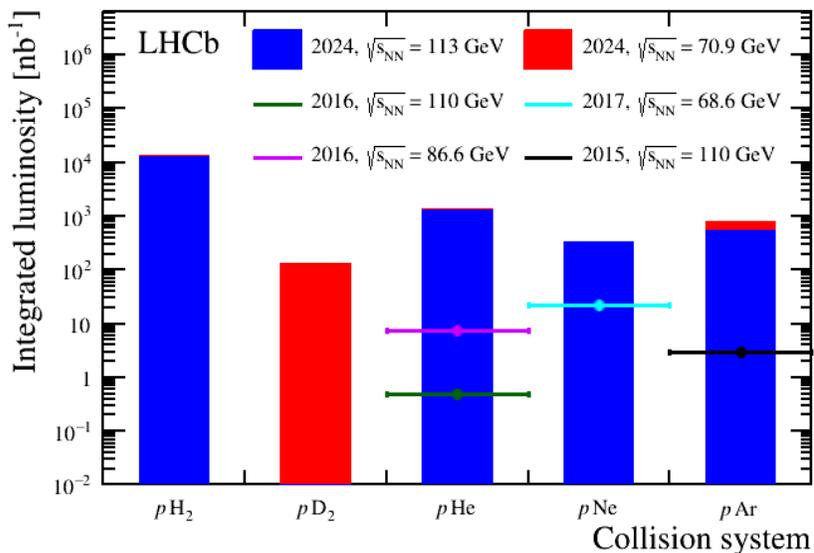
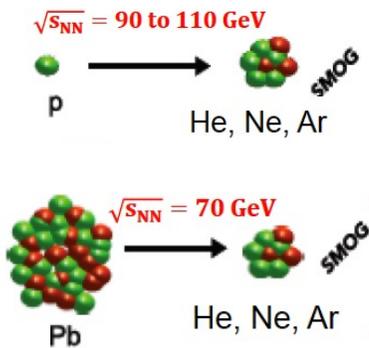
➤ 数量最多、种类最全的底强子和粲强子样本

重离子数据

对撞模式



气体固定靶模式



LHCb独有：独特的质心能量和对撞系统

LHCb国际合作组

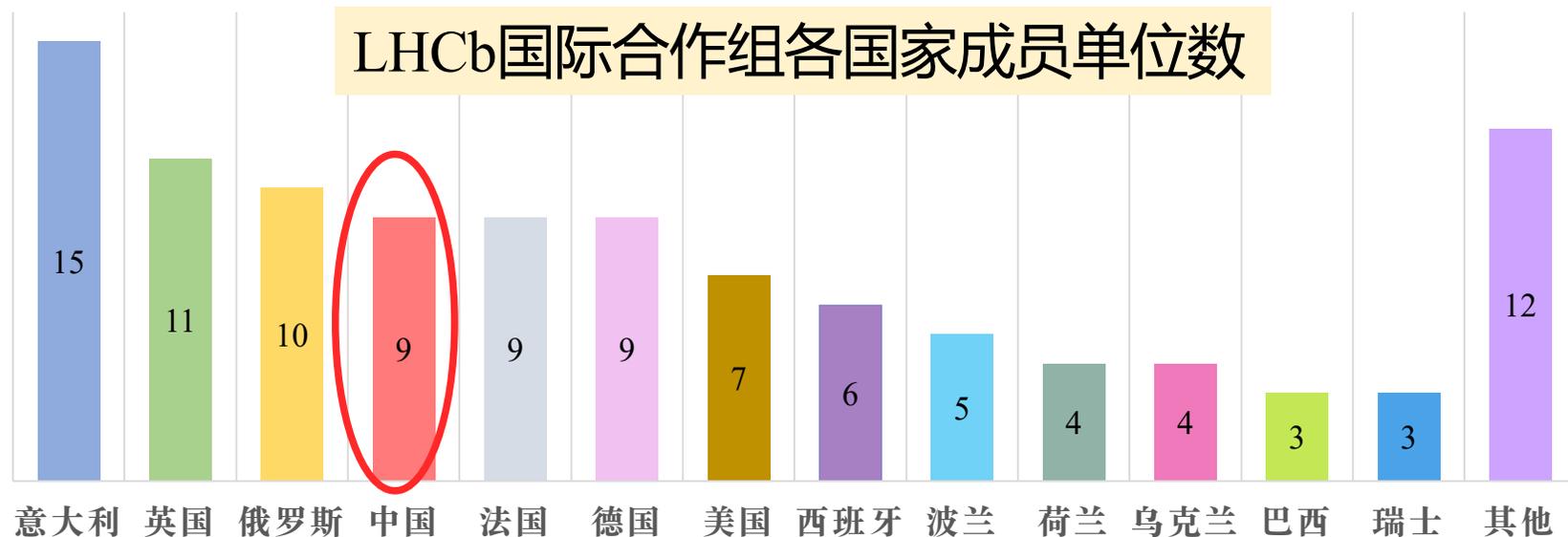
来自25个国家、107个单位的1770名成员



LHCb中国组

- 现有9家单位，单位数排名4/25
- 研究队伍：教师44人，成员221人，作者145人
 - 成员数/作者数均占LHCb国际合作组总数~12%

(截至2024年11月10号)



人员列表

单位	教师人数	成员人数	作者人数	教师
清华大学	6	28	28	张黎明, 朱相雷, 龚光华, 曾鸣, 邓智, 张志财
华中师大	5	33	19	谢跃红, 尹航, 张冬亮, 周晓康, 陈凯
国科大	7	33	31	郑阳恒, 吕晓睿, 何吉波, 钱文斌, 刘倩, 傅金林, 李佩莲
武汉大学	3	13	4	孙亮, 蔡浩, 王纪科
高能所	8	29	21	王建春, 李一鸣, 陈缮真, 徐子骏, 袁煦昊, 姜晓巍, 毕玉江, 周扬
华南师大	3	14	8	李衡讷, 刘国明, 胡继峰
北京大学	5	42	24	高原宁, 杨振伟, 张艳席, 安刘攀, Yury Guz
湖南大学	4	8	3	俞洁晟, 张书磊, 戴凌云, 陈卓俊
兰州大学	3	11	7	刘凯, 李培荣, Miroslav SAUR
总数	44	221	145	

LHCb国际合作组任职

- 管理顾问委员会 (Management Advisory Board)
 - 王建春 (2020.09起)
- 成员委员会 (Membership Committee)
 - 杨振伟 (2021.01-2024.12)
- 报告人委员会 (Speakers Bureau)
 - 李一鸣 (2023.10 ~ 2025.09) deputy chair
 - 张艳席 (2023.12 ~ 2025.12)
 - 孙亮 (2021.10 ~ 2023.09)
 - 张黎明 (2019.10 ~ 2021.09)
 - 杨振伟 (2017.10 ~ 2019.09)
- 编辑委员会 (Editorial Board)
 - 谢跃红 (2022.12 ~ 2024.11)
 - 何吉波 (2020.12 ~ 2022.11)
- 探测器运行和升级
 - 王建春 (2024.03~2026.02) UT项目负责人
 - 杨振伟 (2024.09起) 二期升级计划组 (U2PG) 成员
 - Yury Guz (2023.01-2025.12) 量能器项目副负责人

➤ 物理分析工作组召集人

- 尹航 (2023.01 ~ 2025.03)
- 钱文斌 (2024.01 ~ 2025.03)
- 李佩莲 (2022.01 ~ 2024.03)
- 安刘攀 (2021.01 ~ 2023.03)
- 何吉波 (2019.01 ~ 2021.03)
- 张艳席 (2018.01 ~ 2021.03)
- 钱文斌 (2018.01 ~ 2020.03)
- 张黎明 (2016.01 ~ 2018.03)
- 杨振伟 (2015.01 ~ 2017.03)
- 谢跃红 (2014.01 ~ 2016.03)

➤ 其他物理和运行工作召集人

- 张黎明 (2023.01 ~ 2025.03) 统计方法工作组
- 盛书琪 (2024.01 ~ 2026.03) 离线数据处理工作组

共8个物理
工作组

2025年将承办LHCb week会议



2025 external LHCb week

Beijing, 22–26 September 2025



- hosted by the Peking and Tsinghua groups



O. Schneider, Feb 23, 2024



111th LHCb week

22

提纲

- LHCb实验概况
- LHCb中国组单位与人员情况
- 2024年度亮点物理成果
- 探测器运行、升级和服务工作
- 总结与鸣谢

2024年度中国组主导的物理成果汇总

已投稿9篇 (其中5篇已发表) , 5篇即将投稿

CP破坏 稀有衰变

Λ_b^0, Λ_c^+ 和 Λ 衰变参数和 CP 破坏精确测量

arXiv:2409.02759, 已投稿至 PRL

首次发现 $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ CP 破坏迹象

LHCb-PAPER-2024-031, 将投稿至 PRL

首次发现重子衰变 $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+ K^-$ CP 破坏迹象

LHCb-PAPER-2024-043, 将投稿至 PRL CERN seminar

$B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$ 稀有衰变研究

JHEP 07 (2024) 101

$B^+ \rightarrow D^{*\pm} D^{\mp} K^+$ 中观测到(类)粲偶素新强子态

PRL 133 (2024) 131902

Editors' suggestion

首次发现 $\Lambda_b^0 \rightarrow \Sigma_c^{(*)++} D^{(*)-} K^-$ 衰变

PRD 110 (2024) L031104

首次发现 $\Lambda_b^0 \rightarrow D^+ D^- \Lambda$ 衰变

JHEP 07 (2024) 140

强子物理

$\Xi_c(3055)^{+0}$ 自旋量子数测量

arXiv:2409.05440, 已投稿至 PRL

$D_{s1}(2460)^+$ 衰变中发现新四夸克态

arXiv:2411.03399, 已投稿至 Science Bulletin

$T_{cs0}^*(2327)^{++0}$ 信号

发现 $T_{cs0}^*(2870)^0$ 新衰变模式, 检验同位旋对称性

LHCb-PAPER-2024-040, 将投稿至 PRL

重离子物理

pp 对撞 $\psi(2S)$ 截面随带电多重数增加而降低

JHEP 05 (2024) 243

PbPb 对撞 $\psi(2S)$ 与 J/ψ 相对截面测量

LHCb-PAPER-2024-041, 将投稿至 JHEP

pp 对撞 $\Upsilon(2S)$ 和 $\Upsilon(3S)$ 截面随多重数增加而降低

LHCb-PAPER-2024-038, 将投稿至 JHEP

电弱物理

电弱混合角精确测量

arXiv:2410.02502, JHEP 已接受

2024年度中国组主导的物理成果汇总

另外9篇去年投稿今年发表

CP破坏	$B^\pm \rightarrow D^* h^\pm$ 测量CKM γ 角	JHEP 12 (2023) 013
	CP破坏相角 ϕ_s 精确测量	PRL 132 (2024) 051802
强子物理	观测到 Ω_c^0 重子Cabibbo抑制两体衰变	PRL 132 (2024) 081802
	观测到 $\Xi_b^0 \rightarrow \Xi_c^+ D_s^-$ 和 $\Xi_b^- \rightarrow \Xi_c^0 D_s^-$ 衰变	EPJC 84 (2024) 237
	J/ψ - J/ψ 关联产生和TMD研究	JHEP 03 (2024) 088
	首次观测到 J/ψ - $\psi(2S)$ 关联产生	JHEP 05 (2024) 259
重离子物理	pPb对撞中 D^+ 和 D_s^+ 核物质效应研究	JHEP 01 (2024) 070
	观测到粲介子中的奇异数随带电多重数增强	PRD 110 (2024) L031105
电弱物理	pp对撞中Z玻色子产生截面测量	JHEP 02 (2024) 070

CP破坏和稀有衰变

4 PRL (1发表、1审稿中, 2将投稿) +1 JHEP

- 首次发现 $B^+ \rightarrow J/\psi\pi^+$ CP破坏迹象
- 重子衰变：
 - 首次发现 $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+ K^-$ CP破坏迹象
 - Λ_b^0, Λ_c^+ 和 Λ 衰变参数和CP破坏精确测量
- 含时CP破坏：相角 ϕ_s 世界最精确测量
- 稀有衰变：寻找 $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$

CP破坏全面研究

重子衰变CP破坏迹象

国科大
华中师大
北大

LHCb-PAPER-2024-043, 将投稿至PRL

➤ $\Lambda_b^0, \Xi_b^0 \rightarrow \Lambda h^+ h^-$ 衰变全局CP破坏:

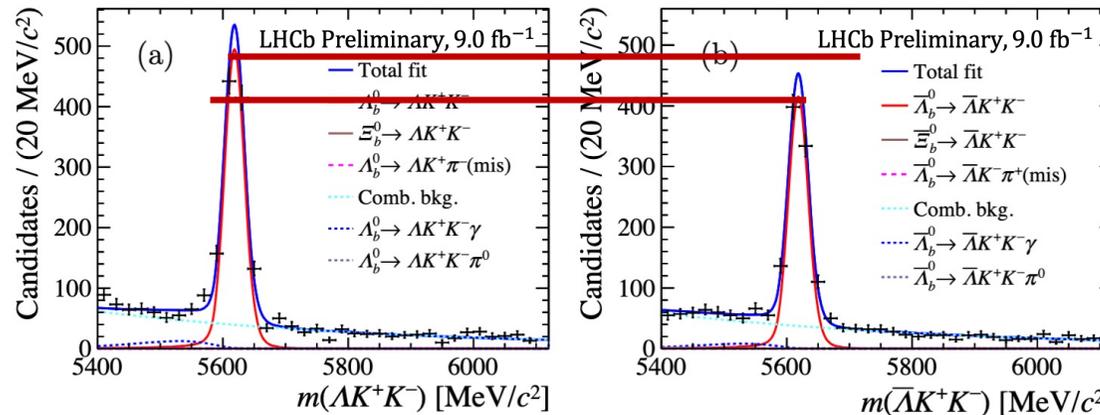
$$\Delta\mathcal{A}^{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^-) = -0.013 \pm 0.053 \pm 0.018,$$

$$\Delta\mathcal{A}^{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+\pi^-) = -0.118 \pm 0.045 \pm 0.021,$$

$$\Delta\mathcal{A}^{CP}(\Xi_b^0 \rightarrow \Lambda K^-\pi^+) = 0.27 \pm 0.12 \pm 0.05,$$

$$\Delta\mathcal{A}^{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+K^-) = 0.083 \pm 0.023 \pm 0.016$$

发现重子CP破坏迹象, 3.1σ



受邀在CERN LHC seminar 介绍该结果
钱文斌, 11月5日

LHCb新闻报道

LHC Seminar
Evidence for CP violation in $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda h^+ h^-$ decays at the LHCb experiment
by Wenbin Qian (University of Chinese Academy of Sciences (CN))
Tuesday 5 Nov 2024, 18:00 → 19:00 Asia/Shanghai
Zoom only

Description CP violation is well established in meson decays, including strange, charm and beauty mesons, but it has yet to be confirmed in baryon decays. The LHCb experiment, designed for precision studies of CP violation, has collected an unprecedented amount of beauty baryons, providing a unique opportunity to search for CP violation in charmless Λ_b^0 baryon decays, where significant CP violation is expected. This talk will present the latest results from the search for CP violation in $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda h^+ h^-$ and $\Lambda_b^0 \rightarrow p h^-, h, h' = K, \pi$ decays, using 9 fb⁻¹ of pp collision data collected by the LHCb experiment.

LHC Seminar_Wenbi... LHC Seminar_Wenbi...

