

# 年度绩效考核报告

2023.11-2024.11

赵洁

实验物理中心 中微子一组

2024年11月21日

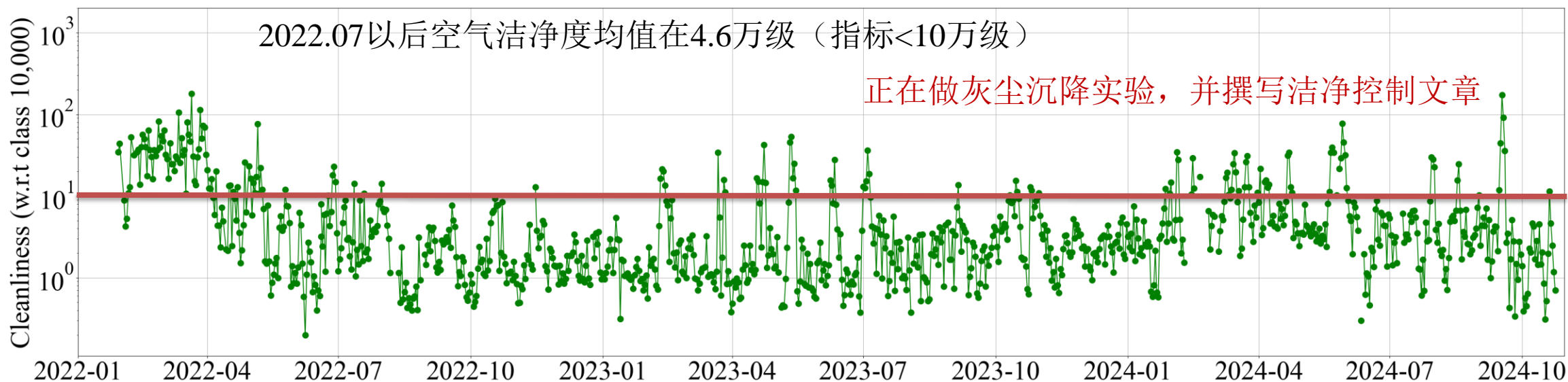
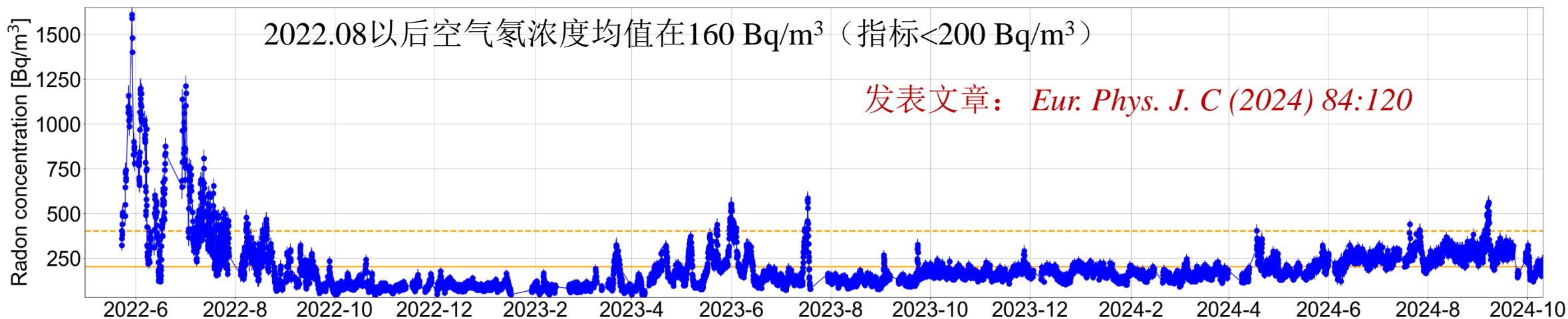
# 岗位工作内容



受聘课题组	实验物理中心中微子一组
研究方向	中微子物理及低本底探测技术
<b>本人主要工作内容</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● 江门中微子实验：低本底控制</li><li>● 中微子物理：太阳中微子、无中微子双贝塔衰变</li></ul>	
<b>江门实验合作组中任职</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Low Background Task coordinator</li></ul>	

