



LHCb中国组2018年研究进展

谢跃红 (华中师范大学)
代表LHCb中国组

第四届中国LHC物理工作会议
华中师范大学, 2018. 12. 20-22



提纲

- **LHCb实验概况**
- **LHCb中国组单位与人员情况**
- **2018年中国组主要科学成果**
- **探测器硬件、软件和服务工作**
- **总结与鸣谢**

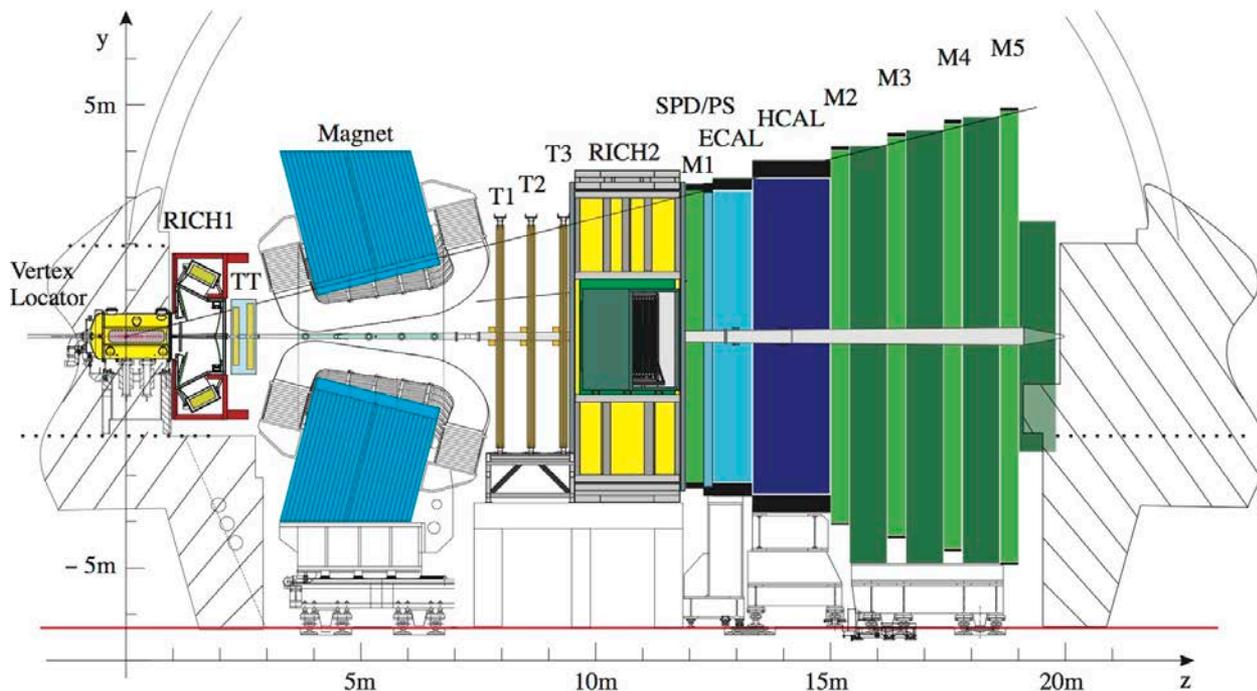
LHCb实验概况

LHCb国际合作组



**来自18个国家、79个单位的1250名成员
(科学论文署名作者849名)**

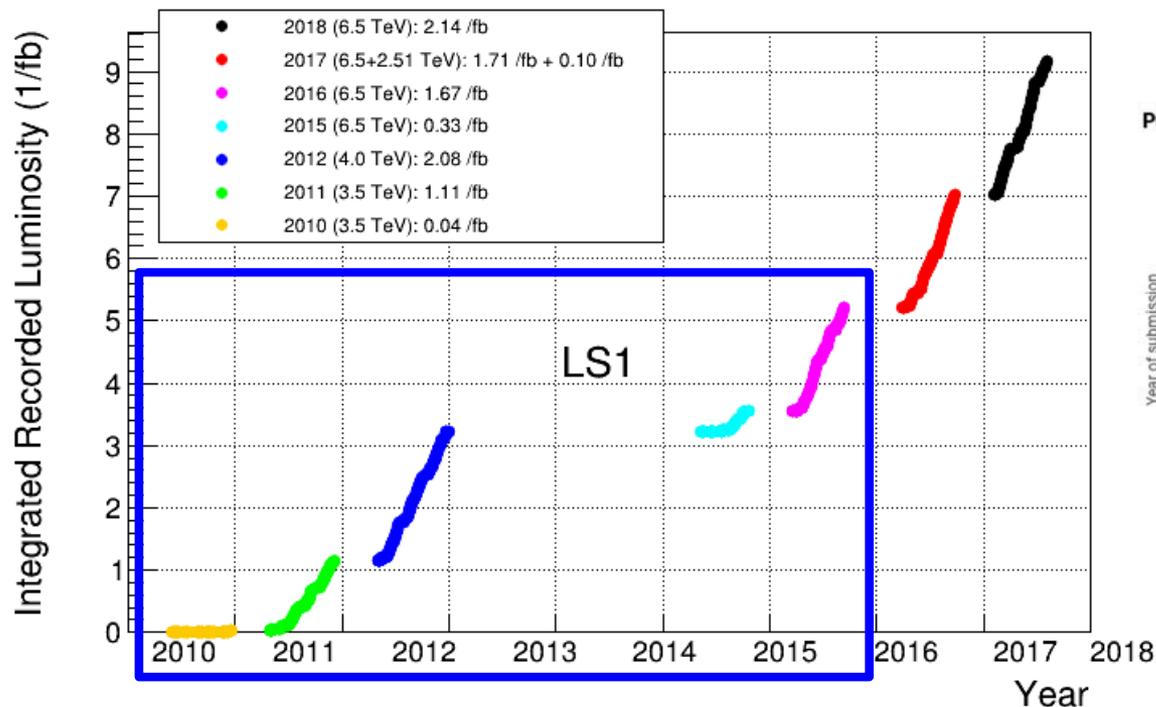
LHCb主要科学目标



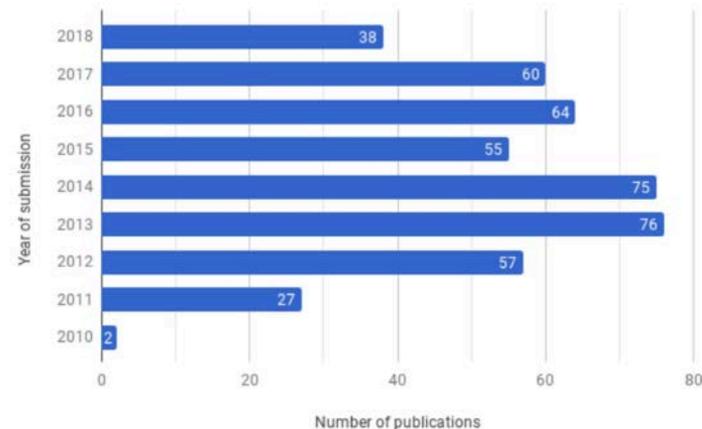
- **理解正反物质不对称：CP破坏**
- **间接发现新物理：稀有衰变**
- **理解强相互作用机制：强子性质，新强子态**
- **其它：电弱物理，重离子物理，...**

Run 2 运行结束, pp数据达到预期目标

LHCb Cumulative Integrated Recorded Luminosity in pp, 2010-2018



Publications per year



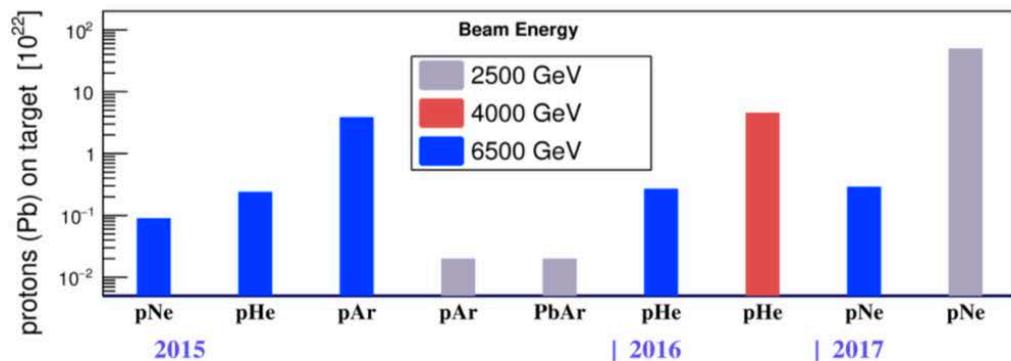
- 运行亮度达到 $4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 两倍于设计指标
- 积分亮度 9.2 fb^{-1}
- 基于2017年以前获取的 5 fb^{-1} pp碰撞数据 (以及重离子数据), 共发表论文454篇

重离子碰撞数据

对撞模式的重离子碰撞数据

Collision type	Year	Energy (n. n. cms)	Luminosity
pPb/Pbp	2013	5.02 TeV	1.6 nb ⁻¹
PbPb	2015	5.02 TeV	10 μb ⁻¹
pPb/Pbp	2016	8.16 TeV	34 nb ⁻¹
XeXe	2017	5.44 TeV	0.4 μb ⁻¹
PbPb	2018	5.02 TeV	~200 μb ⁻¹

