

文章编号: 1000-5471(2008)05-0051-03

超重核素²⁸⁷115 及其 α 衰变链的基态性质^①

支启军¹, 吉世印²

1. 贵州师范大学 物理与电子科学学院, 贵阳 550001; 2. 黔南民族师范学院 物理系, 贵州 都匀 558000

摘要: 用宏观-微观模型和相对论平均场模型考察研究了最近在俄罗斯研究合成的新核素²⁸⁷115 及其 α 衰变链上的原子核的基态性质. 研究表明宏观-微观模型对新核素²⁸⁷115 及其衰变链上原子核的结合能和 α 衰变能的理论计算结果与实验数据符合, 也十分接近相对论平均场模型的计算结果. 此外, 讨论了宏观-微观模型和相对论平均场模型在研究超重核区的差异.

关键词: 超重核; α 衰变链; 基态

中图分类号: O562.1

文献标识码: A

在实验上合成新的超重核素是当前核物理研究的一个非常活跃的问题. 随着原子核系数的增大, 由于库仑力的作用, 原子核寿命会越来越短, 相应的这些原子核会越来越不稳定, 因此, 在实验上合成超重核的难度很大. 近年来, 超重核的合成取得了重要的进展^[1-5]. 1994-1996 年, 德国的 GSI 实验室的 Hofmann 等人合成了 110, 111 和 112 号元素^[1]. 1999 年, 俄国的 Oganessian 等人通过热融合技术合成了 114 号元素. 一年以后, 通过相同的实验技术他们又合成了 116 号元素. 2004 年, 日本 RIKEN 的核物理学家们重复了当初在德国 GSI 上合成 $Z=110$ 和 $Z=111$ 核素的实验并取得了成功, 进而验证了新核素 $Z=110$ 和 $Z=111$ ^[2]. 在此基础上, 他们还报道发现了新元素 $Z=113$ 的一个同位素²⁷⁸113. 事实上, 在此之前, 德国 GSI 的科学家也试图合成 $Z=113$ 的新核素, 但是失败了. 最近, 俄国的 Dubna 实验室取得了重要的进展. 在 2005 年, 他们报道发现了 $Z=113$ 的新核素, 同时还报道了 $Z=115$ 的新核素, 意味着 $Z=115$ 新元素的发现^[3]. 2006 年, Oganessian 小组报道了他们合成了 $Z=118$ 的新核素. 在合成超重核素的研究中^[4], 中国的核物理学家们也作出了应有的贡献, 中国的兰州近代所先后分别合成了几个新的同位核素^[5]. 到目前为止, 118 以下的超重核素(除了 $Z=117$ 外)已经被人们实验上成功合成, $Z=117$ 将是下一个物理学家们实验合成的目标.

新核素的合成和实验的发展, 积累了一些有关超重核的实验数据. 这些数据对于检验各种理论模型在超重核区域的有效性和可靠性具有重要的作用. 一方面他可以检验各种模型的可靠性和有效性, 进而推动理论模型的发展, 提供更加准确的预测, 另一方面可以检验各种模型的预言能力和在一定程度上检验和估计实验的有效性, 使理论和实验相互验证, 相互促进. 在前面的工作中, 我们用宏观-微观模型系统的计算和研究了超重核区的原子核的性质, 检验了宏观-微观模型和相对论平均场模型中的有效性和可靠性^[6-7]. 本文将在俄国 Dubna 实验室关于²⁸⁷115 的实验数据的基础上, 研究各种理论模型在描述 $Z=115$ 及其 α 衰变产物性质上的有效性和可靠性.

1 计算结果及讨论

有关宏观-微观模型及相对论平均场的计算方法在先前的文献中已经有详细的讨论和叙述^[6-7]. 因此,

① 收稿日期: 2007-11-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10865004).

作者简介: 支启军(1979-), 男, 贵州普定人, 博士, 副教授, 主要从事理论核物理方面的研究.

本文不给出计算的具体细节,只给出主要的计算结果和讨论.

表 1 给出的是 $^{287}115$ 及其 α 衰变链上的原子核的结合能和相应的实验数据. 表 1 中第一列代表相应的核素,第 2-5 列分别代表相对论平均场下 TMA 参数和 NL-Z2 参数计算的原子核的结合能和 α 衰变能^[8-9]. 表 6-9 列代表的是宏观微观模型的理论计算结果. 其中 Cal(Nilsson)代表的是我们采用 Nilsson 势的计算结果, Moller 代表的是取自 Moller 及其合作者计算的原子核质量表^[19]. 结合能的实验数据取自 Audi 等人 2003 的原子核质量表^[11], 由于超重核的实验结合能匮乏, 因此表中结合能的实验值为估计值. α 衰变能的实验值取自 Dubna 最近的实验^[3]. 表中的 B 代表结合能, Q_α 代表 α 衰变能, 他们的单位都是 MeV.

