

半古典歪曲波模型を用いた Ξ 生成(K^-, K^+) 反応解析と Ξ -原子核間ポテンシャル

橋本 慎太郎(原子力機構 先端基礎研究センター)

河野 道郎(九州歯科大)

緒方 一介(九大理)

河合 光路(九大理)

第12回原子核ハドロン物理セミナー

第411回基礎科学セミナー

(2010年10月7日)

CONTENTS

- Introduction
- Strangeness exchange reaction
- Semi-Classical Distorted Wave model (SCDW)
- Result I [S. Hashimoto et al., Prog. Theor. Phys. 119, 1005 (2008)]
- SU6 quark-model
- Result II [M. Kohno and S. Hashimoto, Prog. Theor. Phys. 123, 1895 (2010)]
- Summary



INTRODUCTION

◆ 強い相互作用

- ◆ クォーク
 - ◆ グルーオン交換力
- ◆ バリオン
 - ◆ メソン交換力
- ◆ 原子核
 - ◆ 核力

バリオン-バリオン間相互作用



INTRODUCTION

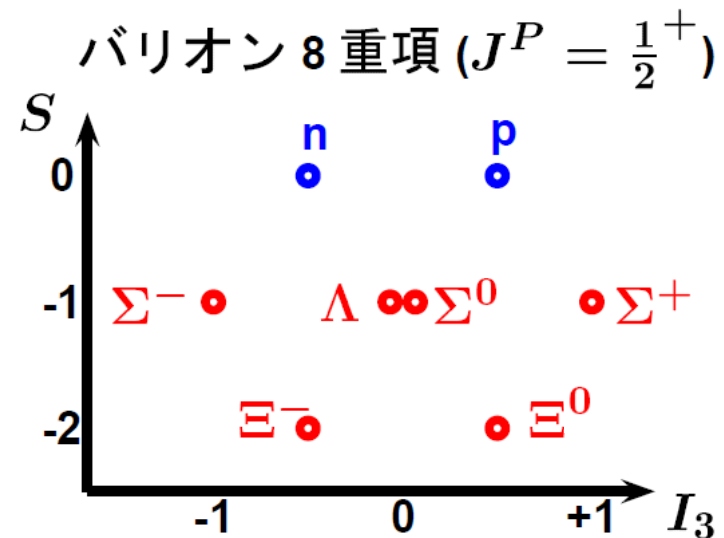
◆ バリオン-バリオン間相互作用

◆ **核子-核子間相互作用** 核子-核子散乱実験により詳細に決定

◆ **ハイペロン-核子間相互作用**

◆ **ハイペロン-ハイペロン間相互作用**

ハイペロンが短寿命であるため
散乱実験を行うことが困難



INTRODUCTION

散乱実験から相互作用の情報を引き出すのは困難



間接的手法により相互作用の情報を導出

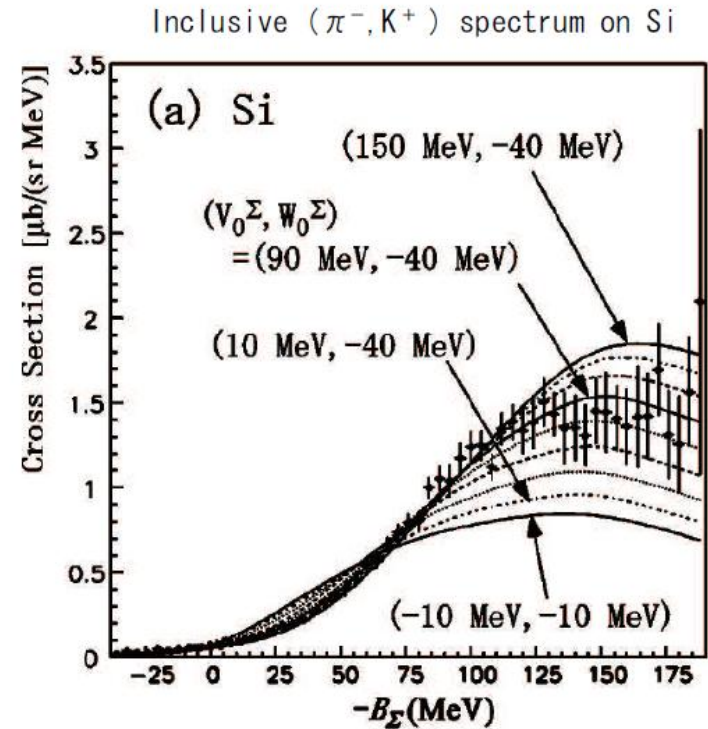
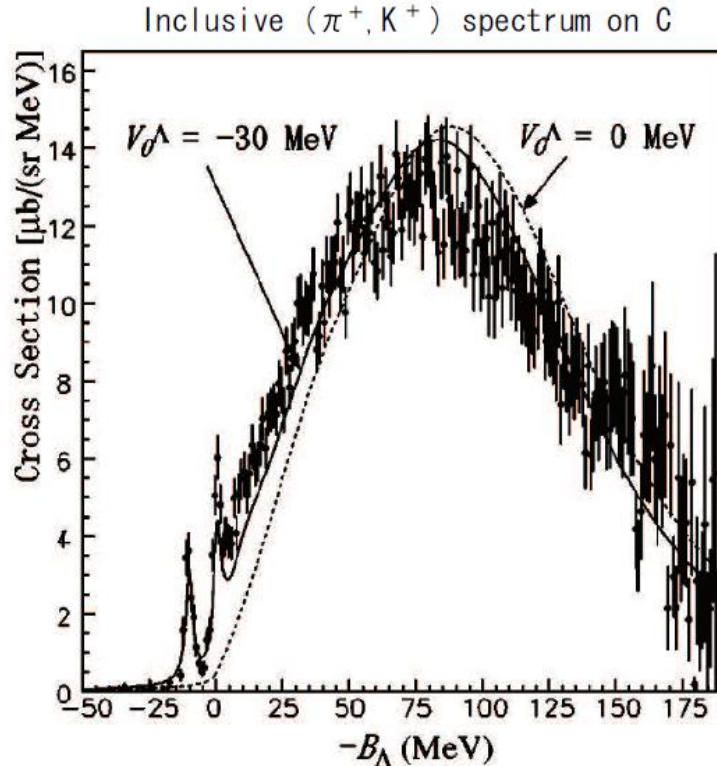
- ◆ ハイパー核ガンマ線スペクトロスコピー
 - ◆ 少数粒子系の構造計算
- ◆ ハイペロン生成連続スペクトル
 - ◆ 包括的反応計算



