



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

2024年度绩效考核报告

丁雪峰

中微子一组 特聘青年研究员

2024年11月20日

岗位职责

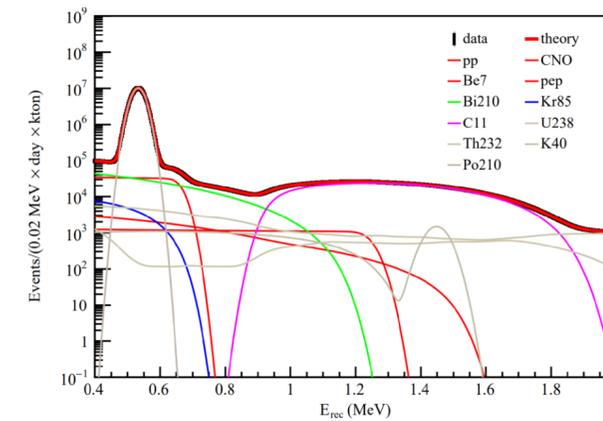
➤ JUNO 太阳中微子物理

- 测量太阳中微子流强，为标准太阳模型提供输入
- 测量过渡能量区域内中微子振荡物质效应

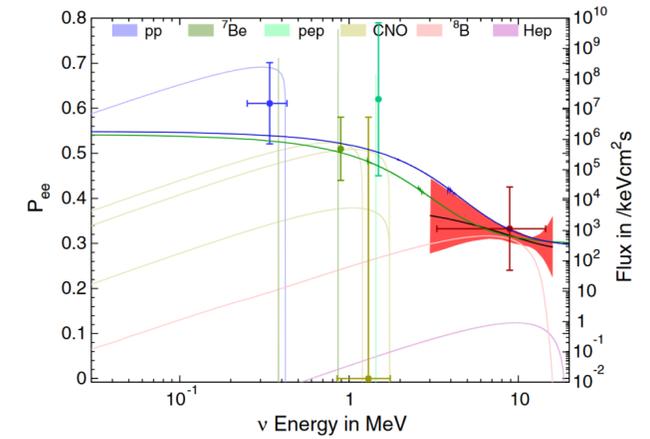
➤ 台山高压GasTPC实验物理设计

- 测量IBD阈值以下中微子能谱
- 测量反应堆 ^{238}U 中子俘获速率，监测反应堆
- 测量中微子磁矩

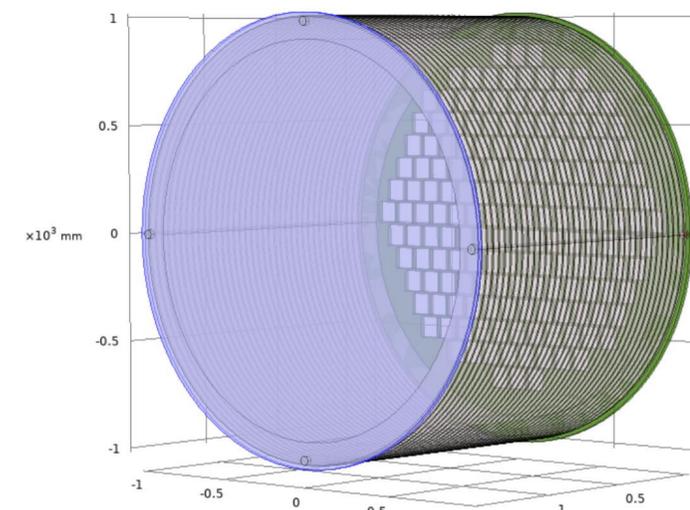
JUNO上太阳中微子能谱



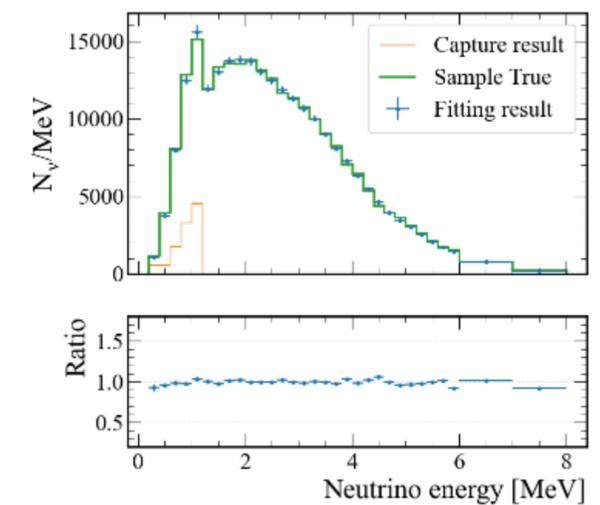
MSW过渡区域



台山GasTPC概念

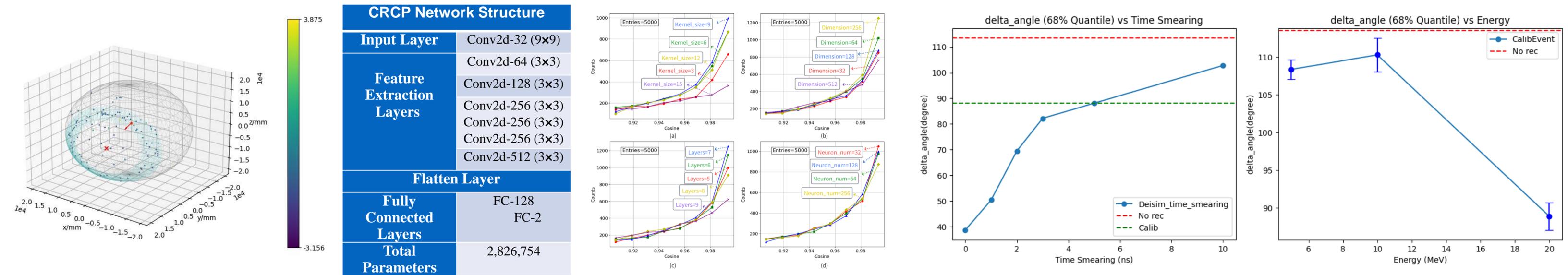


