

50MeV/u ^{12}C 离子实验靶区出射中子 角分布实验测量

李桂生 王 经 赵彦森 李文健 张天梅 李宗强

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘 要

本文用氟和碳阈探测器对50MeV/u ^{12}C 离子引起的重离子反应实验靶区 $E_n > 11\text{MeV}$ 和 $E_n > 20\text{MeV}$ 中子的角分布进行了实验测量, 结果显示出明显的前冲分布, 较高能量的中子具有更强的前冲趋势。

一、引 言

中能重离子反应中, 入射离子的能量较高, 与靶核相互作用有大量反应道开放, 其反应机制相当复杂. 核反应出射的大量中子中, 有弹核与靶核通过直接作用发射的能量较高的级联中子, 有处于激发态的复合核退激而发射的蒸发中子, 也有来自复合核通过裂变退激而发射的中子^[1]. 根据目前已有的理论计算和实验数据, 中、高能重离子反应出射的中子具有相当复杂的能谱, 一般可粗略地分为三个部分: (1) 反映蒸发过程的低能区; (2) 反映核子内部动量分布的高能指数区; (3) 反映准自由过程和前平衡过程的中能区^[2]. 其能谱曲线在中能区略低于入射离子单核能的位置出现峰值^[2-4]. 50MeV/u 重离子实验靶区内出射的中子最高能量可达100MeV 以上.

在实验室系中, 中、高能重离子反应出射的中子应呈前冲分布, 特别是能量比较高的级联中子. 中子的角分布决定了中子剂量当量率的分布, 因此, 中子角分布的实验研究对重离子反应中子辐射的屏蔽、中子剂量当量率的实际测量、核物理实验的合理安排和重离子反应机制研究等都有着一定的意义.

二、测量原理

通过测量置于中子场内样品的感生放射性来测量中子注量率是业已成熟的一种测量技术. 中子引起的核反应中, 大多数明显具有能量阈的反应发生在1—100MeV 的能区, 因此, 用阈反应法测量这一能区的中子是一种适用的方法. 作为测量中子注量率的阈反应应

满足下述要求:(1)反应生成的放射性同位素具有已知的衰变特性、衰变参数和合适的半衰期;(2)有较高的反应截面以满足测量的灵敏度要求;(3)靶物质无需作物理和化学分离;(4)没有或尽可能少的竞争反应,如有竞争反应则应是可区分的。

实验选取阈反应 $^{19}\text{F}(n,2n)^{18}\text{F}$ 来测量 $E_n > 11\text{MeV}$ 的中子,生成核 ^{18}F 是一正电子衰变体,其衰变几率为96.9%,反应阈能为10.98MeV;测量 $E_n > 20\text{MeV}$ 的中子,选取 $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ 反应,其生成核 ^{11}C 是衰变几率为99.76%的正电子衰变体,反应阈能为20.79MeV.图1是这两个反应的激发曲线。

辐射场的平均中子注量率由下式计算:

$$\bar{\varphi} = \frac{N \cdot \lambda}{N_1 \cdot \sigma(E) (1 - e^{-\lambda t_0}) [e^{-\lambda(t_1-t_0)} - e^{-\lambda(t_2-t_0)}]} \cdot k$$

式中, $\bar{\varphi}$ 是平均中子注量率($\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$); N_1 是辐照样品中的F和C原子核数; $\sigma(E)$ 是活化截面(cm^2); λ 是生成核的衰变常数(min^{-1}); N 是在测量时间(t_2-t_1)间隔内511keV峰下净计数; t_0 是样品照射时间(min); $k=2 \times \epsilon \times \eta$,其中 ϵ 为测量系统对511keV γ 射线的探测效率; η 为生成核的正电子衰变几率。

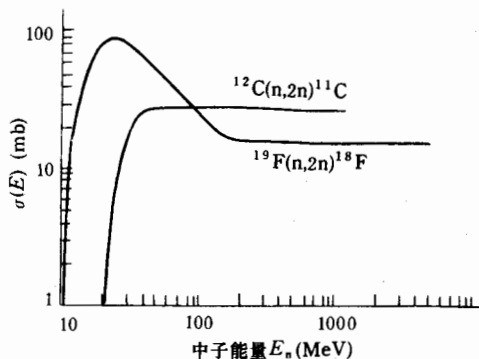


图1 $^{19}\text{F}(n,2n)^{18}\text{F}$ 和 $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ 反应激发函数

