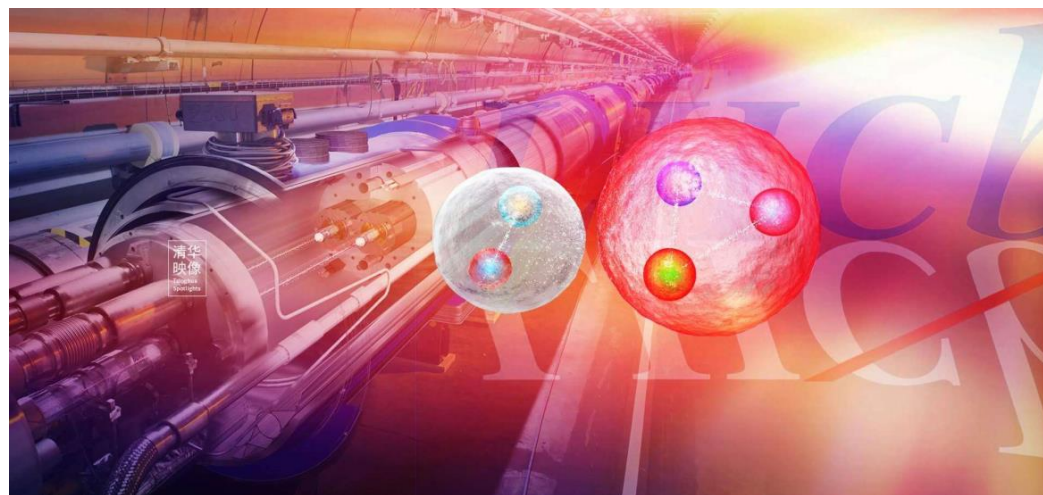




第五届CLHCP研讨会@大连理工大学, 2019.10.23-27



# LHCb中国组2019年度总结



杨振伟 @ 清华大学

2019.10.24

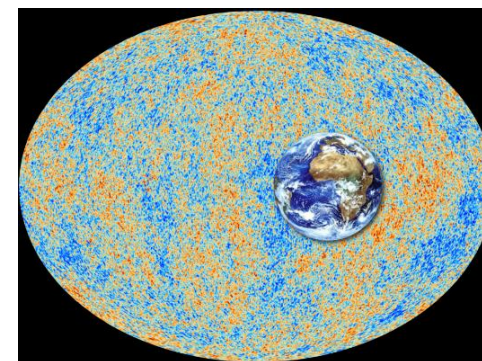
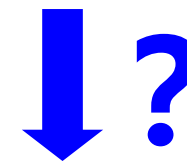
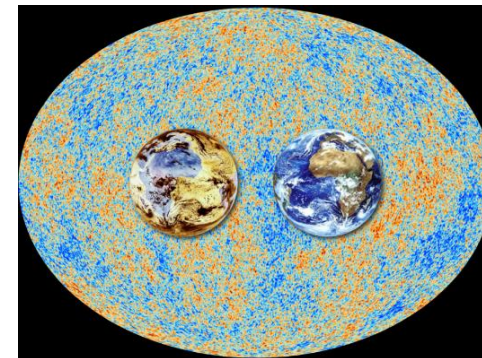
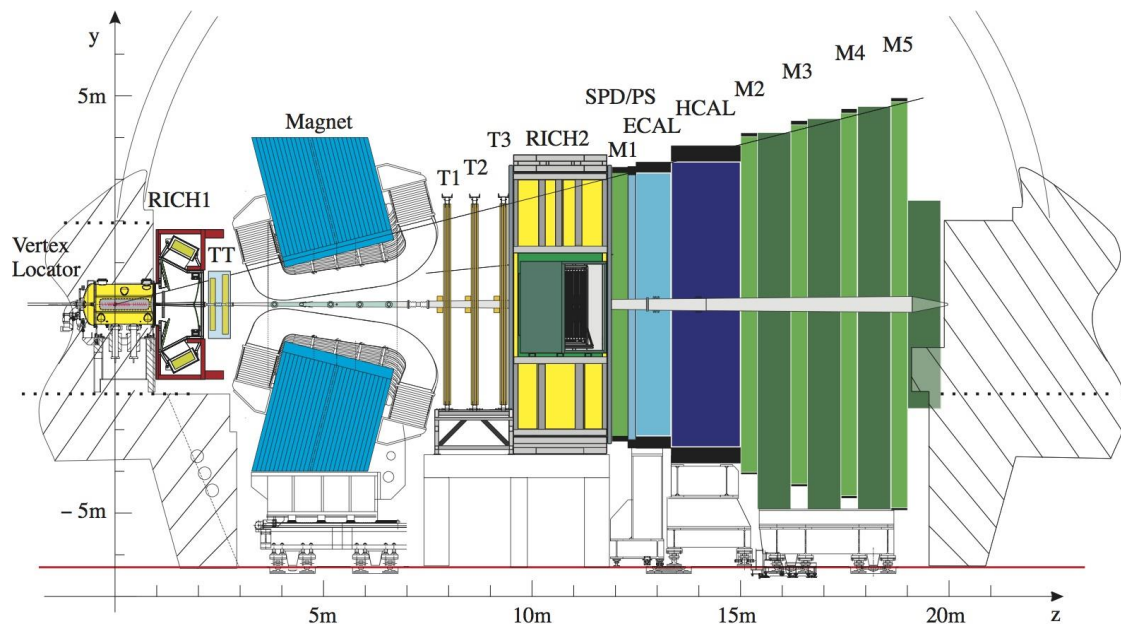
代表LHCb中国组



# 提 纲

- LHCb实验概况
- LHCb中国组单位与人员情况
- 2019年中国组主要科研亮点
- 探测器硬件、软件和服务工作
- 总结与鸣谢

# LHCb的主要科学目标

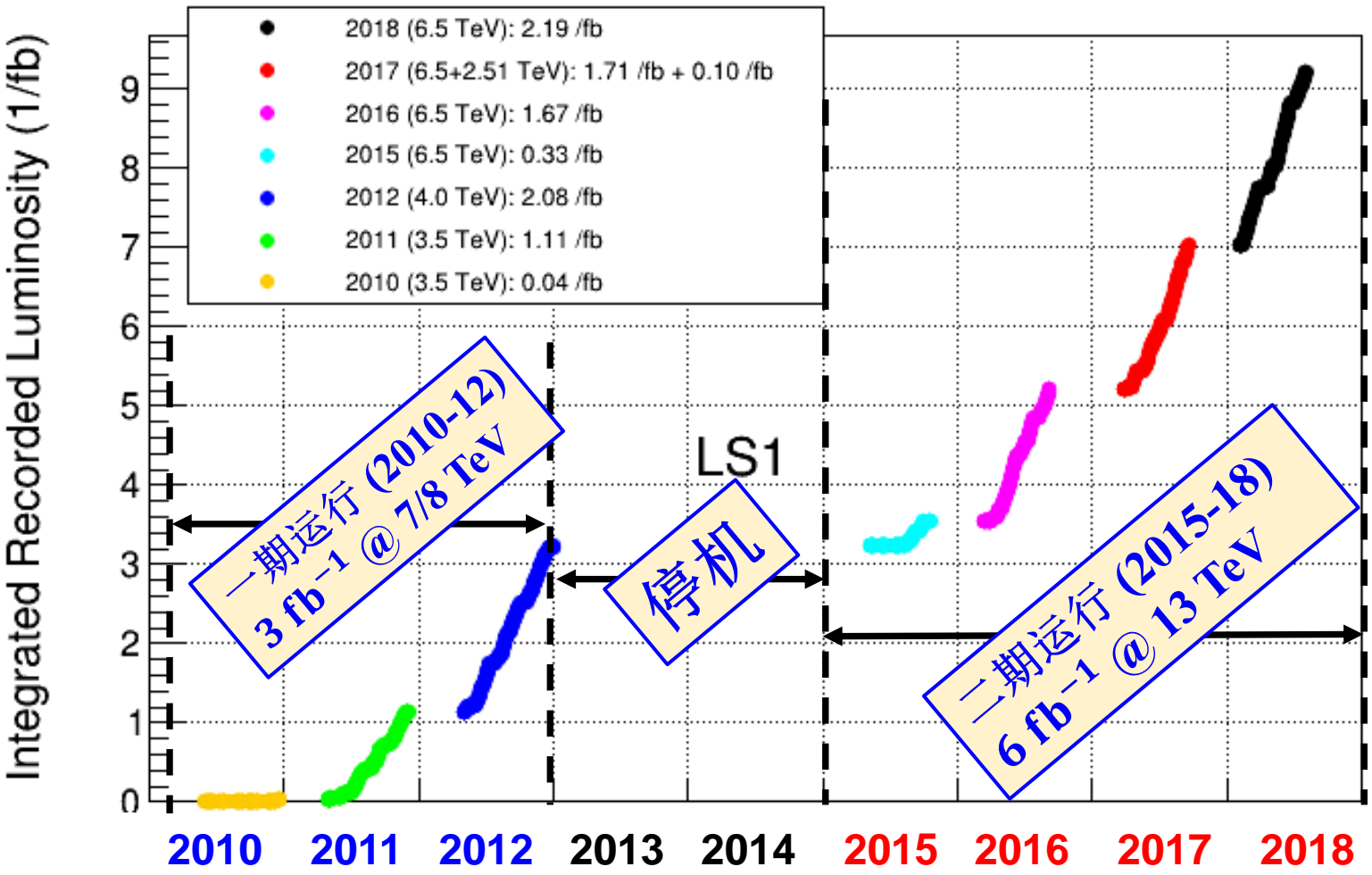


- **间接寻找新物理：电荷宇称破坏+稀有衰变**
- **理解强相互作用：强子性质，新强子态**
- **其它：电弱物理，重离子物理，...**

**理解正反物质不对称**

# 数据采集：一期运行+二期运行

LHCb Cumulative Integrated Recorded Luminosity in pp, 2010-2018



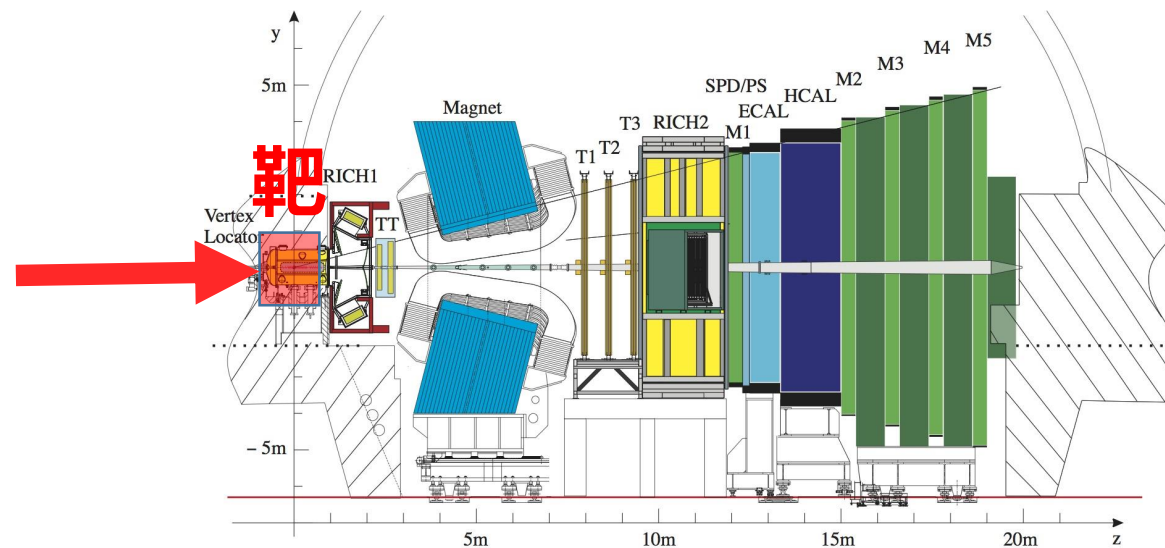
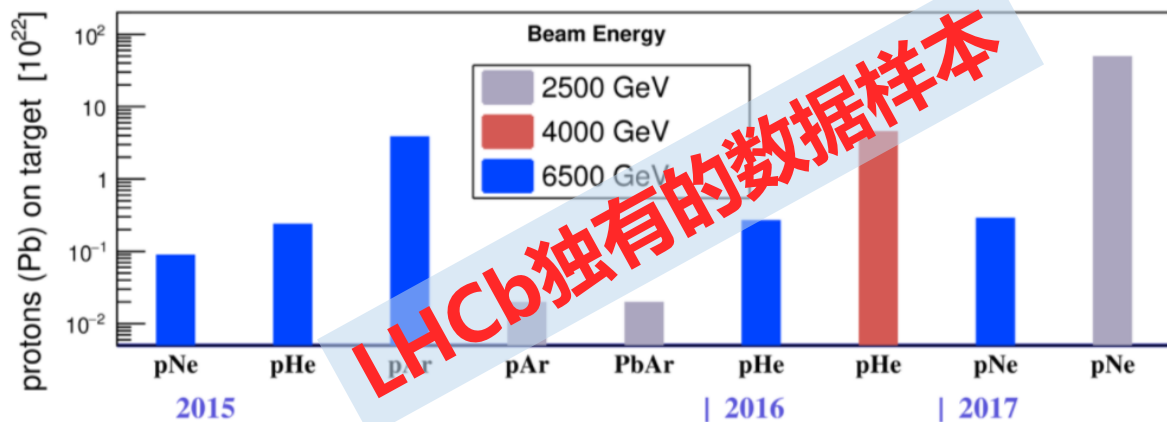
- 瞬时亮度:  $4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 
  - 两倍于设计指标
- 积分亮度  $9.2 \text{ fb}^{-1}$ 
  - 达到预期目标
- 科学论文
  - 483篇 (已发表)
  - +11篇 (杂志审稿中)

# 重离子碰撞数据样本

## 对撞模式

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

## 固定靶模式



# LHCb国际合作组

来自18个国家、80个单位的1341名成员



# LHCb中国组单位与人员情况

# LHCb中国组

中国单位7个，单位数在合作组排名4/18

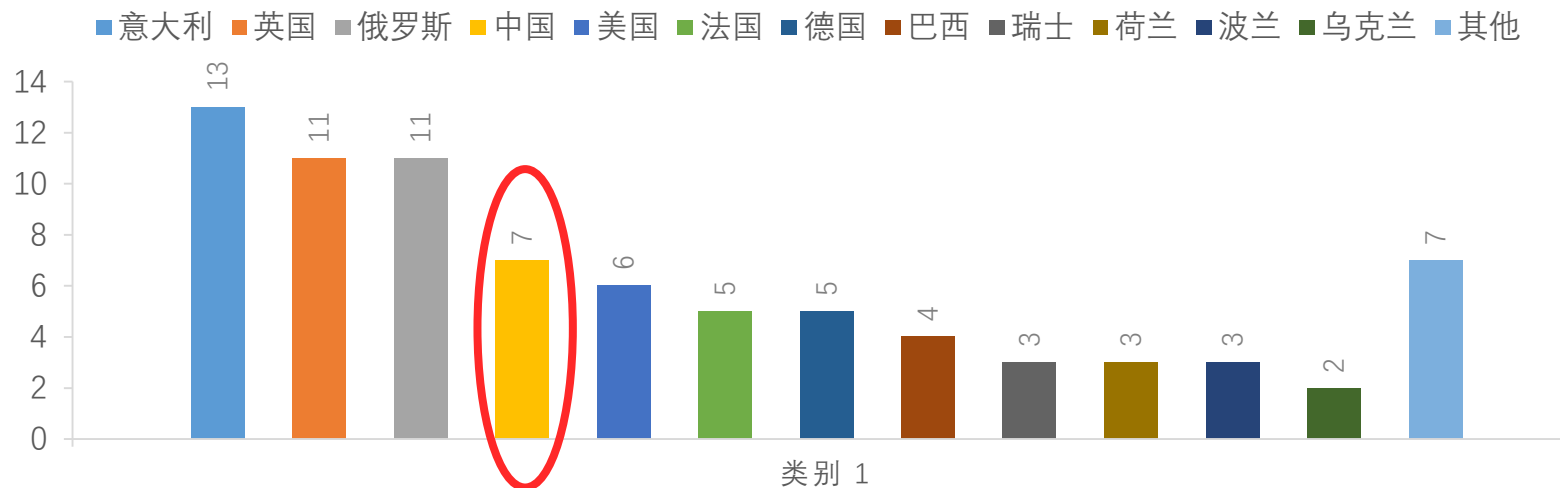
- 清华大学，华中师范大学，中国科学院大学，武汉大学，高能物理研究所，华南师范大学，北京大学 (2019)

