

慢中子探测

实验目的

1. 了解核反应法测量中子的原理。
2. 学习选取 BF₃ 正比计数管测量慢中子工作条件的方法。

实验原理

一、BF₃ 正比计数管广泛地应用于慢中子和快中子强度或通量的测量和监测。

BF₃ 正比计数管是充三氟化硼气体、工作在气体放大正比区的慢中子探测器：

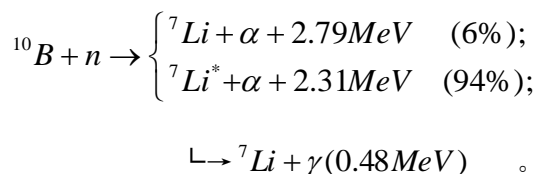
由于 $^{10}\text{B}(n,\alpha)$ 截面随中子能量变化在 $E_n < 30 \text{ keV}$ 时有“速度反比”关系，即

$$\sigma(E) \propto \frac{1}{v} \propto \frac{1}{\sqrt{E_n}}。$$

故 BF₃ 正比计数管是对热中子为主的慢中子灵敏（热中子截面为 3840b）。它所需要的设备简单，测量稳定可靠，能甄别中子和γ射线，附设慢化体后还可以用来探测快中子。例如，用 BF₃ 正比计数管加石蜡或聚乙烯做成的“长计数管”就是一种很常用的快中子通量监测器；这儿“长计数管”是起名于可以在很宽的中子能量范围内对快中子响应灵敏度基本不变。

二、BF₃ 正比计数管探测中子的脉冲幅度谱。

慢中子进入 BF₃ 正比计数管后与 ^{10}B 发生下列反应：



以上反应是放热反应。反应的 Q 值对应于 ^7Li 为基态时（分支比为 6%）为 2.79 MeV，对应于 ^7Li 为激发态时（分支比为 94%）为 2.31 MeV，处于激发态的 ^7Li 原子很快回到基态并放出一个 γ 光子（0.48 MeV）。由于慢中子的动能与反应的 Q 值相比可以忽略，所以 ^7Li 核和 α 粒子在反应中得到的动能总和就是 2.79 MeV（对应于 ^7Li 核基态）或 2.31 MeV（对应于 ^7Li 核激发态）。这一对带电粒子在计数管中引起电离及其正比放大给出一个总的输出脉冲表示记录的一个中子信号。图 8-1 给出了一个典型的 BF₃ 正比计数管输出的脉冲幅度谱。脉冲幅度谱从高到低有峰 A（对应 6%分支），峰 B（对应 94%分支），平台区 C，平台区 D，平坦低谷区 E 和高计数率区 F 构成。C 和 D 是由于核反应发生在计数管近壁区的壁效应所致，E 是由于核反应发生在管子的两端所致。壁效应和端效应统称为边缘效应是由于带电粒子在管中的电离损失能量收集不完全造成的。C、D 平台区的低幅度边起始处（图上由箭头指示）分别对应于在一对带电粒子中只有 α 粒子或 ^7Li 核动能损失引起的电离被收集，贡献给脉冲信号幅度。F 区是由于探测器噪声和γ射线在管内转换成的电子产生的低幅度事件造成的（对于噪声水平高的前级放大器的探测系统，F 区还包含着电子学噪声）；由于一般中子场都有很强的γ辐射场伴随，所以抗γ辐射干扰是中子探测器的主要指标之一，显然 BF₃ 正比计数管用简单的幅度甄别方法可以方便地将γ本底去掉。这是 BF₃ 探测器的突出优点。

三、BF₃ 正比计数管的高压坪曲线和甄别阈曲线

高压坪曲线是探测器计数系统的甄别阈固定时，计数率随高压变化的关系曲线。甄别阈曲线是高压固定时，计数率随甄别阈改变的关系曲线。探测器的脉冲幅度谱决定了甄别阈曲

线及高压坪曲线的形状，如图 8-2 所示。如果幅度分布谱为曲线 I 是单峰脉冲分布，相应的甄别阈曲线和高压坪曲线都将有一段坪区：单峰区和低幅度高计数区之间的低计数区越长，坪越长；此区的计数越少，坪斜越小。如果幅度分布谱为曲线 II 是连续脉冲分布，相应的甄别阈曲线和高压坪曲线都没有坪区。 BF_3 正比计数管的脉冲分布谱决定了它的高压坪曲线和甄别阈曲线的形状。图 8-4 是典型的 BF_3 正比计数管坪曲线。用测量甄别阈曲线和高压坪曲线来选取 BF_3 正比管计数系统的工作状态（甄别阈和高压的值）。 BF_3 正比管的工作高压和甄别阈的选取应保证高压和甄别阈值在一定范围内的漂移对计数率影响不大，故而 BF_3 正比管用于中子强度和通量的监测是可靠的。