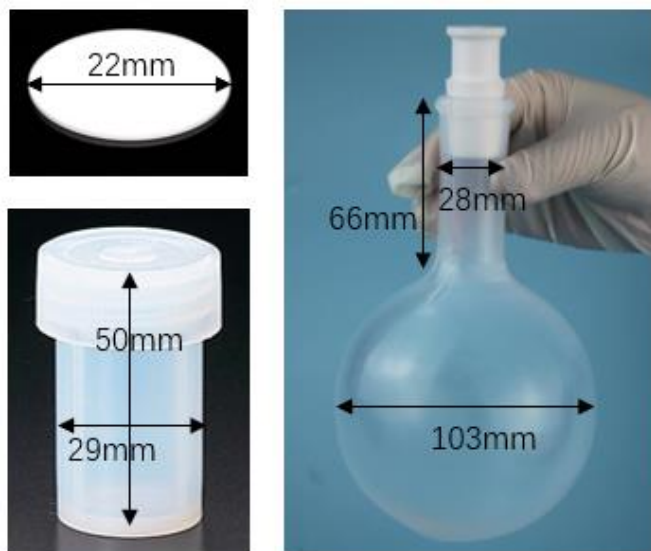
# JUNO地下实验室洁净度和氡

数据采集分析: 崔晨阳  
仪器现场维护: 王健



# JUNO地下大厅内灰尘沉降实验

样品现场采集：崔晨阳



## 实验设计:

- ✓ 用三种不同种类容器，放置在JUNO大厅内不同位置（洁净度）、不同朝向看空气污染落在容器表面的U/Th含量

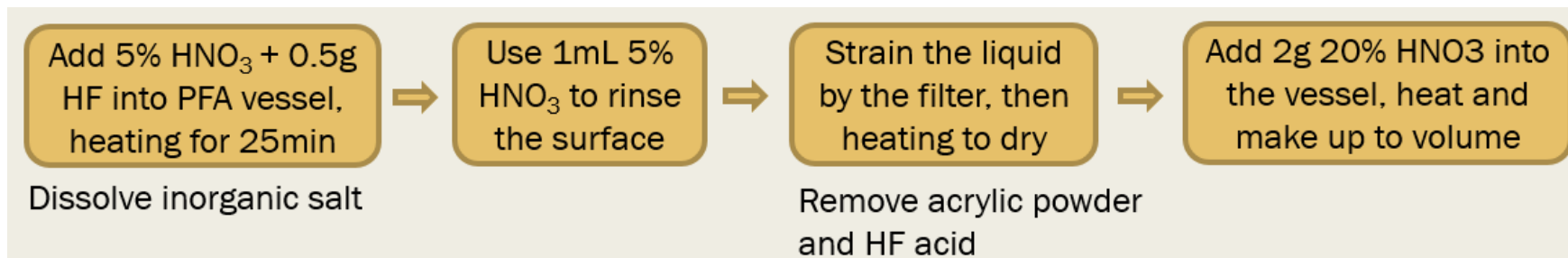
## 目的:

- ✓ 用以评估安装暴露过程中探测器上沉积的U/Th含量，并可应用到其他低本底实验中

之前JUNO的评估：参考DYB两个不同暴露时间的AD中看到的实验数据，包含生产、运输、清洁等复杂因素，结果偏保守



## 样品前处理方法



## 空白&检出限(MDL)

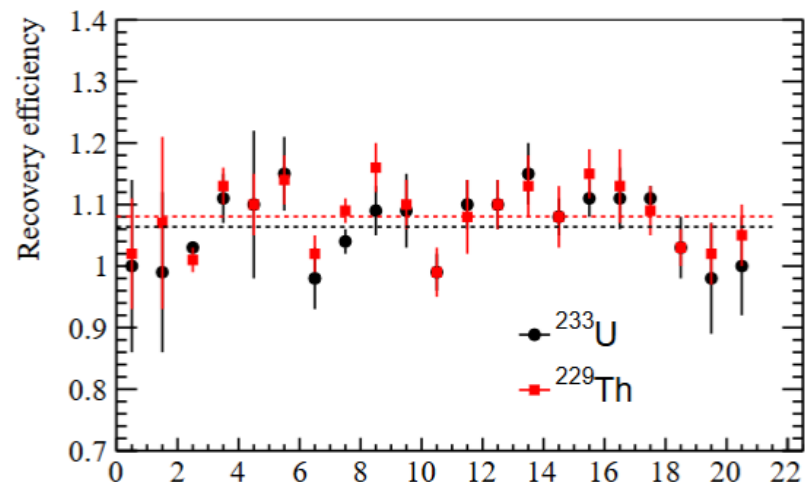
✓ 反应处理过程外在污染水平, 影响检出限

Vessel	Pre-treatment	Parallels	<sup>238</sup> U [pg]			<sup>232</sup> Th [pg]		
			$\bar{X}$	SD	MDL	$\bar{X}$	SD	MDL
23 mL PFA bottle	acid heating+filter	24	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1	0.4
500 mL PFA flask	acid heating+filter	16	0.3	0.1	0.6	0.5	0.2	0.9
Pt beaker	acid heating+ashing	9	0.4	0.3	1.3	0.6	0.3	1.6
PTFE plate (6 pieces)	acid heating+filter	10	0.8	0.4	2.0	1.1	0.7	3.0
Acrylic plate (6 pieces)	acid soaking+filter	8	1.5	0.6	3.3	2.2	1.7	7.3

TABLE II. Blank results for different treatments.

## U/Th回收率: ~100%

✓ 反应处理过程U/Th的损失



# JUNO地下大厅内灰尘沉降实验



## U/Th沉降率

- ✓ 平面朝上比朝下、侧面情况高3-6倍
- ✓ 同样孔径的圆柱形容容器比球形烧瓶容器高30-50倍
- ✓ PTFE比有机玻璃吸附能力高3-6倍
- ✓ 开放空间比密闭空间高2个数量级

## 厅内不同位置U/Th沉降情况

- ✓ 安装间和PMT夹层结果类似，但颗粒度低2倍，有机玻璃粉有干扰
- ✓ 池顶比PMT夹层暴露时间少40%，但沉降U/Th量近似倍，怀疑沉降率随时间是否线性变化

## 下一步实验

- ✓ 同样环境暴露不同时间，检查沉降率
- ✓ 球形烧瓶不同瓶口高度对沉降率的影响
- ✓ 前处理过程加HF和不加HF的对比

Exposed in installation room	Space	Direction	Exposure (days)	Cleanliness (X 10,000)	Fallout rate @ class 10,000 (pg/d/m <sup>2</sup> )	
					U238	Th232
20mL PFA vessel (cylinder)	Close	↓	21	4.6	<0.66	<0.78
		↑	14	4.5	77 ± 17	74 ± 2
	Open	↓	21	4.6	6 ± 3	4 ± 1
500mL PFA flask (sphere)	Close	↓	21	4.6	<0.16	<0.23
		↑	14	4.5	6.7 ± 0.2	7.5 ± 0.1
	Open	↓	21	4.6	0.39 ± 0.03	0.26 ± 0.04
PTFE plate	Open	↓	11.6	4.4	369 ± 53	425 ± 15
		↑			90 ± 39	115 ± 78
		+			92 ± 22	84 ± 6
Acrylic plate	Open	↓	11.6	4.4	265 ± 100	411 ± 202
		↑			6 ± 1	21 ± 19
		+			36 ± 14	22 ± 2

