



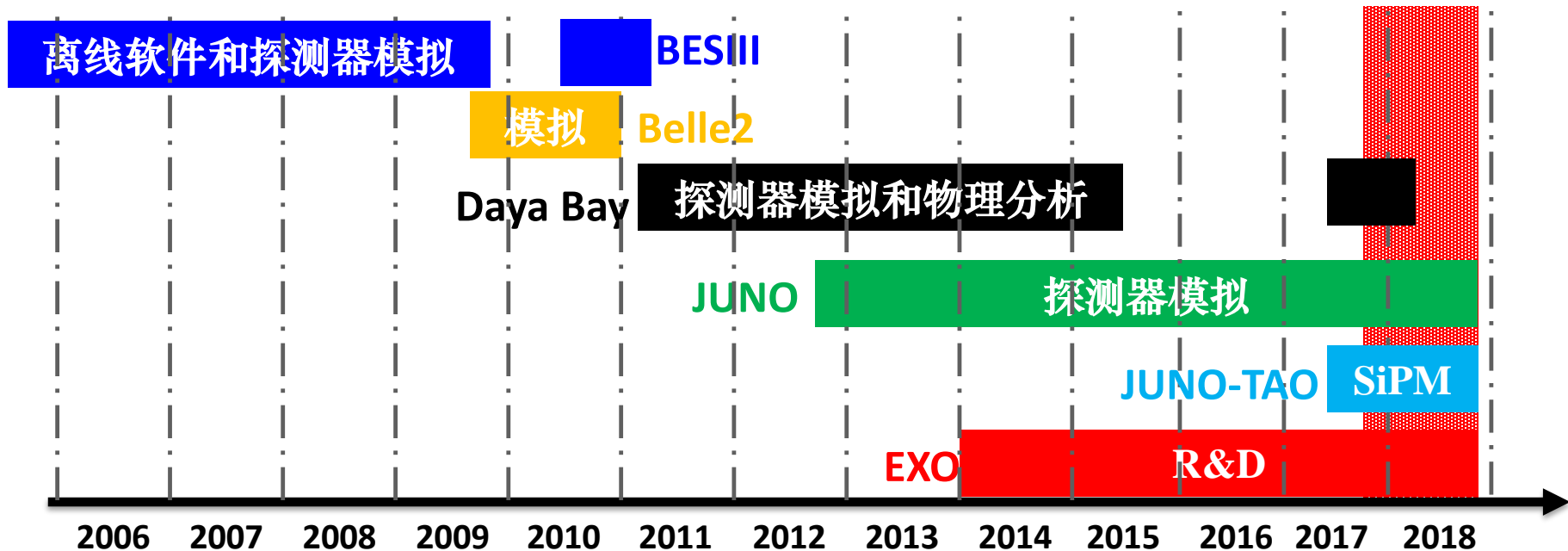
2018年卓越中心青年骨干考评

曹国富

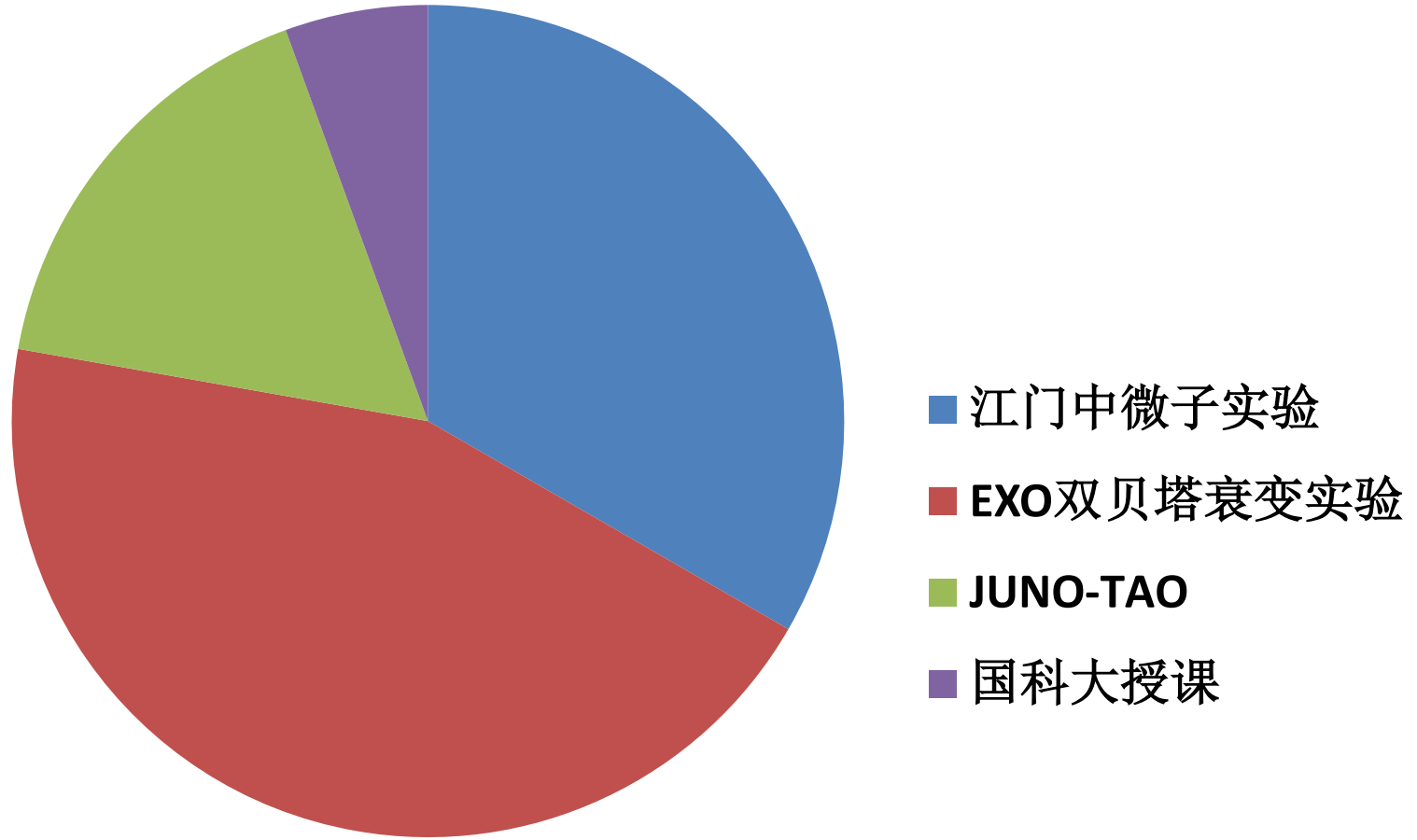
高能物理研究所

2018年11月23日

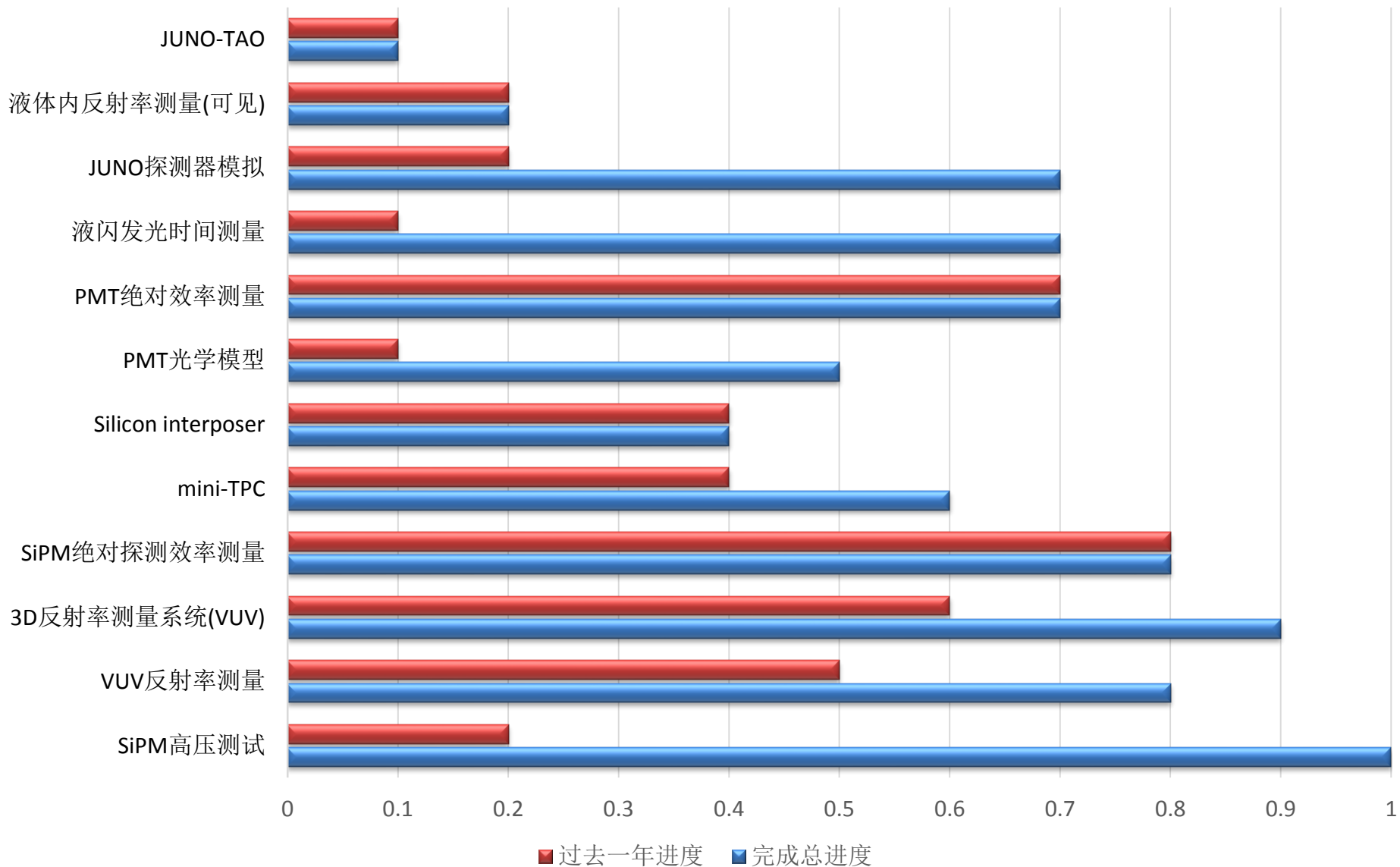
- ✧ 高能所，副研究员，2012.07 ~ 至今
- ✧ 斯坦福大学，访问学者，2014.03 ~ 2014.09 (高能所资助)
- ✧ 高能所，助理研究员，2011.03 ~ 2012.07
- ✧ 高能所，博士后，2009.07 ~ 2011.03
- ✧ 日本KEK，访问学者，2009.12 ~ 2010.06 (KEK资助)
- ✧ 高能所，硕博连读，2004.09 ~ 2009.07



