

2 粒子運動量相関から Λ - Λ 相互作用は決められるか？

大西 明^A, 奈良 寧^B, 新村 昌治^C, 赤石 義紀^D
北大理^A, 原研^B, 岐阜大工^C, KEK 田無^D

1. Introduction

- ★ $S \leq -2$ 系と YY 相互作用の探索の歴史
- ★ 2 粒子相関の利用方法

2. 核間カスケード 模型 (INC) による分析

- ★ $(K^-, K^+), (K^-, K^+\Lambda\Lambda)$ スペクトル
- ★ 粒子源関数

3. Λ - Λ 相互作用による相関

- ★ ”粒子源関数 + 相関” による分析

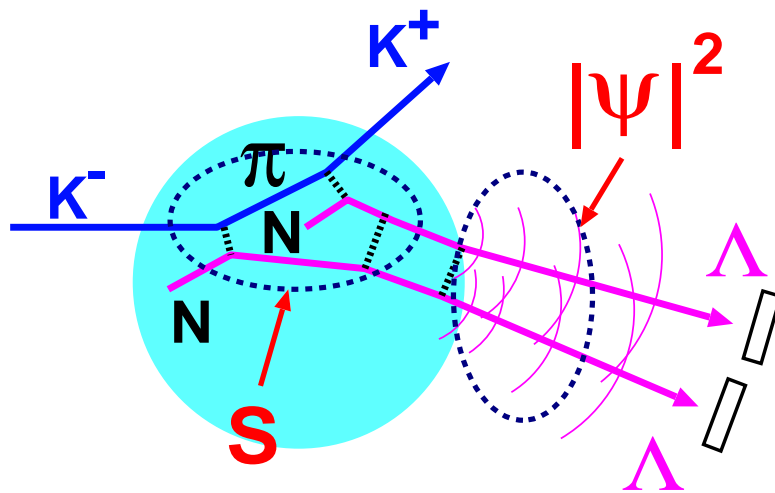
4. Λ - Λ 相互作用

- ★ Nijmegen models との比較
- ★ Λ - Λ は束縛するか？

5. 今後の展望

$S \leq -2$ 系と YY 相互作用の探索の歴史

- **ダブル Λ ハイパー核** \rightarrow Λ - Λ 間相互作用が引力で無矛盾
 - 静止 Ξ^- 反応 ... 3 events / 35 years
 - (K^-, K^+) 反応点 ... Several @ E176
 - 重イオン反応 ... No Clear Candidate
- **ツイン Λ ハイパー核** \rightarrow Λ - Λ 間相互作用との関連は不明確
 - 静止 Ξ^- 反応 ... 2 events @ KEK E176
- **K^+ Spectrum による Ξ 核分光学** $\rightarrow V(\Xi A) \simeq -16 \text{ MeV}$
- **Λ - Λ 不変質量分布における低エネルギー成分の増大**
 Ahn et al. (KEK E224 coll.), KEK Preprint 98-24, 1998



