

等待点 $N = 82$ 附近核素 β^- 衰变寿命的研究*陈泽¹⁾ 张小平²⁾³⁾ 杨洪应¹⁾⁴⁾ 郑强⁵⁾ 陈娜娜¹⁾ 支启军^{1)4)†}

1) (贵州师范大学物理与电子科学学院, 贵阳 550001)

2) (南京大学物理学院, 南京 210008)

3) (澳门科技大学太空科学研究所, 澳门 519020)

4) (贵州师范大学天文研究与教育中心, 贵阳 550001)

5) (贵州师范大学数学与计算机科学学院, 贵阳 550001)

(2014年3月4日收到; 2014年4月20日收到修改稿)

利用提出的远离稳定线附近的原子核 β^- 衰变寿命的指数规律理论计算公式, 对 $N = 82$ 附近快中子过程中等待点核素的 β^- 衰变寿命进行了理论计算, 比较了所获得的计算结果与最新的理论结果和实验结果并加以讨论. 研究表明, 相对于理论复杂和计算时间长的微观理论计算而言, 利用考虑壳效应的远离稳定线的原子核 β^- 衰变寿命指数规律理论计算公式能较快且准确地得出快中子俘获过程 (R 过程) 等待点核素的 β^- 衰变寿命. 这能为 R 过程核素合成网络计算研究提供有效可靠的重要物理输入, 并对今后天体中核素的合成研究具有重要意义.

关键词: β^- 衰变寿命, 指数规律, R 过程, 等待点

PACS: 23.40.-s, 26.30.Hj, 27.60.+j, 21.60.Cs

DOI: 10.7498/aps.63.162301

1 引言

一直以来, 科学家们都在追寻宇宙物质的起源^[1-6]. 到目前为止, 科学家们发现原子序数小于 Fe 的元素是通过热核反应合成的. 而对于原子序数大于 Fe 的核素, 快中子俘获过程 (简称为 R 过程) 被认为是合成这些元素的重要来源之一. 目前, 虽然 R 过程产生的天体环境仍没有完全确定, 但是普遍认为这个过程发生于高温高中子密度的爆炸环境^[3-6]. 在这样的环境下, 中子俘获要比 β 衰变快很多, 从而快中子俘获将沿着中子分离能相对较小且接近于常数的超丰中子链行进. 由于在幻数附近 ($N = 28, 50, 82, 126$) 的原子核有较大的结合能, 进而使得这些原子核的分离能显示出突变. 突变的结合能使得在幻数附近的核素将等待一段时间, 直

到其产生中子俘获才形成新的更重的原子核. 因此, 在 R 过程等待点附近核素将积累, 从而导致 R 过程元素丰度的峰值出现在幻数附近.

等待点附近核素的 β 衰变寿命对于 R 过程的演化以及 R 过程的元素丰度分布有着极其重要的意义^[7-17]. 这是因为它决定了 R 过程的时标, 同时准确的 β 衰变寿命有助于确定 R 过程产生的天体环境. 因此, 获得较为准确的等待点附近核素的寿命是理论研究和实验研究的核心问题. 由于这些核素远离稳定线, 对其的实验研究比较困难, 因而相关的实验数据较少^[7-9], 从而理论上的计算显得尤为重要. 当前研究 β 衰变寿命的理论主要有半经典的有限力程液滴模型结合准粒子无规相近似 (FRDM+QRPA, 简称为 FRDM) 和微观的 DF3 密度泛函结合 QRPA (DF3+QRPA, 简称为 DF3)、Hartree-Fock-Bogoliubov 理论结合 QRPA

* 国家自然科学基金 (批准号: 11105079, 11165006, 11365006)、贵州省国际科技合作计划 (批准号: 20117026)、贵州省优秀青年科技人才培养计划 (批准号: 2011-29)、贵州省留学人员科技活动计划 (批准号: 2013-03)、澳门科技发展基金 (批准号: 068-2011A) 和贵州师范大学自然科学类学生科研基金重点项目资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: qjzhi@ganu.edu.cn

