

QCDによるバリオン間相互作用

Baryon-Baryon interaction from lattice QCD
(08b-25)

青木 慎也 (筑波大学)

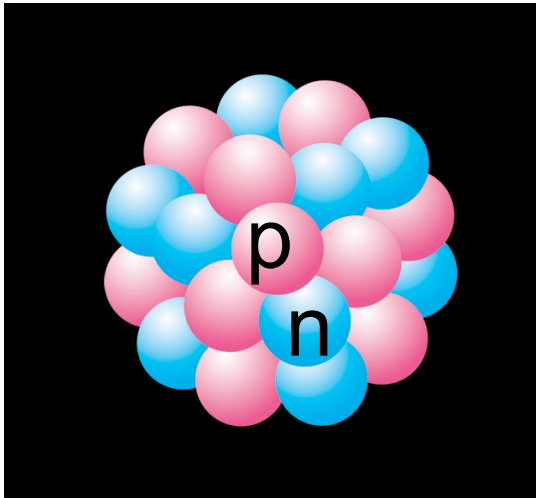
初田 哲男 (東京大学)

石井 理修 (筑波大学)

根村 英克 (理研)

村野 啓子 (筑波大学)

What binds protons and neutrons inside a nuclei ?



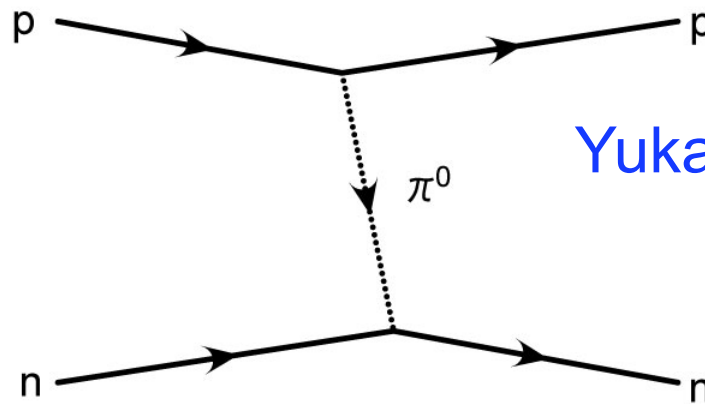
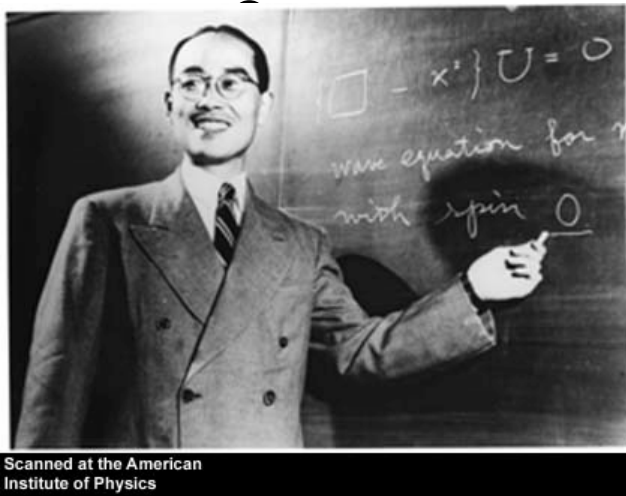
gravity: too weak

Coulomb: repulsive between pp
no force between nn, np

New force (nuclear force) ?

