

基于声子探测的新型钼酸盐 低温晶体量热器研制

薛明萱 彭海平

核探测与核电子学国家重点实验室
中国科学技术大学

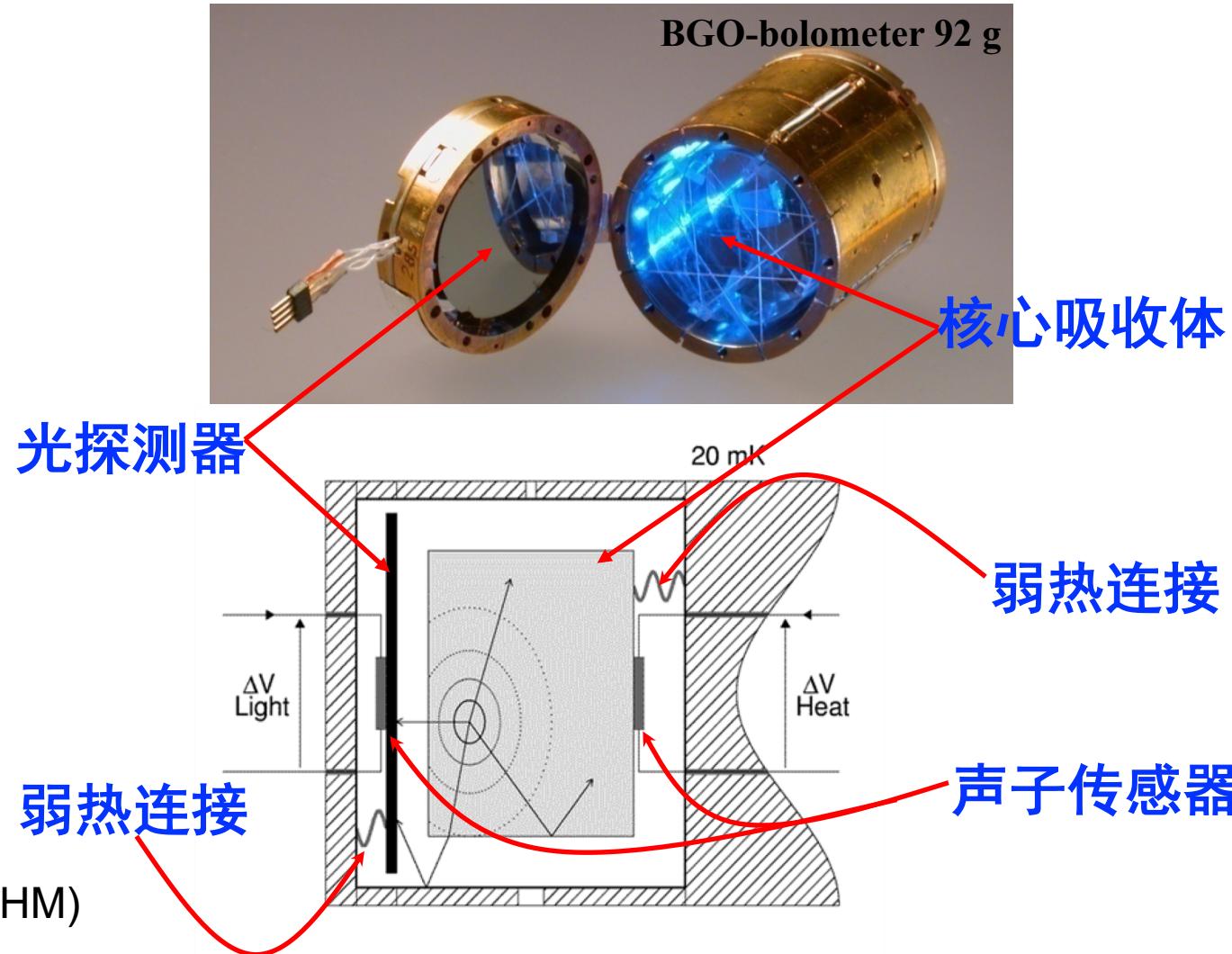
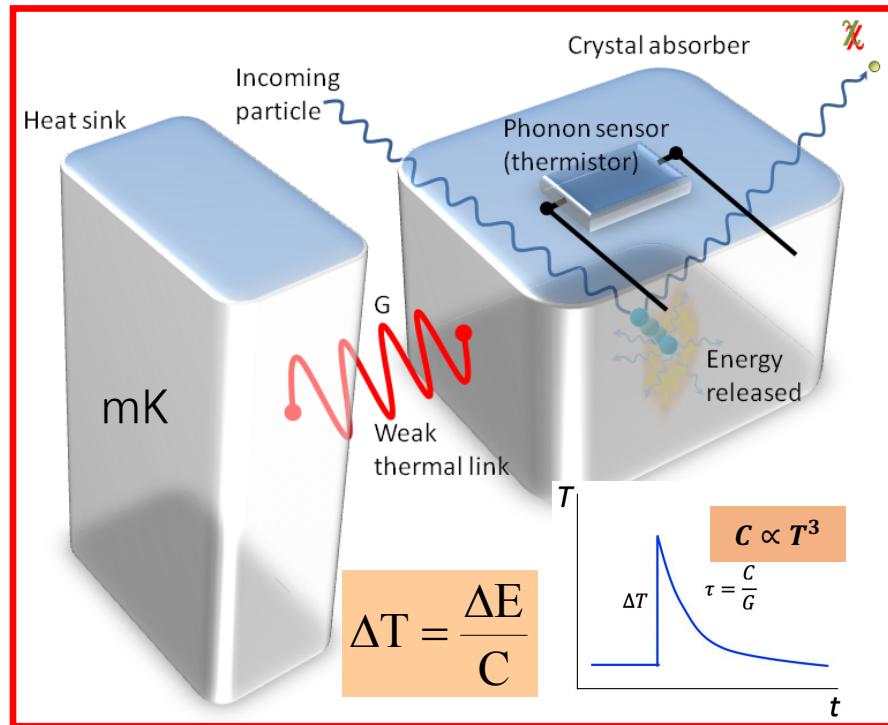
高能物理大会
2022年8月8日-11日

