

# 满壳层附近禁戒 $\alpha$ 衰变寿命的研究\*

许昌<sup>1</sup> 任中洲<sup>1,2;1)</sup>

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** 发展了  $\alpha$ -结团模型并用于研究满壳层 ( $Z = 82, N = 126$ ) 附近的禁戒  $\alpha$  衰变, 对实验新观测到的天然  $\alpha$  放射性核素  $^{209}\text{Bi}$  以及  $N = 127$  同中子素链 ( $\text{Po-U}$ ) 的  $\alpha$  衰变寿命进行了计算, 理论结果和实验数据能够很好地符合, 验证了  $\alpha$ -结团模型对禁戒  $\alpha$  衰变的适用性. 通过引入随质子数变化的  $\alpha$  粒子预形成几率公式, 进一步改进和完善了  $\alpha$ -结团模型.

**关键词**  $\alpha$ -结团模型 禁戒  $\alpha$  衰变 预形成几率 衰变寿命

## 1 引言

最近, 关于  $\alpha$  衰变的研究成为重核和超重核领域的热点. 近年来德国 GSI 实验室, 俄罗斯 Dubna 实验室, 美国 Berkeley 实验室等人工合成的新元素和新核素大多具有  $\alpha$  放射性, 并且都是通过其  $\alpha$  衰变产物而鉴别的, 实验上<sup>[1]</sup> 还发现一些稳定的天然核素也具有  $\alpha$  放射性, 改变了人们对天然核素稳定性的传统看法.  $^{209}\text{Bi}$  ( $Z = 83, N = 126$ ) 被长期认为是一个稳定核素, 并且是自然界中存在的最重的稳定核素, 但最新的实验表明  $^{209}\text{Bi}$  也具有  $\alpha$  放射性, 实验上观察到  $^{209}\text{Bi}$  从自旋和宇称为  $\frac{9}{2}^-$  的基态衰变

到  $^{205}\text{Tl}$  的基态  $\frac{1}{2}^+$ ,  $\alpha$  粒子带走轨道角动量和宇称, 衰变时初态和末态跨越  $Z = 82$  的满壳层,  $\alpha$  衰变寿命长达  $(1.9 \pm 0.2) \times 10^{19}$  a, 是目前已知的寿命最长的放射性核素. 对于  $^{209}\text{Bi}$  这么一个极端特殊的核素, 本文将利用  $\alpha$ -结团模型对  $^{209}\text{Bi}$  及其他满壳层附近的禁戒  $\alpha$  衰变进行研究.

$\alpha$ -结团模型对初末态自旋和宇称相同的  $\alpha$  衰变的研究十分广泛和成功, Buck 等<sup>[2]</sup> 用  $\alpha$ -结团模型系统地计算了中重核和重核的  $\alpha$  衰变寿命, 理论寿命

和实验寿命非常符合 (禁戒因子  $HF = T_{\text{exp}}/T_{\text{cal}}$  约在  $\frac{1}{3}$  到 3 之间). 但对禁戒情况下的  $\alpha$  衰变 (母核和子核自旋及宇称不同) 的研究在文献中还不多见. 本文将  $\alpha$ -结团模型推广至禁戒情况下的  $\alpha$  衰变, 计算  $^{209}\text{Bi}$  以及同中子素链  $^{211}\text{Po}, ^{212}\text{At}, ^{213}\text{Rn}, ^{214}\text{Fr}, ^{215}\text{Ra}, ^{216}\text{Ac}, ^{217}\text{Th}, ^{218}\text{Pa}$  和  $^{219}\text{U}$  的衰变寿命. 这一同中子素链 ( $N = 127$ ) 和  $^{209}\text{Bi}$  类似,  $\alpha$  衰变时跨越中子满壳层, 从母核的基态  $\frac{9}{2}^+$  衰变到子核的基态  $\frac{1}{2}^-$ ,  $\alpha$  粒子带走相同的轨道角动量和宇称. 对满壳层附近的禁戒  $\alpha$  衰变的研究, 将有助于进一步改进和完善  $\alpha$ -结团模型以及将来准确预言禁戒  $\alpha$  衰变的寿命.

