

重イオン衝突におけるフローの 測定を通じたEoSの研究

磯部忠昭 (理化学研究所)

中性子星の核物質

2011年9月13日 @理研

Contents

- 重イオン衝突におけるフロー
- これまでのフロー測定による結果
 - 対称核物質、非対称核物質
- 現在の実験的背景
 - RIBF-SAMURAI-TPC
- まとめ

EoSと重イオン衝突

- EoS: 原子核のバルクな性質を考えたときの密度(ρ)・陽子-中性子差(非対称度: $\delta = (\rho_n - \rho_p) / \rho$)・エネルギーの関係

$$E(\rho, T = 0, \delta) = \varepsilon(\rho, \delta = 0) + S(\rho)\delta^2 + O(\delta^4)$$

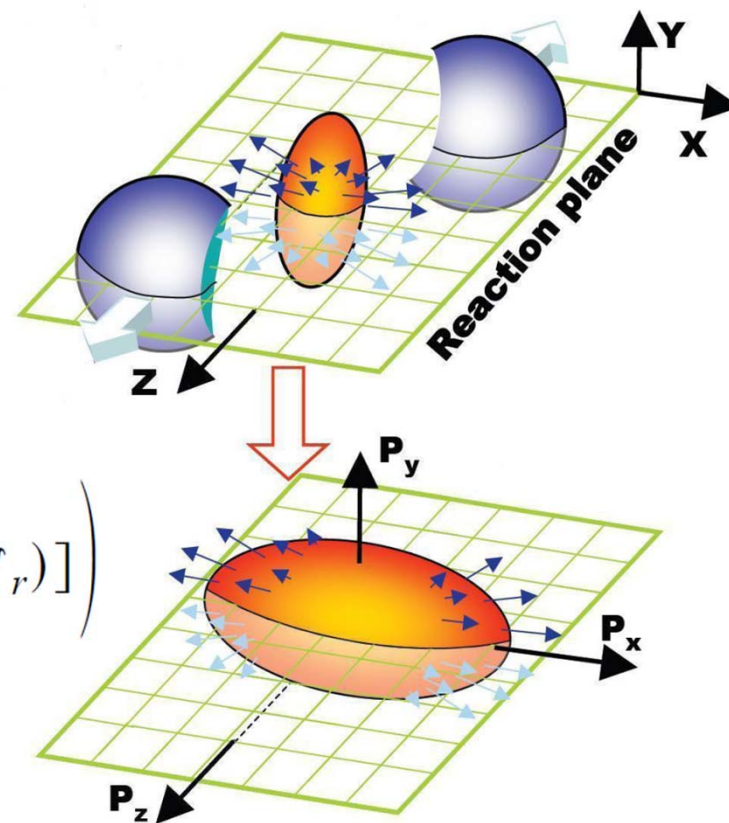
$$\delta = \frac{N - Z}{N + Z}$$

- 陽子-中性子差(δ)に依存する部分($S(\rho)$)を明らかにする事が今後の課題
 - $N \sim Z$ はデータが比較的そろっている
 - $\delta \rightarrow 1$ の極限がすなわち中性子星物質
- 重イオン衝突: $\rho \gg \rho_0$ におけるEoSを調べる方法
- 重RI衝突: $\rho \gg \rho_0$ における $S(\rho)$ を調べる方法
 - $\rho \sim 2\rho_0$ @RIBF