目录

- **工作原理**
- **探测器研制与深冷测试平台搭建**
 - 稀释制冷机测试平台
 - 低温低噪声小信号电子学读出系统
 - 宇宙线荧光-热量双信号读出实现
 - 近期优化更新计划
- **总结展望**

深冷低温粒子探测器原理和独特优势

探测原理



独特优势

- ✓ 吸收体选择多样→丰富的物理
- ✓ 极低的探测阈值(20eV)
- ✓ 极好的能量分辨(5keV@2.6MeV (2%) FWHM)
- ✓ 粒子鉴别(光/电荷-热)

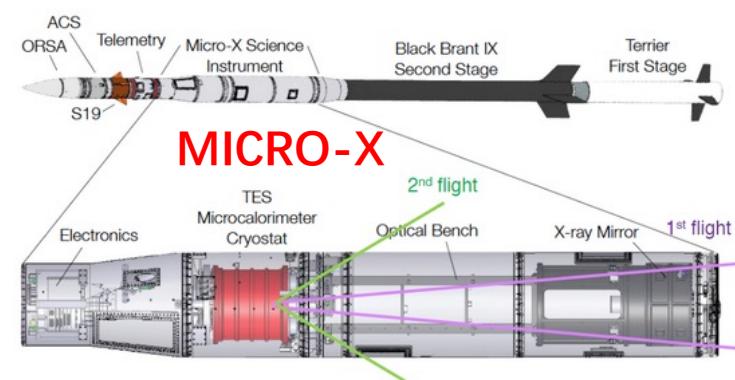
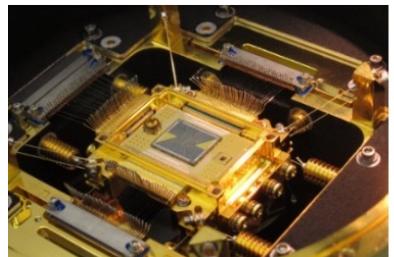
薛明萱

典型应用

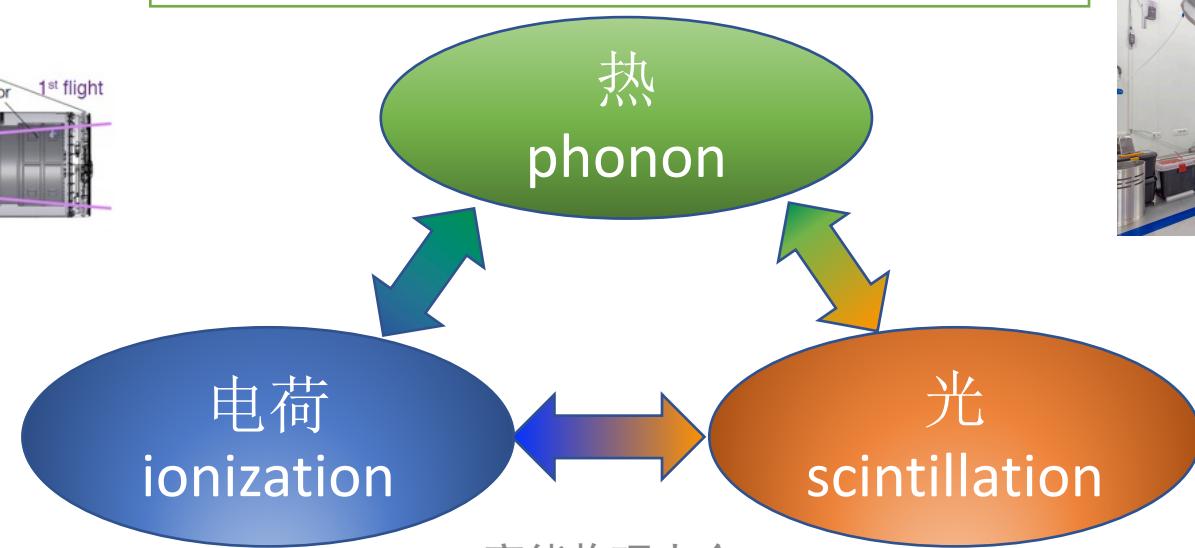
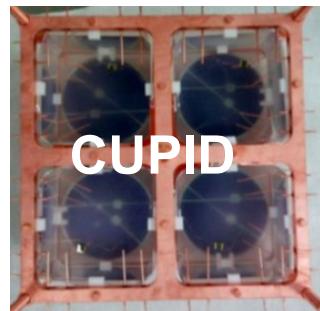
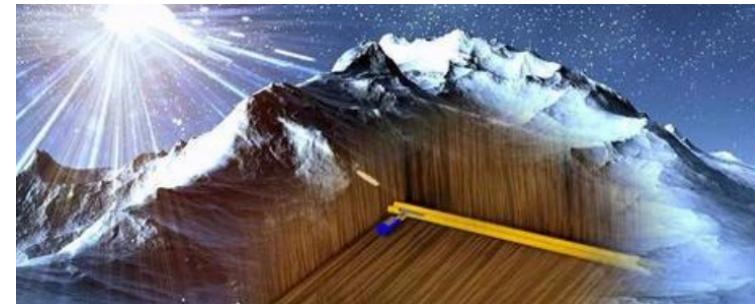
低能区 MeV, keV, eV

