

蒙特卡罗方法在中子能谱研究中的应用

毛孝勇¹, 陈金象¹, 沈冠仁^{1,2}

(1. 北京大学 重离子物理研究所 重离子物理教育部重点实验室, 北京 100871;
2. 中国原子能科学研究院 核物理研究所, 北京 102413)

摘要:针对快中子能谱实验测量数据的修正, 开发了 FAMS-MC 蒙特卡罗计算程序, 对 5.9、6.4 和 14.1 MeV 中子在 Be 核上产生的次级中子双微分截面的实验结果进行了修正计算, 并与 MCNP 蒙特卡罗程序修正的结果进行了比较。用 FAMS-MC 程序进行中子能谱实验测量数据修正得到满意结果。

关键词:蒙特卡罗方法; 中子能谱; 修正

中图分类号: O571.54

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2002)01-0032-04

Application of Monte-Carlo Method on Measurement of Neutron Energy Spectrum

MAO Xiao-yong¹, CHEN Jin-xiang¹, SHEN Guan-ren^{1,2}

(1. *Institute of Heavy Ion Physics and the Key Laboratory of Heavy Ion Physics, Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China;*
2. *China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-46, Beijing 102413, China*)

Abstract: FAMS-MC is a Monte-Carlo program for correction on experimental measurement data of fast neutron energy spectrum. The corrections are carried out by FAMS-MC program for secondary neutron double differential cross sections on ⁹Be induced by 5.9, 6.4 and 14.1 MeV neutrons. The correction results by FAMS-MC program are in good agreement with those calculated by MCNP program. The reliability of FAMS-MC program has also been examined.

Key words: Monte-Carlo method; neutron energy spectrum; correction

快中子能谱实验研究是中子物理中的重要课题。由散射样品的大小和探测器的张角产生的多次散射、角分辨和中子注量衰减效应严重地影响测量数据的精确度和能谱的形状。为消除这 3 种效应的影响, 在同样的实验条件下, 用蒙特卡罗方法在计算机上模拟实验, 计算出这

3 种效应产生的具体结果, 并从测量数据中扣除, 对实验测量结果进行修正。这种方法在测量次级中子微分截面中得到了广泛的应用, 并有较为成熟的计算机程序提供使用, 但用于修正次级中子能谱(双微分截面)的程序较少, 也不成熟。为此, 在日本的 SYNTHIA^[1] 修正程

收稿日期: 2001-03-06; 修回日期: 2001-06-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19975002)

作者简介: 毛孝勇(1972—), 男, 四川德阳人, 在读硕士研究生, 核物理专业

序基础上开发基于蒙特卡罗方法的 FAMS-MC 程序,以期对北京大学 4.5 MV 静电加速器上用快中子飞行时间谱仪测量 5.9、6.4 和 14.1 MeV 中子在 Be 核上产生的次级中子双微分截面进行修正。

1 蒙特卡罗方法修正^[2]

在次级中子双微分截面的测量实验中,氘束轰击氘气靶产生源中子,气体靶存在一定的体积,不能以简单的点源处理。源中子打到散射样品的不同位置时,发生核反应,产生的次级中子被中子探测器探测,其中有源本身造成的立体张角效应。样品的大小造成对源中子立体张角和探测器的大小又造成对样品的立体张角,这种复杂的几何关系引起出射中子的角分辨问题。次级中子在样品内多次散射产生的一次散射丢失(应被探测器记录而未记录)和多次散射中子(不应记录)进入探测器,多次散射效应引起能谱形状变化。入射在样品表面的源中子注量率与样品内部由于核反应造成源中子注量率的逐步减少,引起了中子注量的衰减效应。以上效应在实验中是不可避免的,必须进行修正才能获得满意的实验结果。用实验方法进行上述修正难度大,且效果不理想。用蒙特卡罗方法进行修正,只需正确列出全部实验工作条件,在计算机上进行模拟计算,即可修正实验数据。这一方法具有以下优点。

(1) 用蒙特卡罗方法可计算所需的核反应

数据,供分析使用。如修正中需要对 1 次、2 次和 3 次等多次散射产生的出射中子进行分别记录,则可一起与实验结果进行比较。计算中采用粒子轨迹全程跟踪,粒子的入射和发射角度清楚,很好解决了复杂的几何关系、修正角分辨等对测量数据的影响问题。

(2) 蒙特卡罗计算方法成熟,给出的结果精度较高。

蒙特卡罗方法解决具体问题,需要专用计算程序。为此,在 SYNTHIA^[1] 程序基础上开发了 FAMS-MC 程序,用以对中子能谱进行修正计算。

2 FAMS-MC 程序

2.1 主要框架结构

FAMS-MC 程序的主要框架结构示于图 1。主程序可以调用 5 个读入子程序,4 个功能计算子程序,一个源中子能量和发射方向计算子程序,一个随机数产生子程序,一个中子注量率衰减计算子程序和 7 个核反应计算子程序。