2017.11 ~ 2018.11



任务进度总览



❄ 物理目标：寻找无中微子的双贝塔衰变 (^{136}Xe)

$$T_{1/2} (0\nu\beta\beta \text{ } ^{136}\text{Xe}) > 10^{28} \text{ y at 90\% C.L. (10 years)}$$

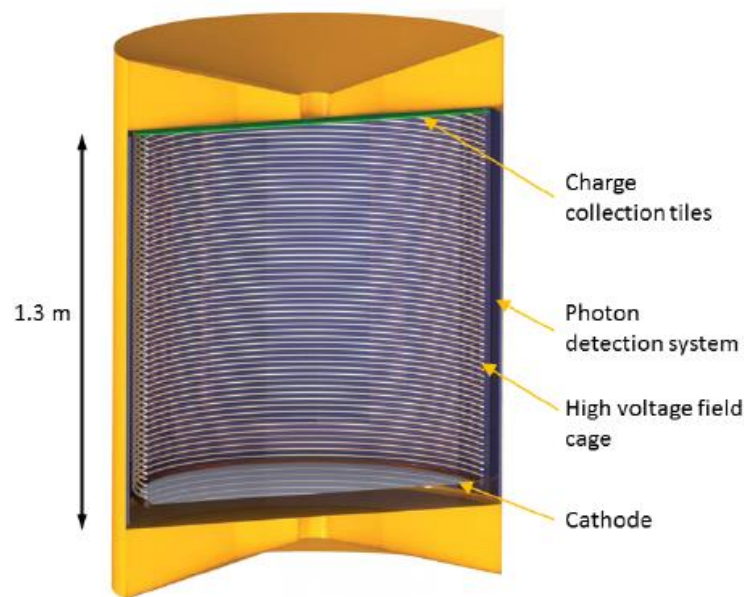
❄ 两个阶段：

➤ **EXO-200**实验已经取得了成功：精确的 ^{136}Xe $2\nu\beta\beta$ 寿命测量；曾经最好的 ^{136}Xe $0\nu\beta\beta$ 寿命灵敏度；--- 正在运行中

➤ **nEXO**是EXO-200的下一代实验项目，5吨液氙TPC探测器：a) $<1\%$ 能量分辨率；b) 极低本底水平 (EXO-200/40)；--- R&D阶段

高能所是EXO合作组的成员单位，对nEXO的主要贡献包括：

- ① nEXO探测器模拟 (曹国富/温良剑)
- ② nEXO液氙TPC电荷收集 (温良剑)
- ③ nEXO液氙TPC电荷读出低温电子学 (江晓山/魏微)
- ④ nEXO液氙TPC光探测器 (曹国富)
- ⑤ 本底测量 (温良剑)
- ⑥ 高能所液氙TPC (曹国富等)



❄ nEXO光探测器组联合负责人 (co-L2 manager).

- Fabrice (TRIUMF), Guofu Cao (IHEP).
- 组织两周一次的光探测器组会，协调各项R&D工作。
- 参加两周一次的L2 manager会议。

❄ 光探测器主要的R&D任务：

1. 光探测器模拟 (IHEP)
2. 反射式电极R&D (IHEP)
3. SiPM研发与采购 (Stanford, TRIUMF)
4. SiPM测试 (IHEP, Stanford, TRIUMF, BNL, UMASS, Erlangen)
5. 反射率测量 (IHEP, UA, Erlangen)
6. Silicon interposer (IME, IHEP)

❄ 过去一年光探测器相关的主要工作

- SiPM在强电场中的性能研究 (文章发表)
- VUV波段反射率测量
- SiPM绝对探测效率测量
- Silicon interposer

- ❄ **目的:** 在nEXO的TPC探测器内, 部分SiPM将工作在强电场区域, 最高可达20kV/cm。因此, 有必要研究SiPM在强电场环境下的性能。

- ❄ **文章已经发表在JINST (nEXO合作组文章, 通讯作者)。**
 - **X.L. Sun, et.al., and the nEXO collaboration, *Study of Silicon Photomultiplier Performance in External Electric Fields*, JINST 13, T09006, 2018.**
 - **已测SiPM包括: FBK-RGB, FBK-VUV-LF, HPK-VUV3**

- ❄ **结论:**
 - **在0~30kV/cm范围内, SiPM各项性能(增益, 效率, 关联噪声等)稳定。**
 - **在200kV/cm的强电场下, SiPM仍能工作。**

✱ 目标:

- 测量SiPM反射率 ---- (1) 理解探测器光收集效率和能量分辨率; (2) 帮助设计SiPM的ARC。
- 测量TPC内各个部件的反射率。

✱ 真空/氮气中反射率测量 vs 液氩中反射率测量

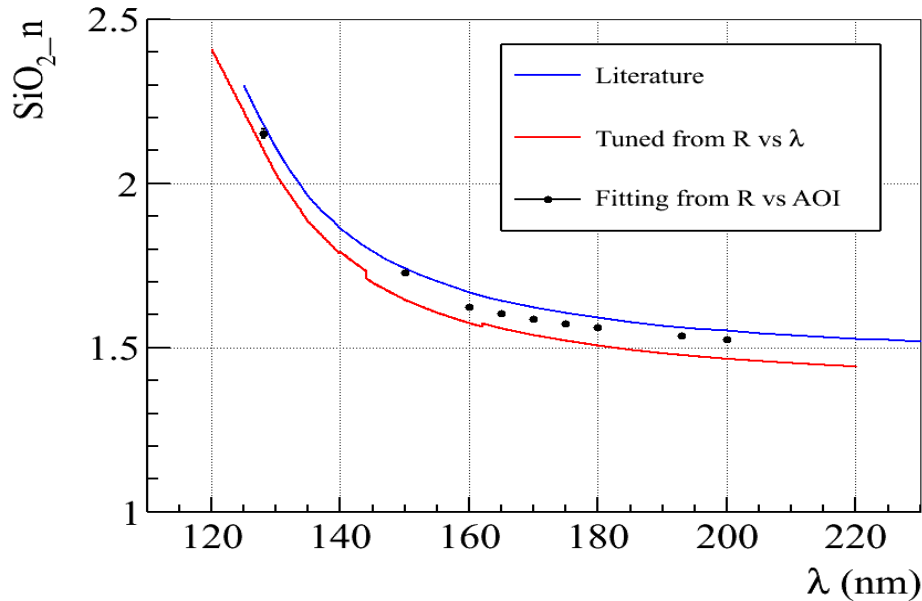
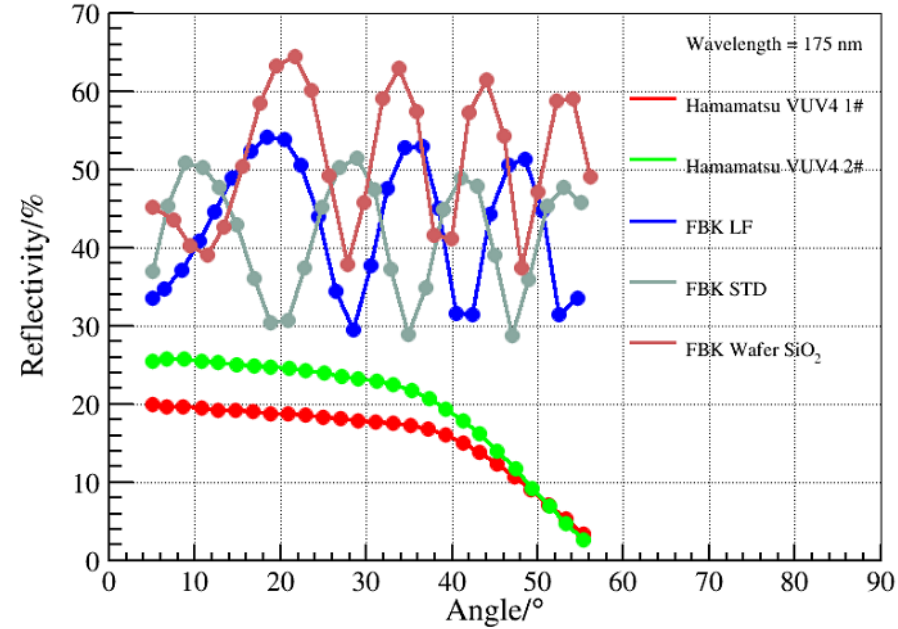
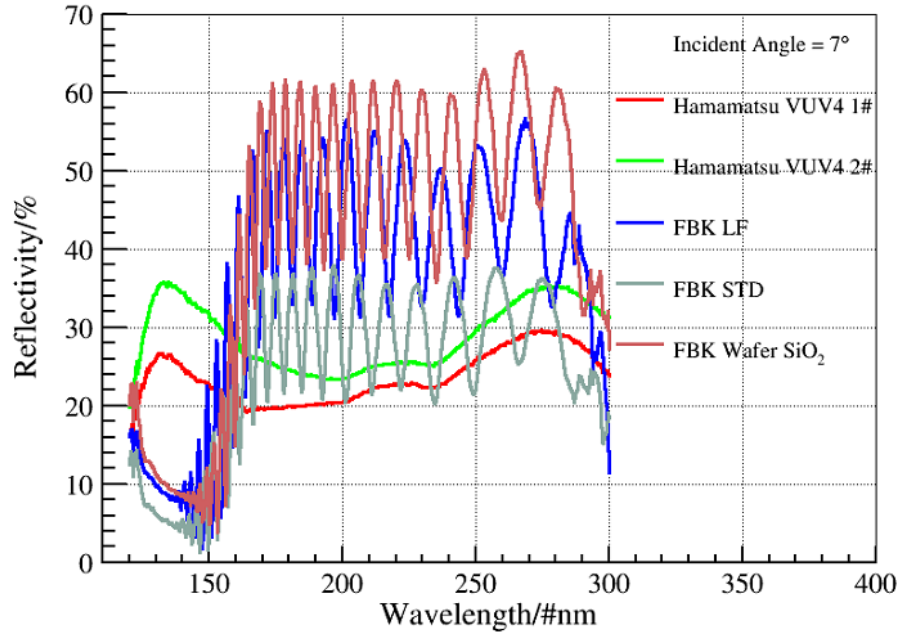
- 高能所与成光所合作, 真空/氮气中反射率测量。
- nEXO内其它成员(UA, Erlangen)进行液氩中反射率测量
- 难点: VUV波段、漫反射

