

理論計算議論

三塚 岳 (KEK)

RHICf-II研究計画ミーティング

2021年 7月 7日、筑波大学



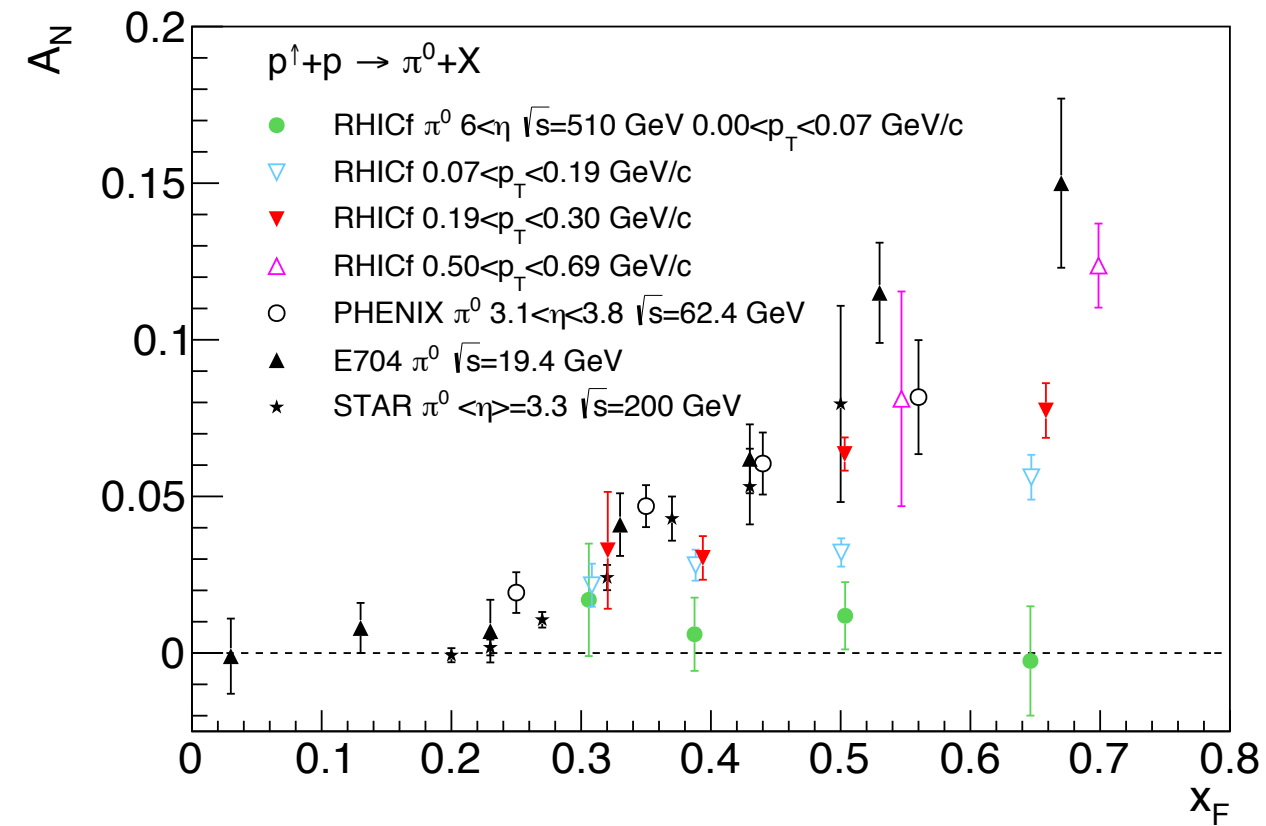
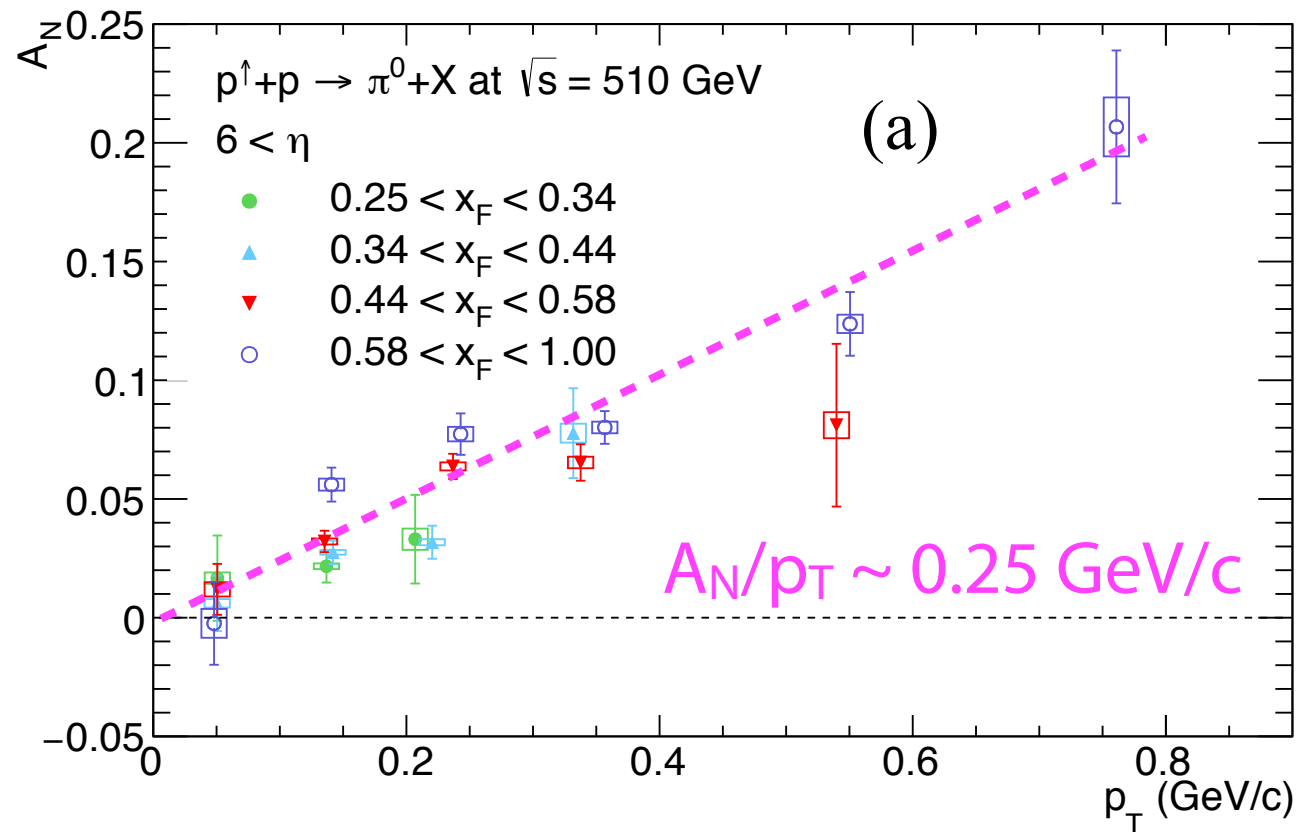
後藤さんからの依頼

RHICf-Iでの $p+p \rightarrow \pi^0 + X$ asymmetryがまずお願いしたいことですが、加えてRHICf-IIでは新たに、 $p+A \rightarrow \pi^0 + X$ と、K0S、Lambdaの cross section およびasymmetry測定が目的としてあります。

