

ALICE中国组2025年研究进展

华中师范大学 殷中宝
(代表ALICE中国组)



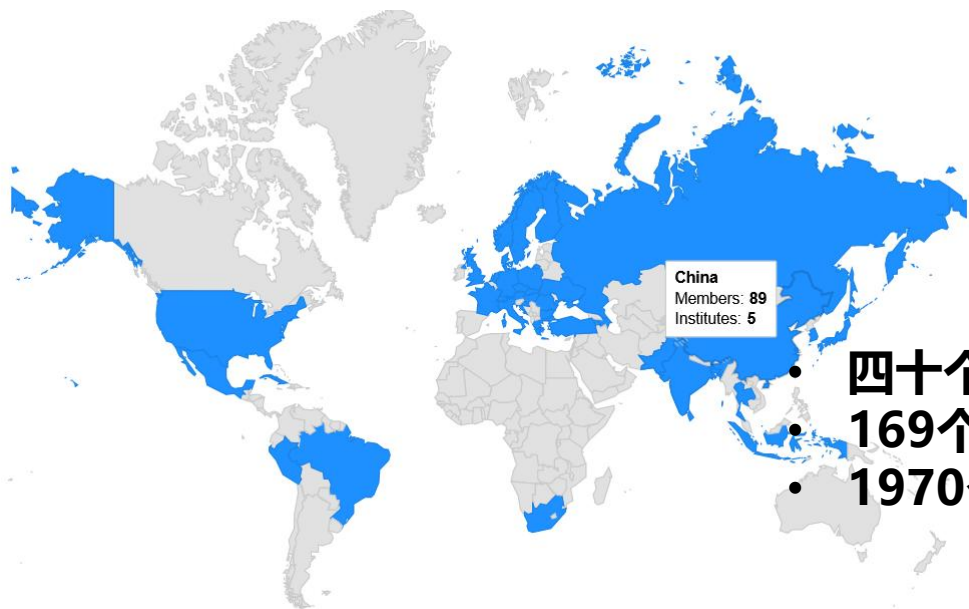
第11届中国LHC物理研讨会，河南新乡，2025年10月30日-11月2日

汇报提纲

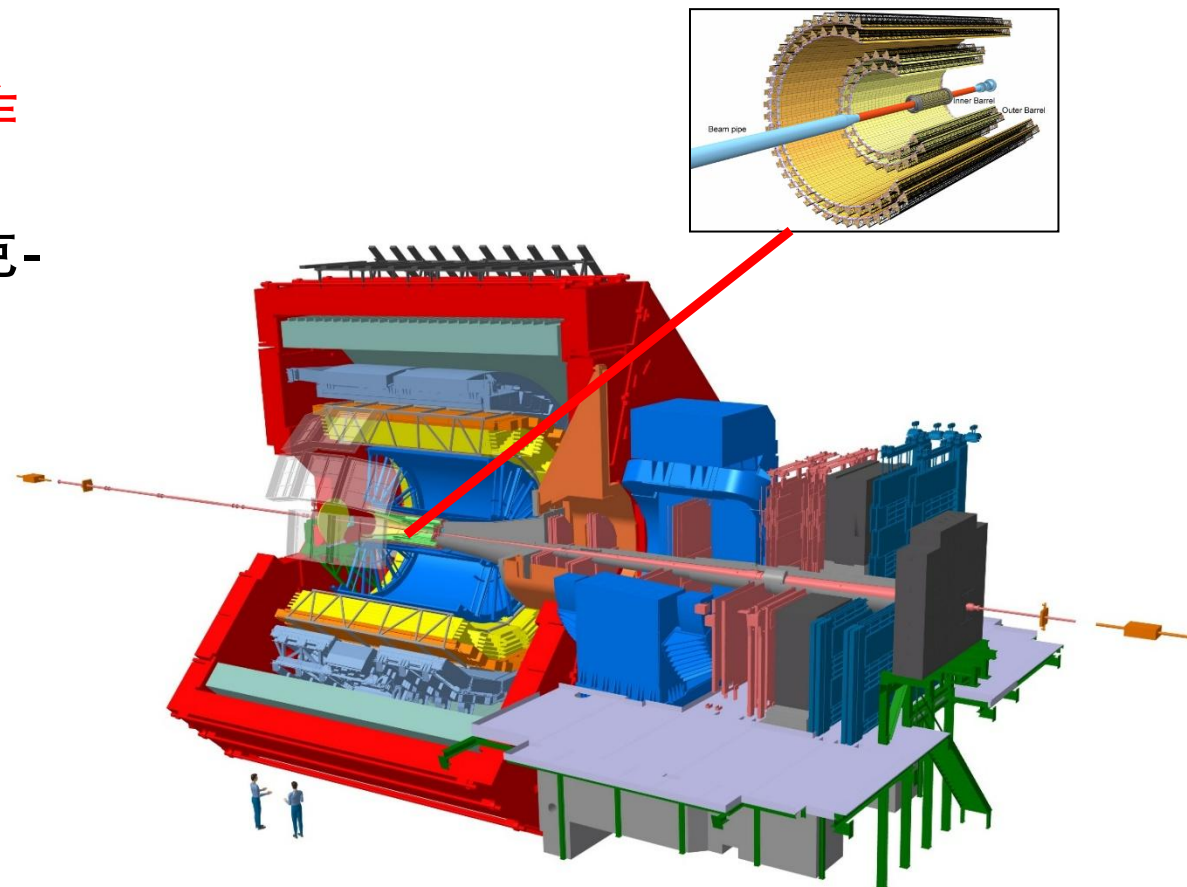
- ALICE实验概况
- ALICE中国团队情况
- 物理研究成果
- 探测器升级和服务工作
- 总结

ALICE实验概况

- 大型离子对撞机实验（ALICE）致力于研究迄今为止实验室能达到的最高能量密度下的**强相互作用物质（夸克-胶子等离子体）**的物理特性。
- 在大爆炸后的前几个微秒，宇宙被认为处于夸克-胶子等离子体状态。
- ALICE实验研究对认识宇宙早期的形态及其演化具有重要的意义。



- 四十个国家
- 169个研究机构
- 1970个成员



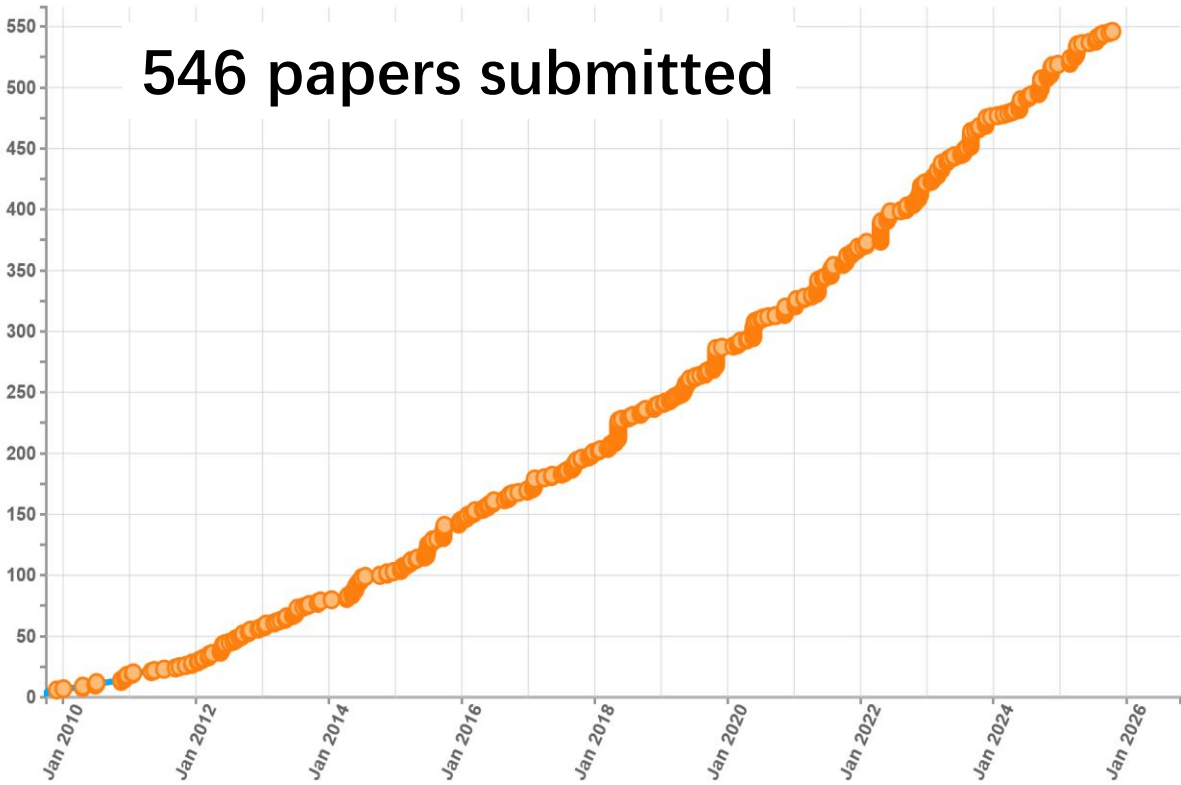
- 应对极高带电粒子多重数
- 在宽动量范围内具有优异的带电粒子径迹重建与粒子身份鉴别能力

ALICE实验运行状况

- 数据采集情况

碰撞系统	碰撞能量 $\sqrt{s_{NN}}$	目标采集数 据量	实际采集数 据量
p-O	9.62 TeV	2.5 nb ⁻¹	7.2 nb ⁻¹
O-O	5.36 TeV	0.5 nb ⁻¹	5.0 nb ⁻¹
Ne-Ne	5.36 TeV	0.1 nb ⁻¹	0.8 nb ⁻¹
pp	13.6 TeV	50 pb ⁻¹	已取46 pb ⁻¹
Pb-Pb	5.36 TeV	2.1 nb ⁻¹	11月中旬开始取数

- 2024年11月-2025年10月
ALICE发表文章37篇



ALICE中国团队



成员单位5个

- 华中师范大学
 - 张晓明、毛亚显、裴骅、殷中宝、周代翠、黄光明、王亚平、王东、杨苹、高超嵩、刘军
- 中国原子能科学研究院
 - 李笑梅、阮锡超，赵明锐，李沛玉，贾世海，卢志永
- 复旦大学
 - 马余刚、张松、寿齐烨、朱剑辉、何万兵、钟晨、马维虎
- 中国科学技术大学
 - 唐泽波、张一飞、白晓智、赵雷、秦家军、李嘉铭、陈楷仁
- 中国地质大学（武汉）
 - 彭忻烨、候永珍

