

钼掺杂的钨酸锂微量热计探测器调研

张路鑫

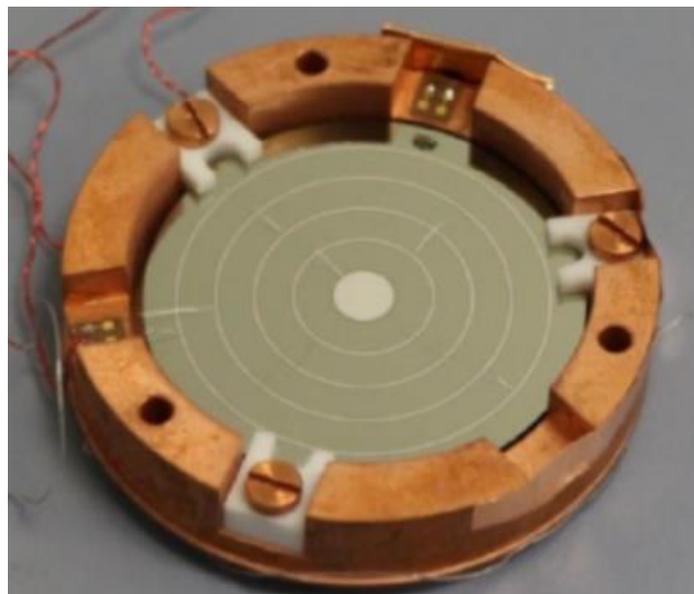
2019.11.7

BASKET简介

- **Bolometers At Sub-KeV Energy Thresholds**
- 目标：开发一个适用于地表（above-ground）的低温CEvNS探测器
- Li_2WO_4 (Mo): 选用W原子核增加CEvNS截面，用 ${}^6\text{Li}(n, t)\alpha$ 反应来探测中子事件，Mo和W的化学性质相近，量热性能好，为方便生长晶体，掺杂Mo
- 可以用于做CEvNS探测器，中子通量探测器或在其他晶体外围做主动反符合屏蔽用于屏蔽中子

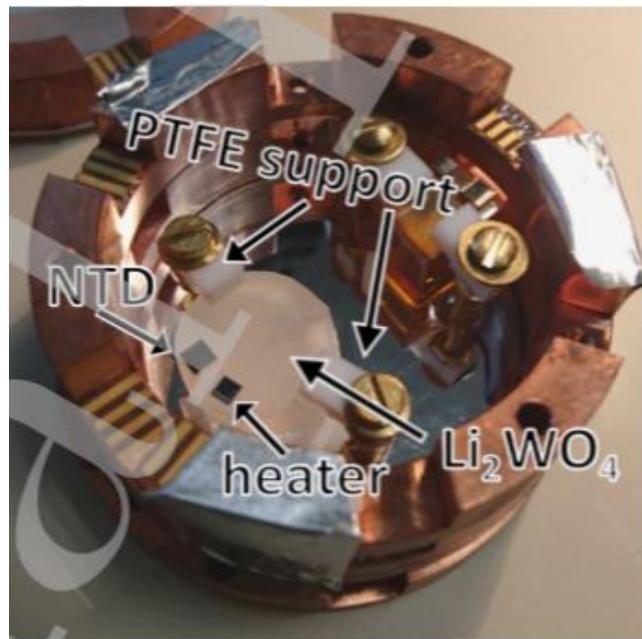
探测器装配

- 8g 18*7 mm柱状 Li_2WO_4 (Mo)晶体，采用NTD做热读出，1.4g 44*0.175 mm Ge片作为Neganov-Trofimov-Luke探测器做光读出
- P掺杂的硅加热条贴在晶体上与NTD同面用于校准探测器热响应曲线



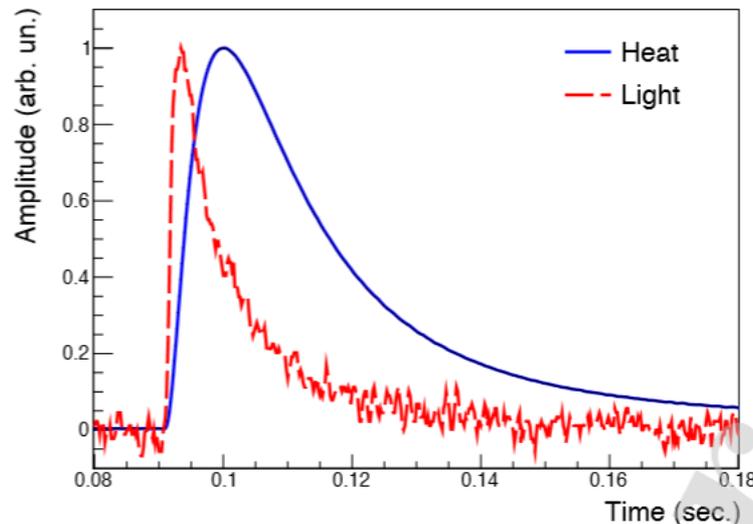
探测器装配

- 装置放置在法国地表CSNSM实验室，采用脉冲管制冷机，内部放置10cm铅做屏蔽，稳定铜框温度于20mK，铜框与晶体间用PTFE固定
- 数据通过16位ADC以5kHz的速率取样，参考信号每分钟注入一次