そちらについても議論したいので、準備できるものがあればお願いします。

RHICfでの $p^\uparrow p \rightarrow \pi^0 X$ 測定: $A_N(x_F, p_T)$

RHICf at $\sqrt{s} = 510$ GeV



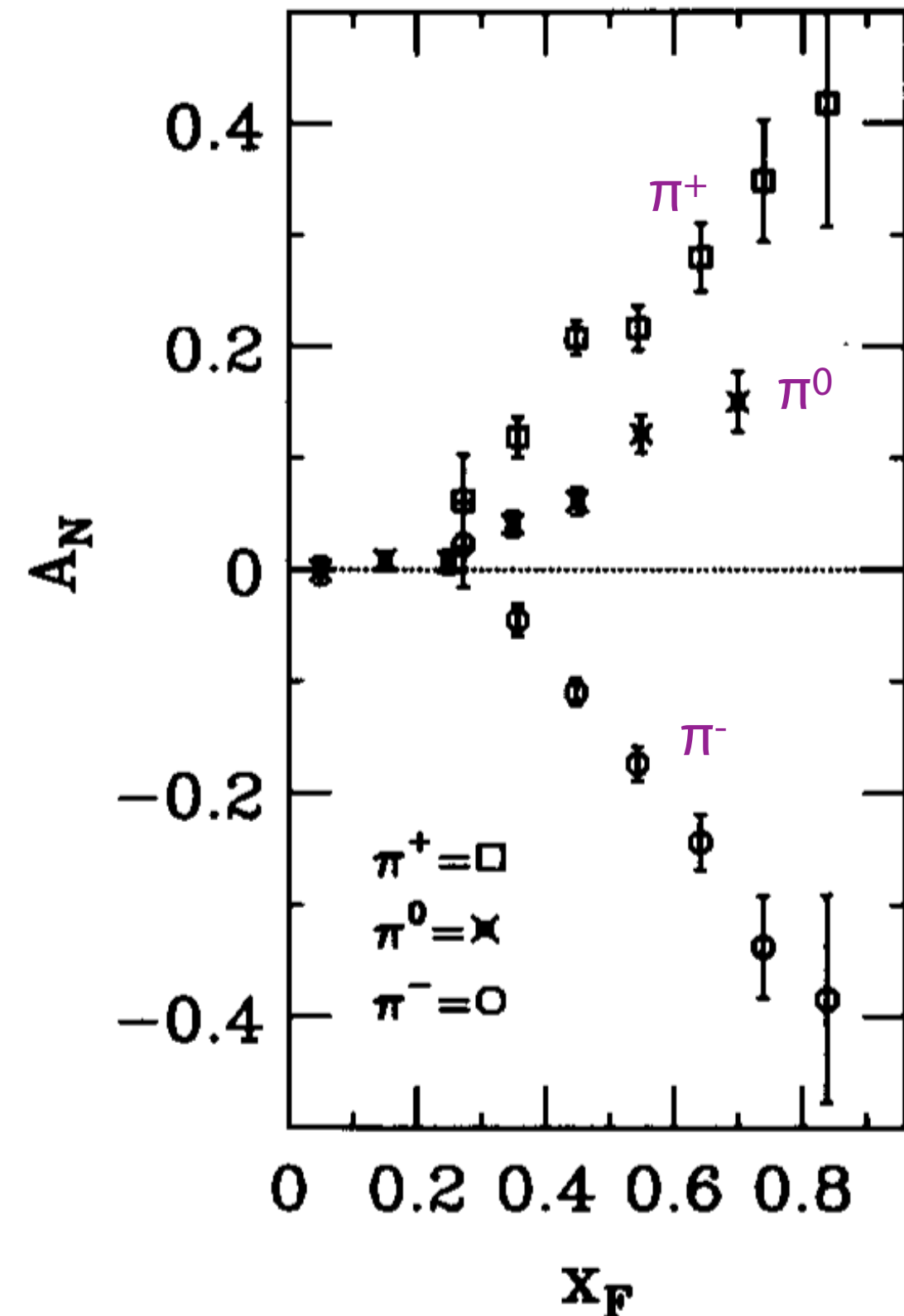
- 前方中性子 A_N とは符号が逆。
- $|A_N|/p_T$ は前方中性子の約半分。

- $\sqrt{s}$ に依らず大体同じ A_N/x_F
 ($p_T \sim 1$ GeV/cでsoft/hardが
 分かれるので偶然か?)

E704での $p^\uparrow p \rightarrow \pi^{+/-} X$ 測定: $A_N(x_F)$

E704 at $\sqrt{s} = 19.4$ GeV

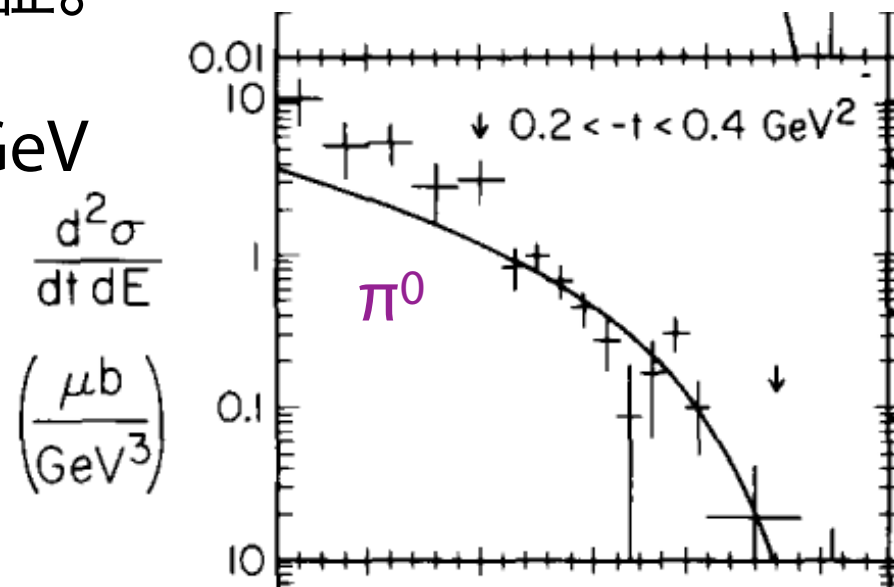
- Charged π の情報は有益。
Triple-reggeモデルに基づけば、
 - $\pi^+, \pi^0 \rightarrow N$ 交換 and Δ 交換
 - $\pi^- \rightarrow \Delta$ 交換
- Charged π の A_N を説明できれば π^0 も説明できるはず。
- $\pi^{+/-}$ と π^0 の p_T 領域は同じ？



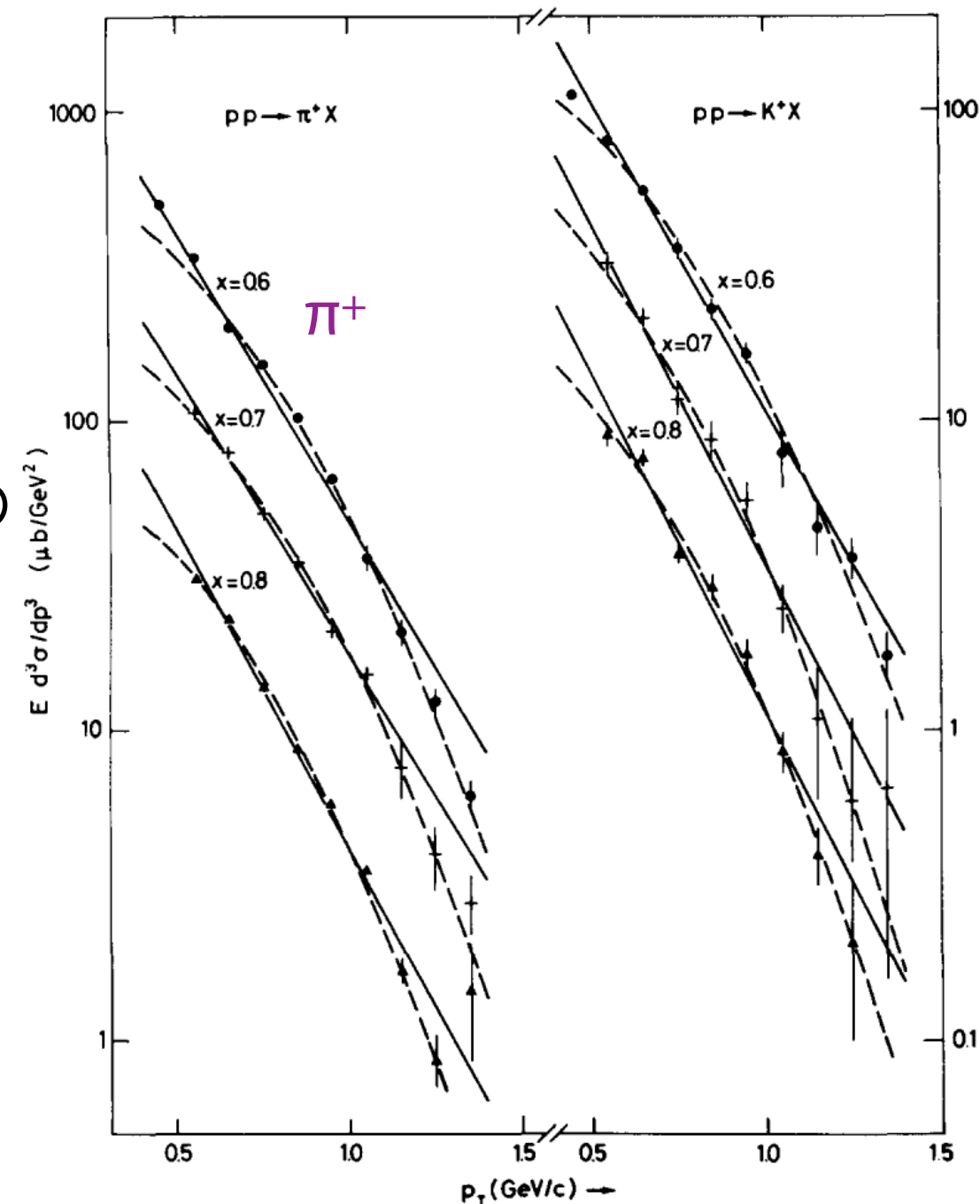
ISRおよびE350での $pp \rightarrow \pi X$ 測定: $E d^3\sigma/dp^3$

