演算子積展開を用いた$\overline{K}N$相互作用の近距離での振る舞い

大阪大学　RCNP理論部　M1　星 善次郎

導入

K中間子：ストレンジクォークを一つ含む中間子

K中間子原子核： 反K中間子と核子の束縛した原子核

	質量(MeV)	Q/e	Quark content
K^+	493.677±0.016	+1	$u\bar{s}$
K^0	496.611±0.013	0	$d\bar{s}$
K^-	493.677±0.016	-1	$\bar{u}s$
$\overline{K}^0$	496.611±0.013	0	$\bar{d}s$

Pdglive.lbl.gov/Viewer.action

動機

- Yamazaki,Akaishiの計算では反K中間子が原子核に非常に強く束縛している

	$\rho(0)[\mathrm{fm}^{-3}]$	$R_{\mathrm{rms}}[\mathrm{fm}]$
$^3\mathrm{He}$	0.15	1.54
$ppnK^-$	1.39	0.72
$^8\mathrm{Be}$	0.13	2.38
$^8\mathrm{Be}K^-$	0.76	1.42

T.Yamazaki,Y.Akaishi,Phys.Lett B590(2004) 51

- 近年,Skyrme模型を用いた計算では斥力芯の存在が確認されている

T.Ezoe and A.Hosaka arXiv:1605.01203v2 2016/07/29
PRDにアクセプト

→ これらを確かめる必要があるのでは？

動機

$K^{-}pp$ 間の束縛状態に関する結果が方法によってかなり異なっている($\overline{K}N$ に対する正しい理解が必要)

	束縛エネルギー	崩壊幅	
Akaishi,Yamazaki	48[MeV]	61[MeV]	Variational method
Ivanov,Kienle,Marton,Wildmann	118	58	Phenomelogical model
Schevchenko,Gal,Mares	55~70	95~110	Faddeev calculation
Dote,Hyodo,Weise	19±3	40~70	Chiral SU(3) coupled-channel dynamycs

T.Yamazaki,Akaishi phys.Lett. B 535,(2002) 70
A.N.Ivanov,p.Kienle,J.Marton,Ewidmann,,nucl-th 0512037
N.V.Shevchenko,A.Gal,J.Mares,Phys.Rev.Lett.98,(2007)082301
A.Dote,T.Hyodo,W.Weise,Nucl.Phys.A 04(2008) 197

目的

$\overline{K}N$相互作用を,また別の方法(演算子積展開を用いた方法)で調べる.

今回はその計算方法の特徴を紹介します.

Bethe-Salpeter波動関数

$$\boxed{\varphi^E_{AB}(\vec{r}) = \langle 0|O_A(\vec{r}/2,0)O_B(-\vec{r}/2,0)|E\rangle}$$

$O_A(\vec{r},t)$: 場の演算子

BS波動関数は次のSchroedinger-likeな方程式を満たす

$$-\frac{1}{2\mu}\nabla^2\varphi^E_{AB}(\vec{r}) + \int d^3r' U(\vec{r},\vec{r}')\varphi^E_{AB}(\vec{r}') = E\varphi^E_{AB}(\vec{r})$$

N.Ishii,S.Aoki,T.Hatsuda Phys.Rev.Lett.99,022001v (2007)

微分展開 $U(\vec{r},\vec{r}') = V(\vec{r}',\nabla)\delta(\vec{r}-\vec{r}')$

$$V(\vec{r},\nabla) = V_c(r) + V_{LS}(r)L\cdot S + V_T(r)S_{12} + O(\nabla^2)$$
$$S_{12} = 3(\vec{\sigma_1}\cdot\hat{r})(\vec{\sigma_2}\cdot\hat{r}) - \vec{\sigma_1}\cdot\vec{\sigma_2}$$

$$\boxed{V(\vec{r}) = E + \frac{1}{2\mu}\frac{\vec{\nabla}^2\varphi^E_{AB}(\vec{r})}{\varphi^E_{AB}(\vec{r})}}$$

Schroedinger方程式を逆に解いてポテンシャルを求める

方法

BS波動関数を求めたい

Bethe-Salpeter波動関数

直接計算(QCD)

(NNポテンシャルに関しては
[N.ishii,S.Aoki,T.Hatsuda,Phys.Rev.Lett.99,022001(2007)])

大規模な格子QCD計算が必要

演算子積展開

手で計算することが可能

演算子積展開

$$O_A(\vec{r}/2,0)O_B(-\vec{r}/2,0) \simeq \sum_C D_{AB}^C(\vec{r})O_C(\vec{0},0) \qquad (\vec{r} \simeq 0)$$

wilsonによって提唱され,Zimmermannが摂動の枠内での厳密な証明を与えた

くりこみ群方程式によって因子化

$$\sum_C D_{AB}^C O_C = \sum_C \boxed{F_C(\Lambda r)}\boxed{\tilde{O}_C(0)}$$

摂動的な因子

非摂動的な因子

くりこみ群方程式

$\mathcal{D}\Lambda = 0$:くりこみ不変なパラメータ

$$\mathcal{D} = \mu\frac{\partial}{\partial\mu} + \beta(g)\frac{\partial}{\partial g}$$

手順

- 1.演算子積展開を用いて$\overline{K}N$の波動関数(BS波動関数)を求める.

- 2.Schroedinger方程式にそれを用いて,ポテンシャルを求める.

NN相互作用の場合を結果だけ紹介します.

Sinya.Aoki,Janos.Balog,Peter,Wiesz arXiv:1002.0977v1

演算子積展開(NN相互作用)

NNでは

$$\varphi^{E}_{AB}(\vec{r}) \simeq \sum_{C} (-\log r)^{\beta^{C}} \langle 0|O_C(\vec{0},0)|E\rangle$$

$$V(r) \simeq \frac{D_Y(E)}{D_X(E)} \frac{-\beta_Y}{r^2(-\log r)^{1-\beta_Y}}$$

$D_C(E) = \langle 0|O_C(\vec{0},0)|E\rangle$

$\beta_X = \max_C \beta^{C}_{AB}$ 　 β_Y は2番目に大きい β_C

$V_T(r)$ 　 斥力芯が確認されない

$V(r)$ 　 斥力芯が存在する

格子QCDの結果と一致

S. Aoki, T. Hatauda, N. Ishii, arXiv:0909.5585[hep-lat]

まとめと展望

まとめ

- BS波動関数と演算子積展開を用いてポテンシャルを求めることができる.
- NNポテンシャルでは格子QCDを用いた計算結果と一致している.

今後の課題(修論のテーマ)

- 演算子積展開を用いて$\overline{K}N$ポテンシャルを求める.