

文章编号: 1007-4627(2009)02-0112-05

在超重核区应用Viola-Seaborg公式研究 α 衰变寿命*

彭金松

(河池学院物理与电子工程系, 广西 宜州 546300)

摘要: 在超重核区($Z \geq 104$)使用文献[7—9]给出的3组参数应用Viola-Seaborg公式计算了 α 衰变寿命, 所得结果与实验值进行比较, 发现其结果与实验值相差较大。为此, 利用最小二乘法分别在重核区和超重核区重新对参数进行了拟合, 得到的计算结果与实验值相比符合得较理想, 尤其是由超重核得到的参数的结果非常理想。

关键词: Viola-Seaborg公式; 超重核; α 衰变寿命; 参数拟合

中图分类号: O571.32⁺¹ **文献标识码:** A

1 引言

自从20世纪60年代末期理论上预言超重核存在的可能性以来^[1, 2], 寻找或合成超重核就成为众多物理学家们努力的方向。很多重核都有 α 衰变发生, 并且每个原子核所发生的 α 衰变是确定的。通过对 α 衰变的研究, 可以得到很多原子核结构的知识, 也有助于对合成超重核的鉴别与认定。许多研究人员都用Viola-Seaborg公式^[3-6, 9]来计算 α 衰变寿命。但是, Viola-Seaborg公式中的参数有多套, 使用此公式计算时, 选择合适的参数是一个关键。实际上, 公式中的参数都是根据当时 α 衰变寿命的实验值进行拟合所得。由于新的超重核的不断出现, α 衰变寿命的实验值也就不断增加, 用以前拟合得到的参数外推到新的核素, 就有可能不够理想。为此, 我们就有必要利用最新的实验数据进行重新拟合, 从而得出新的Viola-Seaborg公式的参数。

本文针对超重核区($Z \geq 104$)的71个核利用 α 衰变能的实验值对Viola-Seaborg公式中常用的3套参数^[7-9]进行计算 α 衰变寿命, 所得的结果与实验值进行比较。同时, 利用最小二乘法对Viola-Seaborg公式中的参数分别利用323个重核($Z \geq 82$)和71个超重核($Z \geq 104$)进行重新拟合, 得出了两套新的参数。利用这两套新参数同样计算71个超重核的 α 衰变寿命, 并与实验值进行比较。

本文第2部分介绍Viola-Seaborg公式及其参数, 第3部分给出了结果与讨论, 第4部分进行了小结。

2 Viola-Seaborg公式及参数介绍

2.1 Viola-Seaborg公式

α 衰变寿命通常用半衰期表示。Geiger和Nuttall早在1911年就发现了 α 衰变能 Q_α 与半衰期 T_α 之间存在如下关系:

$$\log_{10} T_\alpha = A + BQ_\alpha^{-1/2}, \quad (1)$$

其中, A 和 B 是与母核原子序数相关的常数。1966年Viola和Seaborg推广了Geiger-Nuttall定律, 提出了^[7]

$$\log_{10} T_\alpha = (aZ + b)Q_\alpha^{-1/2} + (cZ + d) + h_{\log}, \quad (2)$$

其中,

$$h_{\log} = \begin{cases} h_{ee}, & Z \text{ and } N \text{ even} \\ h_{eo}, & Z \text{ even and } N \text{ odd} \\ h_{oe}, & Z \text{ odd and } N \text{ even} \\ h_{oo}, & Z \text{ and } N \text{ odd} \end{cases} \quad (3)$$

式中 Z 是母核的质子数, a , b , c 和 d 是对偶偶核($Z > 82$ 和 $N > 126$)进行最小方差拟合得到的常数, h_{\log} 是奇核子产生的阻塞因子, 其数值是对奇 A 核和奇奇核进行最小方差拟合所得的一组常数, 对于

* 收稿日期: 2008-12-11; 修改日期: 2009-01-15

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10435010, 10705014); 国家重大基础研究发展规划项目(2007CB815000); 中国科学院知识创新工程方向性项目(KJ9X-SW-No2)