Organised by Tancredi Carli, Jan Fiete Grosse-Oetringhaus and Michelangelo Mangano

Contact EP-seminars colloquia@cern.ch

LATEST POSTS OTHER PHYSICS RESULTS

Evidence for CP violation in $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda K^+ K^-$ decays



By pietrzyk

NOV 8, 2024

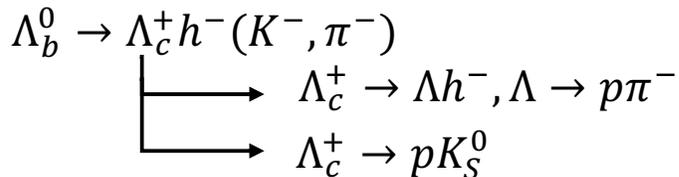
#baryon, #cp violation, #Lambdab

$\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ h^-$ P和CP破坏参数测量

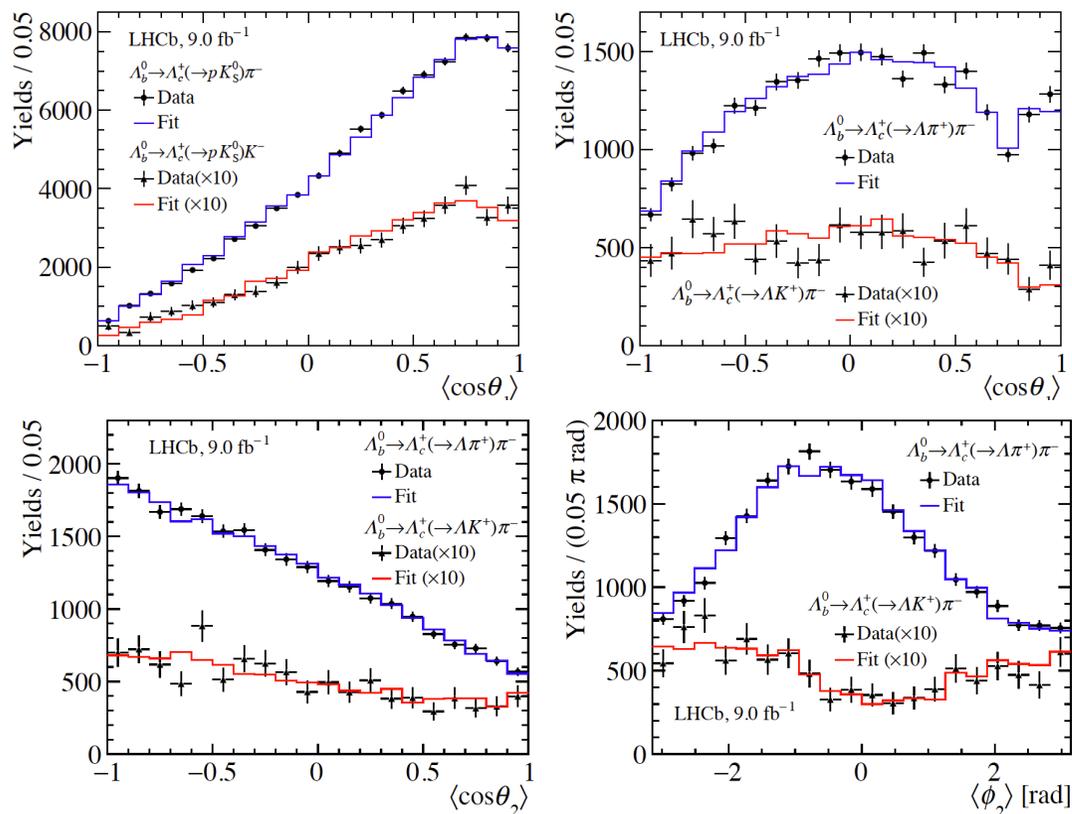
北大
华中师大
国科大

arXiv:2409.02759, 已投稿至PRL

➤ 为理解重子衰变的强、弱动力学提供输入



- ✓ $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ h^-$: 首次测量 α 参数
- ✓ $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda h^-$: 精确测量 α, β, γ 以及相位
- ✓ $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$: 极大改善 α 测量精度
- ✓ $\Lambda \rightarrow p\pi^-$: 独立测量, 与 BESIII结果符合



Decay	α	$\bar{\alpha}$
$\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$	$-1.010 \pm 0.011 \pm 0.003$	$0.996 \pm 0.011 \pm 0.003$
$\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ K^-$	$-0.933 \pm 0.042 \pm 0.014$	$0.995 \pm 0.036 \pm 0.013$
$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+$	$-0.782 \pm 0.009 \pm 0.004$	$0.787 \pm 0.009 \pm 0.003$
$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda K^+$	$-0.569 \pm 0.059 \pm 0.028$	$0.464 \pm 0.058 \pm 0.017$
$\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$	$-0.744 \pm 0.012 \pm 0.009$	$0.765 \pm 0.012 \pm 0.007$
$\Lambda \rightarrow p\pi^-$	$0.717 \pm 0.017 \pm 0.009$	$-0.748 \pm 0.016 \pm 0.007$

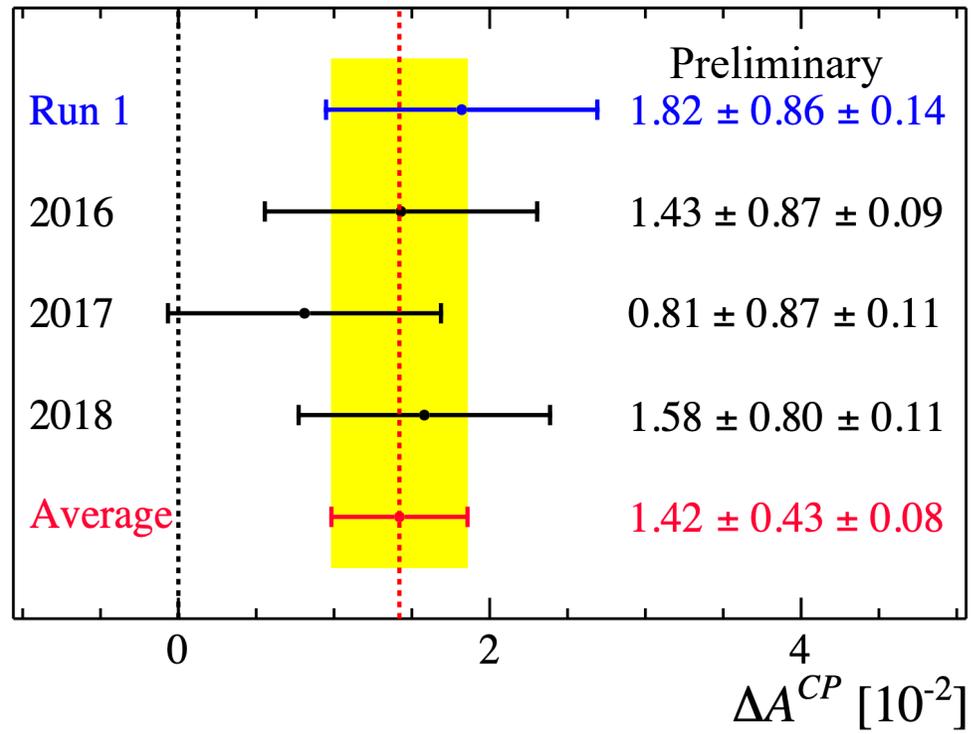
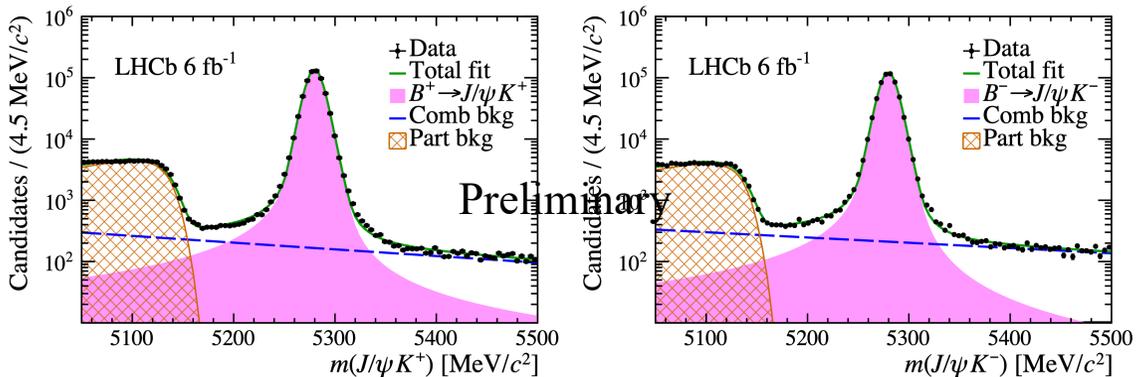
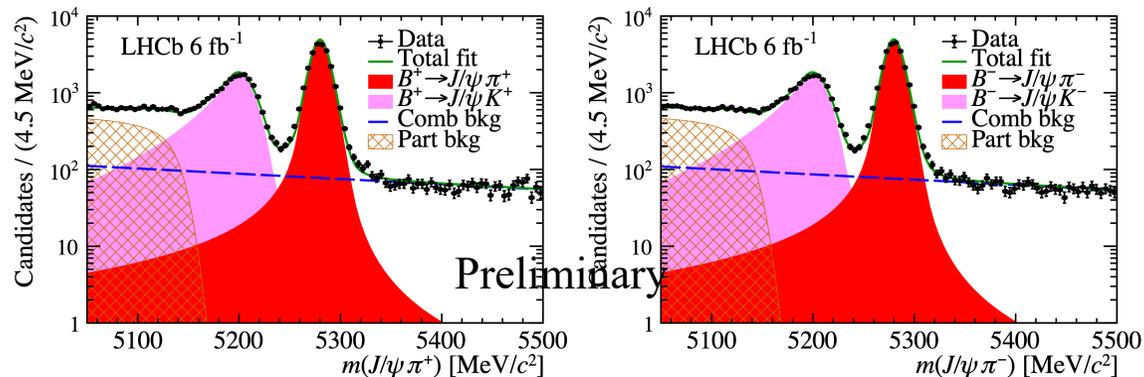
Decay	$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+$	$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda K^+$
β	$0.368 \pm 0.019 \pm 0.008$	$0.35 \pm 0.12 \pm 0.04$
$\bar{\beta}$	$-0.387 \pm 0.018 \pm 0.010$	$-0.32 \pm 0.11 \pm 0.03$
γ	$0.502 \pm 0.016 \pm 0.006$	$-0.743 \pm 0.067 \pm 0.024$
$\bar{\gamma}$	$0.480 \pm 0.016 \pm 0.007$	$-0.828 \pm 0.049 \pm 0.013$
Δ (rad)	$0.633 \pm 0.036 \pm 0.013$	$2.70 \pm 0.17 \pm 0.04$
$\bar{\Delta}$ (rad)	$-0.678 \pm 0.035 \pm 0.013$	$-2.78 \pm 0.13 \pm 0.03$
R_β	$0.012 \pm 0.017 \pm 0.005$	$-0.04 \pm 0.15 \pm 0.02$
R'_β	$-0.481 \pm 0.019 \pm 0.009$	$-0.65 \pm 0.17 \pm 0.07$

$B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ 直接CP破坏迹象

LHCb-PAPER-2024-031, 将投稿至PRL

- 首次观测B介子到粲偶素衰变的直接CP破坏迹象, 3.2σ
- 理解 $B \rightarrow J/\psi K_S^0$ CP破坏的企鹅圈图污染

$$\Delta\mathcal{A}^{CP} \equiv \mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow J/\psi\pi^+) - \mathcal{A}^{CP}(B^+ \rightarrow J/\psi K^+).$$



$B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ 选为控制道

$B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ 衰变的CP破坏测量

国科大
华中师范
清华大学

PRL 132 (2024) 051802

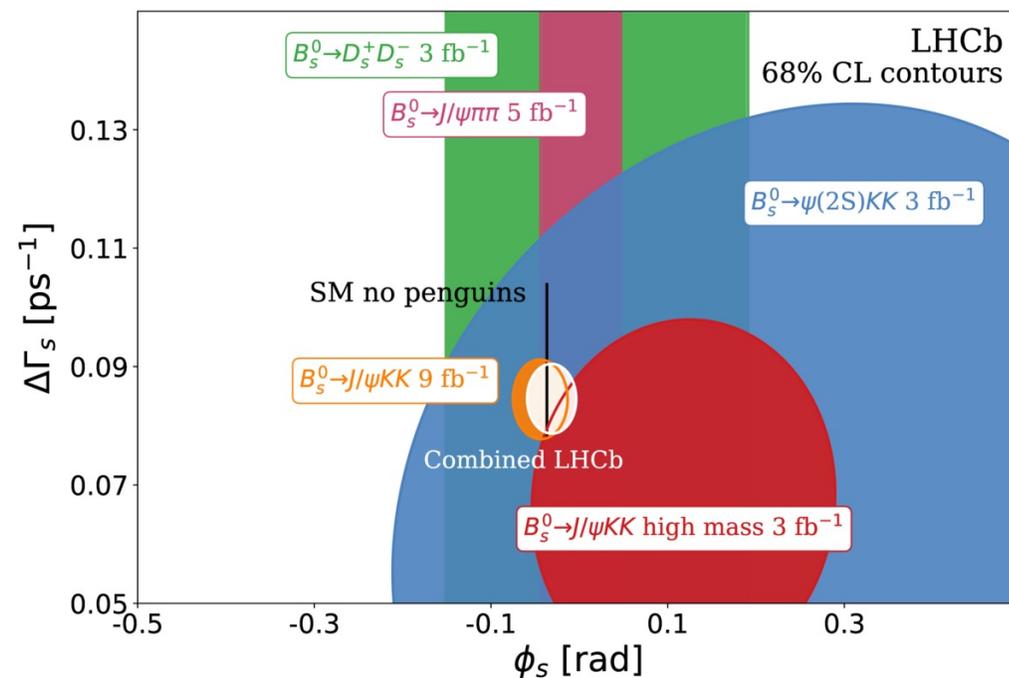
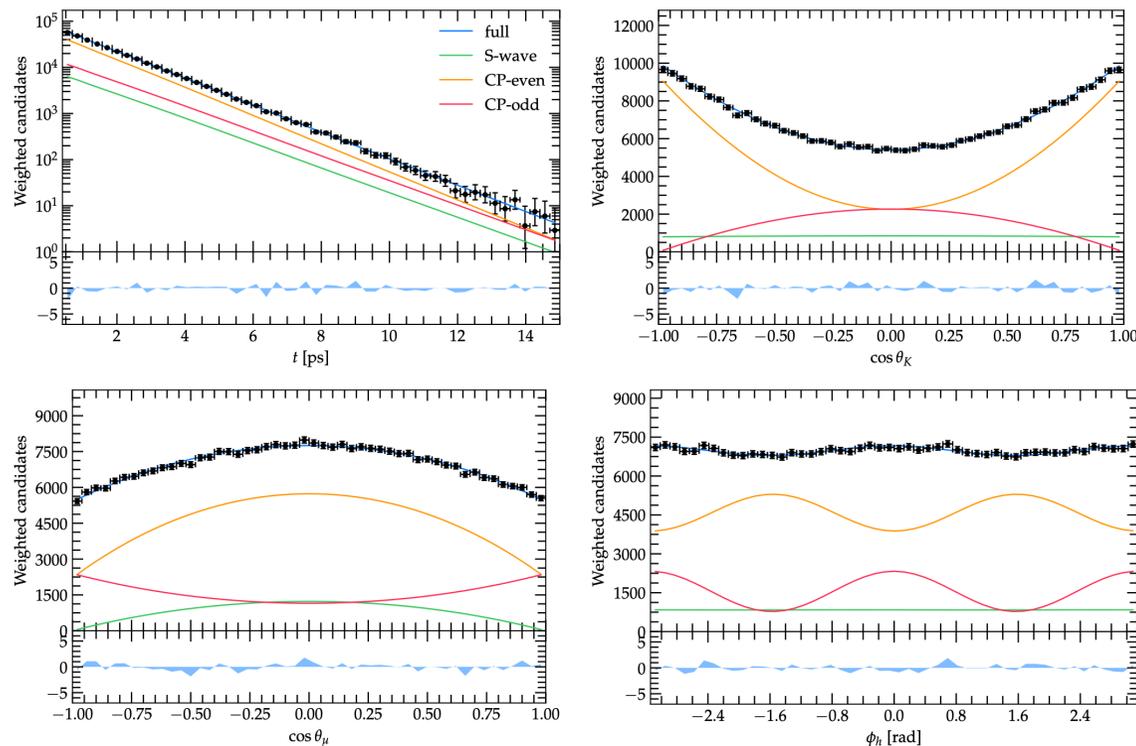
➤ 使用二期全部数据，精确测量CP破坏相角 ϕ_s

$$\phi_s = -0.039 \pm 0.022 \pm 0.006 \text{ rad}$$

世界最精确的单次测量结果

LHCb各测量平均值:

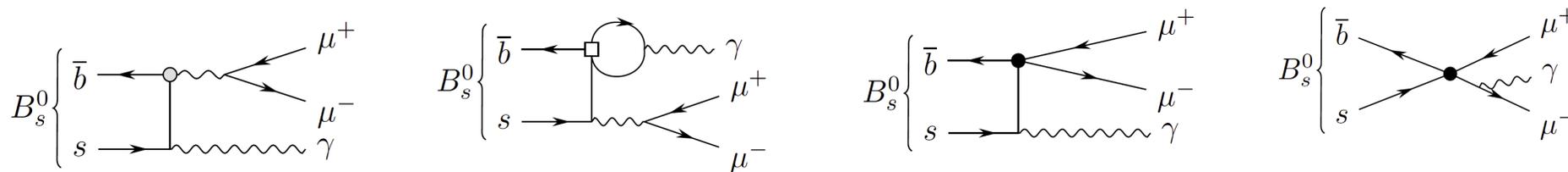
$$\phi_s = -0.031 \pm 0.018 \text{ rad}$$



