



论文

超重核 $Z=117$ 同位素链的 α 衰变性质张鹏^①, 张鸿飞^{①*}, 高远^①, 李君清^{①②}, 刘圳^①^① 兰州大学核科学与技术学院, 兰州 730000;^② 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000

*联系人, E-mail: zhanghongfei@lzu.edu.cn

收稿日期: 2011-08-18; 接受日期: 2012-03-26; 网络出版日期: 2012-07-09

国家自然科学基金(批准号: 10775061, 10975064, 11175074, 11105035)和兰州大学创新创业行动计划项目资助

摘要 运用推广的液滴模型结合 WKB 方法对新合成超重核 $^{293}117$ 和 $^{294}117$ 及其 α 衰变链中各核素的半衰期进行系统性分析, 理论计算得到的超重核半衰期与实验值符合得非常好. 说明推广的液滴模型可以成功研究超重核的半衰期. 本文还预测了 $Z=117$ 同位素链上尚未合成的超重核的 α 衰变半衰期. 计算结果表明在 $Z=117$ 同位素链中存在比已合成的 $^{293}117$ 和 $^{294}117$ 更稳定、寿命更长的超重核.

关键词 α 衰变, 超重核, 推广的液滴模型, 半衰期

PACS: 23.60.+e, 27.90.+b, 21.60.Ev, 21.10.Tg

doi: 10.1360/132011-1162

从原子核的 α 衰变现象发现到 20 世纪 30 年代, α 衰变理论已经基本建立, 人们知道 α 衰变现象是典型的量子位垒穿透问题, 在理论上可以采用 WKB 方法较好的解决. 20 世纪 60 年代考虑了原子核壳模型预言了在电荷数 $Z=114\text{--}126$, 中子数 $N=184$ 附近存在一片寿命较长的核素, 就是超重元素稳定岛^[1]. 几十年来, 在该领域不断地取得进展, 不但合成了 110, 111 和 112 号元素, 而且将超重元素的合成推到了 113–116^[2–5], 以及 118^[6] 号元素, 而且最近合成 117^[7] 号元素. 值得注意的是对 $Z=117$ 号超重核的合成截面, 在实验之前已经作了系统地理论研究^[8], 对该实验起了很好的指导作用. 对这些新合成超重核的性质进行详细的理论研究^[9–12], 一方面可以检验这些实验结果, 另一方面通过理论计算与实验的对照比较, 可以

完善现有的原子核理论模型. 该文运用推广的液滴模型(GLDM)结合 WKB 方法研究超重核的半衰期, 在理论上合成超重核 $^{293}117$ 和 $^{294}117$ 的实验进行确认, 判断推广的液滴模型研究超重核的可行性与合理性. 并在此基础上运用推广的液滴模型结合 WKB 方法预测 117 号元素 α 衰变链中各同位素半衰期, 寻找该同位素链中长寿核位置.

1 理论模型

1.1 推广的液滴模型

对于 α 衰变, 有两种不同的观点. 一种是预形成结团模型(Preformed Cluster Model)^[13], 另一种是超非对称裂变模型(Supersymmetric Fission Model)^[14–16].

引用格式: 张鹏, 张鸿飞, 高远, 等. 超重核 $Z=117$ 同位素链的 α 衰变性质. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2012, 42: 941–947

Zhang P, Zhang H F, Gao Y, et al. Alpha decay properties of the $Z=117$ isotopes (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2012, 42: 941–947, doi: 10.1360/132011-1162

最近的研究表明重核的 α 衰变过程倾向于第一种衰变模式^[17], 即 α 粒子在母核内有一定预形成几率、接着以零点振动频率撞击位垒, 最终有一定几率穿过位垒发生 α 衰变.

20 世纪 80 年代, 法国核物理学家 Royer 提出准分子形状, 在 α 衰变过程中引入了亲合能. 在原子核液滴模型的基础上考虑准分子形状机制和亲合能的贡献, 就是推广的液滴模型(Generalized Liquid Drop Model)^[18-20].