重イオン衝突におけるフロー

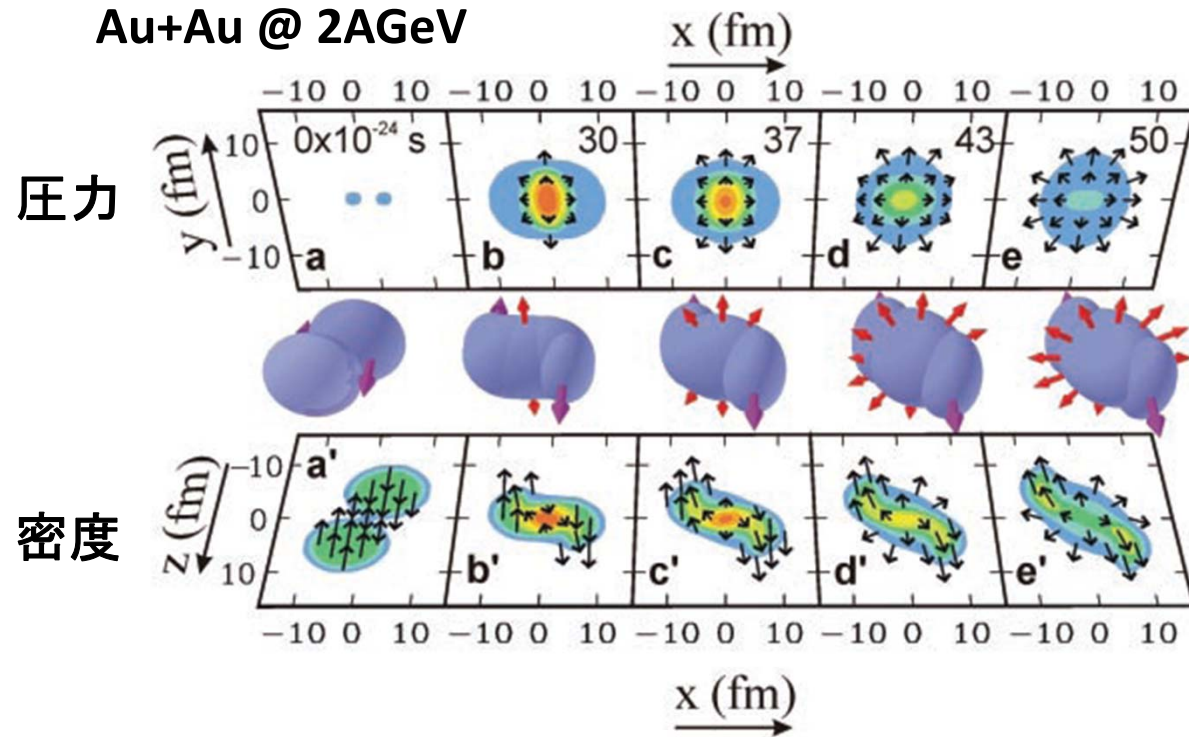
- フローとは何か？
 - 粒子の流れ
- 放出粒子の方位角異方性を見ることで定量化する
 - $\rightarrow v_1, v_2, \dots$

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos[n(\phi - \Psi_r)] \right)$$



