

# 用 MCNP/4A 计算钚球 14 MeV 中子的 泄漏谱和反应率

安力, 陈渊, 牟云峰

(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 MCNP/4A 程序计算了钚球 14 MeV 中子源的泄漏谱及 Al、Fe 和 V 在其内的反应率, 并与实验结果进行了比较。

**关键词:**MCNP/4A 程序; 钚球基准装置; 泄漏谱; 反应率

**中图分类号:**O571.5      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-6931(2000)S0-0117-03

聚变堆是获得清洁能源最好方法之一, 但聚变产生的高能 D-T 中子会活化周围物质, 易对环境造成放射性污染。因此, 需采用中子活化截面低的物质。目前, 钚被认为是具有代表性的物质, 同时, 钚的  $(n, 2n)$  反应比  $(n, x)$  高, 这有利于反应堆的中子再生。鉴于此, 本工作实验研究钚球基准装置的泄漏中子能谱及测量反应率, 并用 MCNP/4A 程序对其进行计算, 将实验与计算结果进行比较。

## 1 MCNP/4A 程序简介

目前, MCNP/4A 程序可用于处理包含临界(次临界)、屏蔽、通量等问题在内的任意三维模型的中子、光子、电子、中子/光子、中子/光子/电子、光子/电子的运输问题。使用该程序主要是对它的输入卡 INP 的记录形式、计算结果输出、误差估计、减少相对误差技巧的掌握。减小相对误差的主要方法有: 1) 增加运输粒子数; 2) 强迫碰撞; 3) 增加粒子的重要性; 4) 源偏倚; 5) 使用能量截断卡。运用这些方法可使在运行相同粒子数情况下的相对误差降低。

## 2 实验装置

钚球壳外半径 11.5 cm, 内半径 1 cm, 密度  $6.02 \text{ g/cm}^3$ , 其纯度为 99.9%。含有微量 O (0.016%)、Fe (0.0081%)、Al (0.005%)、Si (0.004%)、Cr (0.019%)。钚球有一通心孔道, 一侧插入中子靶管, 另一侧放置活化箔(图 1)。活化箔为 Al、Fe、V, 放置在距球心分别为 1、2、3、4、5、6.5、8、9.5、11 cm 处, 活化箔夹在钚块之间, 箔直径与圆孔直径大致相等。为减小周围环境对中子的散射, 用尼龙袋将钚球吊悬于距地面 1.3 m 高的空中, 系统附近无其它物件。泄漏谱用 NE213 探测器测量, 用高纯锗探测器测量放射性活性。

收稿日期: 2000-01-10; 修回日期: 2000-03-20

作者简介: 安力(1973—), 男, 四川仪陇人, 助理工程师, 实验核物理专业

### 3 结果与分析

#### 3.1 钚球泄露谱计算

对钚球泄露谱用 MCNP/4A 程序和 ENDF/B-、EBDF/B- 和 FENDL-2 库的截面数据进行模拟计算。结果示于图 2。图中有 6 组数据(每组数据的数据点间的能量间隔均为 0.25 MeV),组成了 3 条谱线,3 条谱线的低能部分重合。曲线 1 为用截面库 FENDL-2 对纯钚球和含有 O、Fe、Al、Si 和 Cr 等微量成分(其化学成分占 0.1%)的钚球进行计算所得到的谱。这 2 条谱线完全重合,表明钚球的微量成分对计算结果无影响,可用纯钚球来代替。曲线 3 是用 B- 库计算所得的谱线。曲线 2 是用 B- 库计算的,分别采用连续的 50c、51c 两种不同的评价号和多群的 50m,其计算结果完全重合,表明采用 3 种评价 B- 库的谱的计算结果是相同的。

泄露谱的计算结果与实验结果的比较示于图 3。图中曲线 1 和 2 分别为计算值和实验值,它们的能量间隔  $E = 0.5 \text{ MeV}$ 。2 条曲线在  $E < 6 \text{ MeV}$  区间内相互符合较好,在  $E > 6 \text{ MeV}$  区间符合较差;2 曲线在  $E = 11 \sim 12 \text{ MeV}$  区间均有一谷,但曲线 2  $E = 13.25 \text{ MeV}$  处出现的谷在曲线 1 中并未出现。当将计算的能量间隔取为  $E = 0.25 \text{ MeV}$  时,计算谱中在  $E = 13.25 \text{ MeV}$  处的谷(曲线 3)则显现出来。这表明,曲线 1 中的谷因能量间隔取值过大而被淹没了。从图 2、3 可知,采用 FENDL-2 库截面数据的计算结果优于其它两种库的计算结果。

