

LHCb中国组2021年研究进展

孙亮（武汉大学）
代表LHCb中国组

CLHCp2021（线上），2021年11月25日
南京师范大学/清华大学联合主办



提纲

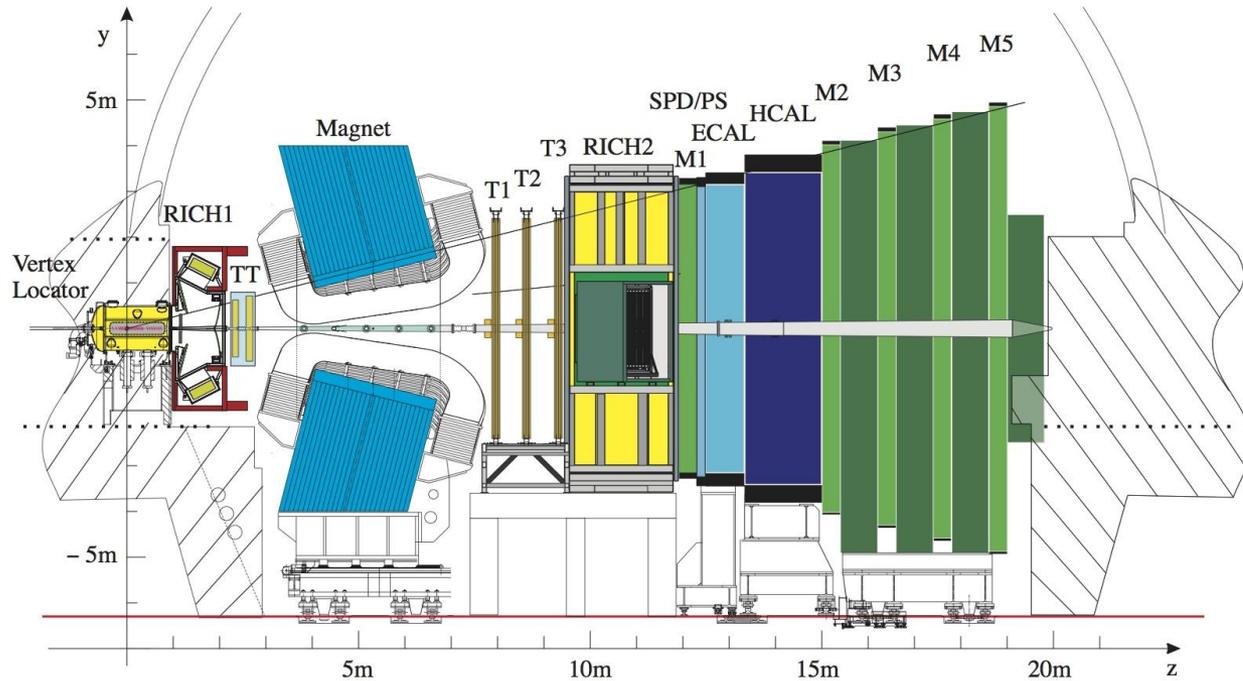
- LHCb实验概况
- LHCb中国组人员
- 2021年度中国组科研成果
- 探测器硬件、软件和服务工作
- 总结与鸣谢

LHC和LHCb实验



LHCb实验及其主要科学目标

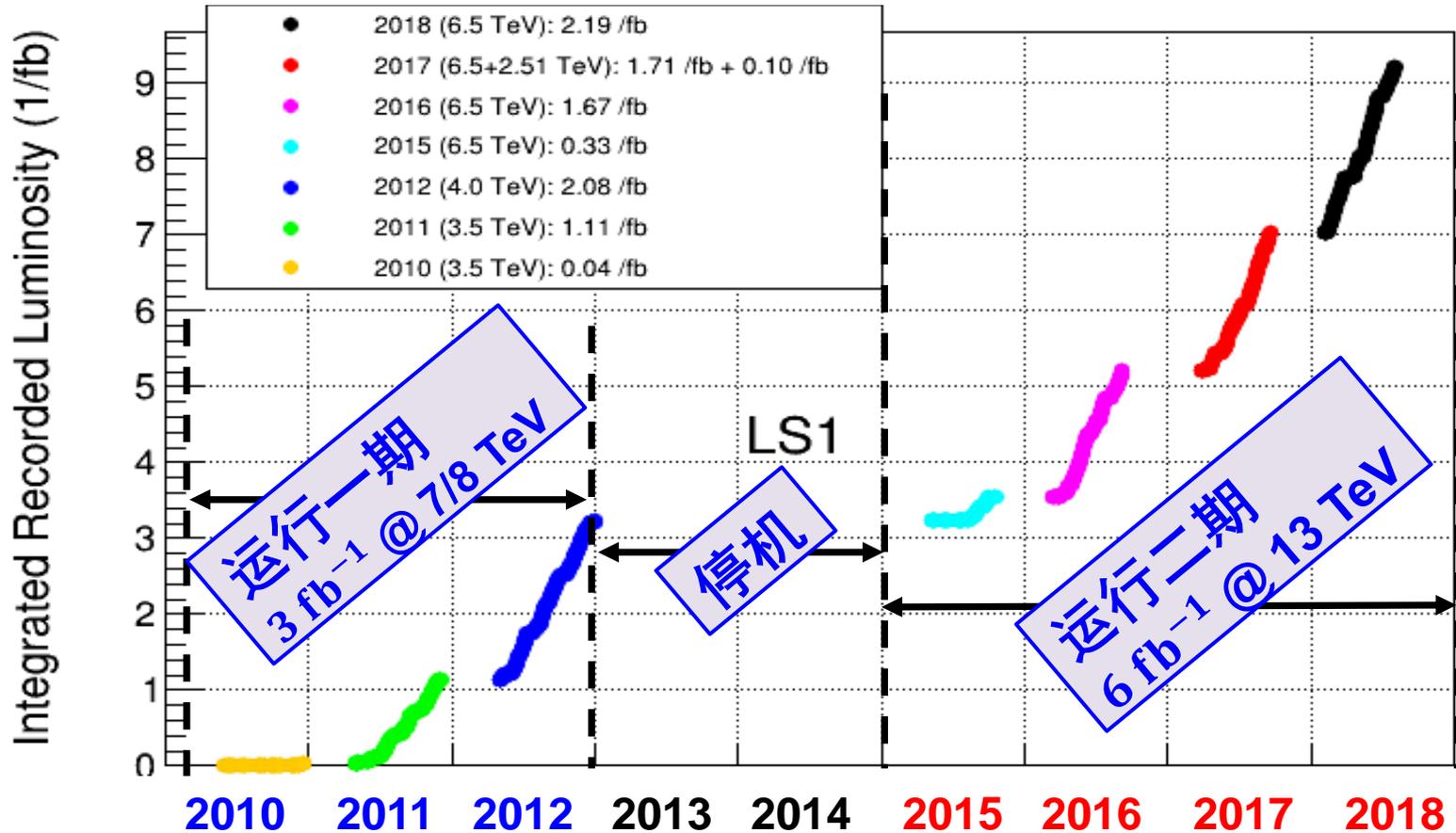
- LHCb成员：19个国家，87家单位，1504名成员



- 间接寻找新物理：稀有衰变、CP破坏
- 理解强相互作用：强子性质、新强子态
- 其它：电弱，重离子物理

LHCb数据采集

- LHCb实验采集了目前世界上最大的底/粲强子样本
- 新的（运行三期）取数工作即将于明年开始

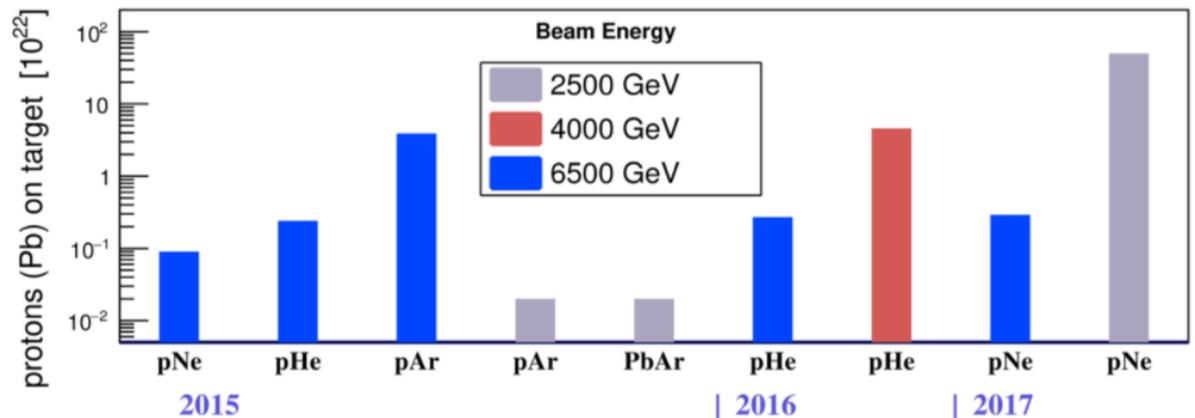
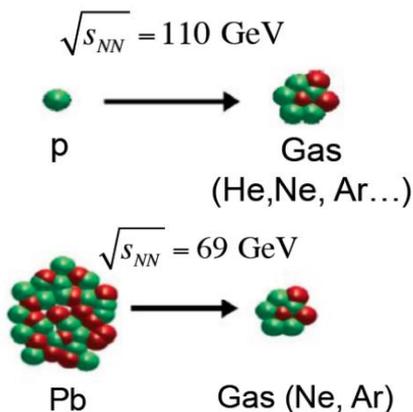


重离子数据样本

对撞

对撞类型	年份	能量($\sqrt{s_{NN}}$)	积分亮度
<i>pPb/Pbp</i>	2013	5.02 TeV	1.6 nb^{-1}
PbPb	2015	5.02 TeV	$10 \mu\text{b}^{-1}$
<i>pPb/Pbp</i>	2016	8.16 TeV	34 nb^{-1}
XeXe	2017	5.44 TeV	$0.4 \mu\text{b}^{-1}$
PbPb	2018	5.02 TeV	$\sim 200 \mu\text{b}^{-1}$

固定靶



LHCb中国组人员

中国组人员

单位	教师	博士后	博士生	硕士生	单位小计	作者数*
清华大学	4	3	16	0	23	21
华中师范	3	0	9	15	27	10
国科大	6	11	9	8	34	25
武汉大学	3	0	3	6	12	6
高能所	4	4	4	0	12	12
华南师范	3	1	2	6	12	4
北京大学	3	2	10	0	15	10
湖南大学	4	0	0	4	8	3
总数	30	21	53	39	143	91

* 据文章LHCb-Paper-2021-044作者列表，中国组占比 $91/1008=9.0\%$

中国组教师

- 清华大学 张黎明, 朱相雷, 龚光华, 曾鸣
- 华中师范 谢跃红, 尹航, 张冬亮
- 国科大 郑阳恒, 吕晓睿, 何吉波, 钱文斌, 刘倩, 傅金林
- 武汉大学 孙亮, 蔡浩, 王纪科
- 高能所 王建春, 李一鸣, 姜晓巍, 陈缮真
- 华南师范 李衡讷, 刘国明, 胡继峰
- 北京大学 高原宁, 杨振伟, 张艳席
- 湖南大学 俞洁晟, 张书磊, 戴凌云, 陈卓俊

LHCb中国组线下参会教师

2020.12.13于武汉大学

第二届LHCb前沿物理研讨会



LHCb国际合作组任职

- 管理顾问委员会 (Management Advisory Board)

- 王建春 (2020.09起)

- 报告人委员会 (Speakers' Bureau)

- 孙亮 (2021.10-2023.9)

- 张黎明 (2019.10-2021.9)

- 杨振伟 (2017.10-2019.9)

- 编委会 (Editorial Board)

- 何吉波 (2020.12-2022.11)

- 物理工作组召集人

- 何吉波 (2019.1-2021.3)

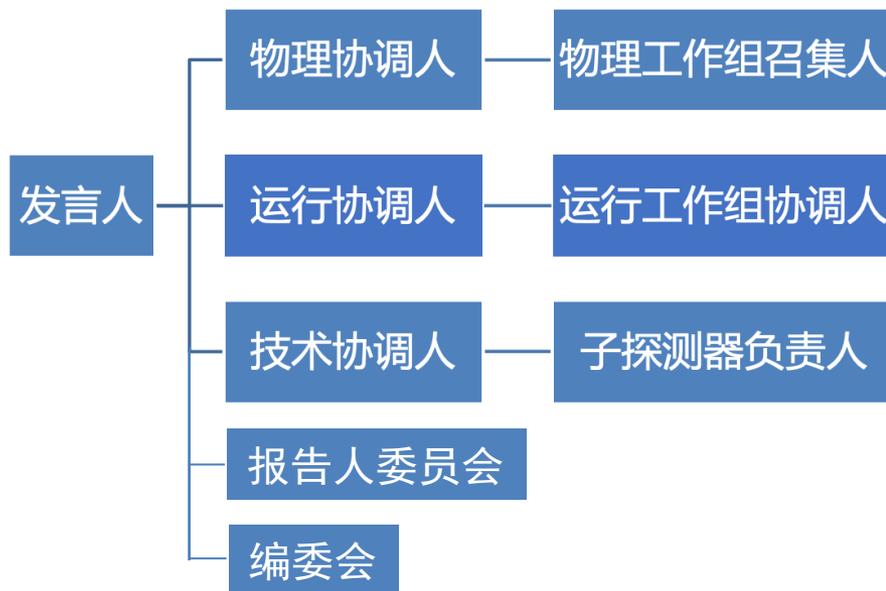
- 张艳席 (2018.1-2021.3)

