



考核报告

王毅

实验物理中心 中微子二组

2024年11月20日

职责任务



- 暗物质直接探测实验，DarkSide国际合作：（65%~70%）
 - DarkSide-20k,
 - 中心探测器总体设计和管理；
 - 工程任务：掺钎有机玻璃；氩气循环泵。
 - DarkSide-LowMass，技术预研，灵敏度计算。
- 探测器物理，惰性元素探测器：（30%~35%）
 - 1 keVnr 阈值双相氩TPC研制；
 - 预期应用：反应堆中微子CEvNS，DarkSide-LowMass；
 - 惰性元素探测器微观物理机制（发光、淬灭，掺杂）。
- 其他参与实验：
 - JUNO，ProtoDUNE。

DarkSide-20k: Gd-PMMA任务



- 2021年，提出了利用掺钆有机玻璃作为中心探测器结构材料的设想，以reject最关键本底-中子；
- 计算表明使用掺钆有机玻璃中子反符合效率 80%→95%；
- 2021~2023年，掺钆有机玻璃技术研发；
- 2023~2024年，掺钆有机玻璃工业化预生产；已于2024年7月签署生产合同，开始正式生产。
- 2025年，预计完成DarkSide-20k实验掺钆有机玻璃核心部件的全部生产。

DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钆有机玻璃

氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算

核心技术研发

DarkSide-20k: Gd-PMMA解决的技术问题



陈磊

- 解决问题一：大尺寸掺钆有机玻璃生产
- DarkSide-20k实验需要板材尺寸：4m x 2m x 15cm；
- 泰兴汤臣亚克力公司高成品率板：2m x 2m x 2cm；
- 研究符合拼接工艺获得所需大板尺寸，**难点拼接料需要掺钆，拼接料聚合参数需要调整。**

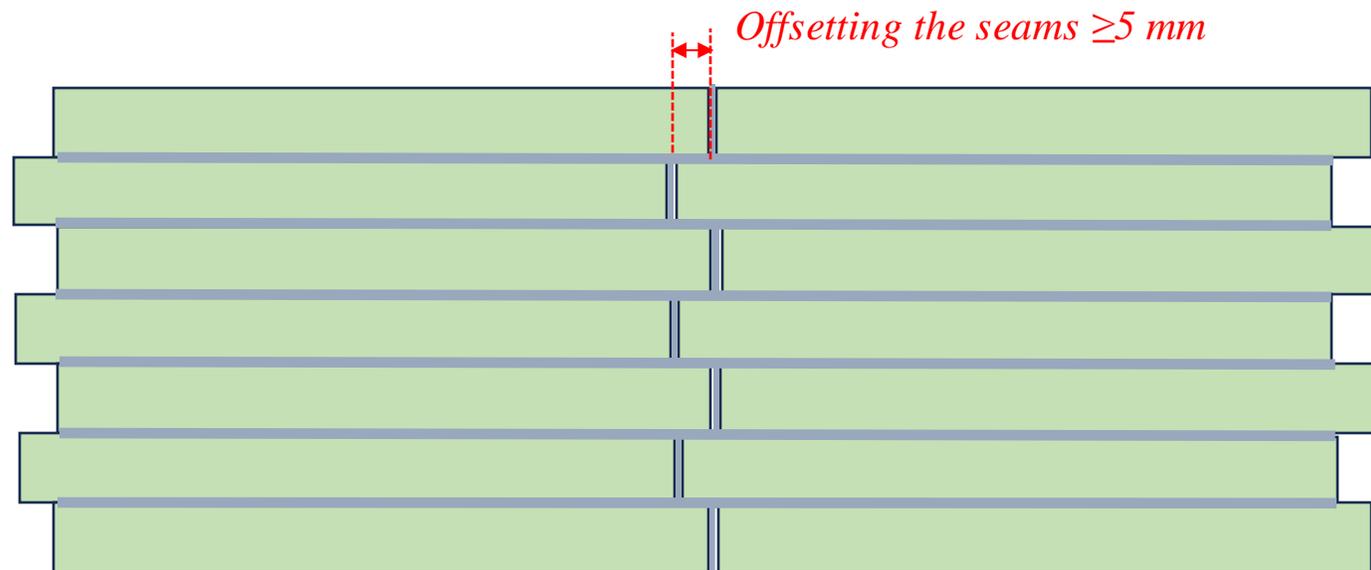
DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钆有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发