$$P(p_1, p_2) = \int dx_1 dx_2 S |\psi|^2$$

S: Source function

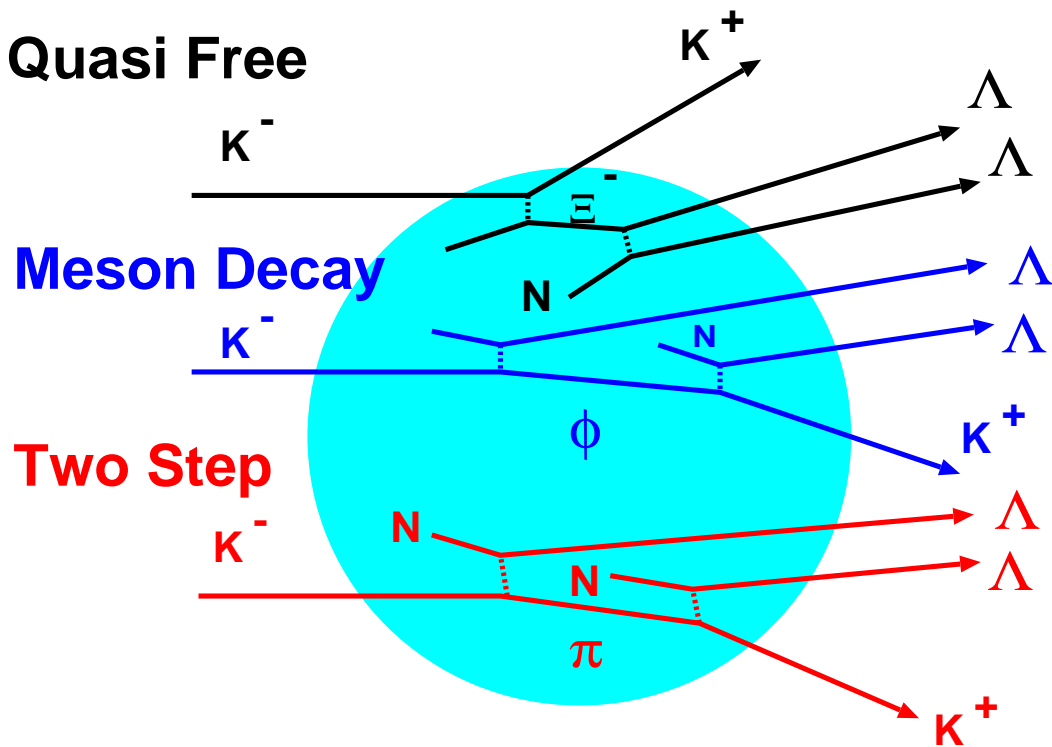
ψ : Relative w.f.

| | | | | | |
|--------|---|--------|------------|--------------|----------|
| 2 粒子相関 | = | 粒子源関数 | S | \leftarrow | 生成機構 |
| | + | 相対波動関数 | $ \psi ^2$ | \leftarrow | 対称性、相互作用 |

★ **Realistic** な粒子源関数があれば、 Λ - Λ 相互作用が引き出せる
 \rightarrow IntraNuclear Cascade 計算

Nara, Ohnishi, Harada, Engel, NPA614 (97), 433.

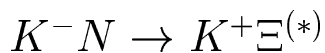
理論的模型 (I) — Source 関数 = 核間カスケード 模型



● 考慮されている K^+ 生成機構

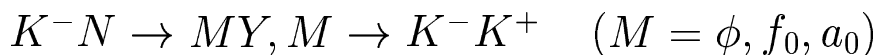
(Nara-Ohnishi-Harada-Engel)

★ 準自由衝突過程:

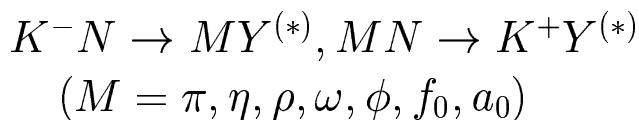


★ 重い中間子の崩壊:

(Gobbi-Dover-Gal)



★ 2 段階過程:



● バリオン間衝突過程

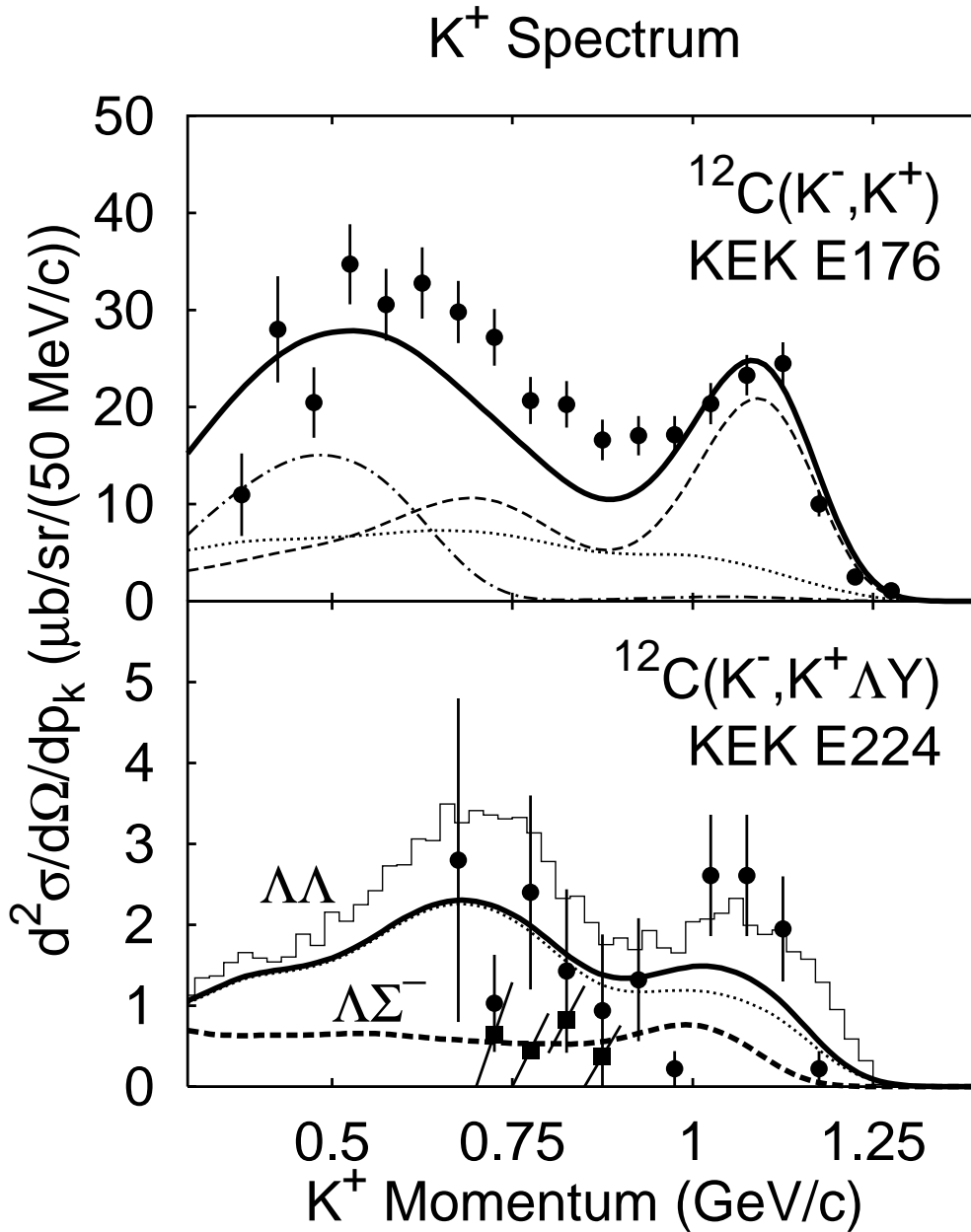
★ $NN \rightarrow NN, NY \rightarrow NY' \text{ (ND)}, \Xi N \rightarrow \Lambda\Lambda \text{ (ND)}$

● 平均場効果

★ $U_\Lambda = -30 \text{ MeV}, U_\Sigma = -10 \text{ MeV}, U_\Xi = -16 \text{ MeV}$

実験との比較 (I) — INC (終状態相互作用を無視)

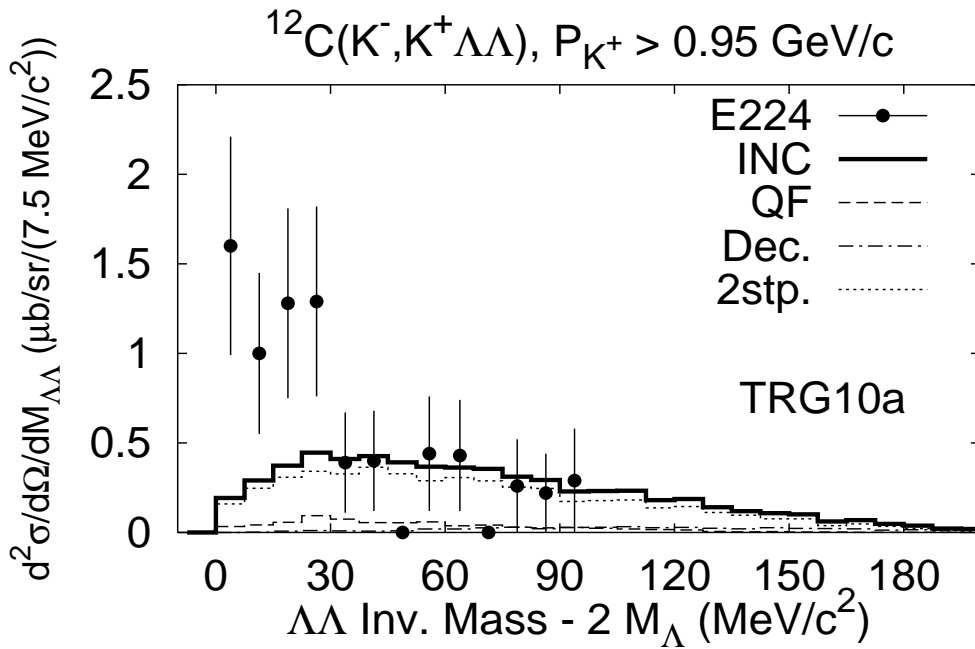
● K^+ Spectrum (Inclusive and Exclusive)