INTRODUCTION

◆ ハイペロン生成連続スペクトル解析

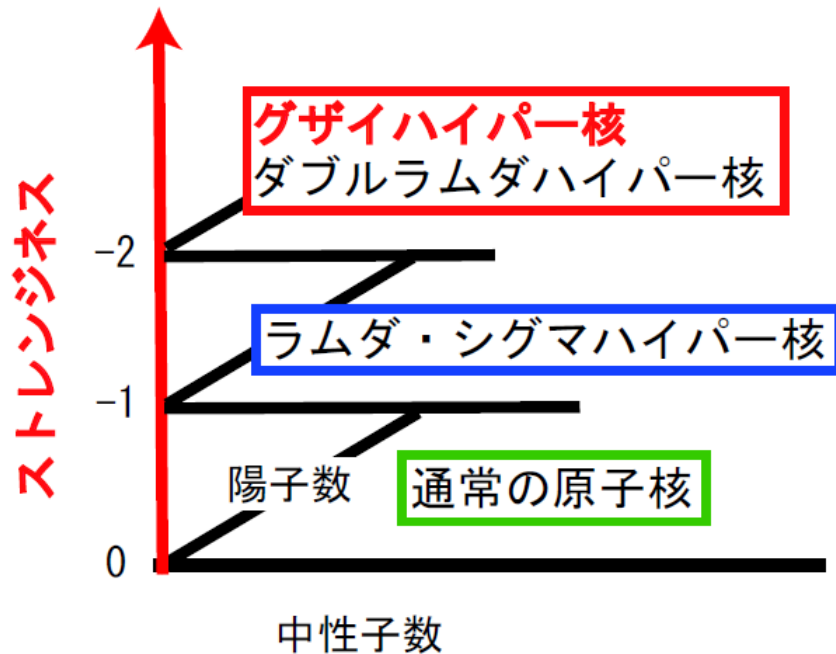
➔ ハイペロン-原子核間相互作用 (一体場ポテンシャル)



[Saha et al., PRC70, 044613 (2004).]

INTRODUCTION

- ◆ ストレンジネス物理: **ハイパー核**研究
 - ◆ ハイペロン-核子間相互作用
 - ◆ ハイペロン-ハイペロン間相互作用



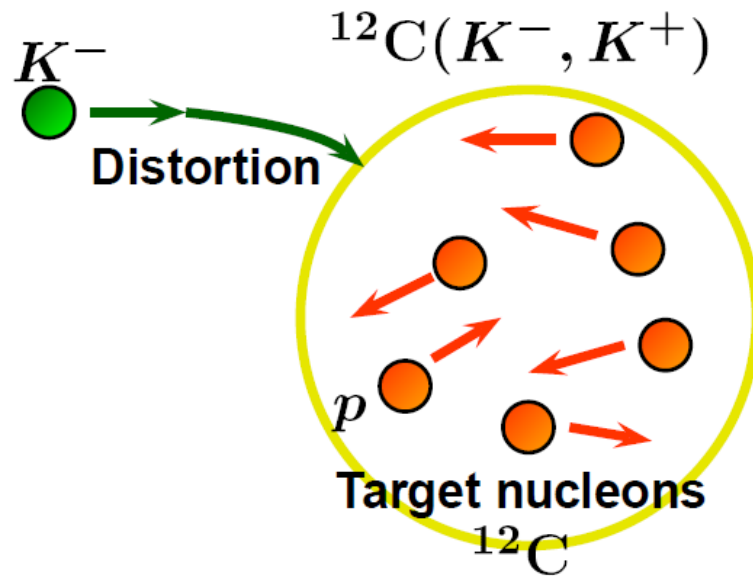
これから **J-PARC**
(大強度陽子加速器計画)

