

文章编号: 1007-4627(2019)04-0408-06

原子核第一激发能的统计规律

隆寅^{1, 2}, 孙小军^{2, †}, 彭海圆²

(1. 河池学院, 广西 河池 546300;
2. 广西师范大学物理科学与技术学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 原子核的第一激发态能级是所有激发态能级中最重要的一条能级, 在一定程度上可直接反映该核素的稳定性。通过对2 125个核素的第一激发态能级纲图进行统计分析, 发现传统幻数位置的第一激发能明显高于邻近核素的第一激发能, 亦对应于同位素链、同中子素链上原子核第一激发能最大的核素。对于第一激发能较大且明显偏离传统幻数位置的少量核素, 发现都具有同质异位素相似态或为裂变核的混合能级, 这些给出的值是否是第一激发态, 在理论和实验上仍存在一定的不确定性; 而对于原子核第一激发能最大的核素, 其自旋宇称为 2^+ 的最多(高达42%)。对于中重核区内的偶偶核, 其第一激发能与价核子 $N_p N_n$ 关系明显趋于指数的衰减形式。

关键词: 核第一激发能; 幻数; 自旋宇称; 价核子 $N_p N_n$

中图分类号: O571.24 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.36.04.408

1 引言

原子核是原子核物理学中的一个中心问题, 是物质结构的一个重要层次, 其本身是一个重要的研究领域, 亦是原子物理和粒子物理之间联系的桥梁。对原子核的基础研究及其应用, 是当今物理学及其交叉学科发展的重要前沿之一^[1]。目前自然界存在及实验上合成的核素超过3 100种, 而理论预言的核素多达9 000余种^[2], 可见原子核仍有很多基本问题有待进一步的研究。原子核结构理论主要研究原子核的基态及一系列激发态的特性, 并阐明这些特性的原因。其中基态性质包括原子核的结合能、电荷半径、单粒子能级、共振态、磁矩、晕现象等; 激发态性质包括原子核激发态能级的各种性质(包括激发能、能级宽度、自旋、宇称及各能级的衰变特性等)、磁转动、集体转动、集体振动、量子相变等^[3-5]。实验测得的原子核能级纲图, 是原子核结构理论最基本的依据之一。根据能量守恒、宇称守恒等基本规律, 原子核的高激发态一般都会通过 γ 退激到低激发态或基态。特别是轻核, 很多的激发能级除了通过 γ 退激外, 还能发射轻粒子而成为一种新的剩余核基态或激发态^[6-20]。原子核能级的普遍规律是能级越高, 它们的能级间距越小。第一激发态能级是所有激发态能级中

最重要的一条能级, 其与基态之间的间距(即第一激发能级能量的大小, 简称第一激发能 E_1)、自旋、宇称及能级宽度等对核结构和核反应性质影响甚大, 甚至在一定程度上可直接反映该核素的稳定性。

早在1953年Goldhaber^[21]就对当时实验测量到的125个偶偶核进行了统计, 发现第一激发能随原子核的质子数或中子数变化比较平稳, 而在闭壳层处达到最大值; 在稀土区和比钷重的核区, 第一激发能比较低, 奇 A 核的单粒子模型很可能不再适用。此后, 甚少有专门讨论第一激发态的文章。直到2002年, Kanungo等^[22]人分析了在较轻的丰中子核区偶偶核的第一激发态, 认为有可能在 $Z=14, 16, 32$ 处存在新的幻数。实验上已测量到激发态的核素超过了2 000个, 相关信息都收录到国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)核数据中心NuDat2库中^[23]。随着实验技术的飞速发展, 测量的核素区域越来越向滴线附近逼近, 同时测量原子核的激发能、自旋宇称、能级宽度等各种结构数据也越来越精确^[24-28]。

本文收集了NuDat2库^[23]及最新文献^[24-28]中共2 125个核素的第一激发态的能量、自旋及宇称, 并对其进行了系统的分析。第2节从第一激发能的角度进行分析; 第3节对每一同位素链及同中子素链上第一激发

收稿日期: 2019-07-26; 修改日期: 2019-10-22

基金项目: 广西省自然科学基金资助项目(2019GXNSFDA185011); 国家自然科学基金资助项目(11465005); 广西师范大学核重点实验室开放课题(201801); 河池学院校级课题(2018XJQN009)

作者简介: 隆寅(1980-), 女, 广西百色人, 讲师, 硕士, 从事原子核物理研究; E-mail: longyin2000@126.com

† 通信作者: 孙小军, E-mail: sxj0212@gxnu.edu.cn.