寻找 $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$ 稀有衰变

JHEP 07 (2024) 101

➤ 该衰变对Wilson系数 $C7$, $C9$ 和 $C10$ 敏感

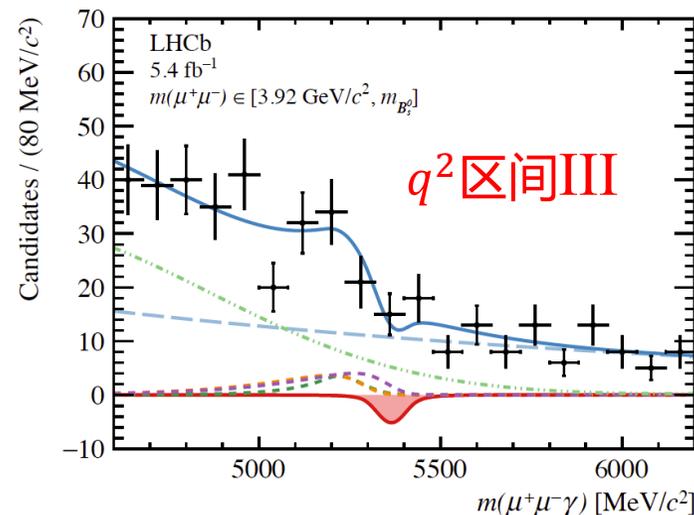
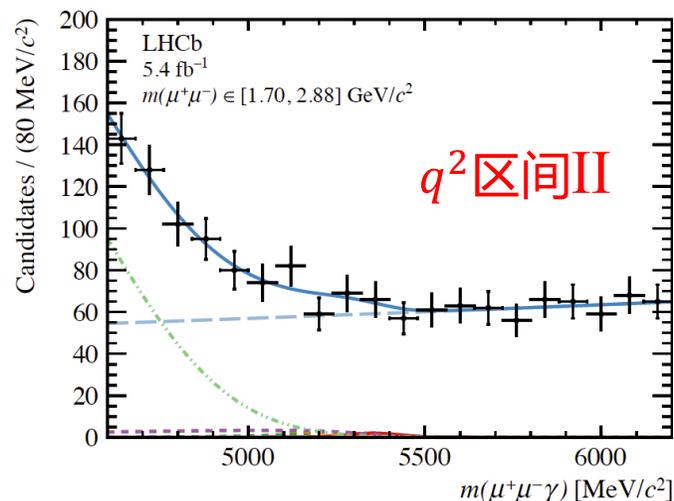
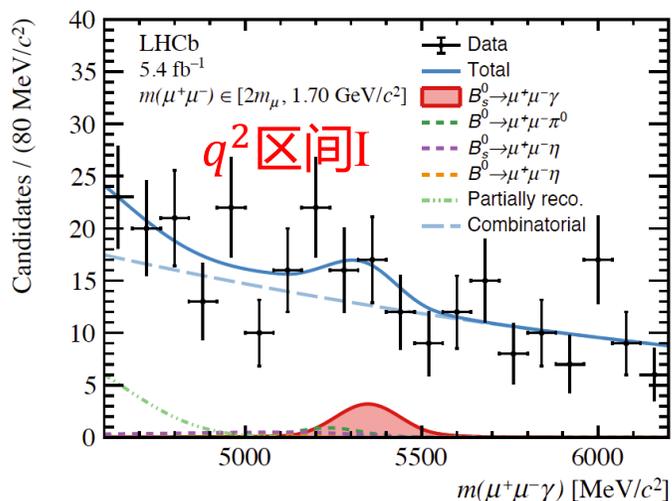


➤ 首次直接测量，没发现显著信号，设置分支比上限

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma)_I < 3.6 (4.2) \times 10^{-8}$$

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma)_{II} < 6.5 (7.7) \times 10^{-8}$$

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma)_{III} < 3.4 (4.2) \times 10^{-8}$$



强子物理

3 PRL (1发表、1审稿中, 1将投稿) + 1 Science Bulletin +1 JHEP +1 PRD

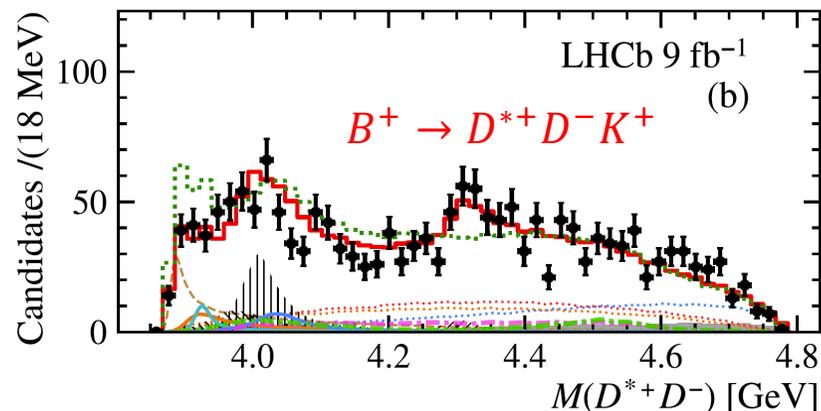
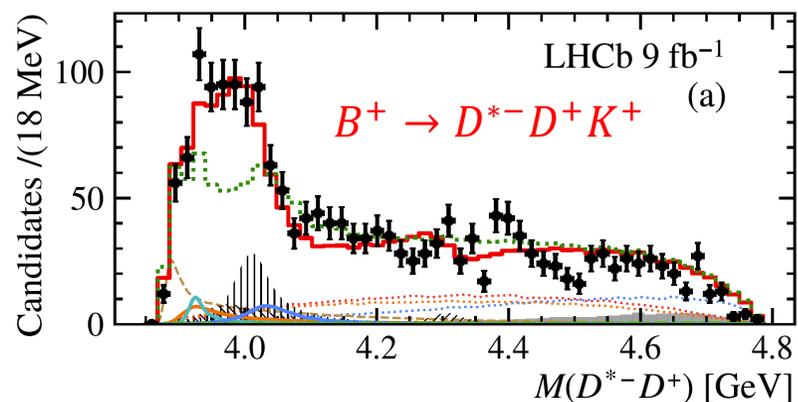
- 发现新(类)粲偶素强子态: $h_c(4000)$, $\chi_{c1}(4010)$, $h_c(4300)$
- 发现新四夸克态信号: $T_{c\bar{s}}^{++}$ 和 $T_{c\bar{s}}^0$
- 发现 T_{cs0}^* 新衰变模式, 以及对称性检验
- 首次测量 $E_c(3055)$ 自旋宇称, 敲定结构
- 发现底重子新衰变模式

强子结构深入研究

$B^+ \rightarrow D^{*\pm} D^{\mp} K^+$ 中发现新(类)粲偶素

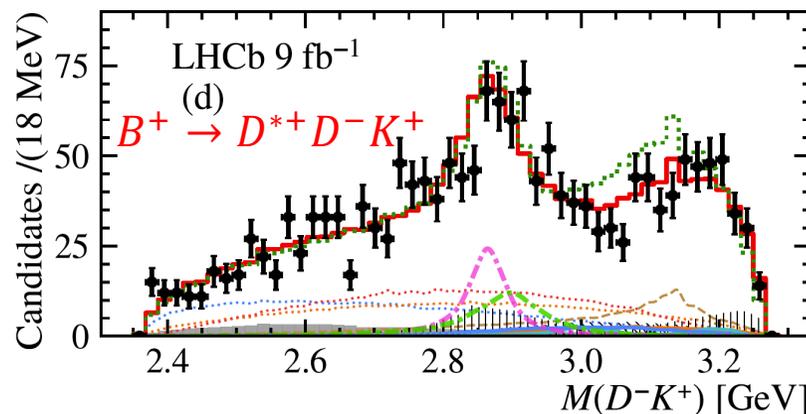
PRL 133 (2024) 131902

- 首次利用C宇称关联，联合分析 $B^+ \rightarrow D^{*\pm} D^{\mp} K^+$ 两个衰变
- 发现了至少三个新(类)粲偶素： $h_c(4000)$, $\chi_{c1}(4010)$, $h_c(4300)$



	$h_c(4000)$	$\chi_{c1}(4010)$	$h_c(4300)$
J^{PC}	1^{+-}	1^{++}	1^{+-}
m_0/MeV	4000^{+17+29}_{-14-22}	$4012.5^{+3.6+4.1}_{-3.9-3.7}$	$4307.3^{+6.4+3.3}_{-6.6-4.1}$
Γ_0/MeV	184^{+71+97}_{-45-61}	$62.7^{+7.0+6.4}_{-6.4-6.6}$	58^{+28+28}_{-16-25}

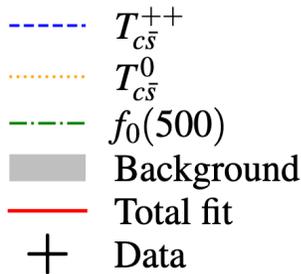
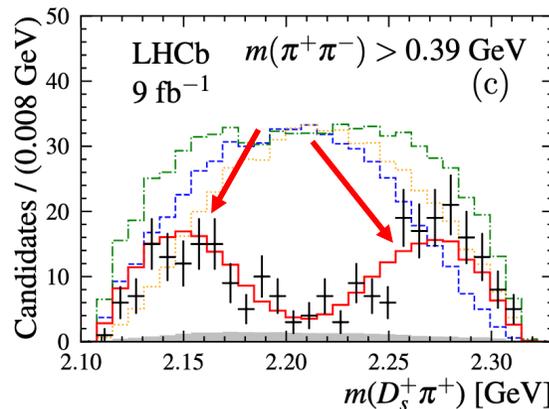
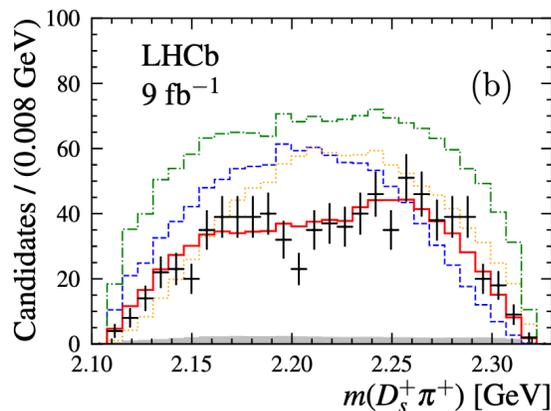
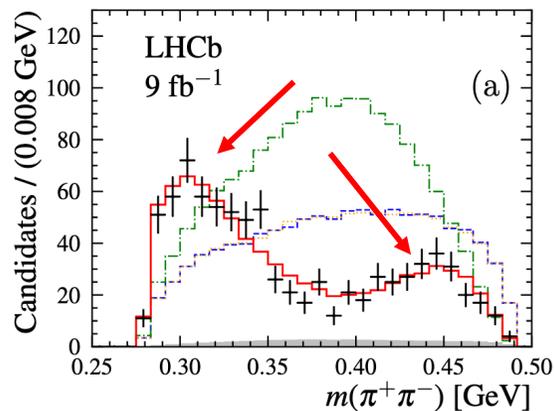
- 在新产生过程重现奇特态 $T_{CS0}^*(2870)^0$, $T_{CS1}^*(2900)^0$



发现 $D_{s1}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^+ \pi^-$ 衰变中的强子态

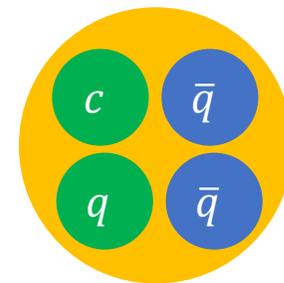
arXiv:2411.03399, 已投稿至Science Bulletin

- $m(\pi^+ \pi^-)$ 分布存在双峰结构, 用常规 f 态拟合存在诸多问题
- 可用奇特四夸克态 $T_{c\bar{s}}^{++}$ 和 $T_{c\bar{s}}^0$ 解释数据



$T_{c\bar{s}}$ 性质测量:

- ✓ 质量: $2327 \pm 13 \pm 13$ MeV (低于DK质量阈)
- ✓ 宽度: $96 \pm 16_{-23}^{+170}$ MeV
- ✓ 自旋宇称: $J^P = 0^+$
- ✓ 同位旋: 1



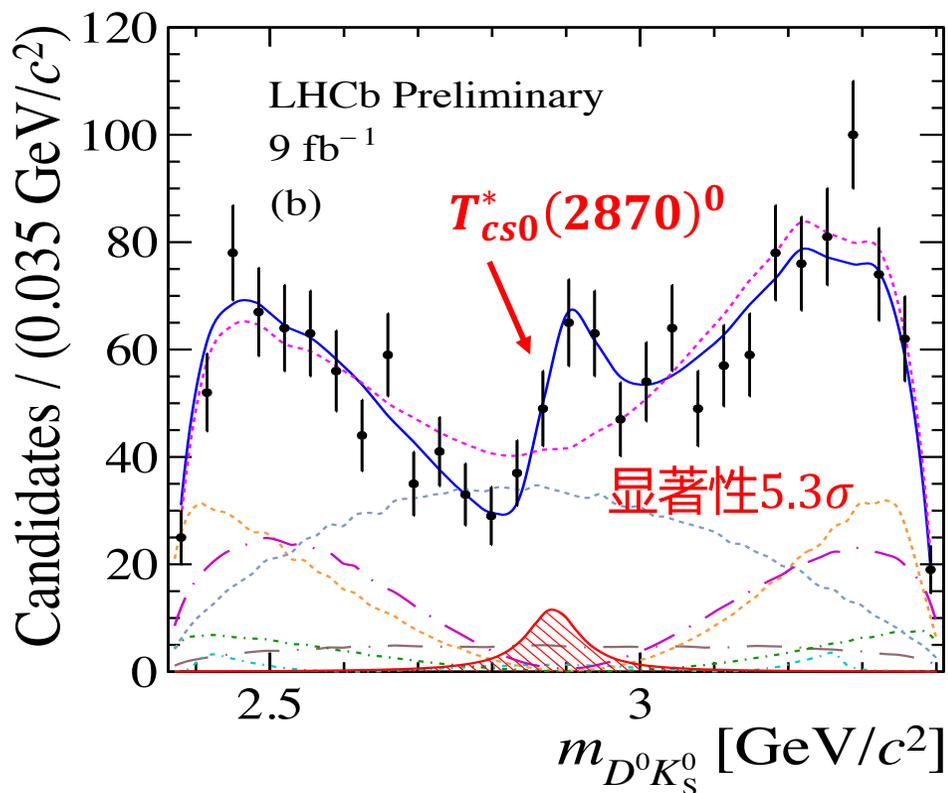
为理解 $D_{s1}(2460)^+$ 和 $D_{s0}^*(2317)^+$ 内部结构提供重要信息

发现四夸克态衰变 $T_{cs0}^*(2870)^0 \rightarrow D^0 K_S^0$

北大

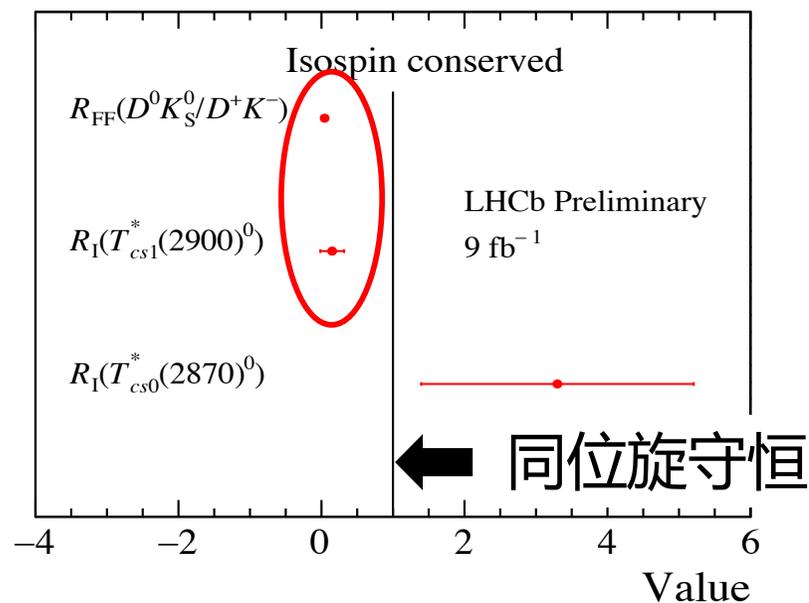
LHCb-PAPER-2024-040, 将投稿至PRL

- 新衰变模式, 帮助理解 $T_{cs0}^*(2870)^0$ 性质
- 发现 $T_{cs1}^*(2900)^0$ 到 $D^0 \bar{K}^0$ 和 $D^+ K^-$ 衰变的同位旋对称性破坏



$$R_I(T_{cs}^{*0}) \equiv \Gamma(T_{cs}^{*0} \rightarrow D^0 \bar{K}^0) / \Gamma(T_{cs}^{*0} \rightarrow D^+ K^-)$$

$$R_{FF}(D^0 K_S^0) \equiv \text{FF}(T_{cs1}^{*0} \rightarrow D^0 K_S^0) / \text{FF}(T_{cs0}^{*0} \rightarrow D^0 K_S^0)$$



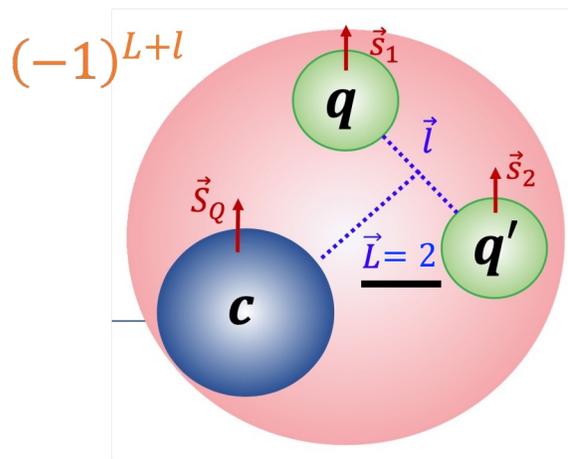
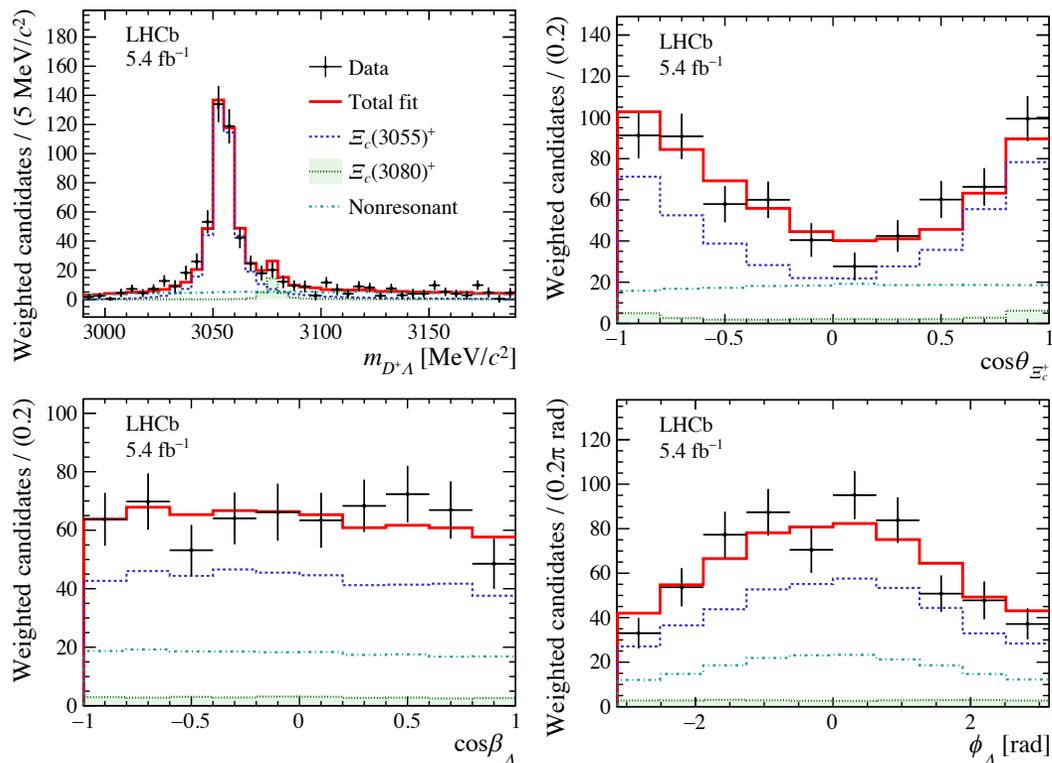
测量 $\Xi_c(3055)^{+(0)}$ 自旋宇称