DarkSide-20k: Gd-PMMA解决的技术问题



陈磊

- 解决问题一：大尺寸掺钆有机玻璃生产
- 与扬州大学、汤臣共同攻克了技术难题，完成了大板实验板的生产。

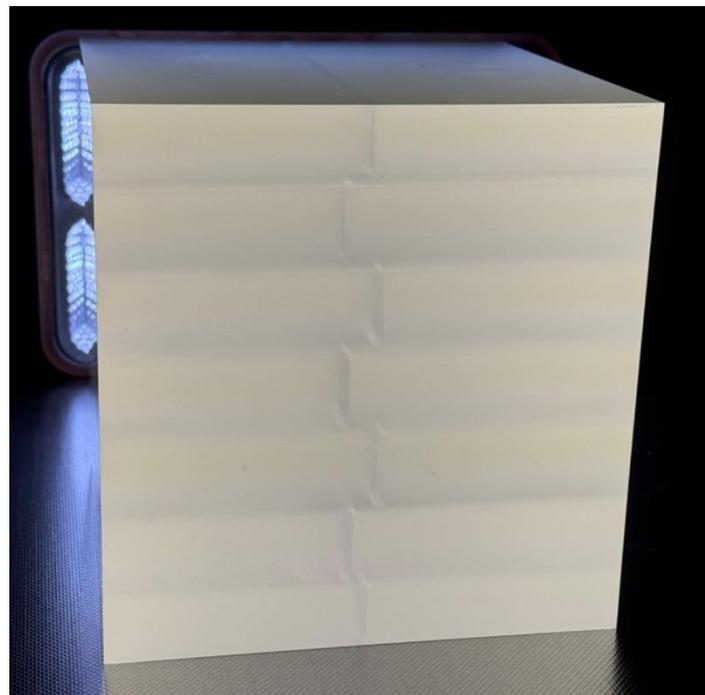
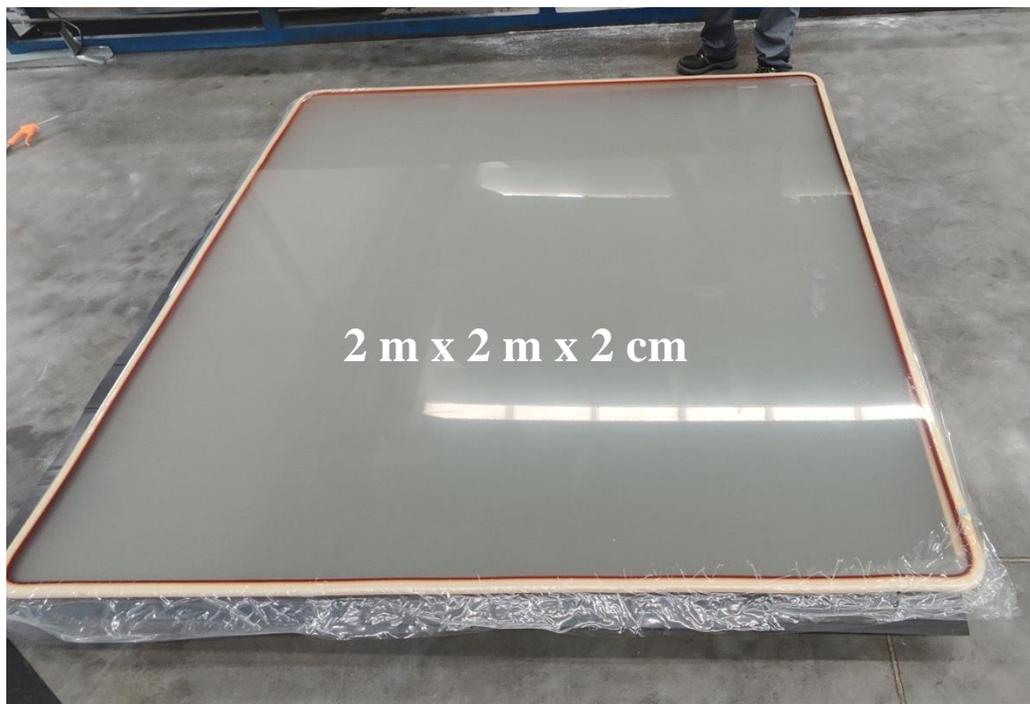
DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钆有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发



DarkSide-20k: Gd-PMMA解决的技术问题



陈磊

- 解决问题一：大尺寸掺钆有机玻璃生产
- 其中一块样板送至加拿大University of Alberta测试；
- 研发及预生产成果通过合作组评审。



DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钆有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发

DarkSide-20k: Gd-PMMA解决的技术问题

陈磊, 胡捷



- 解决问题二：掺钆有机玻璃板残留应力去除
- 过大的残留应力会导致掺钆有机玻璃板在降温时开裂，需研究应力去除方案——退火。
- 与U of Alberta合作制定退火方案，三次退火：
 - 板材生产后：最高温度140°C，耗时55小时；
 - 符合拼接完成后：最高温度140°C，耗时160小时；
 - 机加工完成后：最高温度90°C，耗时110小时。

DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钆有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发

