

理論班報告

保坂 淳

RCNP, Osaka Univ.

8月4日(木), 2011@名古屋大学

物理のスタイル 分解 and 再構成

分解

Find fewer constituents and simple laws
Pursue the frontier

$$L = -\frac{1}{2} G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} + \bar{q} (i\mathcal{D} - m) q$$

再構成

Reconstruct the world from constituents
Explain the diversity and complexity

PDG ~ over 1400 pages

4 gauge bosons, 3(6) leptons, *182 mesons and 136 baryons*

Weakly coupled (bound) groups

ハドロン分光

Quark models for qqq , Qqq , ... $QQ\bar{q}\bar{q}$
Hadronic composites qqq - qq , qqq - Qq , ...

Takeuchi, Takizawa, Yasui,

Harada, Ma, Kanchan

Their mixings Nagahiro, Nawa

反応

Scatterings, productions, ...

Jido, Hyodo, Hosaka

真空／無限物質の性質 温度密度

Chiral theory, Holographic model

Harada, Nakamura, Suganuma

QCD有効模型

HLS --> Holographic

Nakamura, Suganuma

クォーク間相互作用

Lattice

Suganuma, Morimatsu

構造関数

Quark distributions, fragmentations

Kumano, Saito, Kawamura, Morimatsu

Activities

研究員: Y.L. Ma (Nagoya), S. Nakamura (Kyoto)
K.Khemchandani (RCNP), H. Kawamura, S. Yasui (KEK)

滞在者: A. Titov, H-Ch Kim, V. Dmitrasinovic, ...

ハドロンスクエア:

6 times, incl. series of lectures by S. Nakamura

サマースクール:

8/18-20, 2010, Osaka, JICA

Quark model, Structure function, Holographic QCD

8/9 – 12, 2011, Osaka University

χ PT&Skyrmion, Reactions, Holographic QCD

Activities

Baryons'10: 12/7-11, Osaka Univ.
170 participants, incl. Y. Nambu



Aug

目的

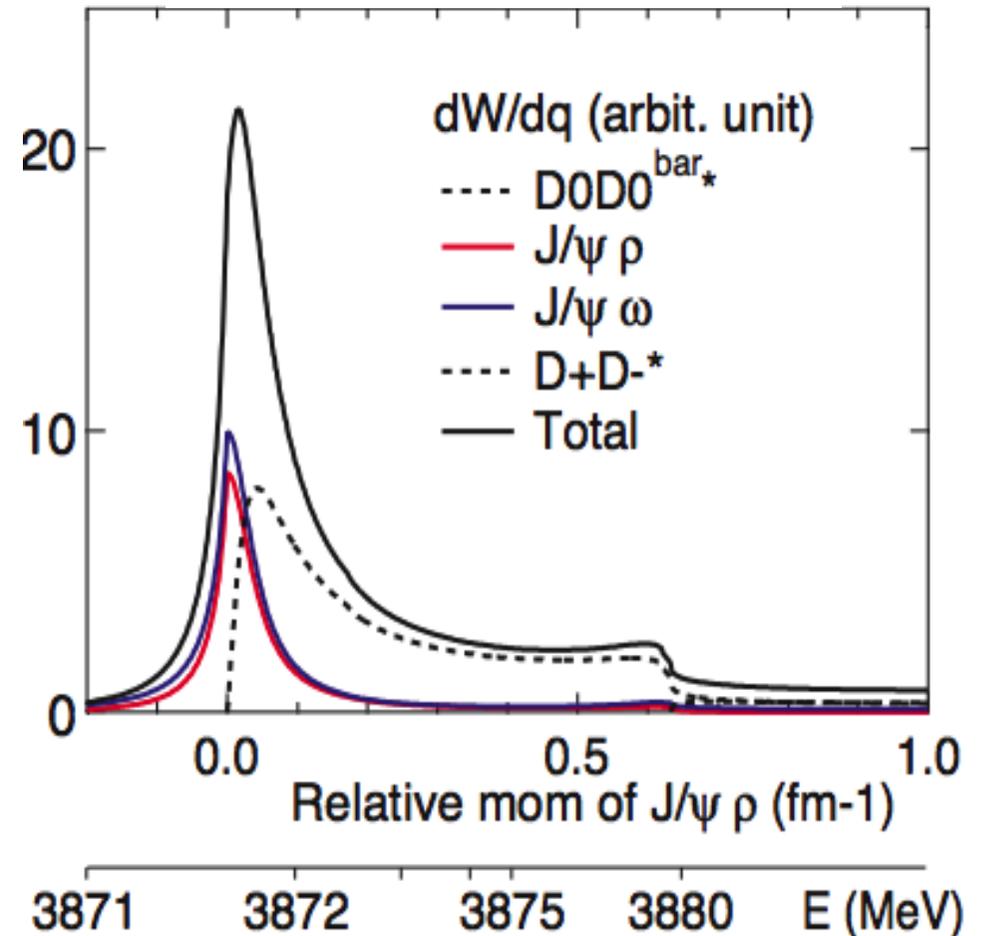
計画研究E01は本領域研究の理論的考察を担う。QCDに基づいて、**散乱・生成崩壊**等の動的過程を含めた分光学、少数系からマクロスケールにわたるハドロン物質の性質等、多様な現象の記述とともに、その背後にある非摂動機構の解明を目指している。数百MeVの Λ_{QCD} スケールを境にその動力学的性質は変わり、エネルギーやフレーバー領域に対応した考察が要求される。まずはそれぞれの領域で重要となる非摂動効果を考慮し、本領域の計画研究班で得られる最新のデータを含めて、**現象との比較**を進めていくことが、本研究の第一の目的である

主な成果

(1) マルチクォーク成分混合によるX(3872)の理解

X(3872)を $(c\bar{q})(q\bar{c})$ と $(c\bar{c})$ とが結合した状態とすると isospin 0 と 1 が強く混合した状態となる事を示した。また $(c\bar{c})$ 芯と結合した2中間子とすると、質量スペクトルが実験と無矛盾となること、更に ρ, ω の幅を考慮して $(c\bar{c})$ からの崩壊強度関数を計算すると、3872 MeV 近傍にピーク質量を持ち、 2π と 3π への崩壊比がほぼ1という実験結果を説明し得る事を示した(右図)。

