

# 江门中微子实验近点探测器研究

## 开题报告

Email: [zhaor25@mail2.sysu.edu.cn](mailto:zhaor25@mail2.sysu.edu.cn)

School of Physics



中山大學  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

# Outline

- ① 背景简介
- ② JUNO 近点探测器-TAO
- ③ 探测器硬件以及模拟研究
- ④ 已有工作和进度安排
- ⑤ 总结

# 江门中微子实验

江门中微子实验 (JUNO) 是一个精确测量反应堆中微子的能谱的实验，主要物理目标是确定中微子的质量顺序<sup>1</sup>。

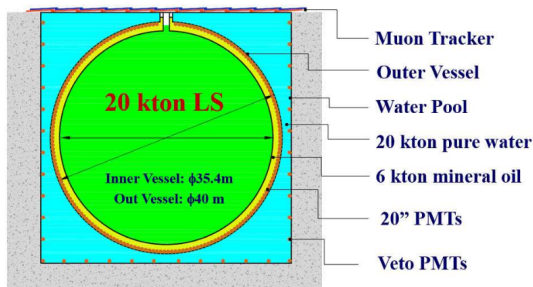


图: JUNO 的探测器示意图

<sup>1</sup>Neutrino Physics with JUNO - JUNO Collaboration (An, Fengpeng et al.) J.Phys. G43 (2016) no.3, 030401 arXiv:1507.05613 [physics.ins-det]

# 江门中微子实验

JUNO 属于中基线反应堆中微子实验，基线长度 53Km，设计能量分辨率  $3\%/\sqrt{E(\text{MeV})}$ 。

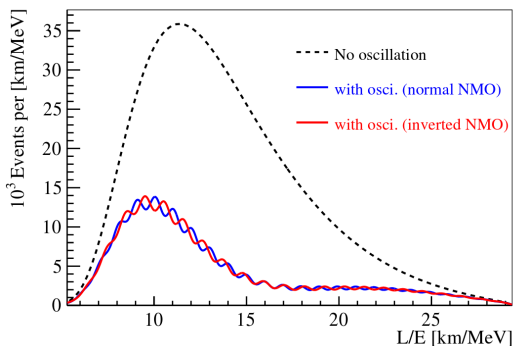


图: 不同质量顺序下的 JUNO 反应堆能谱

# IBD 事件

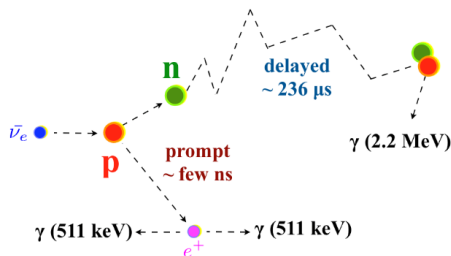


图: IBD 事件的探测原理

JUNO 间接中微子：通过探测反  $\beta$  衰变产生的正电子以及中子来确定中微子的能谱。

正电子信号和俘获中子信号的事件符合，可以减少实验的本底

实验上的可测量物理量是正电子的能量  $E_{vis}(E_{e+})$

$$E_{vis} = E_{\nu} - 0.8\text{MeV} \quad (1)$$

# 反电子中微子的能谱

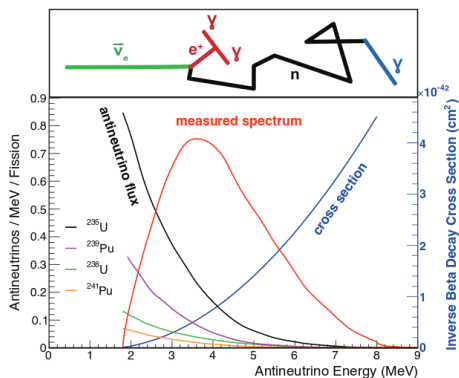


图: 反应堆中微子  $\bar{\nu}_e$

的能谱

反应堆中四种同位素裂变产生中微子，传播一段时间之后被探测器探测到。

$$\Phi(E_\nu) = \frac{W_{th}}{\sum_i f_i e_i} \cdot \sum_i f_i \cdot S_i(E_\nu)$$