➤ 发现 $\Xi_b^{0(-)} \rightarrow \Xi_c(3055)^{+(0)} \pi^-$ 衰变

arXiv:2409.05440, 已投稿至PRL

➤ 首次测量 $\Xi_c(3055)^{+(0)}$ 自旋宇称 $J_{\Xi_c(3055)^{+(0)}}^P = 3/2^+$, 证实为D-波激发的 $\bar{3}_F$ 态

➤ 测量 $\Xi_b^{0(-)} \rightarrow \Xi_c(3055)^{+(0)} \pi^-$ 的宇称破坏参数 α , 辅助确认 $\Xi_c(3055)^{+(0)}$ 强子结构



Quantity	$\Xi_c(3055)^+$	$\Xi_c(3055)^0$
m [MeV/ c^2]	$3054.52 \pm 0.36 \pm 0.17$	$3061.00 \pm 0.80 \pm 0.23$
Γ [MeV/ c^2]	$8.01 \pm 0.76 \pm 0.34$	$12.4 \pm 2.0 \pm 1.1$
α	$-0.92 \pm 0.10 \pm 0.05$	$-0.92 \pm 0.16 \pm 0.22$
R_B	$0.045 \pm 0.023 \pm 0.006$	$0.14 \pm 0.06 \pm 0.04$

底重子新衰变模式

北大

清华

➤发现 $\Lambda_b^0 \rightarrow D^+ D^- \Lambda$ 衰变

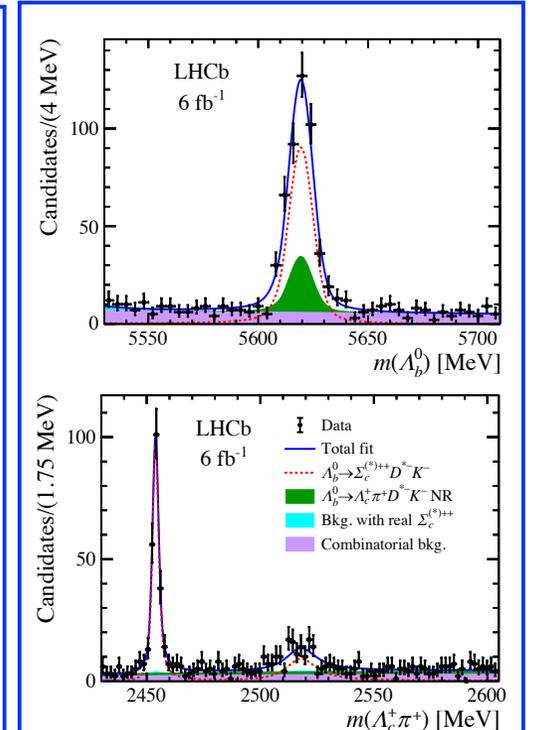
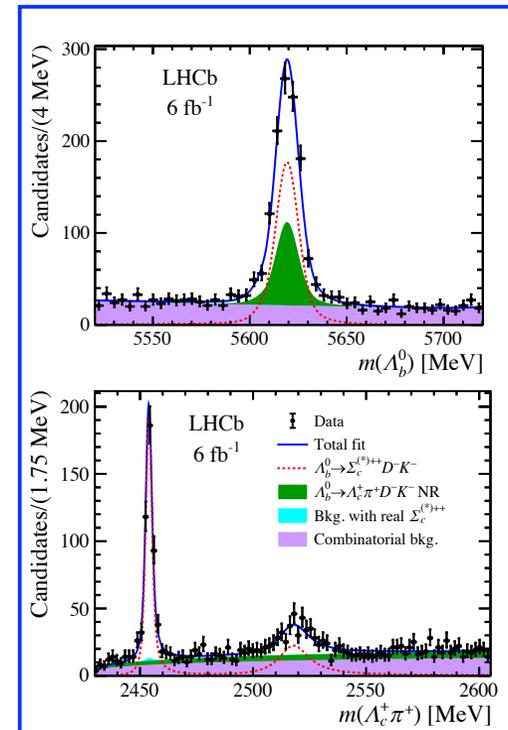
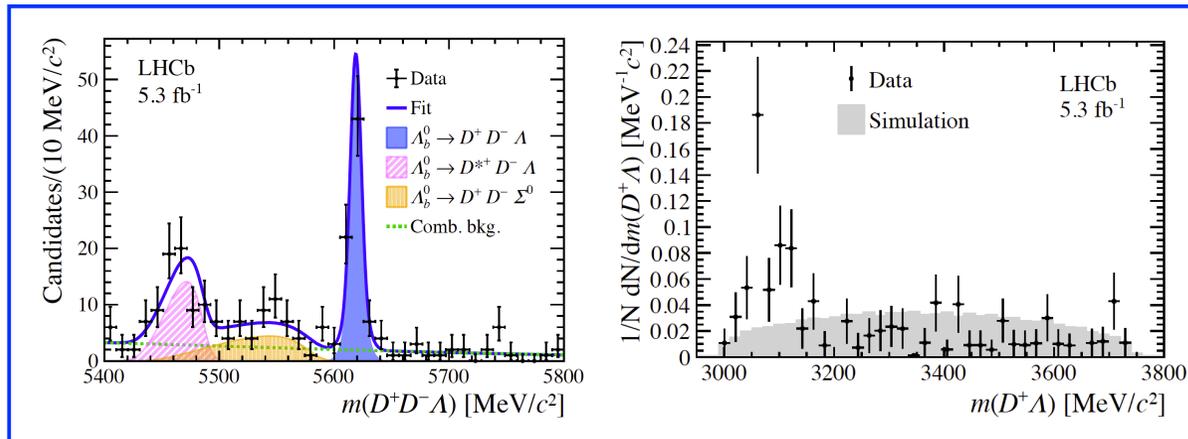
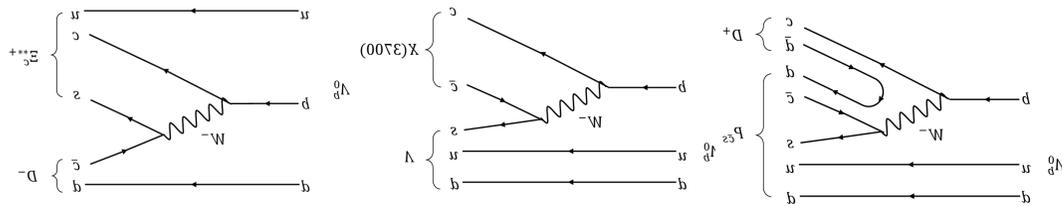
➤丰富的强子态: Ξ_c^{*+} , ψ 或奇特态 $X(3700)$, P_{CS} 等

➤发现 $\Lambda_b^0 \rightarrow \Sigma_c^{(*)++} D^{(*)-} K^-$ 衰变

➤帮助理解五夸克态性质

PRD 110 (2024) L031104

JHEP 07 (2024) 140



重离子物理

4 JHEP (2发表、2将投稿) +1 PRD

- pPb对撞粲强子核物质性质精确测量
- 首次在小系统观测到奇异数随带电多重数增强现象
- 首次在小系统观测到重夸克偶素激发态随带电多重数压低现象

核物质性质精确测量

粲介子在 pPb 对撞的核物质效应

清华

瞬发 D_s^+ 和 D^+ 介子截面测量

清华

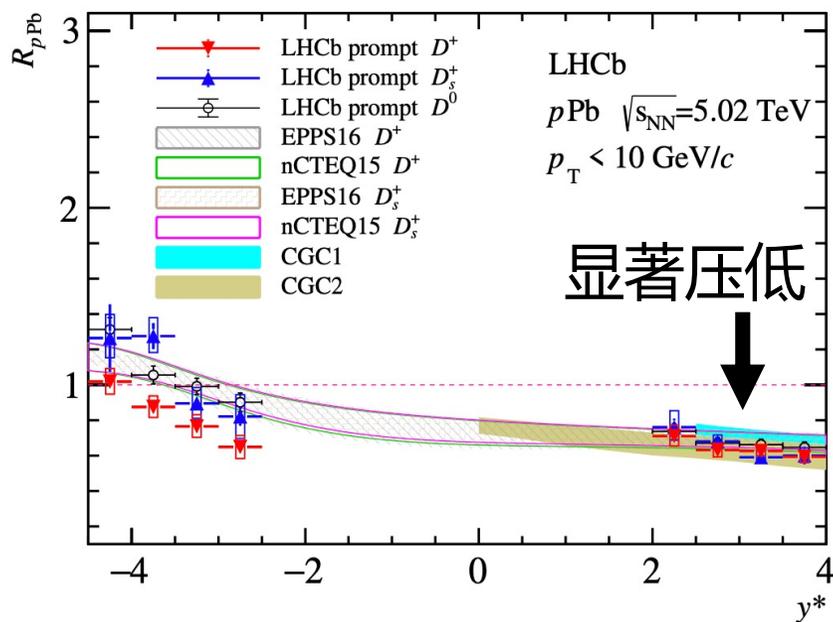
- 前向显著压低: 与nPDFs/CGC模型预言相符
- 后向高 p_T 区与nPDFs模型不符

D_s^+ 与 D^+ 截面比值随多重数增加

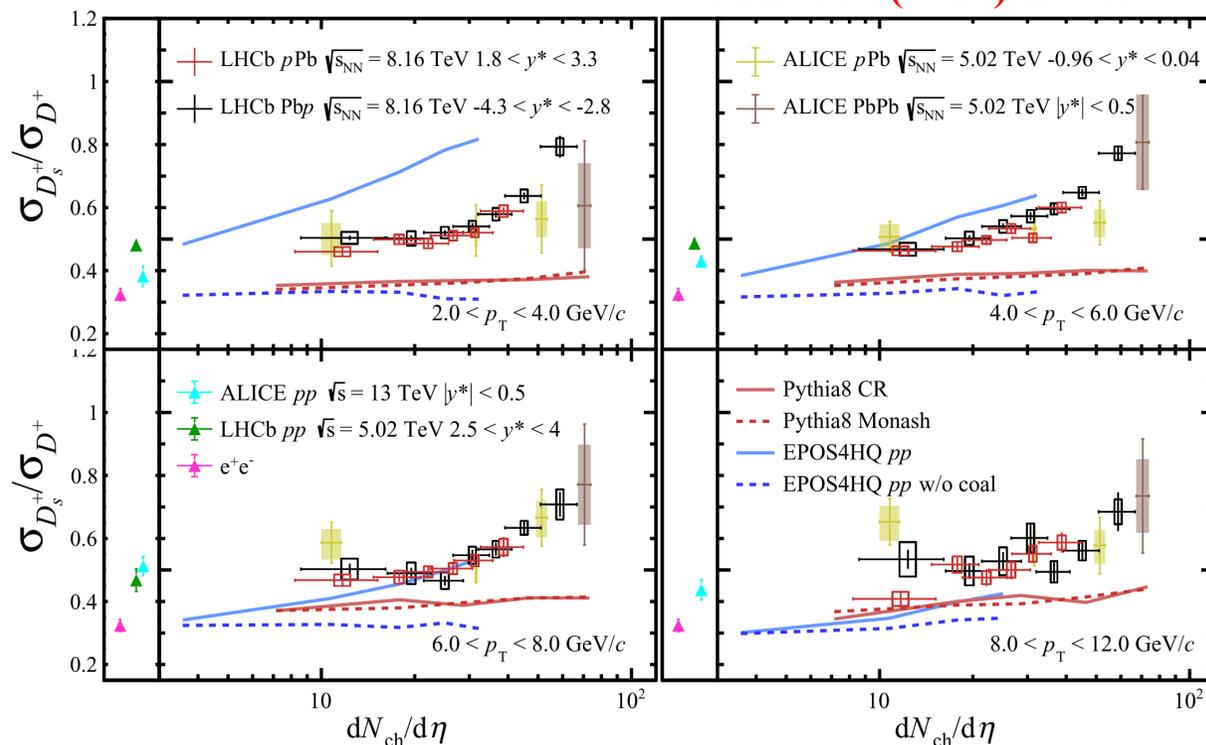
- 粲强子奇异数增强

首次在小对撞系统中观测到该现象

JHEP 01 (2024) 070



PRD 110 (2024) L031105



pp对撞中重夸克偶素产生压低

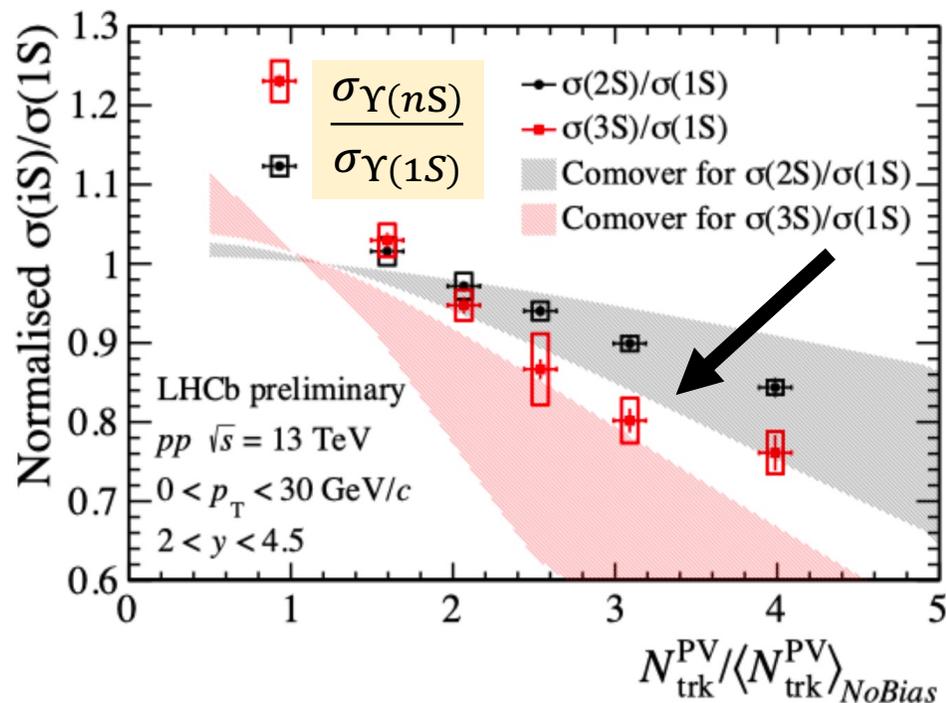
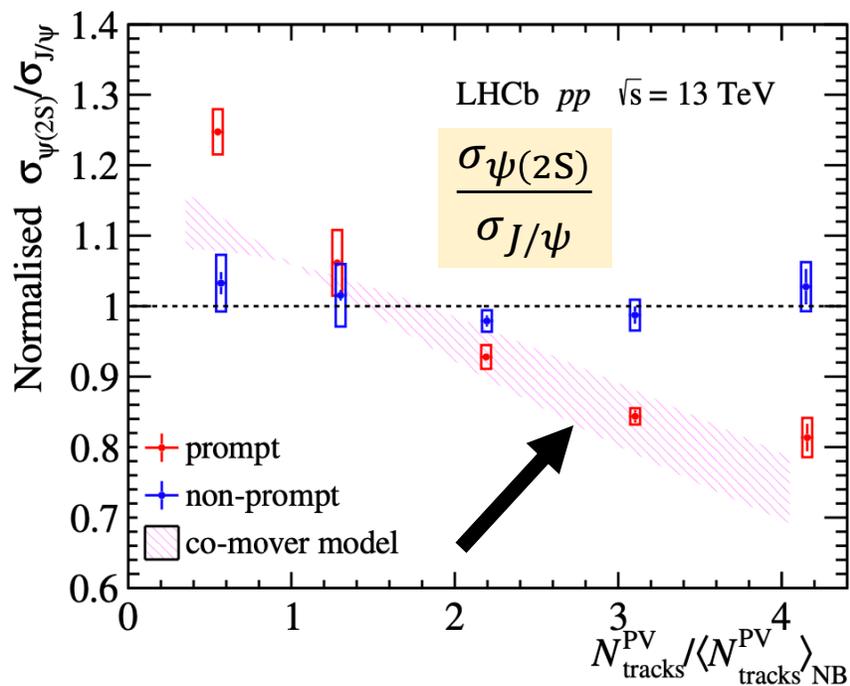
清华