## 2 理论框架

Buck 等提出的  $\alpha$ -结团模型把母核的基态看成有一个  $\alpha$  粒子处于围绕子核的轨道上, 轨道由主量子数  $L + 2n$  描述, 其中  $n$  是轨道波函数的节点数,  $L$  是轨道角动量,  $\alpha$  粒子相对子核的势<sup>[2]</sup>

$$V(r) = V_N(r) + V_C(r) + \frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{\left(L + \frac{1}{2}\right)^2}{r^2}, \quad (1)$$

2003-08-18 收稿

\* 国家杰出青年基金 (10125521), 教育部博士重点基金 (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-N02) 资助

1) E-mail: zren@nju.edu.cn

其中

$$V_N(r) = -V_0 \frac{1 + \cosh(R/a)}{\cosh(r/a) + \cosh(R/a)}, \quad (2)$$

$$V_C(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} \quad (r \geq R)$$

$$= \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2R} \left[ 3 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (r \leq R), \quad (3)$$

方程(1)中,第一项是核势项(强作用势).第二项和第三项分别是库仑势项和 Langer 修正离心势项,  $Z_1, Z_2$  分别是子核和  $\alpha$  粒子的电荷数,  $\mu$  是子核和  $\alpha$  粒子的约化质量,  $V_0$  是阱深,  $R$  是原子核半径.

每个具体的衰变通过对方程  $V(r) = Q$  的数值求解,得到3个转折点  $r_1, r_2, r_3$ . 半径参数  $R$  同时出现在  $V_N(r)$  和  $V_C(r)$  中,利用玻尔-索莫菲量子化条件求解半径  $R^{[2]}$ :

$$\int_{r_1}^{r_2} dr \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2} [Q - V_N(r) - V_C(r)] - \frac{\left(L + \frac{1}{2}\right)^2}{r^2}}$$

$$= (2n + 1) \frac{\pi}{2} = (G - L + 1) \frac{\pi}{2}, \quad (4)$$

其中  $r_1, r_2$  分别是第一和第二转折点,  $Q$  值是  $\alpha$  衰变能,  $V_0$  和  $a$  是常数,通过计算优化后获得最终的一套参数<sup>[2]</sup>:

$$V_0 = 162.3 \text{ MeV}, \quad a = 0.40 \text{ fm}, \quad (5)$$

通过数值计算对方程(4)求解得到  $R$  的值,将  $R$  代入半经典近似下的准束缚态衰变宽度公式中:

$$\Gamma = PF \frac{\hbar^2}{4\mu} \exp\left(-2 \int_{r_2}^{r_3} dr k(r)\right), \quad (6)$$

$r_3$  是第三转折点,  $P$  是  $\alpha$  粒子在母核内的预形成几率,  $F$  是修正因子,由下面的表达式给出:

$$F \int_{r_1}^{r_2} dr \frac{1}{k(r)} \cos^2\left(\int_{r_1}^r dr' k(r') - \frac{\pi}{4}\right) = 1, \quad (7)$$

$k(r)$  是波数:

$$k(r) = \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2} |Q - V(r)|}, \quad (8)$$

最后  $\alpha$  衰变寿命可以用衰变宽度表示:

$$T_{1/2} = \hbar \ln 2 / \Gamma. \quad (9)$$

在  $\alpha$ -结团模型中,将参数  $V_0, a$  取为常数,半径  $R$  的值由具体的  $\alpha$  衰变和方程(4)决定,  $L$  为  $\alpha$  衰变中  $\alpha$  粒子带走的轨道角动量量子数.

