

陽子/クラスターノックアウト反応による原子核構造の研究
Nuclear Structure Studies using Proton/Cluster-Knockout Reactions
(12P051)

小林俊雄^a, 大津秀暁^a, 岩佐直仁^a, 奥田貴志^a, 大関和貴^a, 渡辺極之^a, 薬師寺崇^a,
松田洋平^a, 関陽子^a, 松山芳孝^b, 石元茂^b, 鈴木祥二^b, 高橋豊^c, 高田栄一^d
T.Kobayashi^a, H.Otsu^a, N.Iwasa^a, T.Okuda^a, K.Ozeki^a, K.Watanabe^a, T.Yakushiji^a,
Y.Matsuda^a, Y.Seki^a, Y.Matsuyama^b, S.Ishimoto^b, S.Suzuki^b, Y.Takahashi^c, E.Takada^d

Abstract

We have studied (1) $p(^{11,12}\text{C}, 2p)^{10,11}\text{B}$ reactions for getting calibration data on carbon isotopes near the stability line, and (2) $p(^{15,16}\text{C}, 2p)^{14,15}\text{B}$ reactions for hole states, including deep hole states, from neutron-rich carbon isotopes, using $^{11,12}\text{C}$ and $^{15,16}\text{C}$ beams at about 250 AMeV incident energy. For the latter reactions, we have constructed and used 5 mm-thick solid hydrogen target system in order to reduce the background from carbon in the polyethylene target.

1. 研究概要

今年度は、

- (1) これまで研究してきた陽子/中性子過剰炭素同位体からの陽子ノックアウト反応の基準となるデータとして、安定線付近の $^{11,12}\text{C}$ からの陽子ノックアウト反応、 $p(^{11,12}\text{C}, 2p)^{10,11}\text{B}$ の測定。
- (2) これまで使用してきたポリエチレン標的は、深い空孔状態を調べる場合には、ポリエチレン中の炭素により大きなバックグラウンドを生じる。バックグラウンドを減らし、一様な厚さの標的を得る為の、厚さ5mm、直径30mmの固体水素標的を開発製作。それに伴う検出器架台の更新。
- (3) 中性子過剰の炭素同位体 $^{15,16}\text{C}$ からの陽子ノックアウト反応として、固体水素標的を用いた $p(^{15,16}\text{C}, 2p)^{14,15}\text{B}$ 反応の測定。

に関する実験研究を行った。

2. 研究経過と結果

(2-1) 安定線付近の炭素同位体 $^{11,12}\text{C}$ からの陽子ノックアウト反応の測定

陽子過剰核から中性子過剰核の炭素同位体からの陽子ノックアウト反応には以下の二つ：(1) 陽子過剰核中の弱く束縛された外殻陽子のノックアウト反応により、弱束縛外殻陽子の単一粒子軌道の性質を調べる。(2) ある同位体において、陽子過剰側から中性子過剰側に行くにつれて、陽子はより強

く束縛される。この場合、核の内部で強く束縛された陽子軌道の変化、特により深く束縛された陽子 $1s_{1/2}$ 状態の空孔状態(deep hole state)の変化、の観測を行う、の目的を設定している。

安定核である ^{12}C のs-hole状態については、RCNPにおいて陽子ビームを用いた(p,2p)反応の測定が行われ、深い空孔状態からの崩壊粒子測定も含め、比較的多くの情報が得られている。他の陽子/中性子過剰核と同様な逆運動学での測定と比較する為、安定線付近の炭素同位体である $^{11,12}\text{C}$ からの陽子ノックアウト反応の測定を行った。

本来はこの実験から後述する固体水素標的を使用するはずであったが、契約/製作が遅れ、残念ながら使用はできなかった。

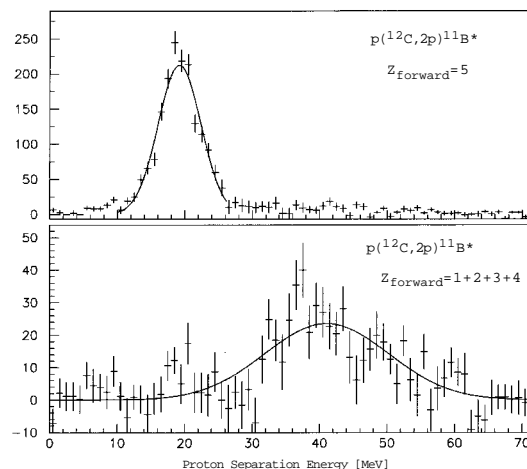


図1: $p(^{12}\text{C}, 2p)^{11}\text{B}$ 反応での陽子分離エネルギー分布測定は、エネルギー約 250 AMeV、強度約 $1 \times 10^5/\text{spill}$ (3.5 秒) の1次 ^{12}C ビームと2次 ^{11}C ビームを用い、標的としてポリエチレンと炭素のスタック型標的を用いて測定を行った。測定で直接得られる陽子分離エネルギー分布を図1、図2に示す。ただし、解析の色々なパラメータが最適化されておらずエネルギーのオフセットが有り、又分解能も約3MeVと悪い。

図1に、 $p(^{12}\text{C}, 2p)^{11}\text{B}$ 反応において、空孔状態が中性子を放出して崩壊する場合(上)と荷電粒子を放出して崩壊する場合(下)に分けて示す。後者に関しては、 ^{11}B 基底状態から約20MeV上にs-hole状態