信号衰减时间 $\mu\text{s} \sim \text{百ms}$ 量级

极好的能量分辨

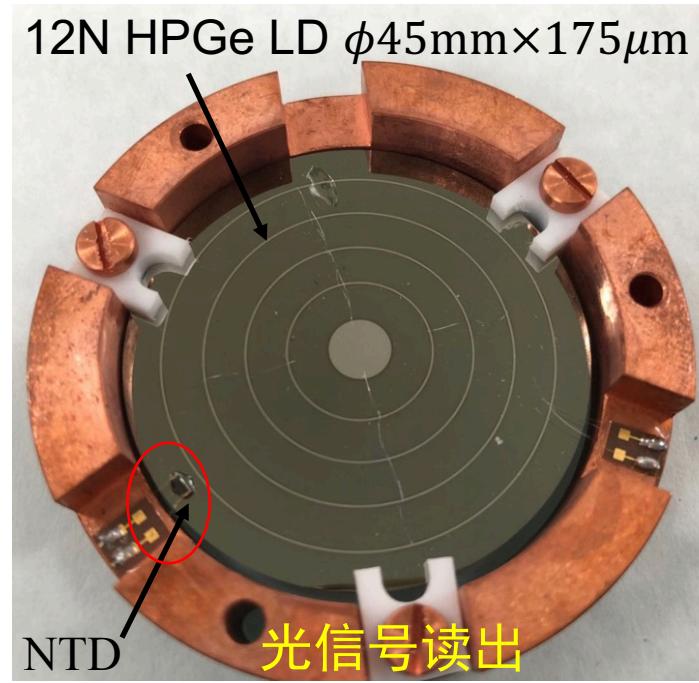
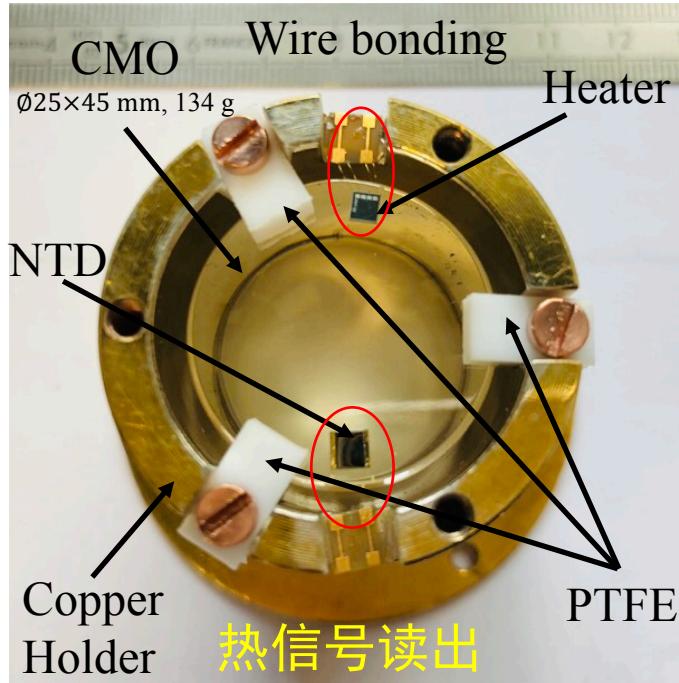


轻质量暗物质寻找
天然放射性衰变: α 衰变, $0\nu\beta\beta$
中微子原子核弹性相干散射
软X射线精确测量
.....