能最大值的核素进行了分析,给出了中重核区偶偶核的第一激发能与价核子 $N_p N_n$ 的关系及其均方根偏差;最后给出本文小结。

2 原子核第一激发能

从 NuDat2 库及最新文献中收集了 2 125 个核素的第一激发能进行分析,其等高线图如图 1 所示。其中红色虚线表示中子数、质子数分别为传统幻数 20, 28, 50, 82 及中子数为 126 所对应核素的位置。从图 1 中明显可看到,在对应于传统幻数位置的核素,其第一激发能明显高于邻近核素,这与单中子分离能、双中子分离能、单质子分离能、双质子分离能及 α 衰变能^[29]的情况一

致。对于质子数和中子数分别为 20, 28, 50, 82 及中子数为 126 的同位素链及同中子素链,其第一激发能的平均值以及对应的偶偶核平均值如表 1 所列。从表 1 中可看到,偶偶核的第一激发能明显高于其他核素,这与原子核各种粗块的性质相一致^[29]。值得注意的是,对于中子数 $N=20$ 的同中子素链,其第一激发能的平均值达 2.36 MeV,而其偶偶核的平均值仅为 2.20 MeV,主要是奇偶核 $^{43}_{23}\text{V}$ 的第一激发能高达 8.25 MeV。如果除去 $^{43}_{23}\text{V}$,则 $N=20$ 的同中子素链的第一激发能平均值为 1.91 MeV,仍比对应的偶偶核平均值低。可见奇偶核 $^{43}_{23}\text{V}$ 的性质非常独特(其基态的半衰期为 79.3 ms),其第一激发态被认为是偶奇核 $^{43}_{24}\text{Cr}$ 基态的同质异位素相似态(Isobaric Analog State, IAS)^[30]。