(HFB+QRPA, 简称为HFB)^[10-13]. 壳模型作为原子核物理领域中的一个重要模型, 其在计算核素性质和核天体物理的计算中有着重要的应用^[14-16]. 最近文献^[14]利用相互作用壳模型对等待点附近一些核素的寿命进行了较为精确的微观理论计算, 取得了不错的计算结果. 然而这些微观理论模型的计算比较复杂, 而且计算时间较长, 并需要做一些截断. 如在文献^[14]的壳模型计算中, 当中子数、质子数比较大时, 若需要考虑尽可能多的物理因素, 则计算一个核素寿命的时间长达数周. 而R过程核素的网络计算研究需要大量的核素数据, 因此需要一种简单有效、可靠快捷的理论计算方法解决此问题. 近几年, 我们提出了一个比较简单有效的计算 β^- 衰变寿命的理论计算公式, 指出远离稳定线的原子核的 β^+ 衰变寿命、 β^- 衰变寿命与衰变能之间存在类似于 α 衰变寿命与 α 衰变能之间的指数关系, 该公式的理论计算结果与实验数据符合较好^[18,19]. 本文利用该公式计算等待点 $N = 82$ 附近核素的 β^- 衰变寿命, 并与最新的实验结果和微观理论计算结果进行比较, 讨论该公式计算等待点附近核素 β^- 衰变寿命的可靠性. 在此基础上, 对 $N = 82$ 附近核素的同中子链和同位素链上的 β^- 衰变寿命进行了理论计算和预言, 以便为未来R过程的网络计算提供物理输入.

2 原子核 β^- 衰变寿命的指数计算公式

在文献^[15, 16]中, 通过对远离稳定线的原子核 β^- 衰变寿命的系统分析研究, 提出了计算远离稳定线的原子核 β^- 衰变寿命的理论计算公式. 一般情况下, 该计算公式为

$$\lg T_{1/2} = (c_1 Z + c_2)N + c_3 Z + c_4, \quad (1)$$

式中, $T_{1/2}$ 为原子核 β^- 衰变寿命的半衰期(单位为s); Z 和 N 分别为母核的质子数和中子数; c_1 , c_2 , c_3 和 c_4 为拟合参数. 利用最小二乘拟合方法对实验上已知核素的 β^- 衰变寿命进行拟合, 得到(1)式中 c_1 , c_2 , c_3 和 c_4 的数值分别为^[18] 2.65×10^{-4} , -0.2275 , 0.3652 , -0.8852 . 文献^[16, 17]的研究表明, 利用该指数公式能有效地得出远离稳定线的原子核的 β^- 衰变寿命.

(1)式没有考虑原子核的壳效应, 然而, 等待点附近的核素一般都在幻数附近, 因此, 为了进行较为准确的计算研究, 应该考虑原子核的壳效应. 考

虑原子核的壳效应后, 通过拟合得到如下修正的公式^[19]:

$$\lg T_{1/2} = (c_1 Z + c_2)N + c_3 Z + c_4 + S(Z, N), \quad (2)$$

式中 $S(Z, N)$ 为原子核的壳效应修正项,

$$S(Z, N) = c_5 [e^{-(N-29)^2/15} + e^{-(N-50)^2/37} + e^{-(N-85)^2/9} + e^{-(N-131)^2/3}] + c_6 e^{-[(Z-51.5)^2 + (N-80.5)^2]/1.9}. \quad (3)$$

考虑原子核的壳效应后, (2)和(3)式的拟合参数为^[19]

$$\begin{aligned} c_1 &= 3.37 \times 10^{-4}, & c_2 &= -0.2558, \\ c_3 &= 0.4028, & c_4 &= -1.0100, \\ c_5 &= 0.9039, & c_6 &= 7.7139. \end{aligned}$$

下面我们分别利用(1)和(2)式对 $N = 82$ 附近R过程丰中子等待点附近核素的 β^- 衰变寿命进行详细的理论计算研究.

3 $N = 82$ 附近R过程丰中子核素 β^- 衰变寿命的计算

在以前的工作中, 我们已研究了此指数计算公式计算远离稳定线的核素 β^- 衰变寿命的有效性. 准确计算原子核 β^- 衰变寿命是极其重要的, 因为它是核合成网络计算的重要输入量. 由于等待点附近的R过程核素基本上是远离稳定点的核素, 对它们的研究需要考虑很多新的物理因素(如剩余中子-质子相互作用、同位旋等)^[20]. 因此, 有必要把我们提出的指数计算公式所得结果与最新的考虑核子关联效应的微观理论计算结果进行比较. 本文采用该指数计算公式计算实验最新发现的等待点 $N = 82$ 附近核素的 β^- 衰变寿命, 并与考虑了禁戒跃迁的大规模剩余相互作用壳模型^[14]、半经典FRDM^[10]和微观DF3方法^[11]、HFB方法^[12]的计算结果以及最新的实验值^[21]进行了比较, 以研究该公式计算R过程核素 β^- 衰变寿命的准确性和有效性, 为天体中核素合成的网络计算提供理论参考.

