

基于 RIBLL 的核谱学实验研究方法*

潘强岩 周小红 张玉虎 郭应祥 徐岩冰 雷祥国
黄文学 王旭东 何建军 冯喜臣 肖国青 郭忠言
李加兴 袁双贵 罗亦孝

(中国科学院近代物理研究所 兰州 73000)

摘要 在兰州近代物理研究所放射性束流线(RIBLL)装置上开展了对极短寿命的远离核的核谱学实验研究. 利用能量为 69MeV/u 的 $^{36}\text{Ar}^{17+}$ 轰击厚度为 92.3mg/cm^2 的天然 Ni 靶, 以弹核碎裂方式产生目标核 ^{29}S . 通过 RIBLL 的分离将它注入到 Si(Au) 带电粒子探测器中并测量其 β 延迟质子能谱. 所得到的 ^{29}S 的 β 延迟质子能谱和寿命与文献值符合得相当一致, 证明了本实验所采用的技术路线是可行的.

关键词 放射性束流线 β 延迟质子能谱 半衰期

1 引言

具有独特的高传输效率和离子鉴别能力的兰州近代物理研究所放射性束流装置(RIBLL)^[1]已于1997年7月建成并于同年年底投入物理实验. 与同位素分离器的分离方法不同, 它是在核素飞行过程中实现对远离核分离的. 因此, 基于此装置可开展对那些具有极短寿命的远离 β 稳定线核谱学的实验研究. 本文测定了 ^{29}S 的 β 延迟质子能谱并对实验中所用的实验技术作系统介绍和详细讨论.

2 实验过程

2.1 RIBLL 的作用

实验是在兰州重离子加速器国家实验室完成的. 由 HIRFL 提供的能量为 69MeV/u 和流强为 35nA 的 $^{36}\text{Ar}^{17+}$ 束流轰击厚度为 92.3mg/cm^2 的天然镍靶. 通过弹核 ^{36}Ar 碎裂及转移反应形式能产生近 90 种核反应产物. RIBLL 通过对这些产物的接收和磁场的偏转作用, 使众多产物在飞行过程中达到核素鉴别的目的. 如果再在 RIBLL 的第一焦点位置上加上厚度

* 国家自然科学基金(19735010, 19605008)和中国科学院百人计划基金资助

合适的降能器,通过调节其磁刚度还可以实现对核素的分离.实验中我们使用了 $270\text{mg}/\text{cm}^2$ 的铝降能器,结果见图1.对比没有使用降能器的结果,在RIBLL的第二焦点只剩下了种类不多的 $N=12$ 和 13 的同中子素,而绝大多数(包括主束)的核素均被去除干净.因此,大大地降低对目标核测量本底.

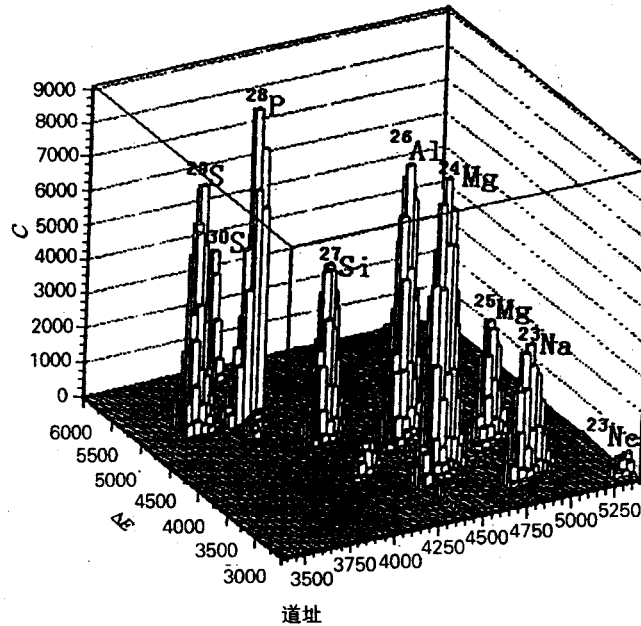


图1 使用铝降能器后,RIBLL引出的 $69\text{MeV}/u$ $^{36}\text{Ar}^{17+} + {}^{\text{nat}}\text{Ni}$ 反应产物 ΔE -TOF 双维图

2.2 探测器

在RIBLL的第二焦点,实验使用了3片从日本HAMMAMUSU公司进口的厚度均为 $300\mu\text{m}$ 的Si(Au)探测器用于测量次级束的能损和 β 延迟带电粒子能谱.图2是探测器的布局图,其中的3片Si(Au)探测器是置于束流管道内.在Si(Au)探测器的前方放置了厚度为 $360\mu\text{m}$ 的铝降能片,确保目标核 ^{29}S 等穿过此降能片后注入(阻止在)到Si(Au)探测器之一中,以利于核谱学的测量.

