

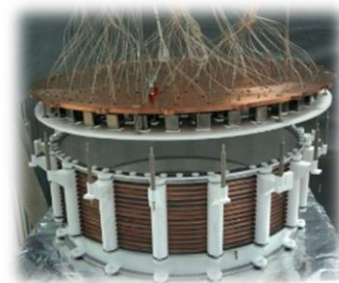
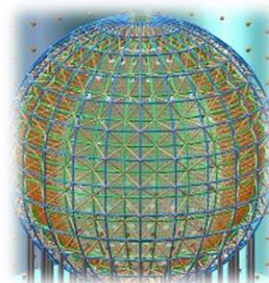
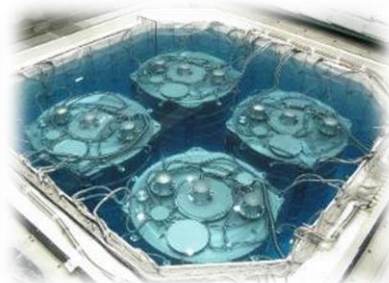


粒子物理前沿卓越创新中心进展报告

# 中微子及相关物理

曹俊，季向东，杨长根

2017年11月30日



# 提 纲

- ◆ 中微子理论
- ◆ 大亚湾中微子实验
- ◆ 江门中微子实验
- ◆ MOMENT / EMuS
- ◆ PandaX
- ◆ 国际合作
  - ⇒ EXO ( 无中微子双贝塔衰变 )
  - ⇒ COMET ( muon实验 )
  - ⇒ LBNF ( 费米长基线加速器中微子束流 )
  - ⇒ MICE
- ◆ 暑期学校

\* 只包括卓越中心成员贡献  
\* 不完整、遗漏部分请原谅！

感谢提供资料:

周顺  
刘江来  
唐靖宇  
李海波  
温良剑  
邢天虹

# 中微子理论进展 (1)

物质vs.真空: 混合角与CP破坏Jarlskog不变量

李玉峰 et al., JHEP, 2016;  
周顺, JPG, 2017

$$s_{\theta_{13}}^2 \approx \frac{s_{\theta_{13}}^2 (1 + \hat{A} + \hat{C})}{\hat{C}(1 - \hat{A} + \hat{C})} - \frac{\alpha^2 (1 - \hat{A} - \hat{C})(1 - \hat{A}^2 + 3\hat{C} - \hat{A}\hat{C})}{4\hat{C}^3(1 + \hat{A} + \hat{C})^2} s_{2\theta_{12}}^2 c_{\theta_{13}}^2, \quad \eta = c_{12}^2$$

