

²³Al 及其邻近丰质子核的奇异结构研究*

马春旺^{1,2} 方德清^{2; 1)} 郭威^{1,2} 王鲲² 颜廷志^{1,2} 马余刚² 蔡翔舟² 沈文庆²
孙志宇³ 任中洲⁴ 陈金根² 田文栋² 王宏伟² 马二俊^{1,2} 刘桂华^{1,2} 石钰^{1,2}
苏前敏^{1,2} 钟晨² M. Hosoi⁵ T. Izumikawa⁶ R. Kanungo⁷ S. Nakajima⁵
T. Ohnishi⁸ T. Ohtsubo⁶ T. Suda⁸ K. Sugawara⁵ T. Suzuki⁵
A. Ozawa⁹ A. Takisawa⁶ K. Tanaka⁸ T. Yamaguchi⁵ I. Tanihata⁷

1(中国科学院研究生院 北京 100049)

2(中国科学院上海应用物理所 上海 201800)

3(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

4(南京大学物理系 南京 210008)

5(Department of Physics, Saitama University, Saitama 338-8570, Japan)

6(Department of Physics, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan)

7(TRIUMF, 4004 Wesbrook Mal, Vancouver, British Columbia V6T 2A3, Canada)

8(Institute of Physical and Chemical Research(RIKEN), Wako-shi, Saitama 351-8571, Japan)

9(Department of Physics, Tsukuba University, Ibaraki 305-8571, Japan)

摘要 在 RIKEN-RIPS 上测量了 ²³Al 等丰质子核素的核反应总截面(σ_R)和平行动量分布($P_{//}$). 观察到了 ²³Al 核反应总截面的增强, 与以前的实验结果相符. 同时得到了 ²³Al 等丰质子核素擦掉一个质子后的 $P_{//}$. 在 Few-body Glauber 模型下对实验结果进行了讨论. $P_{//}$ 的宽度显示 ²³Al 基态的外层质子处于 d 态, 这与 g 因子测量实验结果一致. 为了同时解释 $P_{//}$ 和 σ_R 的实验测量结果, 我们认为 ²³Al 可能有核芯增大的现象.

关键词 丰质子核 奇异结构 动量分布 核反应总截面

1 引言

自从 1985 年 Tanihata 等人首次发现 ¹¹Li 具有奇异的“中子晕”以来^[1], 很快其它许多具有“晕”或者“皮”结构的核被人们理论预言或者实验发现. 人们对奇异核结构进行了很多的研究, 但主要集中在中子晕上, 对于质子晕结构的研究相对较少. 由于库仑作用, 质子晕的形成比中子晕更复杂和困难. 人们从理论和实验对一些可能存在晕结构的丰质子核进行了研究, 比如单质子晕核 ⁸B^[2-4], ¹⁷Ne^[5], ²³Al^[6, 7], ^{26, 27, 28}P^[8, 9] 和双质子晕核^{27, 28, 29}S^[10-12] 等.

蔡翔舟等人在兰州 RIBLL 上测量了中能

²³Al($\sim 35A$ MeV) 等的 σ_R , 发现 ²³Al 的 σ_R 有反常增大^[13, 14]. 结合 ²³Al 特别小的结合能($S_p=0.125$ MeV), 有较强的理由认为 ²³Al 有晕结构. 但仍然需要其他方面的证据. 实验上没有 ²³Al 平行动量分布的结果, 为了从 $P_{//}$ 进行验证, 我们在 RIKEN-RIPS 上同时测量了其 σ_R 和 $P_{//}$.

2 实验方法

用透射法测量 σ_R , 截面计算公式为

$$\sigma_R = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{\gamma_o}{\gamma_i} \right), \quad (1)$$

* 国家自然科学基金(10405032, 1053510, 10405033, 10475108, 10328259, 10135030), 上海科技发展基金(06QA14062, 05XD14021, 03QA14066)和国家重大基础研究研究发展项目(G200077404)资助

1) E-mail: dqfang@sinap.ac.cn

t 为C反应靶的厚度(核子数/cm²), γ_o 和 γ_i 分别为空靶和有靶情况下离子在靶上出射和入射的比率. 同时通过测量炮弹核擦掉一个质子后碎片的飞行时间(TOF)得到平行动量.

实验用135A MeV ²⁸Si轰击⁹Be产生次级束流, 次级束能量~70A MeV. 次级束流在1mm厚的(377g/cm²)¹²C靶上反应(本文中以后的“靶”均指C反应靶). 靶前和靶后分别用 $B\rho$ -ToF- ΔE -E和ToF- ΔE -E的方法联合鉴别离子.

