

GeV 陽子入射による核破砕 — JAM と Percolation 模型を用いた分析 —

平田 雄一^a, 大西 明^a, 大塚 直彦^a,
高田 弘^b, 千葉 敏^b, 奈良 寧^c, 仁井田 浩二^d
北大理^a、JAERI^b、BNL^c、RIST^d

1. Introduction

- ★ GeV 陽子入射反応の重要性
- ★ 物理としての問題: 破砕機構は分かっているか?
— 奇妙な角分布

2. Jet implemented Hadron-String Cascade (JAM)

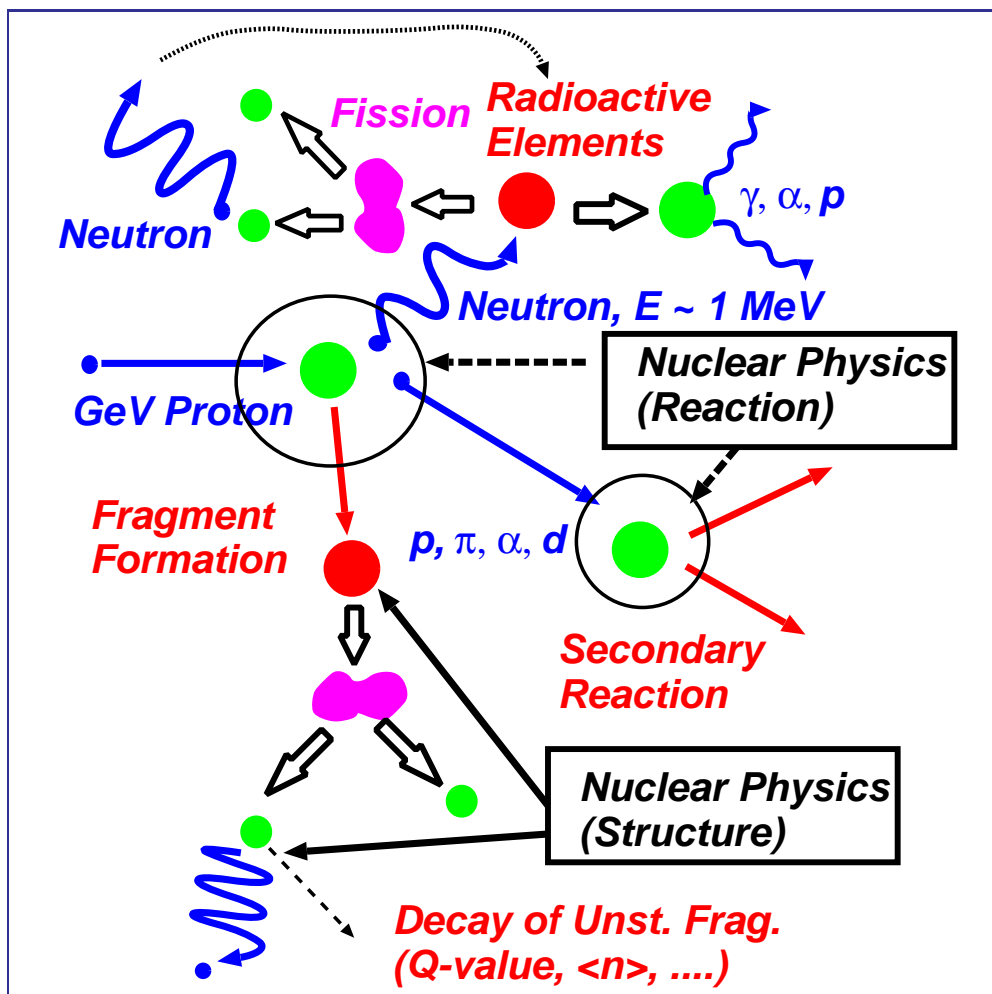
- ★ GSI-AGS-JHF-SPS-RHIC エネルギーでの
ハドロンスペクトル

