



Λハイパー核の少数系における 荷電対称性の破れ

成田新太郎, 岡真, 肥山詠美子^A
東工大, 理研^A

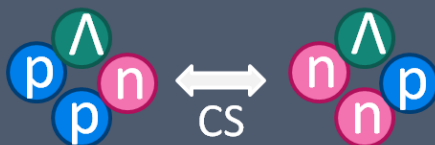
2010年夏の学校 原子核パート研究会 @パノラマランド木島平
2010/08/09

1 導入

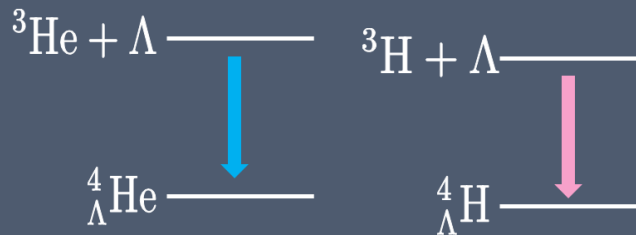
荷電対称性の破れ(Charge Symmetry Breaking, CSB):
クォークモデルで, $u \rightarrow d, d \rightarrow u$ の置き換えに対して対称性(CS)
を仮定したときの破れの効果。置き換えの下で,

$|\text{proton}\rangle \rightarrow |\text{neutron}\rangle, |\text{neutron}\rangle \rightarrow |\text{proton}\rangle$
となる。

例: ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ と ${}^4_{\Lambda}\text{H}$
(Mirror核)



Λ Separation energyの差:
 0^+ で350keV, 1^+ で240KeV.



CSBへの寄与: Coulomb力 + u, d クォークの質量の差
によって、

$0^+, 1^+$ のS.Eの実験値を同時に再現することはできていない。

A.Nogga, H.Kamada, and W.Glöckle
Phys.Rev.Lett.88:172501,2002

ΛN potential を使ってS.Eと Δ_{CSB} を計算した結果(単位はMeV)

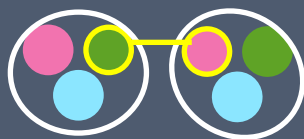
| J^π | YNF | $E_{\text{sep}}^\Lambda (^4_\Lambda\text{He})$ | $E_{\text{sep}}^\Lambda (^4_\Lambda\text{H})$ | Δ_{CSB} |
|---------|-------|--|---|-----------------------|
| 0^+ | SC97e | 1.54 | 1.47 | 0.07 |
| | SC89 | 2.14 | 1.80 | 0.34 |
| | Expt. | 2.39(3) | 2.04(4) | 0.35 |
| 1^+ | SC97e | 0.72 | 0.73 | -0.01 |
| | Expt. | 1.24(5) | 1.00(6) | 0.24 |

A.Nogga, H.Kamada, and W.Glöckle
Phys.Rev.Lett.88:172501,2002

このように, Δ_{CSB} の計算は上手くいっていない。

但し,この計算では近距離領域での効果は反映されていない。

→バリオン距離が近い時それぞれのバリオン中のクォークの間での相互作用による寄与を調べる。



→

近距離でのCSBの効果を見る

今回の研究の目的

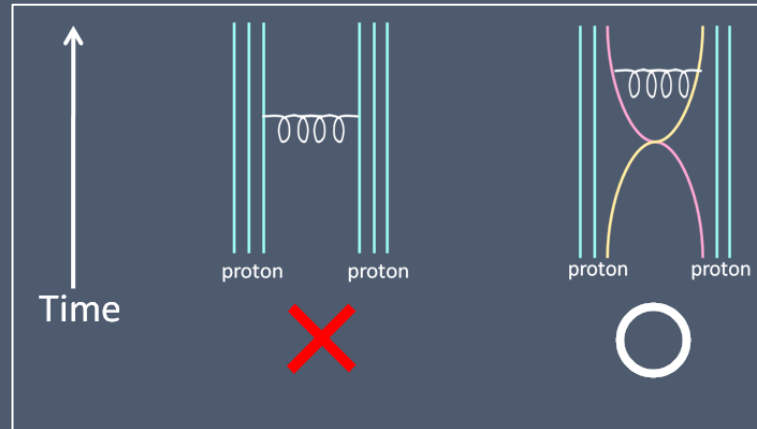
2 モデル

Interaction :

クォークの1-gluon交換力から、バリオン間の力のCSBの効果を導く。
クォーク間力:

$$H^{(q_i q_j)} = -(\lambda_i \cdot \lambda_j) \frac{\pi}{6m_i m_j} (\vec{\sigma}_i \cdot \vec{\sigma}_j) \delta^{(3)}(r_{ij})$$

