

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
(15P051)

小林俊雄^a, 大津秀暁^a, 大関和貴^a, 渡辺極之^a, 関陽子^a, 松田洋平^a,
篠原督和^a, 直井由紀^a, 三木俊也^a, 石元茂^b, 鈴木祥仁^b, 高橋豊^c, 高田栄一^d
T.Kobayashi^a, H.Otsu^a, K.Ozeki^a, K.Watanabe^a, Y.Seki^a, Y.Matsuda^a,
T.Shinohara^a, Y.Naoi^a, T.Miki^a, S.Ishimoto^b, S.Suzuki^b, Y.Takahashi^c, E.Takada^d

Abstract

We have systematically studied (p,2p) proton-knockout reactions from carbon isotopes (^{9,10,11,12,13,14,15,16}C) using solid hydrogen target at 250 AMeV incident energy.

1. 研究概要

今年度は、不安定核ビームと陽子標的を逆運動学で用いた(p,2p)陽子ノックアウト反応の系統的測定を入射エネルギー250AMeVで行った。今年度の特徴としては、

(1) 陽子標的として、ポリエチレン(CH₂)の代わりに厚さ5mmの固体水素標的を用い、バックグランドとなる標的中の炭素を劇的に減少させた。又同時に有効的に標的中の水素原子数を増加させ、イールドを増加させた。

(2) ほぼ同じ入射エネルギー(約250AMeV)において、炭素同位体の陽子過剰核から放医研で実験可能な限界の中性子過剰核中性子になる、⁹C, ¹⁰C, ¹¹C, ¹²C, ¹³C, ¹⁴C, ¹⁵C, ¹⁶Cの8同位体について、系統的にデータを取得した。

2. 研究経過と結果

(2-1) 実験経過

昨年度末の実験を含め、3回の測定により陽子過剰側から中性子過剰側にわたる広い範囲で炭素同位体の系統的データを取得した。

2月 : ^{15,16}C (1次ビーム : ¹⁸O @350AMeV)

7月 : ^{13,14}C (1次ビーム : ¹⁸O @350AMeV)

10月 : ^{9,10,11,12}C (1次ビーム : ¹²C @400AMeV)

2次ビームのエネルギーは全て約250AMeVである。

(2-2) 固体水素標的

以前は水素標的としてポリエチレンを用いていた為、(p,2p)反応の生成核が陽子等の荷電粒子を放出して崩壊するチャンネルでは殆ど標的中の炭素からのバックグランドが主であった。その為興味のある陽子深部空孔状態の測定は殆ど不可能であった。標的を厚さ5mm、直径35mmの固体水素にする事で、標的中の炭素を劇的に減らす事に成功した。図1に固体水素有/無の場合について陽子分離エネ

ルギー分布を示す。バックグランドは固体水素セルの窓(9ミクロン厚マイラー2枚)からと思われるが、S/Nは140であり、実質的には空標的の測定をする必要が無く、実効測定時間の増加につながる。又、純粋な水素を標的とする事から、これまで用いていた1mm厚のポリエチレンよりもイールドが多く、これも実効測定時間の増加につながった。

3回の測定において、固体水素標的は安定に動作し、又窓の破裂などの事故も起こっていない。放医研のような地下施設でも十分安全に使用できる事を証明できた。

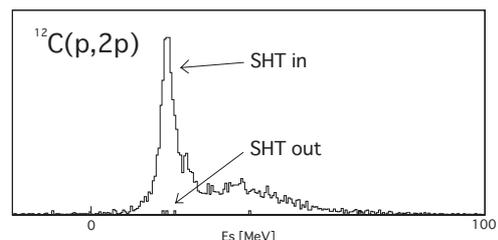


図1 : 固体水素有/無の陽子分離エネルギー分布の例

(2-2) 磁気分析器の改善

これまで、磁気分析器による入射核破砕片の運動量分析は、ビーム位置検出器により標的上へ外挿したビーム位置と磁石下流の16面の位置検出器で測定した位置/角度を用いていた。運動量/放出角度分解能の向上の為、磁石上流に位置検出器を置き、放出角度を独立に測定可能にした。その結果、放出角度分解能として2.6mrad(rms)、運動量分解能として0.8%(rms)が得られ、これまでの約2倍分解能が改善された。