- 钱文斌 (2018.1-2020.3)

- 张黎明 (2016.1-2018.3)

- 杨振伟 (2015.1-2017.3)

- 谢跃红 (2014.1-2016.3)



2021年度中国组物理成果

中国组主要物理成果

- 五夸克态 $P_c^+ \rightarrow J/\psi p$ arXiv:2108.04720
- 四夸克态 $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ PRL 127 (2021) 082001
- 双重味重子 Ξ_{cc}^+ 搜寻 arXiv:2109.07292
 Ω_{cc}^+ 首次搜寻 SCPMA 64 (2021) 101062

- 强子谱 Ξ_b^0 激发态 arXiv:2110.04497
 Ω_c^0 和 Ξ_c^0 的寿命测量 arXiv:2109.01334 (Sci.Bull.接收)
- 产生截面 J/ψ 相干产生 arXiv:2107.03223
5TeV J/ψ 产生 arXiv:2109.00220 (JHEP接收)
 $X(3872)$ 产生 arXiv:2109.07360
 $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 产生 LHCb-Paper-2021-037
- 稀有衰变 $B^0 \rightarrow \phi \mu^+ \mu^-$ LHCb-Paper-2021-042
 $D^0 \rightarrow K_1^- \mu^+ \nu_\mu$ 灵敏度 PRD 104 (2021) 053003

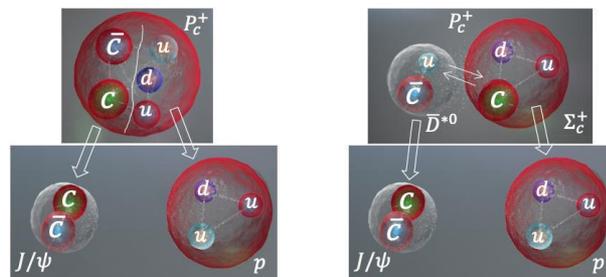
物理分会报告

HF/HI/QCD分会

- 五夸克态
- 四夸克态 $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ 沈志宏 (PKU), 11/25, 15:20
- 双重味重子 Ξ_{cc}^+ 搜寻 俞杰晟 (HNU), 11/25, 14:20
 Ω_{cc}^+ 首次搜寻 徐兢一 (UCAS), 11/25, 14:50
 $\Xi_{bc}^0 / \Omega_{bc}^0$ 首次搜寻 李石洋 (CCNU), 11/25, 14:35
- 强子谱 Ξ_b^0 激发态 牟宏杰 (THU), 11/26, 14:55
 Ω_c^0 和 Ξ_c^0 的寿命测量 许傲 (PKU), 11/27, 14:35
- 产生截面 J/ψ 相干产生 汪小琳 (SCNU), 11/27, 15:05
5TeV J/ψ 产生 许立 (THU), 11/27, 14:50
X(3872) 产生 徐庆年 (UCAS), 11/25, 15:35
 $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 产生
- 稀有衰变 $B^0 \rightarrow \phi \mu^+ \mu^-$
 $D^0 \rightarrow K_1^- \mu^+ \nu_\mu$ 灵敏度 边苓竹 (WHU), 11/26, 14:40

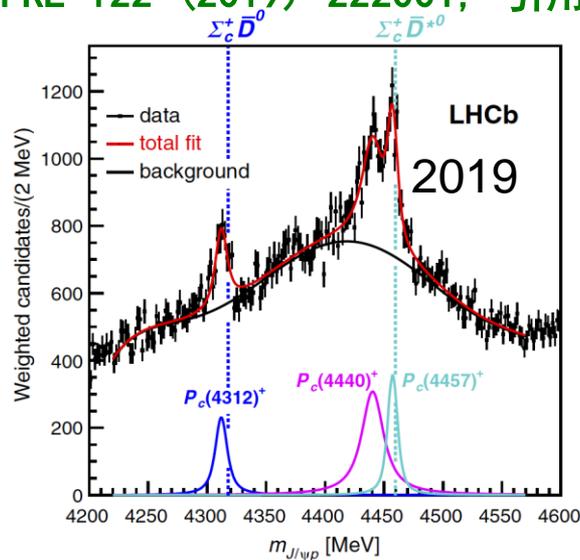
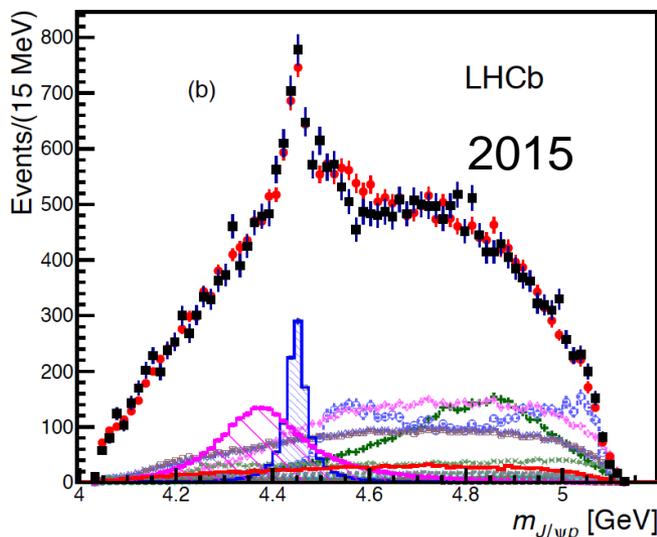
五夸克态 (回顾)

- 2015, $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$ 衰变中发现五夸克态
- 2019, 10倍数据样本, 观测到3个新五夸克态
- 理解五夸克态本质
 - 寻找新成员
 - 精确测量已发现态的性质



【PRL 115 (2015) 072001, 引用1303次】

【PRL 122 (2019) 222001, 引用378次】



五夸克态: $P_c^+ \rightarrow J/\psi p$ 迹象

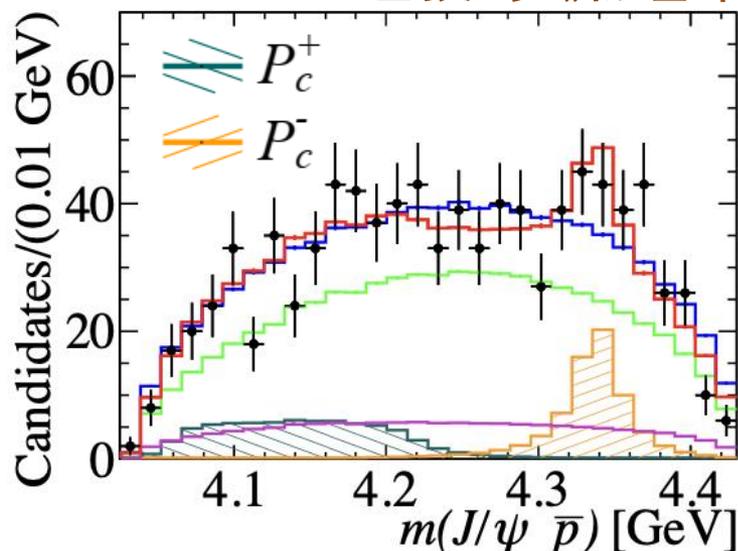
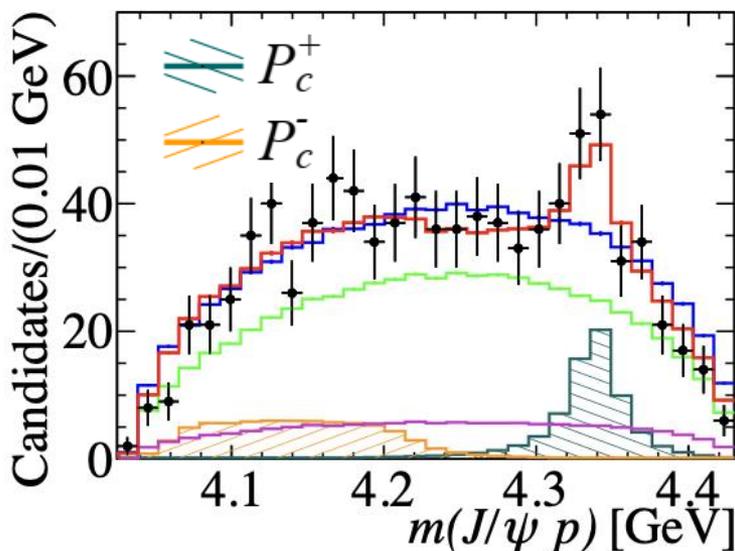
- $B_s^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}$ 全谱分析, 首次找到一个新的五夸克态 P_c^\pm 的证据

– 显著度: $3.1 \sim 3.7\sigma$, 基于 $(1/2^\pm, 3/2^\pm)$ 的假设

$$M_{P_c} = 4337_{-4}^{+7}(\text{stat})_{-2}^{+2}(\text{syst}) \text{ MeV}$$

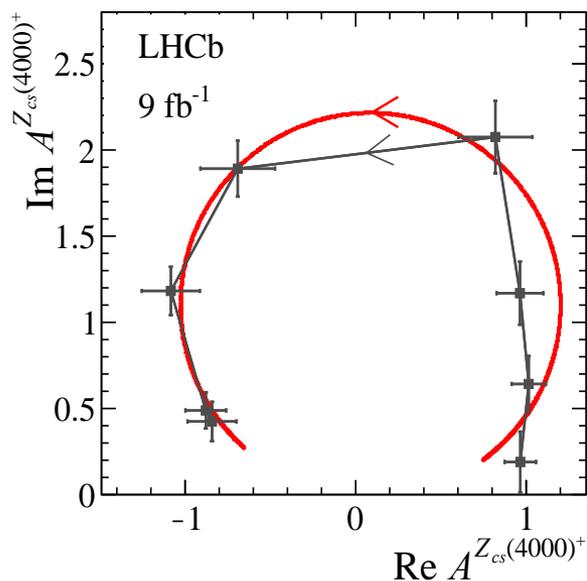
$$\Gamma_{P_c} = 29_{-12}^{+26}(\text{stat})_{-14}^{+14}(\text{syst}) \text{ MeV}$$

已投到《物理评论快报》

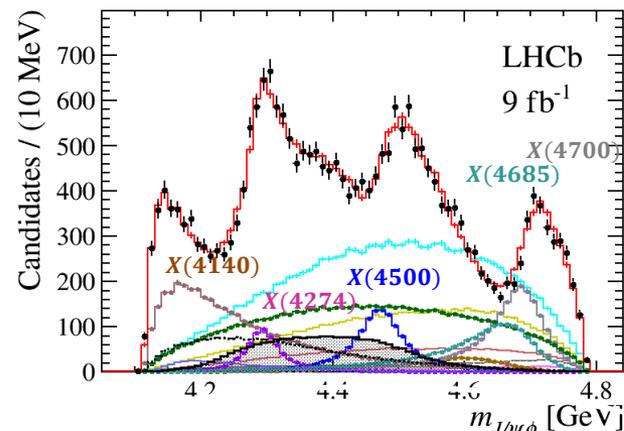
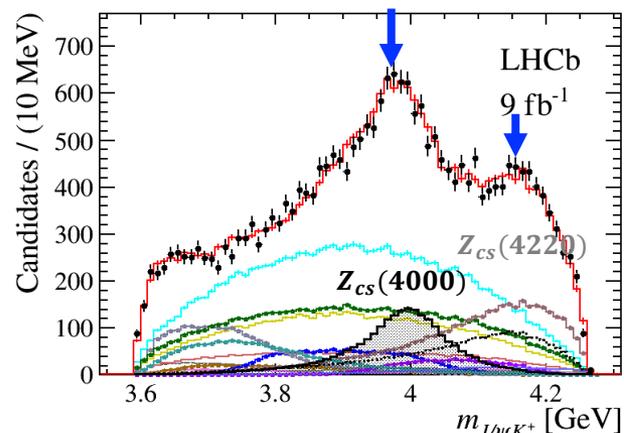
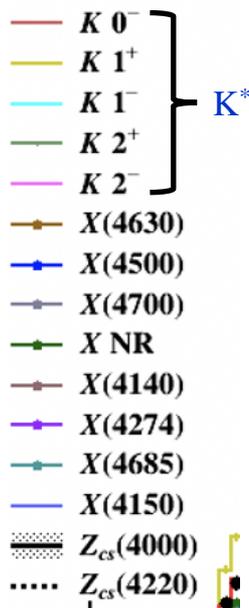


