

# 2019年粒子物理卓越中心青年 拔尖人才奖评审报告

占亮

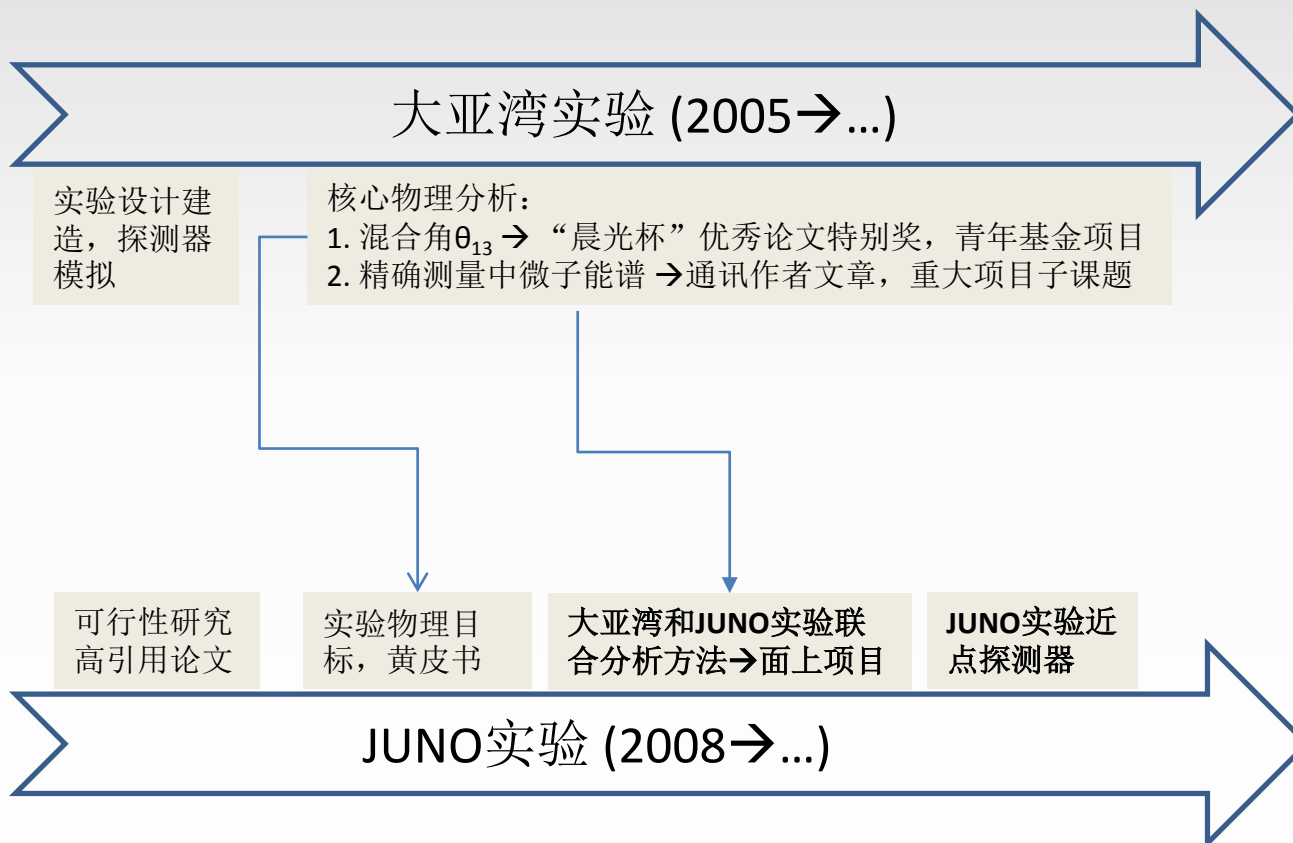
中国科学院高能物理研究所

2018年11月23日

# 个人介绍

- 2000.7-2004.7 中国科学技术大学 学士
- 2004.9-2009.7 中国科学院高能物理研究所 博士
- 2009.7-2011.3 中国科学院高能物理研究所 博士后
- 2011.3-2012.7 中国科学院高能物理研究所 助理研究员
- 2012.7-至今 中国科学院高能物理研究所 副研究员

# 研究方向：反应堆中微子物理



# 2018年工作内容

- 大亚湾实验核心物理分析
  - 振荡分析，最新测量结果
  - 中微子能谱测量，核素能谱反解
- 江门实验灵敏度联合分析
- 江门实验近点
  - 物理目标和模拟研究

# 中微子振荡测量

发现第三种中微子振荡，获得晨光杯优秀论文特别奖(温良剑、占亮、于泽源)