### 3 理论计算结果及分析

$\alpha$ -结团模型中,  $\alpha$ -核心势包括强作用势  $V_N$ 、库

仑势  $V_C$  和 Langer 修正离心项. 非禁戒的  $\alpha$  衰变过程中,  $\alpha$  粒子不带走轨道角动量和宇称 ( $L = 0, \Delta\pi = 1$ ), 母核和子核状态相同. 对这种  $\alpha$  衰变的研究在文献中比较普遍. 对于禁戒  $\alpha$  衰变, 原子核的初态和末态的自旋及宇称改变,  $\alpha$  粒子带走轨道角动量和宇称 ( $L \neq 0, \Delta\pi = -1$ ), 由于  $\alpha$ -核心势中 Langer 项与轨道角动量量子数  $L$  相关, 禁戒  $\alpha$  衰变时增加了势垒的高度和厚度, 导致  $\alpha$  粒子的穿透几率减小. 本文的理论计算集中在  $\frac{9^-}{2} \rightarrow \frac{1^+}{2}, \frac{9^+}{2} \rightarrow \frac{1^-}{2}$  和  $1^- \rightarrow 5^+$  的禁戒  $\alpha$  衰变上,  $\alpha$  粒子带走奇数的轨道角动量 ( $L = 5$ ), 因此主量子数 ( $G = 2n + L$ ) 也必须取为奇数. Buck 等<sup>[2]</sup> 提出的  $\alpha$ -结团模型中,  $82 < N \leq 126$  时主量子数  $G$  取为 20,  $N > 126$  时取为 22. 禁戒情况下我们选取主量子数为其相临的奇数值, 即  $N \leq 126$  时取  $G = 21$ ,  $N > 126$  时取  $G = 23$ .  $\alpha$ -结团模型中, 对偶偶核假定  $\alpha$  粒子已经存在于母核内 (偶偶核  $\alpha$  粒子预形成几率  $P_{\infty} = 1$ ), 对于奇偶核和奇奇核, 奇核子会产生阻塞效应, 将  $\alpha$  粒子预形成几率减小 (奇偶核  $P_{\infty} = 0.6$ , 奇奇核  $P_{\infty} = 0.35$ ). 由于  $\alpha$  粒子预形成几率的精确计算还有待于进一步研究, 且实验<sup>[3]</sup> 和理论研究表明  $\alpha$  粒子预形成几率在开壳的区域变化不明显, 因此 Buck 等<sup>[2]</sup> 将预形成几率取为常数, 通过对阱深  $V_0$  和  $a$  的计算拟合, 简化  $\alpha$ -结团模型中的可调参数, 对中重核和重核的  $\alpha$  衰变寿命计算获得很大的成功.

实际的  $\alpha$  粒子预形成几率的大小应该依赖于核结构, 满壳层附近 ( $Z = 82, N = 126$ ) 的预形成几率会显著下降. 由于  $^{209}\text{Bi}$  紧靠双幻数核  $^{208}\text{Pb}$ , 核素  $^{211}\text{Po}, ^{212}\text{At}, ^{213}\text{Rn}, ^{214}\text{Fr}, ^{215}\text{Ra}, ^{216}\text{Ac}, ^{217}\text{Th}, ^{218}\text{Pa}$  以及  $^{219}\text{U}$  的中子数均为 127. 这一类特殊核素的  $\alpha$  衰变需要跨越中子或质子满壳层,  $\alpha$  粒子预形成几率会远低于其他  $\alpha$  放射性核素. 对这一类核素,  $\alpha$  衰变寿命的计算需要充分考虑核结构效应.

我们保持  $\alpha$ -结团模型中阱深  $V_0$  和  $a$  不变, 首先将  $\alpha$  粒子预形成几率取为常数  $P = 0.03$ , 这和测量到的幻数 ( $N = 126$ ) 附近的实验值接近, 计算得到的理论计算结果如表 1 所示, 禁戒因子 ( $HF = T_{\alpha}(\text{exp.})/T_{\alpha}(\text{cal.})$ ) 在 0.6—4.4 之间, 均方差  $\left(S = \sum \left[ \frac{T_{\alpha}(\text{exp.}) - T_{\alpha}(\text{cal.})}{T_{\alpha}(\text{exp.})} \right]^2\right)$  为 5.9.  $^{209}\text{Bi}$  理论寿命和实验寿命一致, 同中子素链  $^{211}\text{Po}, ^{212}\text{At}, ^{213}\text{Rn}, ^{214}\text{Fr}, ^{215}\text{Ra}, ^{216}\text{Ac}, ^{217}\text{Th}, ^{218}\text{Pa}$  和  $^{219}\text{U}$  的理论寿命和实验寿命也很符合, 图 1(a) 是理论值和实验

值的比较,图中不同核素理论值偏离实验值的幅度,反映着实验上<sup>[3]</sup>测量到的 $\alpha$ 粒子预形成几率趋势,奇A核同中子素链<sup>211</sup>Po, <sup>213</sup>Rn, <sup>215</sup>Ra, <sup>217</sup>Th和<sup>219</sup>U的预形成几率趋势更加明显,禁戒因子随着质子数减