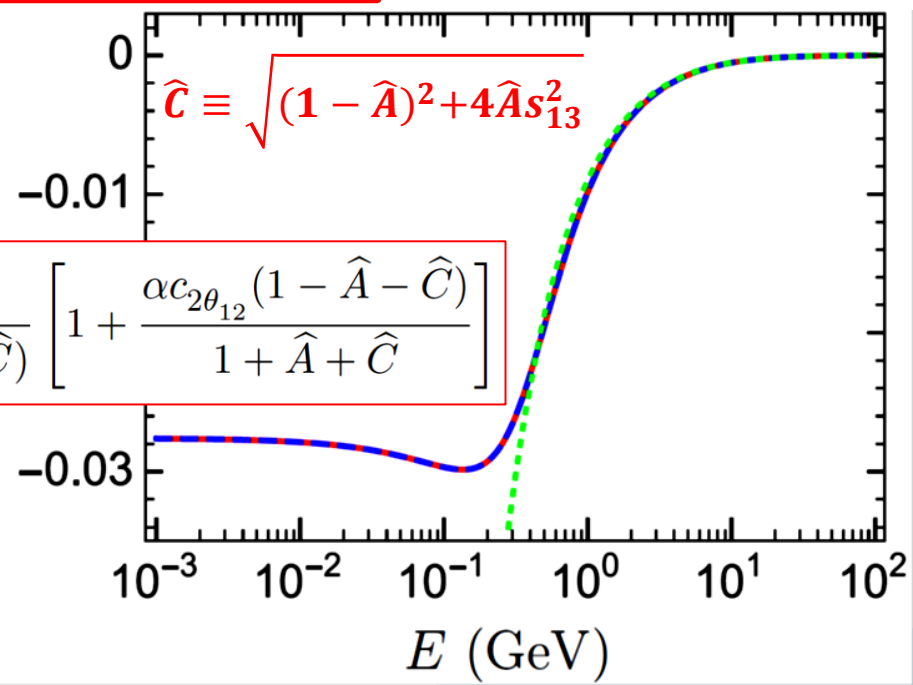
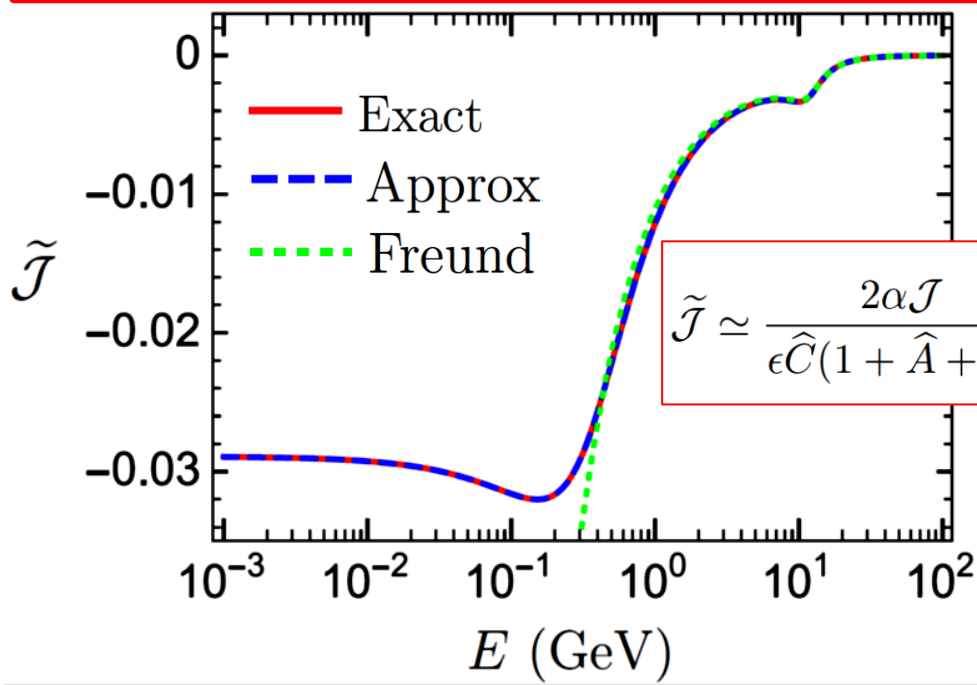
$$s_{\theta_{12}}^2 \approx \frac{1 + 2\epsilon + \hat{A} - \hat{C} - 2\alpha c_{2\theta_{12}}}{4\epsilon} - \frac{\alpha^2 \hat{A}(2 + 3\hat{A} - 6c_{\theta_{13}}^2 \hat{A} + \hat{A}^2 + 6\hat{C} - \hat{A}\hat{C})}{2\epsilon \hat{C}(1 - \hat{A} + \hat{C})^2 (1 + \hat{A} + \hat{C})} s_{2\theta_{12}}^2 s_{\theta_{13}}^2,$$

$$s_{\theta_{23}}^2 \approx s_{\theta_{23}}^2 - \frac{8\alpha \mathcal{J}(1 - \hat{A} - \hat{C})(1 + \hat{A} + \hat{C} + 2\alpha c_{2\theta_{12}}) \cot \delta}{s_{2\theta_{13}}^2 (1 + \hat{A} + \hat{C})^2} + \frac{\alpha^2 (1 - \hat{A} - \hat{C})^2}{4s_{\theta_{13}}^2 (1 + \hat{A} + \hat{C})^2} s_{2\theta_{12}}^2 c_{2\theta_{23}}^2,$$

推导出混合参数之间的更精确的映射关系

$$\Delta_* \equiv \eta \Delta_{31} + (1 - \eta) \Delta_{32}$$

$$\alpha \equiv \frac{\Delta_{21}}{\Delta_*} \quad \hat{A} \equiv \frac{A}{\Delta_*}$$