在推广的液滴模型中, 原子核的总能量表示为

$$E = E_V + E_S + E_C + E_{\text{prox}}, \quad (1)$$

式中 E_V , E_S 和 E_C 分别是原子核的体积能、表面能和库仑能, E_{prox} 是亲合能.

在通常的液滴模型中, 位能包括体积能 E_V 、表面能 E_S 和库仑能 E_C . 表面能 E_S 仅考虑表面张力的效应, 而不包括在脖子区或两个碰撞核之间、或两个分开碎片之间吸引核力的贡献. 引入亲和力就是要考虑这些附加的表面效应. 要强调的是在 GLDM 中, 亲和力考虑了脖子区域表面核子之间的强相互作用, 它与核的形状有关. 所以, 亲和能可以表示为

$$E_N = E_{\text{prox}} = 2\gamma \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} \phi(D/b) 2\pi h dh, \quad (2)$$

h 为横向距离, D 为脖子区子核表面和 α 粒子表面之间的距离, b 为面的宽度, 一般取 0.99 fm. ϕ 为 Feldmeier 函数^[21], 表面参数 γ 为两个核表面参数的几何平均:

$$\gamma = 0.9517 \sqrt{(1-2.6I_1^2)(1-2.6I_2^2)} \text{ MeV fm}^{-2}, \quad (3)$$

在两个核的接触点处, 亲和能达到最大, 在接触点的两侧迅速减小为零.

对于 α 衰变, 亲合能的表达式可以写为^[21]

$$E_{\text{prox}} = 4\pi\gamma e^{-x} \left[aA^{2/3} - \left(\frac{0.172}{A^{1/3}} + bA^{1/3} \right) r - cA^{1/3}r^2 + dr^3 \right], \quad (4)$$

式中 $x=1.38r+R_\alpha+R_d$, $a=0.6584$, $b=0.4692$, $c=0.02548$, $d=0.01762$, 其中 A 为母核质量数, r 为 α 粒子与子核质心距离.

在 α 衰变过程中, 由于体积守恒, E_V 不影响势垒. 引入亲和力后, 库仑力和亲和力之间的平衡控制着位垒的高度和位置, 可以降低位垒的高度并移动其位置, 所以亲和力的引入对正确描述 α 衰变位垒非常关键. 推广的液滴模型考虑了精确的原子核半径、质

量和电荷的不对称性、形变、亲和力等因素, 所以它能够描述原子核的裂变、融合、 α 衰变、质子发射以及集团放射性^[22-24].

1.2 结合 WKB 方法计算衰变半衰期

原子核的 α 衰变常数定义为

$$\lambda = P_0 v_0 P, \quad (5)$$

其中 v_0 是零点振动频率, $v_0 = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{2E_\alpha}{M}}$; R 为母核的半径, E_α 为 α 粒子的能量, M 为 α 粒子的质量. P 是穿透位垒的几率, 按照量子力学中的 WKB 近似, α 粒子的势垒贯穿概率为

$$P = e^{-G}, \quad (6)$$

$$G = \frac{2}{\hbar} \int_{R_{\text{in}}}^{R_{\text{out}}} \sqrt{2B(r)(E(r) - E_{\text{sphere}})} dr, \quad (7)$$

子核和 α 粒子分开之前, 核的变形成(以球形核的能量为零点)比较小. 同时做了以下近似:

$$R_{\text{in}} = R_d + R_\alpha, \quad (8)$$

$$B(r) = \mu, \quad (9)$$

其中 μ 是子核和 α 粒子的约化质量, R_{out} 为 $\frac{e^2 Z_\alpha Z_d}{Q_\alpha}$. R_α

和 R_d 是在保证衰变过程中原子核体积守恒条件下 α 粒子与子核的半径, 分别取:

$$R_d = R_0(1 + \beta^3)^{-1/3}, \quad (10)$$

$$R_\alpha = R_0\beta(1 + \beta^3)^{-1/3}, \quad (11)$$

其中

$$\beta = \frac{1.28A_\alpha^{1/3} - 0.76 + 0.8A_\alpha^{-1/3}}{1.28A_d^{1/3} - 0.76 + 0.8A_d^{-1/3}}, \quad (12)$$