固定靶模式的重离子碰撞数据



Fixed-target kinematic region

$$\sqrt{s_{NN}} \in [69, 115] \text{ GeV}$$

backward rapidity region
of ions

LHCb中国组单位与人员情况

LHCb中国组阵容

中国单位增加到6个，单位数在合作组排名4/18

- 清华大学，华中师范大学，中国科学院大学，武汉大学，
高能物理研究所，华南师范大学
- 中国科学院大学、华中师范大学升级为有投票权的正式成员。
- 北京大学加入LHCb事宜在洽谈中

研究队伍发展到21名固定人员（杰青2，优青2、青干6，科学院百人1）

年份	固定人员	博士后	博士生	硕士生	总人数	论文署名
2017	16	10	20	12	58	40
2018	21	10	31	23	85	60

人员名单

- **清华大学 (member) : 27人**

高原宁, 杨振伟, 张黎明, 朱相雷, 龚光华, 曾鸣;

博士后2, 博士生17, 硕士生2

- **华中师范大学 (member) : 23人**

谢跃红, 尹航, 张冬亮; 博士后4, 博士生4, 硕士生12

- **中国科学院大学 (member) : 17人**

郑阳恒, 吕晓睿, 何吉波, 钱文斌; 博士后4, 博士生6, 硕士生3

- **武汉大学 (associate member) : 7人**

孙亮, 蔡浩, 王纪科; 博士生4

- **高能物理研究所 (member) : 3人**

王建春, 李一鸣; 硕士生1

- **华南师范大学 (associate member) : 8人**

李衡讷, 刘国明, 邢宏喜; 硕士生5

LHCb合作组任职

杨振伟：发言人委员会委员。**高原宁**：评奖委员会委员。

钱文斌、**何吉波**：物理工作组共同召集人。

(中国组之前已有3人任物理工作组召集人。共9个工作组。)

Group	Name	Institute	Mandate
B2CC	Sevda Esen	Nikhef, Netherlands	01/01/2019 - 31/03/2021
B2CC	Veronika Chobanova	Santiago de Compostela, Spain	01/01/2018 - 31/03/2020
B2OC	Agnieszka Dziurda	HNI Kraków, Poland	01/01/2019 - 31/03/2021
B2OC	Mark Whitehead	Aachen, Germany	01/01/2018 - 31/03/2020
BnoC	Jeremy Dalseno	Santiago de Compostela, Spain	01/01/2019 - 31/03/2021
钱文斌	Wenbin Qian	UCAS Beijing, China	01/01/2018 - 31/03/2020
B&Q	Ivan Polyakov	Syracuse, USA	01/01/2019 - 31/03/2021
何吉波	Jibo He	UCAS Beijing, China	01/01/2019 - 31/03/2021
Charm	Mark Williams	Manchester, UK	01/01/2019 - 31/03/2021
Charm	Maurizio Martinelli	CERN	01/01/2018 - 31/03/2020
张艳席, 清华毕业, CERN Fellow	Yanxi Zhang	CERN	01/01/2019 - 31/03/2020
IFT	Benjamin Audurier	Cagliari, Italy	01/01/2019 - 31/03/2021
IFT	Frédéric Fleuret	LLR Paris, France	01/01/2018 - 31/03/2020
QEE	Olli Lupton	CERN	01/01/2019 - 31/03/2021
QEE	Stephen Farry	Liverpool, UK	01/01/2018 - 31/03/2020
RD	Flavio Archilli	Nikhef, Netherlands	01/01/2019 - 31/03/2021
RD	Simone Bifani	Birmingham, UK	01/01/2018 - 31/03/2020
SLB	Michel De Cian	EPFL Lausanne, CH	01/01/2019 - 31/03/2021
SLB	Lucia Grillo	Manchester, UK	01/01/2018 - 31/03/2020

2018年中国组主要科学成果

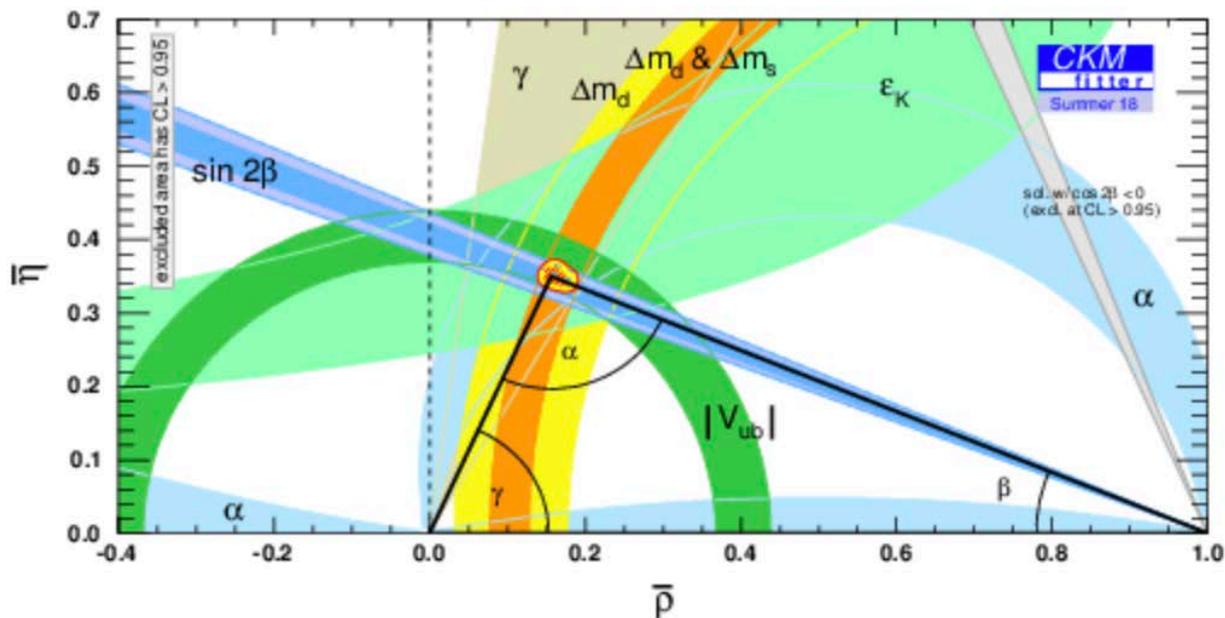
2018年中国组成果列表

- CKM相角 γ 测量: $B_s \rightarrow \bar{D}^{*0} \phi$ 的发现 PRD 98 (2018) 071103(R)
 $B_s \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K^-$ 的发现 PRD 98 (2018) 072006
- 双粲重子性质: 首次寿命测量 PRL 121 (2018) 052002
 $\Xi_{cc}^{++} \rightarrow \Xi_c^+ \pi^+$ 的发现 PRL121 (2018) 162002
- 新五夸克态寻找: $\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ p \bar{p} \pi^-$ 的发现 PLB 784 (2018) 101,
寻找含b夸克的五夸克态 PRD 97 (2018) 032010
- 强子产生测量: pp对撞中的 Υ 介子产生 JHEP 07 (2018) 134
pPb对撞中的 Λ_c^+ 重子产生 arxiv:1809.01404
- B_c 介子研究: 寻找激发态 B_c 介子 JHEP 01 (2018) 138

CKM相角 γ 的测量

γ 角测量对精确检验CKM机制至关重要，但精度有待提高

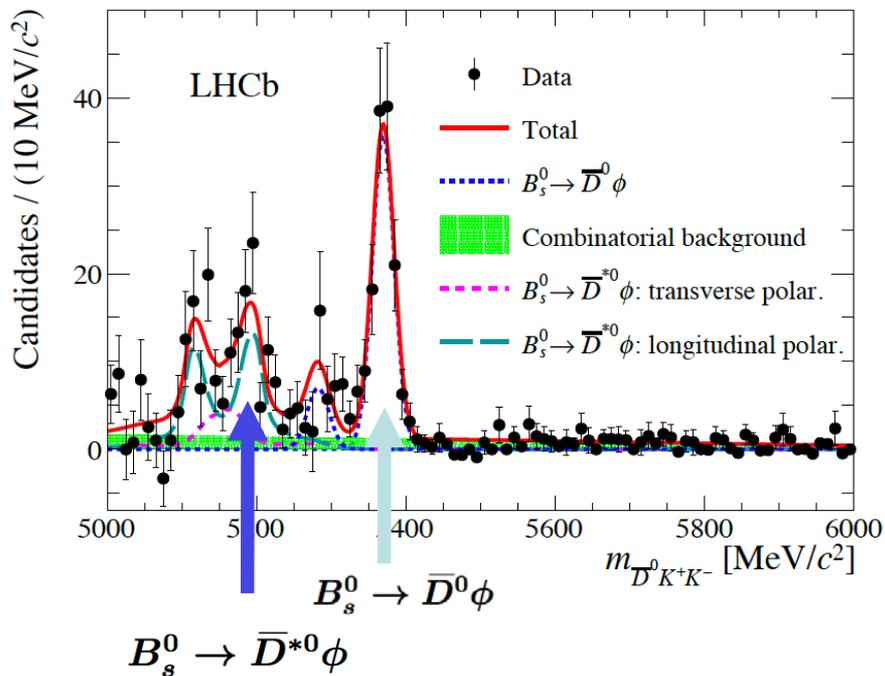
- 目前主要通过“黄金衰变道” $B \rightarrow DK^{(*)}$ 进行
- 重要任务：寻找和使用更多衰变道，提高 γ 角测量精度



(钱文斌是CKMfitter 合作组成员)