これまで主に解析
されてきた



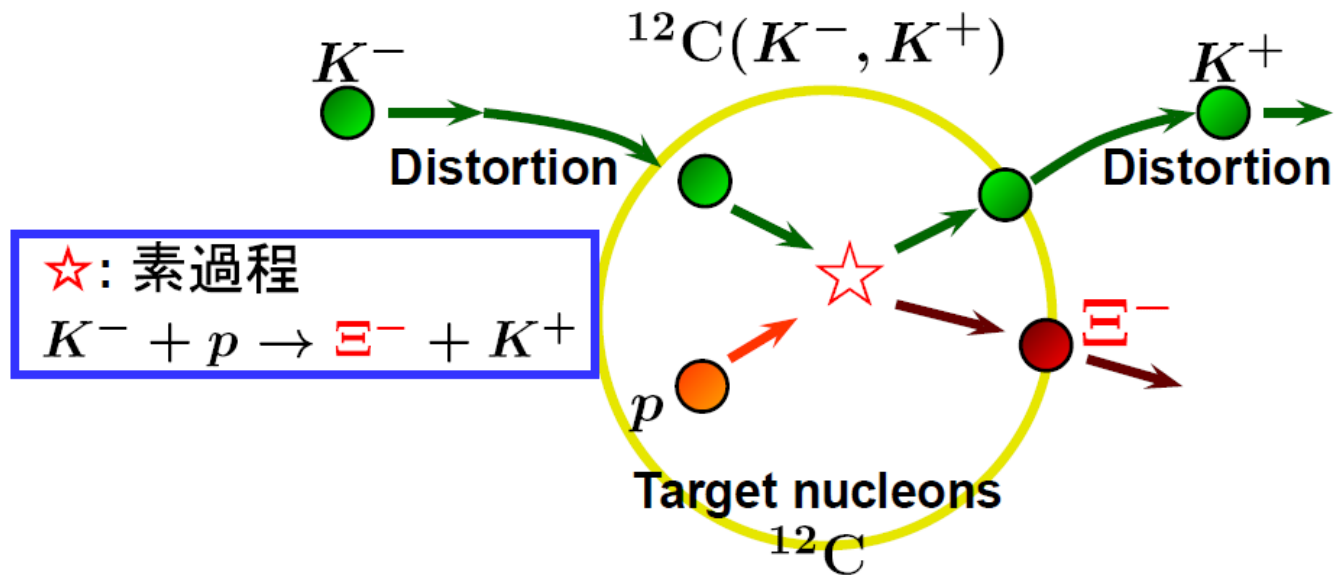
DOUBLE STRANGENESS EXCHANGE REACTION

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



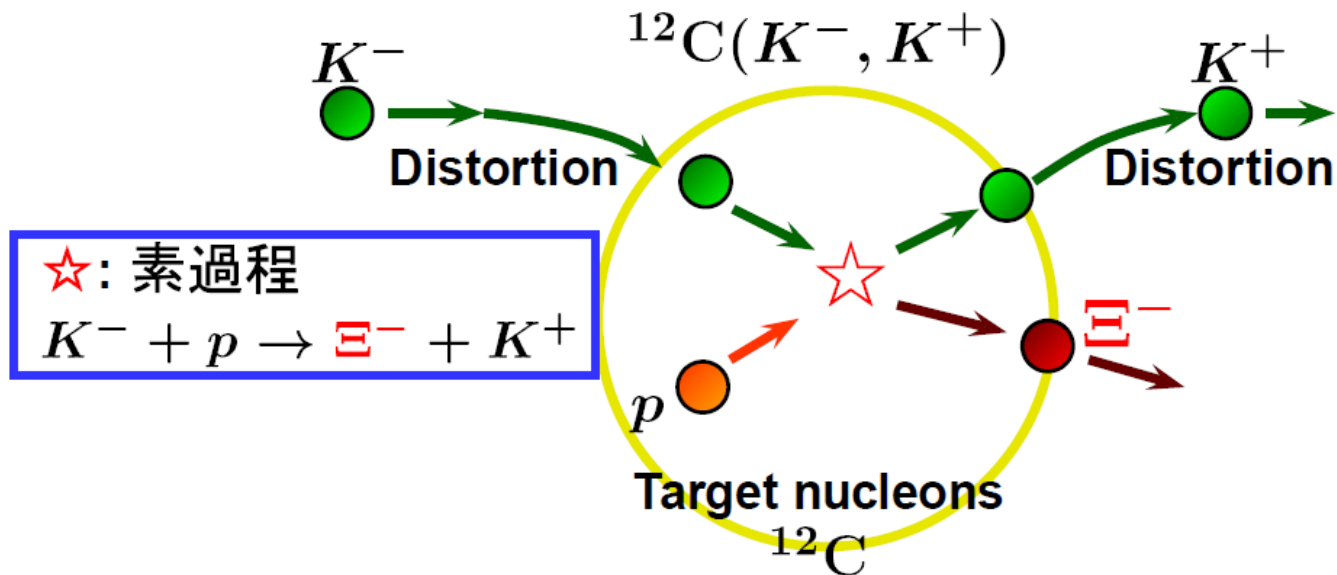
DOUBLE STRANGENESS EXCHANGE REACTION

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



DOUBLE STRANGENESS EXCHANGE REACTION

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



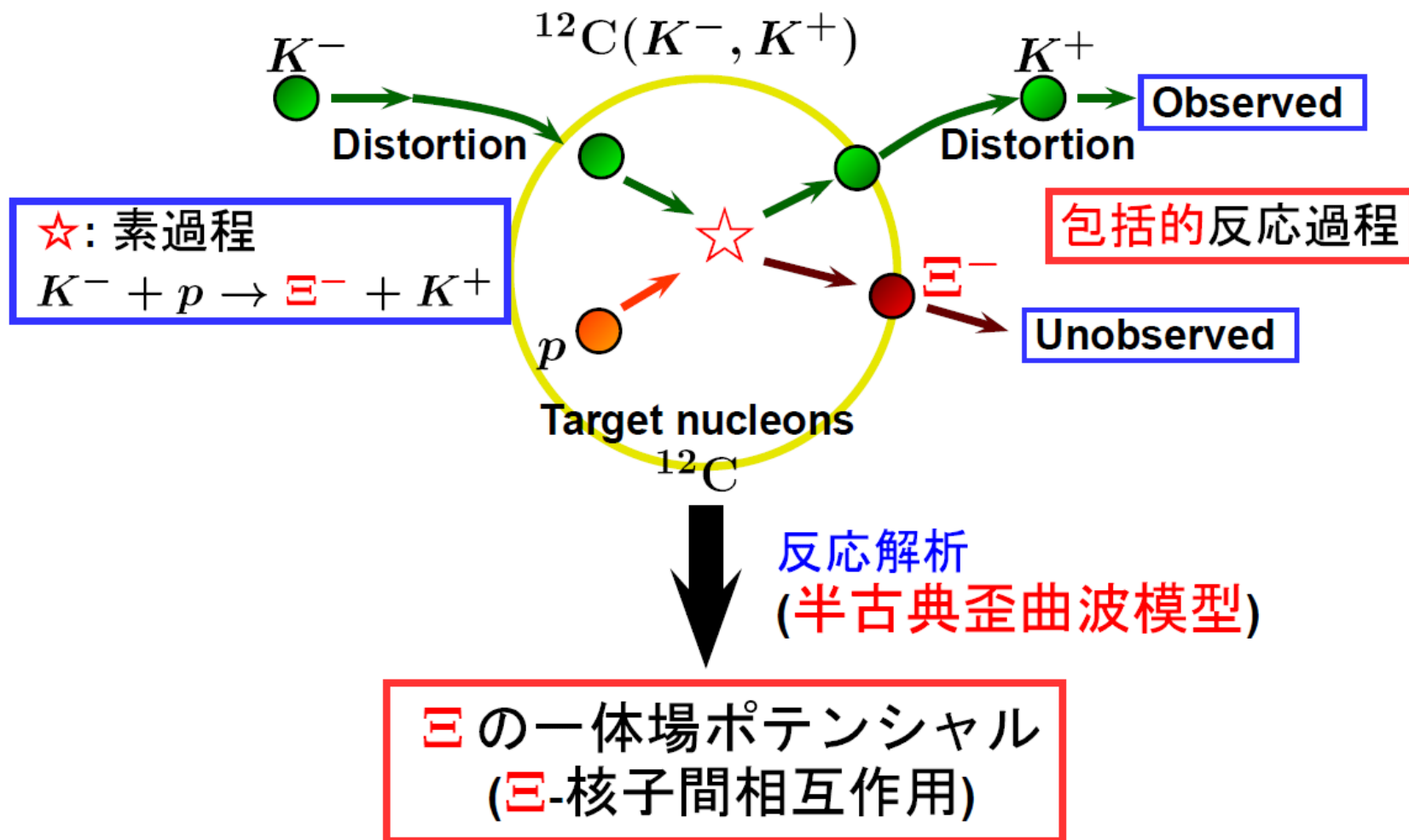
反応解析

Ξ の一体場ポテンシャル
(Ξ -核子間相互作用)



DOUBLE STRANGENESS EXCHANGE REACTION

◆ $\Xi(S = -2)$ ハイペロン生成反応



SEMICLASSICAL DISTORTED WAVE MODEL

◆ 半古典歪曲波模型

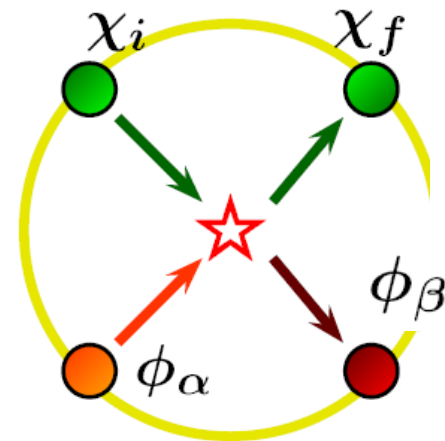
- ◆ 包括的 (p, p') や (p, n) を調節パラメーターなしで定量的に記述
- ◆ 多段階過程計算を比較的容易に定式化
- ◆ 参考文献
 - ◆ Y. L. Luo and M. Kawai, PLB 235, 211 (1990); PRC 43, 2367 (1991).
 - ◆ M. Kawai and H. A. Weidenmüller, PRC 45, 1856 (1992).
 - ◆ Y. Watanabe, R. Kuwata, Sun Weili, M. Higashi, H. Shinohara, M. Kohno, K. Ogata and M. Kawai, PRC 59, 2136 (1999).
 - ◆ K. Ogata, M. Kawai, Y. Watanabe, Sun Weili and M. Kohno, PRC 60, 054605 (1999).
 - ◆ Sun Weili, Y. Watanabe, M. Kohno, K. Ogata and M. Kawai, PRC 60, 064605 (1999).



