

文章编号:1000-6931(2001)05-0411-05

用于裂变研究的多参数测量系统

包尚联¹, 刘文龙¹, 樊铁栓¹, 温琛林², 巴登可夫³, 马约罗夫³

(1. 北京大学 重离子物理研究所重离子物理教育部重点实验室, 北京 100871;

2. 北京师范大学 低能核物理研究所, 北京 100875; 3. 镭研究所, 圣彼得堡 194021, 俄罗斯)

摘要:介绍了一台用于裂变研究的多参数测量系统。描述了裂变源、微型裂变室、中子探测器、实验安排以及降低测量本底的措施。系统适用于精确测量自发裂变中子能谱和裂变碎片特性,也可用于其他类型的测量。

关键词:裂变; 裂变碎片参数; 裂变中子能谱; 多参数测量系统

中图分类号: O571.43 **文献标识码:** A

测量裂变中子能谱是研究裂变过程的重要手段。从裂变中子能谱可获得关于裂变总激发能、裂变碎片激发能、核形变、核物质粘度等重要信息。裂变堆核废料(其中的重元素主要是 Np、Pu、Cm、Bk、Cf、Es 等 20 多种超铀元素同位素)的处理和应用也要求研究它们的裂变特性。²⁵²Cf 是标准谱中子源,常用于中子探测器的刻度和剂量测量,²⁴⁸Cm 被推荐为长寿命的标准中子源,它们的自发裂变中子能谱需要精确测量。²⁵²Cf 以外核素的裂变谱数据很少,进行测量很有必要。²⁵²Cf 自发裂变中子谱、裂变碎片能量、质量和角分布,²⁴⁸Cm、²⁴⁶Cm 和 ²⁴⁴Cm 的自发裂变中子谱已有报道^[1~6],本工作主要介绍实验装置和测量方法。

1 测量方法

应用飞行时间法测量裂变中子能谱,用裂变碎片作为中子发射起始时间,中子到达飞行距离终点的时刻用中子探测器测定。本方法对缓发中子和裂变核放射性引起的(,n)反应中子不灵敏,测量的是纯净的瞬发裂变中子谱。

测量有积分谱和微分谱之分。积分谱指对碎片参数不做选择的中子能量分布 $N(E_n)$;微分谱指裂变中子数 N 与中子能量 E_n 、中子与轻碎片运动方向的夹角 θ 以及与裂变碎片参数 P_f 的函数关系 $N(E_n, \theta; P_f)$ 或 $N(E_n, \theta)$ 。积分谱可通过微分谱的积分得到。积分谱采用微

收稿日期:2000-04-03;修回日期:2001-03-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(19585001);外国专家局专项基金资助项目(970360Z022)

作者简介:包尚联(1945—),男,江苏大丰人,教授,核物理专业

型裂变室作为裂变碎片探测器,微分谱测量应用裂变碎片望远镜系统或双屏栅电离室。

2 测量装置

2.1 薄膜裂变源

利用裂变电离室测量积分谱要求记录全部裂变事件,因此,需使用高纯度、高品质的薄膜裂变源。本工作所用 ^{252}Cf 源纯度优于99.995%,主要杂质是 ^{250}Cf 。因杂质含量低,且杂质发射的中子能与 ^{252}Cf 接近,因此, ^{250}Cf 对测量的影响可忽略。 ^{246}Cm 源纯度为99.534%(含 ^{244}Cm 0.198%, ^{245}Cm 0.018%, ^{247}Cm 0.147%, ^{248}Cm 0.198%)。 ^{248}Cm 源纯度是95.2%(含 ^{244}Cm 0.04%, ^{245}Cm 0.2%, ^{246}Cm 4.5%)。源强分别是: ^{252}Cf , $(1\sim 4)\times 10^4\text{ s}^{-1}$; ^{246}Cm , $1.41\times 10^3\text{ s}^{-1}$; ^{248}Cm , $5.16\times 10^3\text{ min}^{-1}$ 。源的均匀度优于10%。

为考查裂变碎片在源中的吸收和散射,在真空室里,利用半导体探测器(角分辨1°)在入射角 $0^\circ\sim 88^\circ$ 范围内测量裂变碎片能谱。在任何角度均测到了清晰的双峰结构。取甄别阈约为45 MeV,积分计数不随角度变化。若阈值低到15 MeV,积分计数随角度减小有所增加,这是碎片在源衬上背散射的结果。可见:利用这样的薄膜源,有在2°立体角探测器以100%的效率记录裂变事件的可能性。只有采用特殊工艺^[6,7]才能制备出具有这样品质的薄膜源。