新准成员单位3个

- 中国科学院近代物理研究所
 - 赵宇翔、梁羽铁
- 山东大学
 - 杨钱、徐庆华、杨驰
- 中国科学院大学
 - 谢冠男

年度ALICE合作组任职情况

- 物理工作大组召集人：寿齐烨（CF）、白晓智(DQ)、彭忻烨(HF)
- 会议委员会委员：毛亚显
- 毕业生任物理分析组召集人：张彪、吴文雅

M&O人员：15人（占比2.6%）

物理研究成果

- 夸克物质的性质研究

- 软、硬探针
- 集体运动
- 初始条件
- 末态强子相互作用

- 夸克物质的形成边界

- 小碰撞系统中的类夸克物质行为

- 强相互作用的特性：微扰、非微扰QCD

- 重味强子产生机制
- 强子-强子相互作用

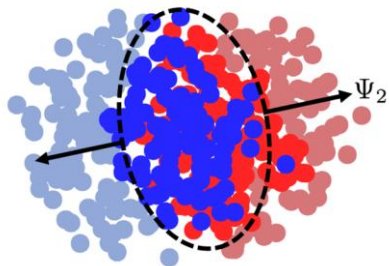
- ALICE中国主导分析或有重要贡献发表（包括已投稿）的论文12篇，占比32%，包括：

- Nature Communications 1篇
- Physical Review Letters 2篇

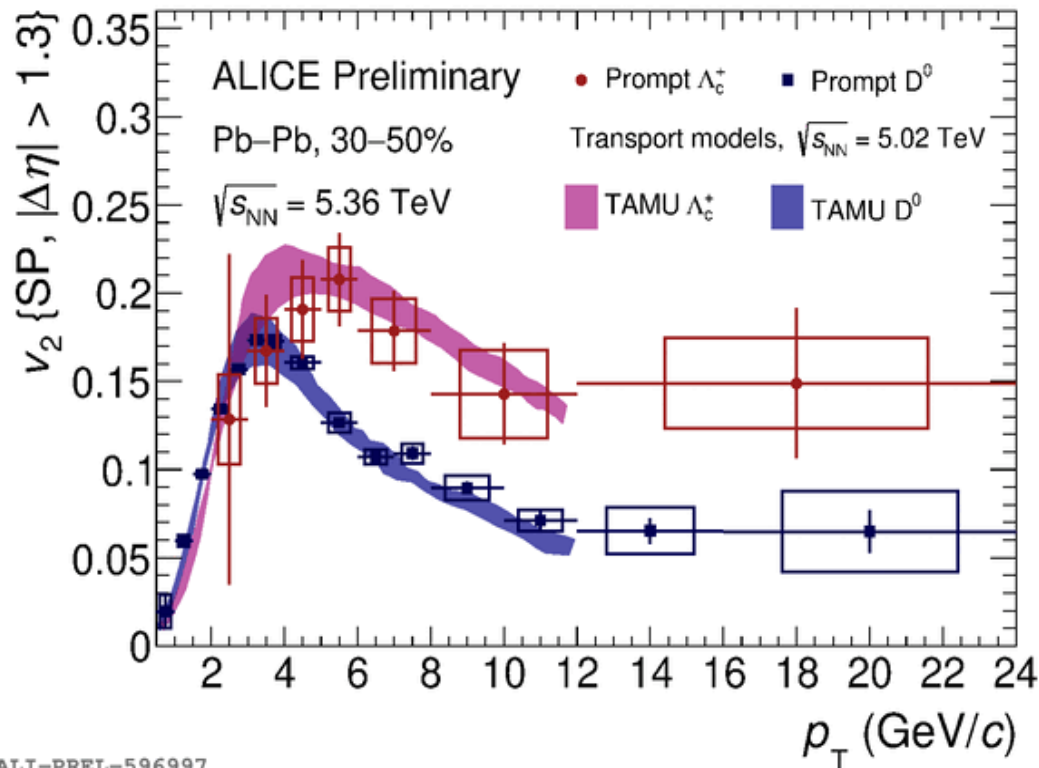
- 论文草稿6篇

- 参加大型国际、国内会议，如Quark Matter, EPS-HEP等，做学术报告40余次

亮点成果：重味重子椭圆流



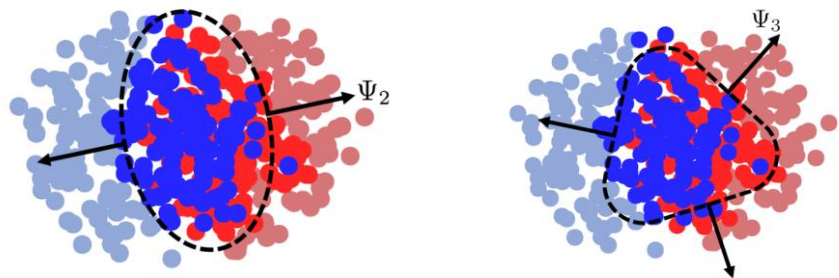
$$\frac{dN}{d\varphi} \propto 1 + \sum_n 2v_n \cos n(\varphi - \Psi_n)$$



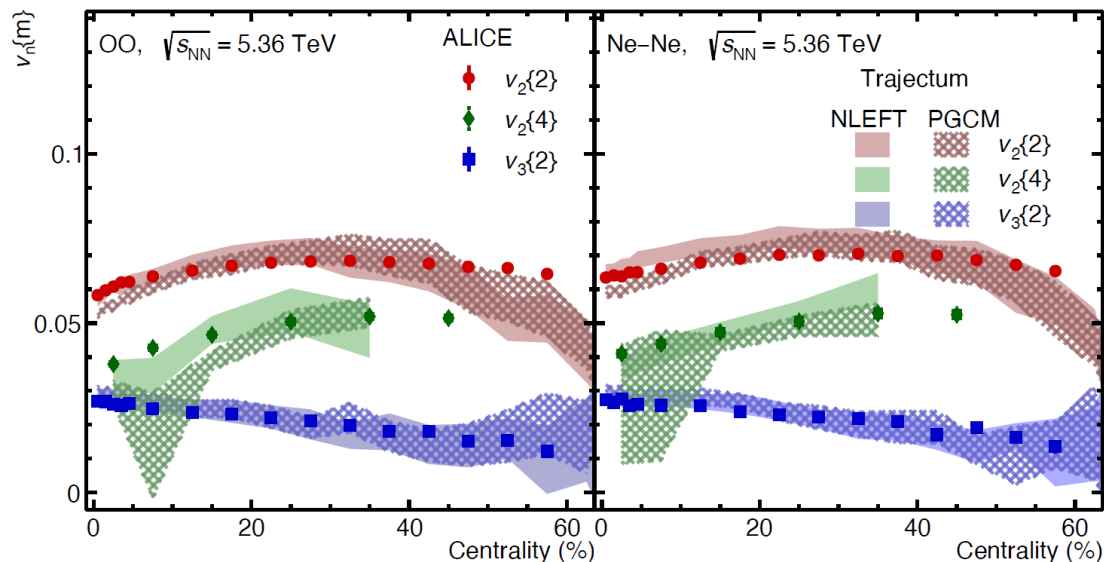
ALI-PREL-596997

- 最早观测到粲重子在重离子碰撞的集体行为
- 最先发现粲夸克重子与介子椭圆流在中等和高横动量的差异
- 进一步证实在LHC能区，粲夸克在夸克物质中的热化现象，及其夸克并合强子化机制
- 获评Quark Matter'25会议亮点

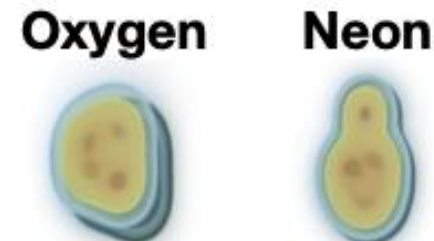
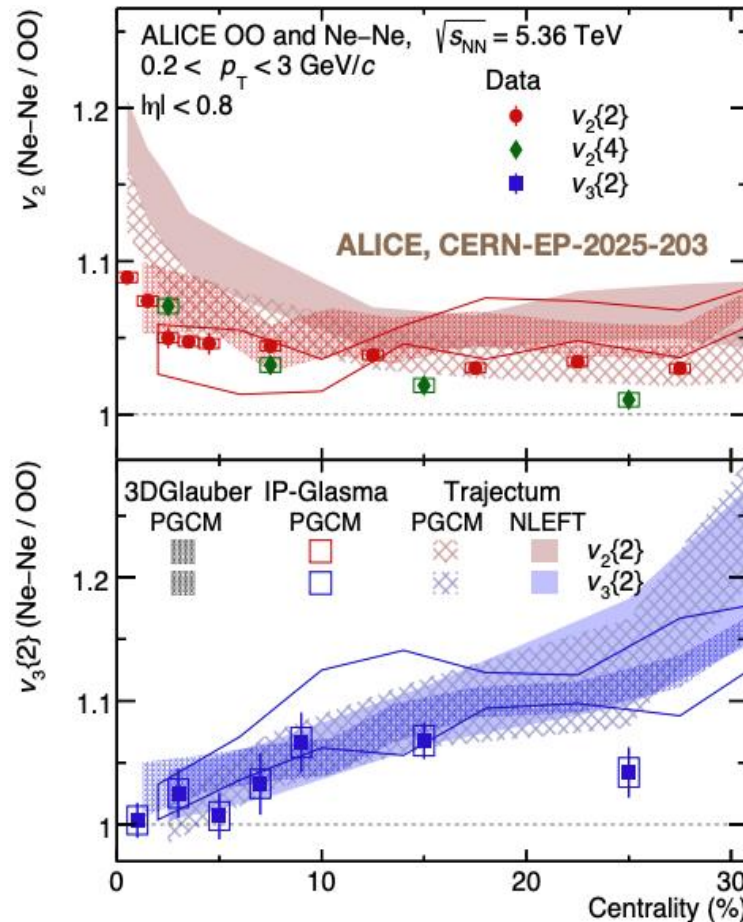
亮点成果：轻离子碰撞中集体运动行为