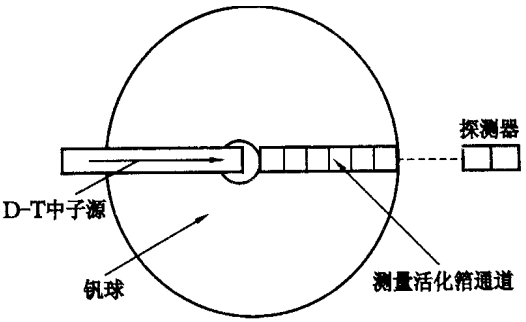


图 1 实验装置

Fig. 1 Experiment assembly

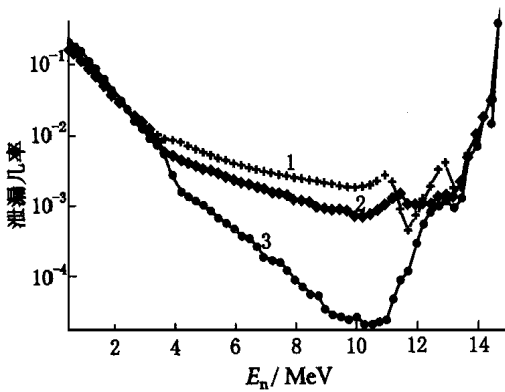


图 2 用不同库的截面数据计算出的钚球泄露谱

Fig. 2 Leakage spectra

based on different cross sections library

- 1 —— 纯钚球和含杂质钚球, FENDL-2 库;
- 2 —— 纯钚球, 连续 50c、51c 评价号和多群 50m B- 库;
- 3 —— 纯钚球, B- 库

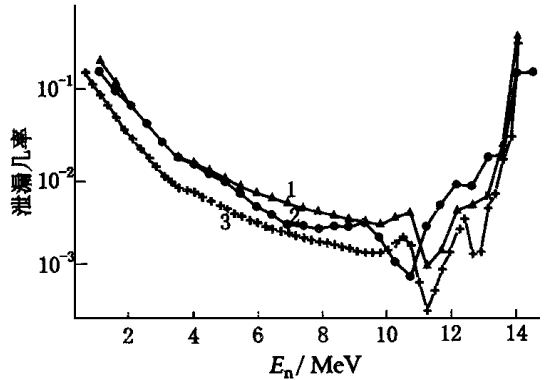


图 3 钚球泄露谱计算与实验比较

Fig. 3 Comparison between measured and

calculated leakage spectra of

- 1 —— 纯钚球,  $E = 0.5 \text{ MeV}$ , 计算值;
- 2 —— 纯钚球,  $E = 0.5 \text{ MeV}$ , 实验值;
- 3 —— 纯钚球,  $E = 0.25 \text{ MeV}$ , 计算值

### 3.2 绝对反应率计算

图 4 示出了 Al、Fe 和  $^{238}\text{Pu}$  一组阈探测器的绝对反应率分布。从图 4 可看出:计算出的 Fe 和 Al 的反应率分布相当一致,这是因为它们的阈能及反应截面差别不大;此外,Fe 和 Al 的计算值与它们各自的实验结果符合得非常好,这说明实验可靠,结果自洽。为便于观察,将 Fe 的反应率的实验值与计算值取出示于图 5。可以看出:计算值比实验值大,但两者的不一致性大都小于 20%。 $^{238}\text{Pu}$  的绝对反应率计算值明显比 Fe 和 Al 的计算值小(图 4),只有它们的 1/4 左右;同时, $^{238}\text{Pu}$  的实验值比 Fe 和 Al 的亦小,这说明  $^{238}\text{Pu}$  是一种低活性材料。钒的反应率计算值与实验值相差较大,两者之比最大达到 1.5。这说明钒的核数据需要进行评估。1995 年,IAEA 在关于“FENDL-1 完成和 FENDL-2 开始”的一次顾问组会议上指出:钒作为聚变堆的重要材料,到目前还没有适合于评价的积分实验数据。因此,进行有关  $^{238}\text{Pu}$  的 14 MeV 中子基准装置积分实验是十分必要的。

