

量子クラスターで読み解く物質の階層構造

Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems

領域ニュース

vol.4 2019/2/28 発行



領域ニュースでは、各計画研究や公募研究でどのような研究を行うのかを紹介していきます。

計画研究 A02 班「クォーククラスターで読み解くクォーク・ハドロン階層構造」



研究代表者 大西宏明（東北大学・電子光理学研究センター・教授）

新学術領域研究「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」では、クォークからハドロン、原子核、原子、分子に至る物質の階層構造を貫く共通法則と普遍性を見出し、さらに普遍性からのずれとして現れる各階層の多様性とその機構の解明を目指しています。

素粒子であるクォーク、グルーオンの力学は強い相互作用の基礎理論である量子色力学により記述されます。量子色力学では、クォークは単体では存在できず、通常環境下では強い相互作用で形作られる粒子“ハドロン”の内部に閉じ込められています。しかしながら、宇宙初期の超高温状態や中性子星内部の超高密度状態といった極限的環境下においては、閉じ込めから解放された量子多体系であるクォーク・グルーオンプラズマ (QGP) へと相転移すると考えられています。

A02 班では、宇宙初期状態のような高温環境下で、素粒子クォークが自由に飛び回っている階層（クォーク層、QGP 相）から温度が冷え、クォークがハドロンの中に閉じこもった階層（ハドロン層）、そして原子核層に至る物質の創成機構の道筋において、各階層を記述する有効自由度、すなわち層を代表するクラスターの間にはどのような相互関係があるのか、また各層の中間にセミ階層が存在するかどうか、さらにそのセミ階層を代表するクラスターがどのような条件下で分離してくるのか（階層の分離とセミ階層発現の閾値則）に関する実験的な研究を、“ハドロン”に着目して進めていきます。特に我々は（1）ハドロン内部に存在するセミ階層の1つの形と言える“ダイクォーク”がハドロンを記述する有効な準粒子になり得るのか？また、（2）ハドロンの新形態と言え

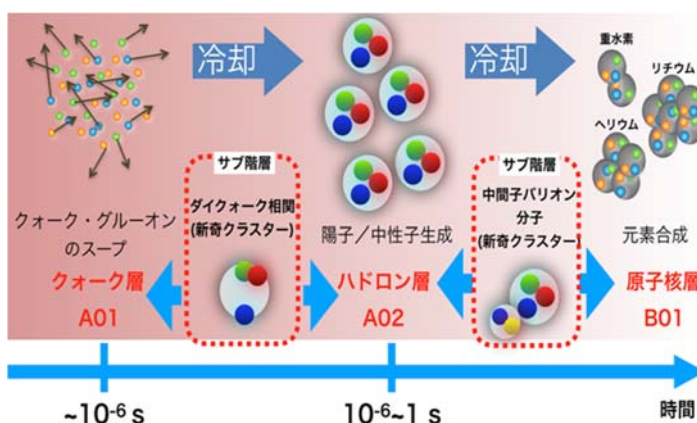


図1：クォーク層-ハドロン層の間に広がるセミ階層と新奇クラスター。

る5つのクォークを持つバリオン（ペンタクォークバリオン）が本当に存否するのか？さらに（3）ハドロン階層と原子核階層の間に、強い相互作用を媒介する粒子として導入された中間子をその構成要素（準粒子）として持つハドロンが存在するのか（ハドロン分子状態の存否）？を明らかにすることを目標としています。

具体的な研究の方向性は以下の3点です。

1. 大強度陽子加速器施設 J-PARC におけるハドロンビームを用いた実験において、重いクォークであるチャームクォークを1つ持つハドロン（チャームバリオン）の励起状態スペクトルの精密測定から、チャームバリオン内部で発達していると考えられるダイクォーク関連の役割を解明
2. 高輝度放射光施設 Spring-8 における高輝度光子ビームの実験により、幅の狭いペンタクォークバリオンの存否を確定、およびその内部構造の解明
3. ハドロンビーム、光子ビームの両方面からのアプローチにより、中間子・バリオンから構成されるハドロン分子状態の候補 $\Lambda(1405)$ 粒子の精密測定から、 $\Lambda(1405)$ が中間子・バリオン分子状態かどうかを確定

