

LHC能量下p+Pb碰撞中的集体流

马国亮

Guo-Liang Ma



中国科学院上海应用物理研究所

Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences

- [1] G.-L. Ma and A. Bzdak, Phys. Lett. B 739, 209 (2014).
- [2] A. Bzdak and G.-L. Ma, Phys. Rev. Lett., 113, 252301 (2014).
- [3] P. Bozek, A. Bzdak, and G.-L. Ma, Phys. Lett. B 748, 301 (2015).
- [3] G.-L. Ma and A. Bzdak, in preparation.

报告内容

- 背景介绍

- 研究动机

- AMPT 模型

- 主要结果

- 长程关联和集体流

- 质子运动方向 vs 铅核运动方向 的集体流

- 物理机制

相对论重离子碰撞的动力学

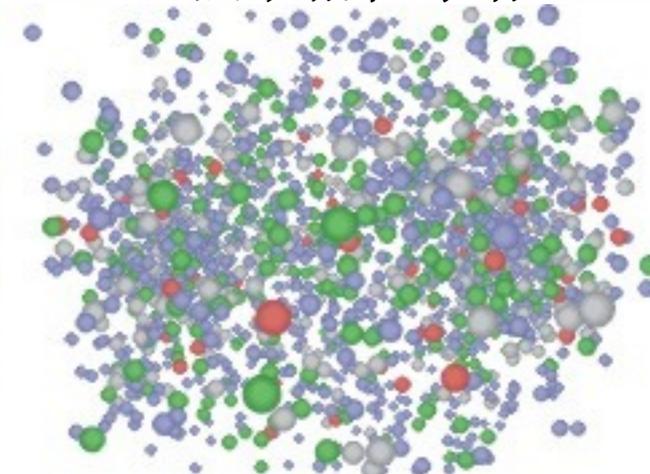
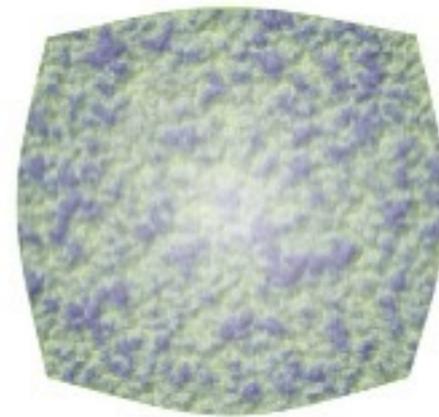
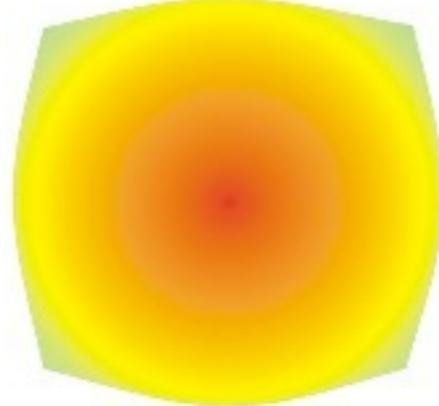
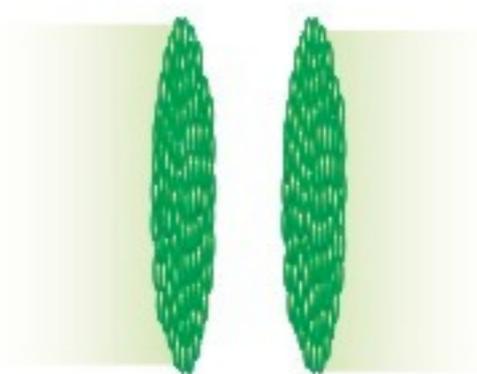
初始状态

预平衡

夸克胶子等离子体和流体力学膨胀

强子化

强子相和冻结



初始状态

- 逐事件涨落
- 经典色场动力学

QGP和流体力学膨胀

- 3+1维粘滞性相对论流体力学
- 喷注淬火
- 格点QCD的状态方程

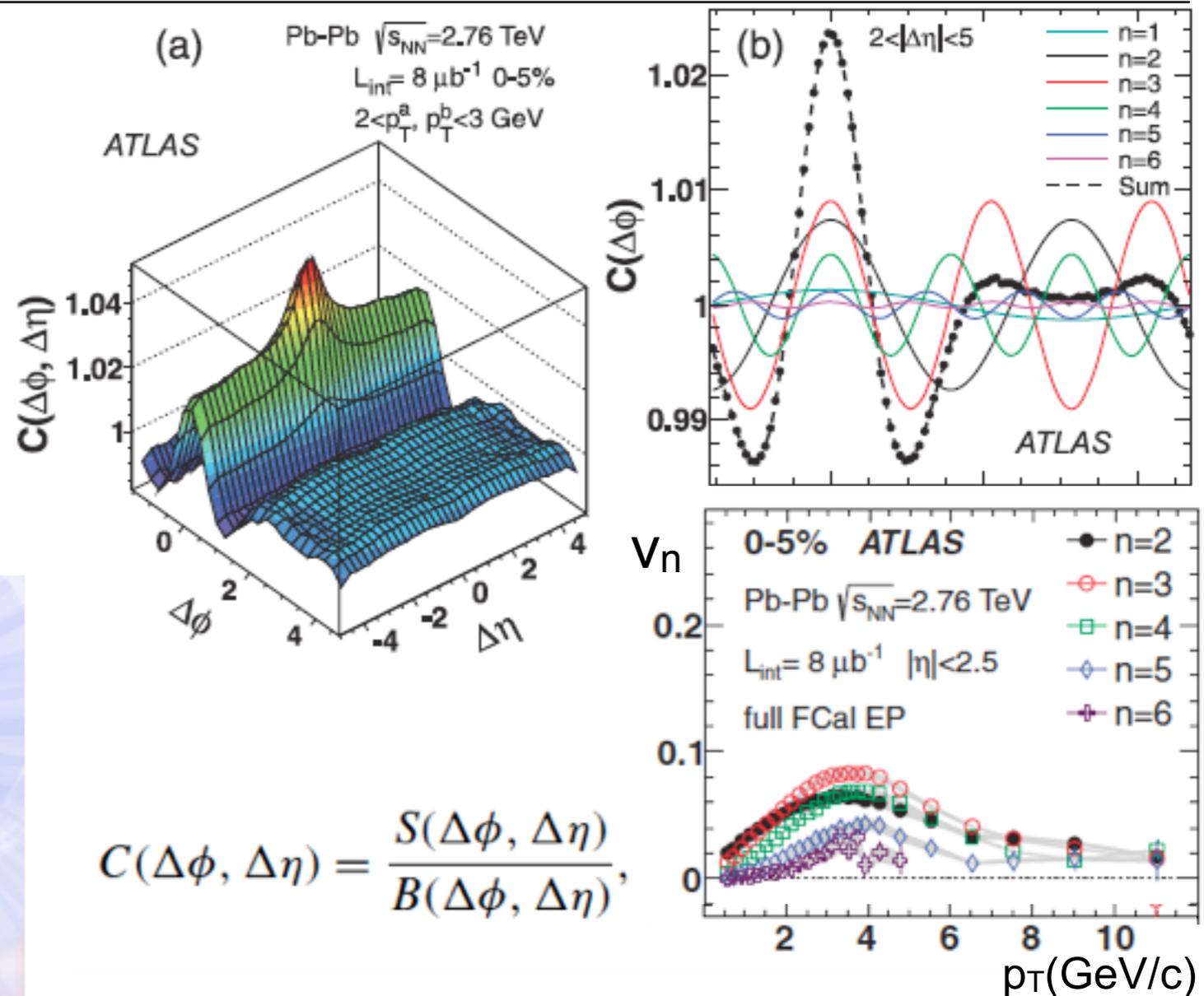
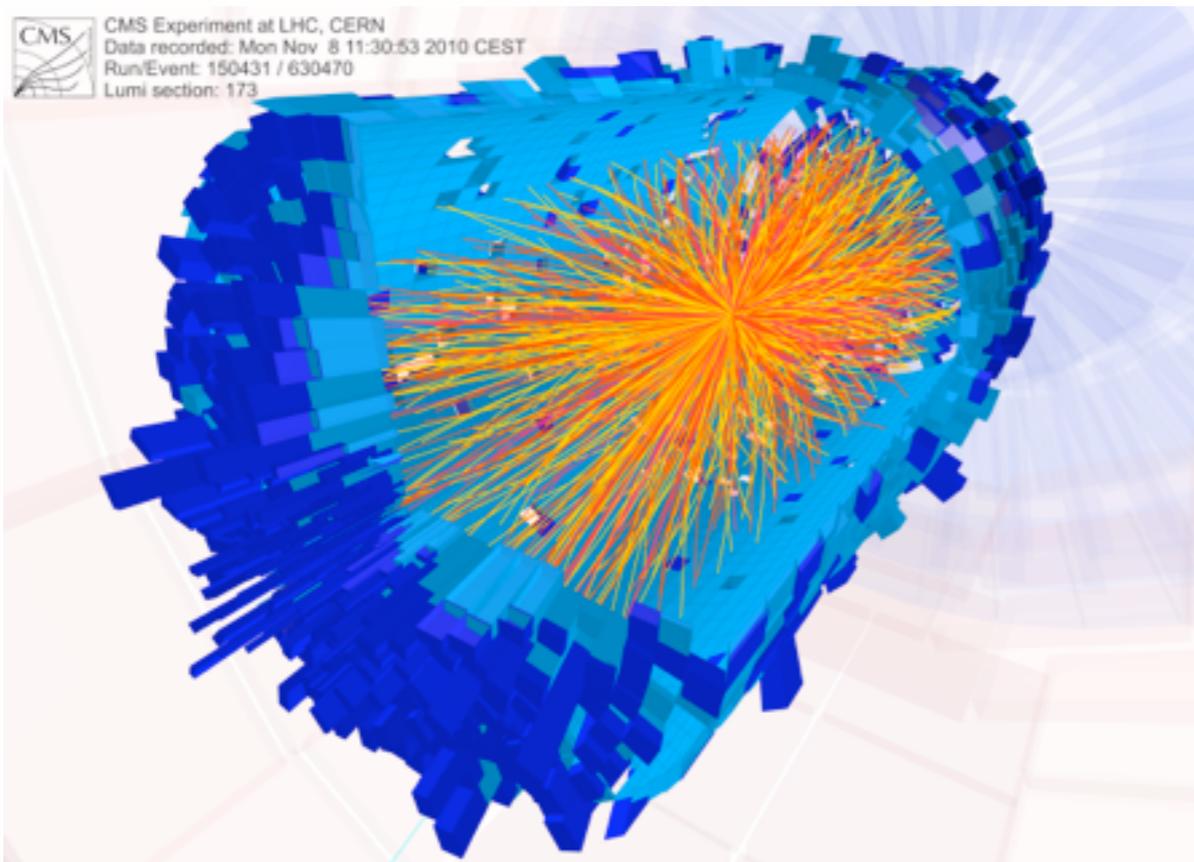
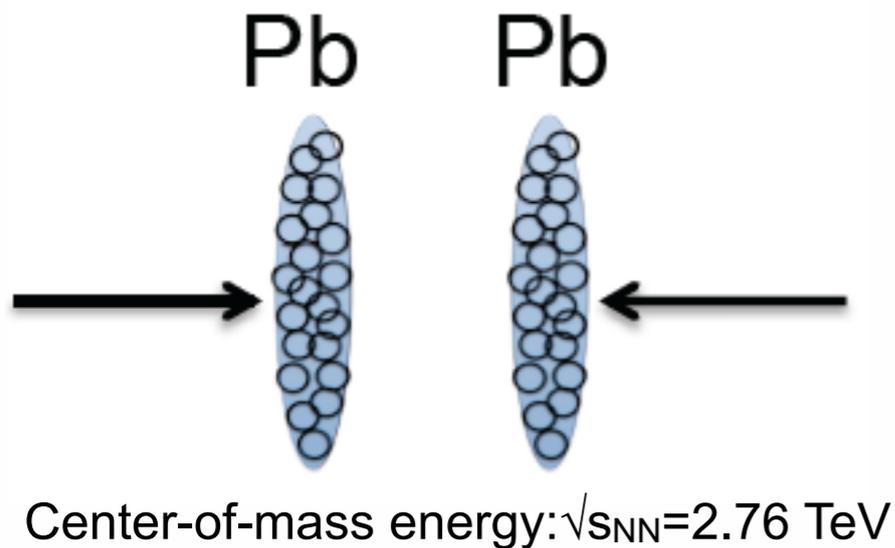
预平衡

- 从胶子初态到热化的QGP转变机制
- 时间尺度: $0.2 \sim 2 \text{ fm}/c$?
- 横向速度场的建立机制

强子相和冻结

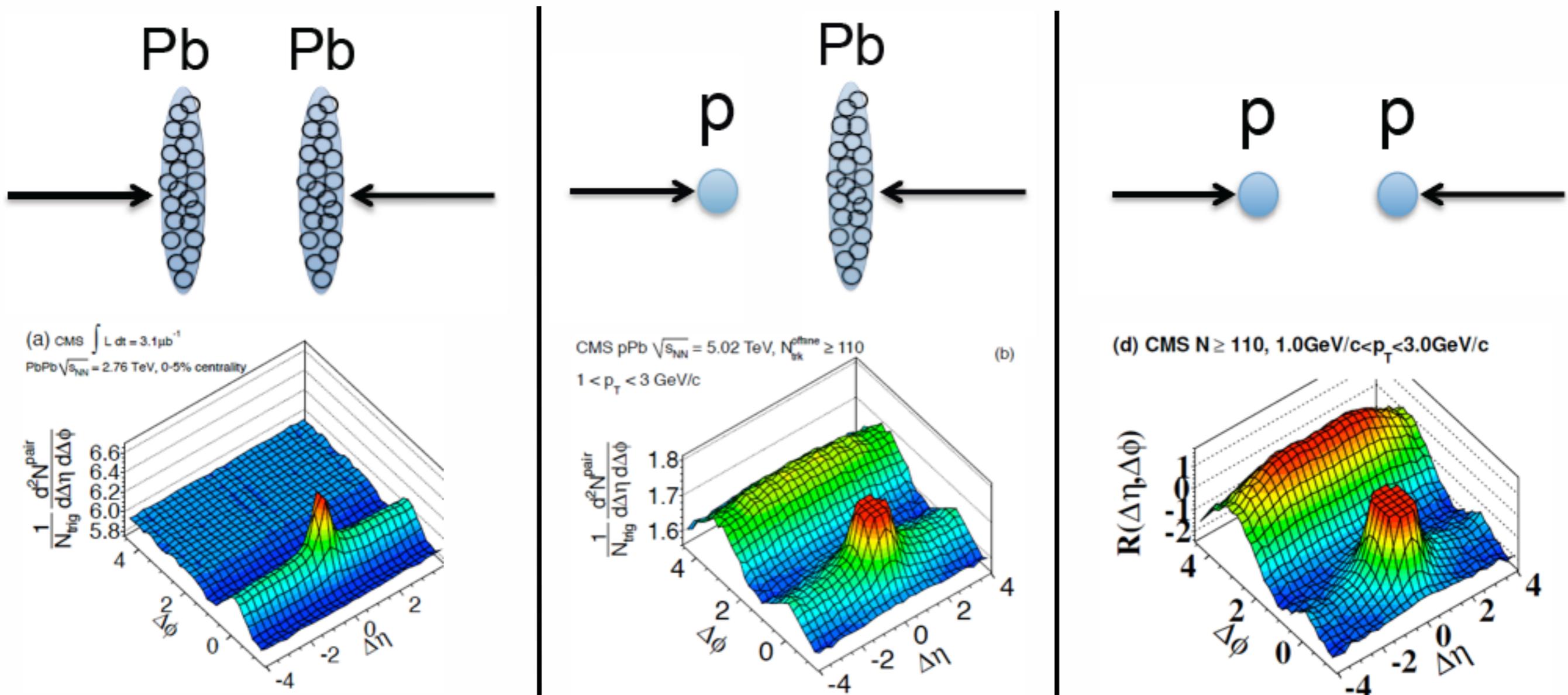
- 相互作用的强子气体
- 化学冻结和运动学冻结
- 奇异性增强

QGP中的长程关联现象



- 长程关联被认为是QGP产生并做集体运动的一个重要实验探针！

小碰撞中长程关联的物理机制?

