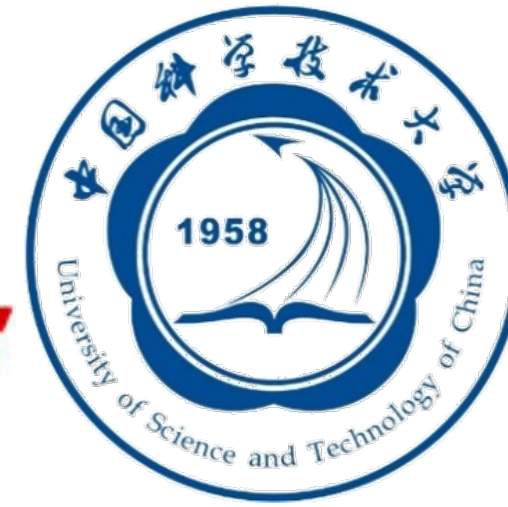


中国ALICE组2024年度进展

张晓明（华中师范大学） 代表中国ALICE组



第十届中国LHC物理会议

山东大学（承办），2024年11月14-17日，青岛

报告提纲

团队介绍

年度进展

硬件贡献

中国ALICE团队

中方负责人：

殷中宝

中方主要参与单位

负责人

• 华中师范大学

张晓明

• 复旦大学

马余刚

• 中国原子能科学研究院

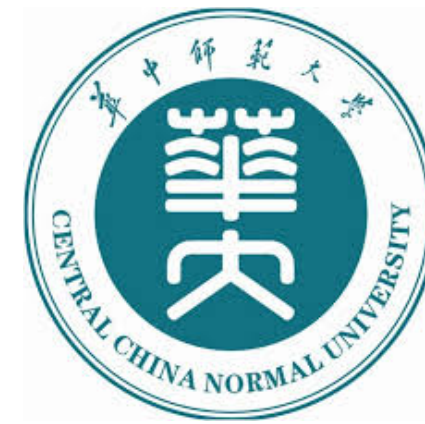
李笑梅

• 中国科学技术大学

唐泽波

• 中国地质大学（武汉）

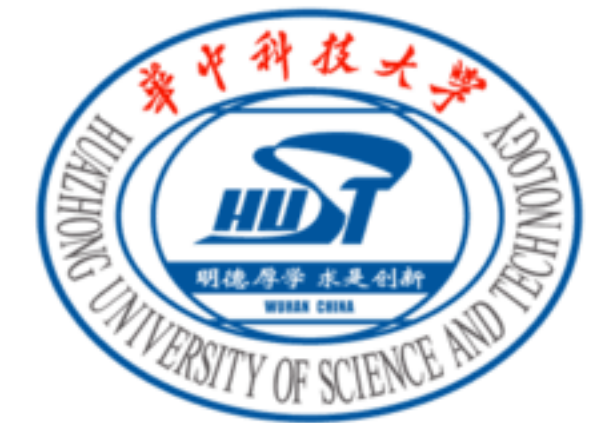
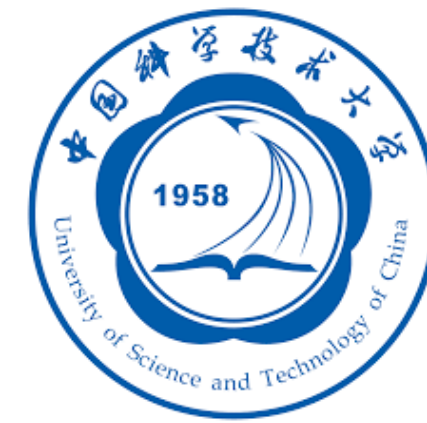
彭忻焯



中国原子能科学研究院

中核集团
ENNE

CHINA INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY



年度ALICE合作组任职情况

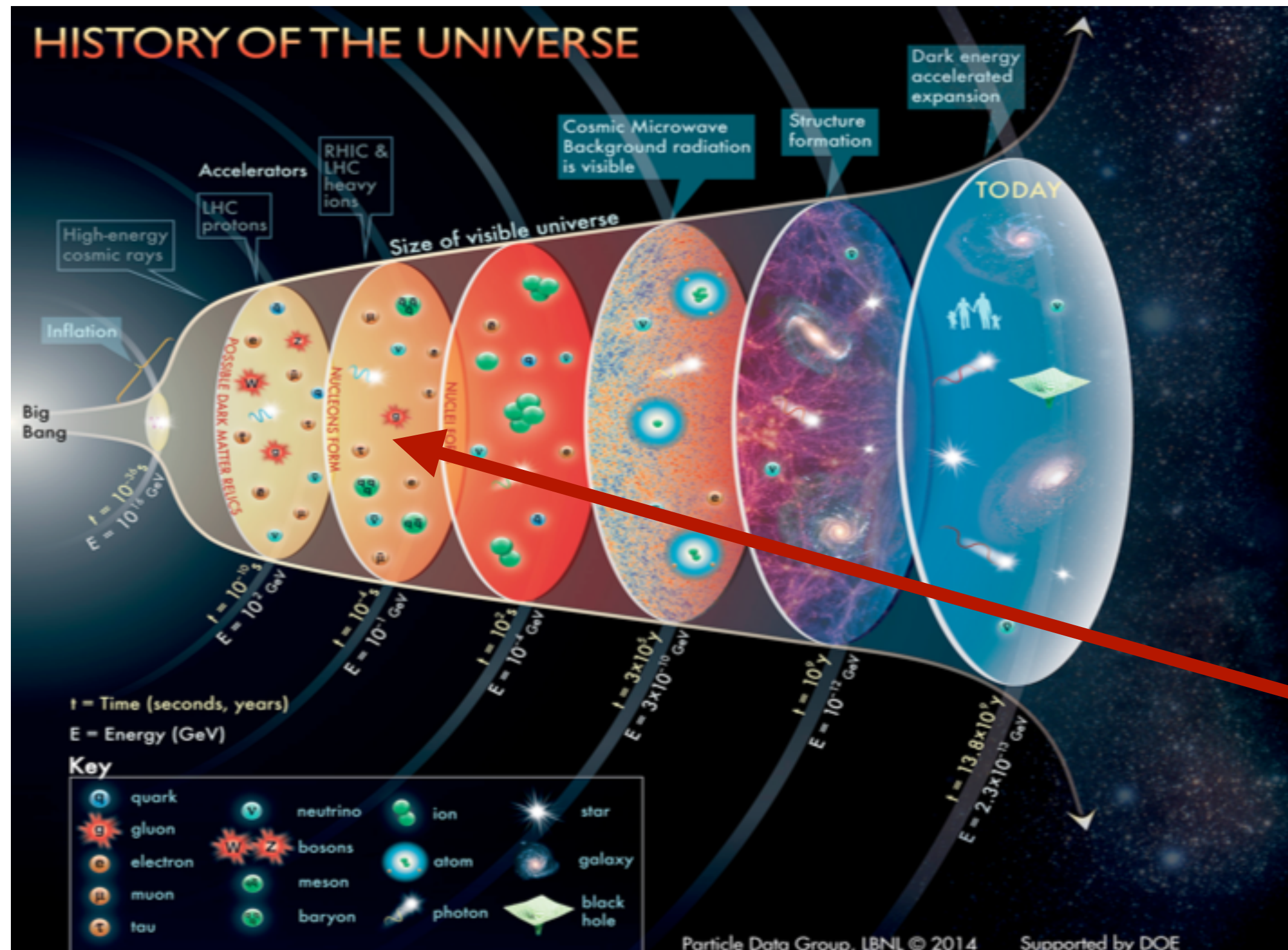
- 物理工作大组召集人：寿齐焯、白晓智
- 物理分析组协调人：白晓智、裴骅
- 发言人提名委员会委员：周代翠
- 会议委员会委员：毛亚显

M&OA人员：15人（占比3%）

参加人员：99人（占比：5%）

博士后短缺 – 受“人头费”限制

ALICE科学目标

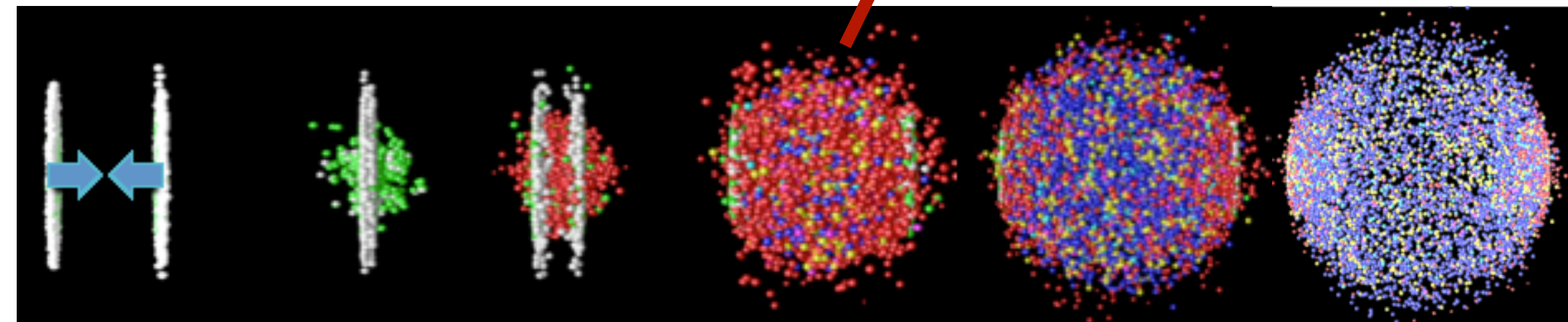


重大前沿科学问题

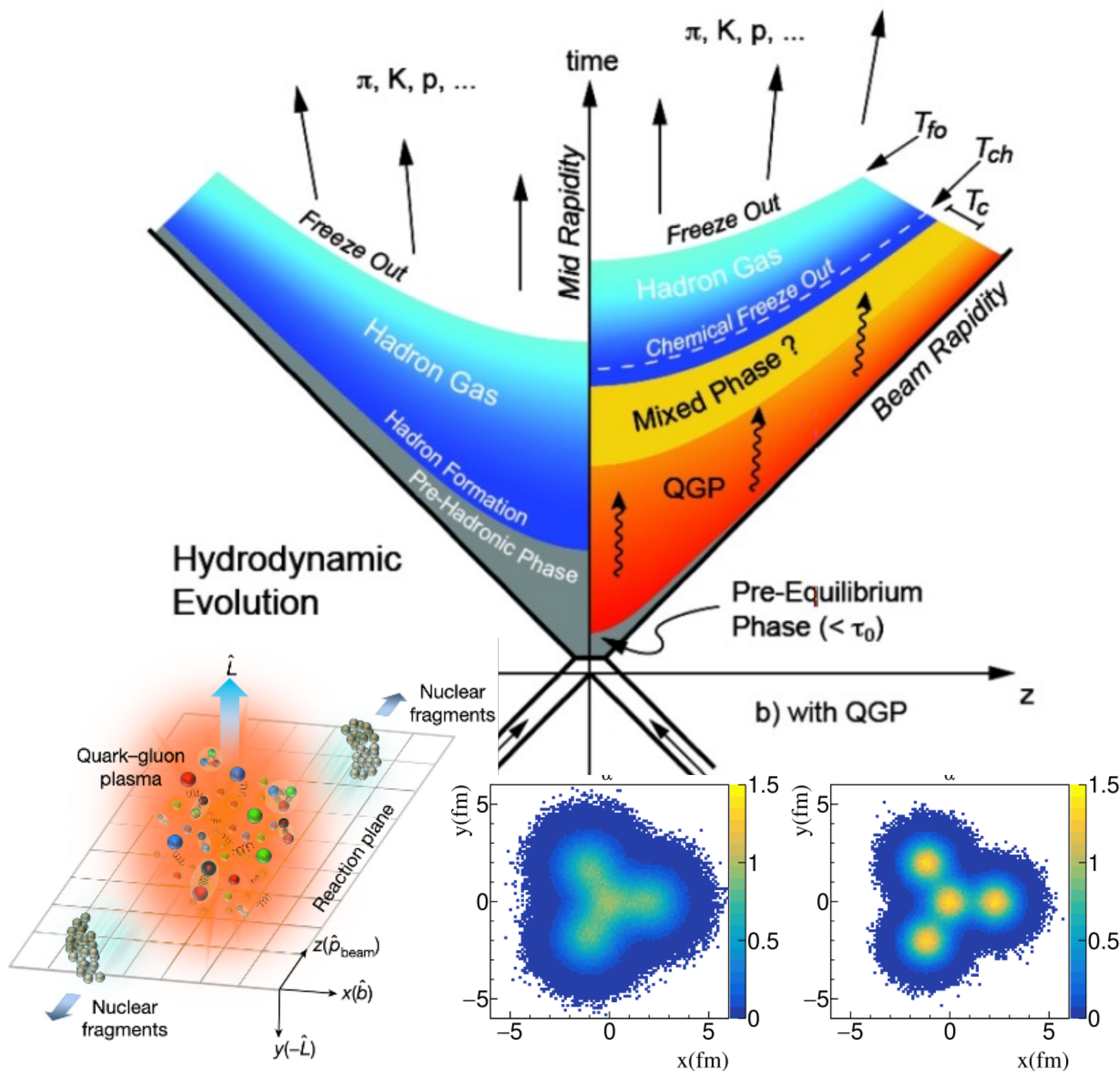
- 宇宙初期（大爆炸后 10^{-10} 秒）的物质形态
- 当今物质世界的深层次结构（ $<10^{-15}$ 米）
- 强相互作用在高温、高密多粒子体系中的行为及性质

大爆炸后 10^{-6} 秒的早期宇宙：夸克-胶子等离子体

极端相对论重核碰撞：产生约太阳中心4万倍的温度，通过实验室中的“小爆炸”，模拟“大爆炸”后宇宙初期的物质形态

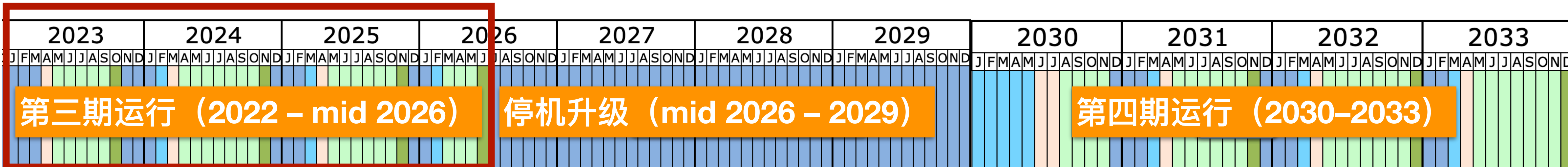


ALICE科学目标

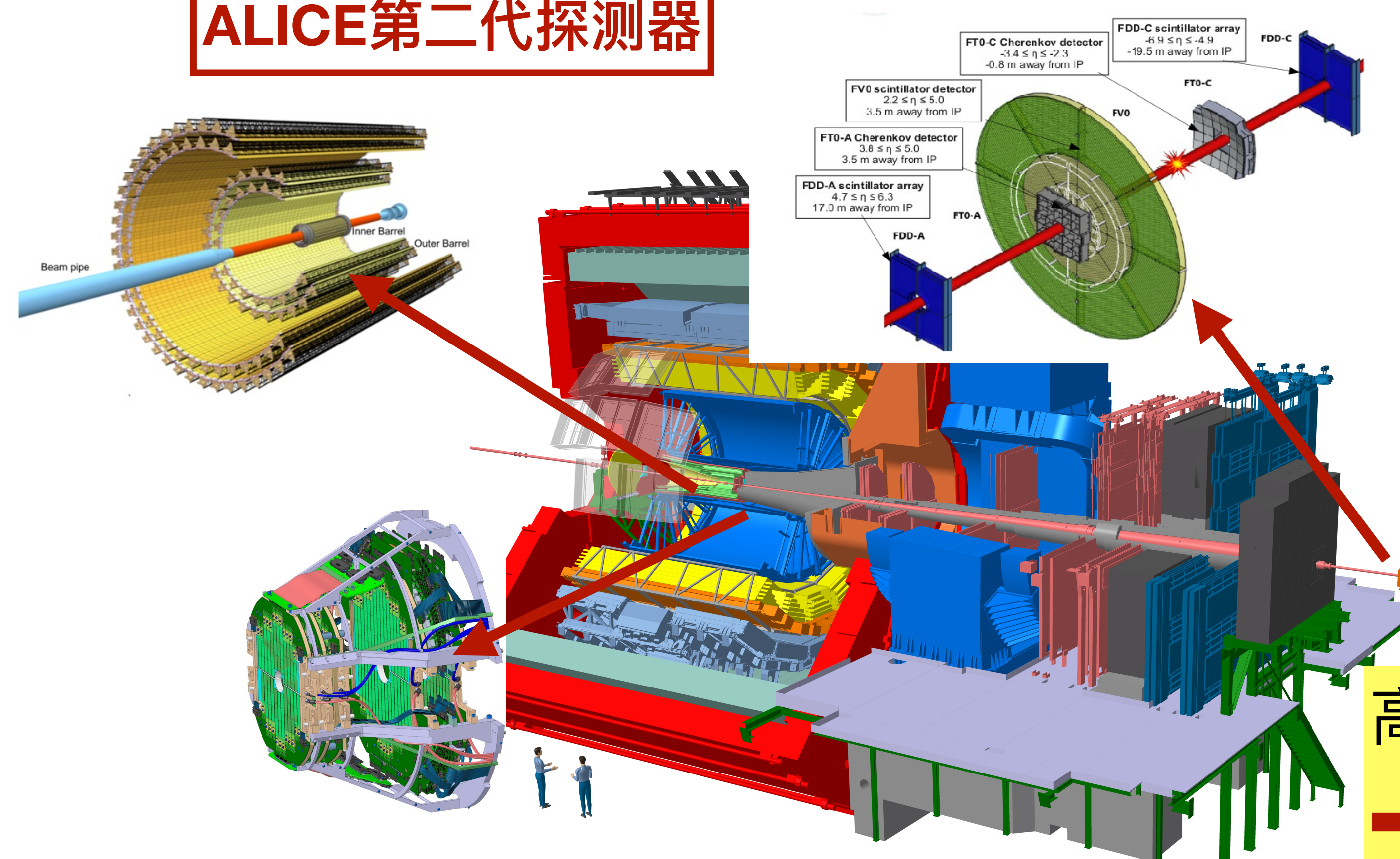


- 强相互作用物质的产生及演化性质
 - ➔ 重离子碰撞：强相互作用在高温高密、多粒子体系中的行为特性
 - ➔ 小系统碰撞：夸克物质的形成边界
- 极端强磁场与强涡旋场中粒子的产生特性与QCD反常行为
- 高能量前沿的核物理研究：核结构与强核力相互作用特性、奇特核态探寻
- 粒子物理相关研究：稀有粒子态衰变分支比、QCD本底特性