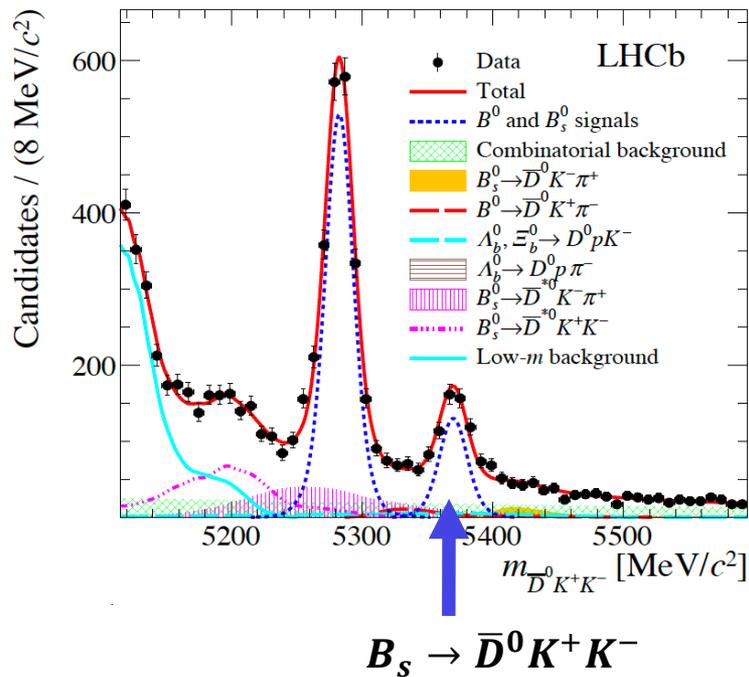
$B_s \rightarrow \bar{D}^{*0} \phi$ 和 $B_s \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K^-$ 的发现

$B_s \rightarrow \bar{D}^{*0} \phi$



PRD 98 (2018) 071103(R)

$B_s \rightarrow \bar{D}^0 K^+ K^-$

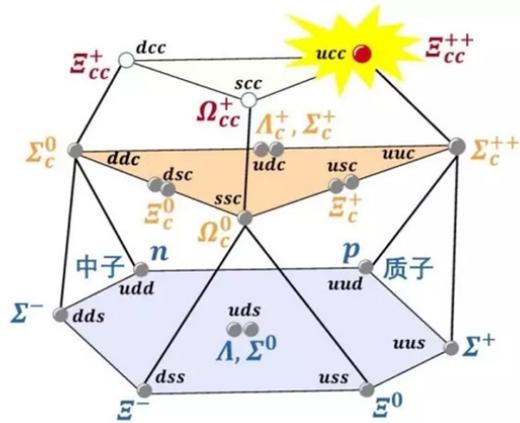


PRD 98 (2018) 072006

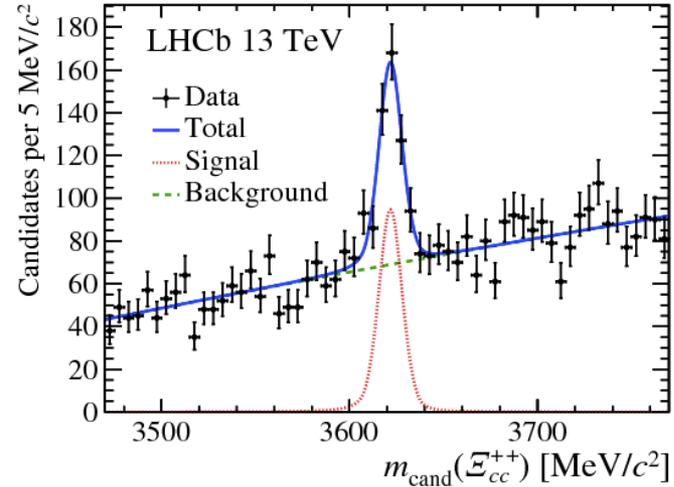
预期将来对新衰变模式的Dalitz分析能给出与黄金衰变道 $B \rightarrow DK^{(*)}$ 相似的 γ 角测量精度

回顾：2017年发现双粲重子

LHCb中国组主导发现双粲重子 Ξ_{cc}^{++}
 (国内理论家提供了有力支持!)



PRL 119 (2017) 112001, 引用153次



- 荣获科技部“2017年中国科学十大进展”
- 被两院院士评为“2017年度世界十大科技进展新闻”
- 《自然》杂志、美国物理学会《物理》杂志作特别介绍

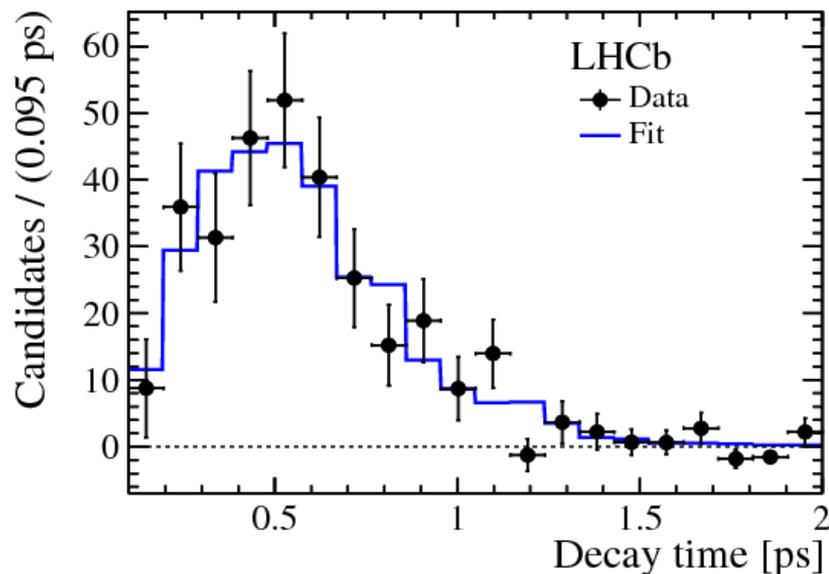
一年后: 双粲重子性质研究取得重要进展

Ξ_{cc}^{++} 寿命的首次测量

《物理评论快报》编辑推荐文章

PRL 121 (2018) 052002

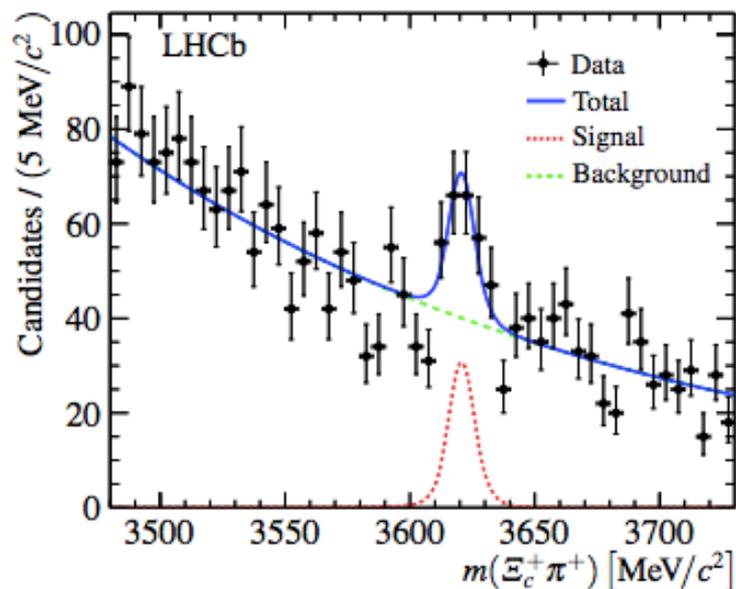
揭示了 Ξ_{cc}^{++} 通过弱作用进行衰变的特性



新衰变模式 $\Xi_{cc}^{++} \rightarrow \Xi_c^+ \pi^+$ 的发现

PRL 121 (2018) 162002

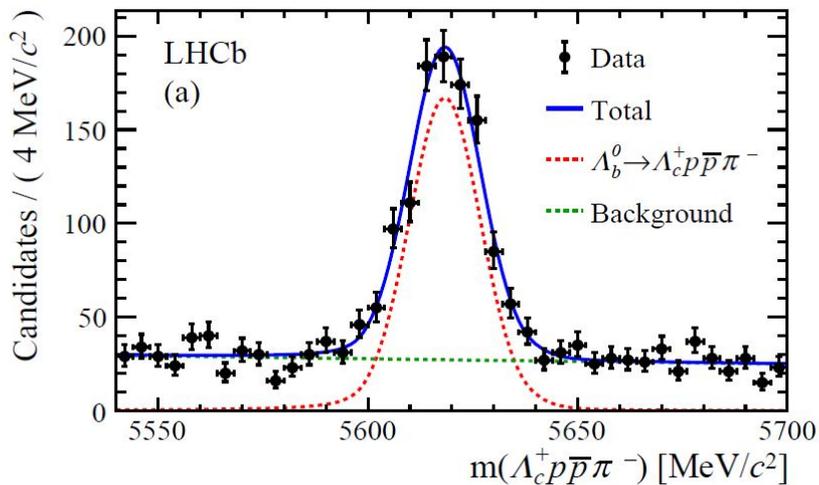
独立验证了之前对 Ξ_{cc}^{++} 的发现和
质量测量结果



新五夸克态的寻找

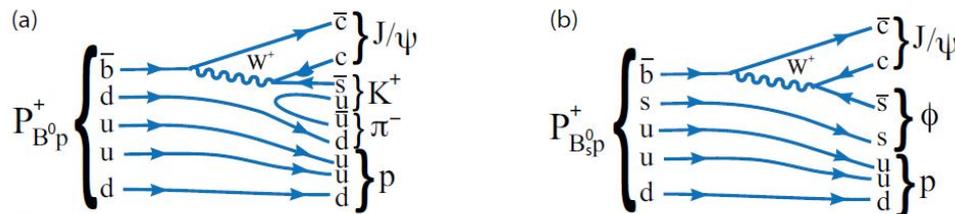
$\Lambda_b^0 \rightarrow \Lambda_c^+ p \bar{p} \pi^-$ 的发现