✱ 过去一年进展

- 完成了5种不同类型SiPM样品反射率(镜面反射+漫反射)测量工作和数据分析, 其中3种样品为复测, 2种样品为新测。
- 通过分析反射率数据, 提取出二氧化硅和氮化硅薄膜的折射率。
- 完成10种硅基PTFE薄膜的反射率测量工作。
- 高能所3D反射率测量系统调试完成, 正式开始使用。

✱ 反射率测量(SiPM部分)的文章初稿正在撰写, 将于1月份前(nEXO合作组会)递交到合作组内审核。

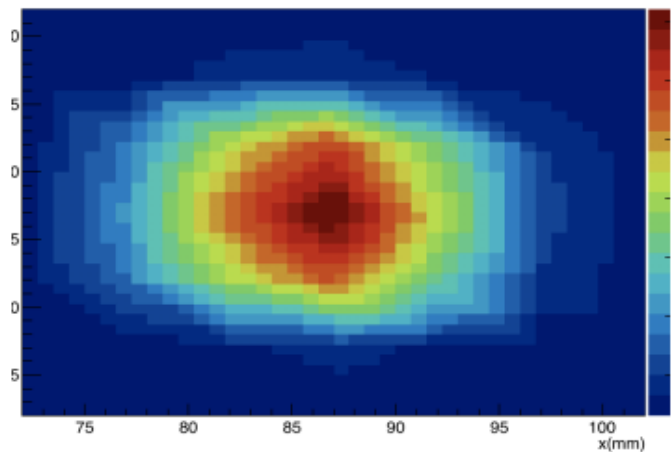
部分反射率测量相关结果展示 (曹国富/吕品)



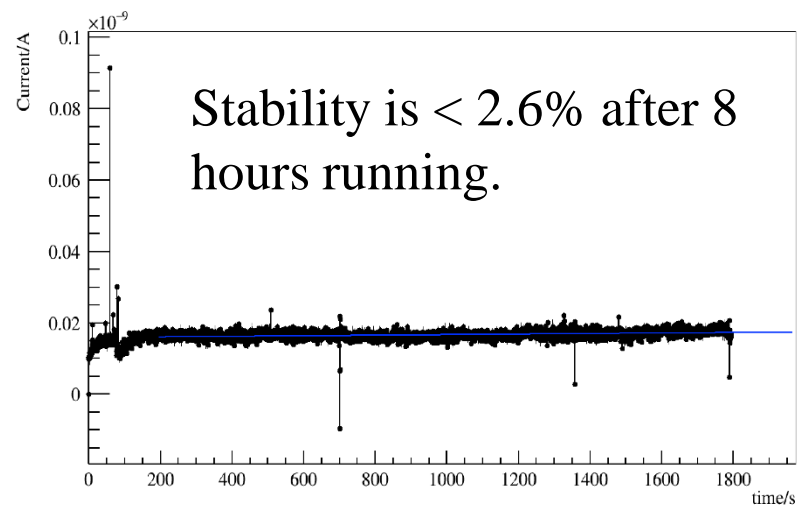
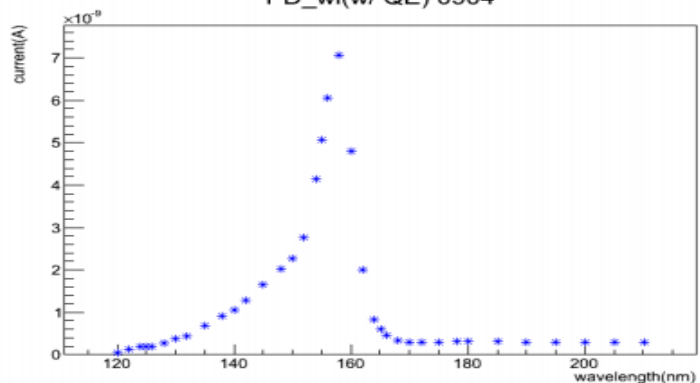
Device	Diffuse(193nm)
FBK-VUV-STD	13%
FBK-VUV-LF	10%
VUV4 (50 um)	17%
VUV4 (75 um)	10%
Silicon wafer*	0.09%

测量样品在VUV波段的镜面反射和漫反射 过去一年进展:

- ① 完成装置的组装和调试工作。
- ② 基于该装置，测量SiPM绝对探测效率。
- ③ 基于该装置，测量液闪在VUV波段的吸收重发射。



PD_wl(w/ QE) 0904



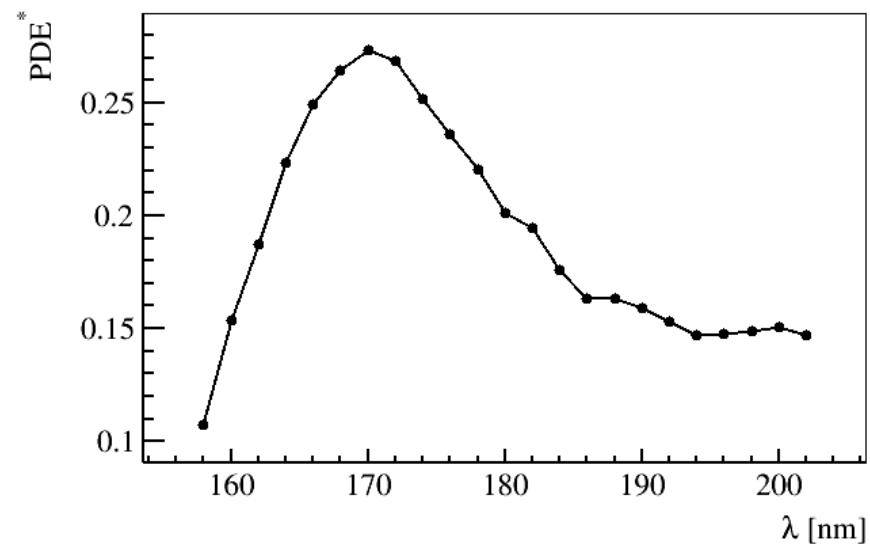
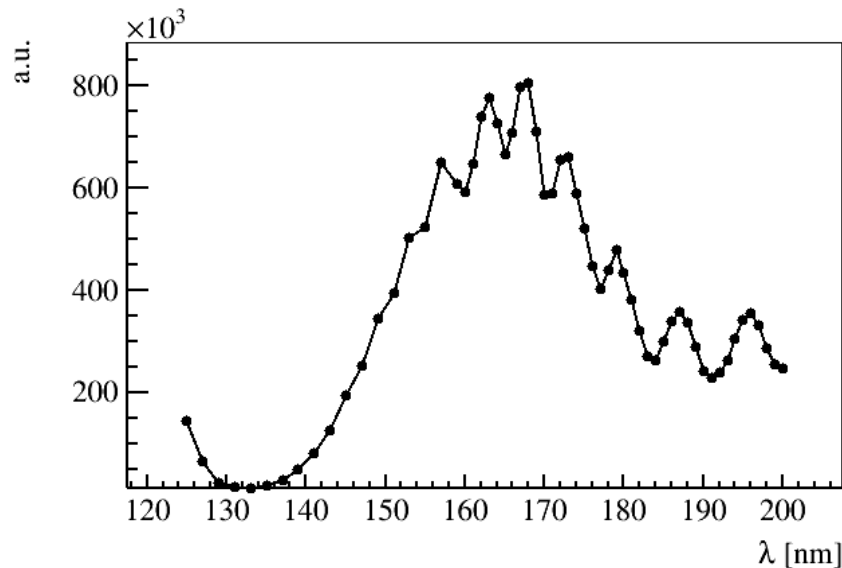
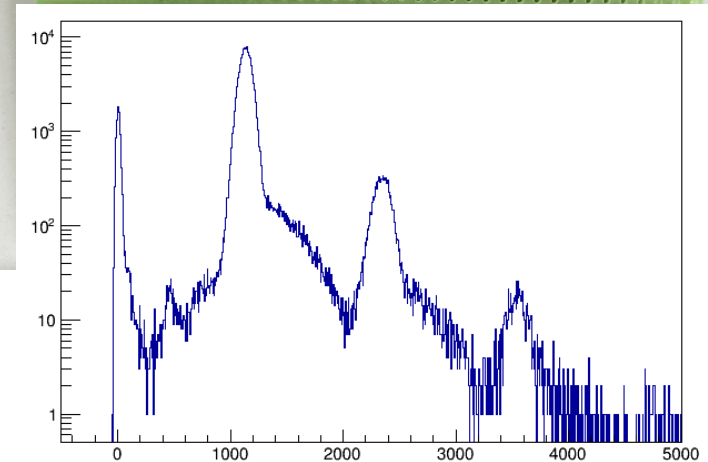
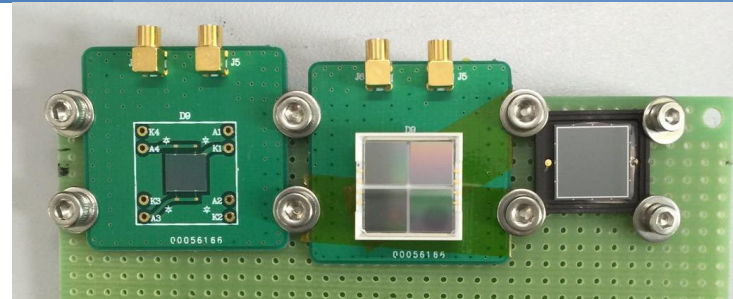
SiPM绝对探测效率测量(曹国富/罗凤娇/李茹慧)