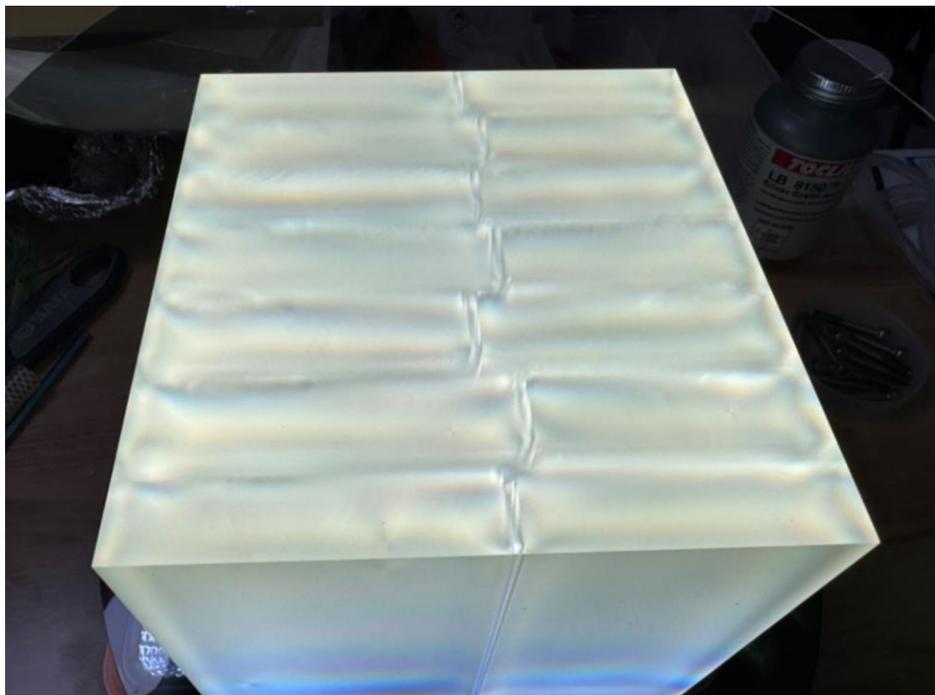
DarkSide-20k: Gd-PMMA解决的技术问题



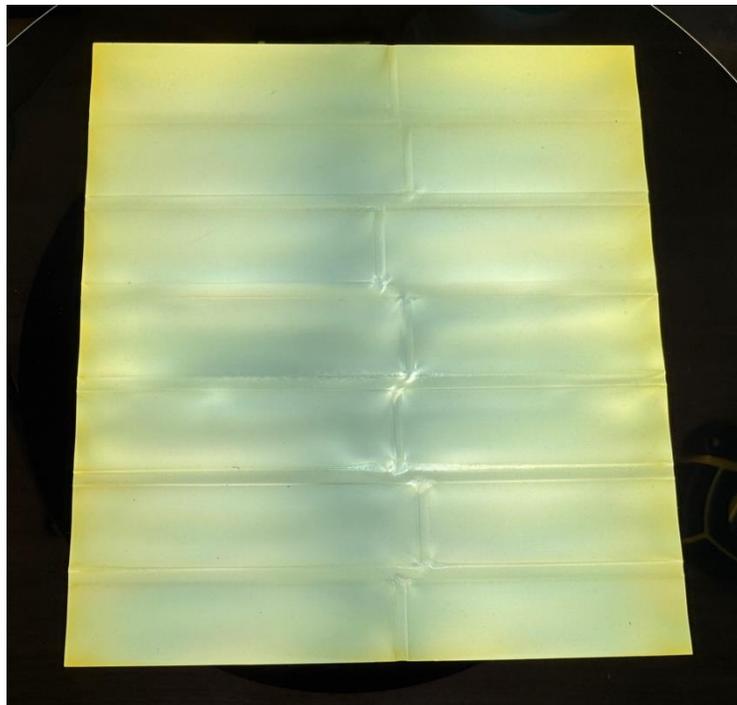
陈磊, 胡捷

- 解决问题二：掺钆有机玻璃板残留应力去除
- 退火实验在三号厅新实验室进行，应力去除效果显著，技术已经移交泰兴汤臣亚克力公司。

Before annealing



After annealing



DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钆有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发

DarkSide-20k: 氙气循环泵

尹纪龙, 李高爽, 舒以科



- 氙气循环泵被视为是DarkSide-20k实验的“心脏”，决定了实验过程中氙气纯度符合要求；
- 流速要求500 L/min，无商业泵符合要求。
- 2017年高能所与UCLA合作开始该泵的研发工作，2019年完成原型泵装配，2024年在高能所测试。
- 测试结果：进出口压力，流速均符合要求。
- 正在进行DarkSide-20k实验3台泵的采购合同洽谈（Princeton University）。

DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

掺钎有机玻璃
氙气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发

DarkSide-20k: 氩气循环泵



尹纪龙, 李高爽, 舒以科

- 测试地点: 三号厅新实验室



DarkSide相关工作:

DarkSide-20k:
掺钎有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass:
灵敏度计算
核心技术研发