ALICE第二代探测器



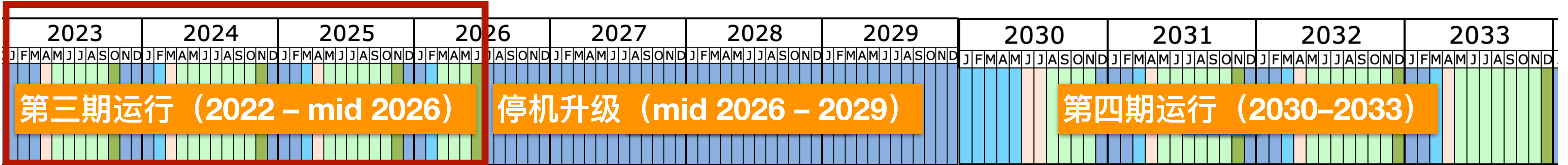
ALICE第二代探测器



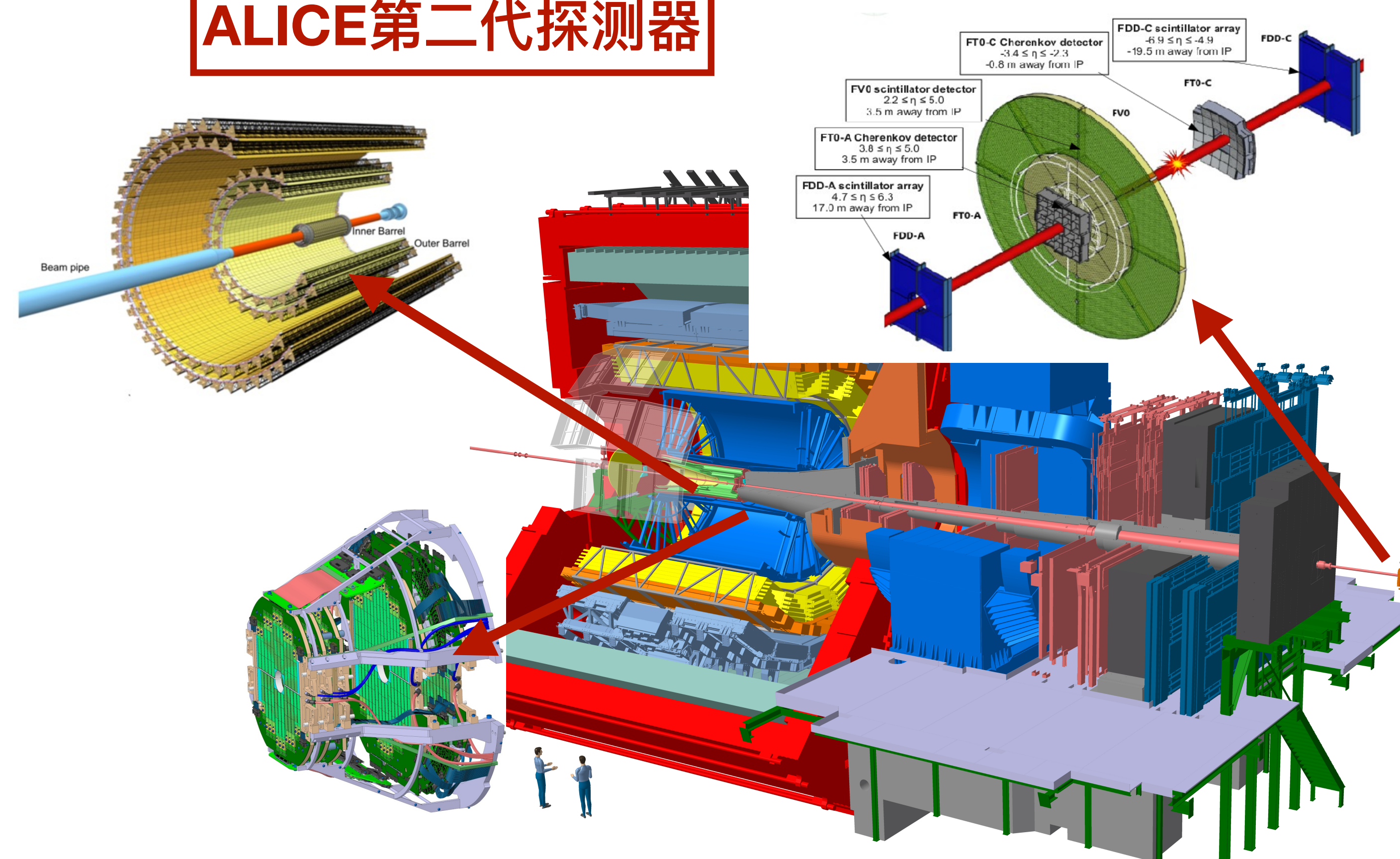
- 新一代硅像素顶点探测器
- 全新前向硅像素 μ 径迹探测器
- 快速集成触发系统
- 快读出电子学与连续读出技术
- 全新数据处理软、硬件平台

高出第二期运行50–500倍的数据采集率
 → QCD特性和夸克物质性质的精确测量

ALICE中国组投入



ALICE第二代探测器



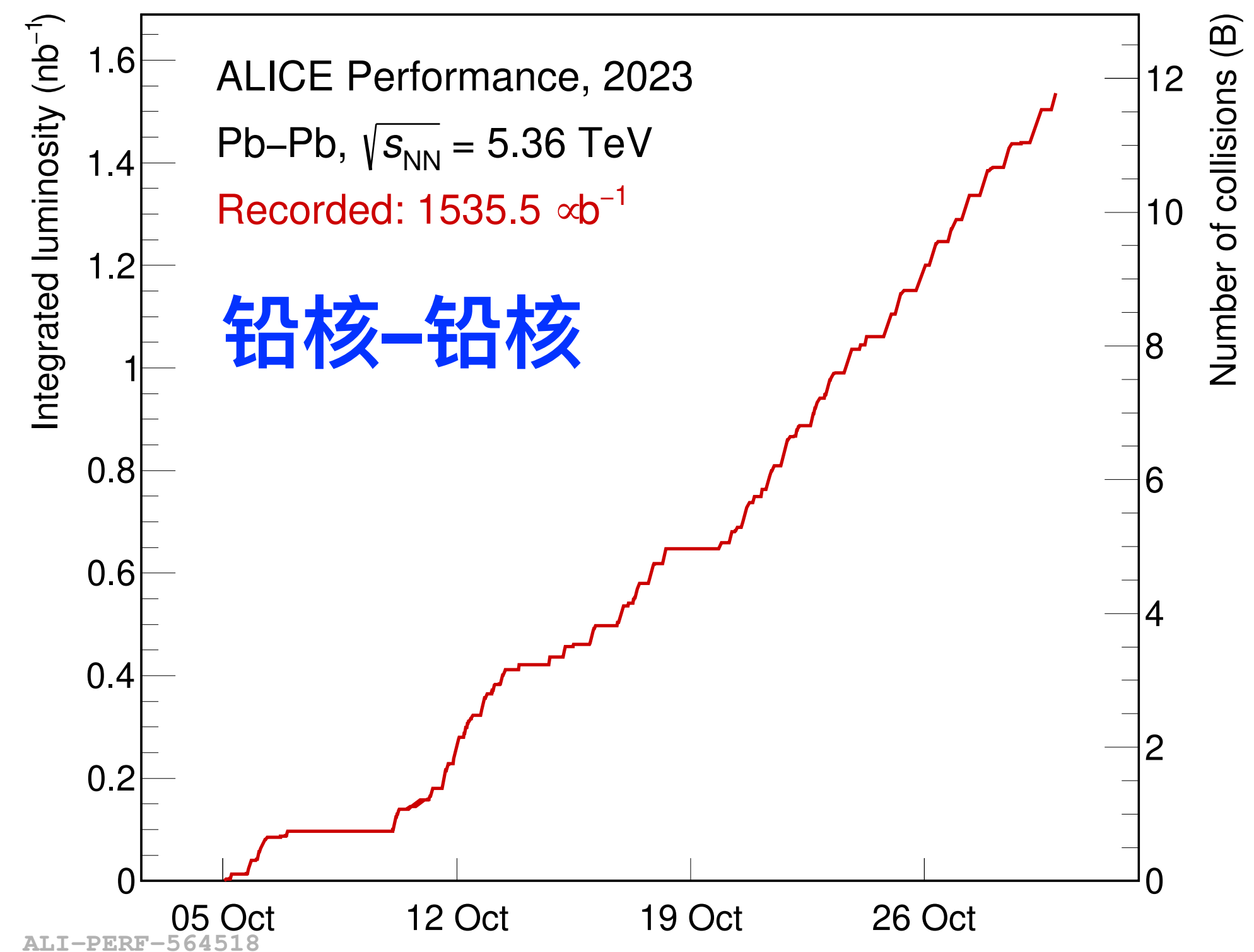
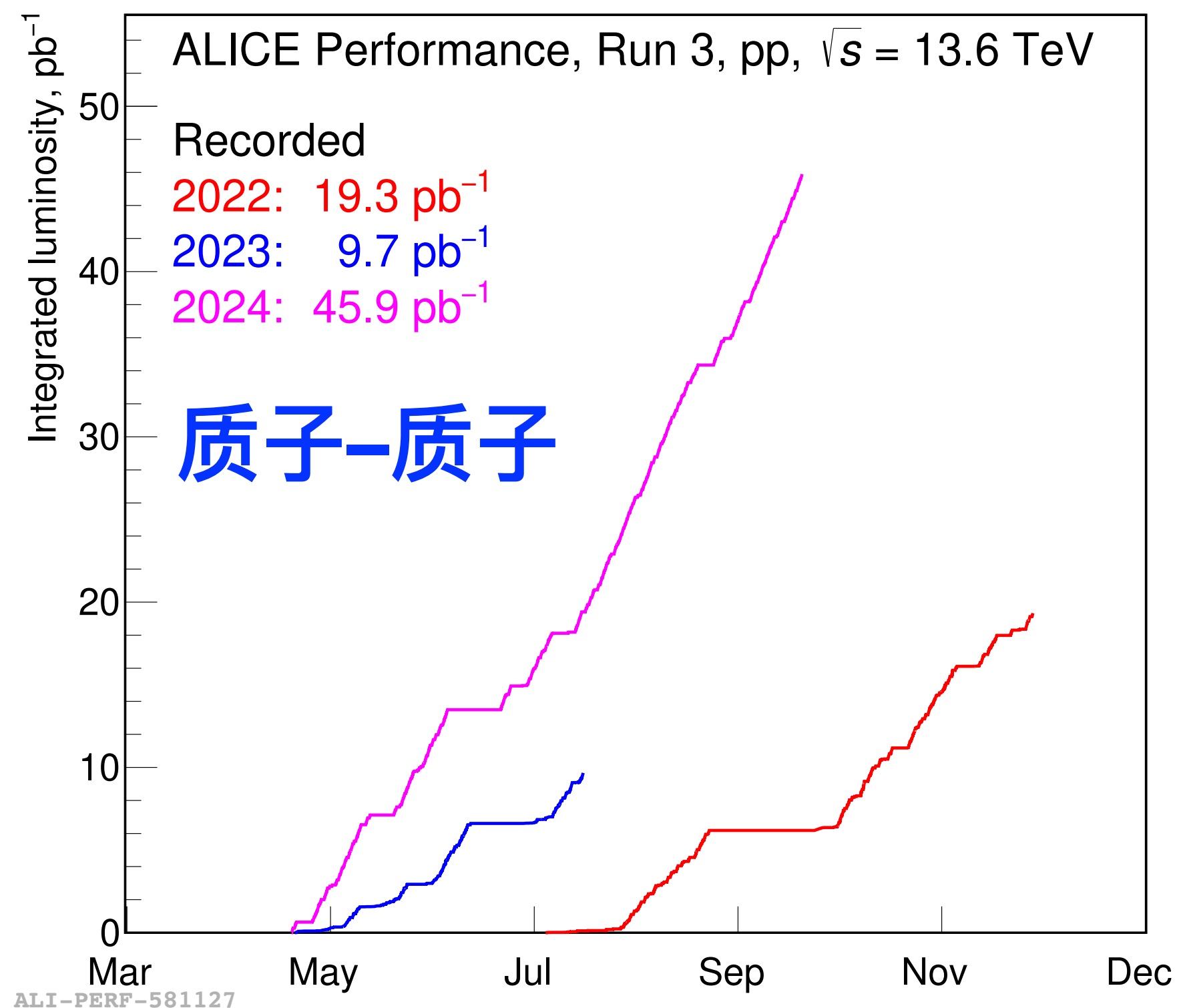
2016–2022

- 硅像素探测器及数据处理系统研制
- 前向 μ 径迹探测器电子学 motherboard 研制

2000–2024

- 新一代数据处理软、硬件平台开发
- 数据采集、探测器刻度与事件重建

ALICE第三期运行



截止2024年11月

- 质子-质子碰撞: $L_{\text{int}} = 75 \text{ pb}^{-1}$, 高出第二期运行最小无偏事件数1000倍
- 铅核-铅核碰撞: $L_{\text{int}} = 1.5 \times 10^3 \mu\text{b}^{-1}$, 高出第二期运行最小无偏事件数40倍

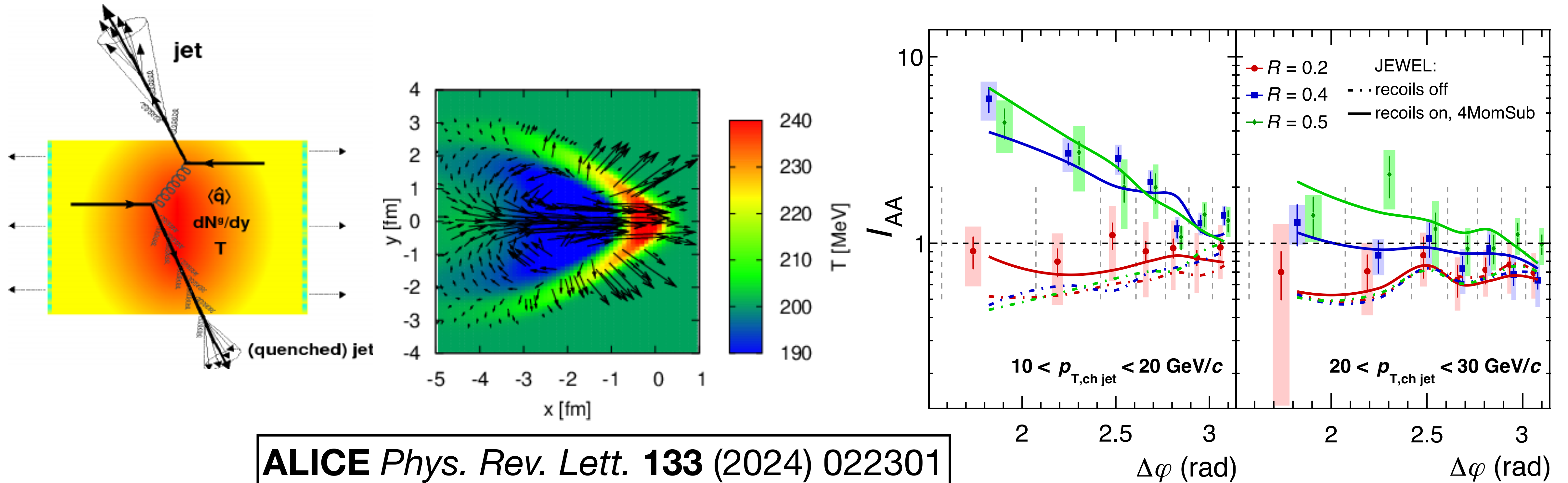
年度研究进展

2023年12月 – 2024年11月： ALICE发表文章47篇

- 中国组主导发表文章**9篇**（其中*Phys. Rev. Lett.* 2篇）
 ➔ 占比：**19%**（人数占比5%，M&OA占比3%）
- 投稿文章12篇、内部审阅文章3篇

作HP、SQM、ICHEP等**国际学术会议**报告约**30人次**

TeV能区的喷注“淬火”