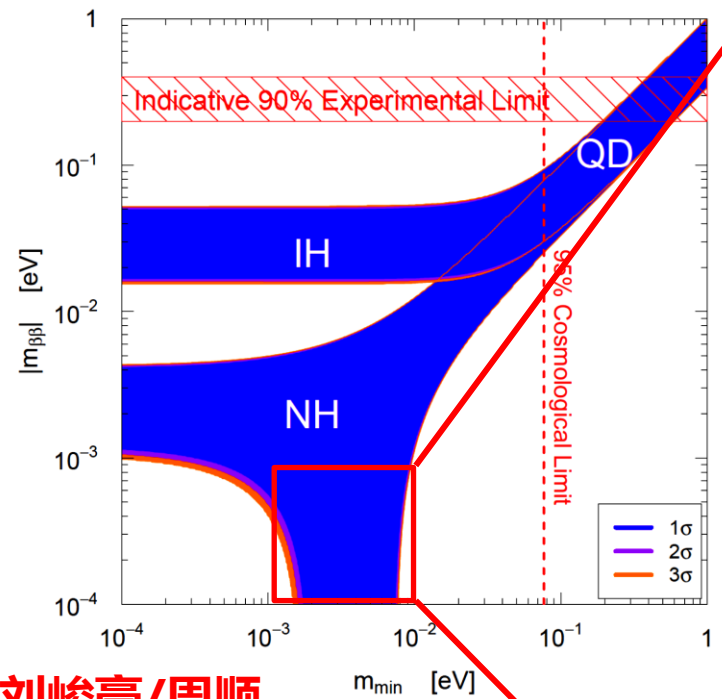


$$\tilde{\mathcal{J}} \simeq \frac{2\alpha \mathcal{J}}{\epsilon \hat{C}(1 + \hat{A} + \hat{C})} \left[ 1 + \frac{\alpha c_{2\theta_{12}} (1 - \hat{A} - \hat{C})}{1 + \hat{A} + \hat{C}} \right]$$

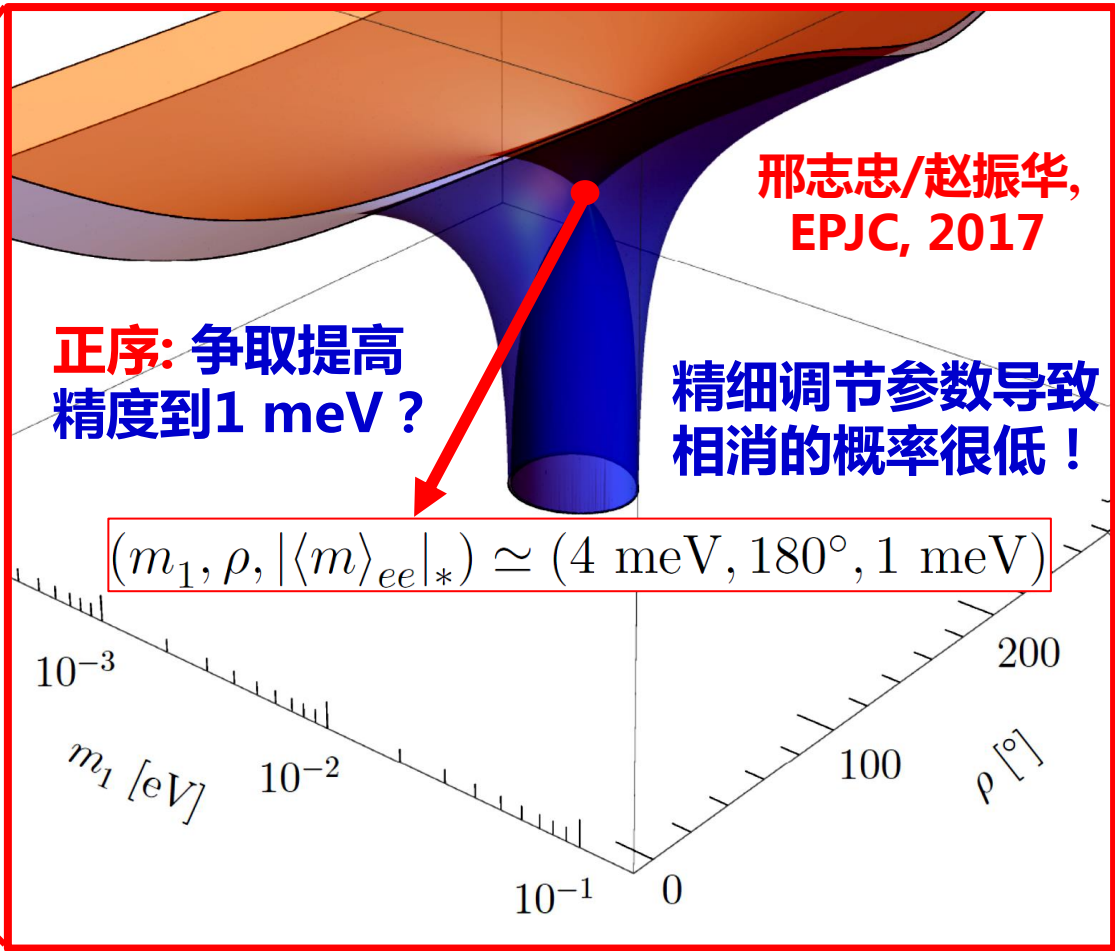
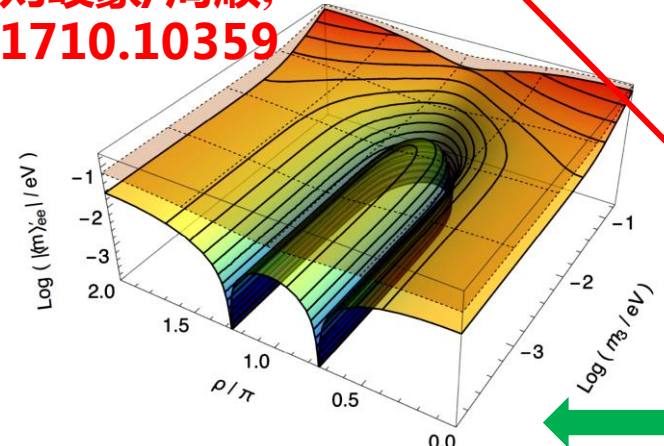
# 中微子理论进展 (2)