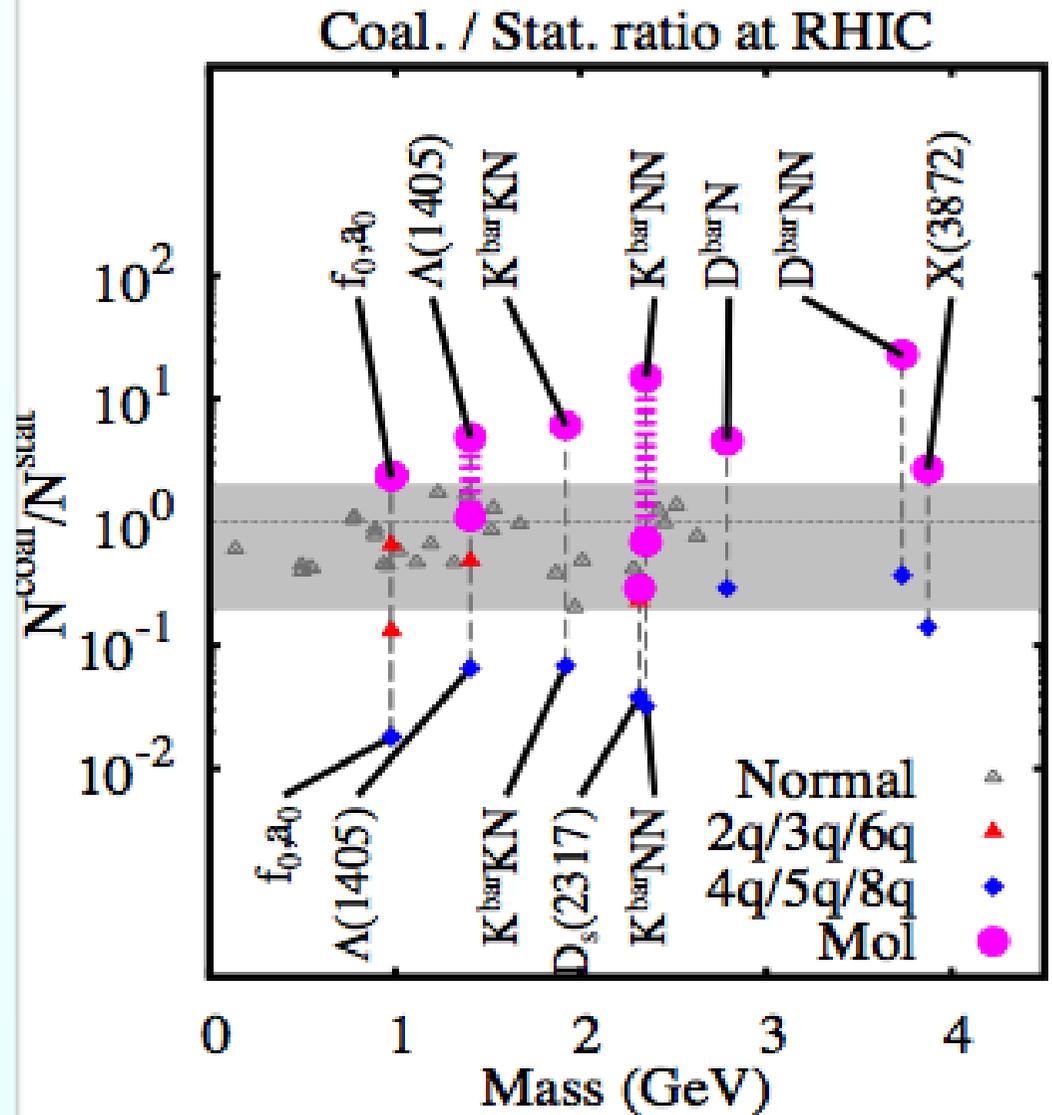
X(3872)の崩壊強度関数



主な成果

(3) 重イオン衝突におけるハドロン生成

重イオン衝突の多重発生反応で、マルチクォークあるいは分子状態を持つハドロンの生成率を quark coalescence モデルと統計モデルを用いて評価した。その結果ハドロン分子的な構造を持つ状態の生成率がマルチクォーク状態より大きいことがわかった(右の図上方、ピンクの点)。今後は Belle における $e+e-$ 実験でもこの考え方が適用できるかどうかの検討を進める。

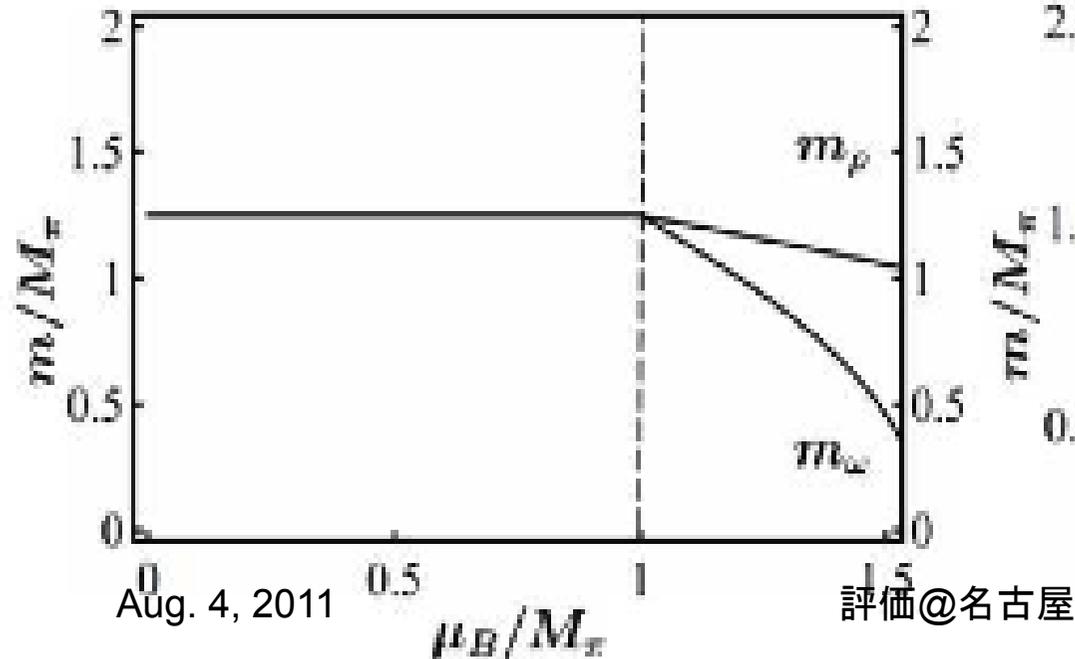


主な成果

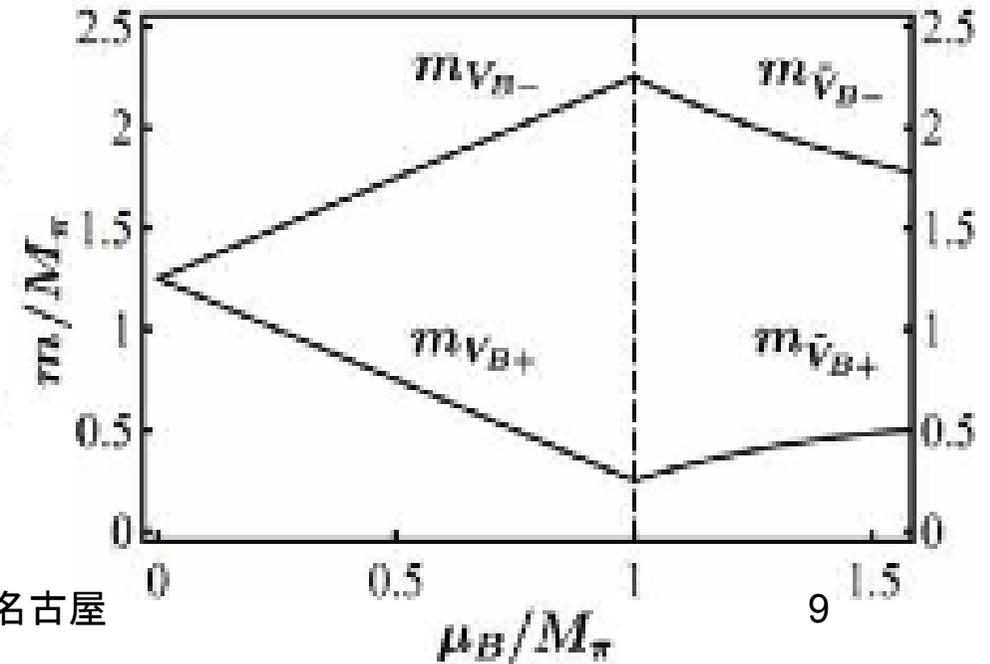
(4) 有限密度物質中におけるハドロンの性質変化

カラーSU(2)QCDによって有限密度中でベクトル中間子とベクトルqqバリオンと反バリオンの質量を計算した(下の図)。有限密度における軽いフレーバーからなるハドロンは質量生成機構と密接に関係している。今後はカラーSU(3)への拡張を図るとともにJPARCで予定される実験との関連を調べる