P_0 是 α 粒子在原子核内的预形成几率, 采用最新拟合的解析公式^[25]:

$$\log P_0 = a + b(Z - Z_1)(Z_2 - Z) + c(N - N_1)(N_2 - N) + dA, \quad (13)$$

其中 Z 为电荷数, N 为中子数, A 为母核质量数, Z_1 和 Z_2 为质子幻数($Z_1 < Z < Z_2$), N_1 和 N_2 为中子幻数($N_1 < N < N_2$), $a-d$ 为参数, 由原子核的微观结构决定, 如下表 1 所示. α 粒子在母核内预形成机制的研究, 原则上应该从核多体理论出发, 目前还没有很好解决, 很难给出预形成因子的定量结果. 本课题组近期拟合实验提取的预形成因子而得到了(13)式所示的经验公式, 是母核的质子数 Z 和中子数 N 的函数. 在拟合参数时发

表 1 采用公式(13)计算预形成因子的参数表

Table 1 The parameter table that calculated the preformation factor through eq. (13)

Odd-A nucleus				
	50<Z<82	82<Z	82<Z	82<Z
	82<N<126	82<N<126	126<N<152	152<N
<i>a</i>	6.194819	-17.70253	9.584417	-1196.707
<i>b</i>	0.005354	0.091751	0.147407	-5.273438
<i>c</i>	0.006363	0.004019	0.020438	-5.003726
<i>d</i>	-0.069859	0.059800	-0.076871	5.103626
$\sqrt{\sigma^2}$	0.670	0.850	1.608	1.601
Odd-odd nucleus				
<i>a</i>	12.18941	-50.85612	22.07726	-9157.626
<i>b</i>	-0.006942	0.136975	0.357635	-38.89009
<i>c</i>	-0.002655	0.013371	0.027708	-39.16380
<i>d</i>	-0.084889	0.205916	-0.146806	39.09218
$\sqrt{\sigma^2}$	0.696	0.811	1.876	1.409

现, 若采用统一的参数(即对所有原子核, 参数 $a-d$ 取相同数值), 很难符合从实验提取的原子核的预形成因子. 后来采用对不同质量区域原子核采用不同参数时, 得到了与实验提取的预形成因子符合很好的结果^[25]. 该分区是依据原子核的质子与中子幻数进行的(质子幻数取为 $Z=50, 82$, 中子幻数为 $N=50, 82, 126$ 和 152 ; 在 $Z=82$ 或者 $N=152$ 后进一步假定核子幻数, 例如: $Z=114, N=184$ 时, 不会给出更好的拟合结果). 一方面说明了预形成因子与原子核的微观结构紧密相关. 另一方面也表明从微观理论自洽计算阿尔法粒子预形成因子的复杂性. 由于该公式的参数拟合了合成 $Z=117$ 号元素以前所有重核以及超重核的实验结果, 预期对超重核 $Z=117$ 号超重核同位素链上原子核的 α 粒子预形成因子能够给出合理的结果.

通过(5)式可以算出 λ , 利用

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad (14)$$

计算出 α 衰变的半衰期. 平均寿命为

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}. \quad (15)$$

2 理论计算结果与分析

2.1 $^{293}\text{117}$ 与 $^{294}\text{117}$ 衰变链上核的 α 衰变平均寿命

运用 GLDM 方法计算得到的理论平均寿命与利用密度依赖的 M3Y 模型(DDM3Y)计算得到的平均寿命及实验值的比较列在表 2 中, 第 1 列和第 2 列分别

为 α 衰变链的质量数和质子数, 第 3 列和第 4 列分别为 α 衰变链上 α 粒子动能与衰变能的实验值. 第 5 列, 第 6 列和第 7 列分别是平均寿命的实验值、运用密度依赖的 M3Y(DDM3Y)模型^[26]及推广的液滴模型计算得到的平均寿命.