1935 H. Yukawa

introduced virtual particles (mesons) to explain the nuclear force

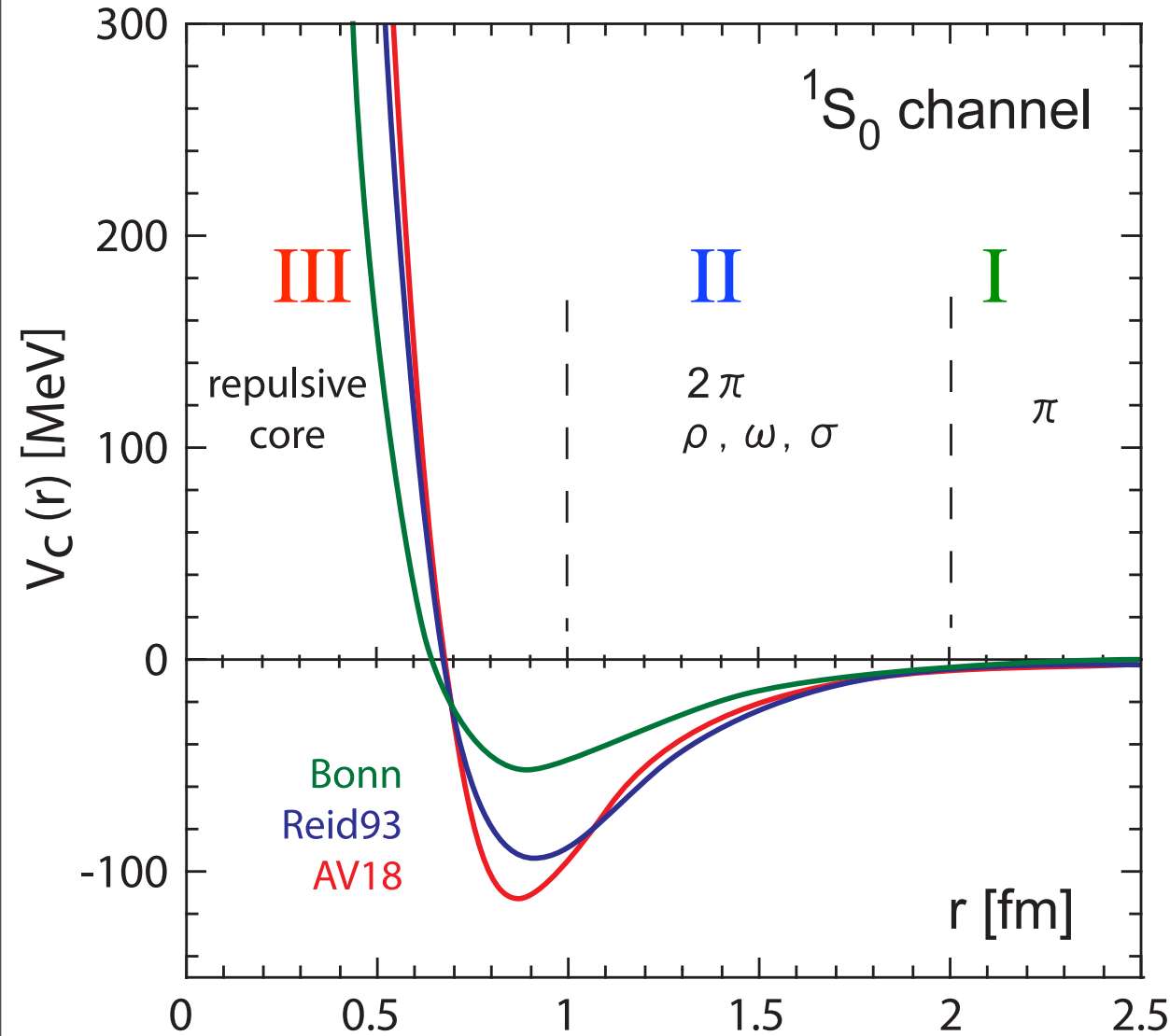
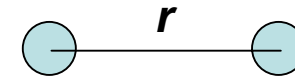


Yukawa potential

$$V(r) = \frac{g^2}{4\pi} \frac{e^{-m_\pi r}}{r}$$

1949 Nobel prize

A current understanding of the nuclear potential



I Long range part
one pion exchange potential (OPEP)

II Medium range part
 σ, ρ, ω exchange
 2π exchange

III Short range part
repulsive core (RC)

R. Jastrow(1951)
quark ?

Bonn: Machleidt, Phys.Rev. C63('01)024001

Reid93: Stoks et al., Phys. Rev. C49('94)2950.

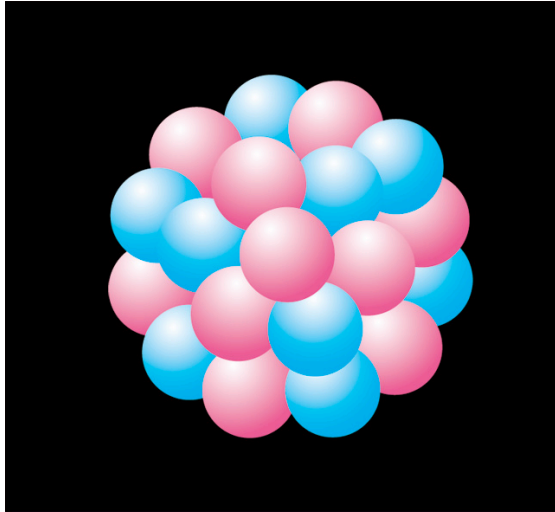
AV18: Wiringa et al., Phys.Rev. C51('95) 38.

Importance of repulsive core

stability of nuclei

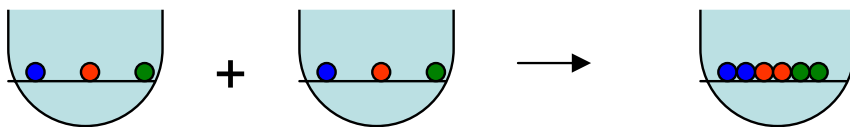
maximum mass of
neutron star

explosion of
type II supernova

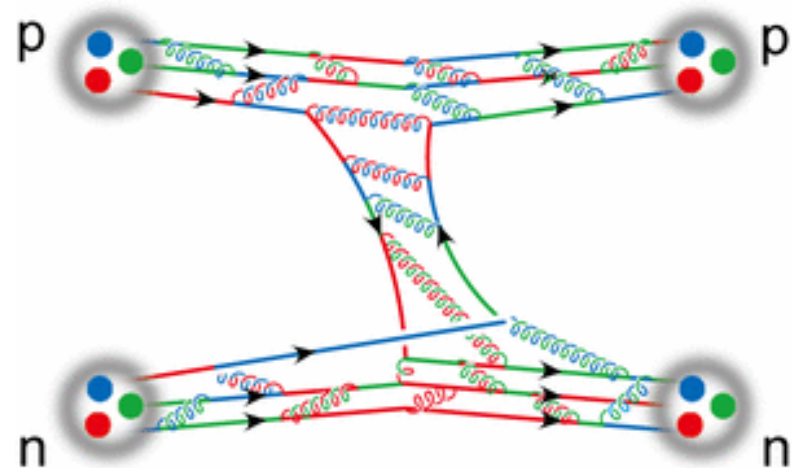


Origin of RC: "The most fundamental problem in Nuclear physics."