3. Fragment 生成の記述 — Percolation —

- ★ GeV 陽子入射反応でのフラグメント質量数分布
- ★ 角分布

4. Summary

★ 加速器駆動型未臨界炉: 原子核物理学の役割



- ★ 初期核反応 = GeV 陽子による核反応:
 - 原子核物理学、(荷電粒子)核データ
 - … $p, n, \alpha, \gamma, \pi, d$, IMF, 中重核 … の生成
- ★ 中性子と熱の輸送: 物性物理学、原子力工学、中性子核データ
- ★ 高エネルギー 2 次粒子による反応:
 - 原子核物理学、(荷電粒子 + 中性子)核データ



「核反応のシミュレーション+統計模型」
 … 2重微分断面積、フラグメントの生成断面積

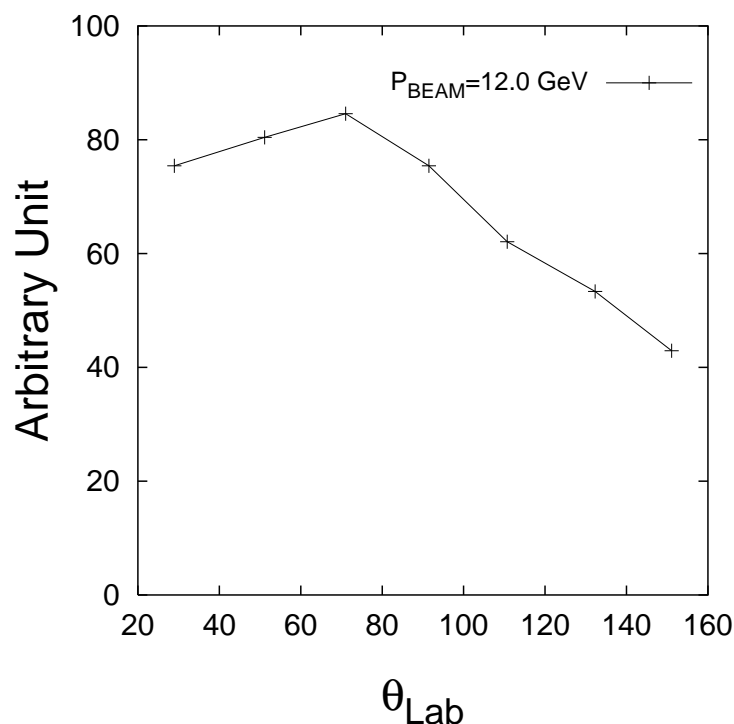
★ GeV 陽子入射での核破碎: 物理として残っている問題

● IMF 質量数分布

★ V-shape: 励起残留核の従来の統計的崩壊では理解できない。

● IMF 角分布: 側方 70° ピーク

p(12GeV)+Au: K.H.Tanaka et al., NPA503(95)581c



★ 励起残留核の従来の統計的崩壊では理解できない。

★ 微視的な説明例なし。

 Why ?

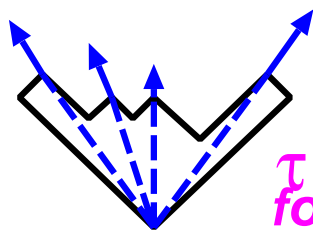
★ GeV領域の高精度な衝突断面積必要

★ フラグメンテーションの記述必要

JAM (Jet Aa Microscopic transport model)

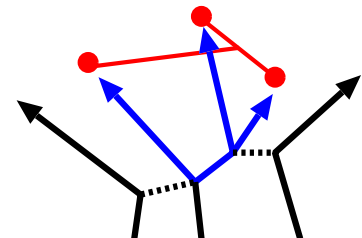
Y. Nara et al., PRC61('00), 024901.