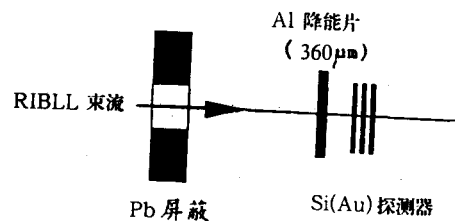


图2 在RIBLL的第二焦点位置,实验所用的探测器布局图

2.3 脉冲束

在衰变核谱学研究中,测定核寿命是必不可少的.为了开展对极短寿命(ms量级)的滴

线原子核的谱学实验研究,我们发展了束流脉冲调制技术,即将 HIRFL 的 SSC 束流根据实验要求实现脉冲化.这项技术是通过在加速器离子源的出口处加上 350 伏静电偏转电压实现的.其相关设备称为“束流中断装置”.我们在离子能损(ΔE)和飞行时间(TOF)两个测量参数上用单道选择出目标核的信号并用此信号控制束流中断装置.当出现目标核的信号时,束流中断装置给出 350V 的静电偏压切断束流并触发数据获取系统开始采集数据.束流中断时间的设定是束流中断装置的附加功能,通过它并联合数据获取系统就可以对目标核的衰变寿命进行测量.当束流中断时间(测量时间)结束时,供束恢复,从而完成了一个从供束到停束(即谱学测量),又恢复供束的周期性过程.

3 结果及讨论

^{29}S 的衰变谱学已作过详细地研究^[2].我们选取 ^{29}S 为测量对象,是为了利用其精细、完备的核数据全面检验我们所用的技术路线的适用程度和发现存在的问题,为将来在 RIBLL 上开展对极短寿命的滴线核的谱学研究作好准备.当目标核 ^{29}S 出现时,切断束流并触发数据获取系统开始采集数据.所设定的停束时间,即用于数据获取的时间为 300ms.图 3 是实验测得的 ^{29}S 的 β 延发质子能谱.

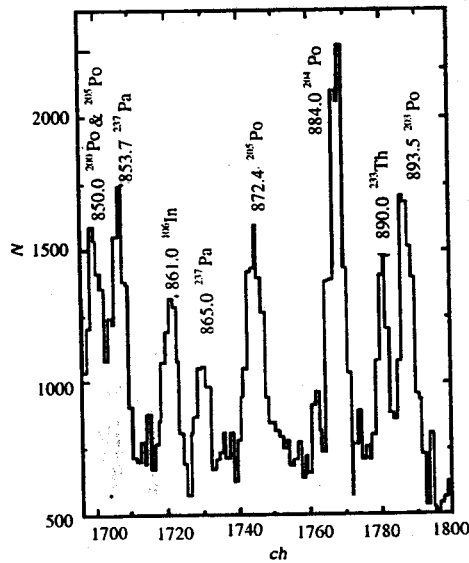


图 3 实验测得的 ^{29}S 的延发质子能谱
峰位能量单位为 keV.

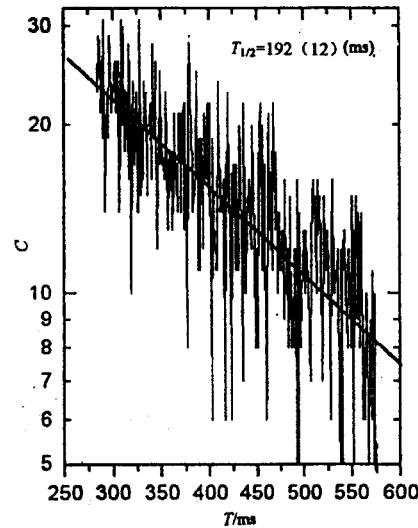


图 4 ^{29}S 能量为 2134keV 的 β 延发质子峰的衰变时间分布
数据拟合得到其半衰期为 $(192 \pm 12)\text{ms}$.