IBD阈值以下能谱反解



JUNO: 太阳中微子物理分析

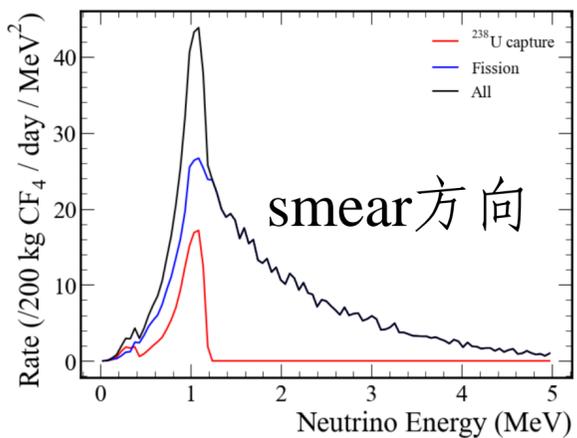
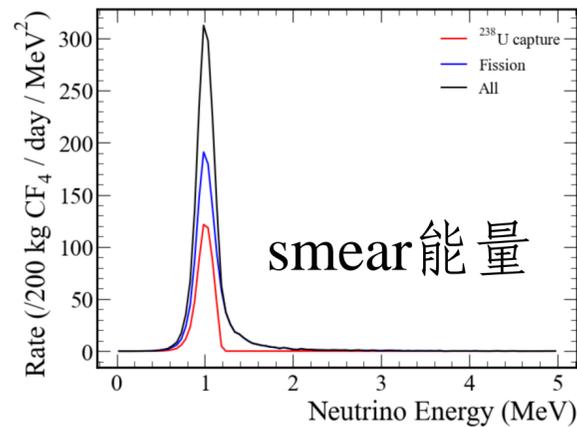
- 硼-8太阳中微子物理: 重建算法开发 => 事例挑选=>灵敏度分析
- 利用切伦科夫光的MeV电子方向重建算法 (指导学生: 李典、范良前进、薛景秦)
 - 基于CNN/VGG-16开发了一个深度学习方向重建算法
 - MC truth based: 根据击中时间挑选后可以看见清晰的切伦科夫环, 重建效果好
 - 探测器响应相当于击中时间smear 5 ns。5 MeV有重建能力, 有望有助于信号本底鉴别。



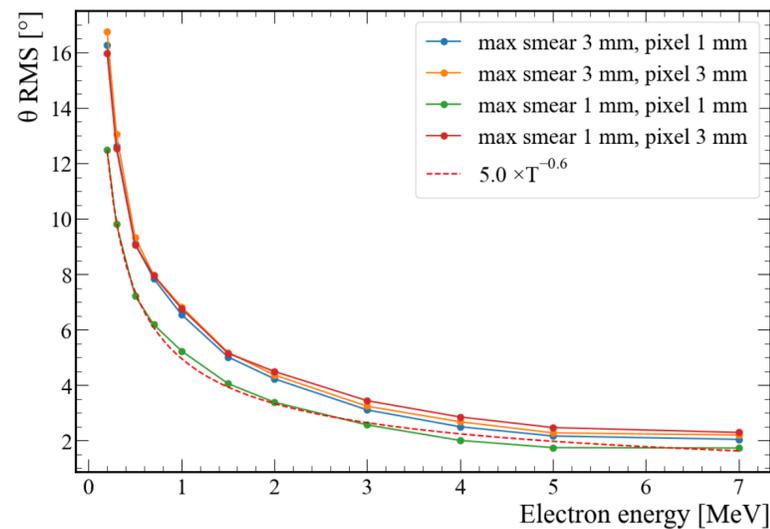
GasTPC 角度重建

- 角度重建精度影响全部物理目标: IBD阈值以下反应堆能谱, nCap流强, 中微子磁矩
- 基于角度重建精度确定了探测器读出pixel大小
- 提出了多种优化角度重建精度的方案
- 当前拟合精度: 10° @ 1 MeV