2.2 微型裂变电离室

微型电离室的示意图示于图1。电离室外壳是直径14 mm、壁厚0.1 mm的不锈钢圆柱,薄膜源接在其顶部作为阳极,收集极由厚0.1 mm白金圆片制成,直径略小于外壳直径。电离室总质量1.4 g。工作气体是压力为 $1.1\times 10^5\text{ Pa}$ 的95% CH_4 +5% Ar 。阳极和收集极之间的距离约为2 mm,并可调。调节原则是保证裂变碎片能量能够完全消耗在电离气体中,而粒子在电离气体内的能量损失则尽量少,使裂变碎片和粒子信号的幅度差最大。

为考查源中子在源衬和裂变室上的散射吸收,测量了中子和裂变碎片的符合计数随中子出射角的变化。结果示于图2。结果表明:在大部分角区,未见符合计数降低^[8]。

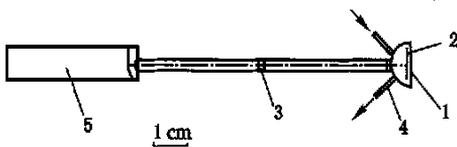


图1 微型电离室示意图

Fig. 1 Diagram of the miniature ionization chamber

- 1 —— ^{252}Cf ; 2 —— 电流收集极;
3 —— 聚四氟乙烯绝缘; 4 —— 进气孔和出气孔;
5 —— 前置放大器

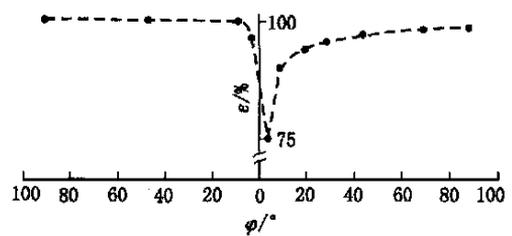


图2 裂变碎片-中子符合探测效率与中子发射角的关系

Fig. 2 Efficiency of detecting fragment-neutron coincidences as function of the neutron emission angle

2.3 裂变碎片探测系统

测量裂变中子微分谱的碎片探测系统的详情参见文献[8]。两架裂变碎片望远镜分别测量两个碎片的角度、能量和飞行速度,每架望远镜有两组 Al_2O_3 膜和微通道板MCP。离裂变源较近的微通道板提供中子和碎片飞行时间测量的起始信号,离靶较远的MCP提供碎片飞

行时间的停止信号。半导体探测器测量碎片能量和角度,其直径为 7 mm,距源 10 cm,角分辨约 2° 。整个系统安装在直径 30 cm、壁厚 1 mm 的不锈钢球壳内,壳内真空度为 0.1 Pa。在源衬的两面分别镀 ^{252}Cf 和 ^{246}Cm ,利用两个中子探测器分别测量 ^{246}Cm 和 ^{252}Cf 裂变中子,则可进行 ^{246}Cm 谱对 ^{252}Cf 谱的相对测量。

2.4 双屏栅电离室

文献[2]利用双屏栅电离室测量了裂变碎片参数。双屏栅电离室的优越性是在 4 立体角内测量碎片的能量、方向和质量分布,缺点是包含的物质多,中子散射效应大,不宜用于微分中子谱测量。

2.5 中子探测器

在 0.2 ~ 15 MeV 中子能区,使用苾晶体、ST-451 或 NE213 有机闪烁探测器;在 0.015 ~ 1.5 MeV 能区,使用 LiF(Eu)或锂玻璃闪烁计数器。为消除中子脉冲和裂变碎片定时晃动,改善飞行时间测量的时间分辨率,在数据采集过程中进行时间-幅度校正。校正方法:预先测量对应不同幅度快脉冲的飞行时间谱,定出瞬发峰位置,藉助计算机软件使峰对齐。中子-射线甄别也通过计算机软件实现。采集数据前测量快脉冲幅度(正比闪烁荧光快组分)相对线性脉冲幅度(正比闪烁荧光总产额)的分布。因中子和射线引起的荧光快慢组分比重不同,在快脉冲幅度相对线性脉冲幅度的二维谱上,中子和射线分别集中在两个条状区域。依此分布,计算中子和射线的分界(阈曲线)。采集数据时,系统根据阈曲线区分事件属于中子还是射线。该中子-射线甄别方法不仅减少了电子学仪器,且对探测器的要求也较为宽松,藉助软件选取随脉冲幅度变化的 n -分辨阈比用电子学电路硬件设置固定阈能在更宽的能量区间内达到更好的 n -分辨效果。在 $E_n > 0.5$ MeV 时,抑制系数大于 $10^{4[18]}$ 。

