

バリオン間の弱い相互作用と $p n \rightarrow p$ 反応 (E122)

阪口篤志 (大阪大学理学部)

ハイペロン - 核子の相互作用

- ハイパー核の構造と強い相互作用
- ハイパー核崩壊と弱い相互作用
- 非中間子崩壊のパズル

$p n \rightarrow p$ 反応

- 原理と可能性
 - RCNP Ring-Cyclotron での実験
-

ハイペロン - 核子の相互作用

ハイパー核の構造と強い相互作用

ハイパー核

- ハイペロン(Λ 粒子)発見(1947年)直後に生成の可能性示唆
- 原子核乾板中に発見される(1953年)
K⁻ beam K-atom HF + + X
- 原子核乾板・泡箱 (K⁻, Λ^-)反応 (Λ^+ , K⁺)反応
(e, e'K⁺)反応、 Λ -spectroscopy

構造については原子核のアナロジー

- 独立粒子モデルは Λ でも OK
- ハイペロン - 核子の相互作用を反映

$$U_{\Lambda} / U_N \sim 2 / 3$$

- First-order で Λ -exchangeの寄与なし
- Λ - N の coupling 強い

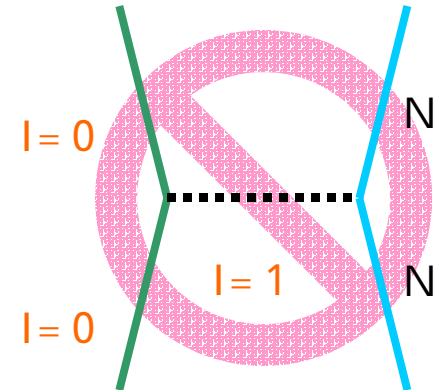
$$U_{LS} / U_{LSN} \sim 1 / 30$$

- Meson-exchange model 1/5 ~ 1/10
- Symmetric LS力と Anti-symmetric LS力が寄与

$$V_{SLS} = V_{SLS}(\tau_{\Lambda} + \tau_N) \cdot l_{\Lambda N}$$

$$V_{ALS} = V_{ALS}(\tau_{\Lambda} - \tau_N) \cdot l_{\Lambda N}$$

$$U_{LS\Lambda} = V_{SLS} + V_{ALS}$$



ハイパー核崩壊と弱相互作用

ハイパー核の崩壊

- フレーバー変化は弱相互作用でしか起こらない
- 崩壊の研究 **弱相互作用の研究**

2つの崩壊モード

- Mesonic decay モード

N^+ ($p_N \sim 100 \text{ MeV}/c$)

$I = 1/2$ rule が良く成り立っている

- K decay などでも見られる

軽いハイパー核では dominant

- Non-mesonic decay モード

$+N$ $N+N$ ($p \sim 400 \text{ MeV}/c$)

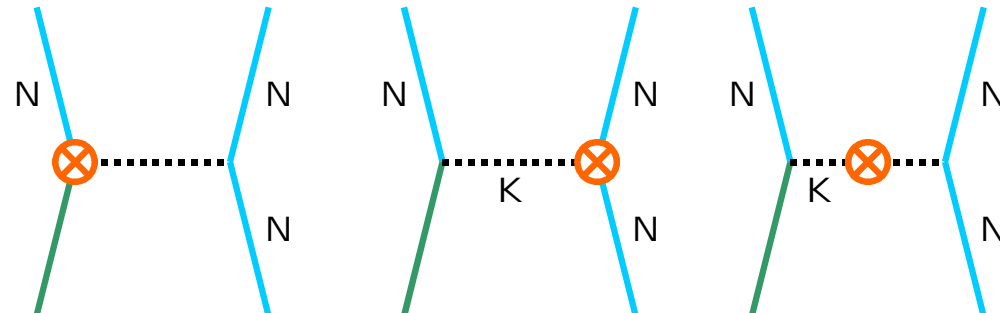
バリオン - バリオン間の弱相互作用の一種

ハイパー核の中でしか起こらない

の isospin: 0

N^+ の isospin: 1/2 or 3/2

	$\Delta I = 1/2$	$\Delta I = 3/2$
$\Lambda \rightarrow p + f^-$	2	1
$\rightarrow n + f^0$	1	2