PLB 784 (2018) 101



寻找含b夸克的五夸克态

PRD 97 (2018) 032010



无明显信号，设置分支比上限

可用来寻找新五夸克态

$$P_c^0 \rightarrow \Lambda_c^+ \pi^-$$

以及其它新强子态

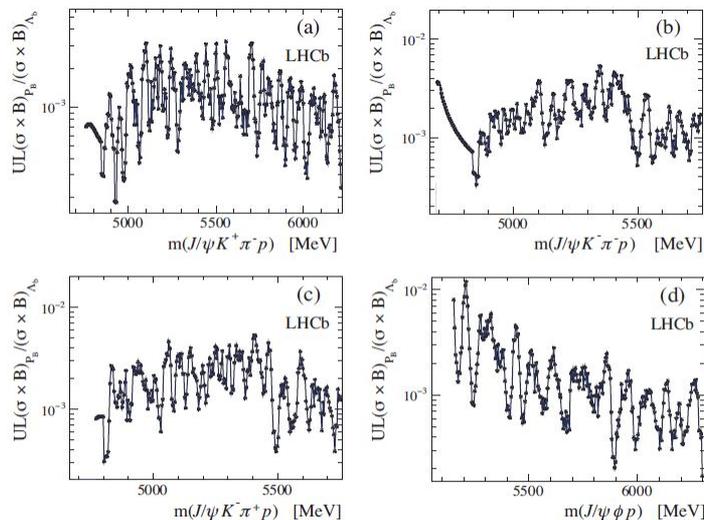
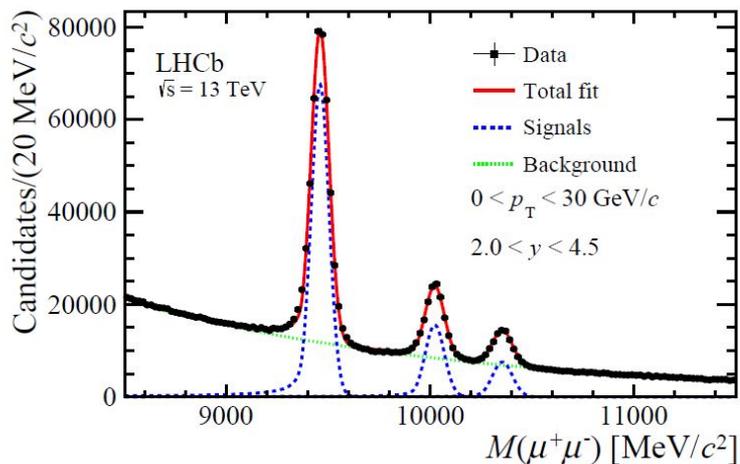
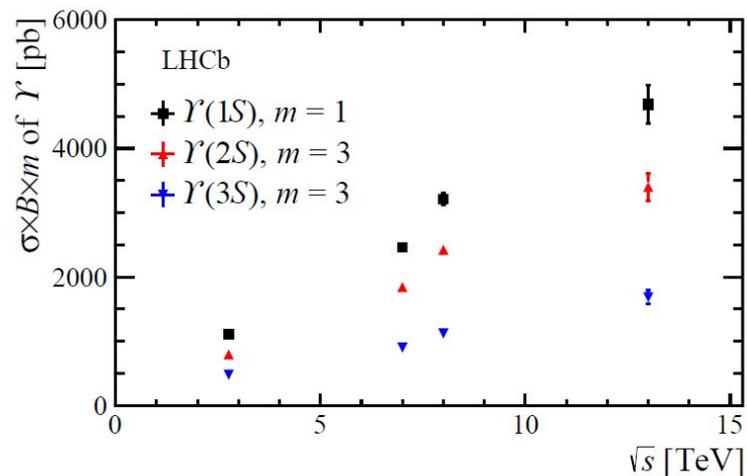


Figure 6: Upper limits on R at 90% CL for (a) $J/\psi K^+ \pi^- p$, (b) $J/\psi K^- \pi^- p$, (c) $J/\psi K^- \pi^+ p$, and (d) $J/\psi \phi p$ final states.

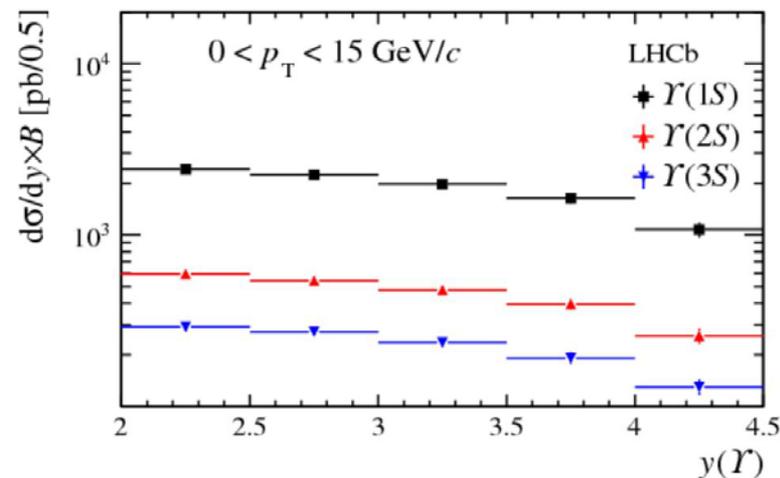
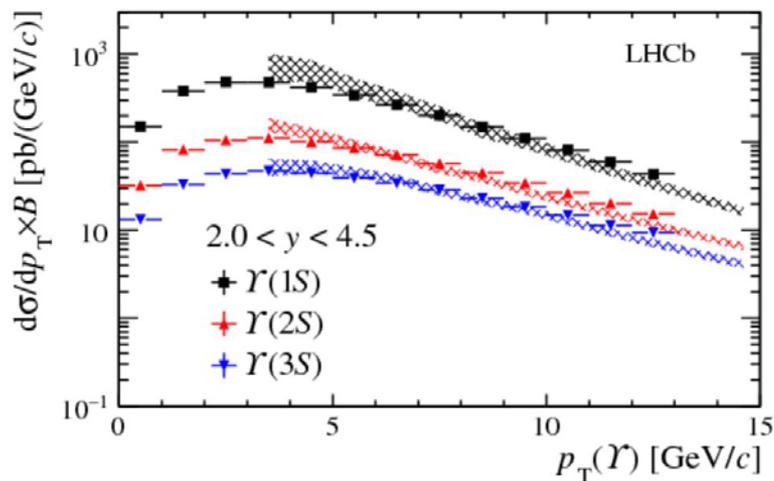
重建 $\Upsilon(nS) \rightarrow \mu^+ \mu^-$



总截面与质心系能量关系

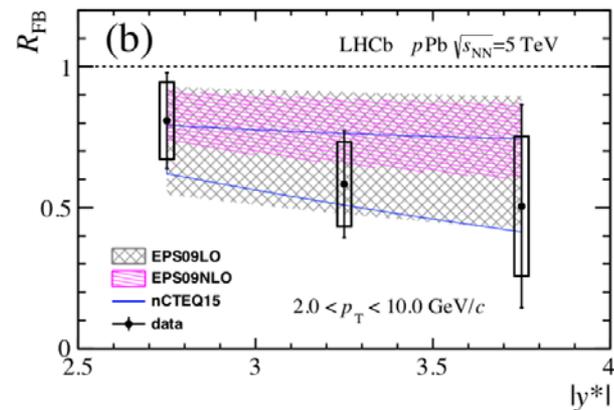
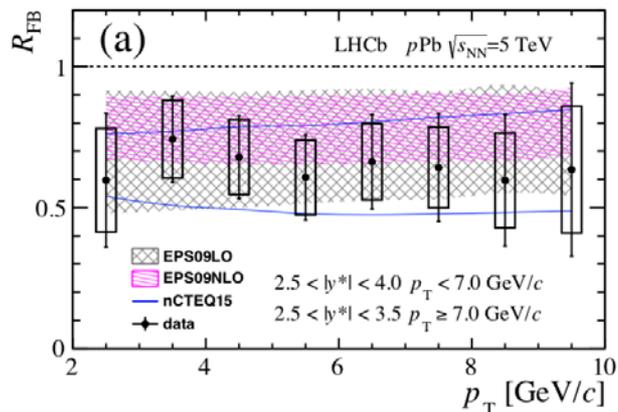
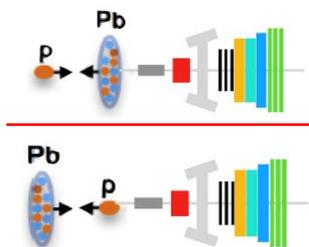


微分截面与NRQCD计算基本一致 [Y. Feng et al., CPC 39 (2015) 123102]