是nEXO光探测器组的核心R&D任务之一。

- 可见光波段SiPM绝对探测效率测量方法已经基本建立。
- VUV波段的SiPM PDE测量方法还在探索中。

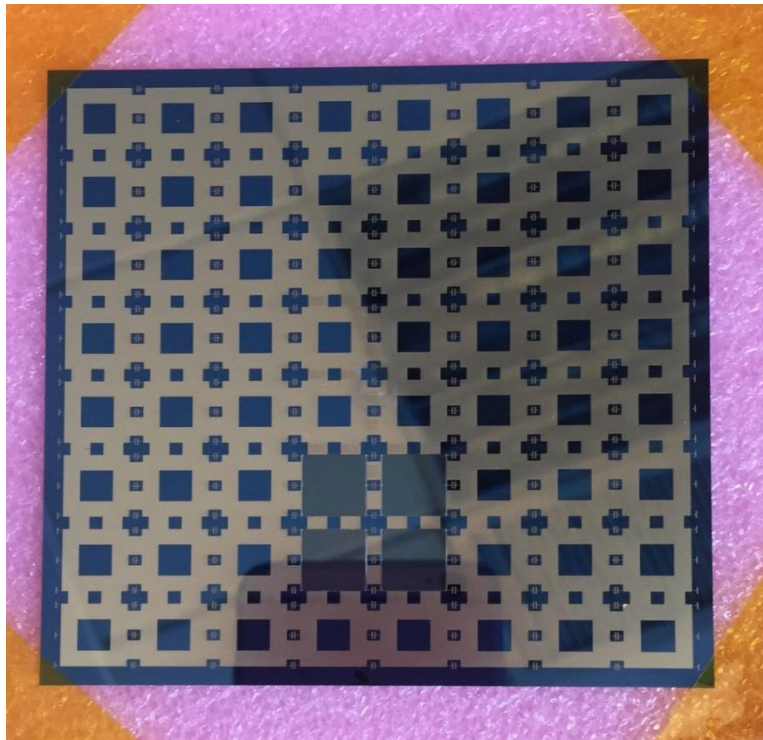
nEXO内不同组间，以及与滨松之间的测量结果差别较大。

- 高能所首次使用电流模式测量方法，nEXO内其它组基于脉冲模式测量方法。
- 过去2个月时间，完成数据获取，正在进行结果校验和误差分析工作。

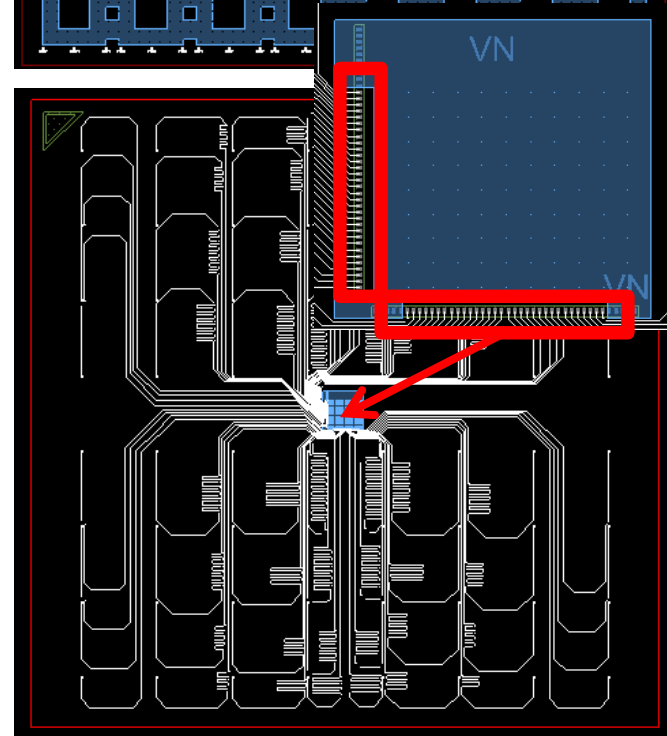
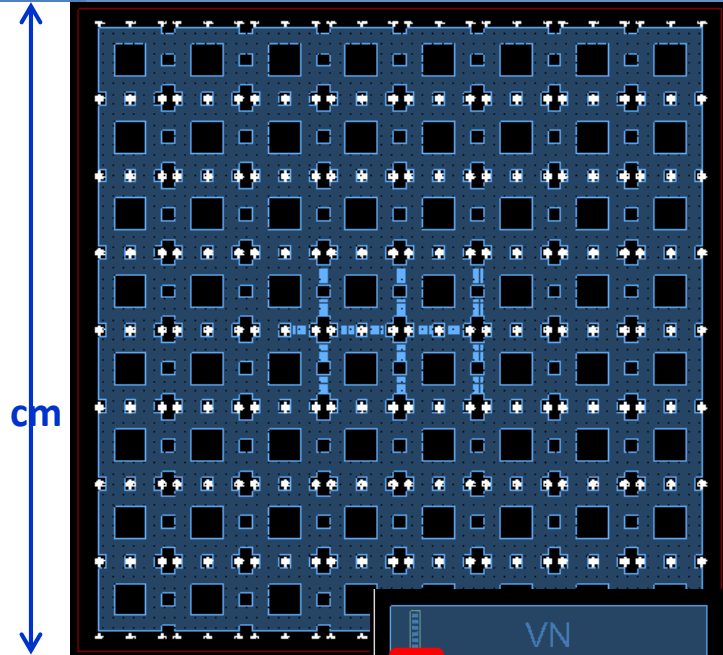


Silicon interposer

- ✧ 用来支撑和连接SiPM阵列与读出电子学。
- ✧ 低放射性本底材料，与SiPM具有相似的热膨胀系数。
- ✧ 连接器的设计和制作工艺由微电子所完成。
- ✧ 连接器+SiPM+电子学的系统测试工作将由高能所完成。
- ✧ 已经制备了第一块 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 硅连接器原型。
- ✧ 计划明年申请经费支持！



10 cm



✧ 基于高能所液氙测试系统，设计并搭建一个液氙TPC探测器。

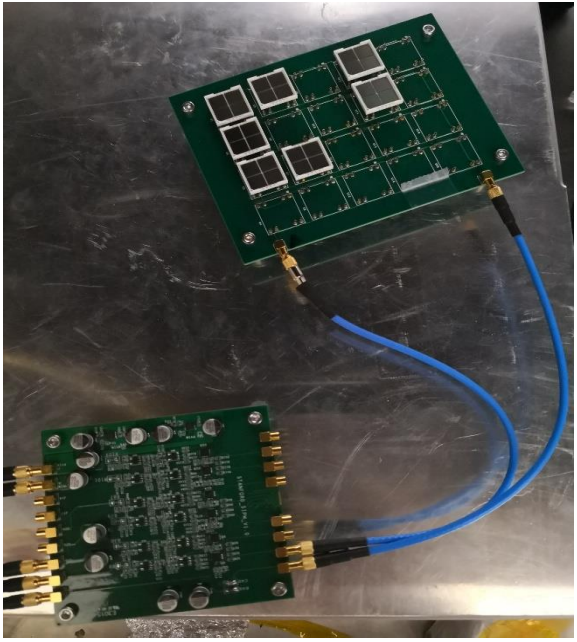
✧ 目标:

- 研究能量分辨率
- 测试电荷读出模块和读出电子学
- 测试光探测器(200片 1cm^2 SiPM)性能

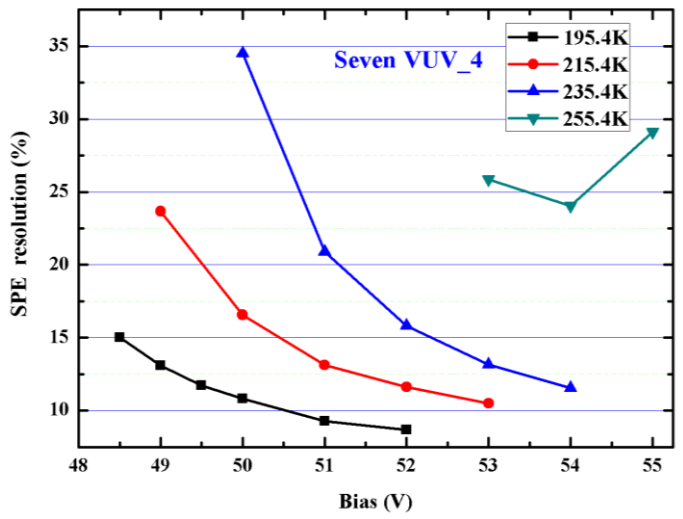
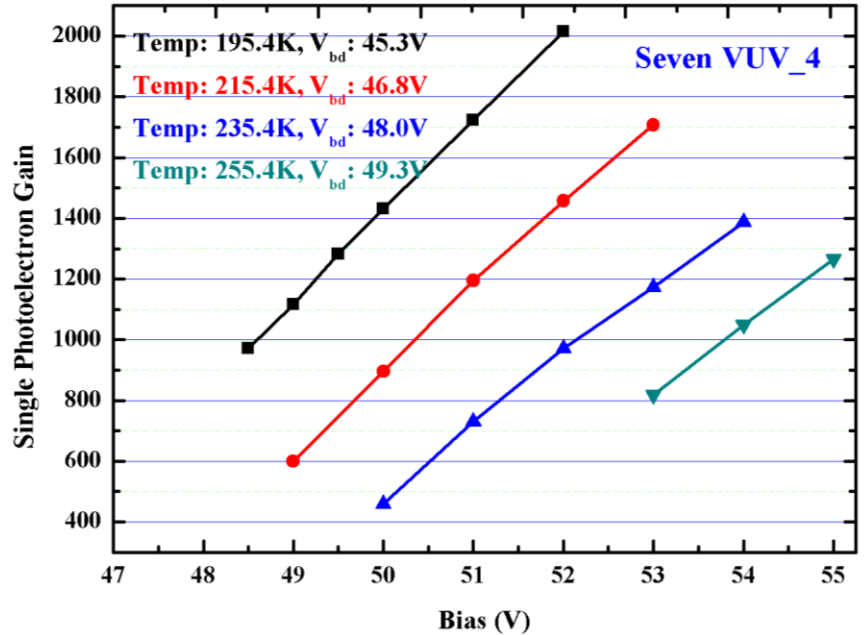
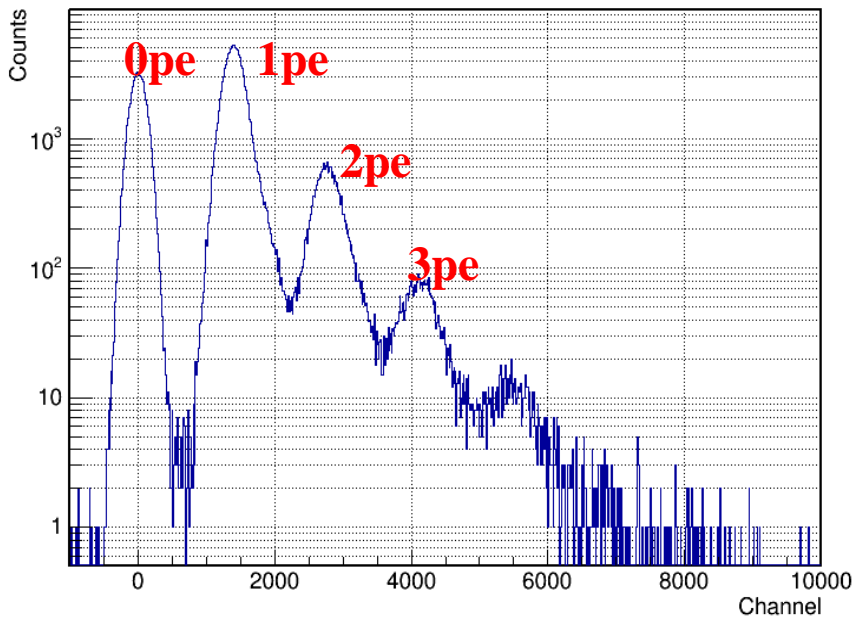
✧ 过去一年进展

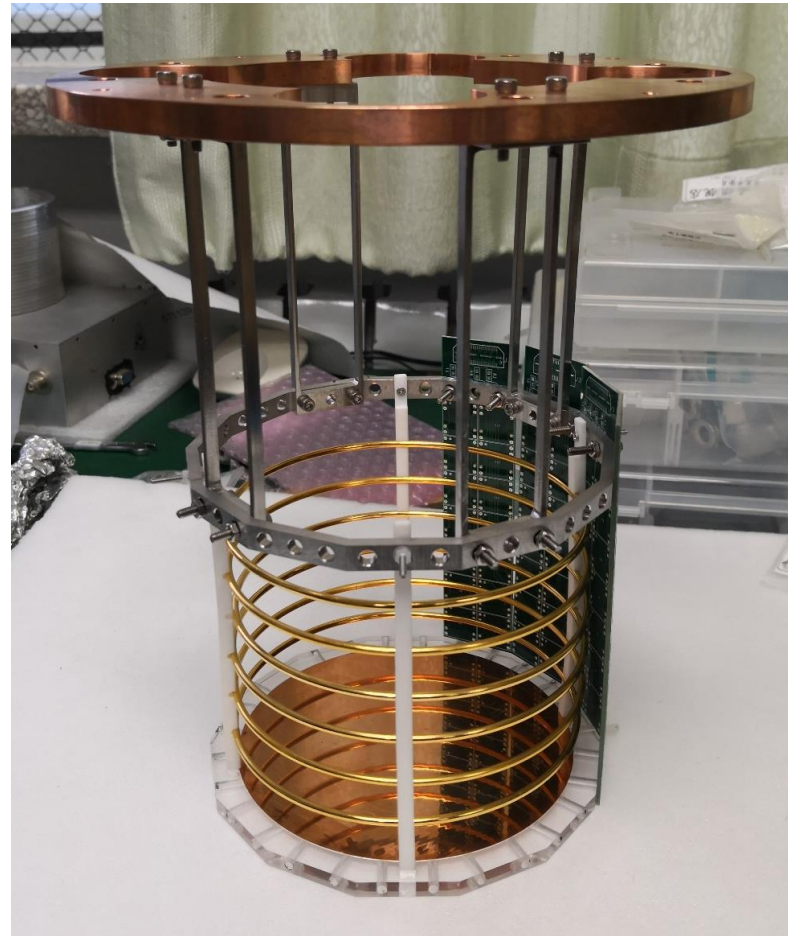
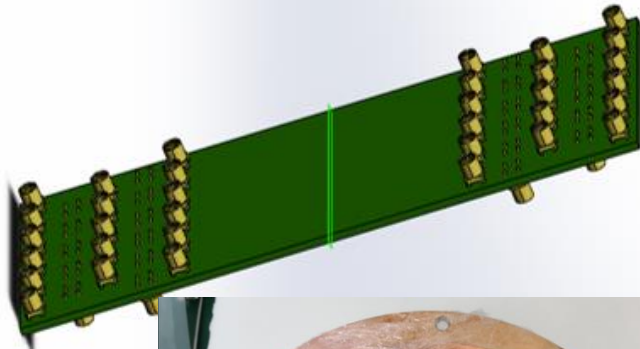
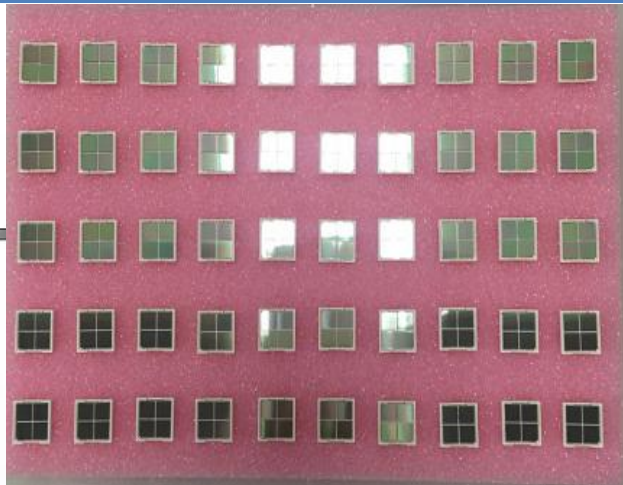
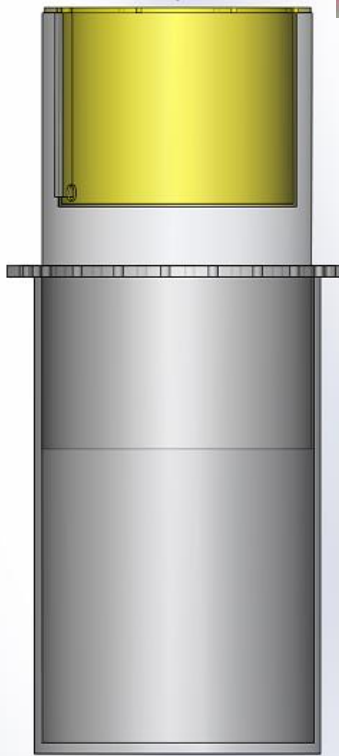
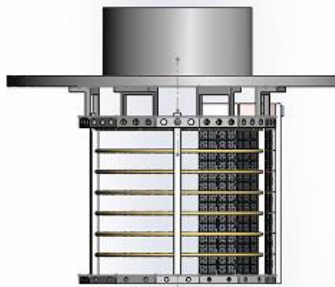
- 确定SiPM读出方案，完成相关测试，1路SiPM读出面积 $> 10\text{ cm}^2$ (感谢电子学组严雄波的讨论和帮助)
- 完成200片SiPM性能测试工作。
- 完成TPC内各部件加工和预安装。
- 正在进行清洗和安装工作。

SiPM读出部分测试结果



Photon Spectrum





✧ **JUNO探测器模拟组联合召集人 (Level 3)**, 负责探测器模拟。

✧ 过去一年主要进展

□ 完成JUNO合作组内两次探测器模拟Review

➢ 中心探测器模拟总体 (Jan. 22, 2018)

➢ 中心探测器模拟物理性能 (Jul. 22, 2018)

□ 探测器联合模拟 (张岩/林韬/曹国富)

➢ 与sPMT联合模拟软件已经开发完成

□ PMT光学模型研究 (王耀光/曹国富)

➢ 模型框架已经完成, 模型优化及与数据对比正在进行中

□ PMT绝对探测效率测量 (王耀光/付亚圣/曹国富)