Note: Pauli principle is not essential for the "RC".



QCD based explanation is needed.



An “answer” by lattice QCD simulations

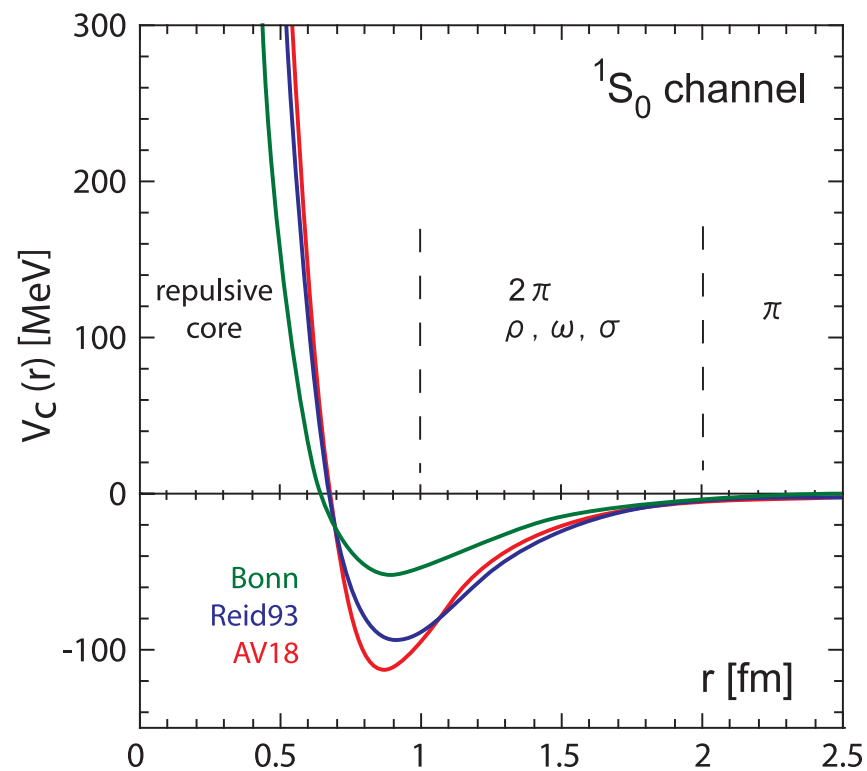
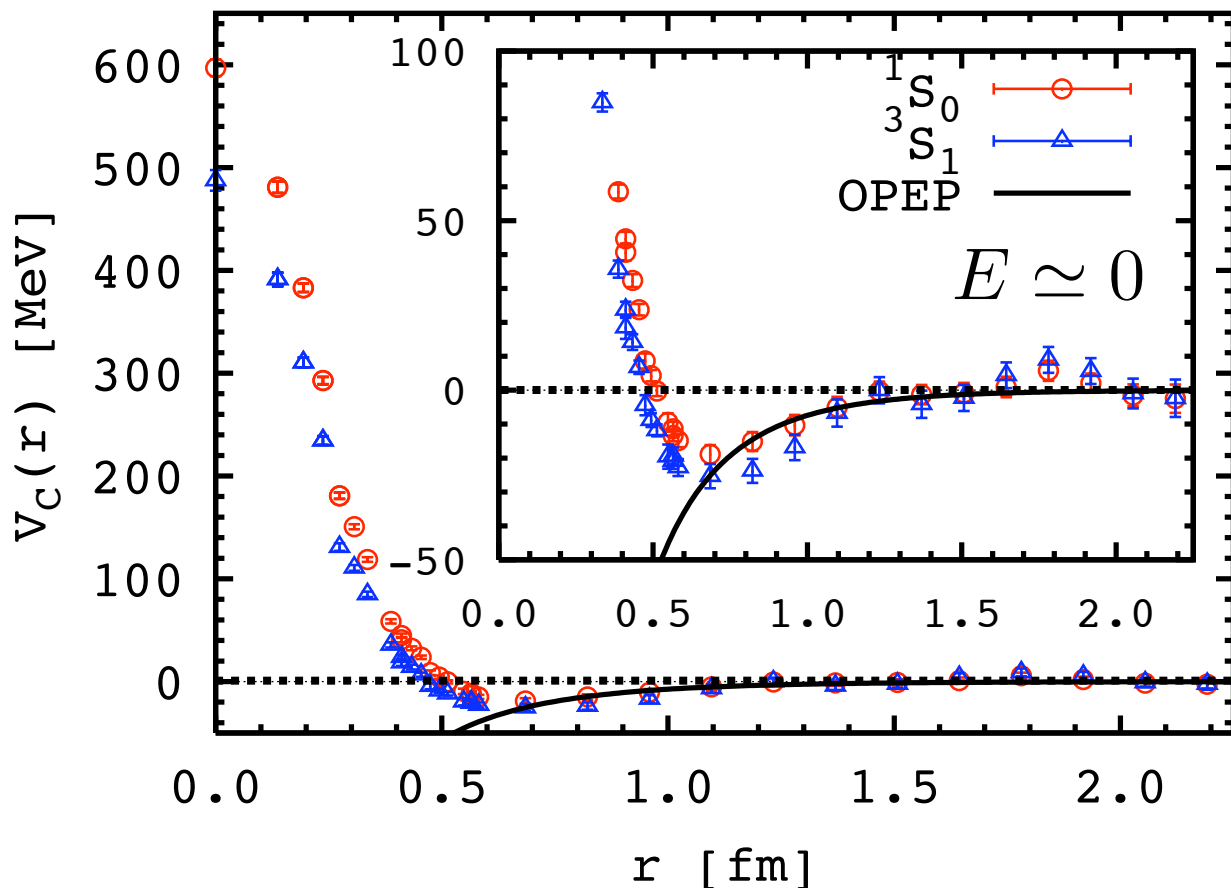
N. Ishii S. Aoki and T. Hatsuda, Phys.Rev.Lett. 90(2007)0022001

