

用 Monte-Carlo 方法计算中子透射率 及其实验验证

李天柁 沈先开 魏玉锦

(第二炮兵工程学院, 西安, 710025)

用 Monte-Carlo 方法计算了 Am-Be 中子源在 1 个钢和石蜡复合球体内的中子透射率。实验测量到的泄漏中子谱与理论计算符合得较好。

关键词 中子泄漏谱 Monte-Carlo(M-C)方法 模拟球实验验证

中子穿透复杂核装置后的能谱是通过 Monte-Carlo(M-C)方法计算获得的,但 M-C 方法计算的可信度又无法直接证明。本文采用一个各向同性的模拟核装置(钢、石蜡复合球内装 Am-Be 中子源)来检验 M-C 方法。

1 用 M-C 方法计算中子能谱及透射率

1.1 中子随机游动的统计估计法

中子在介质中的运动遵从中子迁移方程,将其改为等价的积分方程,程由 Neumann 级数解,所求的中子空间分布函数 $f(p)$ 转化为求解下列泛函:

$$X(P) = S(P) + \int x(P)K_r(P' \rightarrow P)dP'$$
$$I = \int X(P)f(P)dP$$

式中: P ——相空间; X ——发射密度; S ——中子源分布; K_r ——核函数; I ——所求物理量的期望值。由此构造迁移方程的 M-C 解。此方法认为,粒子在介质中只散射而不吸收,吸收包含在权重内,并对粒子随机游动历史 P_0, P_1, \dots, P_m 的信息充分利用。

1.2 抽样

Am-Be 源抽样:将源视为点源,根据各种实验得到的最佳归一化谱,按直接法抽样。

下次碰撞点抽样:已知粒子状态 $S_m(r_m, \mu_m, E_m, W_m, T_m)$, 求得粒子沿方向 μ_m 的迁移距离 L , 则:

$$r_{m+1}^2 = r_m^2 + 2r_m\mu_m L + L^2$$

式中: r_m ——球坐标半径; μ_m ——方向余弦; E_m ——中子能量; W_m ——中子权重;

收稿日期:1992-03-10 收到修改稿日期:1992-11-28

T_m ——跟踪时间。

自由程抽样:采用直接法和最大截面法。

能量角分布抽样:中子与物质相互作用有吸收和弹性与非弹性散射。在弹性散射中将角分布看成是各向异性,在非弹性散射中,区分连续能级和分立能级两部分,而吸收包含于权重内。

中子的死亡判别:最小能量截止 E_{\min} , 最大迁移时间 T_{\max} , 抽样次数为 N 。在随机模拟中所采用的数据为点截面, 抽样 10 万次。

2 模拟装置中子透射谱的测量

2.1 测量方法

模拟装置是由 $\phi 300$ 的钢球内装 Am-Be 源、外包石蜡球壳 ($\phi 600$) 组成的一个球形组合体。由于装置泄漏中子能区宽, 由热能直到快中子能区 (约 12MeV)。所以, 我们测量时把中子能区分为三段: A 区——从热能到镉吸收限; B 区——从镉吸收限到快中子探测下限; C 区——从快中子测量下限到所测最大中子能量。A 区的慢化中子出射率用镉差法原理测量, 即用包镉与不包镉的长中子管测量全能区中子出射率, 两者之差即为镉限以下 A 区中子出射率。C 区的快中子谱用 ST-451 液体闪烁体, 结合脉冲形状甄别技术测量穿透中子的反冲质子谱, 然后用逆矩阵法解出中子谱。B 区的慢化中子出射率, 用长中子管测得的镉限以上中子出射率与快中子出射率之差求出。在以上实验中, 均采用影锥法扣除散射中子本底。

2.2 实验条件和系统的可靠性

2.2.1 实验条件的确定 快中子测量系统是以 ST-451 液体闪烁体为基础的反冲质子谱仪, 测量时的 γ 本底由快中子脉冲形状甄别技术扣除, $n\text{-}\gamma$ 甄别阈 $E_{\text{th}} = 0.89\text{MeV}$, $n\text{-}\gamma$ 分离度 $M = 1.64$, 在以上条件下系统的 γ 透过率为 5%。