➢ 使用普通PD已经验证该方法的可行性, 等待标定的PD

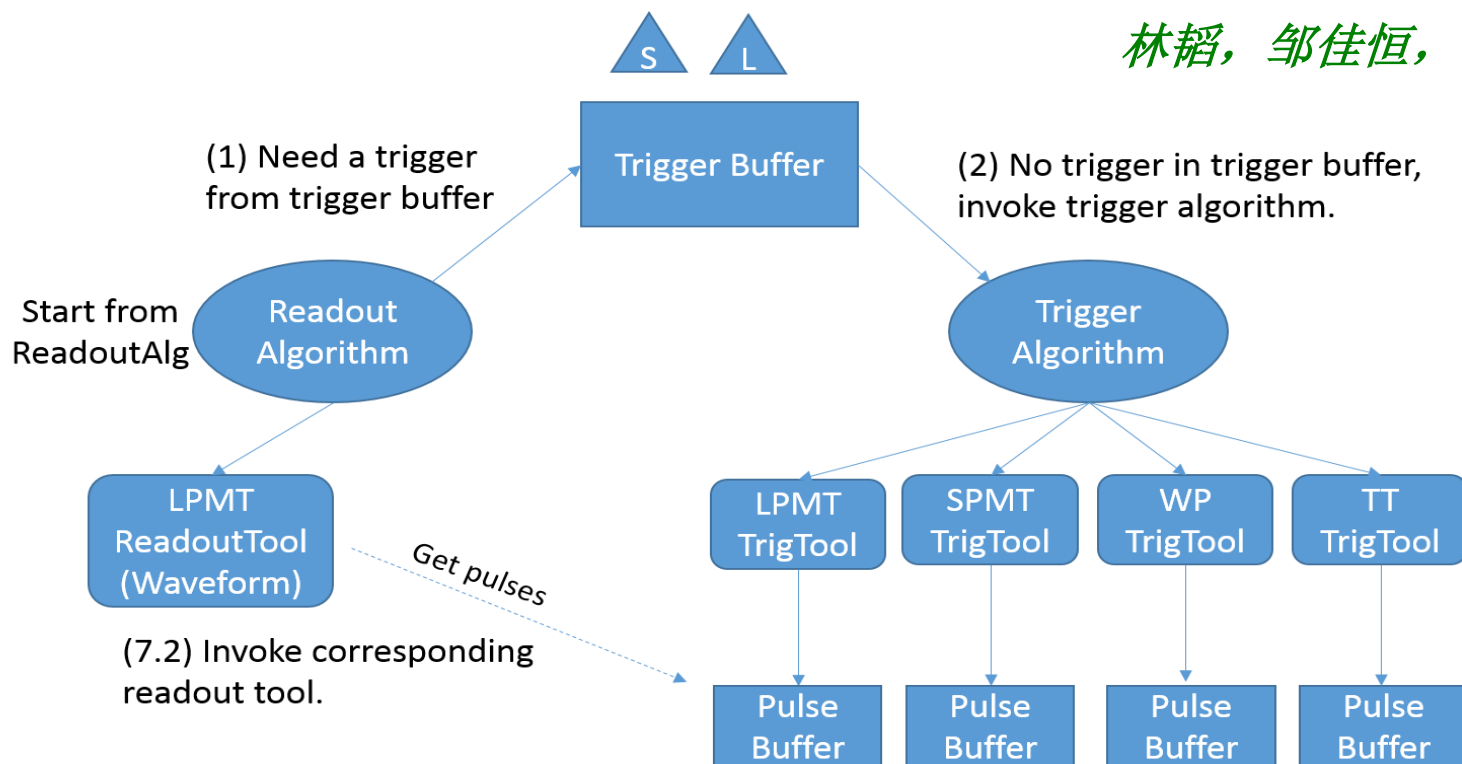
□ 地磁场对PMT性能影响研究 (王耀光/曹国富)

➢ 完成数据获取, 正在进行数据分析

□ 液体中反射率测量 (曹国富)

➢ 完成装置初步设计

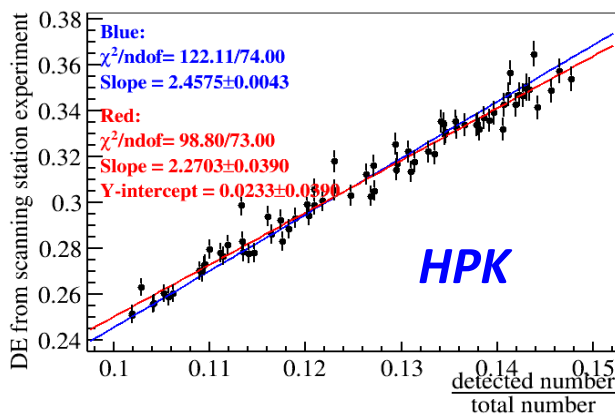
- ❖ 改进探测器模拟框架，以实现多个子探测器联合模拟。
- ❖ 组织与sPMT组每月一次的讨论会。
- ❖ 历时一年，目前已经实现大PMT与小PMT的联合模拟，并通过批量测试。
- ❖ Veto系统的联合模拟工作将陆续开展。



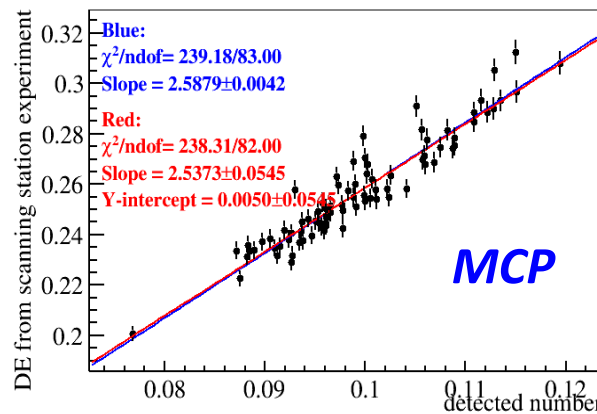
□ 目标：实现不同光场和介质间PMT响应的转换，考虑不同入射角的PMT响应。

□ 过去一年进展：

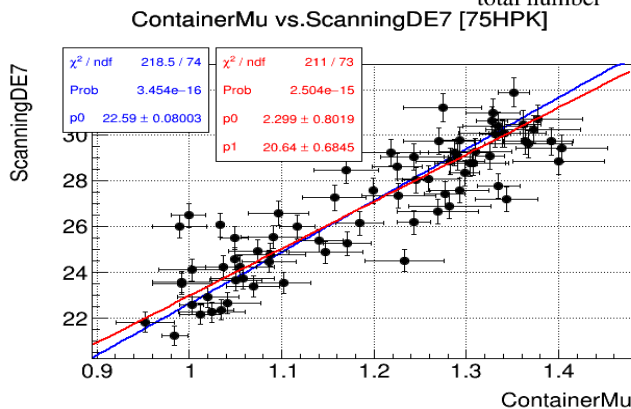
- 在JUNO探测器模拟中实现新的PMT光学响应模型。
- 经过对光学模型的初步调节和优化，模拟与数据间的符合约为5%。
- 计划通过测量PMT反射率，提取出模型所需的关键参数(进行中)