对表 2 中不同模型(M3Y 与 GLDM)计算得到的平均寿命比较分析可以发现, 推广的液滴模型计算值对衰变能的变化敏感程度与 DDM3Y 对衰变能变化的敏感程度相似, 说明 α 衰变能对确定原子核 α 衰变半衰期至关重要.

另外, GLDM 的计算结果在整体上和已知的理论预测值^[27](*表示)符合的很好, 特别对奇 A 核的理论计算几乎完全再现了实验结果. 衰变能为 9.74 MeV 时对 $^{285}\text{113}$ 的计算结果与实验符合很完美, 与 DDM3Y 的理论计算符合也很好. 从表 2 中质子数 $Z=109-117$ 号元素中相应核素的半衰期的实验值和理论预测值的大小变化可以看出, 在 $Z=113$ 附件可能存在超重核的稳定岛, 说明我们的理论计算非常接近真实数据. 但 $^{282}\text{111}$ 的计算所得平均寿命远远大于实验观察值, 从模型对衰变能的敏感程度来看, 可能衰变能的取值需要在实验上进一步更精确地测量. 而 $^{278}\text{109}$ 的计算结果却远小于实验观测值, 却和 DDM3Y 理论的计算结果符合的很好, 可能有同核异能素的存在, 需要进一步的理论探索与实验验证.

整体来看, 推广的液滴模型计算得到的平均寿命与实验值较 DDM3Y 更加吻合, 可见 GLDM 用于研究超重核的衰变是十分成功的.

表 2 $^{293}\text{117}$ 和 $^{294}\text{117}$ 及其衰变链中各核的平均寿命与实验值的比较

Table 2 Comparisons between observed (τ^{exp})^[7] and theoretical α -decay lifetimes(τ^{M3Y} , τ^{GLDM}) using measured and calculated Q_α

母核 A	母核 Z	E_α^{exp} (MeV)	Q_α (MeV)	τ^{exp}	τ^{M3Y}	τ^{GLDM}
293	117	11.03(8)	11.19(8)	21 ms	$4.1^{+2.3}_{-1.5}$ ms	$46.0^{+27.1}_{-16.9}$ ms
293	117	*11.26	11.42	*10 ms	1.2 ms	13.0 ms
289	115	10.31(9)	10.46(9)	0.32 s	65^{+47}_{-27} ms	$0.82^{+0.63}_{-0.35}$ s
289	115	*10.48	10.63	*0.22 s	23 ms	0.29s
285	113	9.48(11)	9.62(11)	7.9 s	$3.0^{+3.4}_{-1.6}$ s	$47.13^{+55.34}_{-25.18}$ s
285	113	9.74(8)	9.89(8)	7.9 s	530^{+366}_{-213} ms	$7.4^{+5.3}_{-3.0}$ s
285	113	*9.96	10.11	*1.2 s	0.13 s	1.7 s
294	117	10.81(10)	10.97(10)	112 ms	52^{+46}_{-23} ms	$34.5^{+28.1}_{-15.3}$ ms
294	117	*11.00	11.16	*45 ms	18 ms	11.3 ms
290	115	9.95(40)	10.10(10)	0.023 s	$2.43^{+33.18}_{-2.24}$ s	$2.4^{+2.3}_{-1.2}$ s
290	115	*10.23	10.38	*1.0 s	0.40 s	0.39 s
286	113	9.63(10)	9.77(10)	28.3 s	$4.2^{+4.0}_{-2.0}$ s	$6.2^{+6.2}_{-3.0}$ s
286	113	*9.56	9.7	*16 s	6.7 s	10.1 s
282	111	9.00(10)	9.13(10)	0.74 s	$70.1^{+77.3}_{-35.9}$ s	$165.6^{+186.3}_{-86.6}$ s
282	111	*9.43	9.57	*8.1 s	3.4 s	6.9 s
278	109	9.55(19)	9.70(19)	11.0 s	$0.3^{+0.8}_{-0.2}$ s	$0.87^{+2.0}_{-0.6}$ s
278	109	*9.14	9.28	*13 s	5.0 s	14.6 s
274	107	8.80(10)	8.94(10)	1.3 min	$11.3^{+12.1}_{-5.9}$ s	$44.6^{+49.2}_{-23.2}$ s
274	107	*8.43	8.56	*7.4 min	3.02 min	13.5 min