已知的 ^{29}S 延发质子能峰多达 32 条,其中分支比最强的 5 条质子能峰在图 3 中最清楚.图中很强的低能端连续谱是 β 射线造成的.很显然,在单谱测量中,实验所使用的厚度为 $300\mu\text{m}$ 的 Si(Au)探测器不适宜对能量小于 1.2MeV 的质子探测.对于更低能质子的探测必须采用更薄的探测器或用 βP 符合技术,以降低 β 射线及噪声等本底.我们对图 3 中最清楚

的 5 条质子能峰作了能量和寿命分析,结果均与文献值相当吻合,如表 1 所示.作为例子,我们将能量为 2134keV 的质子能线寿命的拟合结果显示于图 4 上.

在测得的质子能谱(图 3)中,能观测到的最弱的质子线是 $E_p = 3450 \text{ keV}$,其分支比为 0.38%.其它更小分支比的质子均淹没在 β 本底或强的质子能峰下.为了提高探测能力必须在降低本底和改善探测器的能量分辨方面作进一步改进.在以后的实验中,我们将利用更薄($\sim 120\mu\text{m}$)的 Si(Au)探测器对带电粒子进行测量和更厚($\sim 1000\mu\text{m}$)的 Si(Au)探测器对 β 粒子进行测量,以实现 βp 符合.与此同时增加两个 HPGe 探测器,实现 $\beta\gamma$ 符合测量.从而可以进行在滴线附近极短寿命核素的奇异衰变测量及 β 衰变纲图的建立等方面的实验研究工作.

表 1 ^{29}S 的 β 延发质子能峰

能量(keV)		半寿命(ms)	
文献值 ^[3]	实验值	文献值 ^[3]	实验值
2129.8	2134 ± 20		192 ± 12
2631	2534 ± 30		166 ± 25
3456	3450 ± 23	187 ± 4	195 ± 15
3720.6	3720 ± 20		190 ± 13
5238.2	5438 ± 17		202 ± 12

4 结论

利用能量为 69MeV/u 的 $^{36}\text{Ar}^{17+}$ 轰击厚度为 92.3mg/cm^2 的 ^{58}Ni 靶,以弹核碎裂方式产生目标核 ^{29}S .通过 RIBLL 的分离将它注入到 Si(Au)带电粒子探测器中并测量其 β 延发质子能谱.所得到的 ^{29}S 的 β 延发质子能谱和寿命均与文献值完全符合,从而全面检验了我们的实验技术路线.在此成功的基础上,我们将在以后的实验中从降低本底和改善探测器的分辨两方面作进一步改进并增加 $\beta\gamma$ 符合测量,开展对滴线核的核谱学及其奇异衰变的实验研究工作.

参考文献(References)

- 1 ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan, LIU Gua-Hua et al. Chinese Sciences, 1999, 29: 77-84
- 2 Hatori S, Miyatake H, Shimoda T et al. Proc. 6th Intern. Conf. on Nuclei Far from Stability + 9th Intern. Conf. on Atomic Masses and Fundamental Constants, Bernkastel-Kues, Germany, 1992, 19-24 July, Neugart, R. Woehr A eds., 1993, 801
- 3 Richard B Firestone, Virginia S Shirley. Table of Isotope A=1-102, 8th edition 1996 LBL, 81. A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC

Experimental Methods of Nuclear Spectroscopic Study at RIBLL *

PAN Qiang-Yan ZHOU Xiao-Hong ZHANG Yu-Hu GUO Ying-Xiang
XU Yan-Bing LEI Xiang-Guo HUANG Wen-Xue WANG Xu-Dong
HE Jian-Jun FENG Xi-Chen XIAO Guo-Qing GUO Zhong-Yan
LI Jia-Xing YUAN Shuang-Gui LUO Yi-Xiao

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

Abstract Nuclear spectroscopic experiment of nuclei with extreme short half-life far from the β stability by using the RIBLL facility has been carried out. The isotope ^{29}S was produced by projectile fragmentation of 69 MeV/u $^{36}\text{Ar}^{+17}$ on $^{\text{nat}}\text{Ni}$ with thickness of 92.3 mg/cm². ^{29}S ions were separated and implanted in the Si(Au) detectors. Beta-delayed proton radioactivity has been measured for the ^{29}S isotopes. The measured energy spectrum of β -delayed protons and half-lives are in good agreement with literature. The used experimental method was approved to be feasible for the spectroscopic measurements.

Key words radioactive ion beam line, energy spectrum of β -delayed protons, half-life