

ALICE 中国组研究进展 和未来发展计划

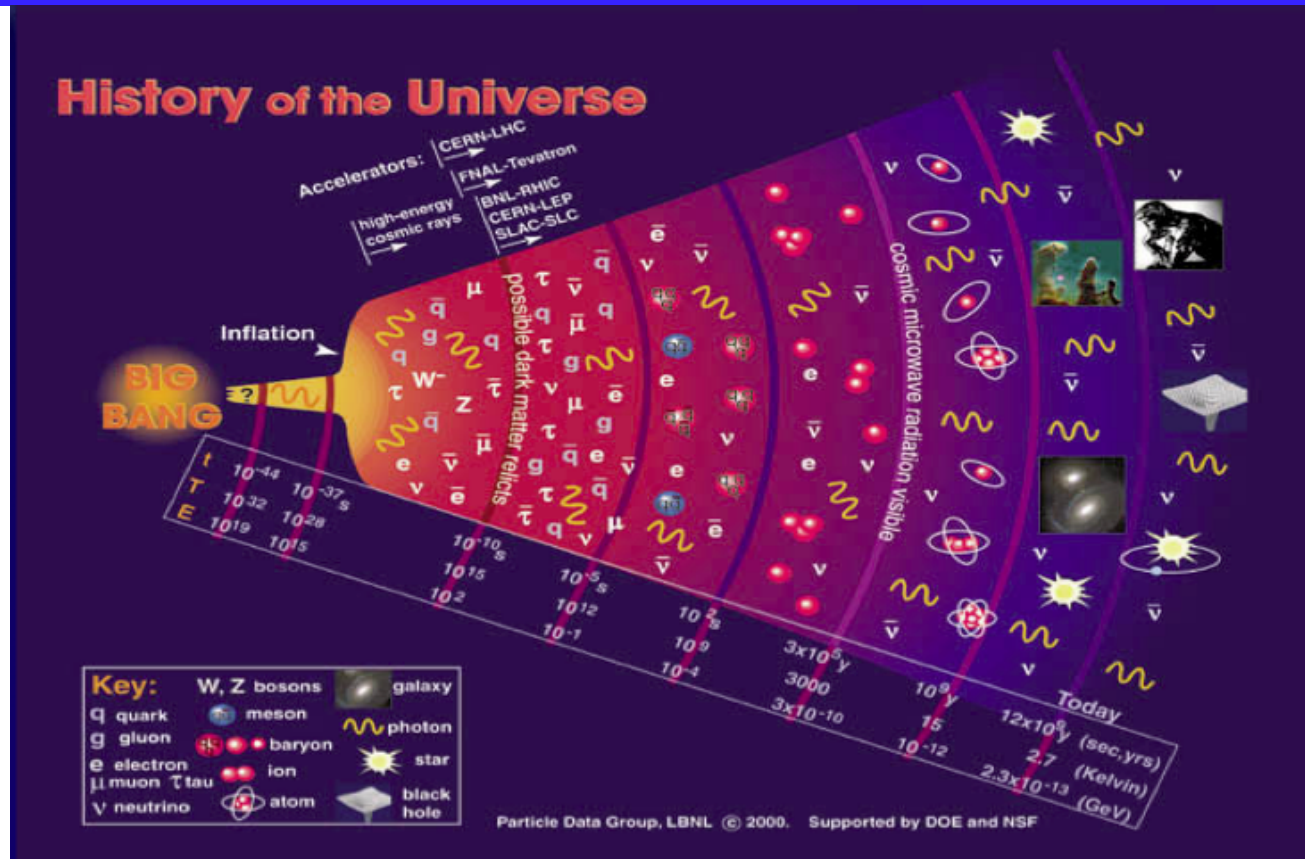
裴骅

华中师范大学

汇报提纲

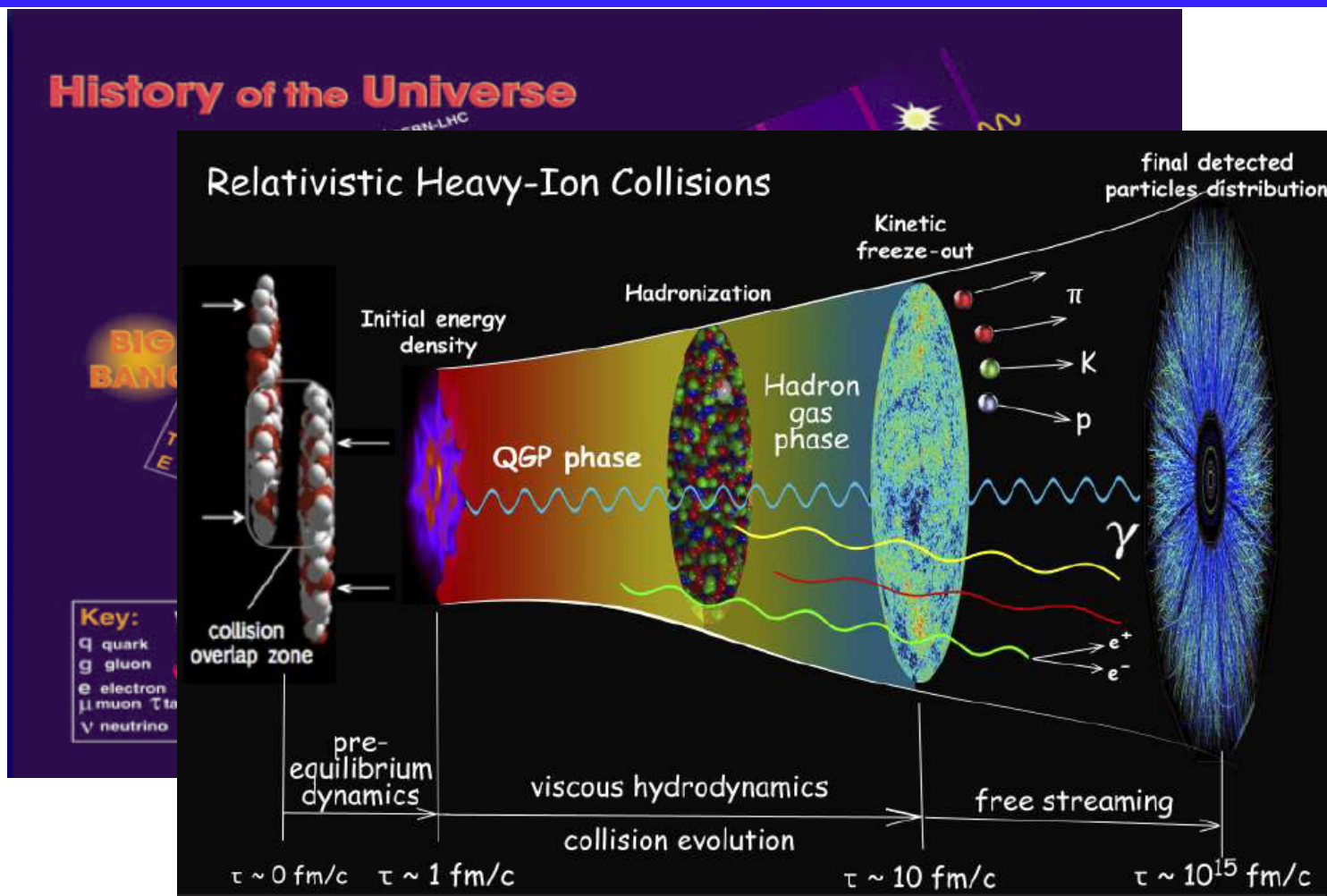
- ALICE 中国组的主攻方向
- 2016年的主要成果
 - 亮点和总结
- 未来五年计划
 - LHC Run2/3 物理分析
 - ALICE 探测器升级
- 人员经费状况

