

研究性实验：月壤

中子计数-月壤含水量关系研究

李梓瑞

2025 年 6 月 25 日

目录

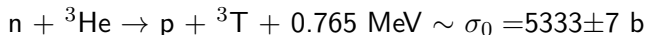
- ① 概述
- ② 实验原理
- ③ 实验设备
- ④ 实验过程
- ⑤ 实验结果与分析
- ⑥ 结论

概述

中子探测技术是远程探测月壤含水量的有效手段。本实验以模拟月壤为研究对象，利用 Am-Be 中子源模拟宇宙射线与月壤作用产生的中子，使用 ^3He 正比计数管探测中子。本次实验我通过分梯度向干燥模拟月壤中添加超纯水，经 24 小时以上测量，获取不同含水量下的中子计数，建立中子计数-含水量关系曲线。

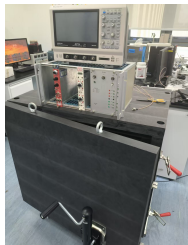
实验原理

- ① **中子源模拟**：将 Am-Be 中子源埋入模拟月壤，模拟宇宙射线与月壤作用产生中子
- ② **中子慢化**：含水量变化影响中子慢化效果，进而影响探测器的计数率
- ③ **探测原理**：采用 ${}^3\text{He}(n, p)$ 核反应探测中子，反应式为：



实验设备

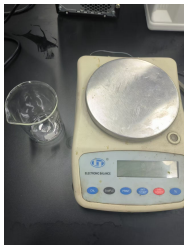
- ^3He 正比计数管（工作电压为 1608 V）
- CAEN MOD A1422（前置放大器）
- 掺硼聚乙烯屏蔽室
- POS 高压电源和低压电源
- SIGLENT SDS3104（示波器）
- 测量工具，包括：数字天平、滴管、250 mL 烧杯和 500 mL 烧杯各一个
- 样品处理设备，包括：舒活泉实验室超纯水机，HOC-ZH45B 真空烘箱



(a) 从上到下：示波器，高压，屏蔽室



(b) 超纯水机



(c) 烧杯，数字天平



(d) 真空烘箱

图：实验设备

中子区域刻度

- ① 将探测器屏蔽后放置在中子源旁累计计数，获取能谱
- ② ^3He 正比计数管中全能峰对应能量 765 keV，中子反应后最小能量 191 keV，进而定出中子范围
- ③ 也可以通过信号形状大致判断

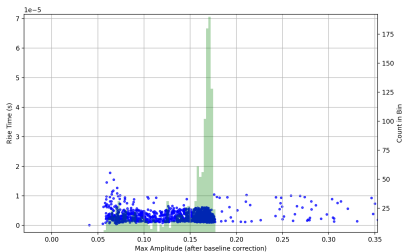


图: 中子能谱

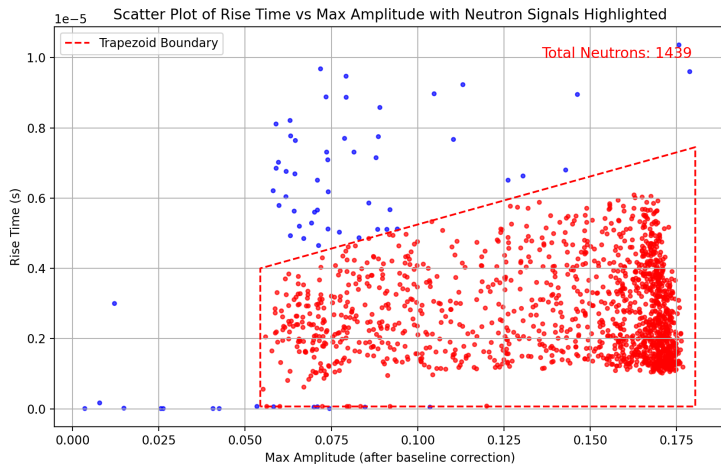
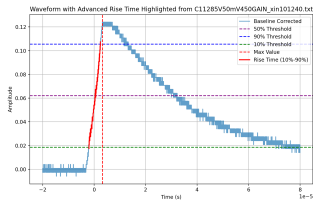
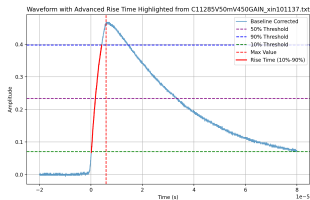
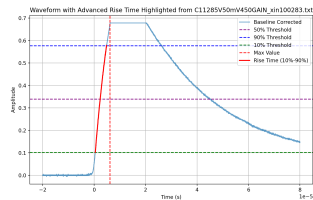
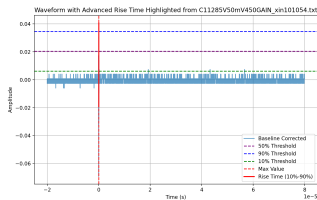


图: 中子区域刻度



(a) 中子

(b) α 粒子(c) μ 子

(d) 微放电

图: 不同信号的波形图

测量过程

① 样品制备：

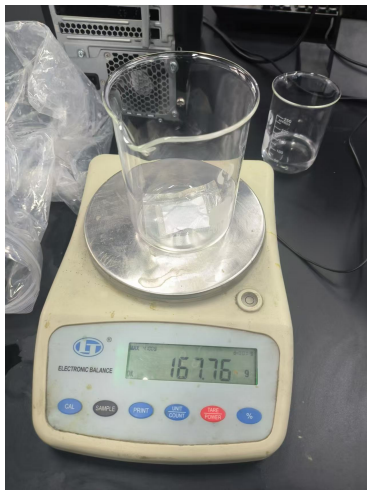
- 干燥模拟月壤（真空烘箱）
- 初始质量测量：烧杯和中子源 167.76 g，模拟月壤 265.52 g