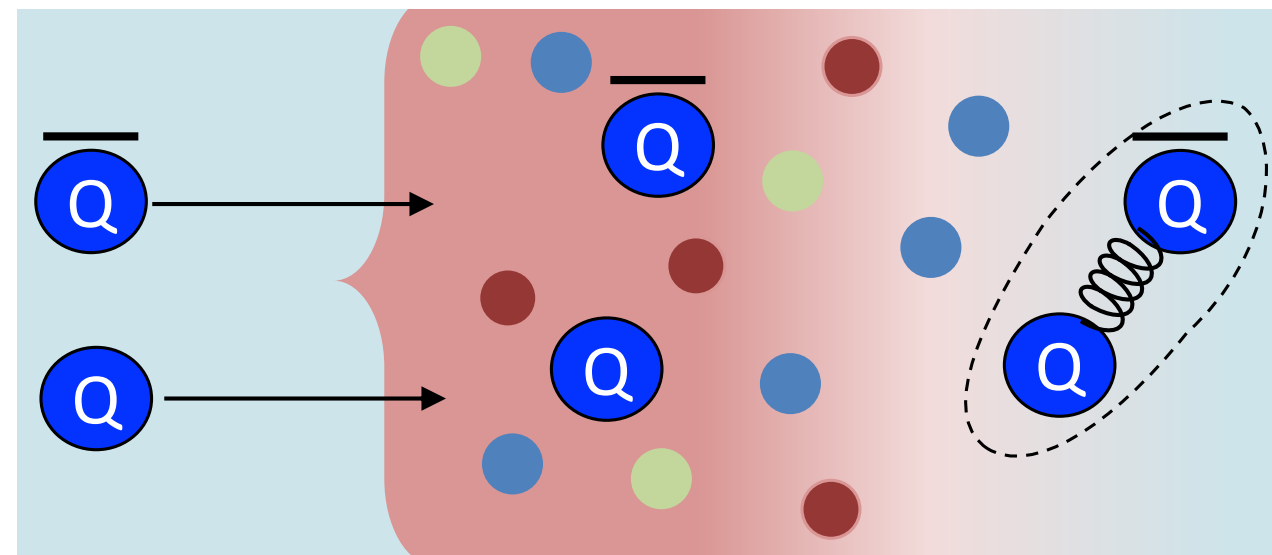
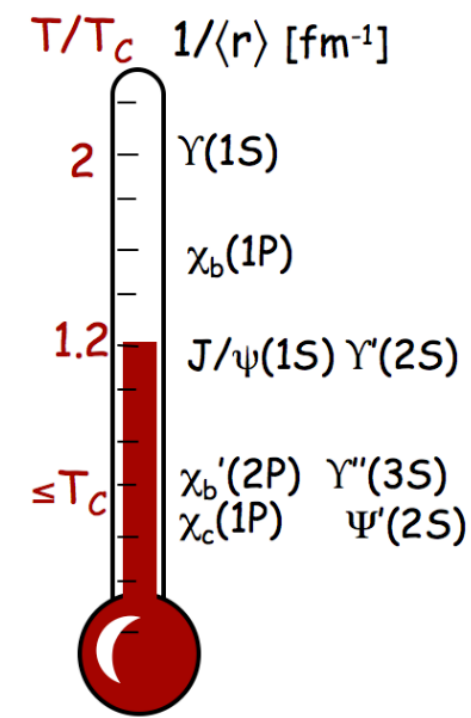
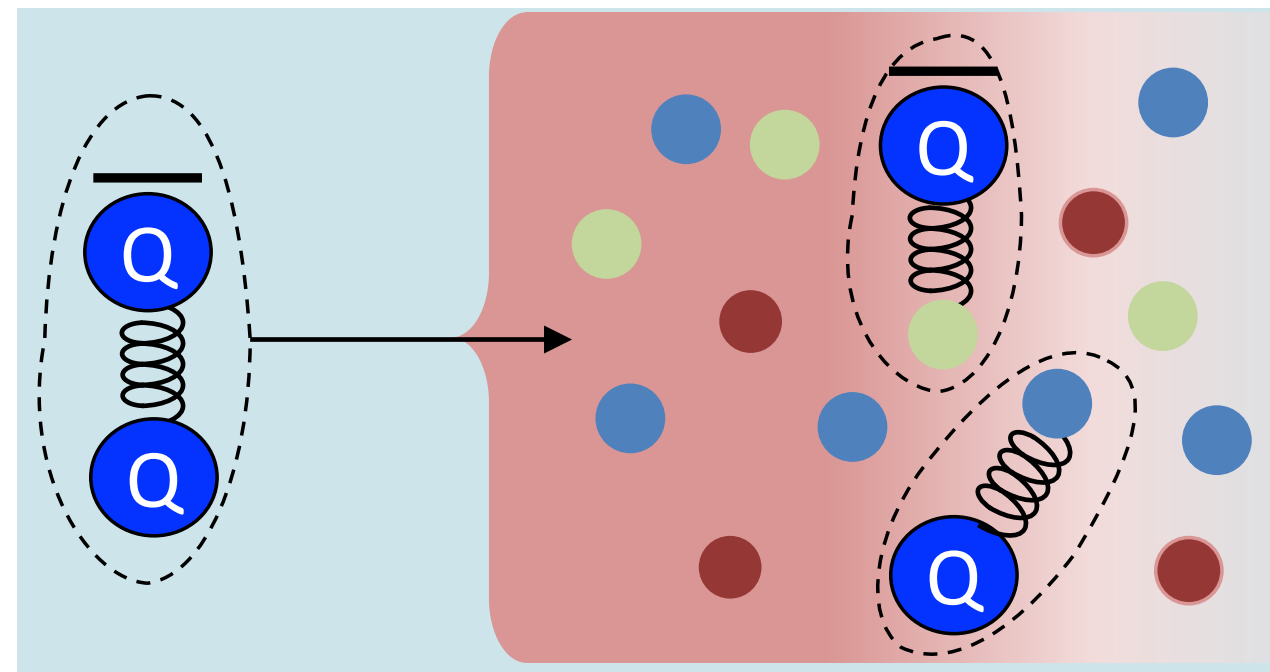


ALICE Phys. Rev. Lett. 133 (2024) 022301
ALICE Phys. Rev. C110 (2024) 014906

- 发现铅核-铅核碰撞中低 p_T 大分辨率参数反冲半单举喷注非共面性增强
- 提供了硬分子在夸克物质中产生尾流行为的实验判据，以及对夸克物质流体动力学性质的新实验限定

铅核-铅核碰撞中J/ψ产额核压低

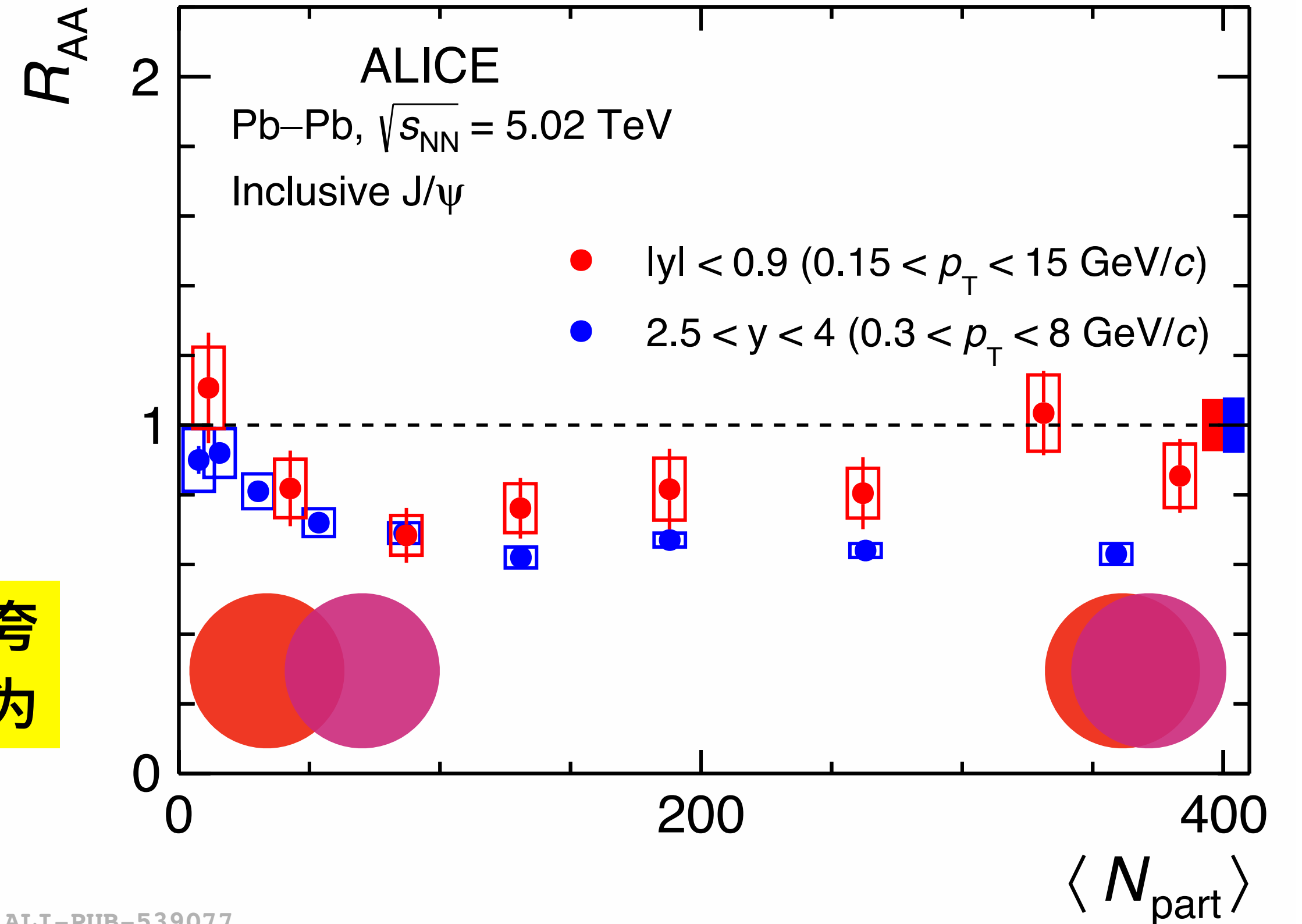
重夸克偶素的离解：夸克物质的“温度计”



重夸克偶素的重组合：重夸克热化自由度、强子化行为

ALICE Phys. Lett. B849 (2024) 138451

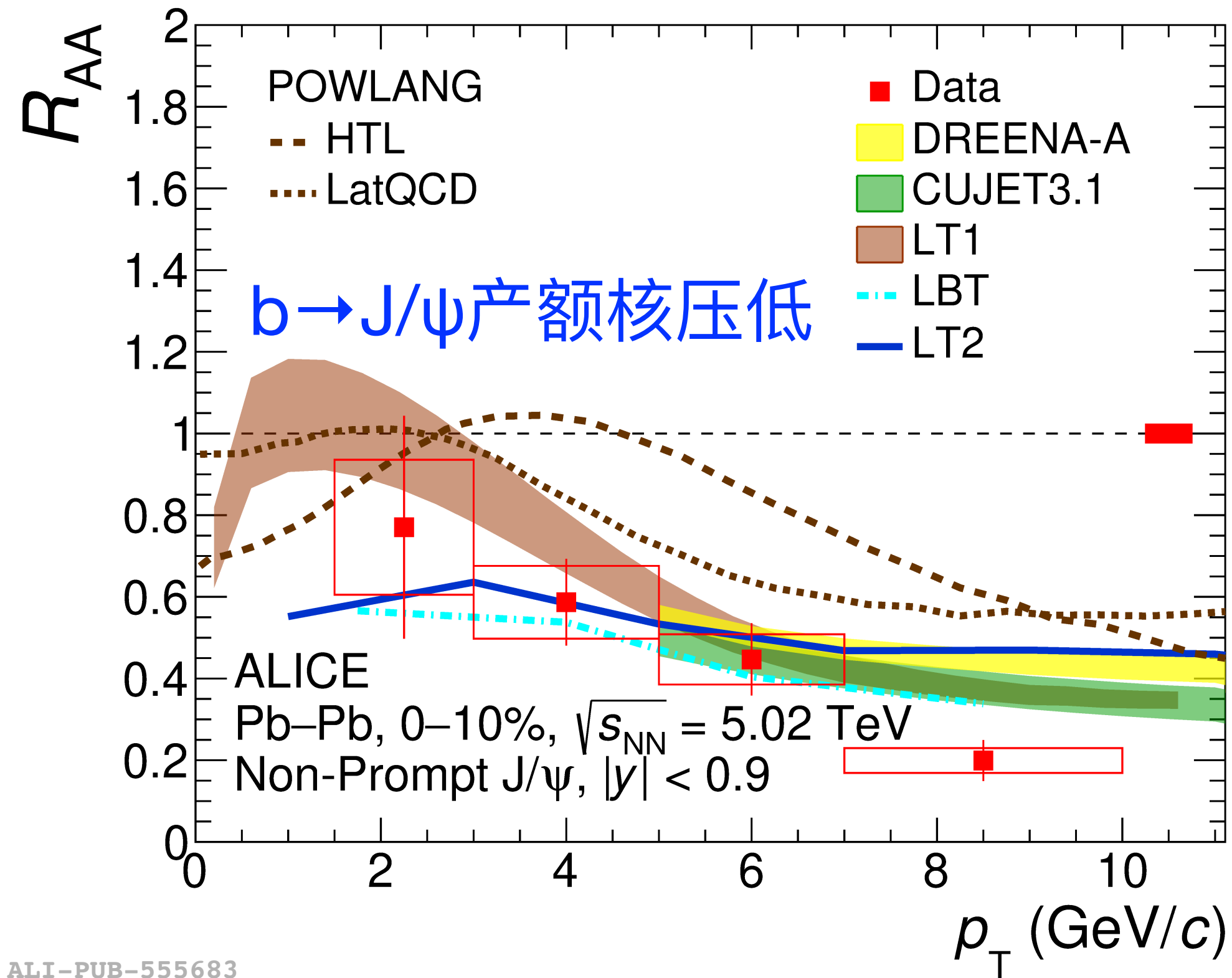
ALI-PUB-539077



- 从对心到半对心的铅核-铅核碰撞中J/ψ产额核压低的碰撞对心度弱依赖 — 离解与重组合的“竞争”

