

铍/聚乙烯/铁组合球中的反应率测量

牟云峰^{1,2}, 林理彬¹, 陈渊², 郭海萍², 王新华², 朱传新², 安力²

(1. 四川大学 物理系 辐射物理及技术教育部重点实验室, 四川 成都 610064;

2. 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:用 HPGe 探测器和活化箔法测量了 DT 中子照射下 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{197}\text{Au}(n, 2n)^{196}\text{Au}$ 、 $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反应在铍/聚乙烯/铁组合球中的活化率。运用 MCNP/4B 程序和 ENDF/B-VI 数据库对实验进行模拟计算。对于 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{197}\text{Au}(n, 2n)^{196}\text{Au}$ 反应, 计算值与实验结果基本一致; $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反应计算结果与实验结果有相当大的差异。一个可能的原因是金箔对低能中子的自屏蔽效应。

关键词:铍; 组合球; DT 中子; 反应率

中图分类号: O571.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2004)06-0497-04

Measurement of Reaction Rates in Be/PE/Fe Combined Spheres

MOU Yun-feng^{1,2}, LIN Li-bin¹, CHEN Yuan², GUO Hai-ping²,
WAN Xinhua², ZHU Chuan-xin², AN Li²

(1. *Physics Department of Sichuan University, Key Laboratory of Education Ministry for Radiation Physics and Technology, Chengdu 610064, China;*

2. *Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China*)

Abstract: Reaction rates of $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$, $^{197}\text{Au}(n, 2n)^{196}\text{Au}$ and $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ reactions in Be/PE/Fe combined spheres bombarded by central DT neutrons were measured by activation foil method with a HPGe detector. The simulating calculation was carried out using MCNP/4B code and ENDF/B-VI database for the above reactions. It is seen that the calculated reaction rate with that from experiment fits well for $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ and $^{197}\text{Au}(n, 2n)^{196}\text{Au}$ reactions, and is far from agreement for $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ reaction. A possible explanation for the disagreement is the self shielding effect of the activation Au foils for the low energy neutrons.

Key words: beryllium; combined sphere; DT neutron; activation rate

活化法是中子注量测量的常用方法, 用活化箔作为探测器具有以下优点: 探测器体积小, 便于在狭小的空间内测量, 甚至可同时在同一

处安放多个活化探测器, 探测器质量小, 对待测中子场不产生明显的干扰。因此, 在不同位置同时安放多个活化探测器, 可以记录中子场在

收稿日期: 2003-06-12; 修回日期: 2003-08-27

作者简介: 牟云峰(1967—), 男, 重庆人, 副研究员, 博士研究生, 核物理专业

空间的分布。由于活化产物按照自己特定的半衰期衰变,选择适当寿命、截面的活化材料及活化反应可以实现稳定场和脉冲中子场的准确测量。

以前用贫化铀球和贫化铀/聚乙烯/铁组合装置进行过活化率实验,发现 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的活化率的计算结果与实验结果存在明显差异。贫化铀球中 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的C/E值(活化率的计算值与实验值之比)由大于1逐步下降到略小于1,而组合装置中的C/E值则一直大于1。

本实验选用铍代替贫化铀,用HPGe探测器测量 $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 和 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应在铍/聚乙烯/铁组合球中的活化率,对核反应截面数据做宏观检验。

1 方法

1.1 中子源

中子源为西南核物理与化学研究所 ns 200 中子发生器。铝靶管水平放置,其内径为24 mm、厚度为1 mm。氚靶用铝螺帽固定在靶管的前端。靶片的铜底衬直径为12 mm,镀钛充氚的活性区在氚靶中心,直径6 mm。

中子源产额由 179° 方向的硅面垒 α 粒子探测器监测。利用分时记录系统记录中子产额随

时间的变化,最后折算出相当于停机时刻的中子总数。

1.2 实验装置

组合装置由半径5.7、6.9、9.7、12.8 cm的铍球壳,内外半径分别为13.1、18.1 cm的聚乙烯球以及内外半径分别为18.1、23.8 cm的铁球组成,球心与靶心重合,测量方向为 0° 方向。聚乙烯球和铁球有活化孔道,活化箔放置在孔道塞块之间。对于铍球,活化片安放在几层球壳的间隙中,从而使球壳之间有约1 mm的空隙。活化片距离球心5.65、6.95、9.85、13.05、15.1、18.1、21.1、23.8 cm,其中,23.8 cm处的活化片用透明胶粘贴在铁球表面。