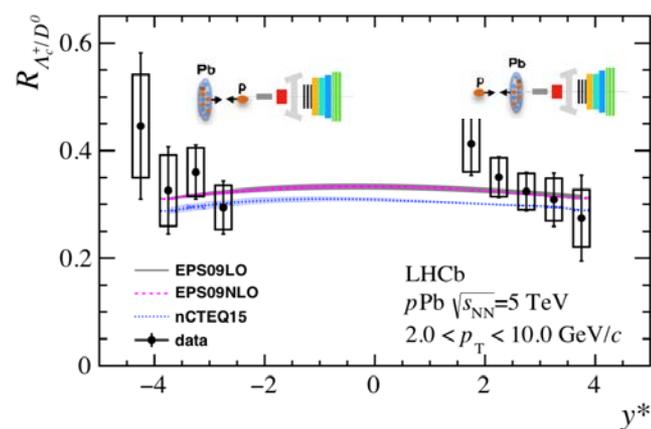
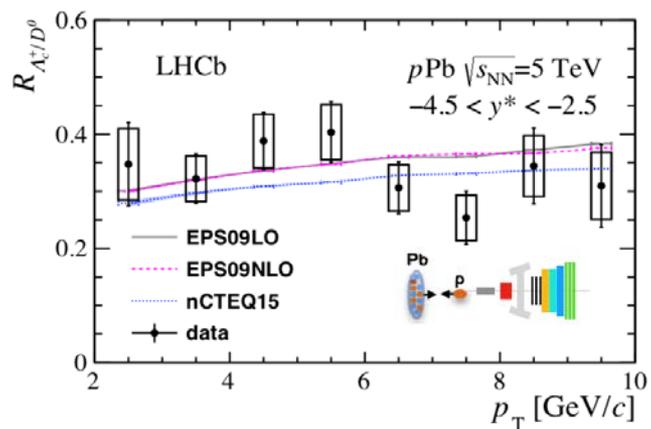
前向后向截面比显著小于1

$$R_{FB} = \frac{\sigma(+|y^*, p_T)}{\sigma(-|y^*, p_T)}$$



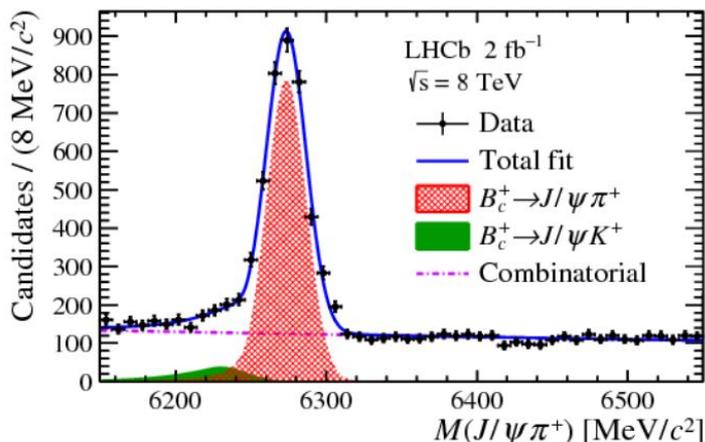
重子介子截面比

$$R_{\Lambda_c^+/D^0} = \frac{\sigma_{\Lambda_c^+}(y^*, p_T)}{\sigma_{D^0}(y^*, p_T)}$$

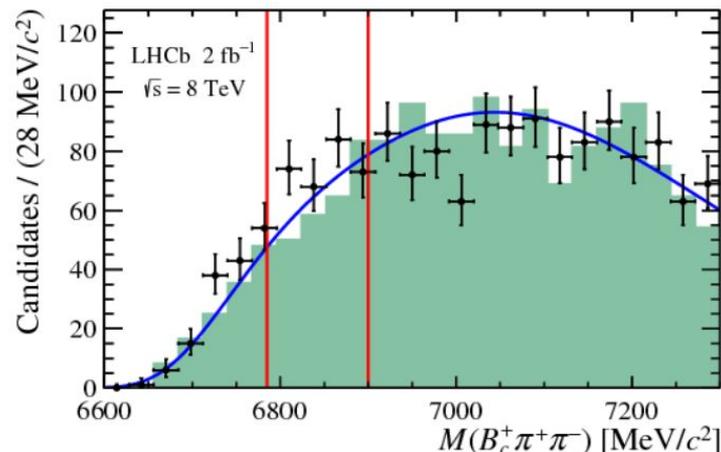


均与理论计算相符

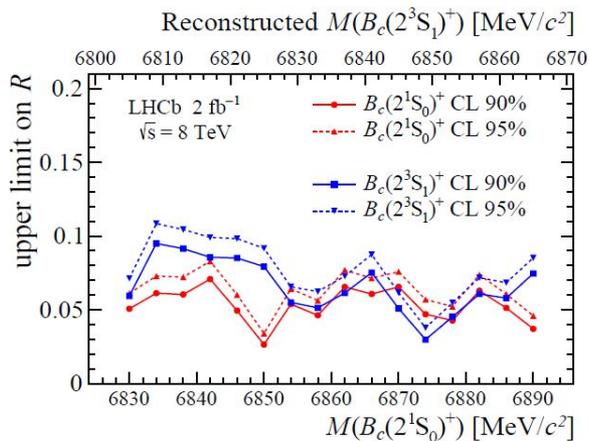
重建 $B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+$



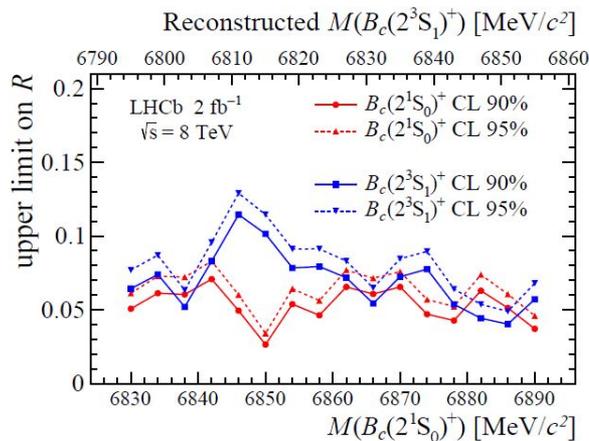
$B_c^+ \pi^+ \pi^-$ 质量谱无明显信号



设置 $B_c^{*}(2S)^+$ 和 $B_c(2S)^+$ 产生截面相对于 B_c^+ 的上限



(c) $\Delta M = 25$ MeV/c²



(d) $\Delta M = 35$ MeV/c²

2018年发表论文列表

本年度LHCb合作组发表 **38** 篇论文，中国组贡献 **9** 篇

1. First observation of the doubly charmed baryon decay $\Xi_{cc}^{++} \rightarrow \Xi_{cc}^{+} \pi^{+}$
[PRL 121 (2018) 162002]
2. Measurement of the lifetime of the doubly charmed baryon Ξ_{cc}^{++}
[PRL 121 (2018) 052002]
3. Observation of $B_s \rightarrow D^0 \phi$ and search for $B_d \rightarrow D^0 \phi$ decays
[PRD 98 (2018) 071103]
4. Observation of the decay $B_s \rightarrow D^0 K^{+} K^{-}$ [PRD 98 (2018) 072006]
5. Measurement of Upsilon production in pp collisions at 13 TeV
[JHEP 07 (2018) 134]
6. Search for excited B_c^{+} states [JHEP 01 (2018) 138]
7. Observation of the decay $L_b^0 \rightarrow L_c^{+} p \bar{p} \pi^{-}$ [PLB 784 (2018) 101]
8. Prompt Λ_c^{+} production in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV
[arxiv:1809.01404, submitted to JHEP]
9. Search for weakly decaying b-flavored pentaquarks [PRD 97 (2018) 032010]

国际会议报告

本年度LHCb合作组有 **450** 个国际会议报告，中国组成员作 **30** 次。

1. **Adam Davis**（清华大学），Current status of charm mixing at LHCb, Joint BESIII-LHCb workshop 2018, Beijing, China, February 8-9, 2018 .
2. **高原宁**（清华大学），Status and prospects for spectroscopy studies at LHCb, Joint BESIII-LHCb workshop 2018, Beijing, China, February 8-9, 2018 .
3. **刘雪松**（清华大学），Measurement of ϕ_s using $B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$, LHCC open session, CERN, Switzerland, February 28, 2018 (poster).
4. **钱文斌**（中国科学院大学），Synergy of BESIII/HIEPA and LHCb physics programs, The 2th International Workshop on High Intensity Electron-Positron Accelerator, Beijing, China, March 18-21, 2018.
5. **朱相雷**（清华大学），Small System Physics from LHCb, 2nd International workshop in Collectivity in Small Collision Systems, Wuhan, China, May 13-15, 2018 .
6. **Miroslav Saur**（中国科学院大学），Experimental progress and prospect on Charm CPV search, The 2th International Workshop on High Intensity Electron-Positron Accelerator, Huairou, China, March 18-21, 2018.