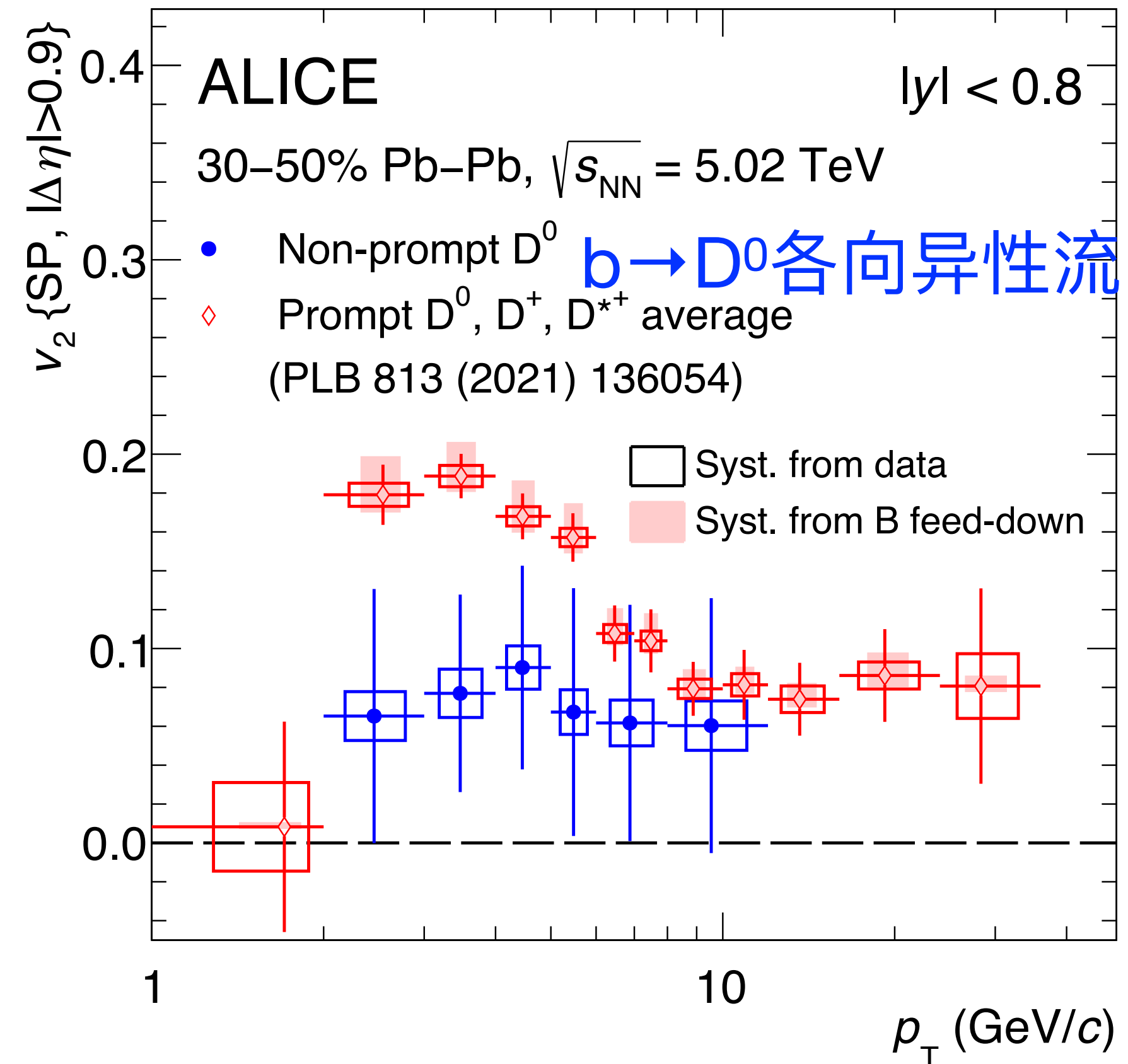
- 中心快度核压低弱于前向 — 对重夸克热化自由度的新实验限定

非瞬发J/ψ与D介子的产生



ALI-PUB-555683

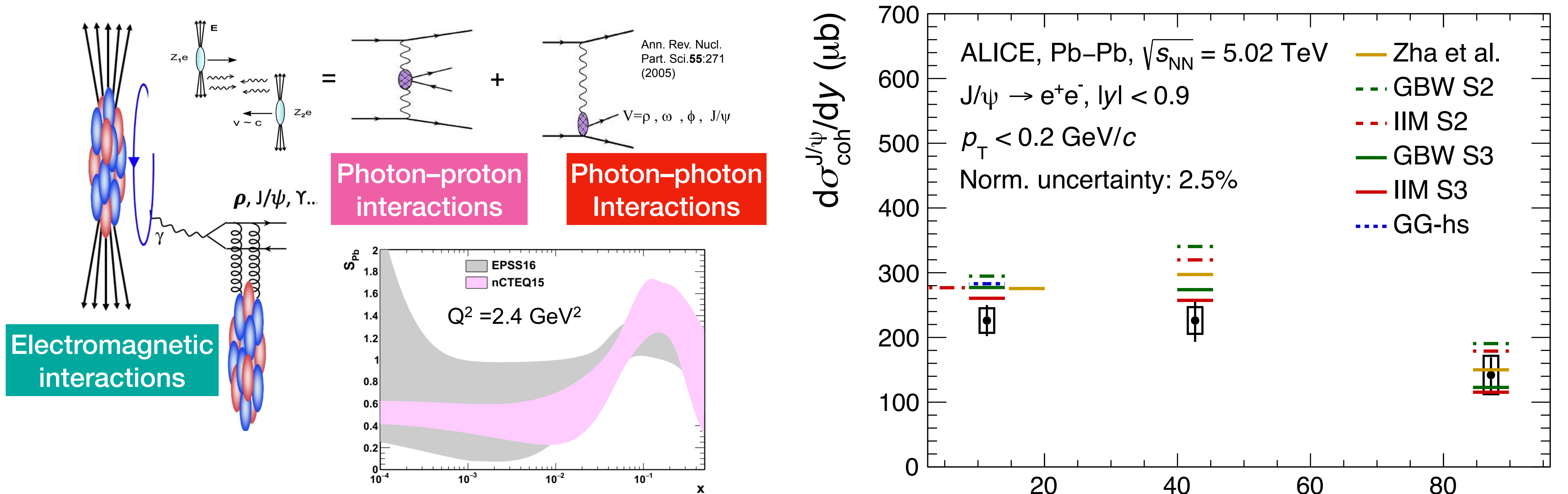
ALICE JHEP 2402 (2024) 066



ALICE Eur. Phys. J. C83 (2023) 1123

- 非瞬发J/ψ的显著产额核压低与非瞬发D⁰的显著各向异性流
- 质量更重的底夸克也经受了强能损且具有热化自由度

相干J/ψ的光子产生



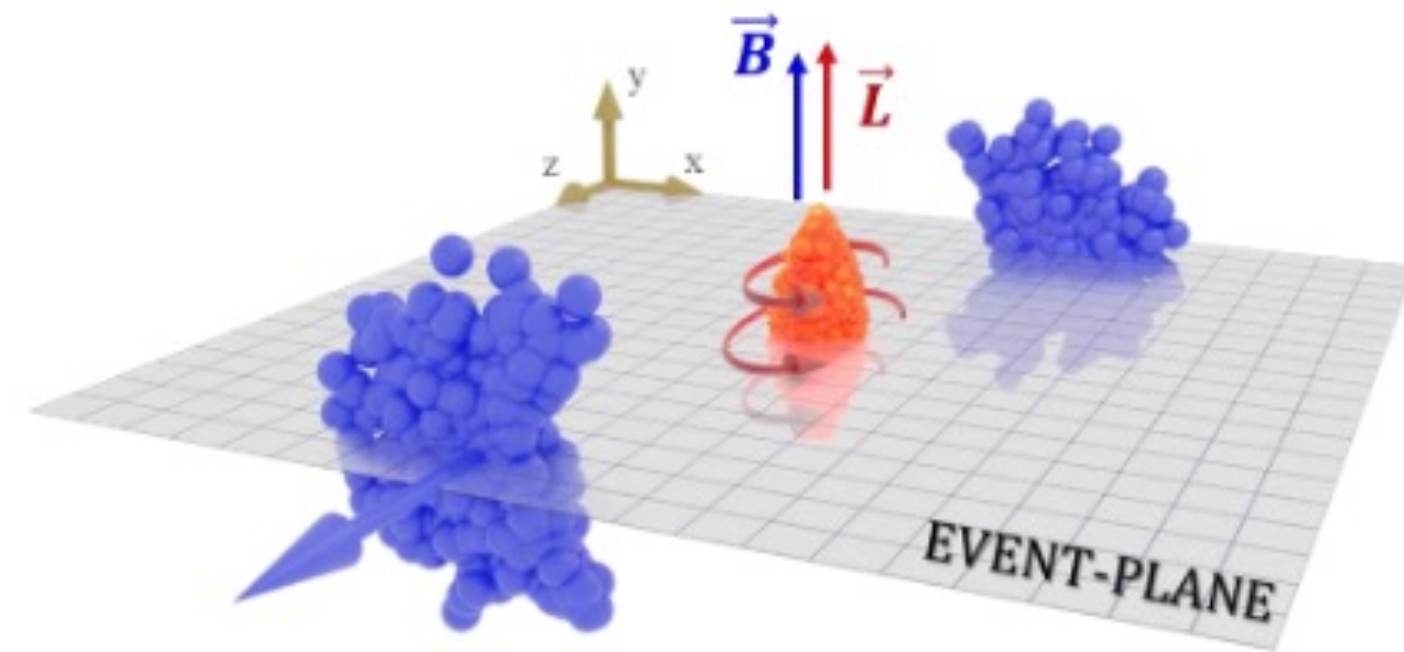
- 偏心碰撞相干J/ψ在中心快度的产生对碰撞对心度的弱依赖

➔ 对碰撞初态核环境中胶子分布的新实验限定

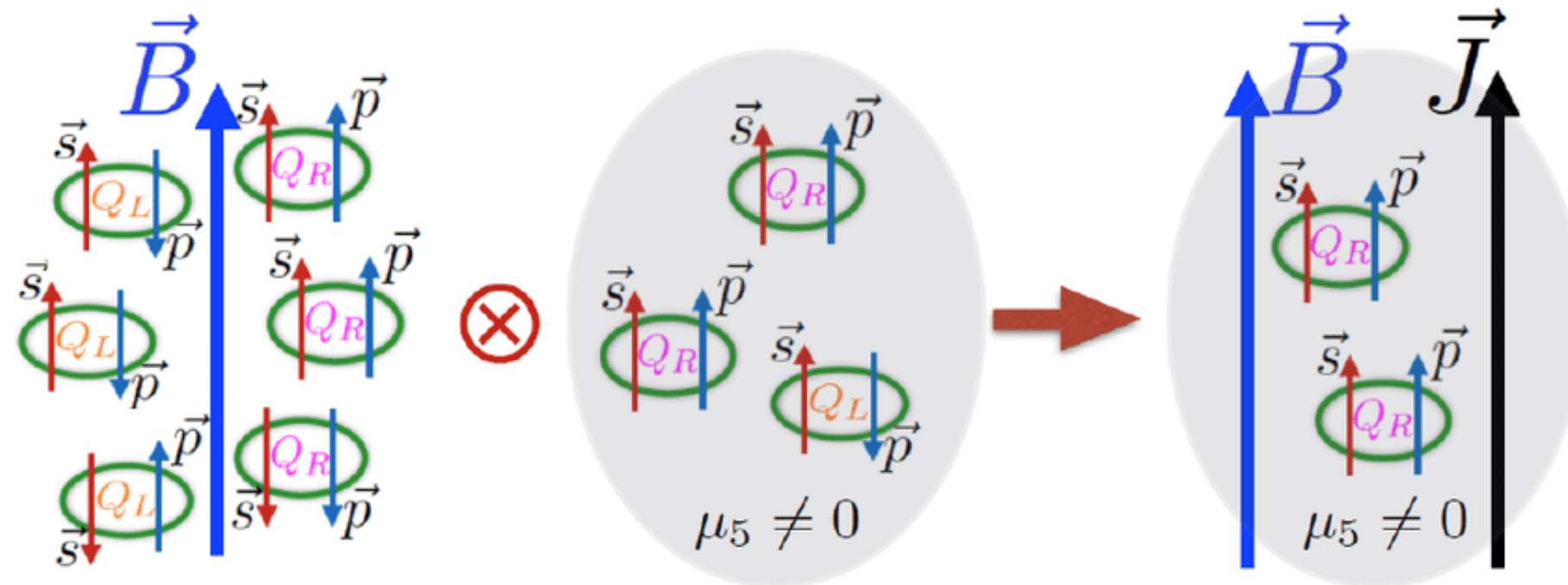
➔ 暗示了光子发射源不与强相互作用干涉

ALICE arXiv:2409.11940
投稿 *Phys. Lett. B*

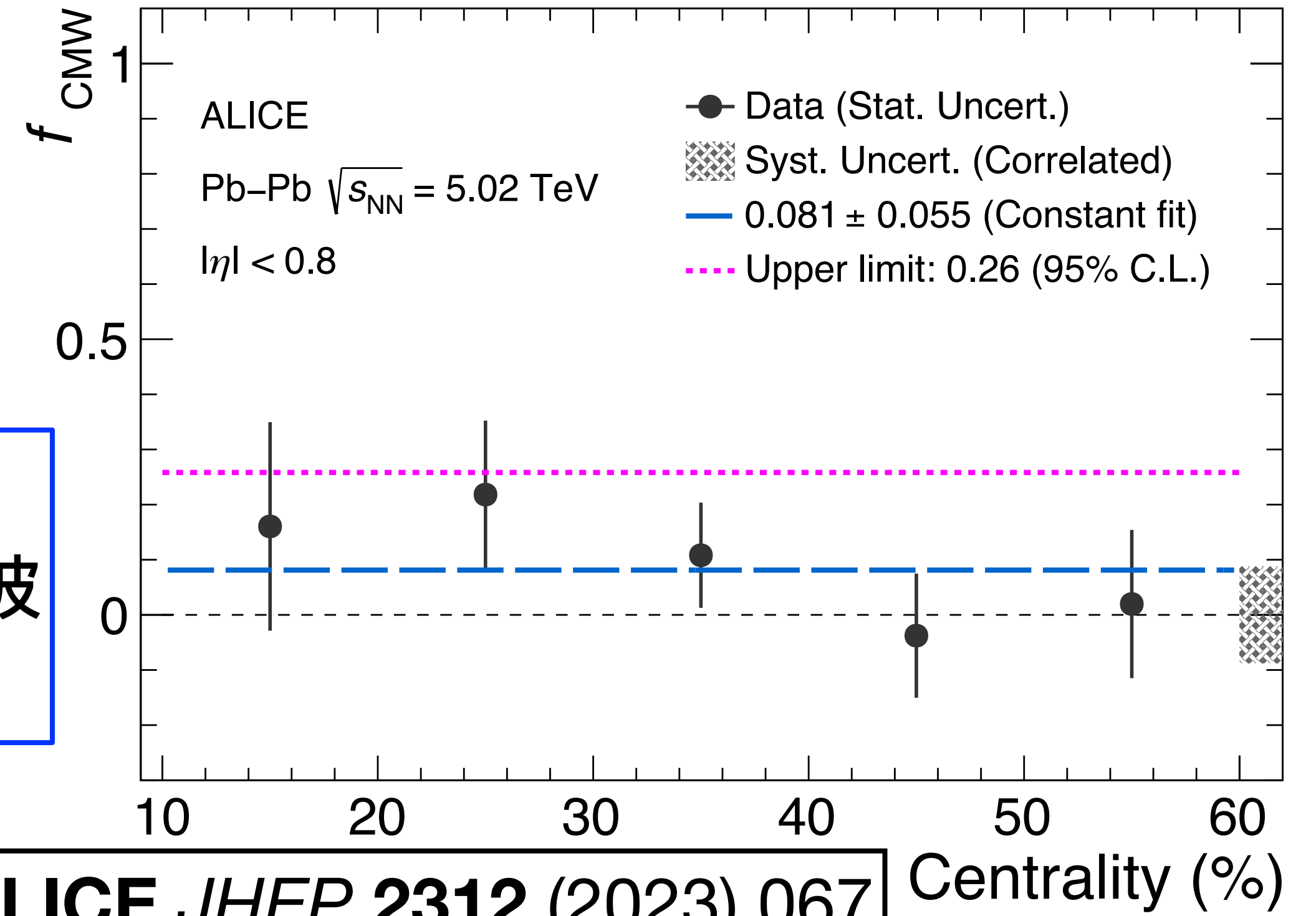
强磁场中的手征反常



重核碰撞初期产生极强
磁场与极大轨道角动量



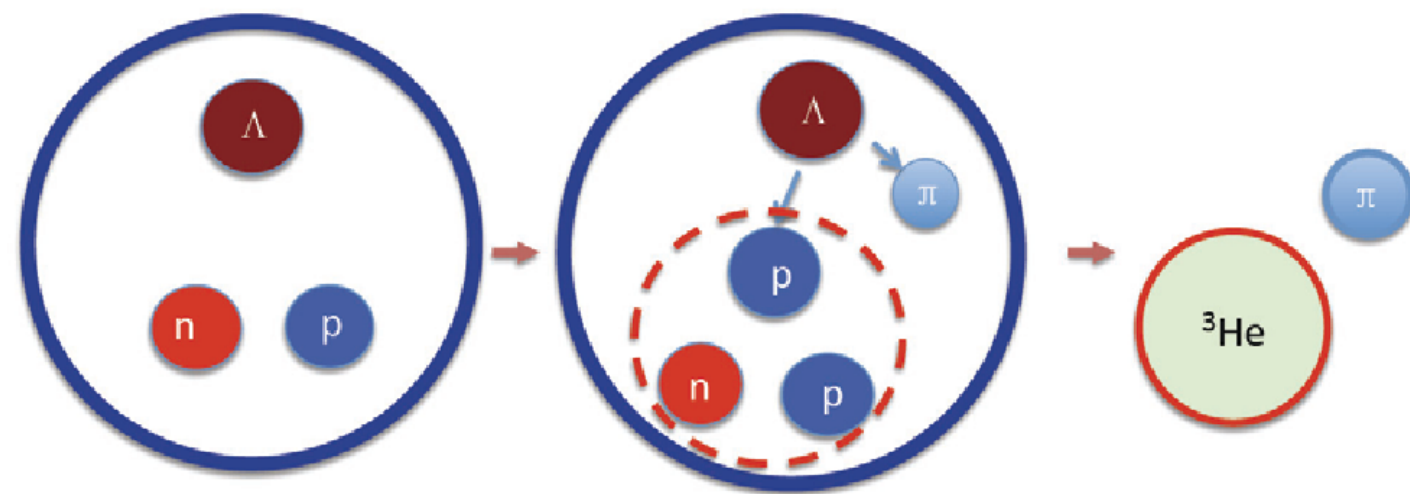
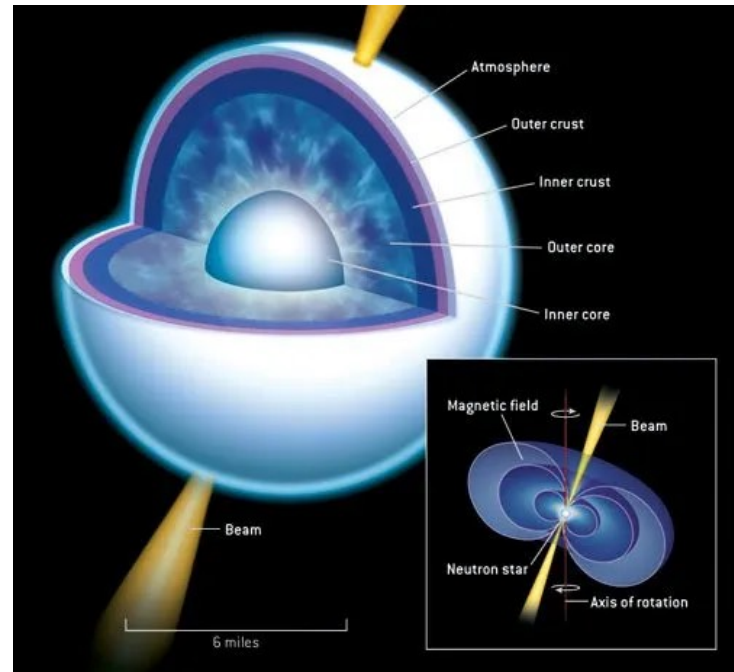
局域手征荷涨落：
手征磁、手征磁波
与手征涡旋



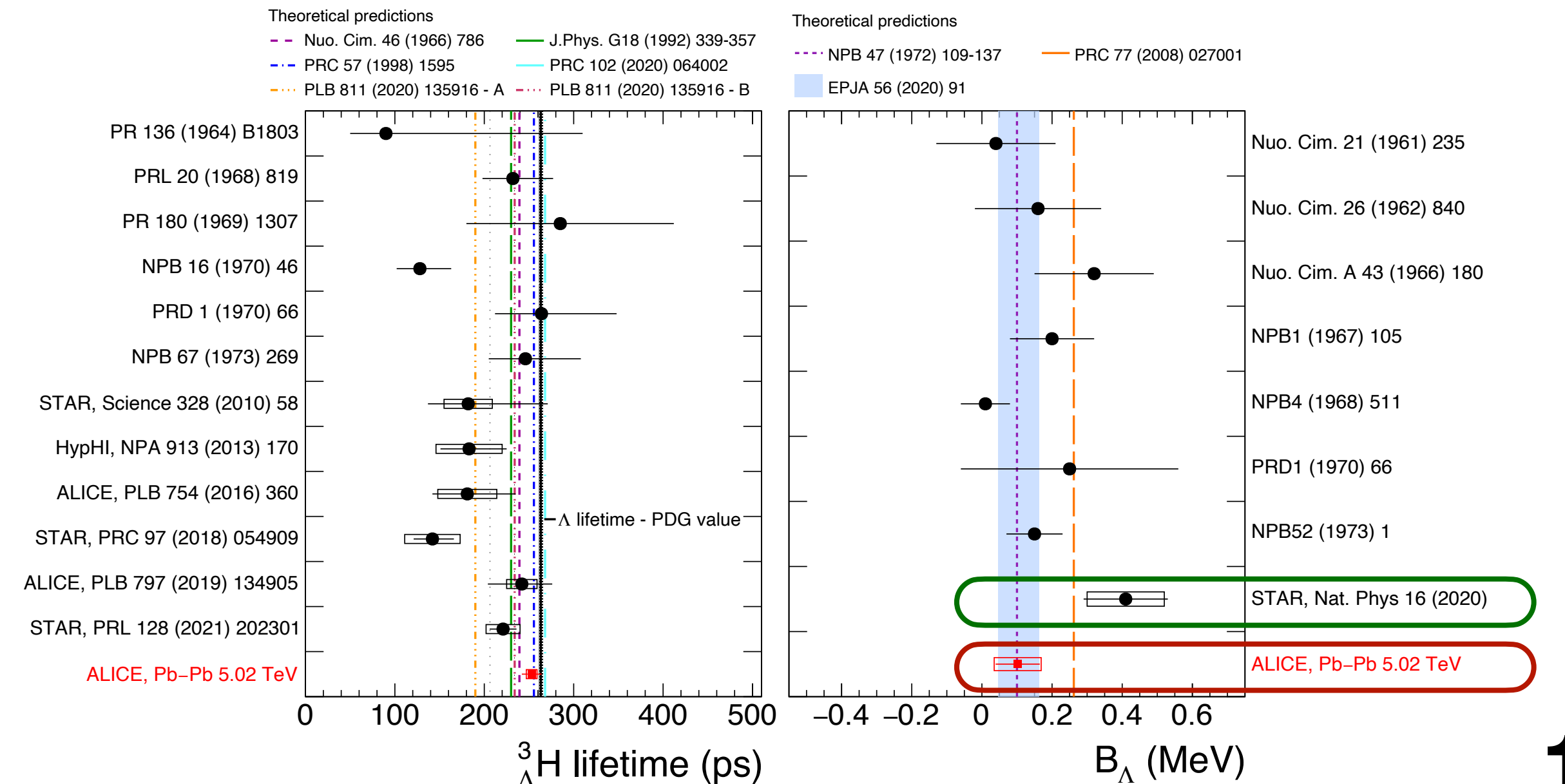
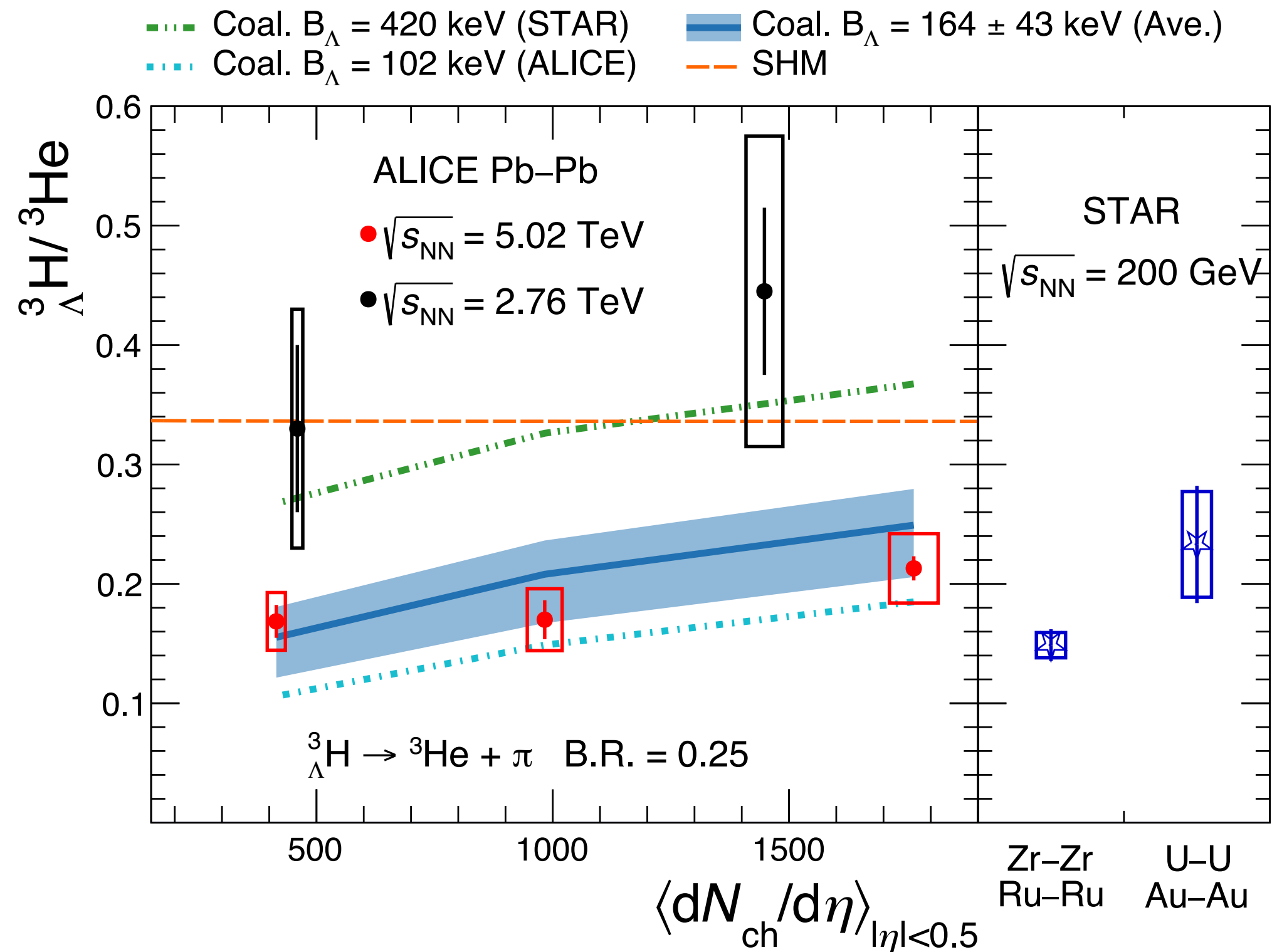
ALICE JHEP 2312 (2023) 067 Centrality (%)