NN (effective) central potentials

Quenched QCD

$$m_\pi \simeq 0.53 \text{ GeV}$$

現象論的核力ポテンシャル



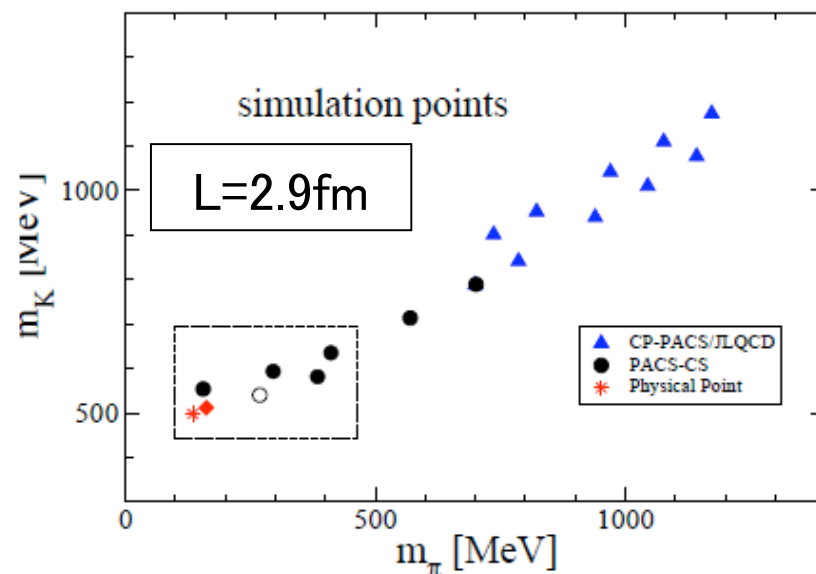
Nature Research
Highlights 2007

“The achievement is both a computational *tour de force* and a triumph for theory.”

最終的な結果を得るにはFull QCDによる計算が必要！

2008年夏までに生成されていたゲージ配位

PACS-CS Collaborationが生成したゲージ配位
を用いて核力ポテンシャルを計算する



2009年4月前後に公開予定のゲージ配位

$\kappa_{ud}=0.13700$ $\kappa_s=0.13640$	Mpi=701 MeV	L=2.9 fm
$\kappa_{ud}=0.13727$ $\kappa_s=0.13640$	Mpi=570 MeV	L=2.9 fm
$\kappa_{ud}=0.13754$ $\kappa_s=0.13640$	Mpi=411 MeV	L=2.9 fm
$\kappa_{ud}=0.13754$ $\kappa_s=0.13660$	Mpi=384 MeV	L=2.9 fm
$\kappa_{ud}=0.13770$ $\kappa_s=0.13640$	Mpi=296 MeV	L=2.9 fm
$\kappa_{ud}=0.13781$ $\kappa_s=0.13640$	Mpi=156 MeV	L=2.9 fm