宇宙演化



Big Bang: 我们所认知的宇宙诞生与演化

高能重离子实验



Little Bang: 重现诞生之初百万分之一秒内的宇宙。
超高温和超高密度之下是否有新的物质形态？

ALICE 实验的特点和优势

- ALICE 是 LHC 上专门设计的大型重离子对撞实验。
 - 本世纪物理中的重大疑难问题之一 夸克禁闭: 未发现自由夸克
 $\Delta v_0 \sim 1 \text{ fm}^3$, $\rho_0 \sim 0.16 / \text{fm}^3$, $\varepsilon_0 \sim 0.15 \text{ GeV}/\text{fm}^3$
 - 重离子碰撞物理: 大体积, 热密系统
 $\Delta v \sim 1000 \text{ fm}^3 = 1000 v_0$
 $\rho \gg 3 / \text{fm}^3 \sim 20 \rho_0 \Rightarrow$ 夸克胶子等离子体 (QGP)
 $\varepsilon \gg 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3 \sim 20 \varepsilon_0$
- 研究夸克胶子等离子体, 理解多粒子强相互作用的非微扰性质, 可以作为认识宇宙起源和演化规律的基础, 揭示物质质量来源。
- CERN是世界高科技发展中心, 参与ALICE国际合作可以促使中国保持在新探测技术的国际前列, 培养活跃在国际前沿的技术队伍。

ALICE 中国组人员队伍状况

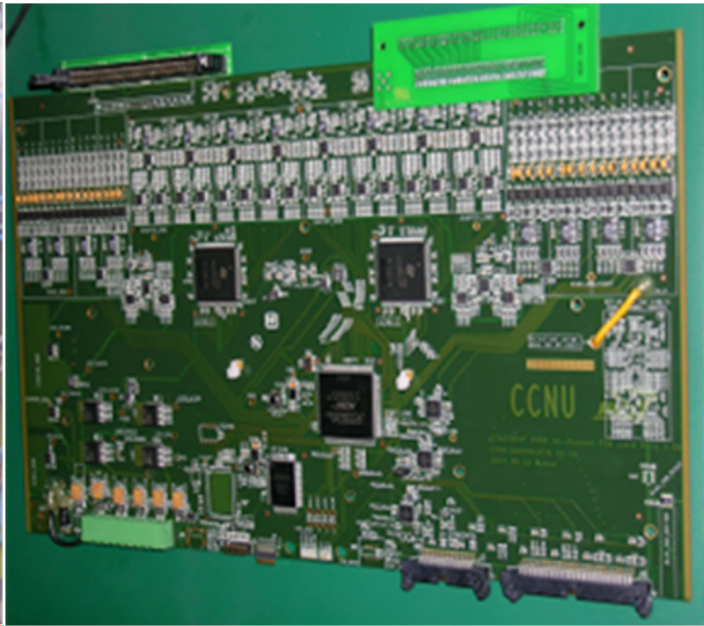
- ALICE 中国组成员：华中师范大学、中国原子能科学研究院、
- 2016年新成为正式会员：中国科学技术大学、中国科学院上海应用物理研究所、湖北工业大学
- 物理分析共计17人：华师 (8) + 原子能院 (1) + 应物所 (5) + 中科大 (3)
 - ✓（教授） 周代翠、李笑梅、马余刚、殷中宝、Paolo Bartalilni、陈金辉
 - ✓（副教授） 裴骅、毛亚显、张晓明、唐泽波、张一飞、李昕、张松、钟晨、李薇
 - ✓（博士后） 寿齐烨、Palni Prabi
- 技术研究共计8人：华师 (5) + 原子能院 (1) + 中科大 (1) + 湖北工大 (1)
 - ✓（教授） 孙向明、黄光明、封常青、于伟翔
 - ✓（副教授） 王亚平
 - ✓（讲师） 王东、杨苹、张凡
- 累计已毕业博士 19 名，现有博士生在读 11 人

基金项目资助情况

- **教育部重大项目：** ALICE 超高能重离子碰撞实验中的光子探测(教育部与 CERN 和 ALICE 签署 MoU, 2010年结题)
- **基金委重点项目：** 夸克物质的硬探针信号和集体运动性质的实验研究(2010年结题)
- **科技部 973 前期专项课题：** ALICE海量数据采集与处理研究(2009年结题)
- **基金委重大国际合作项目：** ALICE 高性能电磁量能器研究以及极端环境下双喷注与光子喷注物理(2013年结题)
- **科技部973项目课题：** ALICE实验的物理研究(2017结题)
- **科技部国际合作项目：** ALICE实验硅像素探测器升级(2017年开始执行)

