

Chiral unitary 模型を用いた
K-bar NN系及び Φ 中間子原子核の
生成断面積の評価

山縣 淳子(奈良女子大学 D2)

K中間子原子核の生成

山縣 淳子(奈良女子大学 D2)

永廣 秀子(RCNP、大阪大学)

慈道 大介(YITP、京都大学)

比連崎 悟(奈良女子大学)

Introduction

Many Subcomponents
Large Widths

○ **K中間子原子核**についての研究

→ K中間子原子核状態を示唆するピークを見るのは難しそう。

^{12}C 、 ^{16}O : **Theor** : Yamagata, Nagahiro, Hirenzaki (Structure, Reaction)
 Yamagata, Hirenzaki, Oset (Quasi-elastic contribution)
 : Mares, Friedman, Gal (Structure)
Exp. : Kishimoto, Hayakawa -- Osaka Group

^4He : **Theor.** : Akaishi, Yamazaki, Dote (Structure)
Exp. : Iwasaki, Suzuki -- RIKEN Group

- ^3He target (K⁻pp state) **J-PARC** (J-PARC E15, Iwasaki, Nagae)
 -- たとえ崩壊幅が大きくても、シグナルを見ることができるかも。
 (subcomponentが少ない。)
- Theoretical Study (K⁻pp bound states) (data by FINUDA...
Structure : Akaishi, Yamazaki, Dote ; Fujioka, Nagae et al.,
 Shevchenko, Gal, Mares, Revai;
 Ikeda, Sato; Dote, Hyodo, Weise, Noda, Sasaki, Hiyama, et al.,
Reaction : Yamagata, Nagahiro, Jido, Hirenzaki ; Koike, Harada
 (cf: K⁻pp system : FINUDA. Interpretation by known process ; Oset, Toki)

In today's talk...

○ 軽いK中間子原子核

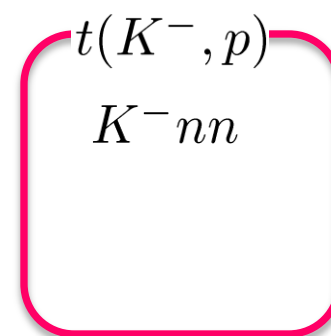
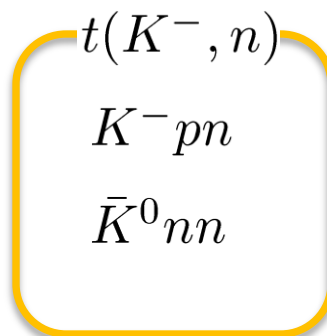
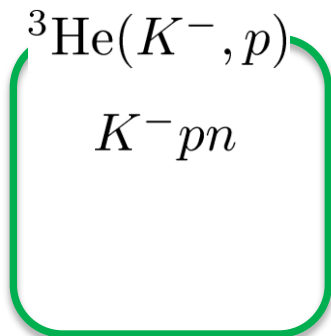
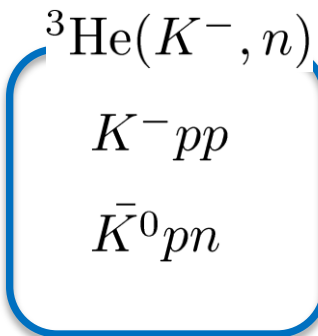
- $\bar{K}NN$ systems

- 束縛状態の計算 -- **Klein-Gordon equation**
- 生成スペクトラムの計算 -- **Green's function method**

Main Part

- 理論的な **chiral unitary amplitude** を用いて \bar{K} -NN 光学ポテンシャルを評価
- すべての可能な2核子系を考慮
- 素過程における \bar{K}^0 生成の寄与を K^- 生成の寄与とともに評価

novelty !!



Yamagata, Nagahiro, Okumura, Hirenzaki,
PTP114(05)301 ; Errata 114(05)905
Yamagata, Nagahiro, Hirenzaki,
PRC74(06)014604
Yamagata, Hirenzaki, EPJA31(07)255
Yamagata, Nagahiro, Kimura, Hirenzaki
PRC76(07)045204

In today's talk...

○ 軽いK中間子原子核

Yamagata, Nagahiro, Okumura, Hirenzaki,
PTP114(05)301 ; Errata 114(05)905

Yamagata, Nagahiro, Hirenzaki,
PRC74(06)014604

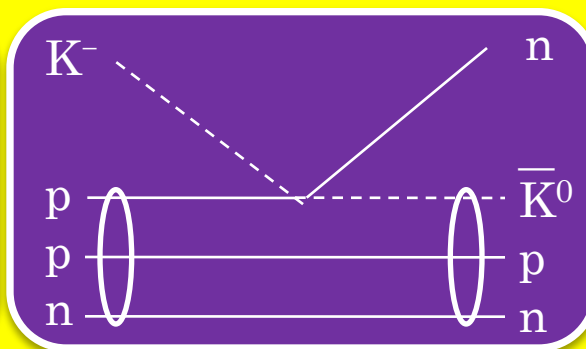
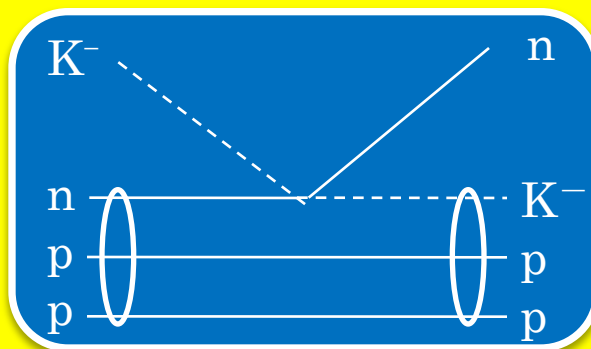
Yamagata, Hirenzaki, EPJA31(07)255

Yamagata, Nagahiro, Kimura, Hirenzaki
PRC76(07)045204

● \bar{K}^0

● 束

● 全



novelty !!

${}^3\text{He}(K^-, n)$

$K^- pp$

$\bar{K}^0 pn$

${}^3\text{He}(K^-, p)$

$K^- pn$

$t(K^-, n)$

$K^- pn$

$\bar{K}^0 nn$

$t(K^-, p)$

$K^- nn$

を評価

Our theoretical tools

- 複素エネルギー平面上でKlein-Gordon方程式を
エネルギーについてselfconsistentになるように解く。

E. Oset and L. L. Salcedo, J. Comput. Phys. 57 (85) 361

$$[-\vec{\nabla}^2 + \mu^2 + 2\mu V_{\text{opt}}(r, \omega)]\phi(\vec{r}) = [\omega - V_{\text{coul}}(r)]^2\phi(\vec{r})$$

- Green's function methodを用いて生成スペクトラムを計算

O. Morimatsu, K. Yazaki, NPA435(85)727, NPA483(88)493

$$\frac{d^2\sigma}{dE d\Omega} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\bar{K}N \rightarrow N\bar{K}} \sum_{\alpha} -\frac{1}{\pi} \text{Im} \int d\vec{r} d\vec{r}' f_{\alpha}^*(\vec{r}') G(E; \vec{r}', \vec{r}) f_{\alpha}(\vec{r})$$

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\bar{K}N \rightarrow N\bar{K}}$: Elementary cross section (Exp. data)

$G(E; \vec{r}', \vec{r})$: Green function for K interacting with the nucleus

1-1. Optical Potential

○ Chiral Unitary Model

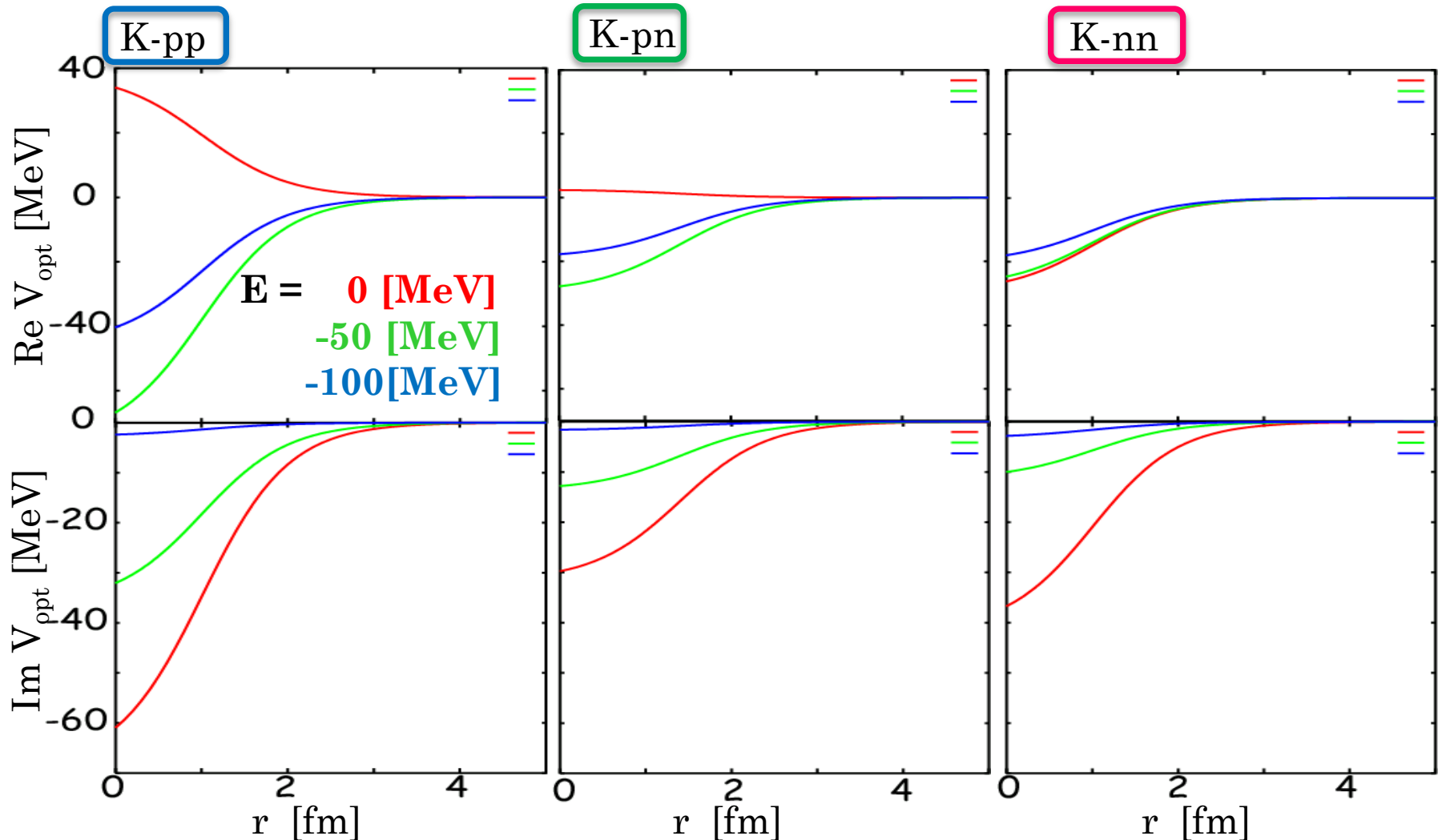
T_p 近似 -- 2核子の密度分布を仮定

only **1 body absorption**.