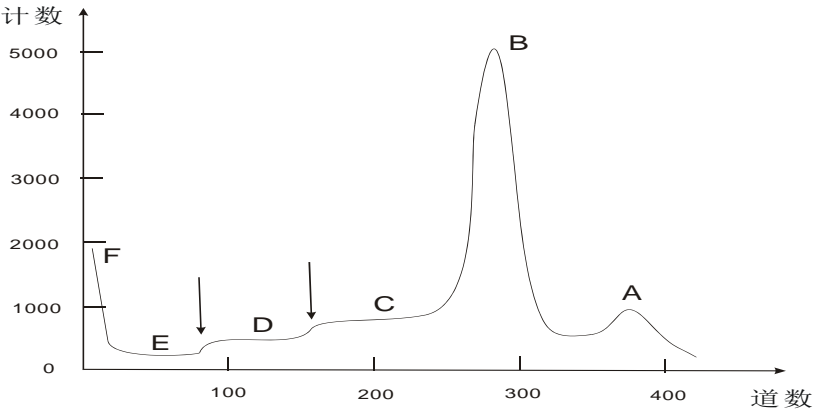


图 8-1 BF_3 正比计数管的脉冲幅度谱

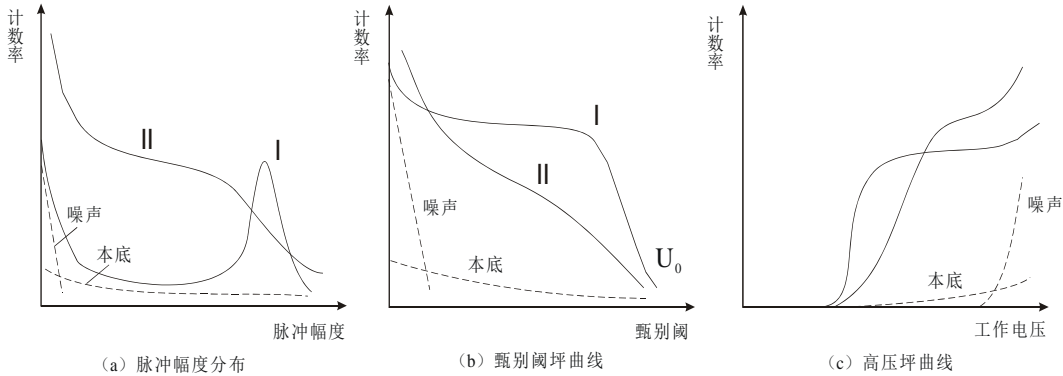


图 8-2 坪曲线与脉冲幅度谱的关系

实验步骤

1. 按图 8-3 检查并连接好探测器计数系统各仪器。注意单道脉冲分析器（SCA）应处于积分状态，作为甄别仪器用。
2. 设定一个单道甄别阈初值，缓慢地将高压从 0V 升至 BF_3 正比管极限工作电压值，记录高压—计数率曲线，观察正比计数管的坪区范围，选择坪区的前 1/3 至 1/2 位置的电压值作为正比计数管的初始工作电压。
3. 选取两个以上不同的高压值，测量两条甄别阈—计数率曲线。从图 8-2 了解如何正确选择工作高压和甄别阈。注意要保证坪区每个测量点上的统计误差应满足坪斜的要求，一般计数达到 10^4 以上。
4. 选取合适的单道甄别阈值，测量正比计数管的高压—计数率曲线，根据图 8-4 确定正比计数管测量慢中子时的工作电压坪长和坪斜；

