

固体径迹探测器测量绝对中子注量率 的一种简便法

史永谦 兰义正 李义国
郑伍敏 李富民 朱国盛

(中国原子能科学研究院, 北京)

文章叙述了用 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合仪器测量金箔的活性, 求得所测中子场的绝对中子注量率, 然后对固体径迹探测器进行刻度。由于将几个因子归并为一个简单系数, 简化了公式, 用时十分方便。本方法适用于任何厚度的裂变源。

关键词 绝对中子注量率, 固体径迹探测器(SSNTD), 刻度, 裂变源。

一、引言

在研究性反应堆中, 常常需要提供实验孔道或实验回路中某些位置的绝对中子注量率; 在一个新堆物理启动后, 仪表指示值, 要正确反应实验孔道的绝对注量率, 需要用实际测量值来调整; 另外, 对其他中子场, 也往往需要确定某一点或某些位置的绝对注量率。而测量精度较高的方法是用 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合仪器测量金箔在被测中子场中辐照后的绝对活性。在很多单位, 并不都备有 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合测量装置, 因此固体径迹探测器就以它独有的优点, 即原理简单、能经受强 γ 辐照、可长期保存, 而被广泛采用^[1-5]。不过测量前要作大量工作, 特别是当裂变源中可裂变原子数无法确定时, 困难更多。我们利用金箔和固体径迹探测器同时在中子场中进行辐照, 在 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合仪器上测量金箔的活性, 求得绝对中子注量率, 然后对固体径迹探测器进行刻度。由于所用公式中的几个因子简化为一个系数, 只要测量出固定视野面积内, m 个固定视野的平均径迹数 \bar{N} , 就可得到绝对中子注量率 ϕ 。

$$\phi = A \frac{\bar{N}}{T} \quad (1)$$

$$A = n / (N \sigma_f \epsilon \eta) \quad (2)$$

其中 T 为照射时间, A 为简化系数, n 为裂变源面积内固定视野的个数, $n\bar{N}$ 即为径迹探测器上总径迹数, N 为裂变源的可裂变原子数, σ_f 为有效裂变截面, ϵ 为探测器效率, η 为裂变源对裂变碎片的自吸收因子。对同一个裂变靶、类似的中子能谱以及刻度后的显微镜, $N, \sigma, \epsilon, \eta, n$ 应为常数。

二、测量结果

刻度是在微型反应堆的原型堆上进行的, 所用参数及结果如表1所示。其中 $\phi_{\text{金}}$ 为金

表1 刻度所用参数
Table 1 Parameter used for graduation

$\phi_{\text{金}}/n \cdot s^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	T/s	$m/\text{次}$	$\bar{N}/\text{单位视野}$	A
5×10^9	300	140	102.4 ± 1.8	1.466×10^{10}
5×10^9	180	130	61.5 ± 1.1	1.463×10^{10}

箔测量的绝对注量率。

由表1得出, A 的平均值为 1.465×10^{10} 。代入式(1)得到:

$$\phi = 1.465 \times 10^{10} \frac{\bar{N}}{T} \quad (3)$$

此公式在商用微型反应堆上进行了检验, 并与金箔活性测量结果进行比较, 表2为固体径迹探测器测量结果, 表3为金箔活性测量结果。

表2 用公式(3)测量参数及结果
Table 2 Results and parameters measured according to formula(3)

$\phi_{\text{仪}}/n \cdot s^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	T/s	$\bar{N}/\text{单位视野}$	$\phi_{\text{固}}/n \cdot s^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\phi_{\text{仪}}/\phi_{\text{固}}$
8.33×10^8	243	8.88	5.35×10^8	1.56
8.40×10^8	421	15.83	5.51×10^8	1.52
42.16×10^8	199	35.76	26.33×10^8	1.60
42.18×10^8	240	42.68	26.05×10^8	1.62
78.98×10^8	120	43.27	52.83×10^8	1.49
401.25×10^8	59.5	100.04	246.32×10^8	1.63

表3 金箔活性测量结果
Table 3 Results measured by gold activity

$\phi_{\text{仪}}/n \cdot s^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	金箔位置*	$\phi_{\text{金}}/n \cdot s^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\phi_{\text{仪}}/\phi_{\text{金}}$
10.74×10^9	下	6.56×10^9	1.64
	上	6.71×10^9	1.60
5.55×10^{10}	下	3.47×10^{10}	1.60
	上	3.24×10^{10}	1.71
10.76×10^{10}	下	6.66×10^{10}	1.62
	上	6.72×10^{10}	1.60
5.40×10^{11}	下	3.53×10^{11}	1.53
	上	3.31×10^{11}	1.63