と考えられている巾の広い状態が確認された。

図2に、 $p(^{11}\text{C}, 2p)^{10}\text{B}$ 反応において、空孔状態が中性子を放出して崩壊する場合(上)と荷電粒子を放出して崩壊する場合(下)に分けて示す。図1と比較すると、 ^{12}C と ^{11}C 中の外殻陽子の分離エネルギーが差と、 ^{11}C の s-hole 状態の低励起側の微細構造の存在がわかる。

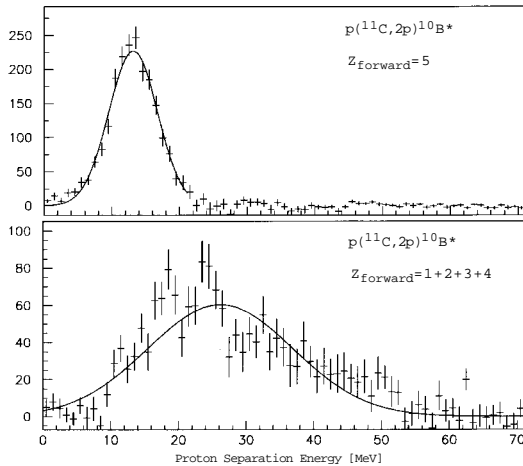


図2: $p(^{11}\text{C}, 2p)^{10}\text{B}$ 反応での陽子分離エネルギー分布

(2-2) 固体水素標的の開発 / 製作

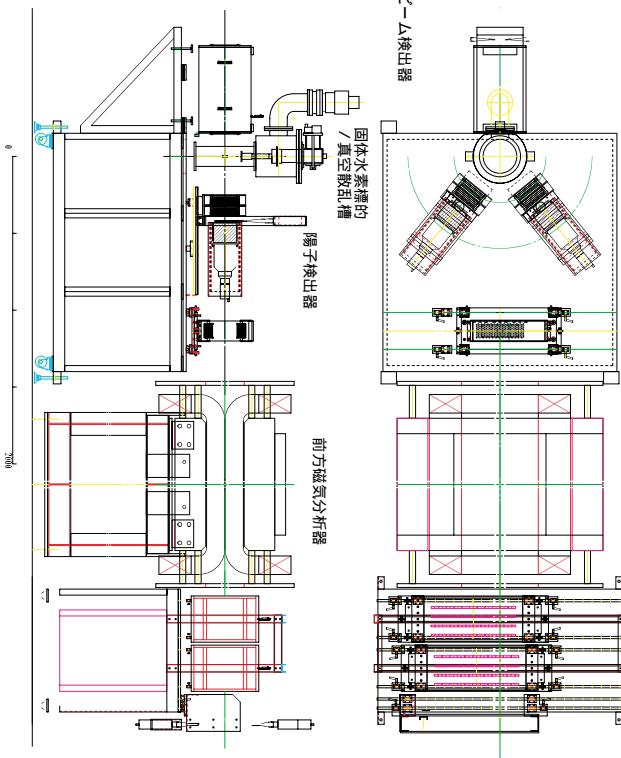


図3: 完成して固体水素標的と検出器系

これまで陽子標的の代用として使用してきたポリエチレン標的は、深い空孔状態を調べる場合には、ポリエチレン中の炭素により大きなバックグラウンドを生じる。バックグラウンドを減らし、一様な厚さの標的を得る為に、冷凍機を用いる方式による厚さ

5mm、直径 30mm の固体水素標的を開発製作した。以前開発した固体水素は液体窒素 / 液体ヘリウムを多量使用する方式であったが、今回の冷凍機を用いる方式により、非常にコンパクトなシステムが可能となった。標的の変更に伴い検出器架台の更新も同時に行った。

昨年度行った $p(^{15}\text{C}, 2p)^{14}\text{B}$ 反応で生成される s-hole 状態に関しては、荷電粒子を放出して崩壊する場合にはポリエチレン / 炭素標的で分離エネルギー分布に差は見られなかった: 炭素標的からのバックグラウンドがほぼ全てでありこのままでは中性子過剰核の s-hole 状態は観測できない。今回は 5mm 厚の固体水素の両側の 9 ミクロン厚のマイラーを窓として用いた為、水素標的数として約 3 倍の改善、信号 / バックグラウンド比として約 100 倍の改善が見込まれる。又水素を地下実験室で用いる際の危険防止に関しても注意してシステムを製作した。

図3に今回製作した固体水素標的と検出器架台変更の全体図を示す。

(2-3) $p(^{15,16}\text{C}, 2p)^{14,15}\text{B}$ 反応による中性子過剰炭素同位体の深い陽子空孔状態の研究

中性子過剰核中の s-hole 状態を調べる為、 $p(^{15,16}\text{C}, 2p)^{14,15}\text{B}$ 反応の測定を行った。又 $^{15,16}\text{C}$ は基底状態が中性子 $2s_{1/2}$ 状態が1個又は2個の配位が主であると考えられ、核構造の点でも興味深い。測定は、 ^{18}O 1次ビームから生成したエネルギー約 250 MeV/A、強度約 $0.8-1.5 \times 10^5 / \text{spill}$ (3.5 秒)の $^{15,16}\text{C}$ ビームと、固体水素標的を用いて行った。

実験を行ったのが2003年2月7日から2月12日の期間であった為、データはまだ解析中であり、残念ながら結果を示すことはできない。固体水素を用いた最初の実験であり、色々問題点は残っているが、順次改善していく予定である。

3. まとめと今後

固体水素標的の問題点を順次解決後、必要であれば陽子過剰核側の再測定も含めて、炭素同位体で系統的な測定を継続していく予定である。

- a. 東北大学理学部 b. 高エネルギー物理学研究所
c. 大阪大学 RCNP d. 放医研 医用重粒子物理学研究所