

由剂量当量率估算 $5.2 \text{ MeV/u } ^{32}\text{S} + \text{Ta}$ 的中子与 光子产额

宋文杰

(中国科学院 近代物理研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要:研究通过测量中子和 剂量当量率估算 $5.2 \text{ MeV/u } ^{32}\text{S}$ 束轰击 Ta 靶时的中子与 光子产额的方法,并给出了估算结果。

关键词:剂量当量率;中子;光子;产额

中图分类号:R144.1

文献标识码:A

文章编号:1000-6931(2000)S0-0157-04

重离子核反应的中子和 光子产额、能谱和角分布等是核物理研究的基本参量,在辐射防护中有重要用途。

低能重离子核反应的中子和 光子产额国际上研究较多,国内这方面的报道较少,尤其是实验测量数据更为罕见。本工作用 $5.2 \text{ MeV/u } ^{32}\text{S}$ 束轰击 Ta 靶时测量的中子和 剂量当量率估算中子与 光子产额。

1 剂量当量率测量

1.1 测量条件与布局

实验在兰州重离子加速器(HIRFL)上进行。 5.2 MeV/u 的硫离子束流引出后进入实验厅的17.5管道,其中,80%的束流被钽光栏阻止,20%进入靶室轰击薄金靶,与金靶发生核反应的只是其中极小的一部分束流,没有发生核反应的绝大部分束流穿过金靶被法拉第筒吸收。在光栏附近安放着HIRFL区域监测系统的一组探测器,测量该处的中子和 剂量当量率。中子监测器由1支置于圆柱形聚乙烯慢化体和吸收体中心的 BF_3 正比计数管和电子线路组成,具有较好的中子分辨能力。中子灵敏度(对应剂量当量率为 $10^{-5} \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 的中子计数率)为 $(2.0 \pm 0.1) \text{ s}^{-1}$ 。监测器由充有氙气的高气压电离室和相应的电荷积分电路组成,电离室壁为钛材料,在中子与 之比为25的辐射条件下,对中子不灵敏,灵敏度(与记录辐射引起的1个脉冲相应的辐射剂量当量率)为 $4 \times 10^{-7} \text{ Sv}$ 。实验布置示于图1。

这种布局并非专为测量剂量当量率所安排,而是借助核物理实验的实验安排。专门的实验只需用束流轰击厚 Ta 靶即可。从图1看出,对中子和 剂量当量率有贡献的几个射线源为束流传输管道、光栏、靶和法拉第筒。

收稿日期:2000-01-10;修回日期:2000-03-27

作者简介:宋文杰(1939—),男,河北行唐人,副研究员,辐射防护与剂量学专业

实验时束流聚焦好,可忽略在传输管道上产生的中子和 γ 。束流的 80 % 被阻挡在钽光栏上,形成一强辐射源;20 % 的束流通过光栏照在实验靶上。由 $200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的金箔制成的实验靶只与极少量束流产生核反应,生成的中子和 γ 很少,大部分束流穿过靶子打到法拉第筒上,形成另一较强辐射源。但该源距探测器较远,又被石蜡屏蔽,对剂量率的贡献很小。因此,在上述条件下,绝大多数中子和 γ 由 Ta 光栏产生,它成为产生强辐射的真正靶子。上述分析说明,图 1 所示的实验布置与专门的实验条件相差不多,在进行核物理实验的同时,测量中子和 γ 剂量当量率用以估算中子和 γ 光子产额是可行的。