$\frac{A-1}{A}$ factor (To avoid double counting)

E. Oset, A. Ramos, Nucl. Phys. A635 (98)99

E. Oset, A. Ramos, C. Bennhold, Phys. Lett. B527(02)99



1-2. Results -- Formation Spectra

○ Formation Spectra -- Chiral Unitary -- $T(\rho=0, E)\rho(r)$ Linear density

${}^3\text{He} (K^-, n)$

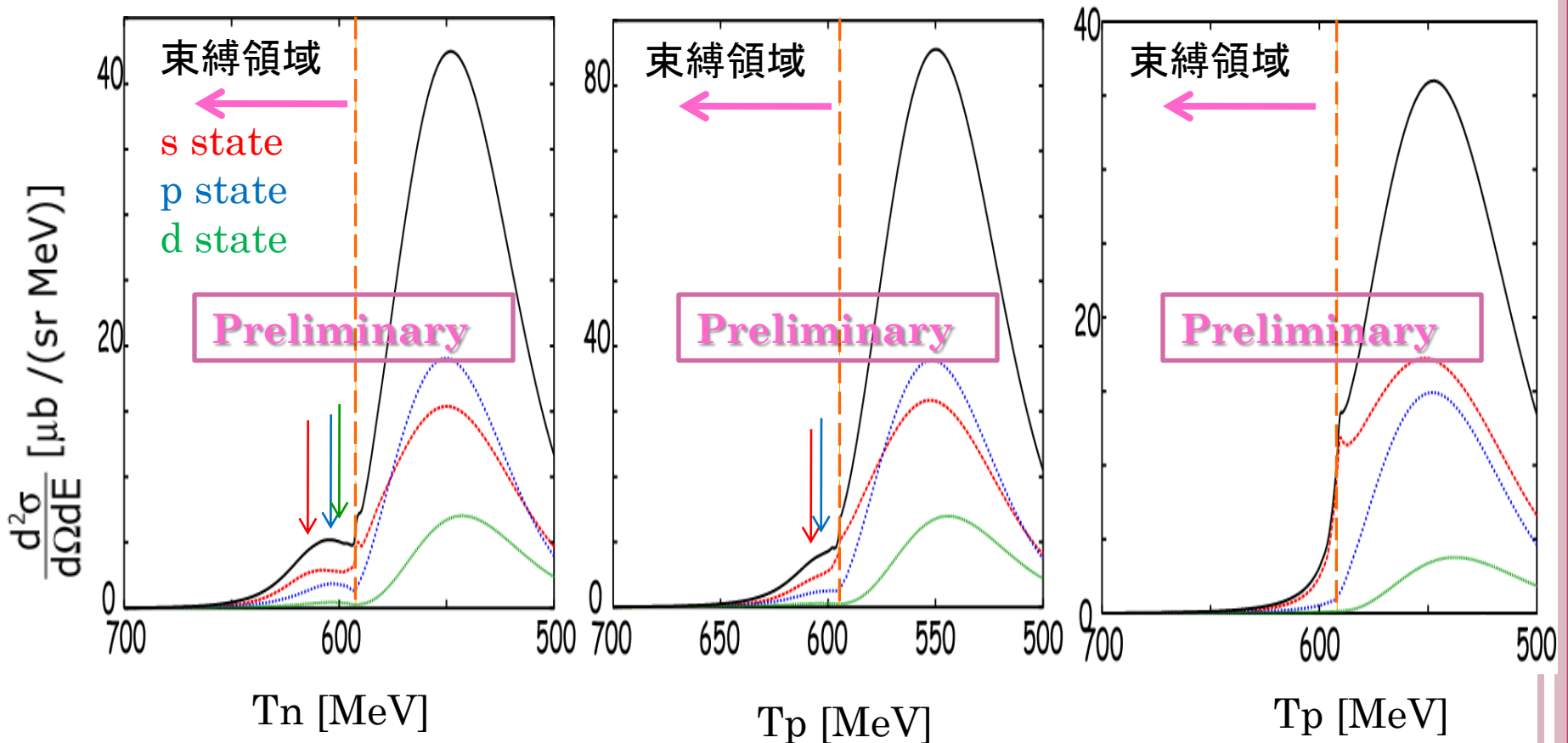
$K^- pp$

${}^3\text{He} (K^-, p)$

$K^- pn$

$t (K^-, p)$

$K^- nn$



1-3. Conversion Part

O. Morimatsu, K. Yazaki, NPA435(85)727, NPA483(88)493

T. Koike, T. Harada, Phys. Lett. B 652(07)262

Green's function method

Total spectrum

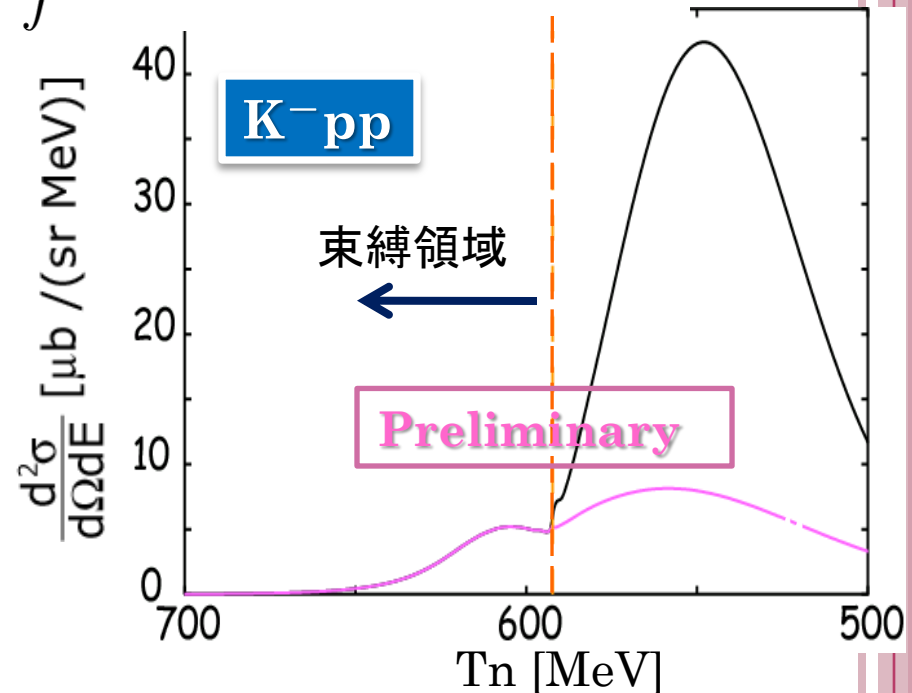
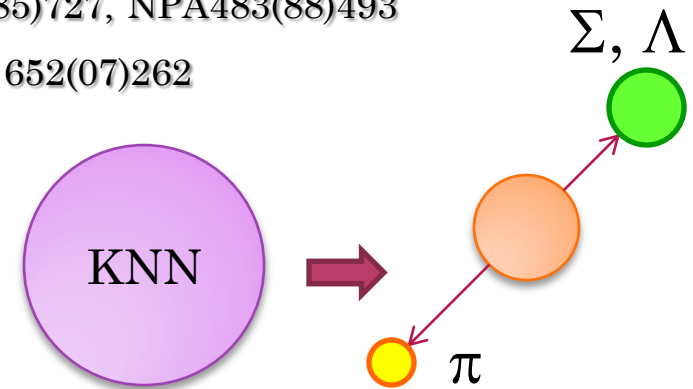
$$\left(\frac{d^2\sigma}{dEd\Omega}\right)_{\text{tot}} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\bar{K}N \rightarrow \bar{K}N} S_{\text{tot}}(E)$$

$$S_{\text{tot}}(E) = -\tilde{f} \text{Im}G f = -\sum_{\alpha} \text{Im} \int dr dr' f_{\alpha}^*(\mathbf{r}') G(E; \mathbf{r}', \mathbf{r}) f_{\alpha}(\mathbf{r})$$