- $\psi(2S)$ 相对 J/ψ 截面比值、 $\Upsilon(2S)$ 和 $\Upsilon(3S)$ 相对 $\Upsilon(1S)$ 截面比值随带电多重数显著下降
- 与comover模型相符，帮助理解高能核物质效应

首次在小对撞系统观测到该现象

JHEP 05 (2024) 243

LHCb-PAPER-2024-038, 将投至JHEP



电弱物理

2 JHEP (1发表、1将发表)

- 测量Z玻色子截面
- 精确测量弱混合角 θ_{eff}

前向快度区的特色研究

Z玻色子产生与性质

华中师大

- 利用 $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 测量Z玻色子产生截面
 - pp 对撞 $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, 前向快速区
- 检验标准模型, 为PDF拟合提供输入

- 利用 $Z/\gamma^* \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 前后向不对称性 A_{FB} 测量弱混合角 θ_{eff}^l

A_{FB} 系统误差

$$\sin^2 \theta_{\text{eff}}^l = 0.23147 \pm 0.00044 \pm 0.00005 \pm 0.00023$$

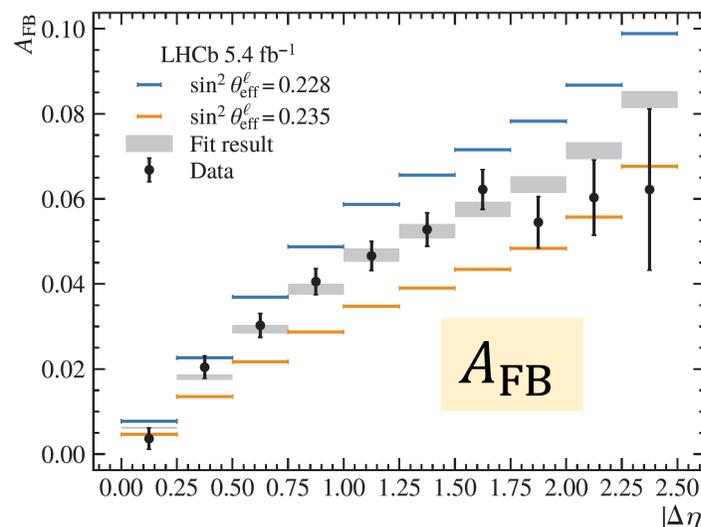
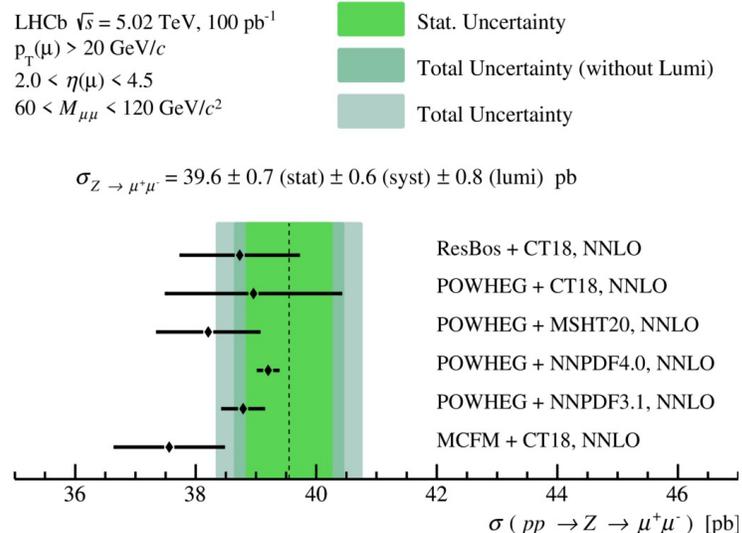
理论系统误差

前向快速区最精确的实验结果

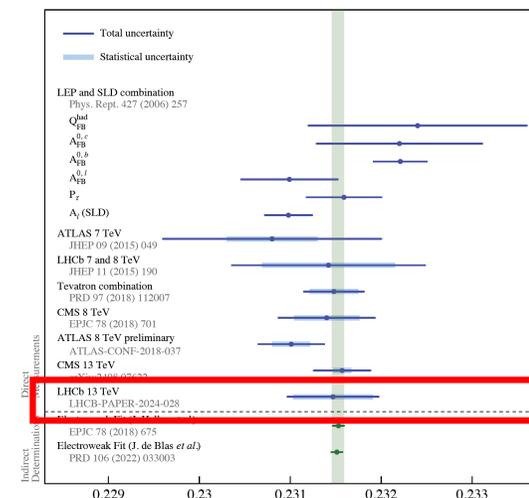
arXiv:2410.02502, JHEP已接受

华南师大
华中师大
北大

JHEP 02 (2024) 070



$$\frac{d\sigma}{\cos \theta^*} \propto 1 + \cos^2 \theta^* + \frac{8}{3} A_{FB} \cos \theta^*$$



$$\sin^2 \theta_{\text{eff}}^l$$

综述：大型强子对撞机LHCb实验专题



LHCb实验上的强子谱学、CP破坏和电弱物理研究

高原宁, 谢跃红, 杨振伟

LHCb探测器及升级计划

李一鸣, 刘凯, 徐子骏

LHCb上双重味重子的实验研究进展

何吉波, 尹航

LHCb实验上粲重子寿命和质量的精确测量

吕晓睿, 傅金林

LHCb实验上底强子衰变直接CP破坏的测量

钱文斌, 杨友华, 张宇, 周晓康

LHCb实验利用电弱探针与光诱导过程研究核物质效应的进展

李衡讷

LHCb实验上五夸克态研究进展

张黎明, 傅金林, 蔡浩

LHCb实验上重夸克偶素产生机制研究进展

安刘攀, 李培荣, 杨振伟, 张艳席

中性B介子衰变中时间依赖CP破坏的实验研究进展

谢跃红, 张黎明

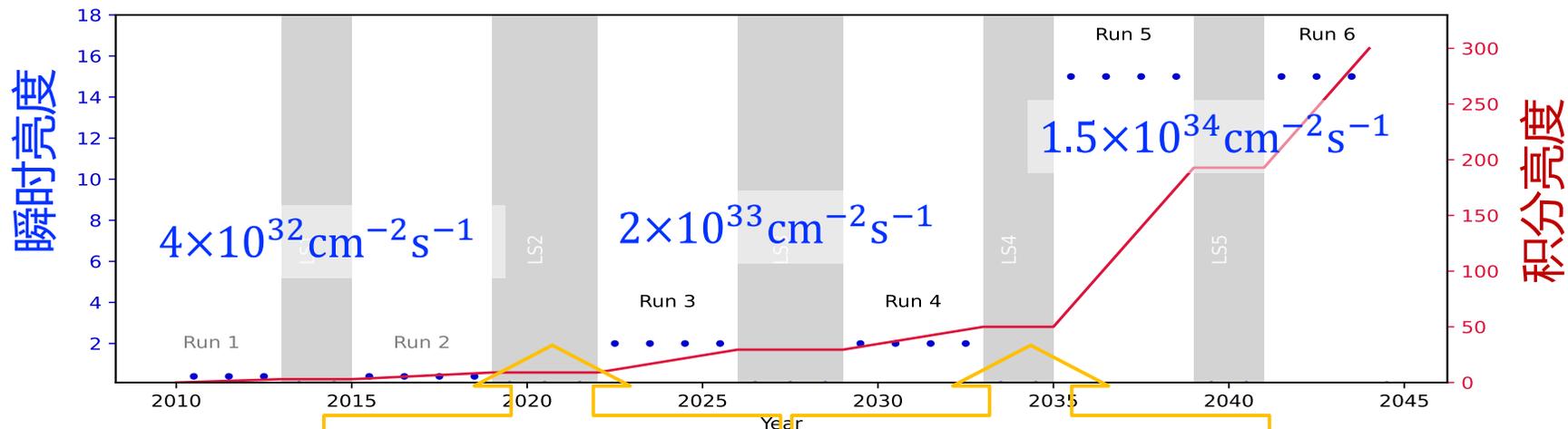
LHCb实验上前向区域的电弱物理测量

尹航, 徐梦琳

提纲

- LHCb实验概况
- LHCb中国组单位与人员情况
- 2024年度亮点物理成果
- 探测器运行、升级和服务工作
- 总结与鸣谢

LHCb升级计划和挑战

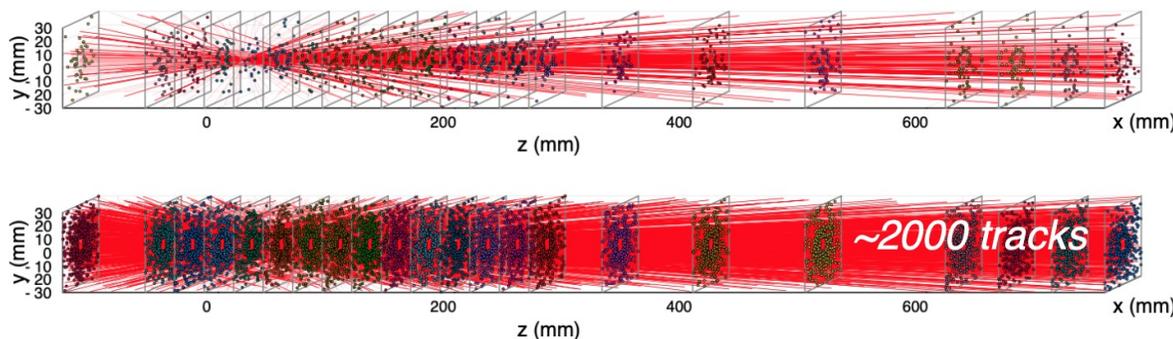


- 一期升级**
- 亮度提升×5
 - 更换全部径迹探测器
 - 移除硬件触发

- 二期升级**
- 亮度提升×7.5
 - 可处理事例堆积
 - 高抗辐照的子探测器

**高辐照剂量
高事例堆积**

顶点探测器
中的pp对撞
顶点和径迹



当前：事例堆积 ~5

未来：事例堆积 ~40

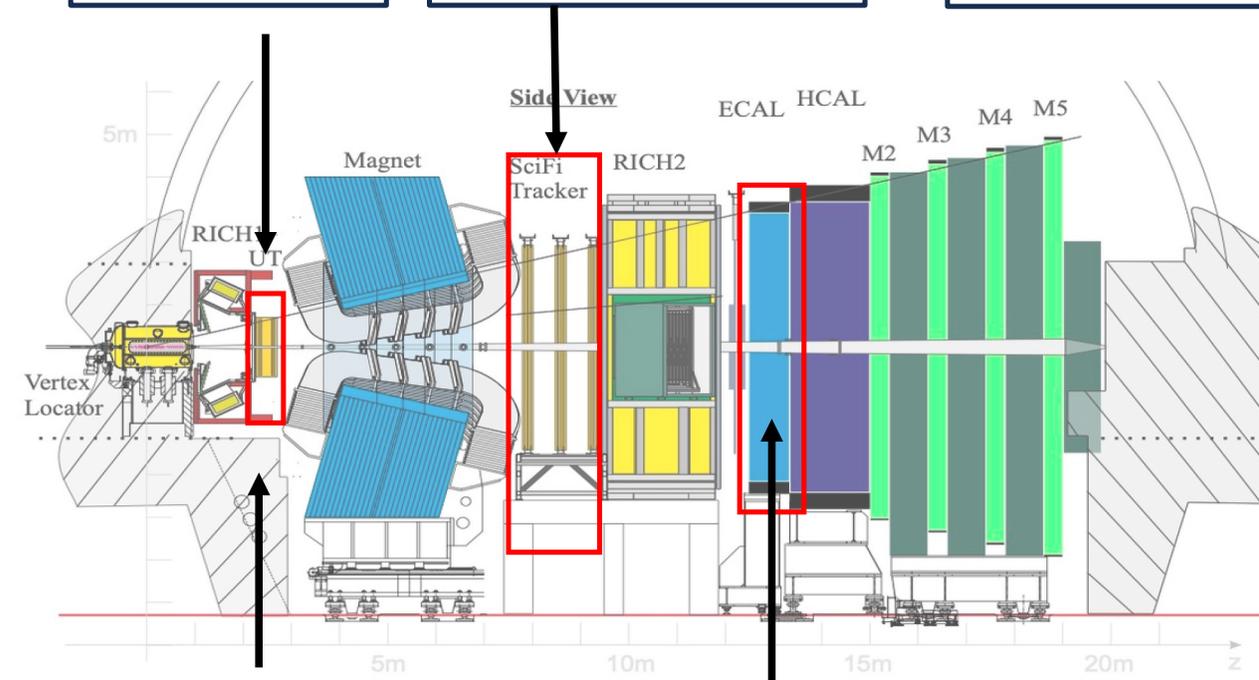
中国组贡献

一期升级:

上游径迹
探测器UT

闪烁光纤径迹
探测器SciFi

网格计算、核心软件开
发、数据处理、刻度...



二期升级:

UT研发

电磁量能器
ECAL研发

网格计算、
核心软件开发...

一期升级：闪烁光纤径迹探测器SciFi

➤ 已完成升级，稳定运行物理取数

中国组（清华）承担PACIFIC前端电子学板

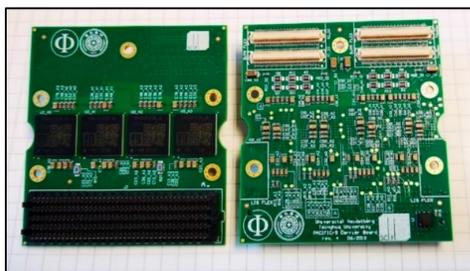
- 与海德堡合作设计研制
- 负责完成了全部2528套的生产

➤ 2024年继续在SciFi运行维护发挥重要作用

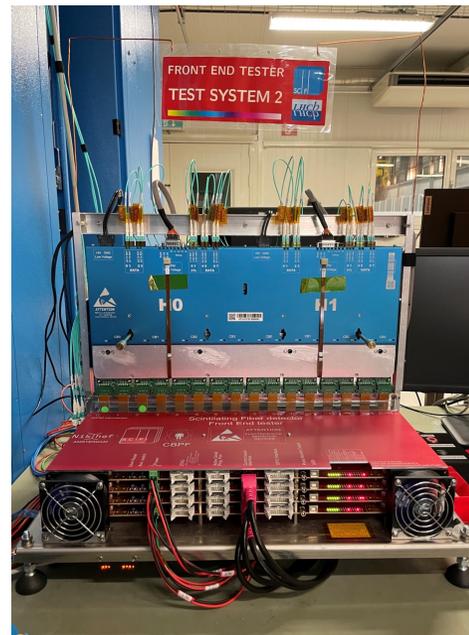
- 先后3人常驻CERN参与SciFi交付调试和运行
- 担任SciFi Piquet值班，多次解决突发状况