ALICE 中国组对探测器的贡献

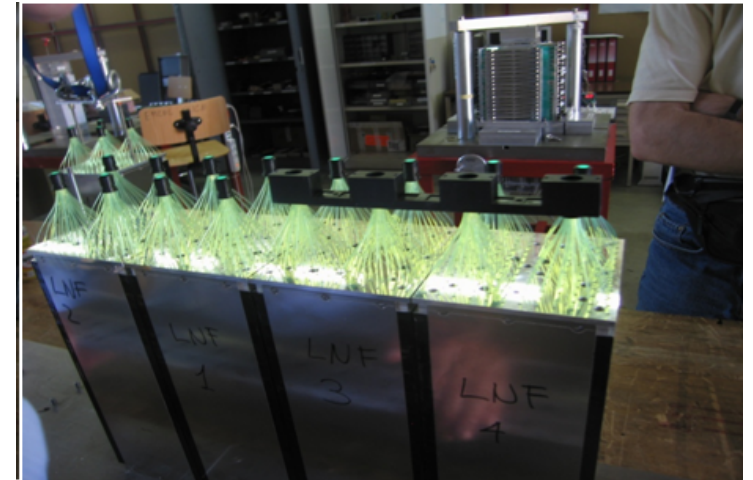
前端电子学主板



超级模块前端电子学阵列



DCal 读出控制板SRU



- 研制光子谱仪 PHOS 的全部前端电子学
- 研制电磁量能器 DCal 的一个超级模块
- 研制 DCal, EMCal, PHOS 三个电磁探测器读出升级控制主板 SRU
- 上述全部探测器都已经用于 ALICE Run2 数据采集



ALICE 中国组2016年度研究方向

- 探测夸克胶子等离子体的硬探针和电磁探针
 - π^0 、直接光子、带电和整体喷注、W/Z
- 重味夸克和奇异粒子
 - 奇异介子/重子、重味衰变电子/缪子、夸克偶素
- 核子核子碰撞中的多粒子产生机制及性质研究
 - 高多重数下的粒子产生机制和关联
- 高能重离子碰撞中粒子集体运动效应
 - 可鉴别粒子（ π^0 、直接光子、重味）集体流的实验测量和相关模型
- 探测器硬件升级
 - ALICE ITS 升级

2016年度取得的主要物理成果

直接贡献物理论文 13 篇，其中2016年 3 篇，另有 3 篇审稿或实验组审阅

➤ 夸克物质硬探针和电磁探针信号的实验观测

- PLB 763 (2016) 238, Jet-like correlations with neutral pion triggers in pp and central Pb-Pb collisions at 2.76 TeV

➤ 夸克物质集体运动行为的实验观测

- PLB 753 (2016) 41, “Elliptic flow of muons from heavy-flavour hadron decays at forward rapidity in Pb-Pb collisions at sNN = 2.76 TeV”

➤ 核子核子小碰撞系统（质子-质子）中的多粒子产生机制及性质研究

- PLB 753 (2016) 319, “Pseudorapidity and transverse-momentum distributions of charged particles in proton–proton collisions at sNN = 13 TeV”

❖ 电磁探针

- 提交至 arXiv: 1611.03002, JHEP, W and Z boson production in p-Pb collisions at sNN = 5.02 TeV

❖ 多重奇异部分子

- 提交至 arXiv: 1606.07424, JHEP, “Multiplicity-dependent enhancement of strange and multi-strange hadron production in proton-proton collisions at sNN = 7 TeV”

❖ 重味夸克

- 实验组审阅 paper proposal, “Production of muons from heavy–flavour hadron decays in p–Pb collisions at sNN = 5.02 TeV”

2016年度取得的主要物理成果(II)

部分2016年度在国际会议上代表ALICE实验组所作学术报告

王亚平, the 5th pixel detector for high-energy physics and other applications, 武汉, 中国, 2015.12.11-12 (邀请报告)

王亚平, the 6th ALICE ITS Upgrade, MFT and O2 Asian Workshop, 首尔, 韩国, 2015.12.7-9. (邀请报告)

张祖满, 第9届中法粒子物理实验室学术会议(FCPPL2016), 斯特拉斯堡, 法国, 2016.03.30 - 04.01 (邀请报告)

毛亚显, 第9届中法粒子物理实验室学术会议(FCPPL2016), 斯特拉斯堡, 法国, 2016.03.30 - 04.01 (邀请报告)

毛亚显, 第2届ALICE-Calo学术会议, 东京, 日本, 2016.05.30 - 06.01 (邀请报告)

殷中宝, 第十二届全国粒子物理大会, 合肥, 中国, 2016.08.22 - 26. (邀请报告)

王亚平, the 7th ALICE ITS Upgrade, MFT and O2 Asian Workshop, 雅加达, 印尼, 2016. 7.26-28. (邀请报告)

朱剑辉, XIth International Conference on Beauty, Charm, and Hyperons in Hadronic Interactions (BEACH2016), 弗吉尼亚州, 美国, 2016.6.12-18 (分会报告)

彭欣烨, 8th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-energy Nuclear Collisions (HP2016), 武汉, 中国, 2016.09.22 - 27 (分会报告)

张永红, 8th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-energy Nuclear Collisions (HP2016), 武汉, 中国, 2016.09.22 - 27 (分会报告)

张祖满, 8th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-energy Nuclear Collisions (HP2016), 武汉, 中国, 2016.09.22 - 27 (分会报告)

张晓明, 8th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-energy Nuclear Collisions (HP2016), 武汉, 中国, 2016.09.22 - 27 (大会报告)

Paolo Bartalini, New Progress in Heavy Ion Collisions What is Hot in the QGP, 武汉, 中国, 2016.09.27 - 29 (邀请报告)

2016年度在ALICE提交的Analysis Notes:

彭欣烨 Neutral pion-hadron correlations in pp and Pb-Pb collisions with EMCal in ALICE

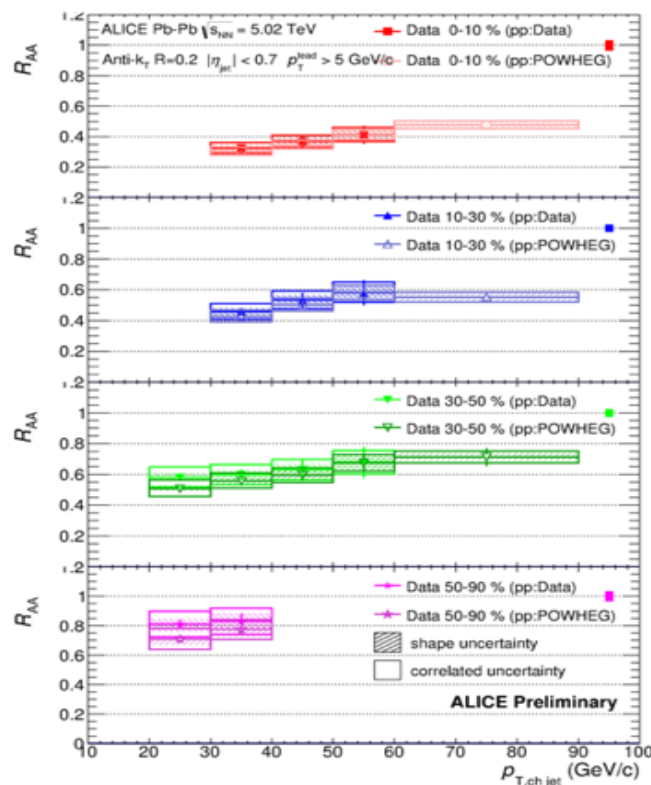
张永红 Productions of K0s and Λ in jet and underlying event in proton-proton collisions