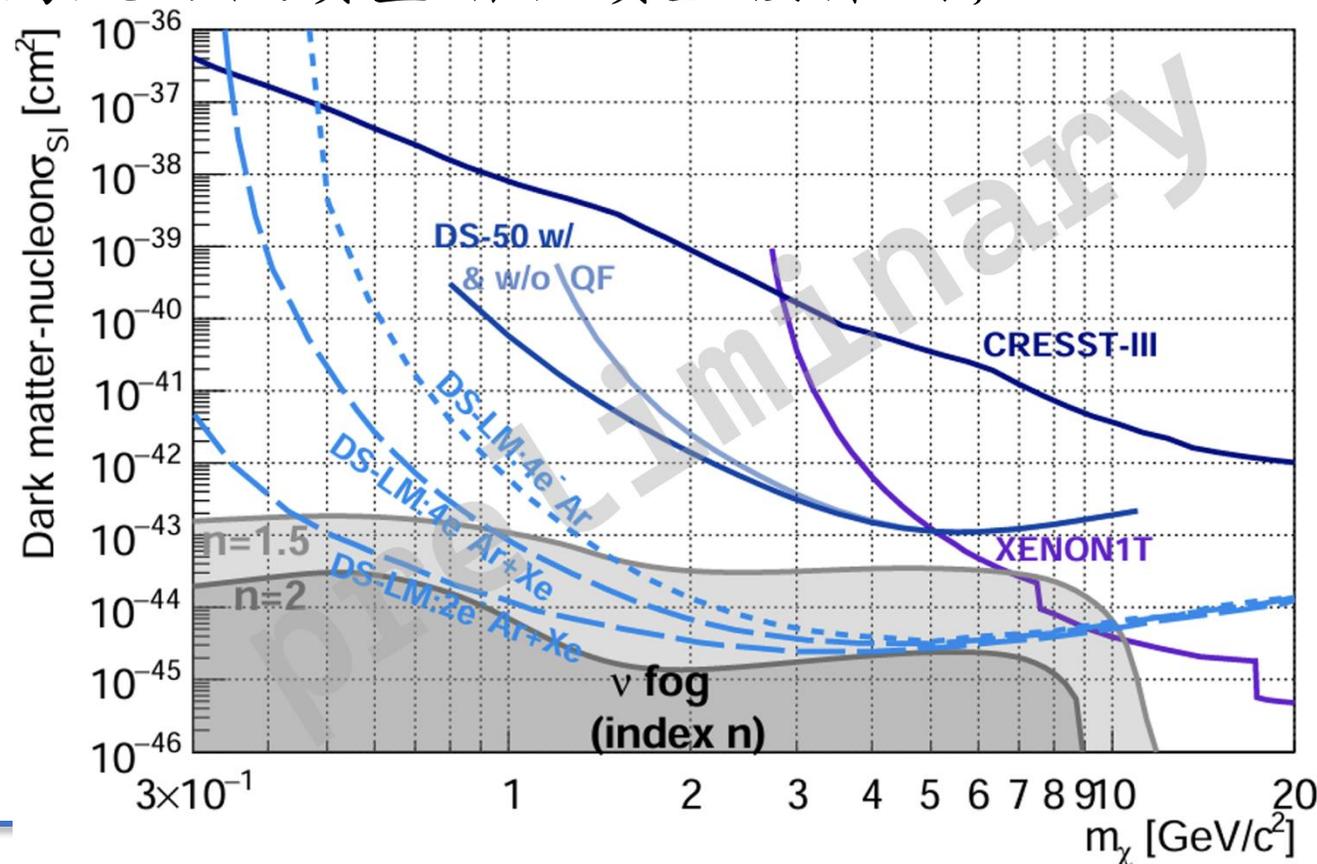
DarkSide-LowMass: 灵敏度更新

舒以科



- 首次提出利用掺氙液氩技术在原有双相氩TPC探测器的基础上进一步降低探测器阈值和分析阈值；
- 获得更宽范围和更高效的低质量暗物质直接探测；

曝光量：1吨年。
对比纯氩及氩氙混合对预期灵敏度的影响。



DarkSide相关工作：

DarkSide-20k：

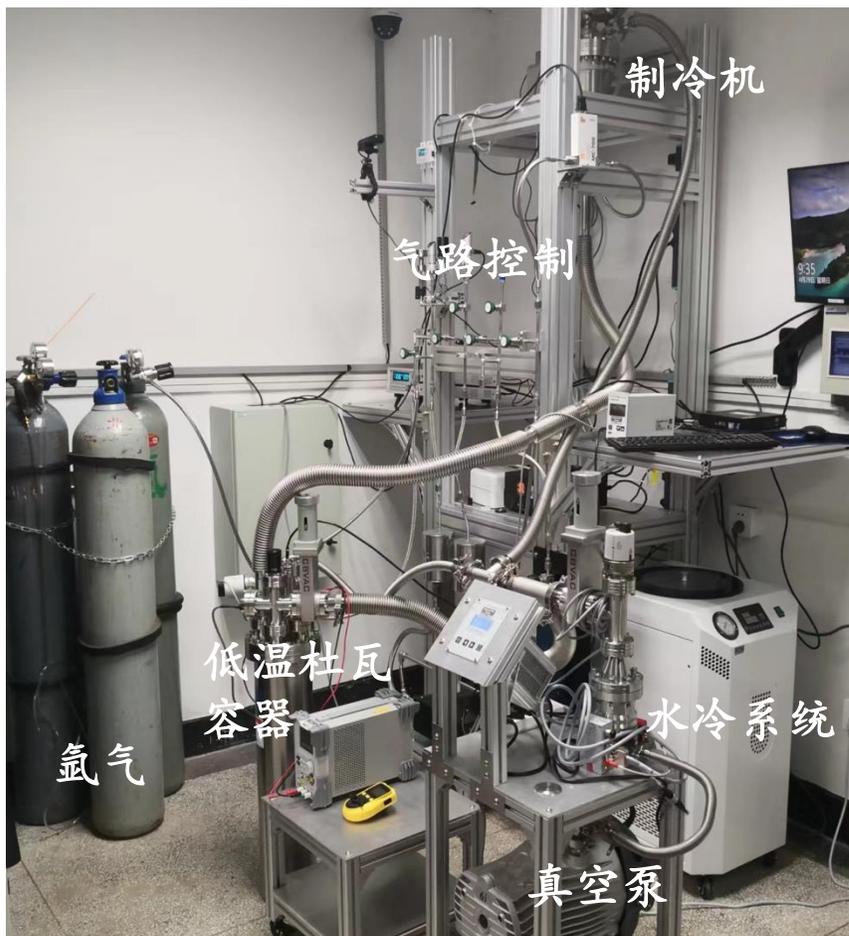
掺钷有机玻璃
氩气循环泵

DarkSide-LowMass：

灵敏度计算
核心技术研发

低阈值氩TPC研制-低温系统

尹纪龙, 李高爽



- 反应堆中微子CEvNS, DS-LM。
- 探测器阈值达到 <1 keVnr, 目前已知数据只做到了7 keVnr。
- 完成重点研发计划指标一: 紧凑型低温系统的建设。
- 文章撰写中。