- 系に大きさを持ち時空発展的な描像である重イオン衝突特有の観測量
 - 高エネルギー重イオン衝突における流体モデルの成功

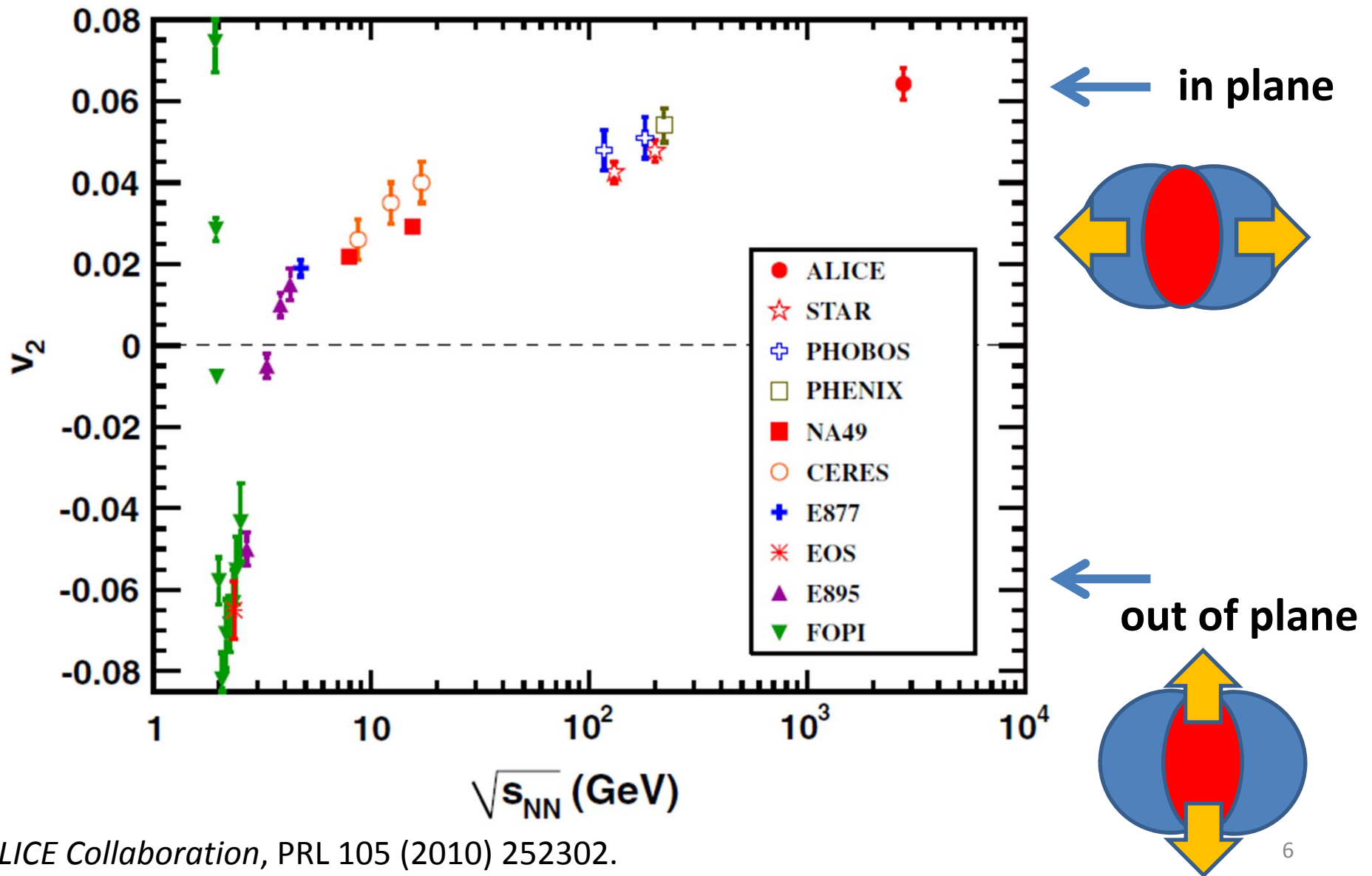
フローはEoSの情報へ直結する



P. Danielewicz et al., Science 298 (2002) 1592.