- 手征磁波 (CMW) 强磁场中夸克物质内局域手征荷涨落诱导的电四极矩行为 – 导致正-负电荷各向异性分布差异
- LHC能区CMW信号上限的**最新实验限定**: < 26% (95% CL)

核环境中奇特核态的产生

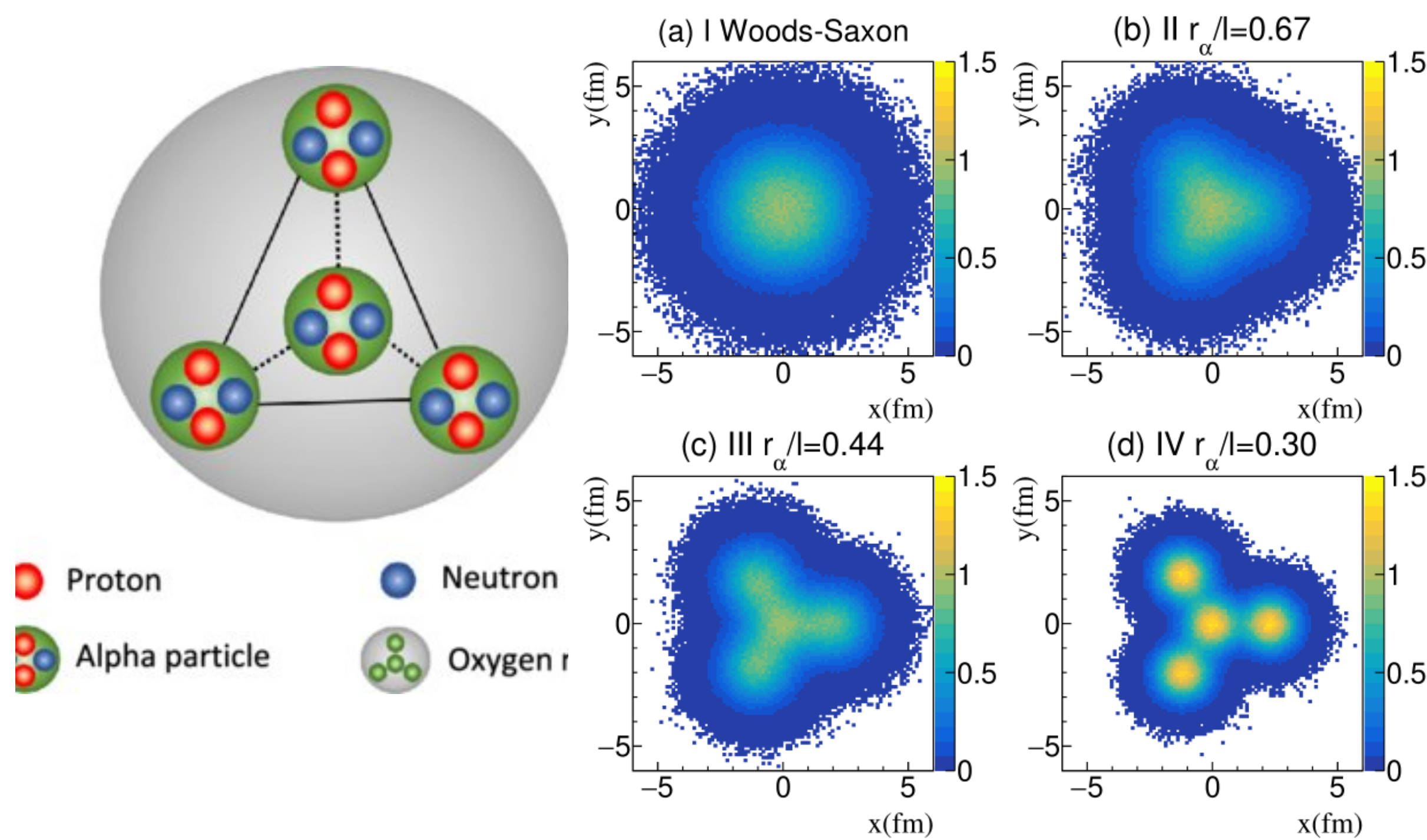


- 超核的产生：超子-核子 (Y-N) 相互作用
 → 中子星状态方程、 $M_{NS} > 2M_{\odot}$ 谜团
- LHC能区中 $\Lambda^3\text{H}$ 超核的产生符合重组模型
- 再次佐证LHC能区 $\Lambda^3\text{H}$ 中 Λ 分离能 B_{Λ} 与RHIC能区存在差异

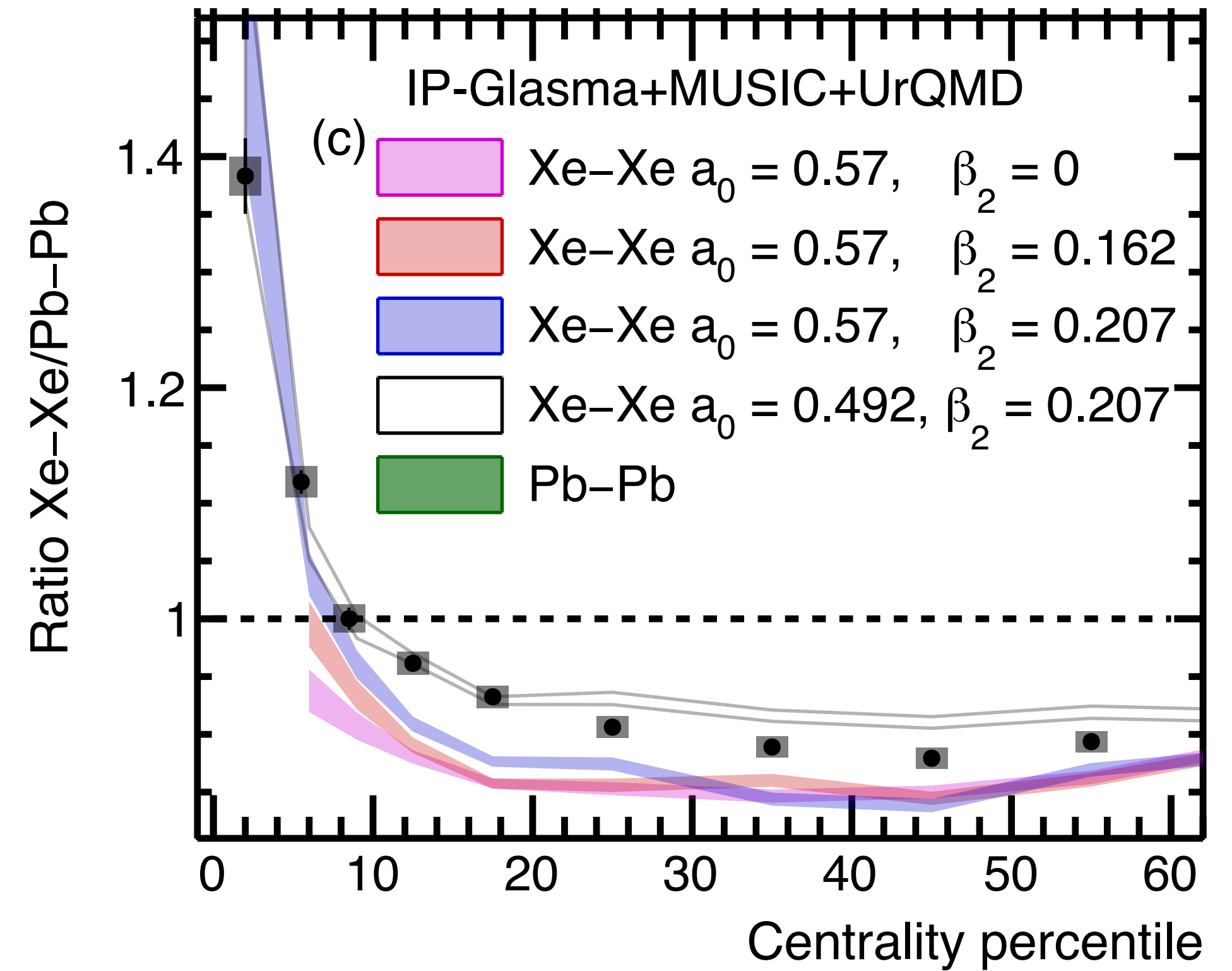


ALICE arXiv:2405.19839, Phys. Lett. B接收

超相对论核碰撞中的核结构



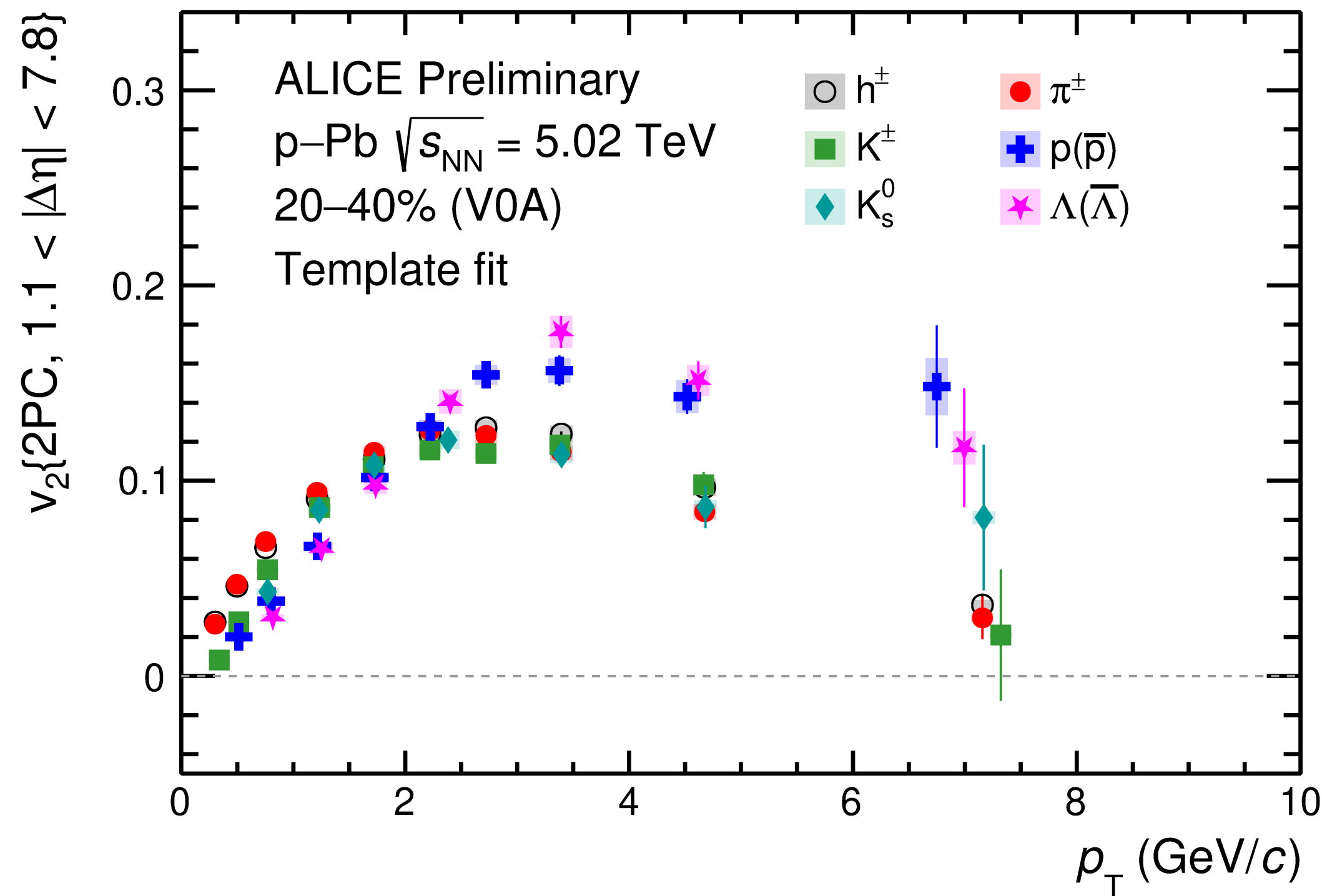
宋慧超等, *PRC109, L0519040*



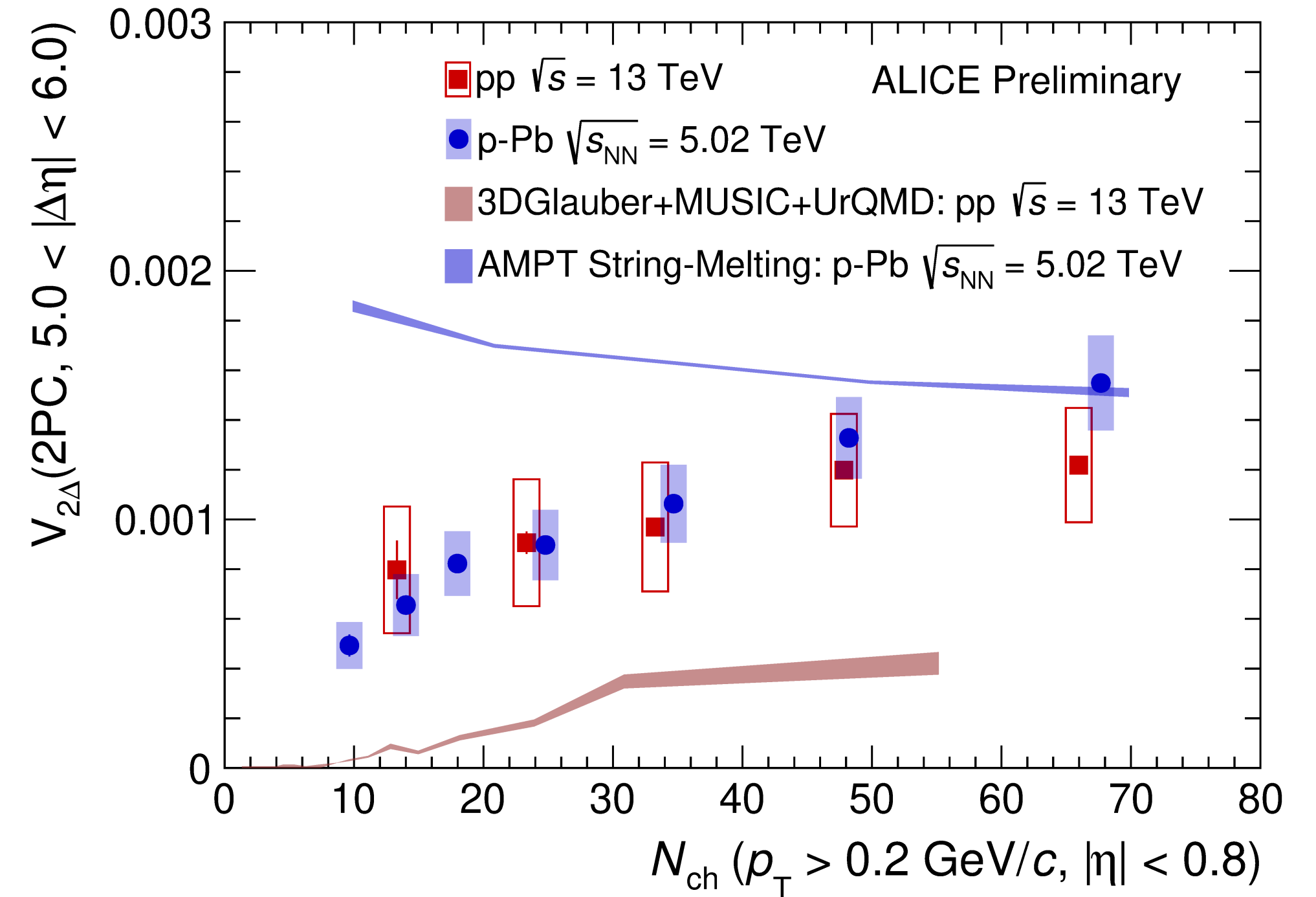
ALICE arXiv:2409.04343
 投稿 *Phys. Lett. B*