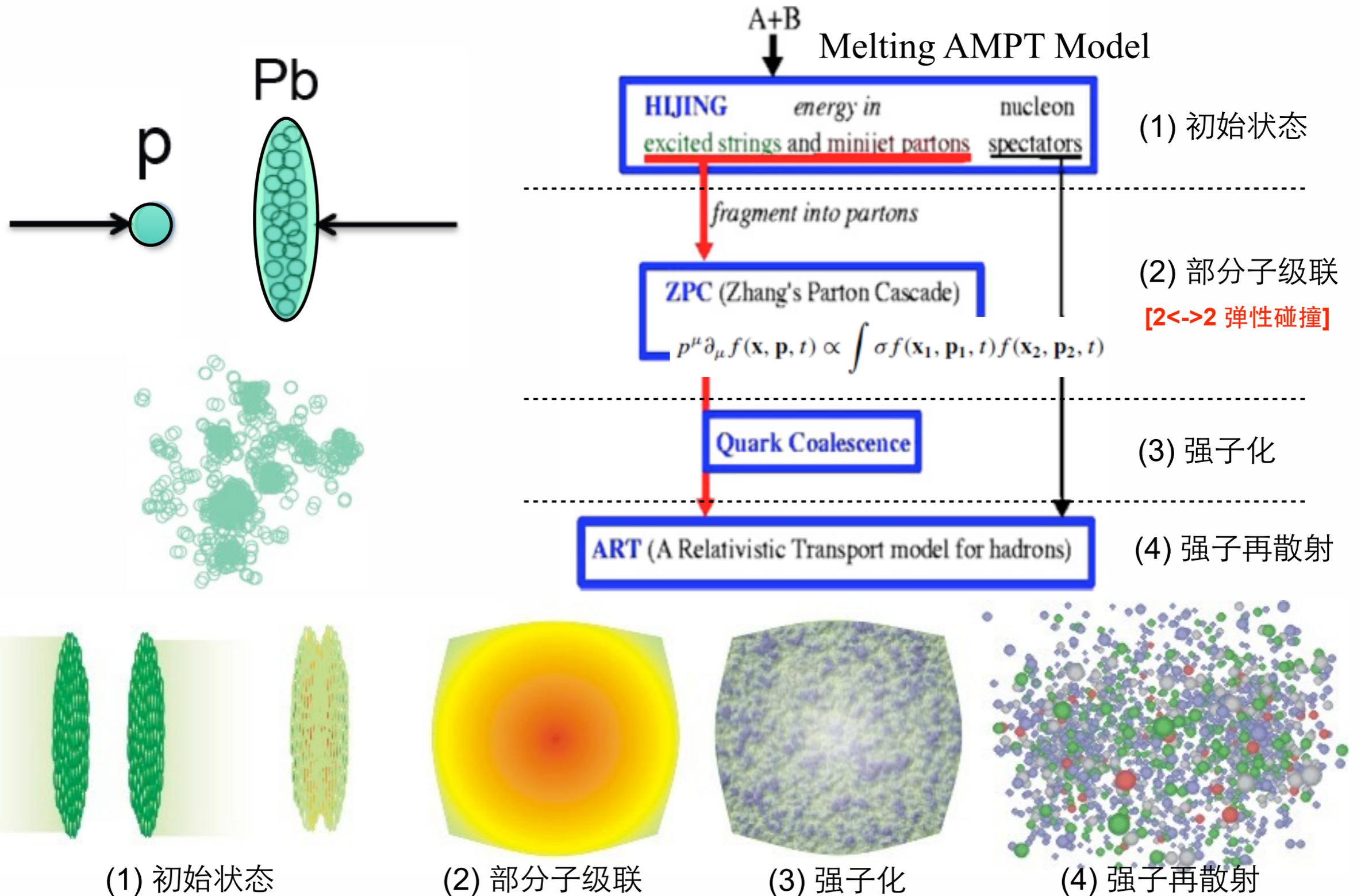


但是实验发现小尺寸碰撞和大尺寸碰撞中存在相似的长程关联!

- 质子存在奇特的内部结构? [B. Schenke, R. Venugopalan, Phys. Rev. Lett. 113, 102301 (2014)]
- 产生世界上最小液体 (QGP) 的集体流? [Piotr Bozek et al., Phys. Rev. Lett. 111, 172303 (2013)]
- 初始色玻璃凝聚机制(CGIC)? [K. Dusling and R. Venugopalan, Phys. Rev. D 87, 094034(2013)]
- 其它动力学机制?

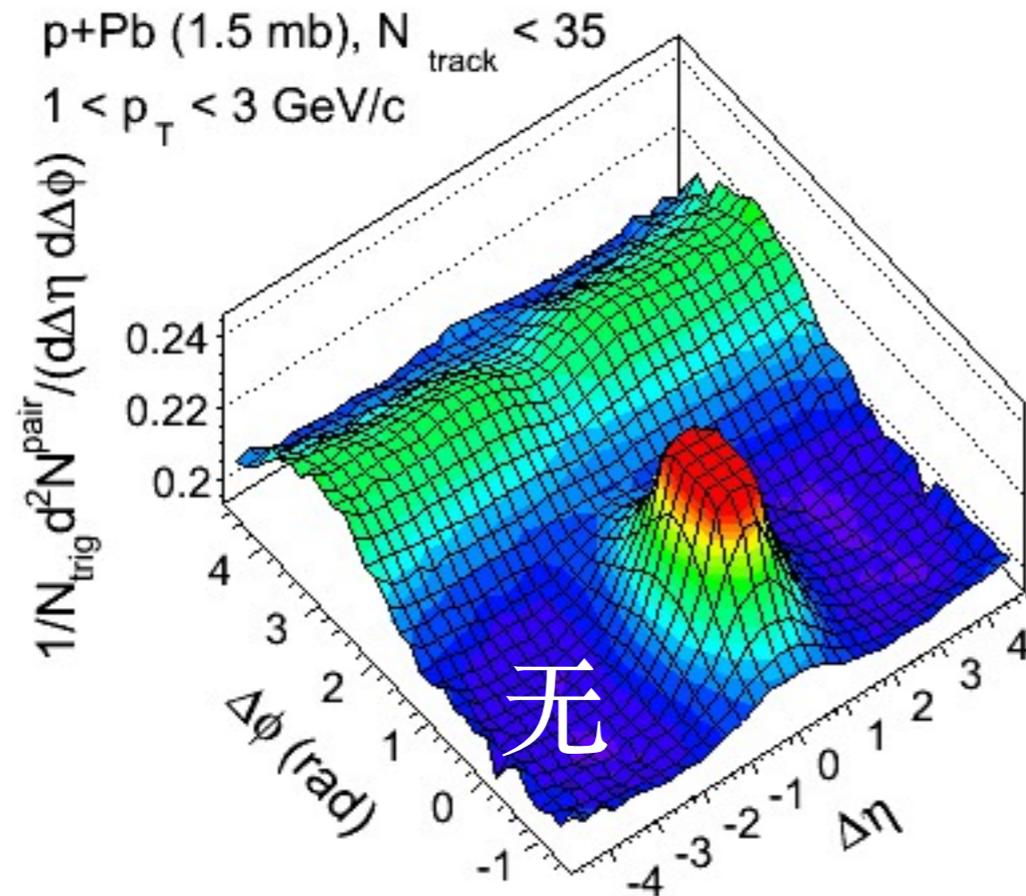
多相粒子运输模型 (AMPT)

Z.-W. Lin, C.-M. Ko, B.-A. Li, B. Zhang, and S. Pal, PRC 72 (2005) 064901

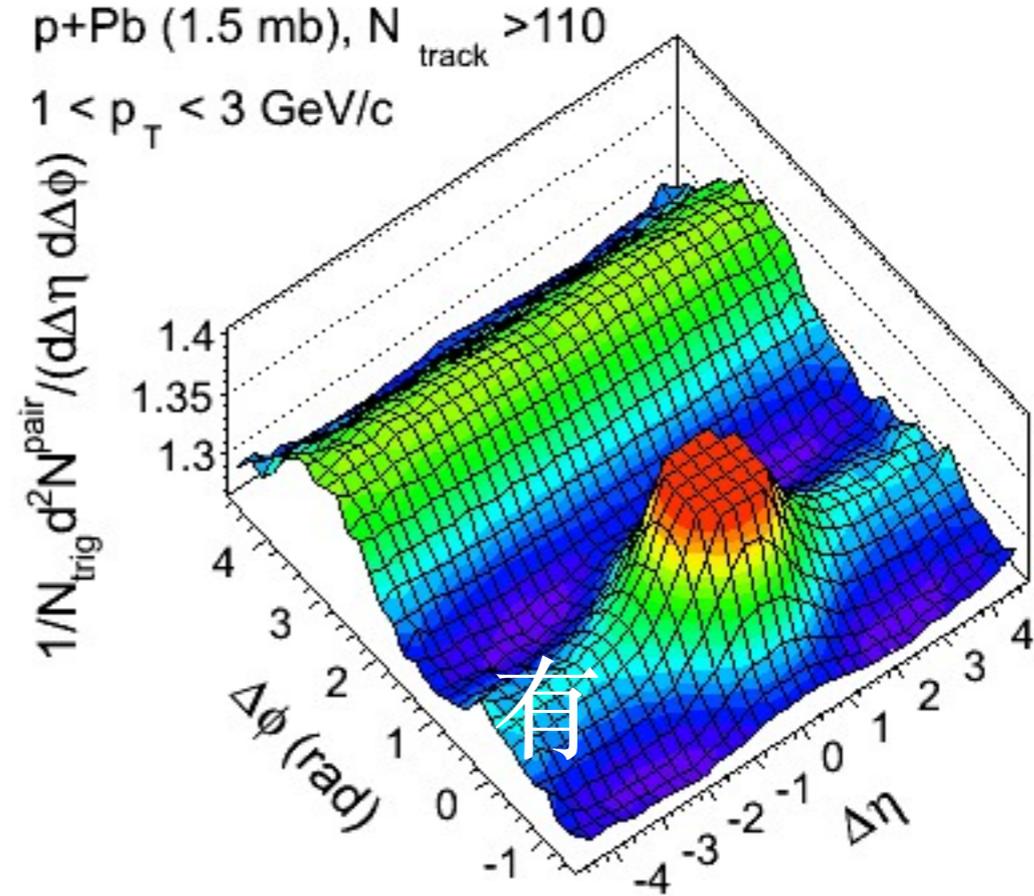


AMPT 结果：p+Pb中的长程关联

G.-L. Ma and A. Bzdak, PLB 739, 209 (2014)