- 断面積も重要(の割に太古の測定しかない)。
 - Inclusive測定の A_N は様々なチャンネルの個々の A_N に断面積比を掛けたもの。
前方中性子は例外的に π -exc dominant.
- $$\langle A_N \rangle = \frac{\sum_i A_{Ni} \sigma_i}{\sum_i \sigma_i}$$
- A_N と断面積を両方再現して初めて計算の正しさを保証。

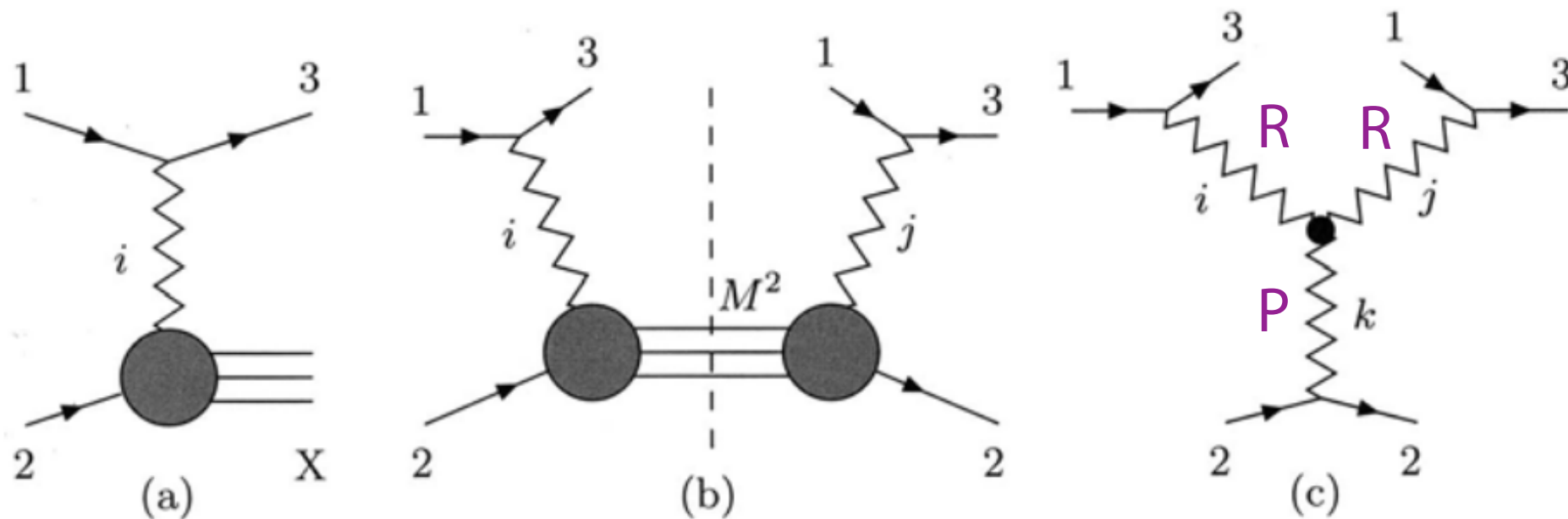
E350 at $\sqrt{s} = 13$ GeV



ISR at $\sqrt{s} = 45$ GeV



$p^\uparrow p \rightarrow \pi X$ 計算: Triple-regge diagram



[Barone and Predazzi]

前方粒子を生成するdiagramはいわゆるTriple-regge diagram

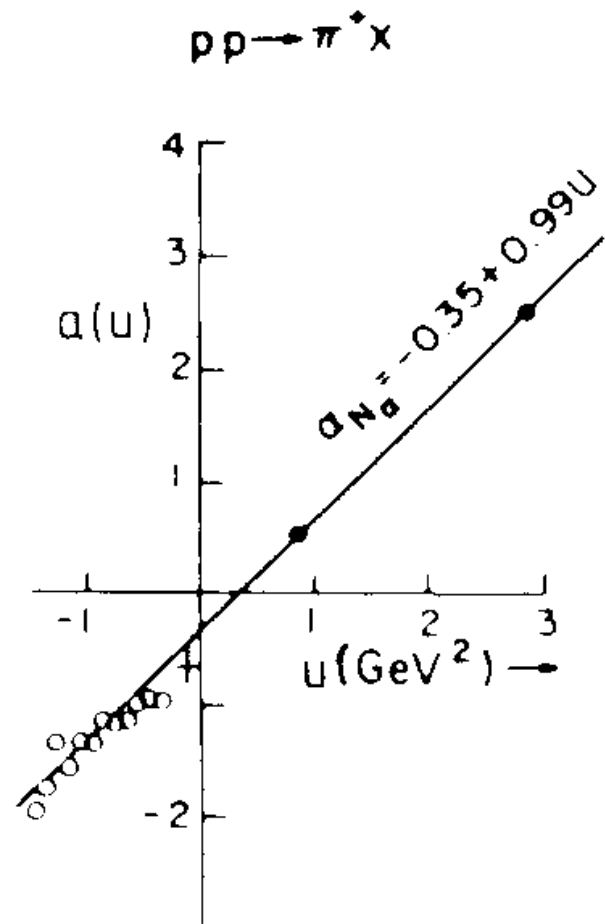
$$A(12 \rightarrow 3X) \underset{s \rightarrow \infty}{\sim} \sum_i g_{13}^i(t) g_{2X}^i(t) \eta_i(t) \left(\frac{s}{M^2} \right)^{\alpha_i(t)}$$

交換できるtrajectory
を足し上げる

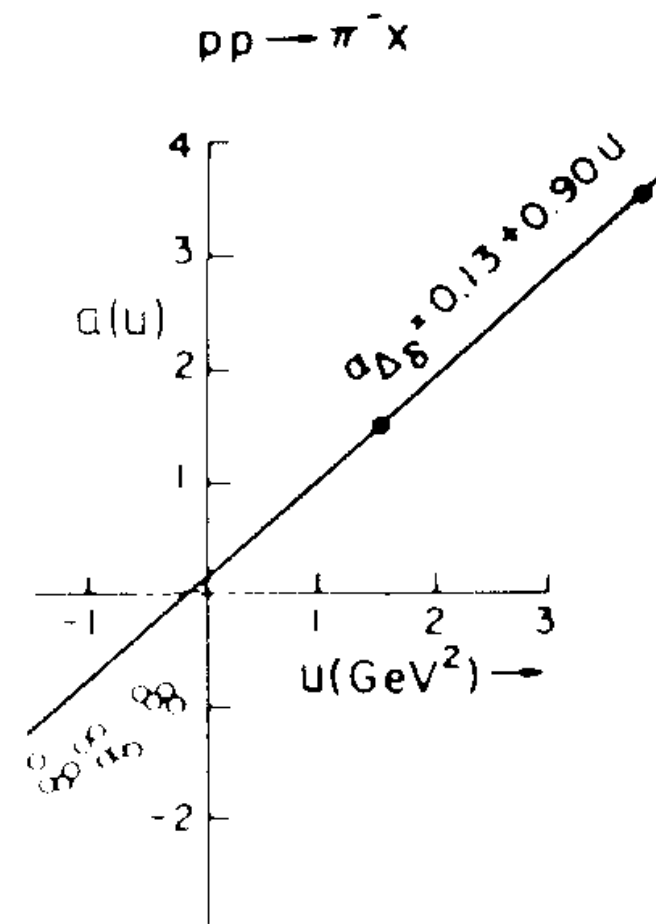
- g_{13} : $p \rightarrow \pi^0$ のvertex (coupling)
- g_{2X} : $p+i(j) \rightarrow X$ の断面積、つまり全断面積
- η : 交換するtrajectoryの位相
- $\alpha(t)$: trajectory $\sim t$ の関数
- $M^2/s \sim 1 - x_F$