2.2 计算流程

FAMS-MC 程序的计算流程简要描述如下:启动主程序后,调用源中子子程序计算源中子能量和发射方向,调用随机数产生子程序进行随机抽样;确定打在样品上的位置,用核反应计算子程序和反应截面数据计算各反应道发生反应的几率;用角分布数据确定粒子发射各个角度上的几率,并在要修正的角度下记录,用从

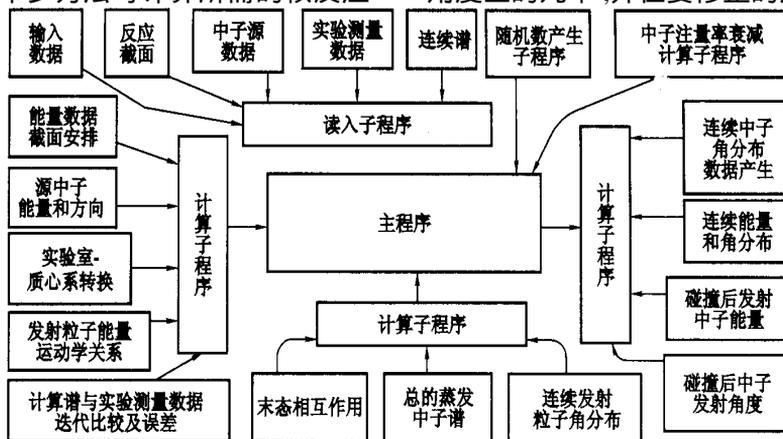


图 1 FAMS-MC 程序主要结构框图

Fig. 1 Block diagram of main structure of FAMS-MC program

双微分截面数据产生的能量角度分布抽取出射各个角度粒子的能量。

在计算过程中,先设样品为零密度时^[3]不发生多次散射,计算得到理想计数谱;再假设样品为实际使用的密度,根据发射粒子在样品中位置处发射到各个角度穿越样品的距离,抽取发生多次散射的几率,记录未发生多次散射的一次计数谱和多次散射计数谱及由多次散射丢失的一次散射计数,把记录到的一次和多次计数相加得到计算谱,它应与实验测量结果一致。若不一致,则调用迭代子程序进行迭代计算,直到达到一致为止。用注量率衰减计算子程序计算出衰减因子 Z 。由理想的与丢失一次的计数比计算得到丢失因子 Q ;由理想与多次计数和之比得到多次散射因子 D 。最后,总的修正因子 $F = QDZ$ 。

2.3 主要功能

FAMS-MC 程序的主要计算功能如下:

- 1) 多次散射修正,可计算一个核、10 个反

应道、20 个角度的角分布和次级中子双微分截面,记录多次散射的最多次数为 6 次;

- 2) 入射中子注量率衰减因子计算;
- 3) 源中子的干扰修正计算;
- 4) 对束斑大的中子源用面源进行修正计算等。

3 修正结果

用 FAMS-MC 程序对在北京大学 4.5 MV 静电加速器上用快中子飞行时间谱仪测量 5.9、6.4 和 14.1 MeV 中子在两种实验几何条件下 Be 核上产生的次级中子双微分截面测量结果进行修正计算。

图 2 显示出了 5.9 MeV 中子在 60° 以及 6.4 MeV 中子在 45° 角的修正计算结果。一次和多次的计算谱和与测量数据的比较在给定误差范围内一致,理想计数谱与它们在谱形上有较大差别,多次散射效应明确地显示出来。