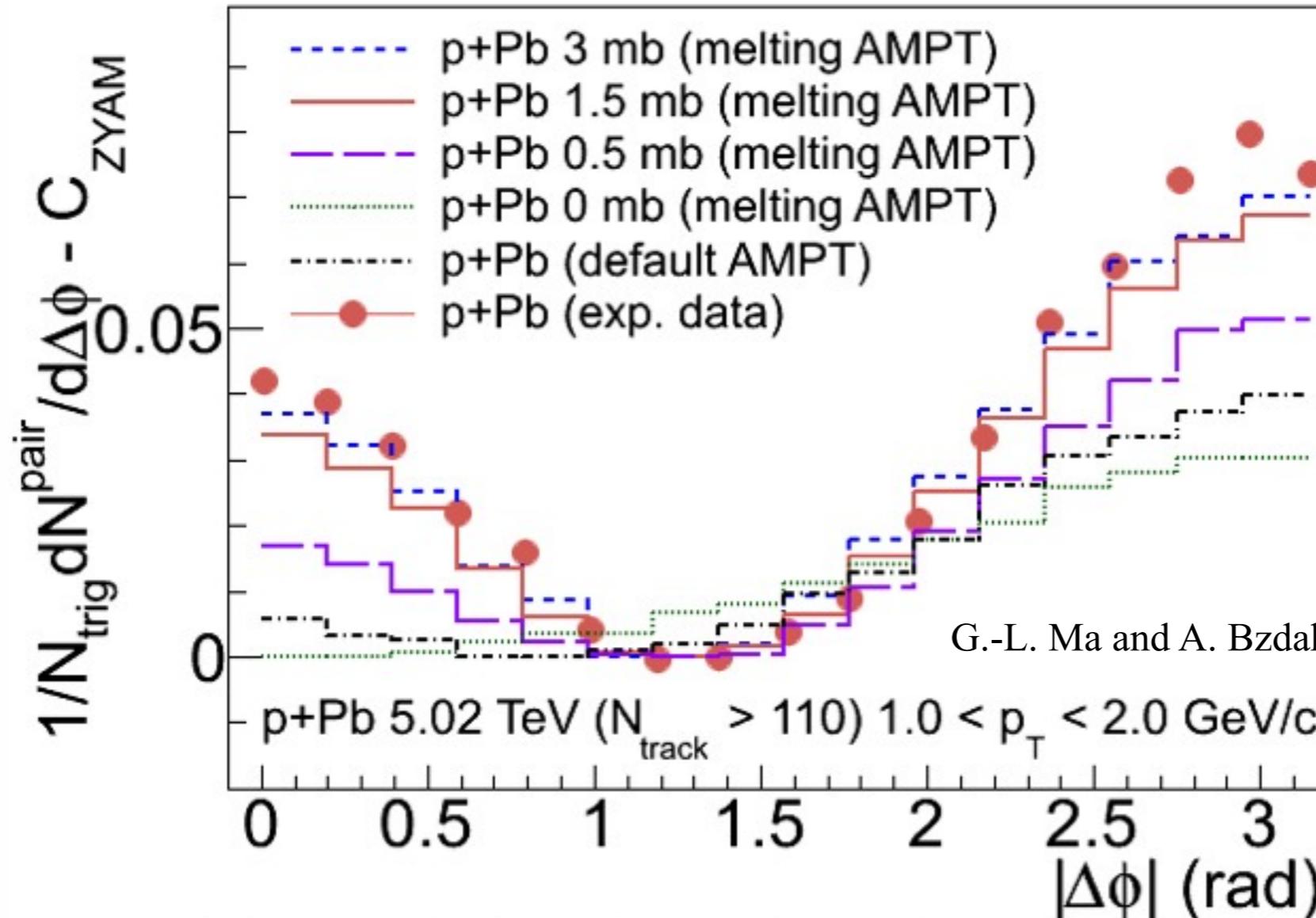


- No long-range correlation in low-multiplicity p+Pb.



- Clear long-range correlation in high-multiplicity p+Pb.

长程关联对部分子碰撞截面依赖性

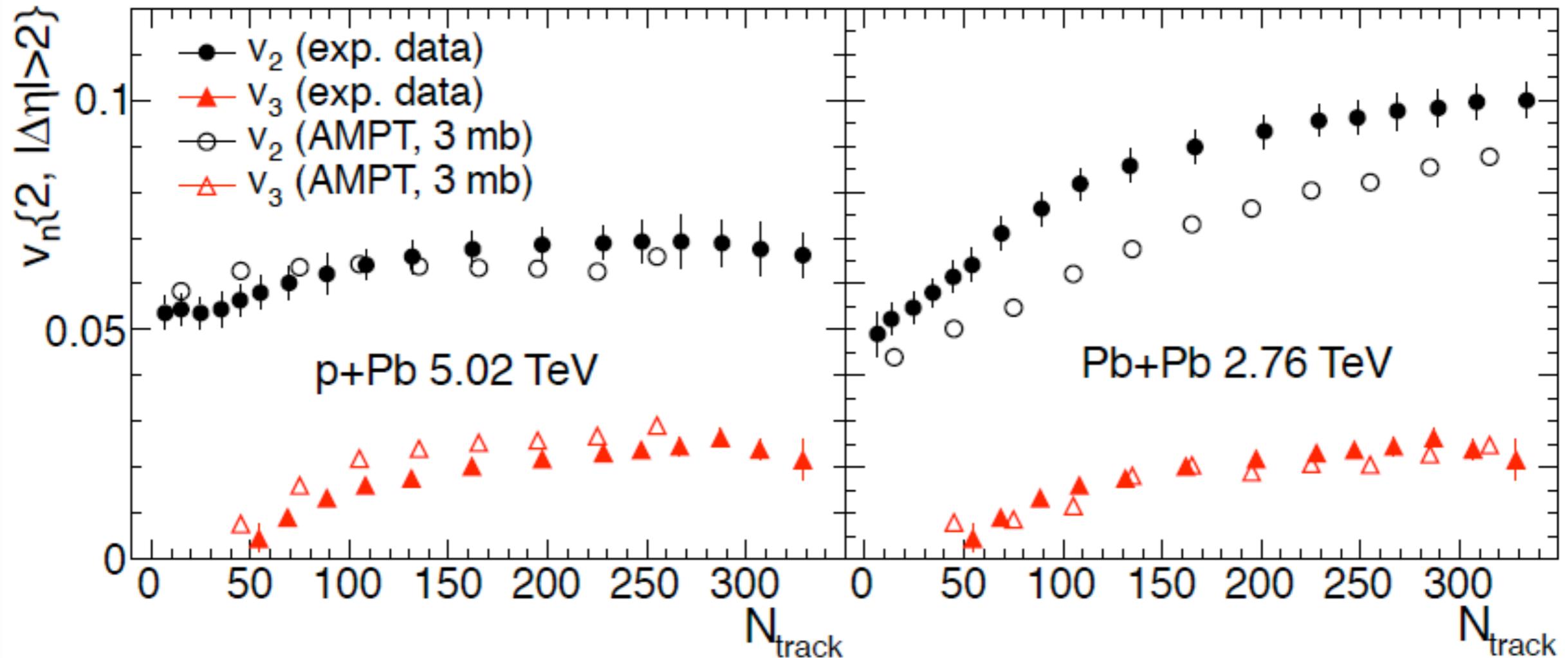


- The two-particle correlations in p+Pb can be well described by $\sigma=1.5\text{-}3$ mb.
- The strength of the signal gradually increases with growing σ and the signal vanishes completely for $\sigma = 0$ mb.
- No visible long-range signal in the default AMPT model.

=>长程关联来自于p+Pb中产生的部分子物质的碰撞。

AMPT 结果：p+Pb中的集体流 v_n

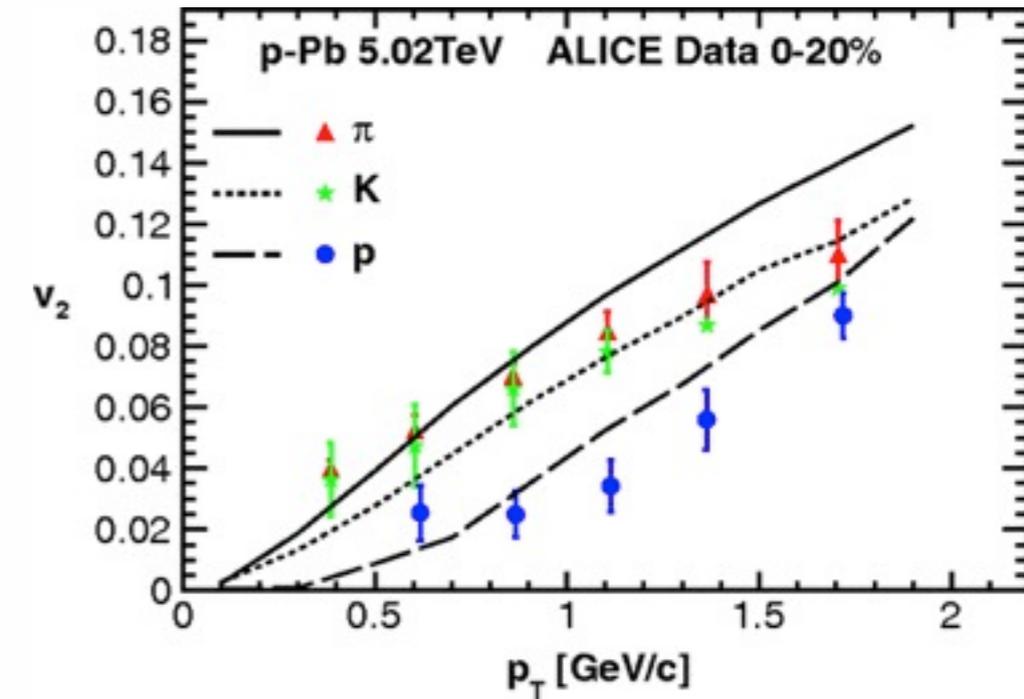
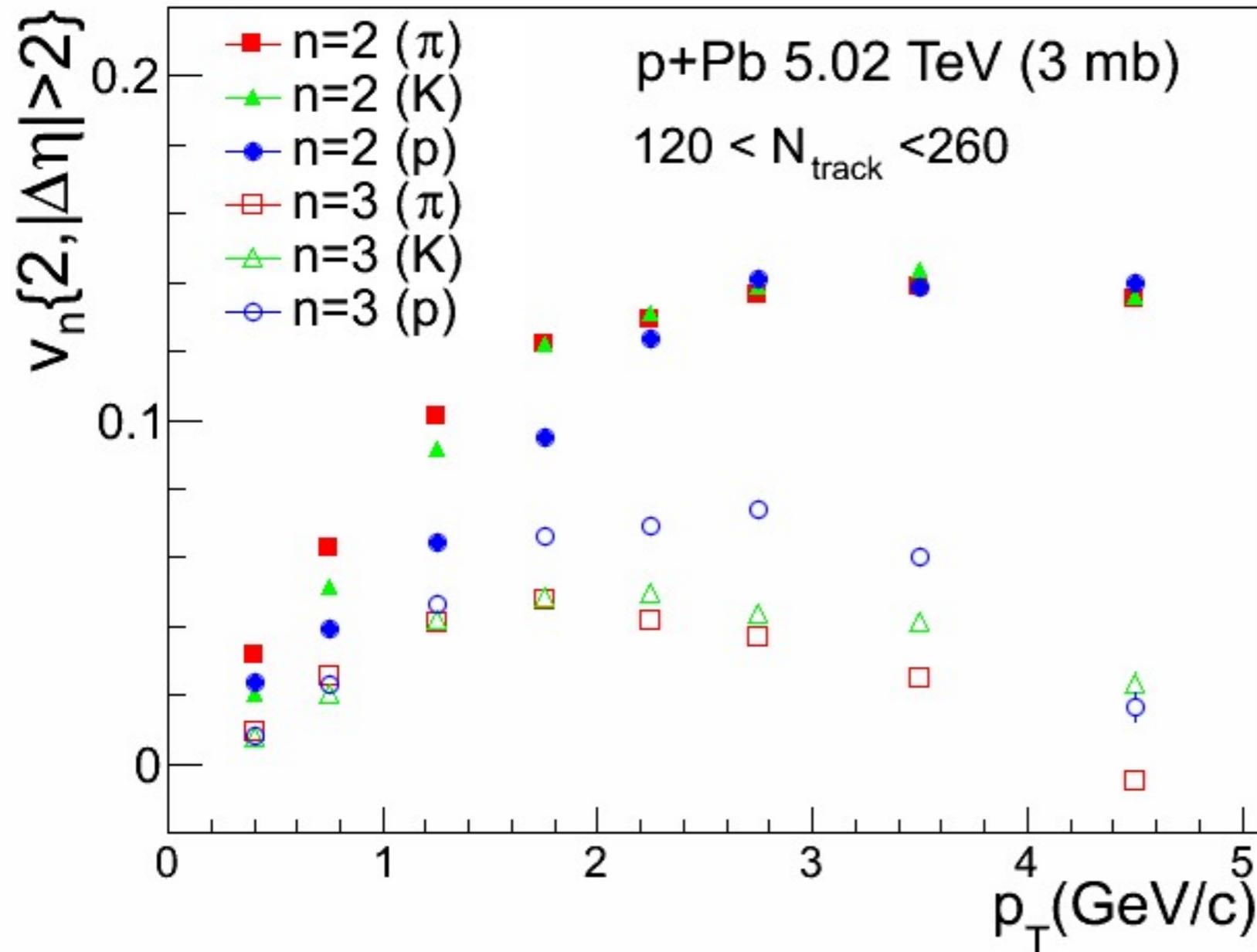
A. Bzdak and G.-L. Ma, PRL 113, 252301 (2014)



- AMPT (3 mb)模型成功地描述了p+Pb碰撞实验中的椭圆流和三角流。
- AMPT (3 mb)模型可以解释Pb+Pb碰撞实验中的三角流，但是低估了椭圆流大约20%左右。