- ★ DOF: $h(B, B^*, M, M^* (m \leq 2 \text{ GeV})) + s(\text{Strings})$
+ Partons (at higher energies)
- ★ σ : **Hadronic** ($hh \leftrightarrow hh, hh \leftrightarrow h$)
+ **Soft** ($hh \leftrightarrow s, hh \rightarrow hs, hh \rightarrow ss, s \rightarrow hhh \dots$ [1]
 $ch \leftrightarrow ch, ch \rightarrow cs$ ($c = (qq), q, \bar{q}$) [2])

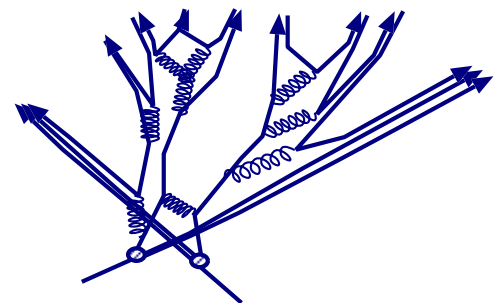


$\tau \sim 1 \text{ fm}/c$
for $K \sim 1 \text{ GeV}/\text{fm}$

**Diquark
Breaking**



**Resonance
+ String
+ Jet**



+ Hard (Jet Production, at higher energies) [3]

- ★ No Mean Field (in progress), No Medium Modification

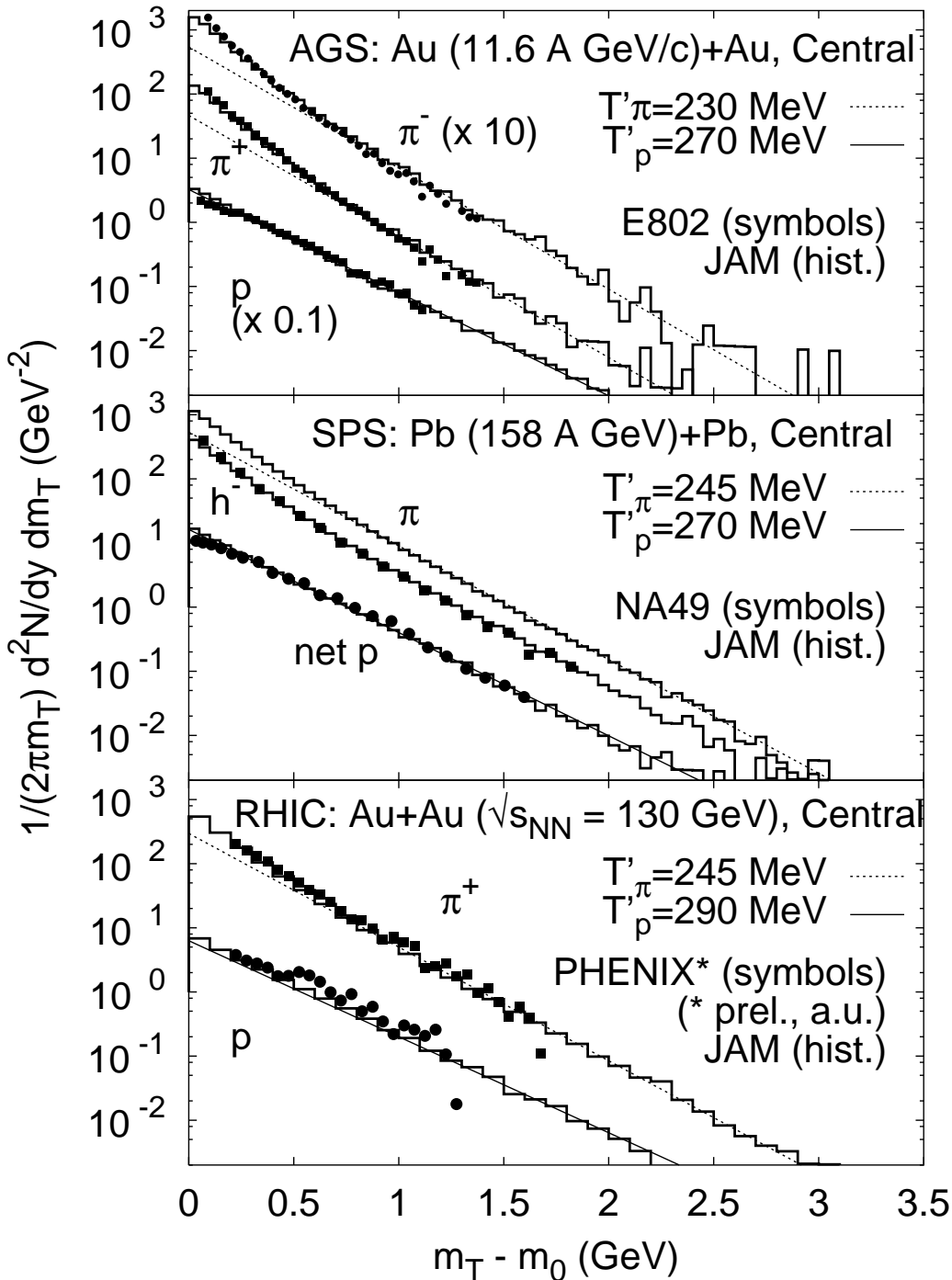
[1] "DPM + Lund" (\sim HIJING) + Phase Space