○ 2008年度にほぼ計算が終了

○ 2008年度にほぼ計算が終了

2009年度に計算予定

2009年度に計算予定

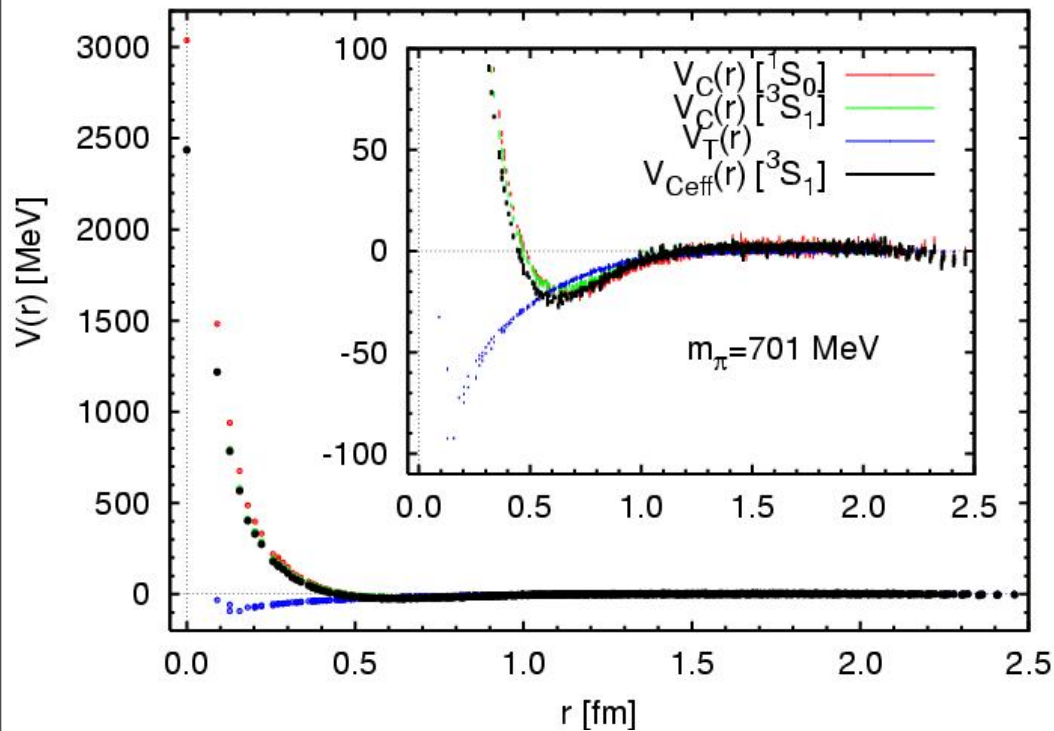
△ 2008年度に一部の計算が終了

2009年度に計算予定

2008年度の成果 I. NN potential

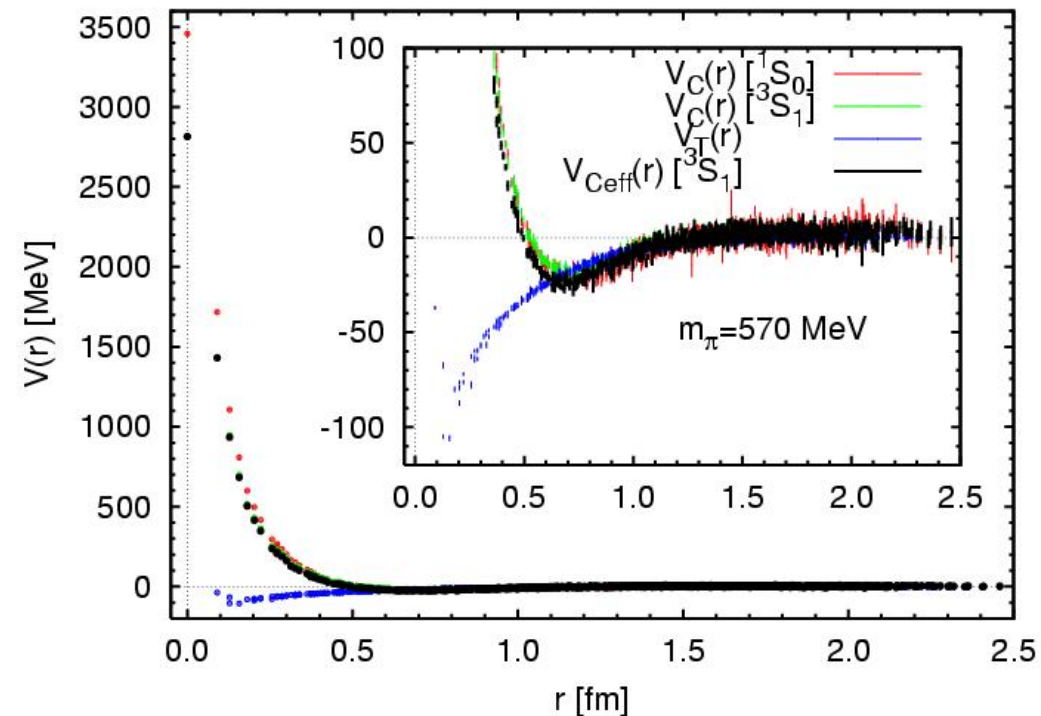
$$\kappa_{ud}=0.13700, \kappa_s=0.13640$$

($m_{\pi} \sim 702 \text{ MeV}$)



$$\kappa_{ud}=0.13727, \kappa_s=0.13640$$

($m_{\pi} \sim 570 \text{ MeV}$)



- 中心力だけでなく、テンソル力も計算可能になった (テンソル力に斥力芯はないようだ)
- π 中間子の質量を軽くすると斥力芯も高くなるが、引力も少し深くなりその領域が広がっていく。