AMPT 结果：p+Pb中的vn质量排序

A. Bzdak and G.-L. Ma, PRL 113, 252301 (2014)



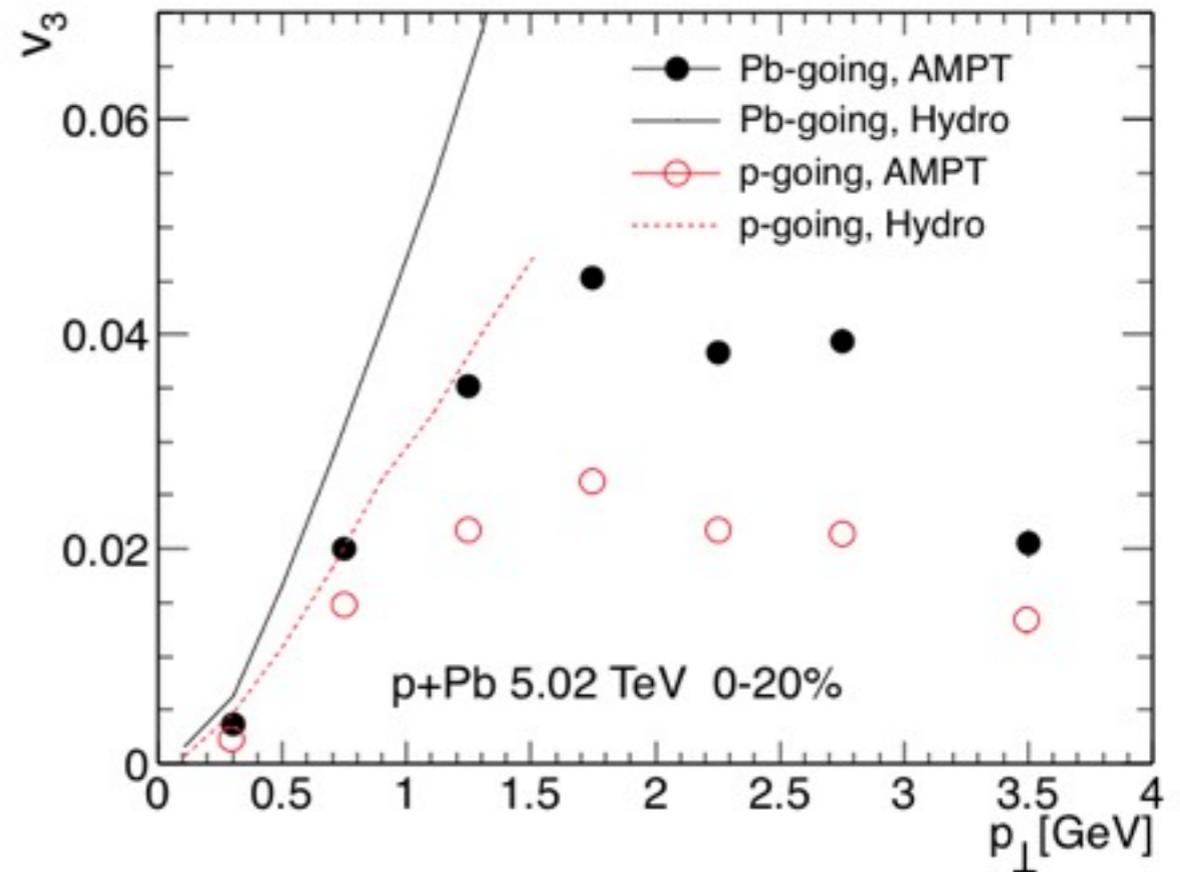
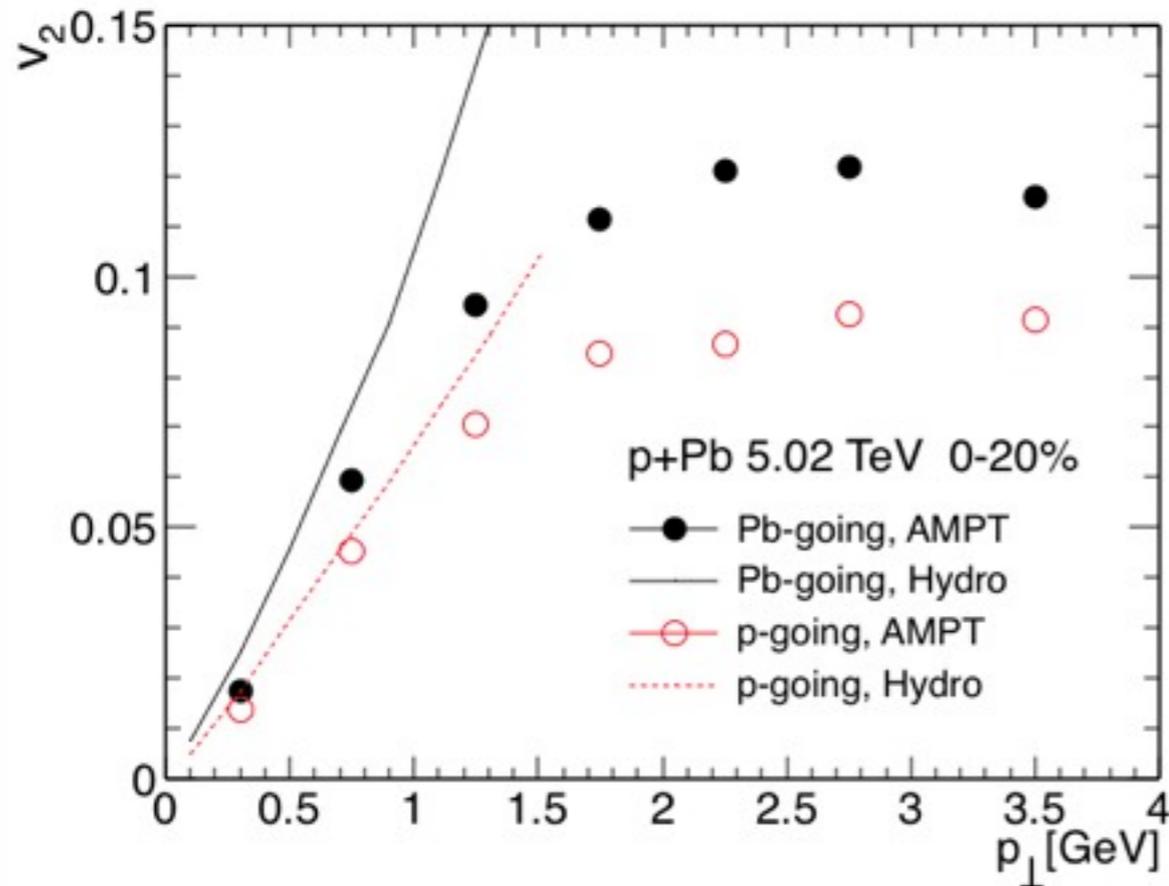
P Bożek, W. Broniowski, and G. Torrieri,
PRL 111, 172303 (2013)

- AMPT和流体力学模型都给出实验上观测到的椭圆流的质量排序。
- AMPT模型没有发现三角流满足质量排序。

AMPT和3+1维粘滞性流体力学模型合作研究：

质子运动方向 vs 铅核运动方向的 v_n

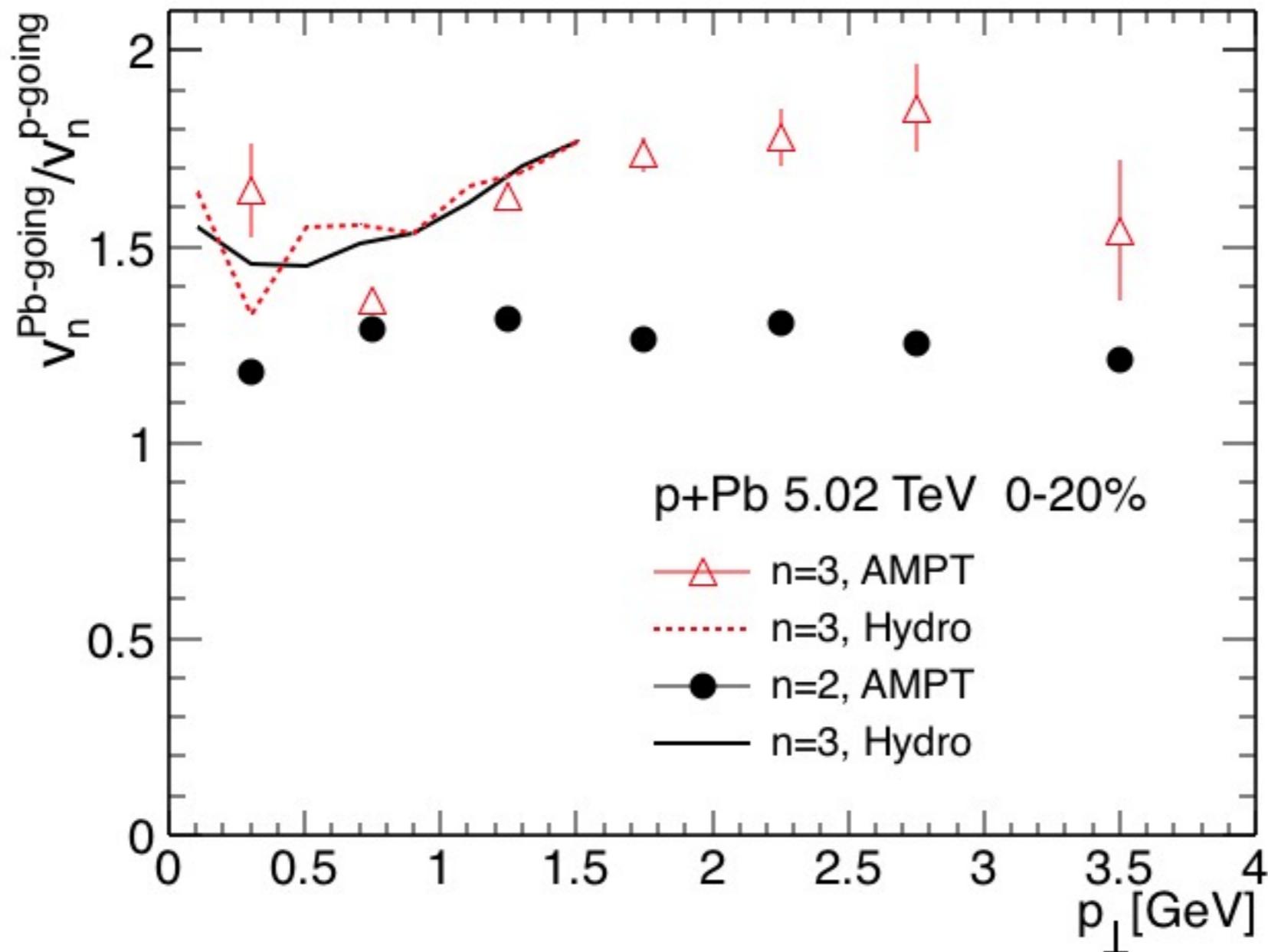
P. Bozek, A. Bzdak, G.-L. Ma, PLB 748, 301 (2015) [arXiv:1503.03655].



- AMPT和3+1维粘滞性流体力学模型预言铅核运动方向的椭圆流和三角流大于质子运动方向的椭圆流和三角流。
- AMPT的结果 < 3+1维粘滞性流体力学的结果。

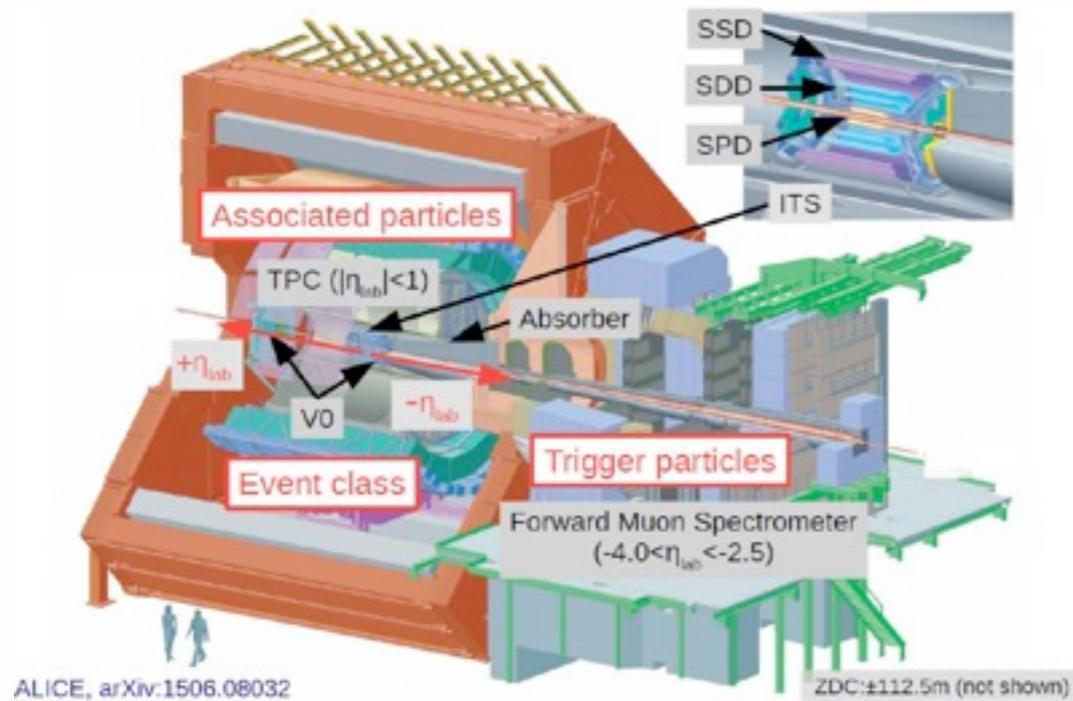
$v_n(\text{铅核运动方向}) / v_n(\text{质子运动方向})$