低温晶体量热器研制

- 基于声子收集的探测技术是革命性的，粒子探测学科的重要发展方向

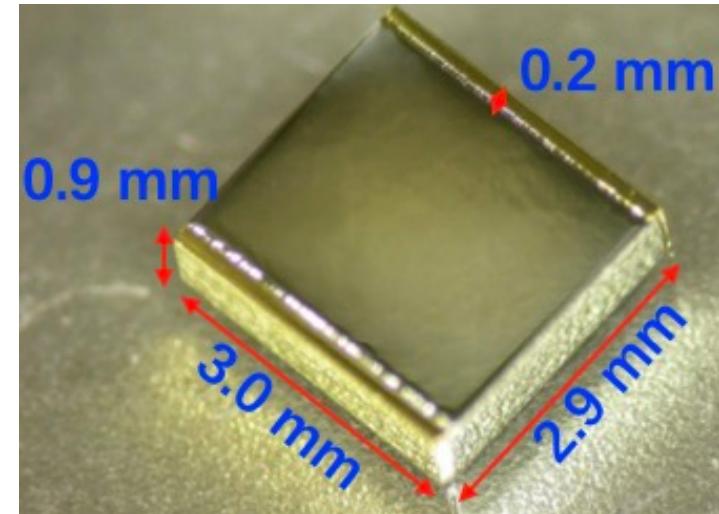
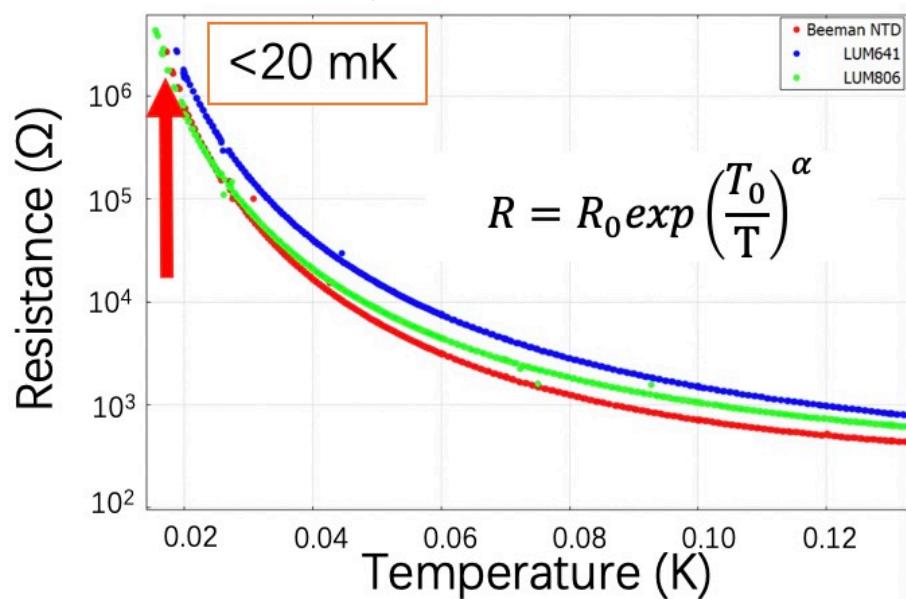


