

新核素²⁷⁸113 的基态特性及其 α 衰变链的研究 *

邵非^{1;1)} 陈鼎汉¹ 许昌¹ 任中洲^{1,2}

1 (南京大学物理系 南京 210008)

2 (兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心 兰州 730000)

摘要 用形变的相对论平均场模型, Skyrme-Hartree-Fock 模型及宏观-微观模型研究了新核素²⁷⁸113及其 α 衰变链的 α 衰变能和半衰期. 计算的 α 衰变能同实验数据比较符合, 相应的半衰期也在合理的范围内. 计算进一步表明形变对超重核的基态性质有重要影响.

关键词 相对论平均场模型 Skyrme-Hartree-Fock 模型 宏观-微观模型 半衰期 α 衰变能

20 世纪 80 年代, 德国的 GSI 成功地鉴别出新元素 $Z = 107-109$ ^[1]. 随后的十几年内, Hofmann 小组采用冷融合的技术合成了新元素 $Z = 110, 111, 112$ ^[1-4]. 同时其他实验室也有突破性的进展^[5-11]. 1999-2001 年, Dubna 通过热融合的技术合成了 114, 116 号元素^[5,6]. 2003 年, 实验家们又用热融合技术合成了新元素 $Z = 115$ ^[6]. 实验的飞速进展使合成新元素成为当今核物理界的热点话题. 截至到 2004 年初, 大于 112 号元素的核素都是采用热融合技术来合成的. GSI 的物理学家们曾尝试用冷融合技术去合成 $Z = 113$, 但没有成功^[1]. 日本的 RIKEN 实验室 Morita 小组在成功地重复了 $Z = 110, 111$ 的合成后^[11], 最近又采用冷融合技术合成新元素 $Z = 113$ ^[12]. 冷融合技术再次引起人们的关注.

我们曾系统地计算过偶-偶超重核与奇 A 超重核^[13,14]的基态性质, 作为补充, 本文将研究新发现的核素²⁷⁸113 的基态性质及其 α 衰变链. 由于实验期间 RIKEN 只观察到一个²⁷⁸113 事件. 所以我们有必要先验证一下 $Z = 113$ 实验数据的可靠性. 方法是将实验的衰变能代入到不同的 α 衰变模型中, 比较计算的衰变寿命与实验值的自洽程度. 数据结果列在表 1 中.

表 1 实验半衰期同各种不同的 α 衰变模型计算出的半衰期对比

Nuclei	Q_α/MeV	$T_{1/2}$ (Exp.)	$T_{1/2}$ (DDCM)	$T_{1/2}$ (Cosh)	$T_{1/2}$ (Formula)
²⁷⁸ 113 \rightarrow ²⁷⁴ 111 + α	11.68	344 μs	184 μs	447 μs	634 μs
²⁷⁴ 111 \rightarrow ²⁷⁰ Mt + α	11.15	9.26ms	0.76ms	1.67ms	2.77ms
²⁷⁰ Mt \rightarrow ²⁶⁶ Bh + α	10.03	7.16ms	124.58ms	214.01ms	459.49ms
²⁶⁶ Bh \rightarrow ²⁶² Db + α	9.08	2.47s	15.54s	21.69s	55.49s

表 1 第 1 栏代表核素的 α 衰变反应式, 第 2 栏是实验的 α 衰变能, 第 3 栏是实验的半衰期. 第 4 栏列出采用 M3Y 势密度依赖的集团模型的计算结果^[15]. 第 5 栏是采用了唯象 Cosh 势的集团模型的结果. 最后一栏是常用的 Viola-Seaborg 公式^[16]的计算结果. 这里假设了 α 衰变是在母核与子核基态之间发生的^[17], 在重核计算中这是一个合理的假设.