表 1 相对论平均场和宏观-微观模型计算的结合能和 α 衰变能与实验数据的比较 MeV

核素	相对论平均场				宏观-微观模型				实验值	
	TMA 参数		NL-Z2 参数		Cal(Nilsson)		Moller		B	Q_α
	B	Q_α	B	Q_α	B	Q_α	B	Q_α		
$^{287}115$	2 051.88	11.06	2 050.18	10.61	2 051.13	11.09	2 052.72	10.25	2 048.32	10.74
$^{283}113$	2 034.64	11.28	2 032.49	9.76	2 033.92	10.25	2 034.68	9.35	2 031.37	10.26
$^{279}111$	2 017.61	10.45	2 013.96	9.96	2 015.87	10.31	2 015.73	10.92	2 013.82	10.52
$^{275}109$	1 999.76	9.71	1 995.62	10.43	1 997.87	10.15	1 998.36	10.06	1 995.95	10.48

从表 1 可以看出, 宏观微观模型计算的结合能与实验数据符合. 相对误差不超过 0.2%, 作为一种理论模型, 这样的符合程度是比较好的. 另一方面, 表 1 列出的实验结合能实际是根据实验上原子核质量的趋势所估计出来的估计值. 因此, 从这个角度来说, 宏观-微观模型的计算结果与实验数据符合, 相对论平均场计算的结合能与实验值和宏观-微观模型的计算结果符合也比较好. 相对来说, 采用 Nilsson 势的宏观微观模型的计算结果更加接近实验值, 相对论平均场的两套参数给出一个稍大和稍小的理论结果. 就整体而言, 相对论平均场模型和宏观-微观模型都能给出与实验估计值接近的结合能.

从表 1 还可以看出, 各种理论模型近似地给出了 $^{287}115$ 及其衰变链上的原子核的 α 衰变能, 宏观-微观模型给出与实验数据符合相对稍好的计算结果. 为了更加清晰地看出这一点, 在图 1 中, 我们画出了核素 $^{287}115$ 及其衰变链上原子核的 α 衰变能. 在图 1 可以清楚地看见, 采用 Nilsson 势的宏观微观模型很好的给出了实验上的结果, 采用不同势的宏观微观模型的计算结果之间符合比较好, 相对于其他模型, 宏观微观模型给出 $^{287}115$ 及其衰变链上原子核的相对准确的 α 衰变能.

图 2 是用 Viola-Seaborg 公式^[10] 估计原子核的半衰期. 在图 2 中, 与 α 衰变能类似, 采用 Nilsson 势的宏观微观模型很好的给出了实验上的结果, 采用不同势的宏观微观模型的计算结果之间符合比较好, 相对于其他模型, 宏观微观模型给出 $^{287}115$ 及其衰变链上原子核的稍许准确的半衰期. 值得注意的是, 图 2 取的是半衰期的对数, 折合到原子核的真正寿命的话, 不同模型之间的差距会在几个数量级, 这是由于半衰期非常敏感依赖于结合能和 α 衰变能的缘故. 因此, 对结合能和 α 衰变能的准确理论预言对于原子核寿命的预测显得非常重要, 而寿命直接影响到原子核的稳定性和在实验上的可观测性.

