

研究简报

 ^{252}Cf 自发裂变中高能 γ 射线的搜索

张焕乔 丁声耀 刘祖华 张贵山 刘绍明

(中国科学院原子能研究所)

唐孝威 李焕铁

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

为了探寻超密核存在的可能性,用铅玻璃契仑柯夫全吸收谱仪在 ^{252}Cf 自发裂变中搜索高能 γ 射线。给出能量在50到240兆电子伏区域的 γ 射线出现几率的上限值为 1.4×10^{-6} /裂变(置信水平95%)。

一、引 言

自然界中除正常态核物质外,是否还存在高密度的核态,这是一个很有趣的问题。工作[1-3]曾在理论上探讨过超密原子核存在的可能性。超密原子核的特点是其密度比正常态原子核的高,每一核子的结合能特别大,可能达几十到几百兆电子伏。

在重原子核碰撞时,可能产生超密原子核。在重原子核裂变时,核形变导致裂变,在过鞍点以前,遵从统计或准统计描述(慢过程),在这阶段,难以生成超密核;一当通过鞍点到达断点,原子核就发生裂变,在断裂的瞬间,有可能在碎片中形成超密核;在碎片退激过程中也可能产生超密核。因此,人们试图在重核裂变中,通过探测反常高的能量释放来寻找超密核。近年已有若干实验在观测裂变过程中放出的高能电子^[4]、高能正电子^[5]、高能 γ 射线^[5,6]和高能中子^[7],目前达到的最佳上限为 10^{-6} /裂变量级,这大多是在地下低背景环境下获得的。

我们用铅玻璃全吸收 γ 谱仪测量 ^{252}Cf 自发裂变时放出的 γ 射线,着重搜索能量高于50兆电子伏的 γ 射线,来研究裂变时是否形成痕量的超密原子核。采用铅玻璃全吸收谱仪的好处是体积小、效率高、对低能粒子不灵敏和经济,缺点是能量分辨率较差;而B. И. Алешин等人^[5]采用的多块NaI(Tl)晶体阵谱仪,效率高,分辨率较好,但经济价值昂贵。

二、实验装置

实验安排如图1所示。在全吸收 γ 谱仪中,探测 γ 射线所用的铅玻璃是天津硅酸盐

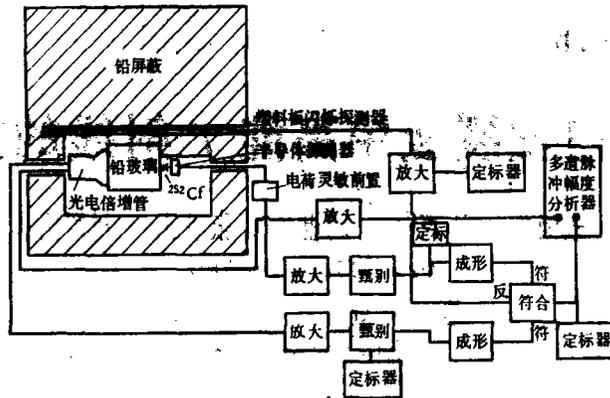


图1 实验装置示意方块图

材料试验厂制作的ZF₁型,大小为12×12×20厘米³;折射系数 $n = 1.6475$;比重 $\rho = 3.86$ 克/厘米³;其重量组成为PbO 51.18%、SiO₂ 41.32%、K₂O 7.00%和As₂O₃ 0.50%。相当于国外的SF₂型铅玻璃。用EMI9530B型光电倍增管直接与铅玻璃光学耦合。它们

整个装在光学密封的钢套中,钢套厚1.5毫米。从光电倍增管阳极和末级打拿极同时引出脉冲,前者供符合,后者提供线性信号。

实验中用的²⁵²Cf样品,沉积在直径3厘米、厚1毫米的不锈钢底衬上,源的涂层直径5毫米,自发裂变率约200次/秒。用面积300平方毫米的金硅面垒探测器紧贴在²⁵²Cf源上探测裂变碎片,用以确定总裂变事件数。为

