

^{238}U 裂变电离室测量 25.5 MeV 中子注量率

刘毅娜, 陈军, 李春娟, 王志强, 骆海龙, 阮锡超

(中国原子能科学研究院 放射性计量测试部, 北京 102413)

摘要: 在飞行时间谱仪测量中子能谱的基础上, 利用 ^{238}U 裂变电离室测量了中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器产生的 25.5 MeV 中子注量率。为验证该裂变电离室测量快中子注量率的可靠性, 在中国原子能科学研究院 5SDH-2 串列加速器上, 利用该电离室和伴随 α 粒子装置同时测量 14.8 MeV 中子注量率, 结果在不确定度范围内一致。

关键词: ^{238}U 裂变电离室; 中子注量率; 中子飞行时间谱仪; 中子能谱; 伴随 α 粒子装置

中图分类号: TL81 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-6931(2009)02-0124-04

Measurement of 25.5 MeV Neutron Fluence Rate With ^{238}U Fission Chamber

LIU Yi-na, CHEN Jun, LI Chun-juan, WANG Zhi-qiang, LUO Hai-long, RUAN Xi-chao

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-20, Beijing 102413, China)

Abstract: Based on the neutron energy spectrum measured with a time-of-flight neutron spectrometer, the 25.5 MeV neutron fluence rate was measured with ^{238}U fission chamber at the HI-13 tandem accelerator in CIAE (China Institute of Atomic Energy). To verify the reliability of the fission chamber for measuring fast neutron fluence rate, the 14.8 MeV neutron fluence rate was measured simultaneously with the fission chamber and the association α particle instrument at the 5SDH-2 tandem accelerator in CIAE, of which results are coincident within the uncertainties.

Key words: ^{238}U fission chamber; neutron fluence rate; time-of-flight neutron spectrometer; neutron energy spectrum; association α particle instrument

中子注量率是中子场的基本参量之一, 是中子计量校准工作中必不可少的测量参数。中国原子能科学研究院放射性计量测试部已建立了一套基于反冲质子法的中子注量率测量装置, 用于 0.144~19 MeV 单能中子注量率测量。本工作使用自行设计的平板式 ^{238}U 裂变电

离室测量 25.5 MeV 中子注量率, 为高能区中子注量率测量技术的研究奠定基础。

1 ^{238}U 裂变电离室

^{238}U 裂变电离室外壳为黄铜, 其结构示意图示于图 1。天然铀被电镀在直径为 150 mm

的不锈钢底衬上,铀靶区直径为100 mm。铀靶的 ^{238}U 原子数密度通过屏栅电离室测量,铀样品的质量厚度约为 $560\ \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

采用流气式(90% Ar + 10% CH₄)裂变电离室。通过计算和实验调试选定电离室的极间距为20 mm。测量过程中观测到裂变碎片脉冲幅度谱的谱形较差,这主要是由于铀样品中含有一OH,中子与H发生弹性散射产生的反冲质子与低能裂变碎片难以分开所引起^[1]。将铀靶置于马弗炉中缓慢升温至800 °C,烘烤约1 h,再缓慢降温至室温,去除铀靶中的一OH,谱形得到明显改善。

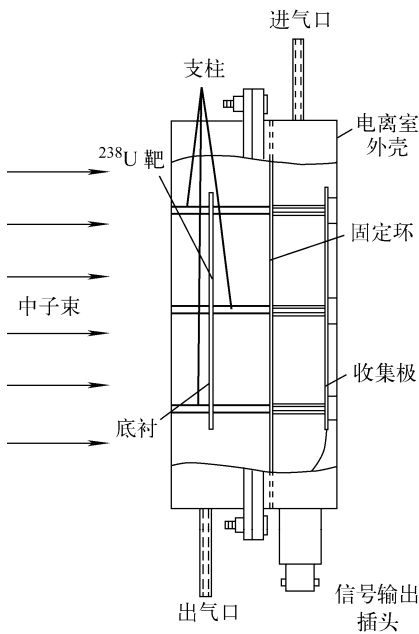


图1 ^{238}U 裂变电离室结构示意图

Fig. 1 Scheme of ^{238}U fission ionization chamber

2 实验测量

在HI-13 串联加速器上,通过 $^3\text{H}(d, n)^4\text{He}$ 反应产生25.5 MeV中子,反应靶为气体T靶,入射氦的能量为8.7 MeV。对于 $^3\text{H}(d, n)^4\text{He}$ 反应,当入射氦的能量较低时,仅发生 $^3\text{H}(d, n)^4\text{He}$ 反应,对于薄靶,可在任何角度获得单色性很好的单能中子。当入射氦的能量达到3.71 MeV时, 0° 方向的中子能量略大于20 MeV,此时, $^3\text{H}(d, np)^3\text{H}$ 破裂反应开始出现,入射氦的能量继续增大时,由此反应产生的低能中子逐渐增加,这使得获得的中子的单