Release time	Data	Config	$\sin^2 2\theta_{13}$	$\Delta m_{ee}^2$
2012/3/8	55 days	6 ADs	$0.092 \pm 0.016 \pm 0.005$	-
2012/10/23	139 days	6 ADs	$0.089 \pm 0.010 \pm 0.005$	-
2013/10/24	217 days	6 ADs	$0.090^{+0.008}_{-0.009}$	$2.59^{+0.19}_{-0.20}$
2015/5/13	621 days	6+8 ADs	$0.084 \pm 0.005$	$2.42 \pm 0.11$
2016/7/5	1230 days	6+8 ADs	$0.0841 \pm 0.0033$	$2.50 \pm 0.08$
2018/6/5	1958 days	6+8+7 ADs	$0.0856 \pm 0.0029$	$2.52 \pm 0.07$

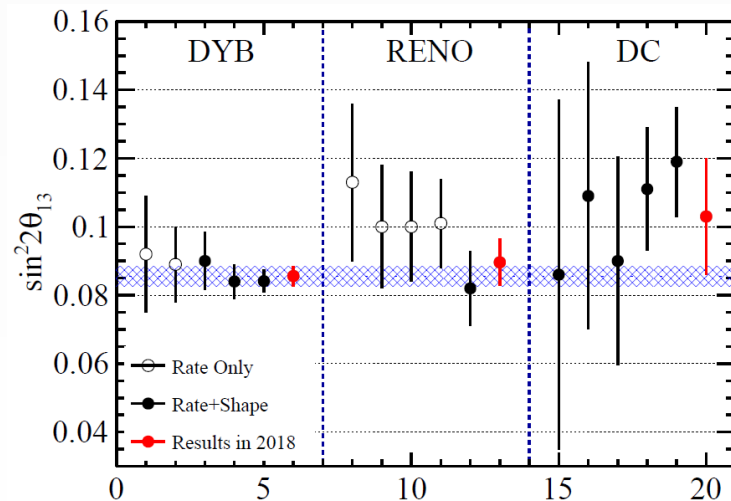
一直保持世界上最精确的测量。在同年发表文章中，引用率都是 top 1%

- 2018年最新结果中的个人贡献
  - 分析基于本人开发的振荡拟合程序
  - 开会讨论，问题检查，训练学生，...
  - 指导研究生完成振荡分析(吴文杰，韦良红)
- 代表合作组在国际高能物理会议(ICHEP2018)分会场报告最新结果

$\sin^2 2\theta_{13}$   
精度改进 4% → 3.4%  
保持世界最精确的结果

$\Delta m_{ee}^2$   
精度改进 3.5% → 2.8%，  
与加速器中微子实验相当

$\sin^2 2\theta_{13}$  精度远超国际同类实验

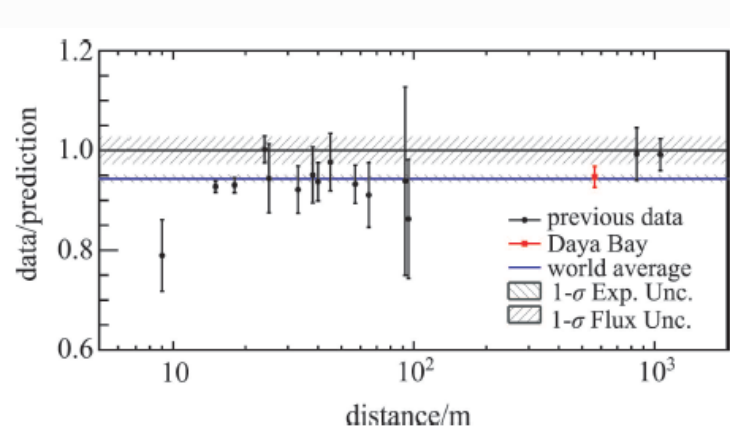


# 中微子流强和能谱精确测量

文章	统计量	误差	个人贡献, 论文影响力
2015年PRL	217天	2%	分析主要完成人之一, 论文撰写人之一 《科技日报》2016国内十大科技新闻
2017年CPC	621天	1-2%	分析主要完成人之一, 论文通讯作者 中国物理学会2018年度“最有影响力论文奖”
准备中	1958天	0.5%	带领团队完成分析, 将撰写论文

