

# The Small Underground Experiment of Baryon Number Conservation

Ruiguang Wang, Changjiang Dai

Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: wangrg@mail.ihep.ac.cn

Received: Mar. 12th, 2011; revised: Apr. 13th, 2011; accepted: Apr. 15th, 2011.

**Abstract:** The baryon numbers are conserved in the Standard Model. However, the baryon-number conservation is violated in the Grand unified theory. The experimental status of some small underground experiments of baryon number conservation is introduced in this paper. A few improvements of experimental methods and techniques are proposed and discussed.

**Keywords:** Proton decay; Decay lifetime; Baryon-number Conservation; Detector

## 小型地下重子数守恒实验

王瑞光, 戴长江

中国科学院高能物理研究所, 北京

Email: wangrg@mail.ihep.ac.cn

收稿日期: 2011年3月12日; 修回日期: 2011年4月13日; 录用日期: 2011年4月15日

**摘要:** 在标准模型中重子数是守恒的, 而大统一理论则预言质子衰变, 重子数守恒将被破坏。本文简要介绍研究原子核中核子衰变的小型地下实验, 并在探测方法、技术的改进等方面提出了一些新的想法。

**关键词:** 质子衰变; 衰变寿命; 重子数守恒; 探测器

### 1. 引言

在标准模型中重子数是守恒的, 而大统一理论则预言质子衰变, 重子数守恒将被破坏<sup>[1-4]</sup>。几十年来许多国际合作组建造大型实验装置, 从不同角度对这一问题开展探测研究。有关重子数破坏的最新进展状况作者在文献[5]中已作了较详细介绍。本文集中讨论利用小型地下实验装置研究原子核中核子衰变到不可见通道的模式。

鉴于质子的衰变寿命很长, 其下限大于  $10^{23}$  年<sup>[6]</sup>。因此, 通过观测原子核中核子衰变为不可见通道, 如中微子通道的模式来研究质子衰变必须使用大规模探测器或超大规模探测器。这些实验所需要的经费是非常庞大的。近年来, 由于地下低本底实验技术取得了

长足进步, 可以采用地下小型实验装置研究原子核中核子衰变到不可见通道的模式。这些实验装置规模小、较经济, 也可获得较好的结果。

### 2. 实验现状

国际上已经开展了一些地下小型实验探测原子核中核子的衰变, 典型的如 DAMA 实验<sup>[7]</sup>、Borexino test facility 实验<sup>[8]</sup>。这些实验主要观测原子核中核子衰变到不可见的通道。由于实验探测的是子核衰变时放出的射线, 探测效率高, 所以能以较小的实验装置获取较好的结果。如 DAMA/LXe 实验采用 6.5 公斤的液态氙闪烁探测器探测  $^{129}\text{Xe}$  核的核子衰变, 通过对母核  $^{129}\text{Xe}$  衰变后的子核  $^{128}\text{I}$  的再衰变产物的探测, 在总曝

光量为 2258 kgdays 时, 给出核子的衰变寿命下限:  $\tau$  (p-invisible)  $> 1.9 \times 10^{24}$  yr (90% C.L.)。同时, 该实验也获得:  $\tau$  (pp-invisible)  $> 5.5 \times 10^{23}$  yr (90% C.L.)和  $\tau$  (nn-invisible)  $> 1.2 \times 10^{25}$  yr (90% C.L.)。又如 Borxino test facility 实验采用 4.2 吨的  $C_{16}H_{18}$  液体闪烁探测器探测  $^{12}C$  核的核子衰变, 也给出了核中核子衰变寿命的新下限。

### 3. 实验技术

采用地下小型实验装置研究核中核子衰变, 应该把握如下几个关键技术。第一, 要尽量采用源器合一, 提高探测灵敏度。即探测器探测物质和衰变源是同一种物质元素, 而且这种待测核的同位素丰度要足够高。第二, 尽可能利用子核伴随衰变放出的电子和光子作符合测量, 来鉴别信号真伪, 提高信噪比。第三, 尽量在宇宙线本底极低的地下实验室运行实验, 实验室越深越好。同时, 结合主动、被动屏蔽措施最大限度地降低本底, 进一步提高测量精度和灵敏度。