Upwards		Exposure (days)	Cleanliness (X 10,000)	Fallout (pg)		Fallout rate (pg/d/m <sup>2</sup> )		Fallout rate @ class 10,000 (pg/d/m <sup>2</sup> )	
				U238	Th232	U238	Th232	U238	Th232
20mL PFA vessel (cylinder)	Top hall	8.7	4.8	35 ± 3	47 ± 1	691 ± 60	926 ± 26	144 ± 13	193 ± 5
	Inter-layer	14.6	13	34 ± 1	38 ± 6	397 ± 72	445 ± 71	30.5 ± 0.8	34 ± 6
	Install room	14	4.5	29 ± 6	27 ± 1	348 ± 76	333 ± 10	77 ± 17	74 ± 2
500mL PFA flask (sphere)	Top hall	8.7	4.8	24 ± 15	27 ± 17	69 ± 44	80 ± 50	13 ± 8	15 ± 9
	Inter-layer	14.6	13	20 ± 6	19 ± 11	34 ± 11	34 ± 19	2.6 ± 0.8	2.6 ± 1.5
	Install room	14	4.5	17 ± 1	18.5 ± 0.2	30.3 ± 0.9	33.8 ± 0.4	6.7 ± 0.2	7.5 ± 0.1

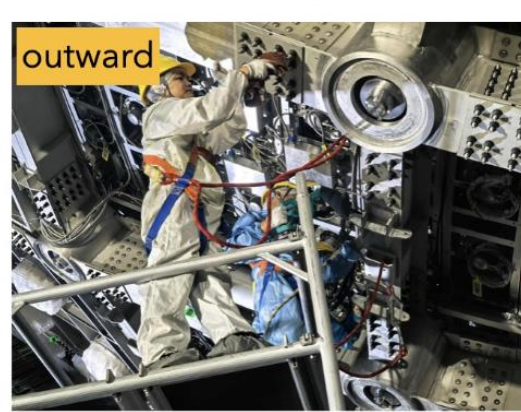
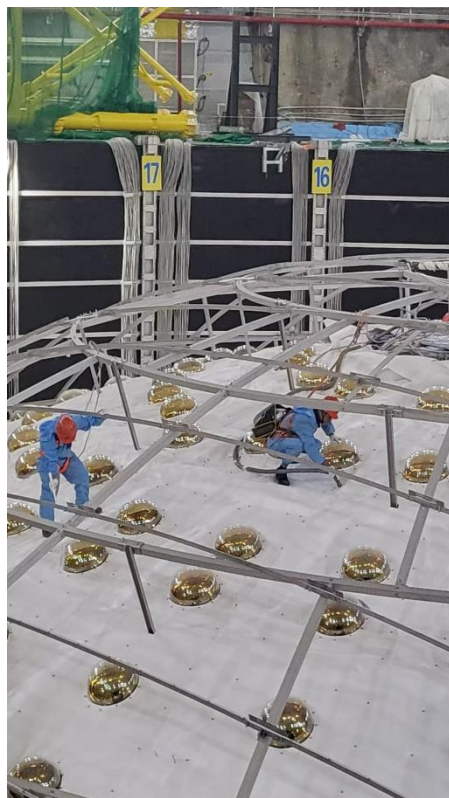
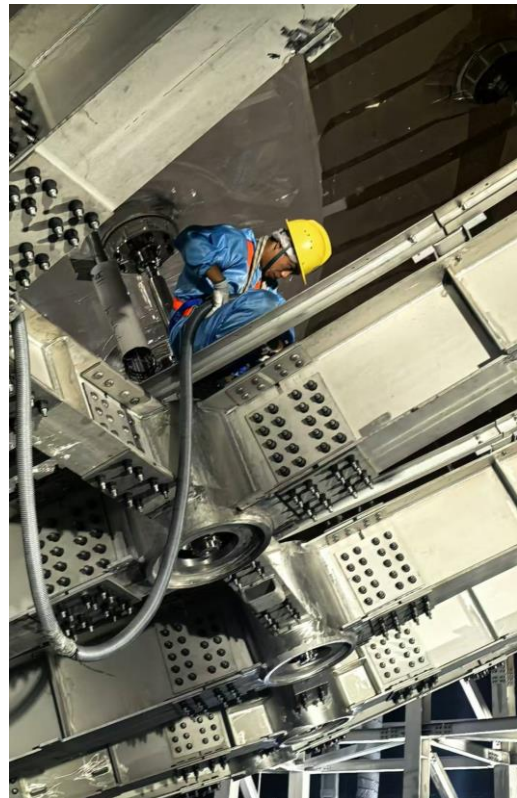
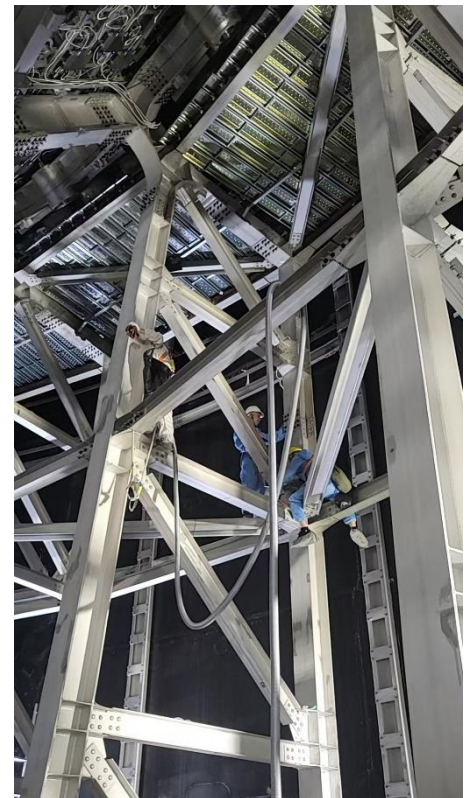
DYB model (假设万级环境): U: 1400 pg/m<sup>2</sup>/d, Th: 4200 pg/m<sup>2</sup>/d