作者简介: 彭金松(1963—), 男(汉族), 广西藤县人, 副教授, 从事原子核物理和粒子物理方面的研究和教学工作;

E-mail: 123pjs@163.com

偶偶核(Z 偶 N 偶) h_{ee} 的值为零。

2.2 参数介绍

我们在文献[7—9]中找到关于利用Viola-Seaborg公式计算 α 衰变寿命的3组参数,这也是人们常用的参数,它们都是在重核区利用当时的 α 衰变能

和衰变寿命实验值进行拟合得到的(见表1中的参数1行、2行和3行)。我们利用最新的 α 衰变能和衰变寿命的实验值,分别选取在重核区($Z \geq 82$)的323个核和超重核区($Z \geq 104$)的71个核利用最小二乘法对Viola-Seaborg公式中的参数进行重新拟合,所得新参数列在表1的New1行和New2行中。

表1 参数标号和参数*

参数	a	b	c	d	h_{ee}	h_{eo}	h_{oe}	h_{oo}
1	2.11329	-48.9879	-0.390040	-16.9543	0	1.066	0.772	1.114
2	1.66175	-8.5166	-0.20228	-33.9069	0	1.066	0.772	1.114
3	1.64062	-8.54399	-0.19430	-33.9054	0	0.8937	0.5720	0.9380
New1	1.60998	-7.33493	-0.216389	-30.9067	0	0.645025	0.718973	0.406538
New2	1.73539	-21.3870	-0.254226	-26.5964	0	0.306038	0.753138	0.841341

* h_{ee} 为偶偶核(Z 偶 N 偶), h_{eo} 为偶奇核(Z 偶 N 奇), h_{oe} 奇偶核(Z 奇 N 偶), h_{oo} 为奇奇核(Z 奇 N 奇)。

3 结果和讨论

选取超重核区($Z \geq 104$)的71个核,对于上述5组参数,利用 α 衰变能的实验值用Viola-Seaborg公式分别计算 α 衰变寿命,并与 α 衰变寿命的实验值进行比较。实验数据来自文献[10—12]。

3.1 统计结果和讨论

上述5组参数计算 α 衰变寿命的统计结果列于表2,表中的中间3列分别是 α 衰变寿命实验值与 α 衰变寿命计算值的比值在10倍以内、10—30倍之间和30—100倍之间的核个数,括号内是这些核个数占总核个数的百分比,最后1列是 α 衰变寿命计算值的对数与实验值的对数均方根偏差。

从表2可看出,所有结果的偏差都小于两个数

量级,但应用原来3篇文献所给的参数来计算 α 衰变寿命的偏差较大,都只有70%多的核的偏差小于一个数量级,尤其是第1组参数的结果偏差更大,比值大于30的核就有8个,而用重核区新实验数据拟合所得的New1组参数的结果就好了许多,结果最好的是用超重核区的实验数据拟合所得新参数的结果,它有90%以上的核的偏差在一个数量级以内,而大于30倍的也只有1个核。从 α 衰变寿命计算值的对数与实验值的对数的均方根偏差也可以看出,New2组参数的计算结果最为理想。

3.2 5组参数的计算结果和讨论

图1给出了 α 衰变寿命实验值与利用各组参数计算结果的对数差。从图中可双看出,由表1中第1组

表2 α 衰变寿命(半衰期 T_α)实验值与计算值的比值分类统计

参数	个数(百分比)			σ
	$T_\alpha^{\text{exp}}/T_\alpha^{\text{cal}} < 10$	10—30	30—100	
1	52 (73.24%)	11 (15.49%)	8 (11.27%)	0.8297
2	55 (77.46%)	13 (18.31%)	3(4.23%)	0.7545
3	56 (78.87%)	12 (16.90%)	3(4.23%)	0.7487
New1	60 (84.51%)	9 (12.68%)	2 (2.82%)	0.6673
New2	64 (90.14%)	6 (8.45%)	1 (1.41%)	0.5901