2008年度の成果 II. ΛN potential

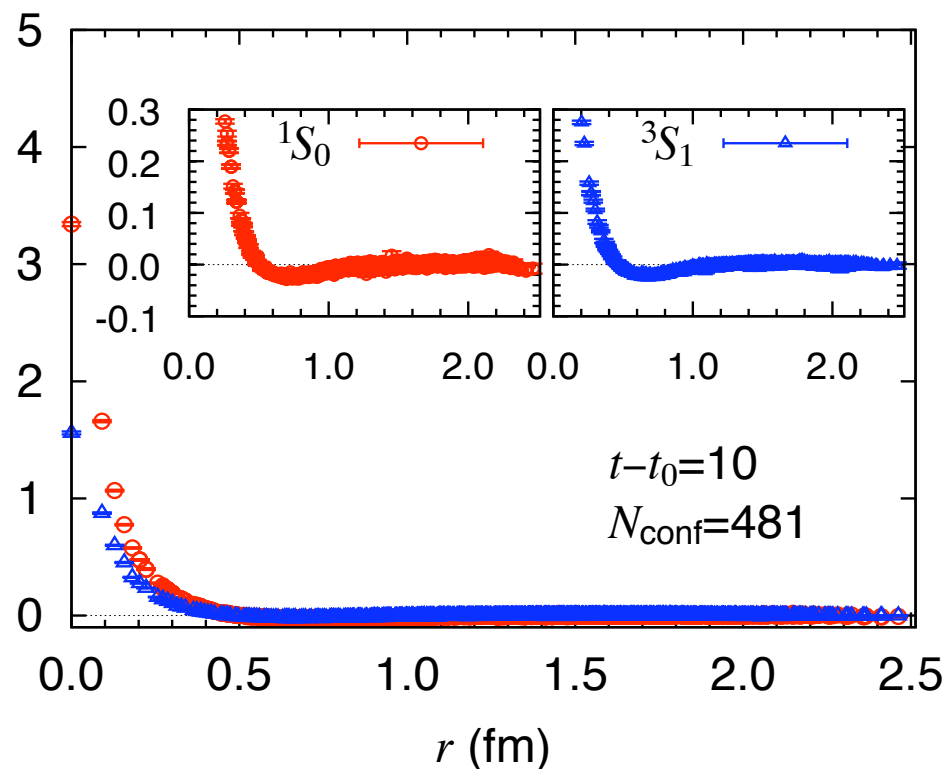
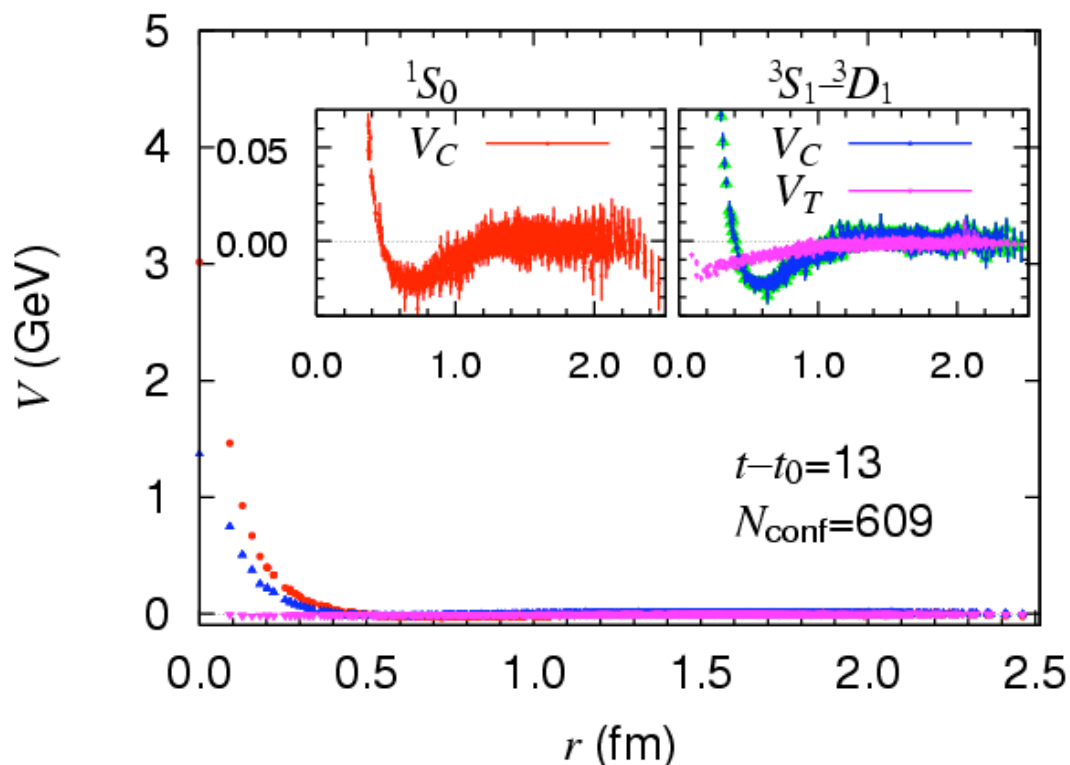
Λ : strange quarkを1つ含むバリオン