- 吸收体 😊
- 声子传感器 😕 *Talk #306 by K. Zhao*
- 光探测器 😕
- 读出电子学 😕
- 深冷低温平台 😕

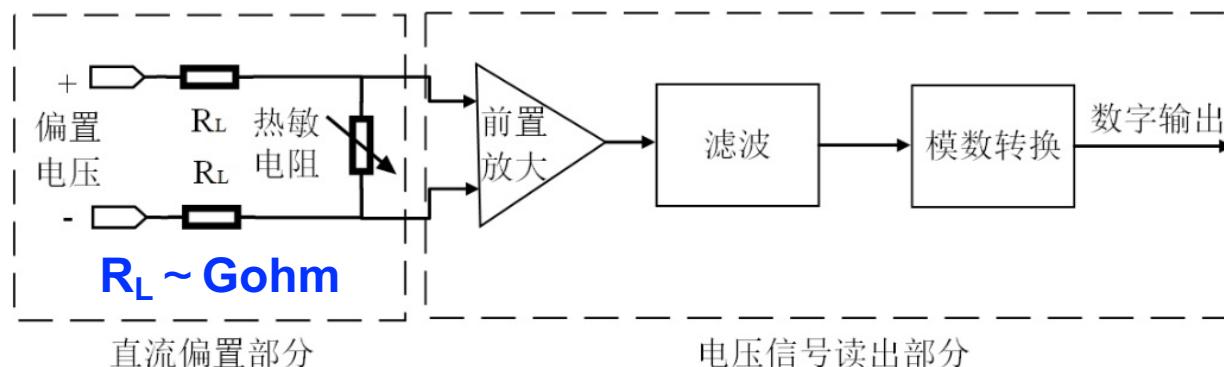
CdMoO₄闪烁晶体荧光-热量双读出深冷低温量热器

半导体声子传感器NTD-Ge及其读出电子学

- 中子辐照核嬗变掺杂高纯锗半导体声子传感器NTD-Ge

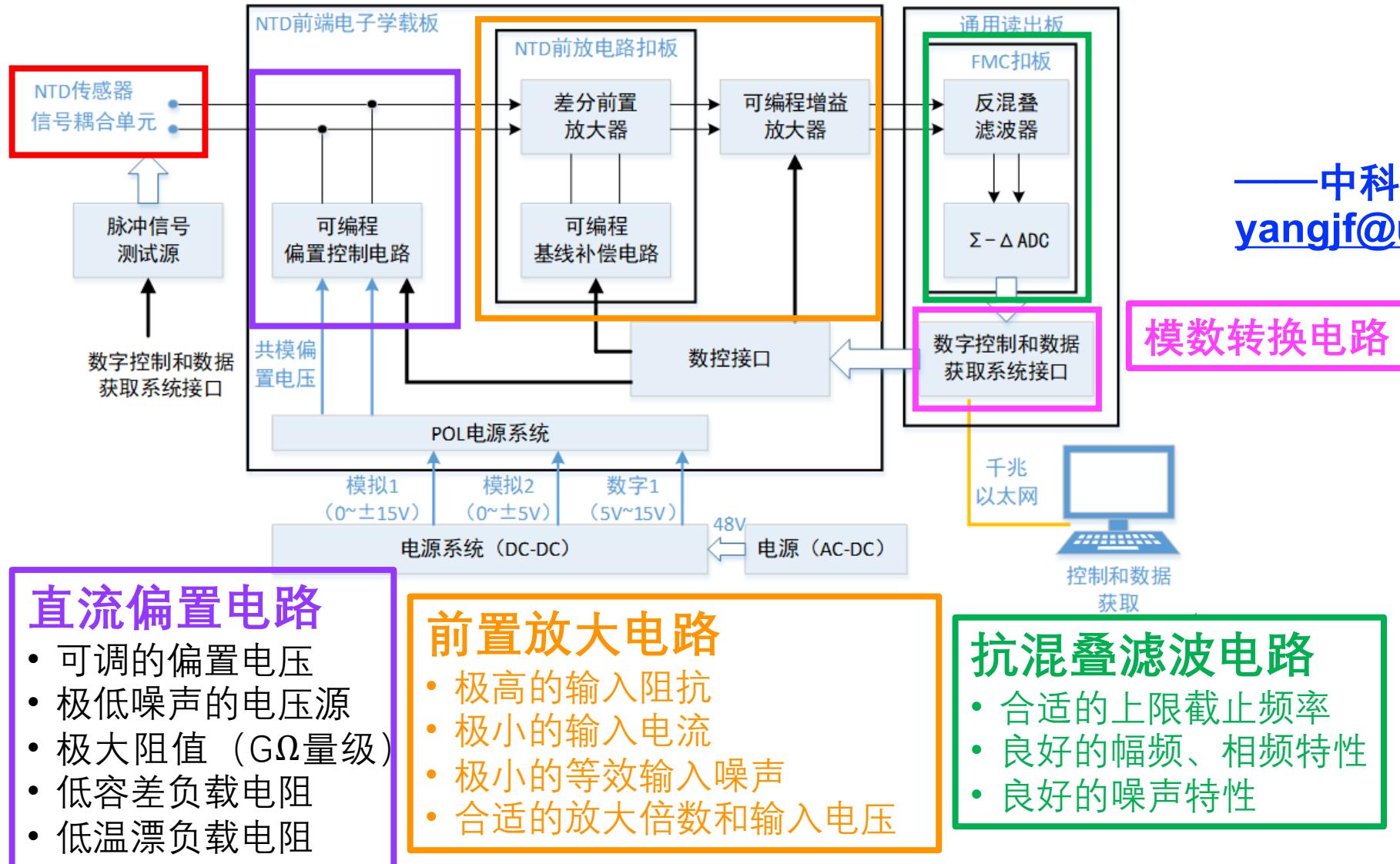