ベクトル中間子の質量量



バリオンの質量

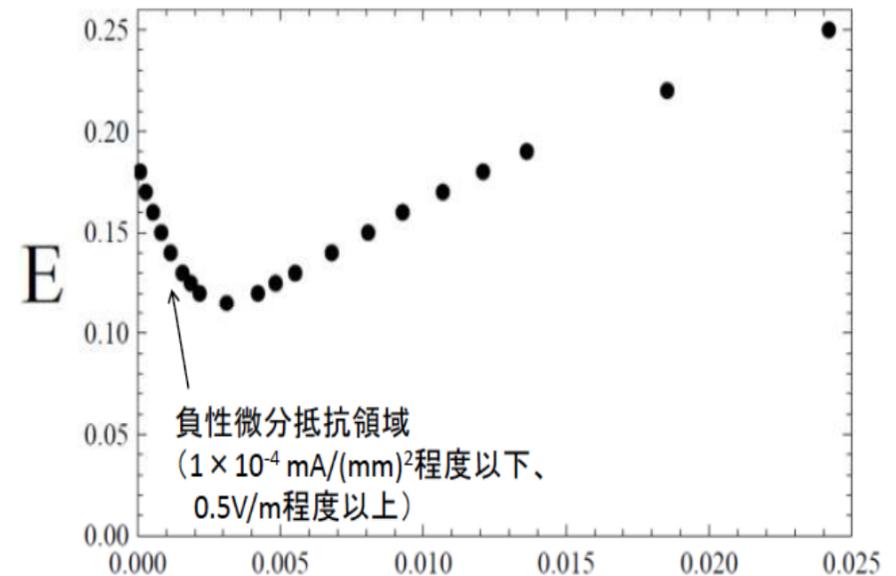


主な成果

(5) プラズマ中のクォークの非線形伝導度

強い相互作用をする物質中では、線形応答を超えた非平衡過程の記述が要求される。本研究ではAdS/CFT対応の方法によって、クォーク・グルーオン系のクォーク電荷の非線形伝導を調べた。その結果、物性系の強相関絶縁体にもみられる負性微分抵抗を、3+1次元微視的理論に立脚して初めて理論的に説明した(右図)。非平衡過程の記述は近代物理学が抱える未解決問題の一つであり、本研究はこの未解決問題に新たな手法を提供するものである。

電流・電場特性の一例



温度: ~ 5 K
微細構造定数: $\sim O(1)$
スケール単位: mili eV

J

以下は

ハドロン分子と混合

異なるエネルギースケール

$$E \ll \Lambda_{\text{QCD}}$$

Chiral symmetry is there but spontaneously broken

Light quark masses are generated by interactions

Pion ($J^P = 0^-$) energies \Rightarrow interaction

Spin-isospin-orientation dependent \Rightarrow Complicated

Chiral dynamics \Rightarrow Low momentum expansion, $p \ll \Lambda_{\text{QCD}}$

$$E \gg \Lambda_{\text{QCD}}$$

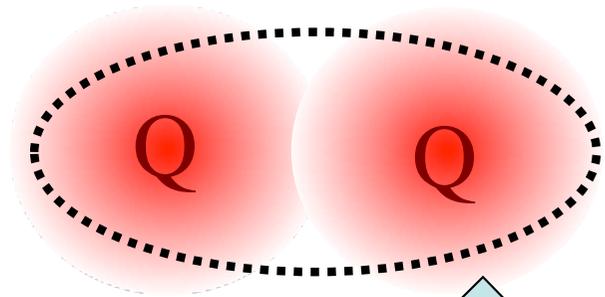
Chiral dynamics is rather irrelevant

Bare quarks are good constituents?

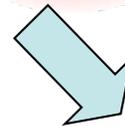
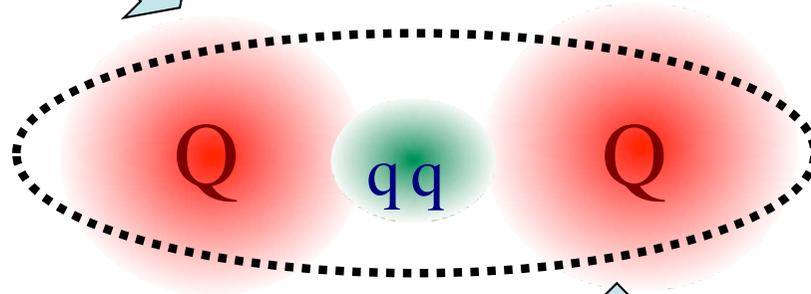
Gluon force

Spin force suppressed \Rightarrow *Heavy quark symmetry, $m_Q \gg \Lambda_{\text{QCD}}$*

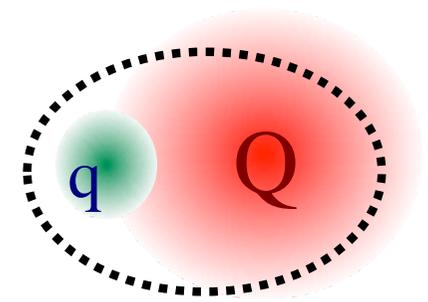
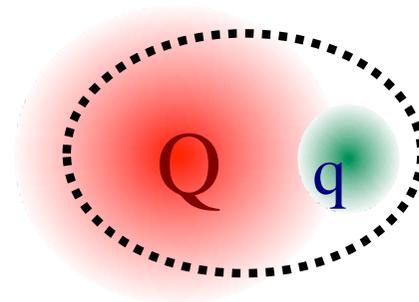
しかし 励起を伴うと



Ground (Low lying) states



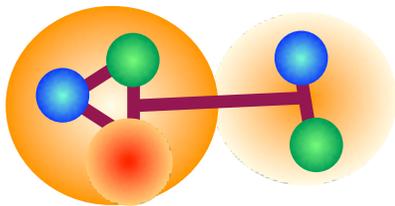
Excited states
Light quarks appear



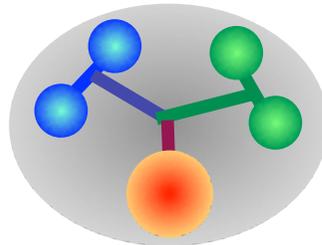
This is perhaps the case for:

$\Lambda(1405)$, $X(3872)$, ...