在系统的线性刻度中, 所用刻度 γ 源为: ^{137}Cs (0.497MeV), ^{65}Zn (0.933MeV), ^{24}Na (1.191MeV, 2.602MeV), $^{12}\text{C}^*$ (4.31MeV)。以上能量为各康普顿谱半高点对应的能量, 由 $E_h = E_c(1.03 \pm 0.01\text{MeV})$ 确定, 式中 E_c 为康普顿最大反冲能量。由于将 Am-Be 源中 ^{12}C 第一激发态 4.43MeV 的 γ 射线用于系统刻度, 从而使系统的能量刻度范围大大拓宽, 增强了高能端系统线性的可信度。

2.2.2 测量系统的可靠性 为了使快中子测量系统具有较高的测量结果可信度, 采用本系统测量的 Am-Be 裸源谱与国内外多家的测量和计算结果进行了对比。结果列于表 1。

表 1 Am-Be 源主要峰位对比

Table 1 Comparison of published results for peak energies of Am-Be spectrum

序号	作者	峰 位				
1	李安利等 ^[1]	3.00	4.35	7.35	9.35	
2	Vljaya et al. ^[2]	2.37	4.37	7.89	9.87	
3	张应等 ^[5]	计算	3.40	4.8	7.8	9.8
		实验	3.25	4.25		9.25
4	K. W. Geiger ^[4]	3.40	4.8	7.8	9.7	
5	本实验裸源	3.35	4.5	7.5	9.7	

由表 1 可知,此系统的测量结果是可信的。

实验中所使用的长中子管是由中国原子能科学研究院核物理所 13 室提供的。此中子管具有宽的中子能区和平坦的效率响应,其效率刻度的可靠性在中子注量率国际比对(1985)中已得到了证明。

3 实验结果与用 M-C 方法计算的比较

Am-Be 源中子通过模拟核装置后的透射谱示于图 1。各能区中子透射率理论计算和实验测量值为:B 区,理论值为 7.67%,实验值为 8.16%,相对偏差为 6.0%;C 区,理论值为 3.54%,实验值为 3.86%,相对偏差为 8.20%;A 区,实验值为 3.9%。由以上结果可以看出,理论计算与实验测量的差异随着中子在装置中碰撞次数的增加而上升,这是符合计算中的误差传递原理的。两者结果在允许的误差范围内较好吻合。

本实验得到中国原子能科学研究院卢涵林、王效忠老师以及他们激发曲线小组同志的指导和帮助,特此致谢。

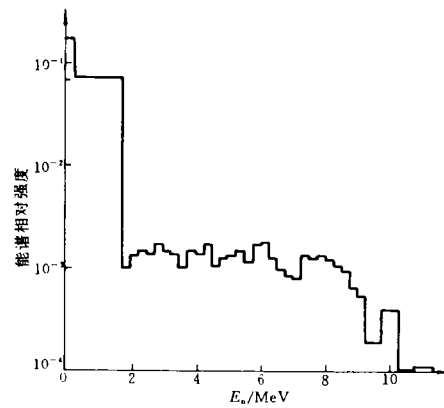


图 1 Am-Be 源模拟装置的泄漏中子谱

Fig.1 Penetrant neutron spectrum of Am-Be source

参 考 文 献

- 1 李安利,黄糖籽,白希祥,等.用双闪烁体飞行时间谱仪测量²⁵²Cf 和 Am-Be 源的中子谱.原子核物理,1982,4(2):145.
- 2 Vijaya AD, Rumar A. The Neutron of Am-Be Neutron Sources. Nucl Instrum Methods, 1973, 111:475.
- 3 张应,梁东麒,王效忠,等. Am- α -Be 源中子源能谱.原子能科学技术,1982,16(2):139.
- 4 Geiger KW, Hargrove CK. Neutron Spectrum of an ²⁴¹Am-Be (α , n) Source. Nucl Phys, 1964, 53:204.
- 5 张应,姚玲,王效忠,等. ST-451 液体闪烁体对快中子的响应矩阵.原子能科学技术,1987,21(4):404.
- 6 于志荣. ST-451 闪烁液体和蒽晶体的光响应,中国原子能科学研究院科研成果报告,1983.

MONTE-CARLO CALCULATION OF NEUTRON PENETRATION SPECTRUM AND EXPERIMENTAL CHECK

LI TIANDUO SHEN XIANKAI WEI YUJING

(*The Second Artillery Engineering College, Xian, 710025*)

ABSTRACT

Monte-Carlo calculation neutron penetrate spectrum is performed for a Am-Be neutron source placed in the centre of the moderated sphere formed with paraffin and iron. The leakage spectrum detected in the experiment agrees with the results of M-C calculation.

Key word Neutron leakage spectrum M-C method Moderated sphere experimental check