- 读出电子学



- ✓ 室温端
- ✓ 信号来自深冷低温，且极微弱
- ✓ 无触发，流数据存储

低温低噪声小信号电子学系统

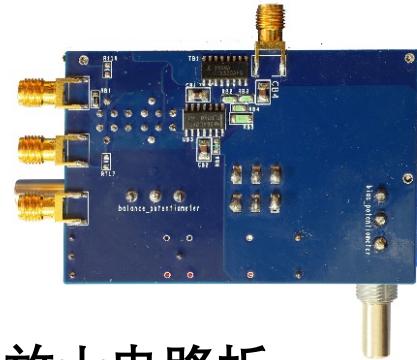


电子学系统研发

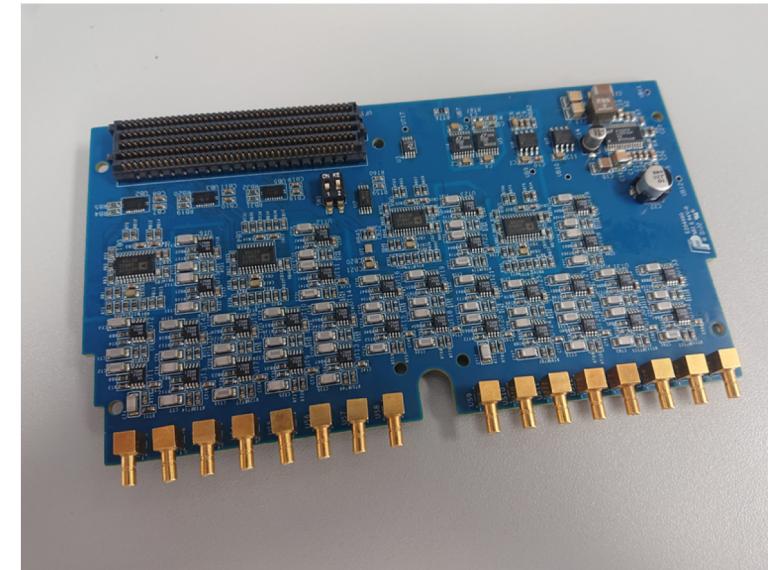
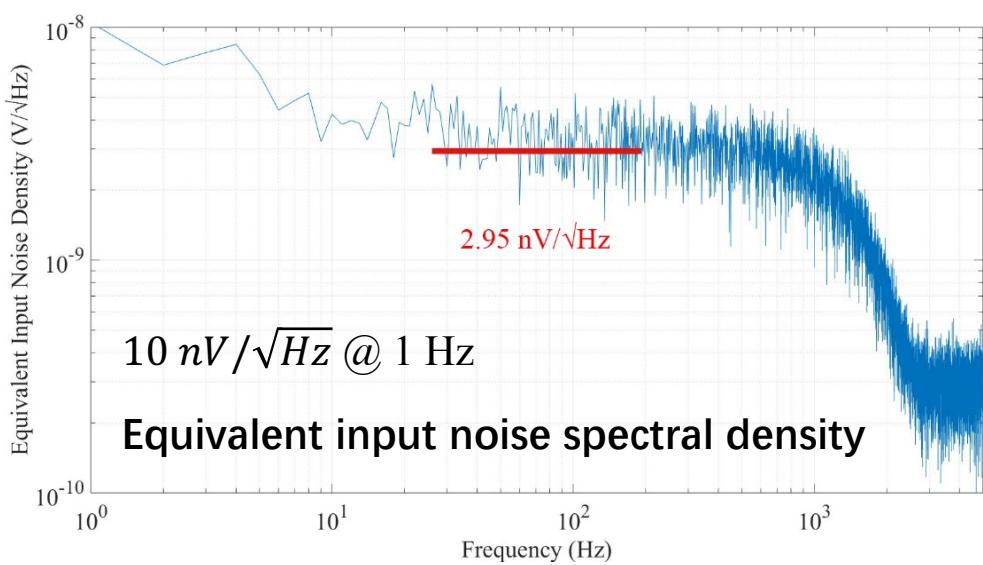
- 电路模块实现与测试