表1列出了 $N = 82$ 同中子链上 $Z = 42-50$ 核素的 β^- 衰变寿命. 从表1可以看出, 对于 $Z = 47-49$ 的核素, 我们提出的指数计算公式的计算结果与实验值符合得很好, 利用(1)和(2)式计算得到的 β^- 衰变寿命之间差异不大, 其他理论计算结果与实验值也比较接近, 尤其是DF3方法的计算结

果. 利用FRDM计算得到的 $Z = 48$ 核素的 β 衰变寿命是实验值的7倍左右. 对于没有相应的实验数据的 $Z = 42-46$ 的核素, 指数计算公式结果比其他理论计算结果(包括考虑了禁戒跃迁的壳模型的计算结果)小, 且存在不小的差异. 如对于 $Z = 42$ 核素, 指数计算公式结果与其他理论结果相差一个数量级以上, 由于该区域没有实验数据, 且对各种理论计算结果进行拟合时都以幻数附近核素作为基准, 因此对于远离稳定线附近的核素, 无法确切

地说明哪种计算结果较为准确和有效, 这有待于将来的实验来解决. β 衰变寿命相差一个数量级会极大地影响天体环境下这些核素的合成过程以及分布. 因此, 对于尚无实验数据的区域而言, 核素结构和性质的实验显得越发重要.

我们分别利用(1), (2)式计算了 $Z = 47-49$ 同位素链上的原子核 β^- 衰变寿命 ($N = 70-90$), 结果列于表2—表4, 为了做一个全面的理论比较, 表中还列出了Möller利用半经典FRDM计算得到的

表1 $N = 82$ 同中子链上原子核 β^- 衰变寿命的计算值与FRDM理论值^[10]、DF3理论值^[11]、HFB理论值^[12]、壳模型理论值^[14]及实验值^[21]的比较 (β^- 衰变寿命的单位均为 ms)

| Z | (1) 式计算值 | (2) 式计算值 | 壳模型理论值 | FRDM 理论值 | DF3 理论值 | HFB 理论值 | 实验值 |
|-----|----------|----------|--------|----------|---------|---------|----------------|
| 42 | 0.514 | 0.266 | 6.21 | 10.6 | 5.6 | 6.5 | — |
| 43 | 1.253 | 0.717 | 9.52 | 9.1 | 9.7 | — | — |
| 44 | 3.053 | 1.932 | 20.33 | 34.2 | 14.5 | 19.6 | — |
| 45 | 7.441 | 5.205 | 27.98 | 22.0 | 23.0 | — | — |
| 46 | 18.138 | 14.025 | 47.25 | 125.0 | 42.8 | 60 | — |
| 47 | 44.209 | 37.790 | 69.81 | 47.0 | 61.3 | — | 46_{-9}^{+5} |
| 48 | 107.756 | 102.683 | 164.29 | 1123.2 | 161.0 | 191 | 162 ± 7 |
| 49 | 262.600 | 335.900 | 247.53 | 147.1 | 260.0 | — | 280 ± 30 |

表2 $Z = 47$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命的计算值与实验值的对比 (衰变寿命的单位均为 s)