$p^\uparrow p \rightarrow \pi X$ 計算: Regge trajectories

[Storror, Phys. Rep. 103, 317]



$$\alpha_{N\alpha}(t) = -0.34 + 0.99t$$



$$\alpha_{\Delta\delta}(t) = 0.07 + 0.92t$$

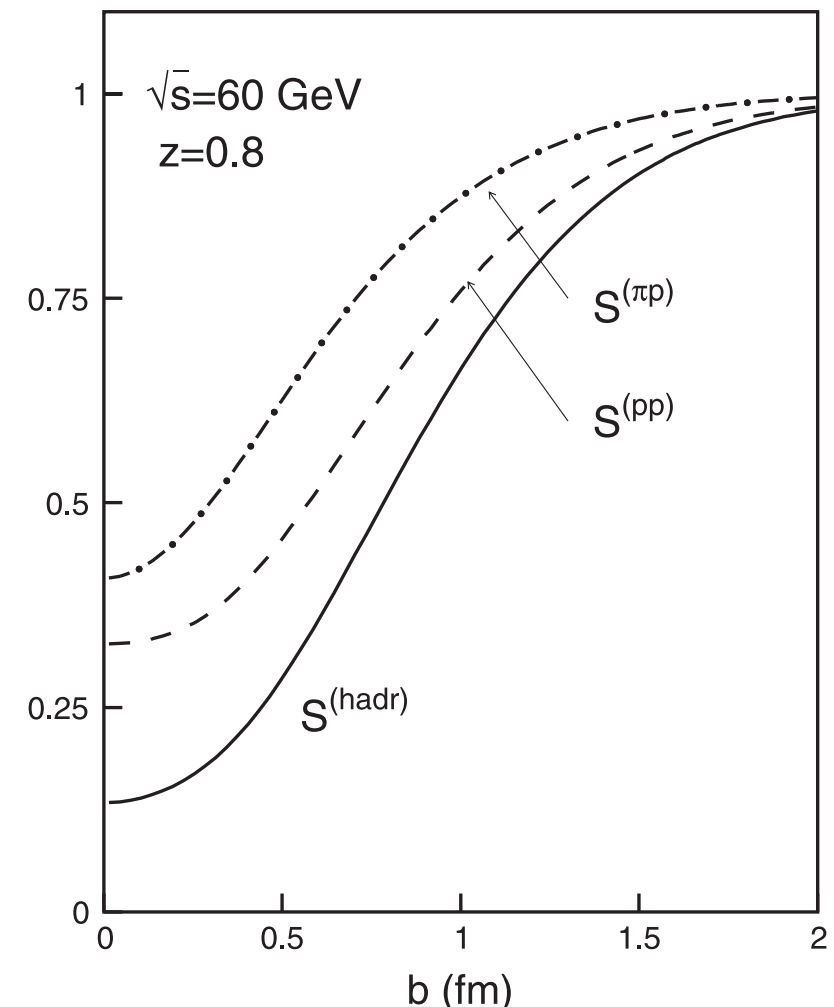
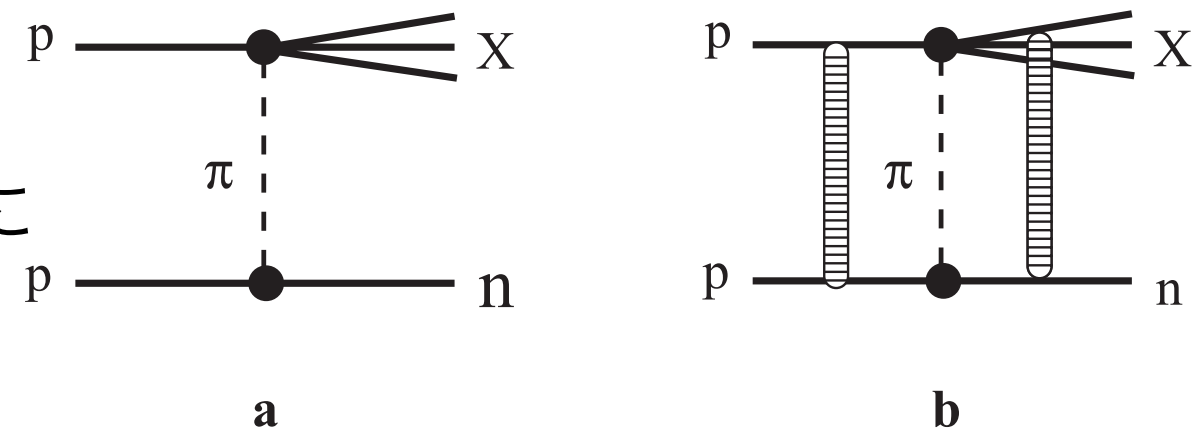
古い論文だが大してアップデートはないと思われる。

$p^\uparrow p \rightarrow \pi X$ 計算: 吸収効果 (ISI/FSI)

$$A_N = 2 \frac{\text{Im } M_{\text{flip}}^* M_{\text{nonflip}}}{|M_{\text{flip}}^*|^2 + |M_{\text{nonflip}}^*|^2} \propto 2\text{Im } \eta^* \eta$$

[Kopeliovich, Phys. Rev. D 78, 014031]

- 生成粒子が有限の左右非対称を持つためには位相干渉($\text{Im}[\eta_i(t)\eta_j(t)^*] \neq 0$)が必要;
 - 異なる交換粒子同士の位相干渉
 - 始状態・終状態での散乱 (吸収効果) のいずれかが必要。
- 例) 前方中性子(Kopeliovich, PRD 84)の場合:
 - π - a_1 交換間の位相干渉 → 寄与大
 - 吸収効果 → 寄与小
- 一旦運動量空間の散乱振幅をフーリエ変換して実空間上へ変換したあと、吸収係数 $S(b)$ を掛けて再度運動量空間に戻す。



$p^\uparrow p \rightarrow \pi^{+/-} X$ 計算: $Ed^3\sigma/dp^3$

Paper in preparation

ISR at $\sqrt{s} = 45$ GeV

π^- $t = 0.05 \text{ (GeV/c)}^2$

$$|\langle \Delta^{++} | \pi^+ p \rangle|^2 = 1$$

π^+ $t = -0.35 \text{ (GeV/c)}^2$

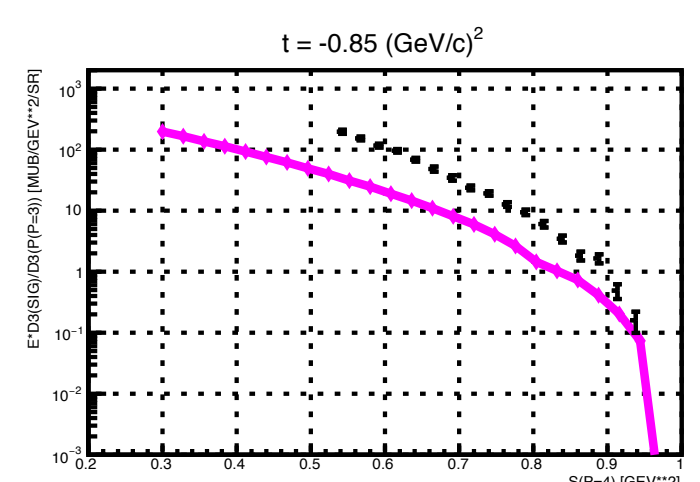
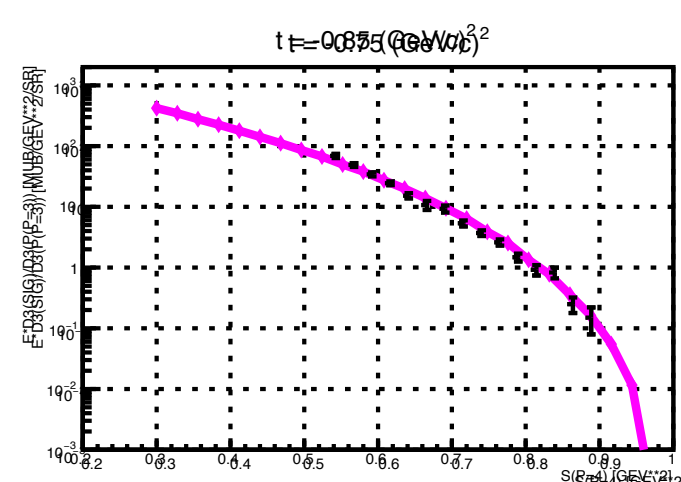
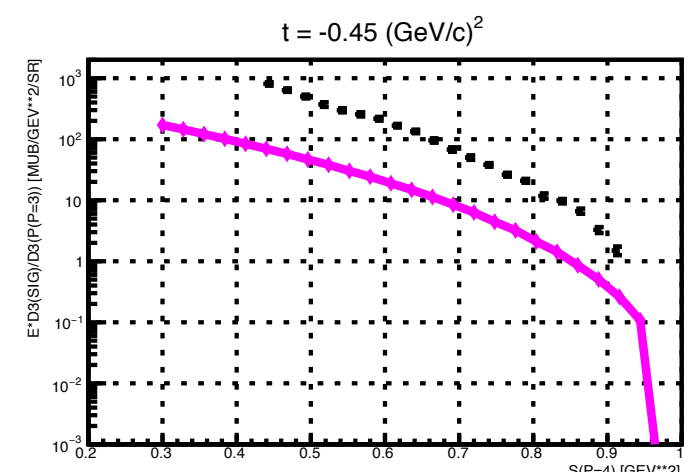
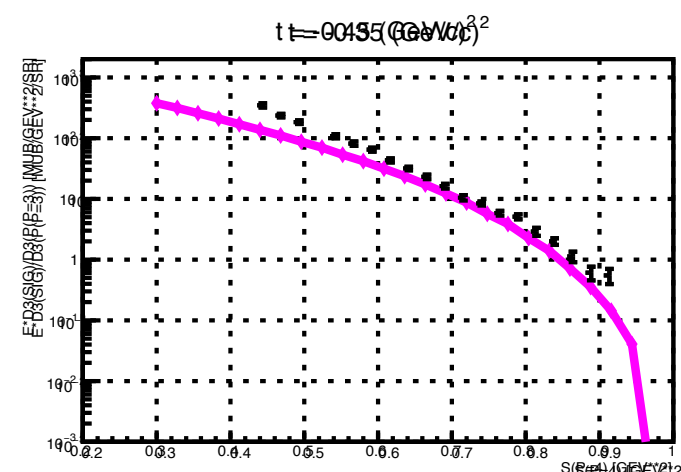
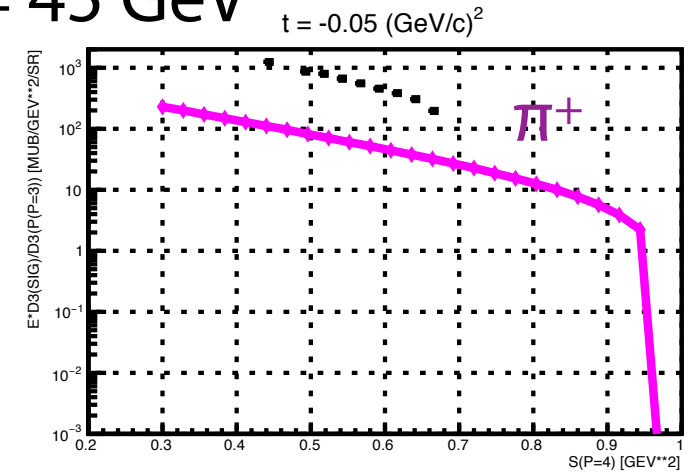
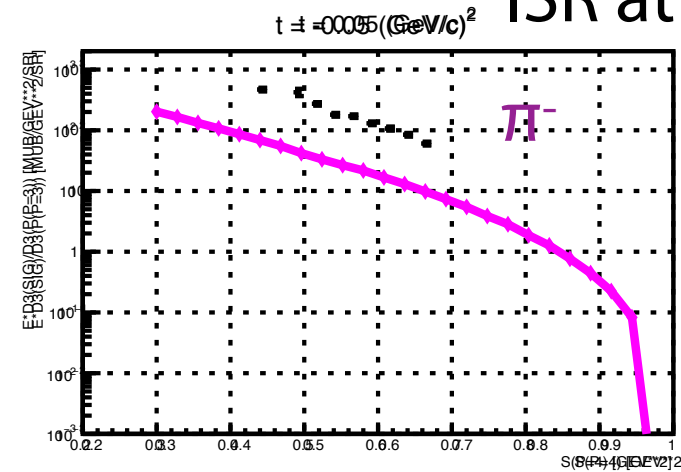
$$|\langle \Delta^0 | \pi^- p \rangle|^2 = \frac{1}{3}$$