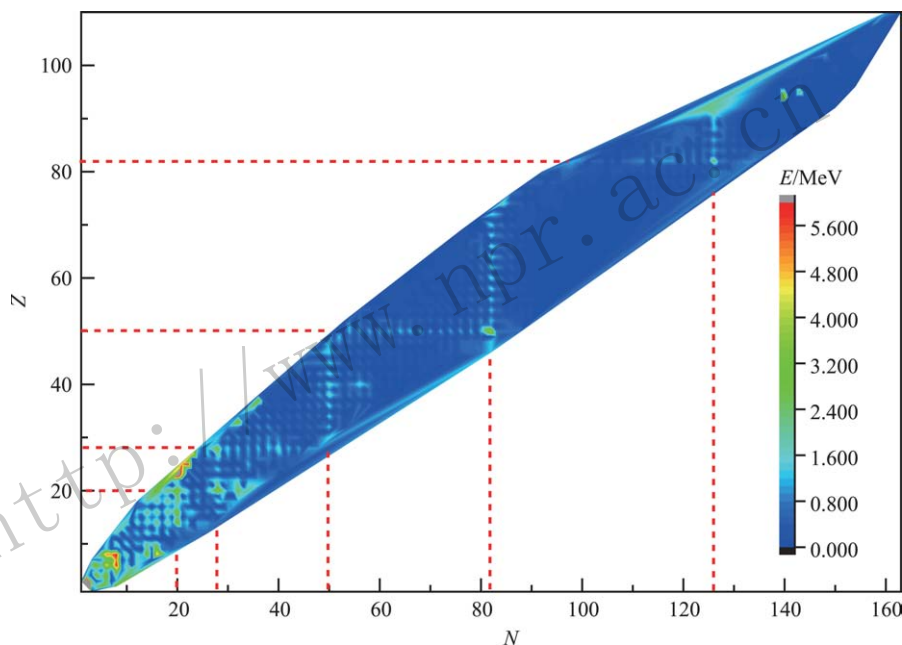


图 1 (在线彩图)核素的第一激发能

从图 1 我们还可明显地看到:(1) 对于 $1p$ 壳轻核区 ($N \leq 8, Z \leq 8$),第一激发能都比较高,平均达到 2.7 MeV,如图 1 左下角红色至坐标原点所示区域。特别提及的是,核 ^4He 的第一激发能高达 20.21 MeV,故在一些情况下认为核 ^4He 可作为一个独立粒子。(2) 在 $8 \leq N \leq 28, 8 \leq Z \leq 28$ 核区,其原子核第一激发能普遍比较大,平均值为 1.07 MeV,且变化的幅度也较大。而在 $N=20, Z=24$ 附近的第二个红色区域,主要对应于 $^{43}_{23}\text{V}, ^{46}_{25}\text{Mn}, ^{47}_{25}\text{Mn}$ 三核素,它们的第一激发能分别高达 8.25, 5.02, 6.87 MeV,如图 2(a) 所示。(3) 在 $Z=33, 37$ 处亦有 2 个明显的绿色点,分别对应的是 $^{65}_{33}\text{As}$ ($E_1=3.42$ MeV) 及 $^{73}_{37}\text{Rb}$ ($E_1=3.21$ MeV),如图 2(b) 所示。(4) 对于中重核及重核区,大部分核素的

第一激发能都低于 0.5 MeV。当质子数 $Z > 85$ 时出现了两个绿色亮点和一条绿色带状区域(如图 1 右上角所示)。其中两个绿色亮点对应于 $^{234}_{94}\text{Pu}$ 和 $^{238}_{95}\text{Am}$,它们的第一激发能分别为 4.17 和 2.5 MeV,而邻近核素的第一激发能则呈断崖式的下降。而对于 $^{216}_{92}\text{U}$ 和 $^{218}_{92}\text{U}$ 两核

表 1 核子数为传统幻数的同位素链、同中子素链,及其对应的偶偶核第一激发能平均值 单位: MeV

核子数	20	28	50	82	126
同位素链总核素	1.88	1.11	0.75	0.67	
同位素链偶偶核素	2.21	1.41	1.28	0.95	
同中子素链总核素	2.36	1.34	1.05	1.06	1.25
同中子素链偶偶核素	2.20	1.80	1.62	1.71	1.50

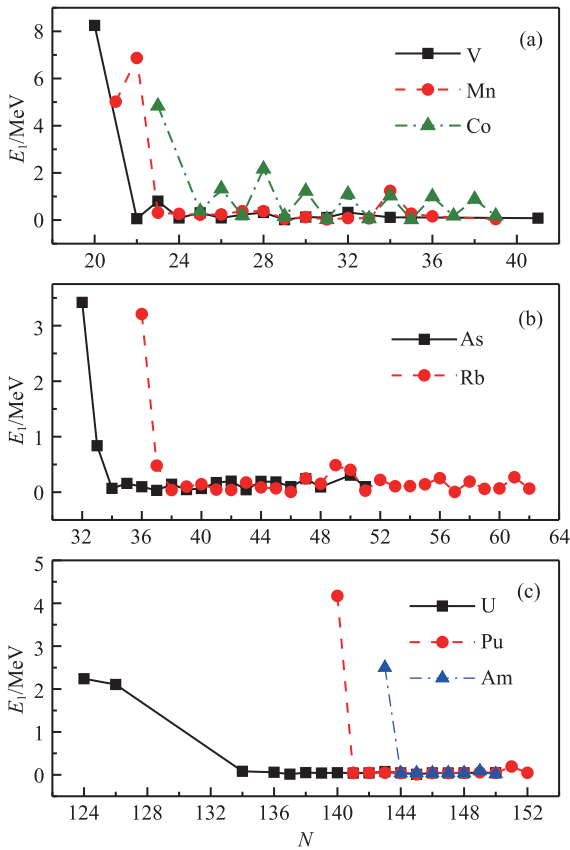


图 2 (在线彩图) 同位素链的第一激发能
(a) V, Mn, Co; (b) As, Rb; (c) U, Pu, Am。

素, 其第一激发能分别为 2.24 和 2.105 MeV (如图 2(c) 所示), 以 $^{234}_{94}\text{Pu}$ 和 $^{238}_{95}\text{Am}$ 为中心的带状区域 (即图 1 右上角绿色带状) 的核素, 其第一激发能或者太低、或者到目前为止仍没有观测到。