Non-mesonic decay の観測量

- Decay branch

$$\begin{aligned} \Lambda + p &\rightarrow p + n & a_{pn} \\ \Lambda + n &\rightarrow n + n & a_{nn} = \sqrt{2}a_{pn} \end{aligned} \quad \leftarrow \text{"}\Delta I = 1/2 \text{ rule"}$$

終状態 isospin=1 の場合は known

- 比はCG係数で決まる

終状態 isospin=0 の存在

Decay branch の測定 (n / p) 弱崩壊の isospin 構造

- Decay asymmetry

偏極ハイパー核生成 陽子の decay asymmetry

いくつかの amplitude の干渉で有限の値

- 異なった parity 状態で干渉
- 異なった isospin 状態で干渉

$$r_p \propto \text{Re}[-\sqrt{3}ae^* + b(c - \sqrt{2}d)^* - \sqrt{3}f(\sqrt{2}c + d)^*]$$

Decay asymmetry の測定 (p) P_V / P_C

	I	P
a	1	+
b	1	-
c	0	+
d	0	+
e	0	-
f	1	-

非中間子崩壊のパズル

Decay branch (n / p)

- 観測データ

	He bubble chamber	counter experiment
p / n (^4He)	2.2 ± 0.8	> 3
$\Gamma_{nm}(\text{}^4\text{H}) / \Gamma_{nm}(\text{}^4\text{He})$	~ 2	~ 1

- Spin 構造

$$\Gamma_{nm}(\text{}^4_\Lambda\text{He}) \propto 2R_{n0} + 3R_{p1} + R_{p0}$$

$$\Gamma_{nm}(\text{}^4_\Lambda\text{H}) \propto 3R_{n1} + R_{n0} + 2R_{p0}$$

$$R_{n0} = 2R_{p0} \quad \leftarrow \quad I=1/2 \text{ rule}$$

$$\frac{R_{J=1}}{R_{J=0}} = \frac{|c|^2 + |d|^2 + |e|^2 + |f|^2}{|a|^2 + |b|^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{\Gamma_p}{\Gamma_n}(\text{}^4_\Lambda\text{He}) - \frac{1}{4} \right) > 3.7$$

	I	J	L_f
a	1	0	0
b	1	0	1
c	0	1	0
d	0	1	2
e	0	1	1
f	1	1	1

R_{n0} { a, b } R_{p0}
 R_{p1} { c, d, e }
 R_{n1} { f }

- Isospin 構造

$$\begin{aligned} \Gamma_{nm}\left({}_\Lambda^4 H\right) - \Gamma_{nm}\left({}_\Lambda^4 He\right) &\propto 3\left(R_{n1} - R_{n0}\right) - \left(R_{n0} - R_{p0}\right) \\ &= 3\left(|f|^2 - \left(|c|^2 + |d|^2 + |e|^2\right)\right) - \left(|a|^2 + |b|^2\right) \approx 0 \end{aligned}$$

- まとめると

$$R_{J=1} > R_{J=0}, \quad |c|^2 + |d|^2 + |e|^2 + |f|^2 > |a|^2 + |b|^2$$

$$R_{J=1, I=0} \approx R_{J=1, I=1}, \quad |c|^2 + |d|^2 + |e|^2 \approx |f|^2$$

$$\longrightarrow |f|^2 > |c|^2, |d|^2, |e|^2 > |a|^2, |b|^2$$

- He bubble chamber のデータを使うと

$$\longrightarrow |f|^2 \gg |a|^2, |b|^2, |c|^2, |d|^2, |e|^2$$

	I	J	L _f
a	1	0	0
b	1	0	1
c	0	1	0
d	0	1	2
e	0	1	1
f	1	1	1

Decay asymmetry (ρ)