*表示数据采用的是新元素合成前 Sobiczewski^[27]所做的理论预测值

2.2 对 $Z=117$ 同位素链半衰期的理论预言

通过推广的液滴模型可以对尚未合成的超重核的半衰期进行预测. 本文对 $Z=117$ 同位素链的半衰期做了理论预言, 衰变能 Q_α 采用不同模型[MS], [M]与 [KUTY]数据^[28]. 值得注意的是 α 衰变能是原子核 α 衰变性质中最为重要的物理量. α 衰变能随同位素链的变化规律直接反映原子核的微观结构性质. α 衰变半衰期对衰变能非常敏感, 对同一原子核其他物理因素完全相同的情况下, 衰变能相差 1 MeV 时, 半衰期相差一千倍左右. 最近文献 [28] 的系统计算表明, 由 Muntian-Patyk-Hofmann-Sobiczewski(简称 [M] 数据)、Myers-Swiatecki(简称为 [MS] 数据)以及 Koura-Tachibana-Uno-Yamada (简称为 [KTUY] 数据)给出的原子核 α 衰变能, 在重核以及超重核区, 能够与实验结果系统符合, 所以将采用这几种模型给出的 α 衰变能来计算 $Z=117$ 同位素链上原子核的 α 半衰期.

表 3 是运用推广的液滴模型计算得到的结果. 为了更直观的显示计算结果以便于观察推测, 将结果绘

制成图 1. 从图可以看到, 不同模型下的衰变能 Q_α 值随中子数 N 改变的变化趋势基本一致, 半衰期对数随中子数增加的变化趋势也比较一致. 我们知道, 衰变能较大的原子核更容易衰变, 因而其半衰期较小. 图 1 中 $N=178(A=295)$ 与 $N=184(A=301)$ 处半衰期相对较大, 均大于 $^{293}\text{117}$ 和 $^{294}\text{117}$ 的半衰期, 且 $N=184$ 前后有显著的升降, 说明 $Z=117$ 中存在更长寿命同位素. 根据核结构的壳模型的理论预言, $N=184$ 是中子幻数, 此处的原子核比较稳定. 又原子核壳模型预言, 质子数 $Z=114$ 且中子数 $Z=184$ 的原子核($A=298$)是双幻核, 该核及其附件的一些核可能具有相当大的稳定性, 这我们的理论计算结果相符合. 另外, 图 1 中可以看出中子数为偶数时的原子核衰变半衰期普遍大于相邻的中子数为奇数时的半衰期. 对于目前已知的 259 种稳定的核素统计结果中, 奇偶核占 19.31%, 奇奇核只有 1.93%, 可见奇偶核较奇奇核更稳定, 这被当前 GLDM 的计算结果作了很好的印证. 另外, 采用 3 种不同模型的 α 衰变能计算得到的半衰期尽管趋势一致, 但大小相差 2 个数量级以上. 充分说明非常有必要进

表 3 在不同模型下衰变能 Q_α 值通过 GLDM 计算得到的半衰期

Table 3 Half-life calculated by GLDM of different Q_α that under different models

