

文章编号: 1007-4627(2005)02-0198-03

用 MCNPx 程序计算宽能谱中子雷姆仪的响应曲线

苏有武, 朱小龙, 李武元

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用 MCNPx 程序计算了宽能谱中子雷姆仪的响应曲线。计算表明, 增加铅层对低能中子的响应没有明显的影响, 但在高能区(几百 MeV 以上)宽能谱中子雷姆仪的响应与铅层的厚度有关。铅层厚度为 0.6 cm 时响应比普通雷姆仪提高约 3 倍, 当铅层厚度增加到 1.2 cm 时响应高约 5 倍。虽然计算结果与 ICRP 建议书中的 $H^*(10)$ 曲线相比还有一定的差别, 但改变慢化体的结构对提高高能中子的探测效率是有明显效果的。

关键词: MCNPx; 高能中子; 雷姆仪

中图分类号: TL818+.1 **文献标识码:** A

1 引言

雷姆仪是用于测量中子剂量的仪器, 理想情况下其单位中子注量的灵敏度正比于相应的国际放射防护委员会(ICRP)给出的中子有效剂量-通量转换系数。在实际感兴趣的能量范围内, 即从热能到大约 10 MeV, 无论中子能谱如何, 这类仪器的读数都正比于人体内的最大剂量。它的优点是明显的, 首先在很宽的能谱范围内, 不管中子能谱如何, 它都可以给出近似的剂量当量值; 其次, 这类仪器的尺寸都不是很大, 一般都是便携式的或者说是可移动的, 因此它适用于现场辐射测量。

雷姆仪最早出现在 20 世纪 50 年代末期^[1], 对 Bonner 球的研究导致了雷姆仪的产生。Bramblett 等^[2]计算了不同尺寸的 Bonner 球对中子的响应曲线, 从此人们就一直致力于改善慢化体的结构来达到更好的雷姆响应的研究。其中, Andersson 和 Braun^[3]无疑是最成功的研究小组之一。他们研究的慢化体结构从 20 世纪 60 年代一直使用到现在, 这种被称为标准 A-B 雷姆仪在 5 keV 能区的响应曲线比它以前的雷姆仪的响应曲线与剂量当量曲线接近了约 1.7 倍。

虽然标准 A-B 雷姆仪对低能区(低于 15 MeV)中子具有雷姆响应, 然而对 20 MeV 以上能量的中子, 这类仪器可能非常严重地低估了中子的剂量当量。直到 20 世纪 90 年代, Birattari 等^[4]利用高能

中子在铅中的 (n, xn) 反应, 在慢化体中加入一层铅, 有效地提高了雷姆仪对高能中子的响应, 这种结构的慢化体成为高能中子雷姆仪的标准形式。2002 年, Mares 等^[5]利用多种蒙特卡罗程序, 计算了圆柱形标准 A-B 雷姆仪和宽能谱的中子雷姆仪的响应曲线, 计算的结果很令人鼓舞, 与 ICRP 的 $H^*(10)$ 曲线相比, 从热中子直到 10 GeV 区间大大改善了雷姆仪的响应。然而, 实验工作还不是很多, Li Jianping 等^[6]利用 KEK 的准高能中子源对这种雷姆仪做了刻度, 在他们的实验中使用了 45.4 MeV 的最高准单能中子。

2 计算方法

图 1 给出了计算的模型, 雷姆仪由 5 个同心球组成, 由内到外分别是: BF_3 (^3He) 计数管、聚乙烯、含硼聚乙烯、铅和聚乙烯。表 1 给出了各层的尺寸、密度和元素含量。模拟计算中, 平行中子束从左边入射, 因为球的对称性, 平行束也就相当于各向同性束流入射。

MCNPx(Monte Carlo N-particle code)^[7]是由美国 Los Alamos 实验室开发的用于多粒子传输模拟计算的蒙特卡罗程序。它是由 MCNP4B 版本发展而来, 可以跟踪的粒子数达到 40 余种, 可跟踪的中子最高能量达到 GeV 以上。在辐射防护研究中

得到了广泛的应用。我们使用的是 MCNPx2. 2. 3 版本。中子束包围了整个探测器。中子能量从热中子一直到 1 GeV, 选择不同的铅层厚度, 计算中子的响应。LCA 和 LCB 卡均用默认值, 其相应的物

理模型可以参见文献 [7]。PHYS 卡中 EMAX, EMCNF 和 TABL 取相同的数值, 这相当于在计算中全部使用类似俘获和列表截面数据。在计算中假设只要产生了 (n, p) 或 (n, α) 反应即可引起记录。

表 1 各层的尺寸及密度、元素含量

层次	直径/mm	厚度/mm	密度/(g · cm ⁻³)	元素成分比例(原子比例)
BF ₃ 计数管	50		1.47 × 10 ⁻³	¹⁰ B : ¹⁹ F 1 : 3
聚乙烯	90	20	0.92	H : C 2 : 1
含硼聚乙烯	102	6	1.5	C : H : ¹⁰ B : ¹¹ B 60.75 : 8.71 : 5.8 : 24.74*
铅	114—126	6—12	11.34	天然铅
聚乙烯	280	79	0.92	H : C 2 : 1