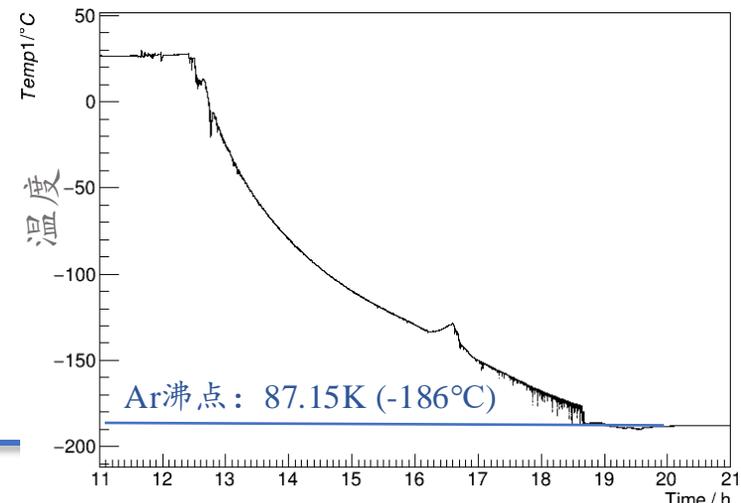
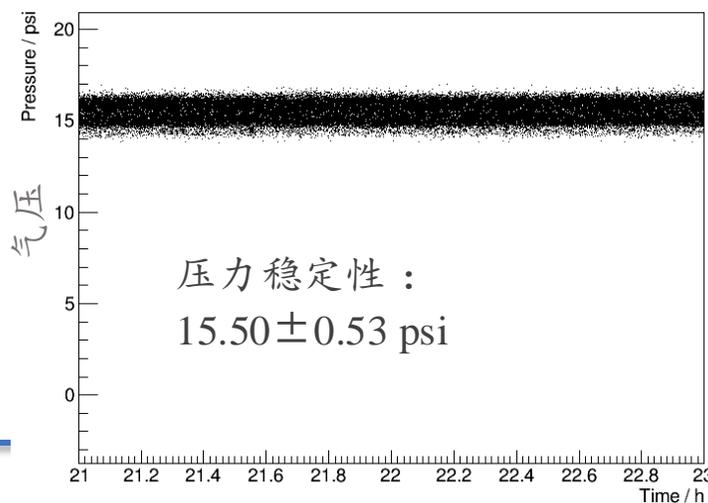
DarkSide相关工作:

DarkSide-20k:

掺钎有机玻璃
氩气循环泵

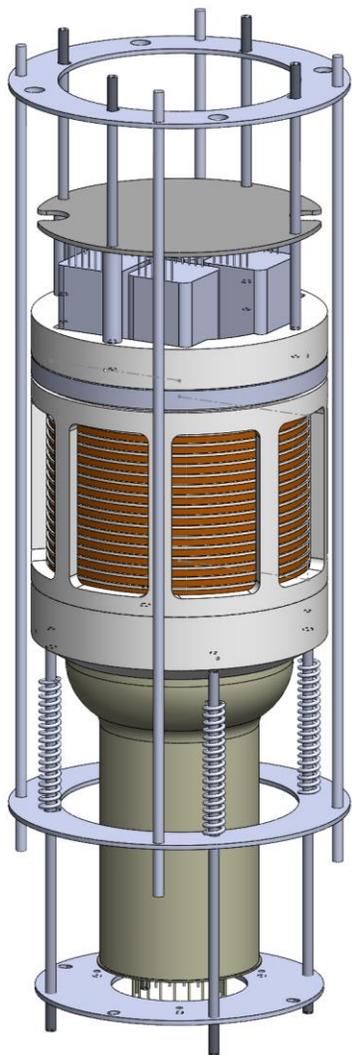
DarkSide-LowMass:

灵敏度计算
核心技术研发

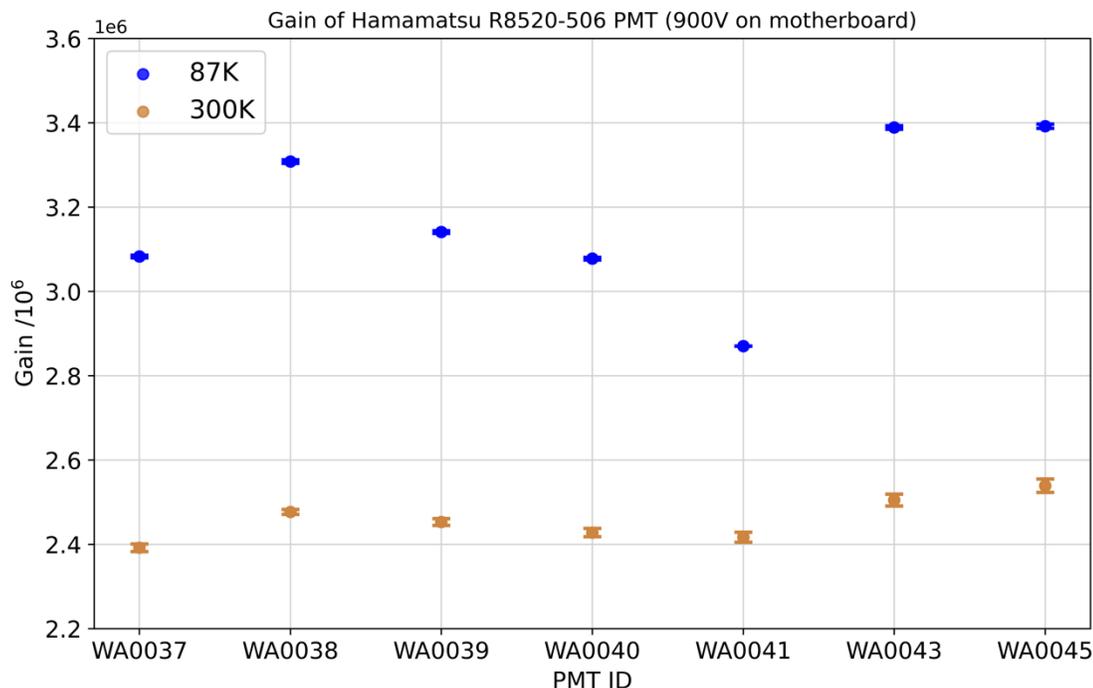


低阈值氙TPC研制-PMT测试

尹纪龙, 李高爽



- 滨松专为液氙实验研发的1英寸PMT R8520-506;
- 7支PMT共用一个HV input的base设计。
- **Gain在液氙中比室温高20%~40%。**
- 测完相对QE, 预计发技术文章一篇。