色性变差。所以,在用 ^{238}U 裂变电离室绝对测量20 MeV以上中子注量率时,必须清楚地了解其中子能谱,通过中子能谱和铀的裂变反应截面随能量的变化,扣除低能中子的影响。为此,利用中国原子能科学研究院核物理研究所的中子飞行时间谱仪测量了中子能谱。在中子注量率测量中,裂变电离室置于与入射氦束成 0° 方向,电离室散射中子本底利用影锥法扣除。实验中利用长计数器作为束流监视器,监视束流随时间的变化。

为验证该裂变电离室测量快中子注量率的可靠性,利用其和伴随 α 粒子装置同时测量14.8 MeV中子注量率。在5SDH-2 串联加速器上,通过 $^3\text{H}(d, n)^4\text{He}$ 反应产生14.8 MeV中子,反应靶为固体TiT靶(新靶),入射氦的能量为0.338 MeV。裂变电离室放置在与入射氦束成 45° 方向测量,电离室散射中子本底也用影锥法扣除。实验中利用长计数器作为一路束流监视器,同时,伴随 α 粒子装置也可作为一路束流监视器,监视束流随时间的变化。此外,为确定中子与底衬材料相互作用产生的带电粒子对测量的影响,测量了无铀底衬时的脉冲幅度情况。

3 数据处理及结果

设 ^{238}U 裂变电离室测得的阈上裂变碎片净计数率为 N_i ,则测量点处的中子注量率 φ 为:

$$\varphi = \frac{kN_i}{N_A \sum \bar{\sigma}_i m_i / A_i} \quad i = 238, 235, 234$$

其中: k 为总修正因子; A_i 为铀靶中各同位素的摩尔质量; m_i 为铀靶中各同位素的质量; $\bar{\sigma}_i$ 为铀靶中各同位素中子裂变反应的谱平均截面,其可根据中子能谱和铀的各同位素中子裂变截面数据(引自ENDF/B-VII)确定; N_A 为阿伏加德罗常数。

裂变电离室所测的25.5 MeV中子的脉冲幅度谱示于图2,14.8 MeV的测量谱与之类似。甄别阈由无铀底衬和无中子(α 粒子谱)时的最大脉冲幅度确定。

对于14.8 MeV的实验,由于靶厚、靶头结构材料的散射及入射氦能量的能散度等因素的影响,出射中子并非理想的单能中子,因此,通过TARGET程序(德国PTB编制)计算了中

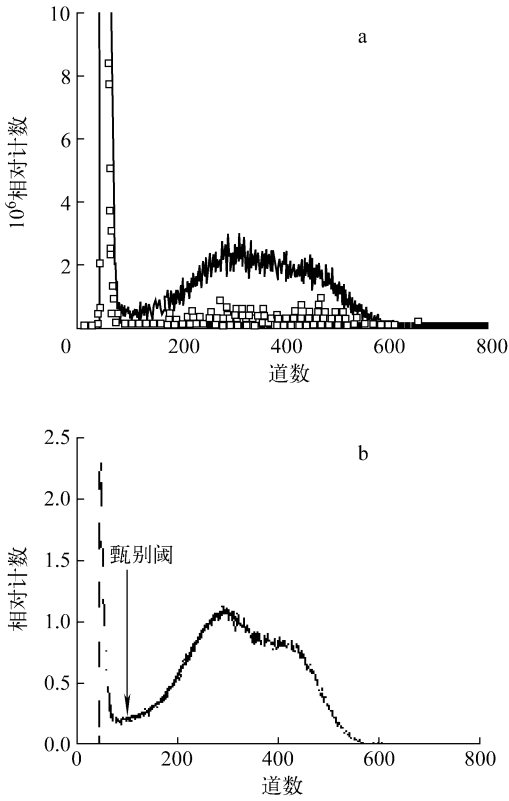


图2 测得的 ^{238}U 裂变电离室脉冲幅度谱
Fig. 2 Pulse height spectra measured with ^{238}U fission chamber

a: 144.55 cm 处测得的脉冲幅度谱, 实线——效应谱,
□——电离室散射中子和 α 本底谱;
b: 近距离测得的脉冲幅度谱, 虚线——测量谱,
实线——高斯拟合结果