参数计算的结果与实验值偏差较大, 计算结果整体偏小, 利用2组参数和3组参数计算的结果整体偏大, 而利用我们分别拟合重核和超重核得到的新参数(New1组参数和New2组参数)计算的结果分布较合理, 尤其是用New2组参数计算的结果最为理想, 其与实验值的差值分布主要集中在零的附近。

另外, 在71个超重核中, 选取了相对较重 ($Z \geq 110, A \geq 269$) 的30个超重核, 用上述5组参数计算了它们的 α 衰变寿命, 结果与实验值一起列于表3。从表3并结合图1可以看出, 对于这30个超重核, 利用前3组参数计算的结果偏差较大, 由New1组参数计算的结果偏差要小一些, 而由New2组参数计算的结果的偏差最小, 它们的偏差都在一个数量级以内。可见, 在相对较重的超重核区 ($Z \geq 110, A \geq 269$) 利用超重核拟合得的新参数(New2组参数)来计算 α 衰变寿命所得的结果最理想, 更接近实验值。

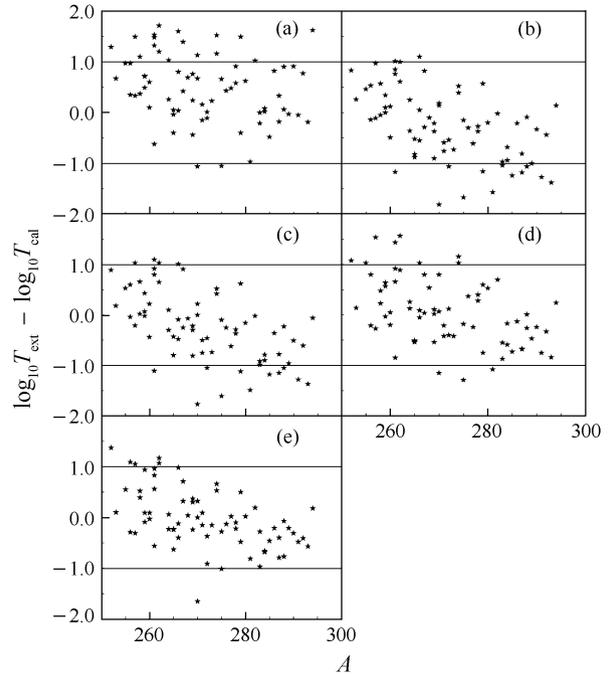


图1 利用5组参数计算 α 衰变寿命的结果与实际实验值的比较
(a) 1组参数的结果, (b) 2组参数的结果, (c) 3组参数的结果, (d) New1组参数的结果, (e) New2组参数的结果。