A	N	Q_{th}^{MS} (MeV)	$T_{1/2}(S)$	Q_{th}^M (MeV)	$T_{1/2}(S)$	Q_{th}^{KUTY} (MeV)	$T_{1/2}(S)$
289	172	12.2	2.81576×10^{-4}	11.75	2.60904×10^{-3}	11.155	6.51852×10^{-2}
290	173	12.14	4.71997×10^{-5}	11.61	6.81868×10^{-4}	11.045	1.53883×10^{-2}
291	174	11.94	7.68671×10^{-4}	11.58	4.92068×10^{-3}	10.895	2.26659×10^{-1}
292	175	11.93	1.34867×10^{-4}	11.42	1.91648×10^{-3}	10.815	6.01944×10^{-2}
293	176	11.91	7.03763×10^{-4}	11.53	5.01978×10^{-3}	10.725	4.88536×10^{-1}
294	177	11.9	1.47414×10^{-4}	11.43	1.74633×10^{-3}	10.685	1.33400×10^{-1}
295	178	11.8	8.65739×10^{-4}	11.4	7.31973×10^{-3}	10.585	8.88457×10^{-1}
296	179	11.59	7.34499×10^{-4}	11.26	4.45731×10^{-3}	10.685	1.33503×10^{-1}
297	180	11.97	2.76940×10^{-4}	11.38	6.09758×10^{-3}	10.805	1.70560×10^{-1}
298	181	12.16	4.18481×10^{-4}	11.36	2.67152×10^{-3}	10.735	1.02344×10^{-1}
299	182	12.25	5.46608×10^{-5}	11.35	5.57905×10^{-3}	10.675	2.91562×10^{-1}
300	183	12.35	1.84575×10^{-5}	11.31	3.72342×10^{-3}	10.635	2.00623×10^{-1}
301	184	12.35	2.70407×10^{-5}	11.29	6.08474×10^{-3}	10.545	5.19478×10^{-1}
302	185	12.96	1.31767×10^{-6}	12.34	2.09464×10^{-5}	11.365	2.95466×10^{-3}
303	186	12.87	2.06546×10^{-6}	12.08	7.62090×10^{-5}	12.085	7.43930×10^{-5}

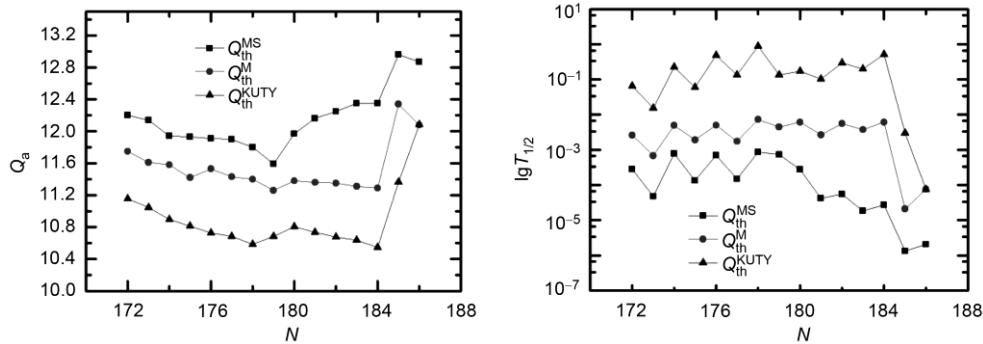


图 1 不同模型计算的衰变能 Q_α 及其对应半衰期 $T_{1/2}$ 的对数随中子数 N 的变化

Figure 1 The Decay energy Q_α under different models and the corresponding half-life $T_{1/2}$ with neutron number N .

一步发展理论以更为准确可靠地给出原子核的 α 衰变能,从而更为合理地预言超重核的 α 衰变半衰期.