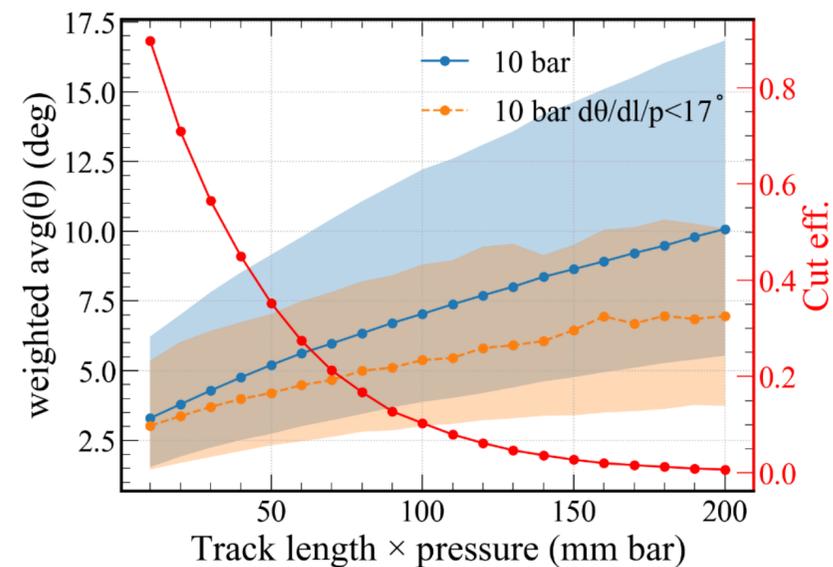
指导学生: 黄金浩 (博士生), 管于铎 (博后)



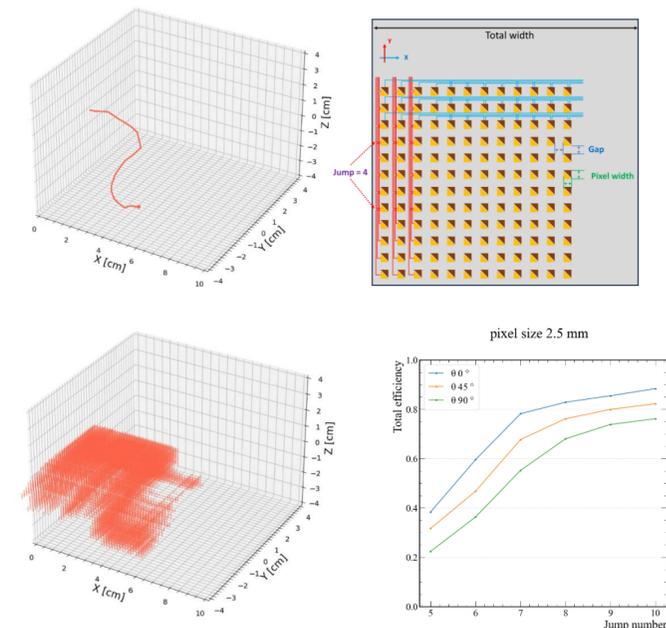
Pixel大小优化



Length和角度cut优化



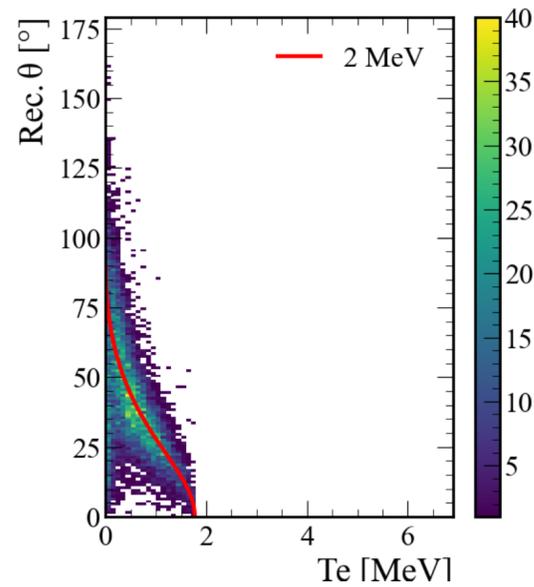
编码读出及探测器摆放优化



GasTPC 统计分析

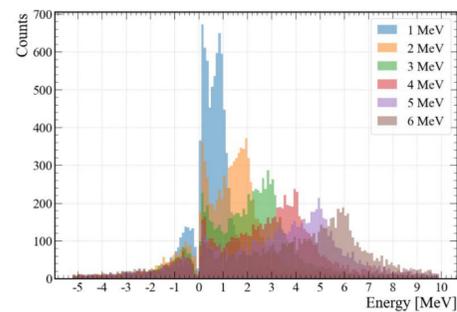
- 重建的中微子能量和真实能量差距较大，只能用统计方法提取能谱、事例率、磁矩等信息
- 2-d拟合提取n-Capture事例率，精度8.5%
- IBD阈值以下反应堆能谱反解，限制nCap形状后精度~20%