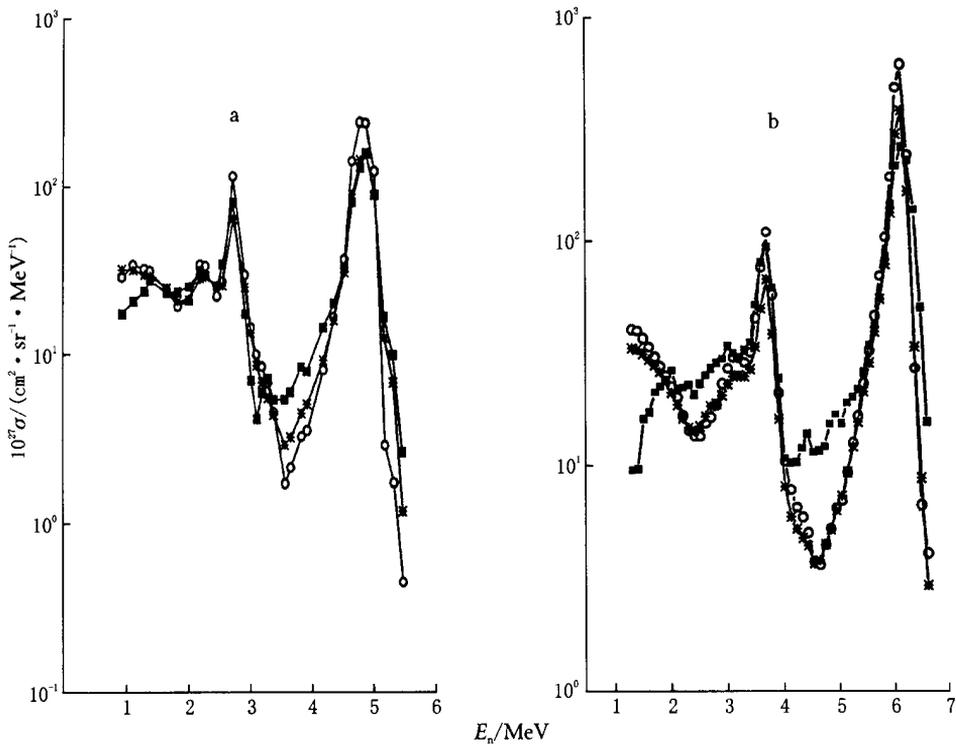


图 2 中子在 Be 上引起的双微分截面修正谱

Fig. 2 Spectra of DDX cross section of beryllium induced by incident neutron

a—60°, $E_n = 5.9$ MeV; b—45°, $E_n = 6.4$ MeV

—理想一次谱; *—实际多次谱; —实验谱

为验证 FAMS-MC 程序计算结果的可靠性,用大型多功能蒙特卡罗程序 MCNP^[4]进行了修正计算。结果间的比较(图 3)表明:用 FAMS-MC 程序获得了满意的修正结果。

谱数据进行多次散射、角分辨和中子注量率衰减效应的修正,取得了很好的效果。与 MCNP 程序计算结果进行比对,也获得满意的结果,证实了 FAMS-MC 程序用于中子能谱修正的可靠性,从而为中子能谱的实验研究提供了一个有用的工具。

4 结论

用 FAMS-MC 程序对实验测量的中子能

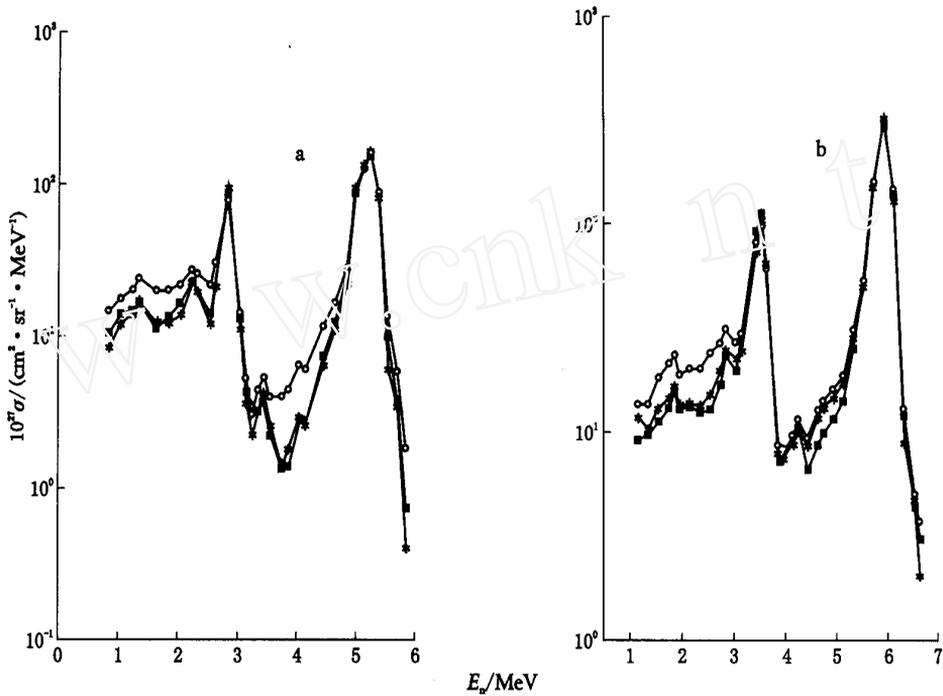


图 3 中子在 Be 上引起的双微分截面的结果比较

Fig. 3 Comparison of DDX cross sections of Be induced by incident neutron

a—60°, $E_n = 5.9$ MeV; b—45°, $E_n = 6.4$ MeV

—实验结果(未修正); * —MCNP 修正结果; — FAMS-MC 修正结果

参考文献:

[1] Baba Mamoru, Matsuyama Shigeo, Ito Takuya, et al. Measurements of Double-differential Neutron Emission Cross Sections of Nb, Mo, Ta, W and Bi for 14 and 18 MeV Neutrons[J]. J Nucl Technol, 1994, 31(8):757~769.

[2] 裴鹿成,张孝泽. 蒙特卡罗方法及其在粒子输运问题中的应用[M]. 北京:科学出版社,1980. 338~389.

[3] Drake DM, Auchampaugh GF, Arthur ED, et al. Double-differential Beryllium Neutron Cross Sections at Incident Neutron Energies of 5.9, 10.1, and 14.2 MeV[J]. Nucl Sci Eng, 1977, 63:401~412.

[4] LANL. MCNP—A General Monte-Carlo Code for Neutron and Photon Transport: LA-7396-M [R]. USA: Los Alamos National Laboratory, 1981.