- 超相对论核碰撞 — 初态核结构的“快照”
- 对氙核结构的最新实验限定：弥散系数 $a_0 = 0.492$ ，形变参数 $\beta_2 = 0.207$

小系统碰撞中的集体关联



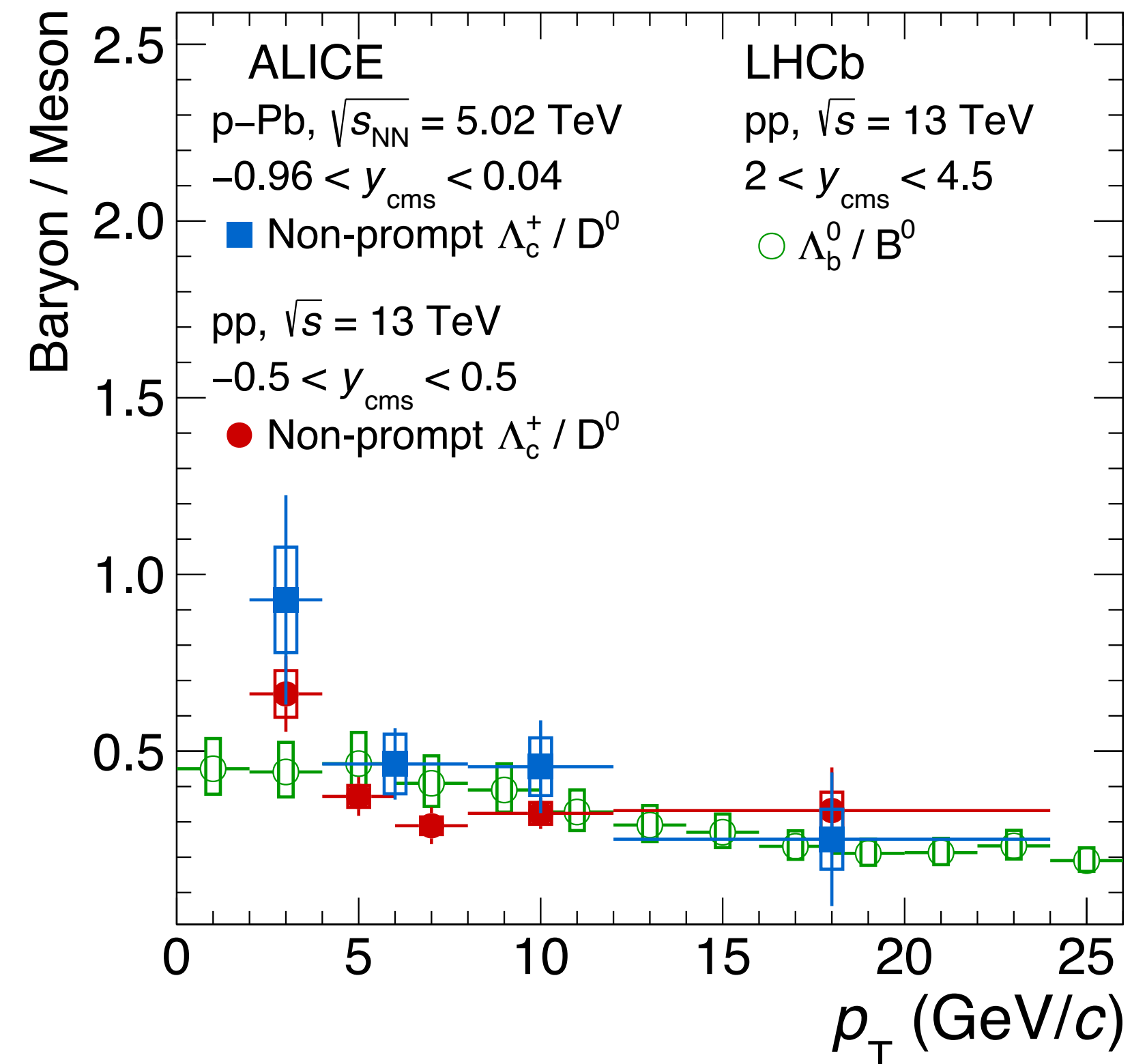
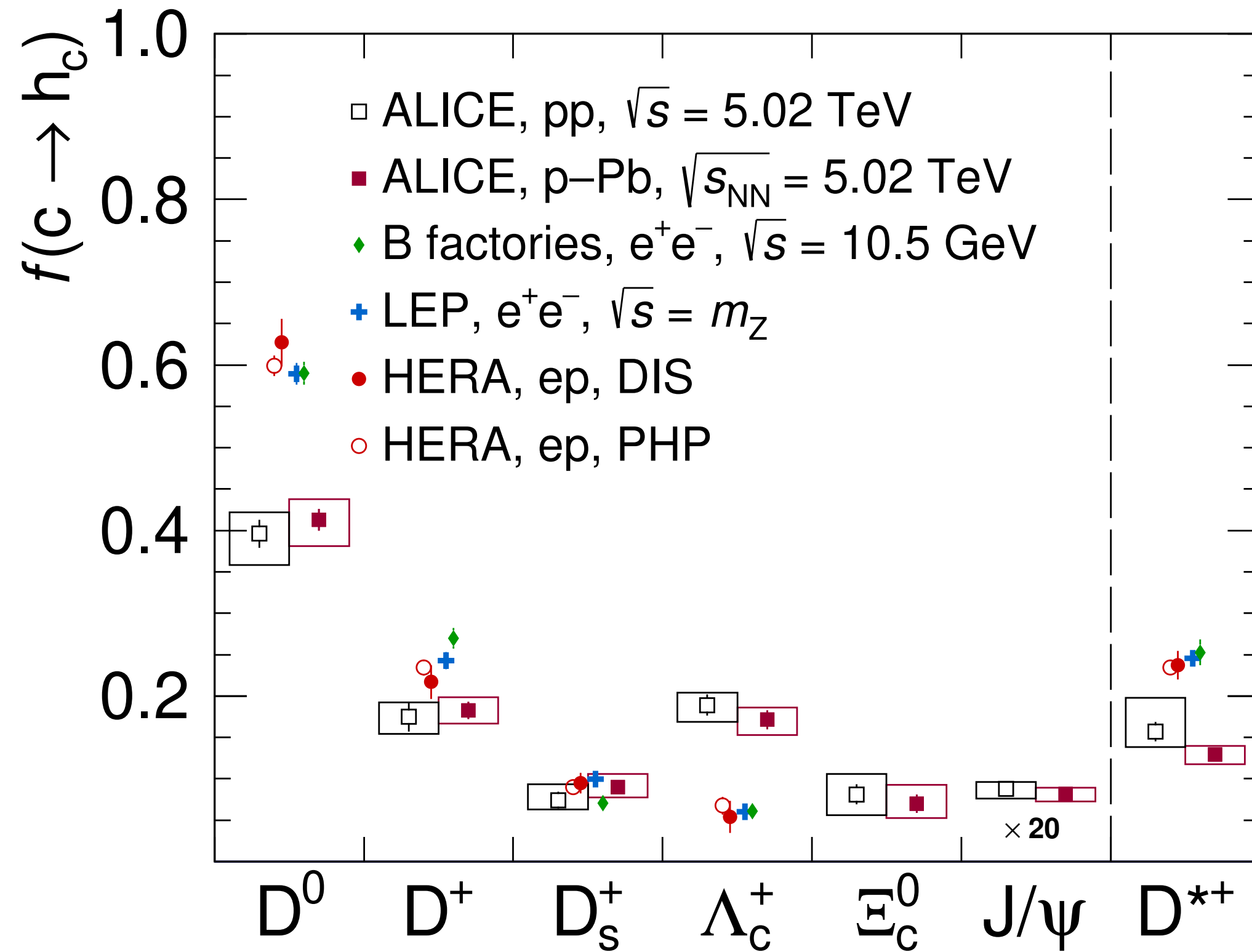
ALI-PREL-543472



ALI-PREL-573662

- 质子-铅核碰撞中的二阶各向异性流参数：低 p_T 的质量序列性与中等 p_T 的重子-介子分组行为 — 暗示了部分子相的贡献
- 超长程集体关联：压低核初态动量关联 — 小系统碰撞末态集体行为源于部分相中的相互作用？

质子-铅核碰撞中重味强子的产生

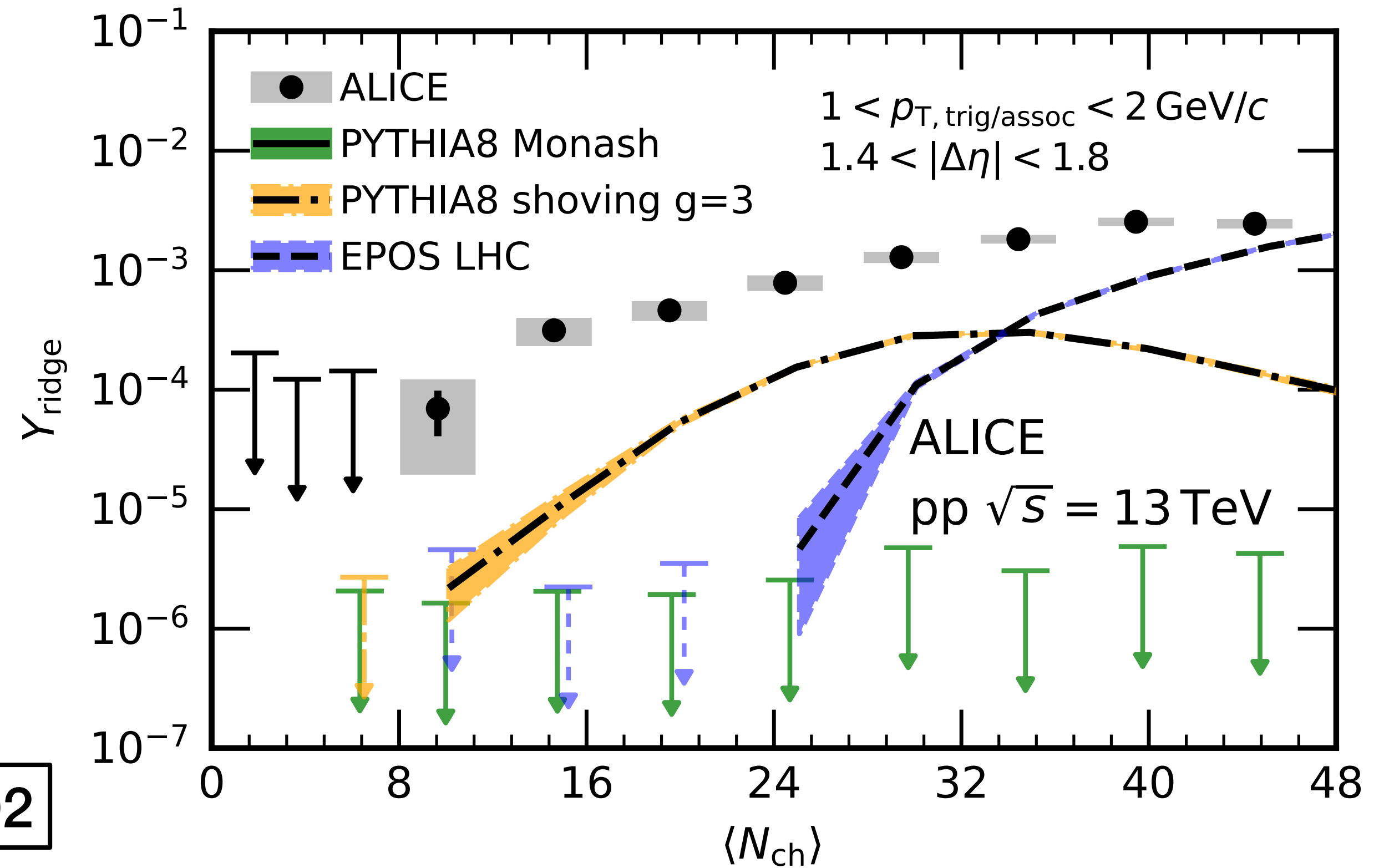
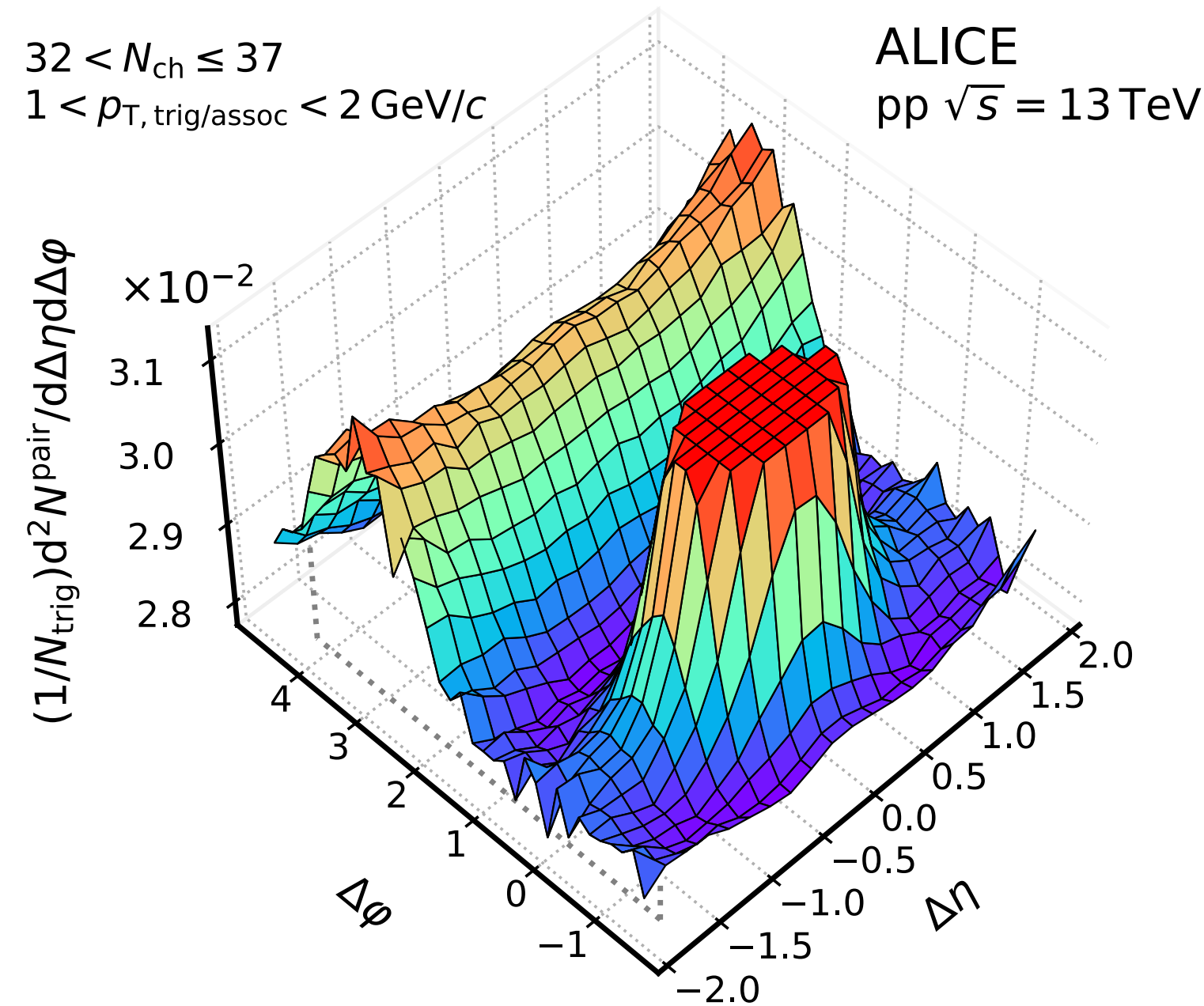


- 强子型小系统（质子-质子、质子-铅核）碰撞中粲夸克强子化行为与正-负电子、电子-质子碰撞存在差异
- 瞬发与非瞬发粲重子-介子比：暗示强子型小系统碰撞中粲、底夸克具有相同的强子化行为