CROSS SECTION FORMULA OF SCDW

包括的斷面積 (1 段階過程)

$$\frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} = C \sum_{\beta, \alpha} |\langle \chi_f \phi_\beta | v | \chi_i \phi_\alpha \rangle|^2 \times \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f)$$



CROSS SECTION FORMULA OF SCDW

包括的斷面積 (1 段階過程)

$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} &= C \sum_{\beta, \alpha} \int dr \chi_f^*(\mathbf{r}) \phi_\beta^*(\mathbf{r}) v_{f\beta, i\alpha} \chi_i(\mathbf{r}) \phi_\alpha(\mathbf{r}) \\ &\quad \times \int dr' \chi_f(\mathbf{r}') \phi_\beta(\mathbf{r}') v_{f\beta, i\alpha}^* \chi_i^*(\mathbf{r}') \phi_\alpha^*(\mathbf{r}') \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f) \end{aligned}$$



CROSS SECTION FORMULA OF SCDW

包括的断面積 (1 段階過程)

$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} &= C \sum_{\beta, \alpha} \int dr \chi_f^*(\mathbf{r}) \phi_\beta^*(\mathbf{r}) v_{f\beta, i\alpha} \chi_i(\mathbf{r}) \phi_\alpha(\mathbf{r}) \\ &\quad \times \int dr' \chi_f(\mathbf{r}') \phi_\beta(\mathbf{r}') v_{f\beta, i\alpha}^* \chi_i^*(\mathbf{r}') \phi_\alpha^*(\mathbf{r}') \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f) \end{aligned}$$

局所半古典近似: $\chi_c(\mathbf{r} + \mathbf{s}) \cong \chi_c(\mathbf{r}) e^{ik_c(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{s}}$

$$\begin{aligned} K(\mathbf{r}, \mathbf{r}') &= \sum_{\beta, \alpha} \phi_\beta^*(\mathbf{r}) \phi_\beta(\mathbf{r}') \phi_\alpha(\mathbf{r}) \phi_\alpha^*(\mathbf{r}') \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f) : s \text{ に関して短距離} \end{aligned}$$



CROSS SECTION FORMULA OF SCDW

包括的断面積 (1 段階過程)

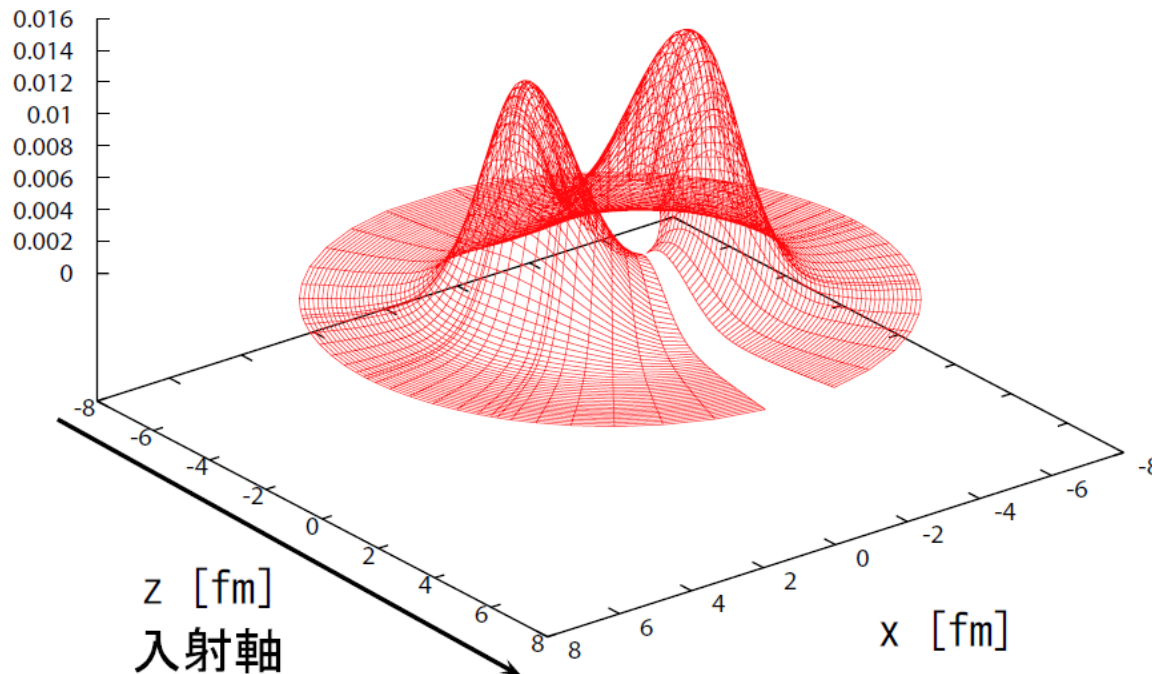
$$\begin{aligned} \frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} &= C \int dr \sum_{\beta, \alpha} \int dk_\alpha |\chi_f(r)|^2 |\chi_i(r)|^2 |\phi_\beta(r)|^2 \\ &\quad \times \Phi_\alpha(r, k_\alpha) |v_{f\beta, i\alpha}|^2 \\ &\quad \times \delta(k_f(r) - k_i(r) + k_\beta(r) - k_\alpha) \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_\beta - \varepsilon_\alpha - E_i + E_f) \end{aligned}$$

- ◆ 積分変数 r を衝突点として定義できるため、反応を直感的に理解しやすい。
- ◆ エネルギー・運動量保存則から原子核内における素過程の運動学を適切に取り扱うことができる。

DISTRIBUTION OF LOCAL CROSS SECTION

$$\frac{d^2\sigma^{(1)}}{dE_f d\Omega_f} = \int \sigma(r) dr$$

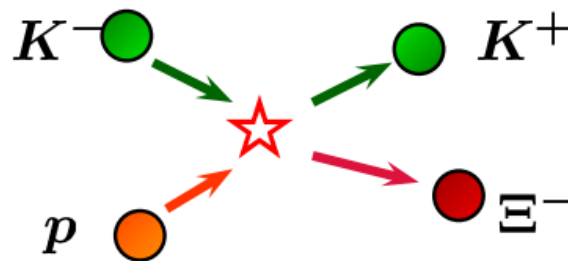
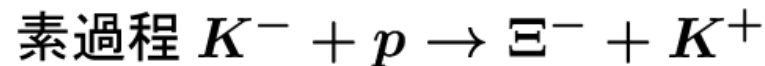
局所断面積