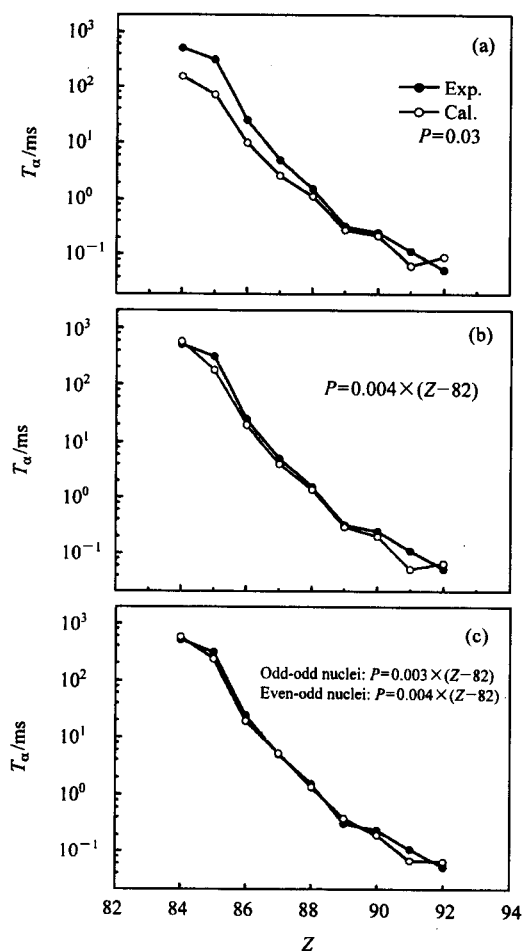


图1 同中子链<sup>211</sup>Po, <sup>212</sup>At, <sup>213</sup>Rn, <sup>214</sup>Fr, <sup>215</sup>Ra, <sup>216</sup>Ac, <sup>217</sup>Th, <sup>218</sup>Pa和<sup>219</sup>U实验及理论寿命的比较

少而减小(3.3→2.5→1.4→1.1→0.6),表明质子数越接近满壳层( $Z=82$ )的核素, $\alpha$ 粒子预形成几率越小.

因此我们在计算中考虑核结构对预形成几率的影响,并根据简化的 $j_j$ 耦合双能级成对力模型得到的 $\alpha$ 转移率的解析表达式<sup>[4-8]</sup>,让 $\alpha$ 粒子预形成几率随质子数做线性变化( $P=0.004 \times (Z-82)$ ),对Po—U的同中子素链, $\alpha$ 粒子预形成几率随质子数增加而逐渐增大. 计算的理论结果(见表2)和实验值进一步符合,禁戒因子( $HF = T_\alpha(\text{exp.})/T_\alpha(\text{cal.})$ )在0.8—2.1之间,均方差( $S = \sum \left[ \frac{T_\alpha(\text{exp.}) - T_\alpha(\text{cal.})}{T_\alpha(\text{exp.})} \right]^2$ )为4.2,理论寿命和实验值的比较如图1(b)所示,理论曲线和实验曲线的差异减小,所以 $\alpha$ 粒子预形成几率对理论寿命的影响在满壳层附近是不可忽略的,计算中应该充分考虑核结构效应与 $\alpha$ 粒子预形成几率的关系. 对于奇奇核<sup>212</sup>At, <sup>214</sup>Fr, <sup>216</sup>Ac和<sup>218</sup>Pa,由于奇质子的阻塞效应,减小了核子配对的几率,因此 $\alpha$ 粒子预形成几率会低于相临的奇A核同中子素链,禁戒因子也大于奇A核<sup>211</sup>Po, <sup>213</sup>Rn, <sup>215</sup>Ra, <sup>217</sup>Th和<sup>219</sup>U. 考虑到奇质子对 $\alpha$ 粒子预形成几率的影响,我们保持奇A核的预形成几率( $P=0.004 \times (Z-82)$ )不变,减小奇奇核的预形成几率( $P=0.003 \times (Z-82)$ ),得到的计算结果如表3所示,从表3中可以看出理论寿命和实验寿命符合得更好,理论曲线和实验曲线基本上重合(见图1(c)). 本文通过选取合适的主量子数 $G$ ,并引入随质子数变化的 $\alpha$ 粒子预形成几率,利用 $\alpha$ -结团模型对满壳层附近禁戒 $\alpha$ 衰变寿命进行计算,取得很好的效果,将来可以利用 $\alpha$ -结团模型对禁戒 $\alpha$ 衰变作进一步研究.