| N | (1) 式计算值 | (2) 式计算值 | FRDM I 理论值 | FRDM II 理论值 | 实验值 |
|-----|----------|----------|------------|-------------|-------------------------|
| 70 | 16.8287 | 13.3152 | 2.5051 | 2.55253 | 72.8_{-7}^{+20} |
| 71 | 10.2566 | 7.6626 | 1.3567 | 1.09387 | 3.76 ± 0.15 |
| 72 | 6.2512 | 4.4097 | 0.9455 | 0.92304 | 6.0 ± 0.5 |
| 73 | 3.8099 | 2.5377 | 0.5645 | 0.46333 | 1.23 ± 0.04 |
| 74 | 2.3220 | 1.4605 | 0.4057 | 0.39840 | 0.78 ± 0.02 |
| 75 | 1.4152 | 0.8405 | 0.2027 | 0.18040 | 0.529 ± 0.013 |
| 76 | 0.8625 | 0.4838 | 0.2151 | 0.21008 | 0.300 ± 0.005 |
| 77 | 0.5257 | 0.2788 | 0.1180 | 0.11136 | 0.172 ± 0.005 |
| 78 | 0.3204 | 0.1616 | 0.1146 | 0.11079 | 0.166 ± 0.007 |
| 79 | 0.1953 | 0.0958 | 0.1160 | 0.10999 | 0.107 ± 0.012 |
| 80 | 0.1190 | 0.0604 | 0.0826 | 0.07997 | 0.109 ± 0.025 |
| 81 | 0.0725 | 0.0434 | 0.0922 | 0.07964 | 0.058 ± 0.005 |
| 82 | 0.0442 | 0.0378 | 0.0470 | 0.03166 | $0.046_{-0.09}^{+0.05}$ |
| 83 | 0.0269 | 0.0384 | 0.0417 | 0.03177 | ≈ 0.05 |
| 84 | 0.0164 | 0.0375 | 0.0392 | 0.03340 | — |
| 85 | 0.0100 | 0.0268 | 0.0339 | 0.02828 | — |
| 86 | 0.0061 | 0.0124 | 0.0317 | 0.02637 | — |
| 87 | 0.0037 | 0.0042 | 0.0049 | 0.00478 | — |
| 88 | 0.0023 | 0.0014 | 0.0068 | 0.00642 | — |
| 89 | 0.0014 | 0.0005 | 0.0031 | 0.00299 | — |
| 90 | 0.0008 | 0.0002 | 0.0057 | 0.00563 | — |

表3 $Z = 48$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命的计算值与实验值的对比 (衰变寿命的单位均为 s)

| N | (1) 式计算值 | (2) 式计算值 | FRDM I 理论值 | FRDM II 理论值 | 实验值 |
|-----|----------|----------|------------|-------------|---------------|
| 71 | 24.8325 | 20.4693 | > 100.0000 | 115.91910 | 161.4 ± 1.2 |
| 72 | 15.1440 | 11.7889 | > 100.0000 | 134.77690 | 50.8 ± 0.21 |
| 73 | 9.2355 | 6.7897 | 39.0833 | 16.54947 | 13.5 ± 0.3 |
| 74 | 5.6322 | 3.9104 | 16.6160 | 15.17328 | 5.24 ± 0.03 |
| 75 | 3.4348 | 2.2522 | 6.4875 | 4.16981 | 2.10 ± 0.02 |
| 76 | 2.0947 | 1.2974 | 28.9227 | 15.20098 | 1.25 ± 0.02 |
| 77 | 1.2774 | 0.7484 | 11.6306 | 4.21996 | 0.68 ± 0.04 |
| 78 | 0.7790 | 0.4346 | 5.3689 | 3.22890 | 0.515 ± 0.017 |
| 79 | 0.4751 | 0.2597 | 2.5072 | 1.31414 | 0.37 ± 0.07 |
| 80 | 0.2897 | 0.1665 | 1.0021 | 0.69497 | 0.28 ± 0.04 |
| 81 | 0.1767 | 0.1198 | 3.1477 | 1.24046 | 0.27 ± 0.04 |
| 82 | 0.1078 | 0.1027 | 1.1232 | 0.50234 | 0.162 ± 0.007 |
| 83 | 0.0657 | 0.1037 | 0.9430 | 0.28585 | 0.068 ± 0.003 |
| 84 | 0.0401 | 0.1011 | 0.6330 | 0.24353 | 0.097 ± 0.010 |
| 85 | 0.0244 | 0.0725 | 0.5110 | 0.18556 | — |
| 86 | 0.0149 | 0.0335 | 0.3681 | 0.14455 | — |
| 87 | 0.0091 | 0.0114 | 0.3130 | 0.11846 | — |
| 88 | 0.0055 | 0.0037 | 0.1574 | 0.07860 | — |
| 89 | 0.0034 | 0.0014 | 0.0085 | 0.00730 | — |
| 90 | 0.0021 | 0.0007 | 0.0164 | 0.01370 | — |