Conversion Part

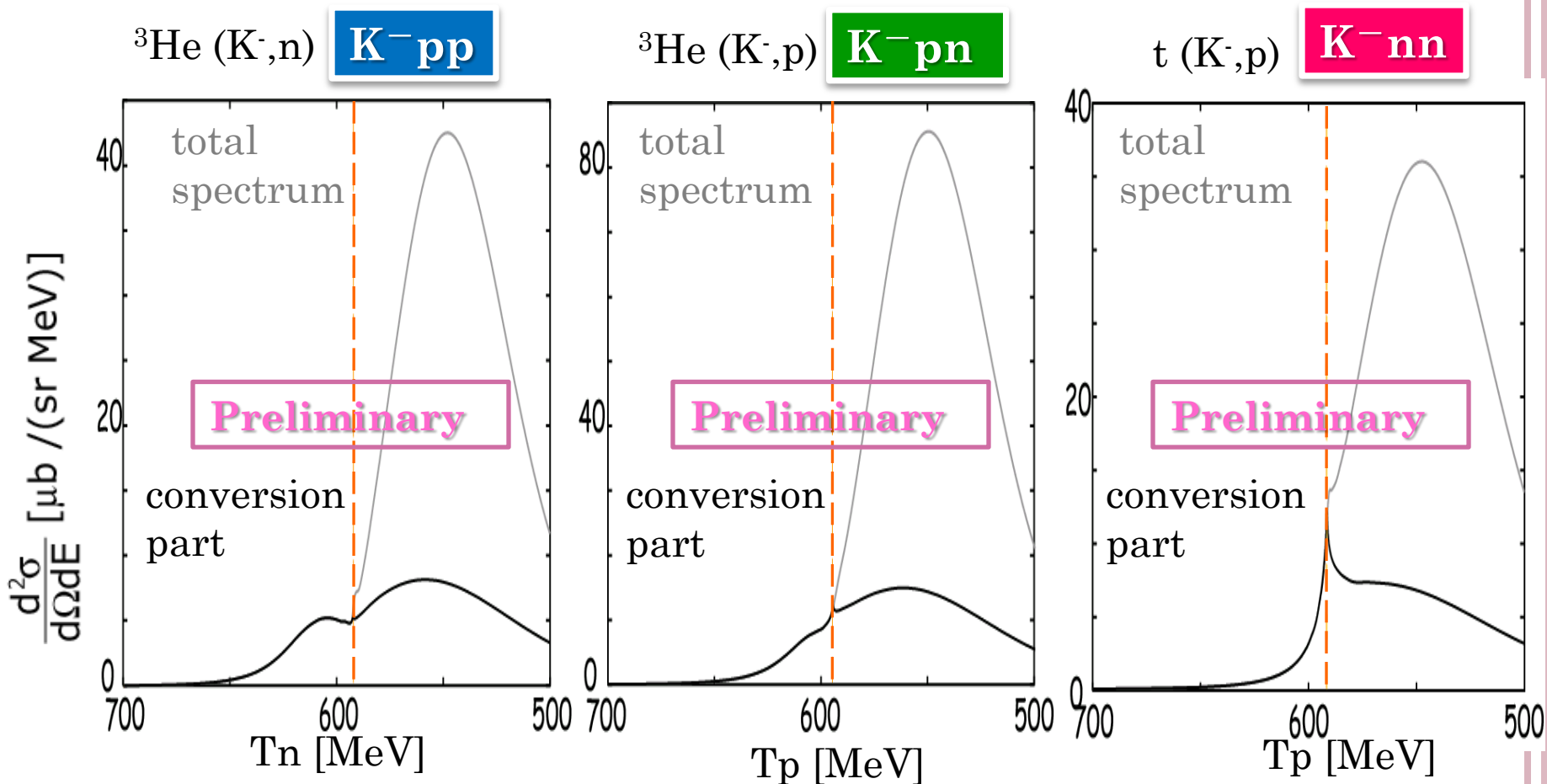
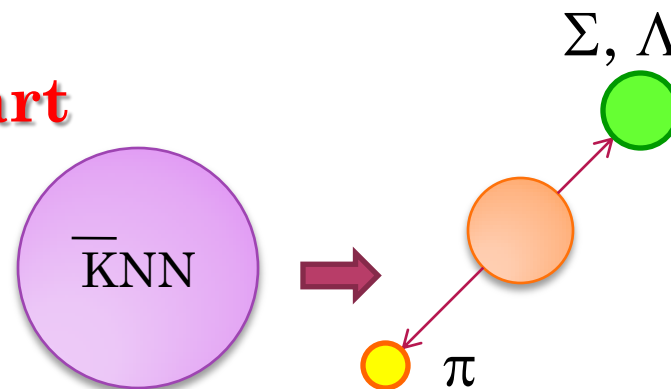
$$\left(\frac{d^2\sigma}{dEd\Omega}\right)_{\text{con}} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\bar{K}N \rightarrow \bar{K}N} S_{\text{con}}(E)$$

$$S_{\text{con}}(E) = -\tilde{f} G^+ \text{Im}U G f$$



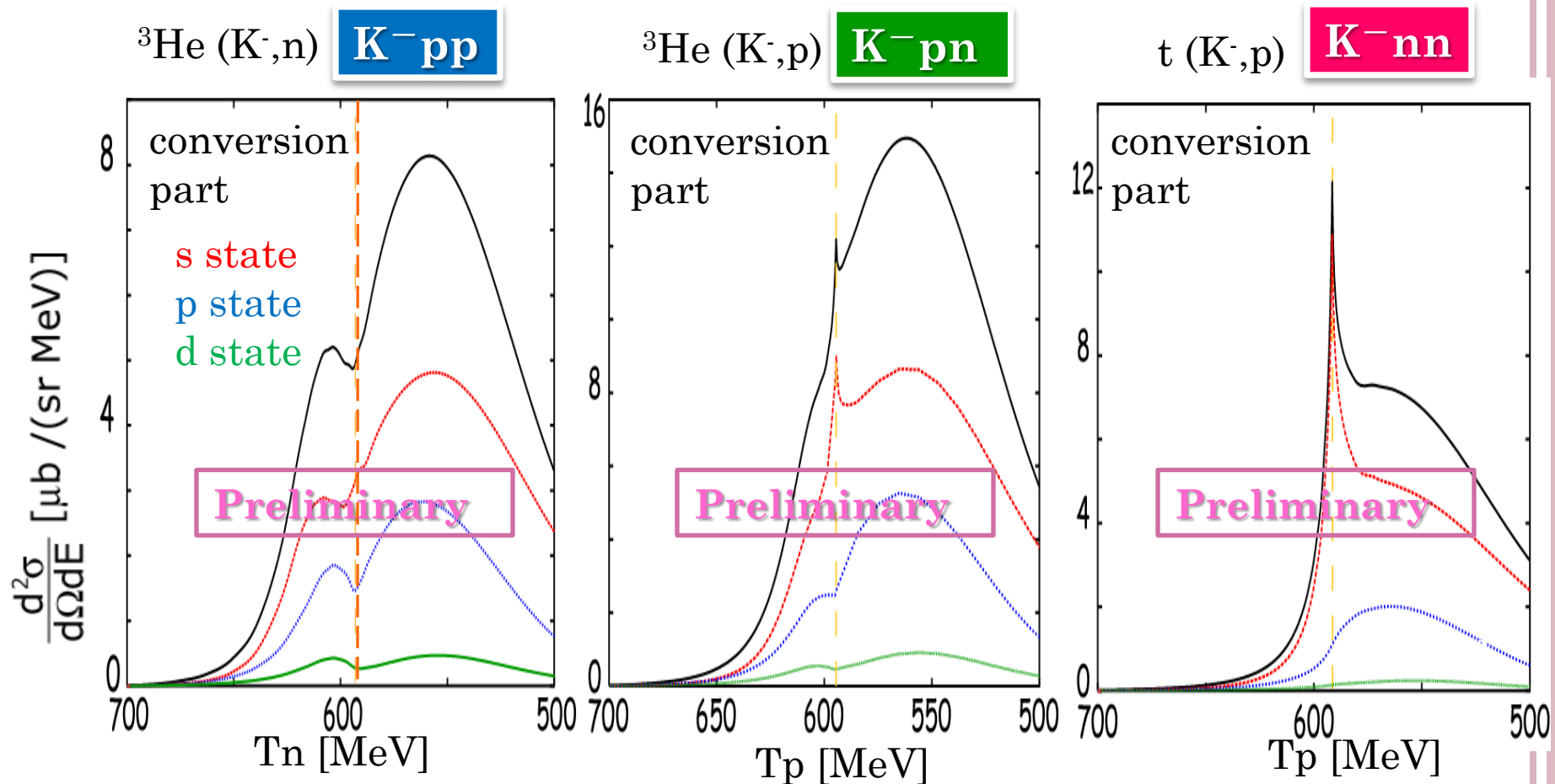
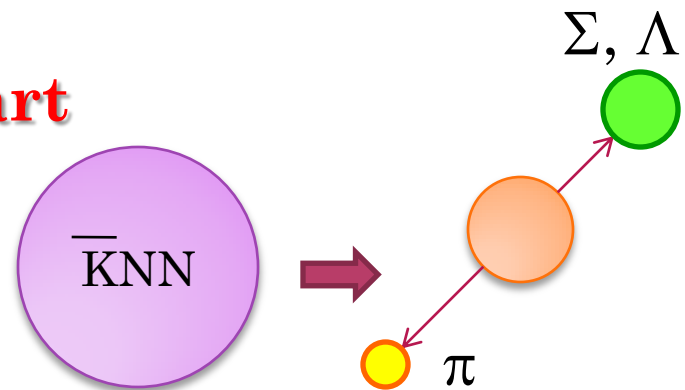
1-4. Results -- Conversion Part

- If we can observe contributions from 1 body absorption process...



1-4. Results -- Conversion Part

- If we can observe contributions from 1 body absorption process...