## • 论文科学意义

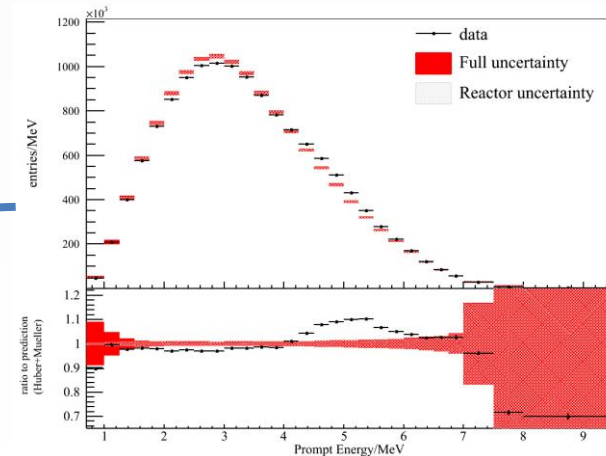
- 测量到中微子事例率反常, 与其他实验结果一致
- 精确测量中微子能谱, 发现能谱反常
- 为其他反应堆实验提供精确能谱数据输入 (NEOS, JUNO, ...)



惰性中微子?

模型预期问题

模型替代品: 大亚湾提供精确的能谱测量数据



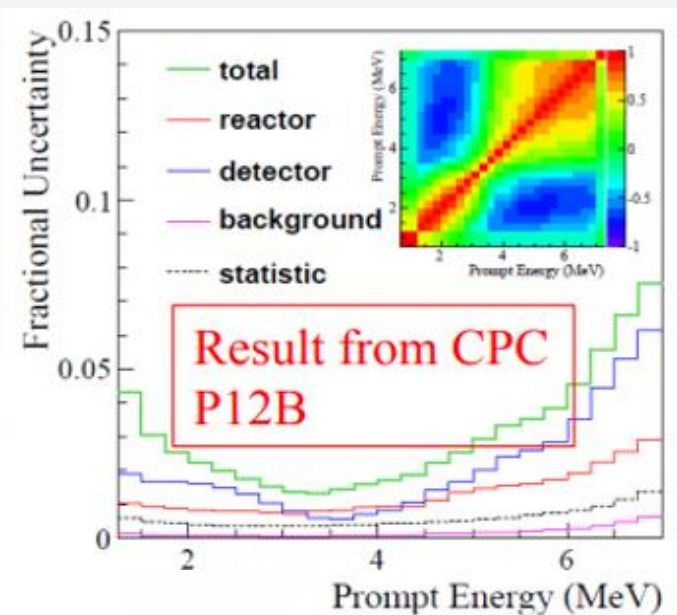
201... 中微子事例率反常

卓越中心2018年大会报告: 反应堆中微子能谱问题

中微子能谱反常

# 中微子流强和能谱精确测量

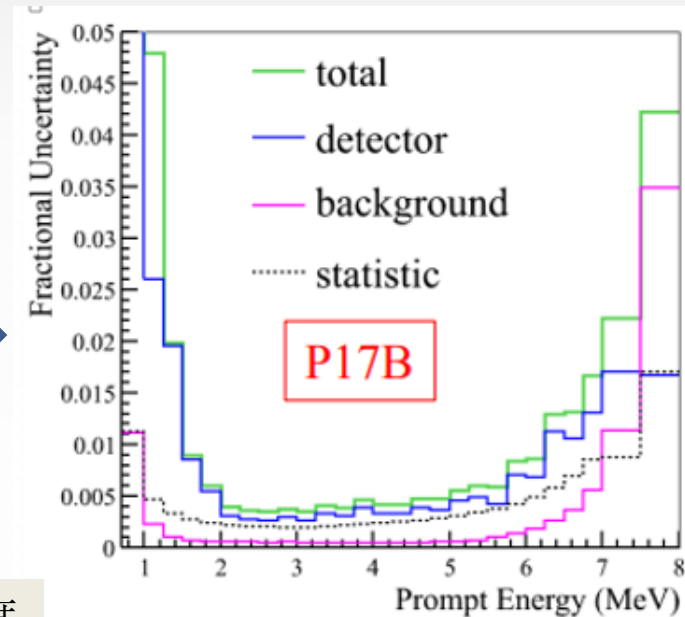
- 2018年，带领高能所团队改进能谱分析
  - 统计误差和系统误差减小几乎一半，能谱精度1%→0.5%。
  - 团队：胡健闰，吴文杰，于泽源，黄永波，占亮
- 分析基本完成，准备撰写论文中