ALICE arXiv:2405.14571
投稿 *Eur. Phys. J. C*

ALICE arXiv:2407.10593
投稿 *JHEP*

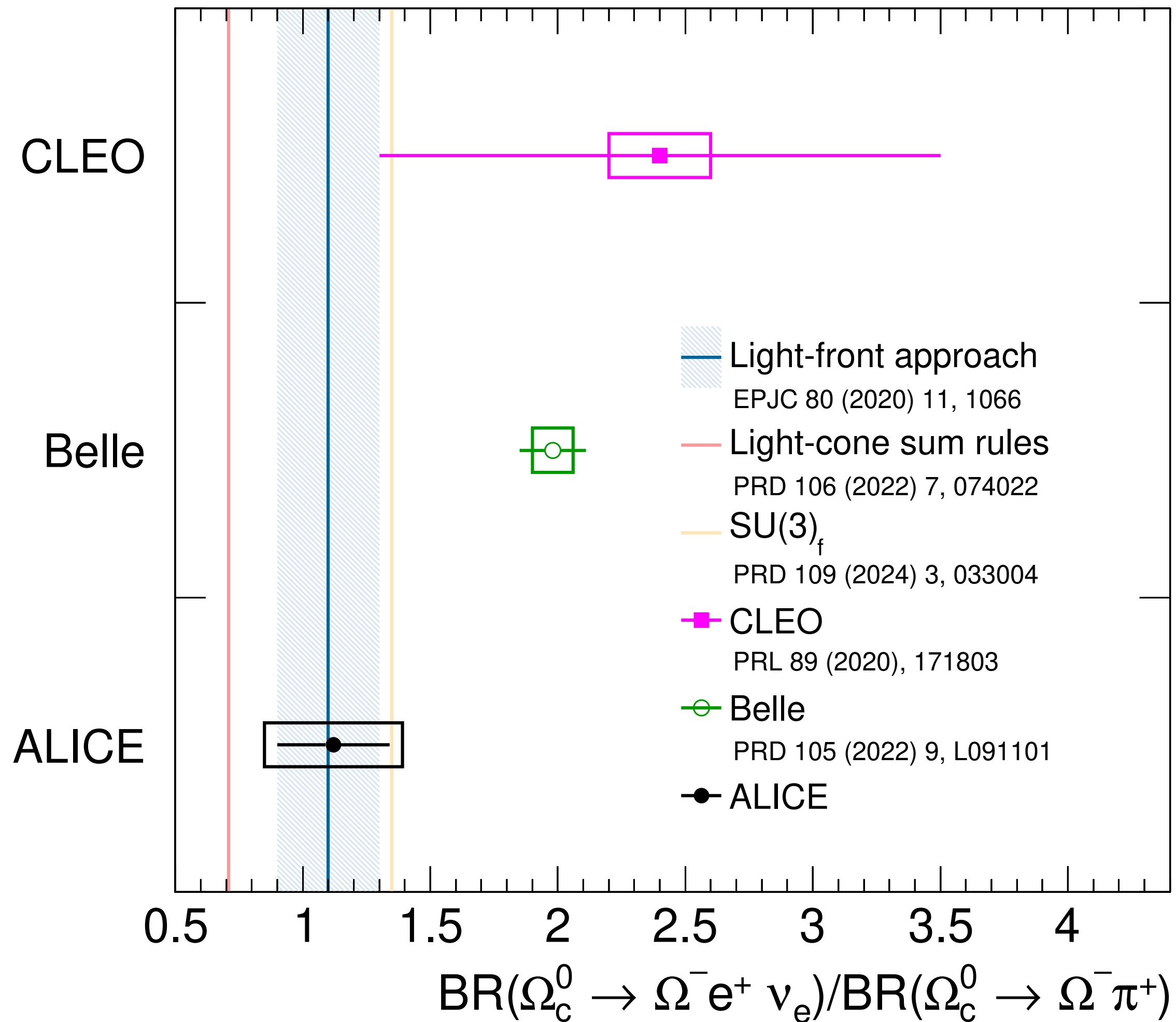
低多重数质子-质子碰撞中的长程关联



ALICE Phys. Rev. Lett. 132 (2024) 172302

- 发现相同事件多重数下强子型小系统碰撞中的长程关联相较于正-负电子对撞的显著增强
- 两类碰撞系统末态粒子的产生行为具有本质差异

奇异粲重子衰变分支比的实验限定



- 对 Ξ_c^0 半轻子与强子衰变分支比的当前最精确实验观测

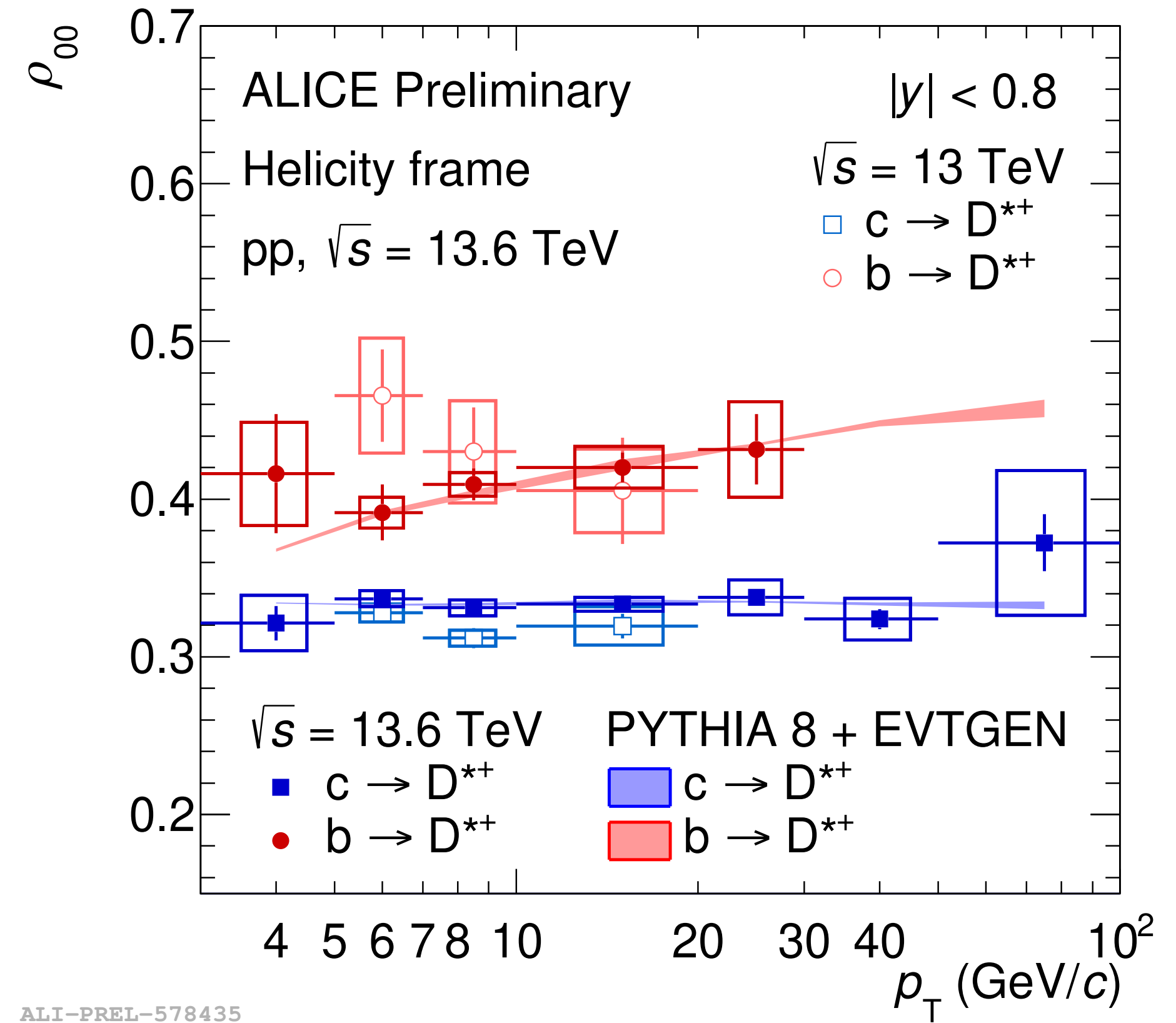
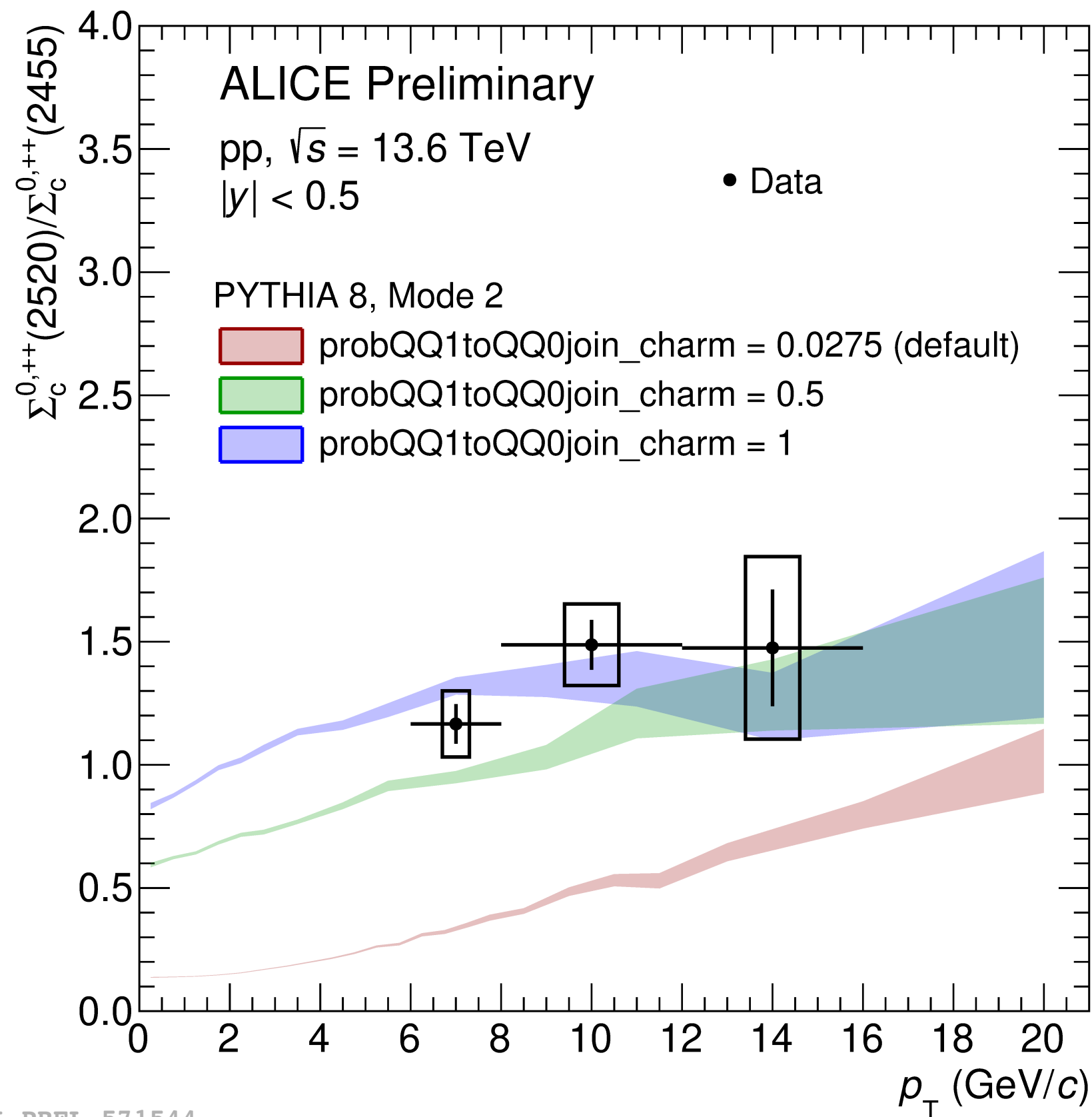
$$\text{BR}(\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^- e^+ \nu_e) / \text{BR}(\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^- \pi^+) = 1.38 \pm 0.14 \text{ (stat)} \pm 0.22 \text{ (syst)}$$

ALICE Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 272001

- 对 Ω_c^0 半轻子与强子衰变分支比的最新实验观测 — 与CLEO和Belle的中心值存在差异

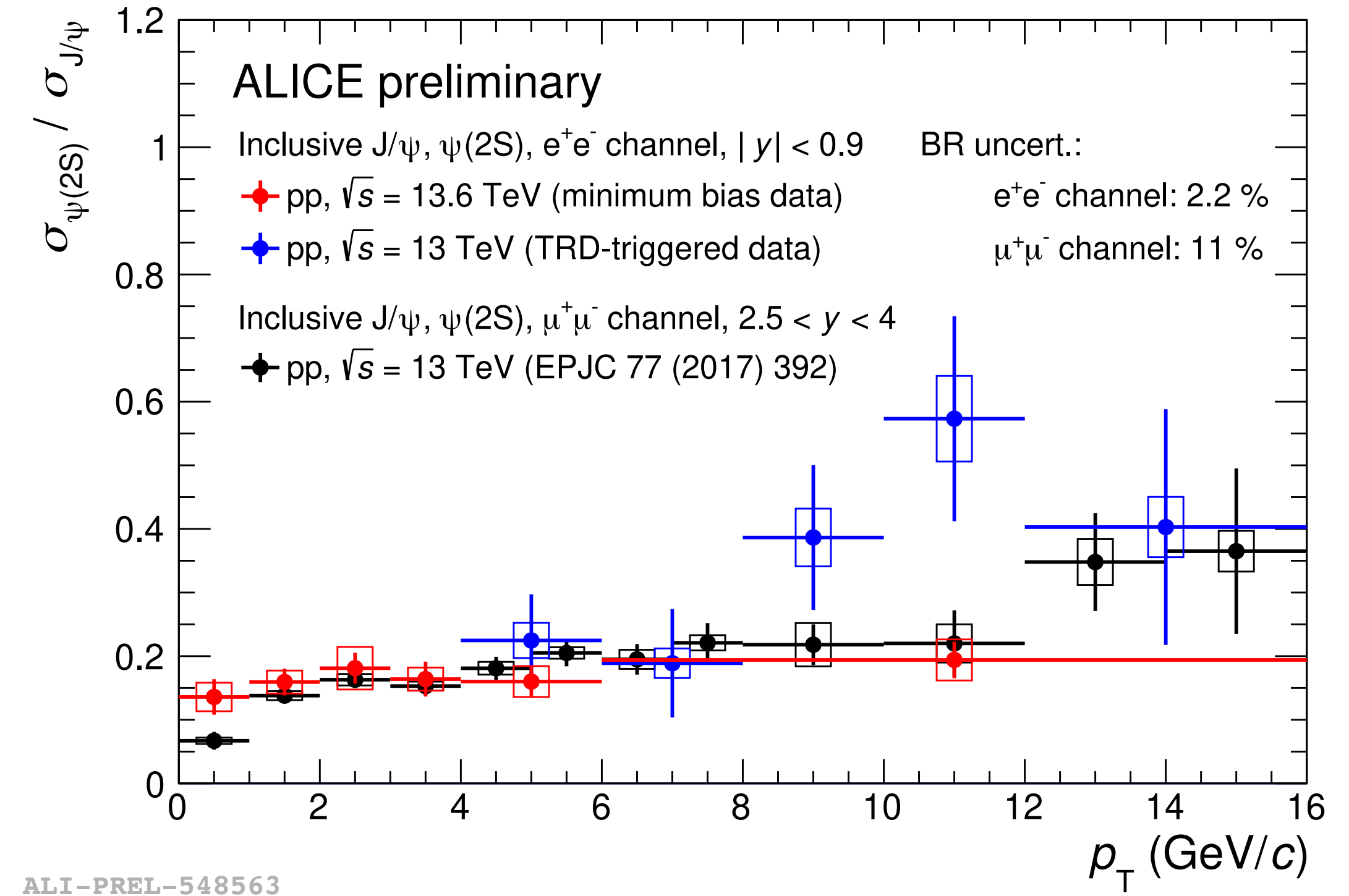
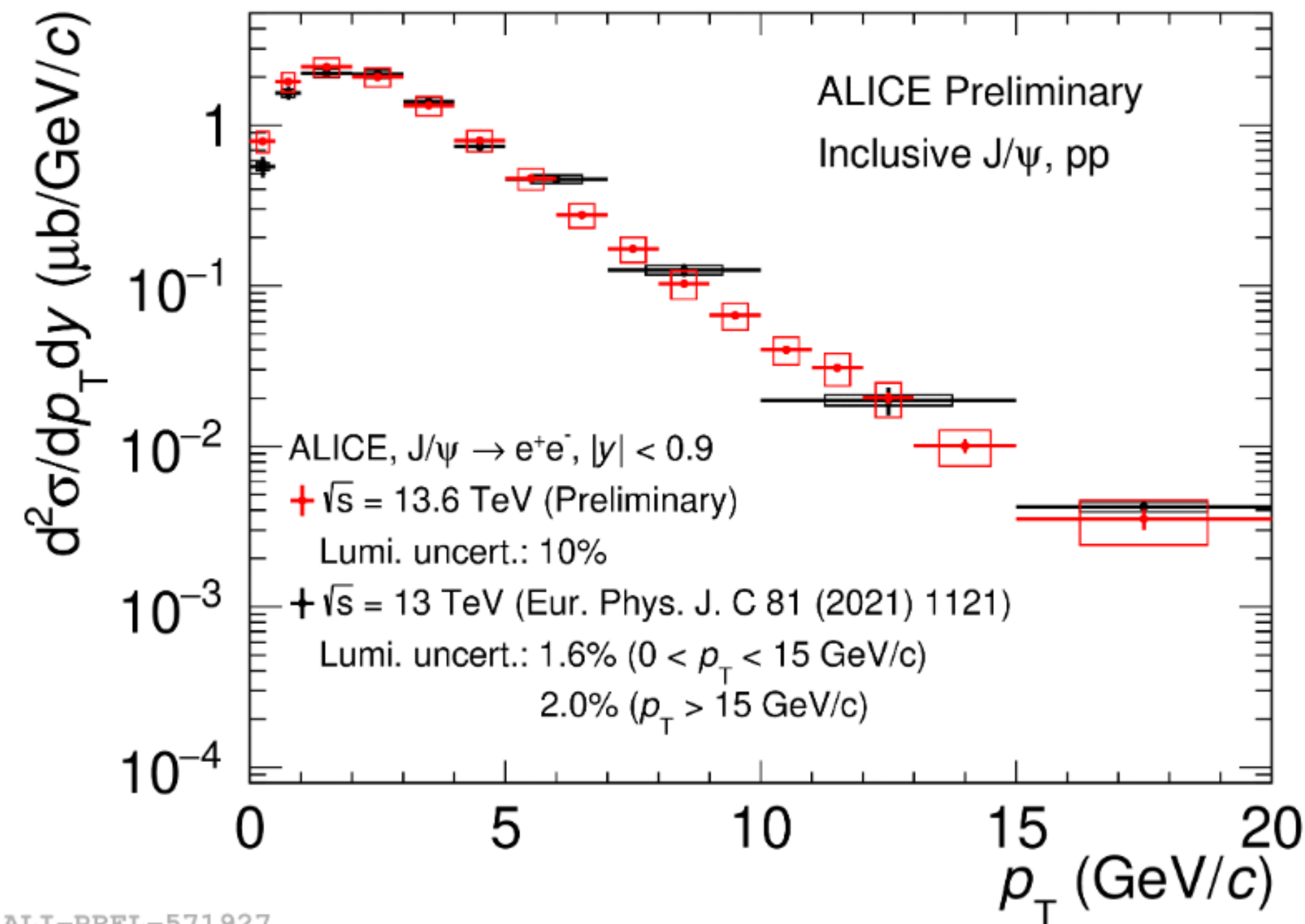
ALICE Phys. Rev. D110 (2024) 032014

