

4つの中性子からなる状態の観測

大津 秀暁 〈理化学研究所仁科加速器科学研究センター otsu@ribf.niken.jp〉

下 浦 享 〈理化学研究所仁科加速器科学研究センター, 東京大学原子核科学研究センター shimoura@cns.s.u-tokyo.ac.jp〉

原子核は、自然界の物質質量の大部分を担っており、物質の多様性を決める端緒となる階層にある。構成要素は主に陽子と中性子であり、それらが核力(強い相互作用)により結合し、互いに束縛している量子多体系である。中性子だけで構成される物質は、観測による中性子星の存在は示されているものの、それ以外で「中性子だけで構成される原子核が存在するか」については、1960年代から放射化法などの手法を用いて探索の報告がなされているが、その発見には至っていない。4つの中性子もしくはそれ以上の中性子が束縛あるいは強く相関した状態を持つかどうかは、原子核物理学が解くべき課題であり、他の階層での現象についても影響を及ぼす可能性がある問題である。

中性子過剰核をビームとして用いることにより、中性子過剰な系の実験が精力的に行われるようになり、原子核反応を通じて直接4中性子系の観測に挑戦できる状況となってきた。理化学研究所重イオン加速器施設RIBFは、 ^8He ビームを核子あたり150–200 MeVで、大強度ビーム(毎秒 10^5 – 10^6)として供給できる世界唯一の施設である。加えて、高分解能磁気スペクトロメータSHARQAや広帯域磁気スペクトロメータSAMURAIと特徴ある核分光装置が建設され、このエネルギー領域で支配的な直接反応過程を利用した不安定核の核分光にその本領を発揮している。これらの装置群を駆使して、4中性子状態の探索のために実施された2つの実験、SHARQAスペクトロメータによる**二重荷電交換反応**(^8He , ^8Be)を用いた実験と、SAMURAIス

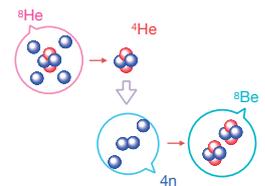
ペクトロメータによる **α ノックアウト反応**(p , $p\alpha$)を用いた実験が実施された。

(^8He , ^8Be)反応は、通常**二重荷電交換反応**に加えて、プローブの質量が重いものが軽くなる(束縛エネルギーの小さいものから大きなものに変化する)という「発熱型」であるという特徴がある。これは、RIビームを使う利点であり、 ^4He より束縛エネルギーが小さい(つまり質量のより重い)“4n”を作る際に「反跳をほぼ受けない」という運動学条件を満たすことが可能となる。一方 **α ノックアウト反応**実験では、 ^8He を形成するコア ^4He (α 粒子)を最大運動量移行である180度(近くの)散乱で叩き出すことにより、余剰となっている4中性子を「ほぼ攪乱することなく」観測することが可能となる。

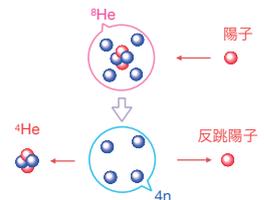
発熱型**二重荷電交換反応**と **α ノックアウト反応**の全く手法の異なる2実験で得られた結果は、驚くべきほど類似した4中性子系の質量スペクトルを示した。この質量スペクトルは、4中性子の質量の和であるしきい値よりほんの少しだけ高いエネルギーに、非常に幅の狭い状態および4中性子が無相関か弱い相関をもって位相空間を占める成分が60 MeVにわたる広い連続状態として観測された。しきい値近傍の状態は、 **α ノックアウト反応**による高統計の結果から、強い相互作用に対しては束縛しない、“非束縛状態”であることが確定した。状態の幅は、 4×10^{-22} 秒程度の寿命に対応しており、反応時間の10倍程度の間強く相関した4中性子状態が生成されていることを示している。

用語解説

二重荷電交換反応：



二重荷電交換反応(^8He , ^8Be)では、標的核と ^4He 核が反応して、 ^8Be 核が放出される。この反応を用いると、 ^4He の中性子・陽子配位 $v(0s)^2\pi(0s)^2$ が中性子のみ配位 $v(0s)^2(0p)^2$ に遷移した4中性子波束をつくると考えられる。プローブの終状態である ^8Be 核は、基底状態が ^4He 放出しきい値より92 keVだけ高い共鳴状態であり、 7.5×10^{-17} sの寿命で2つの ^4He (2α)に崩壊する。実験ではこの 2α を検出することにより、 ^8Be の基底状態であることを同定する。

 α ノックアウト反応：

α ノックアウト反応により ^8He からコアの ^4He (α 粒子)を叩き出すと、残留する4中性子は、 $(0p)^4$ 配位から重心運動の自由度を除いた波束をつくると考えられる。実際には、不安定核である ^8He を標的として準備するのは現状不可能なので、逆運動学を用いた実験を行う。逆運動学では、散乱後の p , ^4He , “4n”の全ての粒子が前方に放出され、運動量分析される。