**$0\nu\beta\beta$ 有效中微子质量**

$$m_{\beta\beta} = m_1 |U_{e1}|^2 e^{i\rho} + m_2 |U_{e2}|^2 + m_3 |U_{e3}|^2 e^{i\sigma}$$



刘峻豪/周顺,  
1710.10359

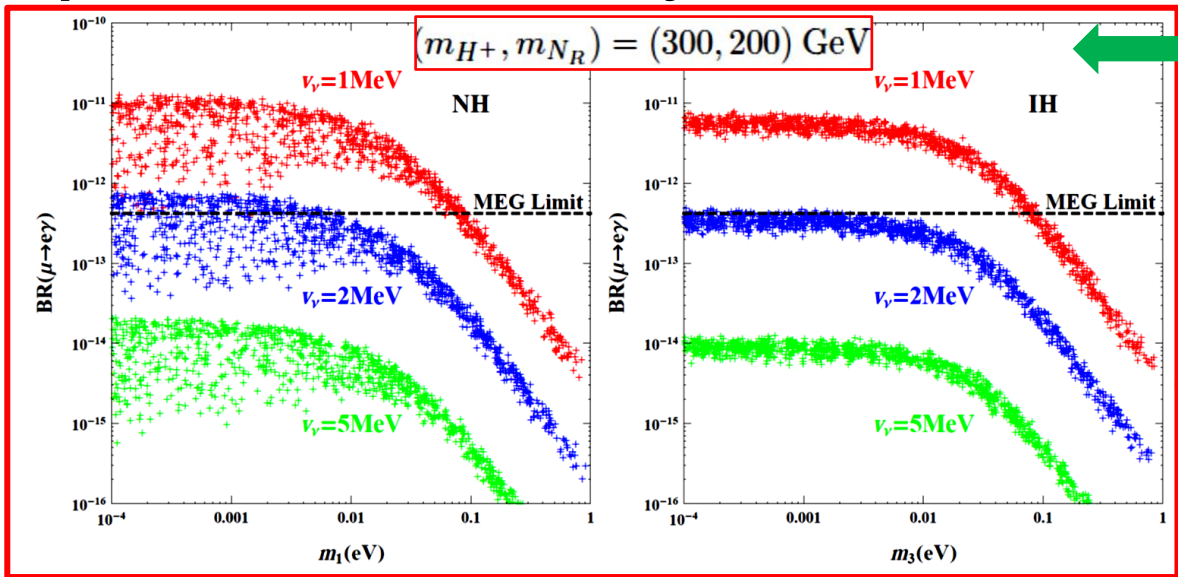


**3代中微子/正质量顺序 有效质量的3D展示**

**+eV惰性中微子/倒质量顺序**

# 中微子理论进展 (3)

**v-philic 2HDM模型: 重Majorana中微子的对撞机信号** 廖益 et al., JHEP, 2017

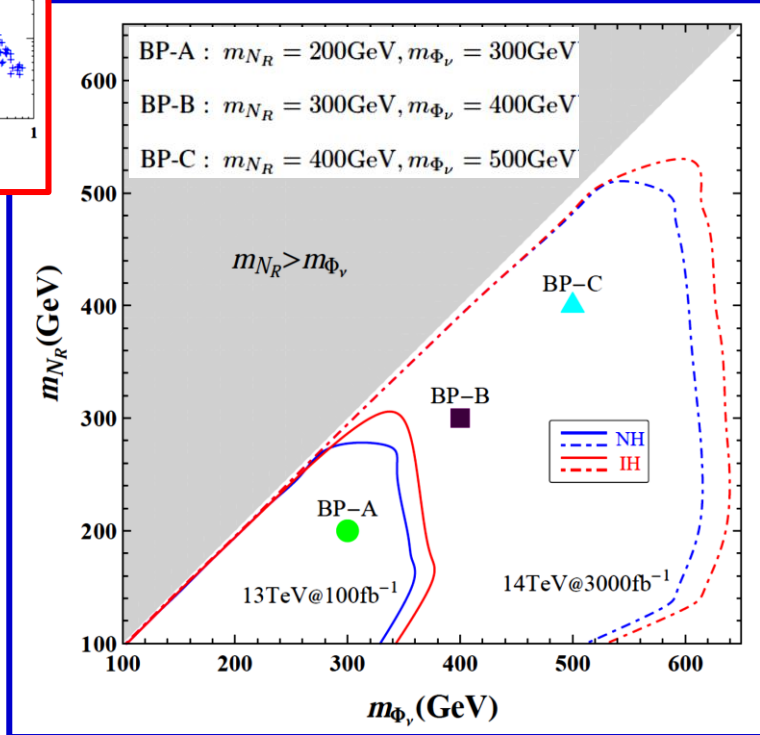


轻子味破坏稀有衰变实验限制

Same-Sign-Trilepton 信号

$$pp \rightarrow H^\pm H/A \rightarrow \ell^\pm N_R \nu N_R$$

$$\rightarrow \ell^\pm \ell^\pm W^\mp \nu \ell^\pm W^\mp \rightarrow 3\ell^\pm 4j + \cancel{E}_T$$