发现新的四夸克态

- 在 $B^+ \rightarrow J/\psi\phi K^+$ 衰变中发现了4个新的四夸克态
 - 在 $J/\psi K^+$ 末态中发现 $Z_{cs}(4000)^+$ 和 $Z_{cs}(4220)^+$ ，并确定 $Z_{cs}(4000)^+$ 的 $J^P = 1^+$
 - 在 $J/\psi\phi$ 末态中发现 $X(4630)$ 和 $X(4685)$



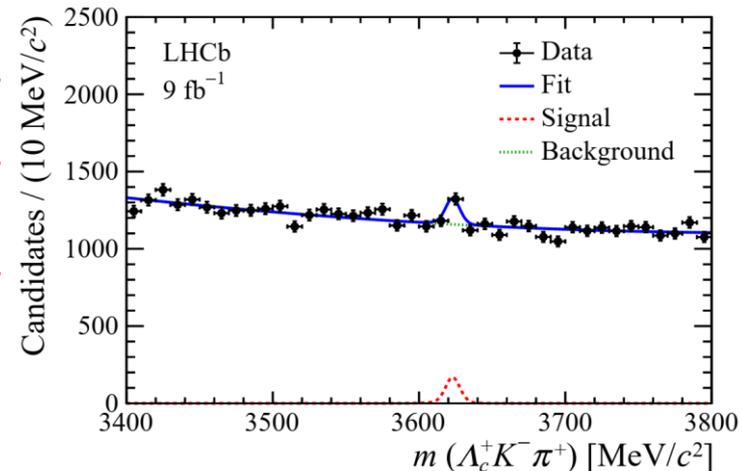
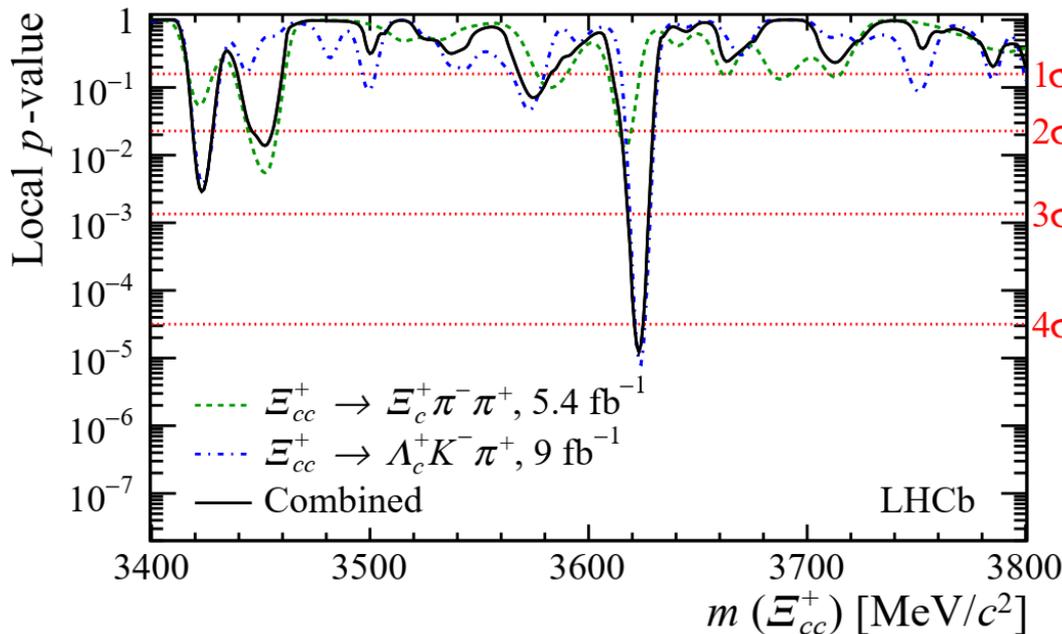
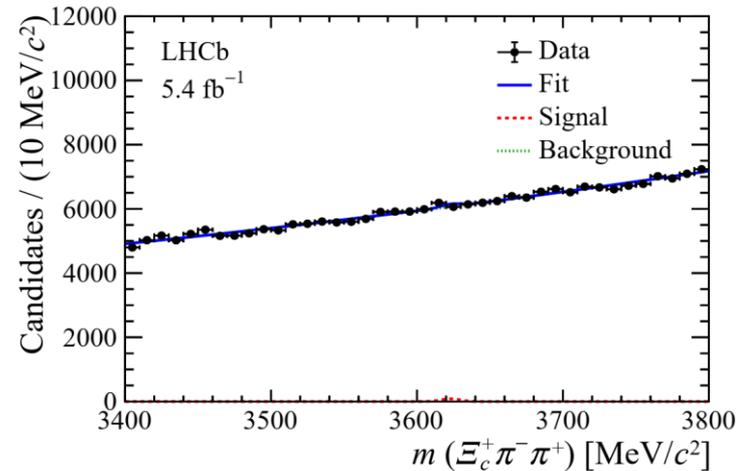
— Total fit
 - - - Background



被选为“编辑推荐”

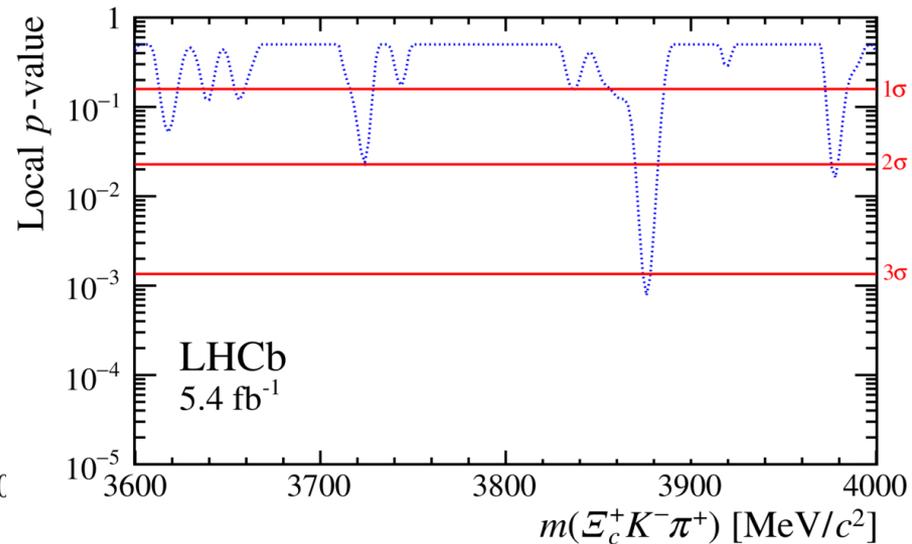
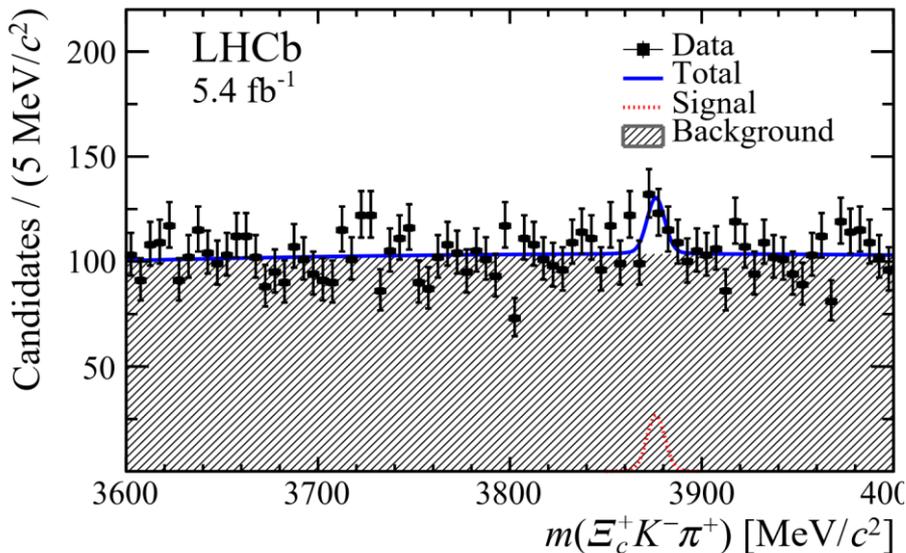
Ξ_{cc}^+ 的搜寻

- $\Xi_{cc}^+ \rightarrow \Xi_c^+ \pi^+ \pi^-$, 无明显信号
- 与 $\Xi_{cc}^+ \rightarrow \Lambda_c^+ K^- \pi^+$ 合并, Ξ_{cc}^+ 质量处有局部 (全局) 显著度为 4.0σ (2.9σ) 的迹象



Ω_{cc}^+ 的首次搜寻

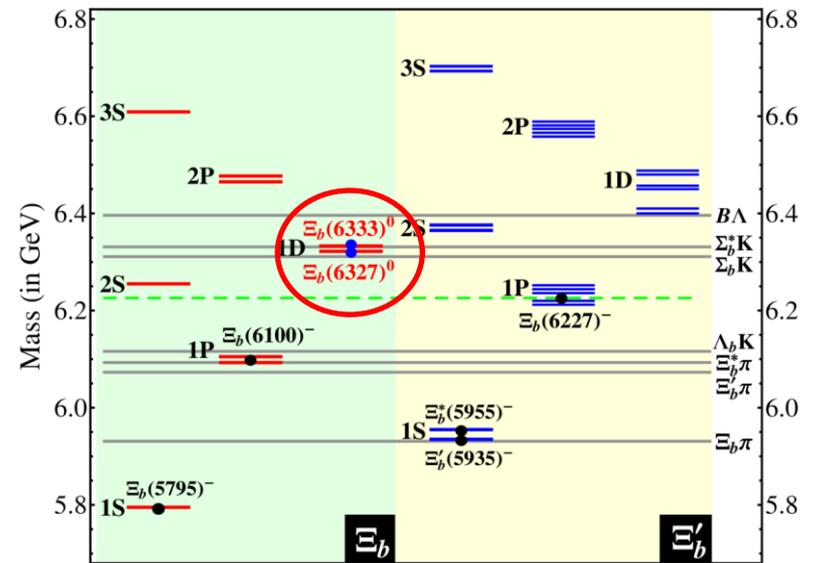
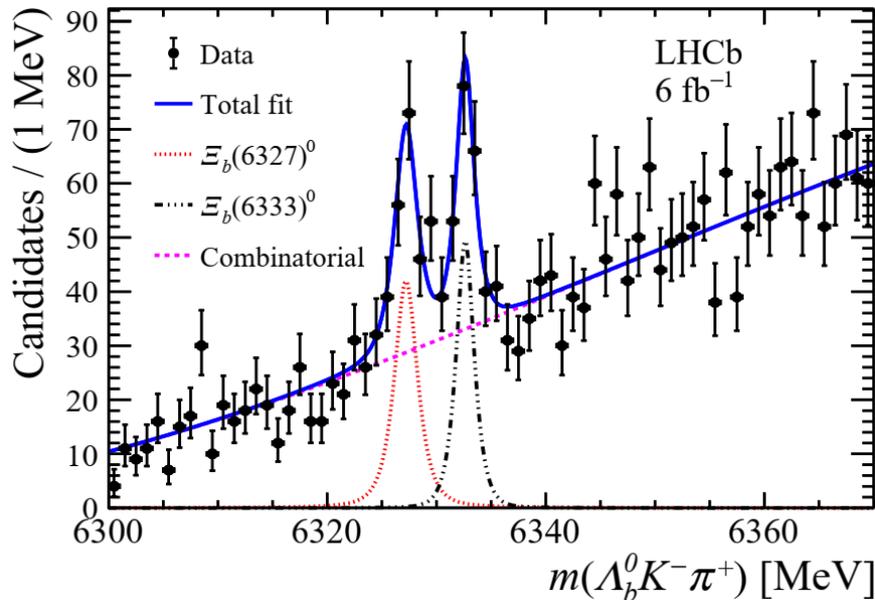
- $\Omega_{cc}^+ \rightarrow \Xi_c^+ K^- \pi^+$
 - 3876 MeV有局部（全局）显著度 3.2σ (1.8σ)的迹象，明显高于大部分理论预言值



底重子激发态

- 在 $\Lambda_b^0 K^- \pi^+$ 末态中发现了两个底重子激发态 $\Xi_b(6327)^0$ 和 $\Xi_b(6333)^0$
 - 与 $1D \Xi_b^0$ 一致 [Bing Chen et. al. PRD 100 (2019) 094032]

[arXiv:2110.04497]