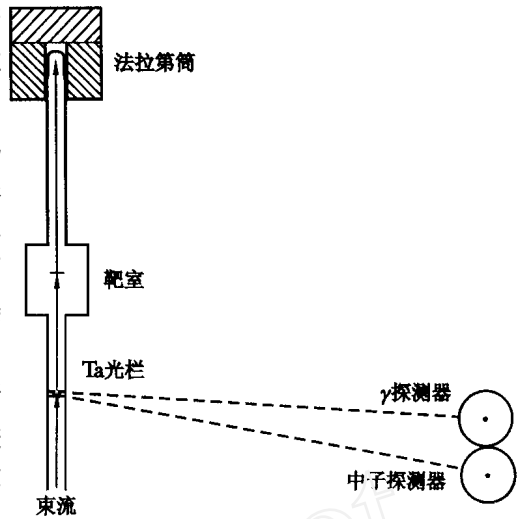


图 1 实验布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental arrangement

1.2 测量结果

在上述实验条件下测得的束流强度与剂量当量率的关系示于图 2。

图 2 所示曲线可由下式描述:

$$\dot{H}_n = 2.667 \times 10^{-2} I - 0.25938;$$

$$\dot{H} = 1.39 \times 10^{-3} I + 0.12138.$$

其中: \dot{H}_n 、 \dot{H} 分别为测得的中子和 γ 剂量当量率($\mu\text{Sv}/\text{h}$); I 为束流强度(nA)。由图 2 可见:中子和 γ 剂量当量率均与束流强度成线性关系,这与理论上的分析一致。说明探测器有正确响应,测量结果可靠。

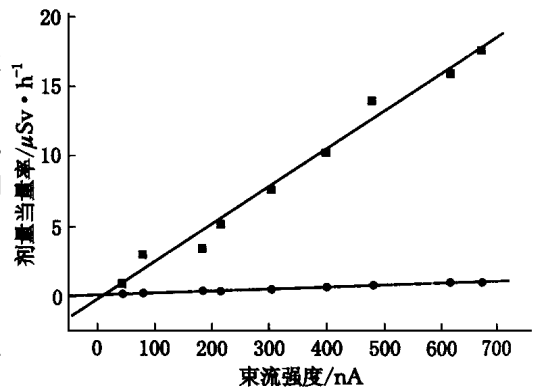


图 2 束流强度与中子和 γ 剂量当量率的关系

Fig. 2 Relation of neutron and dose equivalent rate with beam intensity

2 中子产额估算

可用几种方法估算 $5.2 \text{ MeV}/\text{u}$ ^{32}S 束轰击钽靶时的中子产额。

1) 根据文献[1]给出的重离子的中子产额曲线得到 $5.2 \text{ MeV}/\text{u}$ 硫离子的中子产额(1 个入射离子所产生的中子数)约为 7×10^{-6} 。当靶上流强为 400 nA 时,对应本实验的 $5.2 \text{ MeV}/\text{u}$ $^{32}\text{S}^{9+}$ 束的离子数为 $2.78 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$,所以,总中子产额为 $1.95 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 。

2) 当流强为 400 nA 时,测得的中子剂量当量为 $10.41 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。由中子剂量当量率与注量率的对应关系^[2]及探测器与靶的距离,算出中子产额为 $2.27 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 。由此算得每个入射离子的中子产额为 8.2×10^{-6} 。

3) 文献[3]在综合研究低能重离子反应的基础上给出中子产额 Y 的如下关系式:

$$Y = 8.8 \times 10^4 D_{\text{ave}}$$

式中: D_{ave} 为距靶 1 m 处的平均中子剂量当量率。

仍以 400 nA 为例。若将测得的中子剂量当量率 10.41 $\mu\text{Sv/h}$ 推算到 1 m 处得到 25.82 $\mu\text{Sv/h}$,并将此看作平均中子剂量当量率,那么,据此得到的中子产额则为 $2.27 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ 。由此算得每个入射离子的中子产额为 8.2×10^{-6} 。

可见,2)和3)节的结果均为 8.2×10^{-6} ,与1)节直接由曲线上查得的 7×10^{-6} 符合较好。

3 光子产额估计

由剂量当量率计算 光子产额需知很多参量,特别是光子能谱。作为估计,若知光子的平均能量将是很方便的。文献[4]研究了氦和碳束与不同靶材料发生核反应时的 光子发射。光子的平均能量范围为 1.0~1.6 MeV。尽管其中没有碳束打 Ta 靶的数据,但用 7.5 MeV/u 的碳束打 ^{165}Ho 靶的光子平均能量 1.2 MeV 来代替进行,估计误差不会很大。