[2] Consituent Rescattering (\sim RQMD), $c = (qq), q, \bar{q}$

[3] Jetset (Pythia)

Version: JAM1.009.27 (April 2000 Version)

★ M_t Spectra: Measure of Generated Pressure



Nicely Reproduced, except for
Low Energy Protons (No Mean Field)

★ GeV 陽子によるフラグメント (原子核) 生成

● フラグメント生成機構

低励起状態: n, γ, p, α の蒸発 + 核分裂 (統計崩壊模型)

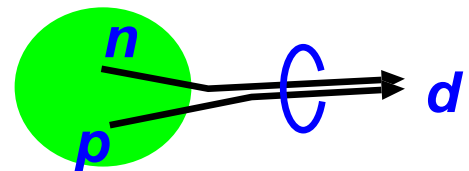
→ 高励起状態: 核破碎反応

→ 高エネルギー軽イオン: Coalescence

… 位相空間で近い核子 (・フラグメント) の量子力学的融合

● Coalescence 模型

$$\frac{d^3 N}{dp_d^3} = \int d\Gamma_p d\Gamma_n \rho_{pn}^{Wig} P_d$$



$$\rho_{pn}^{Wig} = \sum_{i=pn \text{ pair}} \prod_{\alpha=p,n} (2\pi\hbar)^3 \delta(\vec{x}^\alpha - \vec{x}_i^\alpha) \delta(\vec{p}^\alpha - \vec{p}_i^\alpha)$$

$$P_d = \frac{3}{4} (\text{スピン}) \times \frac{1}{2} (\text{アイソスピン})$$

$$\times |\sqrt{2} \cos \vec{q} \cdot \vec{r}|^2 (\text{パリティ})$$

$$\times \delta(\vec{p}_p + \vec{p}_n - \vec{p}_d) \rho_d^{Wig}(\vec{r}, \vec{q})$$

$$\rho_d^{Wig}(\vec{r}, \vec{q}) = \text{Wigner Transf. of deuteron W.F.}$$

$$\simeq 8 \exp(-r^2/d^2 - d^2 q^2)$$

ρ_{pn}^{Wig} : 陽子と中性子の 2 体密度

(← シミュレーション計算)

