

D-T 中子穿透铁球伴生 射线 泄漏能谱实验研究

朱传新, 陈 渊, 牟云峰, 郭海萍, 王新华, 安 力

(中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:建立了系列厚度为 3、6、11、16、21.8 cm 的铁球基准装置。用 BC-501A 谱仪测量了 D-T 中子穿透铁球伴生 射线泄漏能谱, 能量范围为 0.5 ~ 5 MeV。通过能谱分析, 观测到铁球厚度对能谱有一定影响。利用 MCNP4A 程序和 $t-2$ 、ENDF/B-、ENDF/B- 和 FENDL-2 等数据库对实验进行了模拟计算, 并将计算结果与实验结果进行了比较。 射线能谱实验误差为 4% ~ 6%。

关键词:铁球; D-T 中子; 射线泄漏能谱

中图分类号: O571.435

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2004)04-0294-04

Gamma-ray Energy Spectrum Emitted From Iron Shell With D-T Neutron Source

ZHU Chuang-xin, CHEN Yuan, MOU Yun-feng, GUO Hai-ping, WANG Xin-hua, AN Li

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics,

P. O. Box 919-213, Mianyang 621900, China)

Abstract: A benchmark of iron shell with a series of thickness of 3, 6, 11, 16 and 21.8 cm was established. The leakage gamma-ray energy spectrum emitted by iron sphere from D-T neutron was measured using BC-501A spectrometer, the energy range was 0.5 ~ 5 MeV. From the analysis of gamma-ray spectrum, the effect of iron shell's thickness on the spectra was found. The measured results are compared with that from calculated by using MCNP4A mode and $t-2$, ENDF/B-, ENDF/B- and FENDL-2 data banks. The overall experimental error of gamma-ray spectrum is 4% ~ 6%.

Key words: iron shell; D-T neutron; gamma-ray energy leakage spectrum

铁既是聚变堆的结构材料,也是保护超导磁体不受辐照损伤的关键屏蔽材料。 n^- 甄别技术常用于 n^- 、混合场中的 n^- 、射线测量。本工作采用 n^- 甄别方法对 D-T 中子在铁球中输运过程产生的 射线泄漏能谱进行研究。

1 测量系统

1.1 粒子监测系统

中子绝对产额通过 D-T 反应产生的伴随粒子测得。金硅面垒半导体探测器中心与 D^+ 束成 178.9 角,探测器面上装有铝箔以阻挡散

收稿日期:2003-01-20;修回日期:2003-06-25

作者简介:朱传新(1977—),男,安徽凤台人,硕士研究生,粒子物理与原子核物理专业

射D离子,光阑直径为(2.63 ±0.03) mm。D⁺束流约为3 μA时的中子产额为(1~2) × 10⁸ s⁻¹,中子绝对产额误差小于2.5%。

1.2 中子靶室

中子靶室为铝质结构,它由伴随 粒子探测器、漂移管和靶室3部分组成(图1)。

1.3 射线谱仪

射线谱仪是φ5.08 cm ×5.08 cm的BC-501A液体闪烁体谱仪,谱仪的单能 射线响应函数由MARTHA蒙特卡罗程序模拟计算。

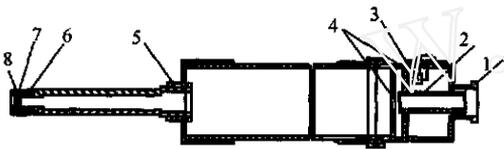


图1 中子靶室

Fig.1 Neutron target cell

- 1——漂移管;2——屏蔽准直管;3——半导体探测器;
- 4——光阑;5——聚四氟乙烯环;6——拧盖;
- 7——靶片;8——橡皮密封圈

2 实验测量

实验在NS-200高压倍加器上进行,实验布置示于图2。因受BC-501A探测器的线性范围和(n, γ)分辨效果的制约,康普顿反冲电子谱测量分两个能段进行:低能段,0.3~2.5 MeV;高能段,2~5 MeV。二段测量谱用伴随 粒子归一。探测器与D-T中子源间距为320 cm,所测空心铁球的尺寸分别为φ(6.0~12.0) cm、φ(4.0~16.0) cm、φ(4.0~26.0) cm、φ(4.0~36.0) cm和φ(4.0~47.6) cm。