统计量：621天→1958天

非线性误差：1%→0.5%

江门质量等级预期灵敏度



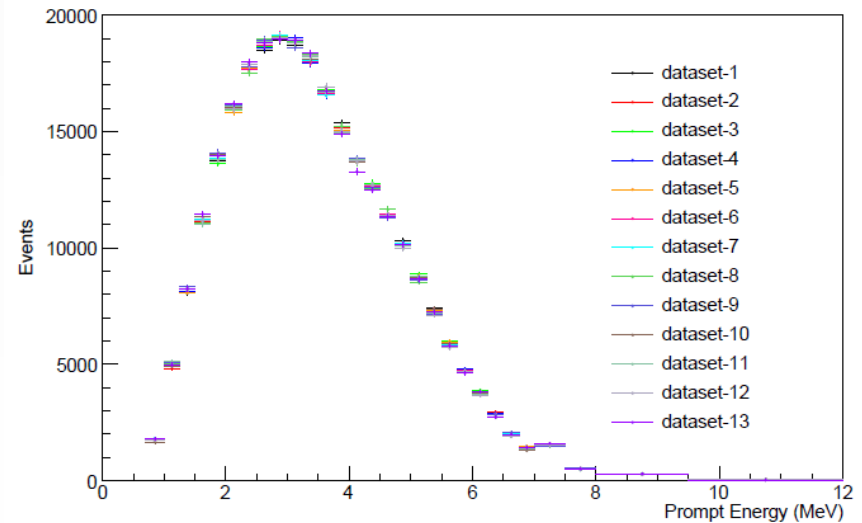
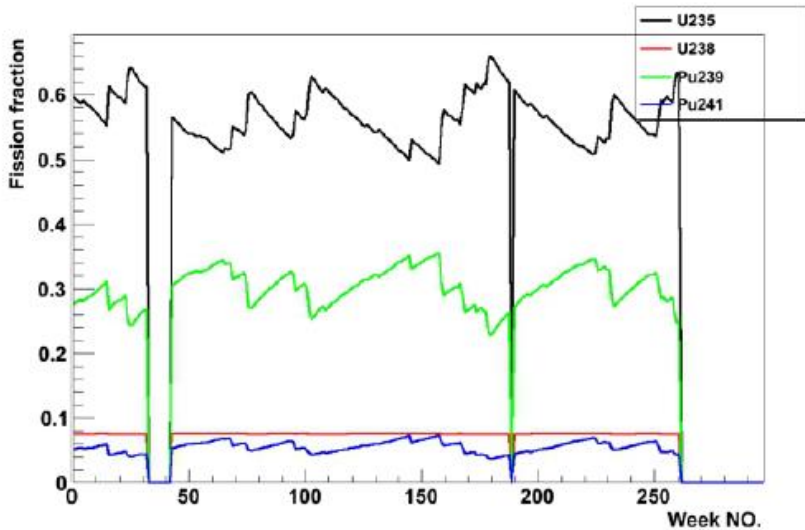
	Stat.	Core dist.	DYB and HZ	Shape	B/S (stat.)	B/S (shape)	$ \Delta m_{\mu\mu}^2 $
Size	52.5 km	Table 2	Table 2%	1%	6.3%	0.4%	1%
$\Delta\chi_{MH}^2$	+16	-3	-1.7	-1	-0.6	-0.1	+(4 - 12)

2018/11/23

# 反解核素能谱

- 反应堆燃料成分 ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) 变化  $\rightarrow$  观测到中微子能谱变化, 因此可以反解出各燃料成分能谱。
- 带领团队完成分析, 正撰写论文 (占亮, 安丰鹏)
  - 团队: 胡健闰, 吴文杰, 于泽源, 占亮, 安丰鹏(华东师范)
  - 解出两种主要成分能谱,  $^{235}\text{U}$ 和 $^{239}\text{Pu}$  (贡献约87%)
- 大亚湾测量总能谱对应固定裂变份额, 有了核素能谱, 可以组合出适合其他反应堆实验的裂变份额能谱。

CPC文章裂变份额  $\rightarrow$   $^{235}\text{U} : ^{238}\text{U} : ^{239}\text{Pu} : ^{241}\text{Pu}$  0.561 : 0.076 : 0.307 : 0.056