- さっきの amplitude からの予想

Counter experiment $\rho \sim -1$

He bubble chamber $\rho \sim -0.5$

- 実験結果 (KEK-PS E160, E278)

E160	E278
$^{12}_{\Lambda}\text{C}, ^{11}_{\Lambda}\text{B}$	$^5_{\Lambda}\text{He}$
$\rho = -1.3 \pm 0.4$	$\rho = 0.24 \pm 0.21$

実験上の課題

- Branch と asymmetry の整合性

Asymmetry の実験を更に行うのは困難

- n の測定精度悪い

n と ρ の比の systematic error KEK-PS E462

- 本当に N NNのような2体反応か？

E_n で NN NNN と分離する KEK-PS E462 ($^5_{\Lambda}\text{He}$)

理論的には？

- Meson exchange model

$l=1/2$ rule は手で入れる

, K, , K*, “ ” の exchange

$$|c|^2 + |d|^2 > |f|^2 > |a|^2, |b|^2, |e|^2$$

$$\Gamma_n / \Gamma_p \approx 0, \quad \Gamma_{nm} \left(\Lambda^4 H \right) / \Gamma_{nm} \left(\Lambda^4 He \right) \approx 0$$

$$r_p \approx 0$$

- Quark exchange model

$l=1/2$ は $l=3/2$ より強い (がまだ十分ではない)

$l=1/2$ **f** dominant

- K exchange が取り込まれている？

$l=3/2$ **a, b** dominant

exchange が取り込まれていない

	l	J	L _f	meson	quark
a	1	0	0		$l=3/2$
b	1	0	1		$l=3/2$
c	0	1	0		
d	0	1	2		
e	0	1	1		
f	1	1	1	K	$l=1/2$

理論の課題

- Amplitude を大きく変えるメカニズムはあるか？

- $l=1/2$ rule は破れていても良いのか？ BNL-AGS E931

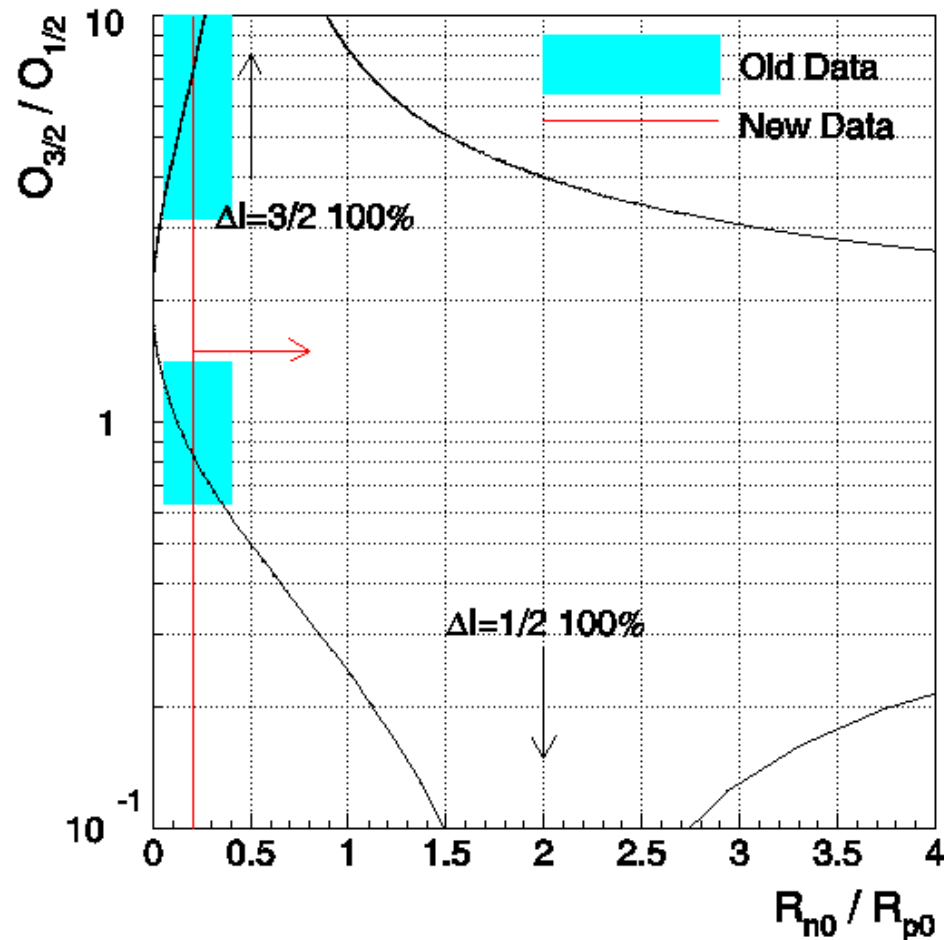
$$\Gamma_p / \Gamma_n \left(\Lambda^4 H \right) > 0.1 (\Delta I = 1/2) \quad \text{or} \quad > 0.7 (\Delta I = 3/2)$$