$$\kappa_{ud}=0.1, \kappa_{ud}=0.13700, \kappa_s=0.13640$$

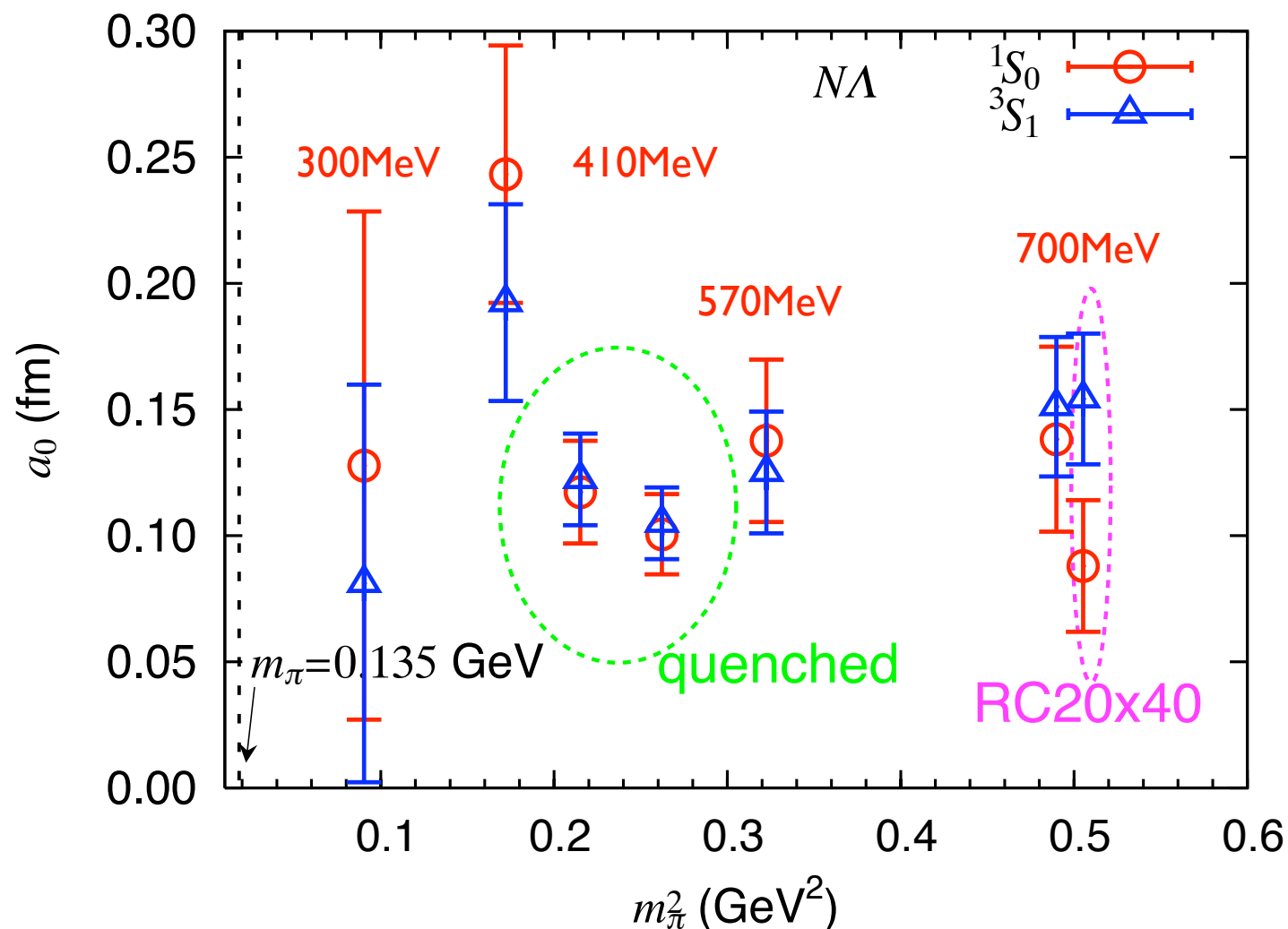
(m_π ($m_{\pi} \sim 702 \text{ MeV}$)

$$\kappa_{ud}=0, \kappa_{ud}=0.13727, \kappa_s=0.13640$$

(π ($m_{\pi} \sim 570 \text{ MeV}$)