➤ SciFi前端电子学测试系统（FE Tester2）

- 准备面向YETS 2024的前端电子学模块更换工作
- 对FE Tester软件升级开发（与巴西组合作完成）
- 批量测试前端电子学备件（紧张进行中）



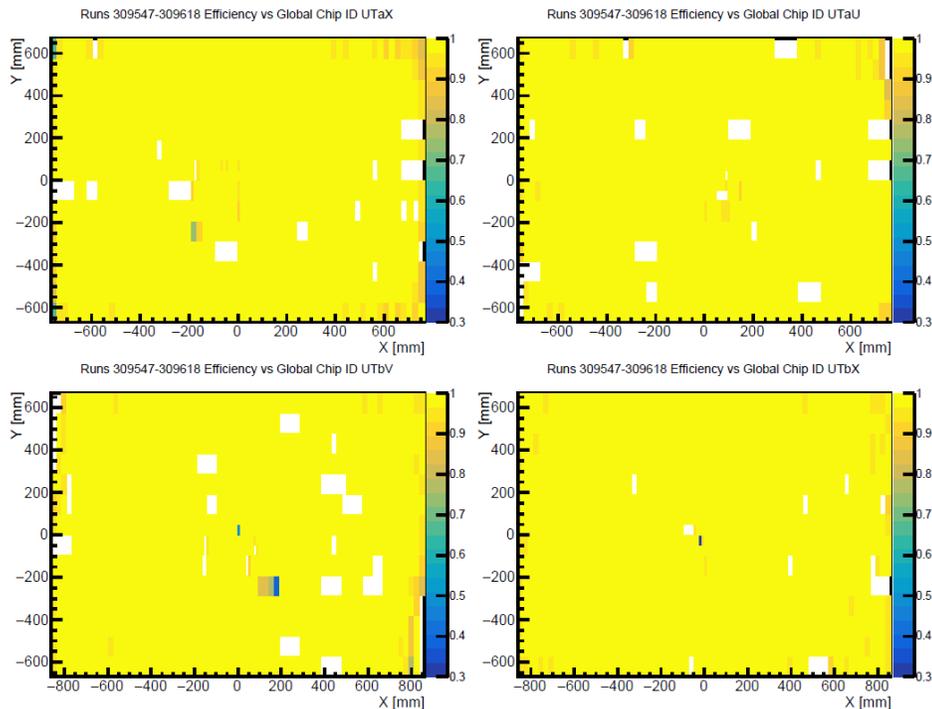
SciFi 探测器和前端电子学



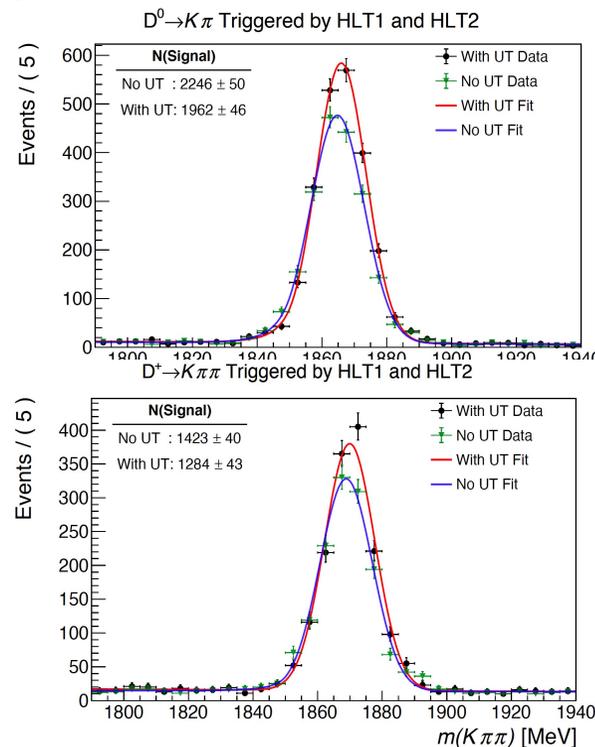
SciFi FE Tester2

一期升级：上游径迹探测器UT

- 完成升级，并在高事例堆积条件下参与物理取数，效率和物理性能达到设计指标
- 中国组在UT安装和运行中发挥骨干作用



运行效率均接近100%



显著提升信号产额



二期升级：基于像素探测器的UT升级

主要参与单位

高能所
华中师大
国科大
湖大
兰大

➤ 中国组提出并领导研发基于CMOS像素探测器技术的UT升级方案

多人担任WP召集人：

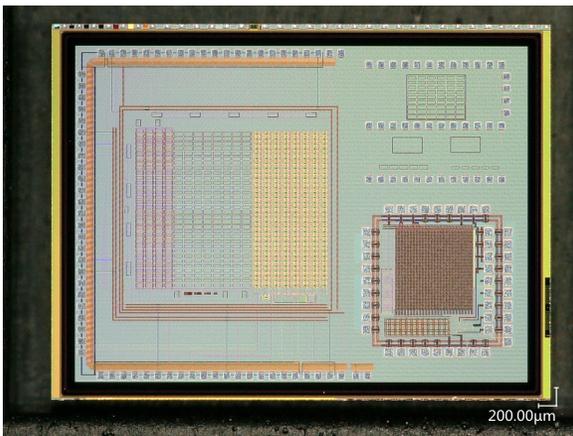
袁煦昊 (WP1模拟和性能研究)

俞洁晟 (WP3模块和机械结构)

李一鸣 (WP2 芯片设计测试)

陈凯 (WP5 数据获取)

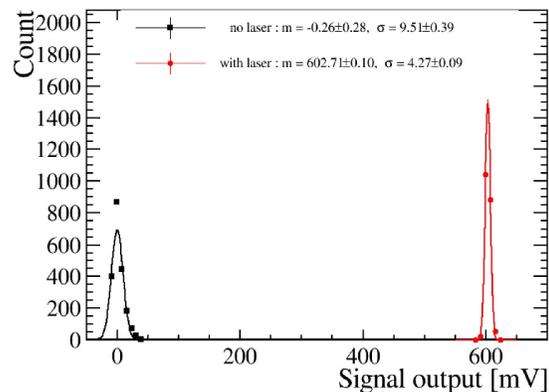
➤ 首次研制基于国产的先进55nm高压CMOS芯片，测试验证工艺可行性



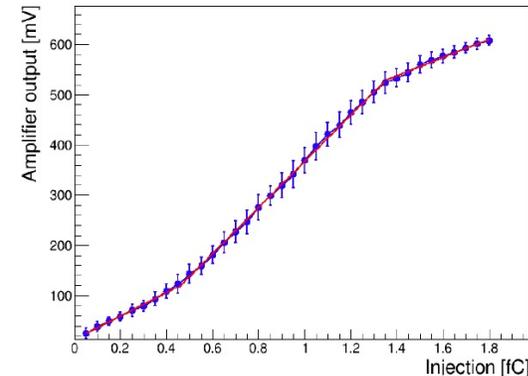
CMOS芯片: COFFEE2



测试系统



清晰的激光信号响应

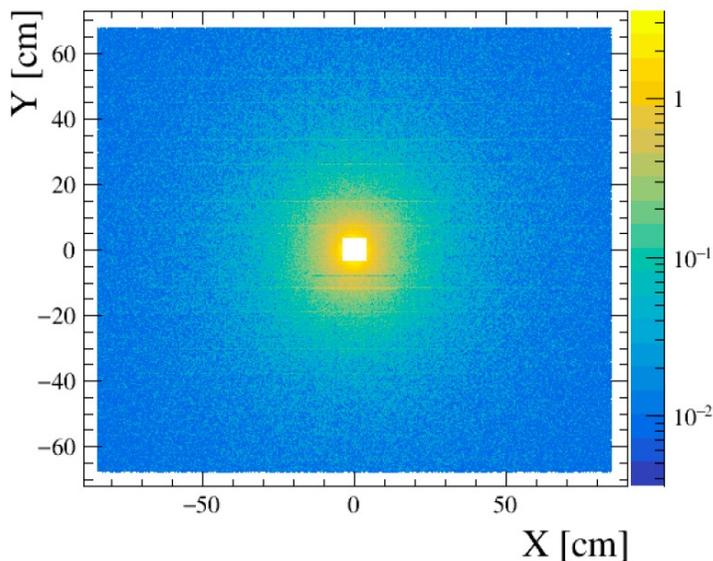


放大器线性响应符合预期

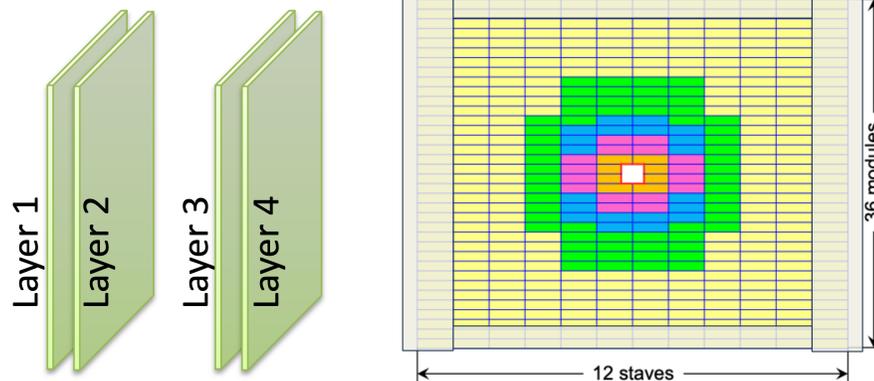
“Feasibility study of CMOS sensors in 55nm process for tracking”, NIM A1069 (2024) 169905

二期升级：UT模拟和设计

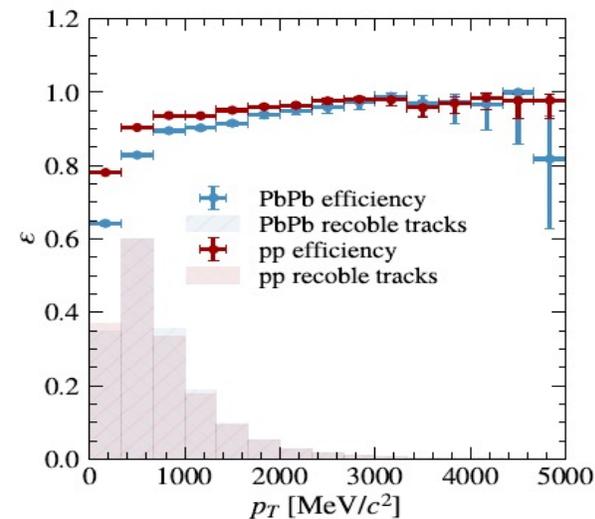
- 基于模拟为探测器结构和性能研发提供指导
- 负责 Upgrade II Scoping Document 相关章节



模拟获取UT击中率
为设计提供关键输入



探测器层数、接收度研究

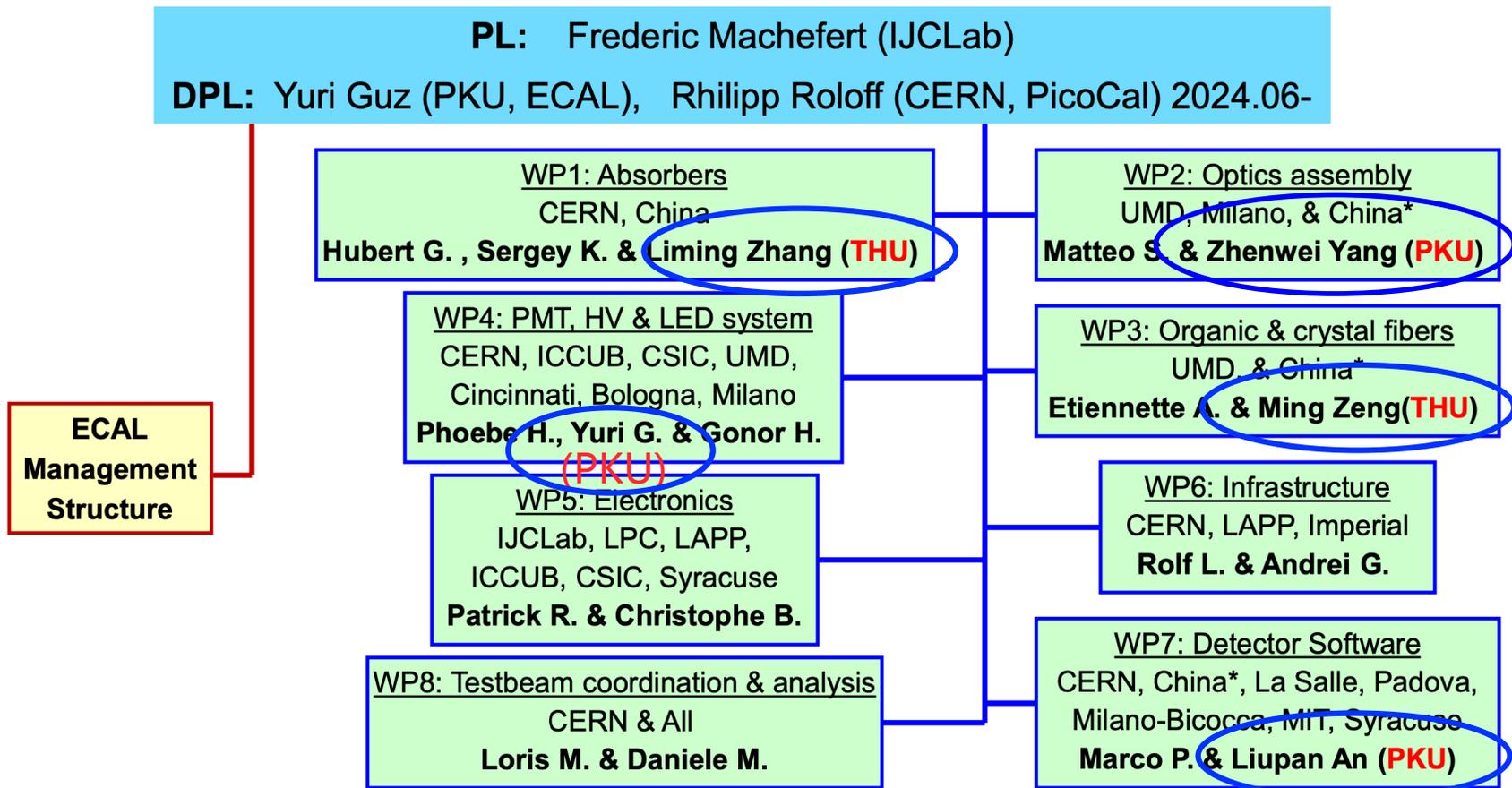


联合UT, VELO, MT的
的径迹效率研究

二期升级：电磁量能器研发项目组架构

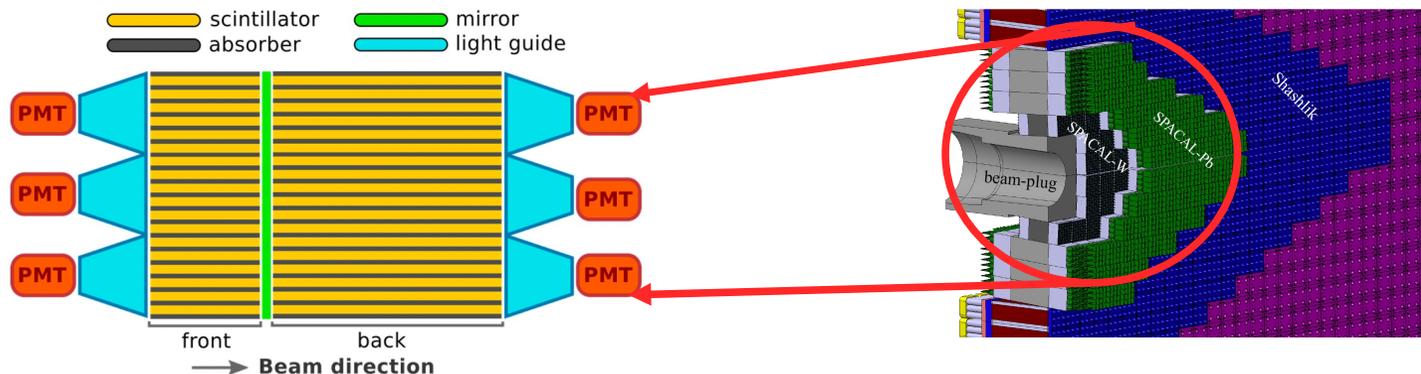
主要参与单位

北大
清华
武大
华南师大



二期升级： SPACAL量能器

- 最核心部位采用基于GAGG晶体+钨的SPACAL量能器 (Spaghetti Calorimeter)



读出时间信息：
PicoCal

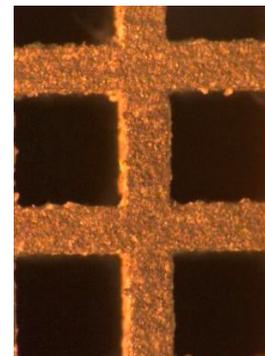
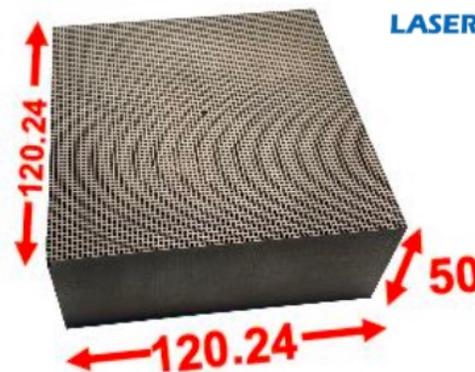
闪烁光纤：GAGG (抗辐照、光产额高)

主要目标：在满足抗辐照性能和光产额要求的条件下，降低光衰减时间 (10 ns以下)，提高时间分辨率，降低溢出 (spillover) 效应

钨吸收体：辐射长度短、莫里哀半径小

主要目标：提高3D打印的表面粗糙度和打印精度

Unit: mm

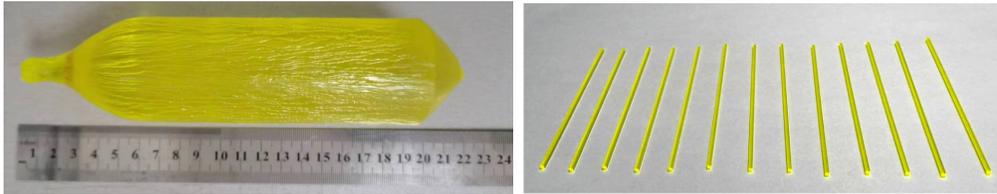


基本达到技术指标要求

GAGG闪烁晶体研发

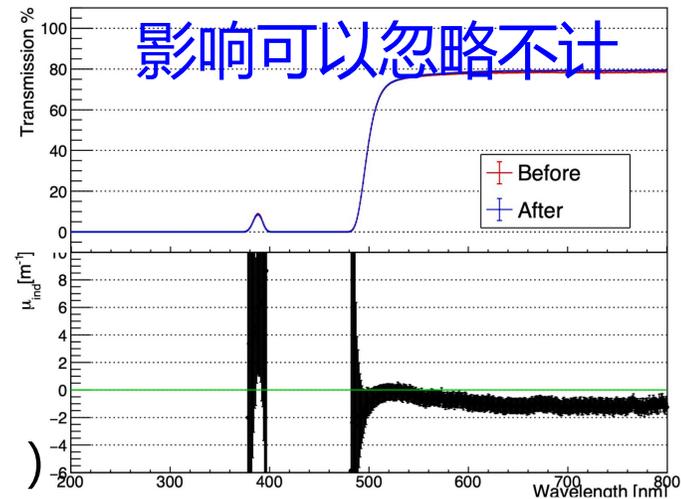
2024.11
等待辐照的晶条

- GAGG晶体：高抗辐照，密度高，光产额高
- 商业GAGG有效衰减时间约50纳秒，希望降到5-10纳秒
- 正与中国电科芯片技术研究院合作，已降至15纳秒左右