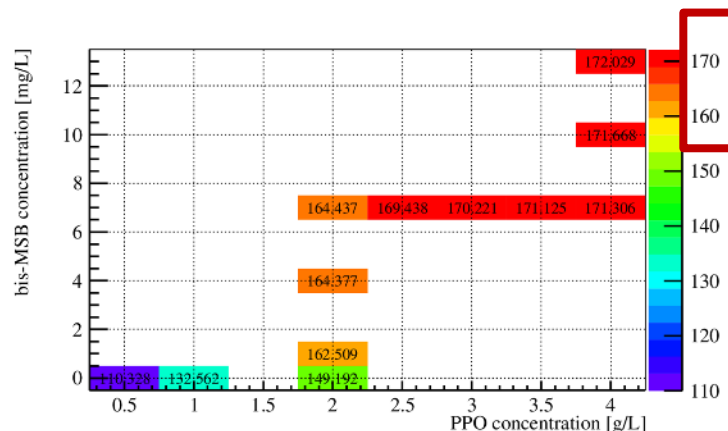


Channels		Basic cuts in Eq: 35	$N(\ell^\pm) = 3$	$N(j) \geq 2$	$S/\sqrt{S+B}$
BP-A	NH	11 (378)	3.7 (127)	3.7 (126)	1.85 (10.8)
	IH	13 (458)	4.5 (153)	4.5 (152)	2.05 (11.9)
BP-B	NH	2.9 (102)	1.1 (37)	1.0 (36)	0.87 (5.25)
	IH	3.5 (124)	1.3 (44)	1.3 (44)	1.02 (5.93)
BP-C	NH	0.96 (36)	0.38 (13)	0.37 (13)	0.45 (2.65)
	IH	1.2 (43)	0.46 (16)	0.44 (16)	0.51 (3.08)
$t\bar{t}VV$		1 (36)	0.25 (8.5)	0.24 (8.3)	-
$VVV(V)$		0.5 (16)	0.15 (5)	0.08 (2.7)	-