arXiv:2509.06428, submitted to PRL

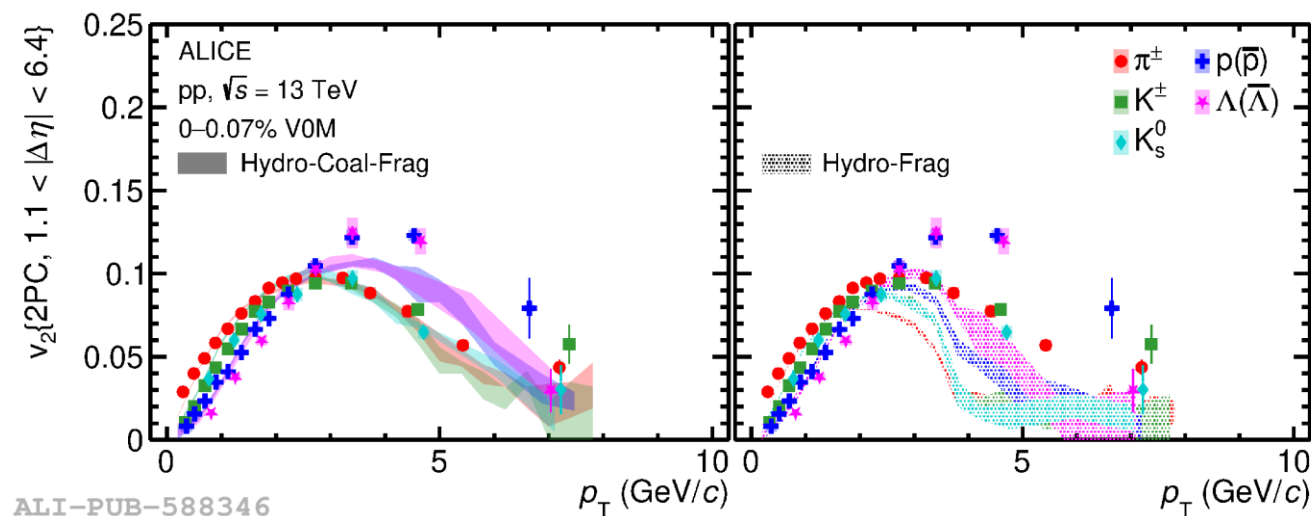
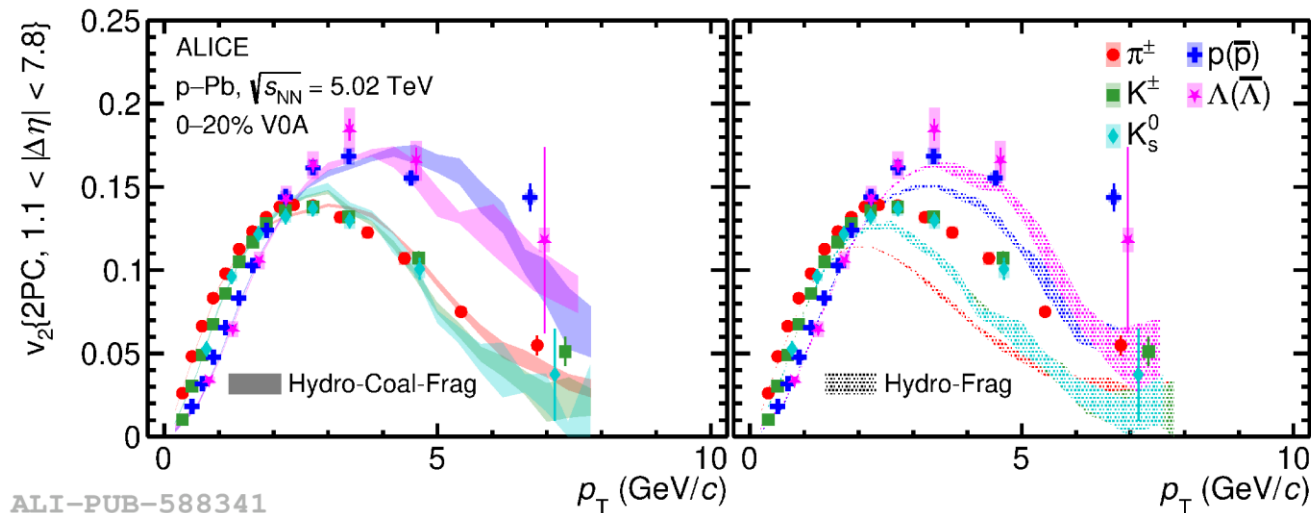


- 率先分析了两种轻离子碰撞系统中带电粒子的椭圆流与三角流。



- 研究发现，由于核几何结构的差异，中心氖-氖碰撞中的 v_2 较氧-氧碰撞呈现显著增强。
- 包含 ^{16}O 与 ^{20}Ne 核结构特征的流体力学模型计算结果与实验数据高度吻合。

亮点成果：小系统集体运动行为

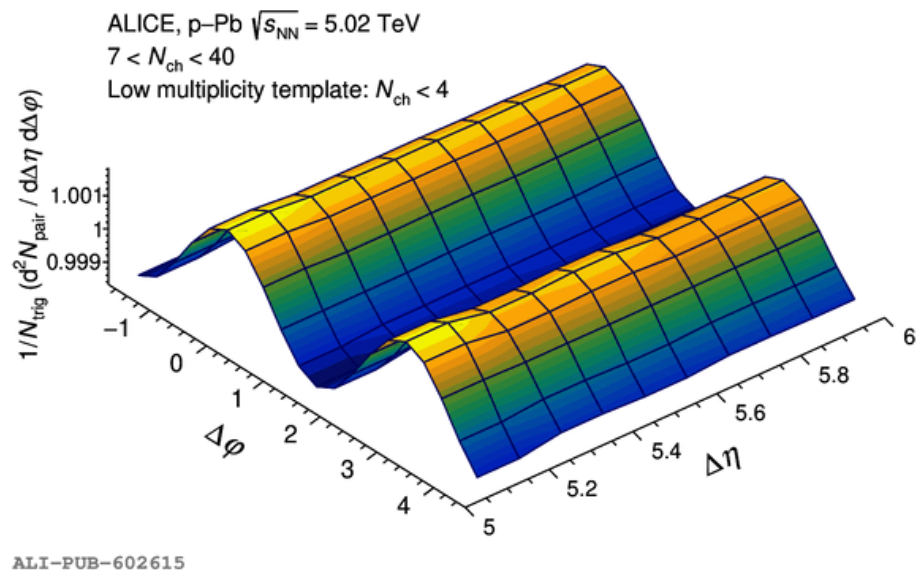


arXiv:2411.09323, accepted by Nature Communications

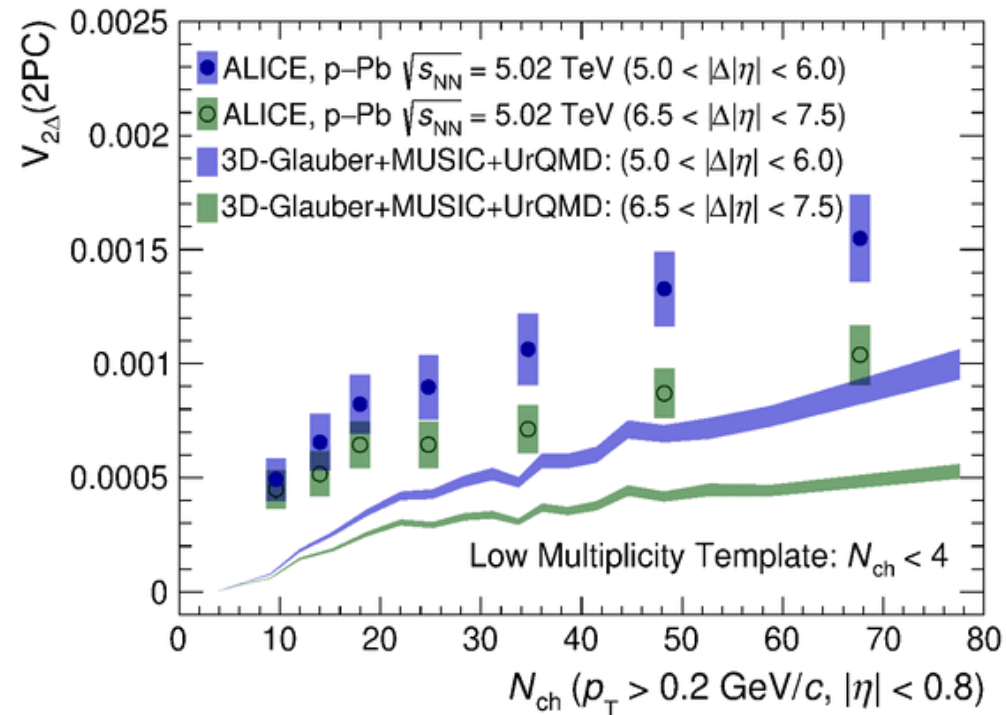
- 基于p-Pb 5.02 TeV和pp 13 TeV对撞数据，采用目前最先进的模版拟合（template fit）方法，精确测量了多种可鉴别粒子的椭圆流
- 显著的椭圆流、清晰的质量排序和重子介子分组，预示着**小系统中存在部分子层次的集体运动**