3 同位素链和同中子素链上原子核第一激发能最大的核素

图 3 为各同中子素链 (a) 及同位素链 (b) 上第一激发能最大的核素所对应的能量, 红色短箭头对应于传统幻数的位置。从图 3 可看到:

(1) 在 $Z \leq 20$ 或 $N \leq 20$ 核区, 各同位素链及同中子素链上第一激发能最大的核素与原子核的质子数或中子数之间的关系变化起伏比较大。在这较轻的核区, 正如其他一些核结构性质一样, 体现着轻核独有的特性^[6-20, 22]。

(2) 在 $20 \leq Z \leq 28$ 或 $20 \leq N \leq 28$ 核区, 各同位素链及同中子素链上第一激发能最大的核素与原子核的质子数或中子数之间的关系变化起伏也比较大。其中 $^{43}_{23}\text{V}$, $^{46,47}_{25}\text{Mn}$ 及 $^{50}_{27}\text{Co}$ 几个核素的第一激发能 (分别为 8.25, 5.02, 6.87, 4.84 MeV) 比同位素链中邻近核素要明显高出较多 (如图 2(a) 所示), 且都比双幻

数核 $^{48}_{20}\text{Ca}$ ($E_1=3.83$ MeV) 和 $^{56}_{28}\text{Ni}$ ($E_1=2.7$ MeV) 要大。正如 $^{43}_{23}\text{V}$ 核素类似, $^{47}_{25}\text{Mn}$ (其基态半衰期为 100 ms) 的第一激发态是偶奇核 $^{47}_{22}\text{Ti}$ 基态的同质异位素相似态, 而 $^{50}_{27}\text{Co}$ (基态半衰期为 38.8 ms) 的第一激发态则为偶偶核 $^{50}_{28}\text{Ni}$ 基态的同质异位素相似态^[31-33]。

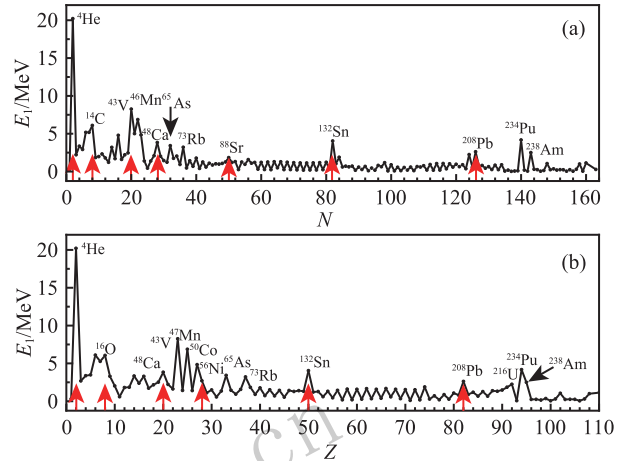


图 3 (在线彩图) 第一激发能最大值的核素
(a) 同中子素链; (b) 同位素链。

(3) 在 $28 \leq Z \leq 50$ 或 $28 \leq N \leq 50$ 核区, 各同位素链及同中子素链上第一激发能最大的核素与原子核的质子数或中子数之间的关系变化比较平稳, 但在 $Z=33, 37$ 及 $N=32, 36$ 两个同位素链或同中子链上出现了突变, 对应的第一激发能最大的核素分别是 $^{65}_{33}\text{As}$ ($E_1=3.42$ MeV) 及 $^{73}_{37}\text{Rb}$ ($E_1=3.21$ MeV) (如图 2(b) 所示), 它们的第一激发能比双幻数核 $^{56}_{28}\text{Ni}$ ($E_1=2.7$ MeV) 的第一激发能都还要大。进一步发现 $^{65}_{33}\text{As}$ (基态半衰期为 128 ms) 的第一激发态是偶偶核 $^{64}_{32}\text{Ge}$ 基态的同质异位素相似态^[34-35]; 而 $^{73}_{37}\text{Rb}$ (基态半衰期为 30 ns) 的第一激发态是偶偶核 $^{72}_{36}\text{Kr}$ 基态的同质异位素相似态^[36]。