研究队伍：21名教师

(杰青2，优青2、青干6，科学院百人1)

| 年份   | 2017 | 2018 | 2019 |
|------|------|------|------|
| 教师   | 16   | 21   | 21   |
| 博士后  | 10   | 10   | 17   |
| 博士生  | 20   | 31   | 38   |
| 硕士生  | 12   | 23   | 21   |
| 总人数  | 58   | 85   | 97   |
| 论文署名 | 40   | 55   | 58   |

LHCb国际合作各个国家成员单位数





# 人员名单

- **清华大学：24人**
  - 杨振伟, 张黎明, 朱相雷, 龚光华, 曾鸣; 博士后3, 博士生16
- **华中师范大学：23人**
  - 谢跃红、尹航、张冬亮; 博士后4, 博士生5, 硕士生11
- **中国科学院大学：21人**
  - 郑阳恒, 吕晓睿, 何吉波, 钱文斌; 博士后6, 博士生8, 硕士生3
- **武汉大学：8人**
  - 孙亮, 蔡浩, 王纪科; 博士生3, 硕士生2
- **中科院高能所：8人**
  - 王建春, 李一鸣; 博士后4, 博士生,1, 硕士生1
- **华南师范大学：7人**
  - 李衡讷, 刘国明, 胡继峰; 硕士生4
- **北京大学：6人**
  - 高原宁; 博士生5



# LHCb 合作组任职

## ➤ 报告人遴选委员会(Speakers' Bureau)

- 杨振伟 (2019.09任期结束)
- 张黎明

## ➤ 评奖委员会

- 高原宁

## ➤ 物理工作组召集人

- 钱文斌
- 何吉波

| Physics Analysis Working Groups              |   |
|--|---|
| <a href="#">QCD, Electroweak and Exotica</a> | Stephen Farry, Olli Lupton                              |
| <a href="#">B hadrons and Quarkonia</a>      | Ivan Polyakov, <b>Jibo He 何吉波</b>                       |
| <a href="#">Charm physics</a>                | Maurizio Martinelli, Mark Williams                      |
| <a href="#">Rare decays</a>                  | Simone Bifani, Flavio Archilli                          |
| <a href="#">B decays to Charmonia</a>        | Veronika Chobanova, Sevda Esen                          |
| <a href="#">B decays to Open Charm</a>       | Mark Whitehead, Agnieszka Dziurda                       |
| <a href="#">Charmless b-hadron decays</a>    | <b>Wenbin Qian 钱文斌</b> , Jeremy Dalseno                 |
| <a href="#">Semileptonic decays</a>          | Lucia Grillo, Michel De Cian                            |
| <a href="#">Ions and Fixed Target</a>        | Frederic Fleuret, <b>Yanxi Zhang, Benjamin Audurier</b> |

**张艳席,**  
清华毕业, CERN Fellow

中国组累积 2 (现任) + 3 (卸任) 人任物理工作组召集人

# 2019年工作重点

## ➤ 物理分析

- 强子产生机制与强子谱
- CP破坏
- 重离子物理

加强优势方向  
拓展新的领域

## ➤ 探测器硬件、软件和服务工作

- 一期升级：生产、测试、软件研发
- 二期升级：预研（预期2029年）

增加人员投入

# 敬请关注LHCb的结果报道

## ➤ 大会报告

### • 周五 (10.25) 上午

08:30-09:00, 李衡讷 (华南师范) Heavy Flavor Production in PP and Heavy Ion Collisions,

09:00-09:30, 孙亮 (武汉大学) Overview of CP Violation

10:00-10:30, 何吉波 (国科大) Rare Decays and Lepton Universality Test

### • 周日 (10.27) 上午

12:00-12:30, 王建春 (高能所) LHCb Detector Upgrade,

## ➤ 分会报告

### • Heavy Flavor and Heavy Ion Physics, 巴黎厅

#### • 周四 (10.24) 下午

14:00-14:20, 胡文华 (华中师范) Updated measurement of Bs mixing phase  $\phi_s$  at LHCb

14:20-14:40, 范艳婷 (华中师范) Recent results of Bc physics at LHCb

14:40-15:00, 王梦臻 (清华大学) Recent results of exotic state at LHCb

15:20-15:40, 秦佳佳 (国科大) Recent results of the doubly charmed baryon at LHCb

15:40-16:00, 陈晨 (清华大学) Recent results of charm spectroscopy at LHCb

16:50-17:10, 杨迪 (清华大学) Open heavy flavor production in pPb collisions at LHCb

18:10-18:30, M. Mukherjee (华中师范) Measurement of thermodynamic observables from High Energy Experiments

#### • 周五 (10.25) 下午

17:30-17:50, 马瑞 (华南师范) Z production in pPb collisions at LHCb

### • Detector Performance, 宴会厅A, 周四 (10.24) 下午

18:10-18:30, 徐梦琳 (华中师范) Ghost rate study of the tracking at LHCb

### • Detector Upgrade, 巴黎厅, 周六 (10.26) 下午

15:45-15:05, 曾鸣 (清华大学) Scintillator fibre trackers of the LHCb Upgrade I

17:10-17:30, 李一鸣 (高能所) Upstream tracker for LHCb Upgrade I

18:15-18:35, 许泽华 (北京大学) Fast simulation of ECAL for LHCb Upgrade II

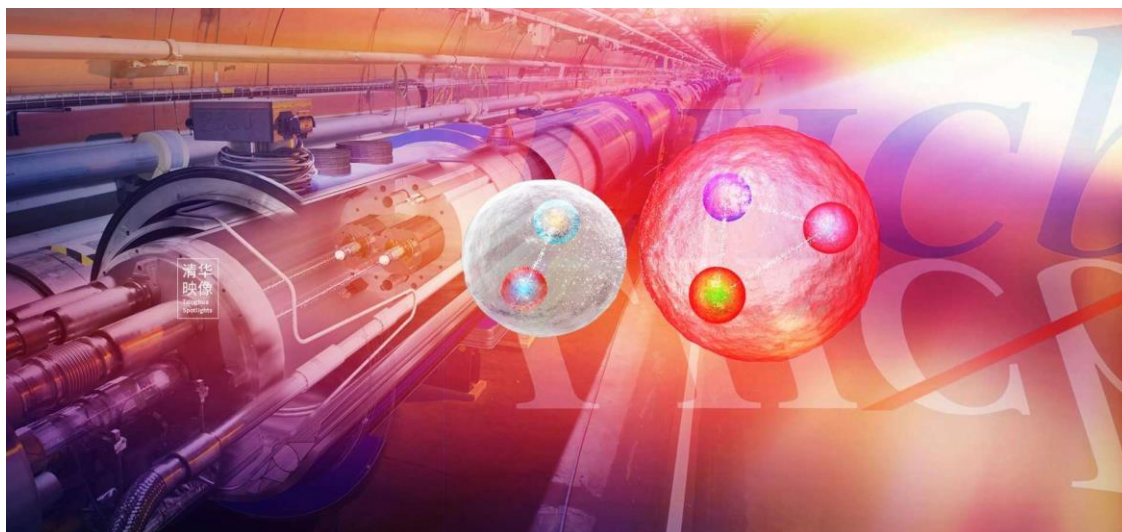
# 2019年中国组科研亮点

# 强子产生机制与强子谱：理解强相互作用

4 PRL + 1 中国科学(已接受) + 1 EPJC (审稿中)

1. Observation of a narrow pentaquark state,  $P_c(4312)^+$ , and of two-peak structure of the  $P_c(4450)^+$  [[PRL 122 \(2019\) 222001](#)]
2. Observation of  $B_s^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}$  and precision measurements of the  $B_{(s)}^0$  masses [[PRL 122 \(2019\) 191804](#)]
3. Model independent observation of the exotic contribution to  $B_0 \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-$  decays [[PRL 122 \(2019\) 152002](#)]
4. Observation of an excited  $B_c^+$  state [[PRL 122 \(2019\) 232001](#)]
5. Search for the doubly charmed baryon  $\Xi_{cc}^+$  [[arXiv:1909.12273](#), 已投稿 [Sci. China PMA \(中国科学\)](#)]
6. Measurement of  $\psi(2S)$  production cross-sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and 13 TeV [[arXiv:1908.03099](#), 已投稿 EPJC]

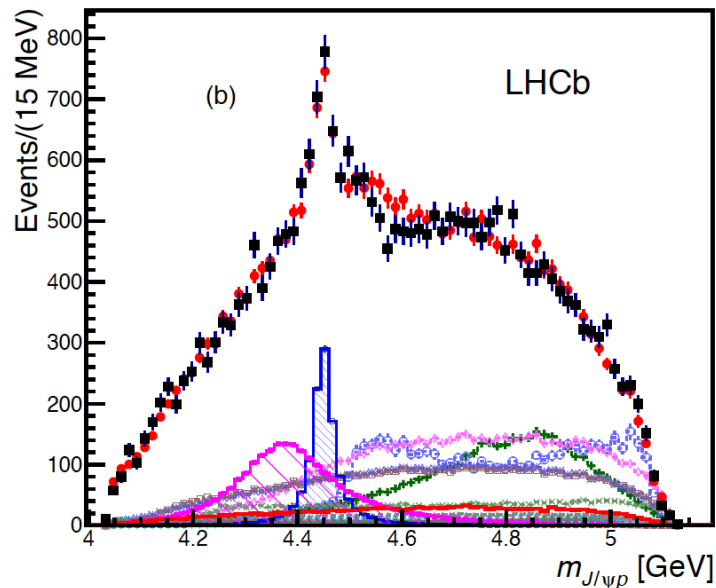
# 五夸克态的最新进展



# 回顾2015：五夸克态的发现

➤ 2015年LHCb在 $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$ 衰变中发现五夸克态： $P_c(4380)^+$ 和 $P_c(4450)^+$

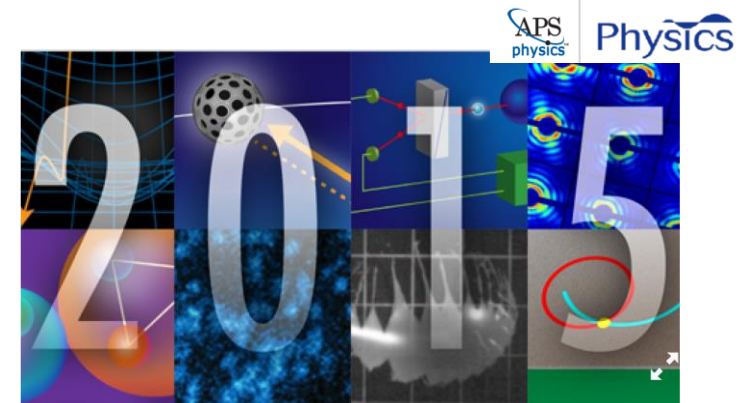
| 共振态           | 质量 (MeV)                 | 宽度 (MeV)            |
|---------------|--------------------------|---------------------|
| $P_c(4380)^+$ | $4380 \pm 8 \pm 29$      | $205 \pm 18 \pm 86$ |
| $P_c(4450)^+$ | $4449.8 \pm 1.7 \pm 2.5$ | $39 \pm 5 \pm 19$   |



PRL 115 (2015) 072001  
引用834次



Breakthroughs of the Year



Highlights of the Year



# 五夸克态带来的新问题

## ➤ 对五夸克态的性质所知有限

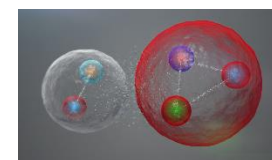
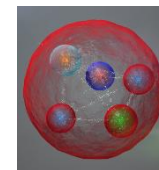
- 自旋宇称量子数  $J^P$  ?
- 产生机制?
- 衰变模式?
- 有没有对应的同位旋态?
- .....

## 五夸克态本质?

紧密束缚态?

强子分子态?

反常运动学效应?