★ $(K^-, K^+ \Lambda\Lambda)$ 断面積の過小評価 $\simeq 3 \mu\text{b}$ ($P(K^+) > 0.95 \text{ GeV}/c$)

★ 2 段階過程からの寄与が dominant

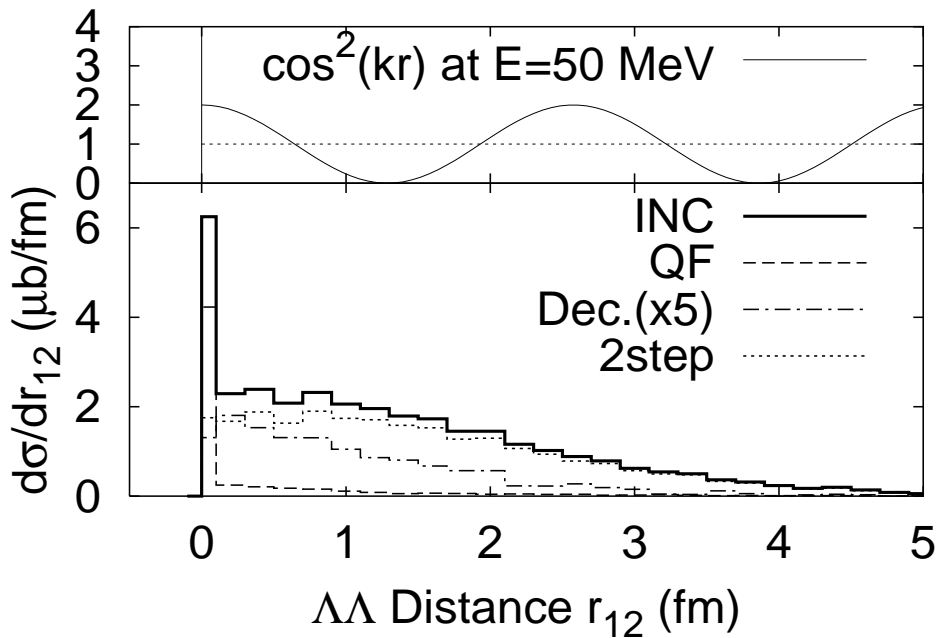
● Λ - Λ 不変質量スペクトル



★ $3 \mu\text{b}$ 程度の過小評価 $\sim (K^-, K^+ \Lambda\Lambda)$ での不足

★ $E_{\Lambda\Lambda} > 50 \text{ MeV}$ での一致... 粒子源サイズ $\leq 3 \text{ fm}$ を示唆

● 粒子源分布 ... 強い 1 次元の粒子生成機構



理論的模型 (II)

— Source 関数 + Correlation Formulae

W. G. Gong et al., PRC 43 ('91), 781.

Slaus, Akaishi, Tanaka, PRep. 173, ('89), 257.