$I=1/2$ rule のテスト (R.A. Schumacher, NP A547 (1992) 143c)

$$R_{n0} / R_{p0} = \frac{\chi \cdot \chi_4}{1 + \chi_4 - \chi \cdot \chi_5}$$

$$\chi = \Gamma_{nm} \left({}^4_{\Lambda} He \right) / \Gamma_{nm} \left({}^4_{\Lambda} H \right)$$

$$\chi_4 = \Gamma_n / \Gamma_p \left({}^4_{\Lambda} He \right), \quad \chi_5 = \Gamma_n / \Gamma_p \left({}^5_{\Lambda} He \right)$$



pn p 反応

原理と可能性

N NN の逆反応を調べてやる

長所

- 核内カスケードや NNN Λ NN の影響少ない
- 断面積とともに偏極量測定が容易

断面積

$$T_{pn \rightarrow p\Lambda} \Leftrightarrow \Gamma_{p(\Lambda p \rightarrow pn)}$$

偏極測定量

- 大きなビーム偏極と偏極分解能
- 複数の測定量

$$n(\vec{p}, \vec{\Lambda})_p$$

$$P_p \approx 1, \quad r_{\Lambda \rightarrow pf} = 0.642$$

$$A_p: n(\vec{p}, \Lambda)_p \quad \text{helicity polarized beam, asymmetry}$$

$$A_\Lambda: n(p, \vec{\Lambda})_p \quad \text{unpol. p beam, pol. in beam direction}$$

$$A_\Lambda \Leftrightarrow r_p$$

$$A_{p\Lambda}^T, A_{p\Lambda}^L: n(\vec{p}, \vec{\Lambda})_p \quad \text{T or L pol. beam, polarization transfer}$$

