

²³⁹Pa 可能对天体物理研究产生一点影响*

袁双贵¹⁾ 徐岩冰 丁华杰 杨维凡

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 扼要介绍利用重计时对的核宇宙年代学来进行宇宙年龄估计的方法. 简单叙述²³⁹Pa的异常长的半衰期对于宇宙年龄估计的影响.

关键词 ²³⁹Pa的半衰期 异常长 宇宙年龄估计

半衰期是核物理中最基本的数据之一, 在基础研究、理论计算和许多应用中, 这一数据是必须的. 特别, 重质量丰中子区核素的半衰期, 对宇宙中重元素的合成和银河系年代的测定及与天体物理密切相关的β-延发裂变岛和β-延发中子先驱核素岛的研究等起着举足轻重的作用^[1-3]. 因此, 它们的半衰期的理论计算和实验测定在核科学中占有重要位置.

我们注意到, 截止现在, 计算半衰期的理论大概有3种, 即粗糙理论^[4]、采用Tamm-Dancoff近似的微观理论(TDA)^[5]和采用质子-中子准粒子无规位相近似的微观理论(QRPA)^[6].

我们搜集了大量的重丰中子核的半衰期的实验数据, 以此与这3种理论的计算值进行了比较. 结果表明, 总的来讲, QRPA理论计算的半衰期与实验值的符合程度优于其他两者.

在我们的实验中, 测得²³⁹Pa的半衰期为 $106 \pm 30 \text{min}$ ^[7]. 一般来讲, 同一种元素的放射性同位素的寿命随远离β稳定线而减小. 对于丰中子核, 核的寿命随质量数的增加而减小. 但我们所测得的²³⁹Pa的半衰期是异常的, 即它比²³⁹Pa前面的几个核的半衰期^[8](²³⁵Pa——24.5min, ²³⁶Pa——9.1min, ²³⁷Pa——8.7min, ²³⁸Pa——2.3min)都长得多. 我们实验上测得²³⁹Pa的半衰期的值也支持QRPA理论(表1).

这个异常长的半衰期的值引起了我们的兴趣. 在天体r过程中, 产生一些如同²³²Th, ²³⁵U和²³⁸U寿命特别长的核素, 它们的半衰期都大于 10^7 年. 其中,

像²³²Th($T_{1/2}=1.405 \times 10^{10}$ 年)和²³⁸U($T_{1/2}=4.46 \times 10^9$ 年)可与宇宙年龄相比拟, 因而可以给出一个测定核合成持续时间的可能性, 用来作为宇宙时钟. 而²³⁵U($T_{1/2}=7.038 \times 10^8$ 年)则可以给出有关产生函数时间历史的信息^[1]. 借助于宇宙演化模型, 由公式(1)

$$N_A(\Delta)/N_B(\Delta) = P_A/P_B f(\lambda_A, \lambda_B, S_0, \lambda_R, \Delta) \quad (1)$$

能够计算宇宙年龄. 式中, P_A/P_B 表示A和B两种核素的合成比, N_A/N_B 表示陨石形成时它们之间的丰度比, Δ 表示核素合成所持续的时间, S_0 为初始时刻的丰度, 取 $\lambda_R=0$, 即假定了一个恒定的有效核素合成率. 可见, P_A/P_B 之比的计算准确性直接影响宇宙年龄测定的准确度. 通常利用重计时对(²³³Th/²³⁸U, ²³⁵U/²³⁸U和²⁴⁴Pu/²³⁸U)的核宇宙年代学来进行宇宙年龄的估计, 这三个比值都与²³⁸U相关, 所以正确估计经r过程生成²³⁸U的量具有重要意义.

表 1 ²³⁹Pa的半衰期的实验值与不同理论计算值的比较

同位素	实验值/ min	计算值/min				粗糙 理论
		QRPA			TDA	
		Hilf ^a	Groote ^b	Moeller ^c		
²³⁹ Pa	106±30	3.1	370.0	6.8	4.6	5

注: 脚注 a, b, c 是分别利用 Hilf et al., Groote et al. 和 Moeller et al. 的质量公式所得到的半衰期值.

我们测得的²³⁹Pa这个异常长的半衰期的值, 将关系到经r过程生成²³⁸U的量, 从而影响利用核宇宙年代学来进行的宇宙年龄的确定. ²³⁹Pa寿命的长短对²³⁸U合成的影响表现在图1.

* 国家自然科学基金(10575118)资助

1) E-mail: yuansg@impcas.ac.cn

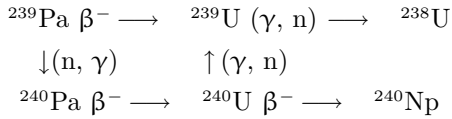


图 1 由 ${}^{239}\text{Pa}$ 生成 ${}^{238}\text{U}$ 的示意图

从 ${}^{239}\text{Pa}$ 可以经过两条途径生成 ${}^{238}\text{U}$, 一是由 β^- 衰变到 ${}^{239}\text{U}$, 再经光致反应生成 ${}^{238}\text{U}$. 二是 ${}^{239}\text{Pa}$ 经r

过程到 ${}^{240}\text{Pa}$, 再由 β^- 衰变到 ${}^{240}\text{U}$, 然后, 经两次光致反应, 转了一个大圈最后生成 ${}^{238}\text{U}$. 如此看来, 由 ${}^{239}\text{Pa}$ 生成 ${}^{238}\text{U}$ 的多少与r过程紧密相关. 显然, ${}^{239}\text{Pa}$ 的半衰期越长, r过程所占的权重就越大, β^- 衰变所起的作用就越小. 因此, 我们所测得 ${}^{239}\text{Pa}$ 的异常长的半衰期可以影响利用重计时对的核宇宙年代学来进行的宇宙年龄的计算.

参考文献(References)

- 1 Thielemann F K, Metzinger J, Klapdor H V. Z. Phys., 1983, **A309**: 301—317
- 2 Klapdor H V. Fortschr Phys., 1985, **33**: 1—55
- 3 Berlovich E Ye, Novikov Yu N. Phys. Lett., 1969, **29**: 155—156
- 4 Takahashi K, Yamada M, Kondoh T. At Data Nucl Data Tables, 1973, **12**: 101—142
- 5 Klapdor H V, Metzinger J, Oda T. At Data Nucl Data Tables, 1984, **31**: 81—111
- 6 Staudt A, Bender E, Muto K et al. At Data Nucl Data Tables, 1990, **44**: 79—132
- 7 YUAN Shuang-Gui, YANG Wei-Fan, Mu Wantonget et al. Z. Phys., 1995, **352**: 235—236
- 8 Reus U, Westmeier W. At Data Nucl Data Tables, 1983, **29**: 193—406

${}^{239}\text{Pa}$ May Influence Astrophysics Study*

YUAN Shuang-Gui¹⁾ XU Yan-Bing DING Hua-Jie YANG Wei-Fan

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract The estimation method of the universe age using the nuclear cosmochronology by the heavy chronometers is essentialized. The influence of the novel long half-life of ${}^{239}\text{Pa}$ on the universe age estimation is simply mentioned.

Key words half-life value of ${}^{239}\text{Pa}$, novel long, universe age estimate

* Supported by National Science Foundation of China (10575118)

1) E-mail: yuansg@impcas.ac.cn