- 方位角異方性 \Leftrightarrow 圧力勾配 \Leftrightarrow エネルギー密度
- 高密度・非対称な系のフローをみれば中性子星のEoSに関する知見へとつながる

フローの衝突エネルギー依存性



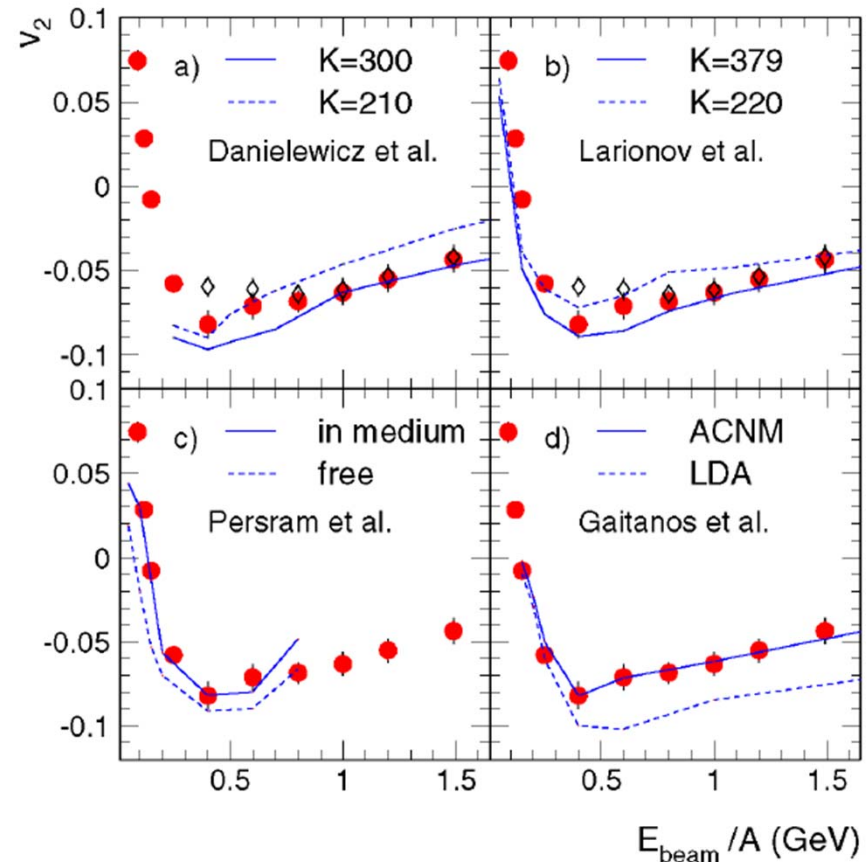
フローの測定を通じたEoSへの制限 ～symmetric matter (N~Z)～