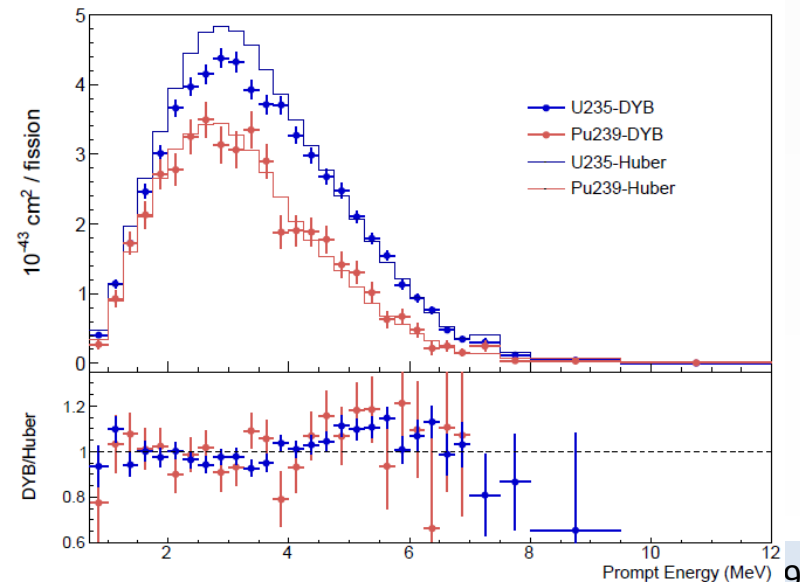


# 反解核素能谱

- 世界首次解出反应堆核素 $^{235}\text{U}$ 和 $^{239}\text{Pu}$ 对应的中微子快信号能谱，可以取代使用了十几年的模型预期能谱，为反应堆实验提供更好的输入。

		与实验数据符合?	误差
模型预期	Ab-initio method	不符合, 5 MeV与实验数据相差10%	不可靠, 估计10%--20%
	Conversion method		宣称3%, 不可靠, 估计10%
大亚湾测量核素能谱		与实验数据符合	$^{235}\text{U}$ : 4-5%, $^{239}\text{Pu}$ : 10%, 可靠

- 科研反应堆（PROSPECT实验）可以测量纯 $^{235}\text{U}$ 能谱，目前还没有结果，误差与我们相当。
- 下一步工作：和PROSPECT实验联合分析，得到更精确的 $^{235}\text{U}$ 和 $^{239}\text{Pu}$ 能谱。



# 反应堆监测

- 中微子探测器测量反应堆流强和能谱技术，可以用于反应堆堆外监测。
- 国际原子能机构希望利用中微子探测器监测反应堆内燃料是否被非法转移，比如用于核武器原料。
- 参加了中微子探测器用于朝鲜无核化可能方案研究
  - 参加工作组讨论和会议，修改文章(20名作者)

Science

Science上发表的一篇短信

## Neutrino physics for Korean diplomacy

Rachel Carr, Jonathon Coleman, Giorgio Gratta, Karsten Heeger, Patrick Huber, YuenKeung Hor, Takeo Kawasaki, Soo-Bong Kim, Yeongduk Kim, John Learned, Manfred Lindner, Kyohei Nakajima, Seon-Hee Seo, Fumihiko Suekane, Antonin Vacheret, Wei Wang and Liang Zhan

Science 362 (6415), 649-650.  
DOI: 10.1126/science.aav8136

arXiv.org > physics > arXiv:1811.04737

相应学术论文已投Nature

Search or Article  
(Help | Advanced)

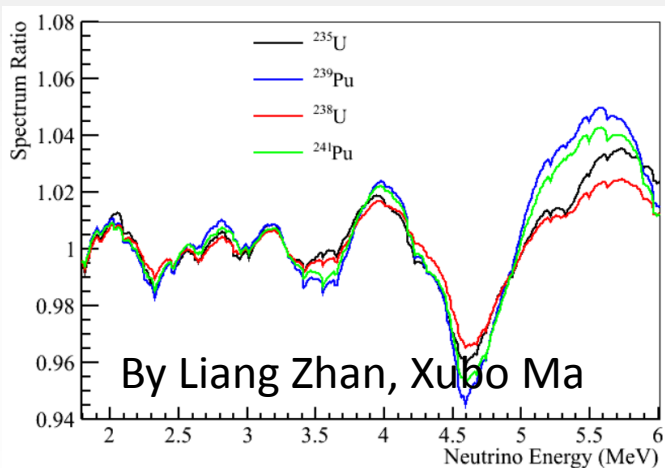
Physics > Physics and Society

## Neutrino-based tools for nuclear verification and diplomacy in North Korea

Rachel Carr, Jonathon Coleman, Mikhail Danilov, Giorgio Gratta, Karsten Heeger, Patrick Huber, YuenKeung Hor, Takeo Kawasaki, Soo-Bong Kim, Yeongduk Kim, John Learned, Manfred Lindner, Kyohei Nakajima, James Nikkel, Seon-Hee Seo, Fumihiko Suekane, Antonin Vacheret, Wei Wang, James Wilhelm and Liang Zhan