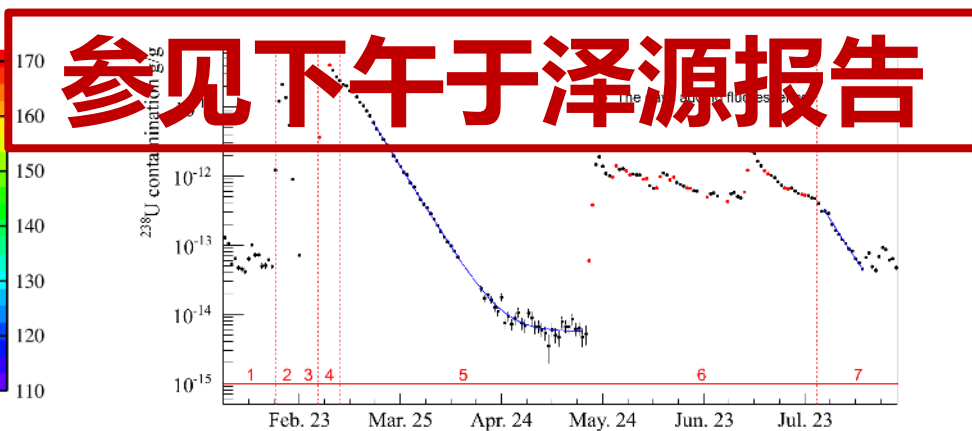
信号与背景

# 大亚湾中微子实验

- ◆ 大亚湾实验继续高质量运行，获中科院大装置运行二等奖
- ◆ 2016.12-2017.1 进行特殊刻度与AD1液闪置换，进入7探测器运行。AD1为江门进行技术研究。



首次准确量化了发光物质的效果，优化江门实验液闪配方



研究液闪放射性纯化效果和氦气本底

“大亚湾反应堆中微子实验发现的中微子振荡新模式”获2016年度国家自然科学一等奖（王贻芳、曹俊、杨长根、衡月昆，李小男）

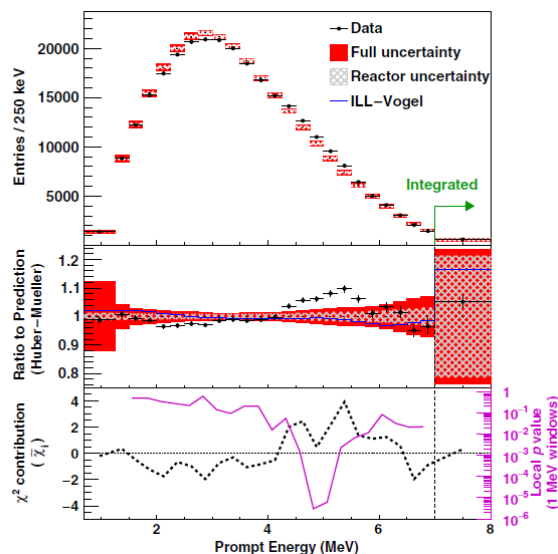
王贻芳获俄罗斯“蓬蒂科尔沃奖”，王贻芳等16人获全国创新争先奖牌

# 大亚湾中微子实验

◆ 2017年发表4篇合作组论文，表现不俗。另投稿2篇

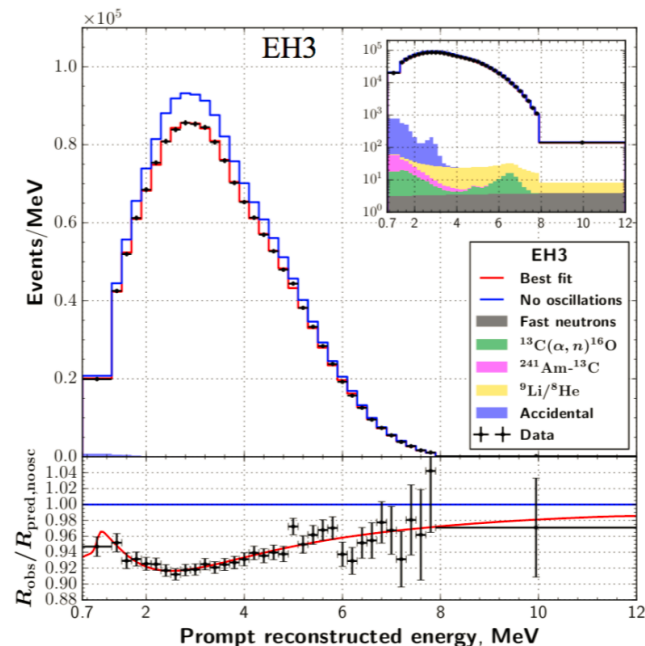
粒子物理领域 ( QSPIRES数据库 ) 每年约5万篇论文

	2013 $\theta_{13}$	2014 $\theta_{13}$	2015 $\theta_{13}$	2016流强	2017 $\theta_{13}$	2017流强	2017 $^{235}\text{U}$
引用排名	78	97	96	267	196 /43k	255 /43k	531 /43k



发现能谱与理论模型存在两处差异：  
PRL (2016)