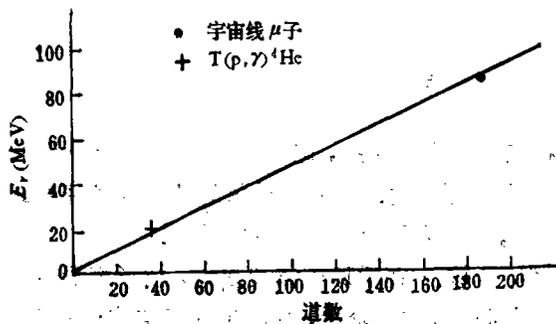


图2 铅玻璃全吸收 γ 谱仪能量刻度

了半导体探测器接地,在²⁵²Cf源背面用了一块同样大小的不锈钢片夹持接地引线的焊片。而²⁵²Cf源和半导体探测器的组合体紧贴在黄铜真空室底上,铜底直径6.2厘米、厚1.5毫米。这样一来,裂变放出的 γ 射线,要穿过铁—铜—铁物质才能打到铅玻璃上。²⁵²Cf源放置在铅玻璃中心线上,与玻璃表面相距7毫米。

为了减少宇宙线背景,用面积50×50厘米²、厚度0.5厘米的塑料板闪烁探测器,放在 γ 谱

仪的上方,以它输出的脉冲作反符合测量,排除宇宙线带电粒子的影响。在²⁵²Cf源与塑料板闪烁探测器之间,放置10厘米厚的铅层,用以减少²⁵²Cf源引起塑料板探测器的计

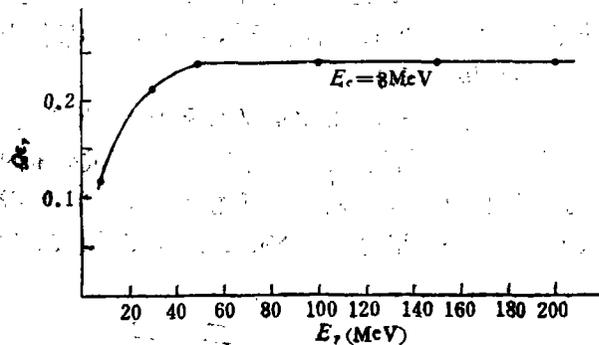


图3 在阈值 $E_c = 8\text{MeV}$ 下铅玻璃谱仪对 γ 射线接收度的能量响应曲线

数。由于 ^{252}Cf 源本身造成塑料板探测器计数增多约 200 脉冲/分, 估计由此引起铅玻璃谱仪对裂变 γ 射线探测的“自杀”率小于 2%。此外, 整个铅玻璃谱仪是全屏蔽的, 在塑料板探测器的上方堆有 32 厘米厚的铅层, 在装置的侧面和底部也加 10 厘米厚的铅层, 屏蔽环境 γ 射线的影响。

测量用的电子学方框图如图 1 所示。半导体输出的脉冲经放大、甄别和成形后, 与谱仪光电倍增管阳极引出脉冲(也经放大、甄别和成形)符合; 同时, 与塑料板探测器输出脉冲经放大后反符合, 由符合一反符合线路输出控制多道脉冲幅度分析器的电子门。谱仪光电倍增管的末级打拿极输出脉冲经线性放大后由 512 多道分析器在门控方式下进行幅度分析。

三、测量及结果

实验中铅玻璃 γ 谱仪的能量阈值选在 $E_{\gamma} \sim 8$ 兆电子伏处, 整个谱仪量程为 8—240 兆电子伏。

谱仪能量刻度: 用两种方式进行。一是利用一个闪烁望远镜选择沿中心轴穿过铅玻璃的宇宙线 μ 子, 测量 μ 子脉冲谱, 可以推算峰位置相应的能量; 另外是在高压倍加器上利用 $T(p, \gamma)^4\text{He}$ 反应产生的 20.4 兆电子伏 γ 射线提供数据, 结果如图 2。

谱仪探测 γ 射线的响应曲线: 采用蒙特卡洛法模拟铅玻璃探测 γ 射线的过程, 得出效率 $\epsilon_r(E_r)$ 、能量分辨函数和接受立体角 Ω 等。计算给出的 $\Omega\epsilon_r(E_r)$ 如图 3 所示。由此得出阈值在 8 兆电子伏下谱仪对能量在 50 到 240 兆电子伏区域的 γ 射线的等效接收度 $(\Omega\epsilon_r)_{\text{eff}} = 0.240$ 。

测量结果: 实验测量有 ^{252}Cf 源时 γ 射线的脉冲幅度谱, 持续 213 小时, 共观察了 1.034×10^8 次裂变事件。然后, 去掉 ^{252}Cf 源, 用脉冲产生器模拟半导体探测器信号, 测量相应于同样裂变计数的背景脉冲幅度谱。