# 利用数据库计算中微子能谱

- 联合华北电力大学马续波，华东师范安丰鹏等，利用核数据库计算反应堆中微子能谱。
- 计算中微子谱微结构 → 江门实验可能的误差来源



- 中微子谱有微结构，但是利用数据库无法精确计算和得到可靠误差
- 江门近点实验的物理目标之一：精确测量的中微子谱结构，消除数据库依赖的不确定性。

arXiv.org > nucl-ex > arXiv:1807.09265

Nuclear Experiment

Investigation of antineutrino spectral anomaly with updated nuclear database

Xubo Ma, Le Yang, Liang Zhan, Fengpeng An, Jun Cao

(Submitted on 21 Jul 2018)

# 联合分析提高江门灵敏度

- 提出联合分析的可能方案
  - 小联合: JUNO+大亚湾+JUNO近点
  - 大联合: JUNO+大气中微子实验+加速器中微子实验
- 大亚湾实验精确能谱数据用于江门实验 (“虚拟近点”)
- 研究的关键点: 两个实验非全同的探测器, 系统误差部分关联。

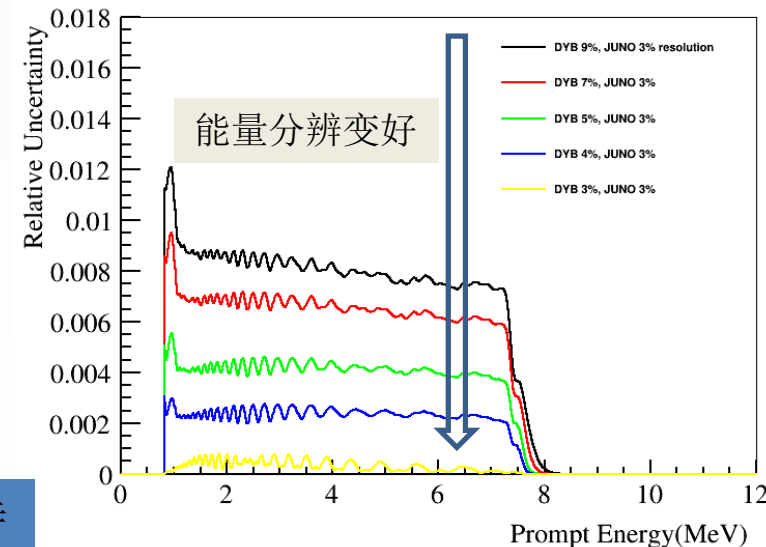
误差项	关联关系
四种核素的中微子能谱	关联
裂变能量	关联
功率, 裂变百分比	部分关联
核废料, 非平衡态	部分关联
电子学非线性	非关联
液闪非线性	关联
能量泄露	非关联

$$M_J(E) = \frac{\int P_J(E_\nu) S_J(E_\nu) R_J(E, E_\nu) dE_\nu}{\int P_D(E_\nu) S_D(E_\nu) R_D(E, E_\nu) dE_\nu} M_D(E)$$