(4) 在质子数或中子数大于 50 的核区, 第一激发能与原子核的质子数或中子数之间的关系变化亦比较平稳, 且在闭壳层处 ($Z=50, 82$ 或 $N=50, 82, 126$) 达到最大值。然而在 $Z=92, 94, 95$ 3 个同位素链上出现了突变, 其中 $^{216}_{92}\text{U}$ ($E_1=2.24$ MeV), $^{234}_{94}\text{Pu}$ ($E_1=4.17$ MeV) 和 $^{238}_{95}\text{Am}$ ($E_1=2.5$ MeV) 三个核素在各自同位素链中的第一激发能远大于邻近的核素 (如图 2(c) 所示), 甚至 $^{234}_{94}\text{Pu}$ 比双幻数核 $^{208}_{82}\text{Pb}$ ($E_1=2.61$ MeV) 的第一激发能都还要高。其中 $^{234}_{94}\text{Pu}$ (基态半衰期达到 8.8 h) 的第一激发态能级是由该核的第二裂变势中的多条能级混合而成^[37]; 而 $^{238}_{95}\text{Am}$ (基态半衰期为 98 min) 的第一激发态能级是由该核自发裂变的同质异构能级计算而得到的^[38]。至于 $^{216}_{92}\text{U}$ (基态半衰期为 4.5 ms), 发现了两种 α 衰变态^[24], 基态半衰期为 4.72 ms, 关于其第一激

发态能级的各种其他信息则未见报道。

图 4 为各同中子素链及同位素链上第一激发能最大的核素所对应的自旋宇称的分布情况。图 4(a)161 个核素，偶偶核为 70 个，27 个核素的自旋宇称未被测出，57 个核素的自旋宇称为 2^+ ，其中 52 个偶偶核的自旋宇称为 2^+ ；图 4(b)109 个核素，偶偶核为 50 个，17 个核素的自旋宇称未被测出，39 个核素的自旋宇称为 2^+ ，其中 37 个偶偶核的自旋宇称为 2^+ ；双幻核 ${}^4_2\text{He}$ 和 ${}^{16}_8\text{O}$ 的自旋宇称为 0^+ ， ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ 的自旋宇称为 3^- ，其他双幻核的自旋宇称均为 2^+ 。总之，同中子素链及同位素链上第一激发能最大的核素所对应的自旋宇称为 2^+ 的最多，达到了 42%，其中绝大多数是偶偶核。对于自旋宇称而言，传统的幻数基本上没有太多的统计规律。

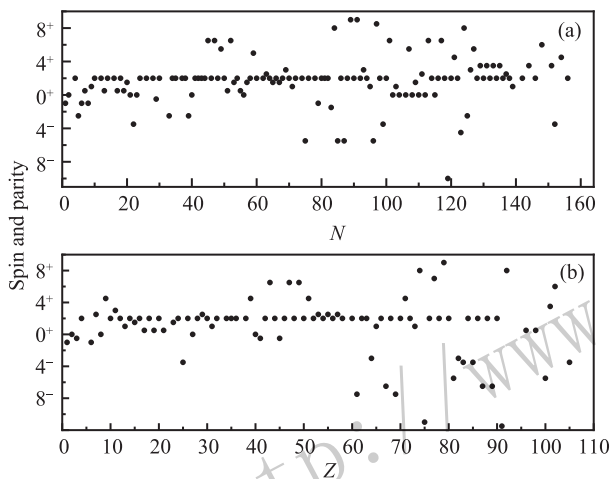


图 4 原子核第一激发能最大值的核素所对应的自旋宇称分布
(a)同中子素链；(b)同位素链。

以质量数 $A \sim (100 \sim 200)$ 区间的偶偶核为研究对象，给出了不包含幻数核共 291 个偶偶核第一激发能与价核子 $N_p N_n$ 的变化关系，如式 (1) 所示：

$$E_1 = \exp\{-a \times N_p N_n / 100\} \quad (1)$$

其中参数 $N_p N_n$ 为满壳层外多余的质子数和中子数之积、或满壳层中剩余的质子空穴和中子空穴之积。通过这 291 个偶偶核的第一激发能 E_1 的实验数据，拟合得到参数 a 的表示形式为

$$a = \begin{cases} 2.208 - 0.0012(A - 126)^2, & A \leq 143, \\ 1.514 + 0.0012(A - 160)^2, & A \geq 143. \end{cases} \quad (2)$$