亮点成果：小系统中的超长程方位角关联

arXiv:2504.02359, submitted to PRL



ALI-PUB-602615

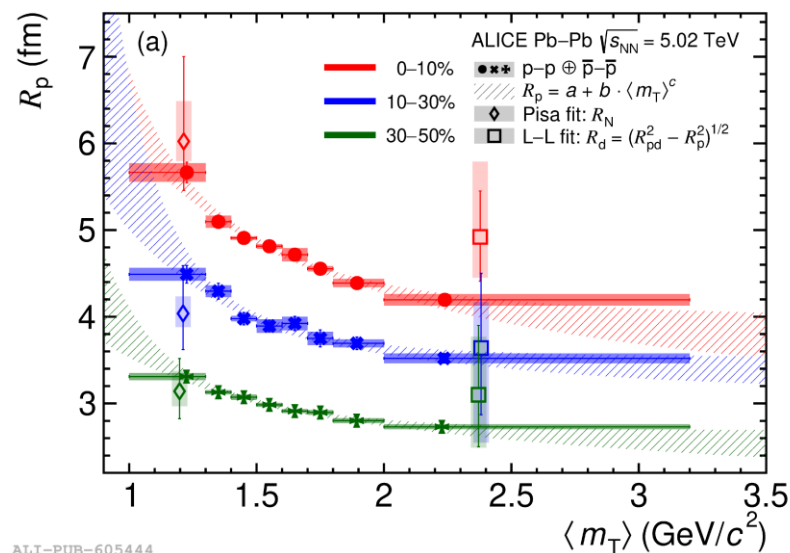


ALI-PUB-602630

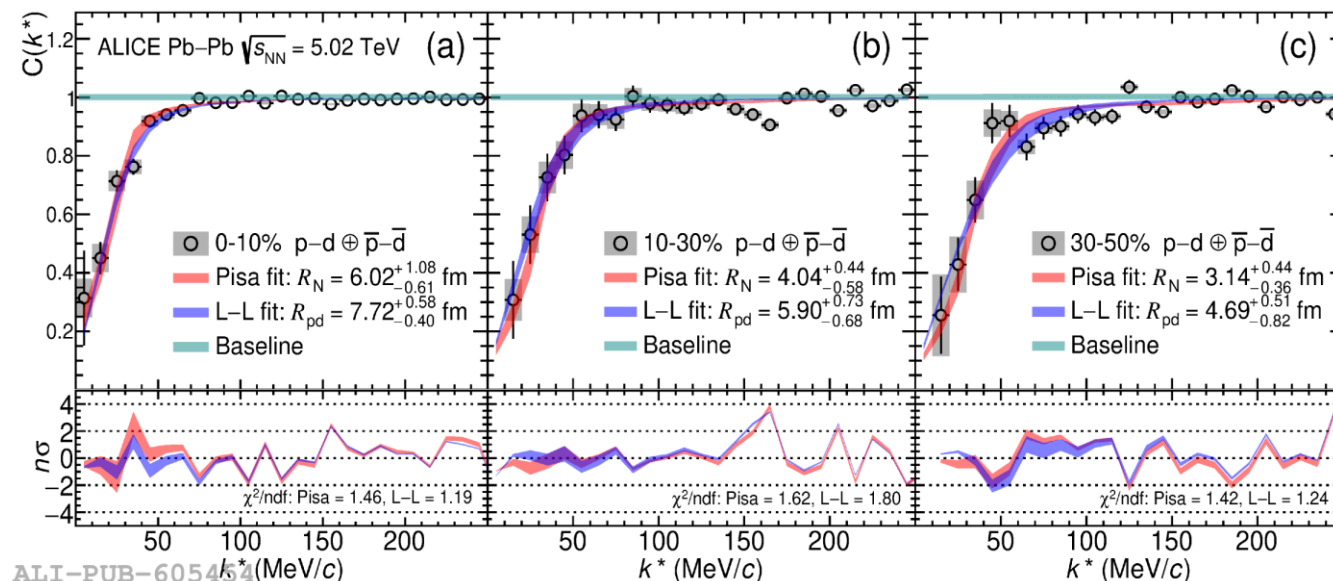
- 首次在小系统中发现超长程 ($|\Delta\eta|$ 达5.0-7.5) 双粒子方位角关联的证据
- 实验数据在低多重数区间与流体动力学计算结果存在显著差异，这为任何试图解释小系统集体现象的模型提供了强有力的约束

亮点成果：强子发射源和强子间的相互作用

arXiv:2505.01061, accepted by PLB



ALI-PUB-605444

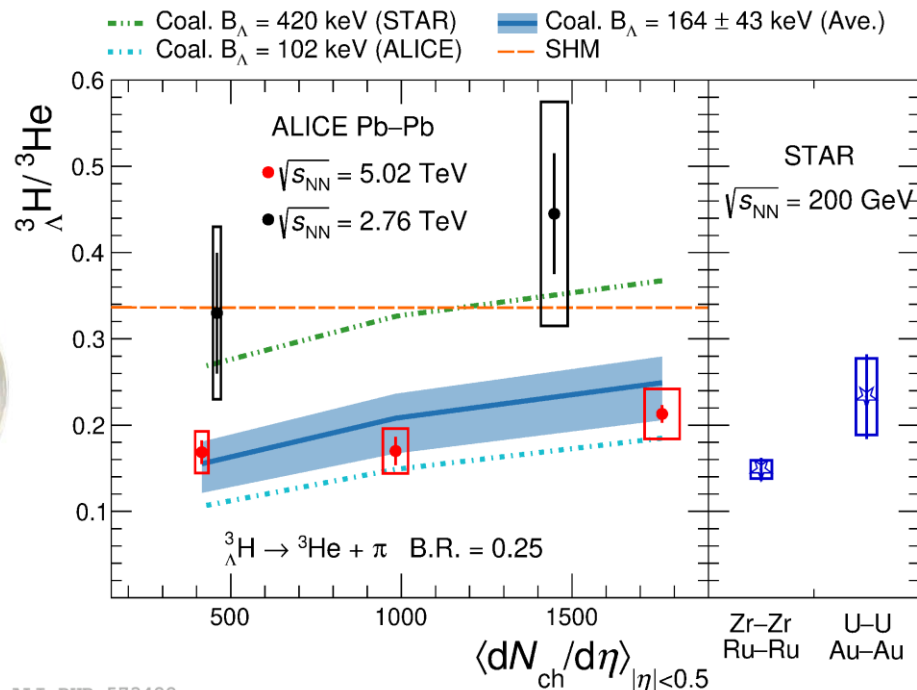
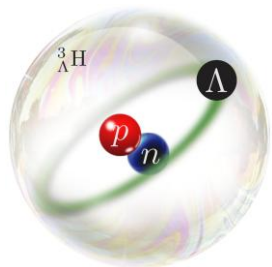


ALI-PUB-605444

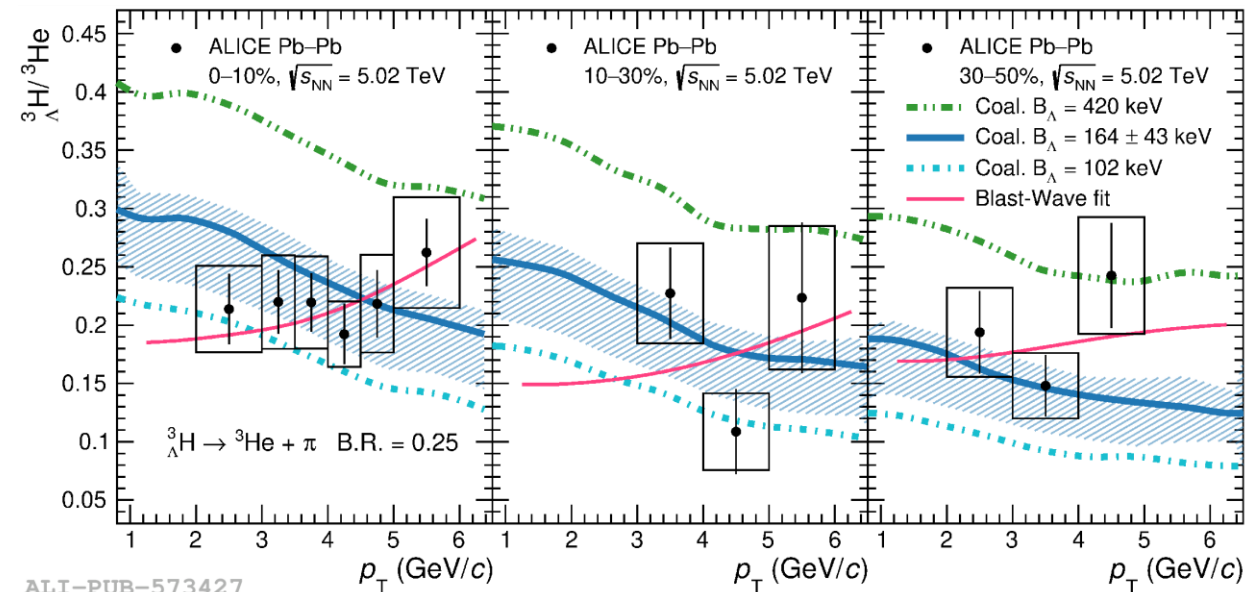
- 基于LHC-ALICE Pb-Pb 5.02 TeV对撞，以p-p, p-d为探针研究粒子间相互作用和发射源信息
- 发现质子发射源半径遵从 m_T 标度行为（左）
- 通过p-d相互作用，证实了d携带核子层次信息（右）

亮点成果：超核（超氦）研究

PLB 860, 139066 (2025)