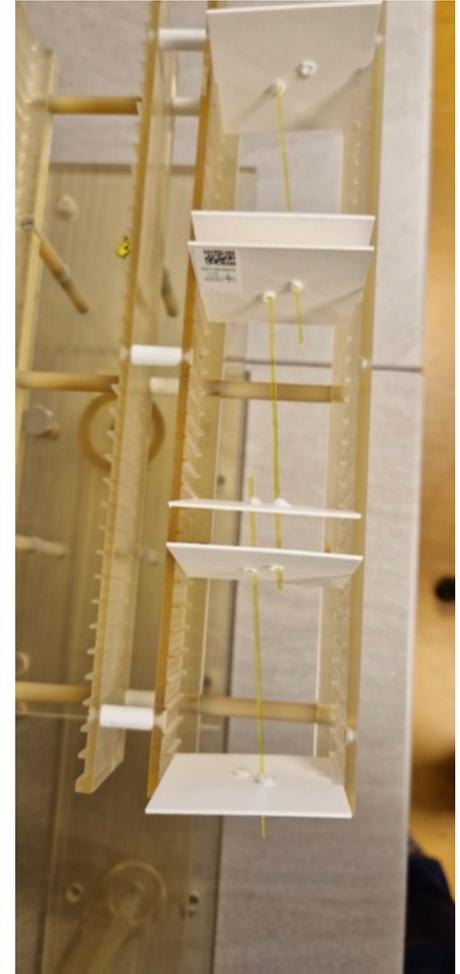
2023年样品辐照前后
透射率对比

GAGG SiPAT B1

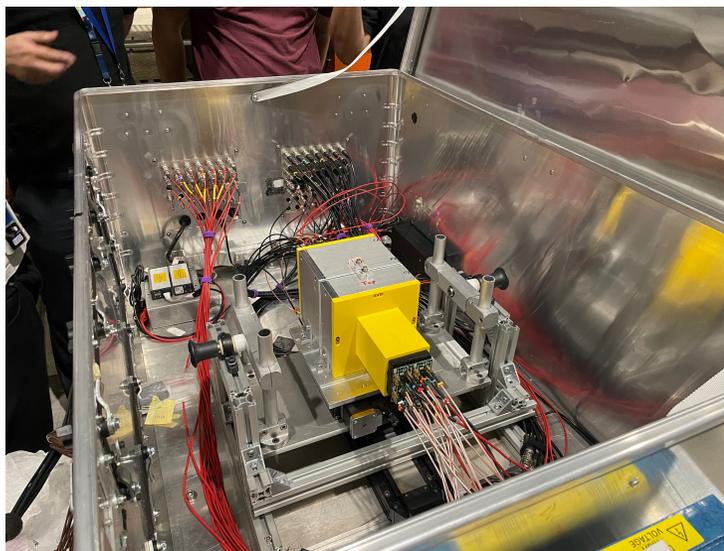
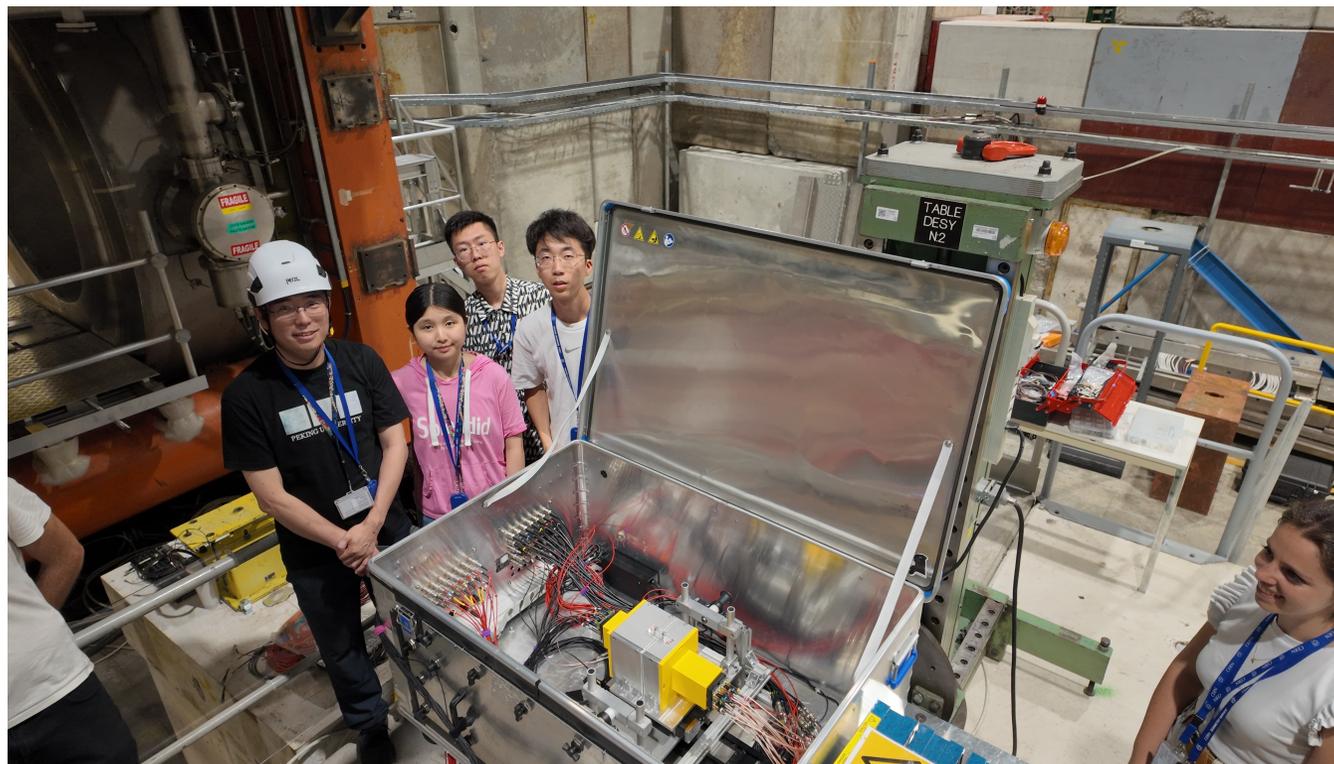
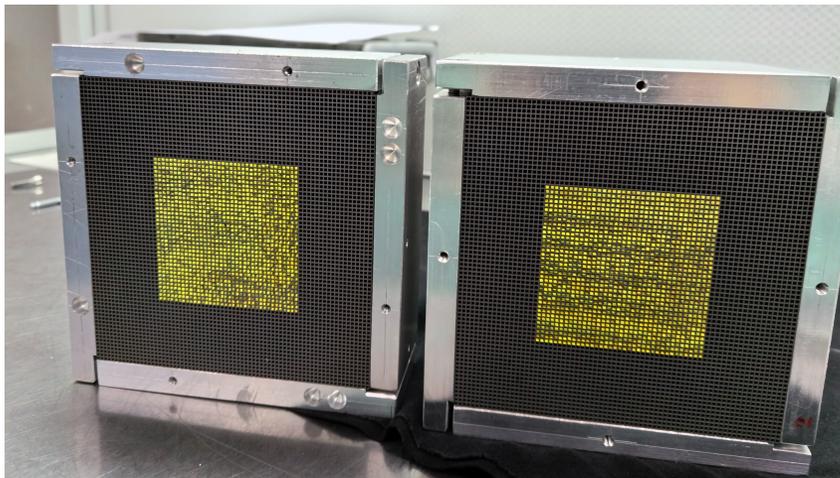


正在开展辐照
性能实验

2023年块状样品辐照
约100 kGy
(4.5×10^{14} 质子/cm³)



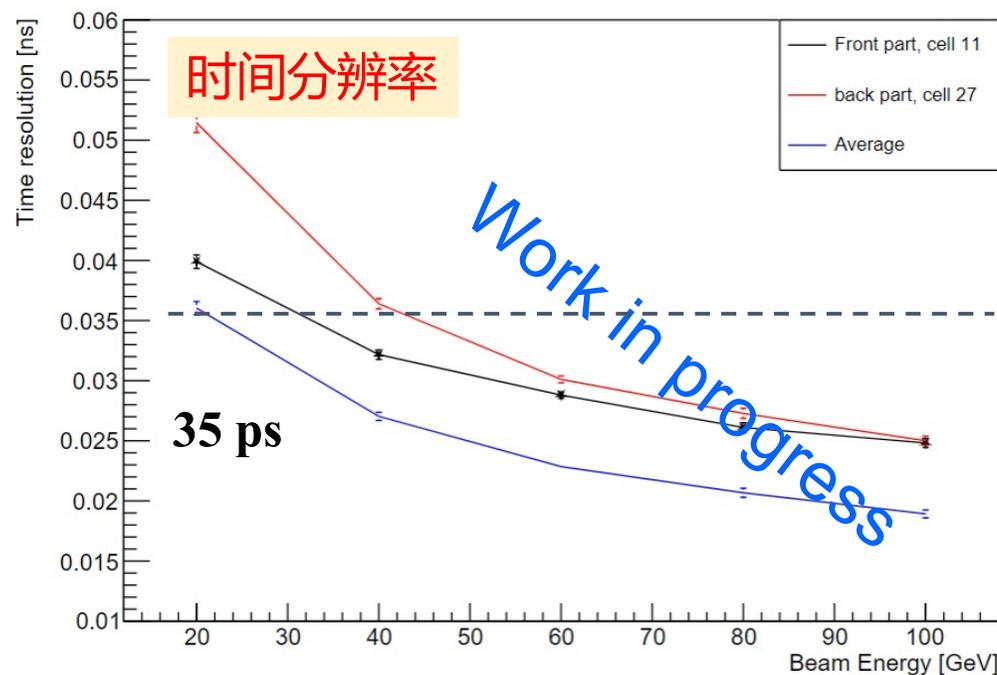
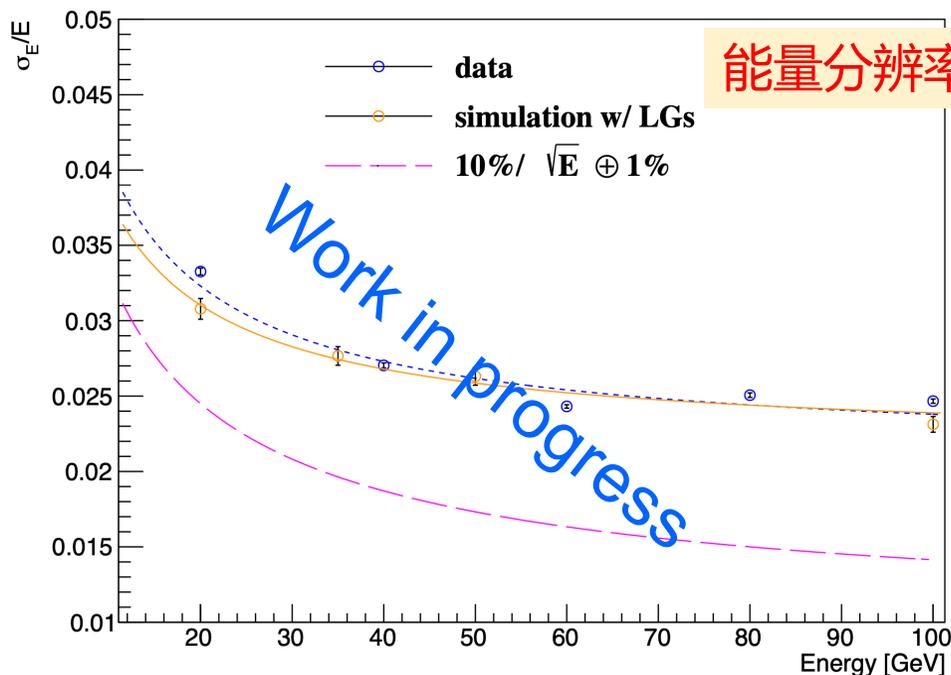
SPACAL-W-GAGG 原型样机与束流实验



CERN SPS, 2024年6-7月

SPACAL-W-GAGG: 束流实验结果

CERN SPS, 电子, 能量 20-100 GeV, 束流入射角 $3^\circ+3^\circ$



$$\Delta E/E = \frac{11\%}{\sqrt{E}} \oplus 2\%$$

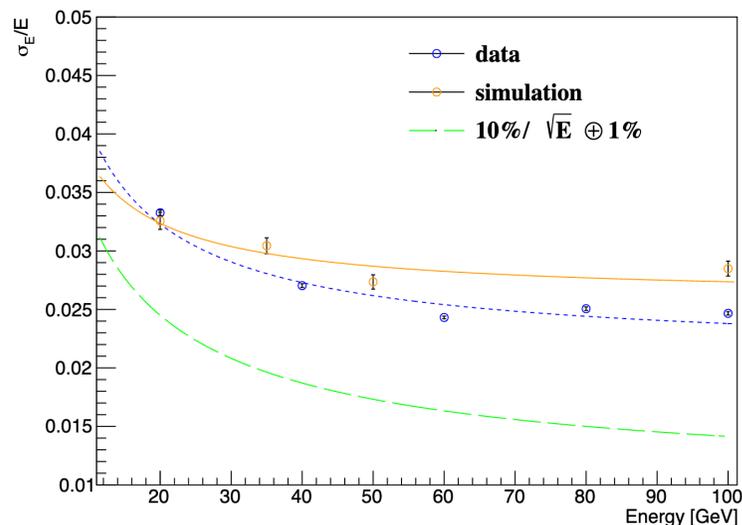
20 GeV: 时间分辨率约 35 ps

束流实验中光电倍增管、光导等未优化, 预期未来会获得更好的性能

ECAL 模拟

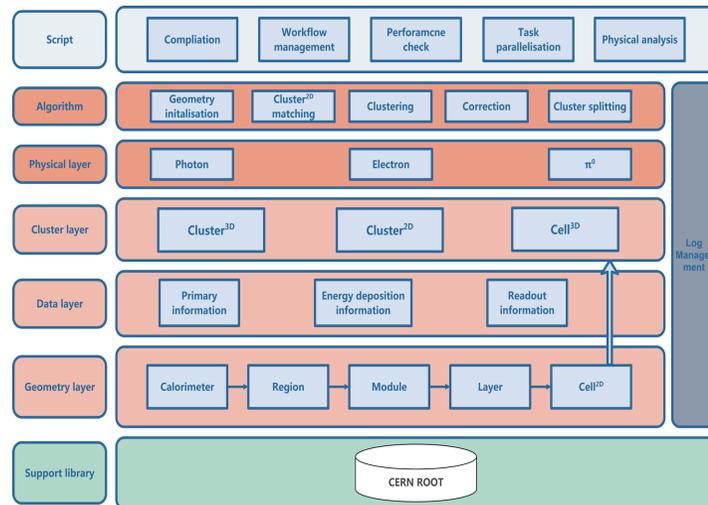
➤ W-GAGG原型机模拟

- 理解束流实验结果
- 优化原型机设计



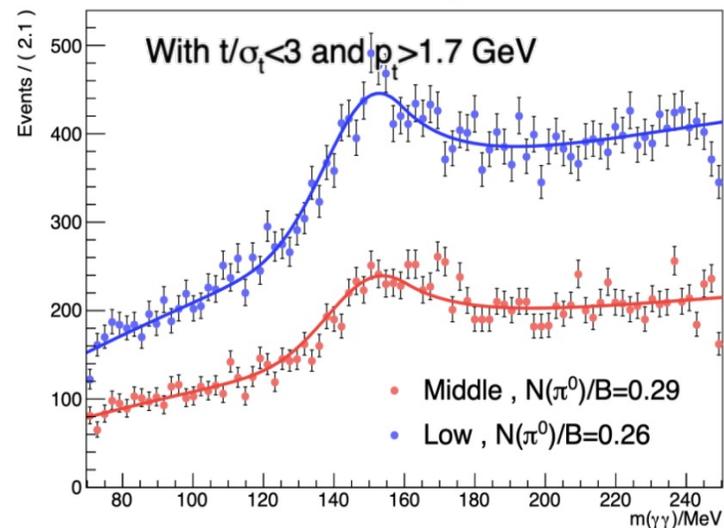
➤ 重建算法开发

- 挖掘探测器双端读出设计
- 充分利用时间信息



➤ 物理衰变道性能研究

- 研究不同衰变道的物理性能
- 不同探测器设计的性能对比



LHCb亚洲区域**首个**一级网格计算站点正式建立

➤一级站点从2022年10月开始建设，**2024年6月**
通过WLCG国际网格正式认证

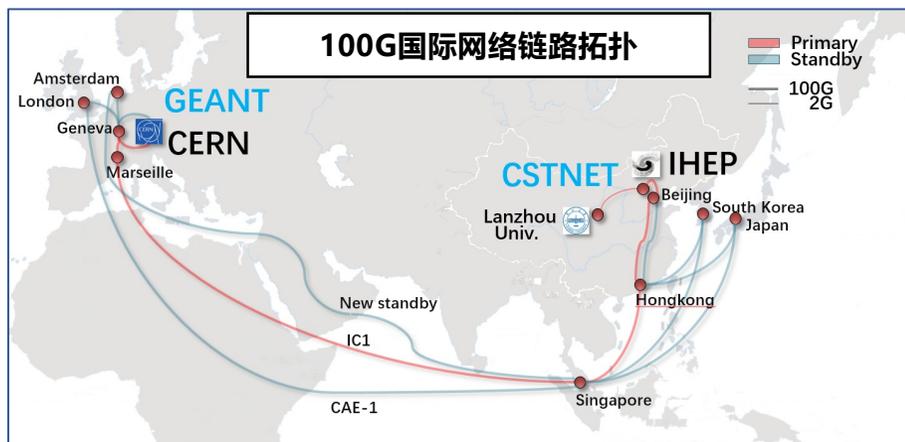
- LHCb中国组联合高能所计算中心、中科院网络中心等单位共同建立
- 负责域内核心数据处理及转发，承担二级站点的技术支持
- 2024年数据与计算贡献：32.9PB数据处理量

