

## 关于重原子核的自发 $\pi$ 介子发射问题

唐孝威

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

### 摘 要

本文建议用测量单举高能 $\gamma$ 射线的方法探测文献[1]提出的重原子核自发 $\pi$ 介子发射。用文献[1]给出的发射 $\pi$ 介子能量最大值, 计算了发射 $\pi^0$ 介子衰变的高能 $\gamma$ 射线的能量范围。

文献[1]讨论了一种新的天然放射性, 即重原子核的自发 $\pi$ 介子发射, 指出 $Z = 92 - 106$ 的重原子核, 从基态通过三体衰变方式自发发射 $\pi$ 介子的过程, 在能量上是可能的:

$$(A, Z) \rightarrow (A_1, Z_1) + (A_2, Z_2) + \pi,$$

其中 $A = A_1 + A_2$ ;  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_\pi$ , 对 $\pi^0$ 介子,  $Z_\pi = 0$ 。例如 $^{235}\text{U}$ 原子核对称裂变( $A_1 \doteq A_2 = A/2$ ;  $Z_1 = Z_2 = Z/2$ )并发射 $\pi$ 介子的三体衰变, 释放的能量足够大, 可能发射一个实的 $\pi^0$ 介子, 而且其动能的最大值 $Q_\pi$ 可达到 $38\text{MeV}$ 。用实验来检验这个推论, 是很有意思的。

文献[1]建议用两台 $\gamma$ 计数器望远镜符合计数的方法, 来探测重原子核自发发射的 $\pi^0$ 介子。但这种探测方法的缺点是探测接收度小, 因而灵敏度低。本文提出探测自发 $\pi^0$ 介子发射的另一种方法, 即用高能阈的 $\gamma$ 计数器, 测量单举高能 $\gamma$ 射线。如果重原子核自发发射 $\pi^0$ 介子, 它很快衰变为一对高能 $\gamma$ 射线:  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ 。 $\pi^0$ 介子飞行衰变产生的 $\gamma$ 射线, 能量发生多普勒移动。具有速度 $\beta c$ 的 $\pi^0$ 介子衰变产生的 $\gamma$ 射线, 其最大能量 $E_M$ 和最小能量 $E_m$ 分别等于 $E_M = E_0(1 + \beta)$ ,  $E_m = E_0(1 - \beta)$ , 式中 $E_0 = \frac{m_{\pi^0}}{2} = 67.48\text{MeV}$ 。例如上述动能 $38\text{MeV}$ 的 $\pi^0$ 介子,  $\beta = 0.625$ , 则 $E_M = 109.7\text{MeV}$ ,  $E_m = 25.3\text{MeV}$ , 即由它衰变产生的 $\gamma$ 射线能量高于 $25\text{MeV}$ 。

已知在通常天然放射性中不存在能量高于 $25\text{MeV}$ 的 $\gamma$ 射线<sup>[2]</sup>。原子核自发裂变时有低能 $\gamma$ 射线伴随发射<sup>[3]</sup>, 但这些 $\gamma$ 射线的能量也不超过 $25\text{MeV}$ <sup>[4,5]</sup>。因此用一个高能阈的 $\gamma$ 计数器(可用锗酸铋晶体、铅玻璃、或合适的电磁量能器<sup>[6]</sup>), 测量单举高能 $\gamma$ 射线(在上例中为能量高于 $25\text{MeV}$ ), 可以鉴定 $\pi^0$ 介子。这种探测方法的效率比用两台 $\gamma$ 计数器望远镜符合计数的方法高得多。但实验中要注意屏蔽高能宇宙线本底。此外, 在自发裂变计数率高的情况下, 必须排除伴随的低能 $\gamma$ 射线脉冲堆积而造成的本底。

文献[1]用已知的原子核质量值<sup>[7]</sup>计算了 $Z = 90 - 106$ 中电荷为偶数的原子核的

电荷对称裂变 ( $Z_1 = Z_2 = Z/2$ ) 并发射  $\pi^0$  介子时释放的能量的最大值  $Q_{\pi^0}$ , 设这些原子核发射的  $\pi^0$  介子具有单一的动能  $Q_{\pi}$ , 可以计算它们衰变产生的  $\gamma$  射线的最高能量  $E_M$  和最低能量  $E_m$ . 用文献[1]给出的  $Q_{\pi}$  值, 计算了  $Z = 90 - 106$  中电荷为偶数的原子核发射  $\pi^0$  介子衰变的高能  $\gamma$  射线的能量范围. 作为例子, 在表 1 中列出对  $Z = 90$  (Th) 原子核电荷对称裂变的计算结果.