JUNO spectrum  $\rightarrow$   $M_J(E)$   $\leftarrow$  DYB spectrum  $M_D(E)$

This ratio includes DYB&JUNO detector response uncertainty and flux uncertainty

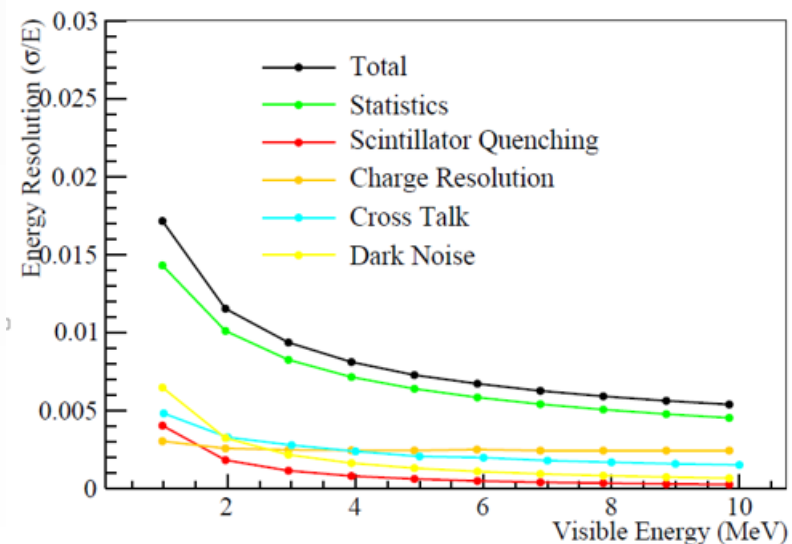
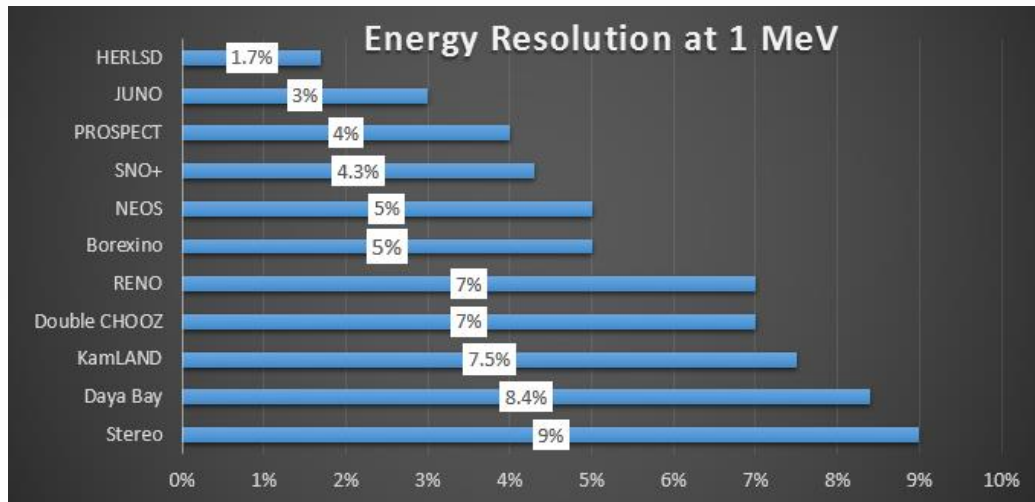
Statistic error in DYB spectrum



# 江门近点实验方案

- 方案研究：GasTPC探测器液闪探测器物理目标
  - 测量能谱微结构，为江门实验提供输入
  - 提供额外数据，研究中微子谱反常问题
- GasTPC探测器 → 备选方案
  - 发现统计量不满足JUNO近点要求
  - 能量分辨难以满足要求
- 液闪探测器 → 正式方案
  - 负责物理潜力研究
  - 负责探测器模拟

代表江门近点工作组（曹俊领导）首次在国际会议ESCAPE 2018 做江门近点实验的报告

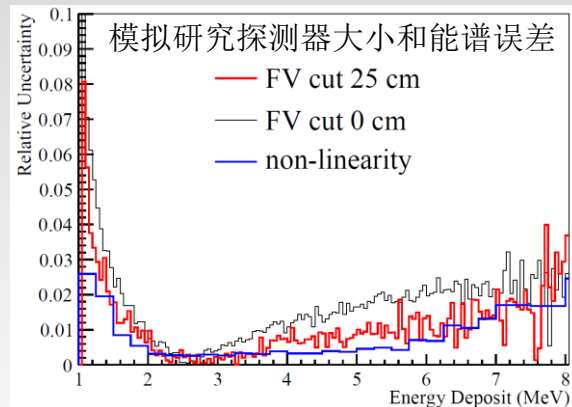


2018/11/25

# 江门近点模拟

- 带领三名研究生开展探测器模拟研究

- 中心探测器方案模拟 (王维)
- 宇宙线本底和屏蔽模拟 (韦良红)
- 材料放射性本底模拟 (姚海峰)