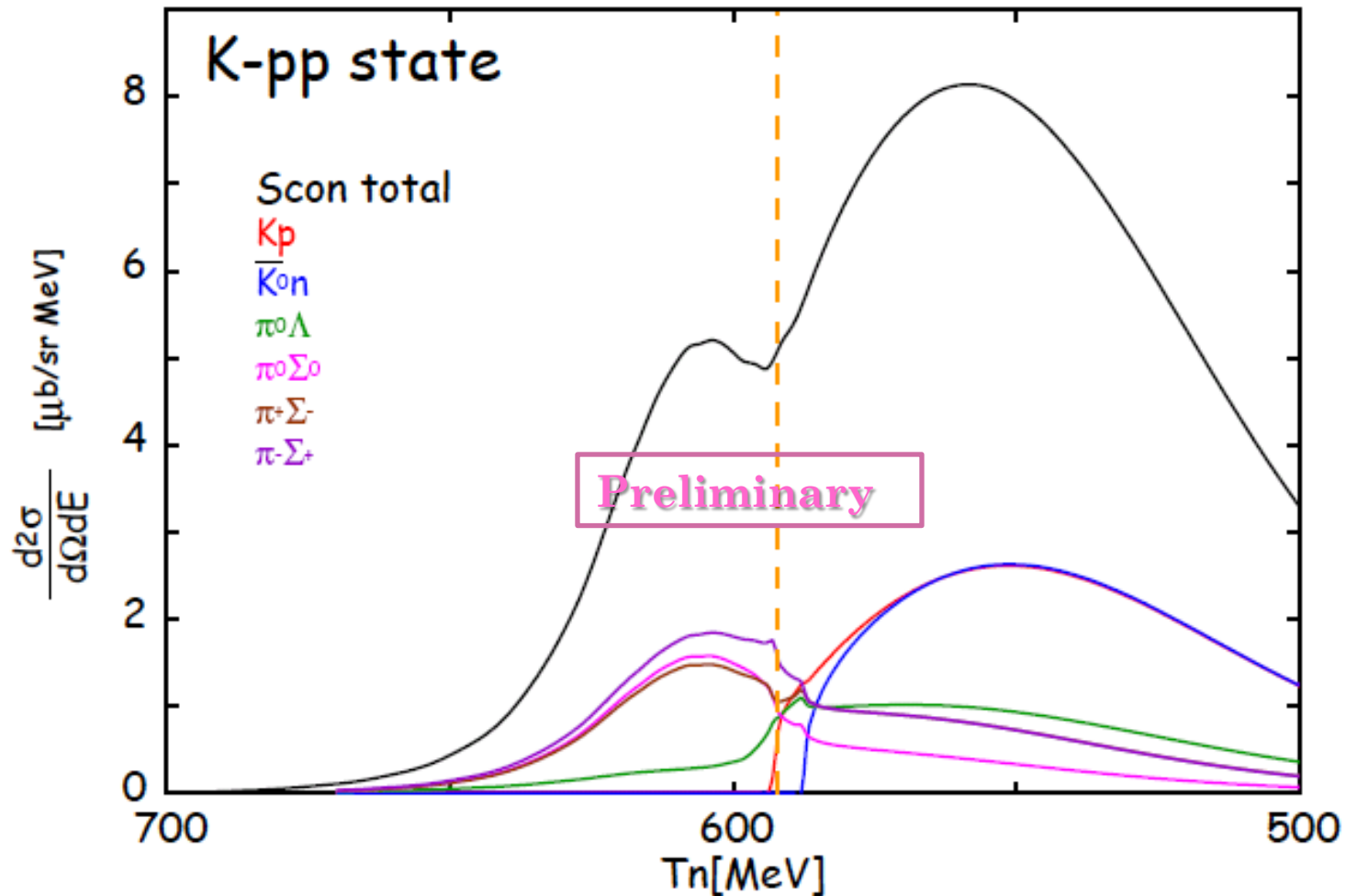
1-4. Results -- Conversion Part

- If we can observe contributions

from 1 body absorption process...

${}^3\text{He} (\text{K}^-, \text{n})$

$\text{K}^- \text{pp}$

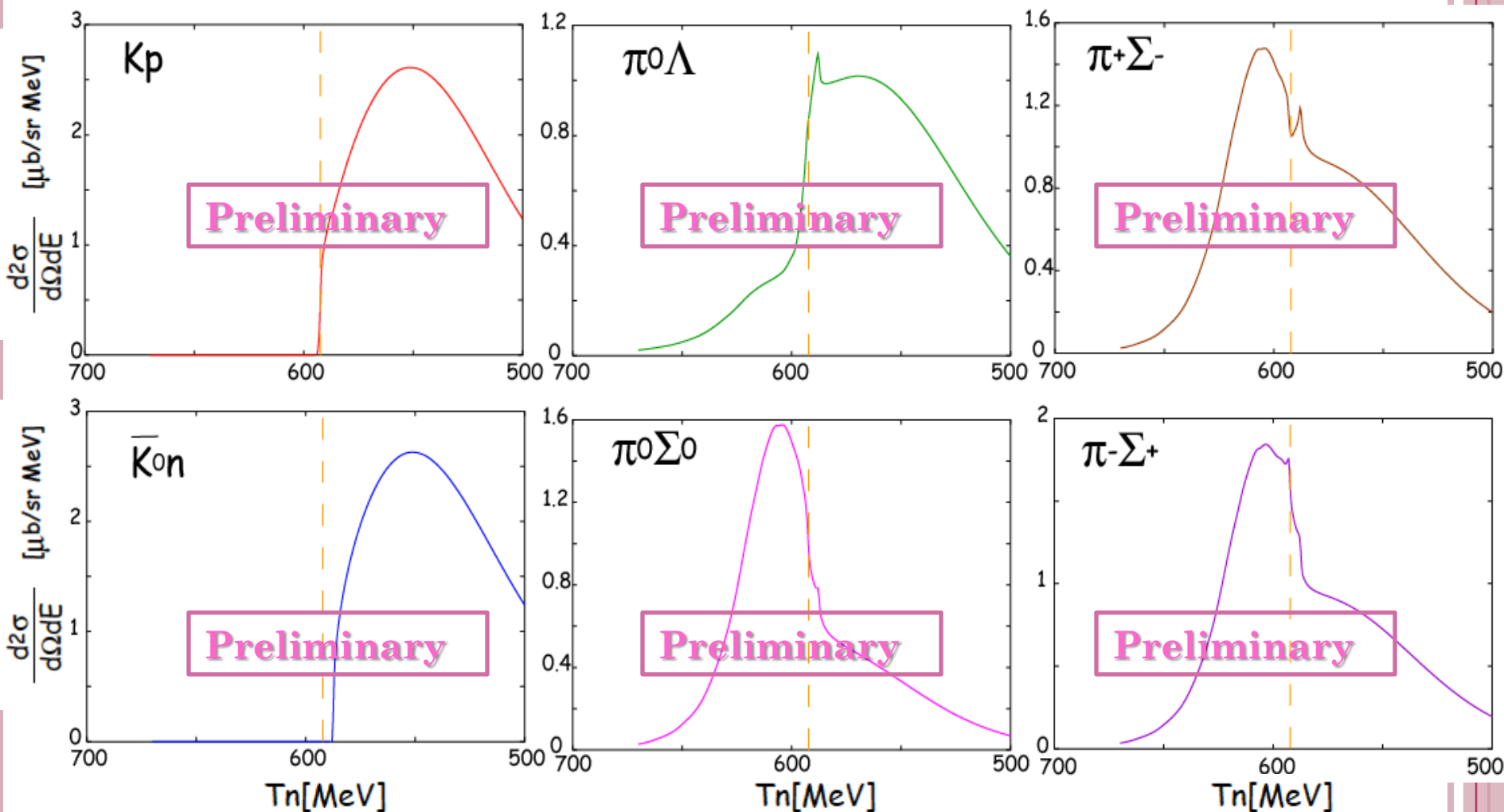


1-4. Results -- Conversion Part

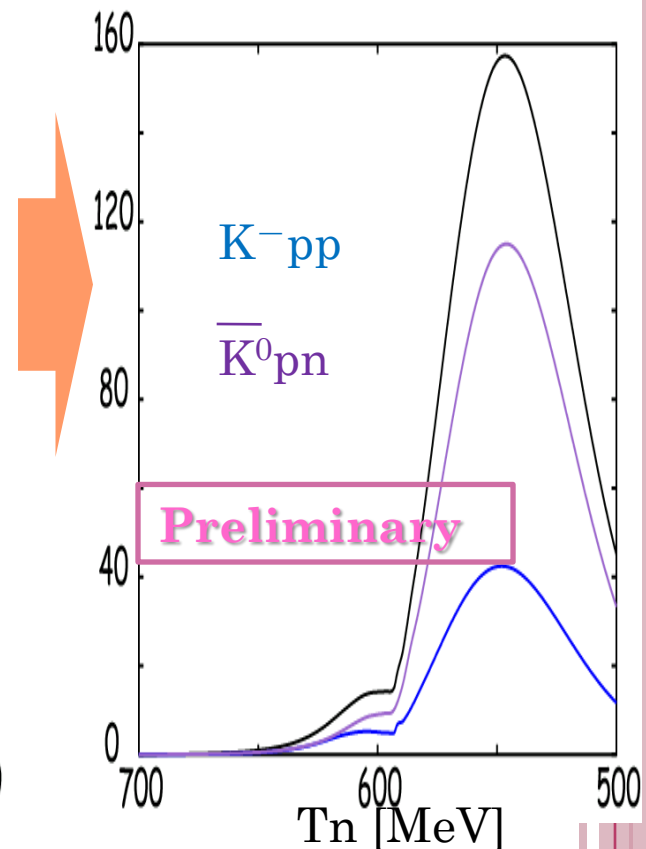
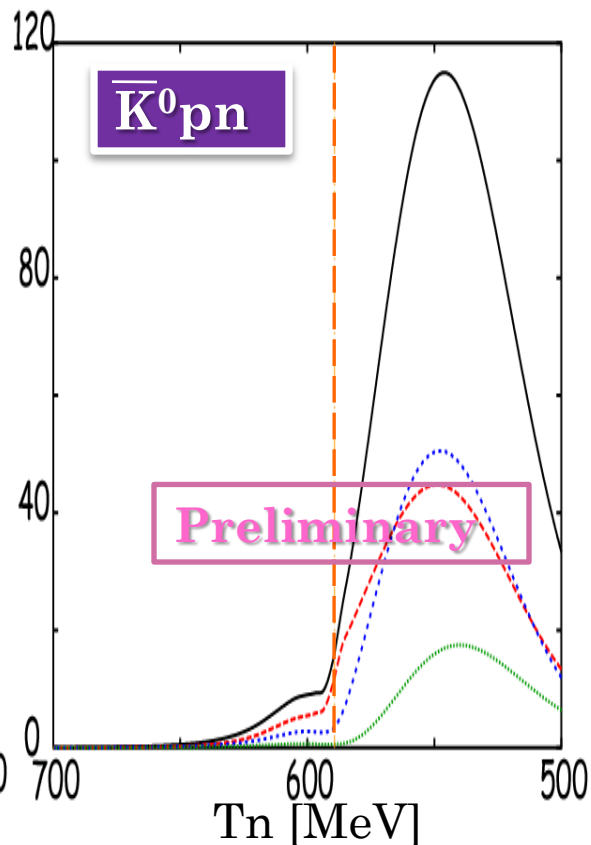
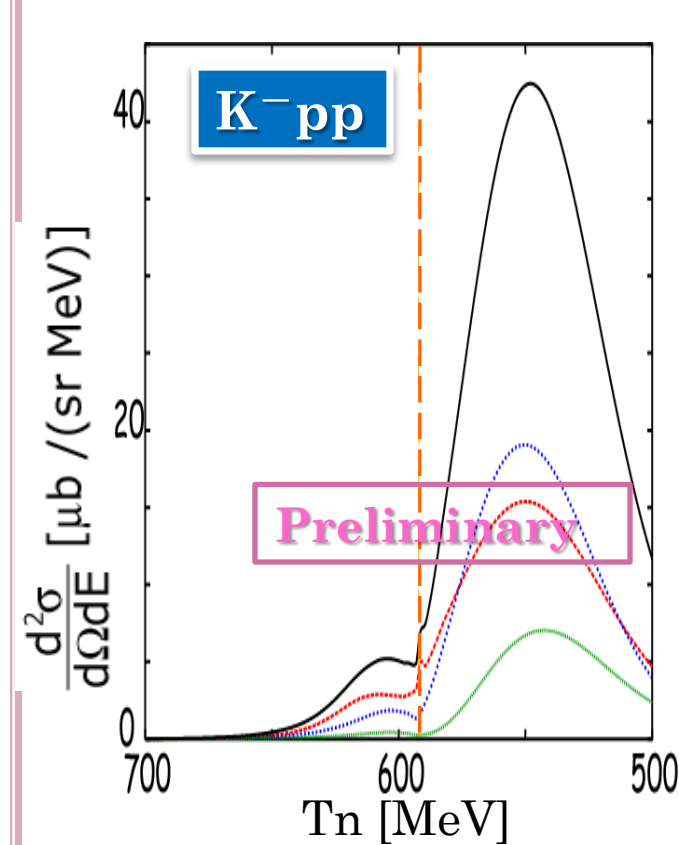
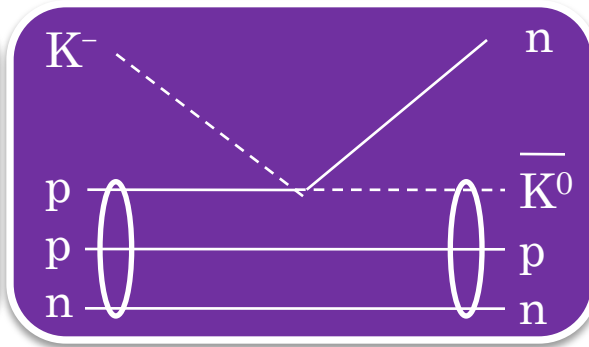
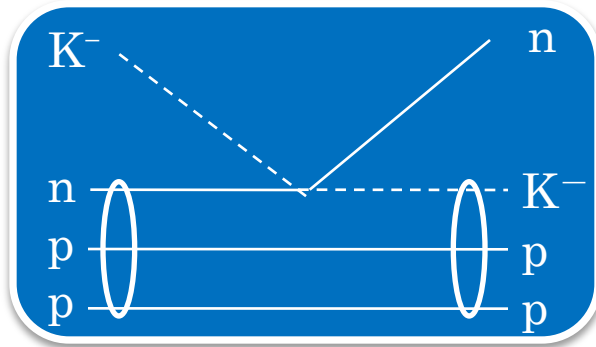
${}^3\text{He} (K^-, n)$ $K^- pp$

