

在束 γ 实验装置和使用效果

赵之正 肖健民 郭应祥 潘宗佑 雷祥国 刘洪业 孙锡军

(中国科学院近代物理研究所)

关键词: 在束 γ 技术 束流光阑系统 屏蔽室 多普勒效应

为了开展在束 γ 谱学的研究,有必要作一些实验技术的研究。作在束 γ 实验的必要条件中,除了高效率、高分辨率的 Ge γ 探测器外,还需要在靶附近具有低中子和 γ 射线本底的环境;在靶上的束流光点足够小,能改变束流能量以便作激发函数测量;有特殊要求的靶子和靶室以及作角分布测量的设备等。下面我们报告这些条件的准备情况和实验效果。

一、装 置

1. 束流限制系统和降能片 在束 γ 实验中为了减少 γ 本底和角分布测量的准确性而要求束流光点足够小。但我所 V-150回旋加速器束流发散度相当差,在靶附近光点直径约为 $\phi 1.5-2\text{cm}$ 。并且没有条件让我们从束流的引出和输运上想办法减小它。因此我们采用光阑限束的简单办法来解决。为了减少光阑上产生的中子和 γ 本底对测量的影响,必须加长光阑和靶室之间的距离,现已加长到 2.3m (图1)。因重材料的库仑位垒高,使中子和 γ 的产额降低,因此用重材料制成光阑。光阑组由孔径为 $\phi 1.5\text{mm}$ 相距 40cm 的两个钽片组成。在靶上的光点直径约 $\phi 6\text{mm}$ (由在靶位置的荧光板印记测出)。光阑系统的通过系数为 $100:1$ 。实验中到达法拉第筒的最大束流在 10nA 以上,可以长时间维持在 $4-5\text{nA}$ 。对 C^{+6} 电荷态束流,为了减少来自法拉第筒的中子和 γ ,法拉第筒长度加长到 2m ,筒底以铅作阻止器。底部光斑直径约为 $\phi 3\text{cm}$ 。

光阑前部加了手动转轮吸收片装置,以铝吸收片降低束流能量。它使碳束从 72MeV 到 67.5MeV 分5点变化。在 67.5MeV 时法拉第筒的束流强度是 72MeV 时的 $1/8$ 。

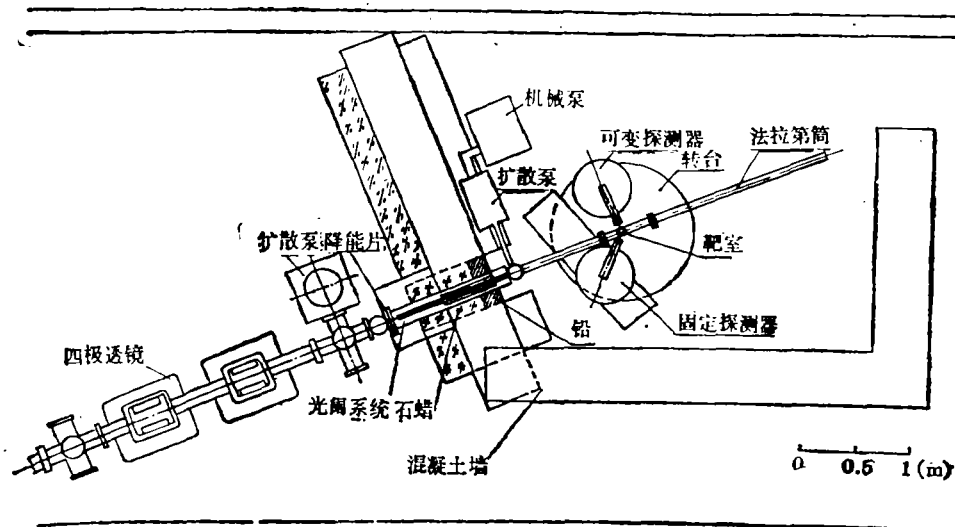


图1 屏蔽室平面图

表1 各种条件屏蔽能力(对射线
衰减倍数)的估计

射线种类 材料	快中子	热中子	γ
50cm无硼石蜡	250	3.6	6.0
30cm含硼石蜡 +6cm铅	56	310	70
0.5m含硼重混 凝土	120	$>1.3 \times 10^4$	1.5×10^5
50cm含硼石蜡 +1cm钢	290	1.3×10^4	7.4
0.5m含硼普通 混凝土	130	$>1.3 \times 10^4$	150