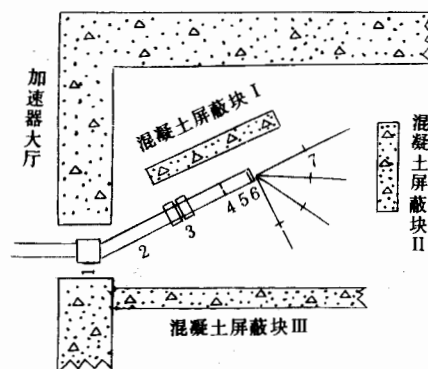


图2 实验布置示意图

1. 偏转磁铁 2. 束流管道 3. 四极透镜 4. $\phi 10$ 光阑 5. 实验靶室 6. 靶子及法拉弟筒 7. 阈探测器

三、实验和测量

实验是在兰州重离子研究装置 HIRFL 物理实验大厅快化终端实验区进行的.图2为实验区示意图. $\sim 4\text{nA}$ 的 $50\text{MeV}/u$ ^{12}C 离子通过偏转磁铁进入实验厅,再通过两个四级透镜、准直光阑进入实验靶室.长 $\sim 40\text{cm}$ 的放化实验靶室紧接加速管道,靶室末端的法拉弟筒前有一 $\sim 600\text{mg}/\text{cm}^2$ Au靶,铜质法拉弟筒厚 6cm ,束流被法拉弟筒收集并由束流积分器和记录仪记录.实验靶室周围摆放着三块混凝土屏蔽块,束流管道中心距屏蔽块 I 0.75m,靶室距屏蔽块 II 约3m,距屏蔽块 III 和大厅屏蔽墙约5m.

阈探测器分别选用聚四氟乙烯(用来测量 $E_n > 11\text{MeV}$ 中子)和聚乙烯(用来测量 $E_n > 20\text{MeV}$ 中子)制成直径 4cm 、厚 1cm 的圆盘,其固体比重分别为 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $0.92\text{g}/\text{cm}^3$,

辐照前称重并用无水乙醇清洗两次,装入样品纸袋中在重离子反应产生的中子场中辐照。F 和 C 阈探测器布置在距法拉弟筒末端1m 处与束流方向成 0° 、 30° 、 60° 和 90° 的位置上(图2)。辐照及测量条件列于表1。

表1 辐照及测量条件

阈探测器	入射离子及能量	平均流强 $I(\text{nA})$	生成核	生成核的半衰期 $T_{1/2}(\text{min})$	照射时间 $t_0(\text{min})$	等待时间 $(t_1-t_0)(\text{min})$	测量时间 $(t_2-t_0)(\text{min})$
F	^{12}C , 50MeV/u	3.3	^{18}F	109.7	470	100*	6**
C	^{12}C , 50MeV/u	4.4	^{11}C	20.39	120	10	6**

* ~5个 ^{11}C 半衰期;

** 90° 方向上的样品放射性较弱,测量时间延长到12分。

活化样品生成核的511keV γ 射线用高纯锗探测器和带有自动解谱程序的 ORTEC 7051多道系统分析测量。测量前对系统的探测效率进行了刻度。

每组样品测量前和测量后,均用 ^{152}Eu 标准源测量标谱,以检查测量系统的稳定性。

四、结果与讨论

实验测得距靶1m 处中子注量率随角度分布列于表2,图3绘出了其归一化角分布。

表2 中子注量率测量结果

	距靶1m 处 $E_n > 11\text{MeV}$ 中子注量率 $\bar{\varphi}(\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	相对中子注 量率分布	距靶1m 处 $E_n > 20\text{MeV}$ 中子注量率 $\bar{\varphi}(\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	相对中子注 量率分布
0°	1.59×10^5	1	1.14×10^5	1
30°	1.16×10^5	0.73	7.41×10^4	0.65
60°	4.71×10^4	0.29	2.85×10^4	0.25
90°	3.46×10^4	0.21	1.83×10^4	0.16