大数据量新结果与技术细节：  
CPC (2017)  
36 Pgs, 29 Figs

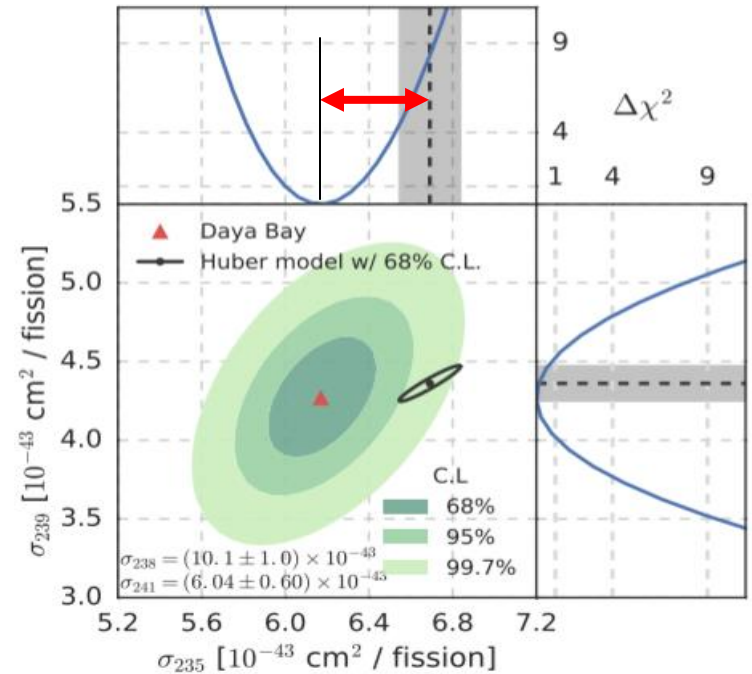


PRD 95, 072006 (2017)  
46 Pgs, 44 Figs

《科技日报》2016年度国内十大科技新闻  
中国核学会2015-2017中国十大核科技进展

# 燃料演化

- ◆ 利用数据中燃料成份的变化，发现能谱差异是主要由 $^{235}\text{U}$ 引起，而 $^{239}\text{Pu}$ 的结果与理论一致。
  - 12-18个月一个寿期
- ◆ 倾向于理论模型不对，而不是存在惰性中微子 ( $2.8\sigma$ )
- ◆ 核数据库不够准确



Physics Today, Physics World, Physics, Symmetry, International Business Times, ScienceNews, Phys.org, ...

Science MAAS

Weird sterile neutrinos may not exist, suggest new data from nuclear reactors

By Adrian Cho | Apr. 6, 2017, 5:30 PM

Selected for a Viewpoint in *Physics*

PRL 118, 251801 (2017)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending  
23 JUNE 2017

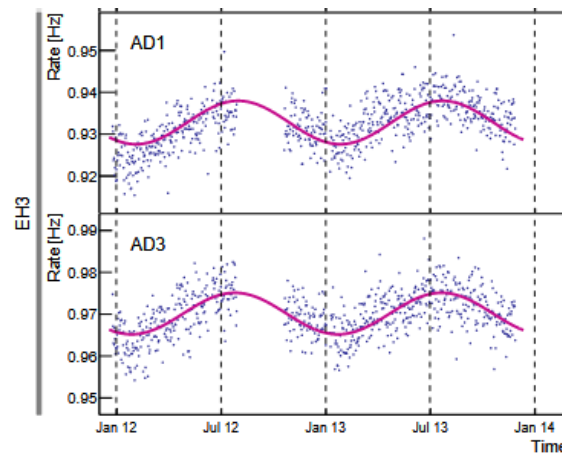
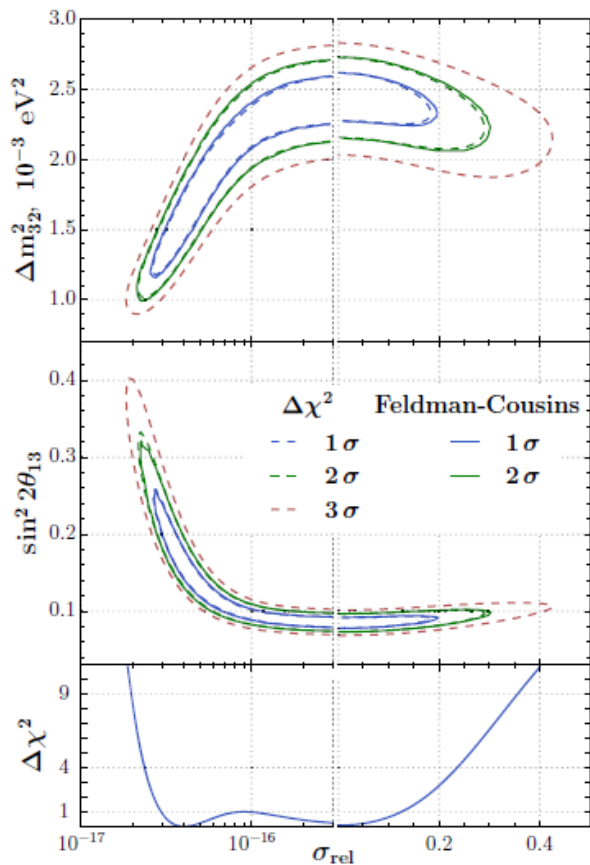


