

ダブル・ハイパー核の発見とその物理

仲澤和馬 〈岐阜大学教育学部・工学研究科 nakazawa@gifu-u.ac.jp〉

吉田純也^{†1} 〈岐阜大学教育学部 jyoshida@post.j-parc.jp〉

肥山詠美子^{†2} 〈理化学研究所仁科加速器研究センター hiyama@riken.jp〉

ダブル・ハイパー核 (DH核) は、ストレンジクォーク (s) を二つ含む原子核の総称である。DH核はsクォークを含むハイペロン (Λ) である Λ (uds) 粒子を二つ、または Ξ^- (dss) ハイペロンなど一つをバリオン間力 (拡張した核力) で内包する。例えばダブル・ Λ ハイパー核 (DLH核) や Ξ ハイパー核 (Ξ 核) がこれにあたる。電荷をもたない Λ 粒子間や、 Ξ と核子間の相互作用は、その質量欠損を通じて知ることができる。通常の原子核の数倍にもなる高密度の中性子星内では、このようなハイペロンの存在が強く示唆されている。

DLH核の発見は半世紀前の1963年に遡る。この年、乾板中にとらえられた Ξ^- 粒子静止吸収事象中に1例の ${}^{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ 、1966年の ${}^{\Lambda\Lambda}\text{He}$ 、1991年の ${}^{\Lambda\Lambda}\text{B}$ (KEK-E176実験) である。これらの実験結果から、 Λ 粒子間の引力の強さ (4–5 MeV) が、 Λ -核子 (N) 間と同程度と広く認められるようになった。

ところがこの認識は、2001年1月、KEK-E373実験におけるNAGARA eventと呼ばれるDLH核、 ${}^{\Lambda\Lambda}\text{He}$ が発見されたことにより覆された。この事象は世界初の不定性のないDLH核の発見であり、この発見から Λ 粒子間にはたらく力の強さが ~ 1 MeV という非常に弱い引力であると、実験的に初めて明らかになった。1963年および1991年の事象、E373で発見した他の3例もNAGARA eventに矛盾しない解釈がとられ、NAGARA eventは $\Lambda\Lambda$ 相互作用を議論する「ものさし」となった。

NAGARA eventの発見を出発点として理論的に要求されたことは、 $\Lambda\Lambda$ 相互作用の再構築とその他の発見されたDLH核の束縛状態を説明できるかどうかということであった。例えば、DEMACHIYANAGI eventと呼ばれる ${}^{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ の束縛状態を、NAGARA

eventを説明する $\Lambda\Lambda$ 相互作用で説明できることが分かった。今後は、 $\Lambda\Lambda$ 相互作用のp-波相互作用、 $\Lambda\Lambda \leftrightarrow \Xi N$ 異粒子変換結合など、さらなる情報を得ることが理論的に重要である。そのためには、より多くの実験データを必要とする。これは、原子核物理学の大きな目的の一つである、 YN および YY 間などハイペロンをも含めたバリオン間相互作用の統一的理解につながるという意味で意義深い。

2006年、東海村のJ-PARC建設開始とともにE07実験が採択された。高純度の K^- ビームとE373実験の約3倍の乾板を用意して10倍以上のDLH核や確かな Ξ 核の発見を期待して設計した。特にこれまで行われてきた Ξ^- 粒子生成と関連づけられる事象を選択することをやめて、乾板全面を探索しDLH核や Ξ 核に特有な崩壊パターンを画像処理により検出する「全面探査法」を導入することにより、さらに10倍 (E373実験の100倍) の発見が期待できる。2013年、この「全面探査法」をE373乾板で試験運用して得られた約800万枚の顕微鏡画像中に、二つの分裂片に Λ が一つずつ残るツイン・ Λ ハイパー核 (TLH核) を発見した。この始状態は、 ${}^{14}\text{N}$ に Ξ^- 粒子が原子軌道より深く束縛した原子核 (KISO event と命名) であると確認され、 Ξ^- 粒子と核子間に引力が働くことが初めて明らかになり、日本物理学会の第22回論文賞を昨年受賞した。

進行中のE07実験では、100を超えるDH核の発見によりNAGARA eventより重いDH核を系統的に調べることができるとともに、新種の ${}^{\Lambda\Lambda}\text{H}$ などの発見による $\Lambda\Lambda \leftrightarrow \Xi N$ 結合の情報を得られるのではないかと期待している。

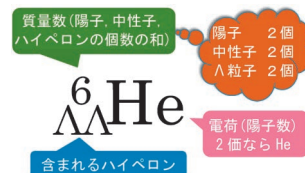
—Keywords—

ハイペロン:

バリオン (クォーク3体からなる陽子・中性子の仲間) のうち、 Λ や Ξ などストレンジクォークを含む粒子。

ハイパー核:

ストレンジクォークを含んだ原子核の総称。特にストレンジクォークを2つ含んだ原子核をダブルハイパー核と呼ぶ。下図に例として ${}^{\Lambda\Lambda}\text{He}$ を示す。



原子核乾板:

最小電離損失粒子にも感度をもつ写真乳剤を乾板にしたもので、荷電粒子の検出位置精度は $0.1 \mu\text{m}$ にも達する。1910年、1個の α 粒子でも写真乳剤中の臭化銀粒子が現像可能になることが、木下季吉 (すえきち) により発見され、それ以降、パウエルらのパイ中間子発見をはじめ、原子核、宇宙線や素粒子の実験に供すべく開発が進められてきた。100年以上の歴史をもつ数少ない検出器である。

^{†1} 現所属: JAEA 先端基礎研究センター

^{†2} 現所属: 九州大学理学研究院物理部門