* 金箔位置是用同一个辐照盒, 一个金箔放在上面, 一个金箔放在下面, 二者相距5cm。

在表2和3中, $\phi_{\text{仪}}$ 为微型堆启动时的指示值, $\phi_{\text{固}}$ 和 $\phi_{\text{金}}$ 为实际测量值。从二者之比来调整仪表指示值, 使之与实际测量值相符合, 即调整仪表指示值, 使它们的比值为1。从表2可以得出, 仪表指示值偏高于固体径迹探测器结果, 它们之比平均为: 1.57 ± 0.05 。从表3可以得出, 仪表指示值偏高于金箔活性结果, 它们之比平均为: 1.62 ± 0.05 。

以上结果看出：二者在误差范围内是符合的。因此，用固体径迹探测器测量注量率的简便方法是成功的。后来在巴基斯坦微型反应堆上应用，也得到了满意的结果。

三、讨 论

1. 此方法特别适用于测量高中子注量率的中子场。例如，在中子注量率大于 $10^{10} \text{ n} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时，所用裂变源的 ^{235}U 原子数无法用常规方法确定，限制了固体径迹探测器测量绝对注量率的应用范围，而这个方法弥补了它的不足。

2. 如果用天然铀作为裂变源，而测中子场的能谱较硬，这样快中子可能引起 ^{238}U 原子的快裂变，也就是 ^{238}U 的快裂变形成的径迹对总径迹计数的贡献不能忽略。但公式还是可以应用的。在用金箔刻度时，可以假定被测中子场中热中子注量与快中子注量率之比是一个常数，即：

$$a = \phi_f / \phi_{th}$$

其中 ϕ_f 为快中子注量率， ϕ_{th} 为热中子注量率。这样得到的径迹由两部分组成：热中子引起的 ^{235}U 原子裂变形成的径迹和超过 ^{238}U 裂变阈的快中子引起的裂变所形成的径迹，即：

$$\begin{aligned} N_T = \bar{N}n &= [{}^5N\sigma_{f5}\phi_{th}T\epsilon\eta + {}^8N\sigma_{f8}\phi_fT\epsilon\eta] \\ &= [{}^5N\sigma_{f5}\epsilon\eta + a{}^8N\sigma_{f8}\epsilon\eta]T\phi_{th} \\ &= AT\phi_{th} \end{aligned}$$

则测量热中子绝对注量率仍可用简便公式。

3. 测量不同量程的中子注量率，要用不同的裂变源，因此系数 A 是不一样的。

4. 该方法适用范围是待测中子场和所刻度时用中子场能谱近似，如果能谱差别较大测量结果将会带来一定误差。

5. 刻度中是将金箔和固体径迹探测器一起放在一个辐照盒内进行照射，这样两种材料可能有干扰。我们用一个金箔在一个辐照盒内和两个金箔在一个辐照盒内辐照，结果注量率相差 2%。但从表 3 看出，上下位置测量值误差为 3%，因此可以认为刻度时的干扰是在测量误差范围内。

感谢王珂、曲桂茹和陈绍能在原型反应堆辐照时给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] 史永谦等，原子能科学技术，(1)，108(1985)。
- [2] 路富强，核技术，(4)，36(1985)。
- [3] 郭士伦等，原子能科学技术，(1)，81(1981)。
- [4] 刘顺生等，核技术，(1)，38(1985)。
- [5] 李焕铁等，原子能科学技术，(1)，58(1976)。

(编辑部收到日期：1990年5月23日)



A SIMPLE METHOD FOR THE DETERMINATION OF ABSOLUTE NEUTRON FLUX RATE BY SSNTD

SHI YONGQIAN LAN YIZHENG LI YIGUO
ZHENG WUQING LI FUMIN ZHU GUOSHENG

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing)

ABSTRACT

For the determination of absolute neutron flux rate, the SSNTD graduation method, which is calibrated by measuring the Au activity on $4\alpha\beta\text{-}\gamma$ coincidence installation, is discussed in the paper.

Key words Absolute neutron flux rate, Solid state nuclear track detector (SSNTD), Graduation, Fission source.