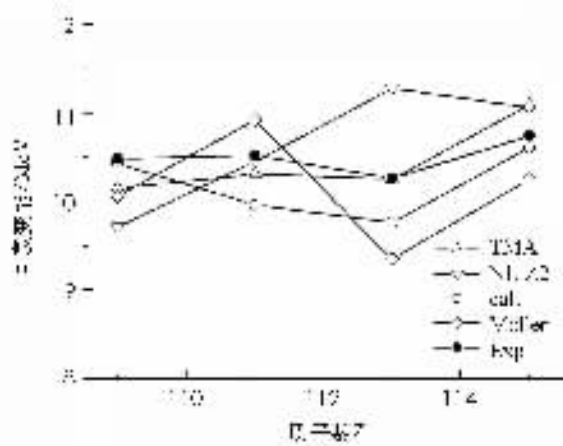


图 1 $^{287}115$ 及其衰变链上原子核的 α 衰变能比较图

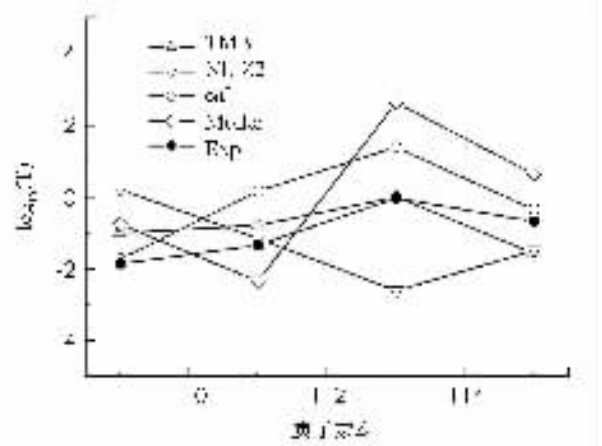


图 2 $^{287}115$ 及其衰变链上原子核的半衰期比较图

2 结 论

利用宏观-微观模型计算了核素²⁸⁷115 及其 α 衰变链上原子核的 α 衰变能和半衰期. 将理论计算结果和其他的宏观-微观模型结果、相对论平均场模型的计算结果以及实验数据进行了详细的比较. 结果表明: 宏观-微观模型的计算结果与实验数据符合较好, 也与其他模型的计算结果符合. 宏观-微观模型对超重核素²⁸⁷115 及其 α 衰变链的衰变能和寿命的理论预言比其他模型稍好, 这对将来合成超重核新核素的实验具有重要的理论指导意义.

参考文献:

- [1] Hofmann S, Munzenberg G. The Discovery of the Heaviest Elements [J]. *Rev Mod Phys*, 2000, 72: 733 – 767.
- [2] Morita K, Morimoto K K, Kaji D, et al. Status of Heavy Element Research Using GARIS at RIKEN [J]. *Nucl Phys A*, 2004, 734: 101 – 108.
- [3] Oganessian Yu Ts, Utyonkov V K, Dmitriev S N, et al. Synthesis of Elements 115 and 113 in the Reaction ²⁴³Am + ⁴⁸Ca [J]. *Phys Rev C*, 2005, 72: 034611.
- [4] Oganessian Yu Ts, Utyonkov V K, Lobanov Yu V, et al. Synthesis of the Isotopes of Elements 118 and 116 in the ²⁴⁹Cf and ²⁴⁵Cm + ⁴⁸Ca fusion Reactions [J]. *Phys Rev C*, 2006, 74: 044602.
- [5] 范红梅, 吴晓蕾, 郭俊盛. 利用 α 关联衰变链鉴别新同位素²⁶⁵107Bh [J]. *高能物理与核物理*, 2005, 29 (5): 451 – 455.
- [6] 支启军, 任中洲. 用宏观-微观模型系统计算偶-偶超重核基态性质 [J]. *高能物理与核物理*, 2006, 30(1): 32 – 37.
- [7] Zhi Q J, Mao Y C, Ren N Z Z. Macroscopic-microscopic Calculations of Ground State Properties of Superheavy Nuclei [J]. *Front Phys China*, 2006, 2: 143 – 159.
- [8] Ren Z Z, Cheng D H, Tai F, et al. Ground state properties of odd-Z superheavy nuclei [J]. *Phys Rev C*, 2003, 67: 064302.
- [9] Ren Z Z, Tai F, Cheng D H. Systematic Calculations of the Ground State Properties of Superheavy Nuclei [J]. *Phys Rev C*, 2003, 66: 064306.
- [10] Moller P, Nix J R, Kartz K L. Nuclear Properties for Astrophysical and Radioactive-ion-beam Application [J]. *Atomic Data Nucl Data Tabales*, 1997, 66: 131 – 343.
- [11] Audi G, Wapstra A H, Thibault C. The AME2003 Atomic Mass Evaluation [J]. *Nucl Phys A*, 2003, 729: 337 – 676.

The Properties of Nuclei ²⁸⁷115 and It's α -decay Chain

ZHI Qi-jun¹, JI Shi-yin²

1. School of Physics and Electronic Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Department of Physics, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun Guizhou 558000, China

Abstract: The properties of nuclei ²⁸⁷115 and it's α -decay chain are studied with the macroscopic-microscopic (MM) model and the relativistic-mean-field (RMF) model. It is shown that the results of RMF model and MM model are consistent with the experimental data. Moreover, the common and differences between MM model and RMF model are discussed in superheavy region.

Key words: superheavy nuclei; α -decay chain; ground state