P. Bozek, A. Bzdak, G.-L. Ma, PLB 748, 301 (2015) [arXiv:1503.03655].

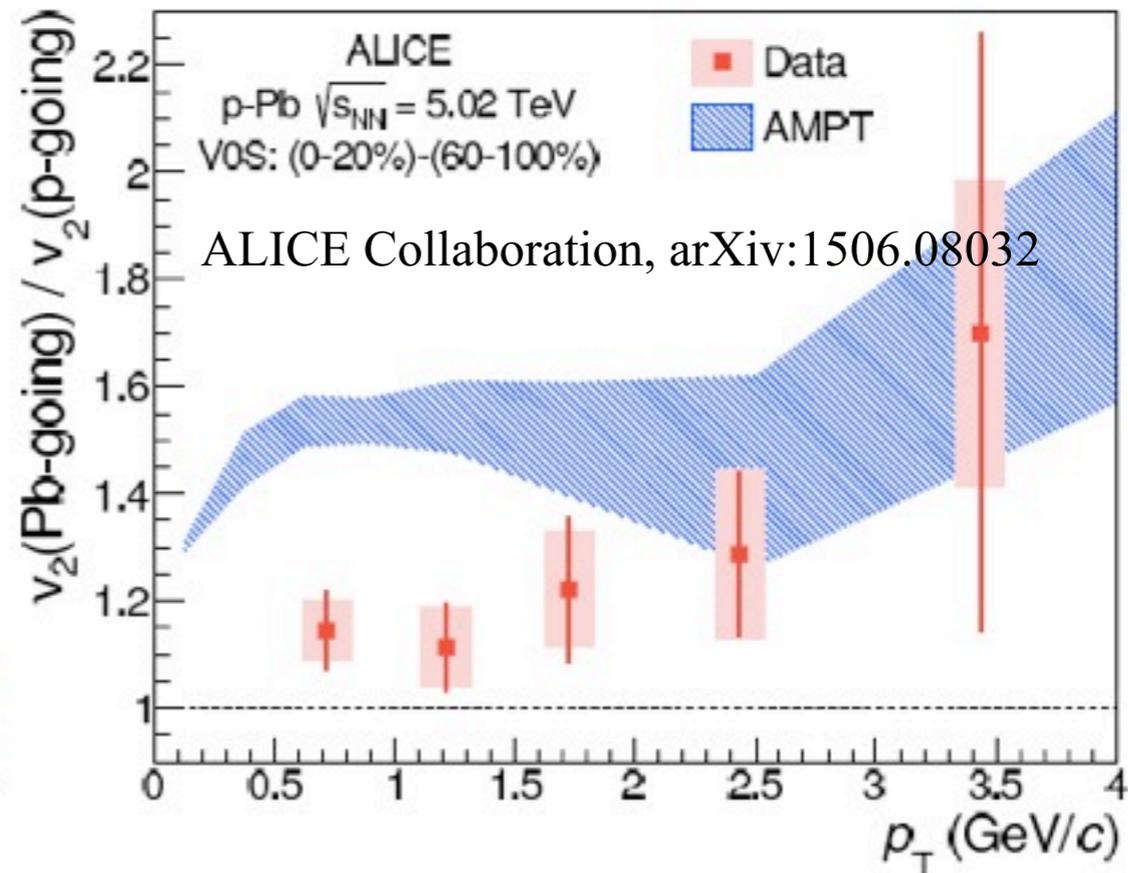
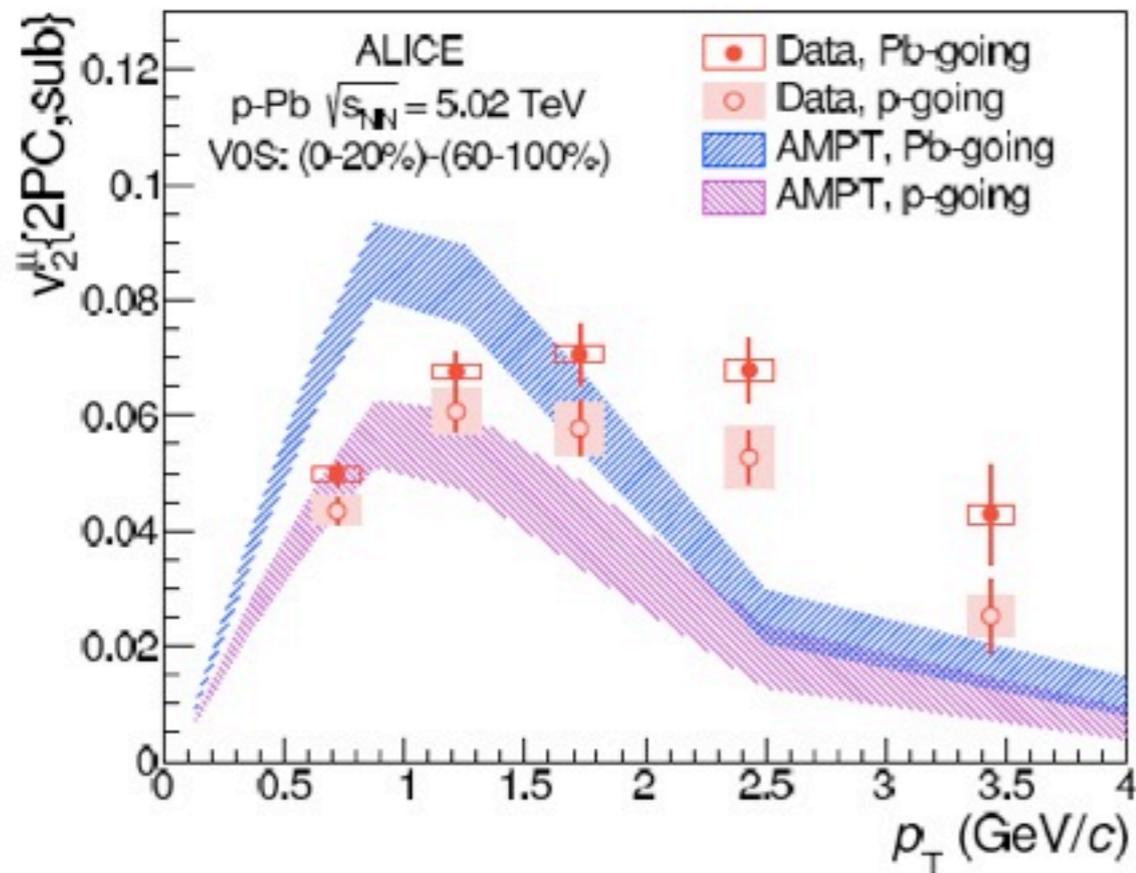


- AMPT和3+1维粘滞性流体力学模型给出类似的 $v_3(\text{Pb-going})/v_3(\text{p-going})$ 。
- AMPT (3mb) 比3+1维粘滞性流体力学模型给出了较小的 $v_2(\text{Pb-going})/v_2(\text{p-going})$ 。

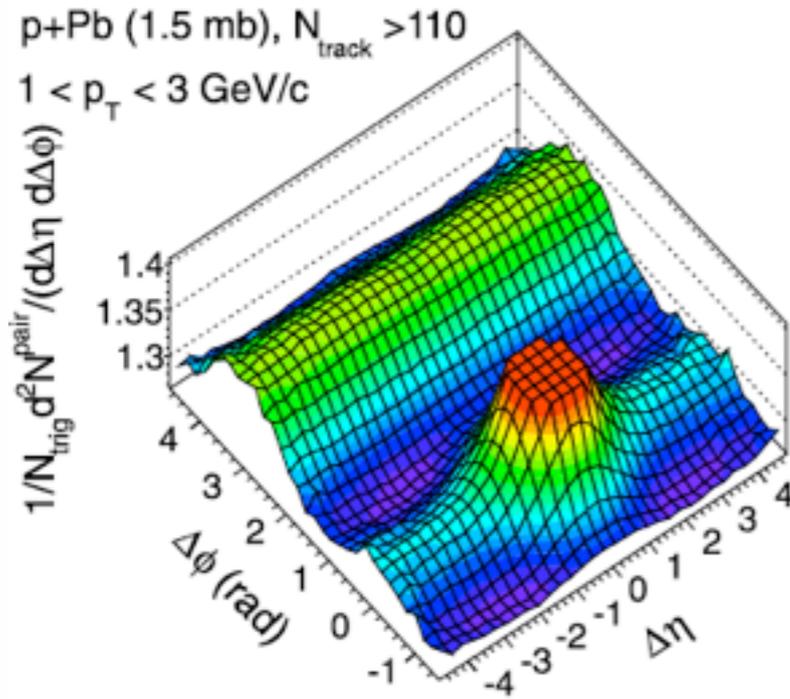
ALICE 实验测量结果



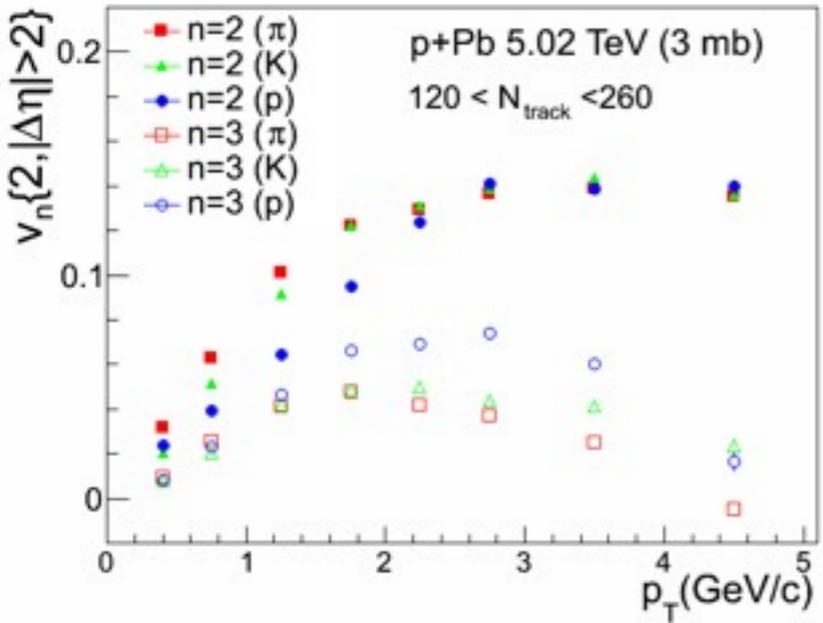
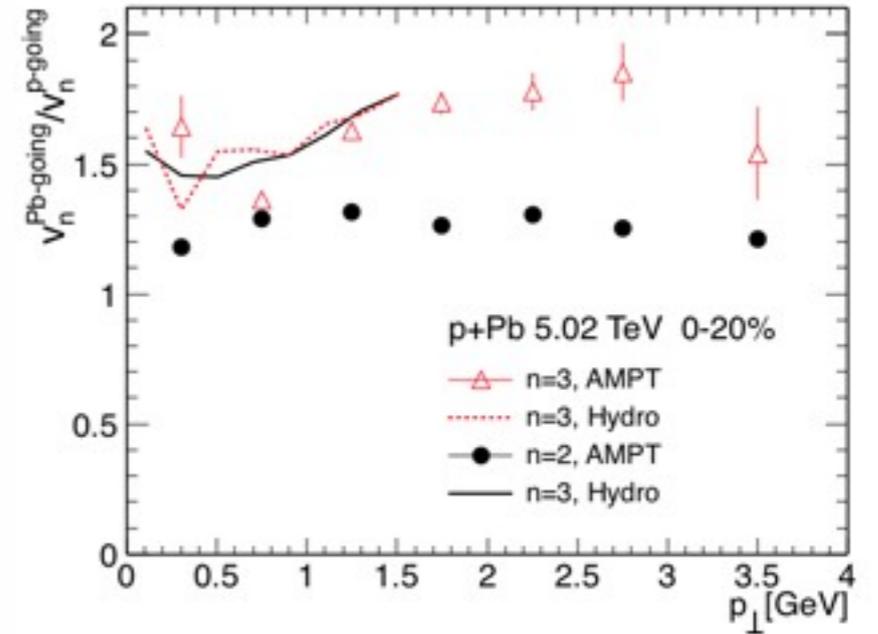
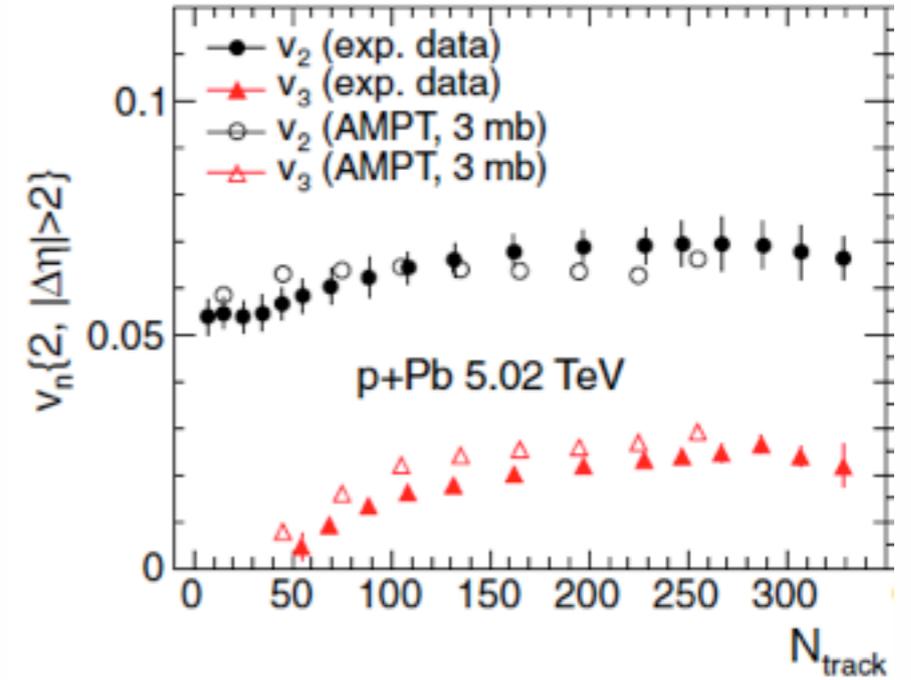
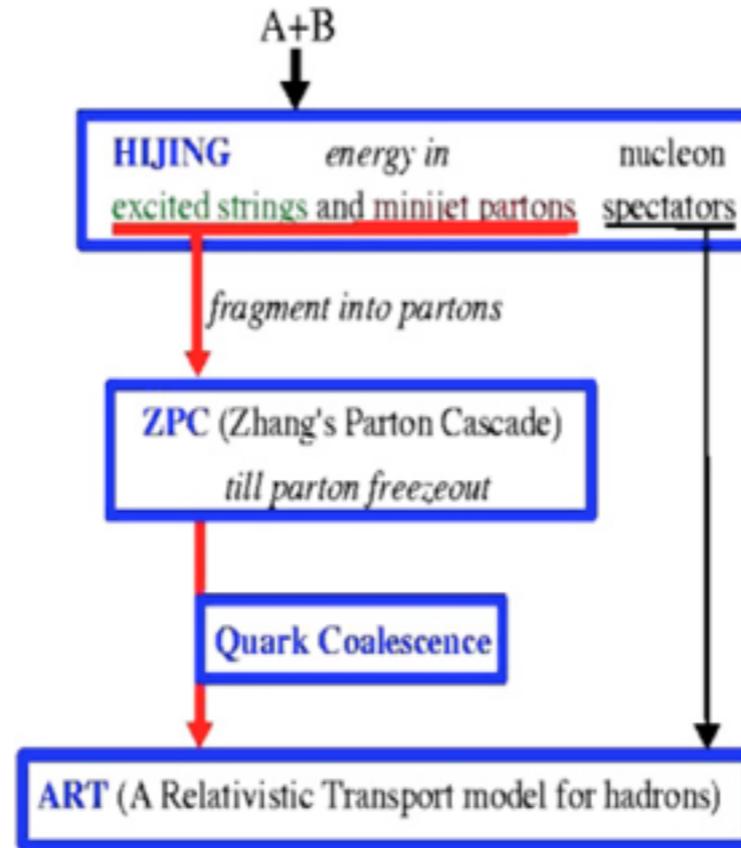
- 最近ALICE实验组使用muon探测器进行了测量，实验结果和我们的理论预言趋势相符。