2.6 电子学和数据获取

电子学是基于微机的 CAMAC 系统。除多功能 TAE 板外,均为通用的 NTM 和 CAMAC 标准插件。自制的 TAE 板把时幅变换器、快脉冲放大器、展宽器、线性脉冲积分放大器、甄别器和逻辑电路集中在一起,使系统非常紧凑。系统的全部电子学插件占两个标准机箱。TAE 板给出中子的飞行时间(T)、快脉冲幅度(A)和线性脉冲幅度(E)3 个模拟输出,进行逻辑控制和给出逻辑输出。作为 CAMAC 系统,系统通用灵活,根据测量任务,结构可改变,允许用 8 个探测器进行关联测量。根据用户编制的管理软件,系统完成预定的数据获取和处理任务。

3 实验安排

本底的谱形和计算的空气散射相似,二者的差是实验安排追求的主要目标,即将测量本底降至最低。为此,测量在宽敞空旷的环境下进行,裂变源放在实验厅中间,尽量减少源附近的物体,微型电离室、中子探测器悬挂在空中,藉助轻体支架固定在天花板下 1.5 m 的空中。

用挡锥法测量实验本底^[6,7]和用 Monte-Carlo 方法模拟计算^[9]。图 3 是挡锥和无锥两种情况下测得的飞行时间谱($L = 75$ cm)。由图可见:来自 ^{252}Cf 源的直接中子基本被挡住。比较实验测量的本底谱和 Monte-Carlo 法计算谱(图 4)可知:壁散射在飞行时间大于 90 ns 区域开始有贡献;大于 110 ns 谱区,本底主要是壁散射中子;小于 110 ns 谱区,本底主要是随机本底中子和散射中子。飞行时间在 10 ns 处有一峰,是中子在影锥上引起的射线。

数据采集时设置感兴趣区可消除相当大的一部分本底。单能中子在有机闪烁体中引起的脉冲信号具有连续的幅度分布,其最大值对应于反冲质子的最大能量(等于入射中子能量)。

来自裂变源的中子的飞行时间和它们的能量有一一对应的关系,即 $T = 72.3 L E_n^{-1/2}$ 。因此,在以脉冲幅度为纵坐标、飞行时间为横坐标的二维图上可作出一条曲线,使全部效应中子在曲线下面,在曲线上的事件全部是本底。设置这条曲线作为上阈可消除大部分时间上随机分布的高能射线和本底中子。在一般快中子飞行时间谱仪中,为降低本底和给定探测的阈,通常在电子学线路中设置一个较高的甄别阈。本工作中由计算机软件设置下阈,其数值也与飞行时间有关,不仅可去掉低能中子、低能射线和探测器噪声本底,而且把来自裂变源附近的较高能量的散射中子本底也排除在测量之外。上阈和下阈构成感兴趣区,只有落在感兴趣区的事件才被记录。

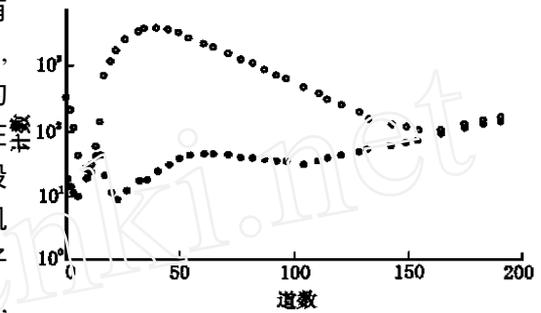


图3 挡锥和无锥两种情况下测得的飞行时间谱

Fig. 3 TOF spectra with and without shadow bar
—无锥; —挡锥

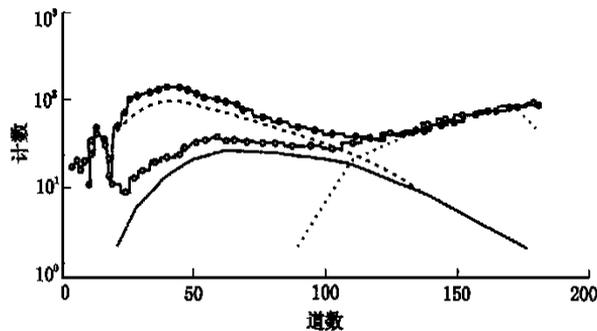


图4 实验测量本底和 Monte-Carlo 法计算本底的比较

Fig. 4 Comparison between background spectra measured and calculated with Monte-Carlo method