张晓明 Λ to K0S ratio inside and outside Jets in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ALICE

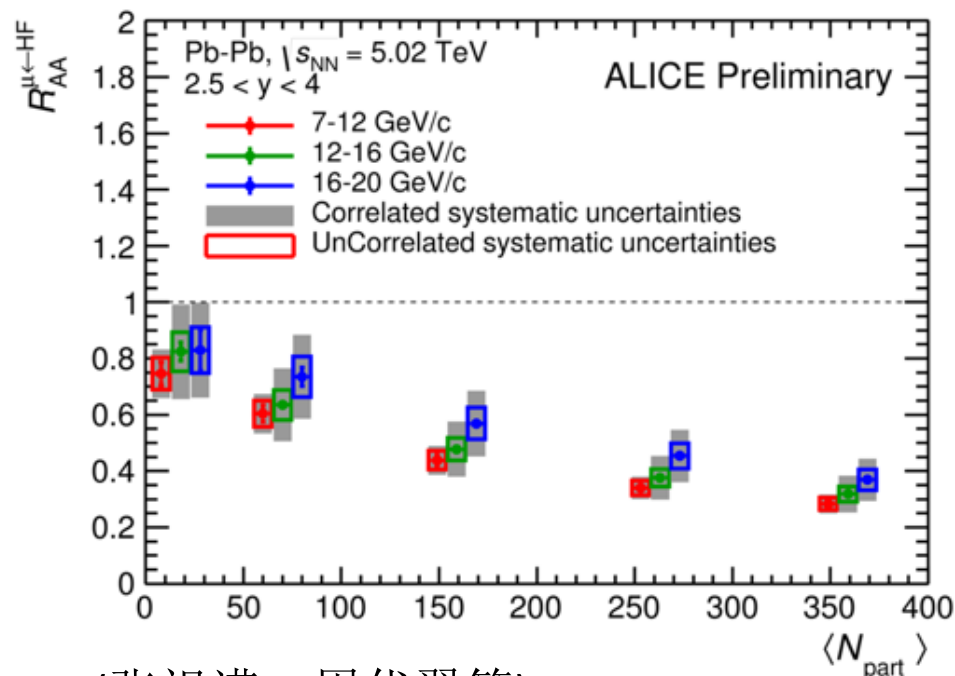
张祖满 Production of muons from heavy-flavour hadron decays at forward rapidity in Pb-Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV

核修正因子 R_{AA}

ALICE (毛亚显、裴骅等): HP2016



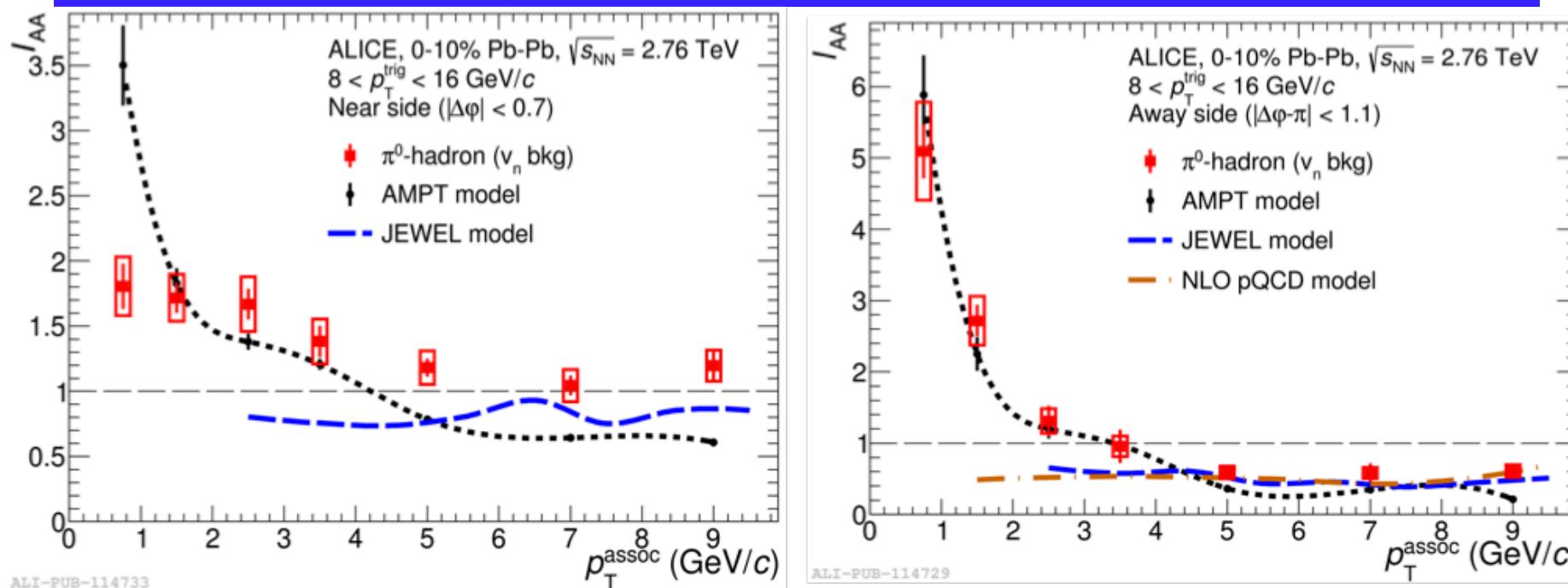
ALI-PREL-113513



ALICE (张祖满, 周代翠等): HP2016

- 整体喷注 和 重味同样体现出中心碰撞中的压低效应
- 质子-质子和Monte-Carlo(例如POWHEG)同时作为真空参照
- 在大横动量区域的依赖性变得很小
- 是否意味着“稳定的”喷注压低机制？