(まずNNについて)



2核子系を2つのthree quark cluster波動関数で表し、計算することによって、

$$v^{(N_1 N_2)} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \frac{\beta^3 \alpha_s}{\hat{m}^2} \exp\left(-\frac{3}{4} \beta^2 r_{12}^2\right) [\tau_z(1) + \tau_z(2)] \frac{\delta m}{\hat{m}} \left[1 - \frac{5}{27} \vec{\sigma}(1) \cdot \vec{\sigma}(2)\right]$$

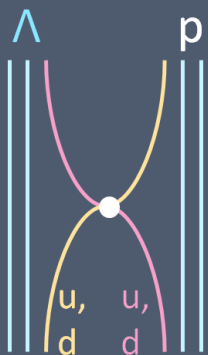
を得る。

→pp, nnの違いについて評価できる。

S.Nakamura, K.Muto, M.Oka, S.Takeuchi,
and T.Oda
Phys.Rev.Lett 76,6,1996

このNNのモデルを拡張して ΛN の近距離でのCSBを求める。

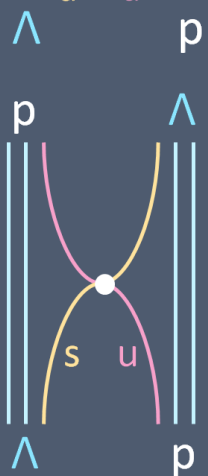
$$H^{(q_i q_j)} = -(\lambda_i \cdot \lambda_j) \frac{\pi}{6m_i m_j} (\vec{\sigma}_i \cdot \vec{\sigma}_j) \delta^{(3)}(r_{ij})$$



u,dクォーク交換:

$$|\Lambda N\rangle \rightarrow |\Lambda N\rangle$$

$2 \times 3 = 6$ 通り



sクォーク交換:

$$|\Lambda N\rangle \rightarrow |N\Lambda\rangle$$

$1 \times 3 = 3$ 通り

粒子の入れ替えに対し、

状態

反対称化

$$S_{\text{tot}}=1, L=0 \rightarrow \times (-1)$$

$$S_{\text{tot}}=0, L=0 \rightarrow \times (+1)$$

$$|\Lambda p_{L=0, S=1}\rangle = \frac{|\Lambda p_{S=1}\rangle - |p\Lambda_{S=1}\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$|\Lambda p_{L=0, S=0}\rangle = \frac{|\Lambda p_{S=0}\rangle + |p\Lambda_{S=0}\rangle}{\sqrt{2}}$$

オペレーターの実行列要素を計算

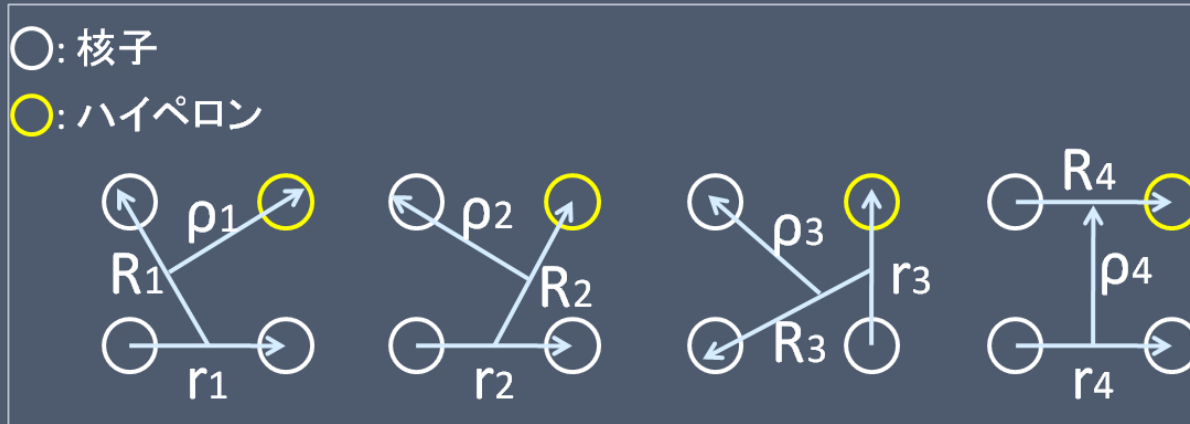
・ ΛN 間ポテンシャル

$$v_{(\Lambda N)} = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \frac{\beta^3 \alpha_s \delta m}{\hat{m}^3} \exp\left(-\frac{3}{4} \beta^2 r_{\Lambda N}^3\right) \tau_z(N) \left\{ 1 - \frac{\hat{m}}{4m_s} + \left(\frac{\hat{m}}{12m_s} - \frac{5}{27}\right) \vec{\sigma}(\Lambda) \cdot \vec{\sigma}(N) \right\}$$