➤基于一级网格站点建设，**发起建立100G中欧国**
际科研网络链路

- 将国际数据传输能力提升10倍，服务于全部LHC实验及其他中欧合作实验

➤**兰州大学建成LHCb最大的二级网格计算站点**

- 主要承担LHCb数据模拟任务
- 2024年数据与计算贡献：0.37PB数据处理量



实时数据分析 (Real Time Analysis, RTA)

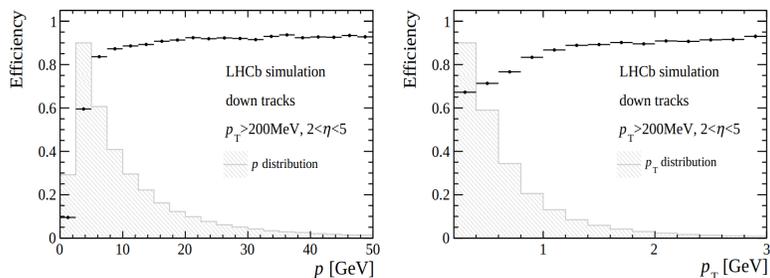
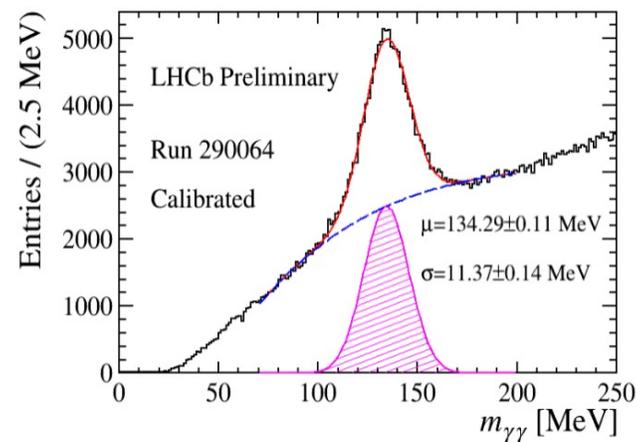
➤ RTA项目组WP协调人

- Miroslav Saur (2024.06-), 项目框架、品控和运行 (WP5)
- 李佩莲 (2024.01-), 面向二期升级的研发 (WP 6)

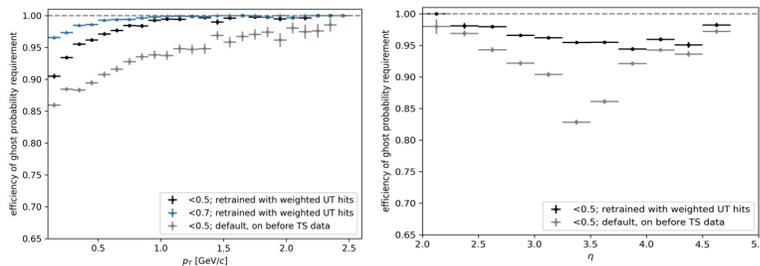
➤ 大量软件开发、调试、运行检测等工作

- 粒子鉴别的刻度
- 探测器几何与物质描述从DetDesc到DD4hep的升级
- HLT1调试, 重建效率进一步提高了约20%
- HLT2 persistency、完整的软件框架测试系统、RTA软件维护

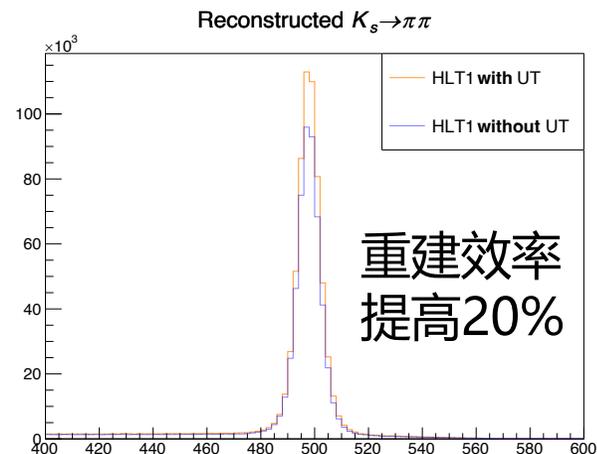
电磁量能器中
 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ 的刻度



磁铁下游径迹探测器基于
FPGA的重建算法研究



HLT2伪径迹的研究



重建效率
提高20%

国际会议报告

1. 李衡讷（华南师大）， Searches for BSM decays of the Higgs boson (e.g. $H \rightarrow aa$), Higgs, Beijing, China, 27 November, 2023
2. 屈三强（清华）， Exotic hadrons at LHCb , Excited QCD, Benasque, Spain, 14 January, 2024
3. Angel Campoverde (国科大)， LFV and/or rare beauty and charm decays, Moriond EW, Moriond
4. 蒋艺（国科大）， Heavy flavour spectroscopy at LHCb, Moriond QCD, Moriond
5. 袁煦昊（高能所）， The LHCb Upgrade II, DIS, Grenoble, France
6. Mark Tobin（高能所）， LHCb upgrades, FPCP, Bangkok, Thailand
7. 杜大佑（清华）， Challenges in heavy-flavor amplitude analyses at LHCb, Athos/PWA, Williamsburg, USA
8. 李衡讷（华南师大）， Ultra-peripheral collisions at LHCb, SQM, Strasbourg, France, 3 June, 2024
9. 王剑桥（清华）， Open heavy flavor production at LHCb, SQM, Strasbourg, France, 3 June, 2024
10. 康有恩（清华）， Recent conventional and exotic charmonia results from LHCb, SQM, Strasbourg, France, 3 June, 2024
11. 任赞（国科大）， Recent studies of pentaquarks at LHCb, ICHEP, Prague, Czech Republic, 17 July, 2024

国际会议报告

12. 李一鸣（高能所）， Development of Upstream Tracker using MAPS for the LHCb Upgrade II, ICHEP, Prague, Czech Republic, 17 July, 2024
13. 张辰佳（北大）， Scintillating sampling ECAL technology for the LHCb PicoCal, ICHEP, Prague, Czech Republic, 17 July, 2024
14. Miroslav Saur（北大）， Charmed hadron properties and spectroscopy at LHCb, ICHEP, Prague, Czech Republic, 17 July, 2024
15. 伍彦西（北大）， Beauty baryon decays at LHCb, ICHEP, Prague, Czech Republic, 17 July, 2024
16. 盛书琪（高能所）， Beauty baryon decays at LHCb, FB23, Beijing, China, 22 September, 2024
17. 杨振伟（北大）， Recent studies of pentaquark states at LHCb, FB23, Beijing, China, 22 September, 2024
18. 沈志宏（北大）， Recent studies of tetraquark states at LHCb, FB23, Beijing, China, 22 September, 2024
19. 安刘攀（北大）， Progress on hadron physics from LHCb, FB23, Beijing, China, 22 September, 2024
20. 王剑桥（清华）， Strangeness studies in LHCb heavy-ion collisions, Hard Probes, Nagasaki, Japan, 22 September, 2024
21. 连政辰（清华）， Flow and correlation measurements at LHCb , Nagasaki, Japan, 22 September, 2024

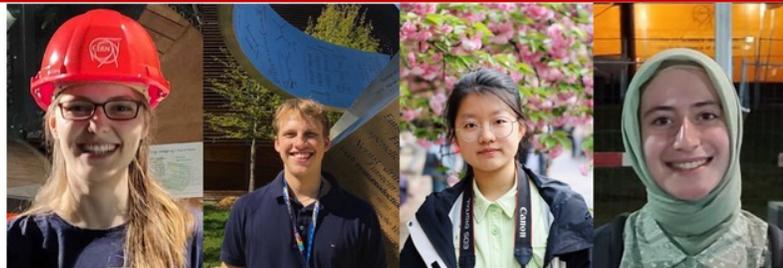
国际会议报告

22. 罗毅恒（北大），Recent studies of LHCb open charm production Nagasaki, Japan, 22 September, 2024
23. 董宸志（清华），Charmonium production measurements in large systems at LHCb (Abstract) , Nagasaki, Japan, 22 September, 2024
24. 康有恩（清华），Polarization measurement and prospects at LHCb (Abstract) , Nagasaki, Japan, 22 September, 2024
25. 王禹昊（北大），Conventional hadron spectroscopy at LHCb, FB23, Beijing, China , 22 September, 2024
26. 张黎明（清华），Hadron spectroscopy from LHCb, CEPC workshop , Hangzhou, China, 23 October, 2024
27. 方勃（国科大），LHCb analysis and prospects for final states with taus, CEPC workshop, Hangzhou, China, 23 October, 2024
28. 杜大佑（清华），Baryon Spectroscopy (including exotic baryons), Implications of LHCb Measurements and Future Prospects, CERN, 23 October, 2024
29. 朱琳莹（国科大），Conventional and Exotic Charm Meson Spectroscopy, Implications of LHCb Measurements and Future Prospects, CERN, 23 October, 2024
30. 王禹昊（北大），Beauty Meson Spectroscopy, Implications of LHCb Measurements and Future Prospects, CERN, 23 October, 2024
31. 王剑桥（清华），Latest measurements of heavy flavor production in heavy-ion collisions at LHCb, HF-HNC, Guangzhou, China, 16 December, 2024

人才培养：张淋诺获2024 LHCb最佳暑期学生奖



- Francis Roy Beckert, University of Stanford, "[Fourier analysis to improve calorimeter fast simulations: The 6 Seasons model](#)"
- Betul Dogrul, University of Bilkent, "[RUST bindings for DIM](#)"
- Penelope Hoffmann, University of Heidelberg, "[Tracking Studies for the Upgrade II of the LHCb Experiment](#)"
- Jonas Kann, RWTH Aachen University, Aachen, "[Untangling the Cables: Streamlining Muon Detector Operation](#)"
- Linnuo Zhang, University of Science and Technology of China, "[\(Re\)discovery of the Doubly Charmed Baryon in LHCb-Run 3 Data](#)"



From left to right:
Penelope Hoffmann, Jonas Kann, Linnuo Zhang, Betul Dogrul

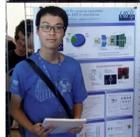
张淋诺

由何吉波（国科大）和Monica Pepe（CERN）共同指导。
曾在高能所LHCb组参加科创项目

人才培养：张舒楠获2024 LHCb优秀博士论文奖

2022 LHCb Thesis Award Winners

- **Giulia Tuci** (Universita di Pisa, Giovanni Punzi adv.), [CERN-THESIS-2020-325](#), *Searching for confirmation of charm CP violation in K_S^0 final states at LHCb*
- **Guillaume Pietrzyk** (EPFL, Frederic Blanc adv.), [CERN-THESIS-2021-295](#), *Precision measurement of neutral charm meson mixing parameters*
- **Mengzhen Wang** (Tsinghua Univ., Liming Zhang adv.) [CERN-THESIS-2021-314](#), *Amplitude analysis of the $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$ decay and first observation of the $\Lambda_b^0 \rightarrow \eta_c(1S) p K^-$ decay*



2022

王梦臻
清华大学



2024 LHCb Thesis awardees

- **Shunan Zhang** (Peking University, advisor Yuanning Gao), [CERN-THESIS-2023-387](#), *“Study of the CP violating phase γ at the LHCb experiment”*
- **Alessandro Scarabotto** (Sorbonne University, advisors VV Gligorov and Marianna Fontana), [CERN-THESIS-2023-271](#), *“Search for rare four-body charm decays with electrons in the final state and long track reconstruction for the LHCb trigger”*
- **Sara Celani** (EPFL, advisor Lesya Shchutka), [CERN-THESIS-2023-121](#), *“Testing lepton flavour universality in $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \ell^+ \ell^-$ decays with LHCb”*



张舒楠
北京大学



敬请关注LHCb的结果

大会报告 ×5

尹 航 (华中师大)	, Electroweak physics,	11.14号 12:00-12:25
俞洁晟 (湖南大学)	, Rare decays,	11.15号 09:00-09:25
李佩莲 (国科大)	, CP violation,	11.15号 09:25-09:50
张黎明 (清华大学)	, Hadron spectroscopy,	11.15号 09:50-10:15
袁煦昊 (高能所)	, LHCb Upgrade,	11.17号 09:20-09:45

敬请关注LHCb的结果报道

分会报告 (Heavy Flavor/Heavy Ion Physics/QCD) ×16

✓周四 (11.14) 下午

- 14:30-14:45, 康有恩 (清华大学) Heavy quarkonium probes in small and large systems
- 15:00-15:15, Tou Da Yu (清华大学) New results on pentaquarks
- 15:15-15:30, 王剑桥 (清华大学) Heavy flavor production in proton-lead collisions
- 15:45-16:00, 李可陈 (华中师大) Prospect for time dependent CPV in $b \rightarrow sll$ decays
- 16:35-16:50, 戴鑫琛 (清华大学) CPV in charmless Λ_b^0 decay
- 16:50-17:05, 李曼殊 (华中师大) Evidence of CPV in $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$ decay
- 17:05-17:20, 郑爽 (北京大学) Amplitude analysis of $B^- \rightarrow D^- D^0 K_S^0$ decay
- 17:20-17:35, 朱林萱 (国科大) Amplitude analysis of $D_s(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^+ \pi^-$ decay
- 17:30-17:50, 蒋艺 (国科大) Amplitude analysis of $B^+ \rightarrow D^{*+} D^- K^+$ decay

✓周五 (11.15) 下午

- 14:50-15:05, 童星昱 (北京大学) Study of the Ξ_{cc}^{++} decay
- 15:05-15:20, 万关越 (北京大学) First determination of $\Xi_c(3055)^{+,0}$ spin-parity
- 15:20-15:35, 吴翔宇 (武汉大学) Search for $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$ decay
- 15:35-15:50, 虞晨煦 (北京大学) Branching fraction and CPV measurements for $\Lambda_b^0/\Xi_b \rightarrow \Lambda h h'$ decays
- 17:25-17:40, 汪小琳 (华南师大) Coherent charmonium production in ultra-peripheral lead-lead collisions
- 17:55-18:10, 王禹昊 (北京大学) Measurement of Λ_b^0, Λ_c^+ and Λ decay parameters

✓周六 (11.16) 下午

- 17:10-17:25, 李天齐 (华南师大) Z production in proton-lead collisions at 8.16 TeV

敬请关注LHCb的结果

分会报告 (Upgrade/computing)

×11

✓周五 (11.15) 下午

- 15:20-15:35, 丁雨瞳 (中国电科) Fast LYSO and GAGG Scintillators for CMS MTD and LHCb upgrade
- 15:40-15:55, 张辰佳 (北京大学) Test-beam results of LHCb PicoCal R&D
- 16:20-16:35, 韦敏 (武汉大学) Doping optimization of the crystal materials based on ML
- 16:35-16:50, 罗毅恒 (北京大学) Performance on benchmarking physics channels for LHCb ECAL upgrade II
- 16:50-17:05, 费家乐 (武汉大学) Perspective on $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ performance after LHCb upgrade II
- 17:20-17:35, 段为松 (华南师大) Studies on light guide for LHCb ECAL Upgrade II

✓周六 (11.16) 下午

- 15:00-15:15, 冯铭婕 (高能所) UT commissioning and performance
- 15:15-15:30, 盛书琪 (高能所) Stripping and sprucing: offline analysis at LHCb
- 15:30-16:45, 项志宇 (高能所) CMOS R&D for LHCb UT in Upgrade II
- 15:45-16:00, 李艳茹 (华中师大) Simulation study for LHCb UT in Upgrade II
- 15:40-16:00, 陈缮真 (高能所) LHCb computing introduction

2024年总结

- **LHCb中国组实力稳步增强**：9个单位，教师44人，总人数221人
- **在合作组内继续保持重要影响力**：多人担任物理工作组召集人等职务
- **物理成果突出**：新增物理成果14项
 - CP破坏：4项 (1 CERN seminar)
 - 强子物理 (新强子态、强子性质测量)：6项 (1 PRL编辑推荐)
 - 重离子+电弱物理：4项
- **探测器运行和升级的贡献稳步增加**
 - 完成SciFi和UT一期升级
 - 三期运行的调试和数据采集工作
 - 负责UT和ECAL二期升级的研发工作
- **未来前景**
 - 2026年将完成三期取数，有效统计量有望提高5倍以上
 - 二期升级为进一步参与和负责核心技术研发提供条件

机遇和挑战并存，对人力资源和研究经费提出了更高的要求

致谢

➤ 科技部

- 国家重点研发计划 “大科学装置前沿研究”

➤ 国家自然科学基金委

- NSFC-CERN国际合作项目
- 基础科学中心项目
- 积极争取竞争性项目：青年、面上、重点、人才项目

➤ 教育部

- 通过各高校支持的学科（启动）建设经费

➤ 中国科学院

➤ 成员单位和其他渠道的人才项目

➤ 感谢科技部、基金委、科学院、教育部和成员所在单位多年来的支持!