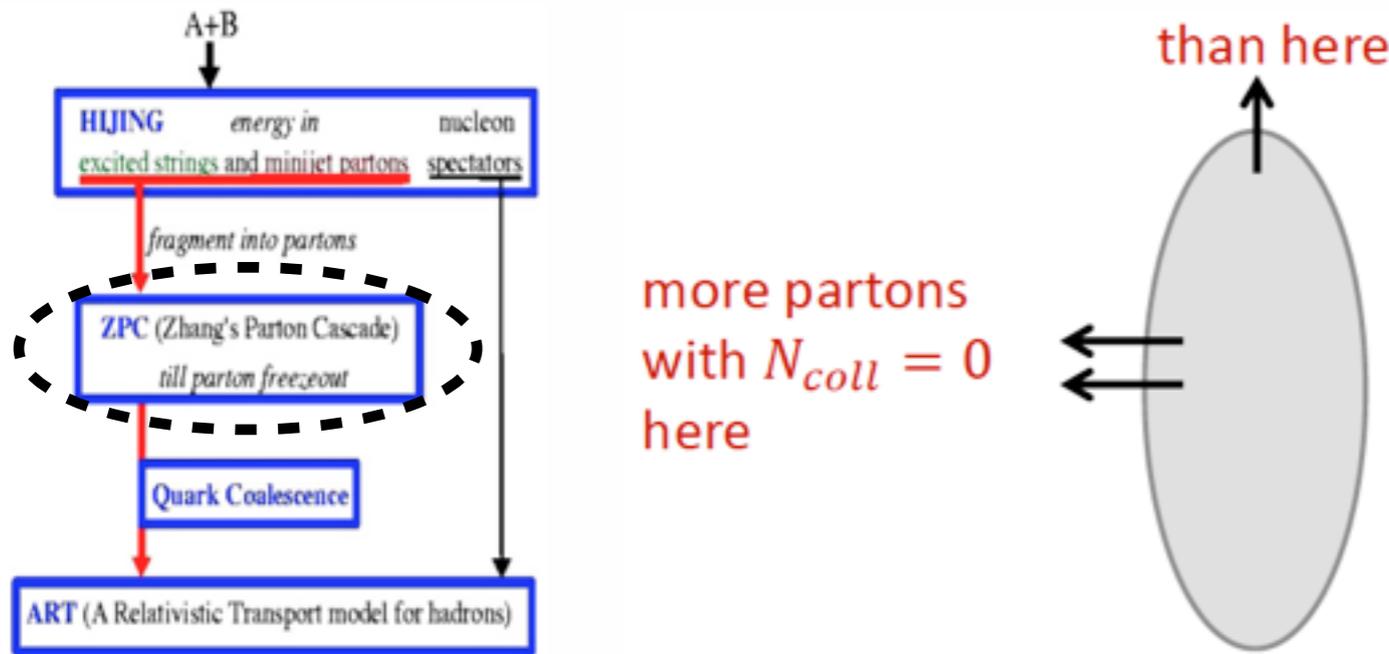
物理机制?



Melting AMPT Model



一种可能的解释: 逃逸机制

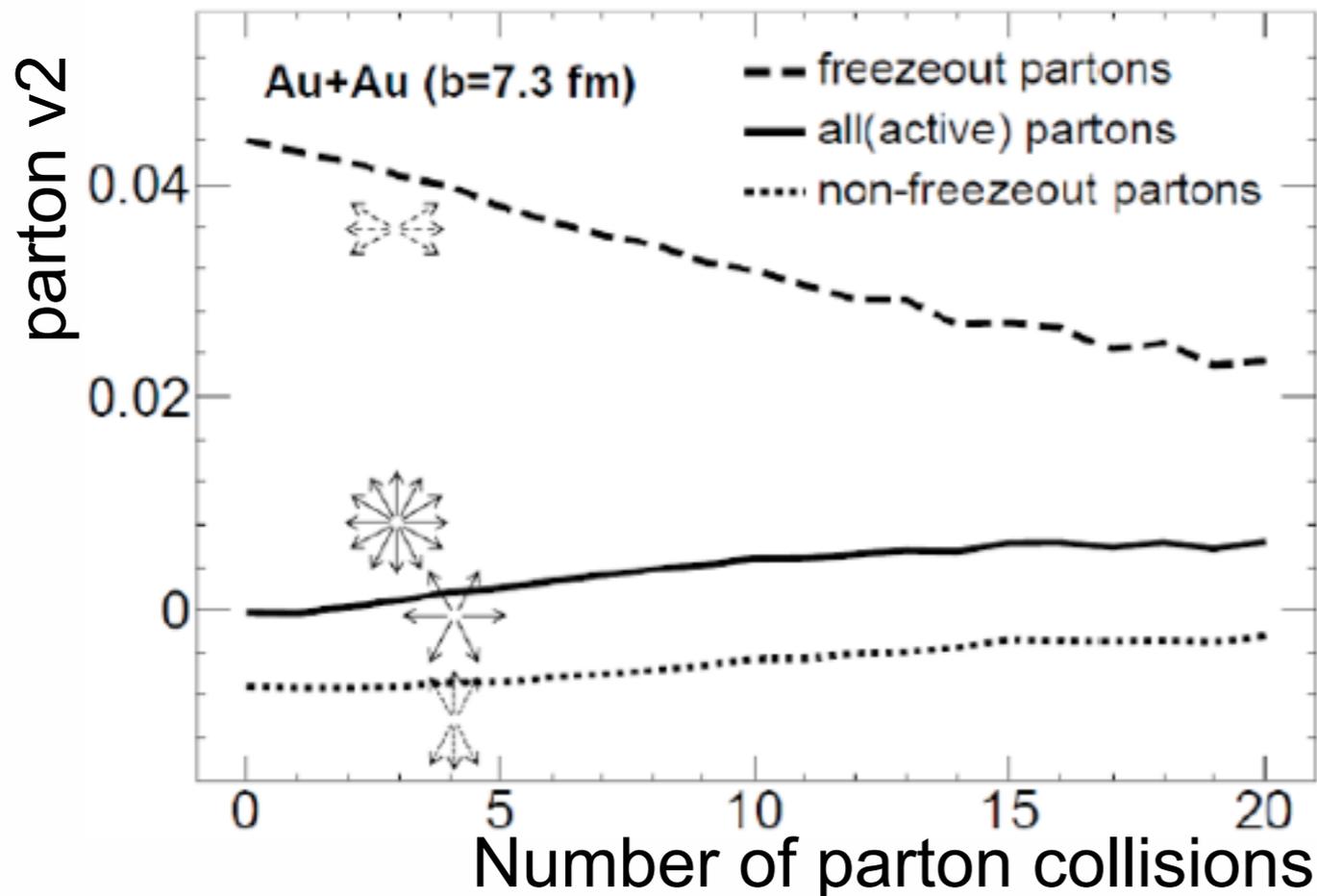


L. He, T. Edmonds, Z.W. Lin, F. Liu,
D. Molnar, F. Wang, arXiv:1502.05572

粒子沿着短轴比沿着长轴更容易逃离出系统。

Features:

- $N_{coll}=0$ Partons freeze out with large positive v_2 , because of the initial geometry.
- Remaining partons become isotropic from negative v_2 after one more collision.
- The escape contribution to total v_2 is large ($\sim 70\%$) in mid-central Au+Au.
- Larger for d+Au ($\sim 90\%$).

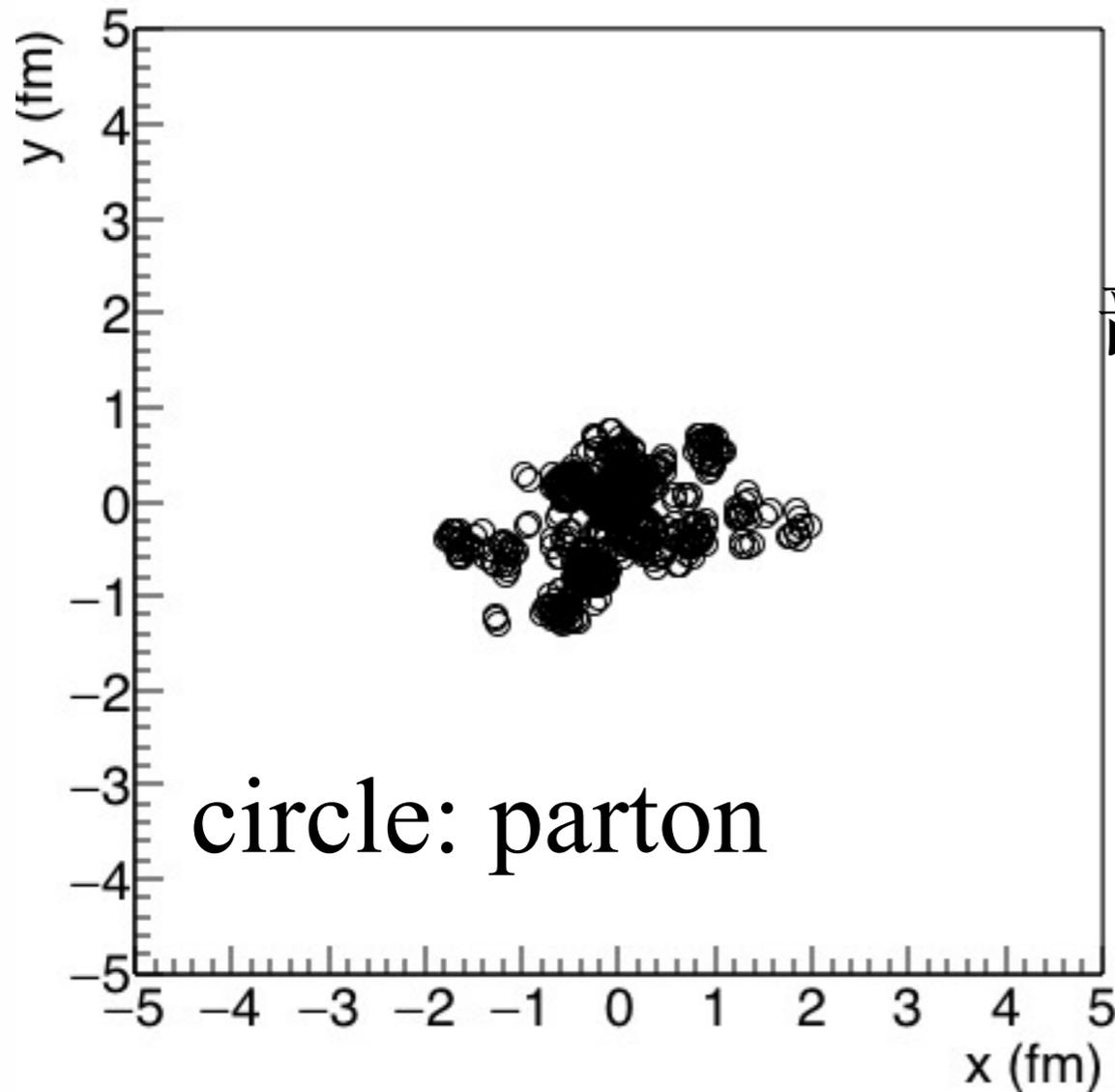


p+Pb碰撞的初始和末态分布

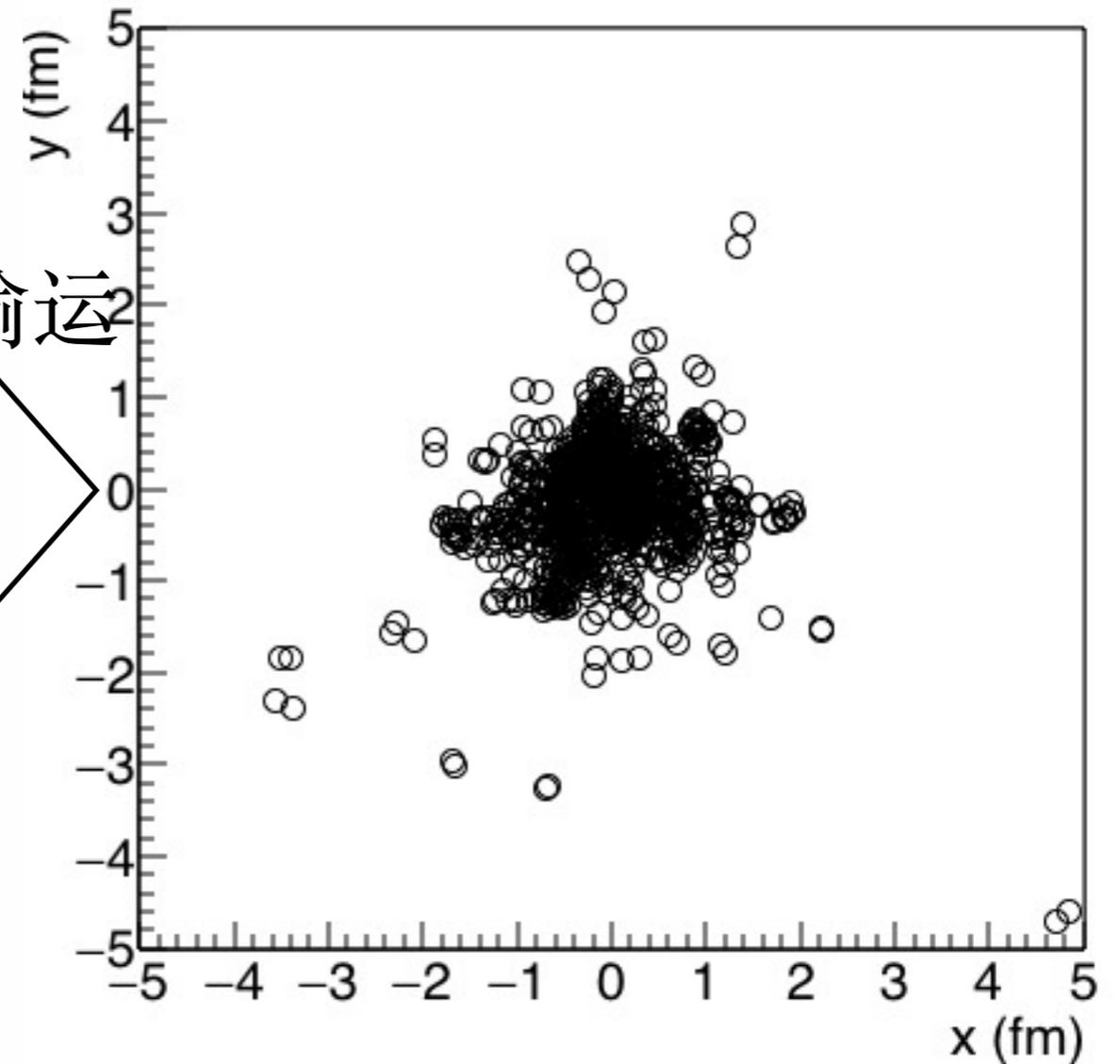
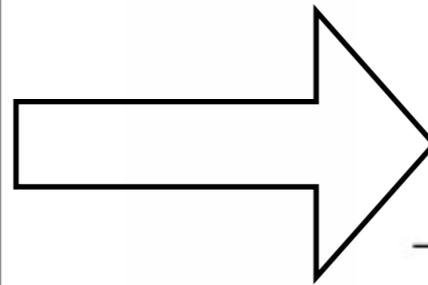
A p+Pb 5.02 TeV AMPT event (Ntrack=141)