1.3 活化样品测量

活化样品用HPGe谱仪测量。谱仪中,锗晶体为单端同轴型,直径为58.3 mm,长度为63 mm,死层厚0.7 mm,孔直径为21 mm,孔深50.3 mm。锗晶体外有厚1.27 mm的铝套,晶体端面与铝套之间间隔为3 mm。

1.4 模拟计算

用MCNP/4B程序和ENDF/B-VI数据库对实验进行模拟计算。

2 测量结果及其与计算结果的比较

活化率计算与测量结果比较列于表1。

表1 铍/聚乙烯/铁组合球中的活化率计算与测量结果
Table 1 Calculated and measured activation rates in Be/PE/Fe sphere

r/cm	$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$			$^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$			$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$		
	10^{28} 活化率 计算值	10^{28} 活化率 实验值	C/E 值	10^{27} 活化率 计算值	10^{27} 活化率 实验值	C/E 值	10^{24} 活化率 计算值 ¹⁾	10^{24} 活化率 实验值	C/E 值
5.6	3.18	3.13	1.02	5.97	5.43	1.10	0.302	0.192	1.57
7.0	2.03	2.00	1.02	3.70	3.52	1.05	0.295	0.189	1.56
9.9	0.948	0.908	1.04	1.64	1.57	1.04	0.268	0.185	1.45
13.0	0.450	0.439	1.03	0.754	0.766	0.98	0.224	0.159	1.41
15.1	0.289	0.262	1.10	0.480	0.496	0.97	0.163	0.106	1.54
18.1	0.164	0.153	1.07	0.269	0.265	1.02	0.048 8	0.021 4	2.28
21.2	0.081 6	0.095	0.86	0.134	0.137	0.98	0.010 6	0.003 32	3.20
23.8	0.044 2	0.042	1.04	0.073	0.071	1.03	0.001 54	0.000 47	3.28

注:1) 为计算收敛改用环探测器记录方式

$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 反应的反应率计算误差全部在 3% 以内,计算结果与实验结果几乎完全一致,总体趋势为缓慢均匀下降。

$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应活化率实验值小于计算结果。由于点记录方式计算收敛很困难,改用环探测器记录方式(对结果无影响)。活化率的计算结果与实验结果变化趋势大体一致(在铍和聚乙烯内,稳中有降;在铁球及附近区域,迅速下降),但 C/E 值有逐步下降后又逐步上升的趋势,计算结果与实际测量结果之间存在较大差别。

$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应率趋势表明,装置内部靠近中心的区域存在大量慢中子和热中子(因铍是很好的中子增殖材料兼慢化材料),该反应的活化率在装置内部很大范围内下降缓慢,导致 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 与 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 反应的比例逐步上升,这表明中子能谱在不断软化;接近和进入铁材料后, $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的活化率迅速减小,表明慢中子和热中子比例迅速减少,而 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 反应的活化率下降缓慢,从而使 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 与 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 反应的比例很快降低,表明中子能谱不断变硬。但 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应实验测得的活化率小于计算结果,而且,在中子能谱比较软处实验值与计算值最为接近。

3 分析讨论

$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 的反应截面都是比较精确的,这两个反应的反应率计算结果与实验结果较为一致,表明装置中的高能段中子注量与理论计算结果一致,同时表明活化样品的位置与计算中的位置一致。

$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的反应截面曲线示于图 1。在 4.9 eV 处有一巨大的共振峰(反应截面达到 $2.7 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$),且在 46~5 000 eV 范围内有不可分辨的共振区(在 60 eV 附近,反应截面达到 $3.3 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$)。如此巨大的反应截面,一方面对活化率产生巨大的贡献,另一方面,不可避免地产生自屏蔽效应。4.9 eV 的中子在 Au 中的平均自由程为 0.000 62 cm,而实验中金活化片的厚度为 0.02 cm,远大于 4.9 eV 中子在 Au 中的平均自由程,因此,Au