国际会议报告

7. 张黎明（清华大学）， Heavy flavour spectroscopy and exotic states at LHCb, XXVI International Workshop on deep inelastic scattering and related subjects, Kobe, Japan, April 16-20, 2018.
8. 孙佳音（清华大学）， Production of open charm and beauty states in pPb collisions with LHCb, Quark Matter 2018, Venezia, Italy, May 13-19, 2018.
9. Biplab Dey（华中师范大学）， Search for new physics at LHCb, LHC Reinterpretation Workshop, CERN, Switzerland, May 14-16, 2018.
10. Daniel Vieira（中国科学院大学）， Measurements with doubly-charmed hadrons, CHARM 2018, Novosibirsk, Russia, May 21-25, 2018.
11. 吕晓睿（中国科学院大学）， Charmonium production in proton-proton collisions at LHC, CHARM 2018, Novosibirsk, Russia, May 21-25, 2018.
12. 张黎明（清华大学）， Heavy flavour spectroscopy and exotic states at LHCb, 11th FCPPL Workshop, Marseille, France, May 22-25, 2018.
14. Nikita Belyi（中国科学院大学）， Recent results from LHCb, Quarks 2018, Valday, Russia, May 27-June 2, 2018.
15. 王梦臻（清华大学）， Hadron spectroscopy, exotic states and heavy flavour production at LHCb, 30th Rencontres de Blois, Blois, France, June 3-8, 2018.

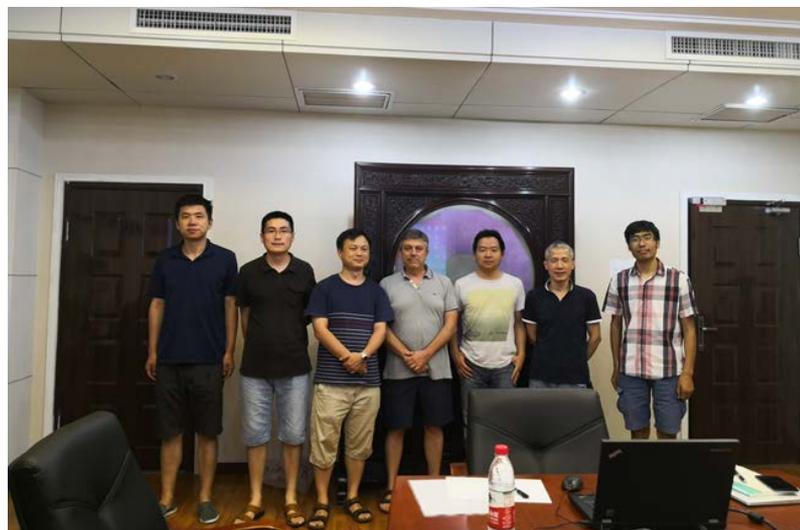
国际会议报告

16. Adam Davis (清华大学), LHCb as a charm factory, 24th International Symposium on Particle, Strings, Cosmology, Cleveland, USA, June 4-8, 2018.
17. 何吉波 (中国科学院大学), Prospect of LHCb for singly and doubly charmed baryon, Workshop on singly and doubly charmed baryons, Paris, France, June 26-27, 2018.
18. 何吉波 (中国科学院大学), Study of Bc mesons at LHCb, ICHEP 2018, Seoul, Korea, July 4-11, 2018.
19. 何吉波 (中国科学院大学), Recent LHCb results in charm spectroscopy, ICHEP 2018, Seoul, Korea, July 4-11, 2018.
20. Biplab Dey (华中师范大学), Lepton flavor universality tests at LHCb, ICHEP 2018, Seoul, Korea, July 4-11, 2018.
21. 钱文斌 (中国科学院大学), Time-integrated CP violation measurements in $B \rightarrow DD$ and $B \rightarrow DKK$ decays at LHCb, ICHEP 2018, Seoul, Korea, July 4-11, 2018.
22. 高原宁 (清华大学), Pentaquark system at LHCb, The 22nd International Conference on Few-body Problems in Physics, Caen, France, July 9-13, 2018.
23. 尹航 (华中师范大学), Latest results on charmed baryons from the LHCb experiment, CERN LHC Seminar, Geneva, Switzerland, July 10, 2018.
24. 李培荣 (中国科学院大学), Latest results from LHCb on hadron spectroscopy, Workshop on Hadron Physics in China and Opportunities Worldwide, Weihai, China, July 26-30, 2018.

国际会议报告

25. 张黎明（清华大学）， Latest results from LHCb on heavy flavor hadron spectroscopy, PWA10/ATHOS5, Beijing, China, July 16-20, 2018.
26. Adam Davis（清华大学）， Experimental prospects for measurements of V_{ud} , V_{us} , V_{cd} , V_{cs} and semileptonic/leptonic D decays at LHCb, CKM 2018, Heidelberg, Germany, September 17-21, 2018.
27. Biplab Dey（华中师范大学）， Exotic hadrons at LHCb and outlook for Run 3, Implication of LHCb measurements and future prospects, CERN, Switzerland, October 17-19, 2018.
28. Biplab Dey（华中师范大学）， CODEX-b simulation updates, Implication of LHCb measurements and future prospects, CERN, Switzerland, October 17-19, 2018.
29. 杨迪（清华大学）， Open charm and beauty states production in proton-lead collisions with LHCb, 7th Asian Triangle Heavy Ion Conference, Hefei, China, November 3-6, 2018.
30. 张黎明（清华大学）， Experimental overview of heavy flavour spectroscopy and exotic states, 8th International Conference on Quarks and Nuclear Physics, Tsukuba, Japan, November 13-17, 2018.

LHCb合作组负责人两次来访



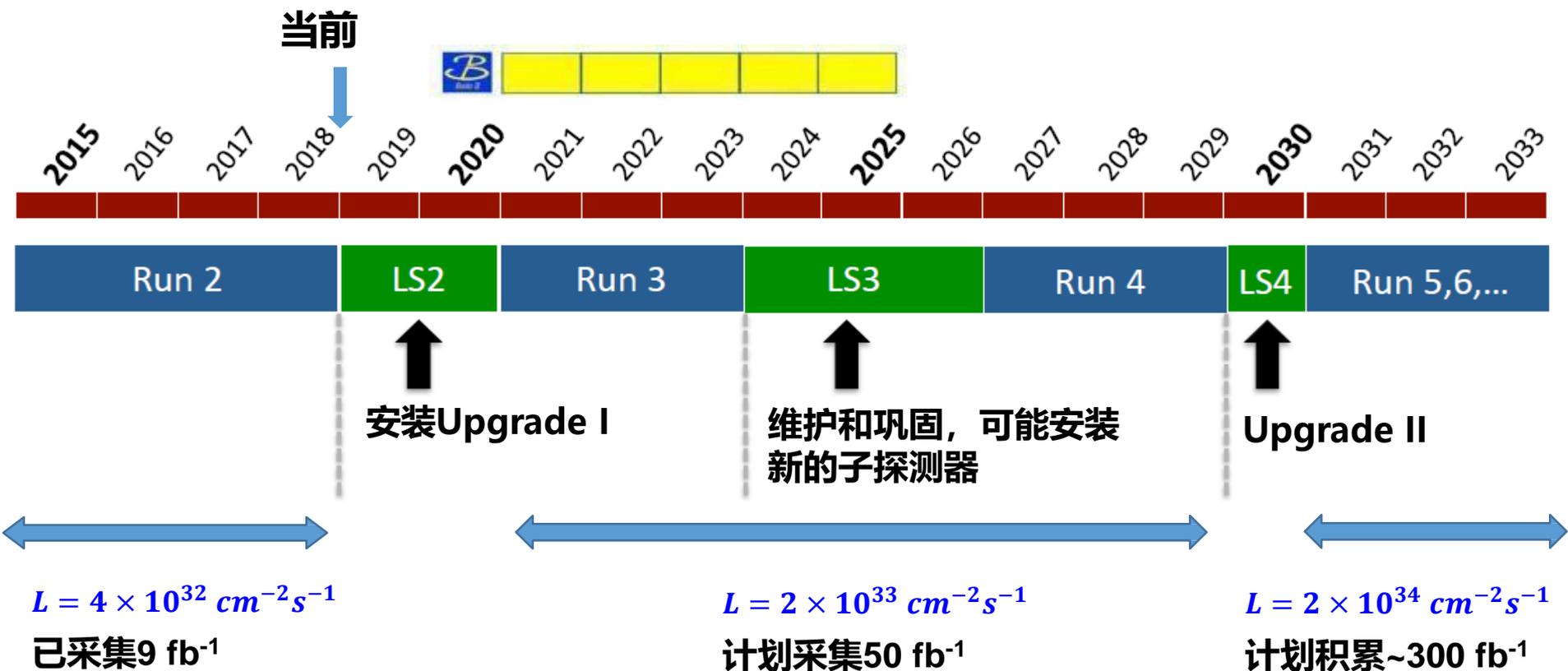
左上：首届BESIII-LHCb联合研讨会在北京举行

右上：LHCb实验正、副发言人访问在京单位，并与部分中国组成员座谈

左下：LHCb实验发言人访问武汉地区成员单位

探测器硬件、软件和服务工作

LHCb未来升级计划



- **Upgrade I**: 中国组参与闪烁光纤径迹探测器 (SciFi) 电子学研发
- **Upgrade II**: 希望对探测器有更大贡献, 重点开展电磁量能器fast timing 所需的硅探测层研发。需要相应的经费支持。