ELEMENTARY PROCESS IN NUCLEI

包括的断面積は素過程の重ね合せで記述される。

ただし、**核内**における素過程 ← **核子のフェルミ運動**



自由空間とは運動学が変化

例えば、 K^- の入射運動量が $1500 \text{ MeV}/c$ の場合。



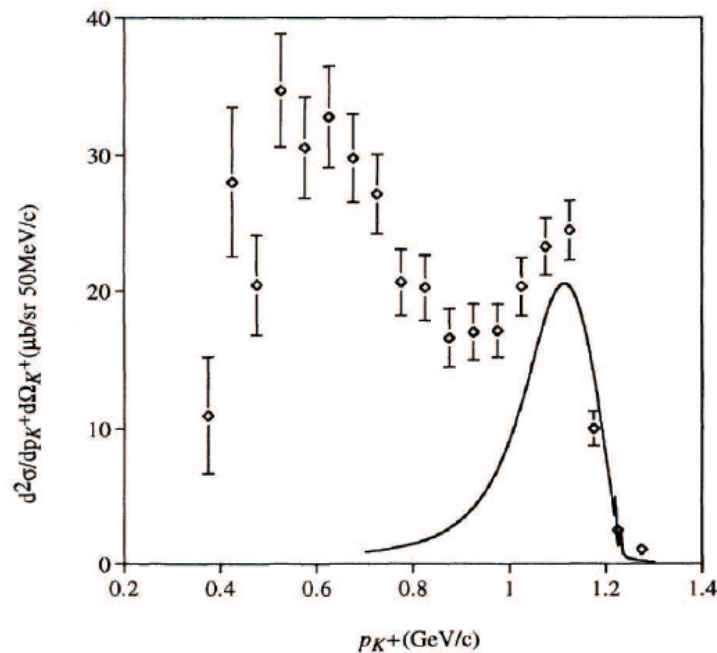
200 MeV : 約 30% もの差が生じる。

☒ PRODUCTION REACTION ANALYSIS

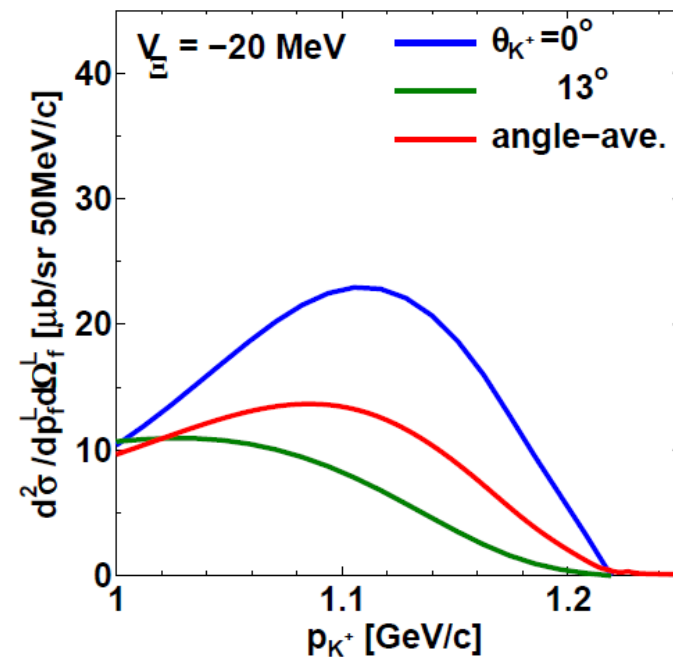
◆ ^{12}C 標的 (K^- , K^+) 反応 (入射運動量 1.65 GeV/c)

実験値: T. Iijima et al., NPA 546, 588 (1992).

■ K^+ momentum spectrum



Green 関数法 [Tadokoro et al., PRC51, 2656 (1995).]



SCDW [S.H. et al., PTP119, 1005 (2008)]

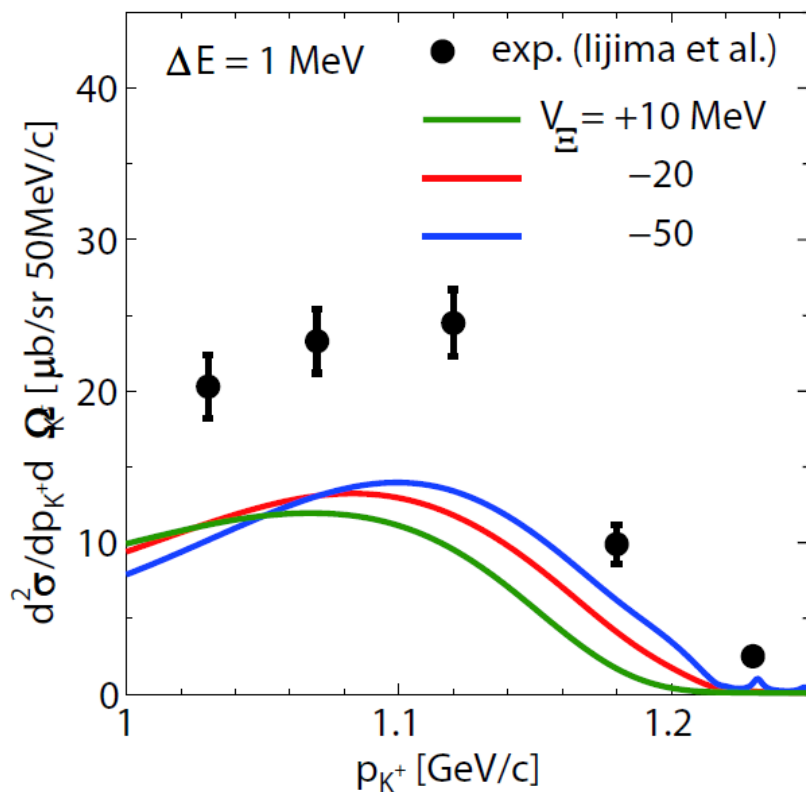


☒ PRODUCTION REACTION ANALYSIS

◆ ^{12}C 標的 (K^- , K^+) 反応 (入射運動量 1.65 GeV/c)

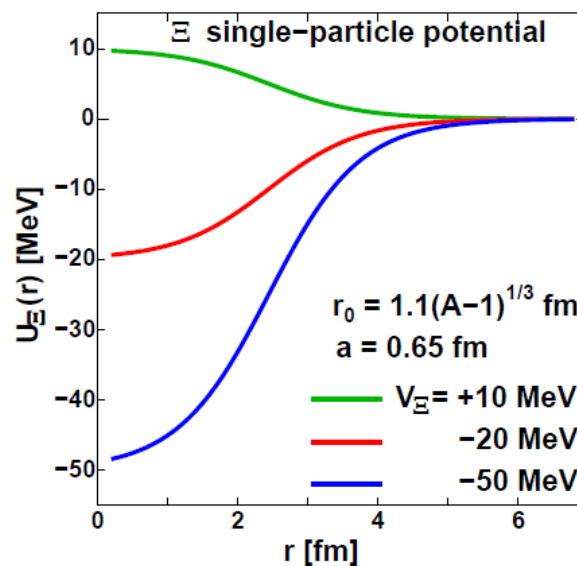
実験値: T. Iijima et al., NPA 546, 588 (1992).

■ K^+ momentum spectrum



SCDW[S.H. et al., PTP119, 1005 (2008)]

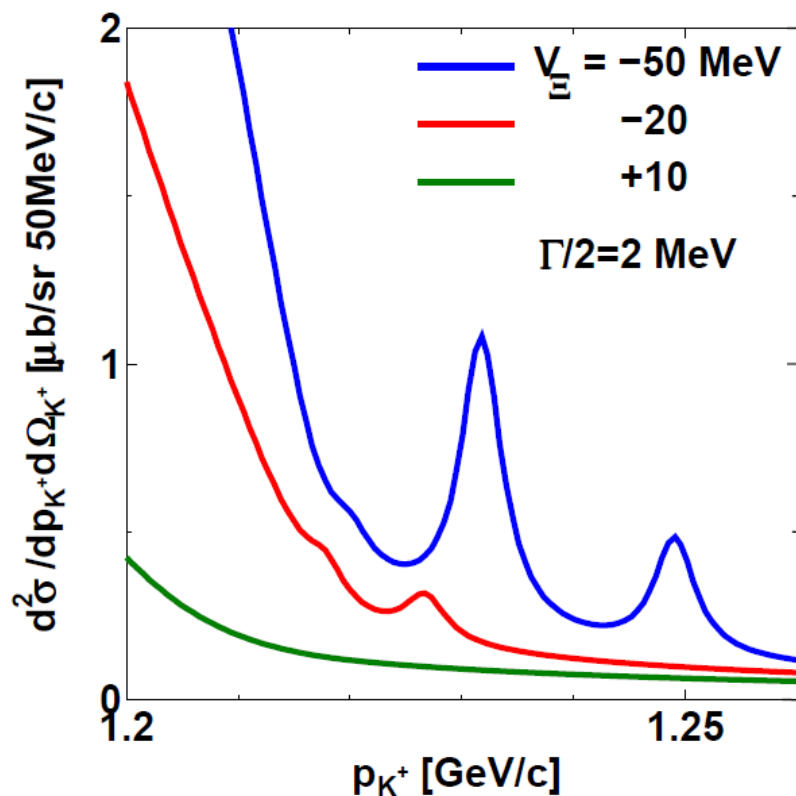
■ Ξ の一休場ポテンシャル (Woods-Saxon 型を仮定)