已投到《物理评论快报》

对 Ω_c^0 和 Ξ_c^0 的寿命测量

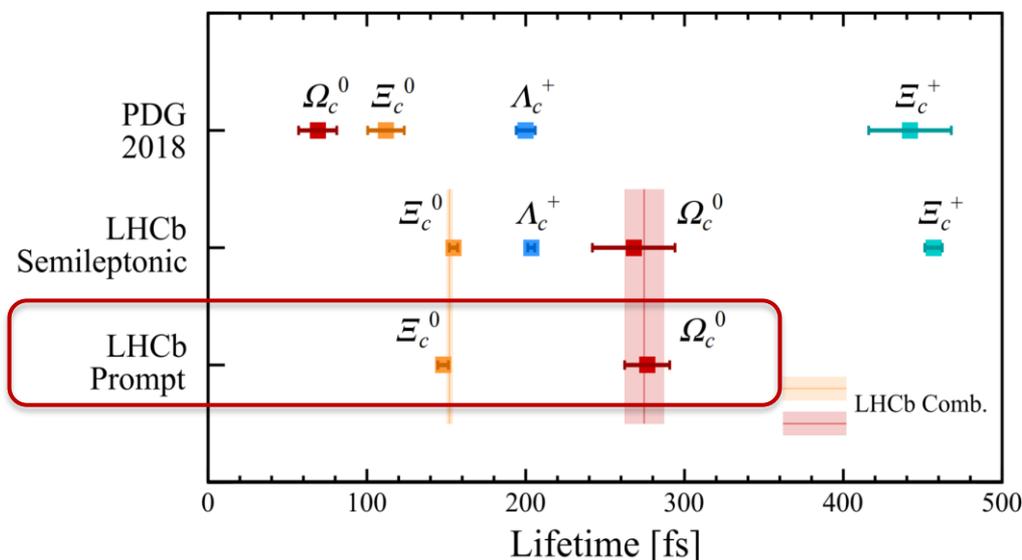
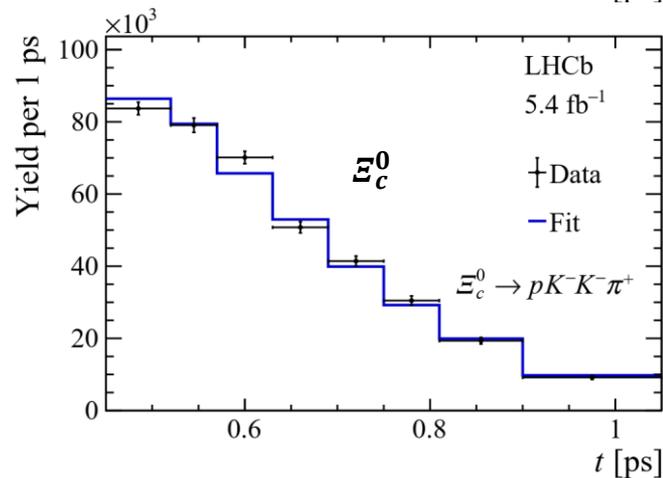
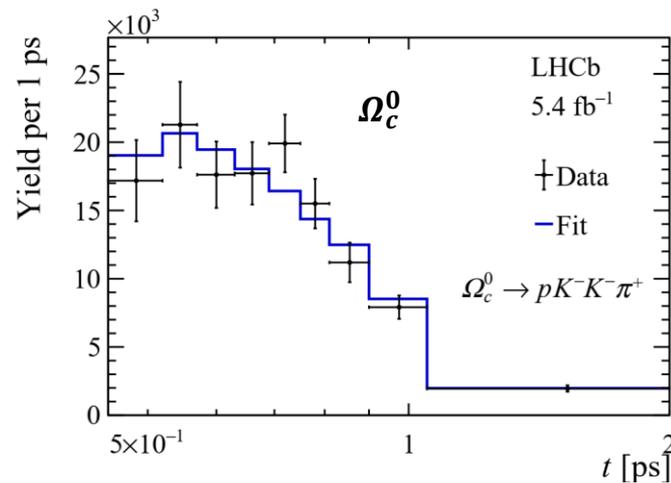
- 分别对时间分布进行 χ^2 拟合:

$$\tau_{\Omega_c^0} = 276.5 \pm 13.4(\text{stat}) \pm 4.4(\text{syst}) \pm 0.7(D^0) \text{ fs}$$

$$\tau_{\Xi_c^0} = 148.0 \pm 2.3(\text{stat}) \pm 2.2(\text{syst}) \pm 0.2(D^0) \text{ fs}$$

新结果确认了之前LHCb的颠覆性结果，新的寿命顺序得以牢固确立：

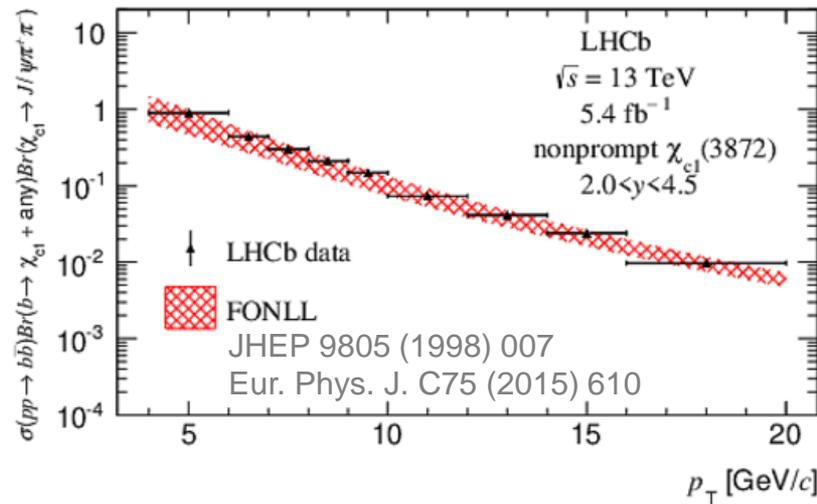
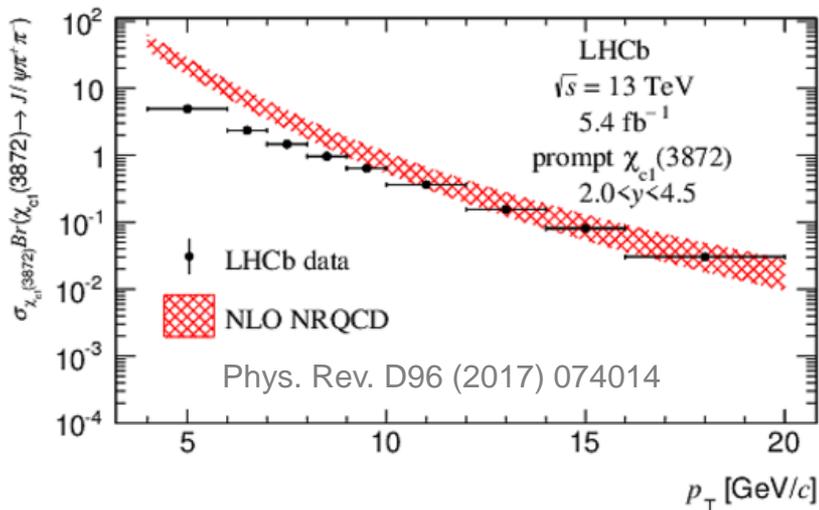
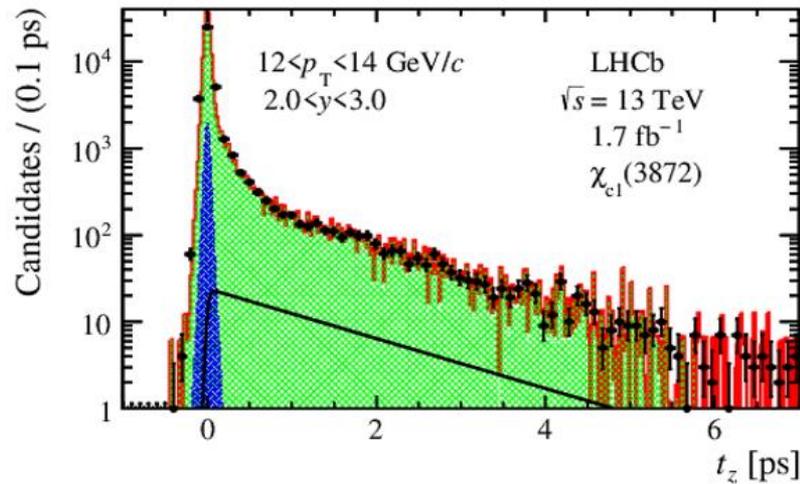
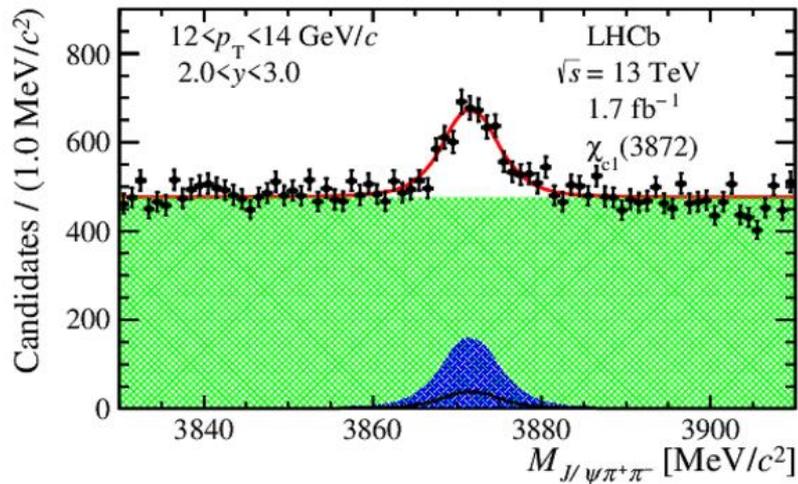
$$\tau(\Xi_c^+) > \tau(\Omega_c^0) > \tau(\Lambda_c^+) > \tau(\Xi_c^0)$$



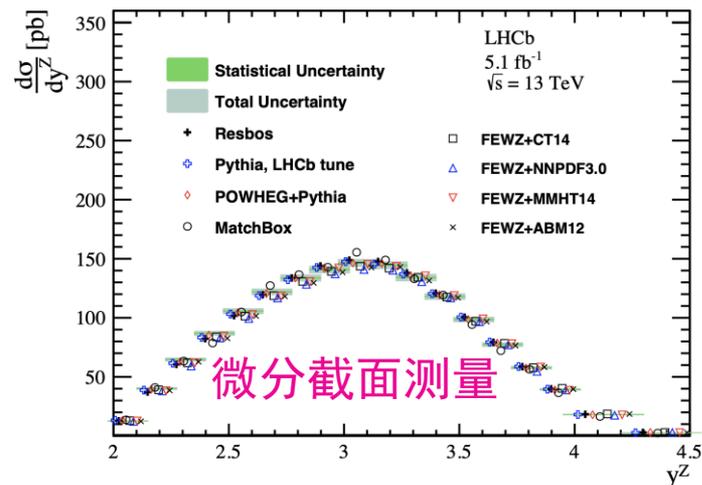
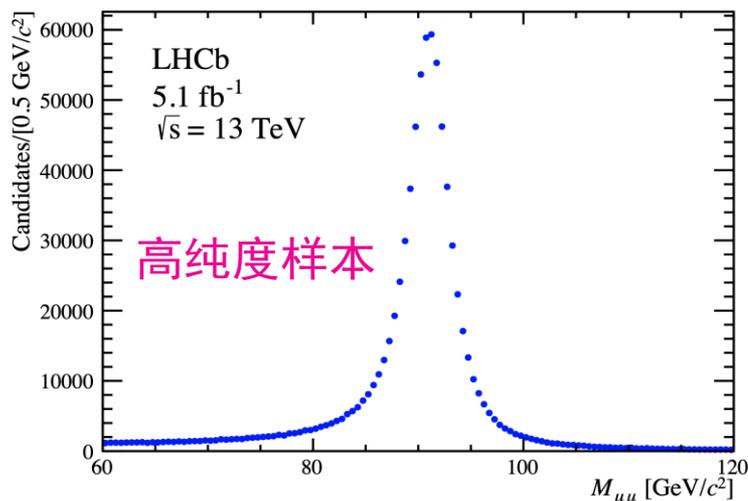
《CERN COURIER》予以报道
已被《Sci. Bull.》接收