ALICE第三期运行: 粲强子的产生



- 暗示了奇异粲重子的产生可能具有自旋依赖性
- 质子-质子碰撞中 D^{*+} 的自旋排列 — 重核碰撞的参考基准

ALICE第三期运行: 粲夸克偶素的产生



ALI-PREL-548563

ALI-PREL-571927

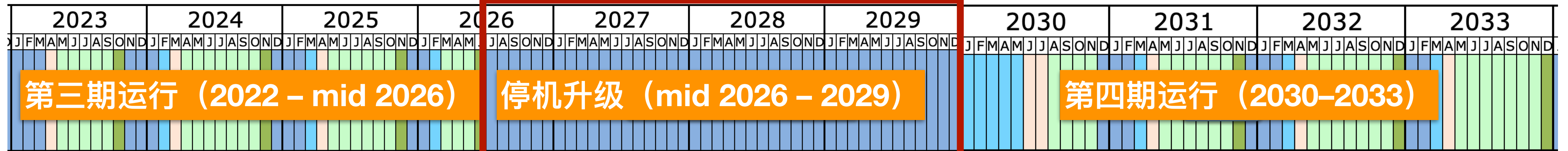
- ALICE第三期运行: 更大数据统计量与更高观测精度
➔ 重夸克偶素的产生特性的深入研究

中国ALICE二级计算网格节点



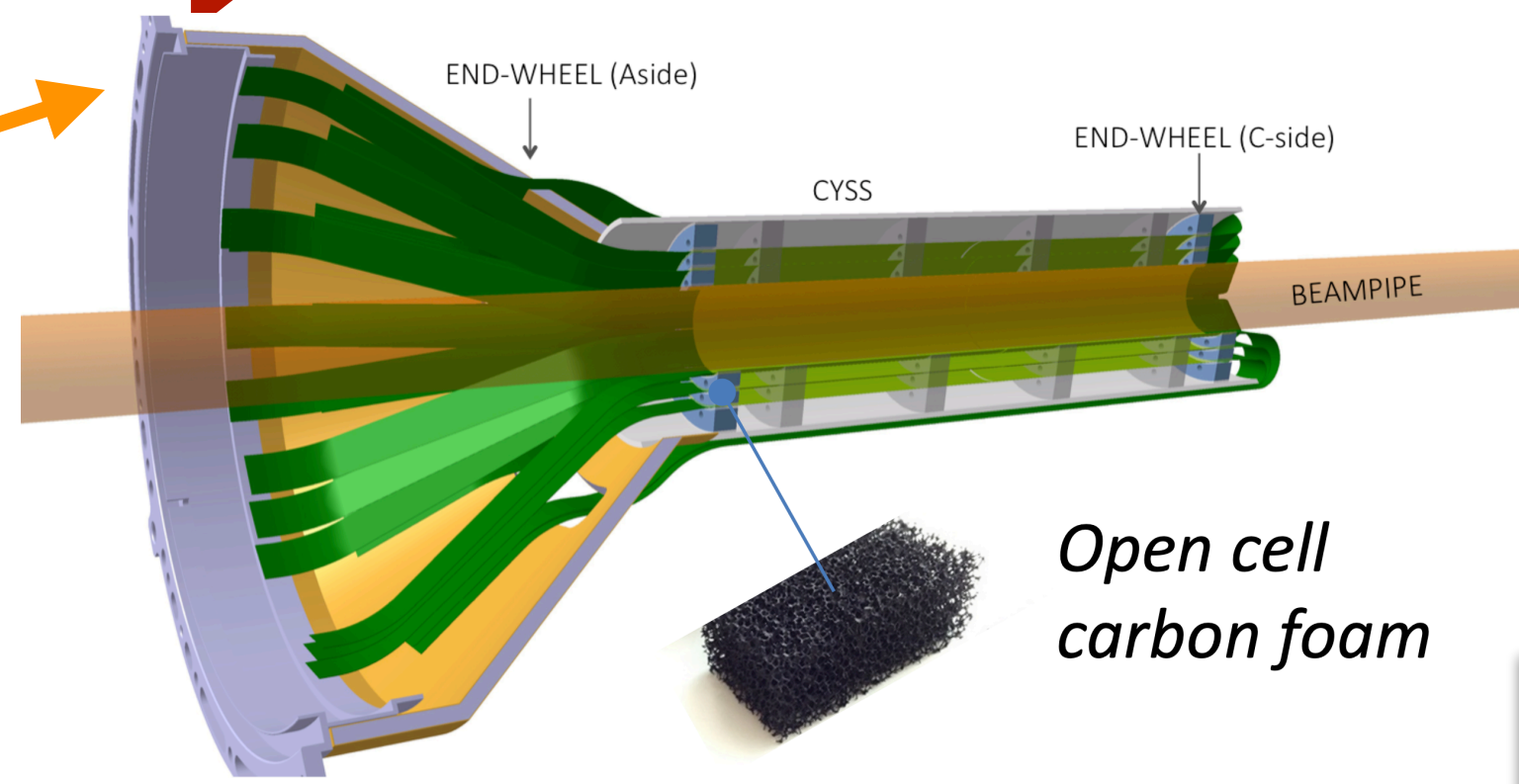
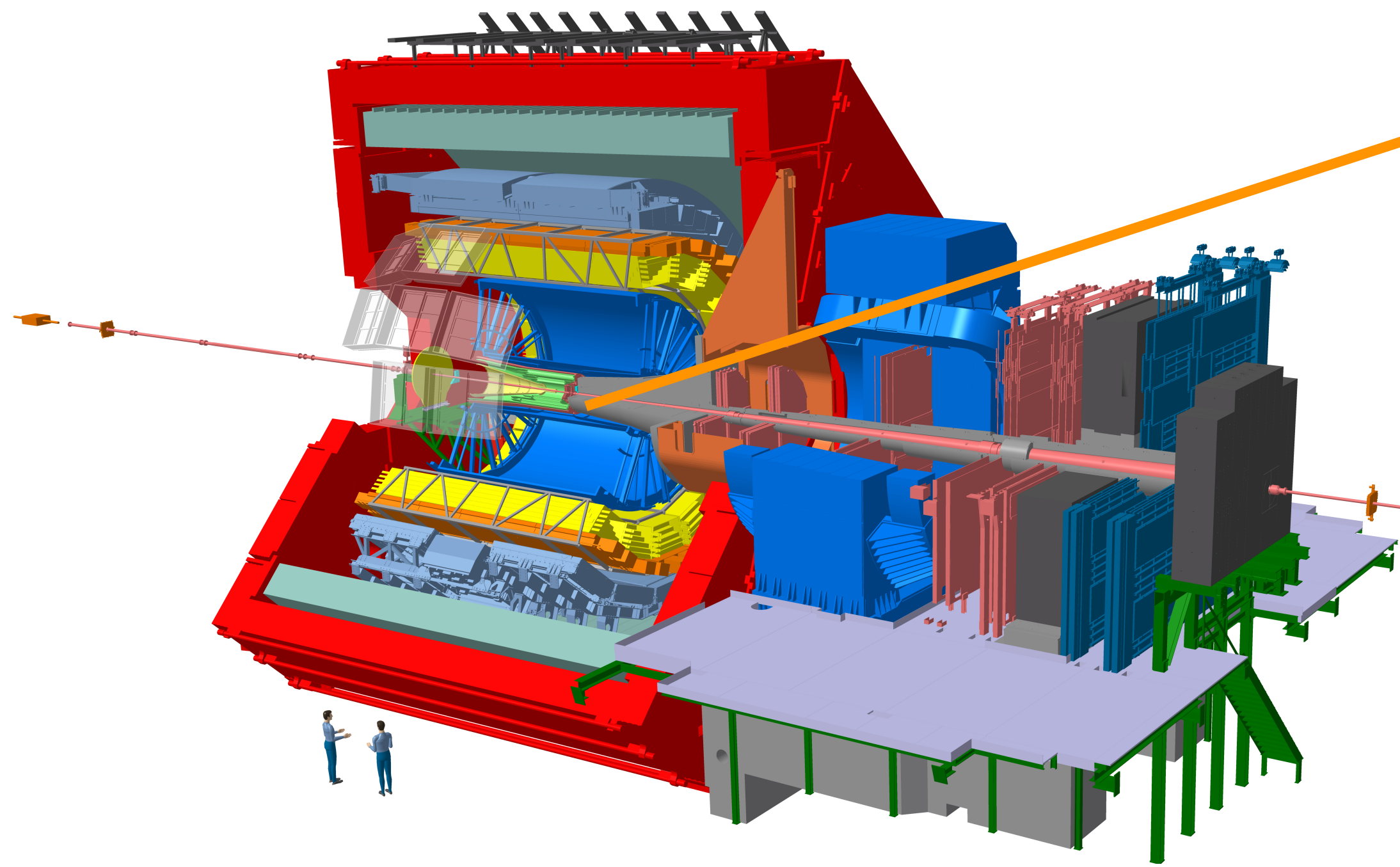
- 由中科院高能所托管
- 当前规模：800个独立计算核心、1 PB存储容量
- 规划规模：1000个独立计算核心、2 PB存储容量

ALICE探测器升级



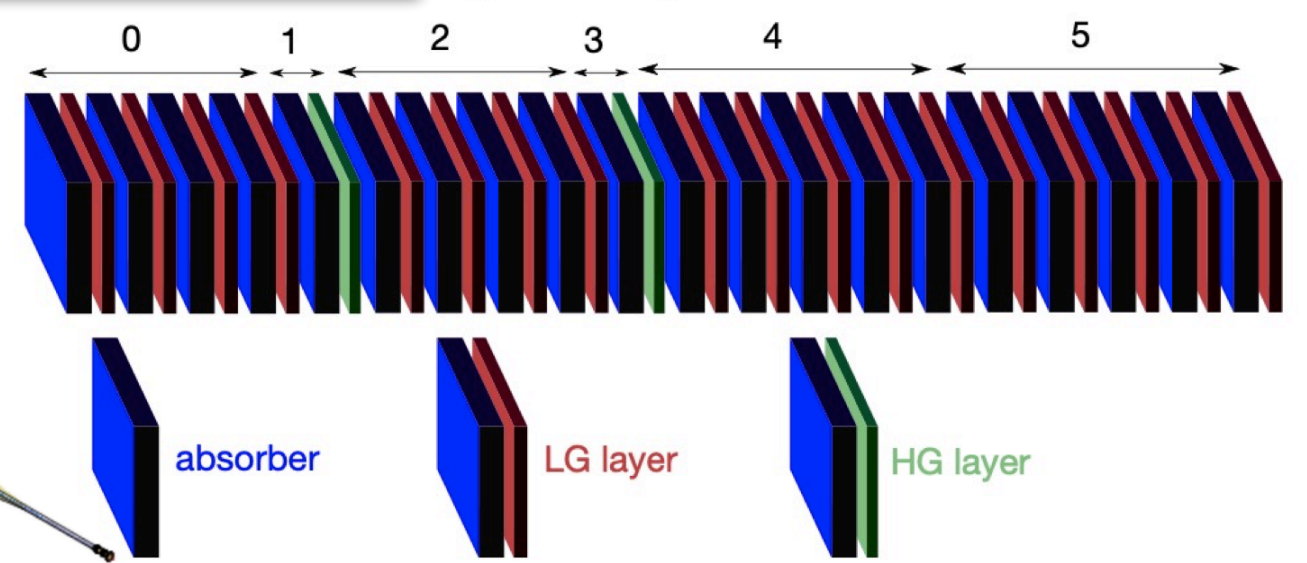
ALICE探测器 v2

ALICE探测器 v2.1



The 3rd generation inner tracking system (ITS3)

Forward calorimeter (FoCal)



详见殷中宝报告：11月17日，9:45-10:10

ALICE第三代探测器

2010-2013

2015-2018

2022-2025

2029-2032

2035-2038

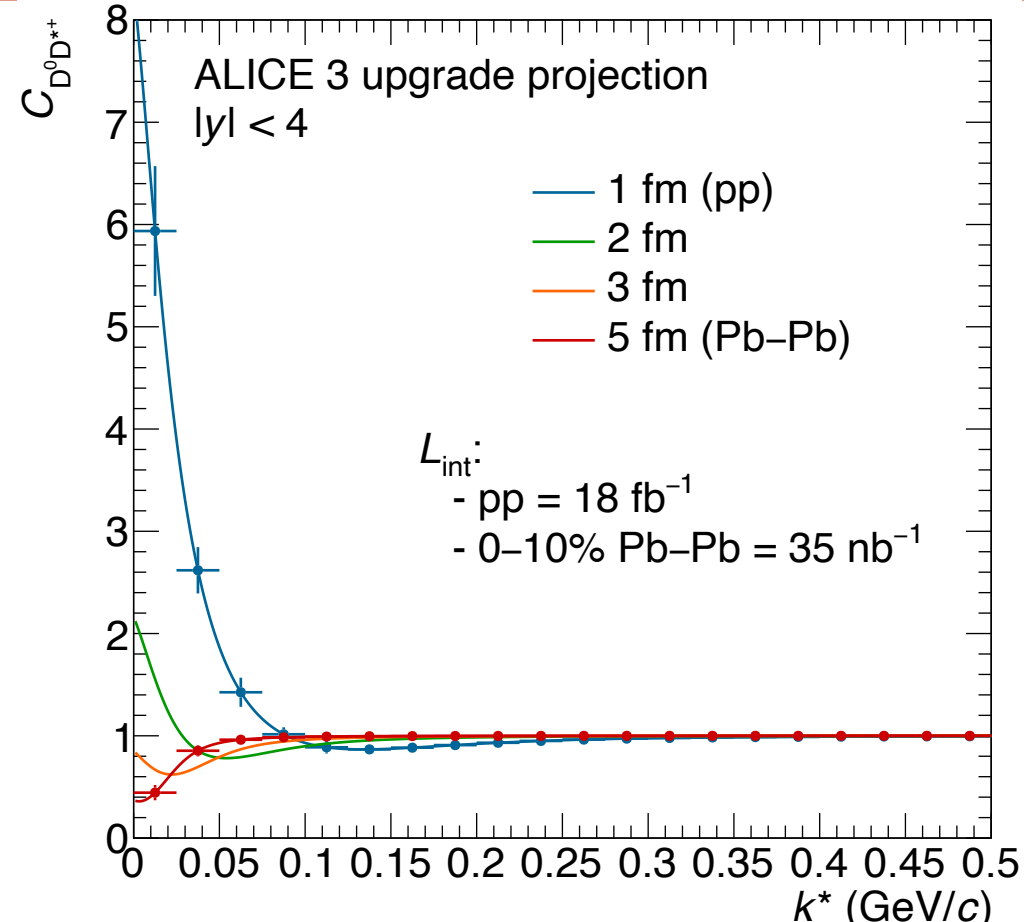
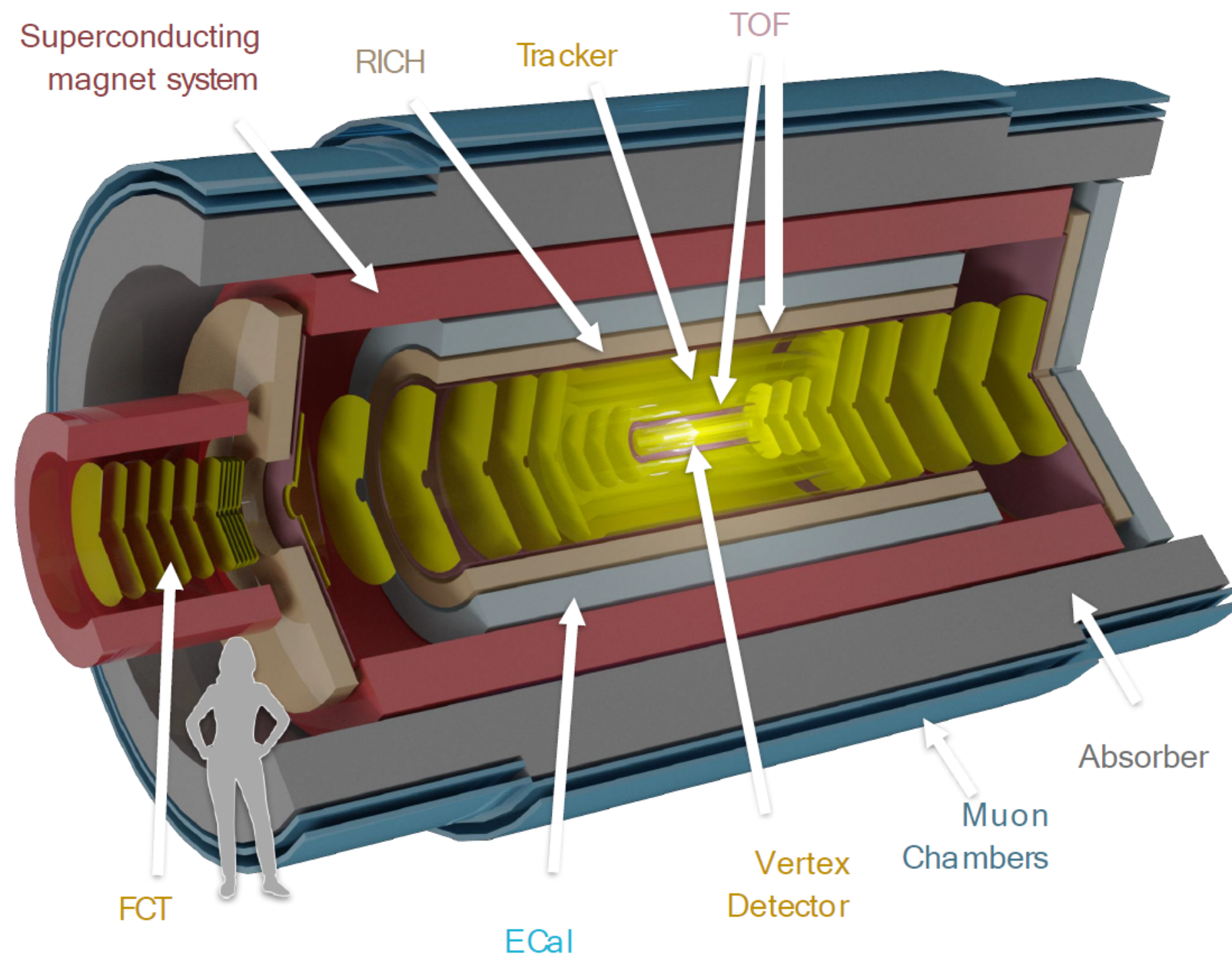


ALICE 3
Letter of intent

CERN-LHC-2022-009
(HCC-4-038)
4 November 2022

A next-generation heavy-ion experiment at the LHC

ALICE arXiv:2211.02491



详见殷中宝报告：11月17日，9:45-10:10

感谢国家自然科学基金委、科技部、中科院、教育部等的大力支持!