3 实验结果及讨论

3.1 实验结果

测得的 σ_R 大小见表1, 误差包括统计误差和部分系统误差. 与邻近核相比, ²³Al的 σ_R 增大. 把RIBLL实验截面的结果用Shen公式归一到本次实验能量时, 两次实验的结果符合的很好(图1). 我们测得²³Al的 $P_{//}$ 的结果, 并没有出现像¹¹Li那样非常窄的分布. ²³Al和邻近核的 $P_{//}$ 测量结果见表2.

表 1 σ_R 实验测量结果

核素	能量/(A MeV)	σ_R /mb
²³ Al	73.7	1609 ± 79
²⁴ Al	77.0	1527 ± 60
²² Mg	77.0	1512 ± 168

表 2 ²³Al和邻近核的 $P_{//}$ (FWHM)

反应道	$P_{//}$ /(MeV/c)
²³ Al → ²² Mg+p	232 ± 18
²² Mg → ²¹ Na+p	310 ± 20
²¹ Na → ²⁰ Ne+p	236 ± 32
²⁴ Al → ²³ Mg+p	278 ± 16

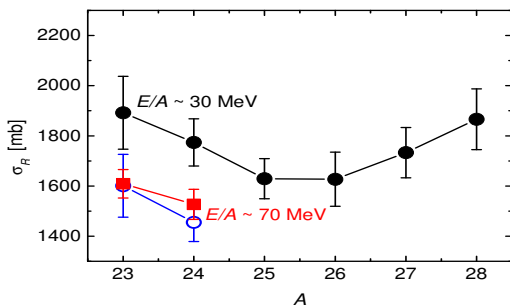


图 1 与RIBLL实验结果的比较

实心圆圈为RIBLL实验结果^[13], 空心圆圈为本次实验结果, 实心方块为RIBLL实验能量归一到本次实验能量的结果.

3.2 结果讨论

少体Glauber模型(FBGM)作为研究奇异核结构有效的模型之一, 采用“核芯+价核子”方法, 可以同时计算 σ_R 和 $P_{//}$. 这里我们用FBGM讨论²³Al的实验结果.

尽管²³Al的 σ_R 反常增大, 但 $P_{//}$ 宽度与Goldhaber模型计算一致(图2). 从图2可以看出, FBGM计算 $P_{//}$ 显示²³Al外层质子应处于d态, 与最近测量²³Al g 因子的结论一致^[14].

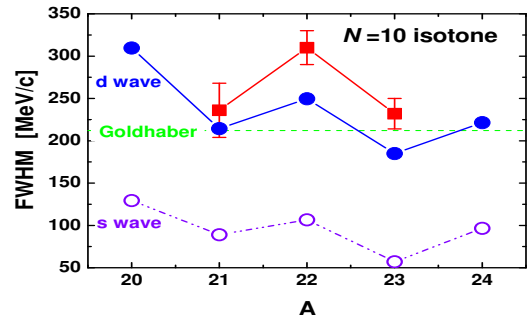


图 2 ²³Al的 $P_{//}$

实心方块为实验值, 实心圆圈为外层质子处于d态的理论值, 空心圆圈为处于s态的理论值, 点线为Goldhaber模型结果.

为了解释 σ_R 和 $P_{//}$ 的实验结果, 尝试修正“核芯”²²Mg, 拉大其半径. 计算显示, 当核芯大小为 3.44 ± 0.24 fm, 即比自然的²²Mg大 $20 \pm 7\%$ 时(图3), 与 σ_R 实验结果一致.

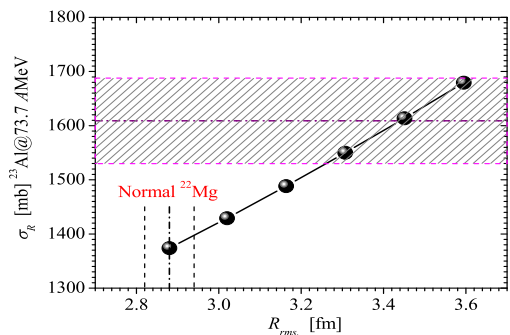


图 3 拉大²³Al核芯“²²Mg”的FBGM σ_R 计算结果

点划线为实验值, 阴影为误差范围; 方块为核芯拉大的FBGM计算结果.