直流偏置与前置放大电路板



数字读出电路板



深冷mK低温平台

- 低温晶体量热器地面测试装置



稀释制冷机

- Oxford Instruments TRON-15-500-H (USTC)
- 低温读出，主动减震装置
- 最低温 $<10\text{ mK}$, 稳定性 $<100\text{ }\mu\text{K}@10\text{ mK}$
- 通过验收运行，开展地面低温晶体量热器测试

深冷mK低温平台



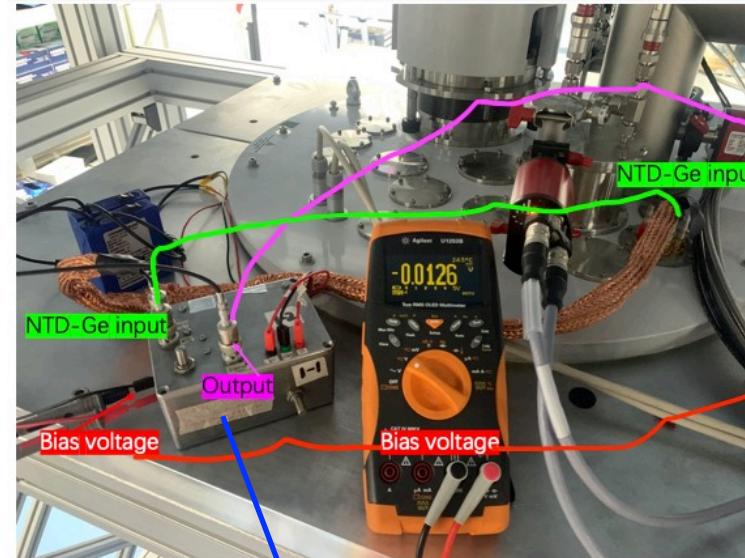
稀释制冷机冷盘

薛明萱



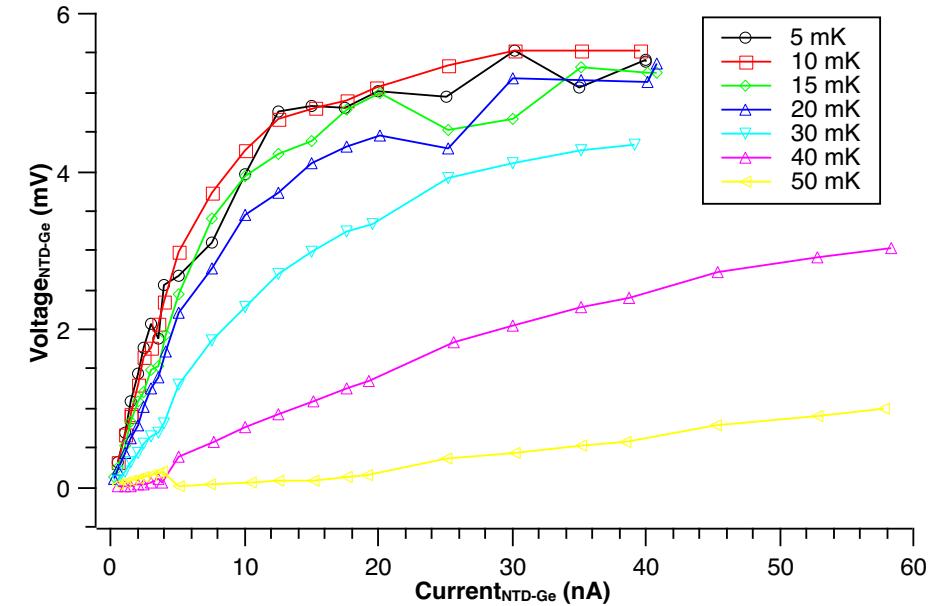
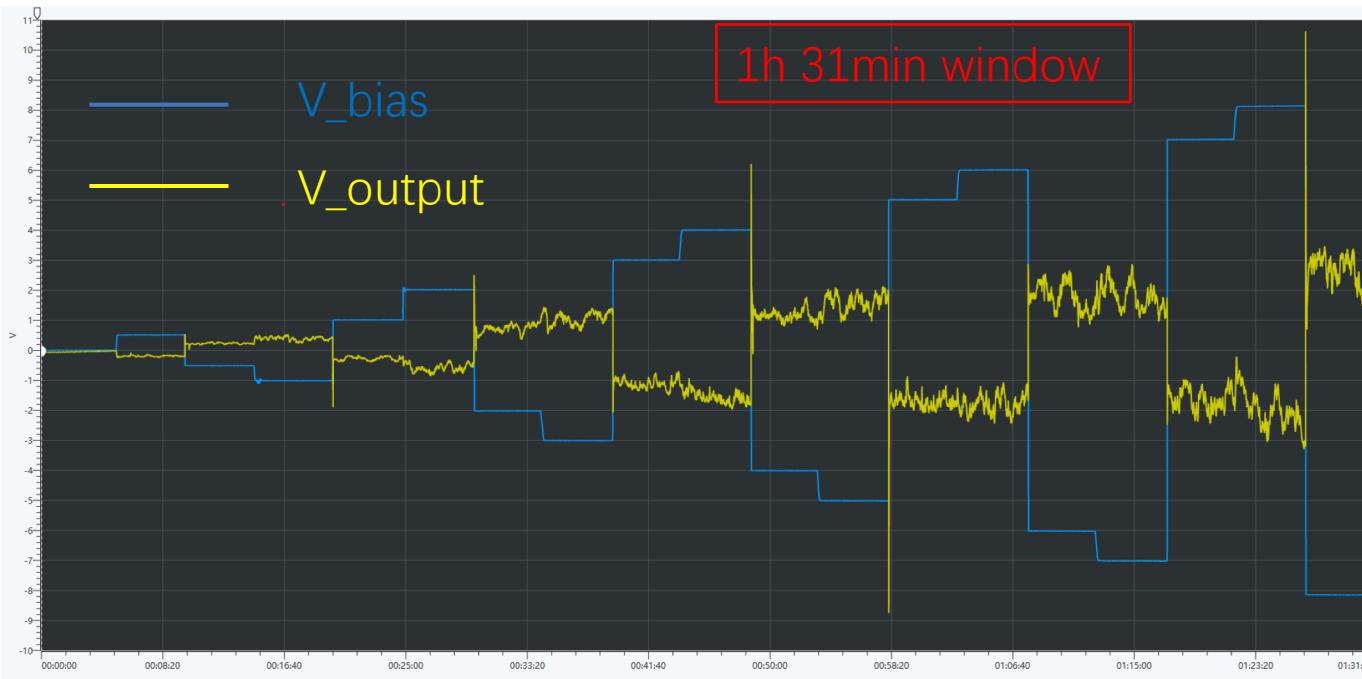
CMO量热器初级安装