- If we can observe contributions from 1 body absorption process...

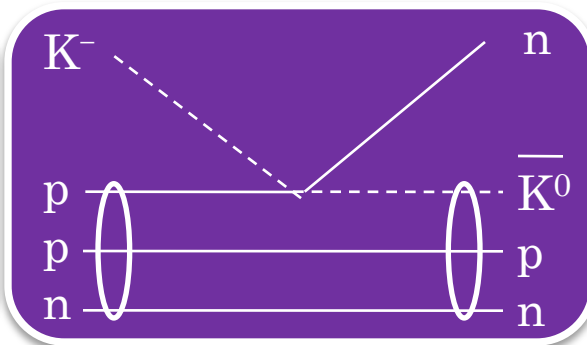
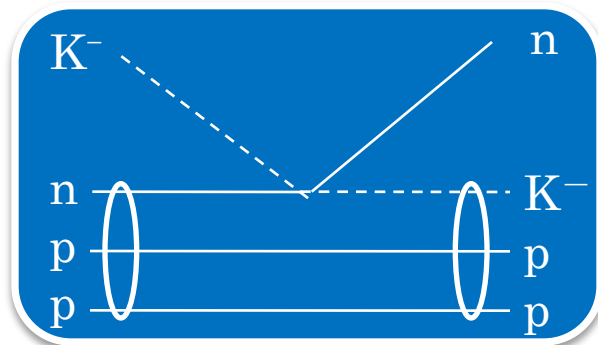
$\Sigma(1385)$ の寄与は入っていない。



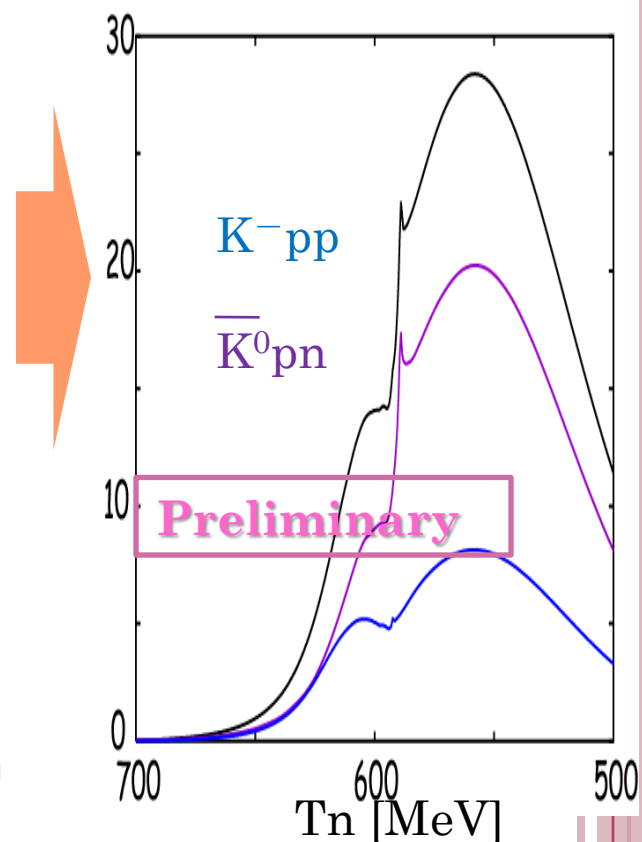
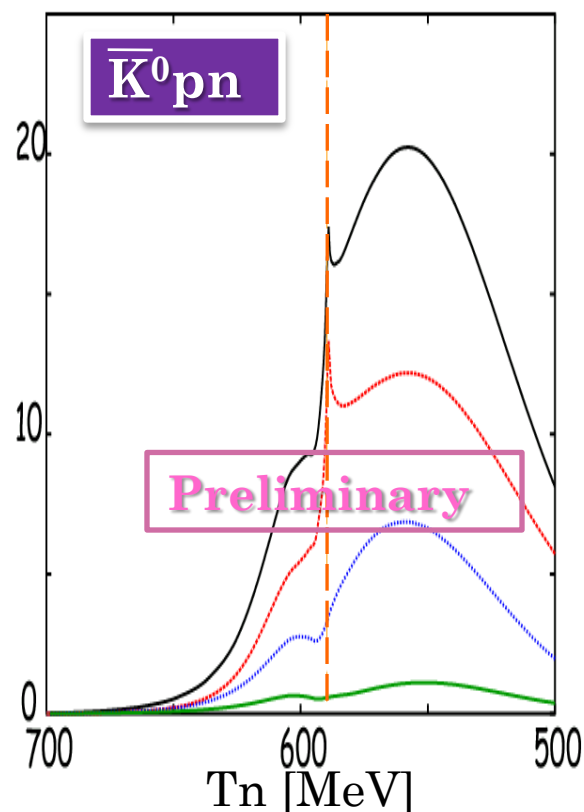
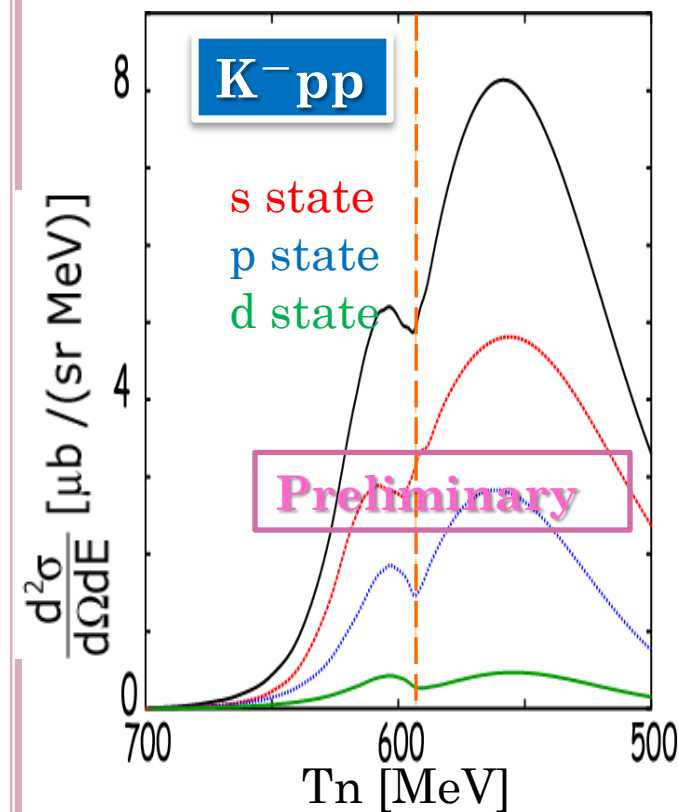
1-6. Results -- ${}^3\text{He}(\text{K}^-, n)$ -- possible final systems



1-6. Results -- ${}^3\text{He}(\text{K}^-, \text{n})$ -- possible final systems



Conversion part



1-7. Comments on our calculation

Noda, Sasaki,
Hiyama, Yamagata,
Hirenzaki ...