X(3872)产生的测量

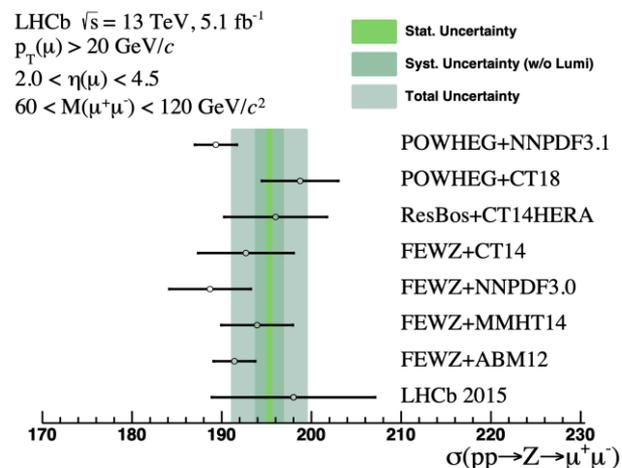
- 首次测量双微分截面 $d^2\sigma/dp_T dy$



精确测量 $Z \rightarrow \mu\mu$ 的产生截面



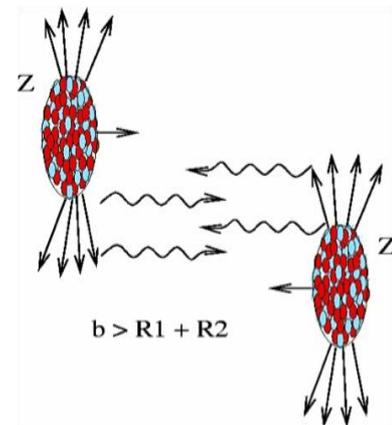
- 利用LHCb Run-2的数据，13 TeV对撞能量下，在前冲区域对Z波色子产生截面的最精确测量
- 可以为部分子分布函数（PDFs）拟合提供重要的输入
- 首次在前冲区域进行了双微分截面测量



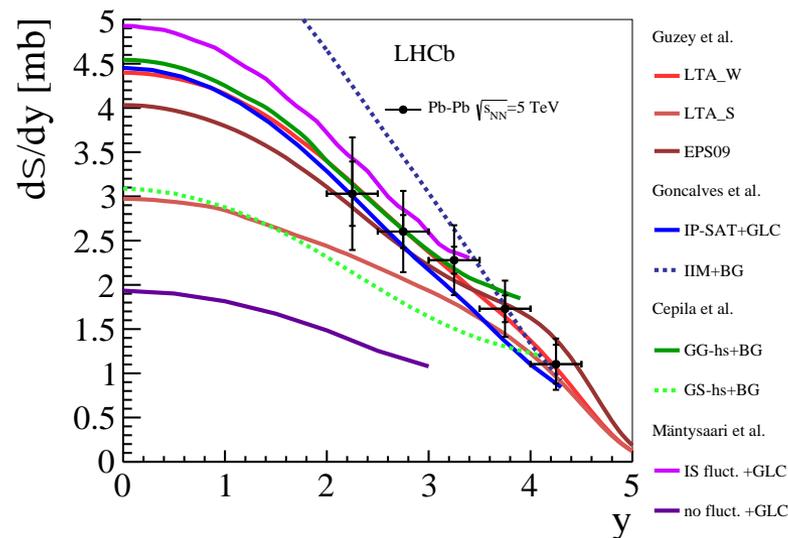
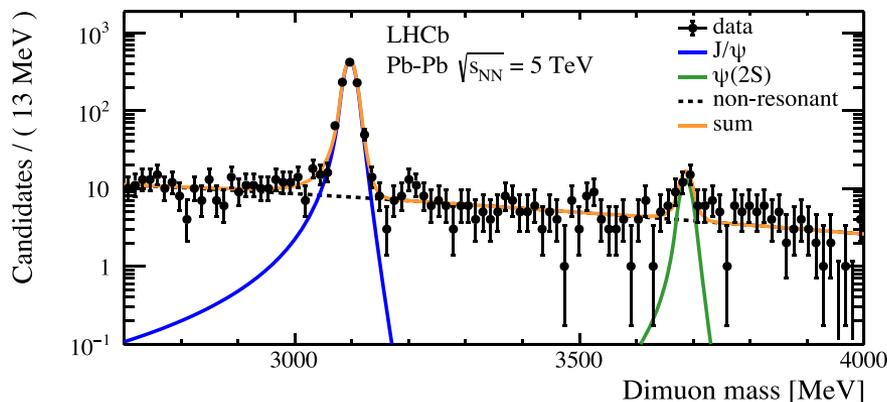
总截面测量

PbPb UPC J/ ψ 和 $\psi(2S)$ 测量

- 超周边碰撞光子诱导过程 (UPC) 可帮助深入理解核物质效应和探测核子结构
- 基于2015年数据文章已投稿, 基于2018年数据文章正在内审, 预计将于近期投稿

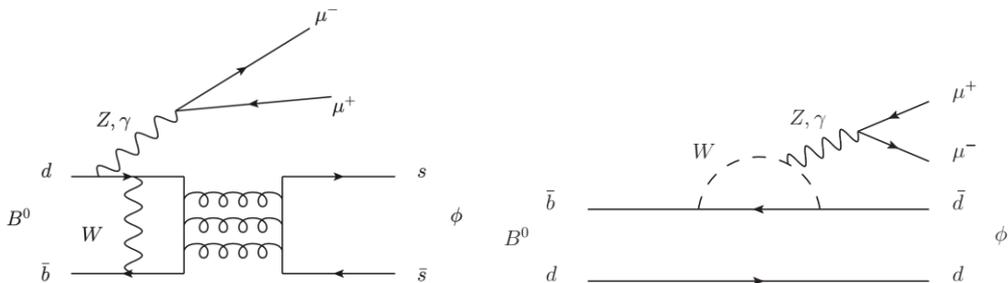


$\sqrt{s_{NN}}$	2015 5.02 TeV	2018 5.02 TeV
\mathcal{L}	PbPb $10 \mu\text{b}^{-1}$	PbPb $\sim 210 \mu\text{b}^{-1}$

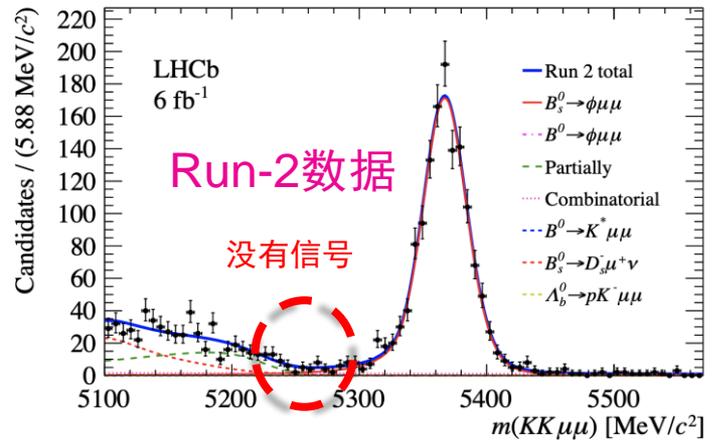


寻找稀有衰变 $B^0 \rightarrow \phi \mu^+ \mu^-$

[LHCb-Paper-2021-042]

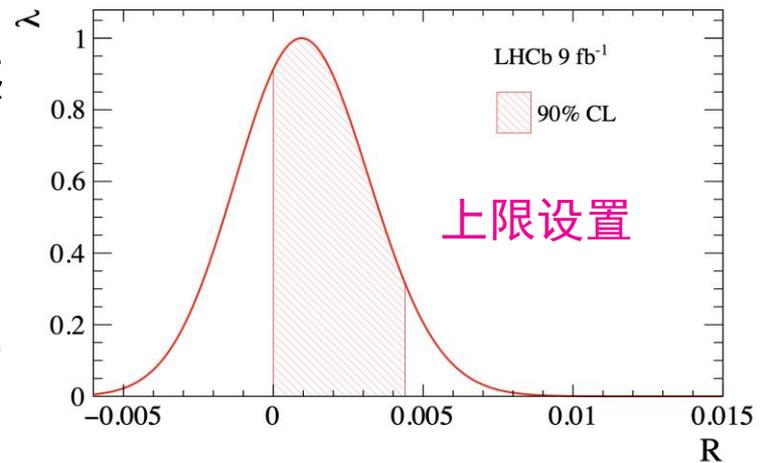


标准模型下的费曼图



- 标准模型下被压低，对新物理非常敏感
- 首次设置分支比上限：

$$B(B^0 \rightarrow \phi \mu^+ \mu^-) < 3.2 \times 10^{-9} \text{ @ 90\%CL}$$



国际会议召集人

1. 钱文斌（国科大）， co-convener of WG5, CKM 2021, 2021-11-22
2. 吕晓睿（国科大）， program advisory committee, CKM 2021, 2021-11-22
3. 王建春（高能所）， co-chair, CEPC workshop, 2021-11-08
4. 张黎明（清华）， co-convener of Heavy Flavour session, CEPC workshop, 2021-11-08
5. 王梦臻（清华）， co-convenor of Spectroscopy and Exotic session, Implications of LHCb measurements and future prospects, 2021-10-19
6. 张黎明（清华）， co-convener of Hardon Spectroscopy session, HQL 2021, 2021-09-13
7. 吕晓睿（国科大）， co-convener of Exotic session, Hadron 2021, 2021-07-26
8. 钱文斌（国科大）， co-convener of session on B, charm and kaon, FPCP 2021, 2021-06-10
9. 李衡讷（华南师大）， co-convener Heavy Ion session, LHCP 2021, 2021-06-07
10. 尹航（华中师大）， co-convener of Electroweak session, LHCP 2021, 2021-06-07
11. 尹航（华中师大）， co-convener of QCD session, SM@LHC 2021, 2021-04-26
12. 王建春（高能所）， co-chair of the scientific program committee, Joint workshop of the CEPC physics, software and new detector concept, 2021-04-14

2021年主要国际会议报告

1. 钱文斌 (国科大), Global CKM fit status from CKM fitter, CKM 2021, 2021-11-24
2. Giulia Tuci (国科大), Real time tracking with FPGA, CEPC 2021, 2021-11-09
3. Albert Bursche (华南师范), LHCb measurement of double parton scattering in pPb collisions, MPI@LHC, Lisbon (Portugal), 2021-10-11
4. 李一鸣 (高能所), MAPS for Upstream Tracker in LHCb Upgrade II, VERTEX2021, Oxford (UK), 2021-09-29
5. 段为松 (华南师范), Charmonia photo-production in ultra-peripheral and peripheral PbPb collisions with LHCb, Low x, Elba Island (Italy), 2021-09-26
6. 张黎明 (清华), Highlights on the new exotics, ICNFP, Kolymbari (Greece), 2021-08-23
7. 谢跃红 (华中师范), Flavour Physics @LHC, SUSY, Virtual (China), 2021-08-27
8. Albert Bursche (华南师范), Recent LHCb results on charmonia in the QCD medium, Hadron, Virtual (Mexico), 2021-07-26
9. 辜晨曦 (清华), Recent LHCb results on charm in the QCD medium, EPS-HEP, Virtual (Germany), 2021-07-26
10. 牟宏杰 (清华), Beauty-hadron spectroscopy at LHCb, EPS-HEP, Virtual (Germany), 2021-07-26
11. 傅金林 (国科大), Recent LHCb results on pentaquark candidates, EPS-HEP, Virtual (Germany), 2021-07-26
12. 许傲 (北大), LHCb results in charm baryons, EPS-HEP, Virtual (Germany), 2021-07-26
13. 许立 (清华), Charmonium(-like) state production in pp collisions at LHCb, Hadron, Virtual (Mexico), 2021-07-26
14. 徐庆年 (国科大), Recent results in production of open-charm and charmonium states at LHCb, EPS-HEP 2021, 2021-07-26
15. 许智豪 (国科大), LHCb results in charm baryons, Hadron 2021, 2021-07-26
16. 徐兢一 (国科大), LHCb results in charm baryons, QCD 2021, Virtual (France), 2021-07-05
17. 方勃 (武大), Recent LHCb results in heavy hadron spectroscopy, QCD 2021, Virtual (France), 2021-07-05

17. 许立 (清华), Heavy flavour production in pp collisions at LHCb, QCD, Virtual (France), 2021-07-05
18. 钱文斌 (国科大), CKM phase measurements in B decays, FPCP, Shanghai (China), 2021-06-07
19. 王梦臻 (清华), Recent results with exotic charmonia hadrons at LHCb, FPCP, Shanghai (China), 2021-06-07
20. 陈晨 (清华), New charm results from LHCb, FPCP, Shanghai (China), 2021-06-07
21. 何吉波 (国科大), HF production and spectroscopy, LHCP 2021, 2021-06-07
22. 范艳婷 (国科大), Rare decays in b->s/d sector, LHCP 2021, 2021-06-07
23. 李衡讷 (华南师范), Medium effects on exotic meson production at LHC, Meson, Virtual (Poland), 2021-05-17
24. 张艳席 (北大), LHCb results on exotic spectroscopy, Meson, Virtual (Poland), 2021-05-17
25. 范艳婷 (国科大), Rare decays at LHCb, Phenomenology Symposium, 2021-05-24
26. 项治宇 (国科大), Studies of b-hadros and quarkonia at LHCb, DIS 2021, 2021-04-12
27. 卢秋婵 (华南师范), Quarkonia measurements in small systems at LHCb, Quarkonia as tools, Virtual (Switzerland), 2021-03-21
28. 何吉波 (国科大), Production of doubly heavy mesons and baryons at LHCb, QWG 2021, 2021-03-15
29. 李石洋 (华中师范), Doubly heavy baryons at LHCb, QWG, Virtual (US), 2021-03-15
30. 张艳席 (北大), J/psi J/psi state at LHCb, QWG, virtual (US), 2021-03-15
31. 许泽华 (北大), Exotic hadrons: recent LHCb discoveries, Rencontres de Physique de la Vallée d'Aoste, Virtual (Italy), 2021-03-08
32. 杨振伟 (清华), Hadron spectroscopy at LHCb, APFB, Kanazawa (Japan), 2021-03-01
33. 罗毅恒 (清华), Hard probes production in pPb collisions at LHCb, Initial Stages, Virtual (Israel), 2021-01-10