# 计划 →

## ➤ 利用二期数据更新 $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$ 的结果

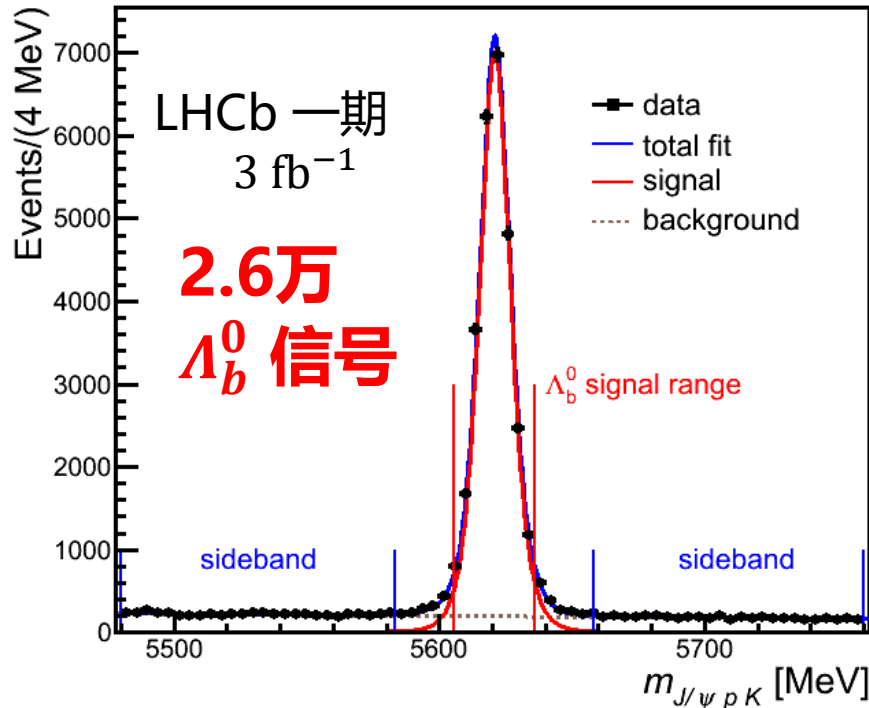
- 确定自旋宇称等量子数
- 更精确地确定其他性质

## ➤ 全方位的探索

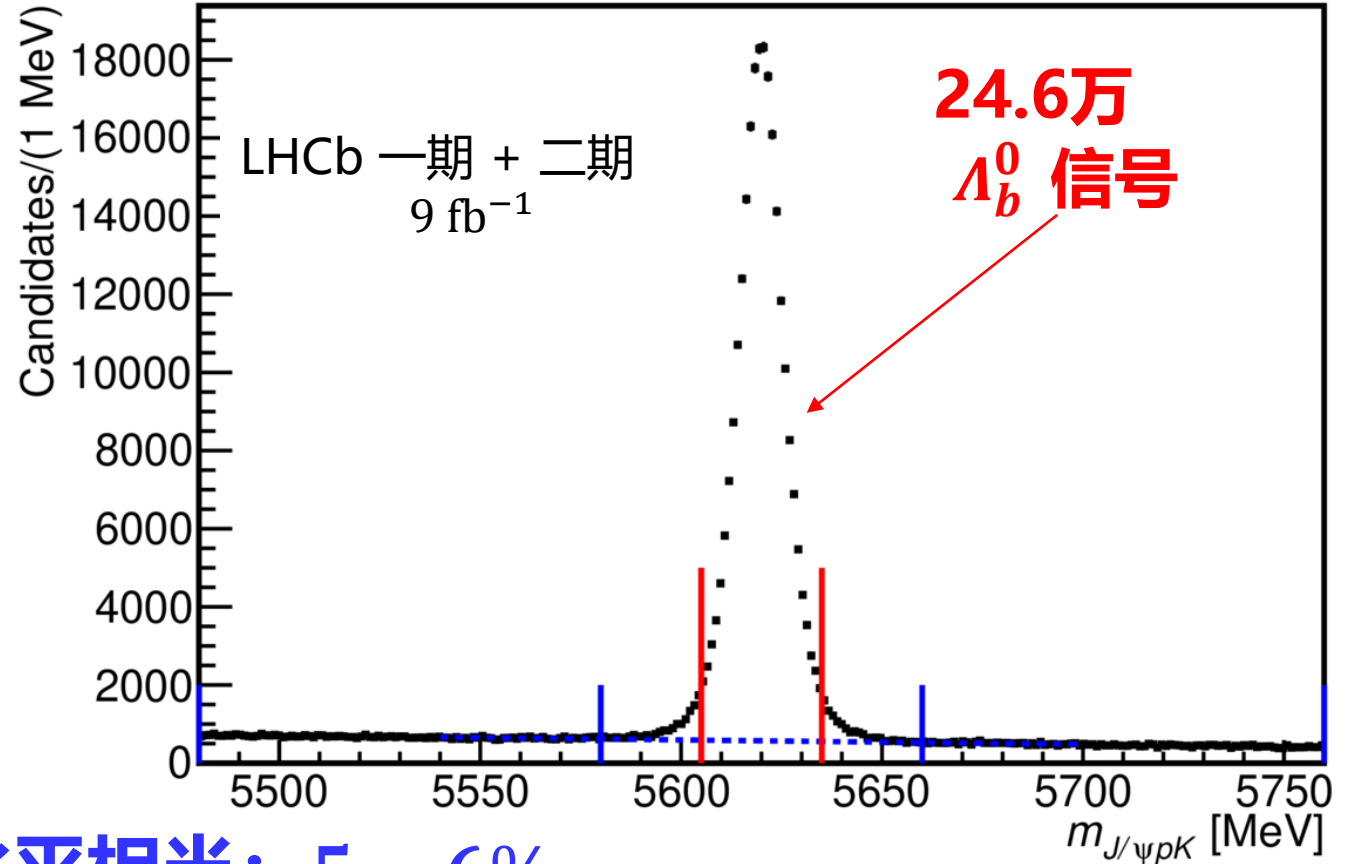
- 例如, 寻找新的五夸克态

# 新样本：一期 + 二期

## $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$ 信号几乎提高了一个数量级



PRL 115 (2015) 072001



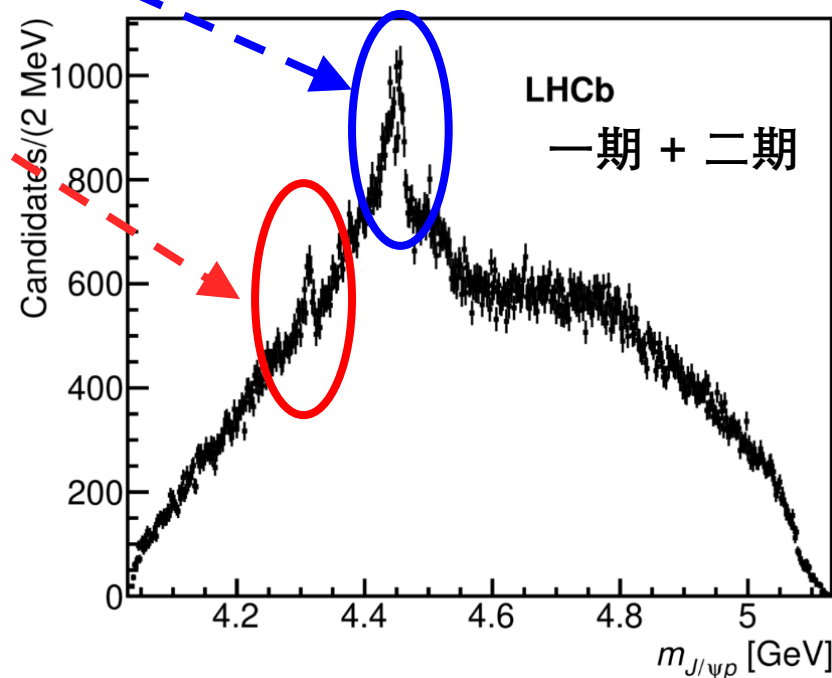
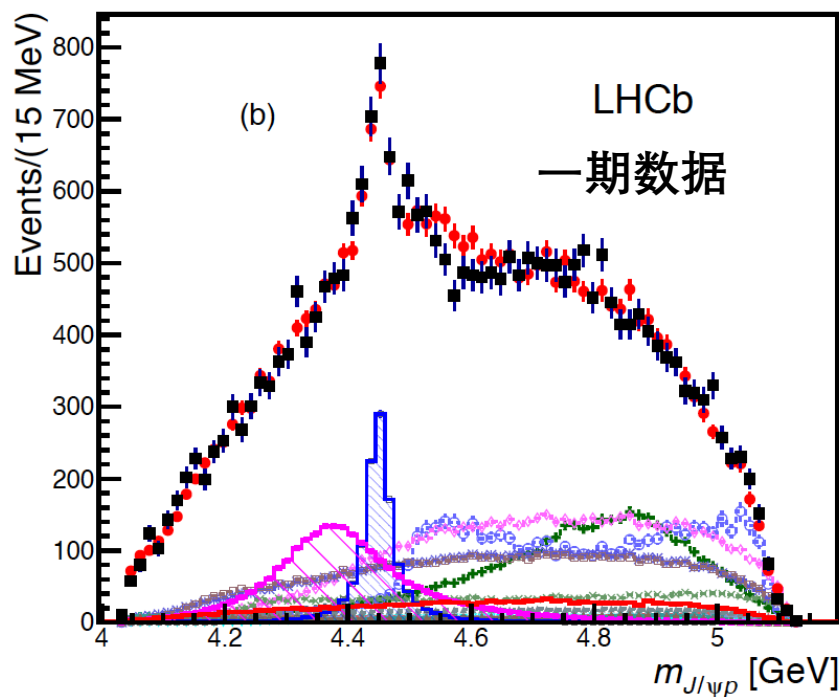
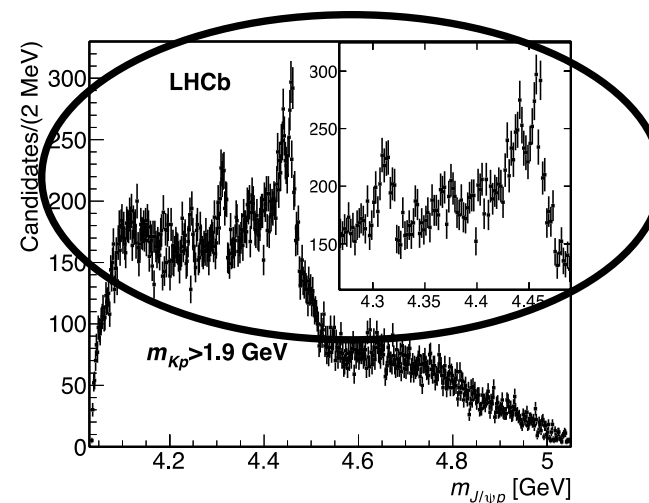
### 本底水平相当：5 – 6%

PRL122 (2019) 222001

# “精细”结构的发现

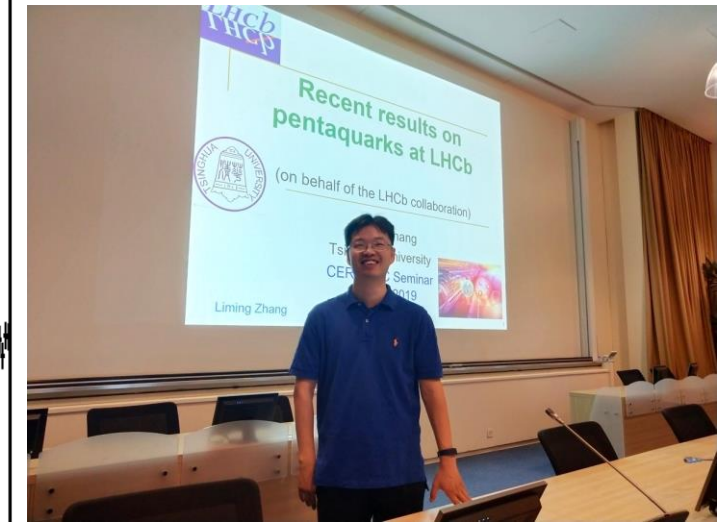
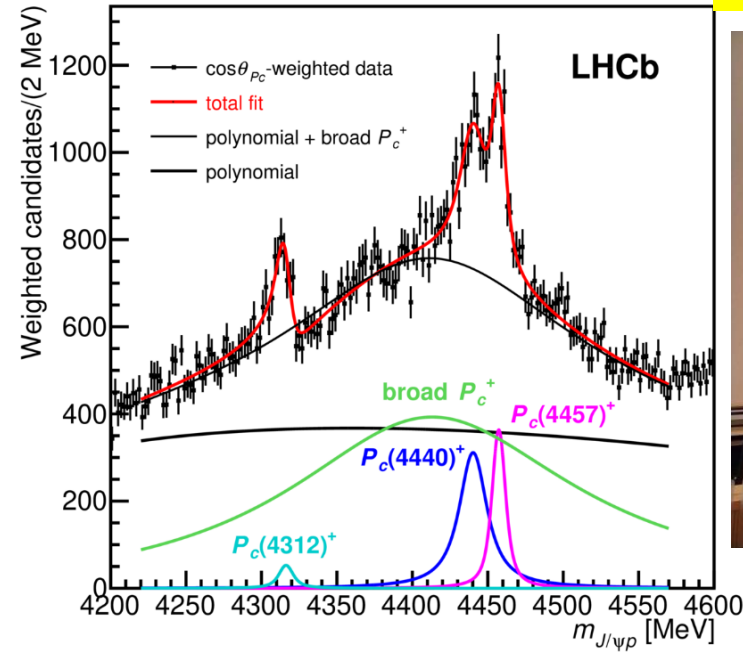
## ➤ 大数据样本看到更精细的结构

- $P_c(4450)^+$  显现出双峰结构
- 4312 MeV 附近出现新的结构



# 五夸克态的新结果

- 一维拟合
  - 确定新五夸克态的质量和宽度
- 振幅分析 (6D) 进行中
  - 确定自旋宇称  $J^P$
  - 确定  $P_c(4380)^+$ 
    - 一维拟合对宽共振态不敏感



《物理评论快报》编辑推荐文章

清华大学张黎明代表LHCb合作组在CERN LHC Seminar报道相关结果

| State         | $M$ [ MeV ]                    | $\Gamma$ [ MeV ]              | (95% CL) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|----------|
| $P_c(4312)^+$ | $4311.9 \pm 0.7^{+6.8}_{-0.6}$ | $9.8 \pm 2.7^{+3.7}_{-4.5}$   | (< 27)   |
| $P_c(4440)^+$ | $4440.3 \pm 1.3^{+4.1}_{-4.7}$ | $20.6 \pm 4.9^{+8.7}_{-10.1}$ | (< 49)   |
| $P_c(4457)^+$ | $4457.3 \pm 0.6^{+4.1}_{-1.7}$ | $6.4 \pm 2.0^{+5.7}_{-1.9}$   | (< 20)   |

LHC Seminar

### Recent results on pentaquarks at LHCb

by Liming Zhang (Tsinghua University (CHINA))

Tuesday 30 Jul 2019, 11:00 → 12:00 Europe/Zurich

503/1-001 - Council Chamber (CERN)

**Description** In 2015, the LHCb collaboration reported the observation of significant structures in the  $J/\psi p$  final state in a sample of  $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$  decays using Run 1 data, and showed that the structures could only be explained by the presence of exotic hadrons (pentaquarks). This was a major turning point in the exotic baryon spectroscopy. In this seminar, an update of the study with the full Run 1 and 2 data set collected by the LHCb detector will be presented. With the additional data, a new pentaquark state is observed and the structure reported previously is found to be more complex. Possible interpretations will be also discussed.

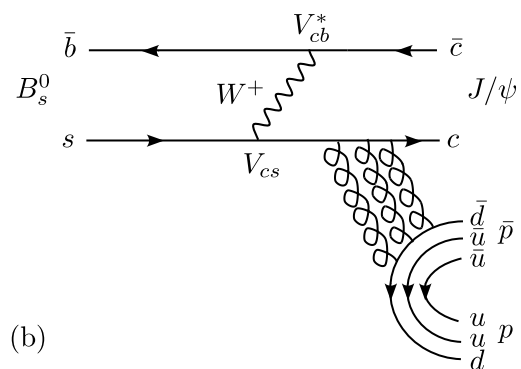
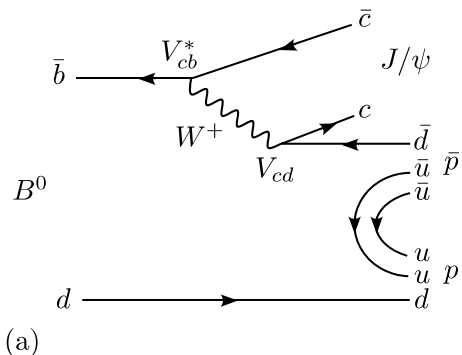
Organized by Michelangelo Mangano, Monica Pepe-Altarelli and Guillaume Unal

Webcast Watch

# $B_{(s)}^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}$ 的发现

➤  $B^0$ : Cabibbo 压低

$B_s^0$ : “OZI” 压低

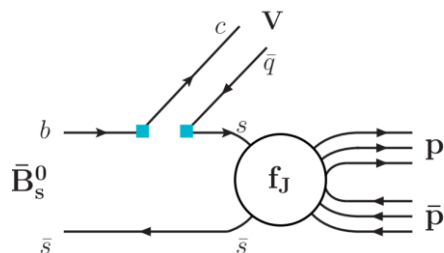


$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}) = (3.58 \pm 0.19 \pm 0.31) \times 10^{-6} \text{ (理论预言约 } 10^{-9} \text{)}$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}) = (4.51 \pm 0.40 \pm 0.43) \times 10^{-7}$$

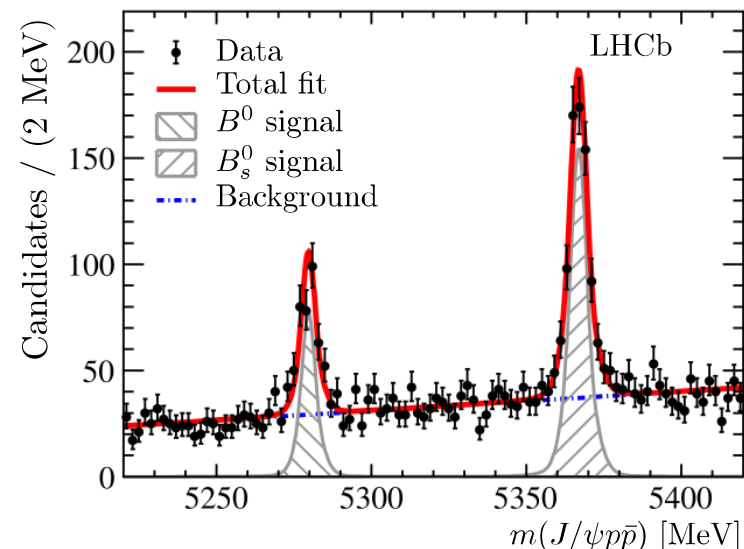
➤  $\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p})$  可能被共振态贡献提升