# JUNO探测器收尾清洁

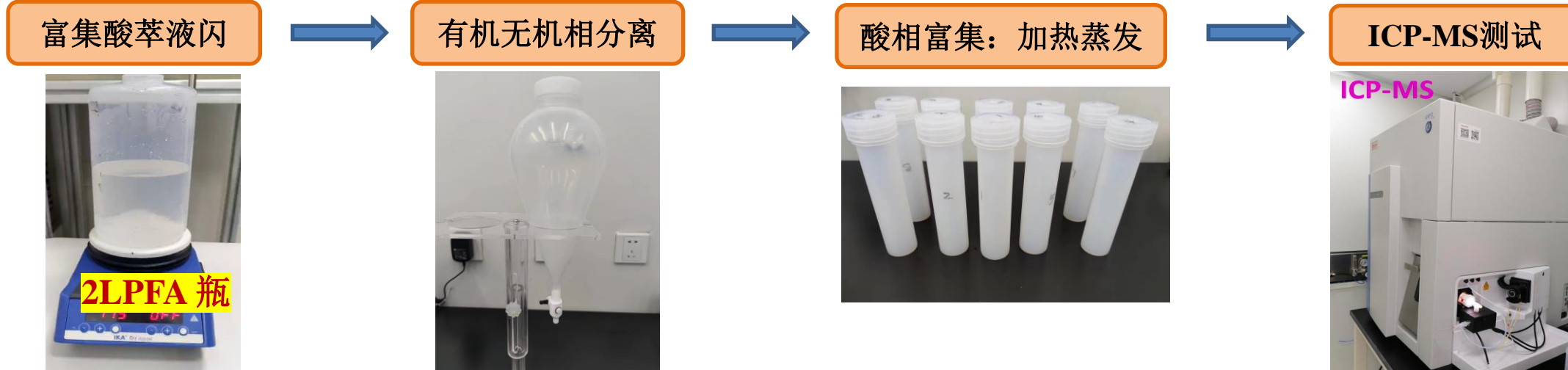
现场实施人：赵洁、崔晨阳、余鸿钊



装到哪儿清到哪儿！



## 样品前处理方法



## 空白&检出限(MDL)

✓ 反应处理过程外在污染水平，影响检出限

	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th
$\bar{X}$ [pg]	0.41	0.32
$S_b$ [pg]	0.07	0.06
$MDL_b$ [pg]	0.61	0.49
<b>MDL for 2kg LS [ppq]</b>	<b>0.30</b>	<b>0.24</b>

## U/Th回收率：~100%

✓ 反应处理过程U/Th的损失

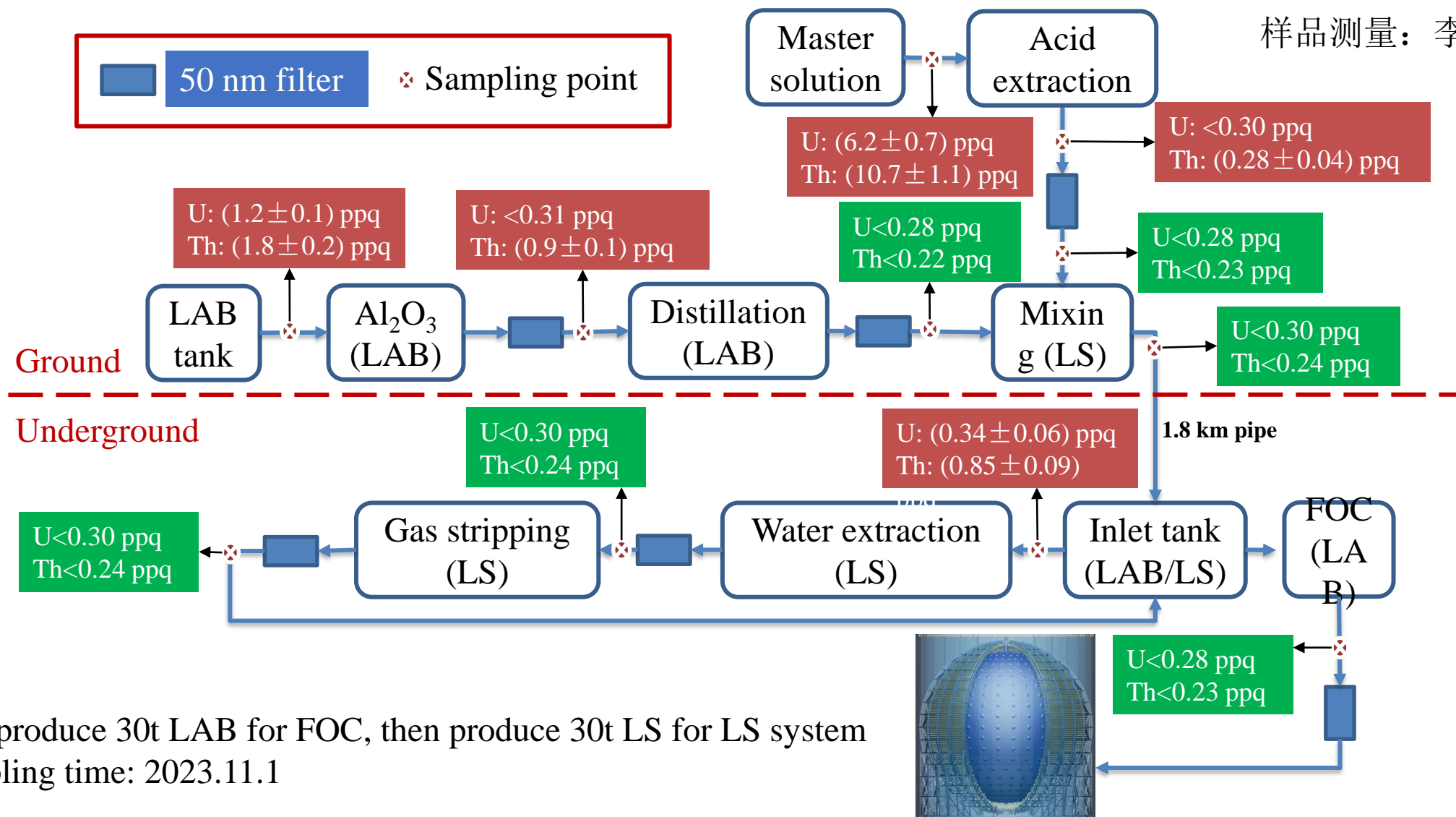
Test method	Measurement method	Target concentration	Recovery efficiency
1 (only extraction)	Loading <sup>220</sup> Rn- <sup>212</sup> Pb in LS Measuring Bi-Po before and after extraction	10 <sup>-17</sup> g/g of Pb	98.2% ± 0.3% (stat) ± 2% (sys)
2 (process except extraction)	Add <sup>229</sup> Th/ <sup>233</sup> U tracers in extraction stage	10 <sup>-16</sup> g/g <sup>229</sup> Th/ <sup>233</sup> U	106% ± 10% (stat) ± 3% (sys)
3 (full process)	Add PPO in LAB (100g/L) Th/U in PPO (0.1/0.07ppt, 0.2/0.1ppt)	10 <sup>-14</sup> /10 <sup>-15</sup> g/g Th/U	~95%
4 (full process)	Add PPO in LAB (2.5g/L) Th/U in PPO about 0.1/0.2ppt	10 <sup>-16</sup> g/g Th/U	106% ± 31% / 123% ± 43%