$$|\langle n | \pi^- p \rangle|^2 = \frac{2}{3}$$

π^0 $t = -0.75 \text{ (GeV/c)}^2$

$$|\langle p | \pi^0 p \rangle|^2 = \frac{1}{3}$$

$$|\langle \Delta^+ | \pi^0 p \rangle|^2 = \frac{2}{3}$$



$t = -1.15 \text{ (GeV/c)}^2$

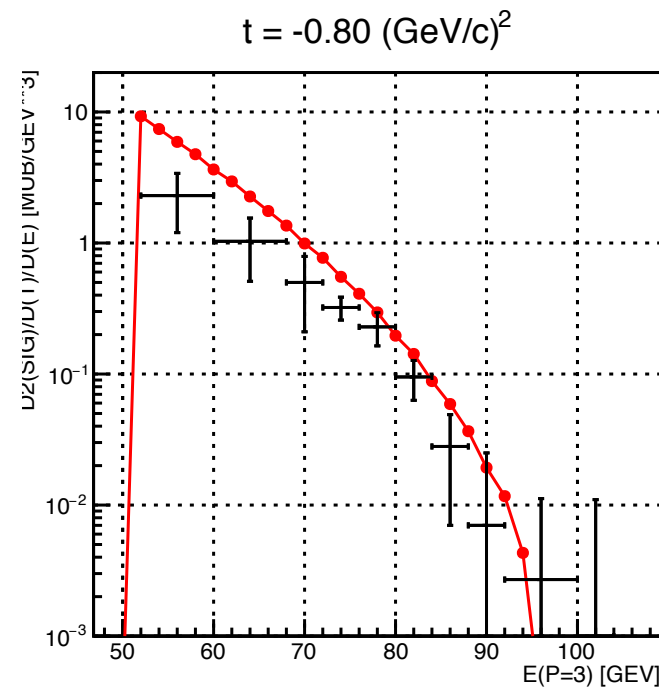
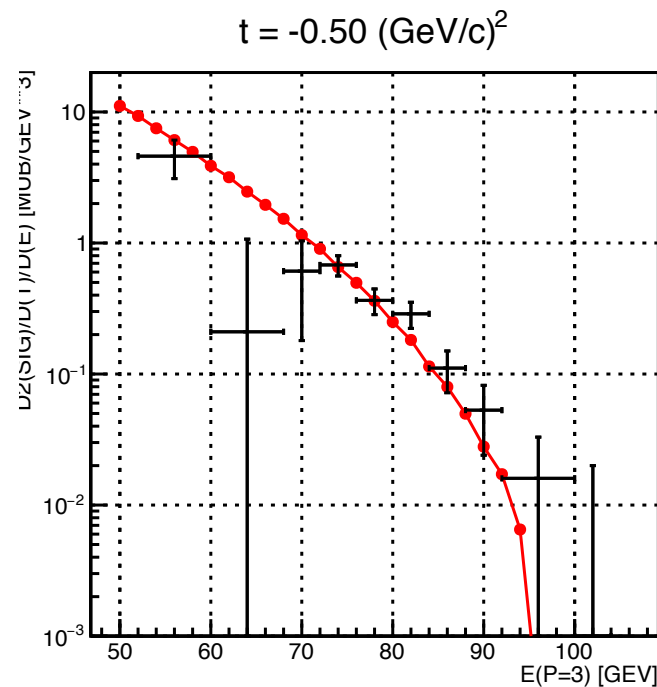
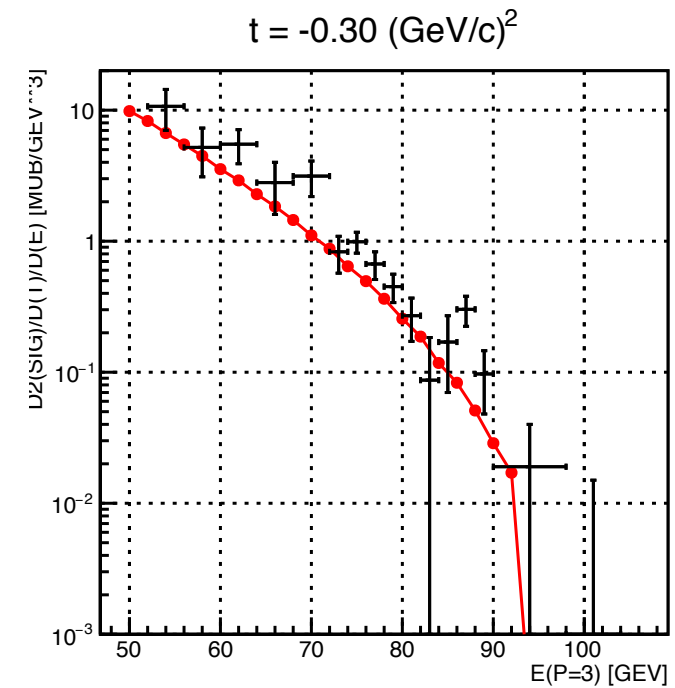
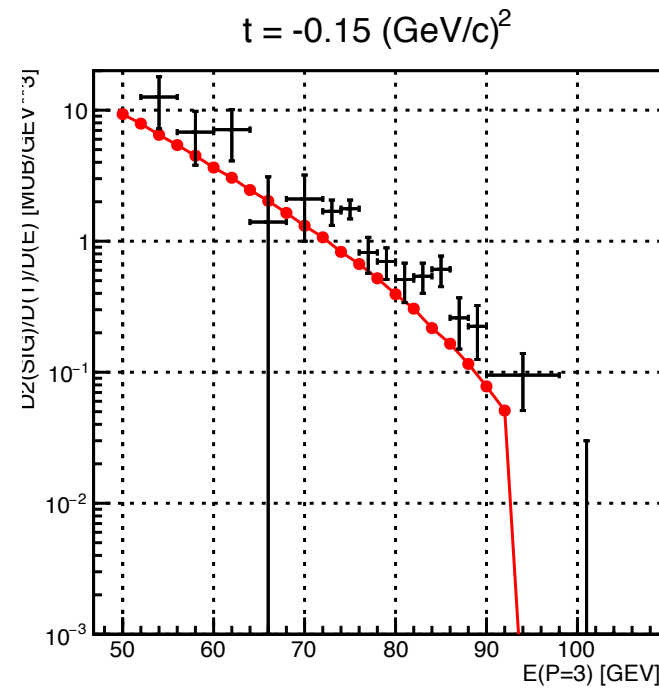
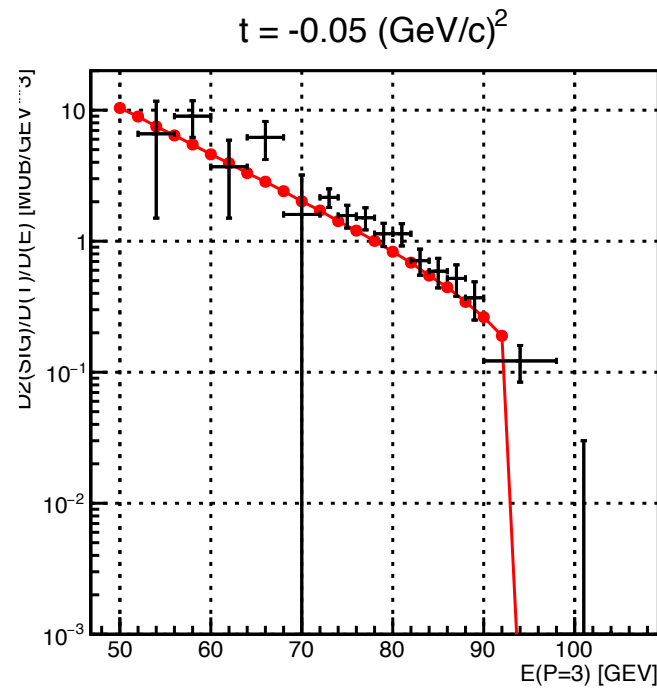
9 $t = -1.25 \text{ (GeV/c)}^2$