为了准确预测探测器的中微子能谱分布，需要精确计算反应堆产生的中微子能谱，以及中微子在传播过程中的振荡。

# 反应堆中微子能谱理论和测量

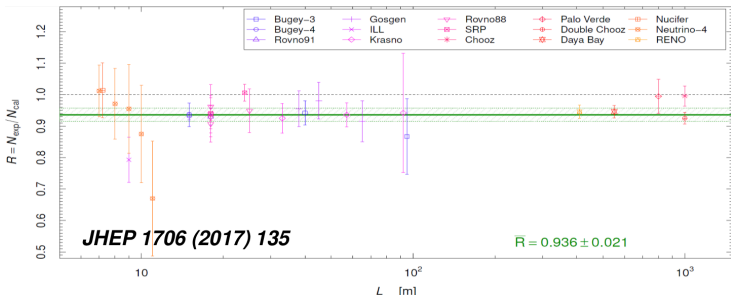


图: 反应堆中微子  $\bar{\nu}_e$  的事例率

反应堆能谱的细小结构带来的不确定性，会使得 JUNO 对质量顺序的分辨能力变弱<sup>2</sup>。反应堆中多种产生中微子的过程比较复杂，目前模型对中微子的能谱预测的误差较大；需要准确测量各种中微子反应的参数来完善模型。

<sup>2</sup>arXiv:1710.07378

# 反应堆中微子异常

[arxiv.org/pdf/1704.01082.pdf](https://arxiv.org/pdf/1704.01082.pdf)

[arxiv.org/pdf/1607.05378.pdf](https://arxiv.org/pdf/1607.05378.pdf)

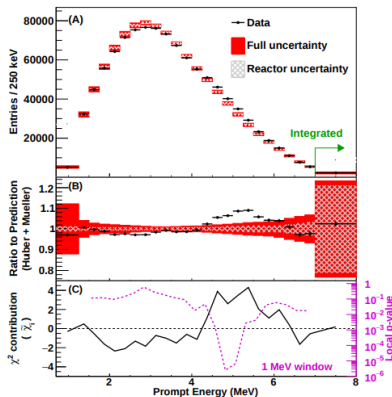


图: 大亚湾中微子能谱

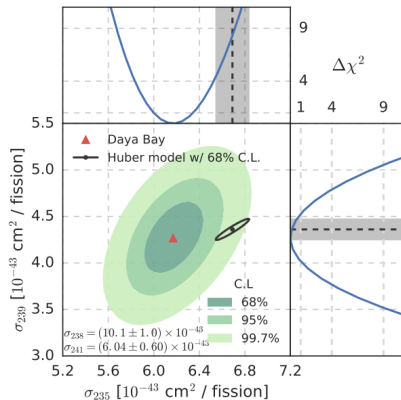


图: 大亚湾中微子反应截面



# 反应堆中微子能谱

arxiv: 1511.05849

arxiv:1406.7763

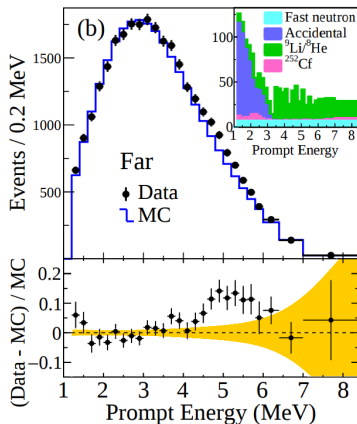


图: RENO 中微子能谱

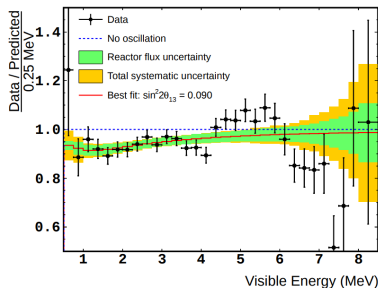


图: Double Chooz

# Mtivation

建立一个和 JUNO 主探测器类似的小型近点探测器，抵消关联误差，减小能谱测量不确定性对 JUNO 的影响。

已经通过 JUNO 合作组认可，命名 Tai-shan Antineutrino Observatory.