注: 两种混凝土中碳化硼含量: 5 kg/m^3 ;
含硼石蜡中硼砂含量 40 kg/m^3

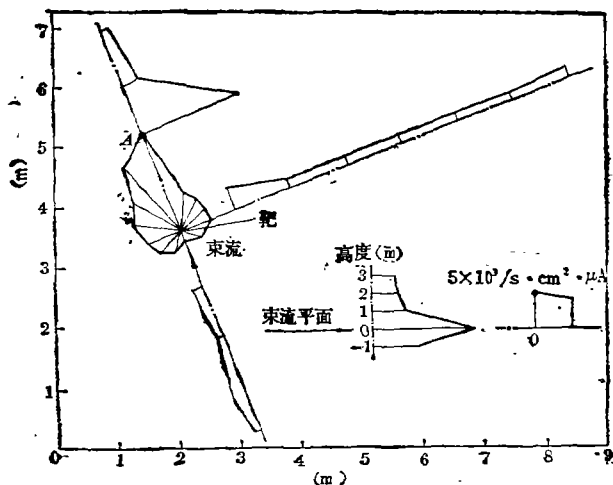


图2 实验厅内中子分布图

2. 屏蔽室 参考1981年以核乳
胶片方法测量的实验厅内快中子分布

(图2)可以发现,中子的来源主要来自光阑;中子的普遍本底约为 $5-50 \times 10^2 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \mu\text{A}$ (μA 指束流强度,这里指用72 MeV 碳束打铜靶产生的束流强度);在墙和地面附近强度稍高,这是由于中子散射的结果。这说明除了用重材料作光阑外,还必须在靶与光阑间设立屏蔽墙,而且必须考虑光阑以外的中子来源及散射影响。为此决定采用完整的屏蔽室方法减少本底。

对不同屏蔽材料的屏蔽能力计算结果(表1)表明,仅用石蜡对热中子和 γ 射线屏蔽效果差;以含硼重混凝土屏蔽效果最好,含硼普通混凝土次之。从材料价格和实验厅地板承重值考虑,只能采用普通混凝土。为了不影响混凝土质量,采用了碳化硼砂。每立方米混凝土中含碳化硼5kg。计算表明约90%以上的热中子被硼中的 ^{10}B 同位素吸收。吸收反应为 $^{10}\text{B} + n \rightarrow ^7\text{Li} + \alpha + 0.4778 \text{ MeV}$ 。反应中仅放出易于屏蔽的477.8keV γ 射线。屏蔽室设计见图1。墙高2m,厚50cm,内部可使用面积为 10 m^2 。共用混凝土 9 m^3 。在前面墙外放25cm厚含硼石蜡以加强对快中子屏蔽能力。顶部为50cm含硼石蜡并用钢架支撑。在第一光阑外部用铅砖和石蜡包围。光阑后面的束流管道是内部为铅外部为铁的管道。铅管内径为10mm、外径为20mm,包以外径50mm的铁管。这一段长为50cm。这样的安排大大加强了对产生中子最强部位的屏蔽能力。只有 $\phi 10 \text{ mm}$ 束流管道内中子仍可射入屏蔽室内。计算指出若光阑外中子源总强度为 $5 \times 10^7 \text{ n/s}$ (即 $1 \mu\text{A}$ 72MeV 能量的 ^{12}C 束流打厚铜靶产生的总中子强度),经这个管道输入室内的总中子通量为 $1.3 \times 10^3 \text{ n/s} \cdot \mu\text{A}$ 。虽然这仍较强,但这束中子是沿束流 0° 方向,而且是很窄的一束,由于法拉第筒的限制,Ge γ 探测器不会受到它的照射。

屏蔽室建成后作了在束检验。在 ^{12}C 打铅靶的情况下测量了各点快中子强度及靶附近热中子强度。用苏制KPN-3型剂量仪测量快中子。以靶心为零点,以 $1/R^2$ 规律(R 是到中心的距离)衡量测量结果的中子强度分布,发现结果很好符合这一规律。只是在远离靶心的中子强度稍高于 $1/R^2$ 推算值。除靶心和屏蔽墙外无其它中子来源。以远离靶心的中子强度可知室内普遍本底为 $0.5 \text{ n/s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{nA}$ 。从束流管来的中子强度为 $250 \text{ n/s} \cdot \mu\text{A}$ 。这与估计值大体相当(计算时用Cu靶而实验时为Ta靶,此时应比计算产额低)。以Cd活化片测出屏蔽室内热中子强度为 $0.05 \text{ n/s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{nA}$ 。从上述结果看出所有措施有效地减少了快中子和热中子本底。

3. 靶和靶室 靶室壁由0.5mm厚的钢制成。靶子放在带插棍的靶架上,可从真空室外

推上去接受束流照射,拉下来不受束流照射并保护靶子不受机械泵启动和放气时的气流冲击。靶室盖由有机玻璃制成,可以观察到束流成象和位置。光阑、束流管道和靶室中心用激光束对准。