以质量数 $A=100, 110, 120, 130$ 的偶偶核为例，其第一激发能与价核子 $N_p N_n$ 关系明显趋于指数的衰减形式，如图 5(a) 所示，这与文献 [39-45] 的变化趋势

基本一致。其中点为同量异位素第一激发能的实验值，线为应用式 (1) 得到的对应核素的理论值。根据式 (1)，得到这 291 个核素的均方根偏差为 $\sigma=0.1205$ MeV，其随质量数分布的情况如图 5(b) 所示。从该图可看到，利用式 (2) 来描述与价核子 $N_p N_n$ 的变化规律在 $A \sim (140 \sim 150)$ 之间的偏差比较大，说明在此区间简单地只考虑质量数 A 这个变量略显粗糙。

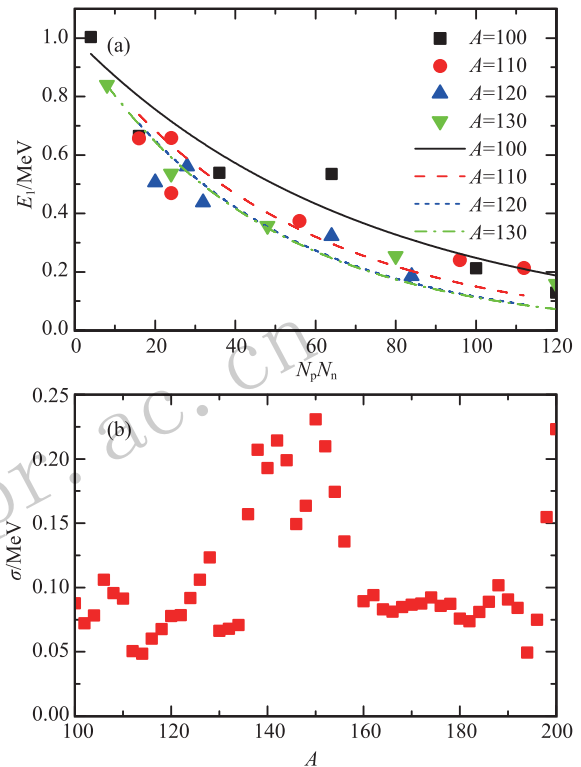


图 5 (在线彩图) $A=100, 110, 120, 130$ 偶偶核的第一激发能与价核子关系 (a) 及在 $A \sim (100 \sim 200)$ 区间理论值与实验值的均方根偏差分布 (b)

4 结论

通过对 2 125 个核素的第一激发态能级纲图进行统计分析，发现传统幻数位置的第一激发能明显高于邻近核素的第一激发能，并进一步分析了在不同核区范围第一激发能分布的特点。同时，亦对同位素链及同中子素链上原子核第一激发能最大的核素进行了分析，发现在传统幻数位置其规律与原子核的其他粗快性质类似。而对于明显偏离传统幻数位置的少量核素，诸如 ${}^{43}\text{V}$ ， ${}^{46,47}\text{Mn}$ ， ${}^{50}\text{Co}$ ， ${}^{65}\text{As}$ 等都处在质子滴线区域，实验上研究其激发态有很大困难，仅有的激发态信息都是依靠母核衰变，根据 β 缓发质子得到的母核同位旋相似态信息。这些实验上观测到的激发态是否是第一激发态，仍存在一定的不确定性，有待实验物理学家进一步研究。对于裂变核 ${}^{216}\text{U}$ ， ${}^{234}\text{Pu}$ ， ${}^{238}\text{Am}$ 等，其第一激发能发生