- 中心力、テンソル力が計算可能、振る舞いはNNと類似
- π 中間子の質量依存性を見るには統計を上げる必要有り。斥力芯は高くなっている



- full QCDの方が大きい
- π 中間子の質量を軽くすると増大傾向
- 実験値はないが、ハイパー核構造からの予想値は1-2fm程度

2009年度の課題

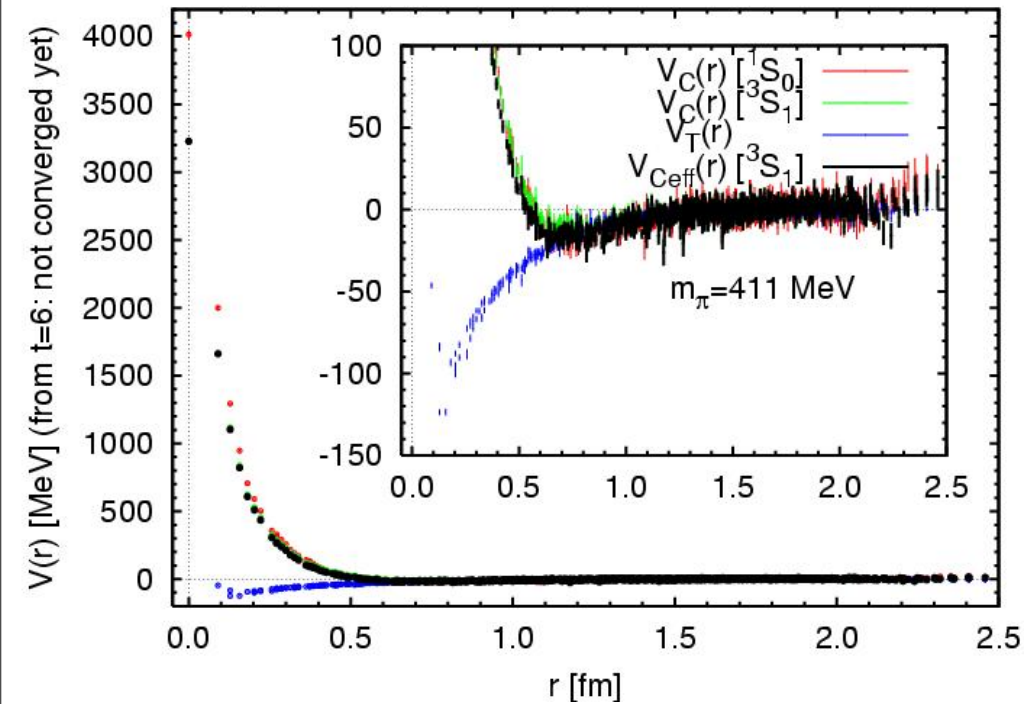
- π 中間子質量=700MeV, 570MeVの解析の完了
- 300MeVの統計を上げる
- 410MeV, 380MeVでの計算を行う
- ポテンシャルの π 中間子質量依存性の研究
- 散乱長の π 中間子質量依存性の研究
- 物理点での計算(L=3 fm vs. 6 fm)

Present Status

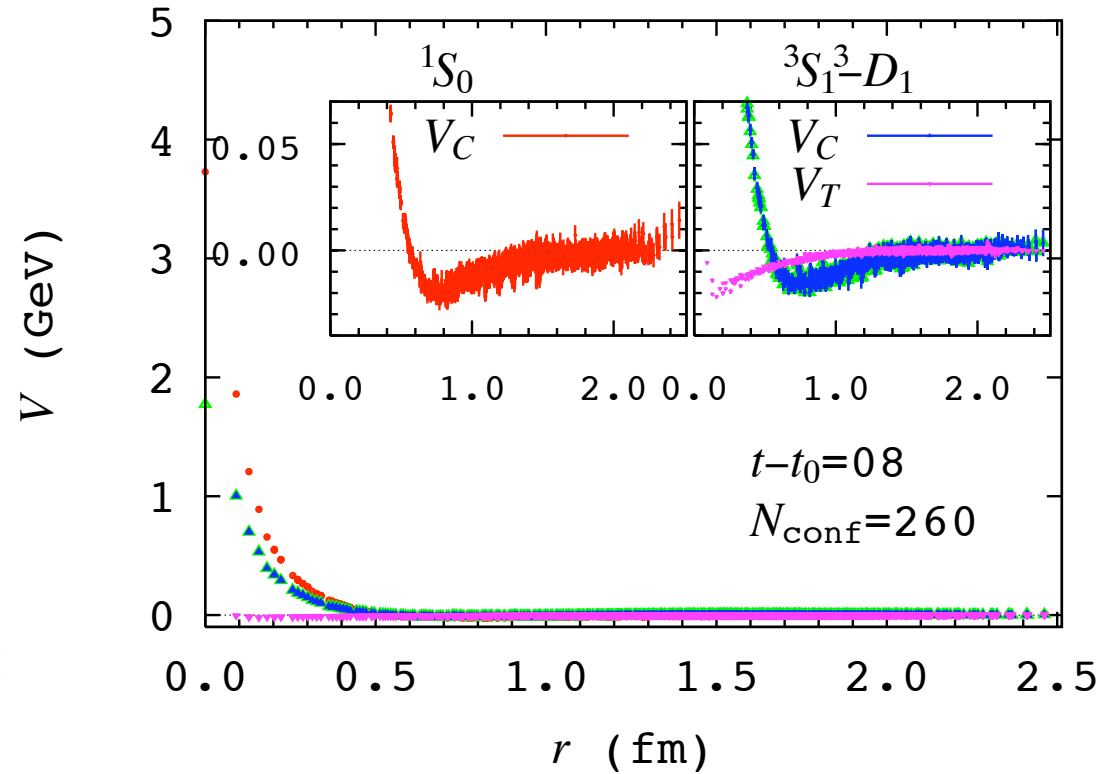
Preliminary

$$\kappa_{ud}=0.13754, \kappa_s=0.13640$$

($m_{\pi} \sim 411$ MeV)



NN



AN

- 引力が外に広がっていくようだ。