---

IHEP 方案：液体闪烁体 + SiPM. 其他方案：塑料闪烁体 + SiPM(PMT).

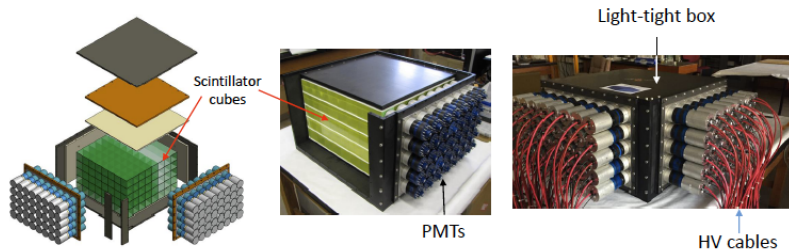
---

目前国际上有多多个反应堆监控的中微子探测器，相关的技术比较成熟，可以参考借鉴之前的经验。

# 塑料闪烁体方案

探测原理：IBD，通过  $e^+$  和  $n$  的符合信号来鉴别中微子事件,MiniCHANDLER(<http://www.aap.sympnp.org/Talks/Camillo.pdf>).

## MiniCHANDLER Detector



- 62 x 62 x 62 mm<sup>3</sup> wavelength-shifting scintillator cube
- Light read out by total internal reflection in X and Y directions
- 8 x 8 x 5 cubes (320 cubes)
- <sup>6</sup>Li-loaded ZnS neutron sheet between layers and top/bottom
- 80 2-inch PMTs

# 闪烁体性能测试

闪烁体的基本性能测试：

- 光产额
- 衰减长度
- 发光时间
- 发光光谱

---

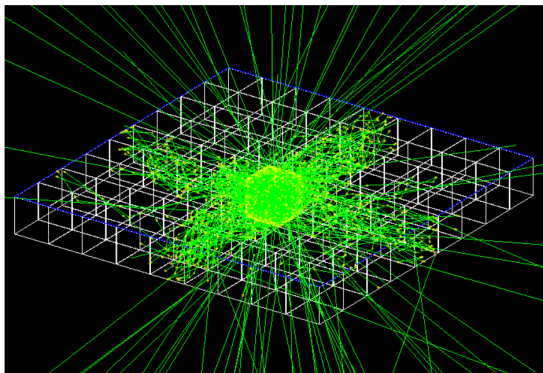
选择 PMT 或者 SiPM 作为光子探测器，需要测试各种重要参数：

- 探测效率
- 光子分辨率等
- 工作条件和稳定性

# 探测器设计和优化

根据闪烁体和光电器件的测试结果和探测器模拟，对整个探测器几何结构以及参数选择进行优化。提高事例鉴别的准确率，减小本底信号。

- 如何鉴别闪烁体的输出信号是  $\gamma$  还是中子产生的？
- 怎么样挑选中微子事例
- $\mu$  veto 以及如何屏蔽环境本底



# 探测器性能模拟

利用实验测量得到的塑闪的性能参数和光电器件的参数以及放射源刻度数据进行光学模拟。

基于 GEANT4 平台

- 探测器几何，闪烁体，PMT (SiPM)，闪烁体界面
- 物理过程（闪烁体的材料，衰减长度，光产额等参数）
- 模拟不同的粒子源的响应（ $\gamma$ , 中子，正电子， $\mu$ ）
- 能量响应
- $\gamma, n$  分辨能力