ALI-PUB-573422

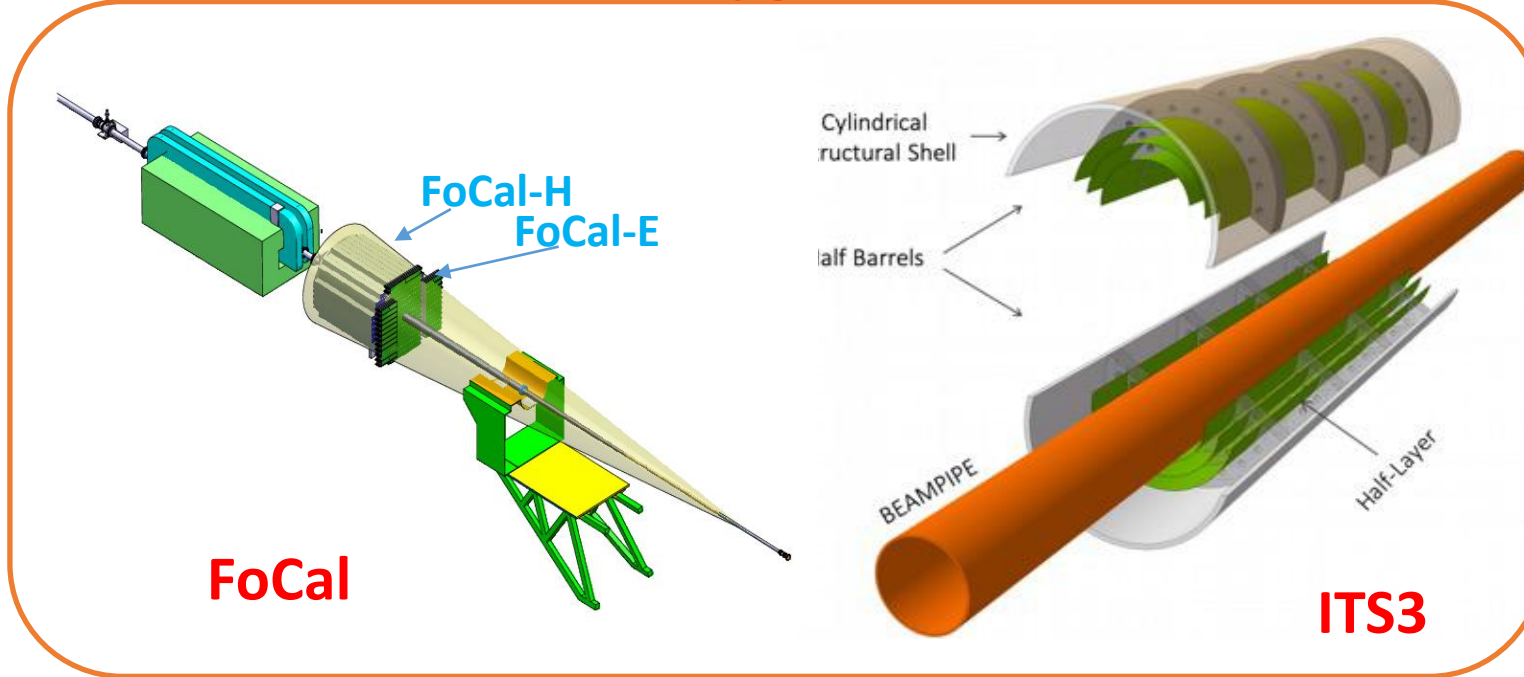


ALI-PUB-573427

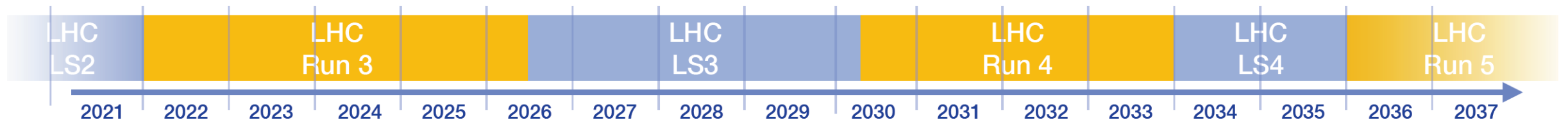
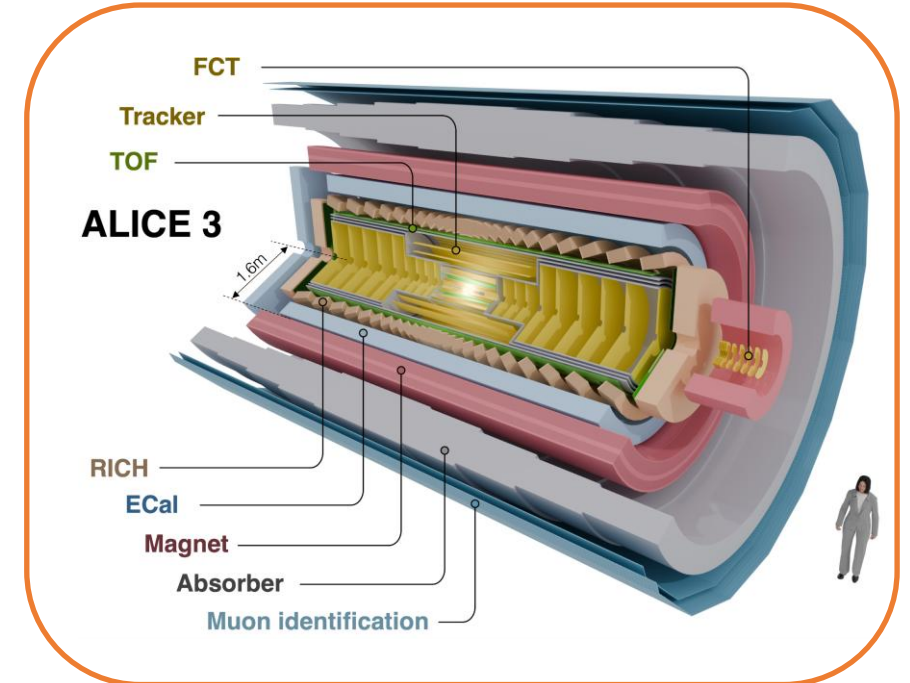
- 超氦是研究超子-核子（Y-N）相互作用的最佳探针之一
- 基于Run 2 Pb-Pb 5.02 TeV对撞，结合机器学习BDT技术，精确提取了超氦产额
- 超氦-氦3产额比以及横动量分布与基于并合产生机制的计算结果相吻合

ALICE探测器升级计划

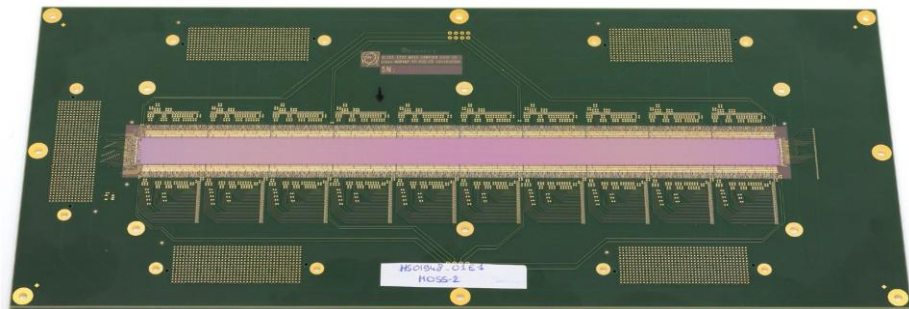
LS3 upgrades



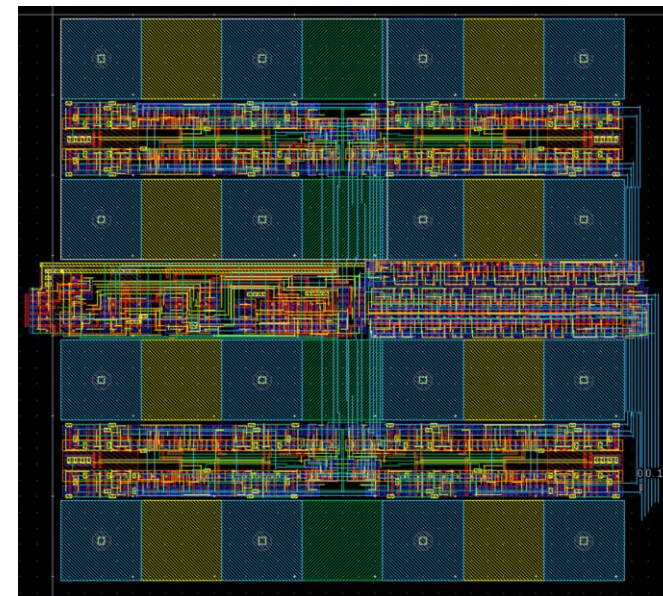
LS4: ALICE3



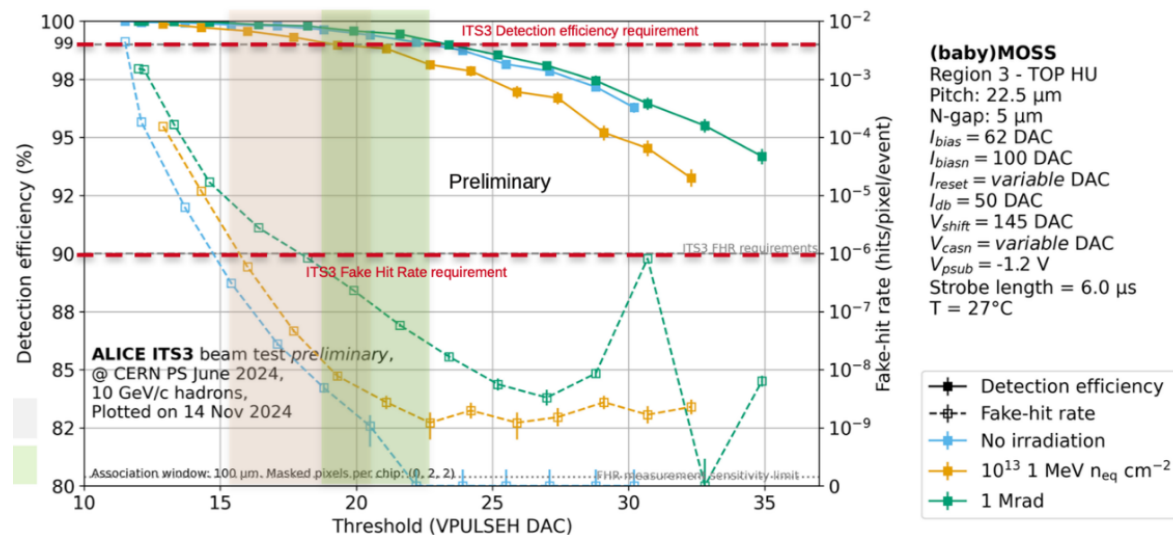
LS3硬件升级的贡献-ITS3



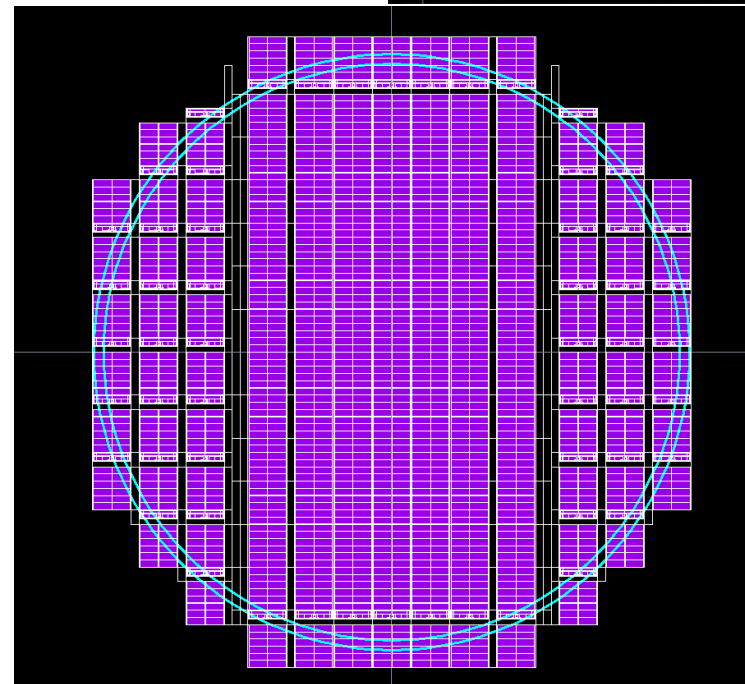
- 参与MOSAIX传感器芯片的设计、模拟验证等



数字前端读出
结构布局布线



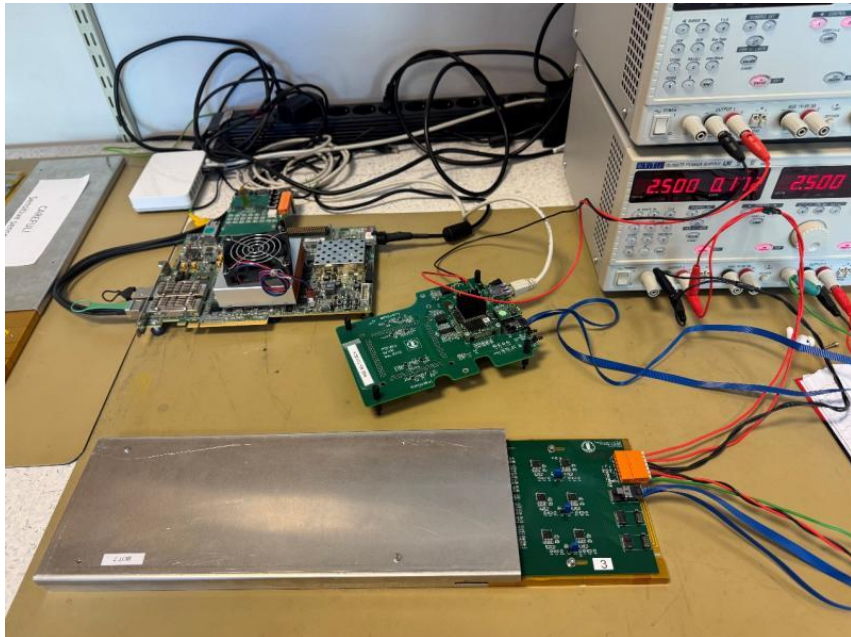
- 参与MOSS芯片的表征
- 在较大的电荷收集阈值范围内，可以满足ITS3的设计要求