指导学生：黄金浩（博士生）

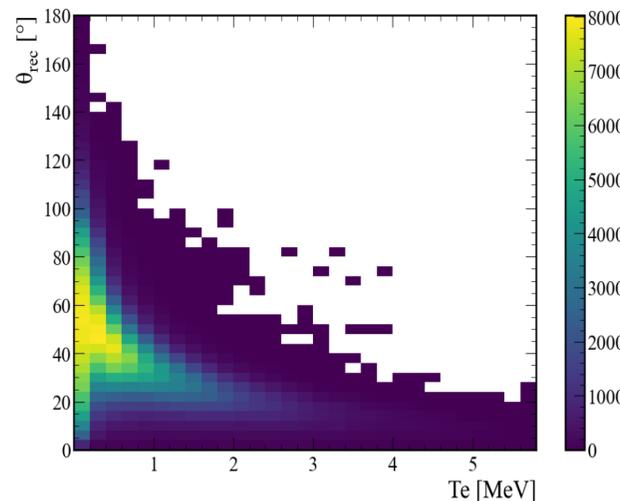


SVD 方法 $\chi^2 = [M(T_e, \theta) - R(T_e, \theta, E_\nu) \cdot S(E_\nu)]^T Cov^{-1} [M(T_e, \theta) - R(T_e, \theta, E_\nu) \cdot S(E_\nu)] + \tau [CS(E_\nu)]^T [CS(E_\nu)]$

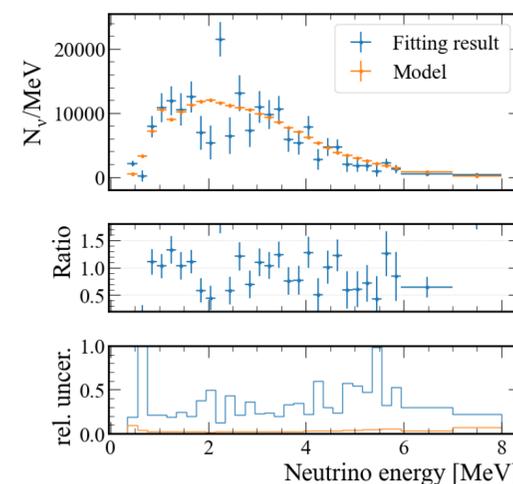
贝叶斯方法 $T_{ji} = P(s_i | m_j) = \frac{P(m_j | s_i) P_0(s_i)}{P(m_j)} = \frac{P(m_j | s_i) P_0(s_i)}{\sum_l P(m_j | s_l) P_0(s_l)} = \frac{R_{ij} P_0(s_i)}{\sum_l R_{il} P_0(s_l)}$