1. 从图3可见,50MeV/u ^{12}C 离子实验靶区的次级中子注量率成明显的前冲分布,而且, $E_n > 20\text{MeV}$ 中子比 $E_n > 11\text{MeV}$ 中子的前冲分布更为明显。这和重离子反应出射中子能量越高其前方向上出射的几率越大的理论分析^[2,4,7,8]是一致的。

2. 由于重离子反应出射中子的前冲分布,决定了重离子实验靶区的中子屏蔽应当以前方向为重点,屏蔽层厚度随出射角的增大而减小,屏蔽计算结果正反映了这一规律^[3,9,10]。

3. 能量较高的中子在前方向上出射的几率较大。当采用通用 rem 计测量中能重离子反应

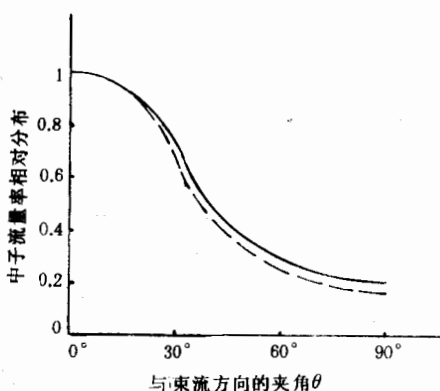


图3 中子角分布曲线

实线是 $E_n > 11\text{MeV}$, 虚线是 $E_n > 20\text{MeV}$

出射中子的剂量当量率时,由于 rem 计对高能量中子的探测灵敏度较低,在不同方向上的测量结果应作不同的修正,才能得到真实的剂量当量值.在前方向上测量时,由于有较多的高能量中子,应有较大的修正系数^[11,12].

4. 实验所测得的中子注量率,既有¹²C 离子与 Au 靶和 Cu 质法拉第筒相互作用出射的中子,也包含了¹²C 离子束从输运管道、准直光阑、偏转磁铁、四极透镜等输运部件上击出的次级中子和大厅屏蔽墙、混凝土屏蔽块上的散射中子,因此,测得的中子分布是该实验靶区中子的实际分布.

5. 实验测量的误差主要来源于中子活化平均截面的误差.估计, $E_n > 11\text{MeV}$ 中子的测量误差约为 $\pm 15\%$; $E_n > 20\text{MeV}$ 中子的测量误差约为 $\pm 10\%$.

衷心感谢赵之正同志和加速器运行值班的全体同志给予的大力支持.

参 考 文 献

- [1] Study Group of NUMATRON, NUMATRON—High Energy Heavy Ion Facility, Institute for Nuclear Study, University of Tokyo, Japan, 1977.
- [2] Cecil R. A. et al., *Phys. Rev.*, **C24**, (1981), 2013.
- [3] 李桂生、郑华智,原子能科学技术, **25** (1991), 8.
- [4] Bertini H. W., Santoro R. T., Hermann O. W., *Phys. Rev.*, **C14**(1976), 590.
- [5] Charalambus St., Dutrannois J., Goebel K., CERN/DI/HP 90, 1966.
- [6] Hargreaves D. M., Stevenson G. R., Rutherford Laboratory, RP/PN 37, 1969.
- [7] Z. Y. Guo et al., *NIM*, **B29**(1987), 500.
- [8] Ball J. B. et al., *Phys. Rev. Letter*, **40**(1978), 1698.
- [9] 李桂生,核技术, **15**(1992), 13.
- [10] 李桂生,原子能科学技术, **26**(1992), 15.
- [11] 李桂生,“无屏蔽条件下用10-in 单球 rem 计测量中能重离子反应中子剂量当量时的理论修正”,核技术,待发表.
- [12] 李桂生,“在混凝土屏蔽层外用10-in 单球 rem 计测量中能重离子反应中子剂量当量时的理论修正”,原子能科学技术,待发表.

Experimental Measurement of Emitted Neutron Angular Distribution for the 50MeV/u ¹²C-ion Experimental Target Area

LI GUI SHENG WANG JING ZHAO YANSEN LI WENJIAN

ZHANG TIANMEI LI ZONGQIANG

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

ABSTRACT

We measured the angular distribution of emitted neutrons with energy greater than 11MeV and 20MeV in the 50MeV/u ¹²C-ion experimental target area using the activation method of threshold detector.