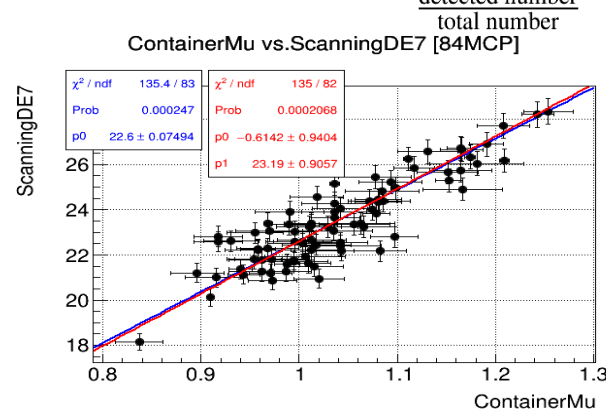
MC



MCP

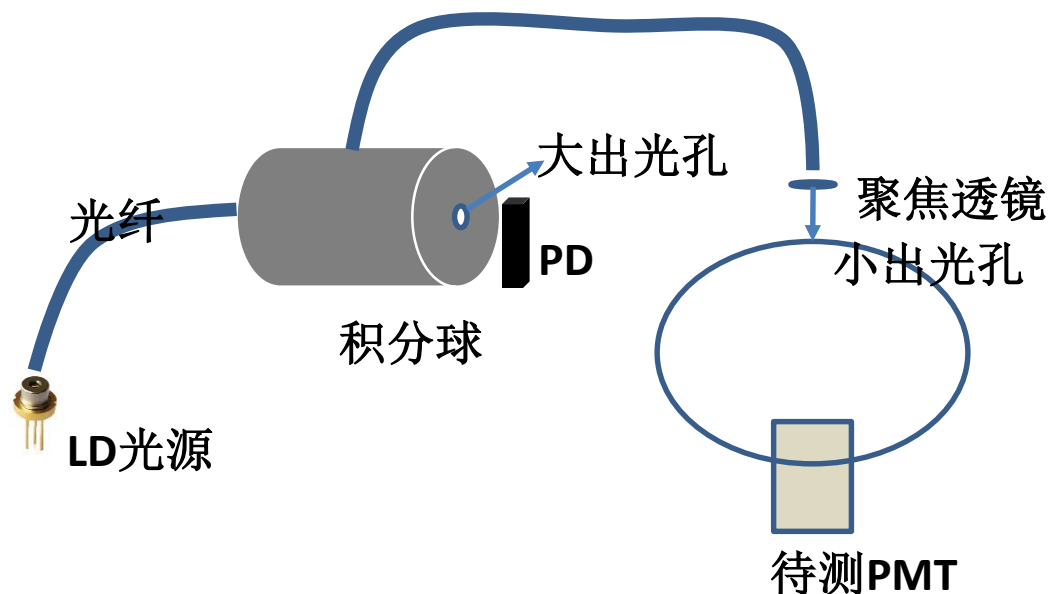


Data



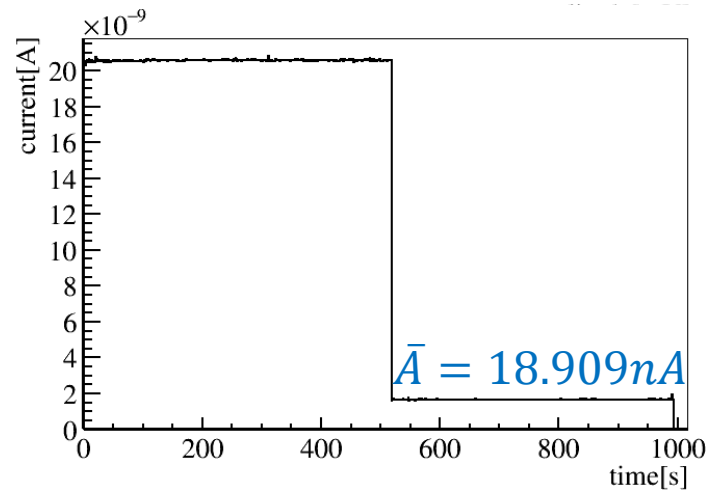
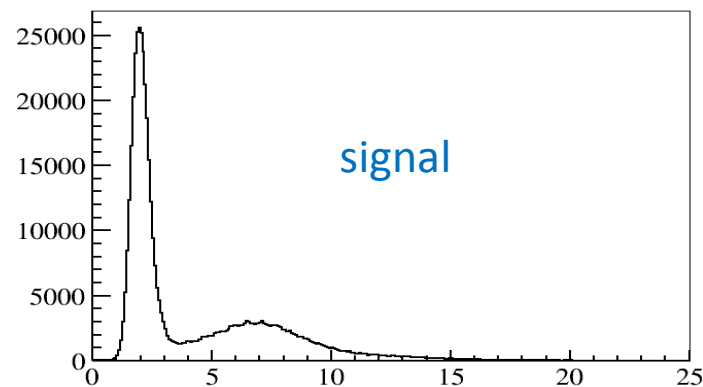
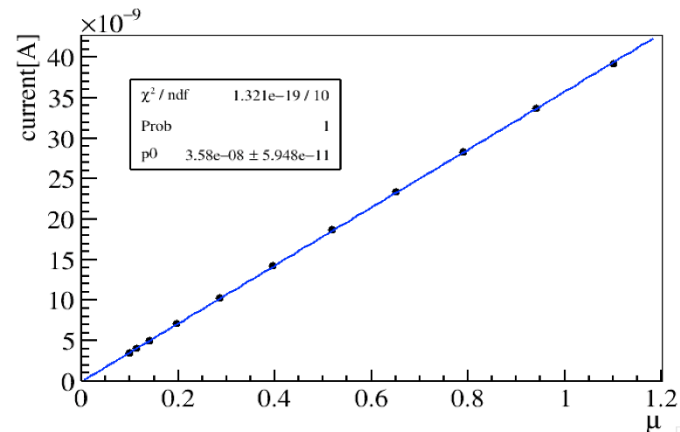
PMT绝对探测效率测量

- 方法的可行性已经完成验证。
- 等待标定的PD。



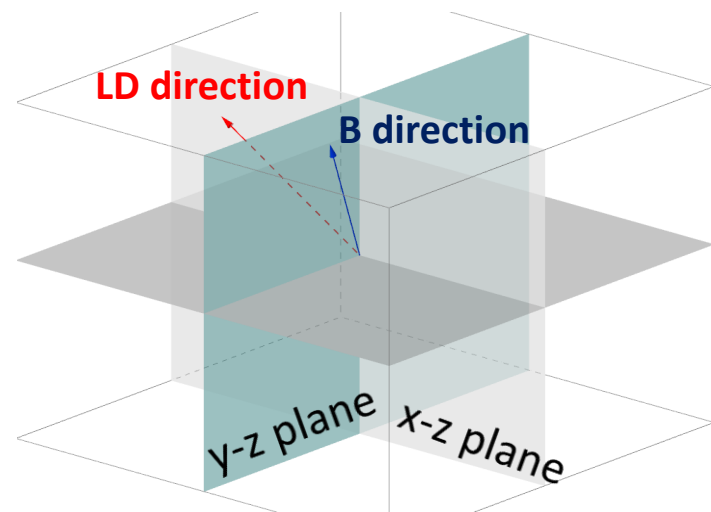
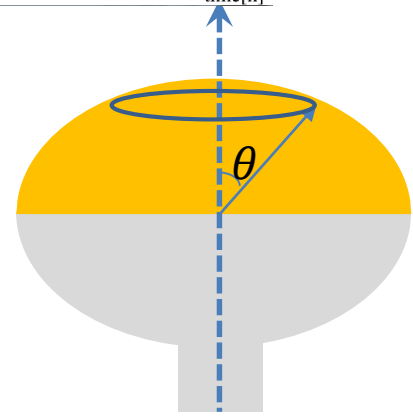
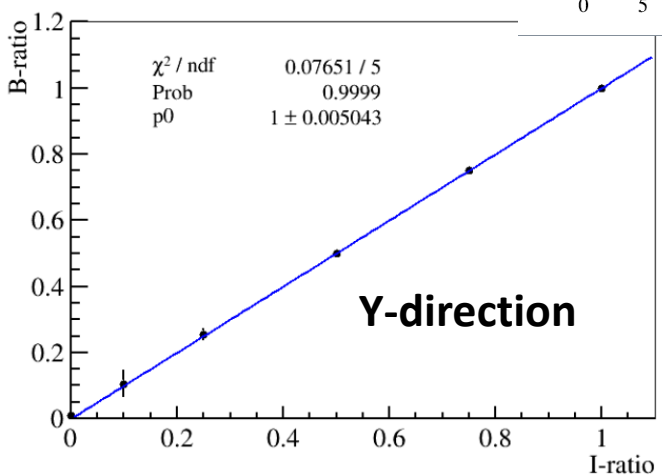
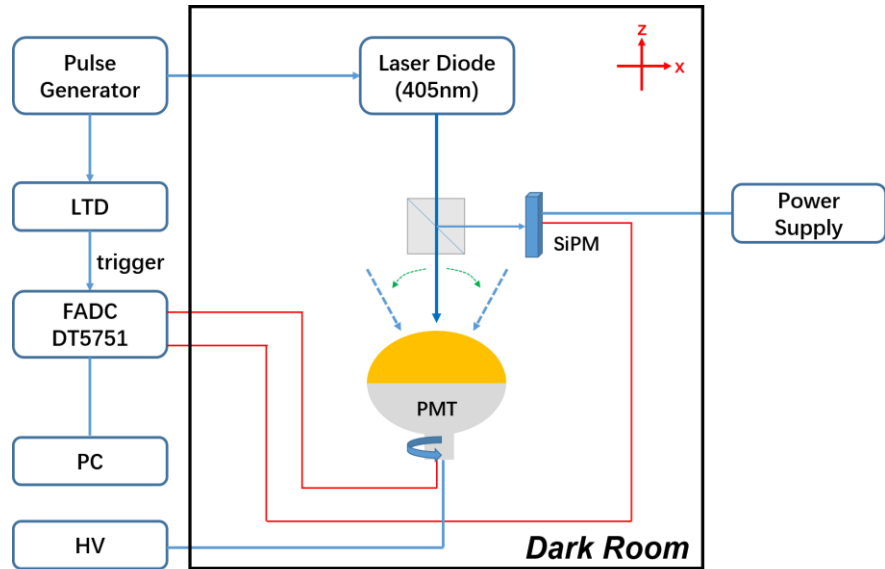
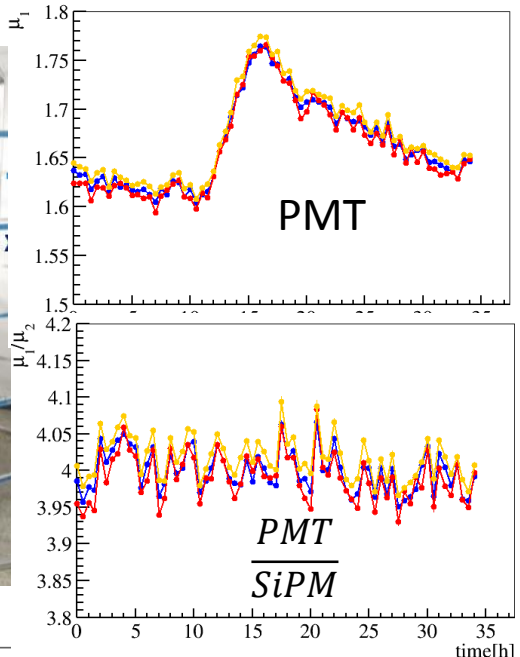
EA0044顶点处 10^7 增益下DE测量结果