探测器硬件、软件和服务工作

探测器硬件、软件相关工作

Detector分会

- 实验运行

- 核心软件
- 网格计算
- 实时物理数据分析 (RTA)
- 数据处理和分析 (DPA)

D. Popov, 11/26, 14:30

- 升级

- 闪烁光纤径迹探测器SciFi
- 上游径迹探测器UT

邹全, 11/27, 14:30

刘帅毅, 11/27, 15:00

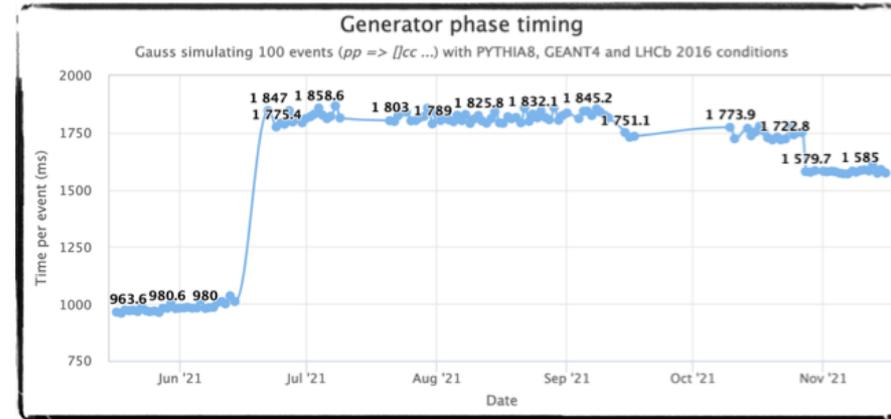
- 二期升级

- 上游径迹探测器UT
- 电磁量能器

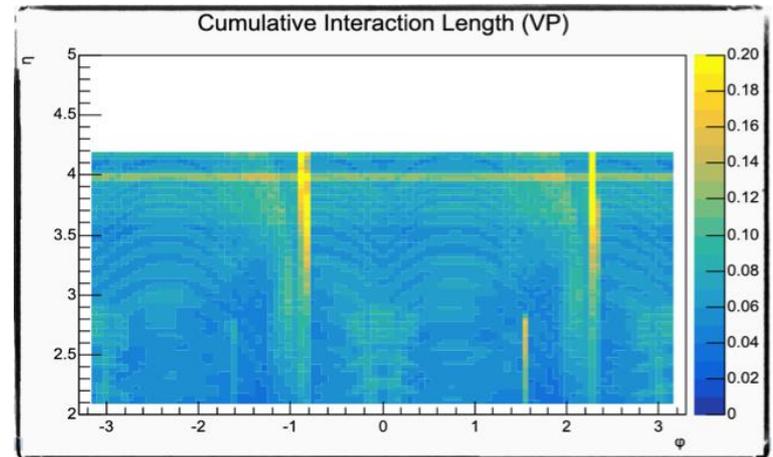
费家乐, 11/25, 14:30

LHCb核心软件

- 一名博士后全职开发LHCb软件性能分析和回归系统
 - 监测软件性能变化
 - 提供技术分析大数据
- 投入0.5FTE负责管理与维护存储LHCb探测器信息的条件数据库

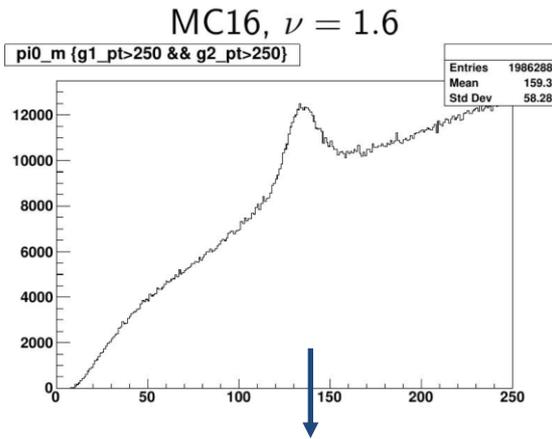


由于遗漏LHCb补丁导致的Pythia8耗时变化

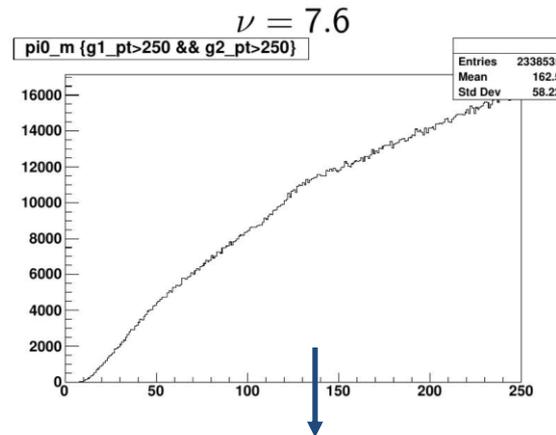


π^0 能量刻度的研究

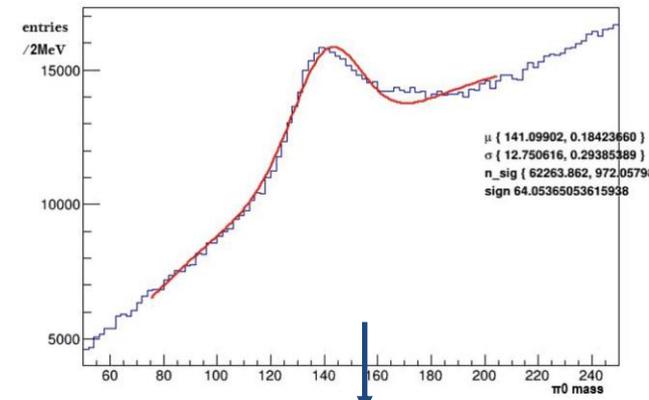
- 许多重要的LHCb物理分析依赖于 π^0 的能量刻度
- 未来取数中，由于对撞瞬时亮度的升高，带来更大的挑战性
- 继续研究新的 π^0 能量刻度：最终集成到在线刻度、监测系统



Run-2取数



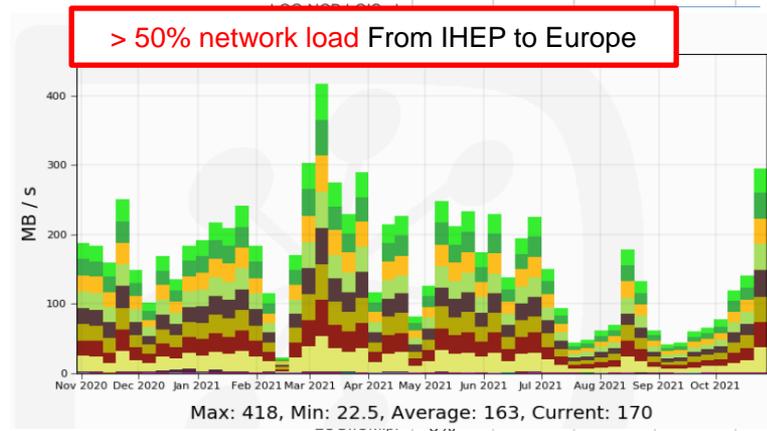
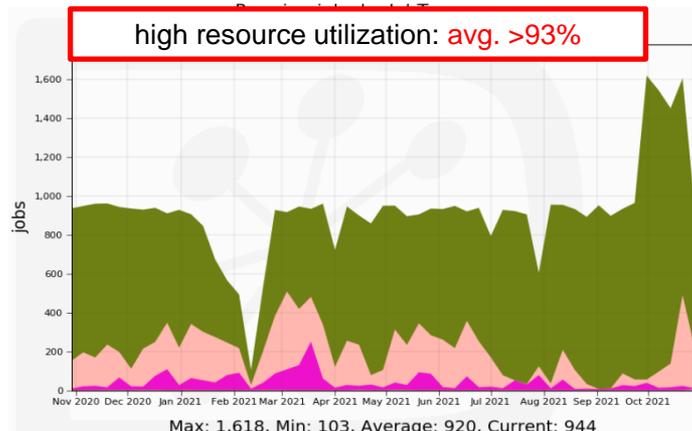
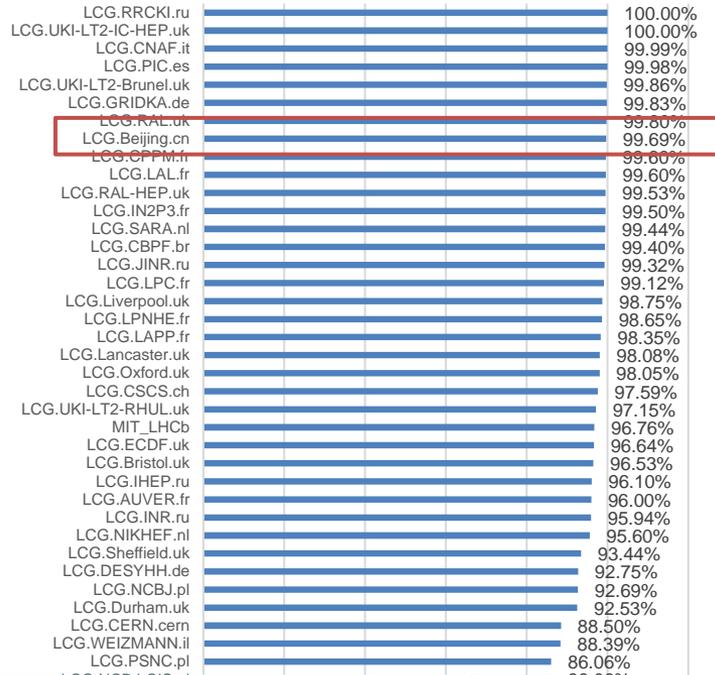
Run-3取数的挑战



正在尝试更为有效的能量刻度

网格计算

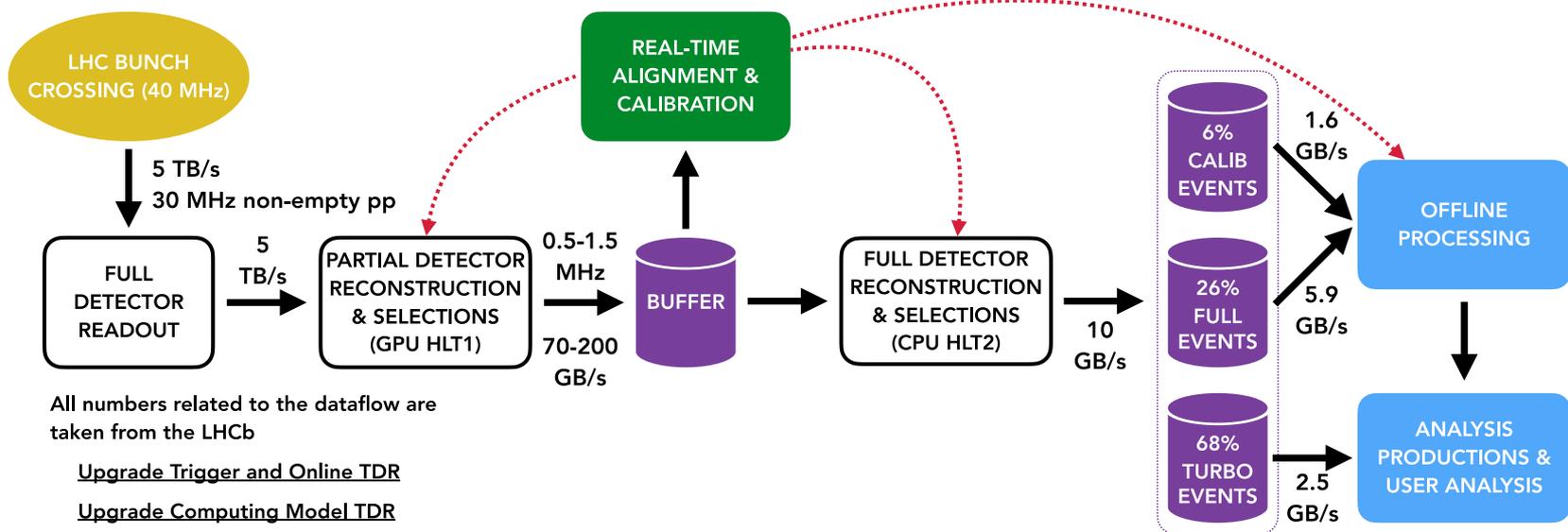
- 依托高能所计算中心网格站点运行良好
 - Tier2站点现有**1680 CPU核**，其中今年由北大出资**新增672核**
 - 近一年：**1.25M jobs/8.19M CPU hours / 传输数据 5.33 PB / 使用空间 198TB**
 - 可靠性在LHCb所有64个站点中排第**8位**
 - 暑期维护仅耗时**2天**（往年7-9天）
 - 服务国内单位的Tier3节点有效使用，**国科大正采购新增服务器**