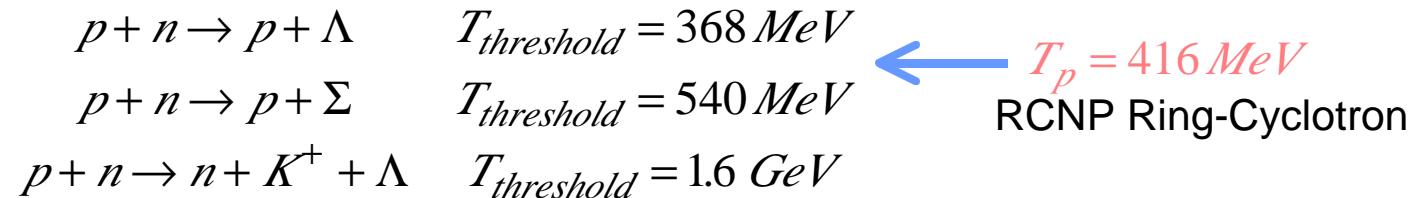
各 amplitude 決定の可能性

Nabetani et al.
PRC60 (1999) 017001

- エネルギー依存測定可能

p の s/p 比可変 s-shell / p-shell ハイパー核の問題

- physical background なし



Cross section エネルギー依存もそれほど悪くない

Challenge

- 小さい cross section

$$\sigma_{pn \rightarrow p\Lambda} \approx 10^{-39} \text{ cm}^2 = 10^{-15} \text{ b}$$

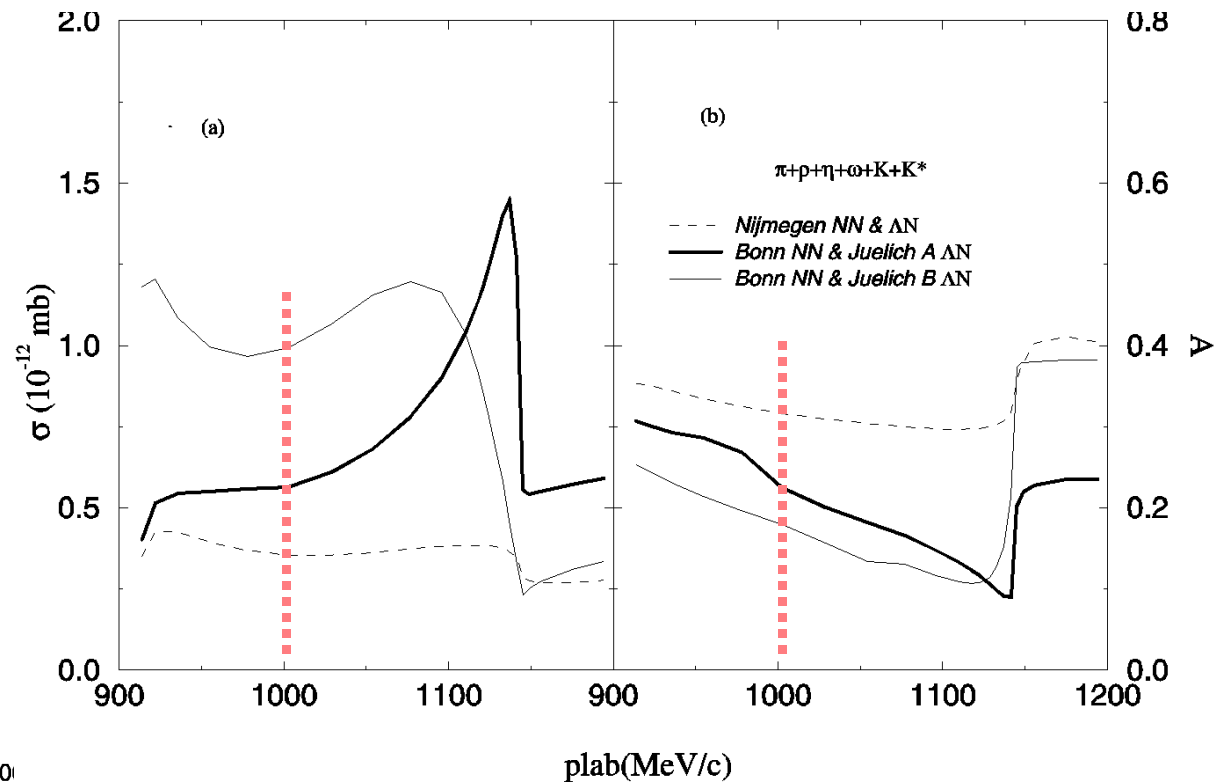
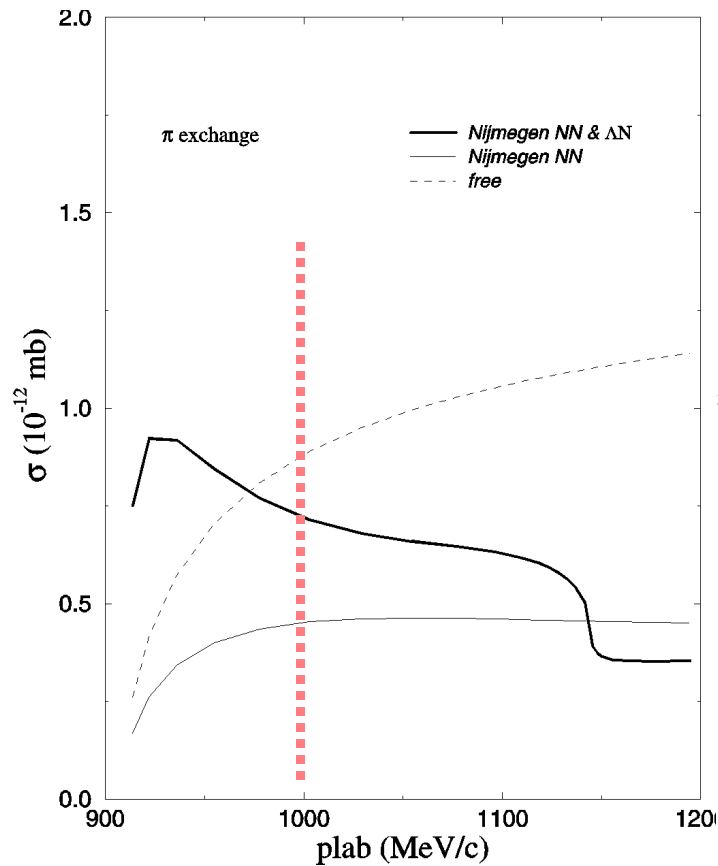
- instrumental background