突变基本上都来自于邻近核素的同质异位素相似态或为裂变核的混合能级, 这对实验及理论研究奇特核结构具有一定的参考价值。通过对同位素链及同中子素链上第一激发能最大的核素所对应的自旋宇称分布情况的分析, 发现在不同的核区, 第一激发能最大的核素的自旋宇称为 2^+ 的最多, 达到了 42%, 其中绝大多数都是偶偶核; 而对于自旋宇称而言, 传统的幻数基本上没有太多的统计规律。对于偶偶核, 在质量数 $A \sim (100 \sim 200)$ 范围内, 其第一激发能与价核子 $N_p N_n$ 关系明显趋于指数的衰减形式, 但在 $A \sim (140 \sim 150)$ 之间其偏差仍偏大些。

参考文献:

- [1] GUO B, WANG N Y. *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2017, **60**(10): 102031.
- [2] XIA X W, LIN Y, ZHAO P W, *et al.* *At Data Nucl Data Tables*, 2017, **121-122**: 1.
- [3] YANG C Z. *Acta Physica Sinica*, 1962, **18**(6): 275. (in Chinese)
(杨澄中. *物理学报*, 1962, **18**(6): 275.)
- [4] MENG J, GUO J Y, LI J, *et al.* *Progress in Physics*, 2011, **31**(4): 199. (in Chinese)
(孟杰, 郭建友, 李剑, 等. *物理学进展*, 2011, **31**(4): 199.)
- [5] MENG J. *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2016, **46**(1): 012001. (in Chinese)
(孟杰. *中国科学: 物理学力学天文学*, 2016, **46**(1): 012001.)
- [6] ZHANG J S, HAN Y L. *Commun Theor Phys*, 2001, **36**(04): 437.
- [7] ZHANG J S, HAN Y L. *Commun Theor Phys*, 2002, **37**(04): 465.
- [8] DUAN J F, ZHANG J S, WU H C, *et al.* *Phys Rev C*, 2009, **80**(6): 064612.
- [9] DUAN J F, ZHANG J S, WU H C, *et al.* *Commun Theor Phys*, 2010, **54**(01): 129.
- [10] ZHANG J S. *Commun Theor Phys*, 2003, **39**(04): 433.
- [11] ZHANG J S. *Commun Theor Phys*, 2003, **39**(01): 83.
- [12] ZHANG J S, HAN Y L, GAO L G. *Nucl Sci Eng*, 1999, **133**(2): 218.
- [13] SUN X J, DUAN J F, WANG J M, *et al.* *Commun Theor Phys*, 2007, **48**(03): 534.
- [14] SUN X J, QU W J, DUAN J F, *et al.* *Phys Rev C*, 2008, **78**(5): 054610.
- [15] YAN Y L, DUAN J F, SUN X J, *et al.* *Commun Theor Phys*, 2005, **44**(01): 128.
- [16] ZHANG J S, HAN Y L, FAN X L. *Commun Theor Phys*, 2001, **35**(05): 579.
- [17] DUAN J F, YAN Y L, WANG J M, *et al.* *Commun Theor Phys*, 2005, **44**(04): 701.
- [18] DUAN J F, YAN Y L, SUN X J, *et al.* *Commun Theor Phys*, 2007, **47**(01): 102.
- [19] SUN X J, ZHANG J S. *Phys Rev C*, 2015, **92**(06): 061601(R).
- [20] SUN X J, ZHANG J S. *Phys Rev C*, 2016, **93**(1): 014609.
- [21] GOLDBABER G S. *Phys Rev*, 1953, **90**(4): 587.
- [22] KANUNGO R, TANIHATA I, OZAWA A. *Phys Lett B*, 2002, **528**(1-2): 58.
- [23] <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>.
- [24] MA L, ZHANG Z Y, GAN Z G, *et al.* *Phys Rev C*, 2015, **91**: 051302(R).
- [25] XU X, ZHANG P, SHUAI P, *et al.* *Phys Rev Lett*, 2016, **117**: 182503.
- [26] PONCE F, SWANBERG E, BURKE J, *et al.* *Phys Rev C*, 2018, **97**(5): 054310.
- [27] ADSLEY P, BRÜMMER J W, FAESTERMANN T. *Phys Rev C*, 2018, **97**(4): 045807.
- [28] ZHELTONOZHISKY V A, SAVRASOV A M, STRILCHUK N V, *et al.* *Europhys Lett*, 2018, **121**(1): 12001.
- [29] WANG M, AUDI G, KONDEV F G, *et al.* *Chinese Physics C*, 2017, **41**(3): 030003.
- [30] SINGH B, CHEN J. *Nuclear Data Sheets*, 2015, **126**(3): 138.
- [31] BURROWS T W. *Nuclear Data Sheets*, 2007, **108**(5): 1049.
- [32] ELEKES Z, TIMAR J. *Nuclear Data Sheets*, 2011, **112**(1): 121.
- [33] YAN X L, XU H S, LITVINOV Y A, *et al.* *Astrophysical Journal Letters*, 2013, **766**: 8.
- [34] BROWNE E, TULI J K. *Nuclear Data Sheets*, 2010, **111**(9): 2542.
- [35] TU X L, XU H S, WANG M, *et al.* *Phys Rev C*, 2011, **106**(11): 112501.
- [36] SINGH B. *Nuclear Data Sheets*, 2004, **101**(2): 317.
- [37] BROWNE E, TULI J K. *Nuclear Data Sheets*, 2007, **108**(3): 759.
- [38] BROWNE E, TULI J K. *Nuclear Data Sheets*, 2015, **127**: 315.
- [39] CASTEN R F. *Phys Rev Lett*, 1985, **54**: 1991.
- [40] JOHN C H, WOHN F K, LEININGER K, *et al.* *Phys Rev C*, 1986, **34**: 2312.
- [41] BUCURESCU D. *Phys Lett B*, 1989, **229**: 321.
- [42] CASTEN R F. *J Phys G*, 1996, **22**: 1521.
- [43] ZHAO Y M, ARIMA A. *Phys Rev C*, 2003, **68**: 017301.
- [44] BAO M, CHENG Y Y, ZHAO Y M, *et al.* *Phys Rev C*, 2017, **95**: 044301.
- [45] DENG Jungang, CHENG Junhao, CHEN Jiulong, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2018, **35**(4): 463. (in Chinese)
(邓军刚, 程俊皓, 陈玖龙, 等. *原子核物理评论*, 2018, **35**(4): 463.)