从表 1 中可以看出, 就 α 衰变模型的计算结果来看, RIKEN 的实验数据是可靠的. ²⁷⁸113 的 α 半衰期实验值是 DDCM 计算结果的 1.87 倍, 符合得较好, 其他几个模型结果也在误差范围内. 这表明²⁷⁸113 实验半衰期同实验衰变能是自洽的. 总体而言, 这 3 种理论模型所计算出来的半衰期误差都在合理的范围之

2004-10-28 收稿

* 国家杰出青年基金(10125521), 教育部博士点基金(20010284036), 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077400), 中国科学院创新工程重点项目(KJCX2-SW-No2)资助

1) E-mail: wangzhenf@163.com

内.表中²⁷⁰Mt 的理论值同实验值之间的数据偏差最大,一个可能的原因是对于²⁷⁰Mt 的 α 衰变过程,母核到子核的 α 衰变在基态间进行的假设不成立.另外一个解释是²⁷⁰Mt 与²⁶⁶Bh 结构之间有新的现象,也即在 Z = 109, N = 161 处核结构发生突变.有计算表明 Z = 108, N = 162 对应着一个形变的闭合壳. ²⁷⁰Mt 实验数据同理论之间大的差异可能说明在²⁷⁰Hs 周围有形变的闭壳层出现. ²⁶⁶Bh 是已知核^[17],同²⁷⁰Mt 相比,它的理论数据同实验数据的偏差加大.在质量表中²⁶⁶Bh 的半衰期为 5s (或是 1—10s), α 衰变能为 9.28—9.48MeV^[9,10,17].RIKEN 测的²⁶⁶Bh 半衰期为 2.45s,这同其他小组的数据一致(1—10s).但对于 α 衰变能,RIKEN 所测出的(9.05MeV)比其他小组要低 0.43MeV.可能是因为 RIKEN 所测的²⁶⁶Bh 衰变到²⁶²Db 低激发态或者一个由于形变导致的同质异能素,因为 RIKEN 已观察到了由于形变的存在而引发的自发裂变.综上所述,我们认为 RIKEN 提供的关于²⁷⁸113 的数据是可靠的.接下来将对²⁷⁸113 的基态性质与其衰变链进行讨论.

我们采用形变的相对论平均场模型^[13,14],使用两套力参数 TMA,NL-Z2,计算出²⁷⁸113 的 α 衰变能,并给出用 Viola-Seaborg 公式^[16]计算出来的半衰期.同时加入了 Skynme-Hartree-Fock 模型的计算值以及 Möller 等人用宏观-微观模型的计算结果^[16,18].图 1 是关于 α 衰变能的理论与实验对比.表 2 中给出了相关的数据.

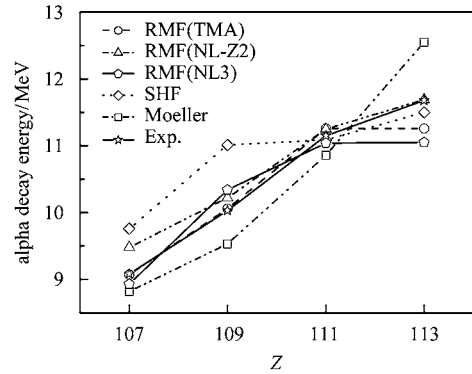


图 1 ²⁷⁸113 实验衰变链同几种理论模型计算结果对比

表 2 RMF,SHF,Möller 模型计算出的 α 衰变能和半衰期同 RIKEN 实验值比较

核素	²⁷⁸ 113		²⁷⁴ 111		²⁷⁰ Mt		²⁶⁶ Bh	
	Q_α/MeV	T_α	Q_α/MeV	T_α	Q_α/MeV	T_α	Q_α/MeV	T_α
TMA	11.26	5.90ms	11.26	1.53ms	10.06	0.38s	9.07	59.59s
NL-Z2	11.69	0.60ms	11.25	1.62ms	10.22	0.14s	9.48	3.52s
SHF	11.5	1.62ms	11.09	3.85ms	11.01	1.51ms	9.76	0.56s
Möller et al.	12.55	9.12μs	10.86	13.5ms	9.53	12.02s	8.82	380.19s
Expt. data	11.68	0.34ms	11.15	9.26ms	10.03	7.16ms	9.08	2.47s

图 1 中给出的理论数据同 RIKEN 的实验数据符合得很好,尤其是 TMA 参数的结果.从²⁷⁸113 到²⁶⁶Bh,实验衰变能呈下降趋势,几个理论模型都给出了相应的结果.最小的误差低于 0.5MeV,最大误差量也仅在 1—1.3MeV 左右,这可以参见表 2 中列出的相关数据. ²⁷⁸113 的实验衰变能趋势要低于其他 3 个核素.GSI 关于²⁷⁷112 的 α 衰变链上有类似现象.对于超重核这是非常重要的,因为 α 衰变寿命对衰变能非常敏感,衰变能的小变动会引起衰变寿命在量级上的变化.这也是之所以表 2 中的实验与理论

半衰期之间的偏差要高于表 1 中的原因.