初态

末态

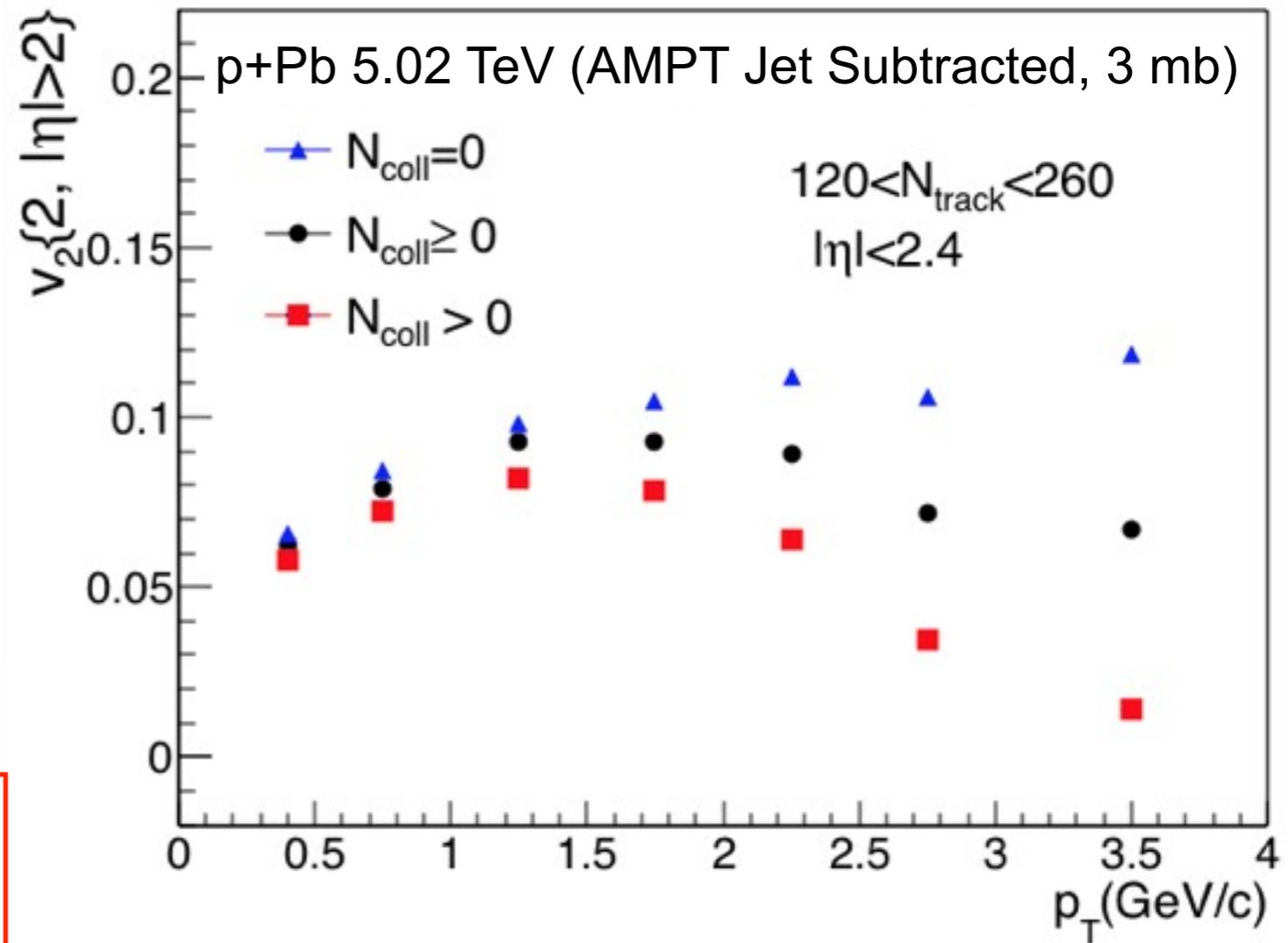
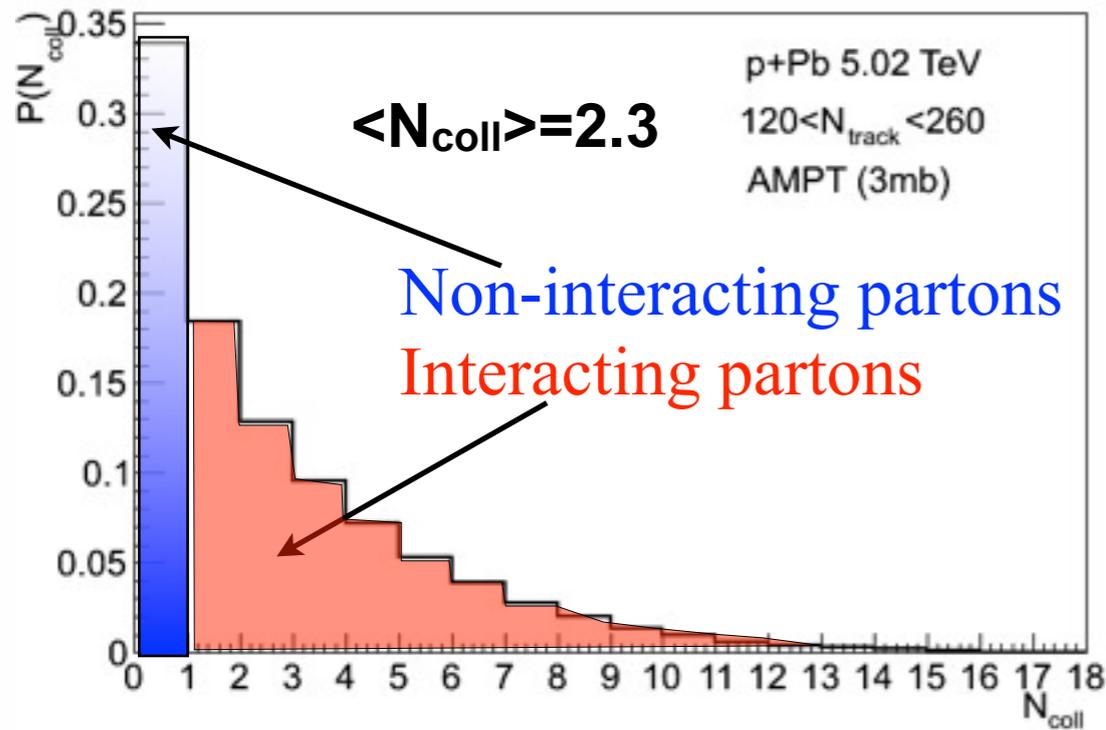


部分子输运



无相互作用粒子的 v_2 vs 有相互作用粒子的 v_2

Preliminary



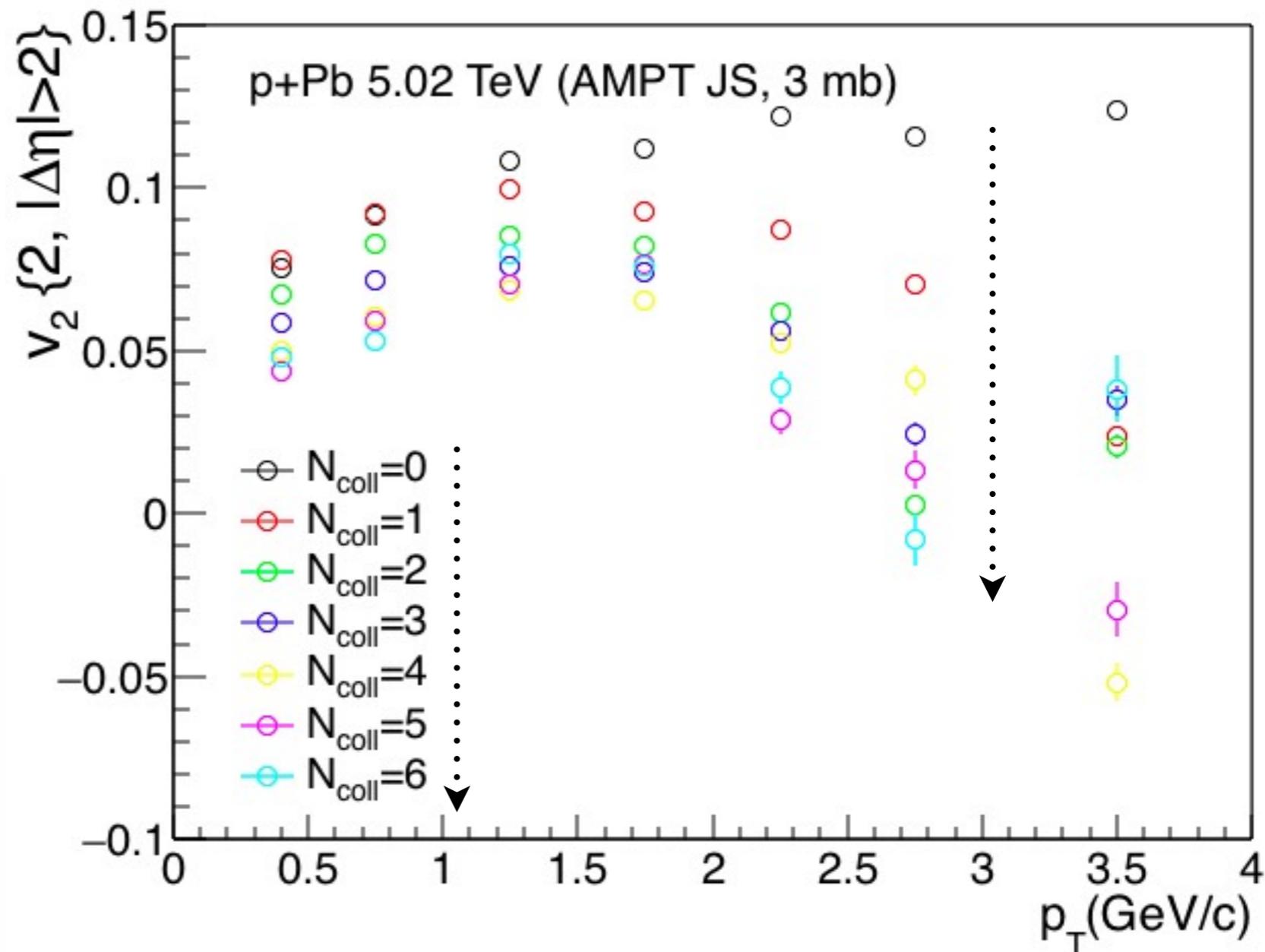
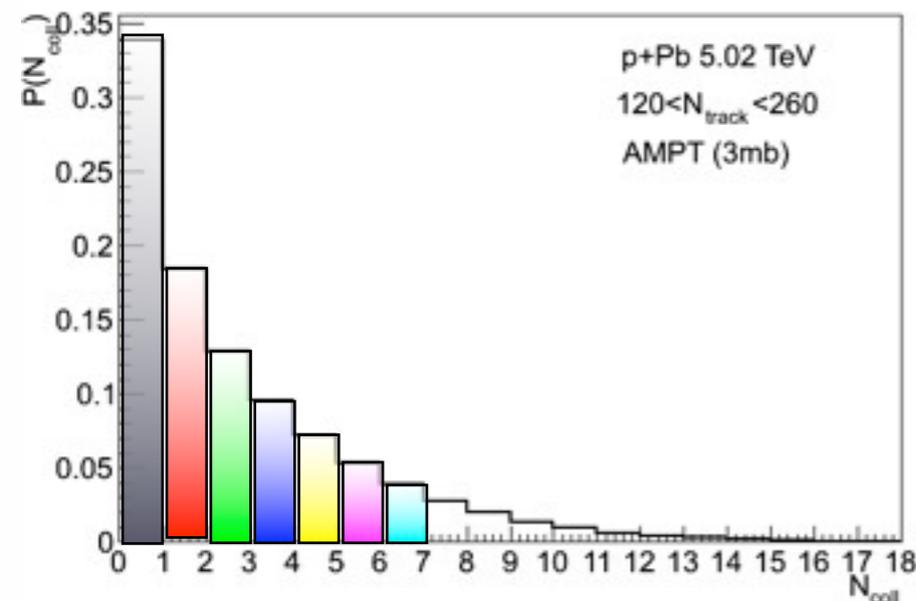
$$\boxed{\begin{array}{l} \text{partons} \\ N_{\text{coll}} \geq 0 \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Non-interacting} \\ \text{partons} \\ N_{\text{coll}} = 0 \end{array}} + \boxed{\begin{array}{l} \text{Interacting} \\ \text{partons} \\ N_{\text{coll}} > 0 \end{array}}$$