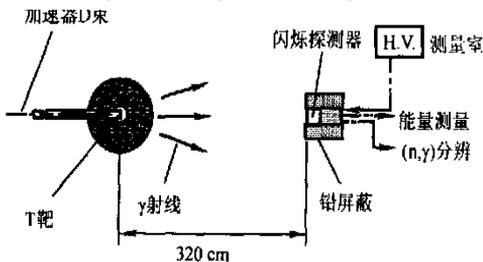


图2 实验布置图

Fig.2 Experiment setting

2.1 样品泄漏 能谱测量

测量样品球泄漏 能谱时,BC-501A探测器放在D⁺束方向距靶3.2 m位置处,并分别

测量高、低二段的康普顿反冲电子谱。对于环境散射本底测量,在样品和探测器之间放一影锥,影锥大头一端有φ20 cm ×11 cm铁饼,紧接着是一相配的72 cm长聚乙烯锥体,最后是一段直径7 cm、长15 cm铅柱。影锥大头朝向样品球,影锥放置位置应确保探测器不能探测来自样品球的 射线。

2.2 测量靶室 射线谱

测量样品球获得的泄漏 射线谱中含有靶室产生的 射线的贡献,这一贡献须从测量靶室产生的 射线能谱中扣除。

2.3 测量系统的能量刻度

测量系统通常用²⁴Na或⁶⁰Co源进行能量刻度。实验中观察到,对于同一源,探测器测得的 谱的康普顿峰的半高度对应的道数与NS-200高压倍加器处于运行状态还是关机状态有关。因此,每次实验时,必须在测完一段反冲电子谱后立即关掉加速器高压,同时测量源的电子谱,以使测量系统的能量刻度结果较为准确。

3 结果和讨论

3.1 本底对能谱的影响

未扣除靶头 本底时φ(6.0~12.0) cm的铁球D-T中子伴生 射线能谱实验与理论计算结果的比较示于图3。图中所表示的注量,均指由单位源中子产生的 光子在探测点处单位面积上的计数。由图3可见,实验谱比理论计算谱高些。

扣除靶头 本底后的能谱示于图4。图4显示,扣除本底后,实验谱明显降低,与理论计算谱符合良好。

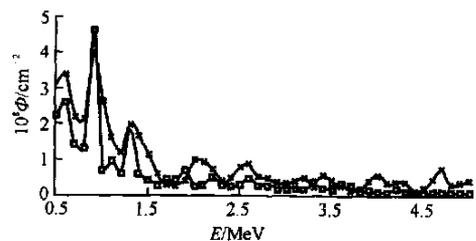


图3 未扣除靶头本底的 射线能谱实验与理论计算结果的比较

Fig.3 -spectra including target background —计算值; x——实验值

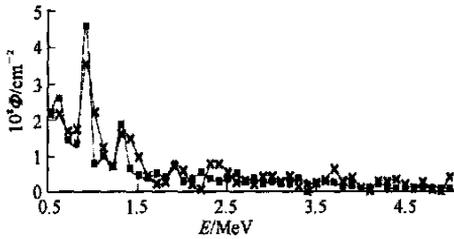


图4 扣除本底后的能谱

Fig. 4 Spectra after deducted background
—计算值; x—实验值

3.2 铁球厚度对能谱的影响

扣除本底后的各种厚度铁球的实验测量结果(对源中子数归一后)示于图5。由图5可看出:正如理论计算所预测,当铁球壁厚度小于6 cm时,泄漏射线注量随厚度增加呈上升趋势;当厚度大于6 cm时,泄漏射线注量随厚度增加呈下降趋势。这表明:随厚度增加,中子与铁球作用产生的射线数量增多,厚度较小,铁球吸收的射线较少,而从铁球中泄漏出的射线较多,故泄漏射线注量随厚度增加呈上升趋势;当厚度较大时,产生的射线虽较多,但在穿过铁球时,大多数射线已被吸收,从铁球中泄漏出的射线较少,因此,这时的泄漏射线注量随厚度增加呈下降趋势。