7月份提交流片的二期工程批芯片布局

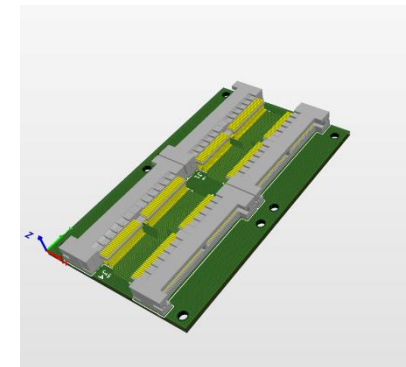
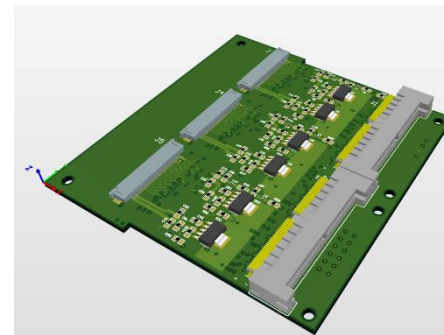
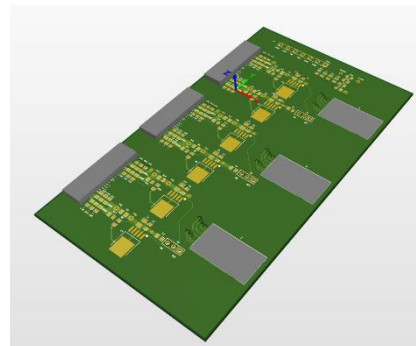
详见11月2号
李笑梅的报告