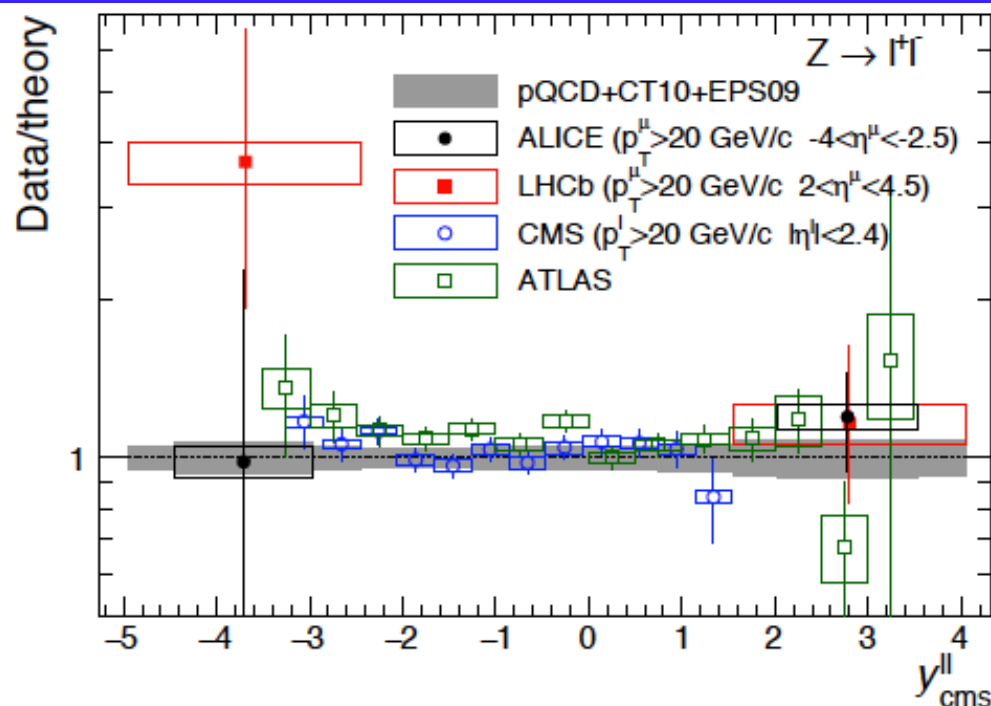
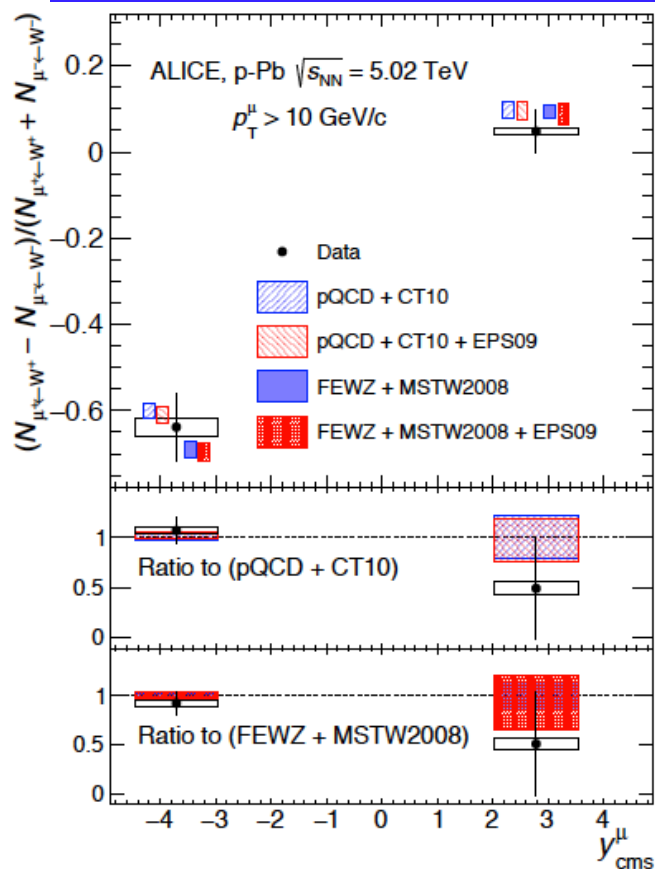
中性高能量粒子和带电强子的关联



ALICE (彭欣烨, 朱祥荣、周代翠 PAs): PLB 763 (2016) 238

- 观测量 I_{AA} : Pb-Pb相对于pp的关联粒子产额
- 关联带电强子被推进到尽可能低的横动量区域, 以获得完整认识
- 低横动量区域的显著增强, 同侧和背侧皆然
 - 软化的碎裂方程, 由介质效应而来
- 背侧在高横动量区域的压低
 - 部分子在介质飞行中的能损, 可能到达了“稳定”压低区域