- 少数系計算をしていない。
(Optical potential description by T_p approximation for very light system)
- 2核子系の密度分布を仮定。
(improvements are required)
- 2体吸収の効果を取り入れることが必要。
 - Chiral Unitary Model $T(\rho=0, E)$ --- only 1 body absorption

1-8. Summary of $\bar{K}NN$

- 我々は、(K-pp系だけでなく)全 $\bar{K}NN$ 系について研究をおこなった。
 - 複素エネルギー平面上に束縛状態がありそうである。
 - 生成スペクトラムの束縛領域に小さな構造が見られる。
 - ${}^3\text{He}(K^-, n)$ 反応において、**K⁻pp生成**だけでなく、 **\bar{K}^0pn 生成**の寄与も考慮に入れた。
 - **conversion part**に対応するスペクトラムで。
より面白い構造が見られることがわかった。
(Especially $\pi\Sigma$ decay channel !!)
- 実験でより面白い構造を引き出すことができないか、さらに検討。

ϕ 中間子原子核

山縣 淳子(奈良女子大学 D2)

比連崎 悟(奈良女子大学)

D. Cabrera (Madrid Univ.)

M. J. Vicente Vacas (Valencia Univ.)

2-1. Introduction

- ϕ 中間子 … 質量: 1019.46 MeV
 幅: 4.26 MeV
 アイソスピン: 0
 スピン: 1
 パリティ: 負

$$K^+ K^- \quad 49.2\%$$

$$K_L^0 K_S^0 \quad 34.0\%$$

$$\rho\pi + \pi^+ \pi^- \pi^0 \quad 15.3\%$$

- 有限密度中における ϕ 中間子のMass Shift

- QCD Sum Rule -- $m^*/m = 1 - 0.03\rho/\rho_0$

(Theor.) T. Hatsuda, S. H. Lee, Phys. Rev. C 46 (92) R34

- 12GeV/c Proton induced $\phi \rightarrow e^+ e^-$ -- mass shift $3.4 \pm 0.6\%$

(Exp.(KEK-PS E325 Collaboration)) R. Muto, et al., Phys. Rev. Lett. 98 (07) 042501

- ϕ 中間子の光生成

- Pomeron Exchange Process

- 理論で再現できない $\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)$ の 入射 p_γ 依存性

(Theor.) A. I. Titov and T. -S. H. Lee, Phys. Rev. C 67 (03) 065205

(Exp.(LEPS Collaboration)) T. Mibe, et al., Phys. Rev. Lett. 95 (05) 182001

2-2. Our Interest

- ϕ 中間子原子核の生成及び観測可能性。(J-PARC, SPring-8 etc...) (New!!)
- ϕ 中間子は $K\bar{K}$ と強くcoupleしている。
 - 核内における ϕ 中間子の性質を考えた場合の
 \bar{K} - 原子核相互作用が及ぼす影響 (Potential : Shallow, Deep@ $E=m_K$, $P_K \sim 0$)
- (γ, p) 反応の素過程断面積の理論で再現できない振る舞い。

Today's Talk

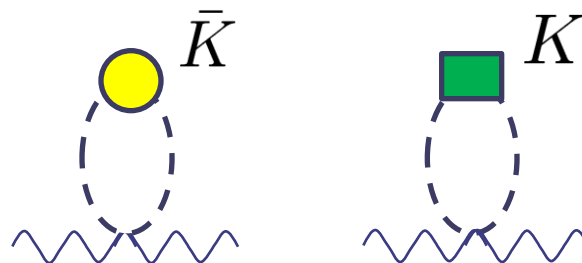
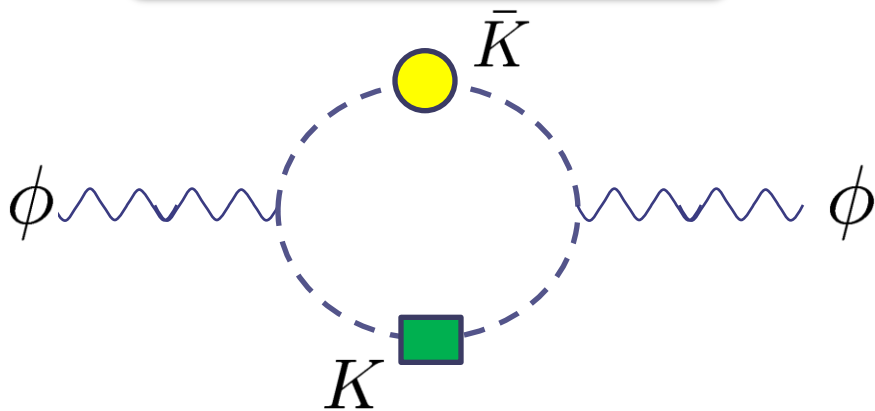
- ϕ 中間子が核内に束縛した ϕ 中間子原子核の構造と生成
 - 核媒質中における ϕ 中間子の理論的なself-energy
 (\bar{K} - 原子核相互作用 ... Chiral Unitary Model : Shallow@ $E=m_K$, $P_K \sim 0$)
 - (γ, p) 反応 ... $p_\gamma = 2.7$ GeV/c @SPring-8
 - (π^-, n) 反応 ... $p_\pi = 2.0$ GeV/c @J-PARC

2-3. ϕ -Meson self-energy in Nuclear Matter

- Chiral Unitary Model に基づいて計算された $\Delta\Pi_\phi(E, \rho)$ を用いる。

主に考慮しているdiagram

D. Cabrera, M. J. Vicente Vacas, PRC67(03)045203

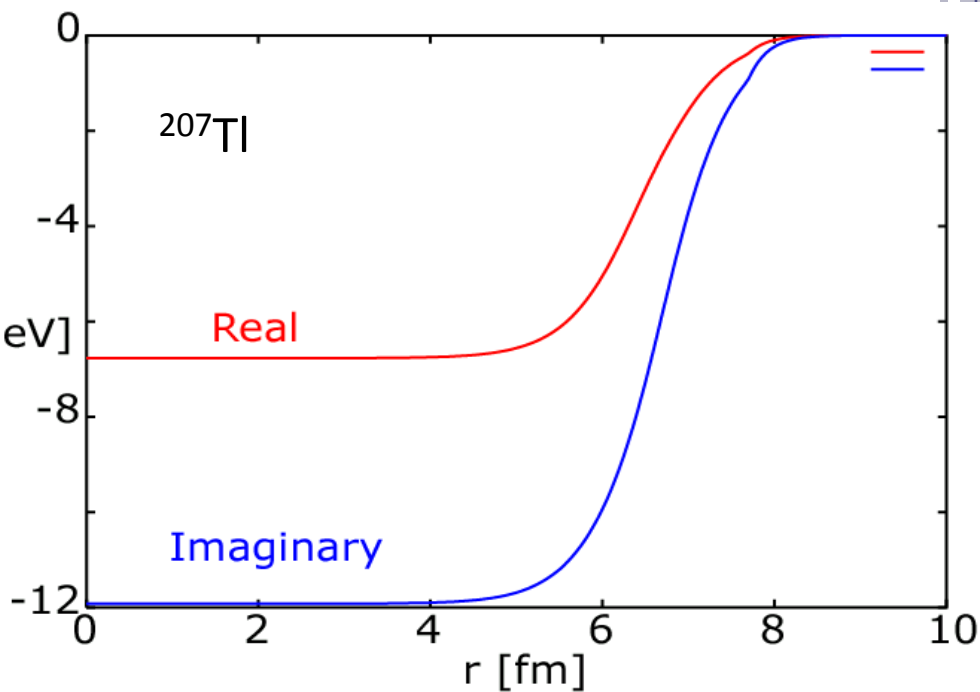


$$\Delta\Pi_\phi = \Pi_\phi^{med} - \Pi_\phi^{free}$$

- 光学ポテンシャル

$$\Delta\Pi_\phi(E, \rho) = 2\mu V_{opt}(E, r)$$

実部はとても浅い！！



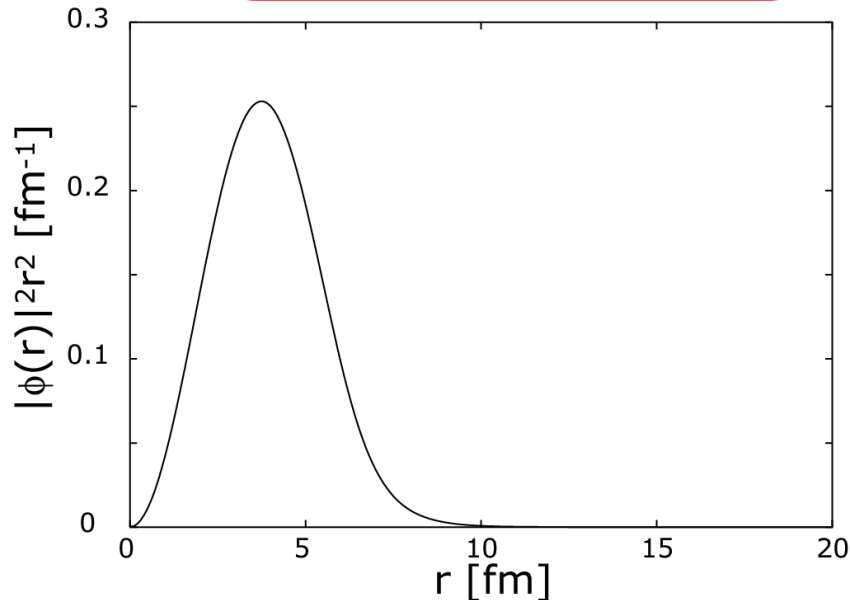
2-4. Structure of ϕ Mesic Nuclei

- Klein-Gordon equation

$$[-\nabla^2 + \mu^2 + \Delta\Pi(r, E)]\phi(\vec{r}) = E\phi(\vec{r})$$

- $^{207}\text{Tl} - \phi$

1s B.E. = 3.73 MeV
 $\Gamma = 26.71$ MeV
 (free ϕ の $\Gamma = 4.26$ MeV を含む)



束縛状態ができる
かどうかのぎりぎりの
原子核は**A=57 !!**

生成スペクトラムを考える

- * Subcomponentが多いため、構造を見るのが難しい。
- 標的核を軽くすると、束縛状態はない。

ジレンマ

今回 — — ^{12}C target

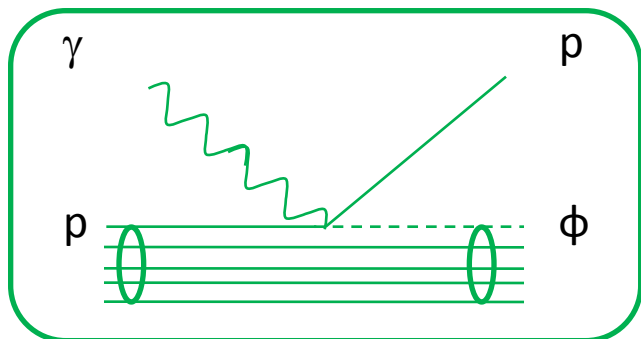
スペクトラム全体の振る舞いから、
核内の ϕ 中間子 (\bar{K} 中間子の寄与)
を見ることができないか？

(cf. η -mesic nuclei;
H. Nagahiro, D. Jido, S. Hirenzaki, PRC)