Multiquark components may appear:
What configurations survive hadrons?

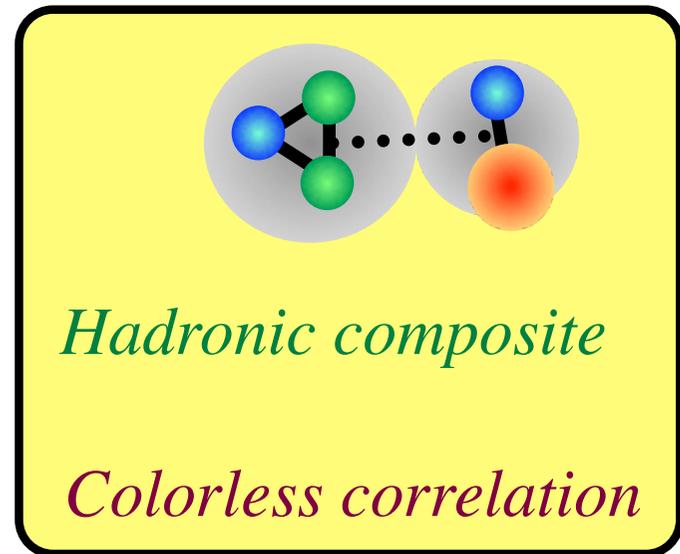


Triquark



Diquark

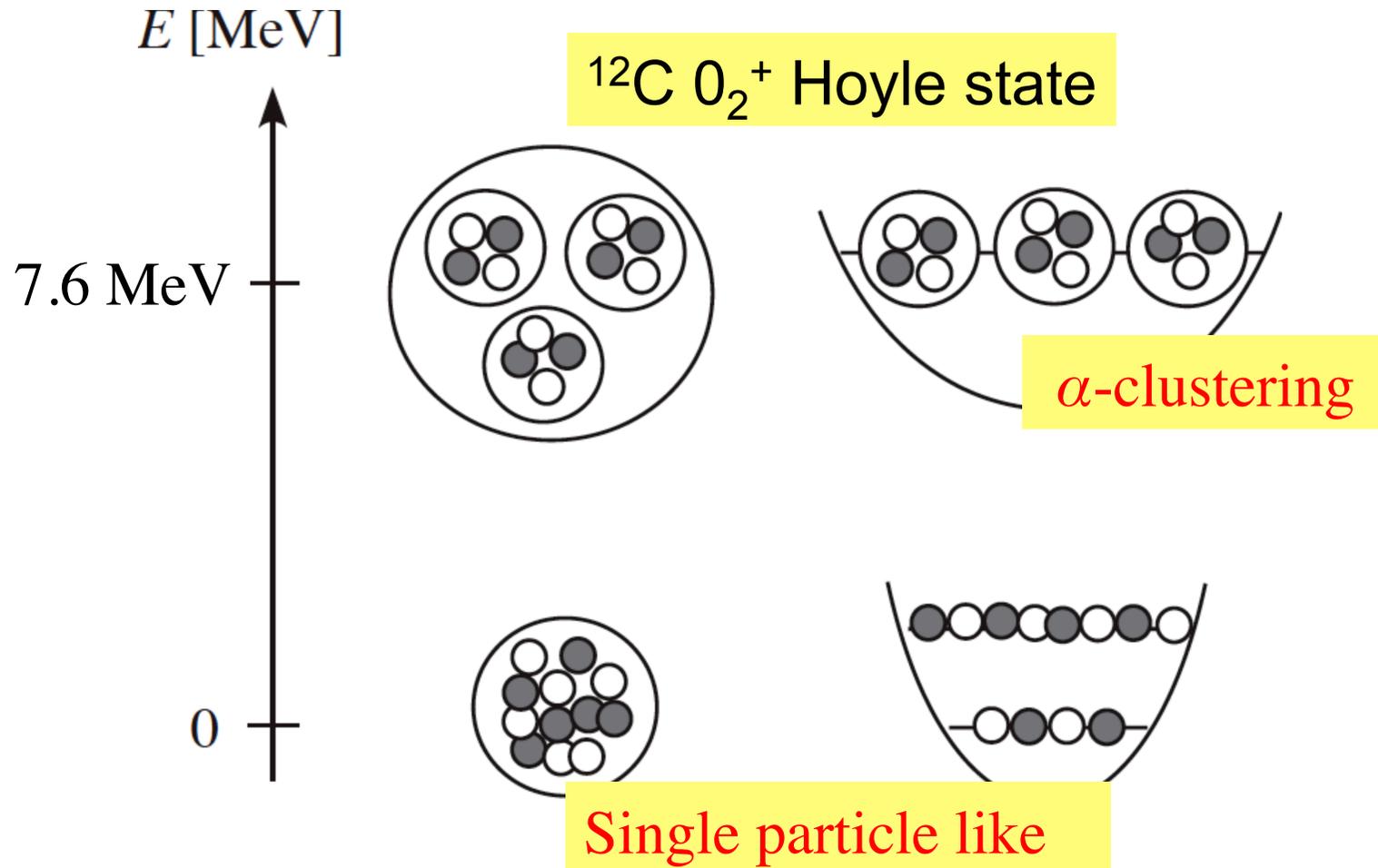
Colored correlation



Hadronic composite

Colorless correlation

Example in Nuclear Physics



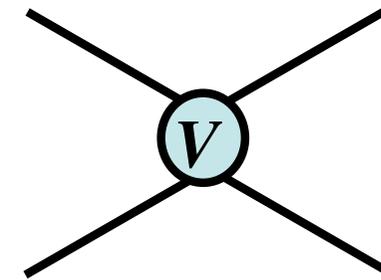
これまで

原子核以外 ($B=0, 1$) の
ハドロン多体系は見つかっていない

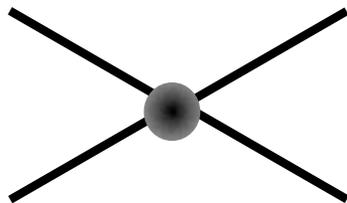
Questions of hadron compositeness

Interaction V

Chiral symmetry



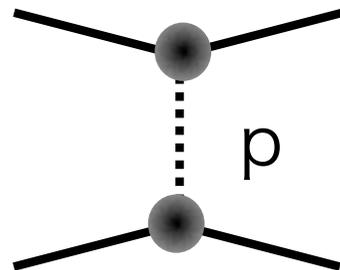
ρ -exchange (*short range*) \sim WT



$\delta(x)$ or typical hadron size ~ 0.5 fm

Pion exchange (*long range*)

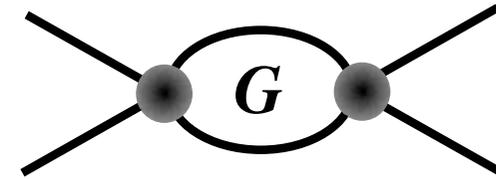
\sim tensor force in NN (deuteron)



$$\frac{1}{q^2 + m_\pi^2} \sim 1.4 \text{ fm}$$

ρ -exchange (*short range*) \sim WT

Natural condition for hadronic composite
corresponding to hadron size ~ 0.5 fm



Cut-off scheme

$$G(E) \sim i \int \frac{d^4 q}{(2\pi)^4} \frac{2M}{(P-q)^2 - M^2 + i\epsilon} \frac{1}{q^2 - m^2 + i\epsilon} \sim \sum_n^{\Lambda} \frac{1}{E - E_n} \quad \Lambda \sim 0.5 - 1 \text{ GeV}$$