LS3硬件升级的贡献-FoCal

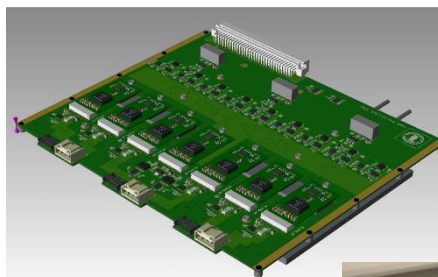


开展硅像素层模块测试，为量产做准备

- ✓ 开发测试代码
- ✓ 建立质控标准



完成了mini转接板的PCB设计、完成FoCal转接板和集线板的PCB设计，参与电源板的设计



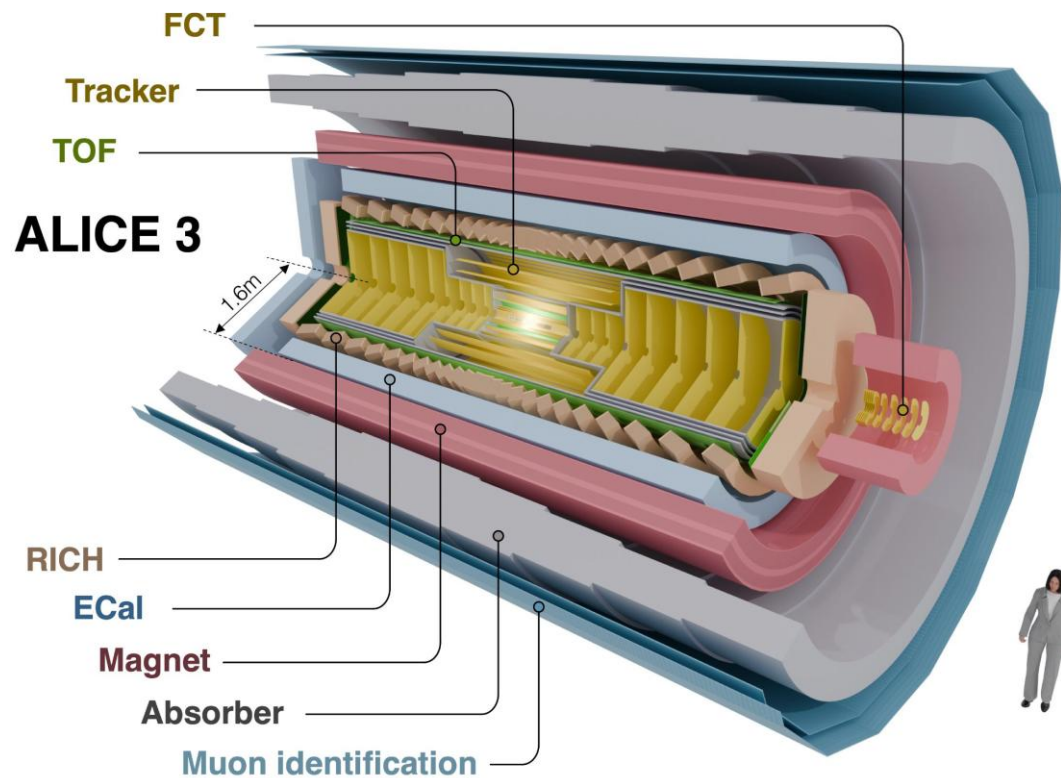
FoCal电源板



为FoCal强子量能器开发出了完整的读出电子学系统，并顺利用于10月份的束流测试



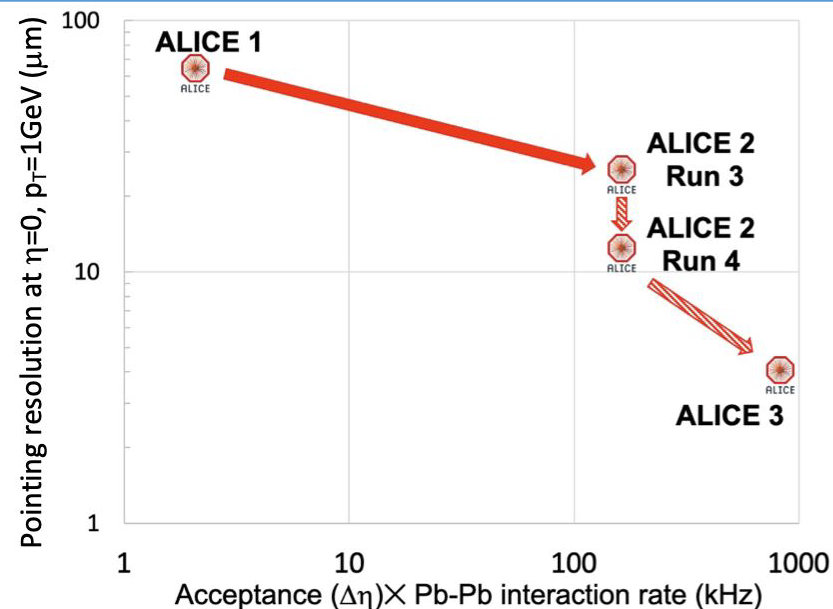
ALICE3——下一代重离子碰撞实验装置



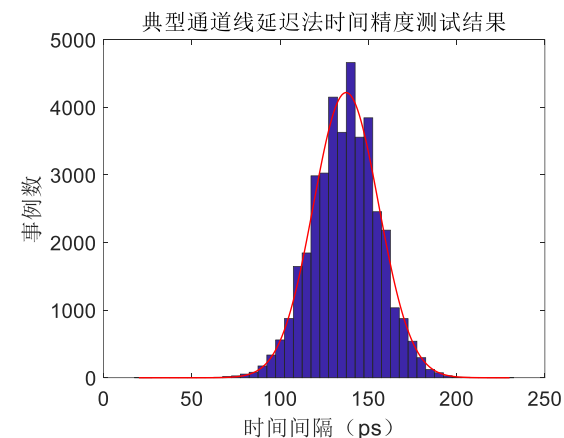
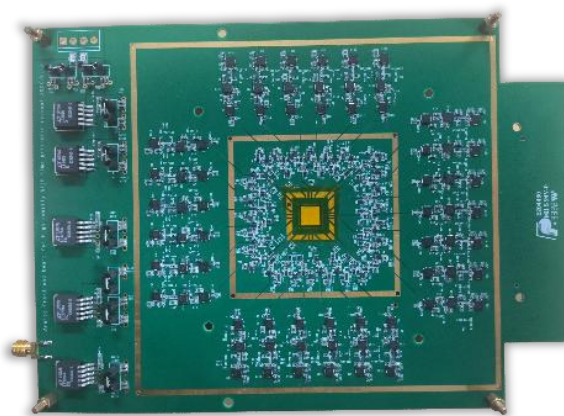
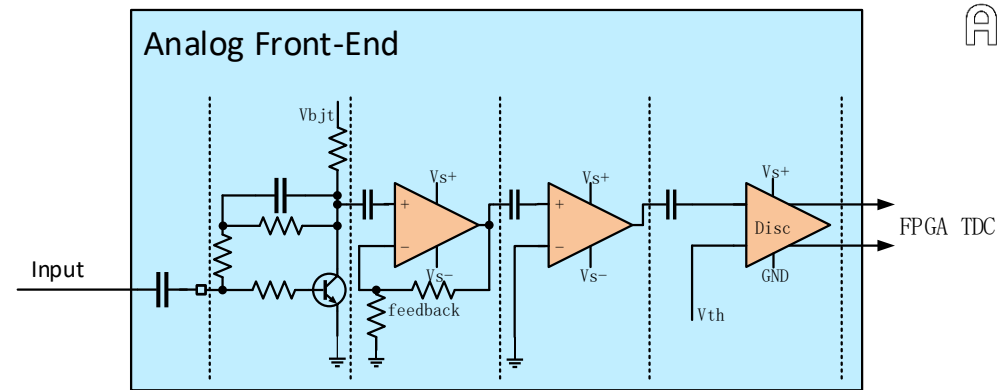
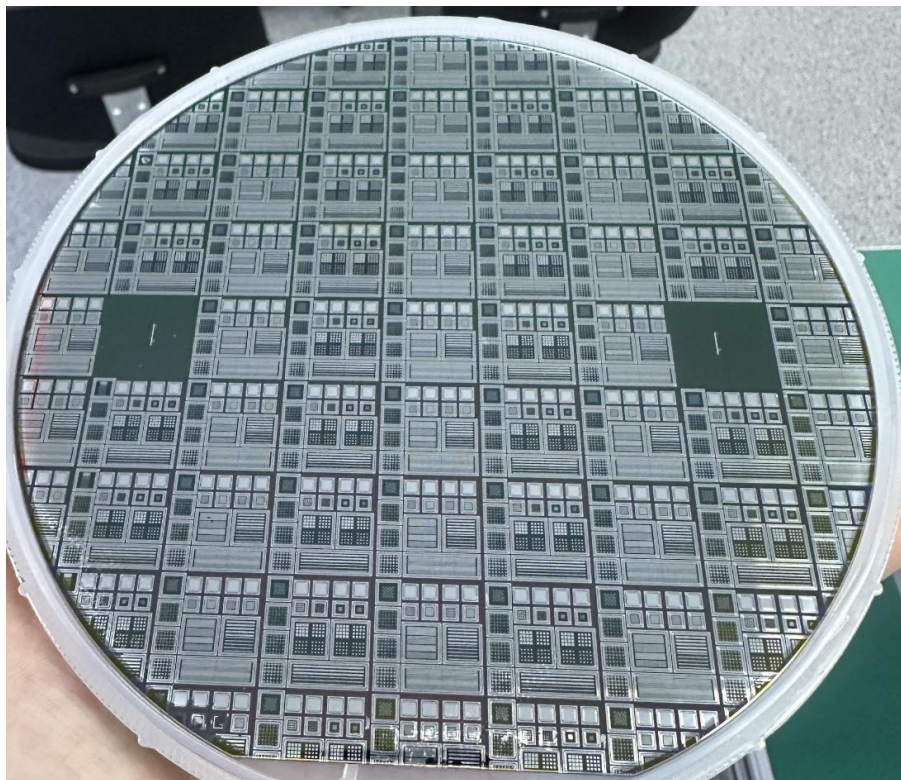
- 紧致而轻巧的**全硅寻迹系统**
- 可缩进的、**极低物质质量**、接近于束流的**顶点探测器**
- 优异粒子鉴别系统
- 大接受度并覆盖极低的横动量区
- 连续读出和在线处理系统

ALICE中国组拟承担的任务：

- 参与VD和ML芯片的研发-设计与表征
- 开展超高时间分辨AC-LGAD的研发
- 承担部分IT和TOF探测器模块与读出电子学系统的研制



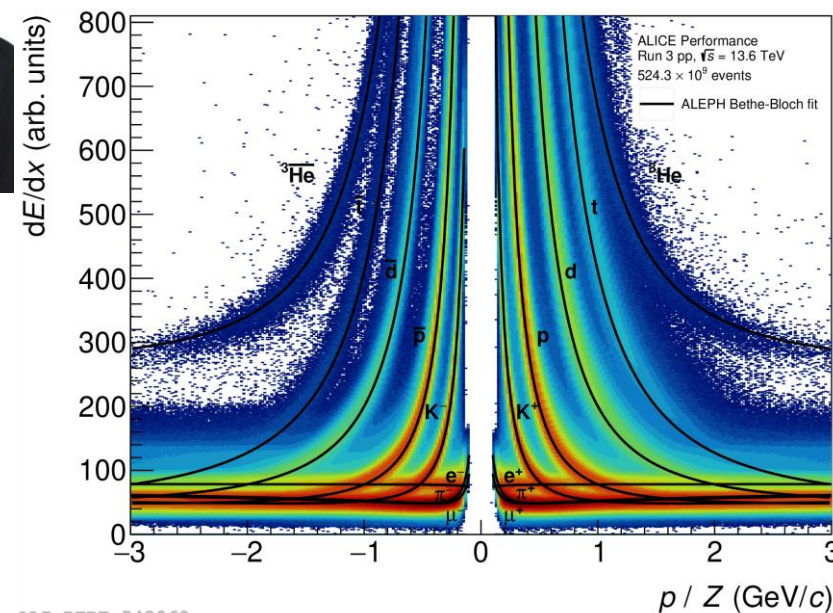
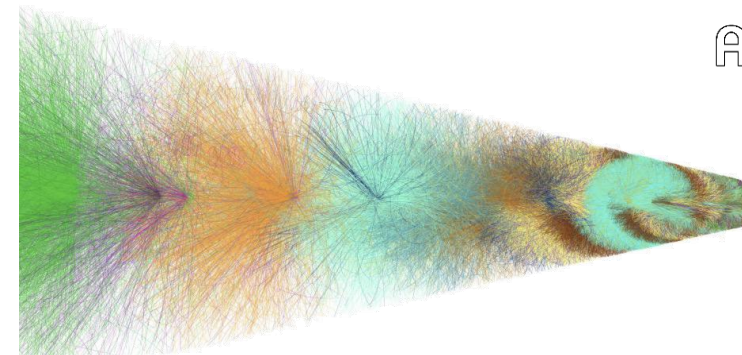
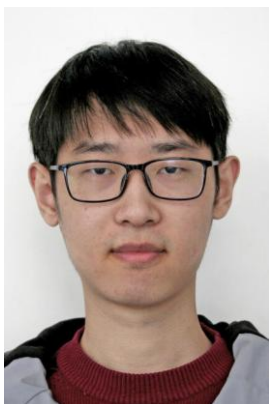
ALICE3: AC-LGAD研发



- 已成功研制两个版本的AC-LGAD传感器
- 设计完成三种类型的读出电极
- 正在进行性能表征

- 已完成模拟前端设计与性能表征
 - 采用三级放大器+高速甄别器结构
 - 时间精度达约15皮秒
- 正在设计高精度时间数字转换器 (TDC)

Service Work贡献



ALI-PERF-543060

- 当前的ALICE 探测器拥有卓越的粒子鉴别能力，时间投影室是（TPC）是最主要的粒子鉴别子探测器
- ALICE中国组(中国科学技术大学，复旦大学，华中师范大学) 承担了质子-质子对撞的 TPC 粒子鉴别 dE/dx 的刻度

总结

- ALICE中国组在合作组中的影响力明显增强
 - 3名任物理工作大组召集人(占比3/14)
 - 2名毕业博士生任物理分析组召集人
 - 承担主要子探测器TPC的刻度任务
- 取得了12项重要研究成果
 - 夸克物质的集体运动、产生的边界
 - 强子化机制
 - 末态强子-强子之间的相互作用
- 承担的探测器升级任务按计划稳步推进
 - 参与ALICE3升级需要更多的经费支持

**感谢科技部、基金委、教育部
和成员单位的持续大力支持！**

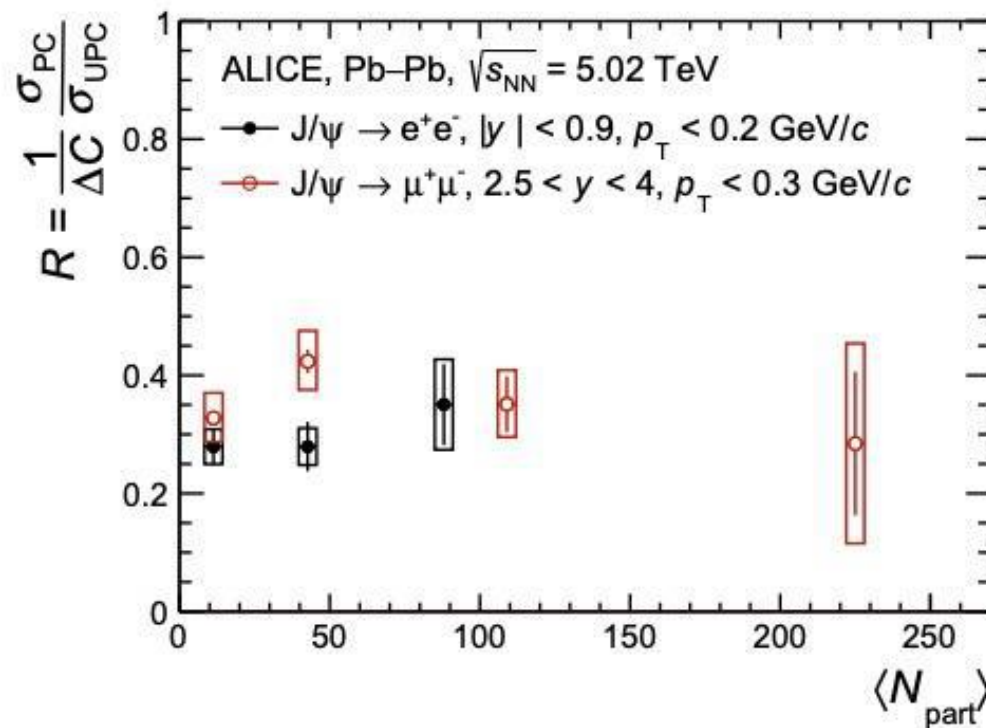
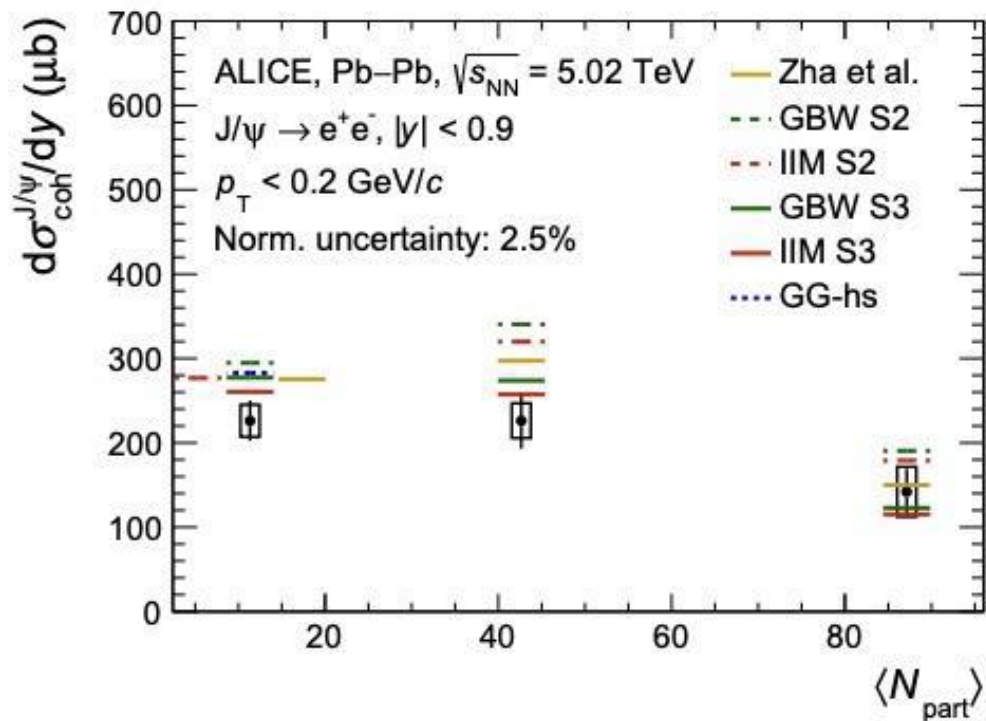
Backup