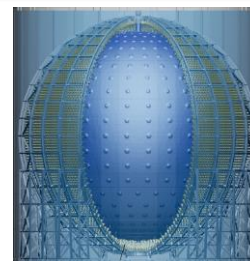
# 液闪质检—2023.11 LS system commissioning



样品测量: 李院霞

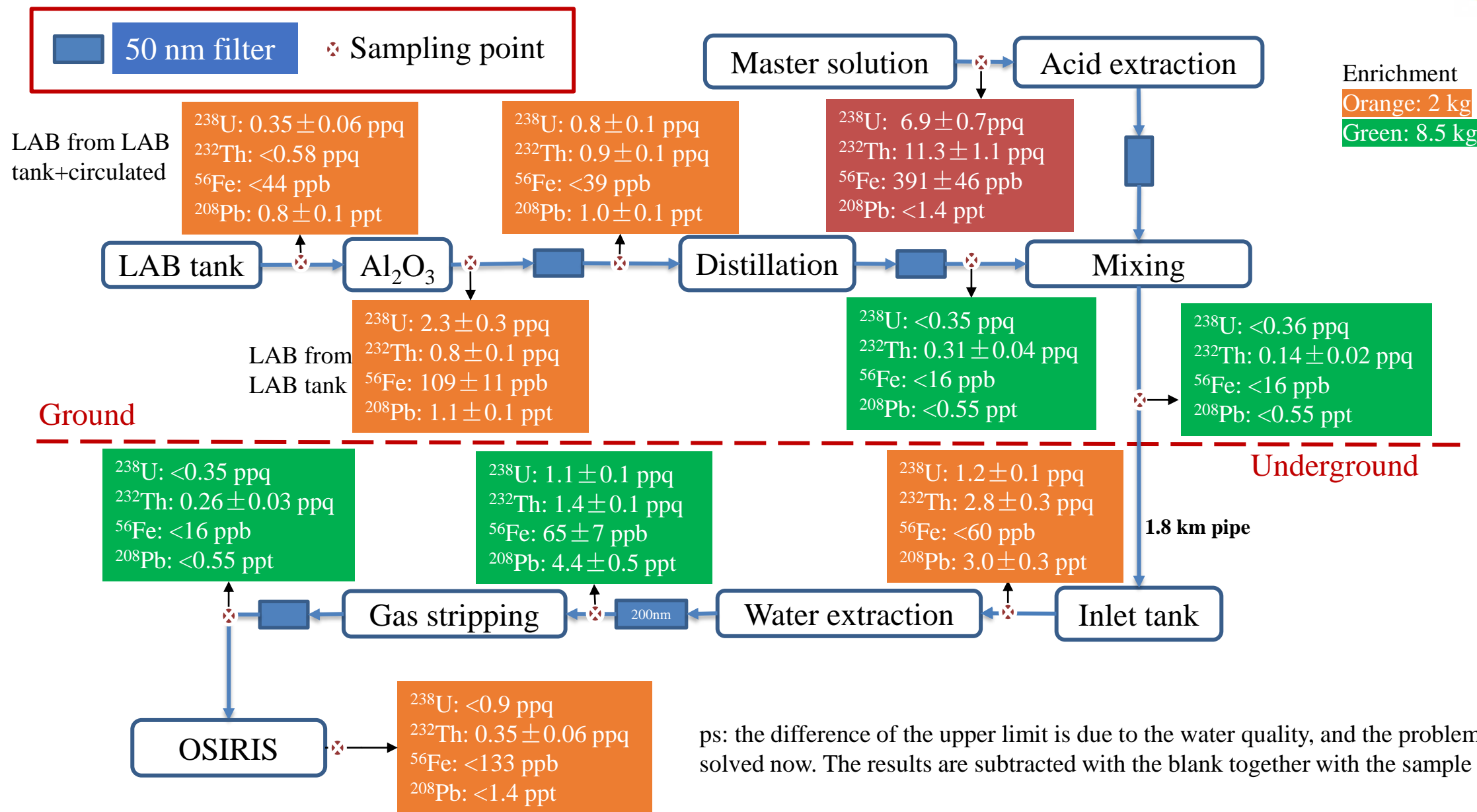


First produce 30t LAB for FOC, then produce 30t LS for LS system  
 Sampling time: 2023.11.1