- N~Zの核物質におけるEoSに対する制限
- モデル依存性があるが実験データが豊富にあり、比較的コンセンサスが得られている

$$E(\rho, \delta) = E(\rho, \delta = 0) + E_{sym}(\rho)\delta^2$$

$$E(\rho, 0) = E(\rho_0, 0) + \frac{K_0}{2}\varepsilon^2 + O(\varepsilon^3)$$

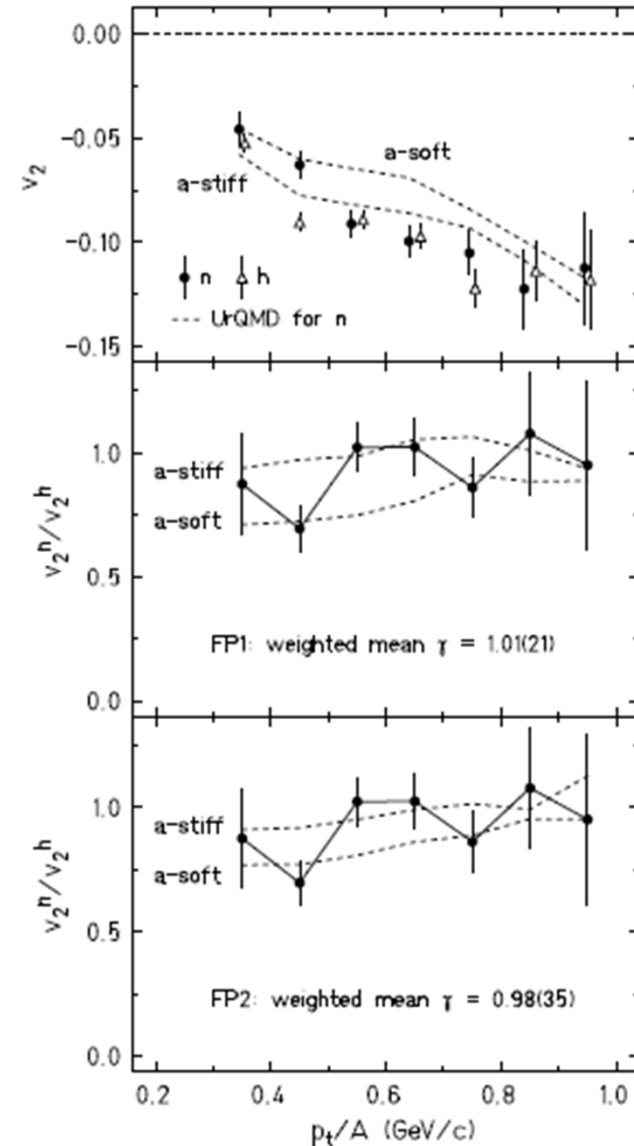
$$\varepsilon = (\rho - \rho_0) / 3\rho_0$$



A. Andronic et al., PLB 612 (2005) 173.

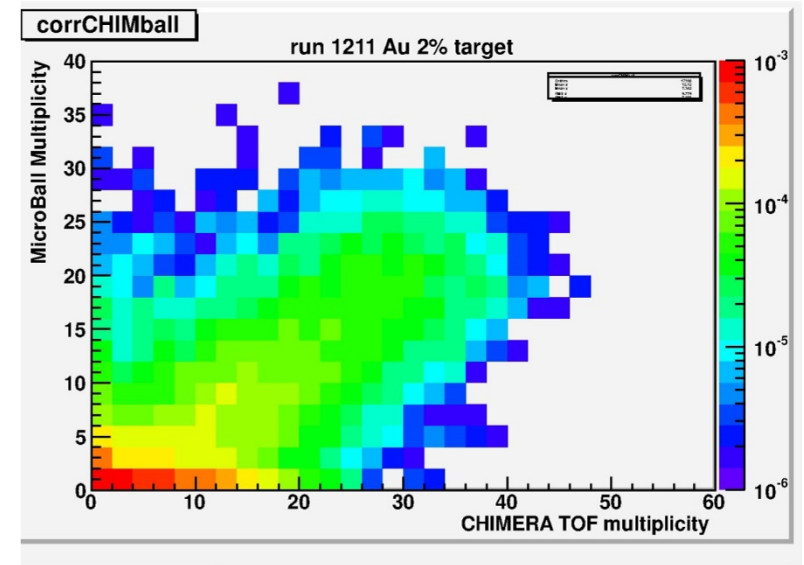
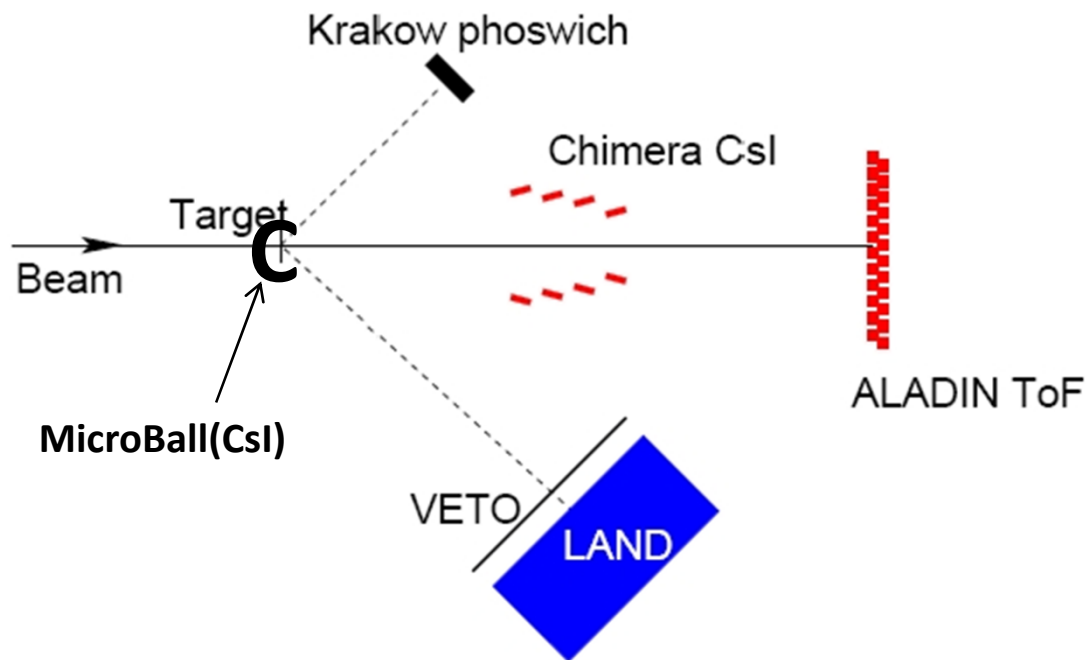
フローの測定を通じた 対称エネルギーへの制限