$$\sigma_{strong} = 10^{13} \times \sigma_{pn \rightarrow p\Lambda}$$

→ 具体的な方法については南さんの講演を

pn p 反応の理論計算の例 (Parreno et al., nucl-th/9810020)

- NおよびNN correlation の効果
- 相互作用の依存が見られる



RCNP Ring-Cyclotron での実験

Yield

$$N_{event} = \tau_{pn \rightarrow p\Lambda} \times N_{tgt} \times N_{beam} \times \nu \longrightarrow N_{event} \approx 2 \text{ event / day}$$

- cross section

$$\tau_{pn \rightarrow p\Lambda} \approx 10^{-39} \text{ cm}^2 \longleftarrow \Gamma_{nm} = \langle \nu \tau_{pn \rightarrow p\Lambda} \rangle \int \dots \int |u_{\Lambda}|^2 dr^3$$

$$\tau_{pn \rightarrow p\Lambda} \approx 0.5 \times 10^{-39} \text{ cm}^2 \text{ by Haidenbauer et al.}$$

$$= 0.5 - 1.0 \times 10^{-39} \text{ cm}^2 \text{ by Parreno et al.}$$

$$\approx 0.5 \times 10^{-39} \text{ cm}^2 \text{ by Inoue et al.}$$

- target $N_{tgt} = 10^{24} \text{ neutron / cm}^2 \approx 1 \text{ cm Cu}$
- beam $N_{beam} = 10^{12} \text{ proton / s} \approx 160 \text{ nA (416 MeV proton)}$
- efficiency $\nu = 0.025 \longleftarrow MC: pn \rightarrow p\Lambda \Rightarrow \Lambda \rightarrow p + \underline{f}$

バックグラウンドの除去

- 荷電粒子を collimator で止める 10^{-5}
- CDC+hodoscope で $p+\pi^-$ を同定 10^{-2}
- invariant mass = m_{Λ} $10^{-1.5}$
- SSD で $p+\pi^-$ の vertex $10^{-4.5}$

\longrightarrow R&D を E122 実験で