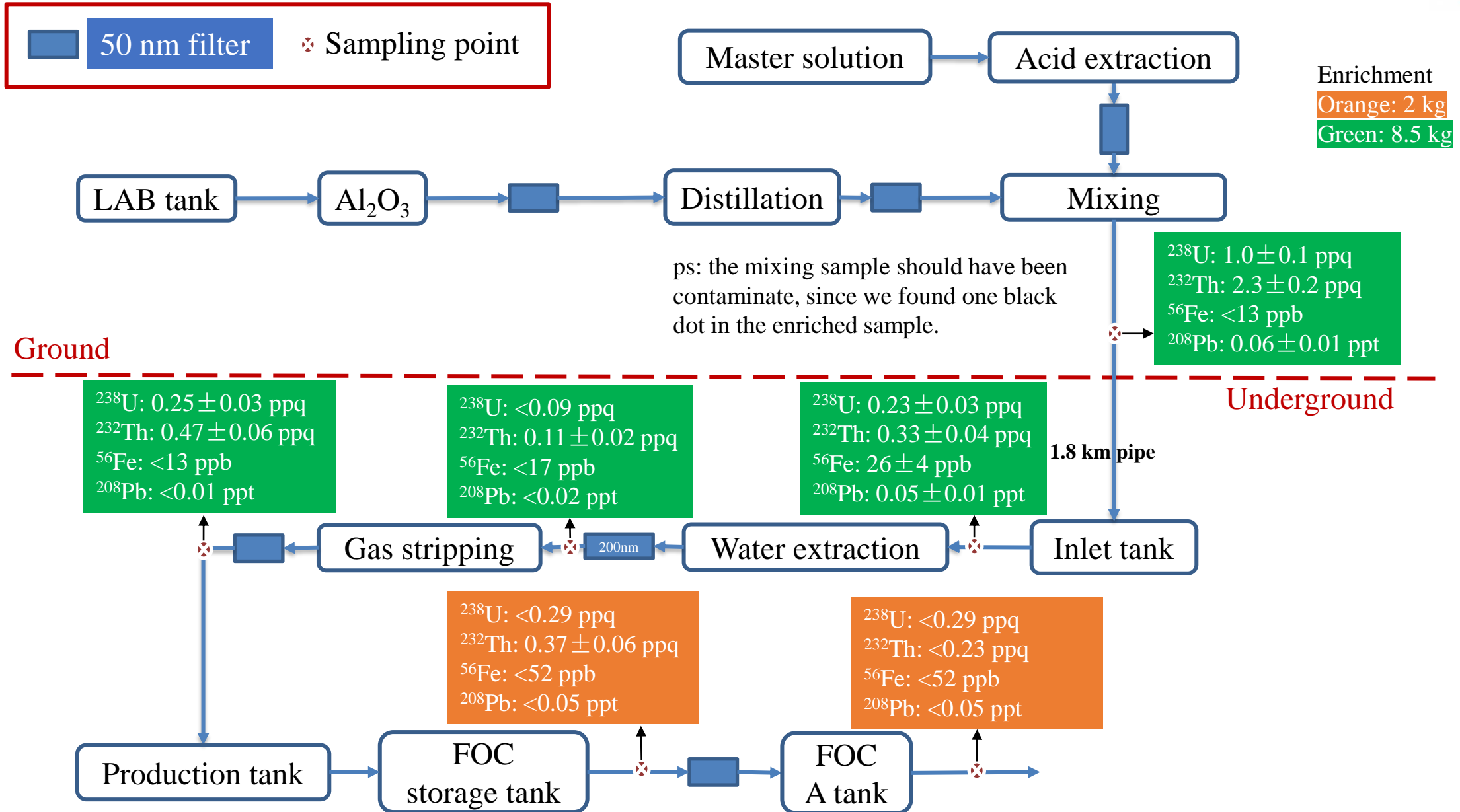
# 液闪质检—2024.7 LS system commissioning

样品测量: 李院霞, 王楠



# 液闪质检—2024.7 LS system commissioning

样品测量: 李院霞, 王楠

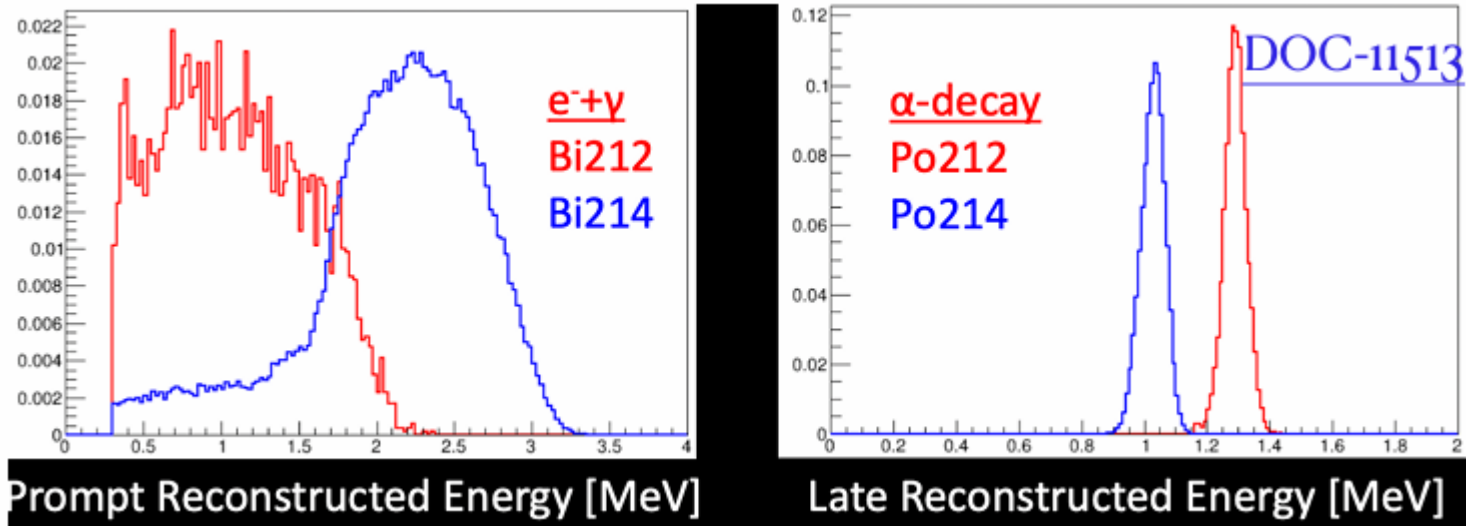


# 灌装初期U/Th测量灵敏度



模拟：崔晨阳

## U/Th → Bi-Po级联衰变



Mass	Cut	Signal Efficiency		Entries(1day)	
		U	Th	Bi/Po214	Bi/Po212
50t	Readout window	98.13%	10.37%	51.1	1.6
	energy +time	70.4%	27.4%	36.0	0.44
	+relative distance	99.1%	98.4%	35.7	0.43
	+FV(17.3m)	85.1%	87.1%	30.4	0.37
100t	Readout window	98.42%	9.51%	103.7	2.95
	energy +time	71.68%	33.2%	74.3	0.98
	+relative distance	98.7%	1	73.4	0.98
	+FV(17.3m)	91.3%	97.1%	67.01	0.95
1000t	Readout window	98.57%	9.96%	548.1	16.3
	energy+time	82.42%	34.8%	451.7	5.7
	+relative distance	98.9%	1	446.9	5.7
	+FV(17.3m)	91.2%	97.4%	407.7	5.5

✓ 灌装过程漏氦实时预警，低质量(高U/Th)液闪预警

✓ BiPo事例鉴别算法已融合进入JUNO OEC框架，正在建立基于真实数据的离线数据分析框架

• No Rn contamination

1day, 90%CL	U MDL [g/g]	Th MDL [g/g]
50t	7.4E-17	6.6E-15
100t	2.96E-17	2.6E-15
1000t	5.6E-18	2.3E-16

• Has Rn contamination

1day, 90%CL	U MDL [g/g]	Th MDL [g/g]	Add in-window Eff
50t	1.5E-15	6.1E-15	2.0E-16
100t	1.0E-15	2.8E-15	9.6E-17
1000t	2.3E-16	6.8E-16	1.4E-17