以上我们对在 RIKEN 观测到 Z = 113 新元素性质作了分析.不同的 α 衰变模型都给出了较好的结果.表明了实验衰变能同实验半衰期是自洽的.这意味着尽管只观察到一个事件,但 Z = 113 新元素的合成还是可靠的.同时我们发现²⁷⁸113 的衰变能下降趋势要小于衰变链上其他的核素. ²⁷⁷112 衰变链也有同样的现象.超重核的半衰期可能会比预测的要长.这些有待于进一步研究.

参考文献 (References)

- 1 Hofmann S, Münzenberg G. Rev. Mod. Phys., 2000, **72**:733
- 2 Hofmann S et al. Z. Phys., 1995, **A350**:277
- 3 Hofmann S et al. Z. phys., 1996, **A354**:229
- 4 Hofmann S et al. Nucl. phys., 2004, **A734**:93—100
- 5 Oganessian Yu Ts et al. Nature(London), 1999, **400**:242
- 6 Oganessian Yu Ts et al. Phys. Rev., 2001 **C63**:011301(R)
- 7 Oganessian Yu Ts et al. Phys. Rev., 2004 **C69**:021601(R)
- 8 Düllman Ch E et al. Nature(London), 2002, **418**:859
- 9 GAN Zai-Guo, FAN Hong-Mei, QIN Zhi et al. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2004, **28**(4):332(in Chinese)
(甘再国, 范红梅, 秦芝等. 高能物理与核物理, 2004, **28**(4):332)
- 10 GAN Z G, GUO J S, WU X L et al. Eur. Phys. J., 2004, **A20**:385
- 11 Morita K et al. Nucl. Phys., 2004, **A734**:101—108
- 12 Morita K et al. Journal of the Physical Society of Japan., 2004, **73**:2593—2596
- 13 REN Zhong-Zhou, TAI Fei, CHEN Ding-Han. Phys. Rev., 2002, **C60**:064306
- 14 REN Zhong-Zhou, CHEN Ding-Han, TAI Fei. Phys. Rev., 2003, **C67**:064302
- 15 XU Chang, REN Zhong-Zhou. Phys. Rev., 2004 **C70**:034304
- 16 Möller P, Nix J R, Kratz K L. Atomic Data and Nuclear Data Table, 1997, **66**:131
- 17 Audi G, Bersillon O, Blachot J et al. Nucl. Phys., 1997 **A624**:1
- 18 Goriely S, Tondeur F, Pearson J M. At. Data and Nucl. Data Tables, 2001, **77**:311

Description of New Element $Z = 113$ and Its α -Decay Chain *TAI Fei^{1,1)} CHEN Ding-Han¹ XU Chang¹ REN Zhong-Zhou^{1,2}

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

2 (Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, Lanzhou 730000, China)

Abstract RIKEN has produced a new element $Z = 113$ by cold-fusion reaction. Here we systematically study the new nuclide $^{278}113$ and its α -Decay chain using deformed relativistic mean-field theory with three sets of force parameters, TMA, NL-Z2 and NL3. The results are compared with those of the Skyrme-Hartree-Fock model, Möller et al and also with the new experimental data. The experimental decay energies are well reproduced with RMF. This not only shows the validity of self-consistent field theoretical model in researching the ground state properties of superheavy nuclei, but also shows that prolate deformation is important for the ground state of these nuclei.

Key words relativistic mean-field theory, Skyrme-Hartree-Fock model, macroscopic-microscopic model, half-life, alpha-decay energy

Received 28 Oct 2004

* Supported by National Natural Science Found for Outstanding Young Scientists of China under contract(10125521), the Fund of the Education Ministry under contract(20010284036), Major State Basic Research Development in China under contract(G2000077400), Chinese Academy of Sciences Knowledge Innovation Project(KJCX2-SW-No2)

1) E-mail: wangzhentf@163.com