● Λ - Λ Coincidence Probability

$$P(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = \int d^4x_1 d^4x_2 S(\vec{p}_1, x_1, \vec{p}_2, x_2) \left| \psi^{(-)}(\vec{k}, \vec{r}_{12}) \right|^2$$

$$\psi^{(-)}(\vec{r}) \simeq \sqrt{2} \left[\cos(kr \cos \theta) - j_0(kr) + e^{-i\delta_0} u_0(r) \right]$$

S : 粒子源関数 ← INC

u_0 : s -wave 相対波動関数 ← 相互作用

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 + \vec{P}(t_2 - t_1)/2m, \quad \vec{P} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2, \quad \vec{k} = \frac{1}{2}(\vec{p}_1 - \vec{p}_2),$$

仮定 1: 2 体相関は、2 体間の相互作用により決められる
(平均場の寄与が少ない)

仮定 2: Source 関数は運動量とともにゆっくりと変化する関数

仮定 3: Λ - Λ 系の全スピンは 0 が dominant

仮定 4: 相互作用の影響は $L = 0$ のみに現れる

● 長波長近似 → Enhancement Factor

$$P(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = 2 F(k) P_c(\vec{p}_1, \vec{p}_2),$$

$$P_c(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = \int d^4x_1 d^4x_2 S(\vec{p}_1, x_1, \vec{p}_2, x_2),$$

$$F(k) = \left| \frac{\sin(kb + \delta_0)}{\sin kb} \right|^2 \xrightarrow{k \rightarrow 0} \left(1 - \frac{a}{b} \right)^2 - ck^2,$$

a : scattering length, b : intrinsic range

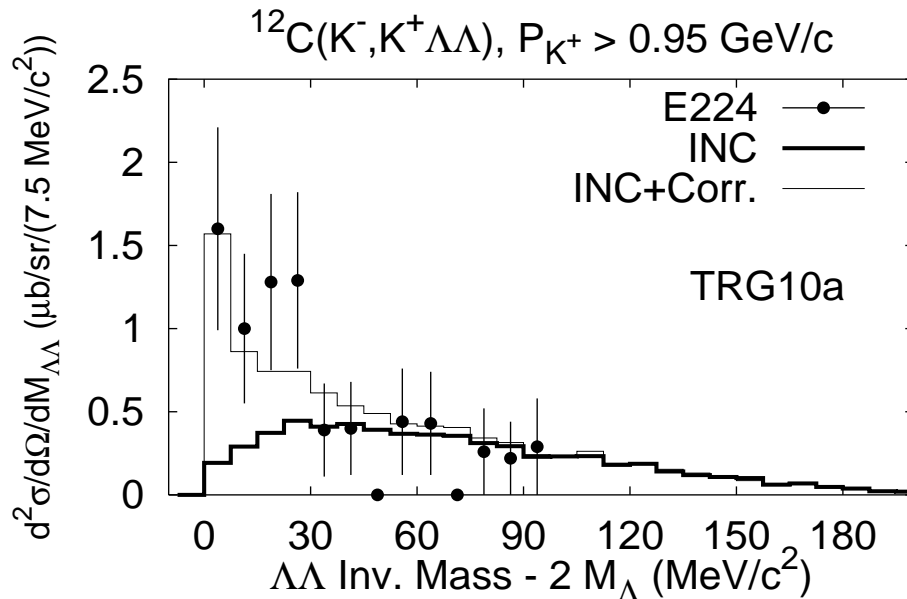
実験との比較 (II)

— INC+Corr. (終状態相互作用を考慮)

