

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
(11P051)

小林俊雄^a, 大津秀暁^a, 氏家徹^a, 奥田貴志^a, 関口昌嗣^a, 大関和貴^a, 田澤信也^a,
福田直樹^b, 吉田敦^c, 松山芳孝^d, 沖花彰^e, 高田栄一^f

T. Kobayashi^a, H. Otsu^a, T. Ujiie^a, T. Okuda^a, M. Sekiguchi^a, K. Ozeki^a, S. Tazawa^a,
N. Fukuda^b, A. Yoshida^c, Y. Matsuyama^d, A. Okihana^e, E. Takada^f

Abstract

For studying single-particle properties of proton-rich nuclei near the proton drip line, and exotic resonances beyond the neutron drip line, proton/cluster knockout reactions have been measured: $p(^9\text{C}, 2p)^8\text{B}$, $p(^6\text{He}, 2p)^5\text{H}$, $p(^4\text{He}, p^3\text{He})\text{n}$, and $p(^9\text{Li}, p^3\text{He})^6\text{H}$, using secondary nuclear beams at about 250 AMeV incident energies.

1. 研究目的と経過

安定線から離れた原子核中の単一粒子軌道に関する情報を得る為と、安定線外側のエキゾチック共鳴状態の探索の為に、HIMAC施設で得られる高エネルギー二次原子核ビームと陽子標的を用い、逆運動学での陽子/クラスターノックアウト反応の実験を行った。今年度は、陽子ノックアウト反応として、 $p(^9\text{C}, 2p)^8\text{B}$ と $p(^6\text{He}, 2p)^5\text{H}$ の測定、 ^3He クラスターノックアウト反応として、 $p(^4\text{He}, p^3\text{He})\text{n}$ と $p(^9\text{Li}, p^3\text{He})^6\text{H}$ の測定を行った。

2. 実験方法

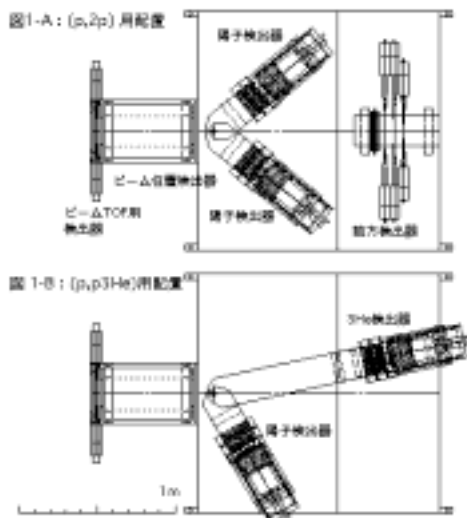


図1: 第3焦点に置かれた検出器系

昨年度にほぼ完成した検出器系を二次ビームライン第3焦点付近に置き測定を行った。二次ビームは、入射エネルギーが約250 AMeV、ビーム強度は

約 10^4 個/秒が得られた。核子ノックアウト反応(図1A)では45度付近に放出される2個の高エネルギー陽子を測定し、クラスターノックアウト反応(図1B)では前方10度付近への ^3He 粒子と後方55度付近への陽子の測定を行った。2粒子のエネルギー/運動量の測定から、陽子/クラスターの分離エネルギーや運動量を引き出す事ができる。陽子検出器のエネルギー較正は陽子ビームによるpp散乱を利用して行った。陽子標的の代用としてCH₂標的を用い、炭素によるbackgroundはC標的との差し引きで求めた。

3. 結果

3.1: 陽子ノックアウト反応

(3-1-1) $p(^9\text{C}, 2p)^8\text{B}$ 反応

この実験は、弱束縛な陽子過剰核 ^9C の構造を調べる為と、約250 AMeVでの逆運動学による核子ノックアウト反応の方法論の確認の為にを行った。図2に、終状態である ^8B の励起エネルギー分布を示す。

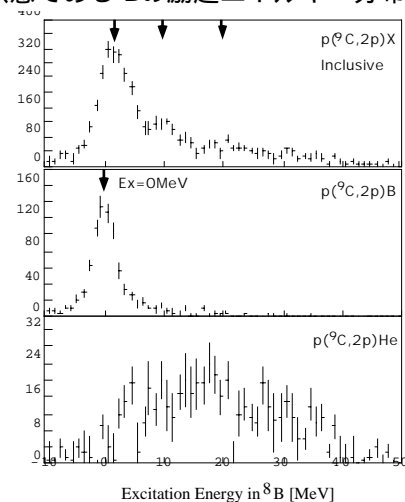


図2: $p(^9\text{C}, 2p)\text{X}$ 反応での ^8B 励起エネルギー分布

分布は、基底状態付近の3つの状態、 $\text{Ex}=11\text{MeV}$ の $\text{T}=2$ 状態、s-hole状態と思われる $\text{Ex}=20\text{MeV}$ 付近の中の広い状態の3つの部分から成っている。エネルギー分解能は約 $1.7\text{MeV}(\text{rms})$ で、2個の陽子の測定からだけでは種々の終状態を分離は

できないが、前方粒子の電荷（原子番号）の情報を用いると、図2の様に分離する事が可能となる。

絶対値の比較はまだ無理であるが、 ^8B の各状態への遷移強度比を、殻模型計算と比較する：比 $R(1^++3^+)/R(2^+ \text{ gr.})$ は測定値が1.86-0.20であり、計算値の1.92と良い一致が得られている。又 ^9C の最外殻陽子の運動量分布も、2個の陽子測定と、前方粒子測定から独立に測定され、 $s=64-3 \text{ MeV}/c(\text{rms})$ が得られた。