子能谱(图3)。而在 25.5 MeV 时, 采用飞行时间谱仪测量了中子能谱(图4)。图4中最右边的峰为 25.5 MeV 的准单能中子峰, 破裂中

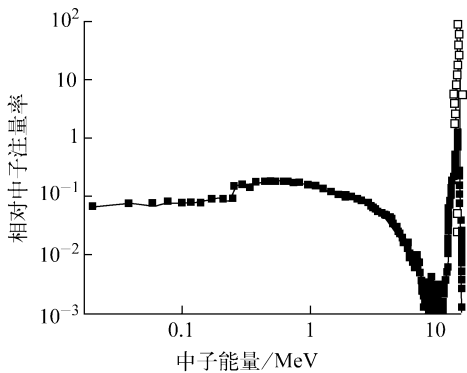


图3 计算的 14.8 MeV 中子能谱

Fig. 3 Calculated 14.8 MeV neutron spectra
□——未散射中子; ■——散射中子; 实线——总的中子

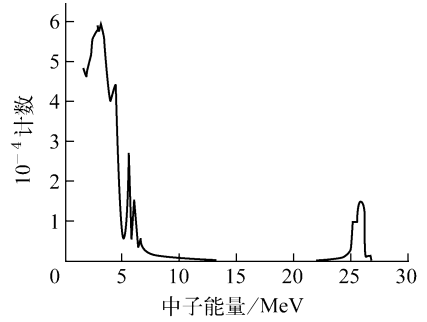


图4 飞行时间法测量的 25.5 MeV 中子能谱
Fig. 4 25.5 MeV neutron energy spectrum measured by time-of-flight method

子的能量基本均在 5 MeV 以下, 5~10 MeV 之间的几个峰主要为入射氘与底衬或光阑上的沉积氘或材料物质作用产生的中子峰。

由于在电离室散射中子本底测量中, 采用影锥的适用能量上限推荐为 19 MeV^[2], 因而, 用 Monte-Carlo 程序计算了在 25.5 MeV 测量时从影锥透射出的中子引起的裂变碎片计数修正, 结果表明, 其影响可忽略。 ^{238}U 裂变电离室测量中子注量率修正因子列于表 1, 中子注量率测量结果及合成标准不确定度列于表 2。

表 1 ^{238}U 裂变电离室测量中子注量率修正因子
Table 1 Correction factors of neutron fluence rate measured with ^{238}U fission chamber

修正项	修正因子	
	14.8 MeV	25.5 MeV
阈下裂变碎片计数修正	1.067 7	1.075 2
铀靶自吸收修正 ^[1]	1.037 4	1.037 4
14 MeV 以下靶头散射中子修正	0.986 8	
20 MeV 以下干扰中子修正		0.205 7
电离室结构材料和空气对中子的散射和吸收修正	1.001 2	0.997 3

4 结论

测量结果表明, ^{238}U 裂变电离室和伴随 α 粒子装置测量 14.8 MeV 单能中子注量率的结果在 1% 内一致, 证明用 ^{238}U 裂变电离室测量快中子注量率的方法是可靠的。

此外, 在类似的测量中需考虑本底中子情况。14.8 MeV 中子注量率测量中的本底中子包括: 1) 电离室散射中子; 2) 入射 d 与加速器

表 2 中子注量率测量结果及合成标准不确定度

Table 2 Measured neutron fluence rate and combined standard uncertainties

测量方法	修正因子	中子注量率/ ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	合成标准 不确定度 ^[3] /%
14.8 MeV 伴随 α 粒子法	0.961 6	1.79×10^3	1.0
14.8 MeV ²³⁸ U 裂变电离室法	1.094 3	1.79×10^3	2.5
25.5 MeV ²³⁸ U 裂变电离室法	0.228 8	1.50×10^3	6.0

管道部件(如限束光阑等)上的沉积 d 反应(²H(d,n)³He)产生的中子;3) 入射 d 与 T 靶上的沉积 d 反应产生的中子。其中,由于测量在与入射 d 束成 45° 方向进行,前两项均在影锥法测量时被扣除。实验中采用新的 T 靶,且 ²H(d,n)³He 和 ³H(d,n)⁴He 反应截面在该入射 d 能量时相差 2 个量级以上,第 3 项可忽略

不计。25.5 MeV 中子注量率测量中的本底中子包括:1) 电离室散射中子;2) 破裂反应中子;3) 入射 d 与底衬或光阑上的沉积氘或材料物质作用产生的中子。其中,第 1 项在影锥法测量时被扣除,其它在 20 MeV 以下干扰中子的修正中被扣除。

参考文献:

- [1] WHITE P H. Alpha and fission counting of thin foils of fissile material[J]. Nucl Instrum Methods Phys Res, 1970, 79: 1.
- [2] ISO 8529-2 Reference neutron radiations 2000: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 2000.
- [3] ISO ISBN 92-67-10188-9 Guide to the expression of uncertainty in measurement[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 1993.