Dim-reg. scheme

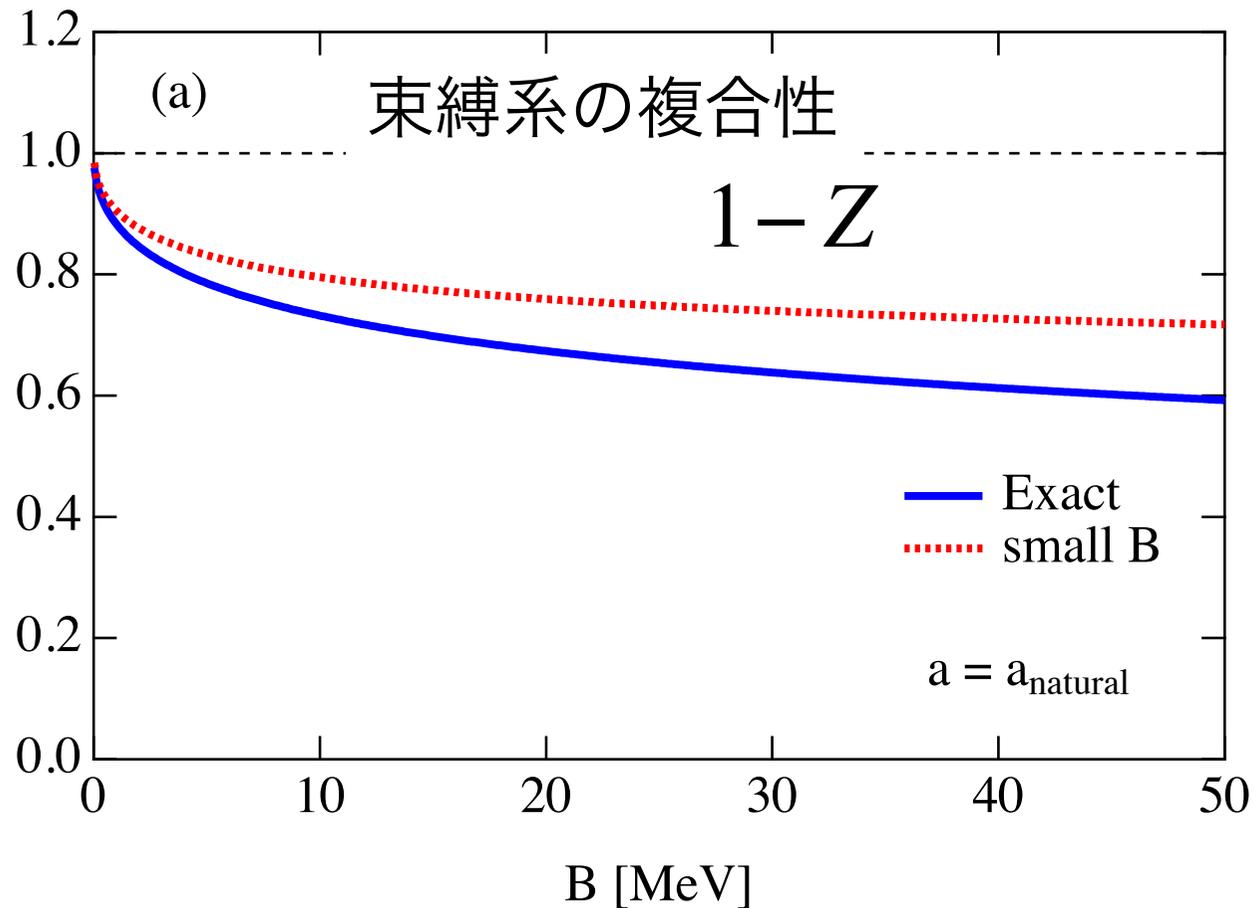
$$G(\sqrt{s}) = \frac{2M_T}{(4\pi)^2} \left\{ \underline{a(\mu)} + \ln \frac{M_T^2}{\mu^2} + \frac{m^2 - M_T^2 + s}{2s} \ln \frac{m^2}{M_T^2} \right. \\ \left. + \frac{\bar{q}}{\sqrt{s}} [\ln(s - (M_T^2 - m^2) + 2\sqrt{s}\bar{q}) - \ln(-s + (M_T^2 - m^2) + 2\sqrt{s}\bar{q}) \right. \\ \left. + \ln(s + (M_T^2 - m^2) + 2\sqrt{s}\bar{q}) - \ln(-s - (M_T^2 - m^2) + 2\sqrt{s}\bar{q})] \right\} \quad a \sim -2$$

T. Hyodo, D. Jido, A. Hosaka, Phys.Rev.C78:025203,2008;

Compositeness

束縛状態は複合系か、もとの理論にないような成分を含むか

相互作用の性質による



Pion Dominance

テンソル力

ハドロン物理、特に重いクォークを含んだ系

Heavy Q symmetry for $\bar{D} \bar{D}^*$ --> Coupled channel of $\bar{D}N$ and \bar{D}^*N

Yasui-Sudoh, PRD80, 034008, 2009

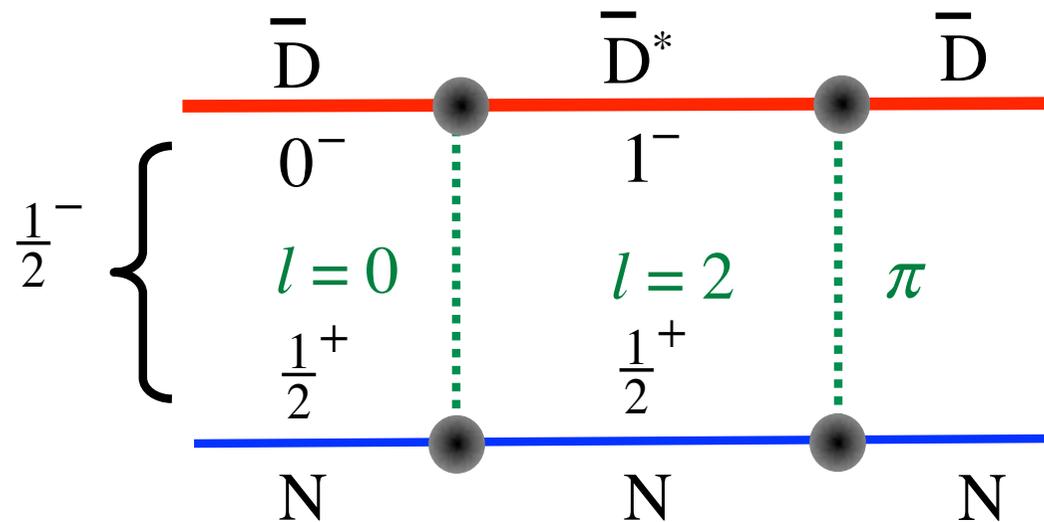
Yamaguchi-Ohkoda-Yasui-Hosaka, arXiv:1105.0734 [hep-ph] 2011, in press PRD