P_d : 陽子と中性子が重陽子を作る確率

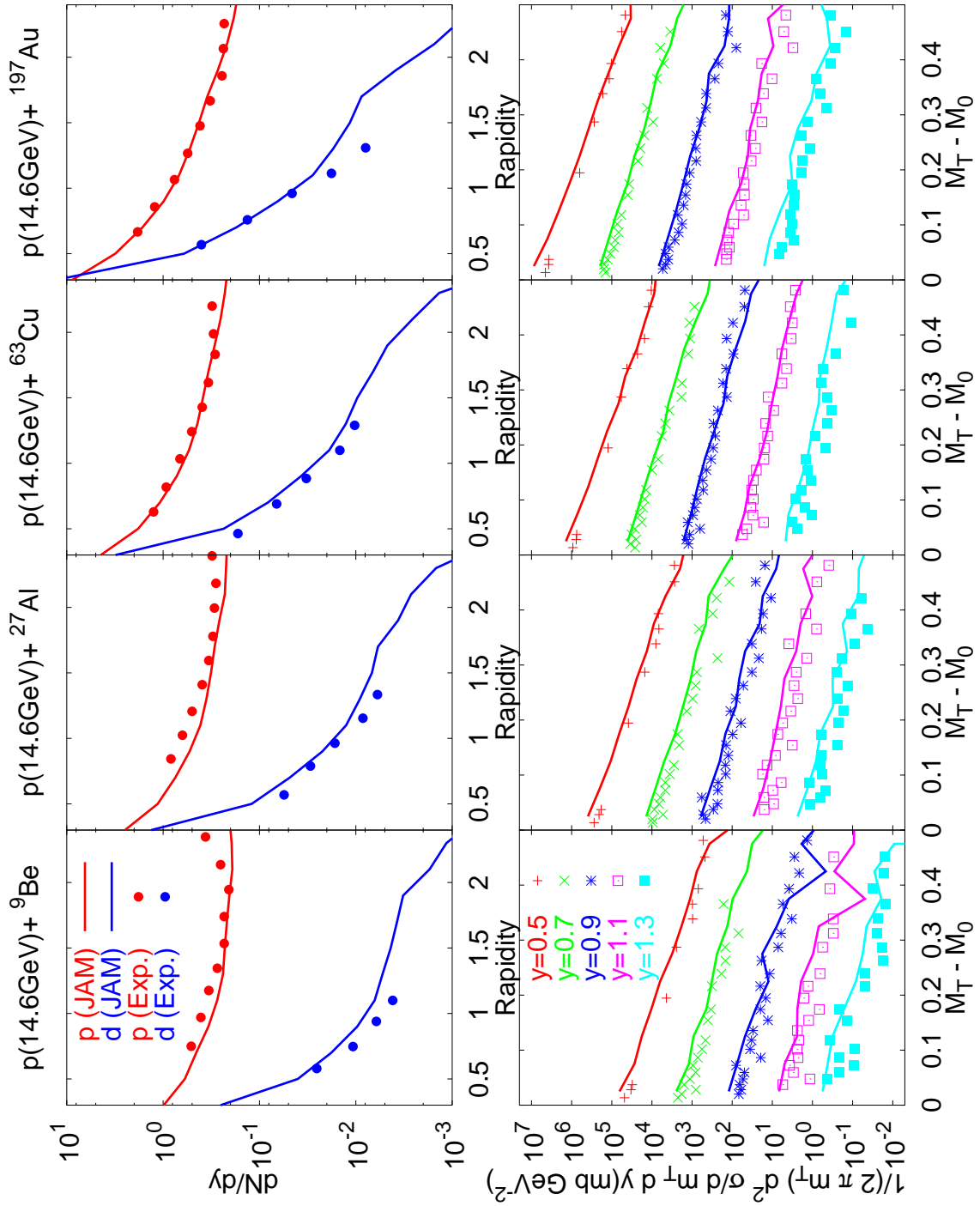


重陽子のサイズを決めれば d が与えられる

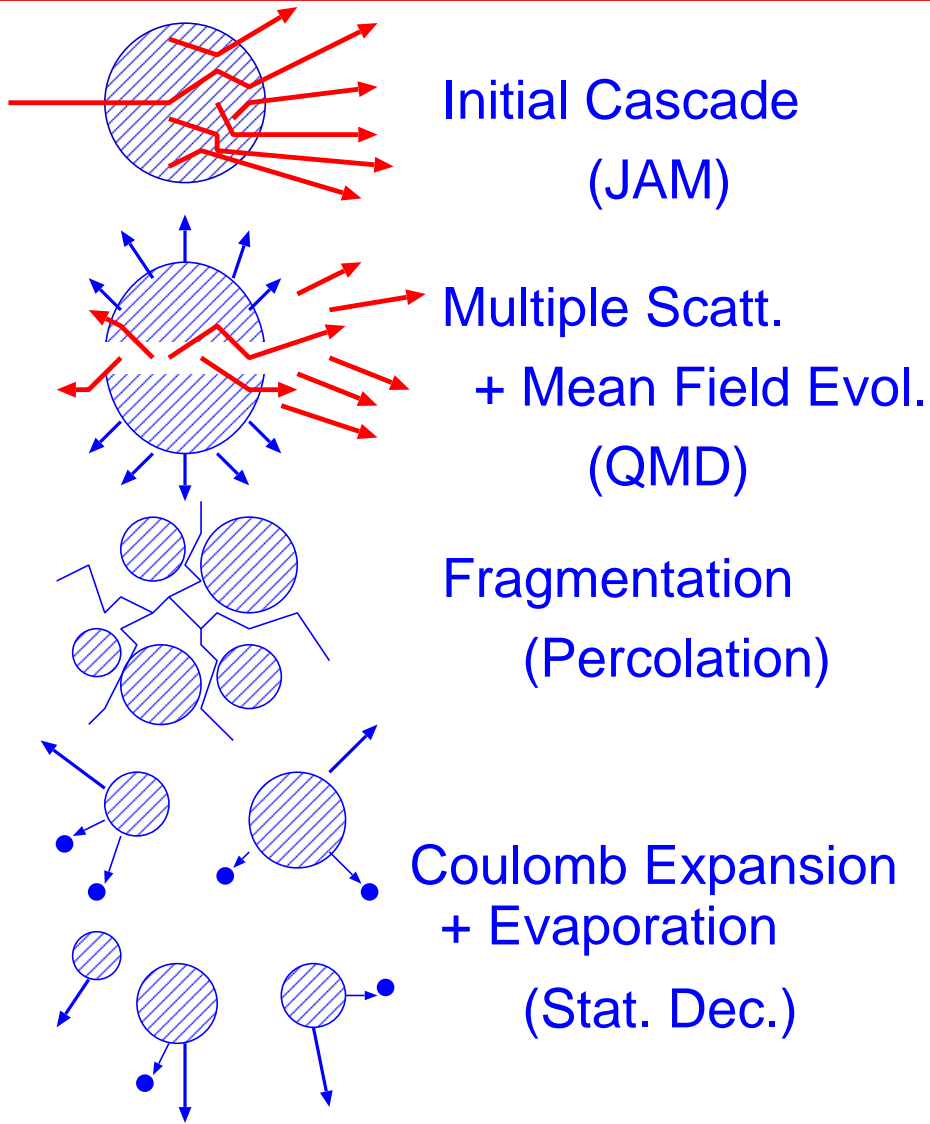
→ No Free Param.

Coalescence 模型での重陽子生成

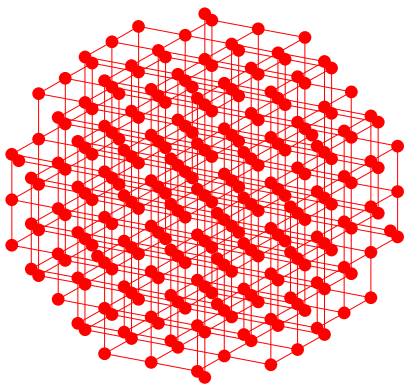
(Nagle et al., PRC53('96)367; Hirata, Thesis, in preparation.)



★ GeV 陽子による破砕の描像: どこが問題か?



- Percolation 模型 (Bauer et al., PLB150(85)53.)



- ★ Put Nucleons on Site
- ★ Give Bond Cut Prob.
- ★ Connected → Frag.