- $J/\psi p$  奇特强子态
- $p \bar{p}$  系统中的胶球



Y. Hsiao and C. Geng, EPJ C75 (2015) 101

PRL 122 (2019) 191804



世界最佳质量测量

$$m(B_s^0) = 5366.85 \pm 0.19 \pm 0.13 \text{ MeV}$$

$$m(B^0) = 5279.74 \pm 0.30 \pm 0.10 \text{ MeV}$$

# $B^0 \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-$ 模型无关分析

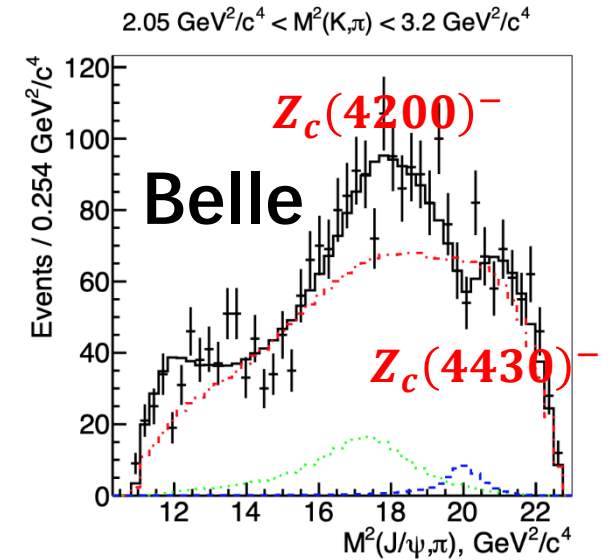
PRL 122 (2019) 152002

## ➤ 2014年Belle实验 $B^0 \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-$ 衰变分析

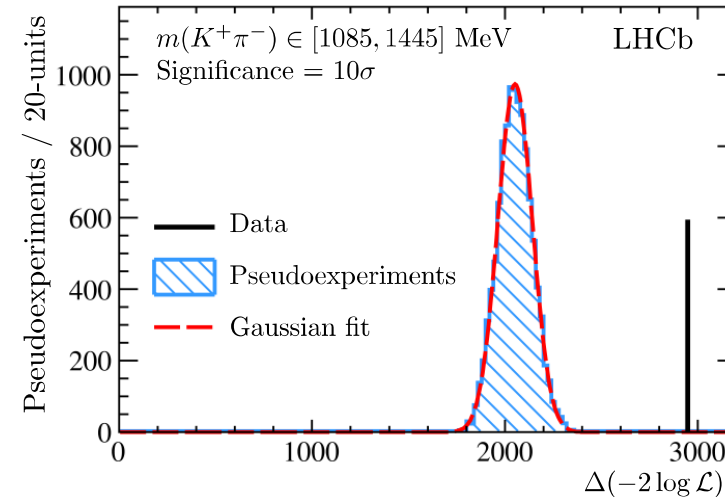
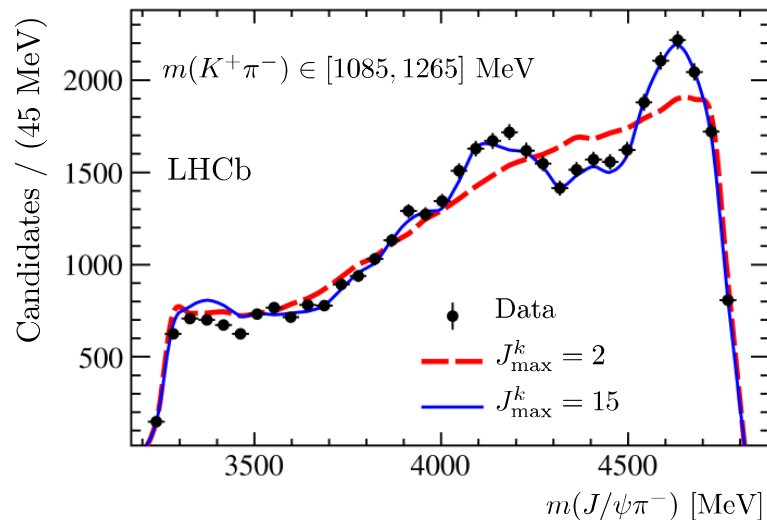
- 奇特态 $Z_c(4200)^-$ 的发现
- 奇特态 $Z_c(4430)^-$ 的迹象

## ➤ LHCb 模型无关分析

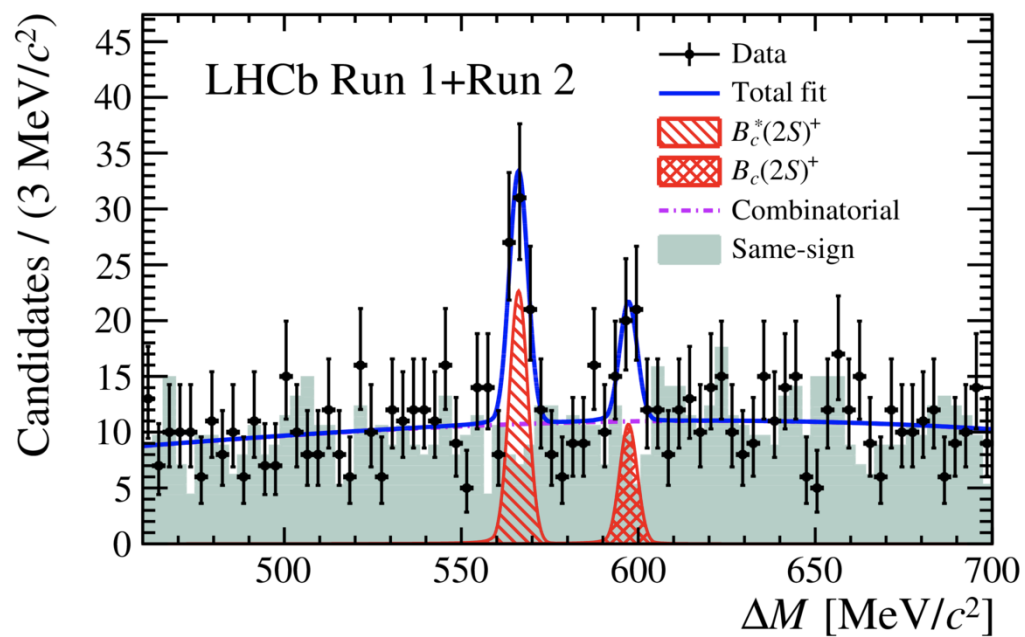
- 数据与只有 $K^*$ 贡献的假设不一致:  $10\sigma$  显著性
- 振幅分析正在进行中



[PRD 90 (2014) 112009]



# $B_c^+$ 介子激发态的发现



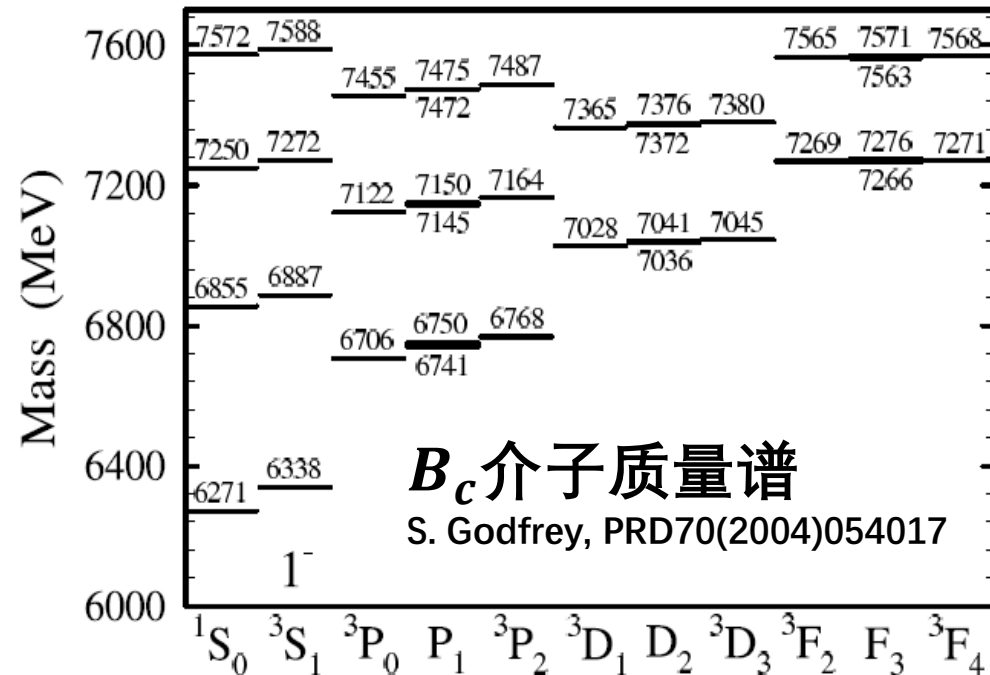
# $B_c$ 介子

➤ 独特的介子家族，包含两个不同的重味夸克： $(\bar{b}c)$

- 基态  $B_c^+$ ，1998年CDF实验首次发现

➤ 丰富的谱结构和衰变方式

➤ 产生截面小，实验信息有限



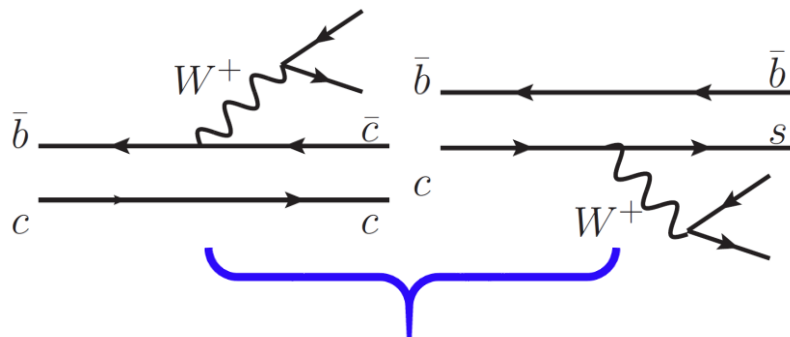
**$B_c$  物理是中国组最早的物理课题之一**

两大目标

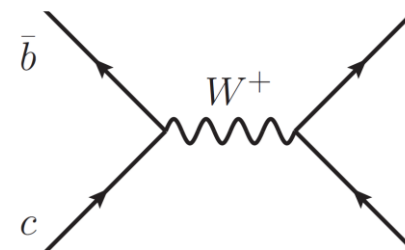
丰富  $B_c^+$  介子的实验信息

寻找  $B_c$  介子激发态

与理论家紧密合作



旁观者模式



湮灭模式



# 丰富 $B_c$ 介子的实验信息

**BOTTOM, CHARMED MESONS**  
**( $B = C = \pm 1$ )**  
 $B_c^+ = c\bar{b}, B_c^- = \bar{c}b$ , similarly for  $B_c^{*+}$

$B_c^\pm$

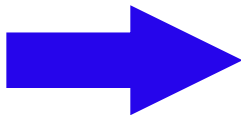
$I(J^P) = 0(0^-)$   
 $I, J, P$  need confirmation.

Quantum numbers shown are quark-model predictions.

Mass  $m = 6.276 \pm 0.004$  GeV  
 Mean life  $\tau = (0.46 \pm 0.07) \times 10^{-12}$  s

$B_c^-$  modes are charge conjugates of the modes below.

**2004**  
**粒子数据表**



**2019**  
**粒子数据表**

中国组作出重要贡献

$B_c^+$  DECAY MODES  $\times B(\bar{b} \rightarrow B_c)$     Fraction ( $\Gamma_i/\Gamma$ )    Confidence level    (MeV/c)

The following quantities are not pure branching ratios; rather the fraction  $\Gamma_i/\Gamma \times B(\bar{b} \rightarrow B_c)$ .

| Decay Mode                          | Fraction ( $\Gamma_i/\Gamma$ )       | Confidence level | (MeV/c) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------|
| $J/\psi(1S)\ell^+\nu_\ell$ anything | $(5.2^{+2.4}_{-2.1}) \times 10^{-5}$ | -                | -       |
| $J/\psi(1S)\pi^+$                   | $< 8.2 \times 10^{-5}$               | 90%              | 2371    |
| $J/\psi(1S)\pi^+\pi^+\pi^-$         | $< 5.7 \times 10^{-4}$               | 90%              | 2351    |
| $J/\psi(1S)a_1(1260)$               | $< 1.2 \times 10^{-3}$               | 90%              | 2170    |
| $D^*(2010)^+\bar{D}^0$              | $< 6.2 \times 10^{-3}$               | 90%              | 2467    |

$B_c^\pm$      $I(J^P) = 0(0^-)$   
 Quantum numbers shown are quark-model predictions.

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| $B_c^+$ MASS  | $6274.9 \pm 0.8$ MeV                  |
| $B_c^+$ MEAN LIFE   | $(0.510 \pm 0.009) \times 10^{-12}$ s |
| <b>POLARIZATION IN <math>B_c^+</math> DECAY</b>               |                                       |
| $\Gamma_{\ell/\ell^+}$ in $B_c^+ \rightarrow J/\psi D_s^{*+}$ | $0.54 \pm 0.15$                       |

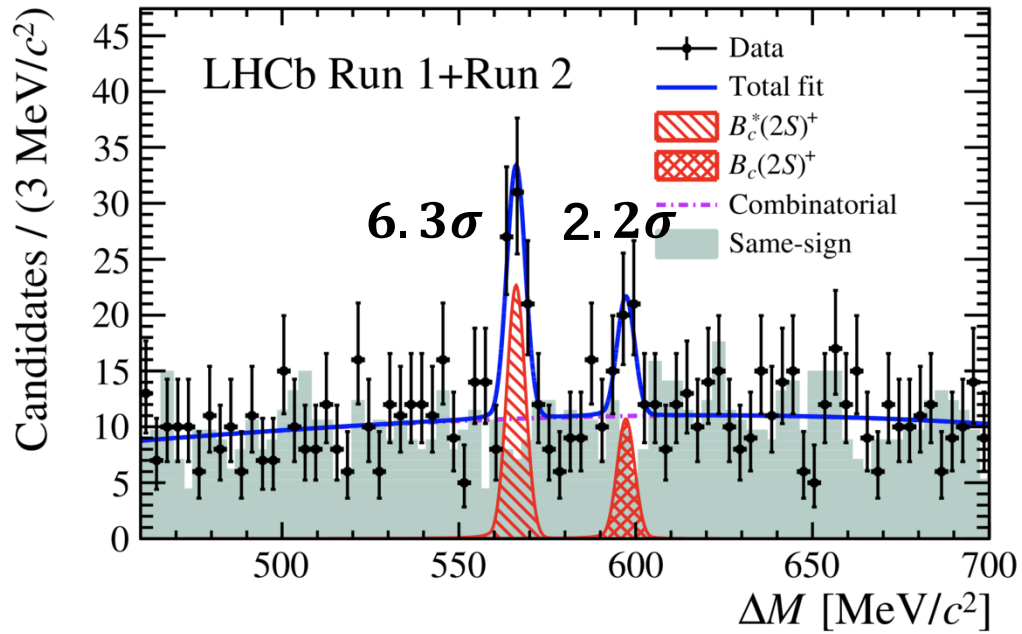
**Decay Modes** ▶ Expand all decays

$B_c^-$  modes are charge conjugates of the modes below.