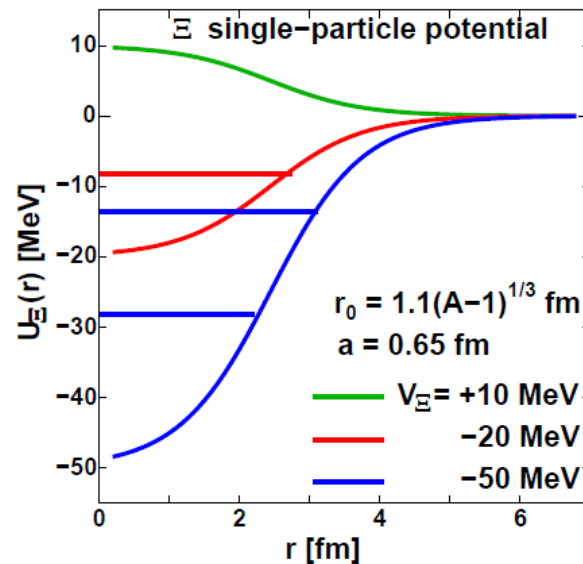
☒ PRODUCTION REACTION ANALYSIS

◆ 閾値近傍

■ K^+ momentum spectrum

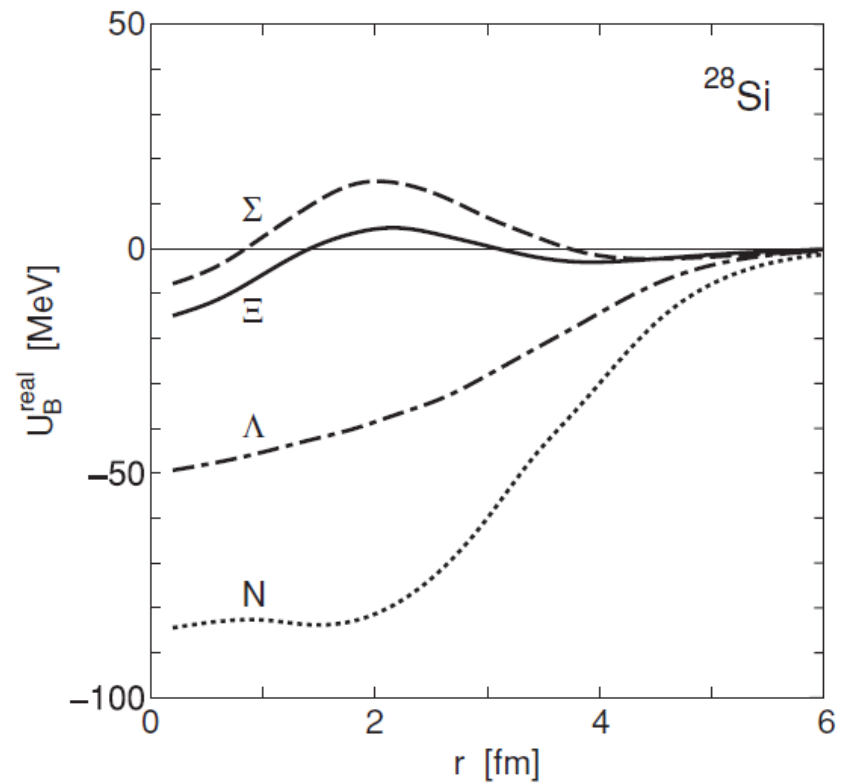
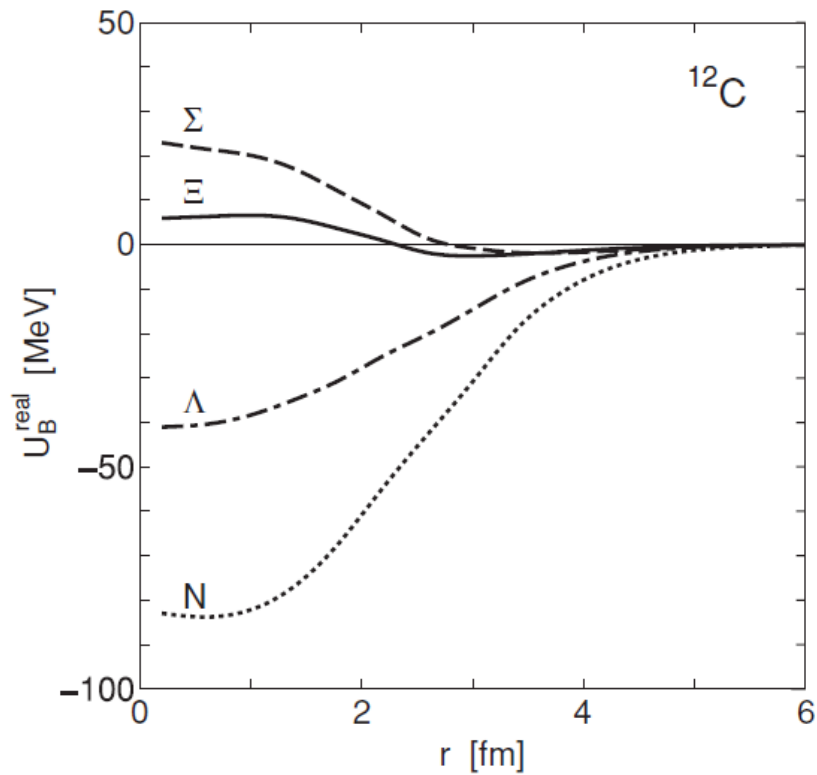


■ Ξ の一体場ポテンシャル (Woods-Saxon 型を仮定)