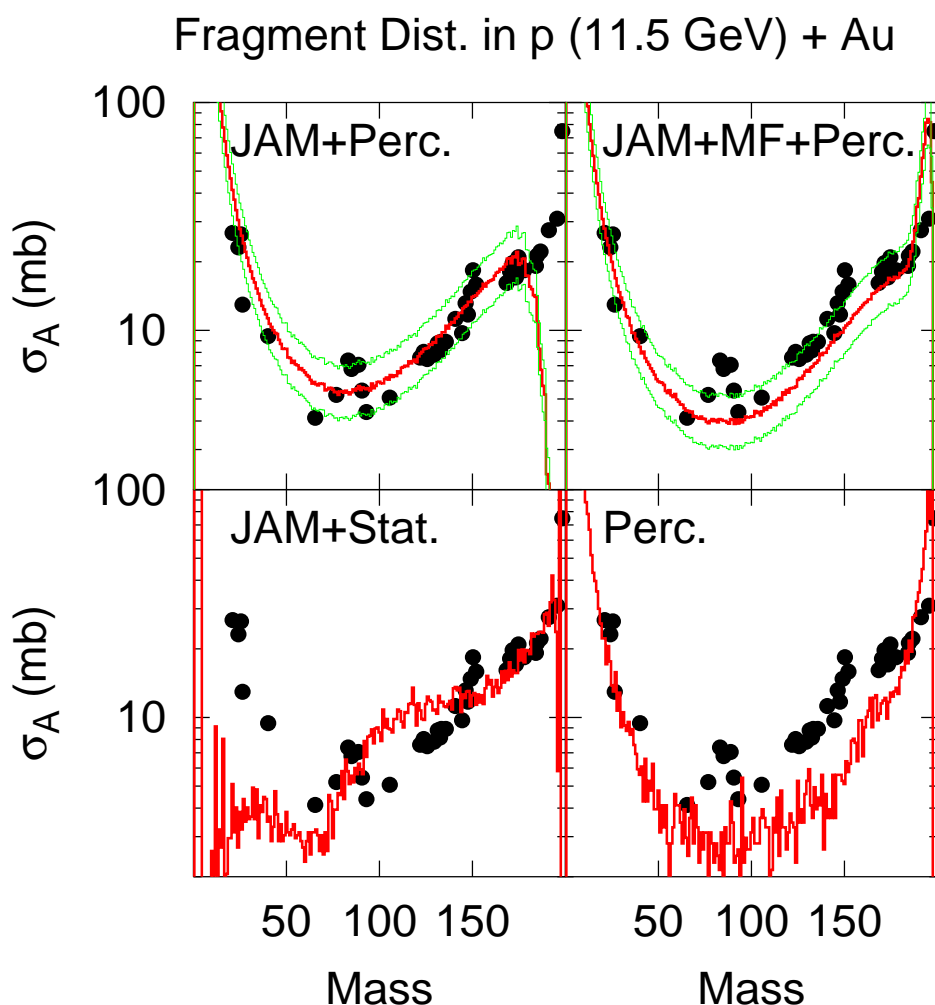
Good Crit. Behavior, IMF Formation

★ JAM-QMD + Percolation: — 動力学を反映した多重破砕模型

1. JAM + QMD: Cascade 過程と平均場による発展
2. ある時刻で運動量・位置に依存した確率で Percolation
3. Coulomb Expansion

p (11.5 GeV) + ¹⁹⁷Au でのフラグメント質量分布

(Hirata, Thesis, in preparation.)



励起残留核の Binary 統計崩壊では不十分

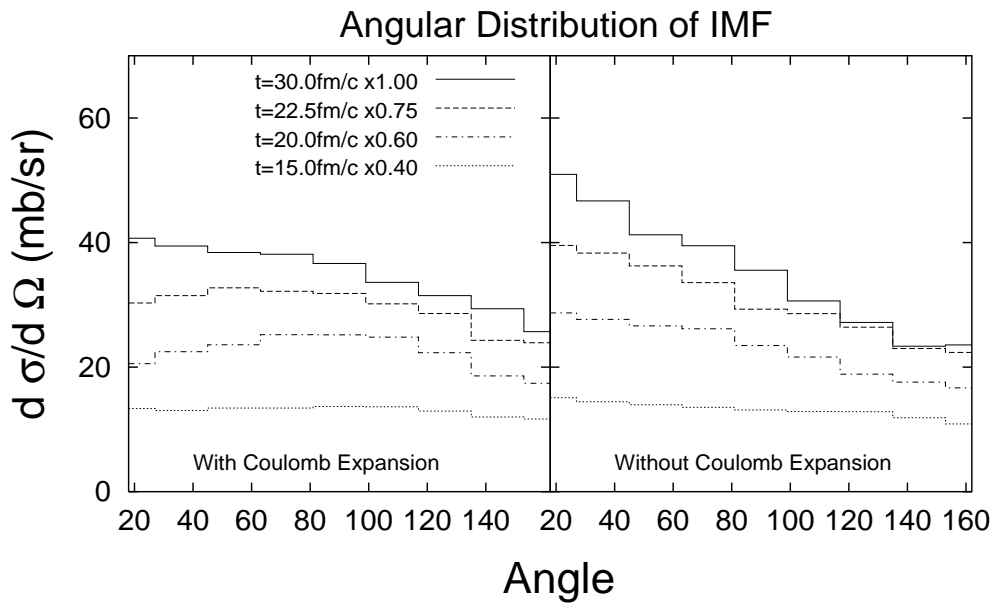
... $A(\text{IMF}) \ll A(\text{Target})/2$