| Mode  | Fraction ( $\Gamma_i/\Gamma$ )          | Scale Factor/Conf. Level | P (MeV/c) |
|---|---|--------------------------|-----------|
| ▼ The following quantities are not pure branching ratios; rather the fraction $\Gamma_i/\Gamma \times B(\bar{b} \rightarrow B_c)$ . |   |                          |           |
| $\Gamma_1$ $J/\psi(1S)\ell^+\nu_\ell$ anything  | $(8.1 \pm 1.2) \times 10^{-5}$          |                          |           |
| $\Gamma_2$ $J/\psi(1S)\mu^+\nu_\mu$   |   |                          | 2372      |
| $\Gamma_3$ $J/\psi(1S)\tau^+\nu_\tau$   |   |                          | 1932      |
| $\Gamma_4$ $J/\psi(1S)\pi^+$  | seen                                    |                          | 2371      |
| $\Gamma_5$ $J/\psi(1S)K^+$  | seen                                    |                          | 2341      |
| $\Gamma_6$ $J/\psi(1S)\pi^+\pi^+\pi^-$  | seen                                    |                          | 2350      |
| $\Gamma_7$ $J/\psi(1S)a_1(1260)$  | $< 1.2 \times 10^{-3}$                  | CL=90%                   | 2169      |
| $\Gamma_8$ $J/\psi(1S)K^+K^-\pi^+$  | seen                                    |                          | 2203      |
| $\Gamma_9$ $J/\psi(1S)\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$   | seen                                    |                          | 2309      |
| $\Gamma_{10}$ $\psi(2S)\pi^+$   | seen                                    |                          | 2052      |
| $\Gamma_{11}$ $J/\psi(1S)D^0K^+$  | seen                                    |                          | 1539      |
| $\Gamma_{12}$ $J/\psi(1S)D^*(2007)^0K^+$  | seen                                    |                          | 1412      |
| $\Gamma_{13}$ $J/\psi(1S)D^*(2010)^+K^0$  | seen                                    |                          | 920       |
| $\Gamma_{14}$ $J/\psi(1S)D^+K^0$  | seen                                    |                          | 1123      |
| $\Gamma_{15}$ $J/\psi(1S)D_s^+$   | seen                                    |                          | 1822      |
| $\Gamma_{16}$ $J/\psi(1S)D_s^{*+}$  | seen                                    |                          | 1728      |
| $\Gamma_{17}$ $J/\psi(1S)p\bar{p}\pi^+$   | seen                                    |                          | 1792      |
| $\Gamma_{18}$ $X_{c0}\pi^+$   | $(2.4^{+0.5}_{-0.4}) \times 10^{-5}$    |                          | 2205      |
| $\Gamma_{19}$ $p\bar{p}\pi^+$   | not seen                                |                          | 2970      |
| $\Gamma_{20}$ $D^0K^+$  | $(3.8^{+1.2}_{-1.0}) \times 10^{-7}$    |                          | 2837      |
| $\Gamma_{21}$ $D^0\pi^+$  | $< 1.6 \times 10^{-7}$                  | CL=95%                   | 2858      |
| $\Gamma_{22}$ $D^{*0}\pi^+$   | $< 4 \times 10^{-7}$                    | CL=95%                   | 2815      |
|   | $< 4 \times 10^{-7}$                    | CL=95%                   | 2793      |
|   | $< 1.4 \times 10^{-7}$                  | CL=90%                   | 2484      |
|   | $< 6 \times 10^{-8}$                    | CL=90%                   | 2484      |
|   | $< 3.0 \times 10^{-6}$                  | CL=90%                   | 2521      |
|   | $< 1.9 \times 10^{-6}$                  | CL=90%                   | 2521      |
|   |   |                          | 2425      |
|   |   |                          | 2425      |
|   |   |                          | 2427      |
| $\Gamma_{31}$ $D_s^+D^*(2007)^0$  |   |                          | 2427      |
| $\Gamma_{32}$ $D^*(2010)^+\bar{D}^0$  |   |                          | 2427      |
|   | $< 6.2 \times 10^{-3}$                  | CL=90%                   | 2467      |
| $\Gamma_{33}$ $D^*(2010)^+\bar{D}^0, D^{*+} \rightarrow D^+\pi^0/\gamma$  |   |                          | 2467      |
| $\Gamma_{34}$ $D^+D^*(2007)^0$  |   |                          | 2467      |
| $\Gamma_{35}$ $D^*(2010)^+D^0, D^{*+} \rightarrow D^+\pi^0/\gamma$  |   |                          | 2467      |
| $\Gamma_{36}$ $D^+D^*(2007)^0$  |   |                          | 2467      |
| $\Gamma_{37}$ $D_s^{*+}\bar{D}^0(2007)^0$   | $< 1.7 \times 10^{-6}$                  | CL=90%                   | 2366      |
| $\Gamma_{38}$ $D_s^{*+}D^*(2007)^0$   | $< 3.1 \times 10^{-6}$                  | CL=90%                   | 2366      |
| $\Gamma_{39}$ $D^*(2010)^+\bar{D}^0(2007)^0$  | $< 1.0 \times 10^{-4}$                  | CL=90%                   | 2410      |
| $\Gamma_{40}$ $D^*(2010)^+D^*(2007)^0$  | $< 2.0 \times 10^{-5}$                  | CL=90%                   | 2410      |
| $\Gamma_{41}$ $D^+K^0$  | $< 0.20 \times 10^{-6}$                 | CL=90%                   | 2783      |
| $\Gamma_{42}$ $D^+K^0$  | $< 0.16 \times 10^{-6}$                 | CL=90%                   | 2783      |
| $\Gamma_{43}$ $D_s^+K^0$  | $< 0.28 \times 10^{-6}$                 | CL=90%                   | 2751      |
| $\Gamma_{44}$ $D_s^+K^0$  | $< 0.4 \times 10^{-6}$                  | CL=90%                   | 2751      |
| $\Gamma_{45}$ $D_s^+\phi$   | $< 0.32 \times 10^{-6}$                 | CL=90%                   | 2727      |
| $\Gamma_{46}$ $K^+K^0$  | $< 4.6 \times 10^{-7}$                  | CL=90%                   | 3098      |
| $\Gamma_{47}$ $B_c^0\pi^+ / B(\bar{b} \rightarrow B_c)$   | $(2.37^{+0.37}_{-0.35}) \times 10^{-3}$ |                          |           |

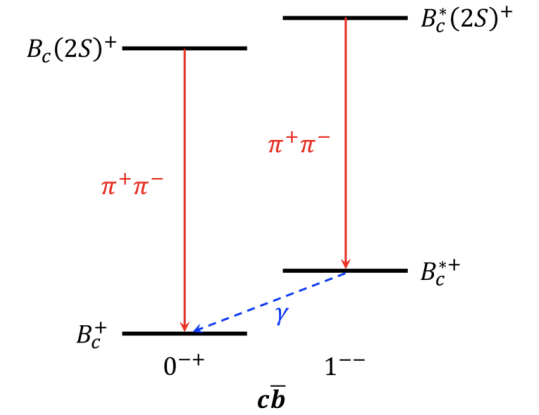
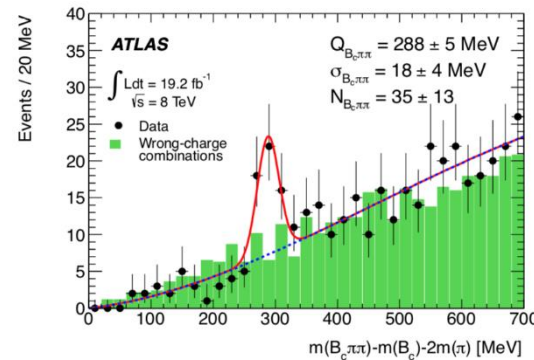
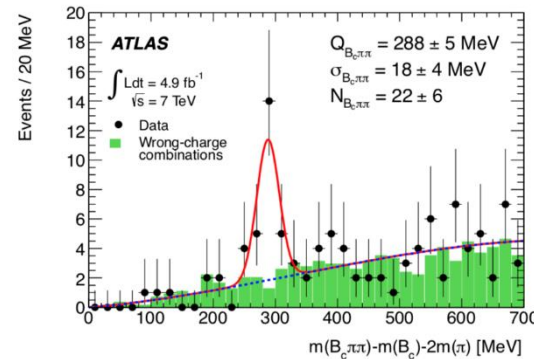
# $B_c^+$ 介子激发态的发现

LHCb: PRL 122 (2019) 232001

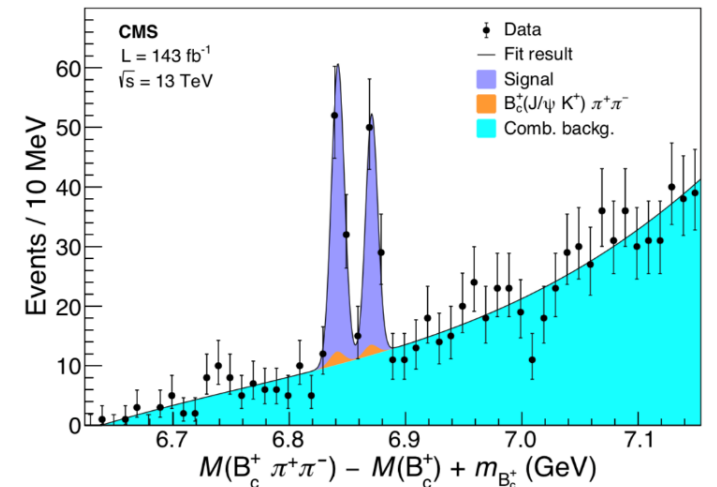


ATLAS: Phys.Rev.Lett.113(2014)212004

$6842 \pm 4 \pm 5$  MeV



CMS: Phys.Rev.Lett.122(2019)132001



$6871.0 \pm 1.2$  (stat)  $\pm 0.8$  (syst)  $\pm 0.8$  ( $B_c^+$ ) MeV,

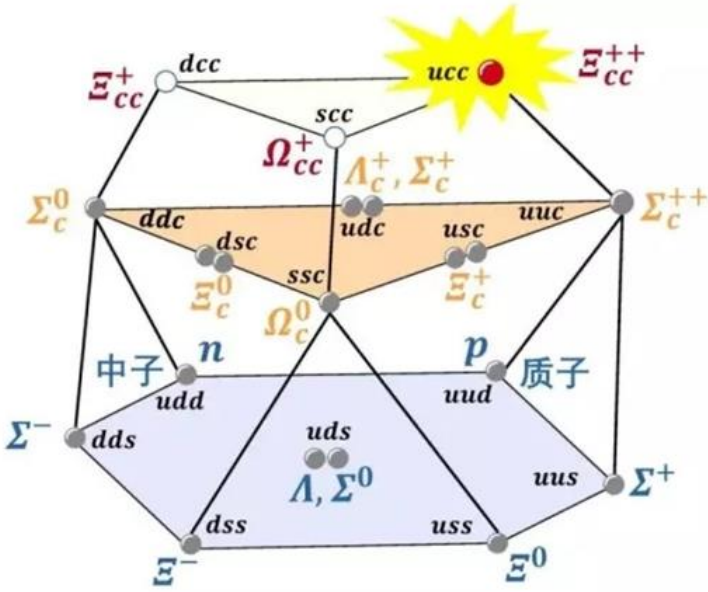
$$M = 6841.2 \pm 0.6 \text{ (stat)} \pm 0.1 \text{ (syst)} \pm 0.8 \text{ (} B_c^+ \text{) MeV}/c^2$$

$$M = 6872.1 \pm 1.3 \text{ (stat)} \pm 0.1 \text{ (syst)} \pm 0.8 \text{ (} B_c^+ \text{) MeV}/c^2$$

➤ 在国内理论家一直支持下，经过十年不懈的努力，发现  $B_c(2S)^{(*)+}$

➤ 首次独立区分单态/三重态，质量最精确测量

# 双粲重子的最新进展



# 双粲重子

➤ 包含两个粲夸克的重子：**双粲重子**

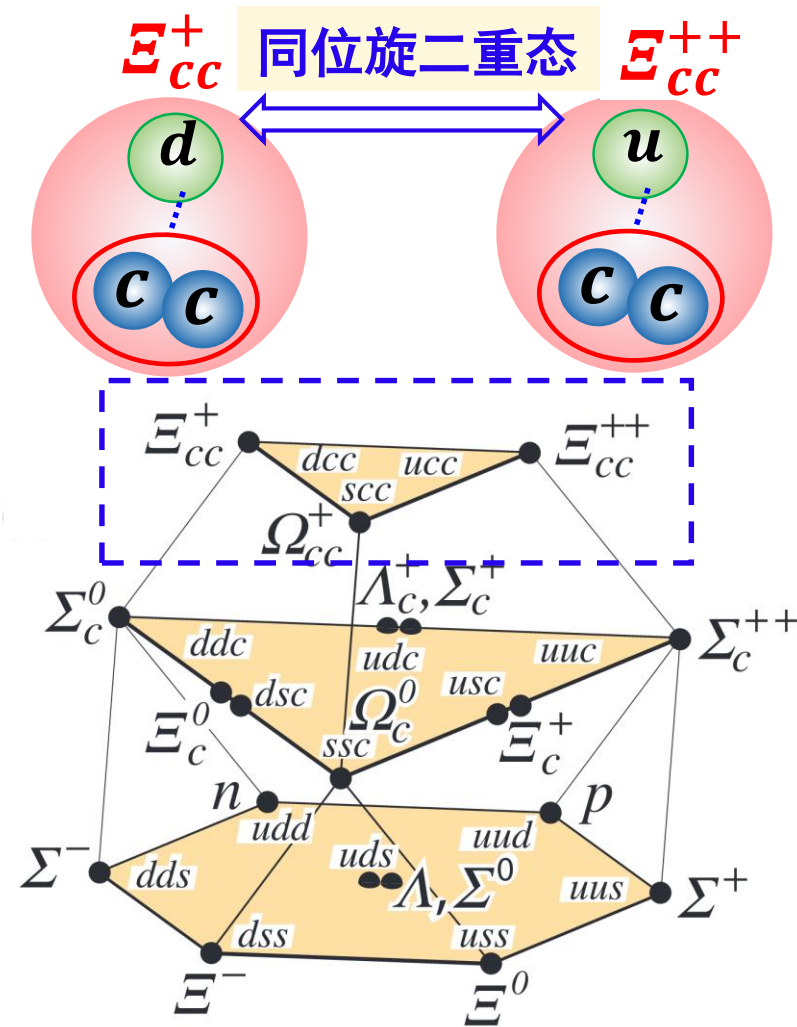
•  $\Xi_{cc}^+(ccd)$ ,  $\Xi_{cc}^{++}(ccu)$ : 同位旋二重态