测量低能端 γ 射线的脉冲幅度谱如图 4。

实验中观测到有 ^{252}Cf 源时能量在 50 到 240 兆电子伏的脉冲计数为 46 个; 而无 ^{252}Cf

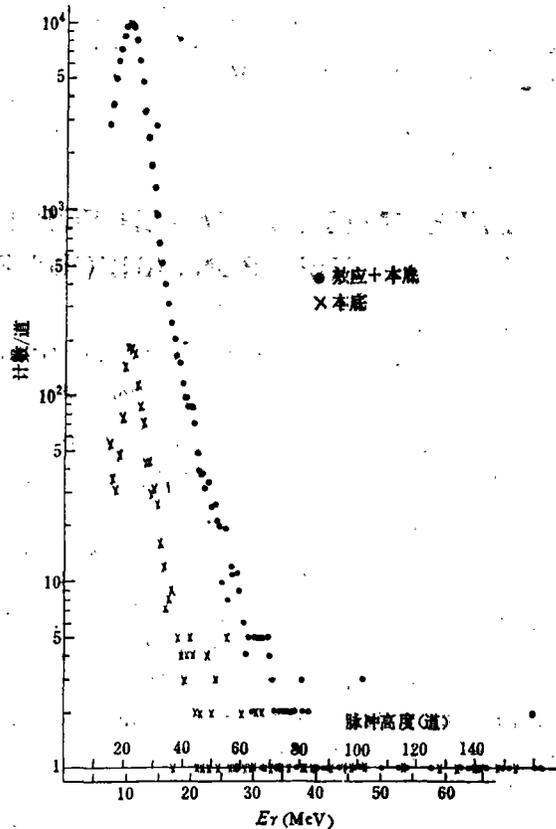


图 4 测量低端能量 γ 射线的脉冲幅度谱

源时测到相应的背景计数为 28 个。经过谱仪能量分辨函数和脉冲堆垒修正后, 给出相应的 γ 射线计数为 7 ± 18 。利用蒙特卡洛法计算的等效接收度 $(Q_{e,\gamma})_{\text{max}} = 0.240$, 得出 ^{252}Cf 自发裂变中一次裂变放出能量在 50 到 240 兆电子伏区域的 γ 射线的几率上限值为 $1.4 \times 10^{-6}/\text{裂变}$ (置信水平 95%)。而 В. И. Алешин 等人^[5]也曾在地面上测量, 给出能量在 50 到 170 兆电子伏区域出现 γ 射线几率的上限值为 $(3.5 \pm 3.5) \cdot 10^{-6}/\text{裂变}$ 。由这些结果表明, 要进一步提高测量的灵敏度, 设法降低背景是极为重要的。因此, 转入地下深层测量是有益的。

作者感谢黄胜年同志、张羽同志和郑志鹏同志对本工作的支持和帮助。

参 考 文 献

- [1] A. R. Bodmer, *Phys. Rev.*, D4(1971), 1601.
- [2] T. D. Lee and G. C. Wick, *Phys. Rev.*, D9(1974), 2291.
- [3] A. B. Migdal, *Phys. Lett.*, B52(1974), 174; A. B. Мигдал, УФН, 123(1977), 369.
- [4] A. A. Borovoy et al., *J. Phys. G: Nucl. Phys.*, 5(1979), 723.
- [5] В. И. Алешин и др., ЯФ, 26(1977), 196.
- [6] В. И. Алешин и др., ЯФ, 30(1979), 318.
- [7] А. Б. Лопов и др., ЯФ, 32(1980), 342.
- [8] 张贵山, 张焕乔, 用蒙特卡洛法模拟铅玻璃全吸收谱仪探测 γ 射线的响应和能量分辨函数 (内部资料) 1981.

EXPERIMENTAL SEARCH FOR HIGH ENERGY γ RAYS IN THE SPONTANEOUS FISSIONS OF ^{252}Cf

ZHANG HUAN-QIAO DING SHENG-YUE LIU ZU-HUA ZHANG GUI-SHAN LIU ZHAO-MING
(*Institute of Atomic Energy, Academia Sinica*)

TANG XIO-WEI LI HUAN-TIE
(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In order to investigate the possibility of the existence of the ultradense nuclei, we have used a lead glass Cerenkov total absorption spectrometer to search for high energy γ rays in the spontaneous fissions of ^{252}Cf . It follows that the upper limit of the probability of γ rays in the energy range between 50 and 240 MeV is $1.4 \times 10^{-6}/\text{fission}$ (95% confidence level).