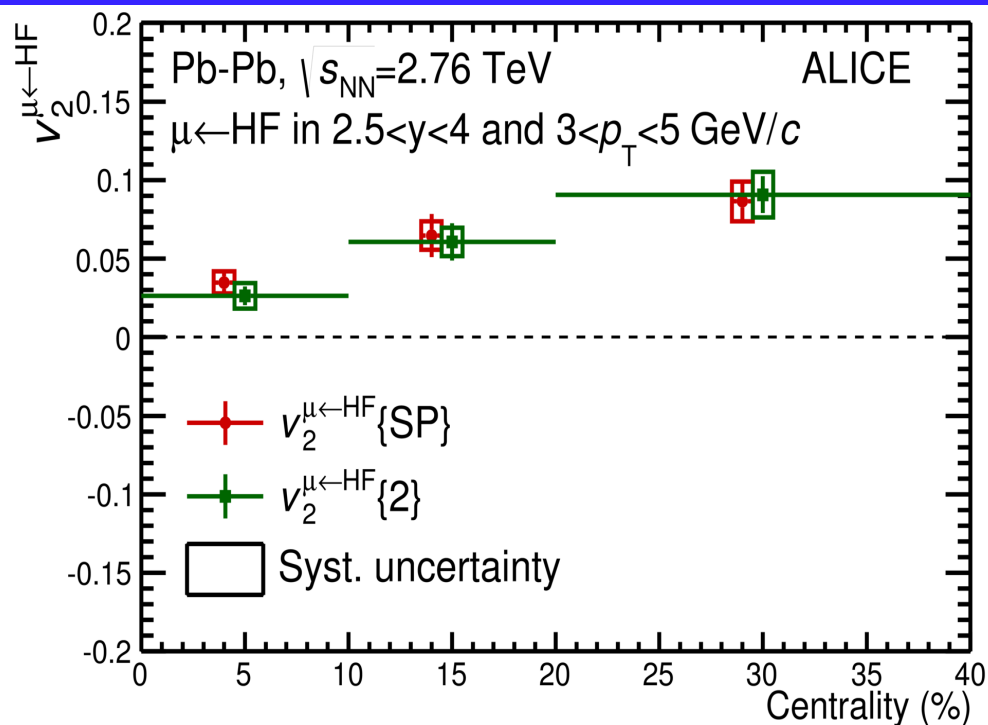
W/Z 玻色子在 p-Pb 碰撞中的产生



ALICE (朱剑辉, 周代翠等): arXiv:1611.03002, JHEP in prep

- 碰撞截面可以通过NLO pQCD (CT10 PDF and EPS09 shadowing parameter)予以很好的描述, 并与NNLO FEWZ 符合
- 期望在 LHC-Run2 中得到对 shadowing effect 更加定量化

重味夸克集体流

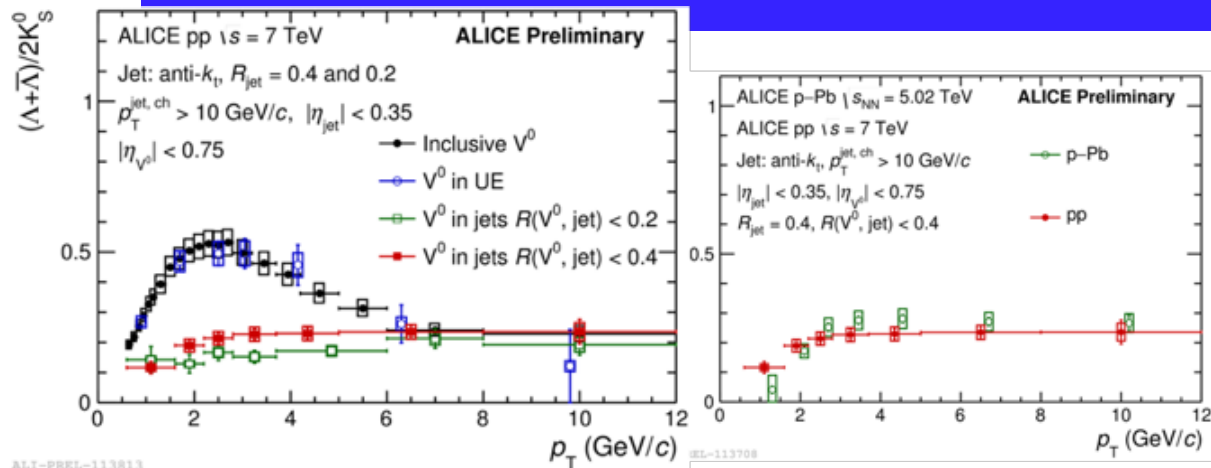


ALI-PUB-103047

ALICE (张晓明, 周代翠等) : PLB 753 (2016) 41

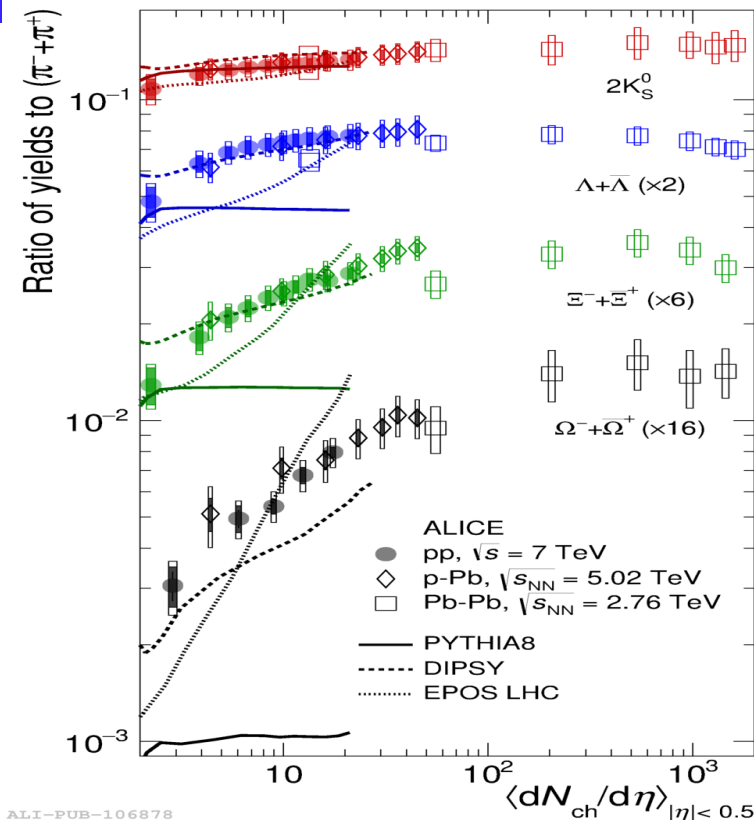
- 明显的椭圆流 ($3 < p_T < 5$ GeV/c), 随着中心到半中心碰撞增长
 - 表明重味夸克与热密物质有着强烈相互作用

ALICE 中的奇异粒子



ALICE (张永红、张晓明、周代翠等): HP2016

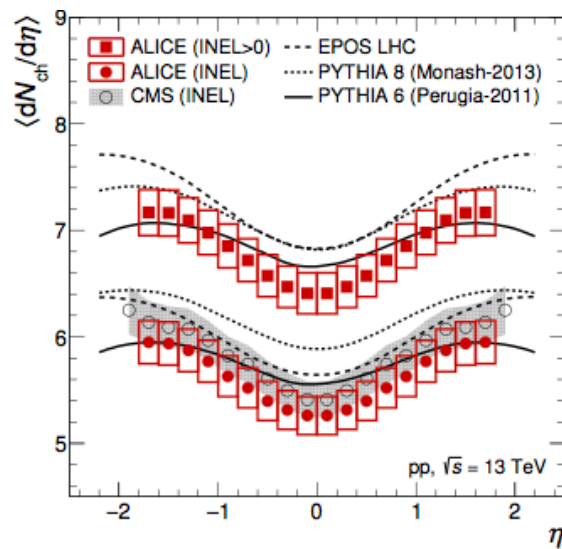
- Λ/K_S^0 比率在喷注中 $p_T > 3 \text{ GeV/c}$ 即趋于稳定，并且与整体 V_0 粒子在 $p_T > 6 \text{ GeV/c}$ 达到一致
 - 高横动量 V_0 主要由喷注碎裂而来
 - 低横动量 V_0 由基础事件贡献占主导
 - 与已知的 Pb-Pb 数据类似，然而这是 pp 碰撞！