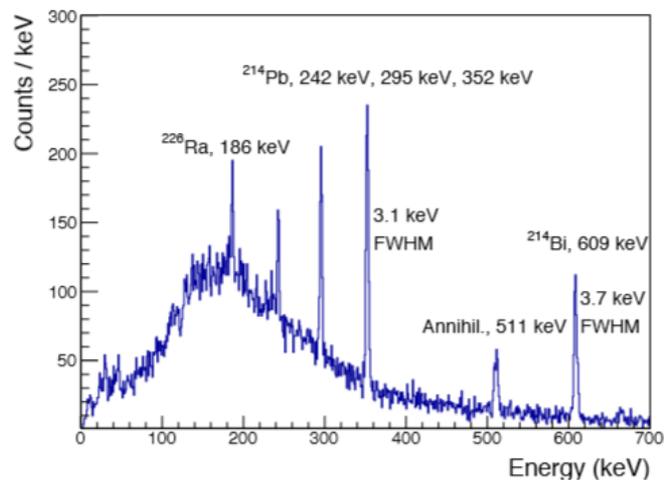
热性能（Bolometric performances）

- Li_2WO_4 (Mo)时间响应曲线上上升沿（从10%到90%）为3.4ms，下降沿（从90%到30%）为19ms，Ge LD的时间曲线要短一些因为其热容较小，但仍受限于NTD的时间响应
- Li_2WO_4 (Mo): 91.5 nV/keV, Ge LD: 3.2 $\mu\text{V}/\text{keV}$, 且可通过优化热传感器来提高



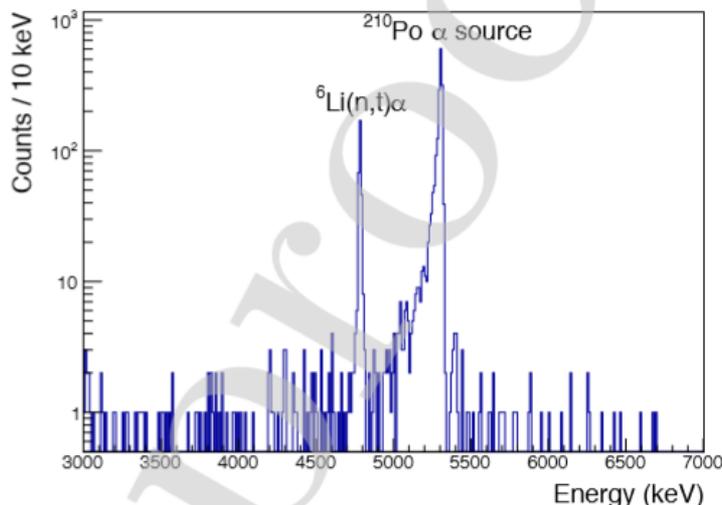
能量响应

- 通过铅屏蔽层中的 ^{226}Ra 及其子核（ ^{214}Pb 和 ^{214}Bi ）刻度能量响应曲线
- 基线能量分辨为1.1(1) keV FWHM，其与 γ 峰的半高宽不同的原因在于存在热化噪声（thermalization noise）
- 可以通过降低噪声（指电子学和热噪声）或降低计数率（增加屏蔽或移至地下）来改进能量分辨



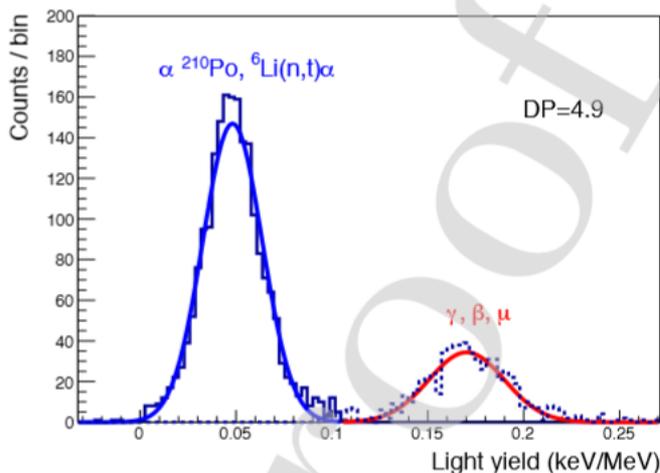
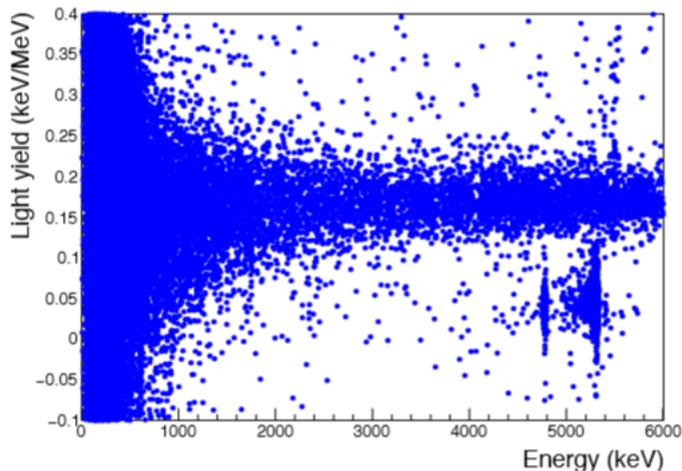
能量响应