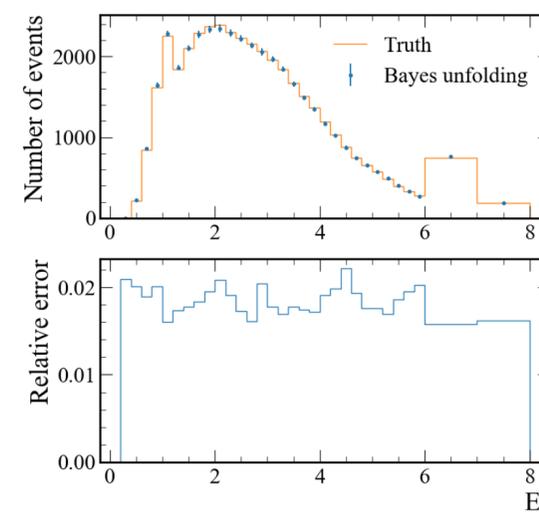
原始数据



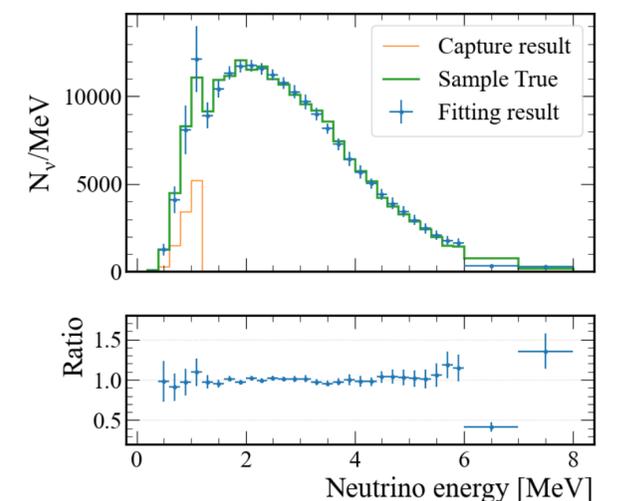
无平滑项: Freq



无平滑项: Bayesian



SVD方法能谱反解

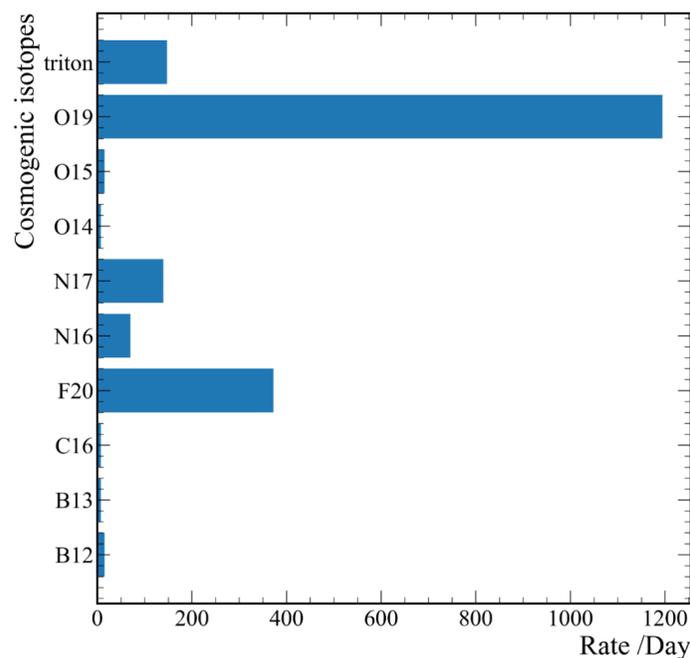


GasTPC低本底控制

- Cosmogenic本底： ^{19}O 和 ^{20}F 贡献较高 $\sim 10^3$ /天，压低策略需进一步研究
- 天然放射性本底：参照其他实验材料放射性水平，压低后，残余 ~ 10 /天，与信号相当
- 开发biasing算法估计钢罐本地贡献、及反康-veto对anode gamma本底压低效率

指导学生：黄金浩（博士生），管于铎（博士后）

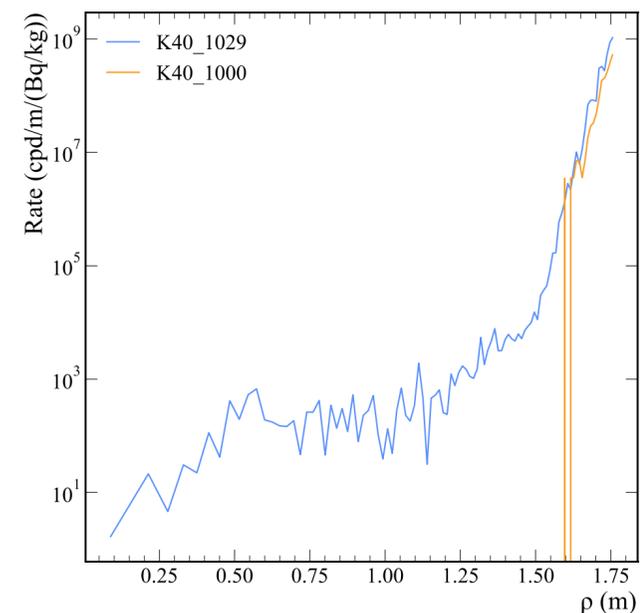
Cosmogenics贡献



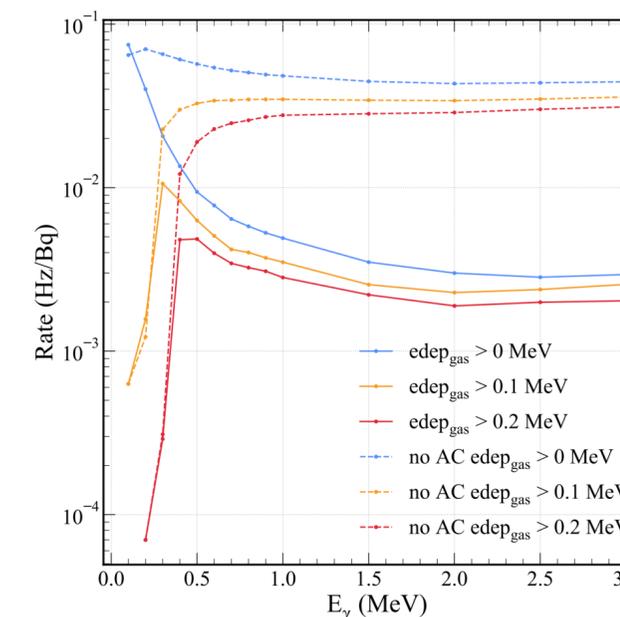
天然放射性贡献

Sample	Mass	Thickss	Rate (/day)	Rate (un-rejected)	Ref
CF4	197.22 kg		4.4	1.5	MUNU
Acylic	194.85 kg	1 cm	121	4.7	JUNO
LS	1.16 ton	50 cm	4.58	0.006	JUNO
Shield(SS)	33.57 ton	25 cm	6k	194	JUNO
Cathode(Cu)	275 kg	1 cm	90	6.3	nEXO
Anode(PCB)					nEXO
PMT					
Field Rings(Cu)					
FR Supports					

