

灰尘沉降实验

赵洁, 崔晨阳, 王楠, 李院霞

2024-5

实验背景

- JUNO是国际上重要的地下低本底实验，需要对安装期间的引入本底水平进行评估
- JUNO实验大厅洁净环境指标为Class 10 000 - 100 000
- 本实验旨在建立洁净度水平和U/Th沉降率的定量关系
- 实验结果具有一般性，对其他低本底实验也有参考意义

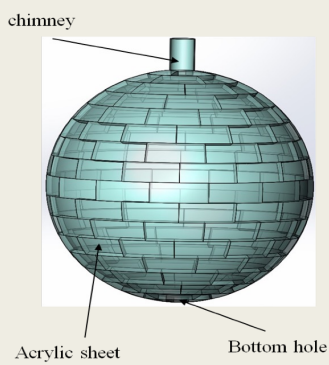
实验方法

■ 实验装置：



模拟柱形

20mL PFA vessel
D=29mm, H=50mm
Total: 59 cm²



模拟球形

500mL PFA flask
Sphere: 390 cm²
Neck: 15% of sphere



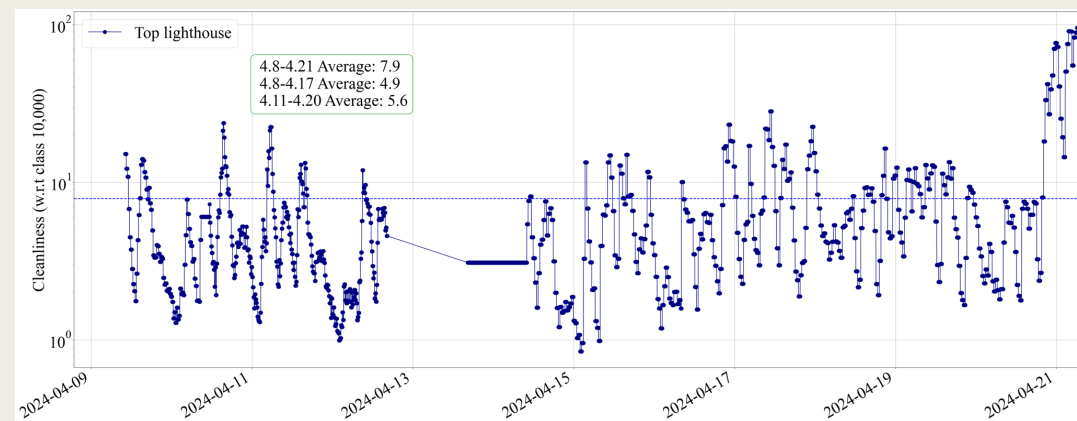
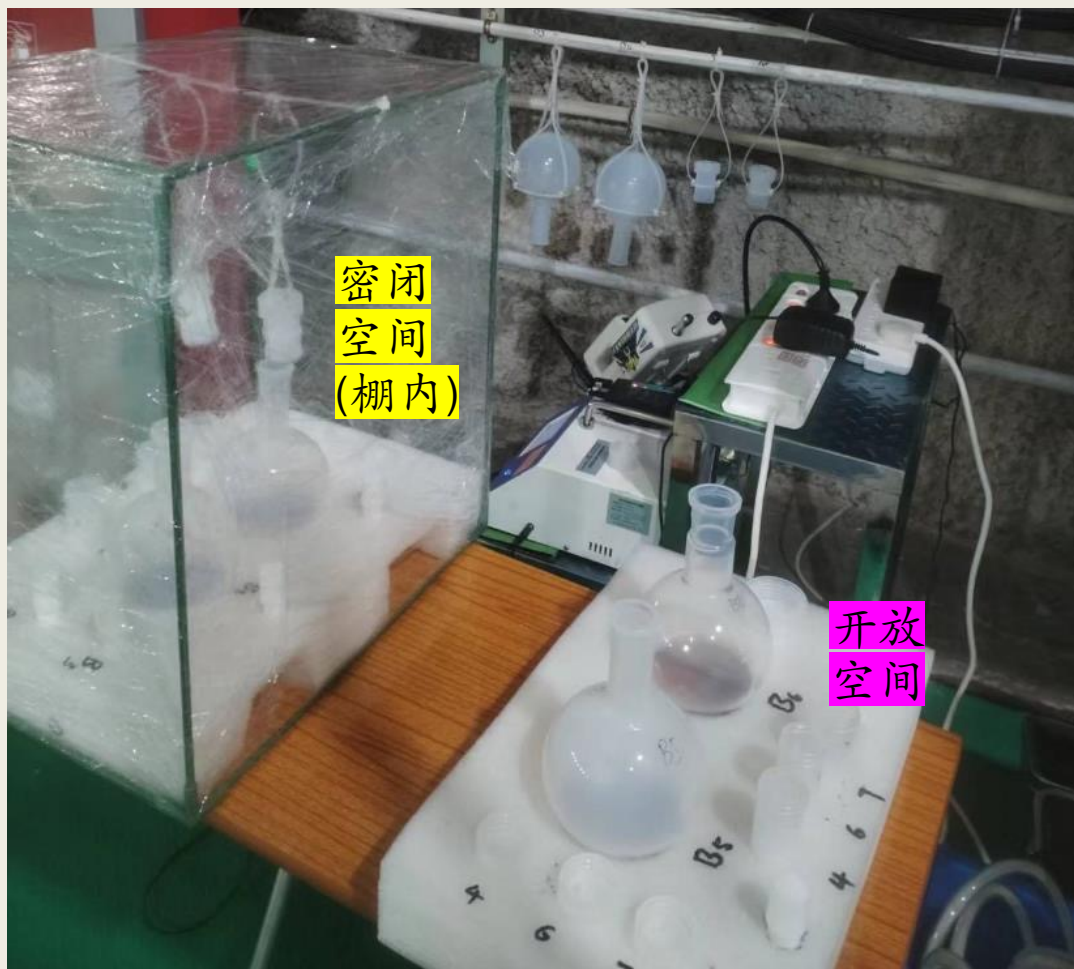
U/Th测量装置：
等离子体质谱仪 (ICP-MS)