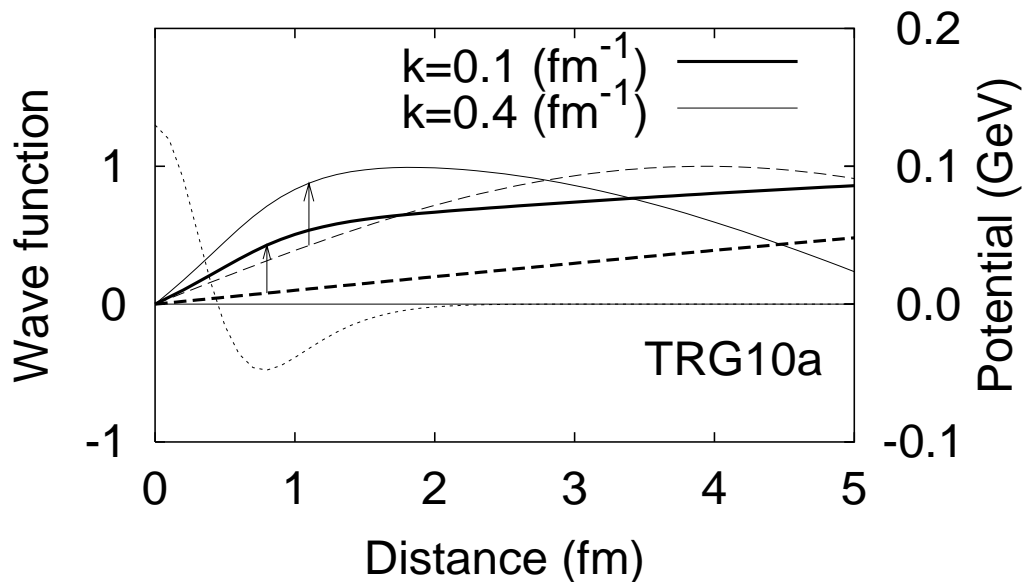
● Example of FSI Effect on Λ - Λ Invariant Mass Spectrum

TRG10a: Two-range Gauss, $\mu_s = 0.45\text{fm}$, $\mu_l = 1.0\text{fm}$.

→ $a = -6.3\text{ fm}$ (No Bound State), $r_{\text{eff}} = 2.0\text{ fm}$, $b = 1.8\text{ fm}$