3 结论

推广的液滴模型是 20 世纪 80 年代由法国核物理学家 Royer 提出的,它最初是用来研究原子核裂变的.在过去的一段时间,国内外核物理学家研究重核与超重核 α 衰变获得了成功.表明推广的液滴模型是研究 α 衰变非常有效的方法.本文通过对近年来新合成的超重核 $^{294}117$ 和 $^{293}117$ 其 α 衰变链中各核素的半衰期计算以及对 $Z=117$ 同位素链上尚未合成的核素的半衰期的理论预测,得到了以下结论:

(i) 运用推广的液滴模型对超重核 $^{294}117$ 和 $^{293}117$

及其 α 衰变链中的各核素的性质进行了研究,计算了这些核的半衰期,并与实验值进行了比较.结果表明,在考虑亲合能的情况下,理论计算值与实验值符合得很好,且总体上要比 DDM3Y 模型的计算结果好,这说明推广的液滴模型能够成功研究超重核的 α 衰变性质.

(ii) 预测了 $Z=117$ 同位素链上尚未合成的超重核的半衰期.计算结果表明在 $Z=117$ 中存在长寿命同位素,可能位置在 $N=178$ 或 $N=184$.可以为实验核物理学家今后合成超重核提供一定理论参考.

通过上述的研究可以看出,作为宏观模型的推广的液滴模型没有考虑一些微观因素(如壳修正)对 α 衰变势垒的影响.今后将考虑这些微观因素对原子核 α 衰变位垒的影响,更为精确地研究原子核的 α 衰变性质.

致谢 张鹏感谢杨少丹学长和李雪伊同学的热心帮助.