表3 相对较重 ($Z \geq 110, A \geq 269$) 的30个超重核的 α 衰变寿命, 含用5组参数计算所得值和实验值

Z	A	$Q_{\text{exp}} / \text{MeV}$	$T_{\text{exp}} / \text{s}$	$T_{\text{cal}}^{(1)} / \text{s}$	$T_{\text{cal}}^{(2)} / \text{s}$	$T_{\text{cal}}^{(3)} / \text{s}$	$T_{\text{cal}}^{(\text{New1})} / \text{s}$	$T_{\text{cal}}^{(\text{New2})} / \text{s}$
118	294	11.81	0.890×10^{-3}	0.213×10^{-4}	0.638×10^{-3}	0.103×10^{-2}	0.508×10^{-3}	0.587×10^{-3}
116	293	10.67	0.530×10^{-1}	0.827×10^{-1}	0.126×10^1	0.125×10^1	0.368×10^0	0.199×10^0
116	292	10.80	0.180×10^{-1}	0.308×10^{-2}	0.493×10^{-1}	0.735×10^{-1}	0.388×10^{-1}	0.458×10^{-1}
116	291	10.89	0.180×10^{-1}	0.203×10^{-1}	0.336×10^0	0.339×10^0	0.102×10^0	0.550×10^{-1}
116	290	11.00	0.710×10^{-2}	0.878×10^{-3}	0.152×10^{-1}	0.230×10^{-1}	0.123×10^{-1}	0.145×10^{-1}
115	288	10.61	0.870×10^{-1}	0.752×10^{-1}	0.998×10^0	0.972×10^0	0.160×10^0	0.515×10^0
115	287	10.74	0.320×10^{-1}	0.149×10^{-1}	0.207×10^0	0.193×10^0	0.153×10^0	0.196×10^0
114	289	9.96	0.270×10^1	0.290×10^1	0.267×10^2	0.248×10^2	0.798×10^1	0.434×10^1
114	288	10.09	0.800×10^0	0.101×10^0	0.978×10^0	0.136×10^1	0.787×10^0	0.933×10^0
114	287	10.16	0.480×10^0	0.725×10^0	0.724×10^1	0.683×10^1	0.224×10^1	0.121×10^1
114	286	10.33	0.130×10^0	0.198×10^{-1}	0.211×10^0	0.301×10^0	0.177×10^0	0.209×10^0
113	284	10.15	0.480×10^0	0.462×10^0	0.413×10^1	0.385×10^1	0.707×10^0	0.227×10^1
113	283	10.26	0.100×10^0	0.101×10^0	0.937×10^0	0.834×10^0	0.737×10^0	0.941×10^0
113	282	10.77	0.889×10^{-1}	0.840×10^{-2}	0.939×10^{-1}	0.921×10^{-1}	0.177×10^{-1}	0.568×10^{-1}
113	278	11.68	0.344×10^{-3}	0.422×10^{-4}	0.634×10^{-3}	0.664×10^{-3}	0.136×10^{-3}	0.435×10^{-3}
112	285	9.29	0.340×10^2	0.102×10^3	0.594×10^3	0.513×10^3	0.181×10^3	0.973×10^2
112	284	9.30	0.980×10^1	0.814×10^1	0.473×10^2	0.610×10^2	0.381×10^2	0.448×10^2

112	283	9.67	0.380×10^1	0.613×10^1	0.413×10^2	0.371×10^2	0.135×10^2	0.728×10^1
112	277	11.45	0.240×10^{-3}	0.790×10^{-4}	0.975×10^{-3}	0.101×10^{-2}	0.421×10^{-3}	0.227×10^{-3}
111	280	9.87	0.360×10^1	0.868×10^0	0.570×10^1	0.515×10^1	0.107×10^1	0.341×10^1
111	279	10.52	0.170×10^0	0.552×10^{-2}	0.453×10^{-1}	0.409×10^{-1}	0.426×10^{-1}	0.542×10^{-1}
111	278	10.85	0.620×10^{-2}	0.161×10^{-2}	0.147×10^{-1}	0.144×10^{-1}	0.322×10^{-2}	0.103×10^{-1}
111	274	11.15	0.926×10^{-2}	0.278×10^{-3}	0.278×10^{-2}	0.278×10^{-2}	0.635×10^{-3}	0.204×10^{-2}
111	272	10.82	0.150×10^{-2}	0.193×10^{-2}	0.174×10^{-1}	0.170×10^{-1}	0.380×10^{-2}	0.122×10^{-1}
110	281	8.83	0.960×10^2	0.894×10^3	0.360×10^4	0.297×10^4	0.116×10^4	0.614×10^3
110	279	9.84	0.200×10^0	0.497×10^0	0.292×10^1	0.265×10^1	0.113×10^1	0.604×10^0
110	273	11.29	0.110×10^{-3}	0.648×10^{-4}	0.596×10^{-3}	0.606×10^{-3}	0.288×10^{-3}	0.156×10^{-3}
110	271	10.96	0.620×10^{-3}	0.424×10^{-3}	0.355×10^{-2}	0.352×10^{-2}	0.164×10^{-2}	0.883×10^{-3}
110	270	11.24	0.100×10^{-3}	0.736×10^{-5}	0.668×10^{-4}	0.101×10^{-3}	0.844×10^{-4}	0.996×10^{-4}
110	269	11.35	0.270×10^{-3}	0.465×10^{-4}	0.434×10^{-3}	0.444×10^{-3}	0.212×10^{-3}	0.114×10^{-3}