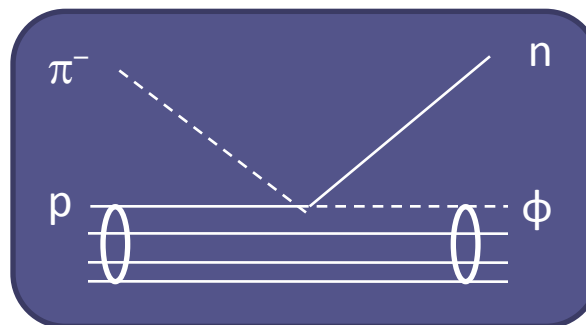
→ どの核が最適な核か議論が必要。

2-5. Formulation -- $^{12}\text{C}(\gamma, p)$ and (π^-, n) reaction

Formation reactions



$$p_\gamma = 2.7 \text{ GeV}/c$$

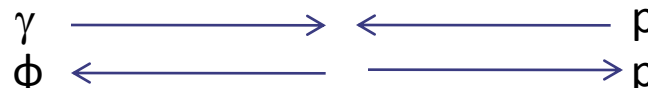


$$p_\pi = 2.0 \text{ GeV}/c$$

Green Function Method O. Morimatsu, K. Yazaki NPA435(85)727, NPA483(88)493

$$\left(\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE}\right) = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{\text{ele}} \sum_{\alpha} -\frac{1}{\pi} \text{Im} \int d\vec{r} d\vec{r}' f_{\alpha}^*(\vec{r}') G(E; \vec{r}, \vec{r}') f_{\alpha}(\vec{r})$$

$^{12}\text{C}(\gamma, p)$ の場合: $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^{\text{ele}}$: $\gamma p \rightarrow \phi p$ の素過程断面積、CM系で ϕ がBackward