高能物理大会



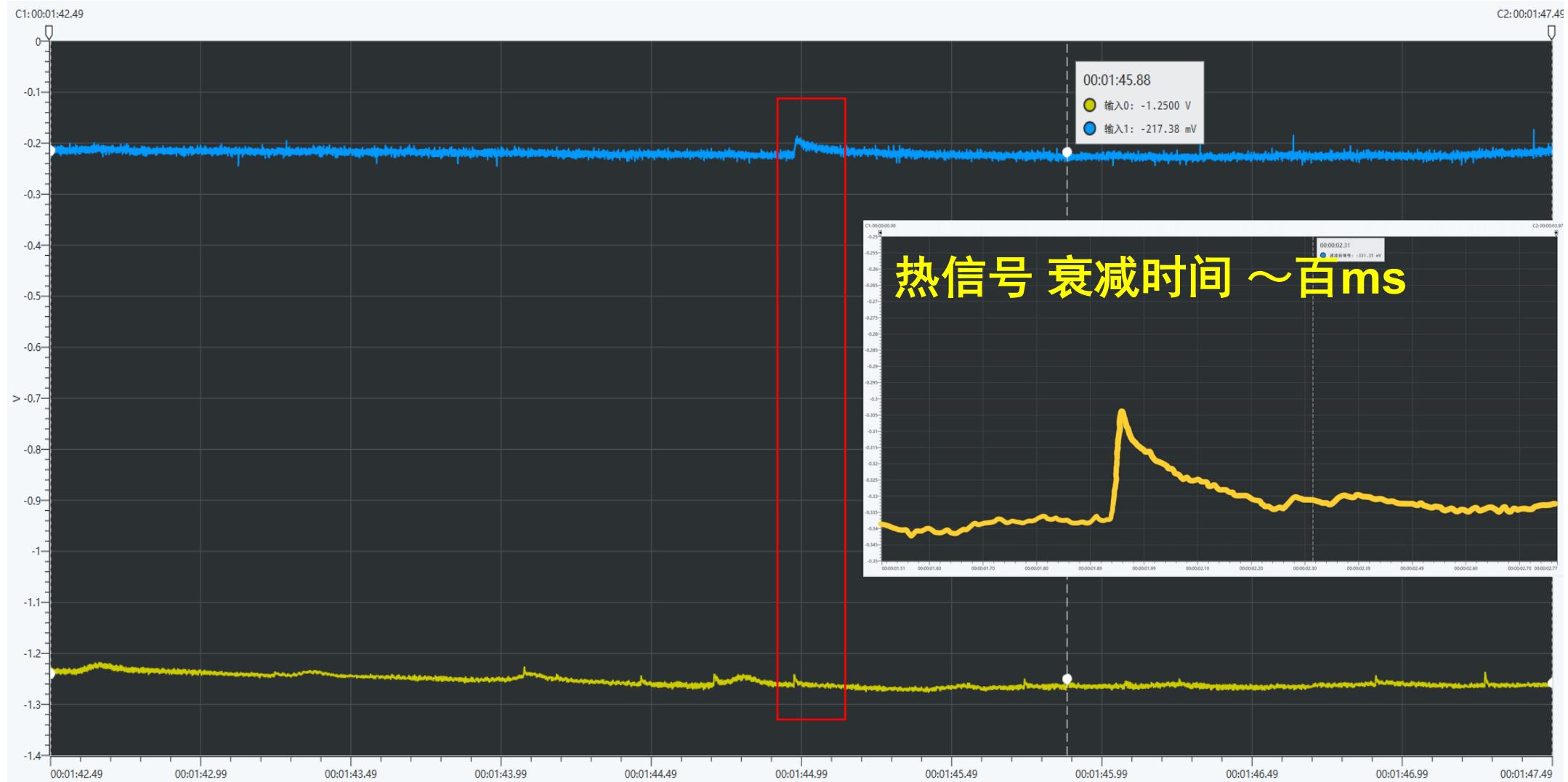
信号读出

NTD-Ge声子传感器I-V曲线



不同温度下NTD-Ge半导体声子传感器负载曲线

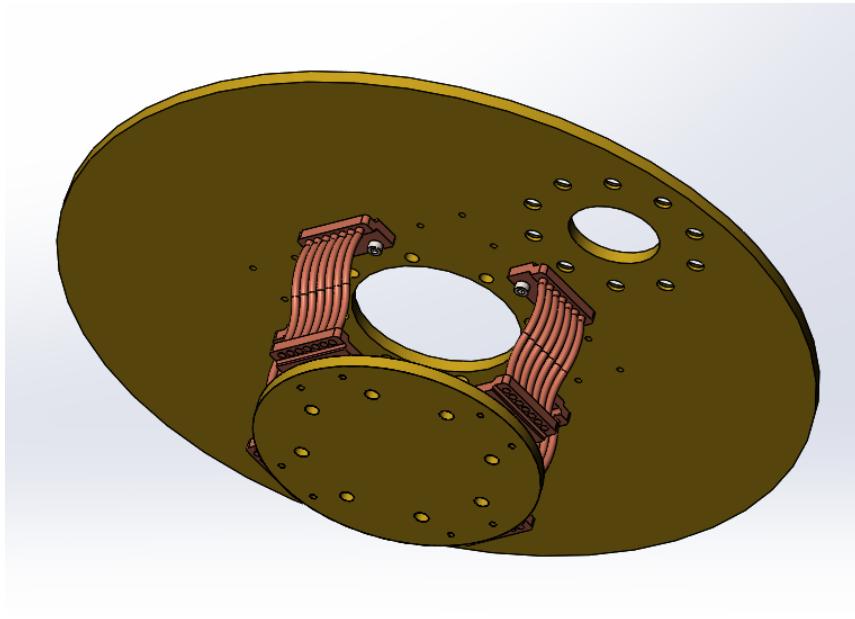
宇宙线荧光-热量双读出



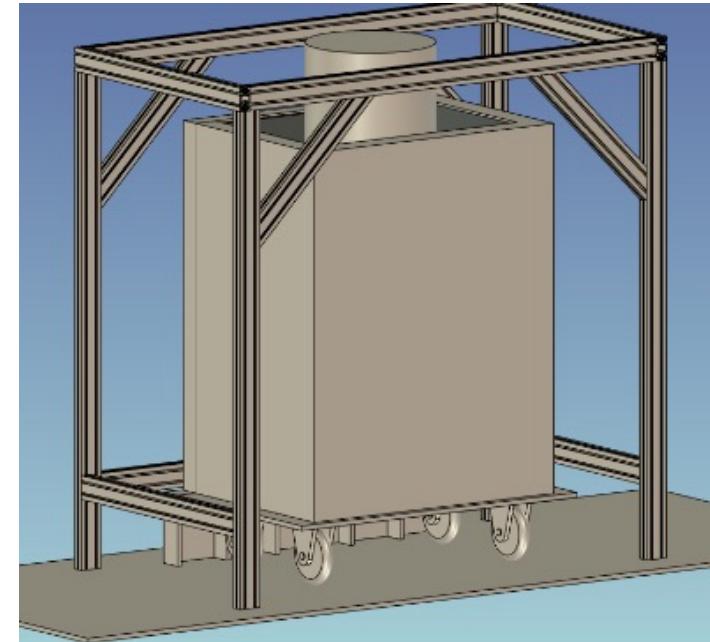
采样率 10kHz

近期测试平台优化

- 低频震动/振动噪声，NTD-Ge一直有热源，阻值小，探测器灵敏度低
- 周边环境放射性污染，探测器一直处于被加热状态，灵敏度低，分辨率差
- 低温线缆更换



弹簧减震



铅屏蔽



低温超导NbTi/Constantan线

总结与展望

- 基于国产CMO晶体在法国组装的CMO荧光-热量双读出低温晶体量热器，致力于在国内搭建深冷低温晶体量热器研发平台
- 初步研制深冷低温晶体量热器**测试平台**+低温低噪声小信号读出**电子学**，成功读出**宇宙线荧光-热量二维信号**
- 近期初步优化更新计划，并基于宇宙线/放射源对探测器进行能量刻度
- 掌握低温粒子探测器核心技术，在国内建立完备的研发平台

谢谢