4 小结

由前面的结果和讨论不难发现, 利用文献[7—9]给出的 Viola-Seaborg 公式参数, 来计算超重核区 ($Z \geq 104$) 的 α 衰变寿命的结果偏差较大, 利用拟合重核得到的新参数的计算结果虽比前 3 组参数的好, 但还是有较大的偏差, 而利用超重核拟合得到的新参数的结果是最好的。因此, 在超重核的研究中, 在利用 Viola-Seaborg 公式来计算超重核的 α 衰变寿命时, 为了能得到更准确的结果, 就应该采用利用超重核拟合得到的新参数, 即上述 New2 组参数。

致谢 感谢中国科学院理论物理研究所的赵恩广和周善贵两位研究员以及李璐璐博士的指导和帮助。

参考文献 (References):

- [1] Myers W D, Swiatecki W J. Nuclear Masses and Deformations. Nucl Phys, 1966, 8A1: 1.
- [2] Nilsson S G, Tsang C T, Sobiczewski A, *et al.* On the Structure and Stability of Heavy and Superheavy Elements. Nucl Phys, 1969, A131: 1.
- [3] Pei Junchen, Xu Furong, Wu Zheyang, *et al.* Nuclear Physics

Review, 2003, 20(2): 116(in Chinese).

(裴俊琛, 许甫荣, 吴哲英等. 原子核物理评论, 2003, 20(2): 116.)

- [4] Tai Fei, Chen Dinghan, Ren Zhongzhou. Nuclear Physics Review, 2003, 20(2): 154(in Chinese).
(邵非, 陈鼎汉, 任中洲. 原子核物理评论, 2003, 20(2): 154.)
- [5] Zhang Huanqiao. Nuclear Physics Review, 1999, 16(3): 192(in Chinese).
(张焕乔. 原子核物理评论, 1999, 16(3): 192.)
- [6] Peng Jinsong, Li Lulu, Zhou Shangui, *et al.* Chinese Physics, 2008, C32(8): 634.
- [7] Viola V E, Seaborg G T. J Inorg Nucl Chem, 1966, 28: 741.
- [8] Möller P, Nix J R, Kratz K L. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1997, 66: 131.
- [9] Dong Tiekuan, Ren Zhongzhou. High Energy Physics and Nuclear Physics. 2006, 30(2): 113(in Chinese).
(董铁矿, 任中洲. 高能物理与核物理. 2006, 30(2): 113.)
- [10] Golashvili T V, Chechev V P, Patarakin O O, *et al.* Nuclide Guide(3rd edition). Beijing: Atomic Energy Press, 2004, 316—322(in Chinese).
(格拉希维里, 契切夫, 帕塔尔肯等. 核素数据手册(第3版). 北京: 原子能出版社, 1994, 316—322.)
- [11] Hofmann S. Prog Part Nucl Phys, 2001, 46: 293.
- [12] Oganessian Y T, Utyonkov V K, Lobanov Y V, *et al.* Phys Rev, 2006, C74: 044602.

Study on Half-lives of α Decay in Region on Super-heavy Nuclei by Viola-Seaborg Formula^{*}

PENG Jin-song¹⁾

(Department of Physics and Electronic Engineering, Hechi University, Yizhou 546300, Guangxi, China)

Abstract: The α decay half-lives of the super-heavy nuclei in the mass region ($Z \geq 104$) were calculated by Viola-Seaborg formula with three sets of parameters. The calculated results show that all the three sets of parameters caused rather large deviations from the experimental data. To solve this problem, we have done a parameter fitting in the regions of heavy nuclei and super-heavy nuclei respectively, with the least squares method. With the new sets of parameters, the calculated α decay half-lives are in much better agreement with the experimental data. In particular, the results calculated with the new parameters in the region of super-heavy nuclei are even better.

Key words: formula of Viola-Seaborg; super-heavy nucleus; half-life of α decay; parameter fitting

* Received date: 11 Dec. 2008; Revised date: 15 Jan. 2009

* Foundation item: National Natural Science Foundation of China(10435010 10705014); Major State Basic Research Development Program of China(2007CB815000); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences(KJ CX-SW-No2)

1) E-mail: 123pjs@163.com