Upgrade I: 闪烁光纤探测器电子学研发

- 承担了SciFi系统前端电子学板的研制，2018年10月第一批次250块板经CERN束流测试，满足设计要求

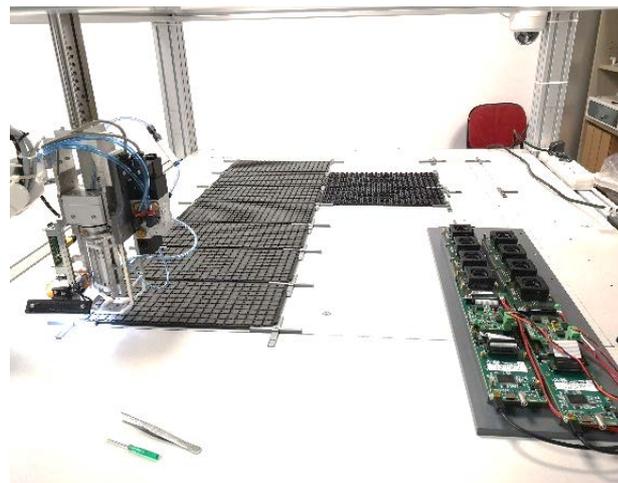
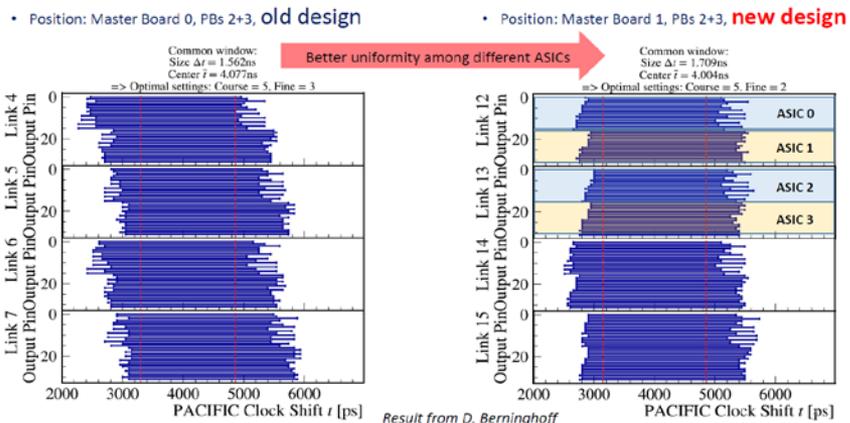
LHCb第一套SciFi读出电子学测试结果

- 研制了SciFi电子学的质量保障 (QA) 系统，实现了PACIFIC ASIC 芯片和电子学板的电学测试和参数标定



在海德堡大学搭建的QA系统

BER test with SciFi FE

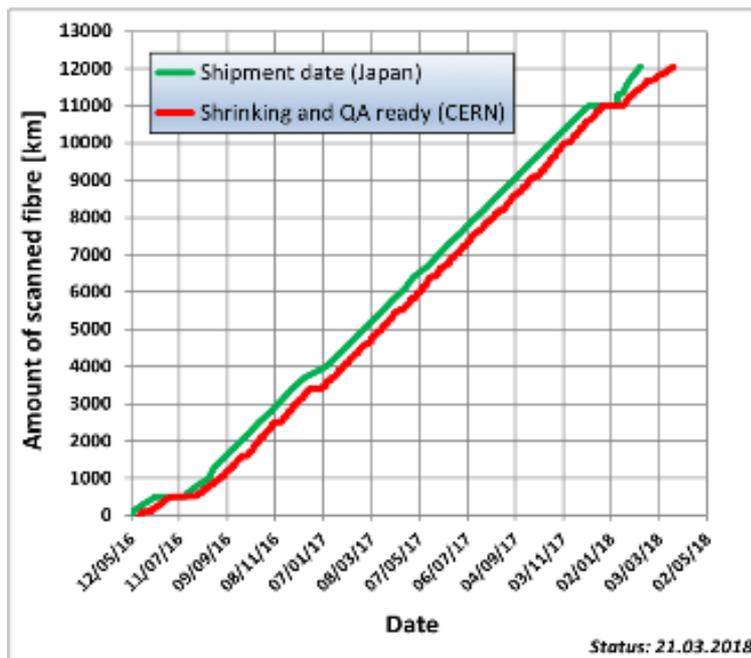


与巴塞罗那大学芯片自动测试平台机器人进行联合调试

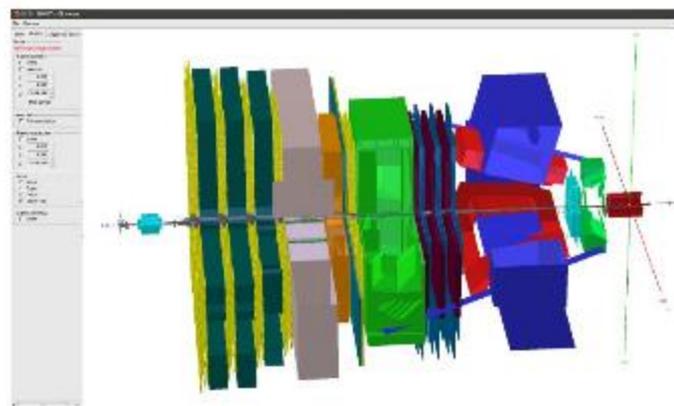
Upgrade I: 闪烁光纤探测器的安装调试

一名博士后和一名博士生分别在CERN和海德堡参加SciFi 探测器的工作

- 作为主力完成了全部闪烁光纤的质量检测 (QA)
- 负责把SciFi探测器几何描述数据库从XML 转换为DD4HEP
- 开发SciFi 探测器监控软件

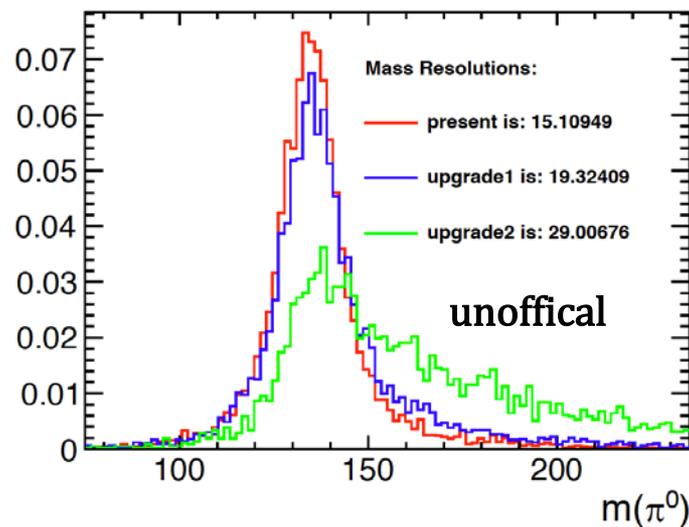
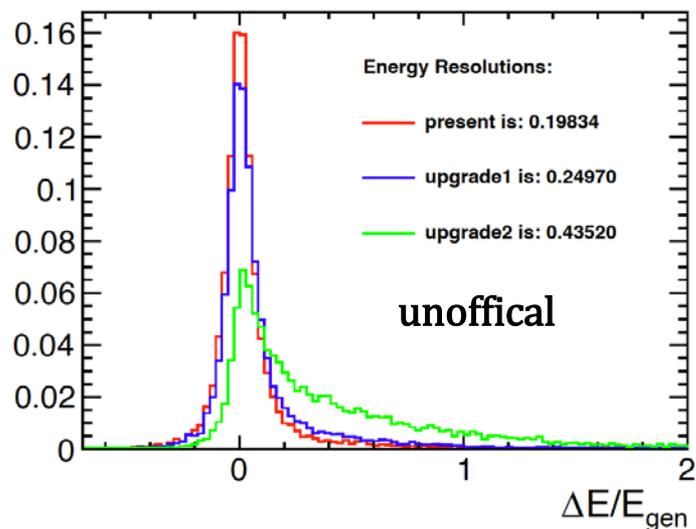