•  $\Omega_{cc}^+(ccs)$

➤ 独特的结构，有助于理解强相互作用

双粲重子是中国组最早的物理课题之一

与理论家紧密合作

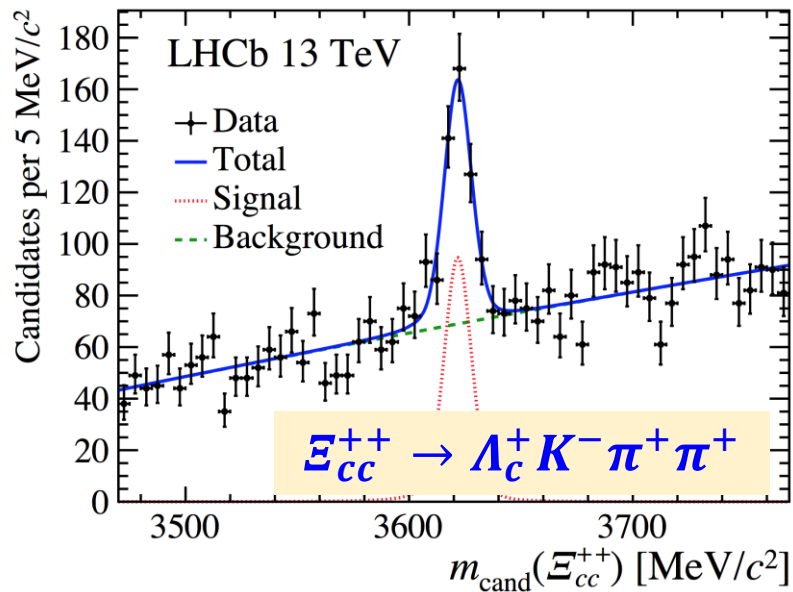


# 双粲重子 $\Xi_{cc}^{++}$ 的发现与研究

## ➤ 2017年中国组主导发现了双粲重子 $\Xi_{cc}^{++}$

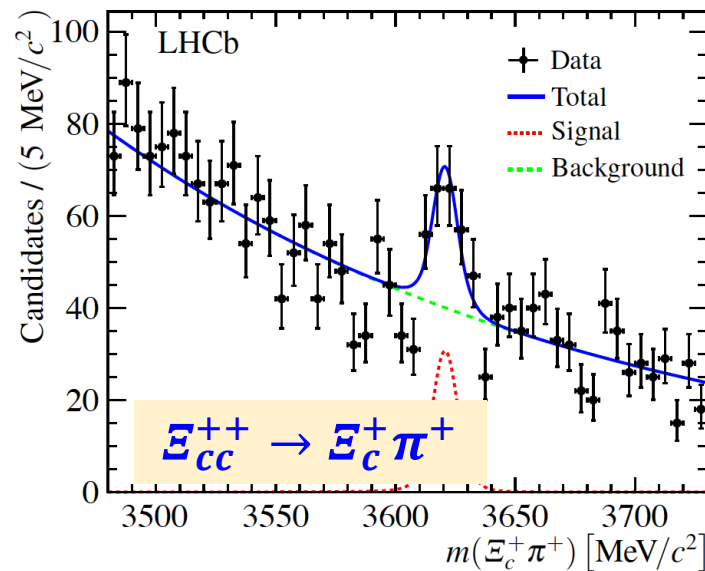
- 国内理论家的有力支持
- 荣获2017年中国科学十大进展

## ➤ 2018年主导了 $\Xi_{cc}^{++} \rightarrow \Xi_c^+ \pi^+$ 的发现和寿命测量

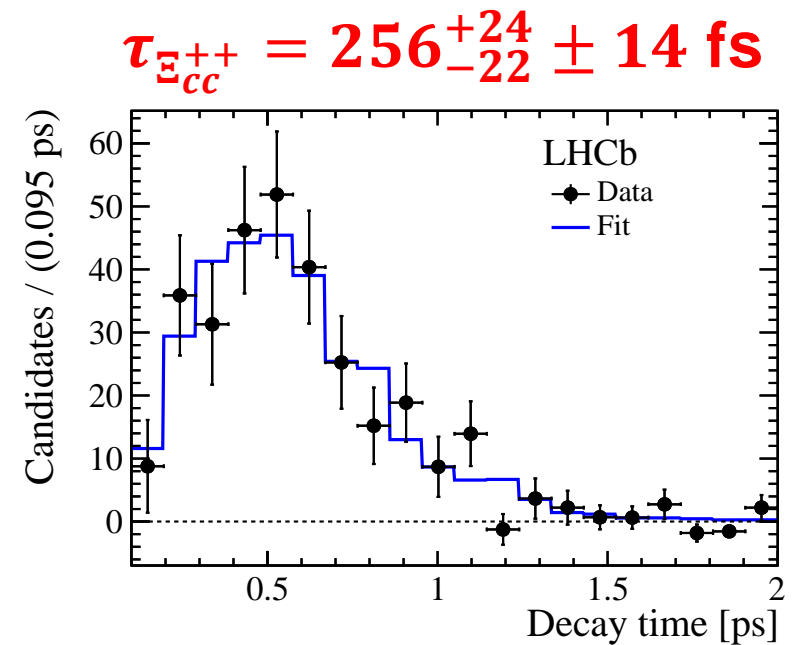


PRL 119 (2017) 112001

《物理评论快报》编辑推荐文章



PRL 121 (2018) 162002



PRL 121 (2018) 052002

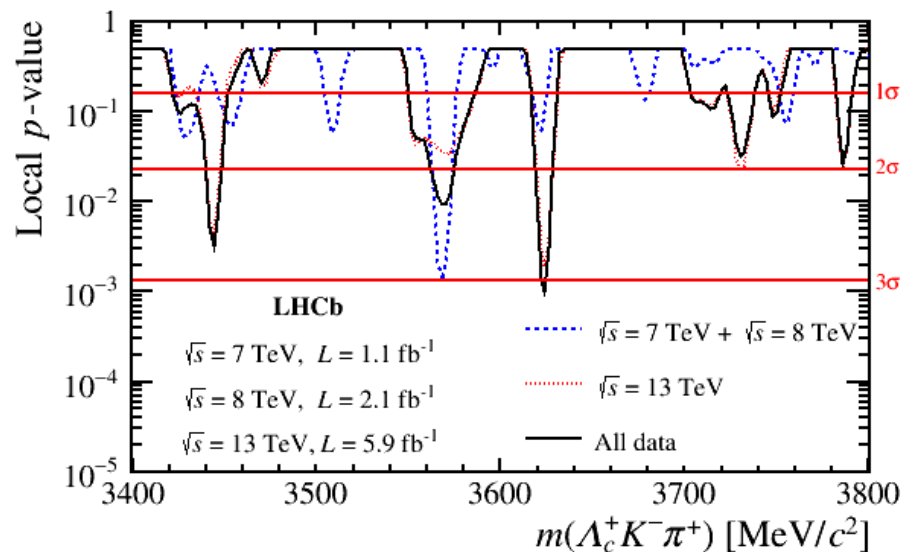
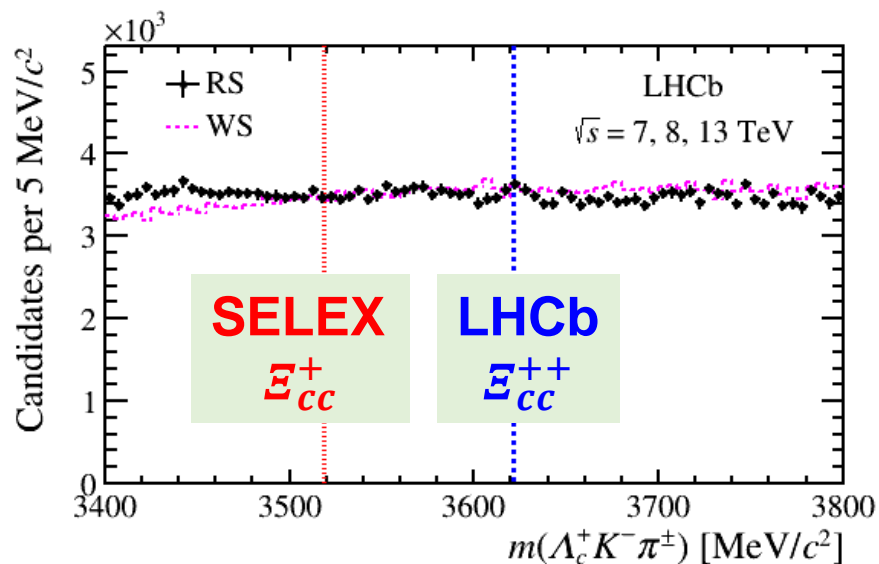
《物理评论快报》编辑推荐文章

# 双粲重子 $\Xi_{cc}^+$ ( $ccd$ ) 的寻找

arXiv:1909.12273  
已投稿《中国科学》

## ➤ 2009年开始寻找

- 2013年发表首次结果，未发现信号（2011数据）
- 2019年更新（全部数据）



- 一期 + 二期数据
- 仍未发现信号

- 最大局域统计显著性: 3.1 $\sigma$ 
  - 3620 MeV/c<sup>2</sup>附近
- 全局显著性: 1.7 $\sigma$



# $B_S^0 - \bar{B}_S^0$ 混合相角 $\phi_s$

PLB797(2019)134789  
EPJC79(2019)706

- $\phi_s$ 对新物理敏感，是关键CP参数
- 中国组是 $B_S^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$ 和 $B_S^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 分析的主要成员

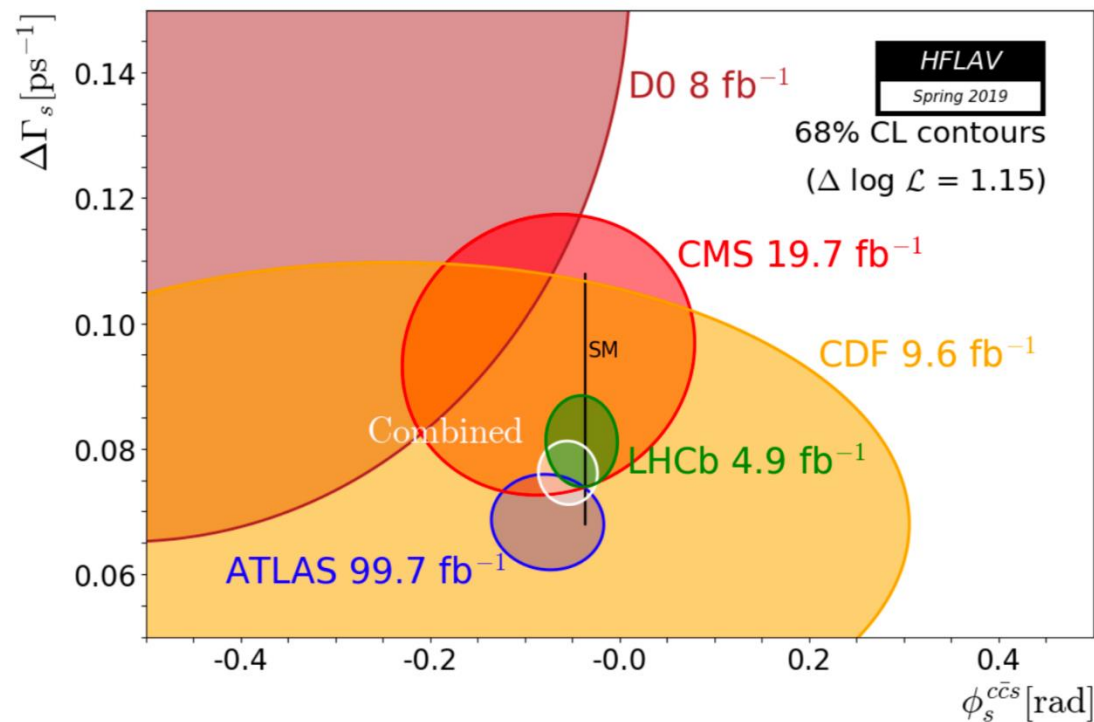
$$\phi_s = -41 \pm 25 \text{ mrad}$$
$$\Delta\Gamma_s = 0.0816 \pm 0.0048 \text{ ps}^{-1}$$

## HFLAV 平均

$$\phi_s = -55 \pm 21 \text{ mrad}$$
$$\Delta\Gamma_s = 0.0762 \pm 0.0033 \text{ ps}^{-1}$$

## LHCb给出最精确的测量

LHCb 数据: 7/8/13 TeV, 4.9 fb<sup>-1</sup>



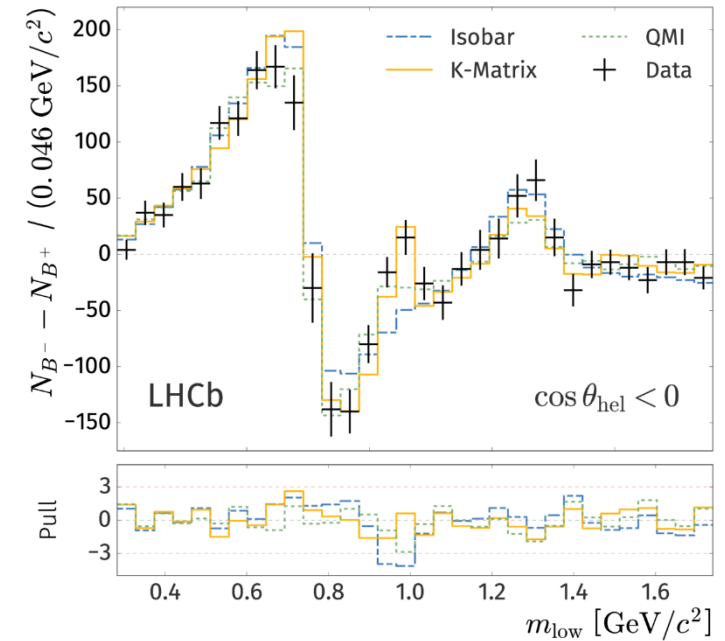
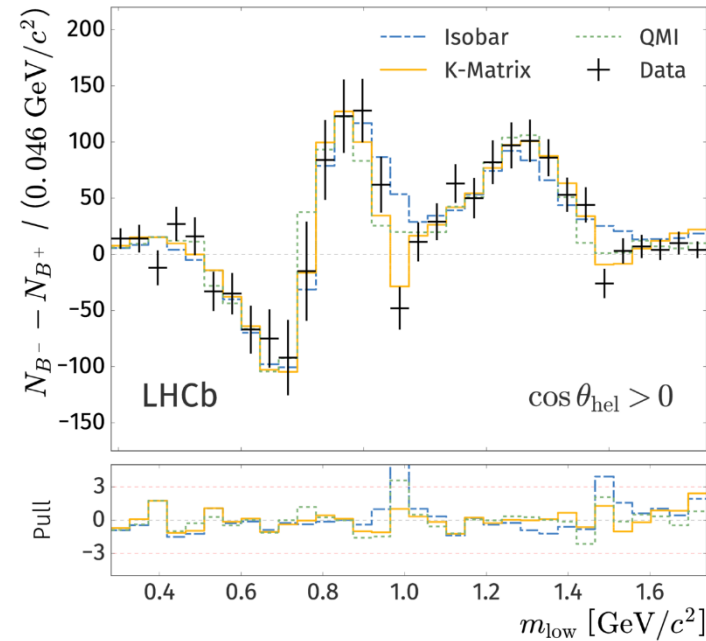


# $B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ 衰变中的CP破坏

arXiv:1909.05211  
arXiv:1909.05212

- LHCb在 $B \rightarrow hhh$ 三体衰变中观测到复杂的CP破坏模式
  - 尚不确定是否可以用标准模型解释
- 完成含CP破坏的Dalitz分析，新发现了几种不同的CP破坏模式
  - $P$ 波和 $S$ 波干涉的CP破坏
  - 张量中的CP破坏

是否可以用标准模型解释  
需要理论与实验的紧密合作



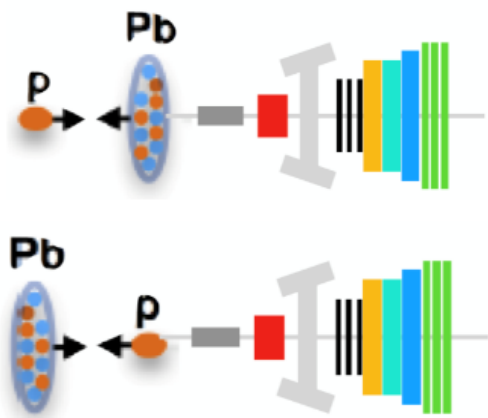
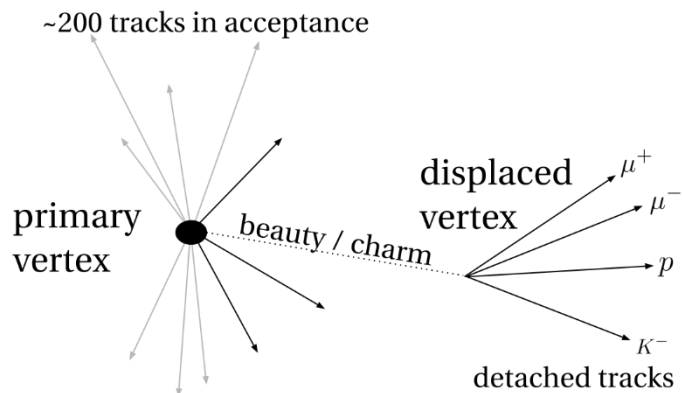
# 重离子物理

## 1 篇JHEP

11. Prompt  $\Lambda_c^+$  production in  $p\text{Pb}$  collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [JHEP 02 (2019) 102]