反应堆中微子CE ν NS实验可行性评估

谢宜君



- 宇生本底与中微子事例的pile up;
- 经计算，信号损失率为0.337%，不对实验造成决定性影响。

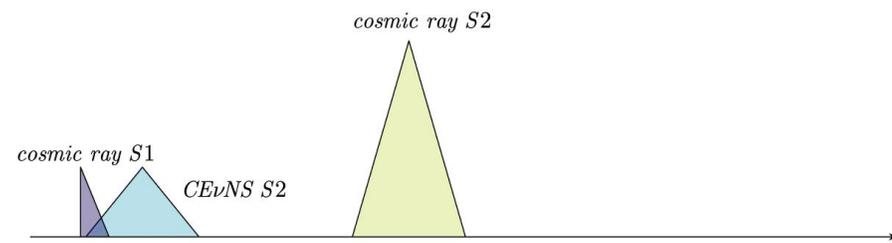


图 4-27 本底信号的 S1 与 CE ν NS 信号的 S2 发生重叠的情况

- 采用SiPM作为光灵敏器件CE ν NS实验信号信噪比;
- 利用变点检测的方法;
- 当SiPM暗噪声计数率为0.8Hz/mm²时，信噪比约为6.54，满足实验要求。

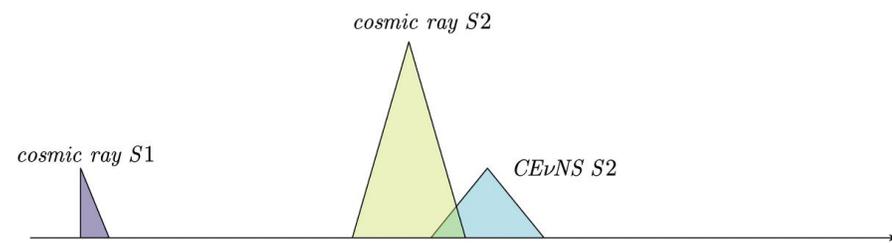


图 4-28 本底信号的 S2 与 CE ν NS 信号的 S2 发生重叠的情况

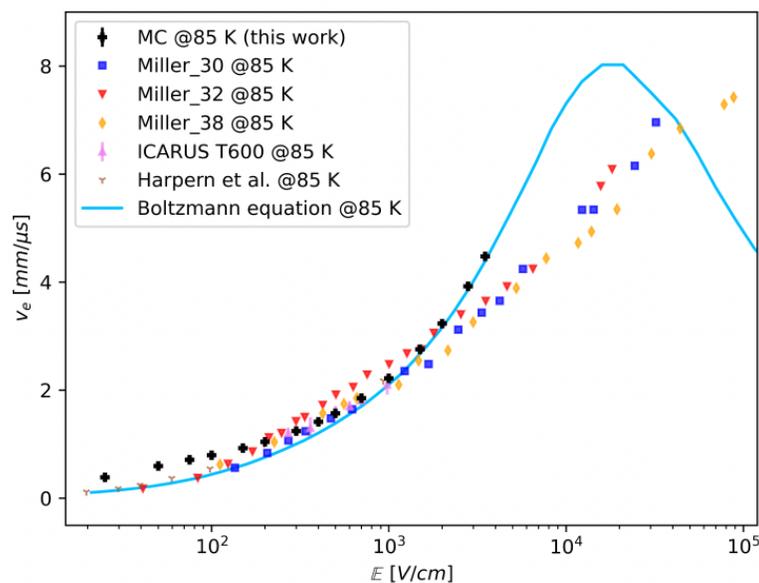
谢宜君硕士毕业论文：基于两相氩技术的中微子相干散射实验模拟及重建研究

电子在惰性液体中的运输机制

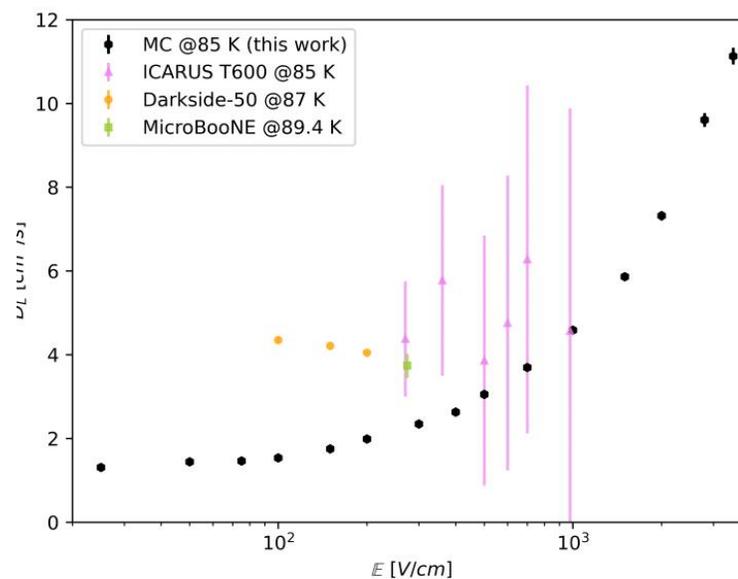
谢宜君



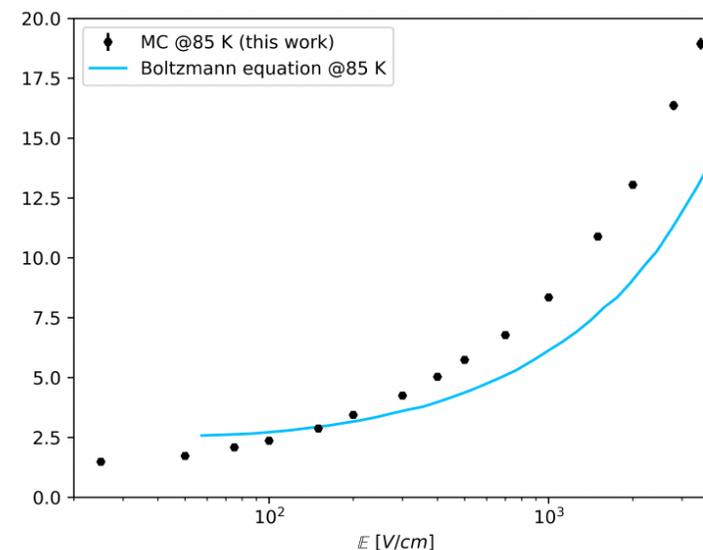
- 从第一性原理出发,利用Geant4工具设计了电子在惰性元素中运动的模拟软件。成果已发表2024 JINST 19 P03008。
- 实现了在非data-driven前提下对电子运动的描述（速度，空间分布）。