三塚 岳 RHICf-II研究計画ミーティング (7 July 2021)

$p^\uparrow p \rightarrow \pi^0 X$ 計算: $Ed^3\sigma/dp^3$

Paper in preparation

E350 at $\sqrt{s} = 13$ GeV



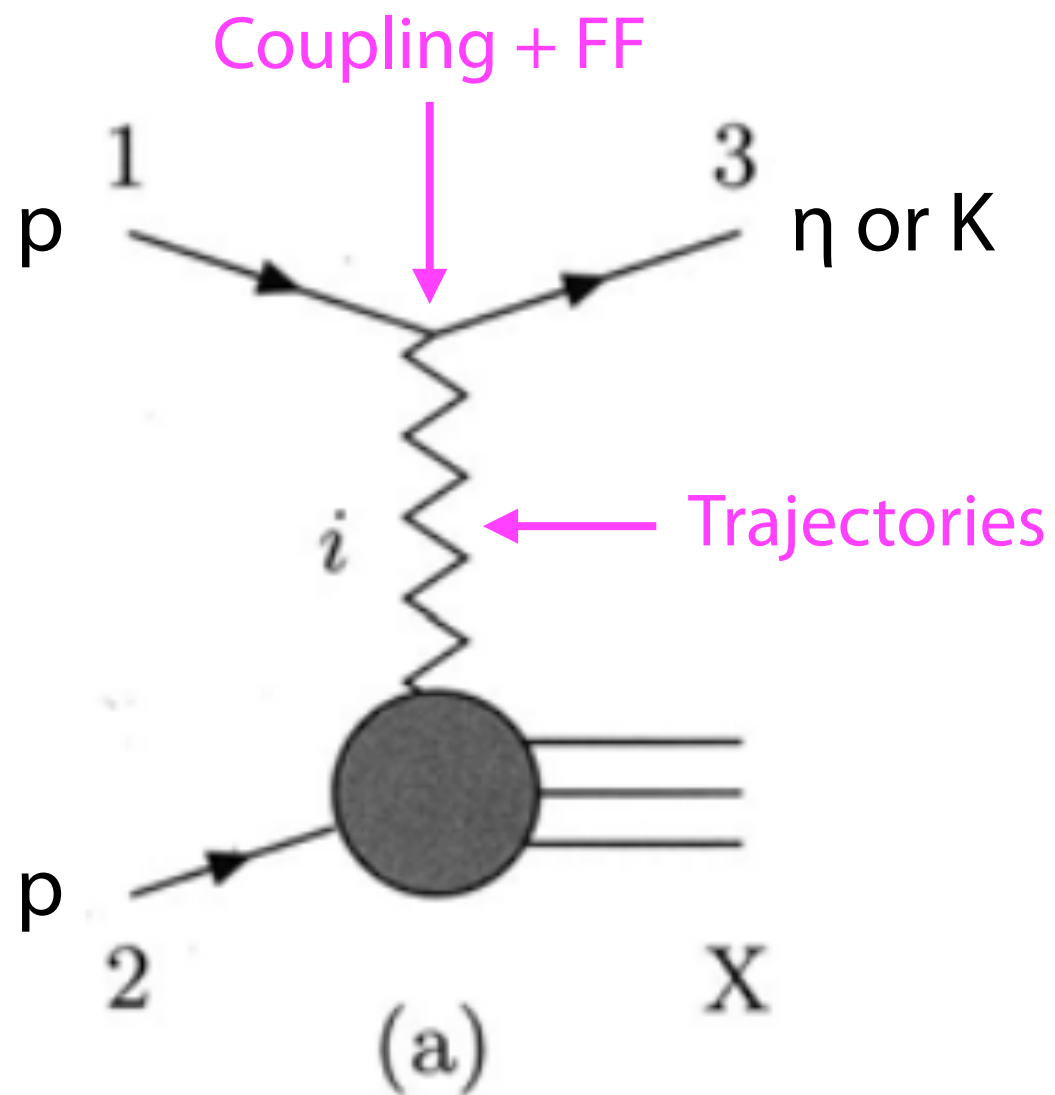
- そこそこ合っている？
- $|t|$ が大きくなってもスペクトラム全体が下がらないのはFFに要因か？

$p^\uparrow p \rightarrow \pi^0 X$ 計算: A_N

Paper in preparation

- 昨夜遅くIm部の扱いにバグを見つけました。

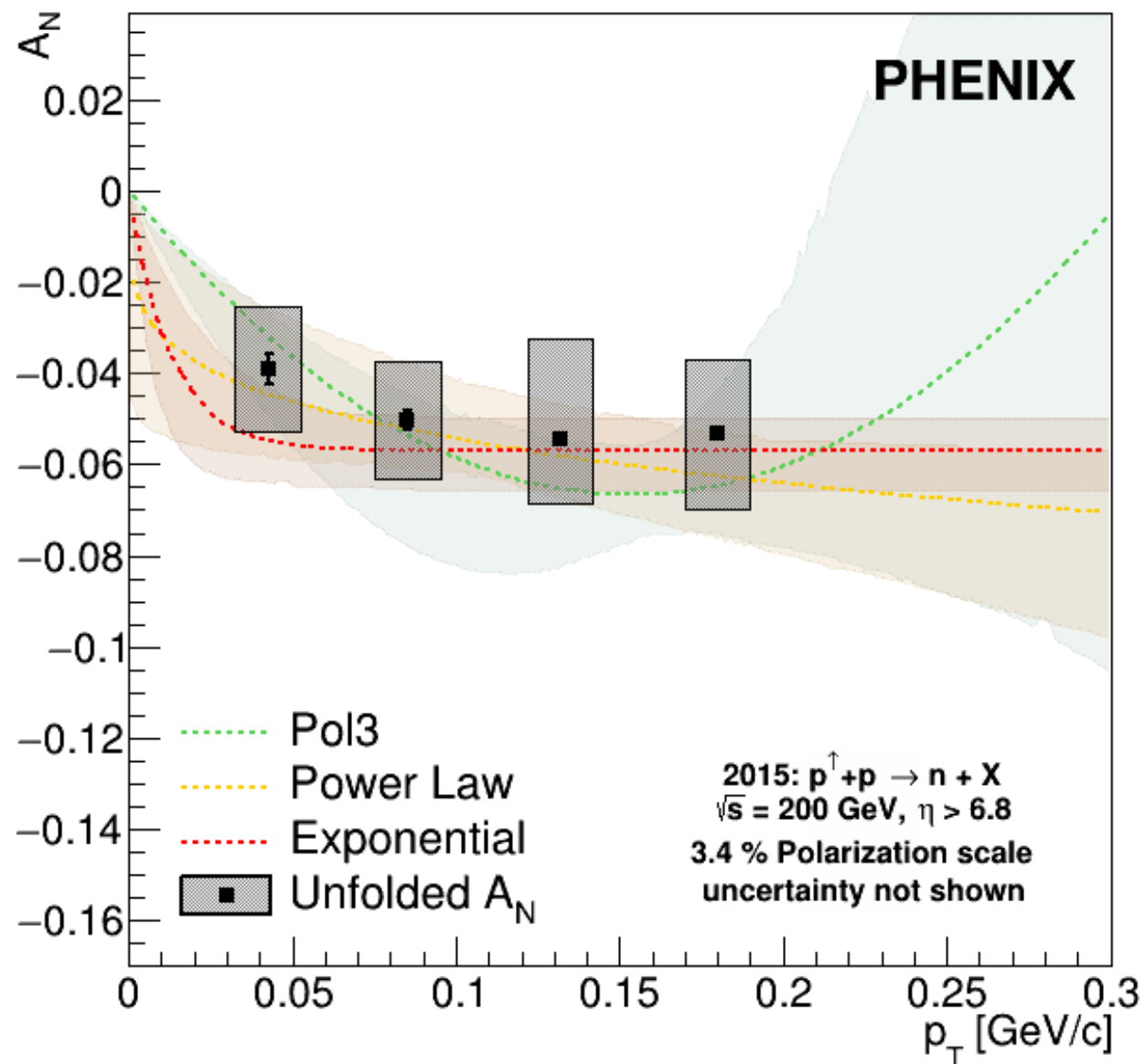
その他の前方メソン: η ? K^0_s ?