Biasing方法



Anode gamma反康效率

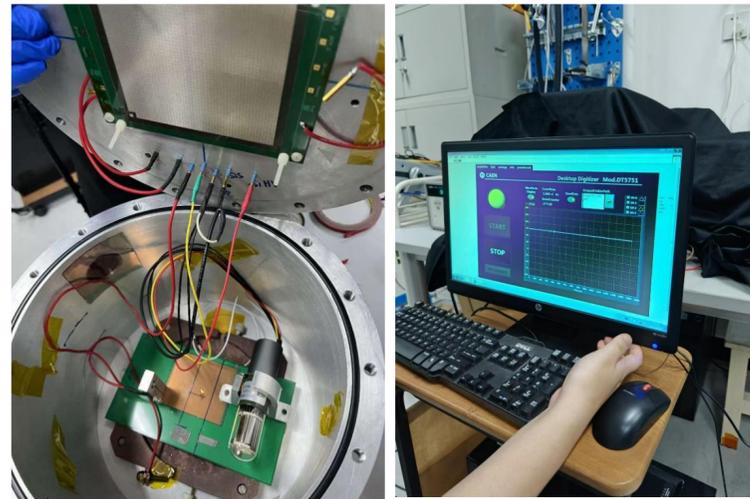
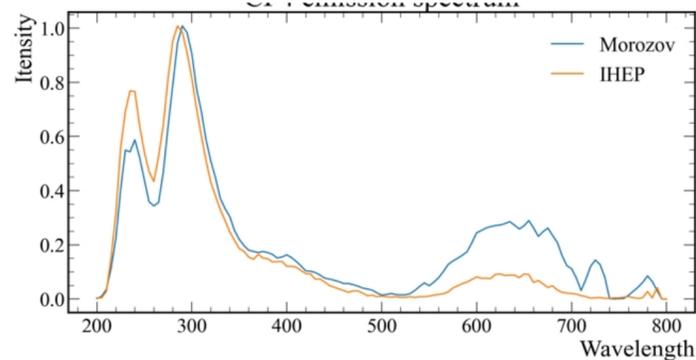
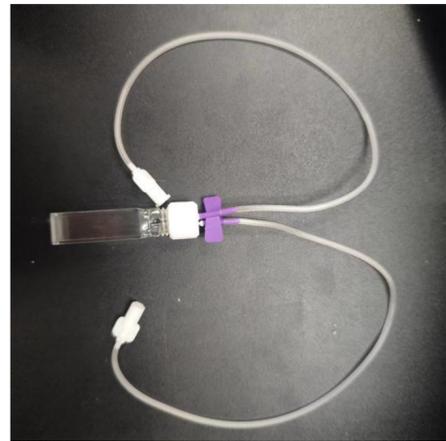
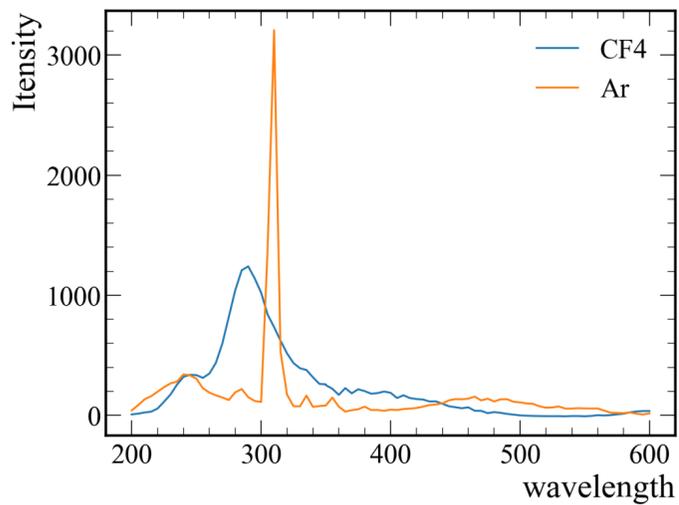


GasTPC光读出方案

- 用于确定 t_0 ，重建 z ，用于FV cut和反康 cut
- 需确认 CF_4 高压下光产额。测量了1 bar条件下电子(gamma)激发发光谱。
- Prototype光读出方案：12 x NNVT-N1016。刻度了PMT单光子相应特征。