# 质子-铅核对撞中瞬发 $\Lambda_c^+$ 重子：冷核物质效应

JHEP 02 (2019) 102

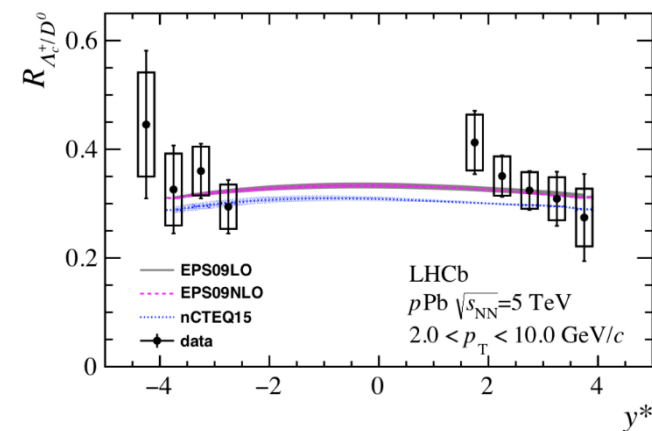
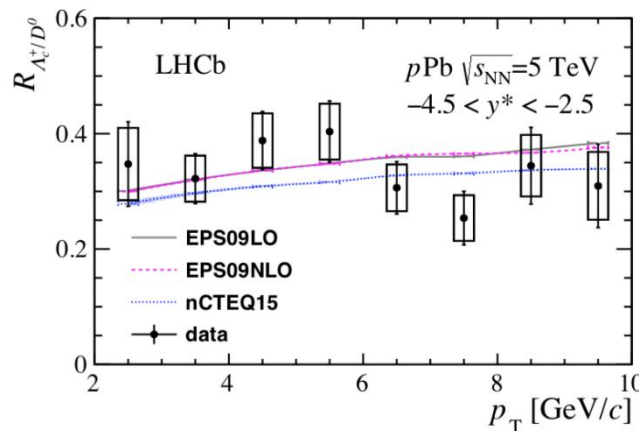
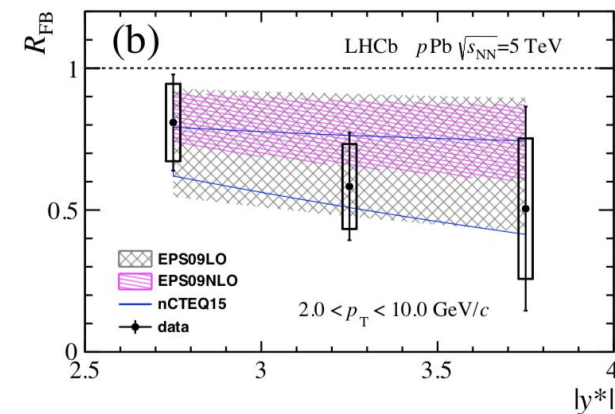
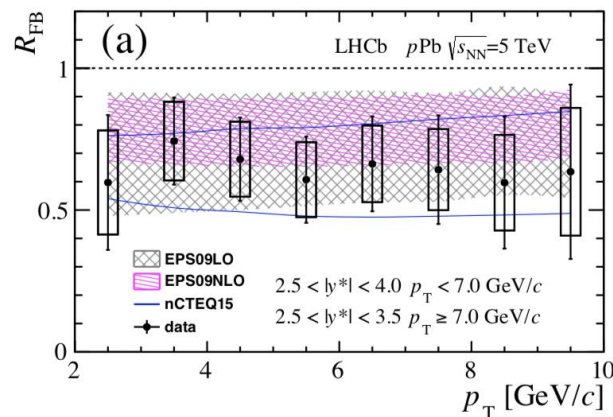


前向后向截面比

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

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

# 2019年中国组物理成果列表+探测器性能研究

## 强子产生机制与强子谱

1. Observation of a narrow pentaquark state,  $P_c(4312)^+$ , and of two-peak structure of the  $P_c(4450)^+$  [PRL 122 (2019) 222001]
2. Observation of  $B_s^0 \rightarrow J/\psi p \bar{p}$  and precision measurements of the  $B_{(s)}^0$  masses [PRL 122 (2019) 191804]
3. Model independent observation of the exotic contribution to  $B_0 \rightarrow J/\psi K^+ \pi^-$  decays [PRL 122 (2019) 232002]
4. Observation of an excited  $B_c^+$  state [PRL 122 (2019) 232001]
5. Search for the doubly charmed baryon  $\Xi_{cc}^+$  [arXiv:1909.12273, 已投稿Sci. China PMA (中国科学)]
6. Measurement of  $\psi(2S)$  production cross-sections in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and 13 TeV [arXiv:1908.03099, 已投稿EPJC]

## CP破坏

7. Updated measurement of CP violation in  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$  decays [EPJC 79 (2019) 706]
8. Measurement of the CP-violating phase  $\phi_s$  from  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$  decays in 13 TeV  $pp$  collisions [PLB797 (2019) 134789]
9. Observation of several sources of CP violation in  $B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$  decays [arXiv:1909.05211, 已投稿PRL]
10. Amplitude analysis of the  $B^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$  decay [arXiv:1909.05212, 已投稿PRD]

## 重离子物理

11. Prompt  $\Lambda_c^+$  production in  $p$ Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [JHEP 02 (2019) 102]

## 探测器性能

12. Performance of the LHCb trigger and full real-time reconstruction in Run 2 of the LHC, JINST 14 (2019) P04013.

# 国际会议报告

本年度LHCb合作组有 **429** 个国际会议报告，中国组成员作 **26** 次 (6.1%) 。  
**2 次 CERN LHC Seminar**

1. 许泽华 (清华大学) , LHCb results on exotic hadrons, Implications of LHCb Measurements and Future Prospects, CERN, Switzerland, 16-18 October, 2019
2. 孙佳音 (清华大学) , Recent LHCb results from heavy ion collisions, Implications of LHCb Measurements and Future Prospects, CERN, Switzerland, 16-18 October, 2019
3. 张黎明 (清华大学) , Spectroscopy - exotic states, Beauty2019, Ljubljana, Slovenia, 30 September-4 October, 2019
4. 王纪科 (武汉大学) , Review on hadronic B decays, Physics in Collisions, Taipei, China, 16-20 September 2019
5. 王纪科 (武汉大学) , CP violation and mixing in heavy flavour at LHCb, Physics in Collisions, Taipei, China, 16-20 September 2019

# 国际会议报告

6. **Mark Tobin (高能所)**, LHCb Status Report, LHCC Open Session, CERN, Switzerland, 11 September, 2019
7. **李衡讷 (华南师大)**, Electroweak probes in LHCb - results and prospects, Second LHCb Heavy Ion workshop, Chia, Italy, 4 - 6 Sep 2019
8. **张黎明 (清华大学)**, Searches for exotic states at LHCb, International Workshop on PWA and Advanced Tools for Hadron Spectroscopy, Rio, Brazil, 2-9 September, 2019
9. **杨振伟 (清华大学)**, Quarkonia production in heavy ion collisions at LHCb, Hadron2019, Guilin, China, 16-21 August, 2019
10. **孙佳音 (清华大学)**, Production of open heavy flavour hadrons in pPb and fixed-target collisions LHCb, Hadron2019, Guilin, China, 16-21 August, 2019
11. **张黎明 (清华大学)**, Measurement of the CP-violating phase  $\phi_S$  at LHCb, Hadron2019, Guilin, China, 16-21 August, 2019
12. **Miroslav Saur (国科大)**, Recent results on CP Violation in the charm sector by LHCb, Hadron2019, Guilin, China, 16-21 August, 2019

# 国际会议报告

13. 钱文斌（国科大）， CP violation in charmless B decays at LHCb , Hadron2019, Guilin, China, 16-21 August, 2019
14. 许傲（清华大学）， Baryon spectroscopy at LHCb , Hadron2019, Guilin, China, 16-21 August, 2019
15. 张黎明（清华大学）， Recent results on pentaquarks at LHCb , CERN LHC Seminar, CERN , Switzerland, 30 July, 2019
16. 孙亮（武汉大学）， Highlights of Recent LHCb Results on Heavy Flavor & CPV, 8th Workshop on Flavor Symmetries and Consequences in Accelerators and Cosmology, Hefei, China, 24 - 27 Jul 2019
17. **Biplab Dey**（华中师大）， Spectroscopy using decays of b-hadrons to charmonia at LHCb, including exotic states, EPS-HEP 2019, Ghent, Belgium, 10 - 17 Jul 2019
18. 李衡讷（华南师范）， Quarkonia production in pPb collisions at LHCb, SQM2019, Bari, Italy, 10 - 15 Jun 2019
19. 杨迪（清华大学）， Open charm and beauty states production in proton-lead collisions with LHCb, SQM2019, Bari, Italy, 10 - 15 Jun 2019
20. 谢跃红（华中师大）， CP violation in beauty and charm, LHCP2019, Puebla, Mexico, 20 – 25, May 2019

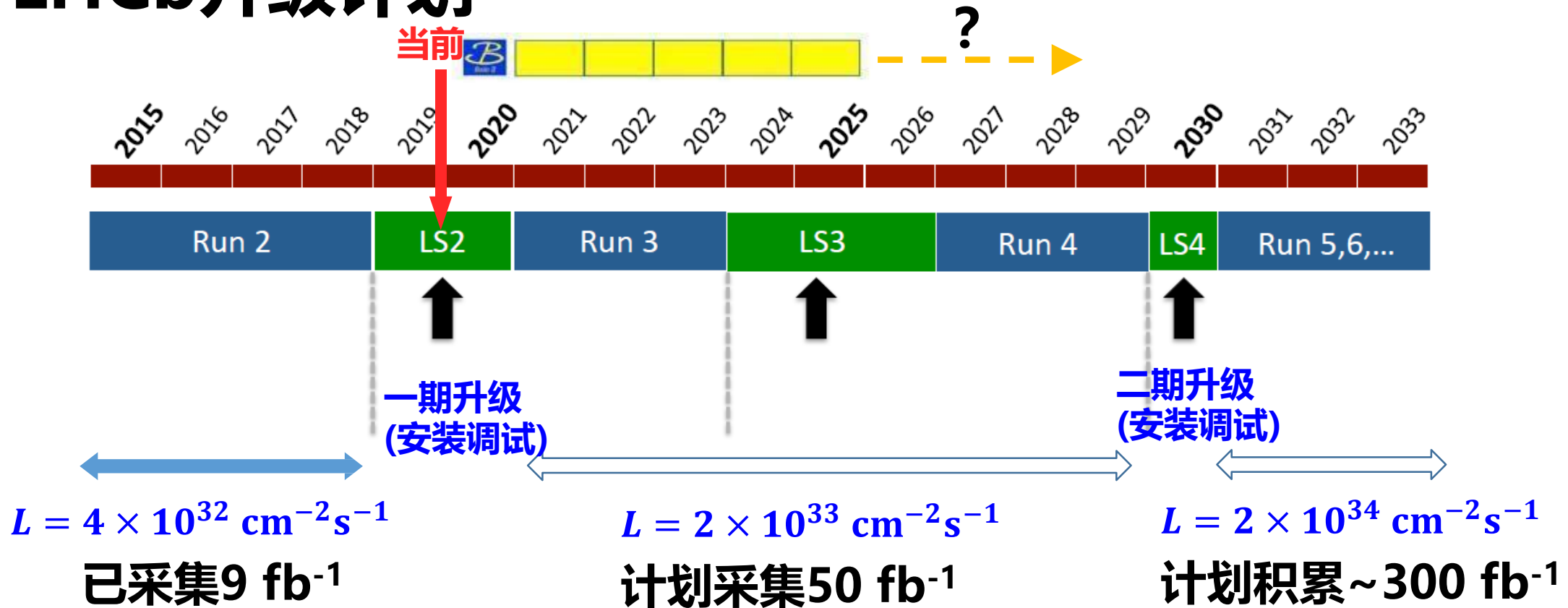
# 国际会议报告

21. **Biplab Dey (华中师大)** , Radiative Penguin Decays at LHCb : recent results and future prospects, Flavor 2019, Munich, Germany, 20 - 22 May 2019
22. **徐梦琳 (华中师大)** , Doubly heavy barions at LHCb, 13th International Workshop on Heavy Quarkonium, Torino, Italy, 13 - 17 May 2019
23. **李衡讷 (华南师大)** , Heavy ion and fixed target results at LHCb, Symposium on Twenty Years of RHIC Physics in China, Guangzhou, China, 21-24 Feb 2019
24. **李衡讷 (华南师大)** , Heavy ion and fixed target results at LHCb, Lake Louise Winter Institute 2019, Lake Louise, Canada, 10 - 16 Feb 2019
25. **杨振伟 (清华大学)** , LHCb results on heavy flavour production, CERN LHC Seminar, CERN, Switzerland , 29 January, 2019
26. **杨振伟 (清华大学)** , LHCb results on exotic states and hadron spectroscopy, The 52nd Reimei Workshop, Tokai, Japan, 09-11 Jan 2019



# 探测器硬件、软件和服务工作

# LHCb升级计划



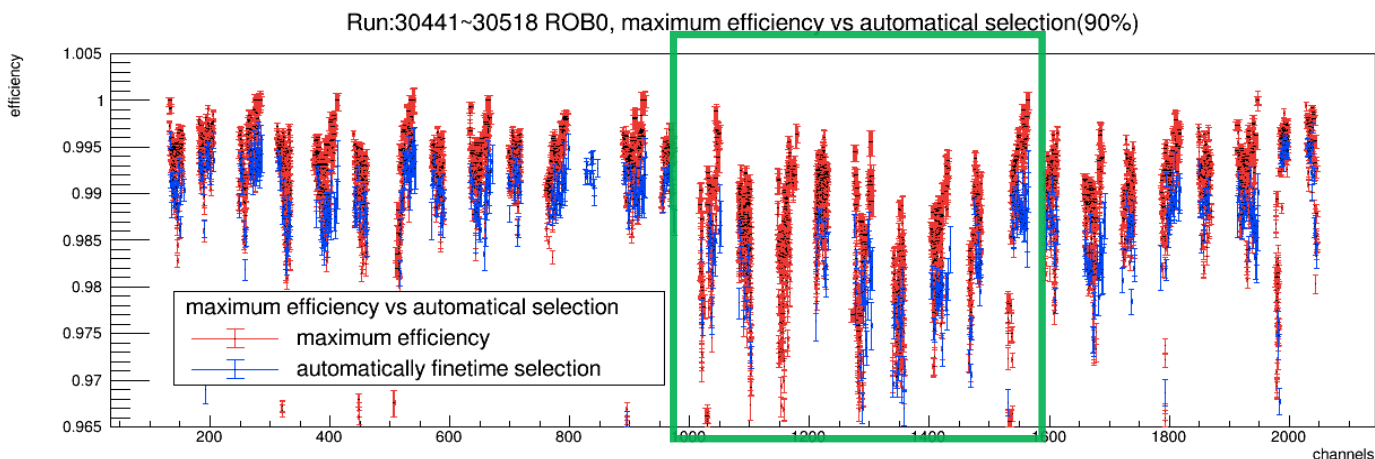
- **一期升级**: 中国组参与闪烁光纤径迹探测器 (SciFi) 电子学+上游硅微条径迹探测器
- **二期升级**: 希望对探测器有更大贡献, 重点开展电磁量能器fast timing 所需的硅探测层研发