平均能量 1.2 MeV 的光子产生 $1 \times 10^{-2} \text{ Gy/h}$ 的剂量当量率,其通量密度约为每秒每平方厘米 5.5×10^5 个光子^[5]。1 $\mu\text{Sv/h}$ 则为每秒每平方厘米 55 个光子。本实验中,在流强 400 nA 下得到的 剂量当量率为 0.677 $\mu\text{Sv/h}$,对应的通量密度为每秒每平方厘米 37.2 个光子。根据探测器与靶的距离得到 光子产额为 $1.02 \times 10^7/\text{s}$ 。

对于 ^{32}S 束而言,400 nA 即为每秒 2.78×10^{11} 个离子,故每个入射离子的 光子产额为 3.7×10^{-5} 。

4 讨论

1) 由测量结果可看到,低能重离子核反应在靶周围产生的剂量当量率主要来自中子。在本实验中,中子剂量当量率约是 剂量当量率的 13.5 倍,亦即中子对总剂量当量率的贡献约占 93%,对总剂量当量率的贡献约占 7%。

2) 重离子核反应出射的中子角分布随入射离子能量不同有很大差异。能量高,沿 0°方向呈现明显的前冲形状。能量低,则趋于各向同性。对于 5.2 MeV/u ^{32}S 这种能量很低的离子束引起的核反应,其中子大多是形成复合核后发射的 2~3 MeV 左右的蒸发中子,这种中子的发射是各向同性的。

3) 在低能重离子核反应实验研究中,根据靶附近区域监测系统测得的中子和 剂量当量率来估算该反应中子和 光子产额是可行的,而且用不同的方法估算的结果比较一致。

作者对加速器工作者的大力支持和帮助表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Clapier F, Zaidins CS. Neutron Dose Equivalent Rates Due to Heavy Ion Beams[J]. Nucl Instrum Methods, 1983, 217:489~494.
- [2] GB 5172-85,粒子加速器辐射防护规定[S].
- [3] Guo Zhiyu, Allen PT, Doucas G, et al. Thick Target Fast Neutron Yields[J]. Nucl Instrum Methods in Phys Res, 1987, B29:500~507.
- [4] Mollenauer JF. Gamma-ray Emission From Compound Nucleus Reaction of Helium and Carbon Ions[J]. Phys Rev, 1962, 127(3):867~879.

[5] 中国科学院工程力学研究所. 射线屏蔽参数手册[M]. 北京:原子能出版社,1976.8~9.

Estimation of Neutron and γ -photon Yields of the 5.2 MeV/u $^{32}\text{S} + \text{Ta}$ Reaction by Measuring Dose Equivalent Rate

SONG Wen-jie

(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: In the paper the neutron and γ -photon yields are estimated based on the measurement of neutron and γ -photon dose equivalent rates from the Ta target bombarded by the 5.2 MeV/u ^{32}S .

Key words: dose equivalent rate; neutron; γ -photon; yield

(上接第 147 页, From p. 147)

Calculation and Measurement of Ambient Dose-rate for a Mobile Large Container Inspection System

XIAO Xue-fu¹, LI Jun-li², WANG Zhong-qi¹, GAO Wen-huan²,
XIA Yi-hua¹, GUI Li-ming²

(1. *China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 215-24, Beijing 102413, China,*

2. *Tsinghua Tongfang Limited Company, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract: The calculation method of ambient absorbed dose rate for a mobile large container inspection system developed by Tsinghua Tongfang Limited Company is presented using the general code MCNP. Under various loading, ambient absorbed dose rates along the fence of 30 m \times 30 m and 40 m \times 40 m, at 1.5 m high above the ground are calculated. The ambient absorbed dose rates distribution without loading is measured experimentally, and a comparison between calculated and measured results is carried out. It is shown that both results are in agreement within 40%.

Key words: mobile large container inspection system; general code MCNP; ambient absorbed dose rates