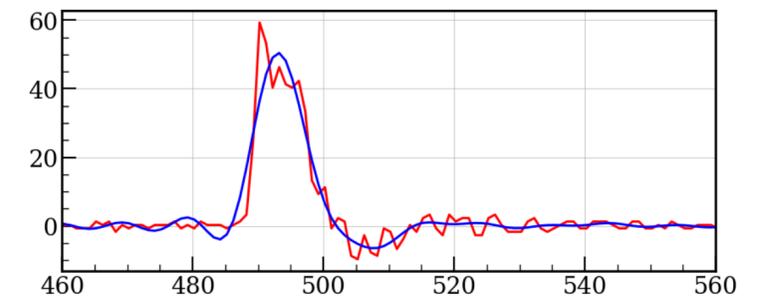
指导学生：姚海峰（博士生）管于铎（博士后）

CF_4 及Ar发光谱

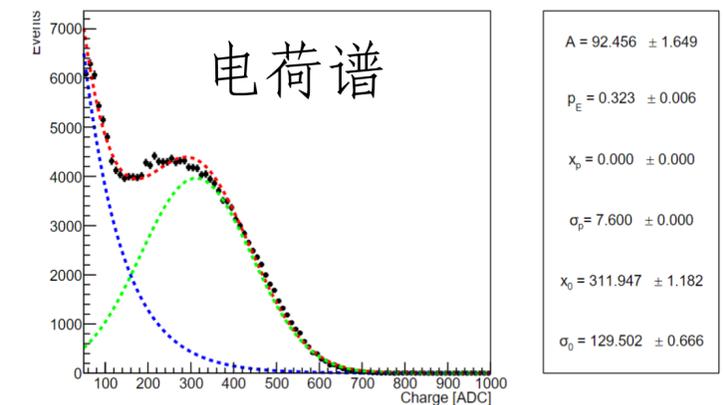


N1016 PMT

N1016平均波形



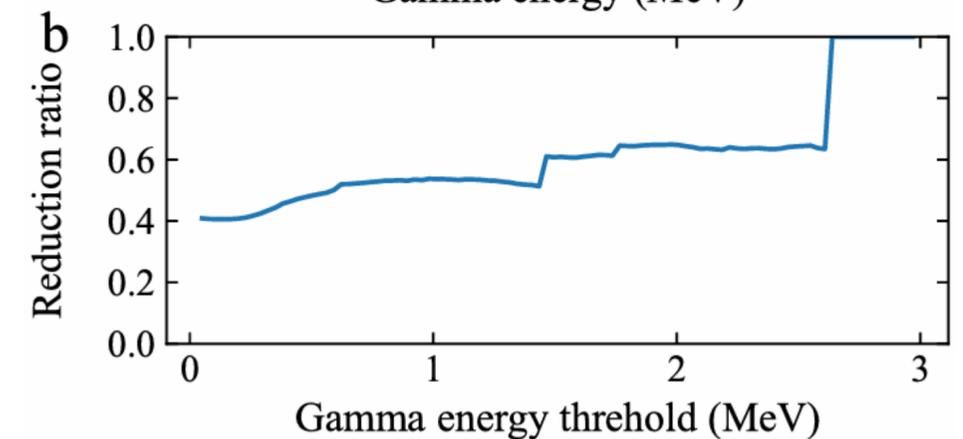
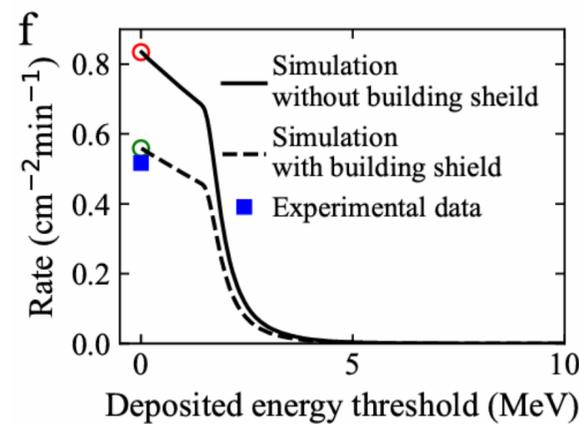
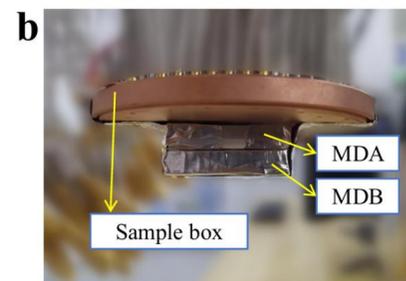
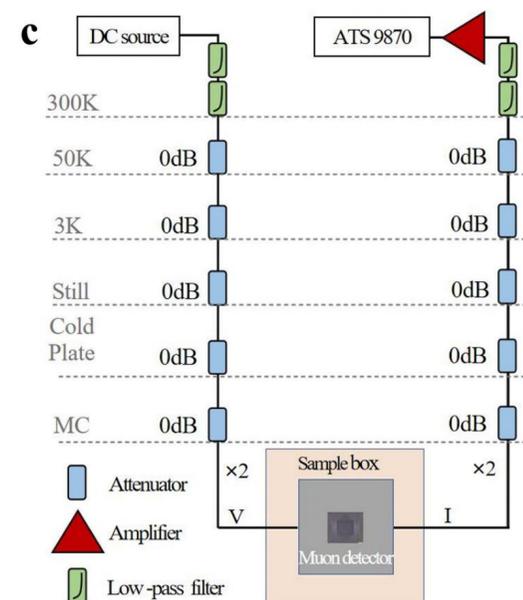
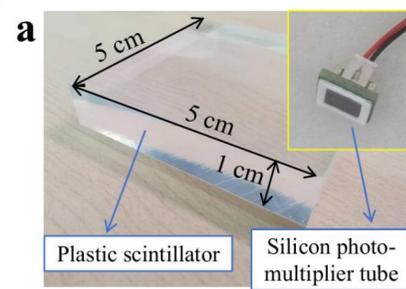
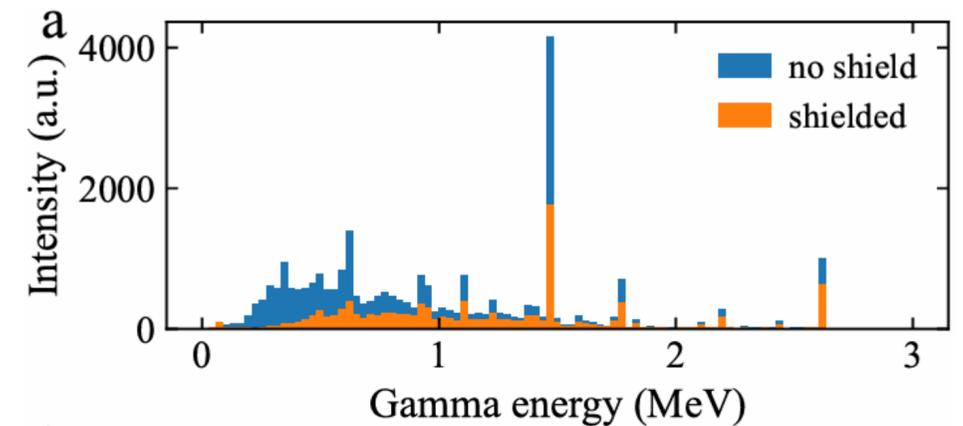
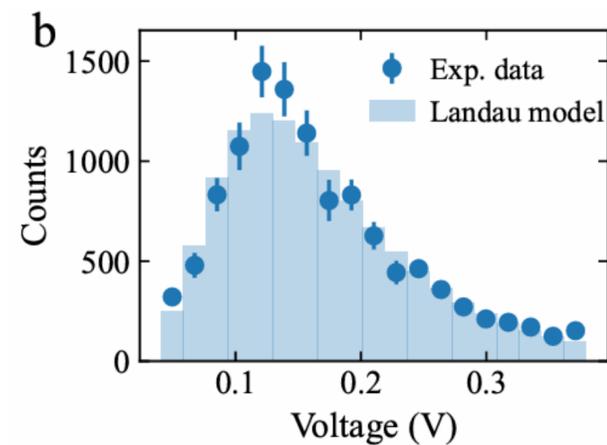
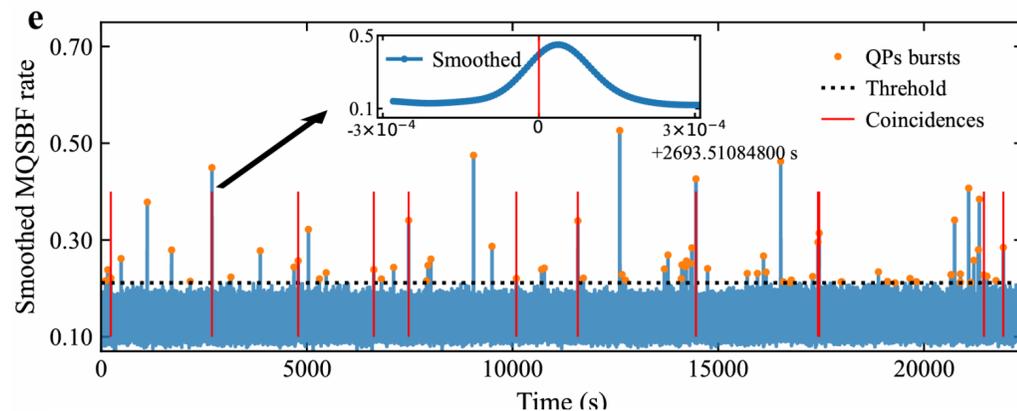
Charge spectrum of PMT Dark Noise