LHCb loaded in DD4hep



Upgrade II: 电磁量能器升级的模拟研究

- 利用Delphes软件开展快速模拟，优化电磁量能器的设计
 - 通过对簇射横向发展的模拟，研究光子能量分辨和 π^0 质量分辨



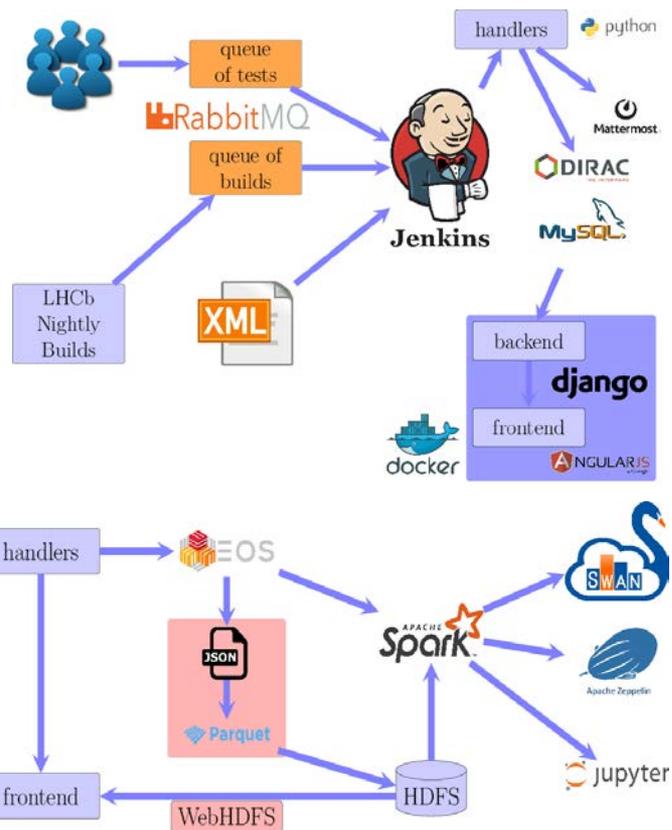
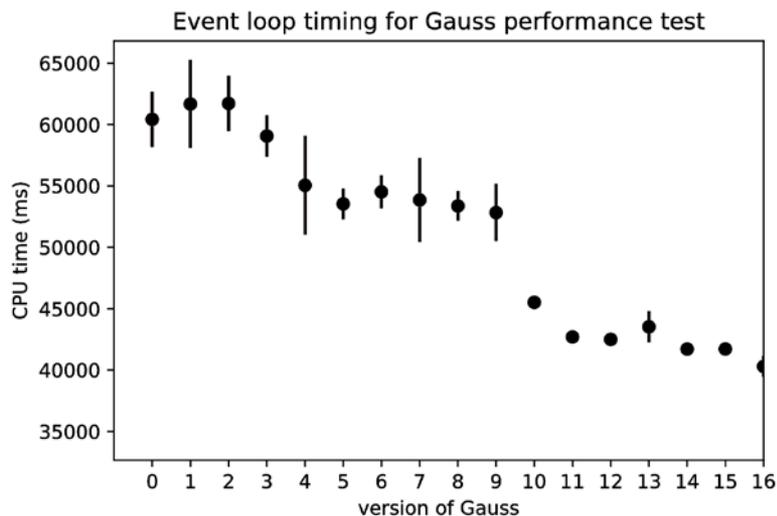
- 通过计算机模拟，研究电磁量能器的背景粒子流
 - Upgrade II 本底增加，理解本底的大小、能量流分布对电磁量能器的设计和性能优化至关重要

结论：现有量能器不能满足Upgrade II 要求，需要提高颗粒度，引入时间信息。
下一步研究：高颗粒度取样型量能器 + 硅探测层用于提供快速时间测量

软件和服务工作

- 一名博士后全职开发LHCb软件性能分析和回归系统

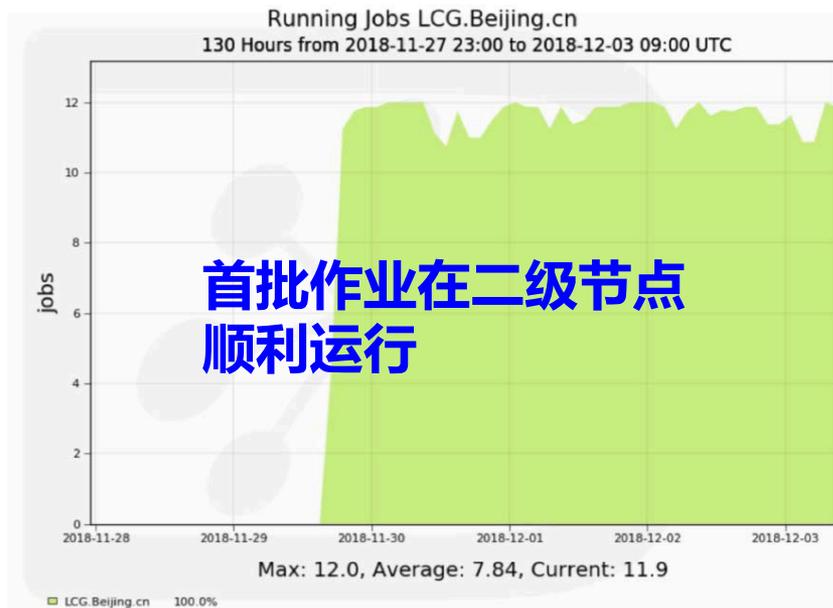
- 监测软件性能变化
- 提供技术分析大数据



- 作为对LHCb核心计算的贡献，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

在北京建立LHCb 网格计算二级节点

- LHCb中国组共同合作，自筹经费建立LHCb网格计算二级节点 (先期主要由华南师范大学和中国科学院大学出资)
- ~1000 CPU核, ~350 TB存储空间。已安装完毕！感谢高能所计算中心大力支持！
- LHCb计算系统负责人Stefan Roiser来访北京，商谈有关事宜



总结与鸣谢

2018年总结

- **LHCb中国组实力逐步增强**: 6个单位, 固定人员21人, 总人数85人
- **在合作组内保持一定影响力**: 多人担任物理工作组召集人等职务
- **物理成果**: 发表论文9篇, 涉及双粲重子、五夸克态、 γ 角测量、强子产生和 B_c 等领域
- **探测器相关**: 闪烁光纤径迹探测器电子学研发取得进展, 计划开展电磁量能器二期升级的研发工作, **需要相应的经费支持**
- **未来前景**: 大量Run 2 数据带来机遇和挑战
 - 即将推出 ϕ_s 测量、五夸克态研究的若干新结果
 - 继续保持在QCD相关研究中的优势
 - 积极开展稀有衰变和电弱物理的研究
 - **运行条件的变化和数据量的快速增加, 使数据分析的复杂性显著提高, 对计算能力、人力资源和研究经费提出了更高的要求**

致谢与希望

- 科技部

- 国家重点研发计划“大科学装置前沿研究”重点专项

- 752万（LHCb物理）+ ~200万（LHC升级项目的小部分）

- 远远低于其它LHC实验的支持水平**

- 国家自然科学基金委

- **无稳定支持**

- 通过竞争性项目：重点项目、面上项目、杰青项目、
优青项目、青年项目

- 中国科学院

- 前沿科学重点研究计划项目

- 成员单位和其它渠道的人才项目

- **希望能获得与我们团队规模、承担的任务和取得的成绩相匹配的稳定支持！**

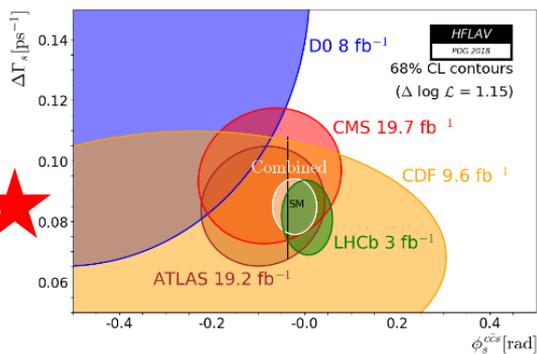
Backup slides

亮点成果摘选 (★ 中国组突出贡献)

CP破坏

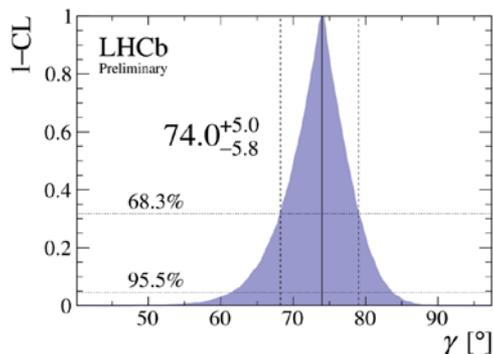
ϕ_s 相位角精确测量

PRL 114 (2015) 041801



γ 角精确测量

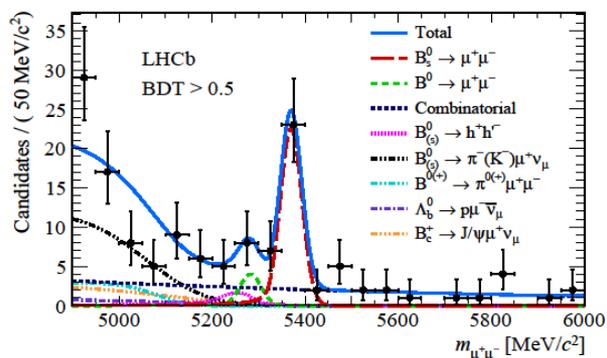
LHCb-CONF-2018-002



稀有破坏

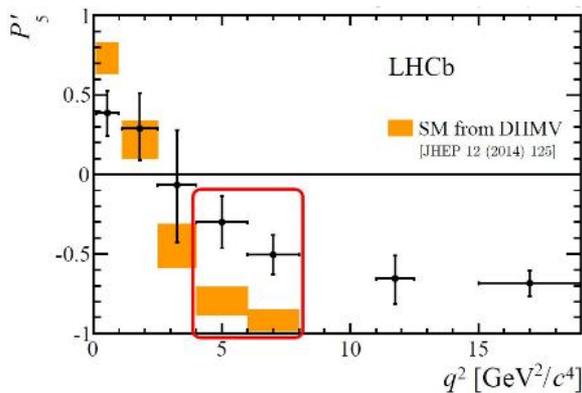
发现 $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

PRL 118 (2017) 191801



$B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ 角分析

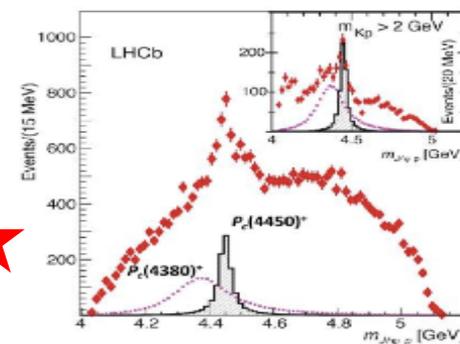
JHEP 04 (2016) 104



强子谱

五夸克态的发现

PRL 115 (2015) 072001



双粲重子的发现

PRL 119 (2017) 112001