5. 实验完毕后先降下高压，然后关掉高压及 NIM 机箱电源。

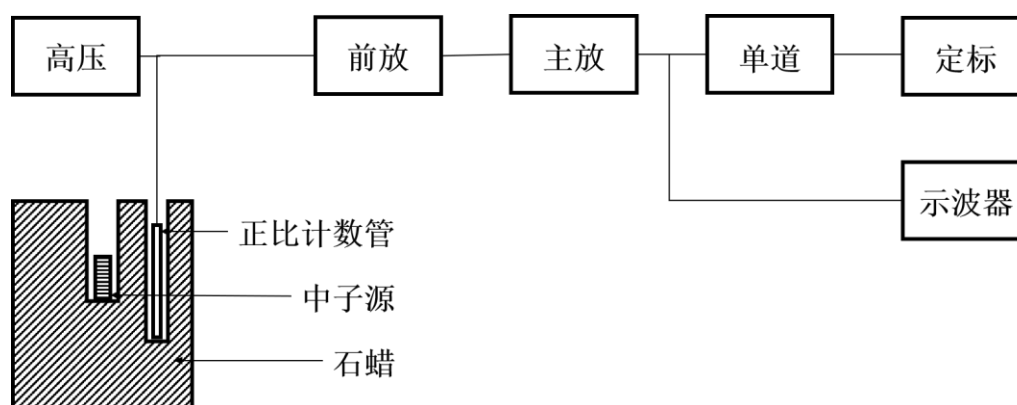


图 8-3 实验装置示意图

实验数据处理及分析讨论

1. 将所测的高压—计数率曲线绘制在一张图上，要给出坪区每个计数点的统计误差。分析不同甄别阈值对高压—计数率曲线的影响，给出其坪长和坪斜。坪斜采用

$$\frac{n_2 - n_1}{\bar{n}} \bigg/ \frac{V_1 - V_2}{100} \quad (\%/ \text{百伏})$$

表示，其中 V_1 、 V_2 是管子坪区的起点和终点电压值， n_1 、

n_2 是相应的计数率， \bar{n} 是 $\frac{n_1 + n_2}{2}$ 或 $\sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N}$ ， N 是坪区测量点数。图 8-4 给出了 BF_3 正

比管坪曲线的实验坪长和坪斜值。

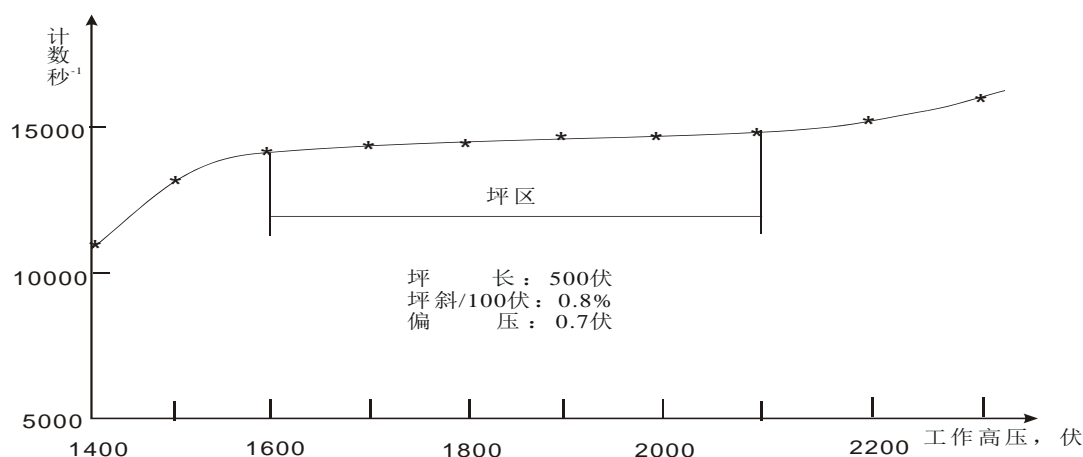


图 8-4 BF_3 正比管高压—计数率坪曲线典型的坪长和坪斜值

2. 将所测的甄别阈—计数率曲线绘制在一张图上，分析不同高压值对曲线的影响。
3. 由上面的结果讨论选择 BF_3 探测器计数系统的甄别阈和高压的原则。
4. 按所记录的 BF_3 正比管的脉冲幅度谱的六个值绘制出 MCA 谱。计算出 2.31 MeV 峰的分辨率。用 A 峰、B 峰和 C、D 平台区起始点箭头处的道址，和这四个位置上相应收集的带电粒子电离损失能量（前两个值是 Q 值，后两个值要由运动学关系从 Q 值计算出来），检验 BF_3 正比管的脉冲幅度谱和收集的带电粒子电离损失能量之间的正比关系。

思考题

1. 什么因素使 BF_3 正比管有这么好的坪长和坪斜？哪些因素影响 2.31 MeV 峰的分辨率？
2. 脉冲幅度谱的能量分辨率和计数系统的甄别阈以及高压坪曲线的坪长有什么内在联系？
3. 计算 30 keV 中子的 $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)$ 截面值，并画出你预期的 30 keV 中子产生的带电粒子脉冲幅度谱，和热中子产生的脉冲幅度谱有多大差别。从而了解 BF_3 正比管的脉冲谱并不是中子能量谱（注意区别中子能量谱和热中子产生的带电粒子脉冲幅度谱）。如要探测快中子， BF_3 计数管要加上石蜡外套，即 BF_3 长计数管。