对 4.9 eV 中子存在严重的自屏蔽效应。

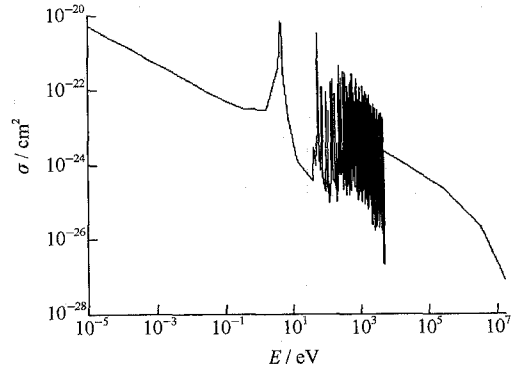


图 1 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 活化反应截面曲线

Fig. 1 Curve of $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ reaction cross-section

计算的 4.9 eV 中子(按 3~8 eV 计算)对活化率的贡献列于表 2(重复了表 1 的部分数据,便于比较)。可以看出,仅 4.9 eV 中子引起的计算活化率甚至可以大于实验测到的活化率。表 2 中最后 1 列与表 1 中最后 1 列的变化趋势完全一致,表明 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应计算与实验的差别源于反应巨大的共振截面所造成的自屏蔽效应。因此,对于存在大量 4.9 eV 中子的装置, $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的活化率测量,最好在活化片外包 1 层 Au 箔,而计算活化率时也应相应扣除截面共振峰的影响。

比较发现了一有趣的现象。表 1 所列数据表明,随着半径增加,中子能谱先变软后变硬,

表 2 4.9 eV 中子对 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 活化率的贡献
Table 2 Contribution of 4.9 eV neutron for $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ reaction rate

r/cm	10 ²⁵ 活化率		4.9 eV 中子贡献/%
	全部中子	4.9 eV 中子	
5.6	3.02	1.16	38.4
7.0	2.95	1.11	37.5
9.9	2.68	0.942	35.1
13.0	2.24	0.654	29.2
15.1	1.63	0.424	25.9
18.1	0.488	0.204	41.8
21.2	0.106	0.076 1	71.6
23.8	0.015 4	0.012 5	81.2

即低能中子与高能中子的比例先增加后减少。表2所列数据表明,随着半径增加,4.9 eV附近中子在整个低能中子中的比例先减少又增加。说明装置中在能谱较软的位置处,能量在4.9 eV以下的中子对 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应起了主导作用,在能谱较硬的位置处,4.9 eV中子对该反应的贡献增加。

4 结论

$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 和 $^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$ 两反应的反应率计算结果与实验结果较为一致。

$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的实验活化率小于计算结果,计算与实验的差异来源于Au对4.9 eV中子的自屏蔽效应,该效应可对结果产生很大影响。研究发现,随着中子能谱变软,eV段中子在低能中子中的比例减小。

对 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 反应的活化率的实验测量,包Au可能是一好办法。

感谢中国工程物理研究院核物理与化学研究所加速器运行组提供高质量的加速器中子源,感谢陈银亮先生对实验的一贯关心和支持。

反应堆安全壳热电偶贯穿件

【公开日】2004.04.21 【分类号】G21C13/036 【公开号】1430822

【申请号】03157054.2 【申请日】2003.09.12 【申请人】清华大学

【文献】反应堆安全壳热电偶贯穿件,属于核工程过程变量检测技术领域。为了提供一种结构简单、制造工艺成熟、成本低、性能可靠、气密封和承压性能好的热电偶贯穿件,本发明公开了一种反应堆安全壳热电偶贯穿件。它包括预埋管、泄漏检测装置、连接法兰、贯穿件本体及通过热电偶电缆连接的热电偶贯穿组件。热电偶贯穿组件包括通过密封连接材料和机械承插口连接成一体的热电偶接插件、铠装热电偶和密封管,及与所述铠装热电偶的套管焊接连接的过渡管。贯穿件本体的端板与热电偶贯穿组件的过渡管焊接连接,形成气密封腔。气密封腔通过接管连接泄漏检测装置。本发明具有较高的承压能力和较低的气体泄漏率,其生产工艺成熟、性能可靠、制造成本低。

摘自中国原子能科学研究院《核科技信息》