	计数器方法	FADC方法
有地磁屏蔽	0.4187*QE	0.4203*QE
无地磁屏蔽	0.4419*QE	0.4391*QE

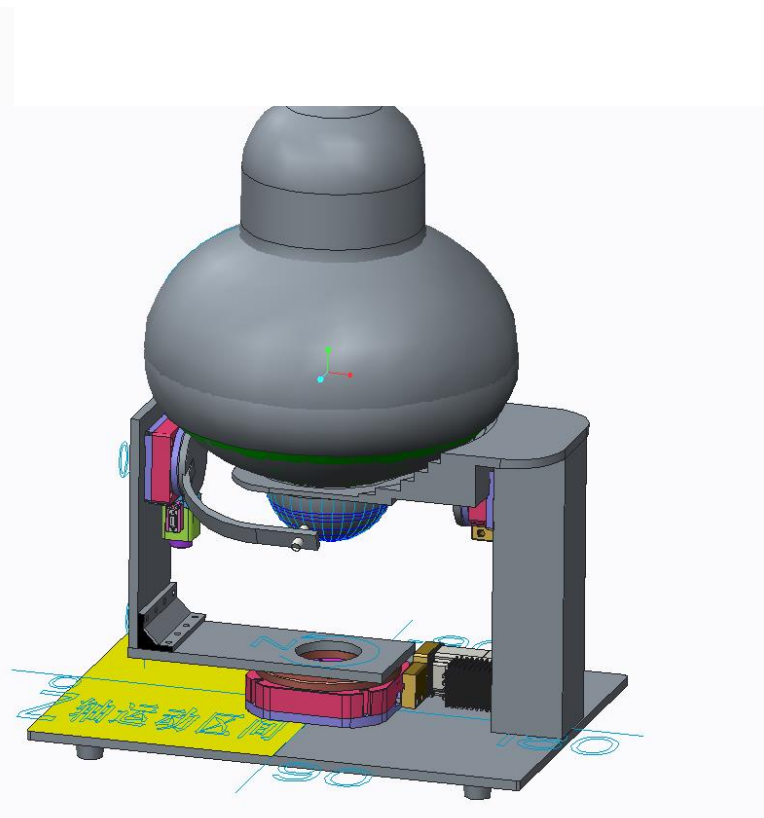
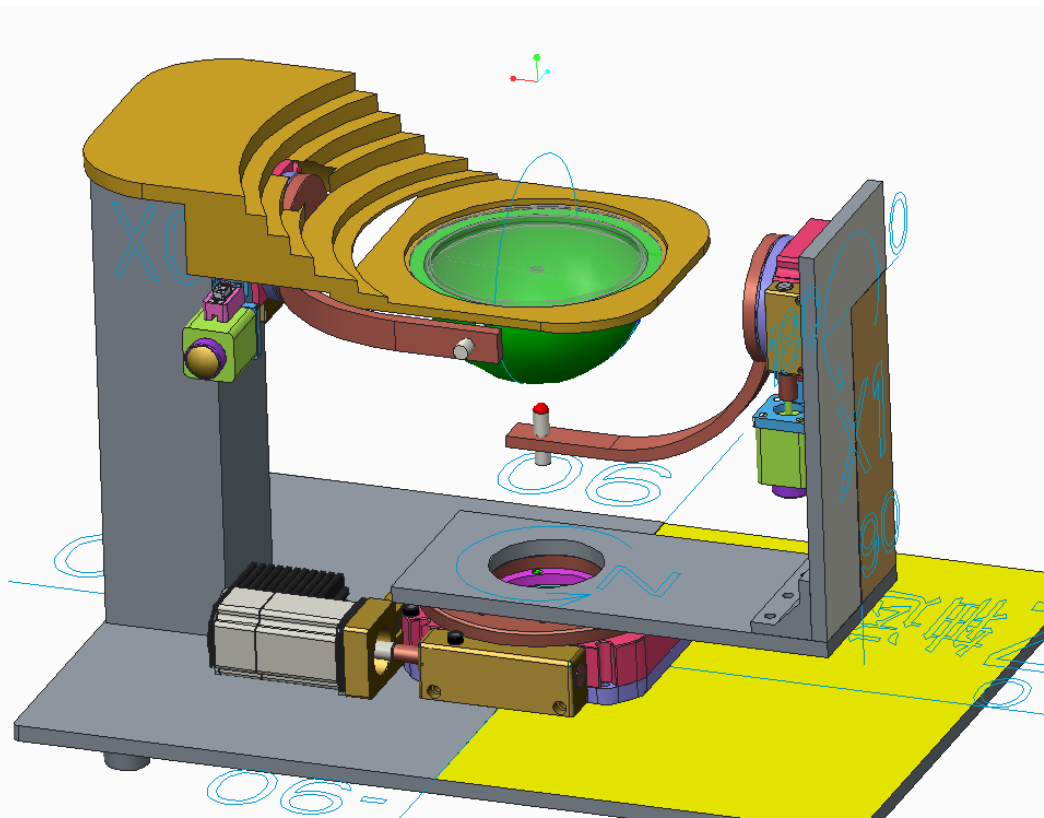


地磁场对PMT性能影响研究

- ✧ 提高PMT模拟精度、评估模拟准确度
- ✧ 完成数据获取，数据分析中



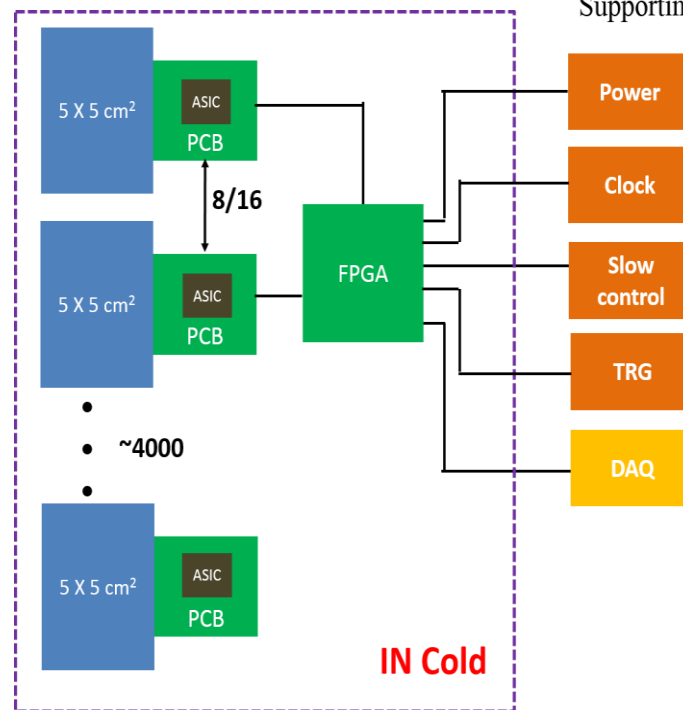
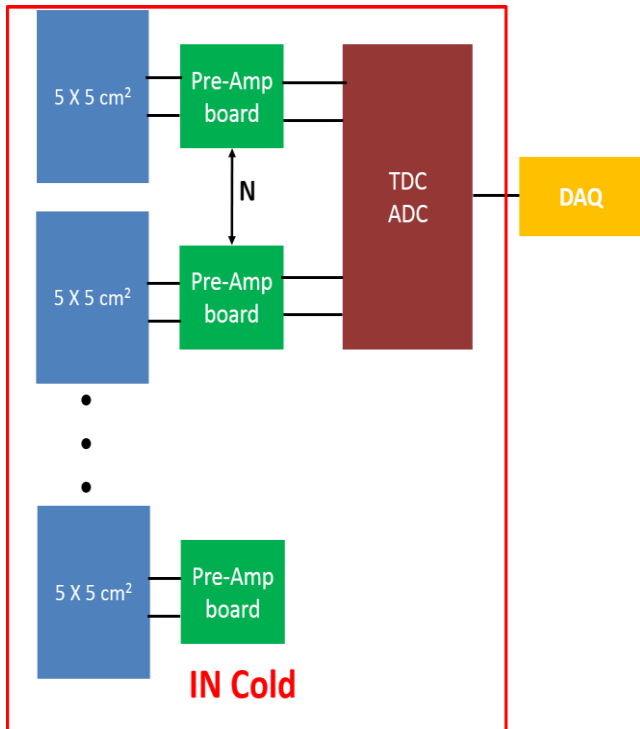
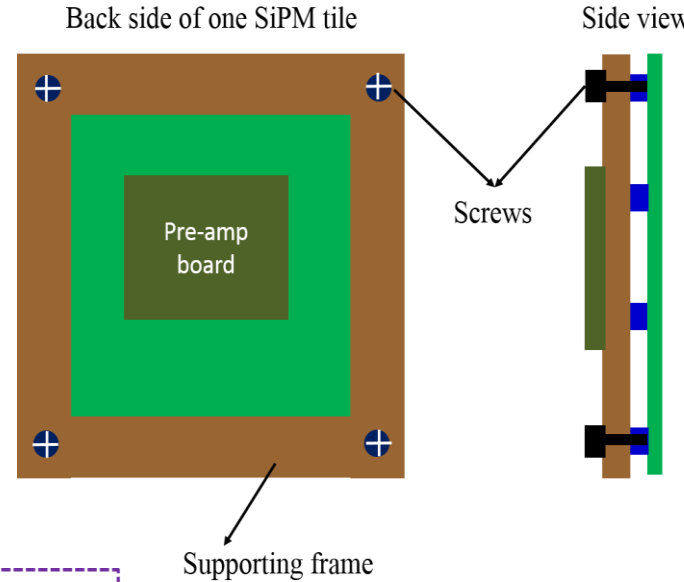
- ❖ 提高探测器模拟精度，提取模拟输入参数
 - 测量PMT在水中的反射率
 - 测量SiPM在LAB/白油中的反射率
- ❖ 正在进行装置的设计



❄️ SiPM及SiPM读出方案初步考虑

- 考虑了两种读出方案，初步考虑了每种方案的造价。
- 对触发方案和数据量进行了初步估算和考虑。

❄️ SiPM模块支撑方案初步考虑



❄ 发表文章

- ① X.L. Sun, et.al., and the nEXO collaboration, *Study of Silicon Photomultiplier Performance in External Electric Fields*, JINST 13, T09006, 2018 (合作组文章, 通讯作者之一)
- ② HQL18 Proceeding: “*Search for $0\nu\beta\beta$ Decay with EXO-200 and nEXO*”
- ③ Reflectivity of SiPM in Vacuum (文章初稿准备中)

❄ 国际会议报告

- SORMA XVII, June 11 – 14, 2018, Ann Arbor, US.
Invited talk: “*Neutrino Detection in China*”
- Neutrino 2018, June 3 – 9, 2019, Heidelberg, Germany.
Poster: “*Introduction to Monte Carlo Simulation at JUNO*”
- HQL 2018, May 27 – June 1, 2018, Yamagata, Japan
Invited talk: “*Search for $0\nu\beta\beta$ Decays with EXO-200 and nEXO*”

谢谢!