- **非対称**で高密度な核物質のバルクな性質
- $N \neq Z$ の系を使った実験が必要
- 通常重イオンは中性子過剰であり、これまで重イオン衝突実験である程度制限を与えられる
- GSI-FOPI γ : 0.5~0.9(soft)
 - UrQMDとの比較により
 - 統計誤差が大きい

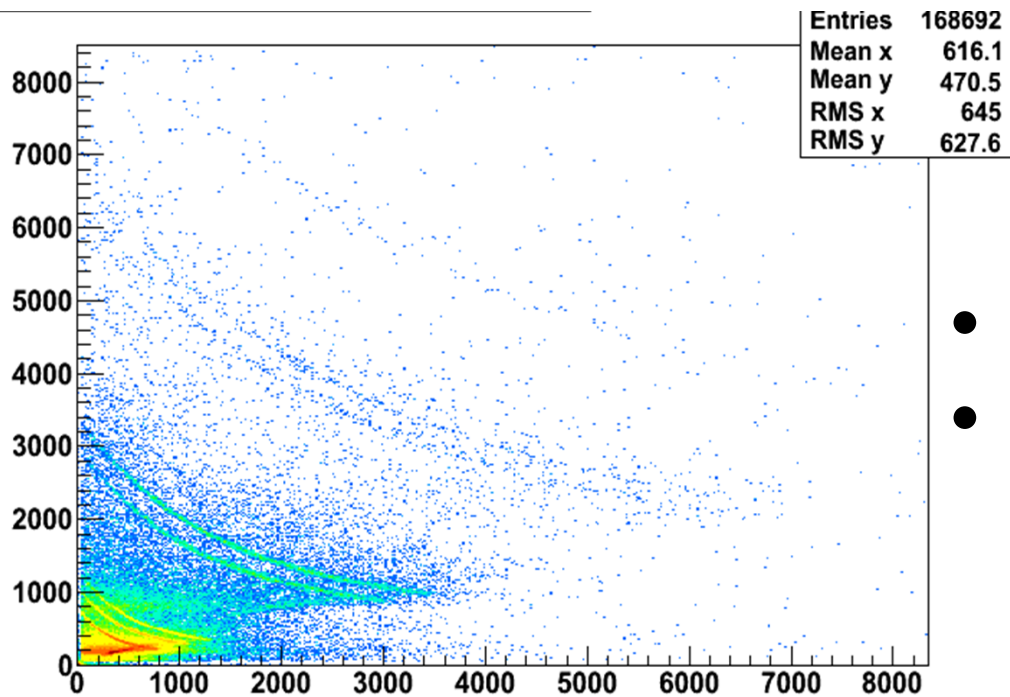


P. Russotto et al., PLB 697 (2011) 471.

フロー測定に特化した 重イオン衝突実験@GSI



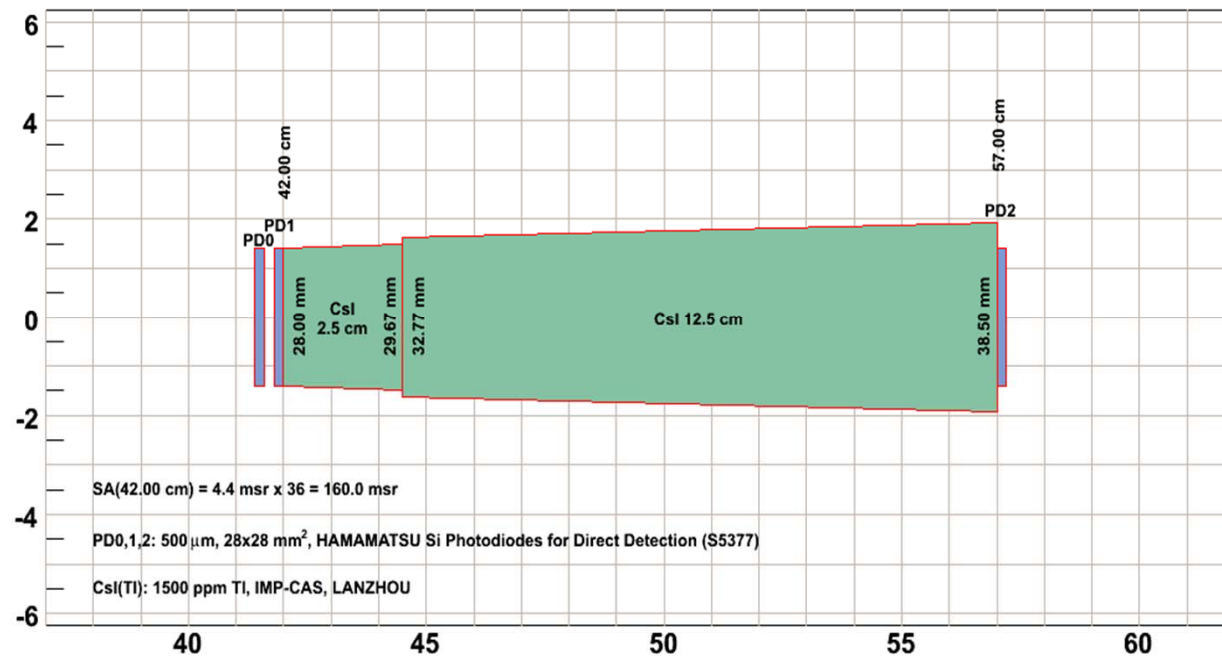
- AsyEoS collaboration (主にヨーロッパ)
- トラックの無い、クリスタルのみでの構成
- 2011年春に実験遂行
 - $^{197}\text{Au}+^{197}\text{Au}$, $^{96}\text{Zr}+^{96}\text{Zr}$, $^{96}\text{Ru}+^{96}\text{Ru}$ @400AMeV
- データ解析中