表4 $Z = 49$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命的计算值与实验值的对比 (衰变寿命的单位均为 s)

| N | (1) 式计算值 | (2) 式计算值 | FRDM I 理论值 | FRDM II 理论值 | 实验值 |
|-----|-----------|----------|------------|-------------|---------------|
| 70 | 98.525800 | 94.86990 | 14.1517 | 13.43637 | 144 ± 6 |
| 71 | 60.122200 | 54.68010 | 8.1770 | 5.27483 | 3.08 ± 0.08 |
| 72 | 36.687700 | 31.51650 | 3.6010 | 3.33759 | 23.1 ± 0.6 |
| 73 | 22.387500 | 18.16560 | 2.0957 | 1.67754 | 1.5 ± 0.3 |
| 74 | 13.661200 | 10.47040 | 1.5413 | 1.47678 | 6.17 ± 0.05 |
| 75 | 8.336300 | 6.03520 | 0.8010 | 0.72854 | 3.12 ± 0.09 |
| 76 | 5.087000 | 3.47940 | 0.8619 | 0.84620 | 2.36 ± 0.04 |
| 77 | 3.104200 | 2.01050 | 0.5388 | 0.51852 | 1.53 ± 0.01 |
| 78 | 1.894200 | 1.19520 | 0.5737 | 0.54392 | 1.09 ± 0.01 |
| 79 | 1.155900 | 0.84730 | 0.4516 | 0.44057 | 0.84 ± 0.06 |
| 80 | 0.705300 | 0.78080 | 0.3185 | 0.29244 | 0.61 ± 0.01 |
| 81 | 0.430400 | 0.56210 | 0.2064 | 0.20007 | 0.29 ± 0.02 |
| 82 | 0.262600 | 0.33590 | 0.1471 | 0.13923 | 0.28 ± 0.03 |
| 83 | 0.160300 | 0.28620 | 0.0961 | 0.08087 | 0.207 ± 0.006 |
| 84 | 0.097800 | 0.273145 | 0.1405 | 0.10917 | 0.165 ± 0.003 |
| 85 | 0.059679 | 0.195755 | 0.0985 | 0.07708 | 0.140 ± 0.004 |
| 86 | 0.036417 | 0.090649 | 0.0896 | 0.06981 | 0.092 ± 0.010 |
| 87 | 0.022223 | 0.030817 | 0.0709 | 0.05449 | — |
| 88 | 0.013561 | 0.010057 | 0.0474 | 0.03949 | — |
| 89 | 0.008275 | 0.003832 | 0.0130 | 0.01170 | — |
| 90 | 0.005050 | 0.001768 | 0.0111 | 0.01051 | — |

理论结果(包括未考虑禁戒跃迁(FRDM I)和考虑禁戒跃迁(FRDM II)两种情况),同时列出了实验值以作为比较.从表2—表4可以看出,除了极个别的核素(如 ^{117}Ag ,实验值约为考虑壳效应的(2)式计算值的6倍,这表明该指数公式不太适合稳定线附近的核素 β^- 衰变寿命的计算和预言,应该注意到对于该核素而言,宏观-微观模型也没能给出较好的理论描述,实验值约为宏观-微观模型计算值的30倍)外,采用指数公式计算得到的理论值与实验值和FRDM的计算结果均符合较好.在有实验数据的区域内,与未考虑壳效应修正的指数公式相比,利用考虑壳效应修正的指数公式能得出较好的计算结果;考虑壳修正效应的(2)式的计算结果与实验数据符合最好,绝大部分的理论计算值与实验数据的比值均在1.5以内,这表明所提出的指数计算公式能有效地给出 $Z = 50$ 和 $N = 82$ 等待点核素的 β^- 衰变寿命.

图1—图3分别给出了 $Z = 47, 48, 49$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命理论值与实验数据的比较,同时也给出了FRDM的计算结果.从图1—图3可以清楚地看出:整体上,考虑壳效应的(2)式的理论计算结果与FRDM的计算结果接近;在有实验数据的区域,相对于其他理论计算结果,考虑壳效应的理论计算值与实验值符合得更好.对于在实验上难以测量 β^- 衰变寿命的丰中子核素而言,这具有重要的意义.一方面,我们计算得到的理论值可为实验提供参考和指导;另一方面,利用该理论公式预言的等待点附近核素寿命有效可靠,可作为未来核素合成网络计算的物理输入,进而推动天体核物理的发展.