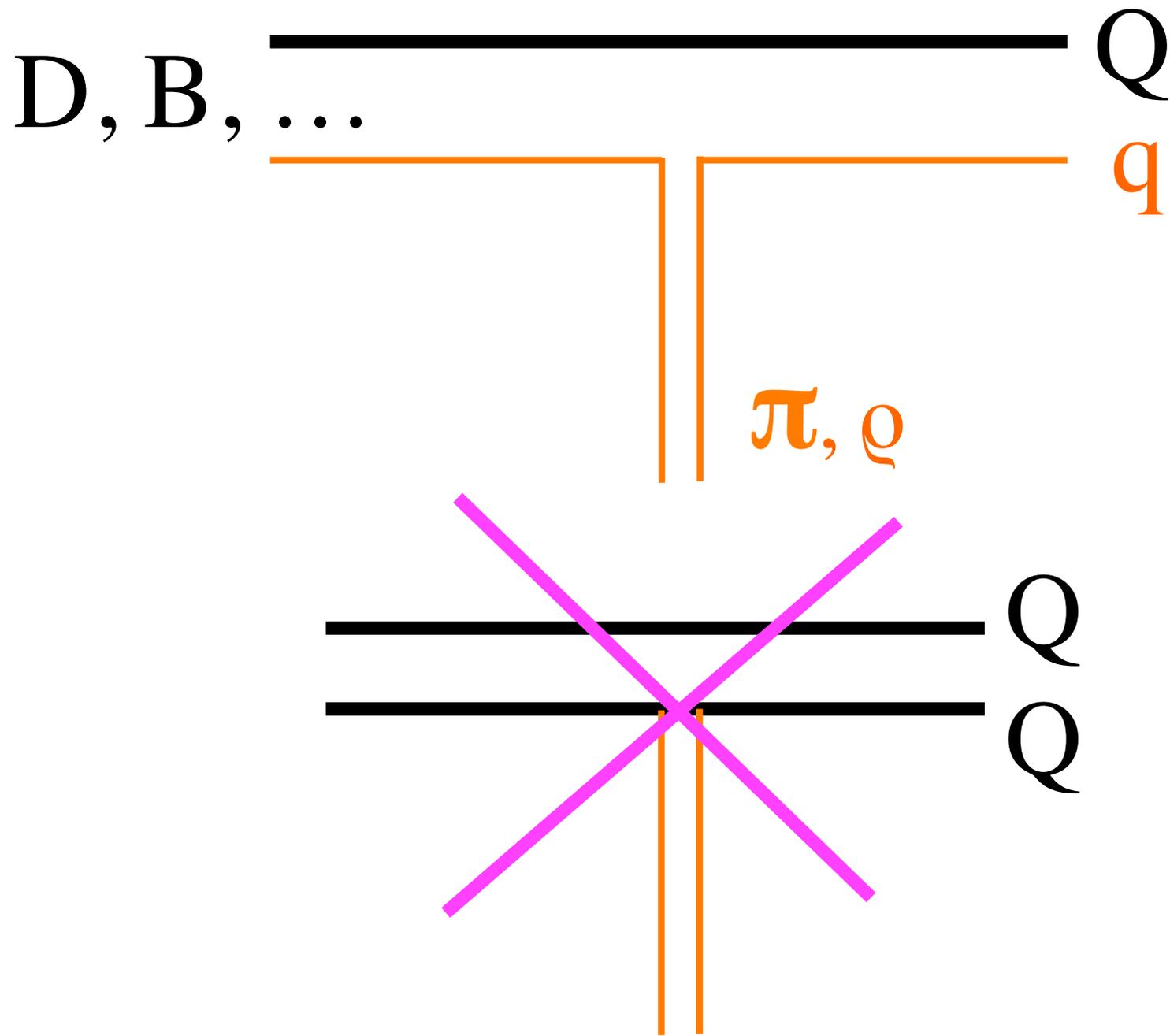
Tensor of OPEP

$$m_{K^*} - m_K \sim 400 \text{ MeV}$$

$$m_{D^*} - m_D \sim 140 \text{ MeV}$$

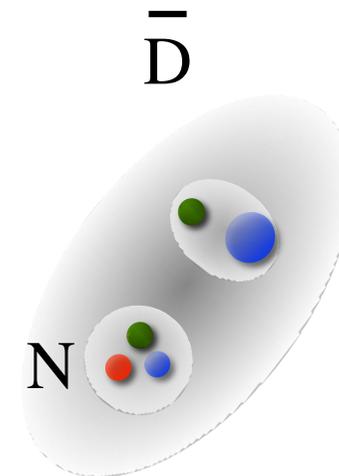
$$m_{B^*} - m_B \sim 35 \text{ MeV}$$



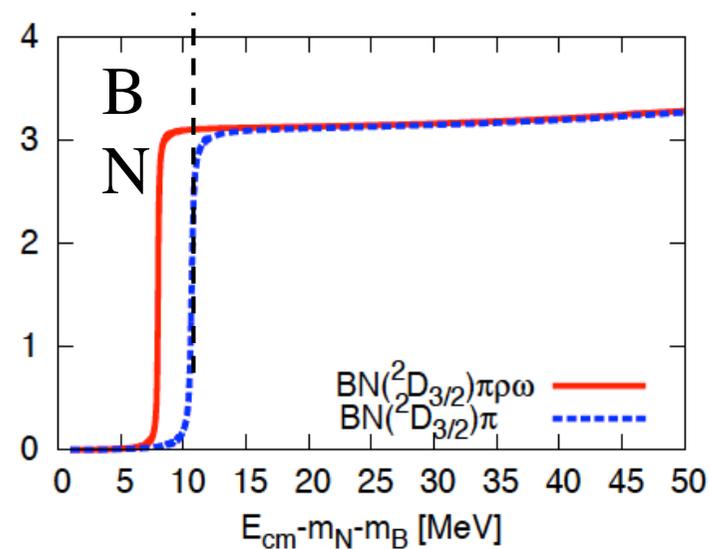
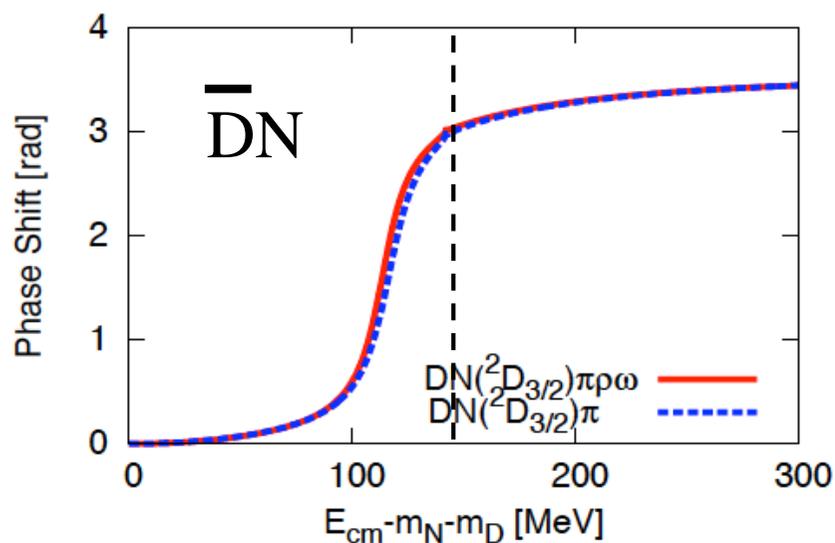