# 太阳中微子产生子的优化

软件&模拟：崔晨阳

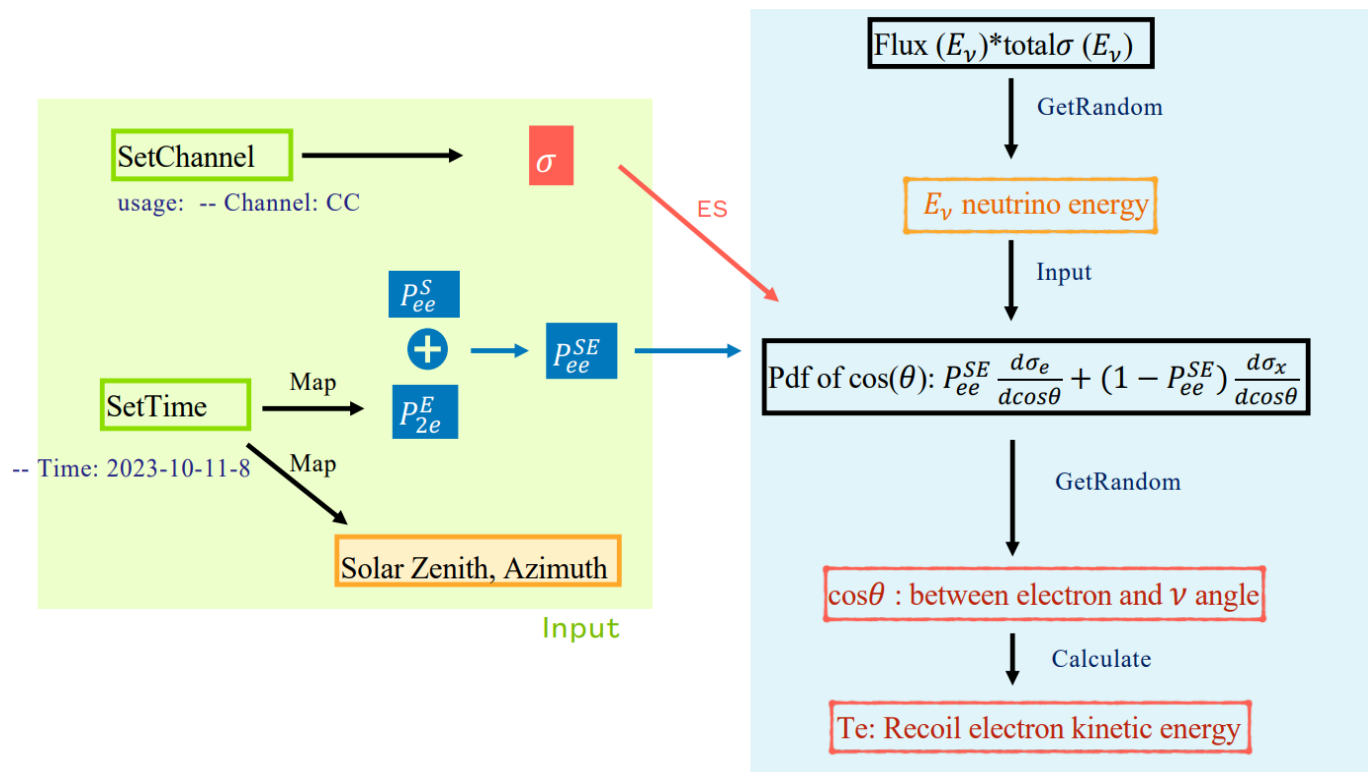


## 旧产生子：

- ✓ 无中微子方向，无散射电子方向
- ✓ 无太阳位置随时间的变化，无法计算地球物质效应
- ✓ 只有ES反应道

## 新产生子：

- ✓ 加入中微子随时间变化的方向信息、物质效应，用于研究日夜效应、upturn、中微子振荡
- ✓ 加入散射电子方向，用于压低本底，提高物理灵敏度
- ✓ 加入高能太阳中微子NC和CC反应道



**下一步计划：** 产生全模拟太阳中微子数据样本，优化事例挑选和效率，构造新的fitter

## ■ 学术交流

- ✓ “Feasibility of detecting  $^8\text{B}$  solar neutrinos at JUNO”, [Neutrino2024](#), 6.16-6.22 in Milano, poster
- ✓ “中微子年度进展报告”, [第一届基础物理研讨会暨基础物理平台年会](#), 10.31-11.2, 郑州, 口头报告
- ✓ 参加[第十四届全国粒子物理学术会议](#), 8.14-8.18, 青岛

## ■ 论文情况

- ✓ Chenyang Cui *et al.*, Environmental radon control in the 700 m underground laboratory at JUNO, [Eur. Phys. J. C \(2024\) 84:120](#), 通讯作者
- ✓ Jie Zhao *et al.* [JUNO collaboration], Model Independent Approach of the JUNO Solar  $^8\text{B}$  Neutrino Program, [The Astrophysical Journal, 965:122 \(13pp\), 2024 April 20](#), 第一作者
- ✓ Yuanxia Li *et al.*, A practical approach of measuring  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in liquid scintillator to sub-ppq level using ICP-MS, [arXiv:2405.06326](#), 通讯作者

# 项目经费、公共服务



## ■项目经费

序号	名称	来源	时间	经费	角色
1	江门中微子实验本底及太阳中微子研究	中国科学院青年创新促进会	2021/01-2024/12	80万	主持
2	利用反中微子探测器监控核反应堆裂变演化	国家自然科学基金，面上项目，12075087	2021/01-2024/12	63万	子课题负责人

- ✓ 今年申请了题为“利用江门中微子实验观测中高能区太阳中微子”的国家自然科学基金面上项目未中，计划明年JUNO取数之后，首要任务分析理解探测器本底，后面继续申请太阳中微子课题。
- ✓ 今年申请了题为“建立基于等离子体质谱的极低天然放射性本底测试平台”的所创新基金项目，计划开发新技术、新方法对多种低本底实验常用材料中天然放射性U/Th含量检出能力达到国际领先水平，建立完善成熟的低本底材料测试平台，助力国内外低本底实验探测器R&D和QA/QC。

## ■公共服务

- ✓ 在开平举办了第一届中微子夏令营，并带夏令营学生参观JUNO现场
- ✓ 山东大学招生宣讲，“地下700米捕捉幽灵粒子”

# 下一年度工作计划

## ■ 灌装时期的本底研究（崔晨阳，刘雨珊，王楠，刘菲）

- ✓ **水相：**定量水中氦、U/Th等天然放射性含量
- ✓ **水油混合相：**
  - 1、50t、100t、1000t等关键节点氦、U/Th定量，以便灌装决策
  - 2、在线实时显示液闪中天然放射性含量水平，及时预警
  - 3、离线精细重建和挑选，理解探测器各组分本底贡献
- ✓ **ICP-MS：**对LS相关系统实时质检

## ■ 灌装完成后的本底研究（崔晨阳，杨开为）

- ✓ 充分理解探测器本底水平，制定天然放射性事例鉴别算法和压低策略
- ✓ 计算反应堆中微子、地球中微子课题的天然放射性偶然符合本底事例率和能谱
- ✓ 研究JUNO有优势的太阳中微子产生道

## ■ 低本底探测技术研发（王楠 + \*\*）

- ✓ 开发聚合塑料材料类的前处理方法，实现PTFE、HDPE、Epoxy、Polyimid、硅胶圈等聚合材料的彻底灰化，要求回收率做到大于60%，并将空白控制在1 pg水平
- ✓ 优化液体闪烁体的前处理方法和外在污染，将检出限提升到 $10^{-17}$  g/g量级，并处理掺杂（Gd/Te）液体闪烁体样品测量本底水平

谢谢聆听！