(a) Velocity in liquid argon



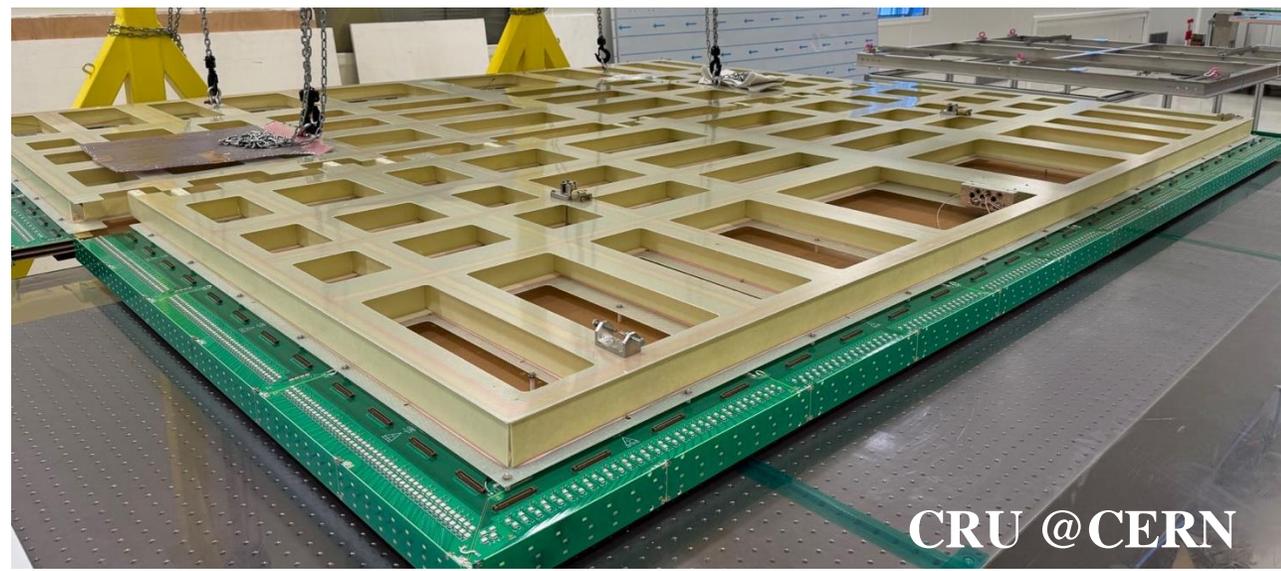
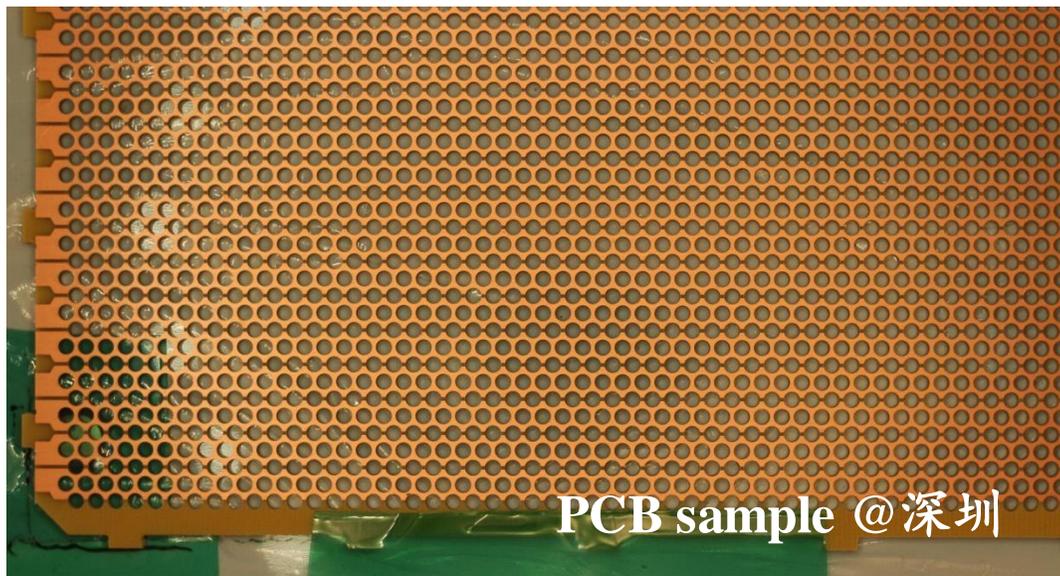
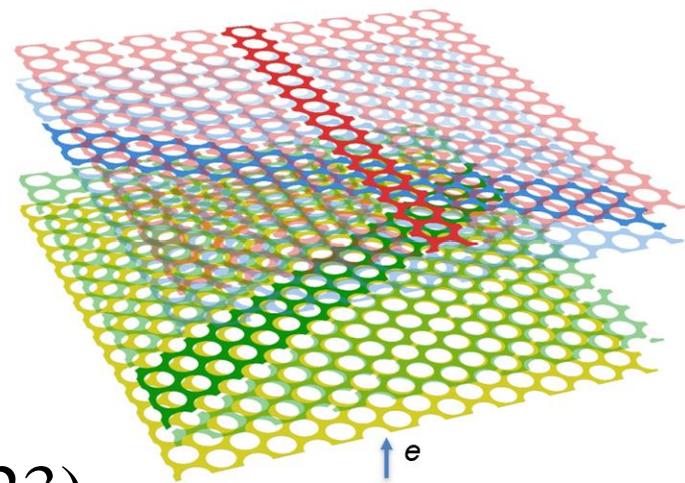
(c) Longitudinal diffusion in liquid argon