* 重量百分比(%), 表面分布一些孔, 孔的面积占总面积的 22%。

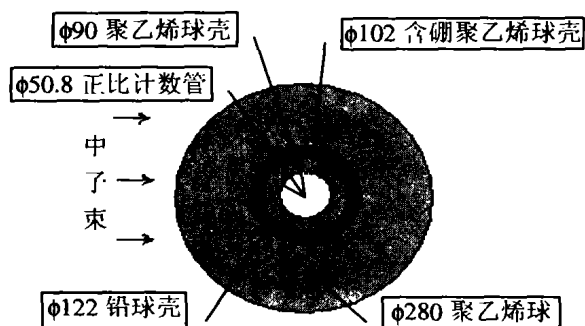


图 1 计算模型(单位:mm)

由于计算中使用的方法问题, 我们期待着开发出更高能量的准单能中子源后的实验检验。

3 结果和讨论

图 2 给出了计算的中子雷姆仪的曲线, 同时也给出了 ICRP74 号出版物中的 $H^*(10)$ 曲线^[8]。从图中可以看出, 铅层对低能端的响应无影响, 在高端可以明显提高中子的响应, 在 1 GeV 时增加 0.6 cm 的铅, 响应可以提高约 3 倍, 而到 1.2 cm 时响应可以提高 5 倍左右, 但是远远没有达到文献 [5] 所得到的结果。这可能是由于结构的不同或是

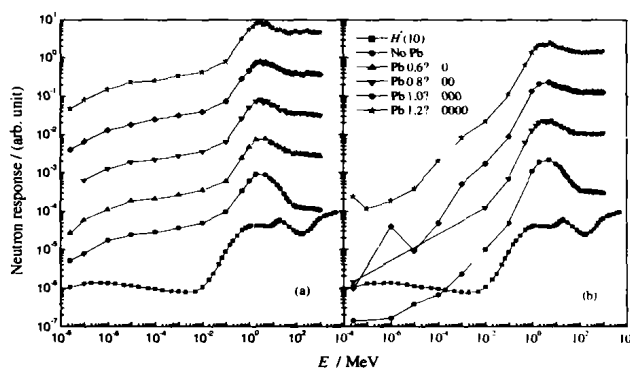


图 2 MCNPx 计算的宽能谱中子雷姆仪的响应曲线
(a) BF₃计数管, (b) ³He 计数管。

致谢 对意大利 INFN-LNL 研究所的 Dr. D. Zafiroopoulos 的帮助和允许我们使用 MCNPx 程序表示衷心的感谢。

参 考 文 献

[1] Stephens L D, Smith A R. Fast Neutron Surveys Using Indium Foil Activation, Lawrence Radiation Laboratory Report UCRL-8418, Aug. 1958.

[2] Bramblett R L, Ewing R I, Bonner T W. Nucl Instr and Meth. 1960, 9: 1.

[3] Andersson I O, Braun J. In Proceedings of the IAEA Symposium on Neutron Dosimetry, Vienna, 1963, 2: 87.

[4] Birattari C, Ferrarri A, Nuccetelli C, et al. Nucl Inst and Meth. 1990, A297: 250.

[5] Mares V, Sannikov A V, Schraube H. Nucl Inst and Meth, 2002, A476: 341.

[6] Li Jianping, Tang Yueli, Liu Shudong, et al. Rad Prot Dosi. 1996, 67(3): 179.

[7] Waters L S. MCNPXTM USER's Manual, Version 2.1.5, 1999.

(下转第 211 页)

with ^{60}Co γ -rays at doses of 0—6 Gy. Together with flow cytometer for precise cell sorting, cell survival fractions were measured by means of conventional colony-formation assay. It has been found that the SMMC-7721 cells showed hyper-radiosensitivity response at low doses and increased radio-resistance at larger single doses. There was an excessive cell killing per unit dose when the doses were below about 0.3 Gy, and the cells exhibited more resistant response at the doses between 0.3 and 1.0 Gy. When the single dose was beyond 1.0 Gy, the cell survival agreed well with the prediction of the commonly accepted linear-quadratic model.

Key words: hypersensitivity; increased radio-resistance; colony-formation assays; survival fraction

(上接第 199 页)

- [8] ICRP Publication 74, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation, Edited by ICRP, 1996.

MCNPx Calculation of Neutron Response for an Extended Range Neutron Rem Meter

SU You-wu, ZHU Xiao-long, Li Wu-yuan

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

Abstract: The responses of two extended neutron rem counters as function of neutron energy was calculated. Monte Carlo code, MCNPx, was applied in the calculations. Isotropic neutron incidence was employed. The results show that the neutron response is independent on thickness of lead layer at low energies, and it is clearly increased with thickness of lead layer at high energies. Although the shape of the response curve does not completely agree with the $H^*(10)$ curve in ICRP 74 report, the results obtained give good bases for the practical use of the new instrument in high-energy neutron fields.

Key words: MCNPx; high energy neutron; rem counter