电荷谱

放射性致量子计算比特错误

- 同量子研究院合作
- 保真率是量子计算机的核心指标之一。放射性会导致量子比特翻转，降低保真率。
- 估计了宇宙线和环境gamma的事例率，和量子比特事例率对比，证明了实验观测到缪子引发的量子比特错误事件。



研究成果与经费情况

➤ 论文、专利、创新性技术发展、获奖

- 2023.11 – 2024.11 一篇中文核心已接收

➤ 经费情况

- 所创新基金，2023.04至今，100万，在研，主持
- 院人才基金，2023.11至今，300万，在研，主持
- 基金委人才基金，2024.01至今，300万，在研，主持

学术交流、学术发展规划

➤ 学术交流

- 参加国内国际会议3次，作报告1次。
- 组织中微子暑期学校1次，参与人数~50人

➤ 学术发展规划

- 中近期
 - 推动GasTPC原型机研发、GasTPC概念设计、物理分析
 - 开发机器学习重建技术和高性能计算拟合技术
 - 积累反应堆中微子和太阳中微子物理分析技术
- 远期
 - 成为GasTPC探测器专家和太阳中微子领域专家
 - 利用GasTPC技术研究太阳中微子物理、地球中微子、暗物质等物理

公共服务

➤ 软件开发

- JUNO上多线程事例顶点重建算法（开发、验证、纠错）
- JUNO水相、混合相重建性能估计

➤ 研究生考核

- 参与研究生考核和面试2次、博后面试2次
- 参与本科生创新计划考核和面试3次

➤ 科学传播委员会成员

- 修改润色新闻稿2篇

其他贡献

➤ 学生培养

- 本科生-科创计划：山东大学2人、中山大学1人、重庆大学1人，武汉大学3人
- 本科生-客座：帝国理工大学1人
- 本科生-毕设：上海理工大学1人
- 硕士生：薛景秦
- 博士生-客座：武汉大学 孙光豹

➤ 博士后招聘

- Lakshimi（23年9月入职），管于铎（23年8月入职）

➤ 中微子科普

- 在合作组会、中心年会、所年会演唱《JUNO2023》
- 在科学节*嗨剧场演唱《JUNO新一年》并介绍JUNO
- 为高能所微信公众号撰写科普文章1篇

存在问题和下年度工作计划

➤ 存在问题

- 原型机研制任务完成进度不够紧凑。

➤ 下年度计划

- JUNO基于CNN的切伦科夫光重建方法小组文章
- 基于pytorch和cuda的高性能GPU拟合算法
- CF_4 高压条件下光产额测量实验
- GasTPC电子方向重建算法
- GasTPC原型机研发及刻度
- GasTPC CDR和灵敏度