4 结论

实验测量了丰质子核²³Al及其邻近核的核反应总截面和平行动量分布, 观察到了²³Al反应总截面的增大, 与以前的实验测量结果一致. 从平行动量分布的

结果得出 ^{23}Al 基态价核子处于 d 态, 这与最近测量其 g 因子结果一致. 在少体 Glauber 模型下, 采用增大核芯

的办法解释了 ^{23}Al 反应总截面增大却具有正常的平行动量分布的实验结果.

参考文献(References)

- 1 Tanihata I et al. Phys. Rev. Lett., 1985, **55**: 2676
- 2 Warner R E et al. Phys. Rev., 1995, **C52**: R1166
- 3 Blank B et al. Nucl. Phys., 1997, **A624**: 242
- 4 Minamisono T et al. Phys. Rev. Lett., 1992, **69**: 2058
- 5 Ozawa A et al. Phys. Lett., 1994, **B334**: 18
- 6 WANG J S et al. Nucl. Phys., 2001, **A691**: 618
- 7 FANG De-Qing et al. Chin. Phys. Lett., 2005, **22**: 572
- 8 Navin A et al. Phys. Rev. Lett., 1998, **81**: 5089
- 9 FANG D Q et al. Eur. Phys. J., 2001, **A12**: 335
- 10 CHEN B Q et al. J. Phys., 1998, **G24**: 97
- 11 REN Z Z et al. Phys. Rev., **C53**: R572
- 12 Brown B A et al. Phys. Lett., 1996, **B381**: 391
- 13 CAI X Z et al. Phys. Rev., 2002, **C65**: 024610
- 14 Ozawa A, Matsuta K et al. Phys. Rev., **C74**: 021301

Study of Exoticness of Proton-Rich Nuclei ^{23}Al and it's Neighboring Nuclei*

MA Chun-Wang^{1,2} FANG De-Qing^{2,1)} GUO Wei^{1,2} WANG Kun² YAN Ting-Zhi^{1,2} MA Yu-Gang²
CAI Xiang-Zhou² SHEN Wen-Qing² SUN Zhi-Yu³ REN Zhong-Zhou⁴ CHEN Jin-Gen²
TIAN Wen-Dong² WANG Hong-Wei² MA Er-Jun^{1,2} LIU Gui-Hua^{1,2} SHI Yu^{1,2}
SU Qian-Min^{1,2} ZHONG Chen² M. Hosoi⁵ T. Izumikawa,⁶ R. Kanungo⁷
S. Nakajima⁵ T. Ohnishi⁸ T. Ohtsubo⁶ T. Suda⁸ K. Sugawara⁵ T. Suzuki⁵
A. Ozawa⁹ A. Takisawa⁶ K. Tanaka⁸ T. Yamaguchi⁵ I. Tanihata⁷

1 (Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

2 (Shanghai Institute of Applied Physics, CAS, Shanghai 201800, China)

3 (Institute of Modern Physics, CAS, Lanzhou 730000, China)

4 (Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008, China)

5 (Department of Physics, Saitama University, Saitama, 338-8570, Japan)

6 (Department of Physics, Niigata University, Niigata, 950-2181, Japan)

7 (TRIUMF, 4004 Wesbrook Mal, Vancouver, British Columbia V6T 2A3, Canada)

8 (Institute of Physical and Chemical Research(RIKEN), Wako-shi, Saitama, 351-8571, Japan)

9 (Department of Physics, Tsukuba University, Ibaraki, 305-8571, Japan)

Abstract We measured the reaction cross sections(σ_R) and parallel momentum distributions($P_{//}$) of ^{23}Al and it's neighboring nuclei at RIKEN-RIPS. An enhanced σ_R of ^{23}Al is observed, which is consistent with the previous experimental result. And the $P_{//}$ of fragment from the projectile breakup nuclei have been obtained at the same time. We discuss our experimental data under the Few-Body Glauber Model. The $P_{//}$ of ^{23}Al shows the ground state of the valence proton is a d -wave, which is consistent with the recent measurement of ^{23}Al 's g factor. To explain the experimental σ_R and $P_{//}$ of ^{23}Al at the same time, we suggest an enlarged core of ^{23}Al .

Key words proton-rich nuclei, exotic structure, parallel momentum distribution, reaction cross section

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10405032, 1053510, 10405033, 10475108, 10328259, 10135030), Shanghai Development Foundation for Science and Technology (06QA14062, 05XD14021, 03QA14066) and Major State Basic Research Development Program in China (G200077404)

1) E-mail: dqfang@sinap.ac.cn