② 加水测量：

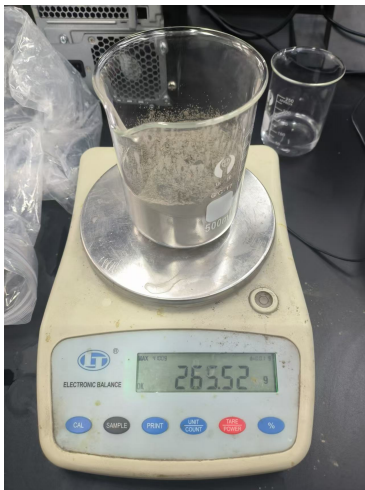
- 分 6 次添加超纯水，每次尽量控制加水质量占月壤总质量的 1% 左右
- 加水后包紧保鲜膜防止蒸发，放入屏蔽室测量

③ 测量条件：

- 每次测量时间 >24 小时
- 测量前后称重保证水分蒸发不多，否则需要重新测量



(a) 烧杯加中子源



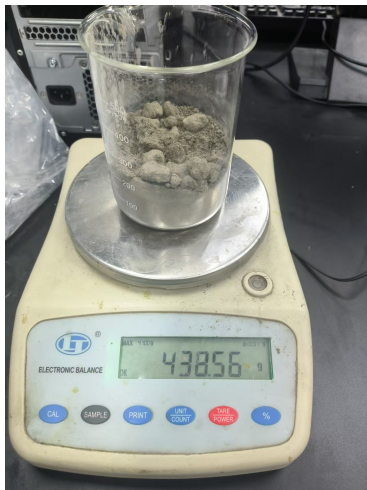
(b) 模拟月壤

图: 初始质量

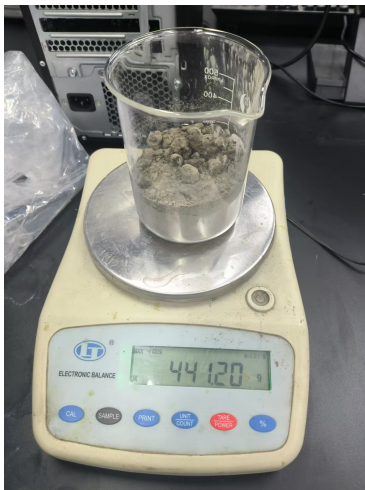
加水质量与质量分数

表: 每次加入水的质量

次数	1	2	3	4	5	6
水的质量/g	0	2.69	5.28	7.92	13.21	15.81
水的质量分数/%	0	1.01	1.99	2.98	4.98	5.95



(a) 第 3 次



(b) 第 4 次

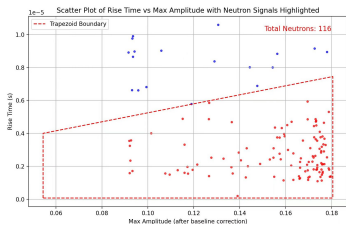
图: 加水后的质量

数据处理

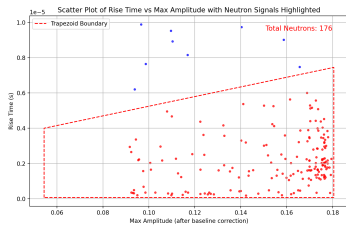
- **基线修正**：取每个波形前 100 个点作为基线平均值，抵消基线抖动影响
- **计数统计**：基于前面做出的中子刻度图，根据上升时间和振幅统计有效中子计数

表: 每次加入水的质量

次数	1	2	3	4	5	6
水的质量/g	0	2.69	5.28	7.92	13.21	15.81
中子计数	116	124	142	156	159	176



(a) 第 1 次

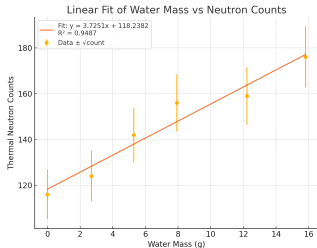


(b) 第 6 次

图: 中子计数图

中子计数-含水量关系曲线

根据数据做线性拟合：



图：中子计数-含水量关系曲线

- 拟合方程： $y = 3.7251x + 118.2382$, $R^2 = 0.9487$
- 物理意义：在实验含水量范围内，中子计数与含水量关系近似为线性关系，呈正相关

实验结论



- ① 本实验使用 Am-Be 中子源、模拟月壤、超纯水等物品进行多次实验，测量得到了不同含水量下的中子计数
- ② 成功建立了模拟月壤的中子计数-含水量关系曲线：

$$y = 3.7251x + 118.2382, \quad R^2 = 0.9487 \quad (1)$$

在低含水量区间内中子计数与含水量呈线性关系

- ③ 实验结果为月球卫星遥感探测真实月壤含水量提供了参考标准

参考文献 I

-  [1] 孙保华, 周小鹏, 孙艳梅. 核与粒子探测实验 [M]. 2025.
-  [2] 陈朝敏, 冯虹瑞, 田跃强, 等. 关于模拟月壤中中子与其水分含量的关系 [Z]. 2024.