表1  $\alpha$ -结团模型计算禁戒 $\alpha$ 衰变理论寿命\*

母核	$Q_\alpha/\text{MeV}$	$I_p$	$I_d$	$L_\alpha$	$T_\alpha(\text{exp.})$	$T_\alpha(\text{cal.})$	$HF$
<sup>209</sup> Bi	3.317	$\frac{9}{2}^-$	$\frac{1}{2}^+$	5	$1.9 \times 10^{19} \text{ a}$	$1.8 \times 10^{19} \text{ a}$	1.1
<sup>211</sup> Po	7.599	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	516ms	156ms	3.3
<sup>212</sup> At	7.833	$1^-$	$5^+$	5	314ms	72ms	4.4
<sup>213</sup> Rn	8.248	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	25ms	10ms	2.5
<sup>214</sup> Fr	8.593	$1^-$	$5^+$	5	5.0ms	2.7ms	1.9
<sup>215</sup> Ra	8.869	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	1.59ms	1.14ms	1.4
<sup>216</sup> Ac	9.248	$1^-$	$5^+$	5	330 $\mu\text{s}$	282 $\mu\text{s}$	1.2
<sup>217</sup> Th	9.428	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	252 $\mu\text{s}$	222 $\mu\text{s}$	1.1
<sup>218</sup> Pa	9.800	$1^-$	$5^+$	5	116 $\mu\text{s}$	64 $\mu\text{s}$	1.8
<sup>219</sup> U	9.870	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	55 $\mu\text{s}$	92 $\mu\text{s}$	0.6

\*表中 $Q_\alpha$ 为 $\alpha$ 衰变能, $I_p$ ,  $I_d$ 分别是母核和子核的自旋及宇称, $L_\alpha$ 为 $\alpha$ 粒子带走的角动量, $T_\alpha(\text{exp.})$ ,  $T_\alpha(\text{cal.})$ 分别为实验和理论寿命,衰变能和实验寿命取自文献[9],禁戒因子 $HF = T_\alpha(\text{exp.})/T_\alpha(\text{cal.})$ , $\alpha$ 粒子预形成几率 $P=0.03$ .

表2  $\alpha$ -结团模型计算禁戒 $\alpha$ 衰变理论寿命\*

母核	$Q_\alpha/\text{MeV}$	$I_p$	$I_d$	$L_\alpha$	$T_\alpha(\text{exp.})$	$T_\alpha(\text{cal.})$	HF
$^{211}\text{Po}$	7.599	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	516ms	584ms	0.9
$^{212}\text{At}$	7.833	$1^-$	$5^+$	5	314ms	179ms	1.8
$^{213}\text{Rn}$	8.248	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	25ms	20ms	1.3
$^{214}\text{Fr}$	8.593	$1^-$	$5^+$	5	5.0ms	4.1ms	1.3
$^{215}\text{Ra}$	8.869	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	1.59ms	1.42ms	1.1
$^{216}\text{Ac}$	9.248	$1^-$	$5^+$	5	330 $\mu\text{s}$	303 $\mu\text{s}$	1.1
$^{217}\text{Th}$	9.428	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	252 $\mu\text{s}$	208 $\mu\text{s}$	1.2
$^{218}\text{Pa}$	9.800	$1^-$	$5^+$	5	116 $\mu\text{s}$	54 $\mu\text{s}$	2.1
$^{219}\text{U}$	9.870	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	55 $\mu\text{s}$	69 $\mu\text{s}$	0.8

\* 表中说明同表1,  $\alpha$ 粒子预形成几率  $P = 0.004 \times (Z - 82)$ .表3  $\alpha$ -结团模型计算禁戒 $\alpha$ 衰变理论寿命\*

母核	$Q_\alpha/\text{MeV}$	$I_p$	$I_d$	$L_\alpha$	$T_\alpha(\text{exp.})$	$T_\alpha(\text{cal.})$	HF
$^{211}\text{Po}$	7.599	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	516ms	584ms	0.9
$^{212}\text{At}$	7.833	$1^-$	$5^+$	5	314ms	238ms	1.3
$^{213}\text{Rn}$	8.248	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	25ms	20ms	1.3
$^{214}\text{Fr}$	8.593	$1^-$	$5^+$	5	5.0ms	5.4ms	1.0
$^{215}\text{Ra}$	8.869	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	1.59ms	1.42ms	1.1
$^{216}\text{Ac}$	9.248	$1^-$	$5^+$	5	330 $\mu\text{s}$	403 $\mu\text{s}$	0.8
$^{217}\text{Th}$	9.428	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	252 $\mu\text{s}$	208 $\mu\text{s}$	1.2
$^{218}\text{Pa}$	9.800	$1^-$	$5^+$	5	116 $\mu\text{s}$	71ms	1.6
$^{219}\text{U}$	9.870	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{1}{2}^-$	5	55 $\mu\text{s}$	69 $\mu\text{s}$	0.8