■ 实验流程：空白处理→暴露取样→样品前处理→ICP-MS

其中空白处理和样品前处理操作一致，用于样品本底扣除

暴露取样

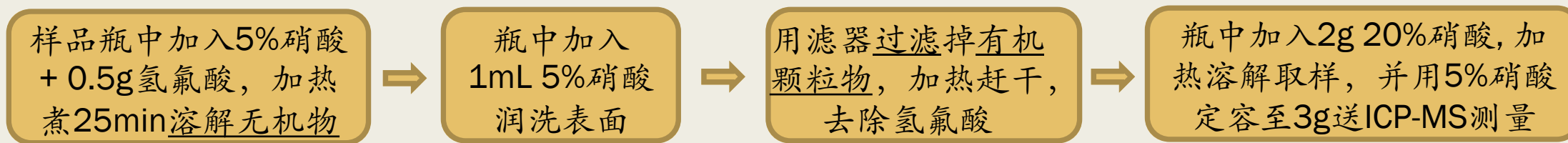
空白处理 → 暴露取样 → 样品前处理 → ICP-MS



暴露样品在同一位置，分为密闭空间和开放空间，取样方向为向上和向下
同时对环境洁净度水平持续监测

样品前处理

空白处理→暴露取样→样品前处理→ICP-MS

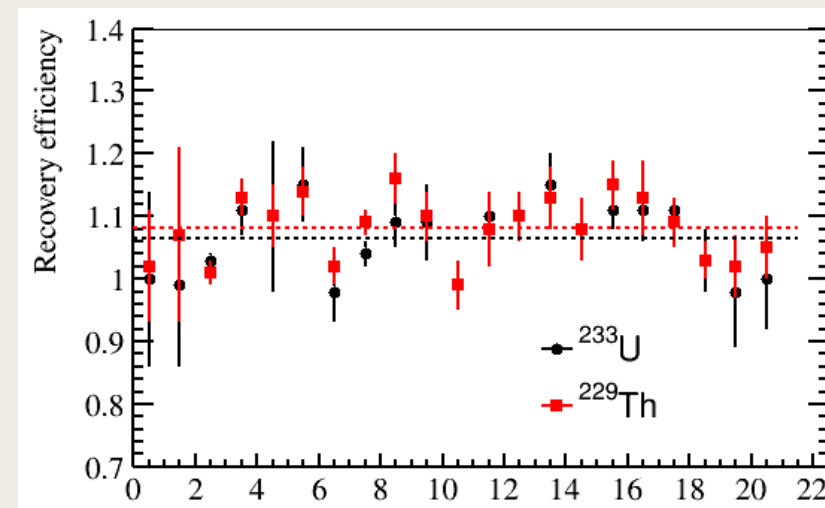


■ 回收率

- 方法: 前处理过程加入天然不存在的 $^{233}\text{U}/^{229}\text{Th}$
- 结果: ~100%

■ 过滤效率

- 方法: 对比铂金坩埚直接灰化测量结果
- 结果: 误差范围内一致，故采用过滤方法去除有机玻璃粉尘，提高检测效率



空白测量和检出上限MDL

■ 空白实验

- **方法:** 和样品一样的前处理过程，只是不加入样品

■ 检出限 (MDL)

- **定义:** [Definition and Procedure for the Determination of the Method Detection Limit, Revision 2; December 2016 \(epa.gov\)](#)

Sampling mode		20mL PFA vessel	500mL PFA flask
Surface [cm ²]		59	390
Parallels		12	8
U238 [pg]	avg±RMS	0.16±0.11	0.26±0.10
	MDL @ 99%C.L.	0.5	0.6
Th232 [pg]	avg±RMS	0.17±0.12	0.47±0.19
	MDL @ 99%C.L.	0.5	1.0

对于每个样品，会对应扣除相应取样品的空白结果

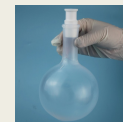
实验结果

@ 99% C.L.