● Enhancement of Relative Wave Function



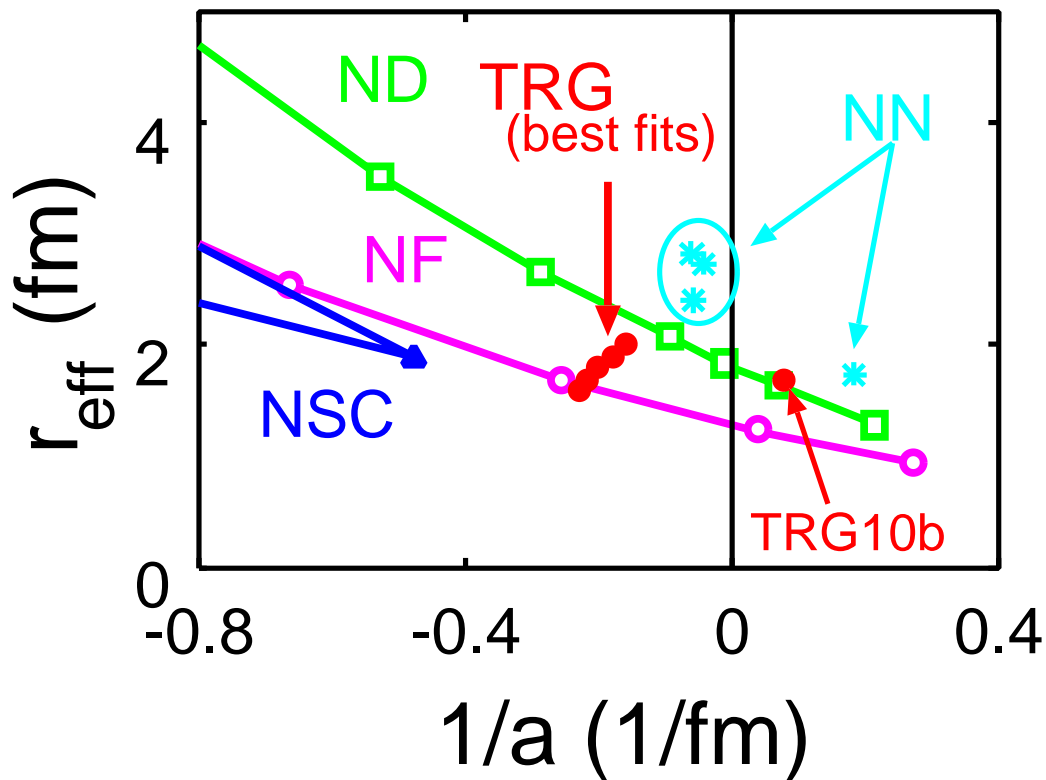
★ 引力 → 波動関数の早い立上り → 不変質量分布の増加

Λ - Λ 相互作用

- χ^2 Fit により得られた相互作用と Nijmegen 模型との比較

| | μ_l (fm) | v_l (MeV) | v_s (MeV) | a (fm) | r_{eff} (fm) | χ^2 /DOF | B.E. (MeV) |
|--------|-----------------|----------------|----------------|-------------|--------------------------|------------------|---------------|
| TRG06 | 0.6 | -900 | 1440 | -4.4 | 1.6 | 0.32 | U.B. |
| TRG07 | 0.7 | -400 | 750 | -4.6 | 1.7 | 0.33 | U.B. |
| TRG08 | 0.8 | -230 | 470 | -5.0 | 1.8 | 0.34 | U.B. |
| TRG09 | 0.9 | -150 | 310 | -5.6 | 1.9 | 0.36 | U.B. |
| TRG10a | 1.0 | -110 | 240 | -6.3 | 2.0 | 0.38 | U.B. |
| TRG10b | 1.0 | -140 | 260 | 13.1 | 1.7 | 0.40 | 0.22 |

($\mu_s = 0.45$ fm is fixed for simplicity.)



* Strongly attractive and short range

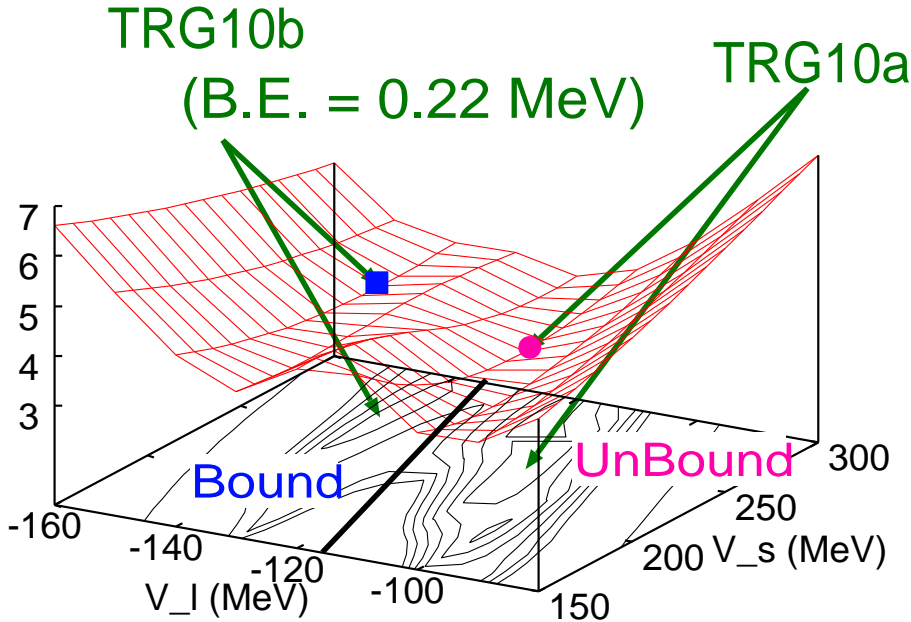
* TRG10a \simeq ND with $r_c = 0.5 \sim 0.52$ fm.

* TRG06 \simeq NF with $r_c = 0.46$ fm.

● Λ - Λ は束縛するか？

Double-well structure: $F(0) \sim (1 - a/b)^2 \rightarrow a \simeq b \pm \sqrt{F(0)}$

... 弱い束縛状態の存在は否定できない。



→ 解決方法

1. 共鳴状態 ($E_{\Lambda\Lambda} \simeq 25$ MeV, $\Lambda\Lambda + \Xi N (+\Sigma\Sigma)$ の結合状態) としての H 粒子の確立
 ... ($K^-, K^+\Lambda\Lambda$) の統計のよい実験
2. 低エネルギー ($E_{\Lambda\Lambda} \sim 5$ MeV) でも長波長近似が成り立たないほどに、粒子源関数を広げる
 ... RHIC での Λ - Λ 相関の測定 (50 Λ particles / event)

Λ rapidity distribution at RHIC