→ Percolation、動的揺らぎ、統計的多重破砕などの

「破砕促進過程」が必要

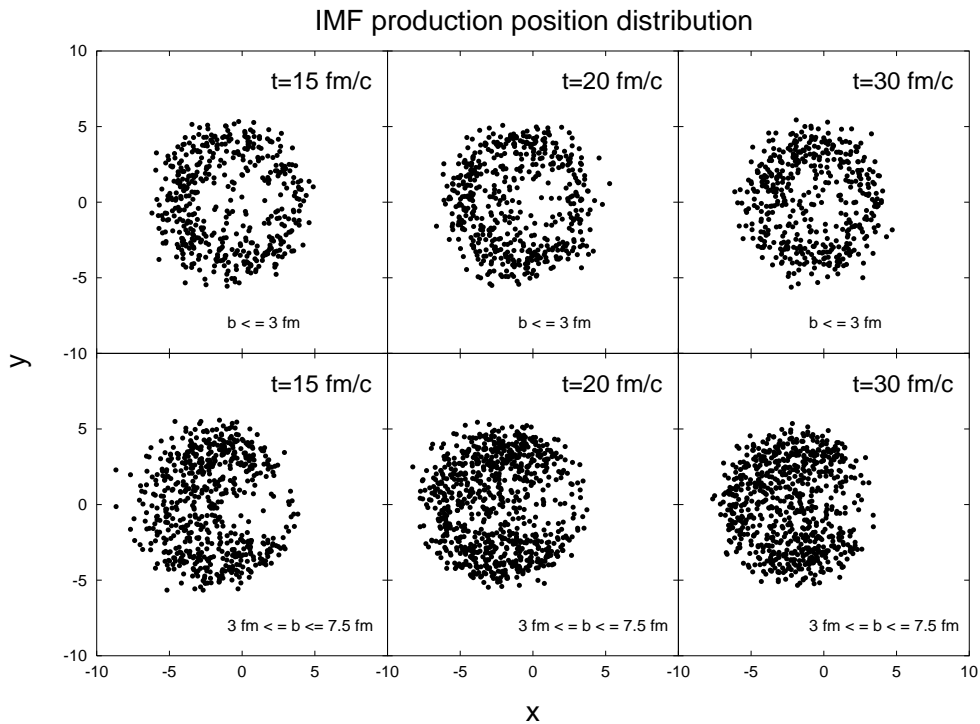
★ IMF の角分布

- p (11.5 GeV) + ¹⁹⁷Au でのフラグメント角分布



早い時刻では側方ピーク。Why ?

- IMF 生成点分布の時刻依存性



冷えた部分のドーナツ形状からのクーロン膨張 → 側方ピーク

★ まとめ

- ★ GeV 陽子からの核破砕
… 工学的に必要、物理としてもまだ問題あり。
- ★ カスケード過程
… JAM は RHIC エネルギーまで大体 OK
(Fixed target に換算して 20 A TeV 程度まで → 宇宙線も大体 OK)
- ★ フラグメント生成の標準模型: QMD + 統計崩壊(蒸発+Fission)
… 数 GeV を越える陽子入射反応では IMF 生成に問題あり
- ★ JAM-QMD + Percolation (動力学を反映した多重破砕模型)
… 質量数分布、角分布をほぼ (~ factor 程度で) 再現
- ★ To Do: JAM-QMD + Coalescence + Percolation + Evaporation
… 全ての時間スケールをカバーできると期待される。