20mL PFA			U238 (pg)	Th232 (pg)	AVG±RMS (pg)
棚内	9d	1	<0.5	<0.5	U: <0.5 Th: <0.5
	↓	2	<0.5	<0.5	
	13d	1	<0.5	<0.5	U: <0.5 Th: <0.5
		↑	2	<0.5	
棚外	9d	1	34±1	48±1	U: 36±3 Th: 48±1
		↓	2	37±3	
	13d	1	2.9±0.1	3.1±0.1	U: 2.5±0.6 Th: 2.3±1.0
		↑	2	2.1±0.1	
密封	16d	1	<0.5	<0.5	U: <0.5 Th: <0.5
		2	<0.5	<0.5	

@ 99% C.L.




500mL PFA			U238 (pg)	Th232 (pg)	AVG±RMS (pg)
棚内	9d	1	<0.6	<1.0	U: <0.6 Th: <1.0
	↓	2	<0.6	<1.0	
棚外	9d	1	13±2	15±1	U: 24±15 Th: 27±17
		↓	2	34±2	
	13d	1	1.2±0.1	<1.0	U: 1.1±0.1 Th: <1.0
		↑	2	1.0±0.1	
密封	16d	1	<0.6	<1.0	U: 0.7±0.3 Th: <1.0
		2	0.9±0.1	<1.0	

- 只有开放空间的样品可以达到检出上限

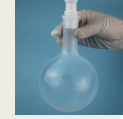
实验结果

@ 99% C.L.



20mL PFA			U238 (pg)	Th232 (pg)	AVG±RMS (pg)
棚内	9d	1	<0.5	<0.5	U: <0.5 Th: <0.5
	↓	2	<0.5	<0.5	
	13d	1	<0.5	<0.5	U: <0.5 Th: <0.5
	↑	2	<0.5	<0.5	
棚外	9d	1	34±1	48±1	U: 36±3 Th: 48±1
		↓	2	37±3	
	13d	1	2.9±0.1	3.1±0.1	U: 2.5±0.6 Th: 2.3±1.0
		↑	2	2.1±0.1	
密封	16d	1	<0.5	<0.5	U: <0.5 Th: <0.5
		2	<0.5	<0.5	

@ 99% C.L.



500mL PFA			U238 (pg)	Th232 (pg)	AVG±RMS (pg)
棚内	9d	1	<0.6	<1.0	U: <0.6 Th: <1.0
	↓	2	<0.6	<1.0	
棚外	9d	1	13±2	15±1	U: 24±15 Th: 27±17
		↓	2	34±2	
	13d	1	1.2±0.1	<1.0	U: 1.1±0.1 Th: <1.0
		↑	2	1.0±0.1	
密封	16d	1	<0.6	<1.0	U: 0.7±0.3 Th: <1.0
		2	0.9±0.1	<1.0	

- 只有开放空间的样品可以达到检出上限

实验结论

		Exposure (days)	Cleanliness (X 10,000)	Fallout rate @ class 10,000 (pg/d/m ²)	
				U238	Th232
20mL PFA vessel (cylinder)	w/o air flow	9-15	3-6	<3.1	<3.3
	w/ air flow ↓	9	5	136±12	183±5
	w/ air flow ↑	13	6	6±1	5±2
500mL PFA flask (sphere)	w/o air flow	9-15	3-8	<0.6	<1.0
	w/ air flow ↓	9	5	14±9	16±10
	w/ air flow ↑	13	6	<0.4	<0.4



The cleanliness is monitored by Lighthouse Handheld 3016

1. 开口向上的容器沉降率是开口向下容器的30-40倍
2. 球形容器沉降率比柱形低一个量级
3. 空气流动会造成沉降率增加50-60倍

实验结论

		Exposure (days)	Cleanliness (X 10,000)	Fallout rate @ class 10,000 (pg/d/m ²)	
				U238	Th232
20mL PFA vessel (cylinder)	w/o air flow	9-15	3-6	<3.1	<3.3
	w/ air flow ↓	9	5	136±12	183±5
	w/ air flow ↑	13	6	6±1	5±2
500mL PFA flask (sphere)	w/o air flow	9-15	3-8	<0.6	<1.0
	w/ air flow ↓	9	5	14±9	16±10
	w/ air flow ↑	13	6	<0.4	<0.4



The cleanliness is monitored by Lighthouse Handheld 3016

1. 开口向上的容器沉降率是开口向下容器的30-40倍
2. 球形容器沉降率比柱形低一个量级
3. 空气流动会造成沉降率增加50-60倍

总结与展望

■ 实验结论

- 此实验量化了灰尘沉降率与洁净度等级之间的关系
- 圆柱形容器的沉降率是球形容器的10倍左右
- 开口向上的沉降率是向下的30-40倍
- 空气流动有利于灰尘降落

■ 下一步计划:

- 其他典型的工况下进一步验证沉降率是否线性
- 准备一些片状取样片以相互验证

■ 展望

- 取样方式和样品前处理方法具有普适性，可用于其他实验
- 可以通过此实验评估暴露时间与环境