- Triple-regge diagramで記述されるsoft部は
 - Coupling
 - Form factor
 - Trajectoriesを生成メソン3に応じて変更すれば良い。
- Hardな成分はpQCD MCで見積もる。

その他の前方バリオン: 中性子? Λ ?

[PHENIX, Phys. Rev. D 103, 032007]



Λ の計算は難しそう。

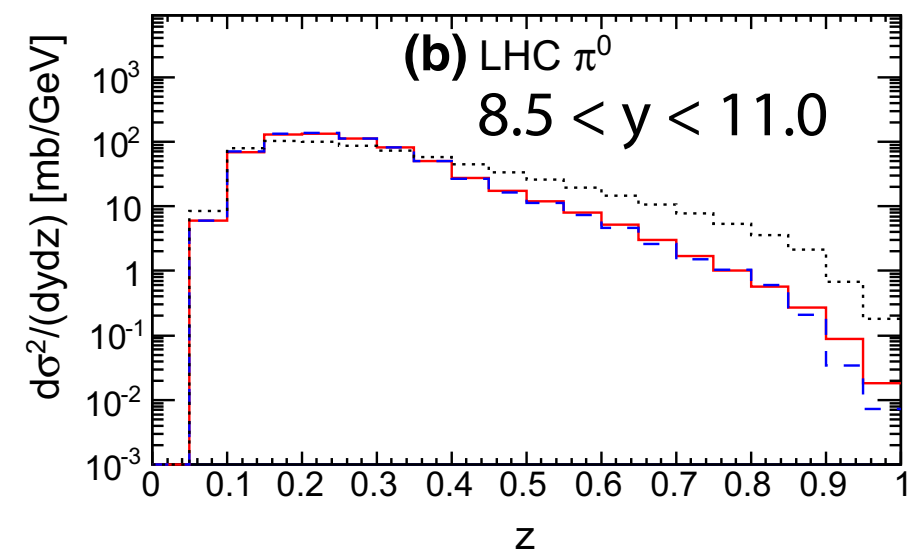
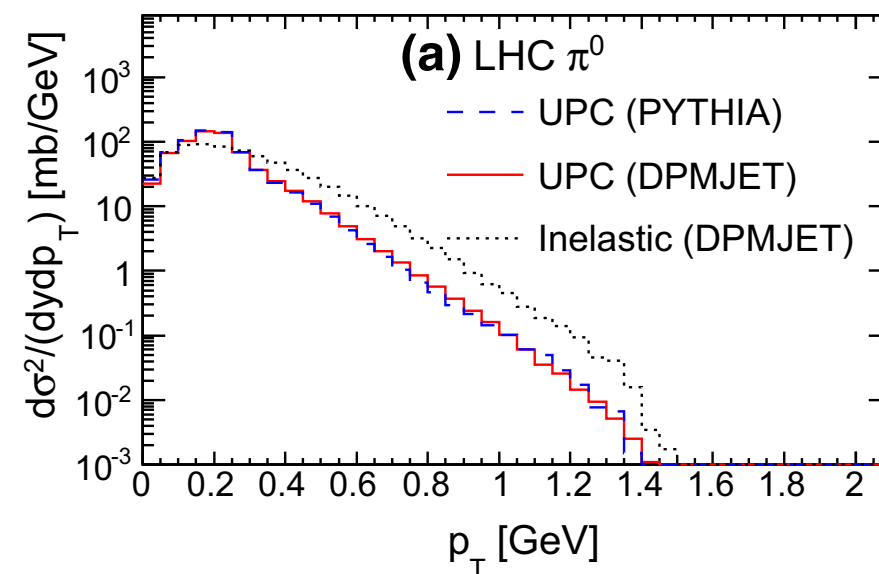
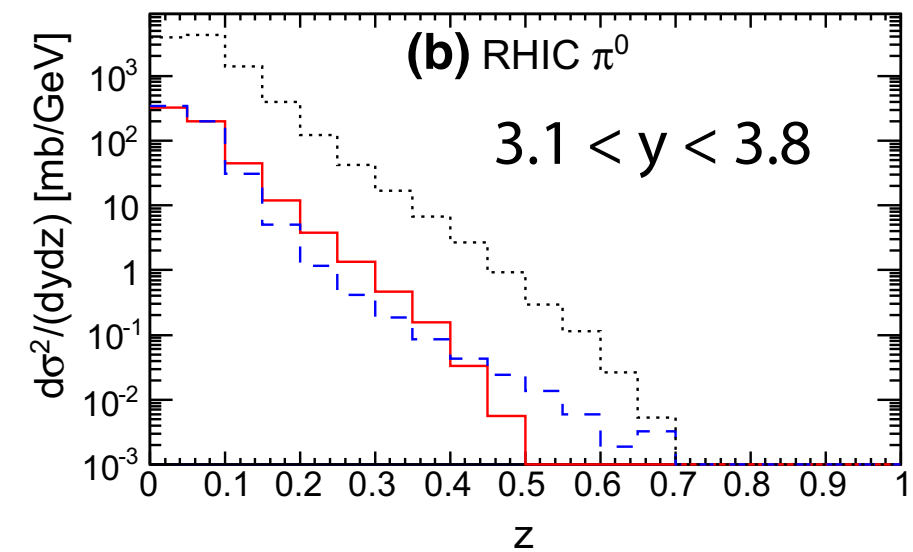
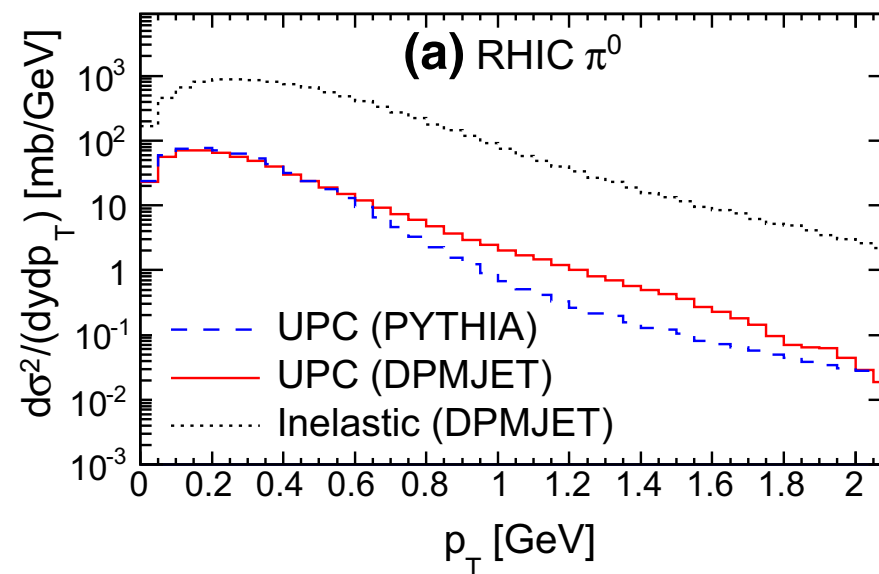
$p^\uparrow A \rightarrow \pi^0 X$: 断面積

[GM, Eur. Phys. J. C 75, 614]