3.3 实验与理论计算能谱的比较

对源中子数进行归一后的实验与理论计算能谱的比较示于图6。比较各能谱可看出,实验与理论计算符合较好。对应于铁元素的非弹散射的0.8、1.3和1.8 MeV射线峰,在实验与计算能谱中均可明显看到。

3.4 各数据库的计算结果与实验结果的比较

以厚度为6 cm铁球为例,分别采用ENDF/B-、ENDF/B-、FENDL-2和t-2数据库进行计算,并将计算结果与实验结果进行了比较(图7)。可以看出:在0.5~1.3 MeV能量范围内,ENDF/B-数据库计算结果明显高于实验测量结果,FENDL-2数据库次之,t-2数据库与实验结果最为相近;高能部分,ENDF/B-数据库所得能谱呈缓慢下降趋势,FENDL-2和t-2的能谱略有起伏。在0.5~3.5 MeV能段,ENDF/B-数据库的数据明显比ENDF/B-数据库的偏高,即ENDF/B-数据库中Fe的 (n, γ) 反应截面比实际偏高较

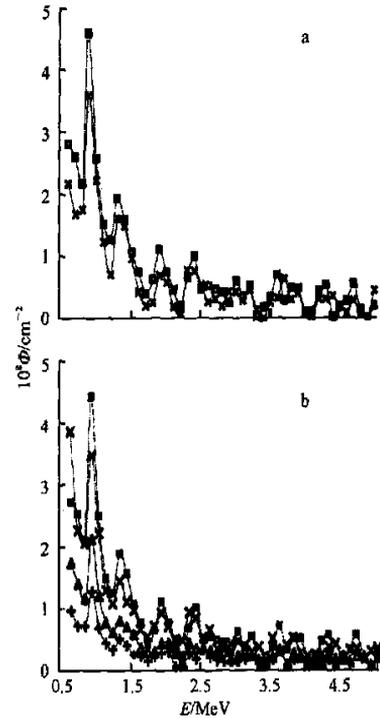


图5 不同厚度铁球的射线实测能谱

Fig. 5 Measured γ -spectra
of iron spheres with various thickness
a: —6 cm, x—3 cm;
b: —6 cm, x—11 cm,
—16 cm, +—21.8 cm

多。在3.6~5.0 MeV能段,ENDF/B-与ENDF/B-计算结果相差不多。实验所测能谱与ENDF/B-结果更为相符。

3.5 屏蔽效果计算

如图8所示,用厚度为11 cm铁饼、72 cm长聚乙烯锥体和15 cm厚铅柱来屏蔽铁球D-T中子泄漏射线,从而实现对环境射线本底的测量。在此,以厚度为6 cm铁球为例,对泄漏射线经屏蔽系统的屏蔽效果进行了MCNP输运模拟计算。无与有屏蔽系统的射线泄漏率分别为 1.8445×10^{-7} 、 $7.1235 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-2}$ 。屏蔽前后的泄漏率相差近5个数量级。可见,此屏蔽系统的屏蔽效果良好,射线穿过屏蔽体后对测量的影响可忽略不计。