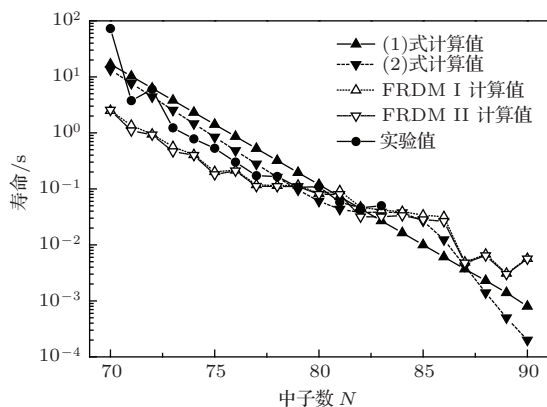


图1 $Z = 47$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命

从图3可以看出,在 $N = 70$ 附近核素寿命的实验值有起伏现象,与我们提出的指数计算公式符

合得稍差.这表明指数计算公式主要适用于远离稳定线的核素.我们也注意到在极端远离稳定线(如 ^{139}In)情况下,指数计算公式的结果与FRDM计算结果的差异达到5倍以上,对于这些核素,急需新的实验数据对理论模型进行检验.

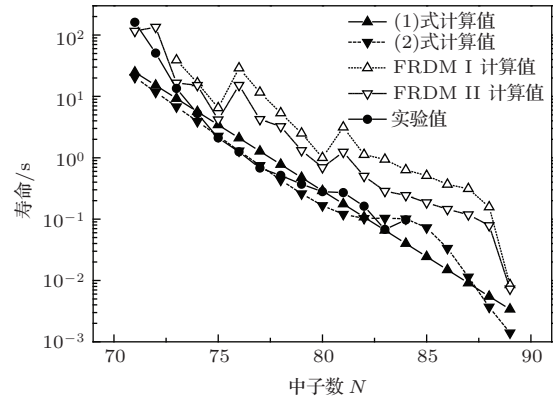


图2 $Z = 48$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命

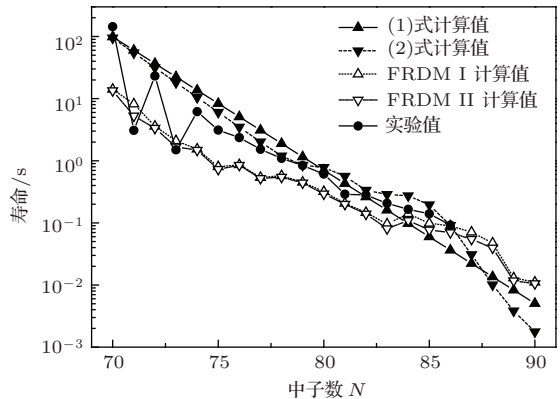


图3 $Z = 49$ 同位素链上原子核 β^- 衰变寿命

4 结 论

本文利用远离稳定线的原子核的指数计算公式研究了 $N = 82$ 附近等待点核素的 β^- 衰变寿命,并将理论计算结果分别与实验数据、考虑了禁戒跃迁的壳模型、FRDM、HFB方法等理论模型的计算结果进行了比较研究.结果表明,与未考虑壳效应的计算公式相比,利用考虑壳效应的理论计算公式能较好地得出 $N = 82$ 附近等待点核素的 β^- 衰变寿命,并且考虑壳效应的计算结果整体上与实验数据符合得更好,也与FRDM的理论计算结果符合得较好.由此可见,考虑壳效应的理论计算公式对原子核 β^- 衰变寿命的理论描述更加有效可靠,可以利用该公式预言等待点附近丰中子核素的 β^- 衰变寿命,以便为未来丰中子核素结构和性质的实验和理论研究提供理论指导和参考,更为重要的是

有助于了解天体演化中的核合成 R 过程, 并可为天体物理研究中网络计算提供数据, 具有重要的理论价值.