参考文献

- 1 Sobiczewski A, Gareev F A, Kalinkin B N, et al. Closed shells for $Z > 82$ and $N > 126$ in a diffuse potential well. *Phys Lett*, 1966, 22(4): 500–502
- 2 Oganessian Y T, Utyonkov V K, Lobanov Y V, et al. Experiments on the synthesis of element 115 in the reaction $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, \text{xn})^{291-x}115$. *Phys Rev C*, 2004, 69: 021601
- 3 Morita K, Morimoto K, Kaji D, et al. Experiment on the synthesis of element 113 in the reaction $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn}, \text{n})^{278}113$. *J Phys Soc Jpn*, 2004, 73: 2593–2596
- 4 Oganessian Y T, Yeremin A V, Popeko A G, et al. Synthesis of nuclei of the superheavy element 114 in reactions induced by ^{48}Ca . *Nature*, 1999, 400: 242–245
- 5 Oganessian Y T, Utyonkov V K, Lobanov Y V, et al. Observation of the decay of 292116. *Phys Rev C*, 2000, 63: 011301
- 6 Oganessian Y T, Utyonkov V K, Lobanov Y V, et al. Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the ^{249}Cf and $^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$ fusion reactions. *Phys Rev C*, 2006, 74: 044602
- 7 Oganessian Y T, Abdullin F S, Bailey P D, et al. Synthesis of a new element with atomic number $Z=117$. *Phys Rev Lett*, 2010, 104: 142502
- 8 Liu Z H, Bao J D. Optimal reaction for synthesis of superheavy element 117. *Phys Rev C*, 2009, 80: 034601
- 9 Qian Y B, Ren Z Z, Ni D D. Calculations of α -decay half-lives for heavy and superheavy nuclei. *Phys Rev C*, 2011, 83: 044317
- 10 Pei J C, Xu F R, Lin Z J, et al. α -decay calculations of heavy and superheavy nuclei using effective mean-field potentials. *Phys Rev C*, 2007, 76: 044326
- 11 Zhang G L, Le X Y, Zhang H Q. Calculations of α preformation for nuclei near $N=162$ and $N=184$. *Phys Rev C*, 2009, 80: 064325
- 12 Zhang H F, Royer G. Theoretical and experimental α -decay half-lives of the heaviest odd- Z elements and general predictions. *Phys Rev C*, 2007, 76: 047304
- 13 Malik S S, Gupta R K. Theory of cluster radioactive decay and of cluster formation in nuclei. *Phys Rev C*, 1989, 39: 1992–2000
- 14 Poenaru D N, Ivascu M. 5He radioactivity. *J Phys (France)*, 1984, 45: 1099–1106
- 15 Poenaru D N, Greiner W, Depta K, et al. Calculated half-lives and kinetic energies for spontaneous emission of heavy ions from nuclei. *Atom Data Nucl Data Tables*, 1986, 34(3): 423–538
- 16 Poenaru D N, Schnabel D, Greiner W, et al. Nuclear lifetimes for cluster radioactivities. *Atom Data Nucl Data Tables*, 1991, 48: 231–327
- 17 Zhang H F, Royer G, Li J Q. Assault frequency and preformation probability of the α emission process. *Phys Rev C*, 2011, 84: 027303
- 18 Zhang H F, Zuo W, Li J Q, et al. α decay half-lives of new superheavy nuclei within a generalized liquid drop model. *Phys Rev C*, 2006, 74: 017304
- 19 Royer G. Alpha emission and spontaneous fission through quasi-molecular shapes. *J Phys G-Nucl Part Phys*, 2000, 26: 1149–1170
- 20 Royer G, Gupta R K, Denisov V Y. Cluster radioactivity and very asymmetric fission through compact and creviced shapes. *Nucl Phys A*, 1998, 632(2): 275–284
- 21 Feldmeier H. Nuclear structure study by means of nuclear reactions. In: *Proc. 12th Summer School on Nuclear Physics*. Polan: Mikolajki, 1979
- 22 Chen B Q, Ma Z Y, Rong J, et al. Formation and Decay of Superheavy Elements (in Chinese). *Nucl Phys Rev*, 2003, 20(2): 102–110 [陈宝秋, 马中玉, 荣健, 等. 超重核的生成和衰变. *原子核物理评论*, 2003, 20(2): 102–110]
- 23 Zhang H F, Dong J M, Royer G, et al. Preformation of cluster in heavy nuclei and cluster radioactivity. *Phys Rev C*, 2009, 80: 037307
- 24 Zhang H F, Royer G. α particle preformation in heavy nuclei and penetration probability. *Phys Rev C*, 2008, 77: 054318
- 25 Zhang H F, Royer G, Wang Y J, et al. Analytic expressions for alpha particle preformation in heavy nuclei. *Phys Rev C*, 2009, 80: 057301
- 26 Chowdhury P R, Gangopadhyay G, Bhattacharyya A. Stability against α decay of some recently observed superheavy elements. *Phys Rev C*, 2011, 83: 027601
- 27 Sobiczewski A. Predictions for nuclei of a new element 117. *Acta Phys Pol B*, 2010, 41: 157–164
- 28 Chowdhury P R, Samanta C, Basu D N. Nuclear half-lives for α -radioactivity of elements with $100 \leq Z \leq 130$. *Atom Data Nucl Data Tables*, 2008, 94: 781–806

Alpha decay properties of the $Z=117$ isotopes

ZHANG Peng¹, ZHANG HongFei^{1*}, GAO Yuan¹, LI JunQing^{1,2} & LIU Zhen¹

¹ *School of Nuclear Sciences and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*

² *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*

With the Generalized Liquid Drop Model (GLDM) combined with WKB approximation, we give a systematic analysis for the half-lives of the newly observed superheavy nuclei $^{293}117$ and $^{294}117$ isotopes and α -decay products. The calculated half-lives of superheavy nuclei coincide with the experimental data very well, implying the success of the Generalized Liquid Drop Model for studying the α -decay properties of superheavy nuclei. We also predict the half-lives of superheavy nuclei of $Z=117$ isotopes which are not synthesized. The results show that in the $Z=117$ isotopes existing more stable superheavy nuclei than the observed $^{293}117$ and $^{294}117$.

alpha decay, superheavy nuclei, generalized liquid drop model, half-life

PACS: 23.60.+e, 27.90.+b, 21.60.Ev, 21.10.Tg

doi: 10.1360/132011-1162