4 测量误差

射线泄漏能谱测量误差包括康普顿反冲电子谱测量、闪烁体单能射线响应函数计算、散射本底扣除及 (n, γ) 甄别引起的误差。反冲

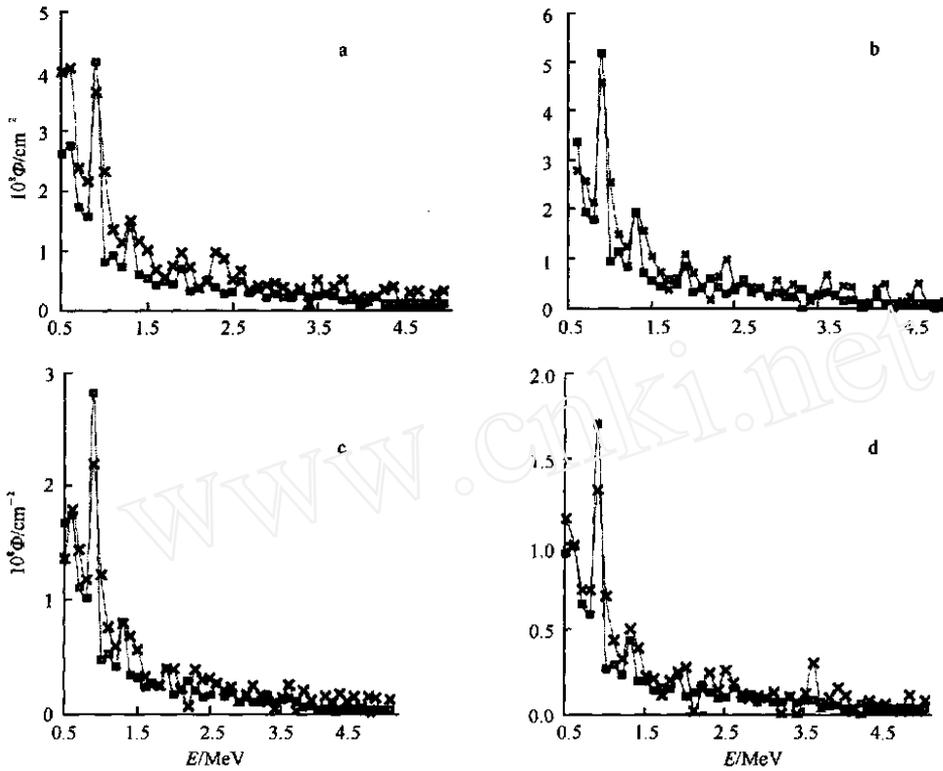


图6 不同铁球壁厚下计算与实验 能谱比较

Fig. 6 Comparison of calculated and measured γ -spectra of iron spheres with various thickness

铁球壁厚:a—6 cm;b—11 cm;c—16 cm;d—21.8 cm

—计算值; ×—实验值

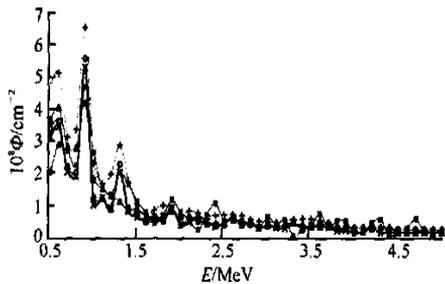


图7 各数据库计算能谱与实验实测能谱的比较

Fig. 7 Comparison of experimental and calculated γ -spectra by various data banks

—实验值; ×—+2; —FENDL-2;

+—ENDF/B-4; *—ENDF/B-6

电子谱测量的统计误差约为2%,抑制中子本底的误差估计为1%,散射本底扣除误差约为2%,闪烁体单能 射线响应函数计算误差约为2%,总的实验误差为4%~6%。

参考文献:

[1] Yamamoto J, Kanaoka T, Murata I, et al. Gamma-ray Energy Spectrum Emitted From Spheres With 14 MeV Neutron Source: JAERFM 94-014[R]. Japan:Osaka University, 1989.

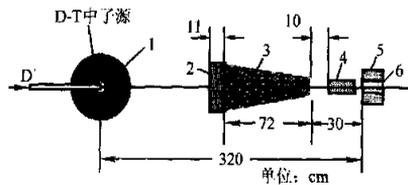


图8 环境 射线本底实验测量的布置

Fig. 8 Arrangement of environment γ -background measurement

1—铁球;2—铁饼;3—聚乙烯锥体;
4—铅柱;5—铅砖;6—BC-501A

[2] Ichihara C, Kobayashi K, Kimura I, et al. Leakage Neutron Spectrum From Various Sphere Piles With 14 MeV Neutrons [R]. Japan: Osaka University, 1988.

[3] Goldber E, Hansen LF, Komoto TT, et al. Neutron and Gamma-ray Spectra From a Variety of Materials Bombarded With 14 MeV Neutrons [R]. USA: Lawrence Livermore National Laboratory, 1989.