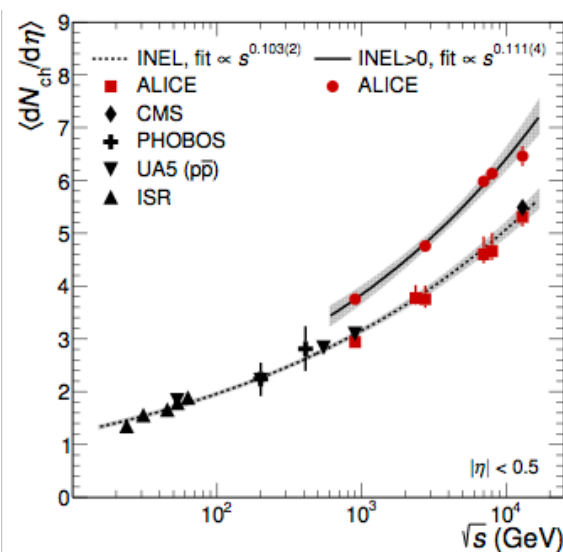
ALICE (殷中宝等): arXiv:1606.07424

- 随着多重数增加，（多重）奇异粒子相对于 π 介子有显著增强
- pp 与 p-Pb 碰撞给出了相同的趋势
- 另一方面，Pb-Pb 表现出很小的碰撞体积依赖性。是否意味着对初始状态效应不再敏感？

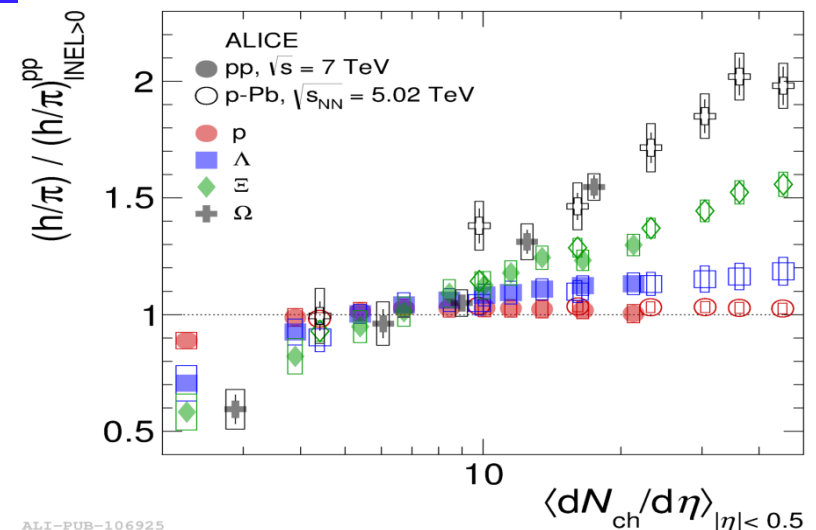
小系统里的高-多重数末态研究



ALI-PUB-102498



ALI-PUB-102502



ALI-PUB-106925

ALICE (殷中宝等): arXiv:1606.07424

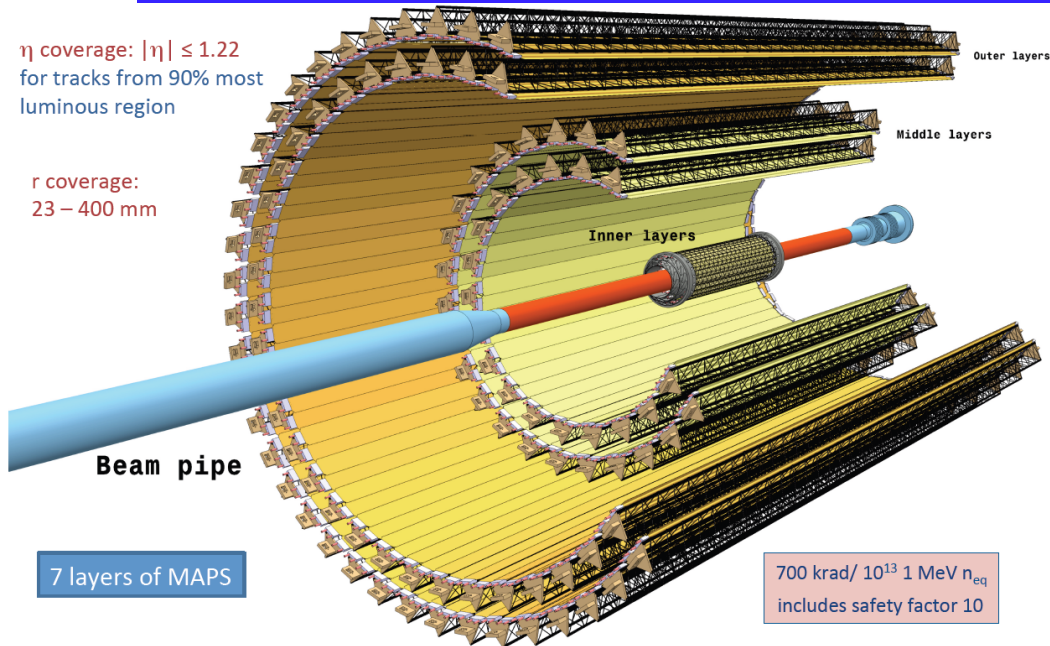
ALICE (Prabhakar Palni, Paolo Bartalini等): PLB 753, 319 (2016)

- 在高-多重数pp中的带电粒子产额和赙快度分布的标志性测量
- $dN_{ch}/d\eta$ 与碰撞能量的依赖关系非常明显
- 奇异粒子伴随着多重数增加而相对增强，并且在重子和多奇异数上更加显著
 - 可以用来限制多次部分子作用(Multiple-Parton-Interaction)中Color Reconnection (CR)模型的范围