由于束流能量较高,不宜采用厚托靶,否则托上将产生过多的中子和 γ 本底。已作过的实验中均采用薄自支撑靶或薄金衬靶。如 ^{158}Gd 滚压靶厚为 $800\mu\text{g}/\text{cm}^2$; ^{124}Sn 滚压靶厚为 $850\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 及 $100\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 金衬上蒸发 $800\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ^{120}Sn 同位素的靶。后者从在束 γ 谱上观察 $^{12}\text{C} + ^{197}\text{Au}$ 反应没有严重干扰。

从在束 γ 谱测出 E_γ 为 1.33MeV 时分辨率为 4.7keV 。以 ^{60}Co 放射源检验其分辨率为 2.4keV 。当使用短电缆时分辨率为 2.0keV 。这说明长电缆(约 20m)引入了一些噪声或 50Hz 电压波动使分辨有些变坏,但主要是多普勒移动使谱线变宽。多普勒效应使 γ 射线能量变化 $\Delta E = E_\gamma \cdot \beta \cdot \cos\theta$ 。式中, $\beta = v/C$, C 为光速, v 为反冲核速度; θ 为光子发射方向与核飞行方向的夹角。由靶厚度的慢化作用使反冲核飞行速度分散加大,此外探测器对靶有一定张角,使 θ 在一定范围内变动,这都造成分辨率变坏。在 $^{12}\text{C} + ^{120}\text{Sn}$ 反应中, $\beta = 0.7\%$, ^{12}Ba 反冲核在 Sn

中射程为 $1.3\text{mg}/\text{cm}^2$ 。可以估算出靶子的慢化是能谱变宽的主要原因。今后实验中应使用更薄的靶子。

4. 角分布测量转台 以六个滚珠轴承支持的转台直径 1.2m ,转动平稳,角度刻度精确度 $<0.5^\circ$ 。可放 30 升液氮罐带水平冷指的 $\text{Ge} \gamma$ 探测器,此时靶探测器间最大距离为 30cm 。它与带长法拉第筒的靶室配合可使探

测器与束流呈 $20\text{--}160^\circ$ 之间绕靶心自由转动。在支架指针指示下调整转台中心与靶心重合。偏差可 $<\pm 0.5\text{mm}$ 。以圆柱瓶装 ^{60}Co 液体源检验,发现在 $-110^\circ\text{--}90^\circ$ 范围内其 1.33MeV 峰下面积计数偏差 $<\pm 1\%$,此时统计偏差为 $\pm 1\%$ (表2),靶—探测器距离为 15cm ,这个检验说明这套装置已达到角分布测量的要求。

二、效 果

在多个在束 γ 谱中已经看不到 $\text{Ge}(n,n')$ 反应产生的 690 和 835keV 两个快中子非弹性散射峰。 Ge 的热中子俘获峰也很弱。在 $^{12}\text{C} + ^{158}\text{Gd}$ 产生的在束 γ 谱中(图3)主要产物

(下转第50页)

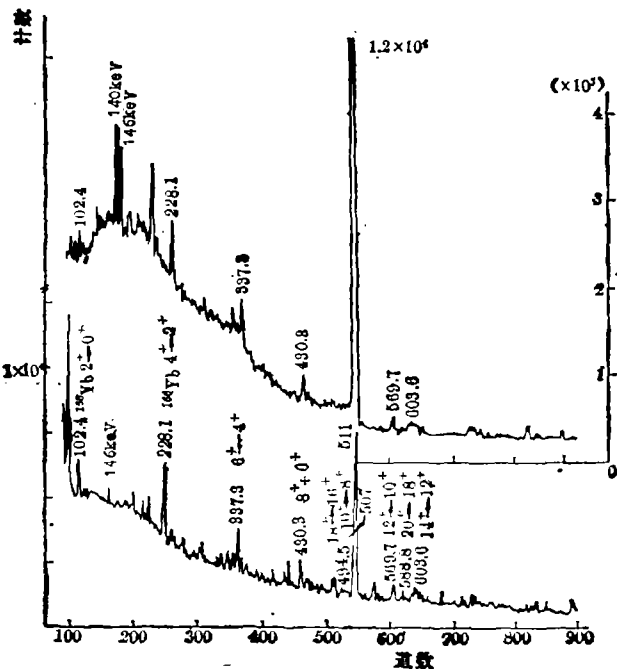


图3 ^{168}Yb 在束 γ 谱

上谱: 石蜡屏蔽谱 下谱: 碳化硼屏蔽谱

表3 单样品重复测量结果

编 号	Ra($\times 10^{-13}$ g/g)		Th($\times 10^{-6}$ g/g)		K($\times 10^{-3}$ g/g)		χ^2
	加入量(P)	计算量(D)	加入量(P)	计算量(D)	加入量(P)	计算量(D)	
44-1	15.40	15.40 $\pm$ 2.60	5	4.81 $\pm$ 0.13	1	0.90 $\pm$ 0.03	3.42
2		14.00 $\pm$ 1.90		4.74 $\pm$ 0.09		0.96 $\pm$ 0.02	1.84
3		17.00 $\pm$ 3.10		5.07 $\pm$ 0.15		0.81 $\pm$ 0.03	4.82
4		16.60 $\pm$ 2.30		4.86 $\pm$ 0.11		0.92 $\pm$ 0.03	2.73
统计处理	平均值W	15.75		4.87		0.90	
	标差SD	± 1.33		± 0.14		± 0.07	
	离差D-P	0.35		-0.13		-0.1	
	准确度 $\frac{ D-P }{P}$	2.27%		2.6%		10%	
	精确度 $\frac{SD}{W}$	$\pm 8.63\%$		$\pm 2.87\%$		$\pm 7\%$	