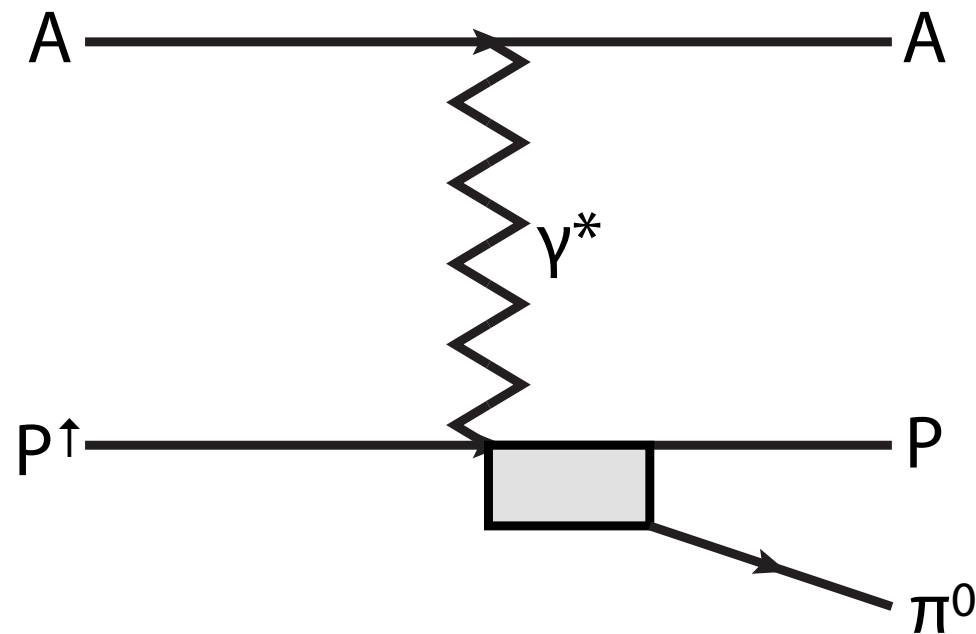
- 原子核標的の断面積は
Inelastic ($\sim A^{2/3}$) + UPC ($\sim Z^2$)

$$\frac{d^3 N}{dE_\gamma db^2} = \frac{Z^2 \alpha}{\pi^2} \frac{x^2}{E_\gamma b^2} \left(K_1^2(x) + \frac{1}{\gamma^2} K_0^2(x) \right)$$

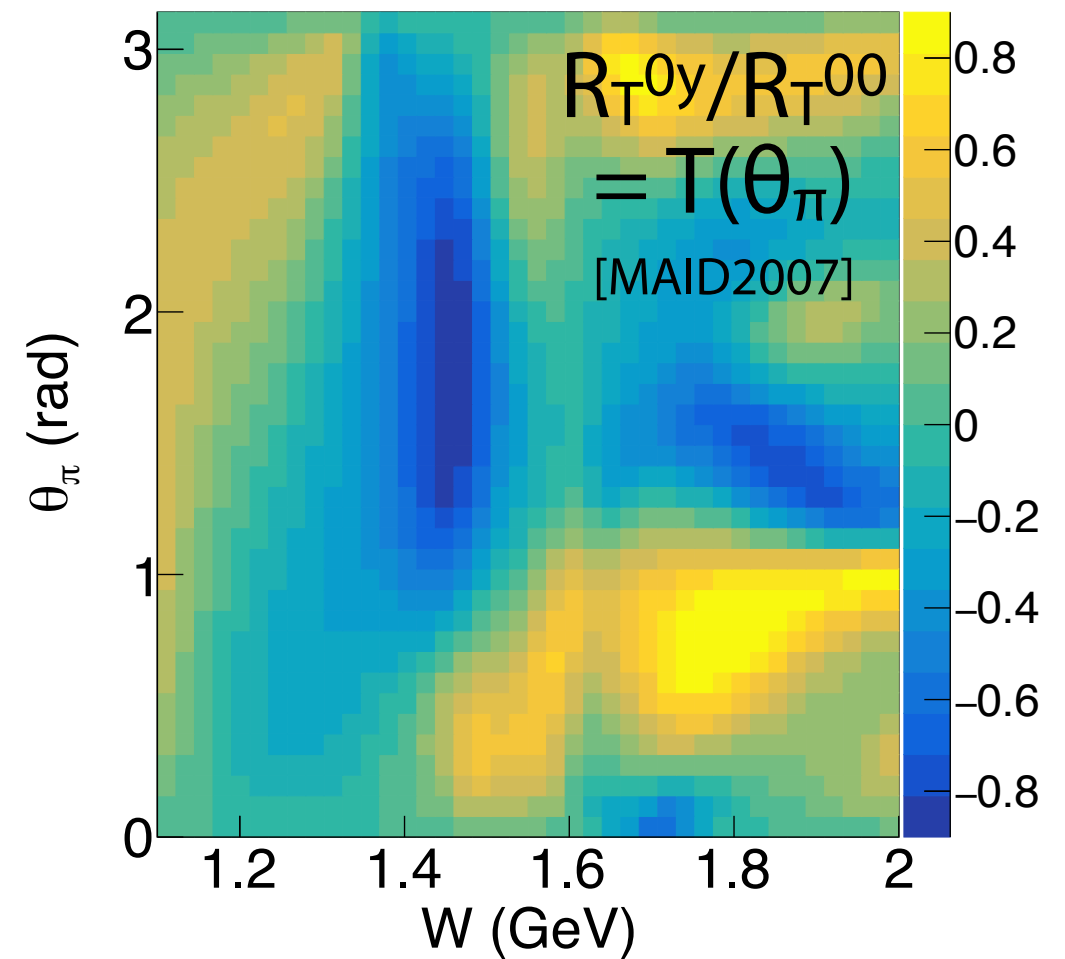
RHIC at $\eta > 6$ は概ねLHC at $y > 8.5$ と同程度と予想。



$p^\uparrow A \rightarrow \pi^0 X: A_N$



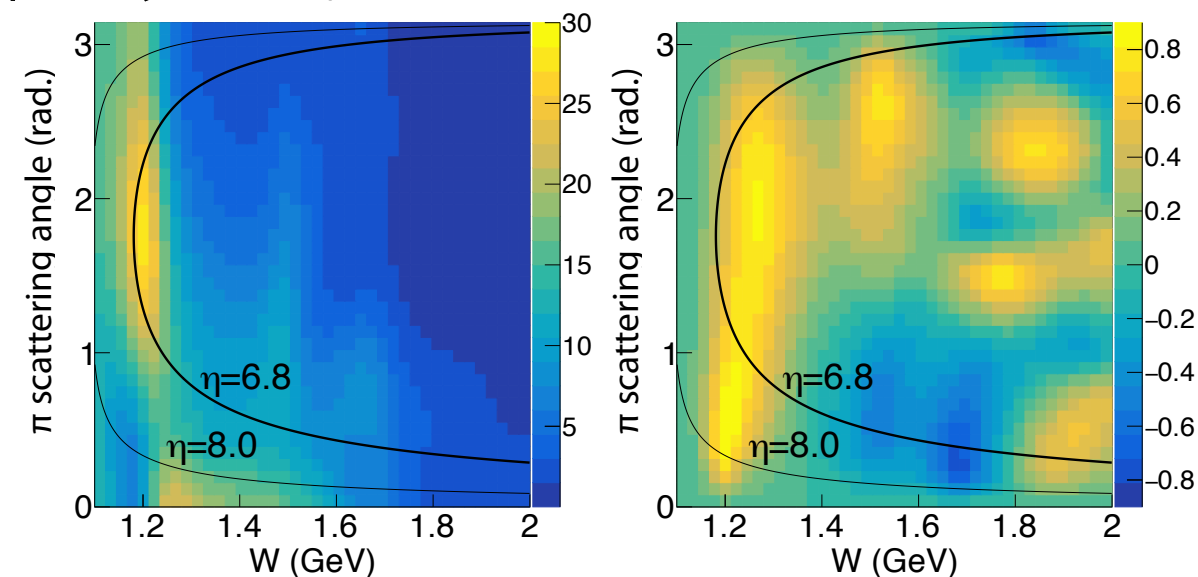
[GM, JPS 2019 Autumn]



- RHICでの $p^\uparrow + \text{Au} \rightarrow n + X$ 測定は低エネルギー $p^\uparrow + \gamma$ 散乱で説明可能。
- 低エネルギー $p^\uparrow + \gamma$ 散乱では p と π^0 に大きな非対称が現れる。
- $p + \gamma$ 系の非対称をLorentz boostすれば
 $p^\uparrow + \text{Au}$ 系の π^0 非対称が得られる。

中性子の場合→

[GM, Phys. Rev. C 95, 044908]



まとめと要望

- $p^\uparrow p \rightarrow \pi X$ の断面積と A_N をRegge理論に基づき記述しようと勉強中。
 - 断面積と A_N を両方同時に説明するのが重要。
 - Baryon reggeon交換+吸収効果で断面積も A_N も説明できるのでは？
- Λ の計算には少々勉強が必要、 $p^\uparrow A \rightarrow \pi^0 X$ のUPC計算はすぐに出来る。
- RHICfの π^0 断面積測定はどうなった？Type-Iだけでも早めに欲しい。
- PHENIX ZDCの中性子測定は p_T 分解能が粗い→RHICf-IIでは λ_1 不足？