LHC 未来五年物理分析

- 在Run2预期提供的10倍 Run1 束流亮度下，研究以下关键物理
 - 重味与重夸克偶素的产生
 - 喷注结构并由此导出能量损失机制
 - 夸克物质的集体运动性质
 - 多奇异夸克态与奇异物质
 - 反物质与物质、反超子与超子作用机制
- 目标：利用新的Run2/3大统计量，精确地得到高温高密条件下夸克物质（QGP）的性质。
- 基于 LHC 远高于其它重离子实验(例如RHIC)的碰撞能量，进行比较得出 QGP 随着温度密度的演化趋势。

Run3 高分辨率探测器升级



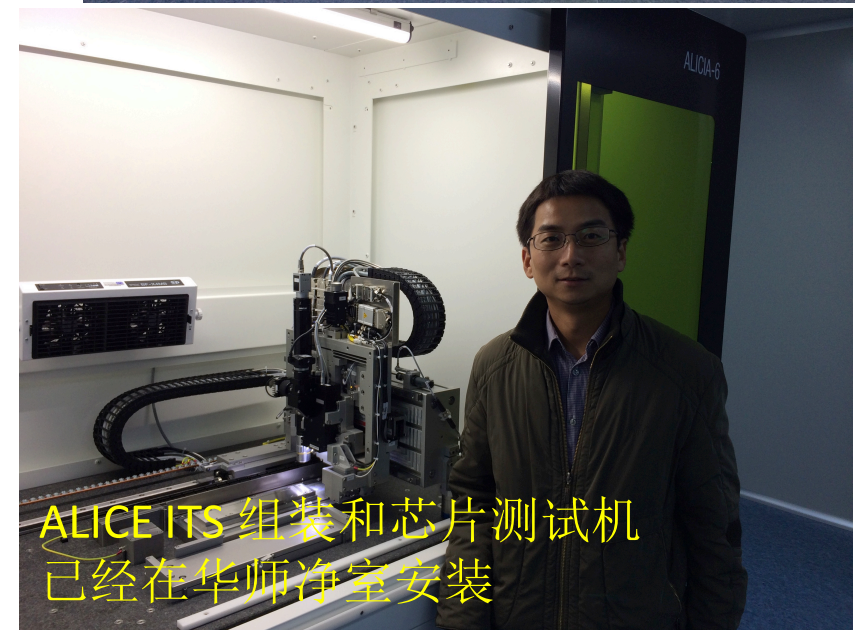
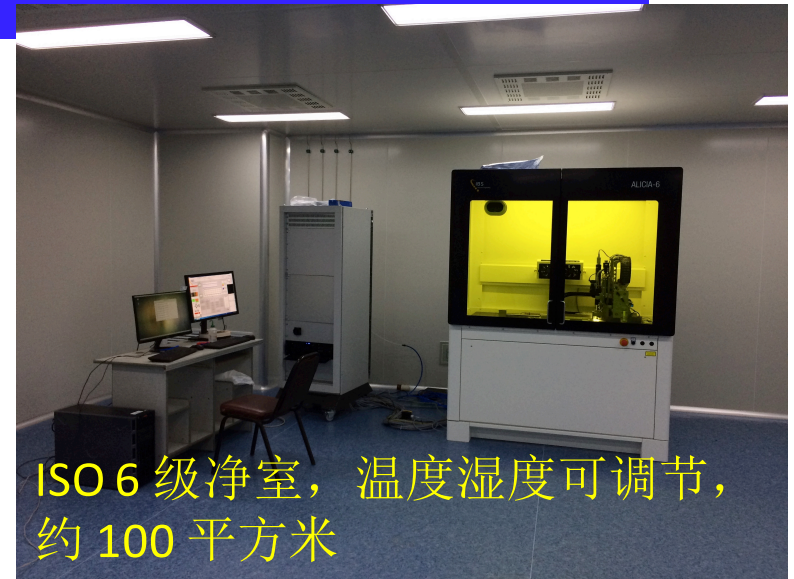
11

ALICE 中国组承担的任务

- ALICE Run3 ITS (内层硅径迹系统)芯片设计:
 - 芯片矩阵读出结构
 - 像素的模拟部分前端电子学优化
- 柔性的芯片印刷电路板(PCB)连接模式研发
- 芯片性能测试
- 芯片模块建造, 计划在华师位于武汉的车间建造 406 个 ITS 内/外层模块 (ITS 内三层和外四层总共包含 2032 个模块)
- 物理目标: 基于 QGP 性质的重味和夸克偶素精确测量

2016年12月17日

2016年度CLHCP会议, 北京



19

感谢基金委和科技部长期大力支持

- 在未来几年，伴随着新的中国单位加入 ALICE 合作组，我们在探测器升级和物理研究方面都需要更多的投入。
- 按照2016年科技部国际合作司提供的指南，ALICE中国组新申请的项目已经获得752万元资助（ALICE实验硅像素探测器升级，2017年执行）
- 物理分析的研究经费将于2017年申请资助。

Backup

ALICE 实验的特点和优势

- 作为LHC上专门设计的大型重离子对撞实验，处于研究夸克-胶子-等离子体的能量前沿，具有重大科学意义。
 - 本世纪物理中的重大疑难问题之一 夸克禁闭：
夸克是物质产生的基本单元。
夸克禁闭在强子中，尚未发现自由夸克：
 $\Delta v_0 \sim 1 \text{ fm}^3$, $\rho_0 \sim 0.16 / \text{fm}^3$, $\varepsilon_0 \sim 0.15 \text{ GeV}/\text{fm}^3$
 - 重离子碰撞物理: 大体积，热密系统
 $\Delta v \sim 1000 \text{ fm}^3 = 1000 v_0$
 $\rho \gg 3 / \text{fm}^3 \sim 20 \rho_0 \Rightarrow$ 夸克胶子等离子体 (QGP)
 $\varepsilon \gg 3 \text{ GeV}/\text{fm}^3 \sim 20 \varepsilon_0$
- 研究夸克胶子等离子体的性质和演化规律，多粒子强相互作用的非微扰性质，可以作为认识宇宙起源和演化规律的基础，揭示物质质量来源。
- CERN是世界高科技发展中心，参与ALICE国际合作，可以促使中国保持在新探测技术的国际前列，培养活跃在国际前沿的技术队伍。

未来五年研究计划

- 直接研究对象：ALICE Run2/3 数据中的直接光子、奇异粒子、重味夸克和夸克偶素、反物质相互作用。
- 观测手段：粒子谱、整体喷注以及其关联方程。其中在低能量电磁探针、重味和喷注重建是ALICE的优势领域。
- 积极参与探测器升级计划，培养技术人才队伍，为中国将来自己的大探测器做好技术和人才储备。