Bound states: $l, J^P = 0, 1/2^-$

	$\bar{D}N(\pi)$	$\bar{D}N(\pi\rho\omega)$	$BN(\pi)$	$BN(\pi\rho\omega)$
E_B [MeV]	1.60	2.14	19.50	23.04
$\langle r^2 \rangle^{1/2}$ [fm]	3.5	3.2	1.3	1.2



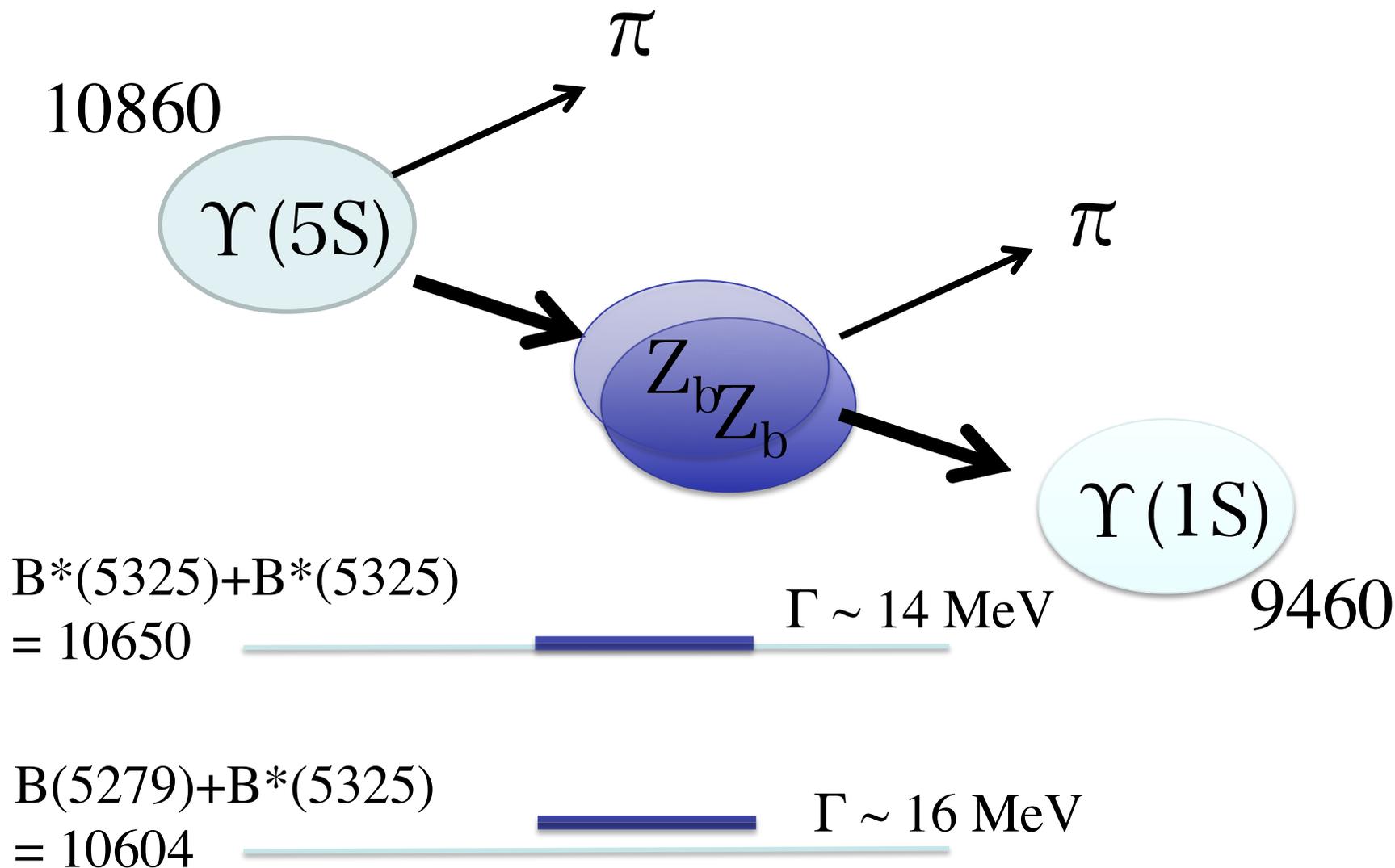
Feshbach resonance for $3/2^-$ of \bar{D}^*N, BN



Belle's discovery $Z_b(10610, 10650)$

arXiv:1105.4583v1 [hep-ex]

$$I^G(J^P) = 1^+(1^+)$$

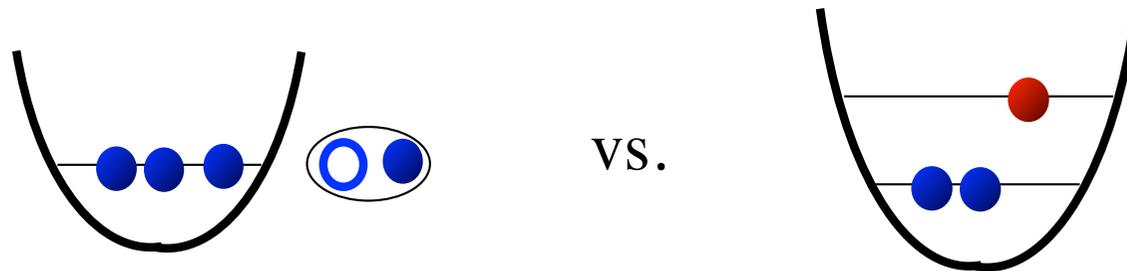


複合と素の共存

Example of a_1 : Nagahiro

$$|a_1\rangle_{\text{phys}} = c_1 \left| \begin{array}{c} \text{r} \\ \text{p} \end{array} \right\rangle_{\text{composite}} + c_2 \left| a_1 \right\rangle_{q\bar{q}} + \dots$$

Reasonably truncated model space



Maskawa's Dr. thesis

粒子と共鳴準位の混合効果について

素 複合

Maskawa Toshihide

益川 敏 英

名古屋大学 物理教室
Nagoya Univ. Physics Dept.

1967. 2.