# 闪烁体发光时间测量

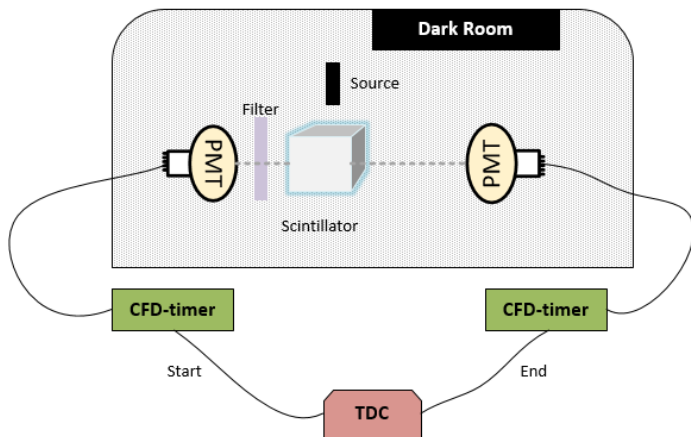


图: 闪烁体发光时间测量方案

# 闪烁体光产额测量

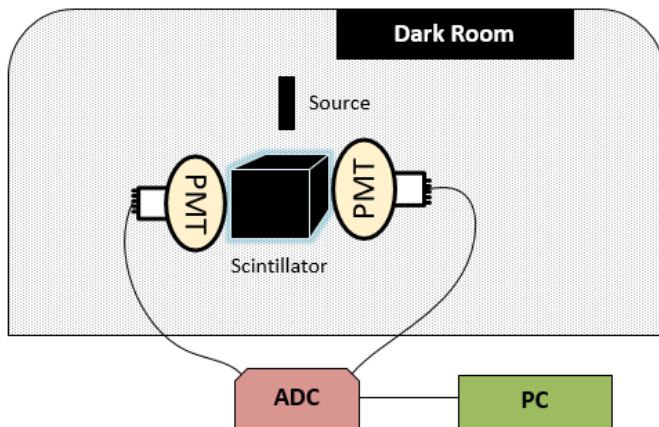


图: 闪烁体光产额测量方案



# 闪烁体发光光谱测量

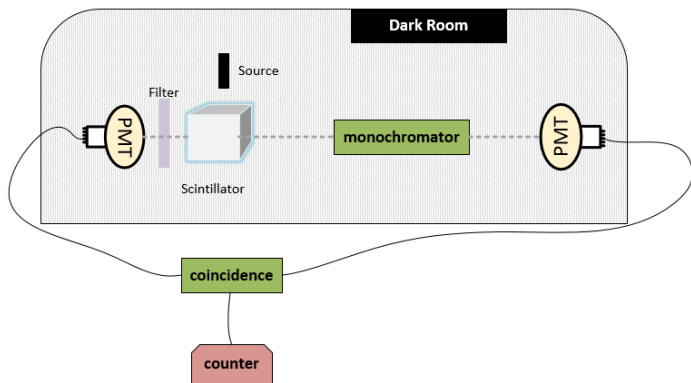


图: 闪烁体发光光谱测量方案

# schedule

## 现有基础:

---

- 中微子物理基础和 JUNO 相关的物理
- JUNO 离线软件的使用和开发
- JUNO PMT 测试和数据分析经验
- ROOT, GEANT4, C++, python 等软件

## 时间进度:

---

- 研究塑料闪烁体的性能 (18.11-19.03)
- 探测器模拟和优化 (18.11-19.06)
- 参与近点探测器固体闪烁体原型搭建 (19.06-19.11)
- 近点探测器和 JUNO 主探测器关联的物理结果分析 (一)

# 总结

- 精确测量反应堆中微子能谱对 JUNO 的物理目标很重要
- TAO 的一种可能方案是使用固体闪烁体和 PMT
- 主要工作是探测器的模拟优化以及部分硬件搭建、调试
- 分析闪烁体的各种性能以及对中微子能谱的分辨能力

# 谢谢