参考文献

- [1] Gao J, Luo Z Q, Liu W W, Li G 2010 *Chin. Phys. B* **19** 099701
- [2] Liu J J, Luo Z Q, Liu H L, Lai X J 2007 *Chin. Phys.* **16** 2671
- [3] Burbidge E M, Burbidge G R, Fowler W A, Hoyle F 1957 *Rev. Mod. Phys.* **29** 547
- [4] Cowan J J, Thielemann F K, Truran J W 1991 *Phys. Rep.* **208** 267
- [5] Kratz K L, Bitouzet J P, Thielemann F K, Moller P, Pfeiffer B 1993 *Astrophys. J.* **403** 216
- [6] Woosley S E, Mathews G J, Wilson J R, Hoffman R D, Meyer B S 1994 *Astrophys. J.* **433** 229
- [7] Wang N, Liu M, Wu X Z 2010 *Phys. Rev. C* **81** 044322
- [8] Pfeiffer B, Kratz K L, Thielemann F K, Walters W B 2001 *Nucl. Phys. A* **693** 282
- [9] Hosmer P T, Schatz H, Aprahamian A, Arndt O, Clement R R, Estrade A, Kratz K L, Liddick S N, Mantica P F, Mueller W F, Montes F, Morton A C, Ouellette M, Pellegrini E, Pfeiffer B, Reeder P, Santi P, Steiner M, Stolz A, Tomlin B E, Walters W B, Wöhr A 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 112501
- [10] Moller P, Nix J R, Kratz K L 1997 *At. Data Nucl. Data Tables* **66** 131
- [11] Borzov I 2006 *Nucl. Phys. A* **777** 645
- [12] Engel J, Bender M, Dobaczewski J, Nazarewicz W, Surlan R 1999 *Phys. Rev. C* **60** 014302
- [13] Ni D D, Ren Z Z, Zhi Q J 2011 *Sci. China: Phys. Mech. Astron.* **55** 2397
- [14] Zhi Q J, Caurier E, Cuenca-García J J, Langanke K, Martínez-Pinedo G, Sieja K 2013 *Phys. Rev. C* **87** 025803
- [15] Zhi Q J, Zheng Q 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 102301 (in Chinese) [支启军, 郑强 2011 物理学报 **60** 102301]
- [16] Zhang Y M, Xu F R 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4826 (in Chinese) [张玉美, 许甫荣 2008 物理学报 **57** 4826]
- [17] Zhang J, Wang S F 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 1391 (in Chinese) [张洁, 王少峰 2010 物理学报 **59** 1391]
- [18] Zhang X P, Ren Z Z 2006 *Phys. Rev. C* **73** 014305
- [19] Zhang X P, Ren Z Z, Zhi Q J, Zheng Q 2007 *J. Phys. G* **34** 2611
- [20] Zhi Q J 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 052101 (in Chinese) [支启军 2011 物理学报 **60** 052101]
- [21] National Nuclear Data Center On-line Retrieval System 2014 *Nuclear Structure β -Decay Data* (New York: Brookhaven National Laboratory)

β^- -decay half-lives for waiting point nuclei around $N = 82^*$

Chen Ze¹⁾ Zhang Xiao-Ping²⁾³⁾ Yang Hong-Ying¹⁾⁴⁾ Zheng Qiang⁵⁾
Chen Na-Na¹⁾ Zhi Qi-Jun¹⁾⁴⁾†

1) (School of Physics and Electronic Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

2) (School of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008, China)

3) (Space Science Institute, Macau University of Science and Technology, Macau 519020, China)

4) (Center for Astronomy Research and Education, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

5) (School of Mathematics and Computer Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

(Received 4 March 2014; revised manuscript received 20 April 2014)

Abstract

Based on the exponential formula of β^- -decay half-lives for nuclei far from stable line, the half-lives of nuclei around $N = 82$ (R-process waiting point nuclei) are calculated. The results are compared with recent theoretical and experimental data. It is shown that compared with the complicated and time-consuming microscopic calculation, the exponential formula including the shell effect can give the results of β^- -decay half-lives for R-process waiting point nuclei quicker and better. The results can be used as reliable inputs for the network calculation for nuclei synthesis in cosmos.

Keywords: β^- -decay half-lives, exponential law, R-process, waiting point

PACS: 23.40.-s, 26.30.Hj, 27.60.+j, 21.60.Cs

DOI: 10.7498/aps.63.162301

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11105079, 11165006, 11365006), the International Science and Technology Cooperation Program of Guizhou Province, China (Grant No. 20117026), the Training Program for Excellent Young Talents in Science and Technology of Guizhou Province, China (Grant No. 2011-29), the Scientific Research Program for the Returned Overseas Chinese Scholars of Guizhou Province, China (Grant No. 2013-03), the Foundation for Development of Science and Technology of Macau, China (Grant No. 068-2011A), and the Key Program of the Student Scientific Research Foundation for Natural Science of Guizhou Normal University, China.

† Corresponding author. E-mail: qjzhi@ganu.edu.cn