**需要相应的经费支持**

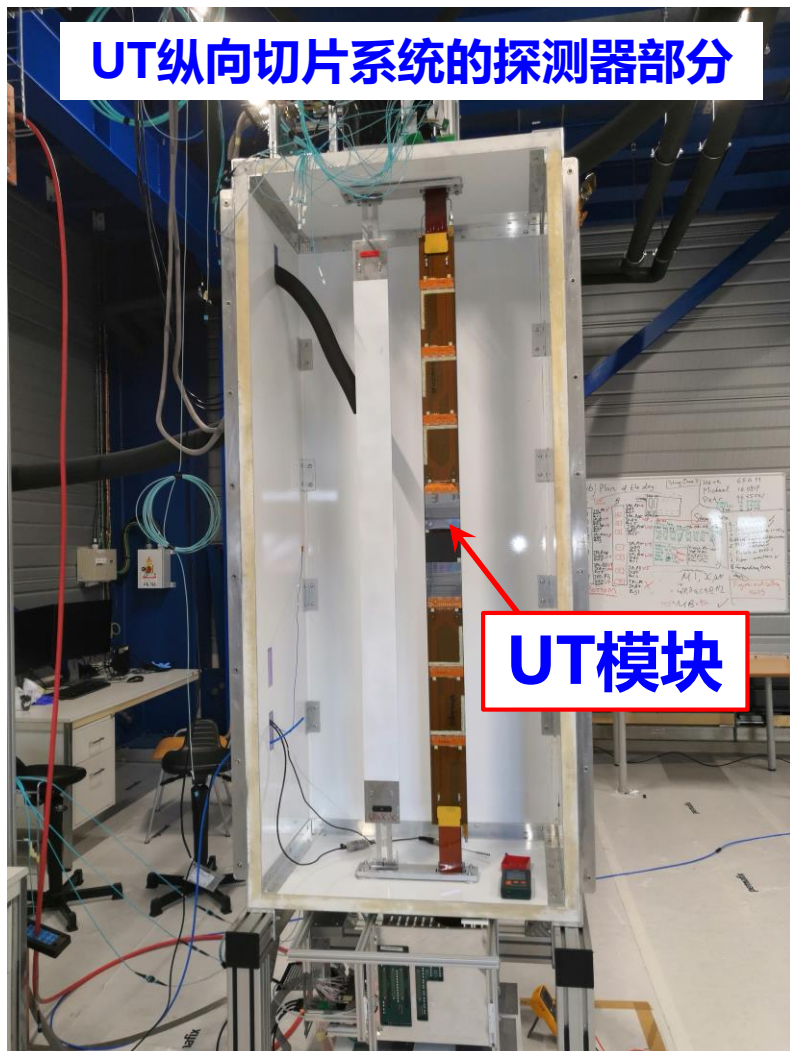
# 一期升级：闪烁光纤(SciFi)探测器电子学

- SciFi 读出芯片与前端电子学测试与定标系统
- SciFi 系统前端电子学板的研制
  - 2019年10月完成总计2300块前端板的生产+测试 (50%)
- 束流测试数据分析、在线监控系统的研发
- 寻迹与准直算法研究

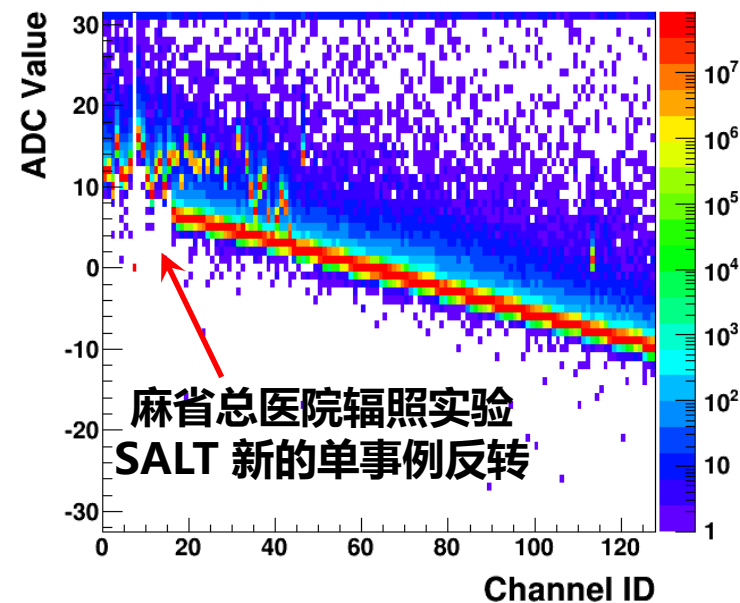
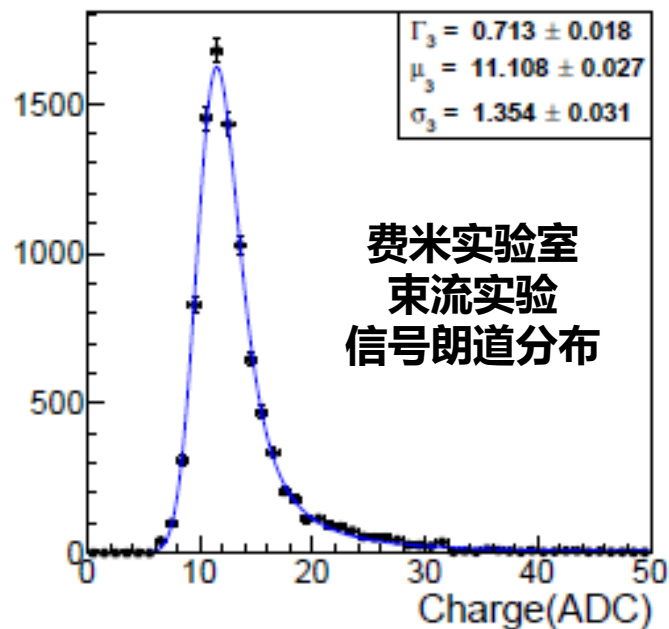
2019年3个博士生SciFi软件研发+ 10余博士生测试



# 一期升级：上游径迹硅微条探测器(UT)



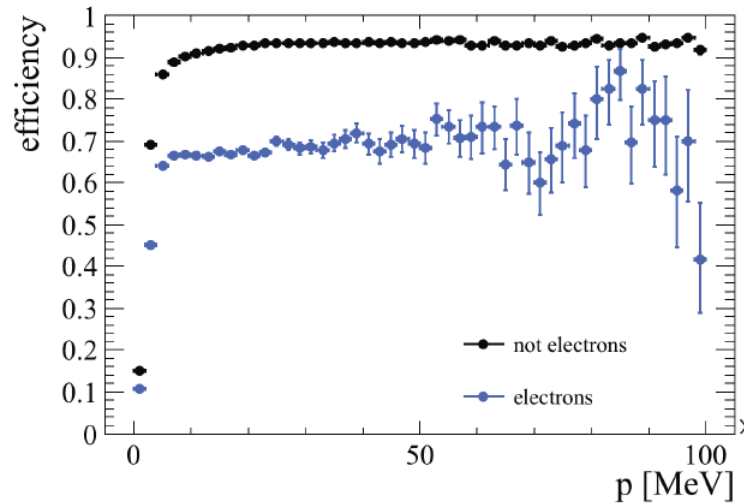
- 2019年3月, 在费米实验室成功完成束流实验  
证明前端读出芯片 (SALT) 对信号的反应满足设计要求
- 2019年6月, 在CERN成功搭建第一个完整 UT纵向切片系统  
对读出系统作了检测和各种优化研究
- 2019年8月, 在麻省总医院对SALT芯片作辐照实验  
检验设计改进的效果, 对单事例反转(SEU)作了更深入的研究



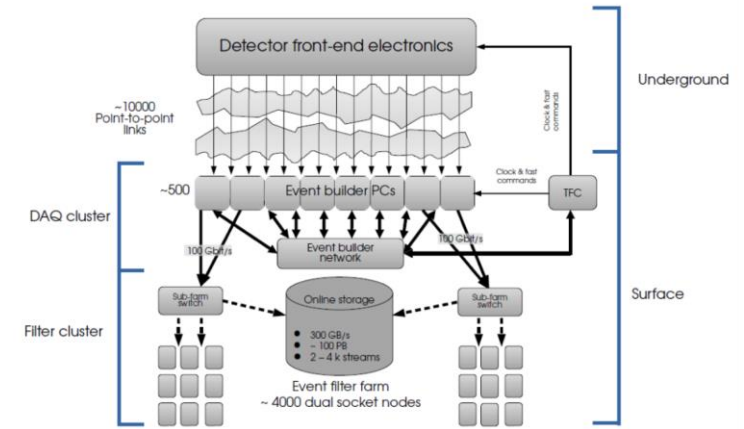
# 一期升级：触发研究

## ➤ LHCb一期升级去除了硬件层触发

- 40 MHz读出，实时在线分析（Real-Time Analysis, RTA）
- 中国组投入了大量人力参与RTA研发，为三期运行做准备（2021）



## Run 3 DAQ & event filter

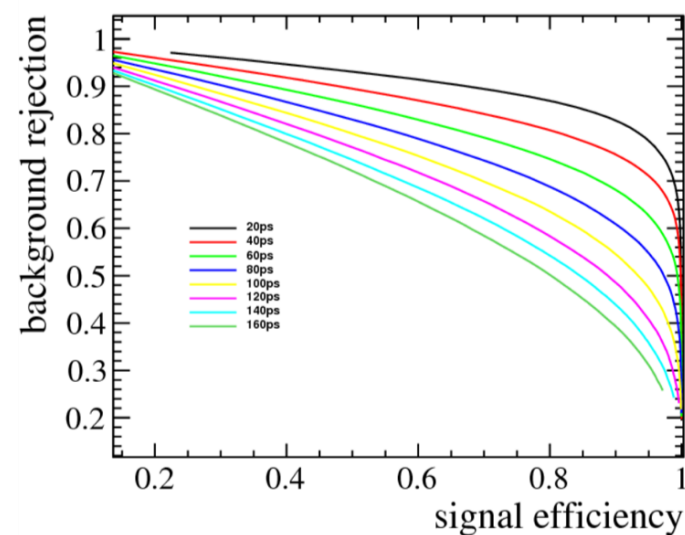
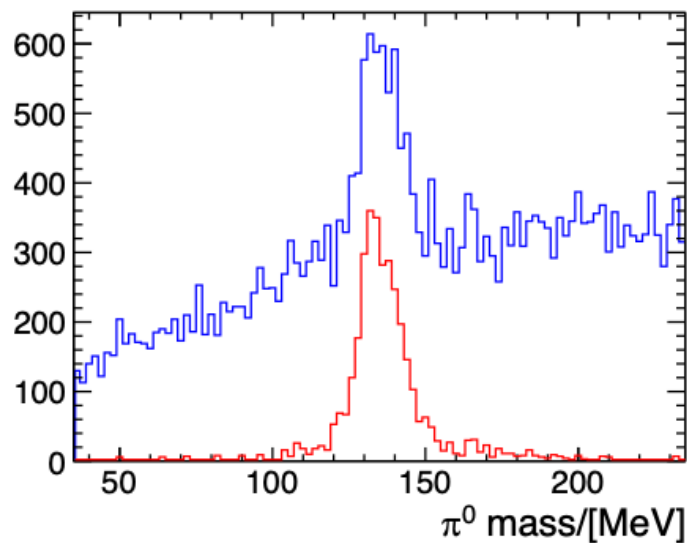
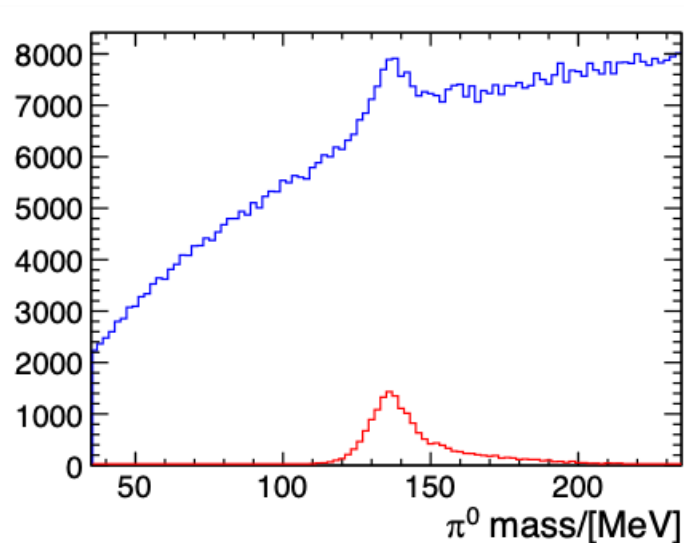


Performance of the LHCb trigger and full real-time reconstruction in Run 2 of the LHC, JINST 14 (2019) P04013

包含了对一期+二期运行的触发研究，中国组做出突出贡献

# 二期升级：电磁量能器升级的模拟研究

- 利用Delphes软件搭建LHCb快速模拟框架，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 $\pi^0$ 质量分辨

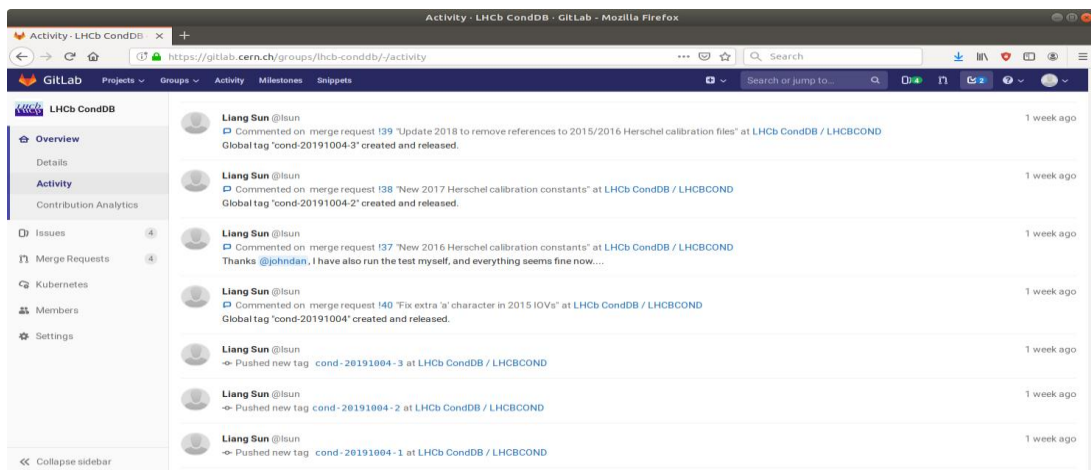


- 研究颗粒度与时间信息对信噪比的影响

# 其他服务工作

- 核心计算组：  
负责存储LHCb探测器信息的条件数据库的管理与维护工作

- 数据亮度测量：  
分析2018年pp和PbPb的van der Meer 数据，理解相对亮度的系统误差，并测量绝对亮度

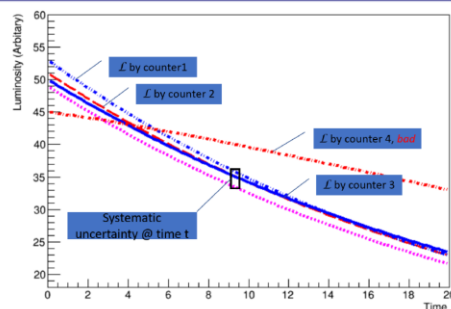


LHCb条件数据库Git页面（开放访问）：  
<https://gitlab.cern.ch/groups/lhcb-conddb>

## Non-linearity

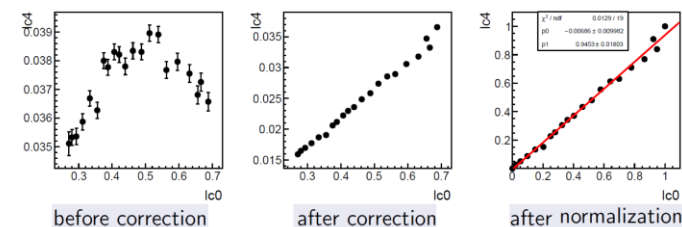
Seen in 2015 and 2018 data, but not yet understood.

## Systematic uncertainty up to 13%



## Results w/o correction

fill 4680, counters lc0 and lc4.



# 总结与鸣谢



# 2019年总结

- **LHCb中国组实力逐步增强**: 7个单位, 教师21人, 总人数97人
- **在合作组内保持重要影响力**: 多人担任物理工作组召集人等职务
- **物理成果**: 物理论文11篇 (**5PRL+1中国科学**), 探测器性能论文1篇
  - 产生机制与强子谱 (五夸克态、双粲重子、 $B_c$ 等): 6篇
  - CP破坏: 4篇
  - 重离子物理: 1篇
- **探测器相关**:
  - SciFi径迹探测器电子学+上游径迹探测器
  - 正在开展电磁量能器二期升级的研发工作
- **未来前景**: 大量二期运行数据带来机遇和挑战
  - 继续保持在QCD相关研究中的优势
  - 不断加强CP破坏的研究, 积极开展稀有衰变和电弱物理的研究
  - 大量新研究结果即将公开
  - **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）+ 205万（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

- **希望获得稳定支持**
- **积极争取竞争性项目：重点、面上、杰青、优青、青年**

## ➤ 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

**希望能获得与团队规模、承担的任务和取得的成绩相匹配的稳定支持**