- MeV能区的能量分辨由 α 衰变事件进行简单估计，可以看到人为放置在晶体附近的 ^{210}Po 产生的 α 峰（23(1) keV FWHM）以及 $^6\text{Li}(n, t)\alpha$ 反应吸收环境中子产生的峰（17(1) keV FWHM）
- 由于存在淬灭效应，用 γ 进行的刻度对峰位有约3.5%的偏移



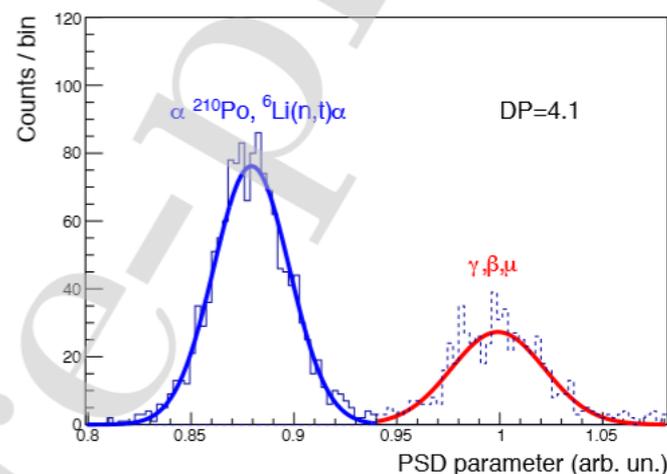
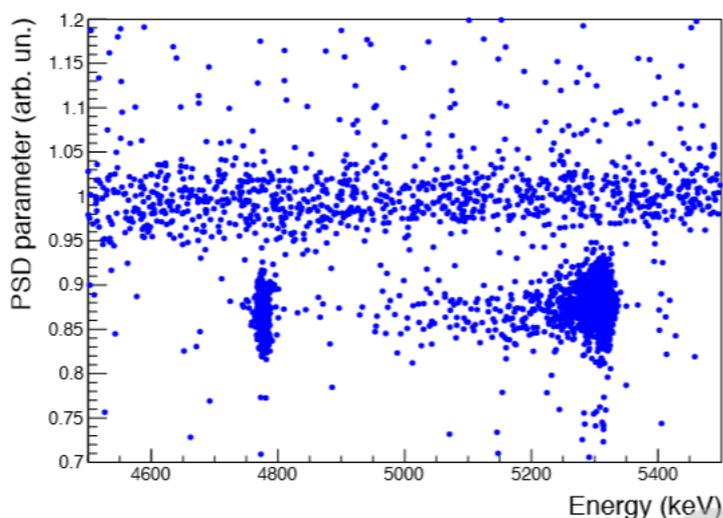
粒子鉴别

- 光热双通道读出进行 $\alpha/\gamma(\beta)$ 鉴别，原理是闪烁晶体中同等能量的重离子的光产额会高于电子
- scintillation light yield $LY_{\gamma/(\beta)}$ 为粒子的光信号比热信号，通常用keV/MeV度量，与整个探测器的各种性能有关
- 由于没有对光探测进行优化，测得的 $LY_{\gamma/(\beta)} = 0.17(1)$ keV/MeV 低于预期值



粒子鉴别

- 仅通过 Li_2WO_4 (Mo)晶体的热读出进行 $\alpha/\gamma(\beta)$ 鉴别
- pulse-shape discrimination (PSD)
- 采用较为精细的PSD参数比直接用上升时间衰减时间描述脉冲差别具有更强的区分能力（DP更高）



放射性本底

- Li_2WO_4 (Mo)晶体本身不含放射性同位素，主要放射性污染来自晶体的生长过程
- ^{40}K 本底约0.1 Bq/kg，可通过筛选含放射性锂粉以及进一步提纯优化，但由于地表实验本底太多，无法精确测量晶体中 ^{40}K 的放射性含量
- 利用 $\alpha/\gamma(\beta)$ 鉴别可以给出部分 α 衰变核素的放射性含量上限：
0.8 mBq/kg ^{232}Tl ,
1.0 mBq/kg ^{228}Th ,
3.4 mBq/kg ^{238}U ,
2.1 mBq/kg ^{226}Ra ;

展望

- 测试不同生长方式的 Li_2WO_4 (Mo)搭配不同的热传感器（如TES, MMC）的表现，搭建快时间响应（ $100\mu\text{s}$ ）低能量阈值（ 50eV ）的探测器原型
- 更换 ^6Li 富集的 Li_2WO_4 (Mo)晶体，提高中子俘获能力