发表文章列表

1. **ALICE Collaboration**, “Isolated direct photon cross section at 13 TeV in pp collisions with ALICE at the LHC”, *Eur. Phys. J.* **C85** (2025) 98
2. **ALICE Collaboration**, “Measurement of the production cross section of prompt Ξ_c^0 baryons in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV”, *Eur. Phys. J.* **C85** (2025) 86
3. **ALICE Collaboration**, “Multiplicity dependence of Y production at forward rapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, *Nucl. Phys.* **B1011** (2025) 116786
4. **ALICE Collaboration**, “Multiplicity-dependent jet modification from di-hadron correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, *JHEP* **2503** (2025) 194
5. **ALICE Collaboration**, “Exploring nuclear structure with multiparticle azimuthal correlations at the LHC”, *Phys. Lett.* **B 869** (2025) 139855.
6. **ALICE Collaboration**, “Measurement of $3\Lambda H$ production in Pb–Pb collisions at $s_{NN}=5.02$ TeV”, *Phys. Lett.* **B 860**, 139066 (2025)
7. **ALICE Collaboration**, “Femtoscopic study of the proton–proton and proton–deuteron systems in heavy-ion collisions at the LHC”, arxiv:2505.01061, submitted to *PLB* (已接收)
8. **ALICE Collaboration**, “Observation of partonic flow in proton–proton and proton–nucleus collisions”, arxiv:2411.09323, submitted to *Nature Communications* (已接收)
9. **ALICE Collaboration**, “Multiplicity dependent Ξ_c^+ and Ξ_c^0 production in pp at 13 TeV”, arXiv:2508.09955, submitted to *JHEP*
10. **ALICE Collaboration**, “First observation of Ultra-Long Range Azimuthal Correlations in Low Multiplicity pp and p–Pb Collisions at the LHC”, arXiv: 2504.02359, submitted to *Phys. Rev. Lett.*
11. **ALICE Collaboration**, “Evidence of nuclear geometry-driven anisotropic flow in OO and Ne–Ne collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.36$ TeV”, arXiv:2509.06428, submitted to *Phys. Rev. Lett.*
12. **ALICE collaboration**, Coherent J/ψ photoproduction at midrapidity in Pb–Pb collisions at 5.02 TeV, arXiv:2409.11940, accepted by *PLB*

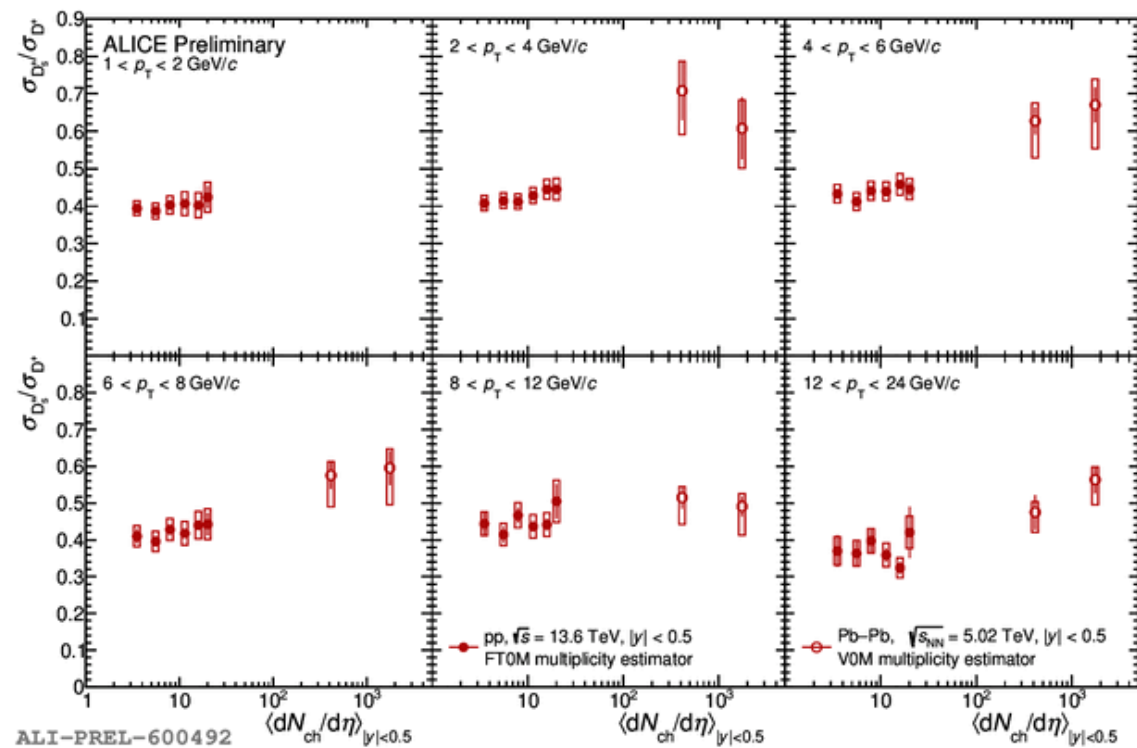
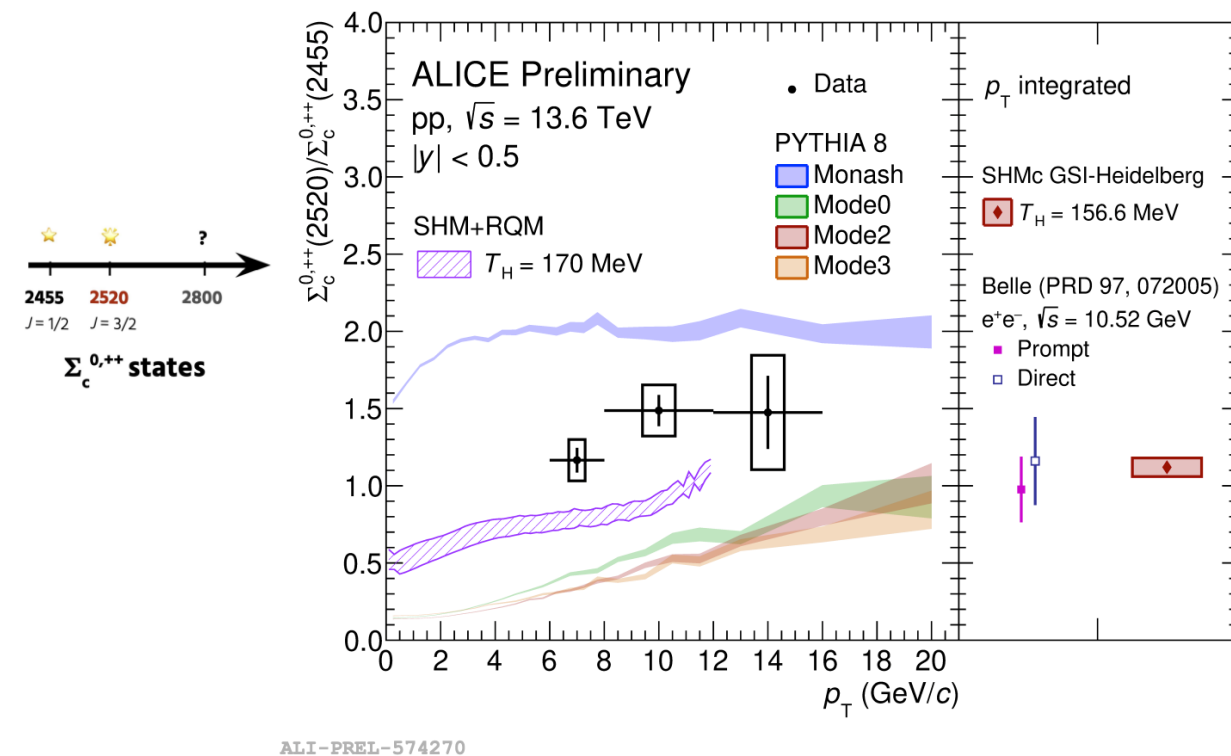
亮点成果：相干J/ψ光生截面

arXiv:2409.11940, accepted by PLB



- 首次测量了 $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV Pb-Pb碰撞在快度区间 $|y|<0.9$ 内，相干J/ψ光生截面的对撞中心度依赖性
- 横动量积分截面呈现较弱的中心度依赖性，与大快度区观测定性一致，没有观测到存在QGP效应的迹象

亮点成果：小系统中重味强子产生



- 在质子-质子碰撞中**首次**提取 $\Sigma_c(2520)$ 信号， $\Sigma_c(2520)/\Sigma_c(2455)$ 比值无法被PYTHIA描述，结果对研究粲夸克强子化的自旋依赖特性具有重要意义
- 在质子-质子碰撞中测量了 D_s/D^+ 的多重数依赖，发现没有明显的带电粒子多重数依赖

ALICE3 core cost (without labor and contingency)

- 170.2 MCHF for the baseline
- Fair share for China team with 20 M&O members
 - 3.5% compared to 1.5% core contribution up to now (ALICE1 & ALICE2)
 - 6 MCHF (about 50 MCNY)