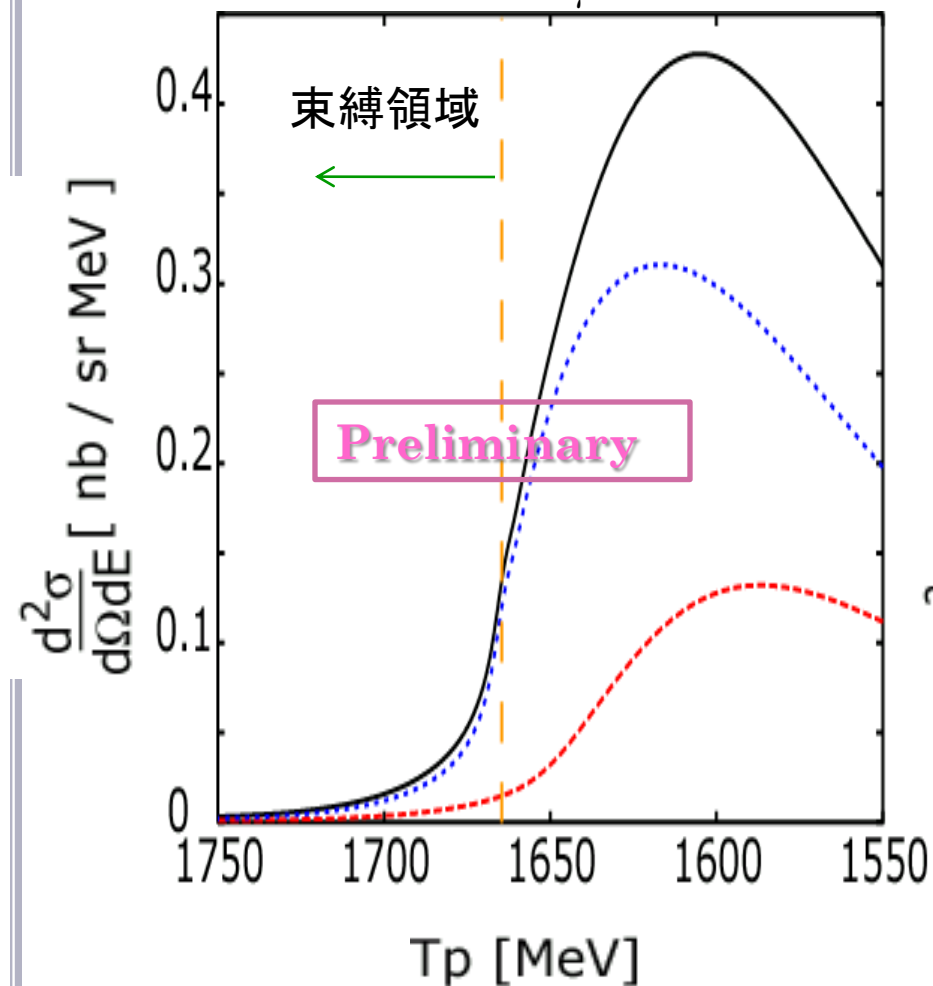
RCNP研究会2007年1月 の三部さんの発表ファイルより

素過程断面積の値を評価した。

2-6. Results -- Formation Spectrum

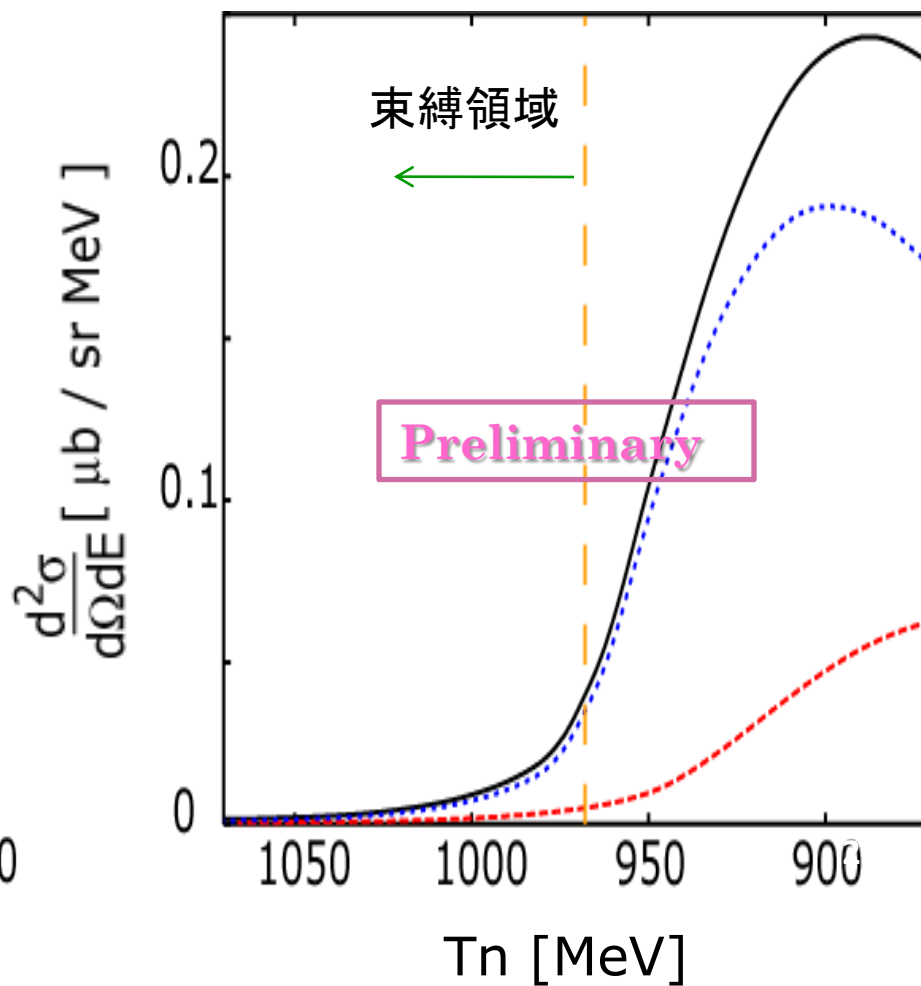
$^{12}\text{C}(\gamma, p)$ reaction

$p_\gamma = 2.7 \text{ GeV}/c$



$^{12}\text{C}(\pi^-, n)$ reaction

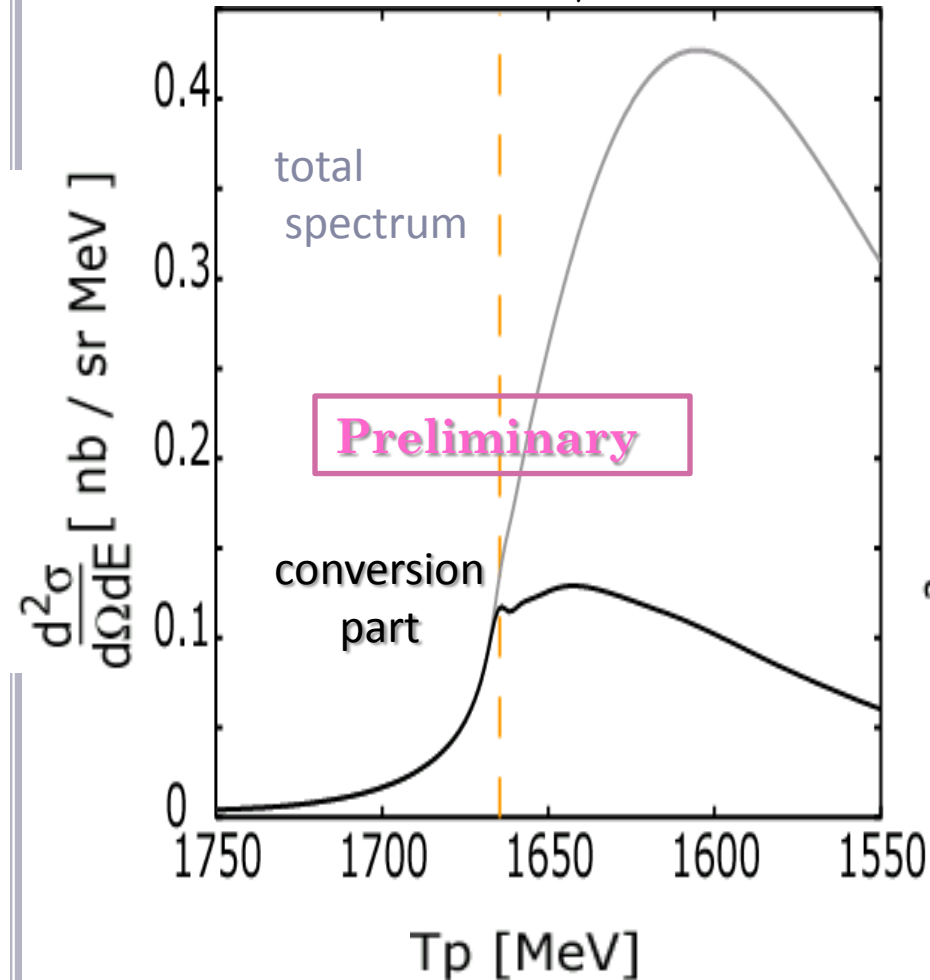
$p_\pi = 2.0 \text{ GeV}/c$



2-6. Results -- Formation Spectrum **Conversion Part**

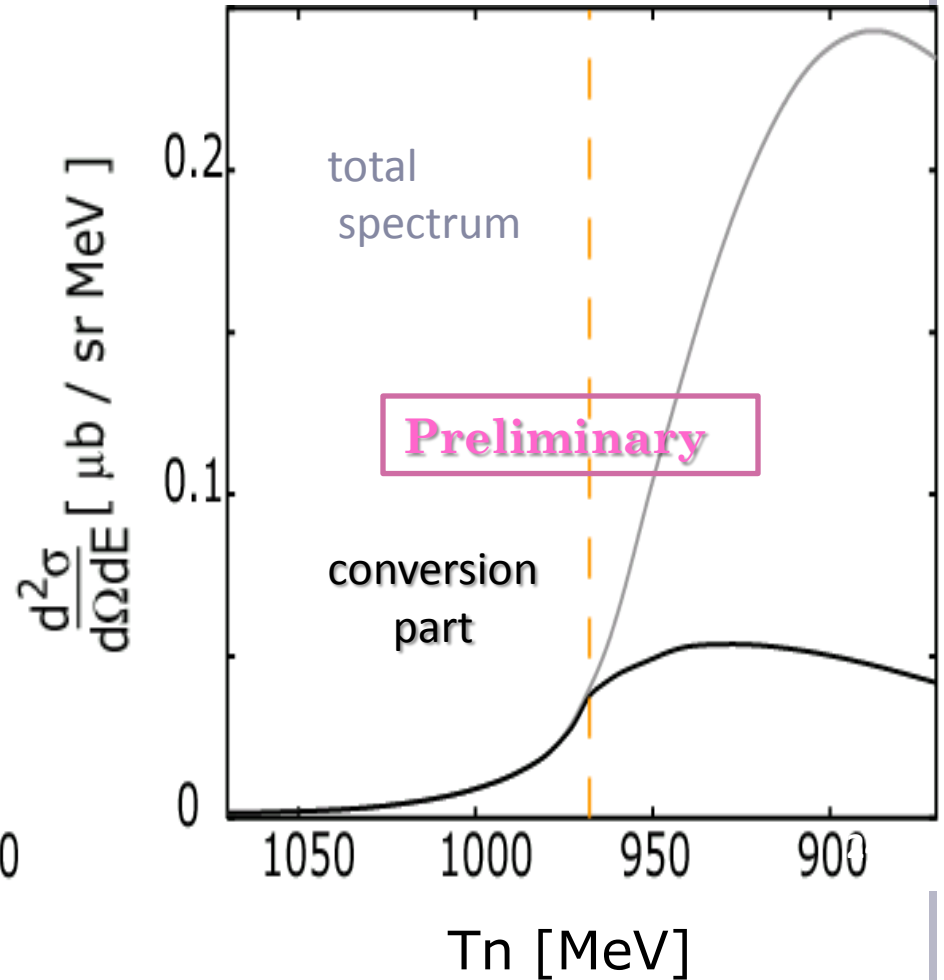
$^{12}\text{C}(\gamma, p)$ reaction

$p_\gamma = 2.7 \text{ GeV}/c$



$^{12}\text{C}(\pi^-, n)$ reaction

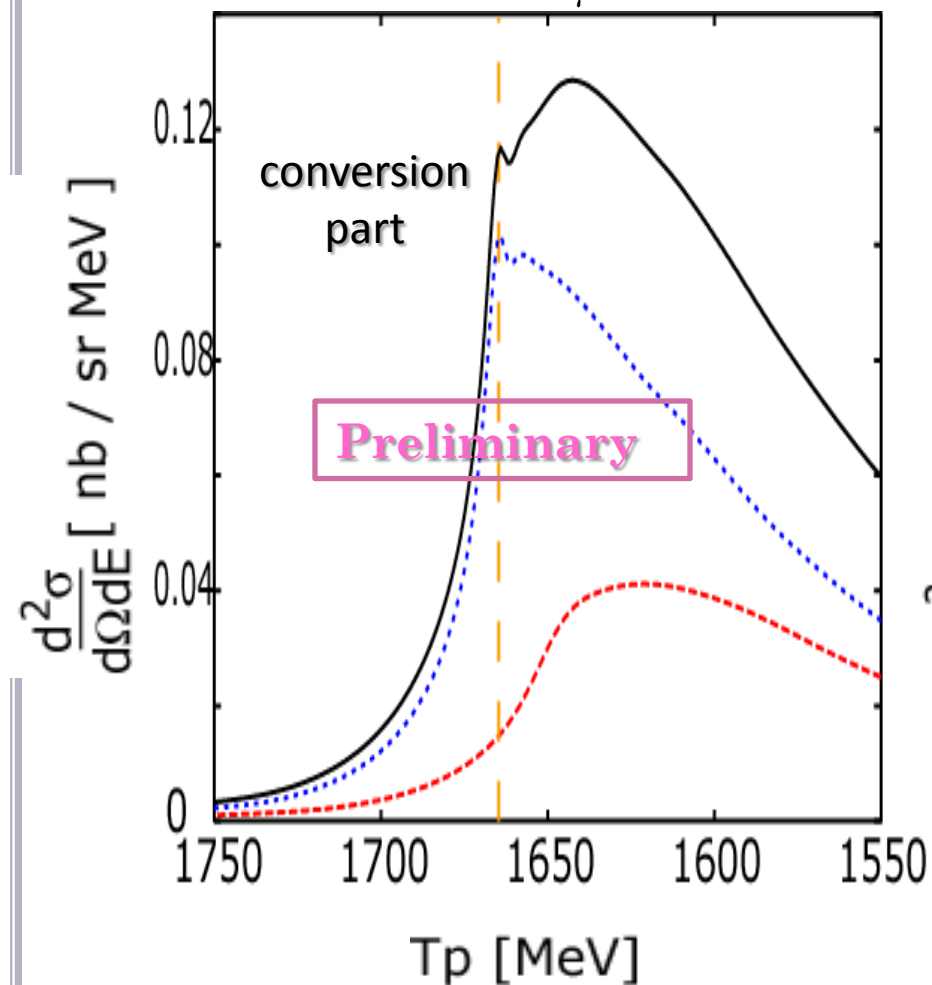
$p_\pi = 2.0 \text{ GeV}/c$



2-6. Results -- Formation Spectrum **Conversion Part**

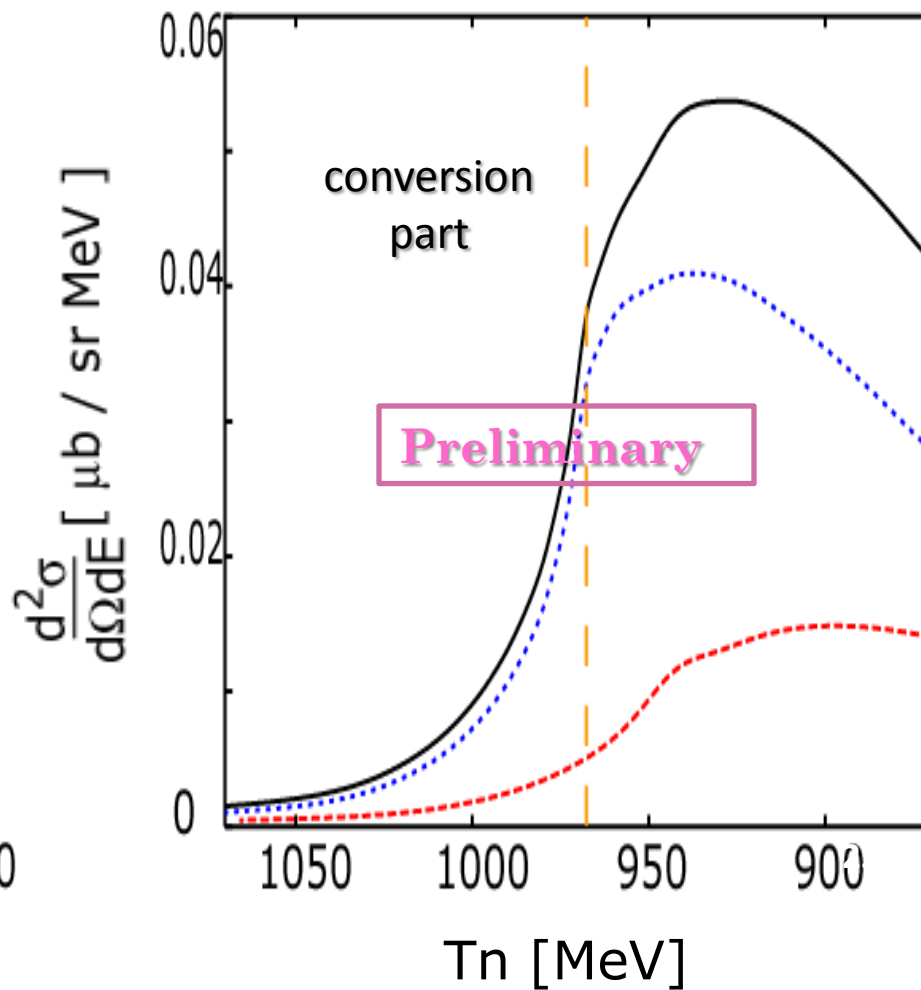
$^{12}\text{C}(\gamma, p)$ reaction

$p_\gamma = 2.7 \text{ GeV}/c$



$^{12}\text{C}(\pi^-, n)$ reaction

$p_\pi = 2.0 \text{ GeV}/c$



2-7. Summary

- 非常に浅いポテンシャル(～小さいmass shift 8 MeV 程度)を使った。
- ϕ 中間子原子核 束縛エネルギーと比較して
→重い核(208Pbなど)であれば束縛状態がある→ **幅が大きい**
- 12C target 生成スペクトラムの全体の振る舞いを計算した。
- (γ, p) @ $p_\gamma = 2.7$ GeV/c, (π^-, n) @ $p_\pi = 2.0$ GeV/c
→実験で ϕ が吸収された過程のみを見ることができたとしても、やはりスペクトラム全体の振る舞いを見る必要がありそう。

Future Work

- \bar{K} - 原子核相互作用を変えたときの生成スペクトラムへの影響
- 広いエネルギー、運動量領域での $\Pi_{\bar{K}}$ が必要。
→重イオン衝突における情報も重要。
- 最適な反応、標的核、入射エネルギーについて検討する。
- 素過程 $\gamma p \rightarrow \phi p$ の断面積 $\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)$ の入射 p_γ 依存性