3 計算

NNNYの4体系を現存するNN,YNポテンシャルを使い,更に導いたCSBの短距離からの寄与を変分法を用い計算する。



The total 4-body wave function:

$$\Psi_{JM} = \sum_{c=1}^4 \sum_{\alpha} \sum_{ss'Stt'} C_{\alpha ss'Stt'}^{(c)} \mathcal{A} \left\{ \left[\Phi_{\alpha}^{(c)}(\vec{r}_c, \vec{R}_c, \vec{\rho}_c) \left[\left[\xi_{s'}(12) \xi_{1/2}(3) \right]_s \xi_{1/2}(\Lambda) \right]_S \right]_{JM} \right. \\ \left. \times \left[\left[\eta_{t'}(12) \eta_{1/2}(3) \right]_t \eta_0(\Lambda) \right]_{T=1/2} \right\}$$

Hamiltonian:

$$H = T + \sum_{i \neq j} V_{N_i N_j} + \sum_i V_{N_i \Lambda} + \underline{v(\Lambda N)}$$

4 結果と考察

ΛN 相互作用: Nijmegen SC97f を用いた。(単位はMeV)

BA (CSBなし)

| | ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ | ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ | Δ |
|-------|--------------------------|---------------------------|----------|
| 0^+ | 2.196 | 2.135 | 0.061 |
| 1^+ | 1.098 | 1.050 | 0.048 |

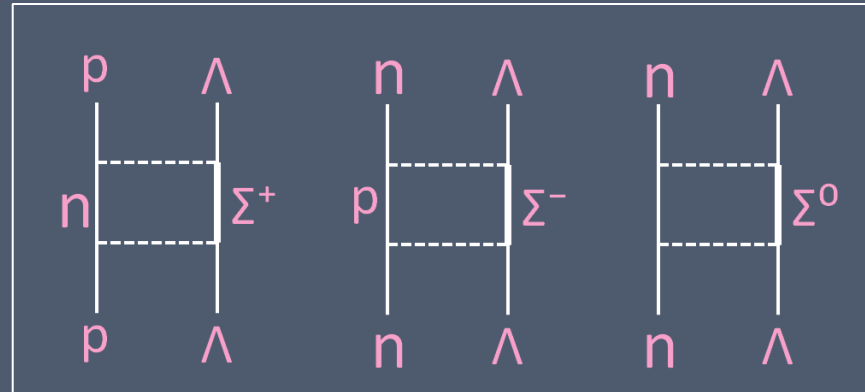
BA (CSBあり)

| | ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ | ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ | Δ |
|-------|--------------------------|---------------------------|----------|
| 0^+ | 2.203 | 2.130 | 0.067 |
| 1^+ | 1.104 | 1.039 | 0.065 |

近距離でのCSBへの寄与: 0^+ で6KeV, 1^+ で17KeV
→ **短距離領域によるCSBの寄与は小さい。**
・ ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ の時は斥力, ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ の時は引力。

今回は Λ - Σ conversion の効果を見落としており、やはりそれが効いてくると思われる。

● Λ - Σ conversion について



- Λ - Σ による効果:
- ① Σ の質量差
 - ② Coulomb力
 - ③ 短距離での大きな寄与??

今回の計算を拡張し, Σ Nの短距離での効果を調べる必要がある。

1 導入

5 まとめ

● ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ と ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ の separation energy の CSB への短距離領域の寄与を調べた。

● 短距離領域での寄与は小さく、CSB に効いてこないことが分かった。

2 モデル

● Λ よりも Σ からの寄与が大きい可能性がある。

3 計算

◇ Future plan ◇

Σ の効果を取り入れて計算する。

4 結果
と
考察

5 まとめ

Back up slide

1 導入

2 モデル

$\beta^{-1} = 0.616 \text{ fm}$:the nucleon size parameter of the three quark cluster

$\alpha_s = 1.624$:strong coupling constant

$\delta m = 6 \text{ MeV}$:up-down quark mass difference

$\hat{m} = 330 \text{ MeV}$:average of the masses

$m_s = 550 \text{ MeV}$:strange quark mass

3 計算

4 結果
と
考察

5 まとめ