Statistical Features of the First Excitation Energy of Nuclei

LONG Yin^{1, 2}, SUN Xiaojun^{2,†}, PENG Haiyuan²

(1. Hechi College, Hechi 546300, Guangxi, China;

2. Department of Physics, Guangxi Normal University, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: The first excited state plays a significant role for all excited states of nuclei besides the ground state. The first excitation energy which can directly reflect the stability of the nuclei to some extent is one of the most important features of the excited states. Through statistical analysis of the first excitation energies of 2 125 nuclei, one can find that the first excitation energies at the traditional magic number positions are significantly higher than those of the adjacent nuclei, as well as the nuclei with the highest first excited energy of both the isotopic and isotonic chains. For a small number of nuclei significantly deviating from the positions of the traditional magic number, it is also found that their high first excitation energies were the Isobaric Analog States (IAS) of the adjacent nuclei or some mixed levels of fissile nuclei. For the highest first excitation energy of the isotopic and isotonic chains, the number of their spins and parities with 2^+ of the first excited state is most up to 42%. For even-even nuclei in the range of mass number 100~200, the first excitation energies can be described by the exponential decay function with the valence nucleon $N_p N_n$.

Key words: nuclear first excitation energy; magic number; spin and parity; valence nucleon $N_p N_n$

<http://www.npr.ac.cn>

Received date: 26 Jul. 2019; **Revised date:** 22 Oct. 2019

Foundation item: Guangxi Natural Science Foundation (2019GXNSFDA185011); National Natural Science Foundation of China (11465005); Open Project of Key Laboratory of Nuclear Physics of Guangxi Normal University(201801); Hechi College School Project(2018XJQN009)

† **Corresponding author:** SUN Xiaojun, E-mail: sxj0212@gxnu.edu.cn.