LCG.SPBU.ru	0%
LCG.Torino.it	0%
LCG.UKI-LT2-UCL-HEP.uk	0%

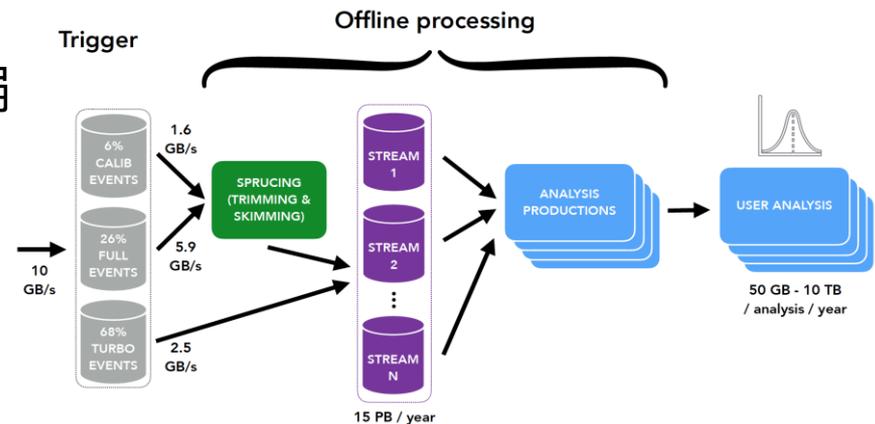
实时物理数据分析 (RTA)

- 参与了寻迹、标定、触发算法（第一级基于GPU）、测试框架等
- 签署RTA国际合作协议

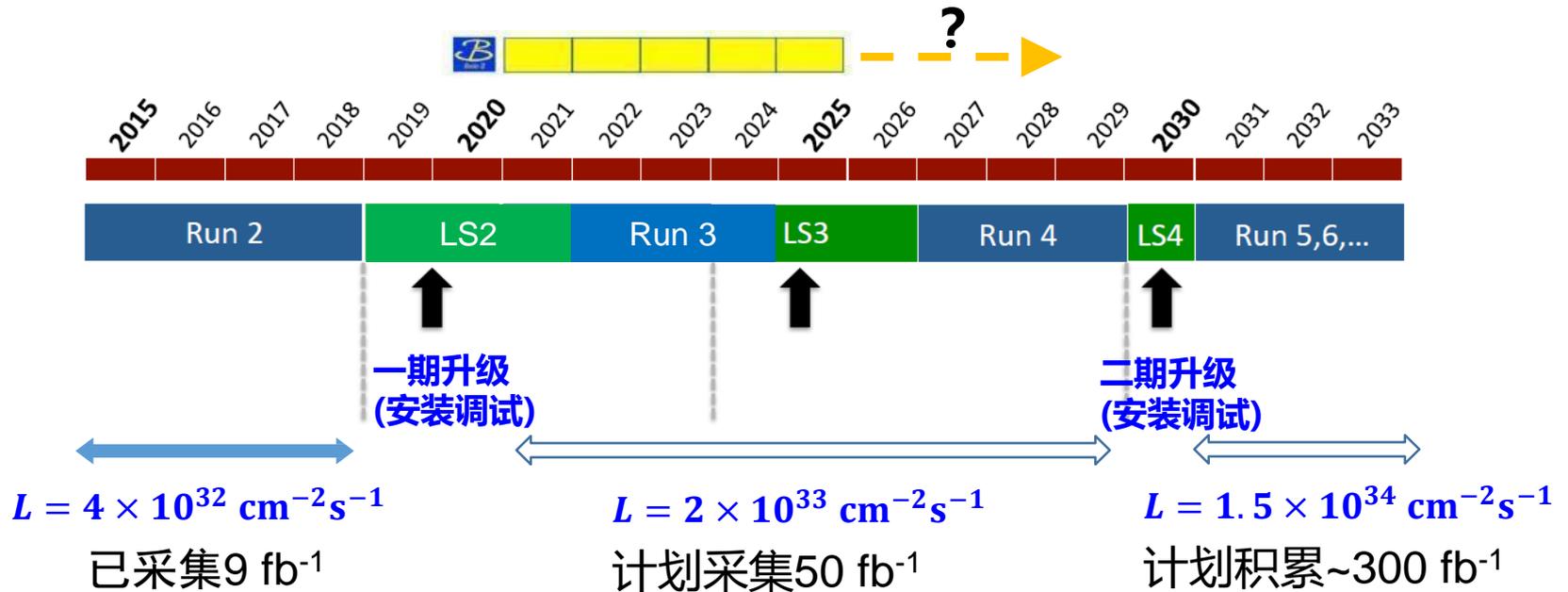


LHCb数据处理和分析项目(DPA)

- 为适应LHCb Run3大幅增加的数据量，LHCb合作组成立DPA项目专门负责改造、升级和维护离线处理和分析软件。
- LHCb中国组积极参与DPA项目
 - 参与DPA项目中关键的集中事例筛选软件(Sprucing)的多项代码编写和验证工作
 - 参与多个离线分析工具的开发、验证和整理工作
 - 服务整个DPA项目，将Run1/2中 functor class 迁移到Run3所需代码格式



LHCb升级计划

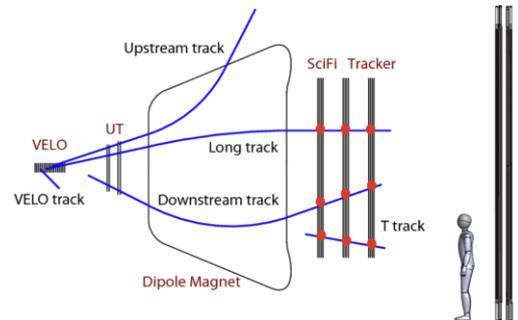


- **一期升级**：中国组参与闪烁光纤径迹探测器 (SciFi) 电子学 + 上游硅微条径迹探测器 (UT)
- **二期升级**：希望对探测器多个组件方面有更大贡献

闪烁光纤径迹探测器SciFi

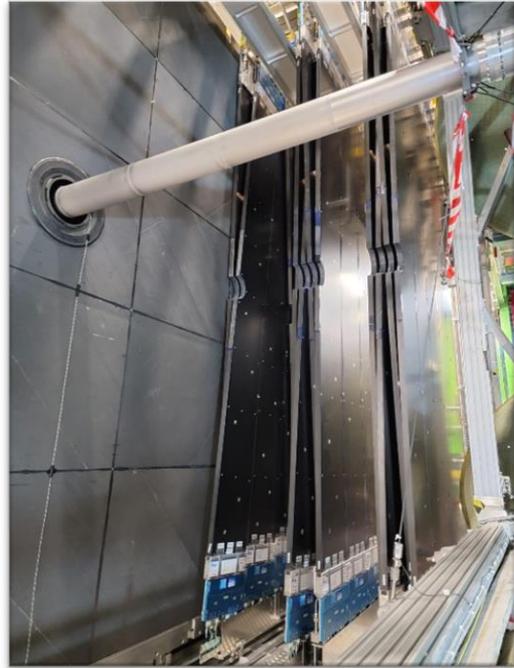


- SciFi： 共有524,000通道SiPM
- ASIC： PACIFIC – 64通道SiPM读出
- 中国组 (清华)承担完成:



- 设计研制PACIFIC前端电子学板 (与海德堡合作)
- 生产全部PACIFIC前端电子学板, 共2528套 (64168通道), 已经全部交付CERN; 并负责完成其中了1/2的测试标定。
- 研制了Quality Assurance系统, 用于ASIC和前端电子学测试, 共有11套提供给合作组各单位 (瓦伦西亚、巴塞罗那、海德堡等)
- 束流测试数据分析、在线监控系统的研发、寻迹与准直算法

闪烁光纤径迹探测器SciFi – 进展



C侧已安装的6个SciFi C-Frames.
Photo by S. Jakobsen.

Workpack.	C-side						A-side					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Mechanics	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Ok	ok
Cabling	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Ok	ok
Services:												
Water	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok		
NOVEC/vacuum	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	++		
Dry-gas	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok		
Modules	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok		
Heating	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	++		
Electronics	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok				
Optical fibres	ok	ok	ok	ok	ok	ok	++	ok				
Commissioning	ok	ok	ok	ok	ok	ok		++				

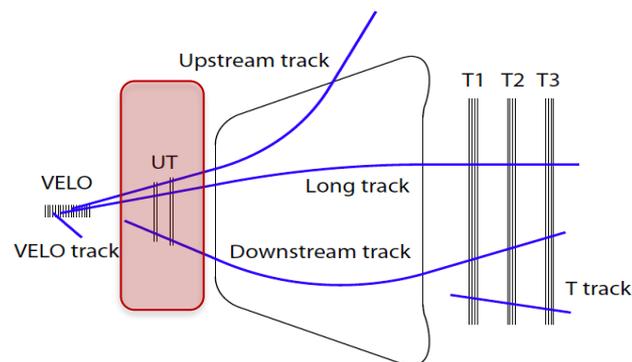
SciFi 探测器共需要256个FEB前端电子学盒

type of status of the FEBs	number
FEBs on Cframes	176
FEBs used on mezzanine floor test setup	2
FEBs ready to be install on Cframe	2
FEBs passed QA , waiting for optical inspection	22
FEBs needs to be repaired	76
Total number of FEBs assembled	278

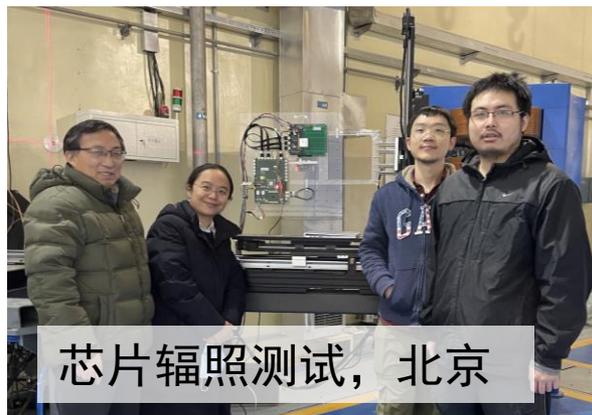
- SciFi 探测器包含12个C-Frame, 目前:
C-Side的电子学C-Frame C1-C6全部安装完毕,
A-Side的电子学C-Frame C7-C8安装完毕, 还剩4个
- 中国组 (清华) 负责完成的Pacific Board中, 已有1408块 (360,448通道) 被安装到C-Frame中, 并测试完毕

上游径迹探测器 (UT)

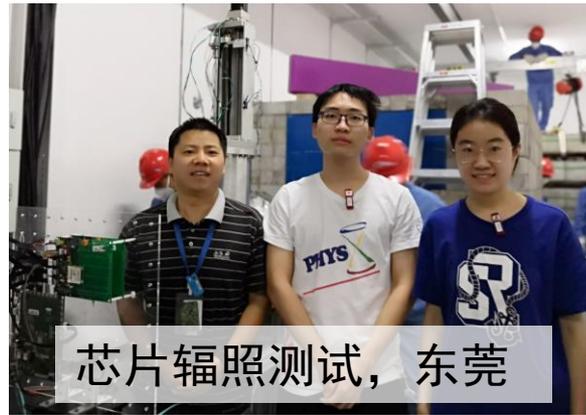
- UT位于磁铁上游，是基于硅微条技术的径迹探测器，对提高寻迹和触发速度、保证动量分辨率、寻迹效率至关重要
- 中国组（高能所、湖大、清华）在系统设计、关键性能测试、集成安装中起到骨干作用