下面, 用 CsI(Tl)晶体探测器说明探测原理。探测器中  $^{133}Cs$  核既是探测物质也是核子衰变源。以 Cs 核中的中子衰变过程为例,  $^{133}Cs$  中某个中子衰变后变成子核  $^{132}Cs$ , 且中子消失(即中子衰变到不可见通道)。此衰变过程的子核  $^{132}Cs$  具有较多的退激和衰变方式。为了实验的方便, 可以选择  $^{132}Cs$  beta 衰变到激活态并放出能量为 1.0315 MeV 的光子和最大能量为 1.28 MeV 的电子作符合测量提取真实信号。此外, 需要尽可能消除来自于探测器内部和外部的实验本底。外部本底大致有两个来源: 一是宇宙线直接干扰, 二是探测器周围环境辐射。选择在深层地下(高山下、矿井内或海底)运行实验, 利用岩石土层或海水来减少宇宙射线本底。对于环境辐射, 可以采用屏蔽手段(如加铜 + 铅 + 镉罩等措施), 屏蔽周围的 beta、gamma 射线和中子。探测器内部本底主要来自于探测器 CsI(Tl)晶体中 U/Th 系列如  $^{238}U$ 、 $^{232}Th$  等的放射性, 因此需要对探测器的原材料进行多次化学物理处理, 使 U/Th 含

量达到可接受的程度。DAMA-Roma 实验组现在使用的 NaI(Tl)晶体的放射性纯度已达到: U/Th 的含量  $\leq 2 \times 10^{-12}$  g/g,  $^{39}K$  的含量  $\leq 5 \times 10^{-8}$  g/g。就目前的提纯技术提纯 CsI(Tl)晶体达到同样的纯度, 应该是没有问题的。这样经过多重被动屏蔽, 再加上利用 muon 计数器作反符合的主动屏蔽, 就可以显著地降低本底, 提高测量精度, 达到研究重子数守恒的实验要求。

### 4. 前景展望

利用地下小型实验装置研究原子核中核子衰变, 是近十年发展起来的新型实验手段。它实验规模小、装置相对简单经济。如果能合理巧妙的运用好实验技术, 可望取得大型实验所能取得的同样好的结果。这对于早日验证重子数是否守恒、检验标准模型和探索大统一理论所预言的新物理都具有重要意义。

### 5. 致谢

作者诚挚地感谢毕效军研究员在百忙中认真阅读全文, 并在文字表述方面作了多处修改。国家自然科学基金资助项目(批准号: 10775144)。

### 参考文献 (References)

- [1] J. C. Pati. Nucleon decays into lepton + lepton + antilepton + mesons within SU(4) of color. Phys. Rev. D, 1984, 29(7): 1549-1552.
- [2] J. C. Pati, A. Salam. Is baryon number conserved?. Phys. Rev. Lett., 1973, 31(10): 661-664.
- [3] G. Feinberg, M. Goldhaber and G. Steigman. Multiplicative baryon-number conservation and the oscillation of hydrogen into antihydrogen. Phys. Rev. D, 1978, 18(5): 1602-1606.
- [4] M. Goldhaber, P. Langacker and R. Slansky. Is the proton stable?. Science, 1980, 210(4472): 851-860.
- [5] R. G. Wang, C. J. Dai. The experimental status of nucleon decays, Physics, 2011, 40(3): 177-181.
- [6] I. Masina, C. A. Savoy. Heavy triplets: electric dipole moments vs. proton decay. Phys. Lett. B, 2004, 579(1-2): 99-108.
- [7] R. Bernabei, M. Amato, and P. Belli et al. Search for the nucleon and di-nucleon decay into invisible channels. Phys. Lett. B, 2000, 493(1-2): 12-18.
- [8] H. O. Back et al. Behalf on Borexino collaboration, New limits on nucleon decays into invisible channels with the BOREXINO Counting Test Facility. Phys. Lett. B, 2003, 563(1-2): 23-34.