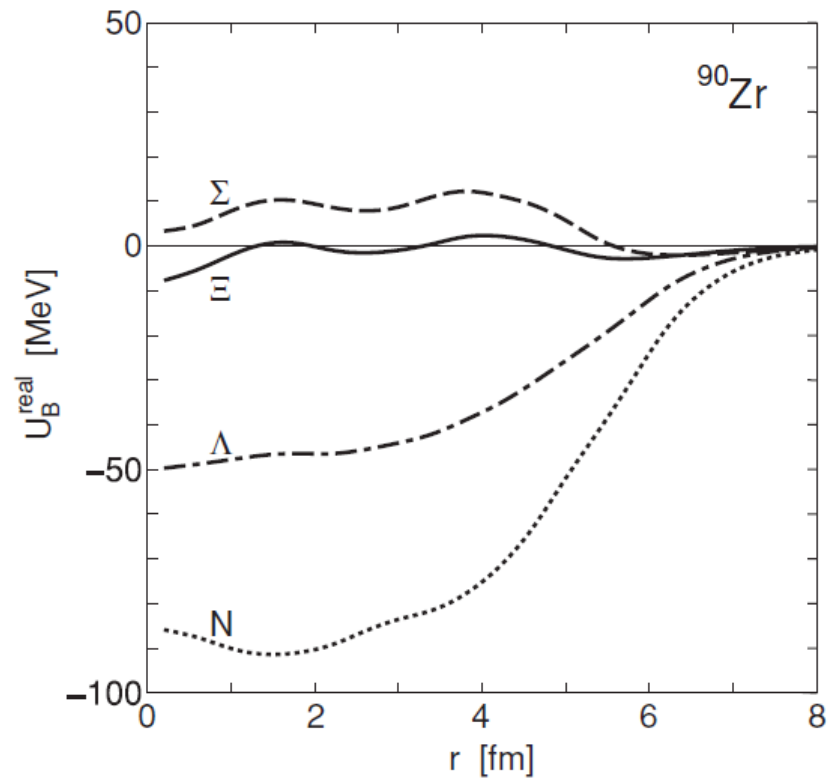
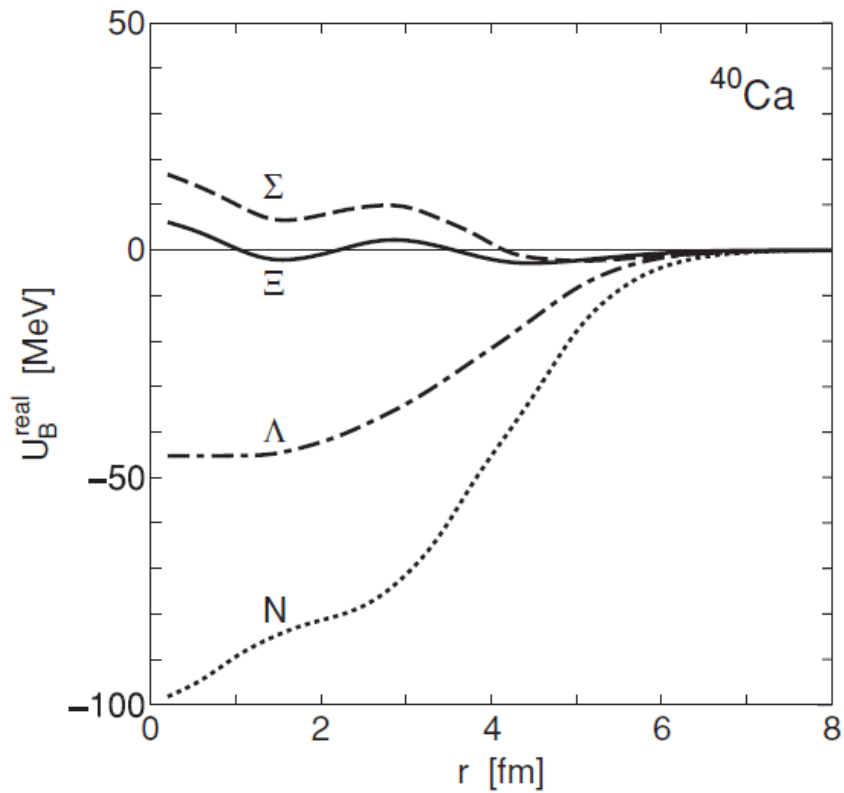
SU6 QUARK MODEL

- 一体場ポテンシャル [M. Kohno and Y. Fujiwara, PRC79,054318 (2009)]



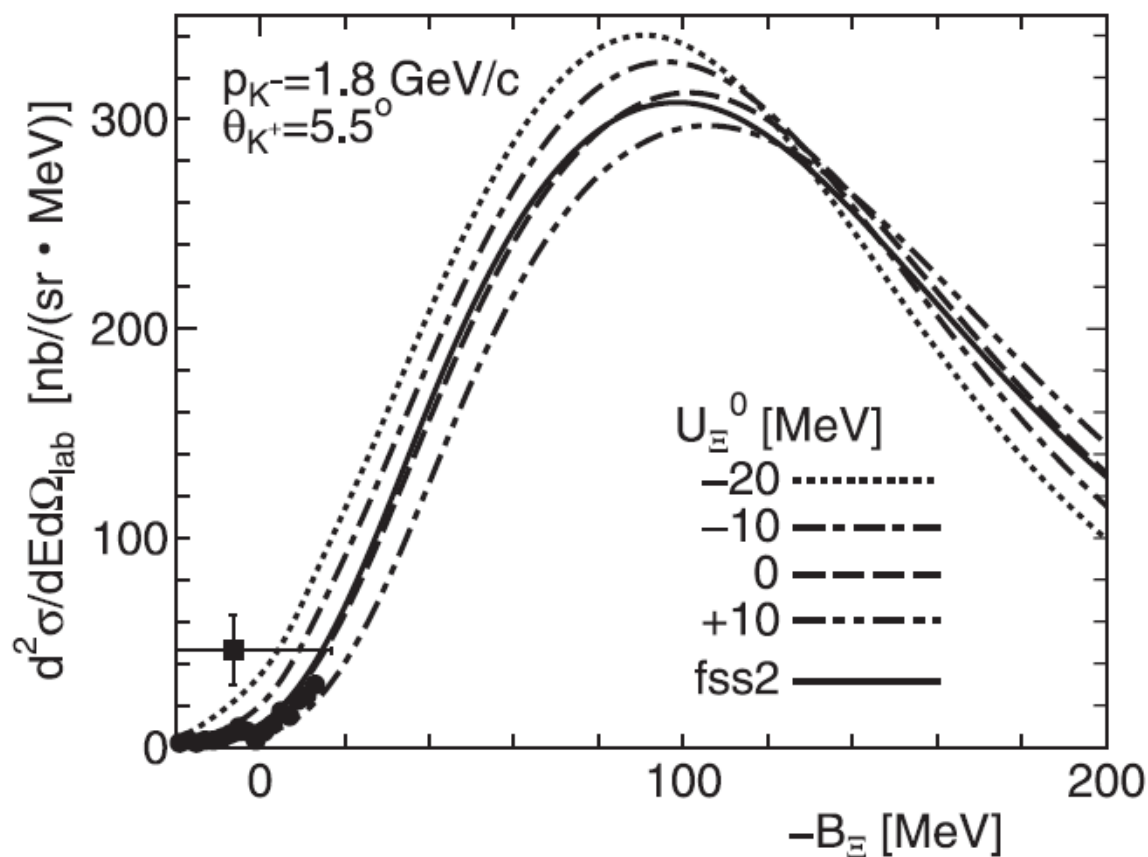
SU6 QUARK MODEL

- 一体場ポテンシャル [M. Kohno and Y. Fujiwara, PRC79,054318 (2009)]