(e) Transverse diffusion in liquid argon

ProtoDUNE/DUNE VD CRP探测器

- Vertical Drift 将是DUNE的第一个探测器。
- CRP (Charge Readout Planes) 是电荷读出的核心部分。
- 与CERN Neutrino Platform 合作完成了设计 (2021~2023)。
- 与深圳超盛集团合作进行了样机制作, 正在CERN测试中。
- 技术挑战: 大尺寸 (2米) 密孔高精度 (25微米) PCB制作工艺。



发表文章



	题目	刊物名称	作者
1	Development of a Monte Carlo tool to simulate the electron transportation processes in noble liquids	2024 JINST 19 P03008	Y. Xie, Y. Wang
2	Long-term temporal stability of the DarkSide-50 dark matter detector	2024 JINST 19 P05057	DarkSide-50
3	Constraints on directionality effect of nuclear recoils in a liquid argon time projection chamber	Eur. Phys. J. C (2024) 84:24	DarkSide-20k
4	A new hybrid gadolinium nanoparticles-loaded polymeric material for neutron detection in rare event searches	2024 JINST 19 P09021	DarkSide-20k
5	Benchmarking the design of the cryogenics system for the underground argon in DarkSide-20k	Submitted to JINST	DarkSide-20k
6	Temperature-Dependent Photoluminescence of PEDOT:PSS-Coated Acrylic for use as Transparent Electrodes in the DarkSide-20k Time Projection Chamber	Submitted to Nucl. Phys. B	Nicholas Swidinsky, ... Yi Wang
7	Impact of extreme ultraviolet radiation on liquid argon 3 scintillation as a function of the xenon doping	Submitted to Phys. Rev. D	X-ArT, DRD2

学术交流、学术发展规划



	会议类型	会议名称	地点	报告名称	报告类型
1	国际会议	Workshop on Technology and Instrumentation in Future Liquid Noble Gas Detectors	日本 名古屋	The R&D of the Dual Phase Argon TPC from DS-50 to DS-20k	邀请报告
2	国际会议	XeSAT 2024	上海	The DarkSide Project	邀请报告
3	国内会议	第三届地下和空间粒子物理与宇宙物理前沿问题研讨会	四川 西昌	The DarkSide Project; a direct dark matter search project using liquid argon	邀请报告
4	国际会议	CosPA 2024	浙江 宁波	The DarkSide Project	邀请报告
5	国际会议	ICHEP 2024	捷克 布拉格	Exploring Low-Mass Dark Matter with the DarkSide Detectors	会议报告
6	国际会议	LIDINE 2024	巴西 圣保罗	Gd-PMMA: a novel neutron tagging technology for low background detectors	会议报告
7	国际会议	LRT 2024	波兰 克拉科夫	Gd-PMMA: a novel neutron tagging technology for low background detectors	邀请报告

学术交流、学术发展规划



- DarkSide合作组会若干。
- 作为中方协调人组织开展DRD2相关工作。
- 组织国际暗物质直接探测同行前来交流-EPD Seminar。

- 作为Chair筹备LIDINE 2025国际会议（中国香港）。

经费情况



- 重点研发计划课题，液氩中微子探测器研究，630万，2022~2027；
- 所创新，大型暗物质探测实验关键部件掺钎有机玻璃研制，80万，2023~2025；
- 院全球共性挑战专项，基于液氩探测技术的暗物质直接探测，229万，今年结束；

- 基金委优青，未获得支持；
- 基金委面上，未获得支持；
- 基金委国际合作项目，IHEP-莫斯科国立大学，张永鹏牵头，未获得支持。

- 基金委锦屏专项，DarkSide-LowMass技术预研，评审中。



- DarkSide各种board, DRD2。
- DarkSide-20k值班（亚洲时区 2 am CET~10 am CET），尹纪龙 王毅；
- JUNO安装及值班，尹纪龙，舒以科。

- 教育处研究生面试，研究生开题；
- 中微子暑期学校。
- 参加研究生毕业答辩。

- 审稿：SCPMA, JINST, NIM。

人才培养



- 今年毕业硕士1人；
- 组内：硕博已转博1人，硕博尚未转博2人，联合培养硕士1人。

存在问题及解决方案



- 物理楼地下今年两次发水、两次停电、管道维修产生大量金属粉尘，造成大量实验时间损失：清理实验室、排查液氦系统故障，维修设备...
- 招收学生问题，需要加强对暗物质、液氦探测器领域的宣传。
- 以DarkSide为名吸引国内博士后困难，计划吸引国外博后。

2025年工作计划



- DarkSide-20k: 完成掺钎有机玻璃探测器部件生产, 开始布置下一步数据分析工作。
- 超低阈值双相氩TPC研发, 完成科技部重点课题任务二: 探测器X-Y方向位置重建能力达到 $<5\text{mm}$ (高能所主楼B009实验室)。
- DarkSide-LowMass, 完成锦屏入驻申请, 继续与国际同行开展预研工作 (包括DRD2), 开始起草TDR。
- ProtoDUNE/DUNE, 与CERN组合作完成VD的CRP探测器建设。



Thanks !