表 1

| $A$ | $Z_1$ | $A_1$ | $Q_{\pi}(\text{MeV})$ | $E_m(\text{MeV})$ | $E_M(\text{MeV})$ |
|-----|-------|-------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 212 | 45    | 105   | 51.79                 | 20.84             | 114.1             |
| 213 | 45    | 106   | 50.35                 | 21.24             | 113.7             |
| 214 | 45    | 107   | 49.41                 | 21.51             | 113.5             |
| 215 | 45    | 107   | 47.91                 | 21.95             | 113.0             |
| 216 | 45    | 107   | 47.29                 | 22.13             | 112.8             |
| 217 | 45    | 108   | 47.35                 | 22.11             | 112.8             |
| 218 | 45    | 109   | 45.54                 | 22.67             | 112.3             |
| 219 | 45    | 108   | 46.97                 | 22.23             | 112.7             |
| 220 | 45    | 109   | 47.10                 | 22.19             | 112.8             |
| 221 | 45    | 110   | 47.22                 | 22.15             | 112.8             |
| 222 | 45    | 111   | 46.91                 | 22.25             | 112.7             |
| 223 | 45    | 111   | 46.54                 | 22.36             | 112.6             |
| 224 | 45    | 111   | 46.22                 | 22.46             | 112.5             |
| 225 | 45    | 112   | 46.10                 | 22.49             | 112.5             |
| 226 | 45    | 113   | 45.97                 | 22.54             | 112.4             |

工作[8]曾设计实验, 在  $^{252}\text{Cf}$  自发裂变中探索高能  $\gamma$  射线. 实验中用半导体探测器记录裂变碎片, 用铅玻璃计数器探测高能  $\gamma$  射线, 并要求两个探测器符合计数. 实验用自发裂变率 200 次/秒的  $^{252}\text{Cf}$  源, 测量 213 小时, 扣除本底后, 在误差范围内未观察到 50 MeV 到 200 MeV 区间的信号, 给出了  $^{252}\text{Cf}$  原子核一次自发裂变放出上述能区的  $\gamma$  射线的几率上限(95%置信水平)为  $1.4 \times 10^{-6}$ /裂变<sup>[8]</sup>. 这个实验数据也可以解释为  $^{252}\text{Cf}$  自发  $\pi^0$  介子发射的上限.

为了提高实验灵敏度, 可考虑用高强度的快中子束轰击重原子核, 研究快中子诱发重原子核裂变并发射  $\pi^0$  介子的过程. 实验中可用本文提出的测量单举高能  $\gamma$  射线的方法, 并适当提高记录能阈. 已知快中子诱发裂变率远大于自发裂变率<sup>[3]</sup>, 预计实验的灵敏度可以比工作[8]提高很多.

## 参 考 文 献

- [1] D. B. Ion et al., *Annals of Physics*, **171**(1986), 237.
- [2] 刘运祚主编: 常用放射性核素衰变纲图(原子能出版社, 1982).
- [3] R. Vandenbosch, J. Huizenga, *Nuclear Fission* (Academic Press 1973).
- [4] J. W. Brooks and F. Reines, *Phys. Rev.*, **C7**(1973), 1579.
- [5] F. S. Dietrich et al., *Phys. Rev.*, **C10**(1974), 795.
- [6] 唐孝威主编: 粒子物理实验方法(人民教育出版社, 1982).
- [7] A. H. Wapstra and G. Audi, *Nucl. Phys.*, **A432**(1985), 1.
- [8] 张焕乔等, 高能物理与核物理, **6**(1982), 491.

2—  
勺:对称  
足够  
检验射的  
之  $\pi^0$   
该自  
产生  
大能  
 $\frac{m_{\pi^0}}{2}$   
 $E_m$ 变时  
能阈  
(在  
计数  
自发  
核的

## ON THE SPONTANEOUS PION EMISSION BY HEAVY NUCLEI

TANG XIAOWEI

*(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)*

### ABSTRACT

In this paper a method of detecting the pionic nuclear radio-activity discussed by Ion et al. is proposed using inclusive high energy gamma ray measurement. Taking the maximum pion energy given by Ion et al, the energy ranges of the gamma rays from the emitted  $\pi^0$  mesons are calculated.