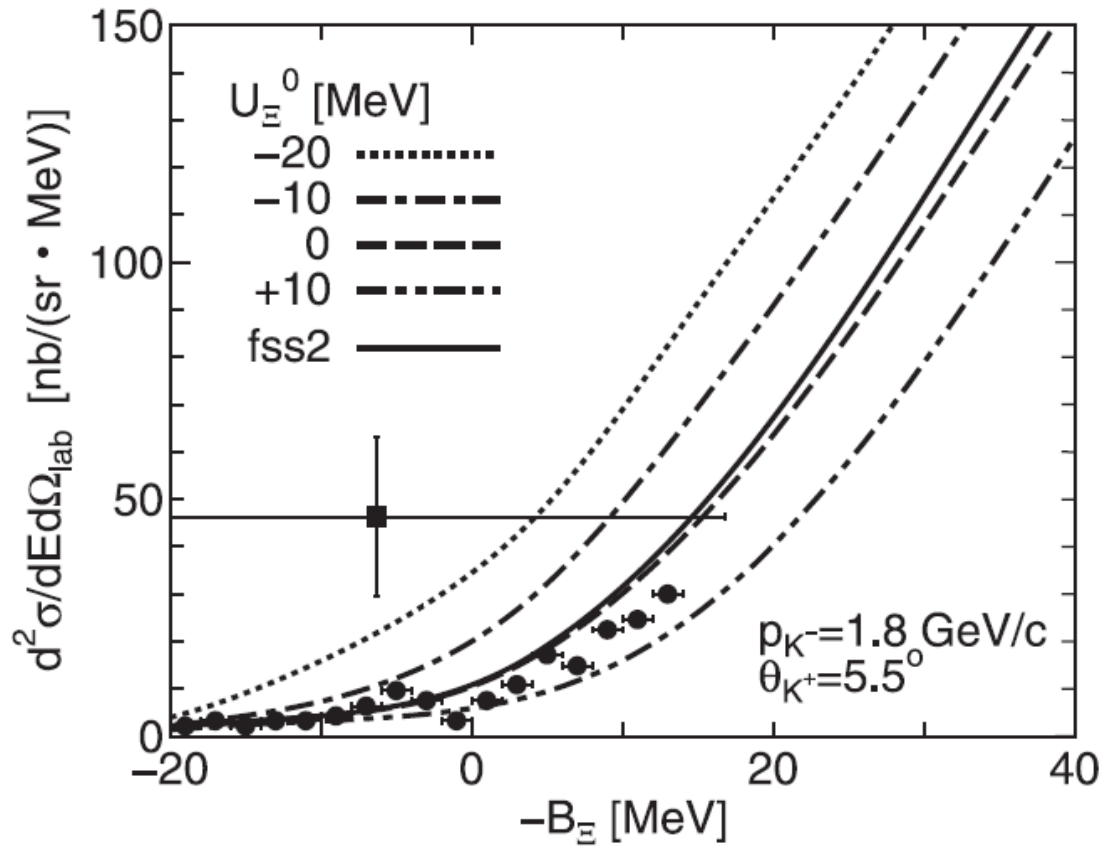
Ξ PRODUCTION REACTION ANALYSIS

- ^{12}C 標的(K^-,K^+)反応 (入射運動量 $p_{\text{K}^-}=1.8 \text{ GeV}/c$)
[M. Kohno and S. H., Prog. Theor. Phys. 123, 157 (2010)]



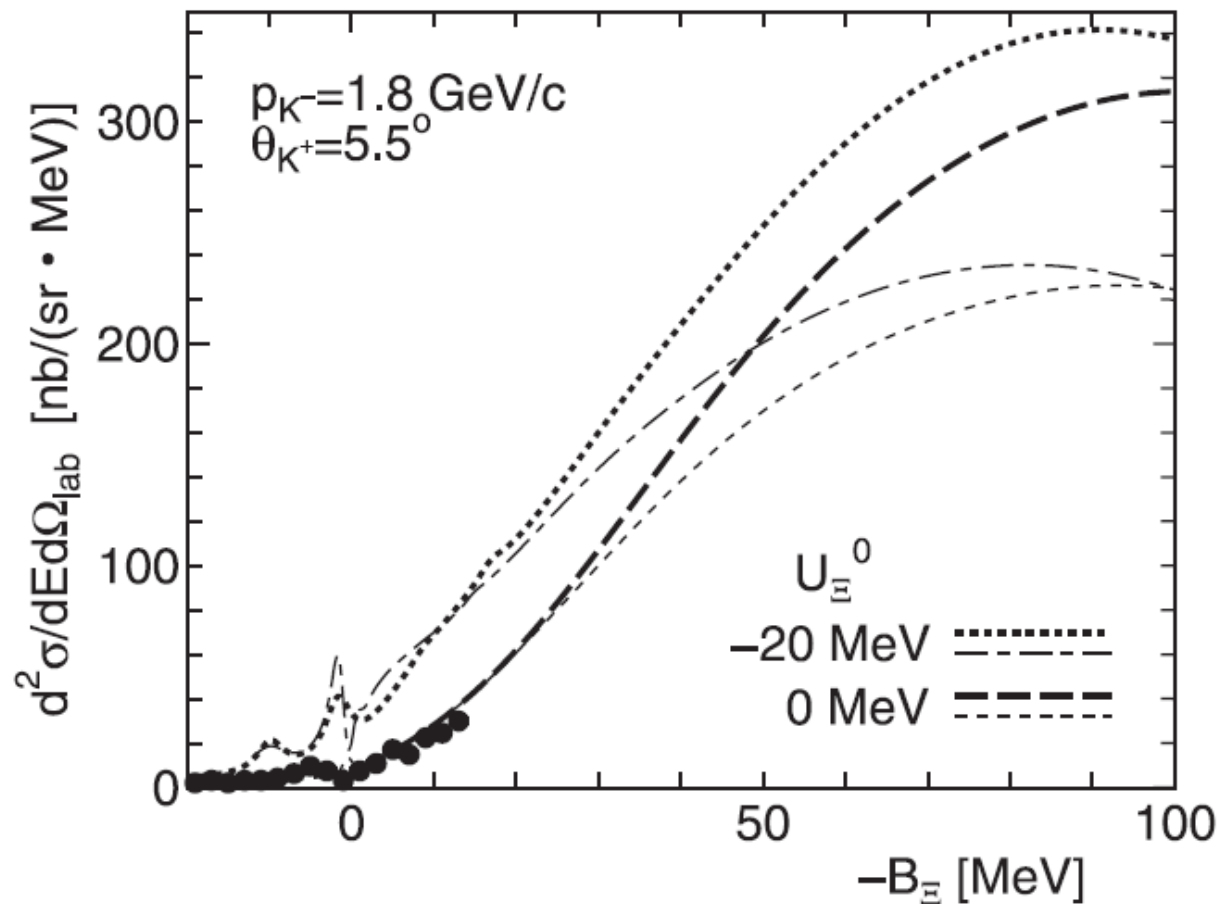
☒ PRODUCTION REACTION ANALYSIS

- ^{12}C 標的(K^-,K^+)反応 (入射運動量 $P_{\text{K}^-}=1.8 \text{ GeV}/c$)
[M. Kohno and S. H., Prog. Theor. Phys. 123, 157 (2010)]



☐ PRODUCTION REACTION ANALYSIS

- ^{12}C 標的(K⁻,K⁺)反応 (入射運動量 $P_{K^-}=1.8 \text{ GeV}/c$)
[M. Kohno and S. H., Prog. Theor. Phys. 123, 157 (2010)]



SUMMARY

- Ξ ハイペロン生成(K^- , K^+)反応を半古典歪曲波模型(SCDW)を用いて解析した。
- 素過程の運動学を適切に扱うことでスペクトルの強い放出角度依存性が示された。
- SU6 クォーク模型に基づいた Ξ の一体場ポテンシャルを求めた。
- このポテンシャルを用いて(K^- , K^+)スペクトルを求めたところ、深さが $V_{\Xi}=0$ MeV のWoods-Saxon型と同じ結果となった。