Krakow Array

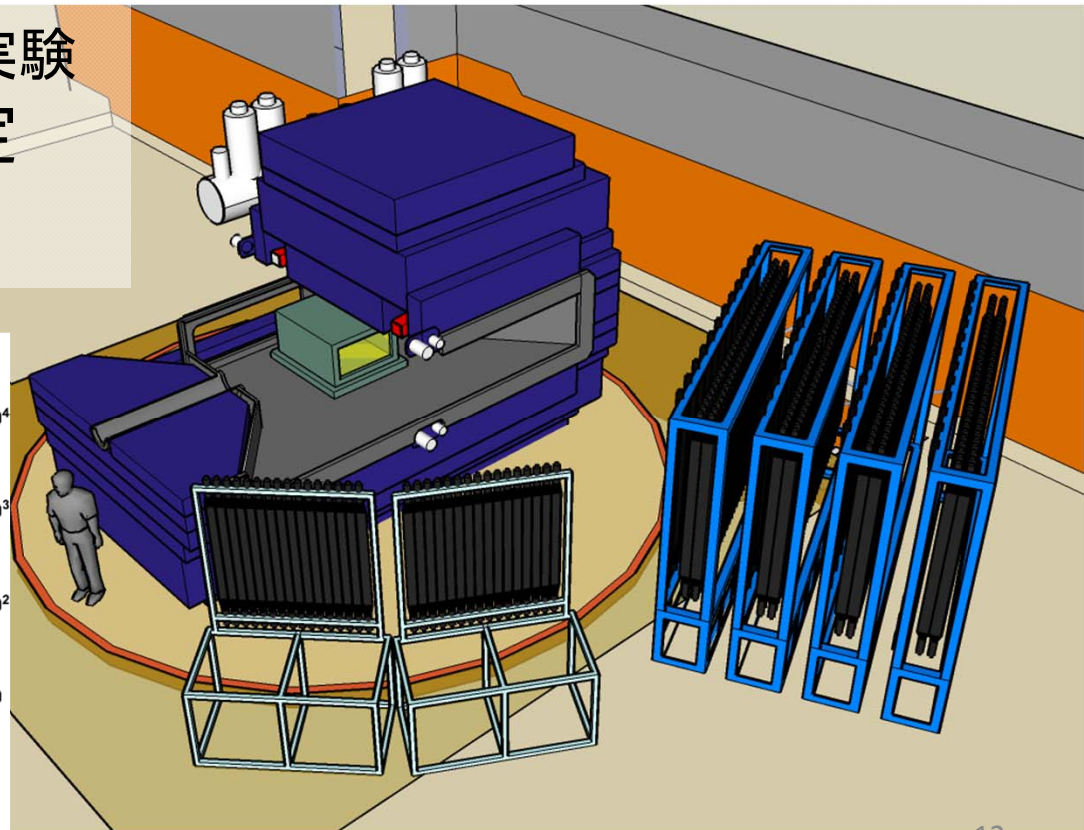
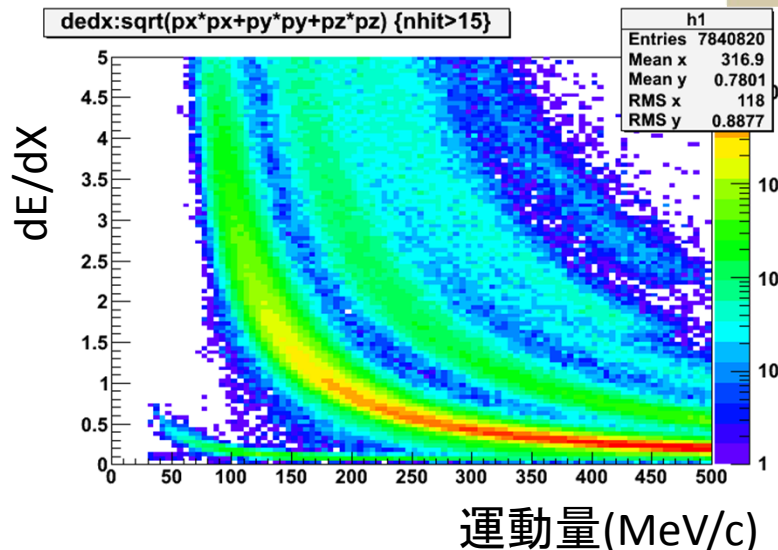
- 2層のSi 検出器と2種のCsI
- dEとE相関による粒子識別

<http://www.gsi.de/informationen/wti/library/scientificreport2010/index.html#PHN-NQM-FOPI>