(中国科学院西北水土保持所 刘普灵 李亚琦 戚天庆)

(上接第48页)

- [2] J. Risberg *et al.*, *ibid*, 6, 242 (1975).
 [3] J. S. Meyer *et al.*, *ibid*, 9, 195 (1978).
 [4] J. B. Hazelrig *et al.*, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-28, 609 (1981).
 [5] 田伍训等, 中华核医学杂志, 5, 3, 137(1985).
 [6] 田伍训等, 中华医学杂志, 65, 6, 339(1985).
 [7] V. A. Maximilian *et al.*, *Stroke*, 11, 342 (1980).
 [8] 北京制药工业研究所, 中华医学杂志, 57, 467(1977).
 [9] B. Norrving *et al.*, *Stroke*, 13, 155 (1982).

(1985年3月8日收到)

(上接第22页)

^{166}Yb 的yrast带上已看到 $20^+ \rightarrow 18^+$ 态跃迁及以下各态间的跃迁。在 $^{12}\text{C} + ^{120}\text{Sn} \rightarrow ^{128}\text{Ba} + 4n$ 的单谱中最好的峰高与本底高之比为4:1。除看到已发现的14个跃迁外,我们已指定了新发现的935keV $12^+ \rightarrow 10^+$ 跃迁。此外在从拉门得到的符合谱上还看到许多已确定属于 ^{128}Ba 的跃迁,仍有待正在进行的数据处理去指定他们。

尽管从靶以外来的中子已经很低,然而实验中Ge γ 探测器将不可避免地接受靶子的核反应产生的中子。以 $^{12}\text{C} + ^{120}\text{Sn}$ 反应为例,估计在离靶心10cm处中子强度为50n/s $\cdot$ cm ^{2} (靶厚500 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,束流1 μA ,总截面1b,平均产生四个中子),这远大于从靶以外来的中子强度。以 $1 \times 10^8 \text{n}/\text{cm}^2$ 作为Ge(Li)探测器寿命(预计此时Ge(Li)探测器分辨率将从2keV变坏为3keV),算出探测器寿命为560小时。实际使用过程中对一个效率为10%的探测器作了检查,在它使用了300小时后,它的分辨率从1.90keV变坏为2.00keV。使用了550小时后仍为2.00keV。这个现象可能是由于热中子强度低,而快中子对探测器破坏较弱的缘故。

从以上结果和分析可以说明测量装置已能满足在束 γ 谱学实验的一般要求。

(1985年1月16日收到)

spot property on the targets will be better.

Keywords: cyclotron beam transport system ion optical characteristics
program TRANSPORT

A 10 ns pulsed beam transport system

Wang Liangming Shi Weidong

(Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University)

A 10 ns pulsed beam transport system is designed, constructed and used. It is composed of a focusing device with magnetic quadrupole lenses, a magnetic deflector, a beam viewer, a beam tube adjuster, a 10 ns zero time system, a vacuum system and a target chamber. It has been used to determine the 0.72 MeV, 1.01 MeV, 1.21 MeV and 1.44 MeV neutron capture cross sections for Ta, Ga and Tm.

Keywords: Mobley type magnet three element magnetic quadrupole lenses
beam transport 10 ns zero time system

In beam γ -ray experiment equipment and actual effect

Zhao Zhizheng Xiao Jianmin Guo Yingxiang Pan Zongyou

Lei Xiangguo Liu Hongyie Sun Xijun

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

The principal problems of in beam γ -ray experiment technique are described. It includes some methods of reducing neutron and γ -ray background, design of beam collimator system, targets, target chamber and rotational table for measuring angular distributions and actual effect.

Keywords: in beam γ -ray technique beam collimator system
shield room Doppler shift

Preliminary results on the removal of SO₂ from gases by electron beam irradiation

Qian Yunlong Wang Yougan Bao Fugen

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

The preliminary experiments on the removal of SO₂ from gases by electron beam irradiation were completed. The results show that the rate of SO₂ removal is proportional to the dose absorbed by the gases; and at the presence of NH₃ the required dose for the same removal rate is reduced apparently. The products are the liquid of sulfur