- 无相互作用粒子的 $v_2 >$ 有相互作用粒子的 v_2

末态v2对碰撞数的依赖性

末态的部分子

Preliminary



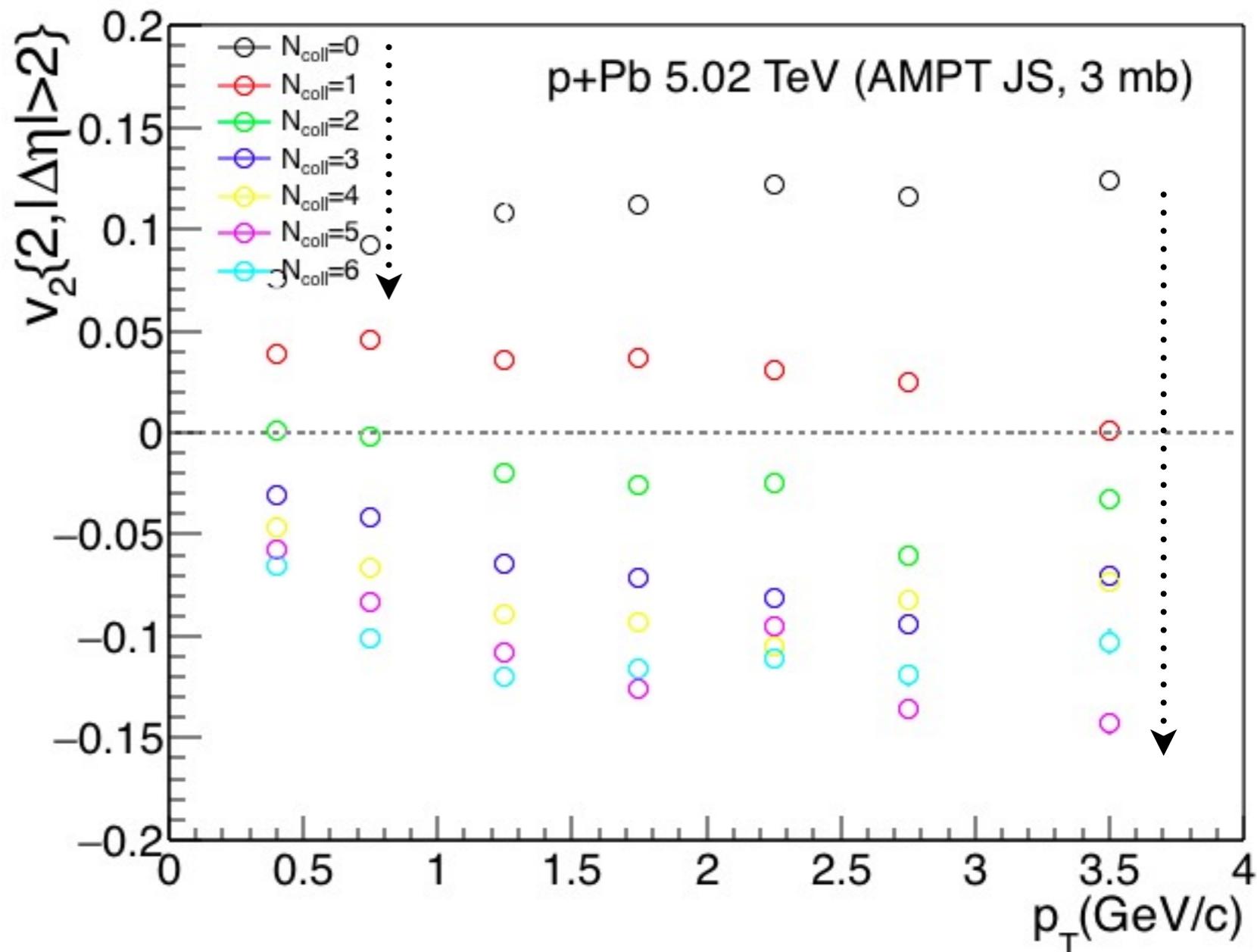
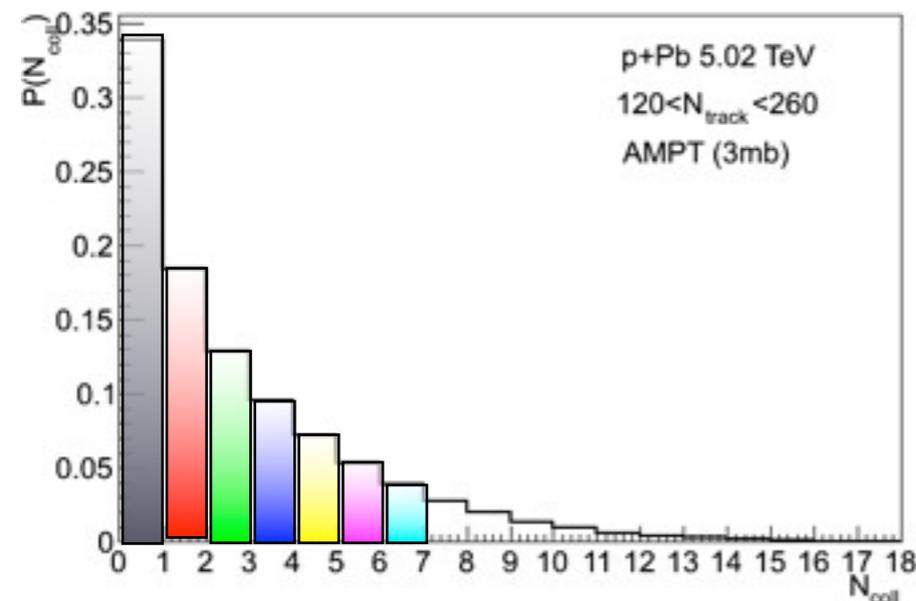
$$\begin{aligned} \text{partons} &= N_{\text{coll}}=0 + N_{\text{coll}}=1 \\ &+ N_{\text{coll}}=2 + N_{\text{coll}}=3 + N_{\text{coll}}=4 \\ &+ N_{\text{coll}}=5 + N_{\text{coll}}=6 + \dots \end{aligned}$$

- 末态粒子的v2随着碰撞数的增加而减小。

初态v2对碰撞数的依赖性

初态的部分子

Preliminary

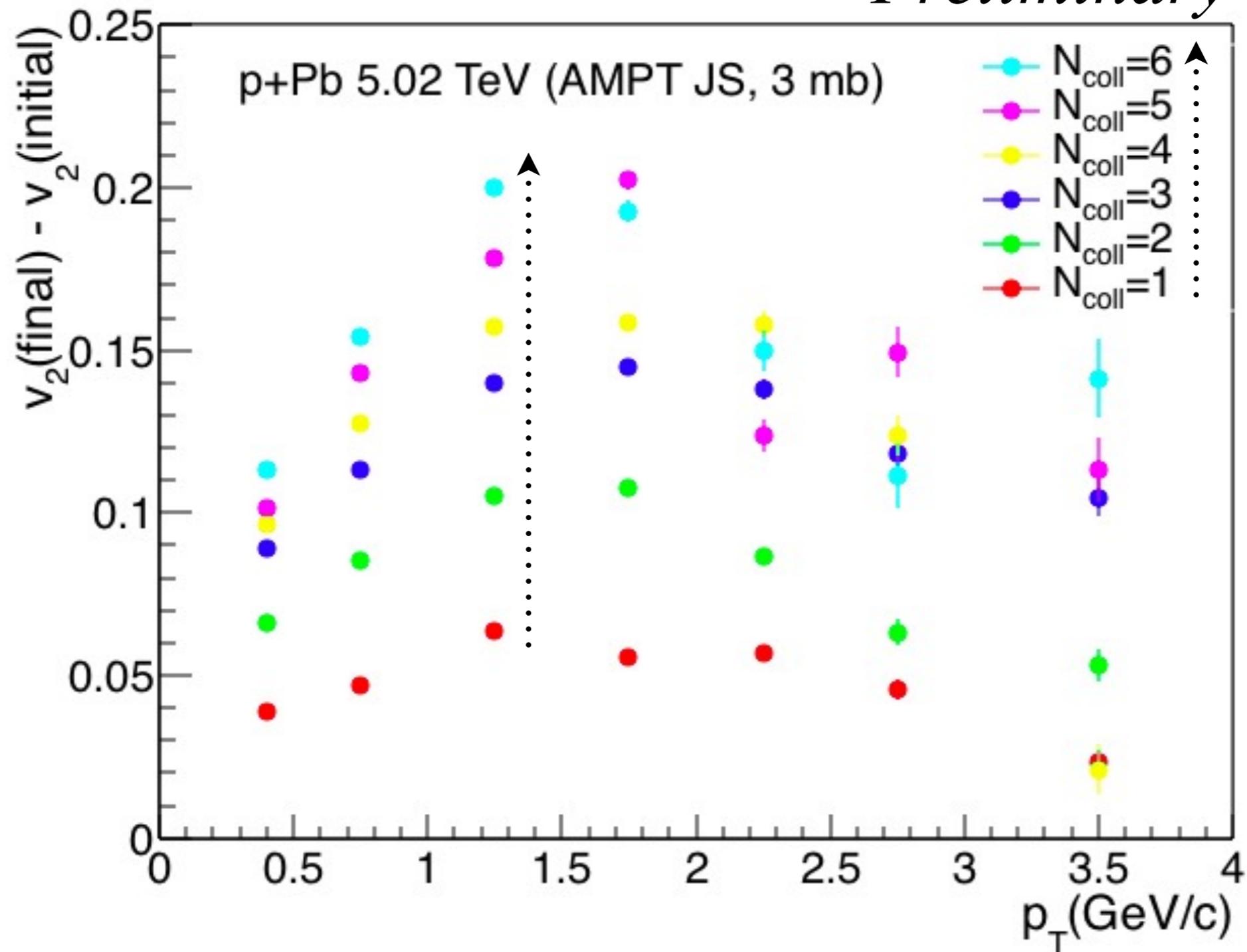


$$\begin{aligned}
 \text{partons} &= \text{Ncoll=0} + \text{Ncoll=1} \\
 &+ \text{Ncoll=2} + \text{Ncoll=3} + \text{Ncoll=4} \\
 &+ \text{Ncoll=5} + \text{Ncoll=6} + \dots
 \end{aligned}$$

- 少碰撞数的粒子具有正的初态v2,多碰撞数的粒子具有负的初态v2。
 = >> 所有粒子的平均的初态v2是零。

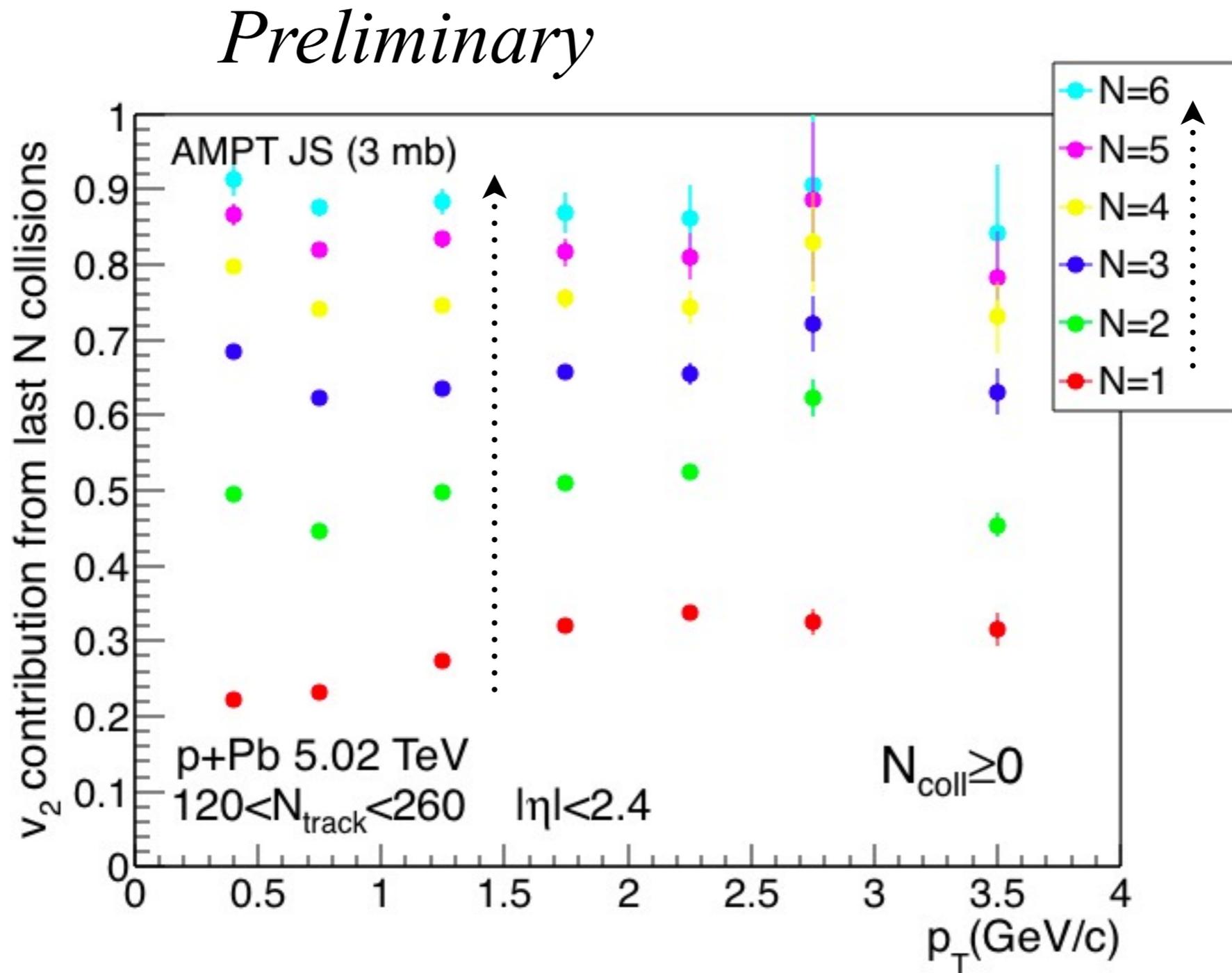
v_2 的净增量和碰撞数的关系

Preliminary



- 更多的部分子碰撞造成了更多的椭圆流的增加。

倒数N次碰撞的贡献



- 最后几次碰撞就可以产生p+Pb中绝大部分的椭圆流。

小结

- 通过 $\sigma = 1.5-3\text{mb}$ 的部分子弹性碰撞就可以产生出p+Pb中长程关联和集体流。
- AMPT模型和3+1维粘滞性流体力学模型描述了铅核运动和质子两个运动方向的椭圆流和三角流的区别。
- p+Pb中长程关联和集体流的产生机制源自小碰撞体系中部分子很少次碰撞。这项工作仍在继续研究之中。