\* 表中说明同表1, 奇奇核 $\alpha$ 粒子预形成几率  $P = 0.003 \times (Z - 82)$ , 奇偶核 $\alpha$ 粒子预形成几率  $P = 0.004 \times (Z - 82)$ .

## 4 结论

我们发展了 Buck 等提出的  $\alpha$ -结团模型, 计算满壳层 ( $Z = 82$ ,  $N = 126$ ) 附近的禁戒  $\alpha$  衰变寿命, 对实验上新发现的天然  $\alpha$  放射性核素  $^{209}\text{Bi}$  以及  $N = 127$  的同中子素链 ( $^{211}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{At}$ ,  $^{213}\text{Rn}$ ,  $^{214}\text{Fr}$ ,  $^{215}\text{Ra}$ ,

$^{216}\text{Ac}$ ,  $^{217}\text{Th}$ ,  $^{218}\text{Pa}$  和  $^{219}\text{U}$ ) 进行了研究, 理论计算寿命和实验寿命符合, 考虑核结构效应并引入随质子数变化的  $\alpha$  粒子预形成几率, 不仅使理论结果和实验值进一步符合, 同时也反映着实验上测量的  $\alpha$  粒子预形成几率趋势, 核结构效应的引入和改进完善了  $\alpha$ -结团模型.

## 参考文献 (References)

- Marcillac P D et al. Nature (London), 2003, **422**:876
- Buck B, Merchant A C, Perez S M. Atomic Data and Nuclear Data Table, 1993 **54**:53
- Hodgeson P E, Betak E. Phys. Repts., 2001, **374**:1
- REN Zhong-Zhou, XU Gong-Ou. Phys. Rev., 1987, **C36**:456
- REN Zhong-Zhou, XU Gong-Ou. Phys. Rev., 1988, **C38**:1078
- REN Zhong-Zhou, XU Gong-Ou. J. Phys., 1989, **G15**:465
- REN Zhong-Zhou, XU Gong-Ou. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1988, **12**:116(in Chinese)  
(任中洲, 徐躬耦. 高能物理与核物理. 1988, **12**:116)
- REN Zhong-Zhou, XU Gong-Ou. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1990, **14**:92(in Chinese)  
(任中洲, 徐躬耦. 高能物理与核物理. 1990, **14**:92)
- Audi G, Bersillon O, Blachot J et al. Nucl. Phys., 1997, **A624**:1

## Study on the Unfavored $\alpha$ -Decay Lifetimes around a Closed Shell\*

XU Chang<sup>1</sup> REN Zhong-Zhou<sup>1,2;1)</sup>

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** The  $\alpha$ -cluster model is extended to study the unfavored  $\alpha$ -decay lifetimes around a closed shell. The newly discovered  $\alpha$ -decay of  $^{209}\text{Bi}$  [Marcillac et al., Nature (London) 422, 2003: 876] and a odd- $A$   $N = 127$  isotones are investigated by the  $\alpha$ -cluster model. The experimental decay lifetimes can be reproduced satisfactorily. The application of the  $\alpha$ -cluster model to research unfavored  $\alpha$ -decays has been proved reliable. The theoretical calculations also reflect the measured  $\alpha$  particle preformation factor near magic number ( $N = 126$ ). The  $\alpha$ -cluster model is improved by introducing a  $Z$ -dependent preformation factor.

**Key words**  $\alpha$ -cluster model, unfavored  $\alpha$ -decay, preformation factor, halflife

---

Received 18 August 2003

\* Supported by National Natural Science Found for Outstanding Young Scientists of China (10125521), the Fund of the Education Ministry (20010284036), Major State Basic Research Development in China (G2000077400), Chinese Academy of Sciences Knowledge Innovation Project (KJCX2-SW-N02)

1) Email: zren@nju.edu.cn