— $L = 50$ cm 的测量本底; 虚线 — $L = 50$ cm 时计算的空气散射;
— $L = 100$ cm 时的测量本底; 实线 — $L = 100$ cm 时计算的空气散射;
点线 —计算的墙壁散射

4 结束语

介绍了一台研究裂变的多参数测量系统,其精心制备的薄膜裂变源纯度高、品质好、对碎片的散射和吸收极小。裂变电离室和前置放大器具有良好的时间特性,体积和质量非常小,避免了中子散射引起的裂变谱畸变。两组裂变碎片望远镜同时测量两个碎片的角度、能量和飞行速度,并与中子符合,能精细研究微分中子能谱。中子探测器的时间分辨和 n^2 分辨性能好。利用有机闪烁探测器测量 $0.2 \sim 15$ MeV 中子和用 LiF(Eu) 或锂玻璃闪烁计数器测量 $0.015 \sim 1.5$ MeV 能区,覆盖了宽阔的能谱测量范围。实验安排保证最大限度降低测量本底。

唐国有、刘金泉、施兆民、仲文光、黄斐增、陈金象等同志为系统的建立、完善和实验测量做出了贡献,作者对他们表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] Tang Guoyou, Bao Shanglian, Wang Jie, et al. The Measurement of ^{252}Cf Spontaneous Fission Prompt Neutron Spectrum in the Low Energy Region[A]. Nuclear Data for Science and Technology[C]. Tokyo:Saikon Publ, 1988. 755 ~ 757.
- [2] 刘金泉. ^{252}Cf 自发裂变的研究[D]. 北京:北京大学技术物理系, 1993.
- [3] Bao Shanglian. Study of Prompt Neutron Spectrum in Low Energy Portion for ^{252}Cf and ^{248}Cm Spontaneous Fission[A]. Beijing International Symposium on Fast Neutron Physics[C]. Singapore: World Scientific, 1992. 73 ~ 77.
- [4] Batenkov O, Blinov MV, Bao Shanglian. Energy Spectra and Angular Correlation of Neutrons Emitted in Spontaneous Fission of ^{248}Cm and ^{252}Cf [A]. Proceedings of International Conference Nuclear Data for Science and Technology[C]. Berlin:Springer-Verlag, 1992. 523 ~ 525.
- [5] Batenkov O, Blinov MV, Blinov A, et al. Neutron Spectra in Spontaneous Fission of ^{248}Cm [J]. Atom Energiya(in Russian), 1991, 71:566 ~ 568.
- [6] Blinov MV, Boykov GS, Vitenko VA. Prompt Neutron Spectrum for the Spontaneous Fission of Cf-252[R]. Leningrad, USSR: V G Khlopin Radium Institute, 1984.
- [7] Batenkov O, Elmgren K, Najorov M, et al. High-precision Spectrometer for Studies of Ion-induced and Spontaneous Fission Dynamics[J]. Nucl Instrum Methods Phys Res, 1997, A394:235 ~ 242.
- [8] 刘文龙,包尚联,樊铁栓,等. 基于微机的多参数核物理实验数据获取系统[A]. 第9届全国计算机在现代科学技术领域应用学术会议论文集[C]. [s.l.]:[s. n.], 1998, 174 ~ 181.
- [9] 包尚联,刘金泉, Blinov MV, Influence of Neutron Scattering on Fission Neutron Spectrum Measurement: CNIC-00897, PU-0007[R]. 北京:中国核情报中心, 1994.

Multi-parameter Measuring System for Fission Studies

BAO Shang-lian¹, LIU Wen-long¹, FAN Tie-shuan¹, WEN Chen-lin²
O. Batenkov³, M. Majorov³

(1. Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, 100871 Beijing, China;

2. Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, 100875 Beijing, China;

3. V. G. Khlopin Radium Institute, 194021 St. Peterburg, Russia)

Abstract: A multi-parameter measuring system for fission studies is presented. Detailed descriptions of the fission neutron sources, the ionization chamber for fission fragment detection, the neutron detectors and the experimental arrangement are given. The system is designed for measurements of fission neutron spectra and fission fragment parameters and also suitable to other types of experiments.

Key words fission; fission fragment parameter; fission neutron spectrum; multi-parameter measuring system