板条联调测试, CERN



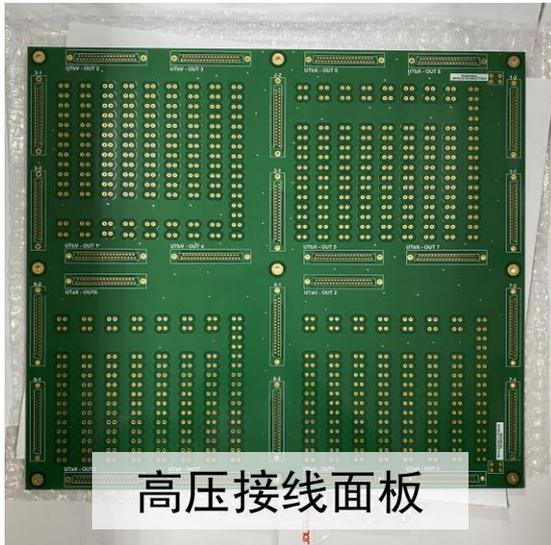
芯片辐照测试, 北京



芯片辐照测试, 东莞

UT系统集成和测试

- 安装准备：接线/面板设计/光纤测试/机械测试/...
- 测试和运行系统控制软件、DAQ软件设计

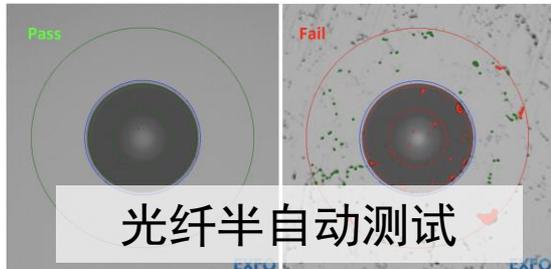


Stave Powering QA Panel

System State: UTLVCRATER (BOTTOM) NOT_READY

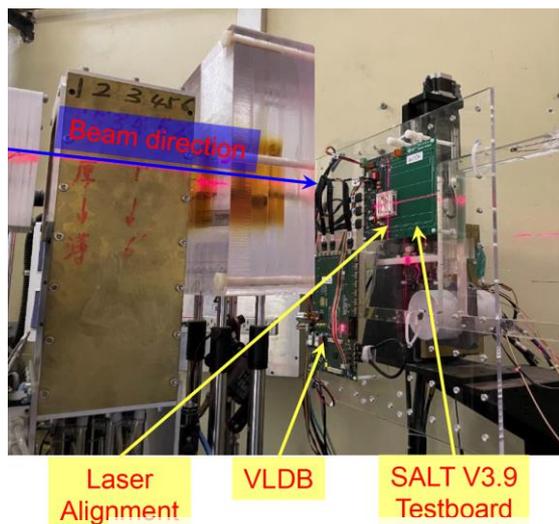
Sub-System	State	LVR	Channel	Sense current (A)	Sense voltage (V)	Output voltage (V)
UTLAB_TCB1	READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	2	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR0	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	2	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR1	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	3	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR2	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	4	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR3	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	5	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR4	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	6	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR5	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	7	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR6	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	8	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR7	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	9	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR8	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	10	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR9	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	11	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR10	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	12	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR11	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	13	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR12	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	14	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR13	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	15	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR14	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	16	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR15	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	17	0.000	0.900	0.000
UTLAB_CRATE1_LVR16	NOT_READY	UTLAB020UTLAB CRATE1 LVRS	18	0.000	0.900	0.000

低压系统控制软件界面

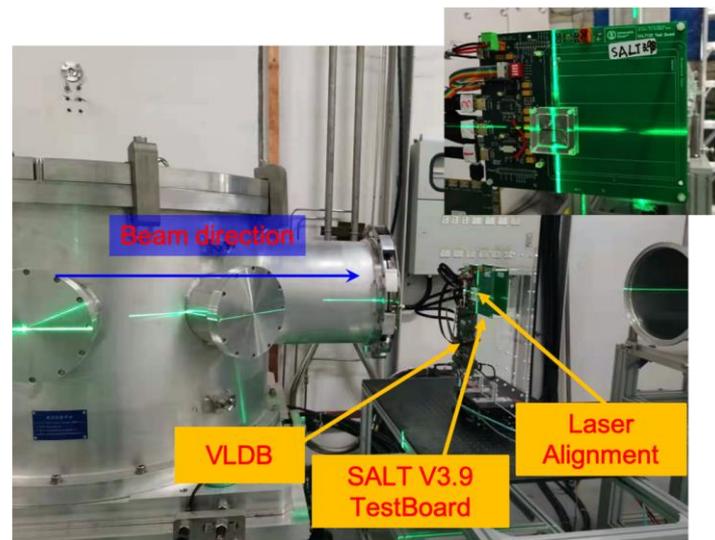
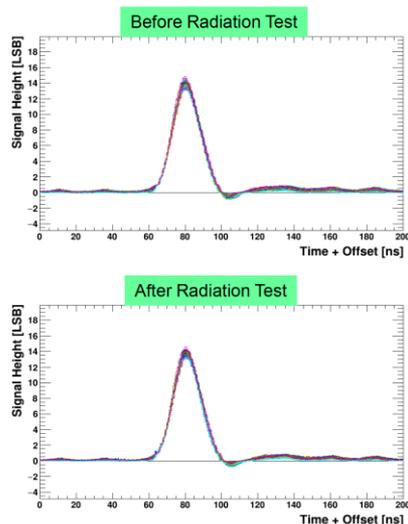


SALT芯片辐照测试

- SALT是UT的前端读出芯片，2020年新版本针对单粒子效应作抗辐照设计改进，急需验证其性能。欧美均受疫情影响无法开展测试前提下，高能所团队**两次利用国内设施辐照测试**：
 - 2020年12月利用**中国原子能科学研究院**的100 MeV质子束，初步验证新版本SALT单粒子翻转SEU几率远低于旧版本
 - 2021年10月利用位于东莞的**中国散裂中子源**伴生80 MeV质子束测试，以期得到实际运行条件下系统中SEU几率的可靠估计



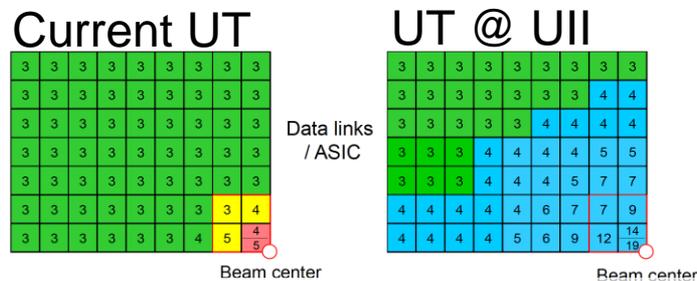
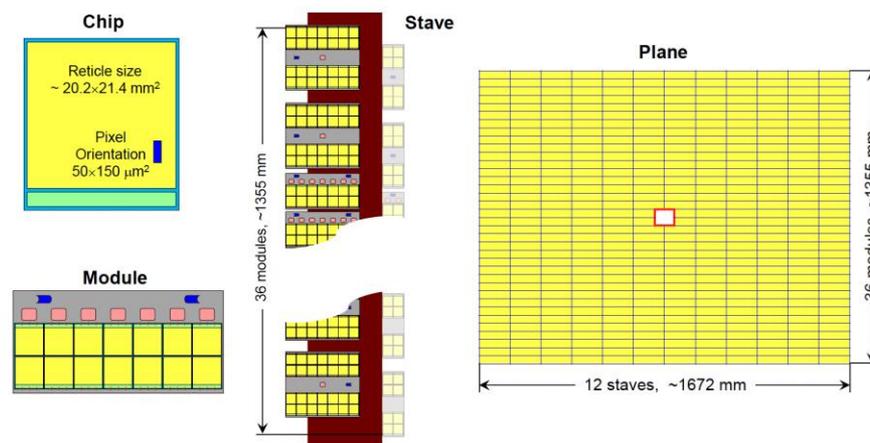
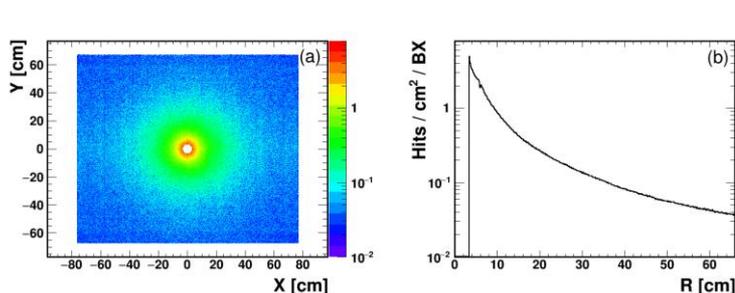
原子能院测试设置及部分结果



散裂中子源测试设置

UT二期升级

- 高能所牵头、国科大等国内多家单位参与，完成二期升级框架技术设计报告（Upgrade II Framework TDR）中UT章节
 - 开展基于模拟的性能研究，论证UT升级为像素探测器必要性
 - 首次提出基于CMOS的UT系统设计
 - 调研并开展候选原型CMOS研究



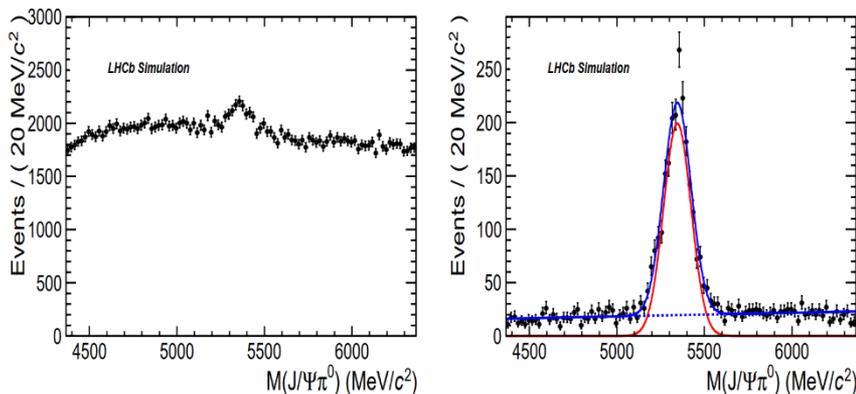
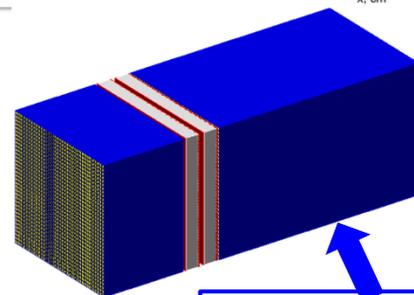
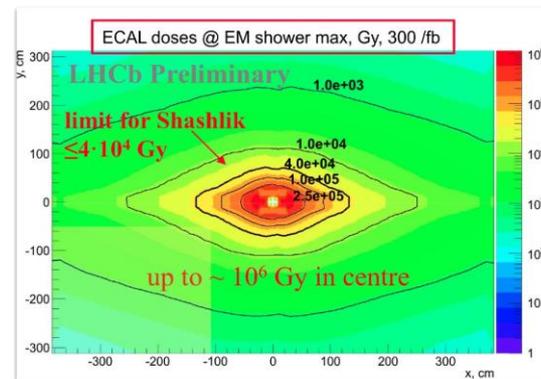
基于HVCMOS技术的UT系统升级设计

UT在二期升级亮度下占用率和数据量传输率的模拟研究

李一鸣, “MAPS for Upstream Tracker in LHCb Upgrade II”, VERTEX2021, 2021.09

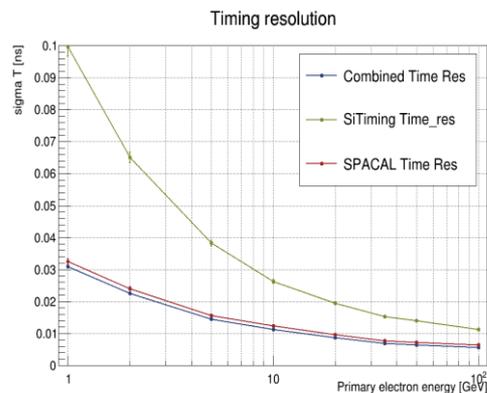
二期升级：电磁量能器

- 面临的挑战：
 - 需要更好的颗粒度来降低占用率，同时也必须考虑辐照损伤
 - 好的时间分辨来处理pile-up
- 好的 γ/e 探测及好的 γ/π^0 区分对于在高亮度LHC上开展物理研究非常重要
- 全SPACAL (CERN)，全SiW (China) and SPACAL+Silicon 混合 (China)，3种不同的设计方案正在进行研究



SiW 设计方案：

左：不使用时间信息；右：要求 π^0 的2个光子时间匹配，且要求 π^0 的时间跟 J/ψ 顶点的时间匹配



混合方案：

- 能同时具有好的能量分辨和时间分辨
- 优势：能额外也有很好的空间分辨
- 极大帮助 γ/π^0 的区分
- ALICE升级FoCal-E类似办法

2021年总结

- LHCb中国组在继续扩大影响力
 - 8家单位，30名教师，总人数143人，占比稳步提升
 - 多人担任物理工作组召集人等职务
- 物理成果突出
 - 主导的合作组论文已有9篇，涵盖奇异强子态、双重味强子、新物理间接寻找、重离子等研究方向
 - 占LHCb合作组今年投出论文总数约20%
- 探测器及软件方面贡献稳步上升
 - 上游径迹探测器、SciFi径迹探测器、实时分析（RTA）、数据处理及分析（DPA）等
 - 积极开展二期升级探测器研发工作

致谢与展望

- 科技部
 - 国家重点研发计划“大科学装置前沿研究”
 - 752万（LHCb物理，2022到期，亟需下一阶段支持）
+205万（LHC升级项目的小部分）
- 国家自然科学基金委
 - NSFC-CERN国际合作项目：硬件升级一期（548万），物理（900万+500万）
 - 积极争取竞争性项目：青年、面上、重点、人才项目
- 中国科学院
 - 前沿科学重点研究计划项目
- 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、教育部等多家单位多年来的支持！