粒子識別に関しては、まだ改善の余地があるが、図2に示すように、ボロンのアイソトープは分離できている。

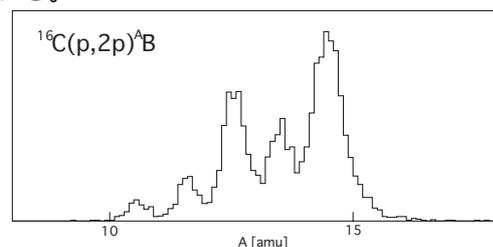


図2 : ¹⁶C(p,2p)反応でのB-isotopeの質量分布

(2-3) 解析結果

今年度のデータは解析中であるが、その途中結果を示す。

図3に、(左) (p,2p) 反応 inclusive の場合、(中) (p,2p) 反応の空孔状態が中性子崩壊のみの場合、(右) (p,2p) 反応の空孔状態が荷電粒子を放出して崩壊した場合、について陽子分離エネルギー分布を示す。

結果を簡単にまとめると、

(1) 中性子過剰になるにつれて、陽子分離エネルギーが 1MeV から 23MeV まで深くなっている。なお、陽子分離エネルギーのオフセットについては作業中。(2) 陽子過剰側では、(p,2p) 反応で生成される娘核基底状態に加え、基底状態よりアイソスピンの 1 大きい IAS(Isobaric Analog State) がはっきり観測された。

(3) 空孔状態が中性子を放出して崩壊するチャンネル、つまり前方にボロン同位体が放出される場合については、分離エネルギー分布で最も重いボロン同位体の基底状態付近を選ぶ事により、炭素同位体の p 殻にある陽子の運動量分布を求める事ができる。運動量分布に関しては解析中。

(4) 空殻状態が荷電粒子を放出して崩壊する場合の多くは、炭素中陽子が s 殻にあった場合と考えられる。その分離エネルギー分布の形や、対応する運動量分布についても解析中。

(5) 中性子過剰側で、高励起状態にかなり巾の狭い状態が観測された。

などの点が見て取れる。さらに、粒子識別などの改善をはかりながら、解析を続ける予定である。

3. まとめと今後

固体水素標的を用い S/N が良い状態で、陽子過剰側から中性子過剰側にわたる 8 個の炭素同位体からの (p,2p) 陽子ノックアウト反応のデータを系統的に取得した。シミュレーションを含む解析を続行中である。

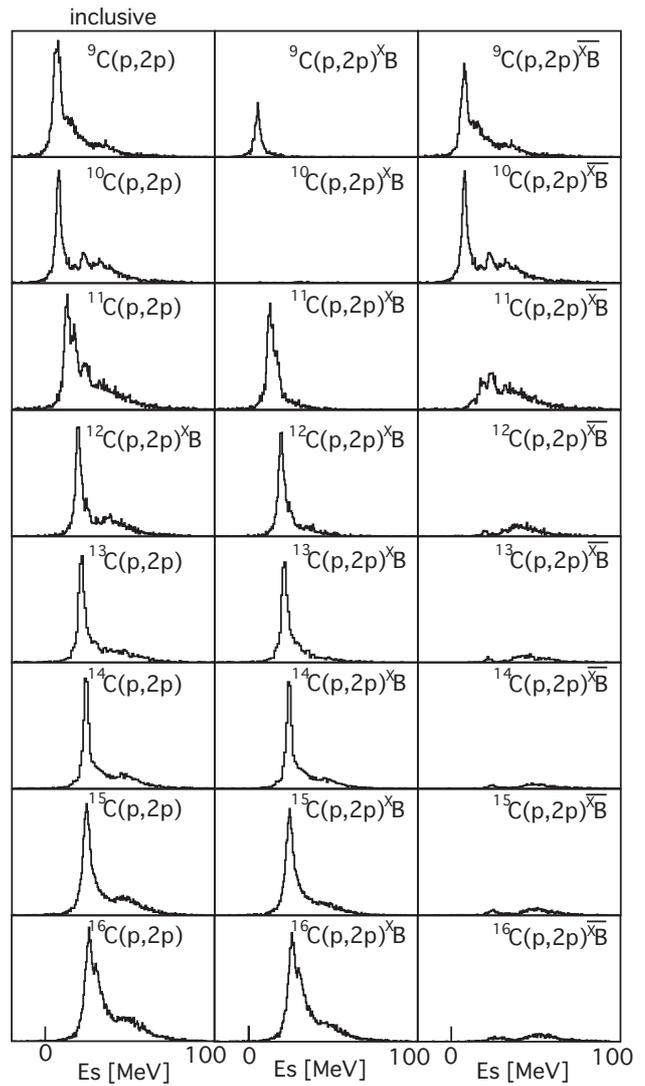


図3：炭素同位体からの陽子分離エネルギー分布

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. 放射線医学総合研究所 医用重粒子物理工学研究部