現在、実験現場である、大強度陽子加速器施設 J-PARC、および、高輝度放射光施設 SPring-8 において、検出器の製作、および完成した検出器の設置作業を順次進めています。



図2：実験が着々と進んでいる SPring-8/LEPS2 スペクトロメーター。大型ソレノイド電磁石とインストール前の飛跡検出器。

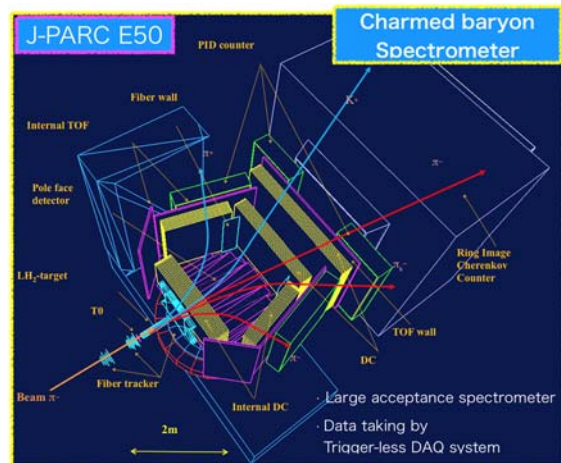
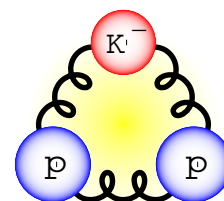


図3：設計が完了した J-PARC チャームバリオンスペクトロメーターの概略図[1]。

[1] K. Shirotori et al. Spectroscopy of charmed baryons at the J-PARC high-p beam line International workshop on "Progress on J-PARC hadron physics in 2016" March 2 - 4, 2016, Tokai, Ibaraki
http://j-parc-th.kek.jp/workshops/2016/3-2/Slides/03-02_Shirotori.pdf

K 中間子原子核の発見の成果が Physics Letter 誌に発表されました

K-中間子と陽子 2 個が強い相互作用で束縛した最もシンプルな K 中間子原子核である”K-pp”束縛状態を測定した成果が、以下のように発表されました。K 中間子原子核は、ハドロン層と原子核層の間のセミ階層に位置し、A02 班での研究対象の $\Lambda(1405)$ と関連します。また B01 班では、更に重い K 中間子原子核の研究を計画しています。



J-PARC E15 collaboration, S.Ajimura et al., “ K^-pp ” a \bar{K} -meson nuclear bound state, observed in ${}^3\text{He}(K^-, \Lambda p)n$ reactions, Physics Letter B 789, 620 (2019)
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2018.12.058>

プレスリリース（理研）http://www.riken.jp/pr/press/2019/20190124_2/

雑誌パリティ 2019 年 1 月号 特集「物理科学この 1 年」原子核物理「クォークと反クォークが共存する原子核：K 中間子核の世界」

お知らせ

- 新学術領域「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」スクールを開催します。
日程：2019 年 3 月 7 日 10:30–9 日 12:35、大阪大学吹田キャンパス 荒田記念館
詳細は以下のホームページをご覧ください。関心のある研究者の方、学生の参加を歓迎いたします。
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/86.html>
- 「レクチャーシリーズ」を開催しています。
 - ・ 第四回：Evgeny Epelbaum 氏 (Ruhr-Universitat Bochum), Chiral Effective Field Theory に関するセミナー・講義です。以下の日程・場所で開催されます。詳しくは以下の各 URL をご覧ください。
 - 3 月 19 日 東北大学 (セミナー)
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/94.html>
 - 3 月 22 – 23 日 京都大学 (レクチャー&セミナー)
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/80.html>
 - 3 月 25 日 理研 (セミナー)
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/95.html>