(3-1-2) $p(^6\text{He}, 2p)^5\text{H}$ 反応

中性子ドリップライン上の中性子過剰核からの陽子ノックアウト反応を用いると、ドリップラインの外側のexoticな共鳴状態を効率的に生成できる可能性がある。中性子過剰なHe同位体からの陽子ノックアウト反応で重い水素同位体を探索する試みの一環として、 $p(^6\text{He}, 2p)$ 反応により ^5H の探索を試みた。

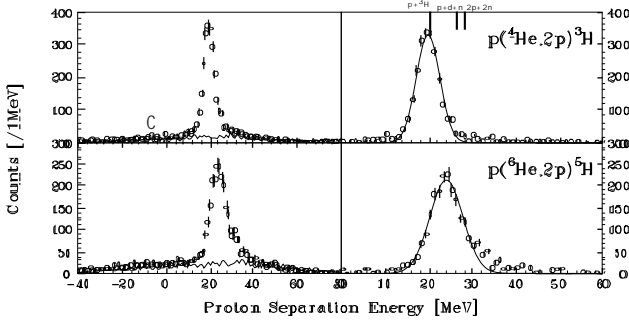


図3： $p(^4\text{He}, 2p)\text{X}$ と $p(^6\text{He}, 2p)\text{X}$ 反応での分離エネルギー分布

測定の分解能や分離エネルギーのオフセット等を確認する為に同じ条件で行った $p(^4\text{He}, 2p)\text{X}$ の結果を図3上段に示す。色々な終状態が可能であるが、分離エネルギー分布の位置から終状態が ^3H が主である事がわかり、又エネルギー分解能は約2.7MeV(rms)であった。本測定である $p(^6\text{He}, 2p)\text{X}$ 反応での分離エネルギー分布を図3下段に示す。もしこのピークが ^5H であるなら、共鳴エネルギーは $^3\text{H}+2n$ から数えて $E_r=3.3-0.5 \text{ MeV}$ であり、状態の巾は $\Gamma=6.4 \text{ MeV}$ になる。

3.2： ^3He クラスターノックアウト反応

(3-2-1) $p(^3, ^4\text{He}, ^3, ^4\text{He})p, p(^4\text{He}, p^3\text{He})n$ 反応

2次原子核ビームからの ^3He クラスターノックアウト実験に先立ち、(1) 2次 ^3He ビームによる検出器のエネルギー較正、(2) 2次 ^3He ビームと陽子標的を用いた $^3\text{He}+p$ 弾性散乱、(3) ^4He ビームと陽子標的を用いた $^4\text{He}+p$ 弾性散乱、(4) ^4He ビームと陽子標的を用いた ^3He ノックアウト反応 $p(^4\text{He}, p^3\text{He})n$ 、の順で測定器系の確認を行った。 $^4\text{He}+p, ^3\text{He}+p$ 弾性散乱は、

前方10度付近へ散乱される $^3, ^4\text{He}$ と、後方60度付近へ散乱される反跳陽子の同時計測によって行った。又 ^4He からの ^3He knockout反応でも、弾性散乱からの運動学のずれを考慮した位置で、 $^3, ^4\text{He}$ と p の2粒子の同時計数を行った。図4に各反応での分離エネルギー分布を示す：エネルギー較正によるoffsetの問題点が残っているが、弾性散乱と $p(^4\text{He}, p^3\text{He})n$ 反応の両方がきれいに観測された事がわかる。

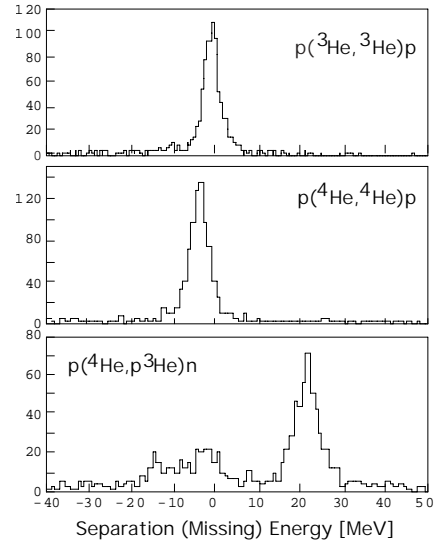


図4： $p(^3, ^4\text{He}, ^3, ^4\text{He})p, p(^4\text{He}, p^3\text{He})n$ 反応での分離（損失）エネルギー分布

(3-2-2) $p(^9\text{Li}, p^3\text{He})^6\text{H}$ 反応

250, 185 AMeVでの ^9Li ビームからの ^3He knockout反応による ^6H 共鳴状態の探索は、1999年10月と2000年1月に予備測定を行った。予備的解析ではCH2-Cの差があまり無い状態になっている。この点は、前方磁気分析器での ^3H 同定でS/N比を改善できると考えている。

4. まとめと今後

今年度は、幾つかの陽子/ ^3He ノックアウトの測定を行った。現在の検出器系の問題点は、前方検出器で粒子識別が不可能な事であり、逆運動学でのノックアウト反応の特徴を十分に生かせない。現在、前方検出器系を磁気分析器（電磁石+位置検出器）に置き換える作業を進めている。

a. 東北大学理学部 b. 東京大学理学部 c. 理化学研究所 放射線研究室 d. KEK田無 中間エネルギー一部 e. 京都教育大学教育学部 f. 放医研 医用重粒子物理学工学研究部