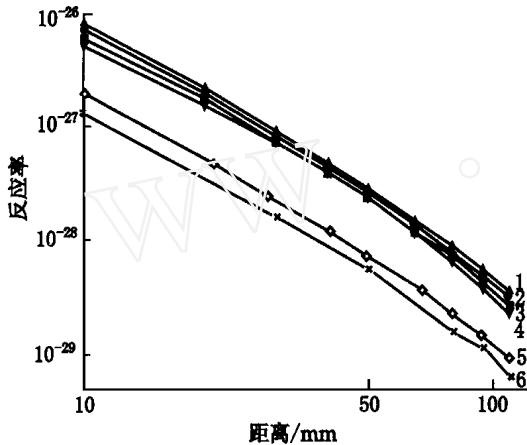


图 4 铁、铝、钚的反应率计算值与实验值的比较  
 Fig.4 Comparison between measured and calculated reaction rates of Fe,Al and  $^{238}\text{Pu}$  in vanadium sphere  
 1 ——Al,计算值;2 ——Fe,计算值;3 ——Fe,实验值;  
 4 ——Al,实验值;5 ——  $^{238}\text{Pu}$ ,计算值;6 ——  $^{238}\text{Pu}$ ,实验值

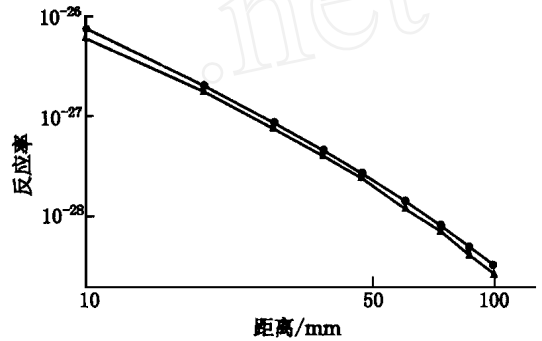


图 5 铁的反应率计算值与实验值的比较  
 Fig.5 Comparison between measured and calculated reaction rates of Fe in vanadium sphere  
 ——计算值; ——实验值

## 4 结论

- 1) Fe、Al 反应率的计算值与实验值的一致性较好,  $^{238}\text{Pu}$  的反应率计算值与实验值符合得较差。
- 2) 用 B-、B- 和 FENDL-2 截面库计算出的泄漏谱在低能区 ( $E < 6$  MeV) 与实验符合较好;在 高能区 ( $E > 6$  MeV), FENDL-2 优于其它两库,计算值与实验值的一致性较好。这一结果表明:核数据有待改善,并有必要通过实验进一步进行检验。

(下转第 133 页,Continued on p. 133)

## Extraction of Np, Pu and Am With DHDECMP/ TBP/ OK

YE Yu-xing, WU Guan-min, ZHAO Hu-gen

(Radiochemistry department, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract :**The extraction of actinides with DHDECMP/ TBP/ OK from nitric acid and simulated HLLW from reprocessing of power reactor spent fuel is studied. The distribution ratios of Np ( ), Pu ( ) and Am ( ) are studied as a function of a number of parameters such as concentration of nitric acid, salting-out agent in aqueous phase and temperature. The distribution ratios of Np, Pu and Am in simulated HLLW are determined, the extraction reaction enthalpy changes,  $H(\text{Np}(\quad))$ ,  $H(\text{Pu}(\quad))$  and  $H(\text{Am}(\quad))$  are found, and the principle flowsheet of recovering actinides and rare earth elements from HLLW is recommended.

**Key words :**DHDECMP; TBP; extraction; actinides

(上接第 119 页, From p. 119)

## Calculation of Leakage Spectra and Reaction Rates in Vanadium Sphere Bombarded by D-T Neutron With MCNP/ 4A Code

AN Li, CHEN Yuan, MOU Yun-feng

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract :**MCNP/ 4A code is used to calculate the leakage spectra of D-T source from the vanadium sphere and the reaction rates of Al, Fe and foils in the assembly. The calculated results are compared with experiment results.

**Key words :**MCNP/ 4A code; vanadium sphere benchmark assembly; reaction rates; leakage spectra