... handwritten 19 pages

Published in PTP38, 190 (1967)

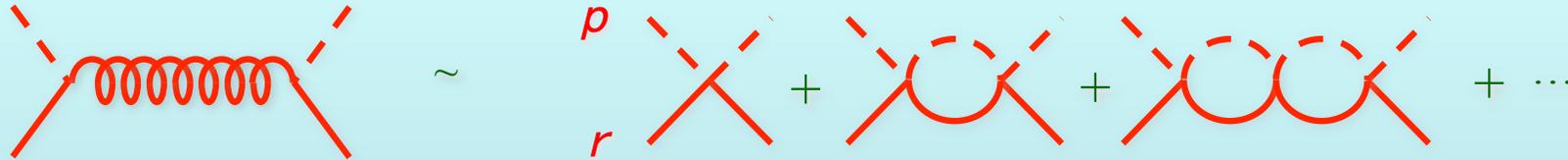
A model for π , ρ and a_1

Hidden Local Symmetry or *Holographic* model

Bando-Kugo-Yamawaki
Phys. Rept., 164 (1988) 217

Sakai-Sugimoto
PTP113(05)843; PTP114(05)1083

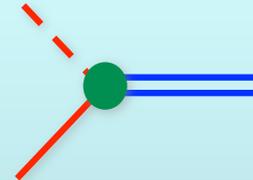
(a) 複合, dynamically generated



(b) 素, $q\bar{q}$



(c) 結合



mixing with
the strength χ

$$0 < \chi < 1$$

Hamiltonian

$$H = \begin{pmatrix} H_{\pi\rho} + v_{WT} & v \\ v & M_{a_1} \end{pmatrix}$$

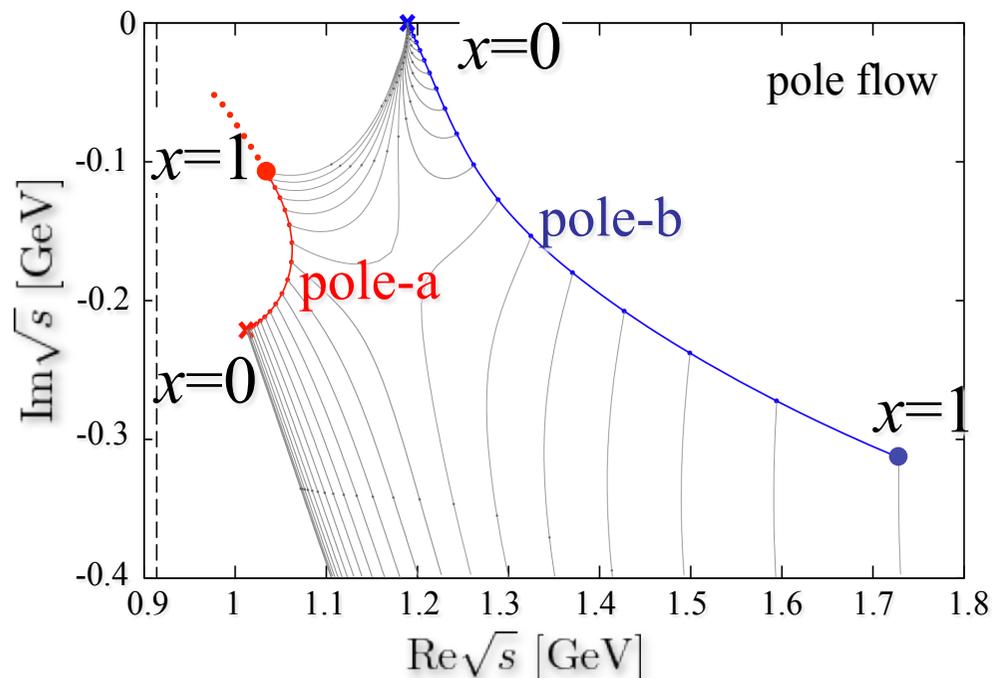
LS-equation

\rightarrow

T-matrix

$$T = \begin{pmatrix} T_{\pi\rho \rightarrow \pi\rho} & T_{\pi\rho \rightarrow a_1} \\ T_{a_1 \rightarrow \pi\rho} & T_{a_1 \rightarrow a_1} \end{pmatrix}$$

mixing properties in QF



$$[\hat{G}_{\text{full}}]^{11} = \frac{z_a^{11}}{E - E_a} + \frac{z_b^{11}}{E - E_b}$$

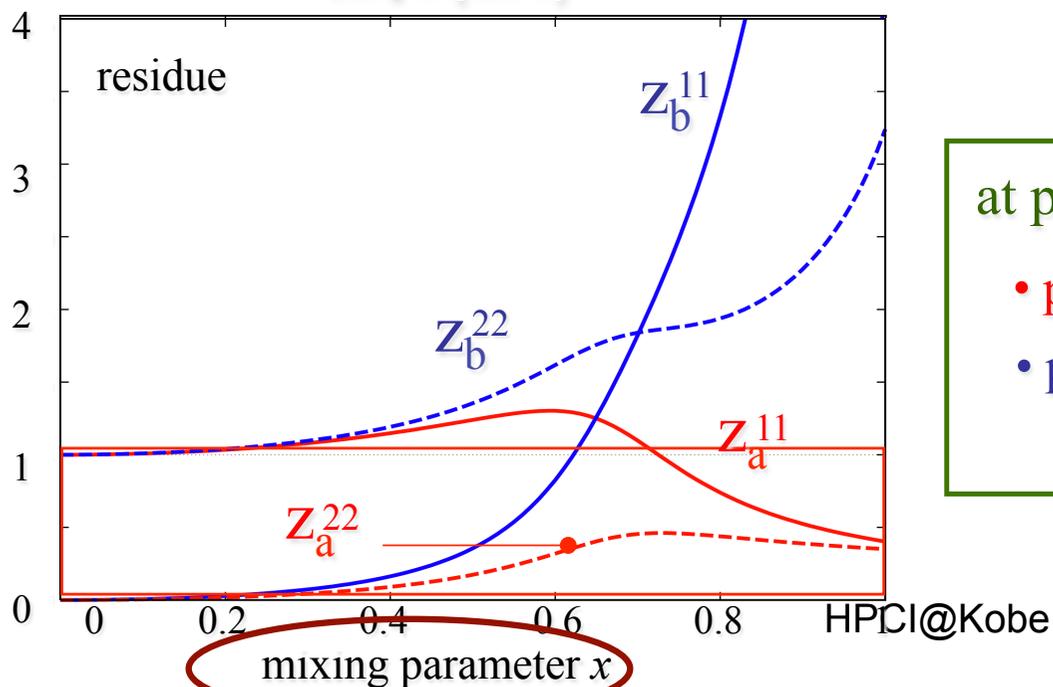
$$[\hat{G}_{\text{full}}]^{22} = \frac{z_a^{22}}{E - E_a} + \frac{z_b^{22}}{E - E_b}$$

z_a^{11} ... composite

z_a^{22} ... bare

z_b^{11} ... composite

z_b^{22} ... bare



at physical point ($x=1$)

- pole-a remains as a “molecule”
- pole-b changes into a “molecule”

→ both poles have molecule comp.

ハドロン物理

フレーバーを変える 軽 → 重

Generation of constituent quarks (カイラル対称性)

quark interaction (Lattice) => (colored) correlations

Change in the dynamics as functions of M

クラスターの生成と状態の共存

Hadronic composites

マルチクォークの階層

$$\bar{q} \sim [qq], q \sim [\bar{q}\bar{q}]$$

$$\bar{q}q \sim [qq]q, qqq \sim [\bar{q}\bar{q}]qq, \bar{q}\bar{q}\bar{q} \sim [qq][qq]\bar{q}$$

スケール依存 structure/dynamics

(deep inelastic to low q regions)

有限温度、密度での性質 (閉込め、グルーオン)