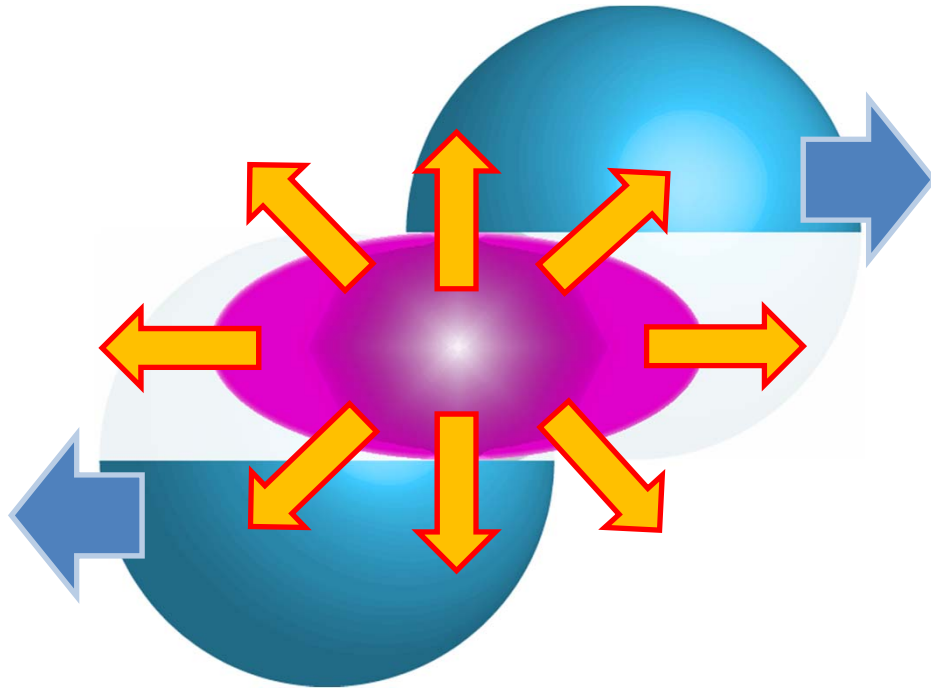


RIBFにおける重RI衝突実験 ~SAMURAI-TPC実験~

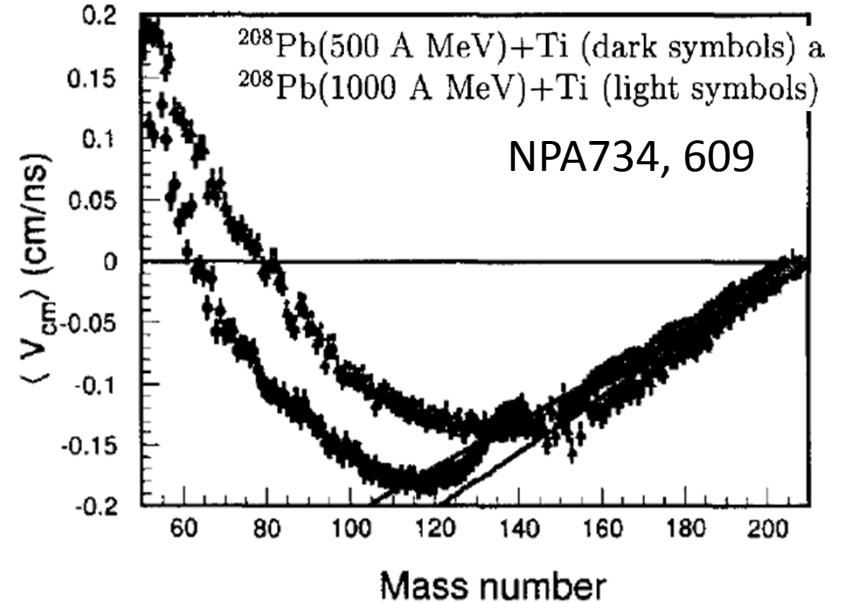
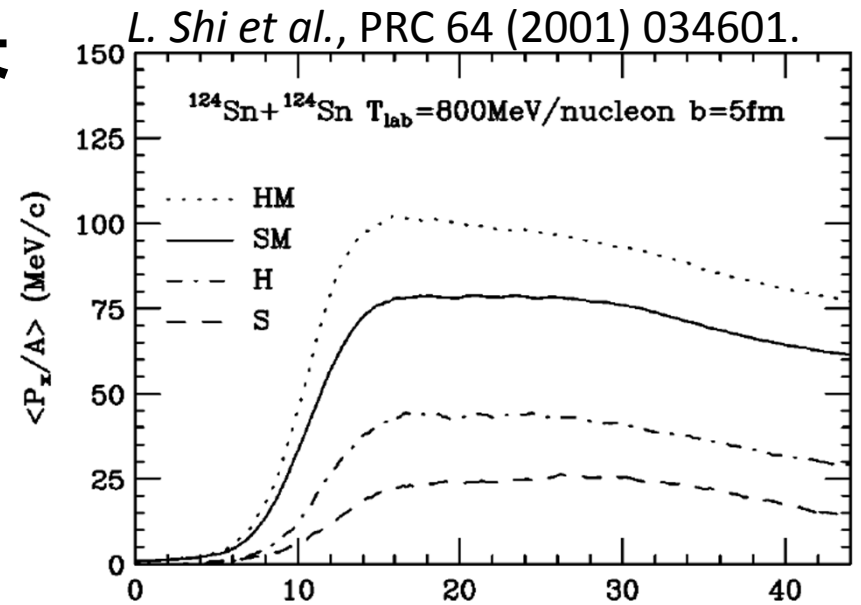
- 重RIを使った非対称核物質実験
 - $^{124}\text{Sn}+^{132}\text{Sn}$ ($\delta\sim 0.24$), 340 A MeV, $\rho\sim 2\rho_0$
- TPC+NEBULA
 - 主にJP+USによる共同実験
- p/n/ π /軽イオンの測定
- 2014年実験開始予定



重イオン衝突における Spectator加速効果



- 加速したSpectatorが観測されている
 - 重イオン衝突によって作られた高密度系からの圧力
 - Spectatorの加速度からEoSに関する情報が得られる



まとめ

- 過去のフロー測定により、対称原子核のEoSへはある程度制限が与えられている。
 - モデル依存性があり、他の観測量とコンシステントに理解していく必要がある。
- 非対称原子核のEoS、すなわち対称エネルギーは0.5~0.9と比較的softであると予想されるが統計的ふらつきが大きい。
- 高統計データ、非対称度がもっと大きな実験でのデータを使うことで非対称原子核のEoSを明らかにしていく。
 - HICからHRIC(Heavy Radioactive Isotope Collision)へ
 - AsyEOS, SAMURAI-TPC, R3B