

光子ビームで探るクォーク・グルーオン多体系 ——ダイバリオンの発見から分光へ

石川 貴嗣 (東北大学電子光物理学研究センター ishikawa@lms.tohoku.ac.jp)

笠木 治郎太 (東北大学電子光物理学研究センター kasagi@lms.tohoku.ac.jp)

物質の最も基本的な粒子「クォーク」は単独では存在することができず、クォーク間に「グルーオン」が飛び交う小さな空間に閉じ込められた状態でのみ存在可能となる。クォークとグルーオンが閉じ込められた複合粒子はハドロンと総称される。

1960年代に、クォークによるハドロンの複合粒子描像が広く受け入れられ、これまで数多くのハドロンが同定されてきた。20世紀に見出されたハドロンは、すべてクォーク3つからなるバリオン、およびクォークと反クォークからなるメソンの2種類に分類できた。ところが、21世紀に入って、この2種類の分類にあてはまらないハドロンが次々と報告される。テトラクォーク状態と呼ばれるメソン $X(3872)$ 、 $Y(4260)$ 、 $Z(4430)$ などでは、少なくともクォーク2つと反クォーク2つが内部に存在する、とされる。ペンタクォーク状態と呼ばれるバリオン $\Theta^+(1530)$ や $P_c(4450)$ などには、内部に少なくともクォーク4つと反クォーク1つが存在することが要請される。

従来のクォークと反クォーク構造で表せないメソンやクォーク3つで表せないバリオンは、**エキゾチックなハドロン**と呼ばれているが、その構造はまだ明らかではない。4つあるいは5つのクォークと反クォーク全部が1つの空間にコンパクトに閉じ込められた真のマルチクォーク構造から、2つのハドロンが緩く結合しているハドロン分子(メソンとメソン、バリオンとメソン)状態まで、エキゾチックハドロン内部のクォーク運動形態は多種多様である。

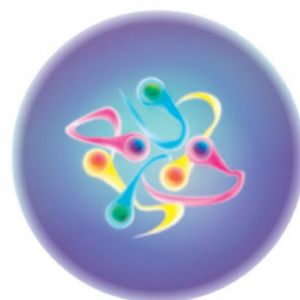
本研究の対象であるダイバリオンもエキゾチックハドロンの1つである。ダイバ

リオン研究は、1964年に u 、 d クォーク6つからなるヘキサクォーク状態として研究が始まった長い歴史をもつ。最も簡単な状態は、陽子 $p=uud$ と中性子 $n=udd$ のバリオン・バリオン分子と言える重陽子である。重陽子以外のダイバリオンでは、数多くの報告があったにも関わらず、存在の確認には至らなかった。最近2011年にドイツWASA-at-COSY共同実験の陽子・中性子衝突反応でダイバリオン $d^*(2380)$ が確立された。この状態は、真のヘキサクォーク状態とバリオン分子状態が2:1で混ざった状態と解釈されている。

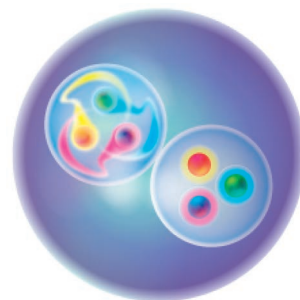
東北大学電子光物理学研究センターでは、光子・重陽子反応を用いてダイバリオンの観測を追求してきた。重陽子 d が光子 γ により励起され、中性 π メソン(π^0)を2つ放出して、初期状態の d に戻る反応($\gamma d \rightarrow \pi^0 \pi^0 d$ 反応)では、中間状態の量子数(スピン、アイソスピン)に大きな制限が加わる。反応断面積の入射エネルギー依存性、部分系である $\pi^0 d$ の不変質量分布、終状態重陽子の角分布、放出された π^0 - π^0 の角相関などの詳細な測定を行うことで、新たにダイバリオン状態を3つ同定することに成功した。重陽子が光子を吸収してダイバリオンが生成され、 π^0 を1つ放出して別のダイバリオンとなり、さらにもう1つ π^0 を放出して重陽子に戻る、といった順次過程が支配的であることがわかった。新たに見出したダイバリオンは、重陽子と同様なバリオン・バリオン分子状態なのか、あるいは空間的にコンパクトなヘキサクォーク状態なのか、非常に興味深い。今後、他の崩壊様式などの詳細な測定を行い、これらのダイバリオンの構造を明らかにする。

—Keywords—

ダイバリオン: クォーク6つ(正確にはクォーク数と反クォーク数の差が6)からなるハドロンである。低エネルギーでは重陽子のように2つのバリオンから構成されるが、高エネルギーになると6つのクォークが複雑にからみあった空間的にコンパクトな状態になると考えられる。



6つのクォークが1つの空間にコンパクトに閉じ込められた真のヘキサクォーク構造。



2つのバリオンが緩く結合しているバリオン・バリオン分子状態。