- 形成物理和模拟任务列表, 推动工作进展。

探测器设计建造中的模拟和物理问题						
	研究内容	关键问题	解决方案	人力		
中微子探测器	液闪性质	液闪衰减长度	低温衰减长度是否显著变差? 10 m ==> 1 m ?	安排实验测量。5m损失约10%光子, 3m约损失20%	孙希磊, 谢章权	
		液闪折射率	折射率是否显著改变? 与液袋, 有机玻璃相差多少?	模拟研究折射率影响。实验测量。	孙希磊, 谢章权, 王维	
		液闪光产额及光谱	光产额改变多少? 光谱是否与SiPM匹配?	小模型低温液闪实验研究	孙希磊, 占亮	
		液闪非线性	非线性改变多少? 能否精确测量?	考虑需要什么放射源, 大亚湾测量方法	占亮	
		新液闪(LAB+DIN)	新液闪粒子鉴别能力? 是否需要新液闪?	模拟各种方案快中子本底	韦良红, 占亮	
	几何结构	有机玻璃罐尺寸	安装空间限制多少? 内径1.8m或1.9m? 谱形误差?	靶体积影响统计量, 10cm==>20%	王维, 占亮	
		钢罐尺寸	安装空间限制多少?	需要现场空间测量	现场测量人员	
		刻度装置	需求空间多大? 刻度管几何? 漏光有什么影响?	模拟靠近刻度管事例, 研究光产额变化	谢宇广, 王维	
		支撑结构	有机玻璃罐支撑腿结构? 漏光有什么影响?	模拟靠近刻度管事例, 研究光产额非均匀性变化	谢宇广, 王维	
		SiPM及读出	SiPM光学性质	反射率	表面反射率多大及影响?	模拟影响, 测量反射率
折射率	氧化硅介质层反射及影响?			模拟影响, 测量折射率	曹国富, 王维, 占亮	
放射性	U, Th, K活度		有无低本底基低? 需要多低本底?	较差水平几十Bq/kg, 需要降低2个量级? 本底模拟	孙希磊, 韦良红, 姚海峰	
低温性能	随机噪声		低温噪声水平能降到多少? 对能量分辨的影响?	小模型低温液闪实验研究	孙希磊, 曹国富	
	关联噪声		关联噪声水平能降到多少? 对能量分辨的影响?	小模型低温液闪实验研究	孙希磊, 曹国富	
	量子效率, 噪声等各项指标		性能指标的关系, 如何优化?	小模型低温液闪实验研究	孙希磊, 曹国富	
读出设计	动态范围		SiPM读出电荷变化范围	模拟给出: 边缘事例<800pe/cm2, 靶区事例<10pe/cm2	王维	
	读出时间窗口		时间窗口选择多宽?	依赖于液闪发光衰减时间, 500ns?	王维	
反符合及屏蔽	水箱屏蔽		中子屏蔽	顶部, 底部水箱对中子屏蔽能力多大? 能否掺硼?	muon子模拟确定本底大小, 水箱排布方案比较	王志民, 韦良红
			放射性屏蔽	对水泥放射性屏蔽能力多大? 是否需要铅砖屏蔽?	周围水泥放射性本底模拟	王志民, 韦良红
	反符合系统	水箱切伦科夫	是否需要水箱里面安装PMT做反符合?	模拟侧面水箱veto+顶面塑闪veto	曹国富, 王维, 占亮	
		塑料闪烁体	水箱只做屏蔽? 安装五个面塑闪反符合?	模拟比较顶面塑闪veto, 五面塑闪veto	王志民, 韦良红	
	环境本底	中子本底测量和模拟	测量和模拟结果符合程度?	模拟小探测器测量结果, 模拟验证	韦良红	
	氦本底测量	氦气本底贡献本底多少?	模拟氦气偶然符合本底	韦良红, 姚海峰		

# 论文、会议、奖励

- 大亚湾合作组论文
  1. Measurement of electron antineutrino oscillation with 1958 days of operation at Daya Bay, PRL已接收
  2. 中微子能谱测量文章, 分析基本完成, 准备撰写论文
  3. 大亚湾核素能谱反解, 计划投PRL, 正在撰写论文 (占亮, 安丰鹏)
- 非合作组论文
  1. Investigation of antineutrino spectral anomaly with updated nuclear database, Xubo Ma, Le Yang, **Liang Zhan**, Fengpeng An, Jun Cao, 已投NPA, 合作论文
  2. Neutrino-based tools for nuclear verification and diplomacy in North Korea, arXiv:1811.04737, 已投Nature, 合作论文
- 国际会议

报告题目	会议名称, 时间	报告类别
Proposal of a Near Detector for JUNO Experiment	ESCAPE 2018, 2018.6	大会报告
Improved measurement of reactor antineutrino spectrum at Daya Bay	Neutrino 2018, 2018.6	墙报
Latest Oscillation Results from Daya Bay	ICHEP 2018, 2018.7	分会报告

- 论文奖励: 反应堆中微子流强和能谱测量, Chin.Phys. C41 (2017) no.1, 013002, 中国物理学会2018年度“最有影响力论文奖” (论文通讯作者: 占亮)

# 项目情况

## 有经费负责的项目情况

项目或课题名称	项目或课题类别	负责经费	任务	项目起止
大亚湾实验中微子混合角 $\theta_{13}$ 的分析方法	基金委青年科学基金	30万	负责人	2013-2015
高精度反应堆中微子能谱研究	基金委重大项目的子课题	97万	合作负责子课题	2014-2018
大亚湾和江门实验物理研究	中科院青年创新促进会	70万	负责人	2016-2019
江门中微子实验质量等级灵敏度的联合分析	面上项目	78万	负责人	2018-2021

### 聚焦核心物理分析

大亚湾：振荡分析和能谱测量

江门：通过联合分析提高质量等级灵敏度



谢谢！