Evolution of the Reactor Antineutrino Flux and Spectrum at Daya Bay

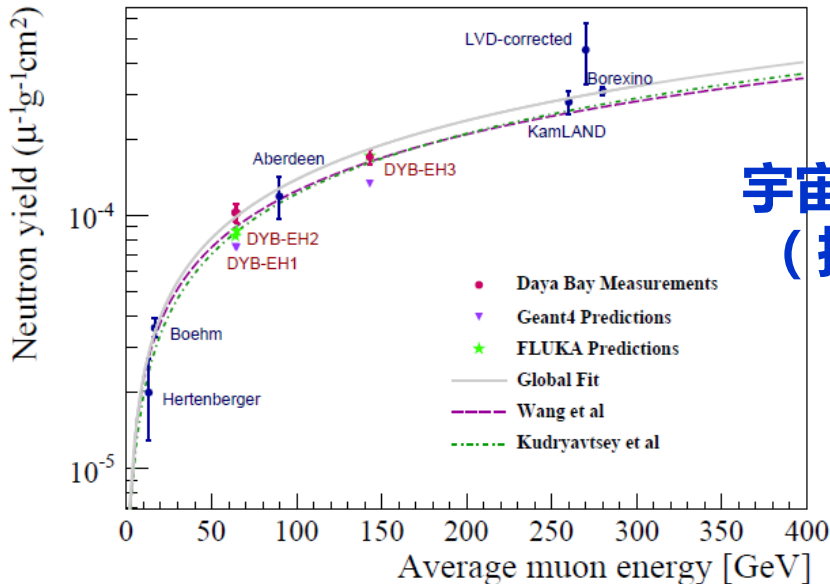


# 退相干、宇宙线调制、中子产额

## 中微子波包的大小？ (European Physics C)



高空温度对宇宙线缪子的年度调制效应 (高能所, arXiv:1708.01265, 投稿JCAP)



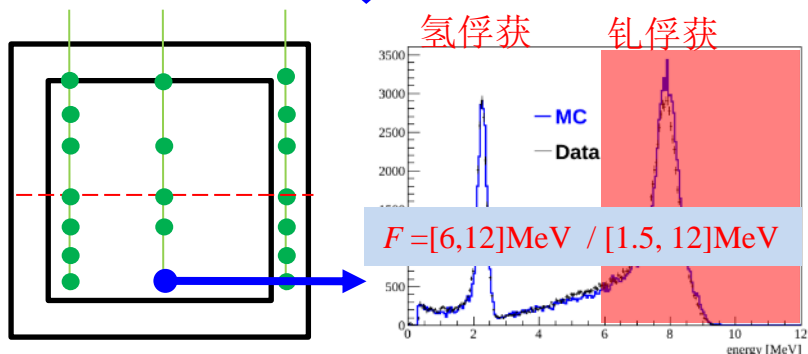
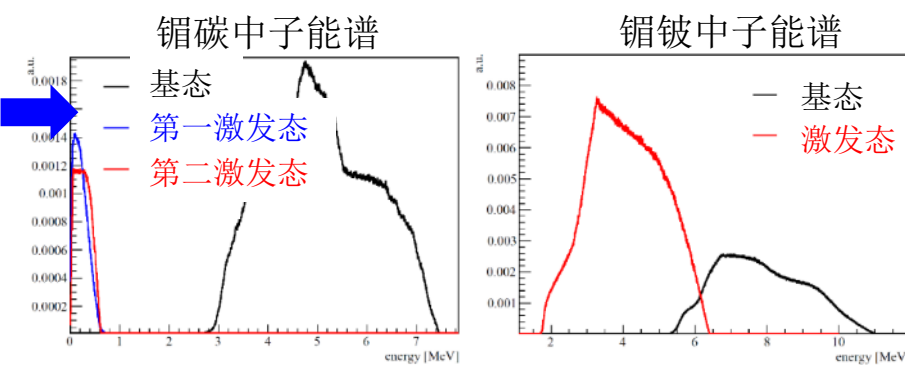
宇宙线中子产额  
(投稿PRD)

# 大型中子刻度

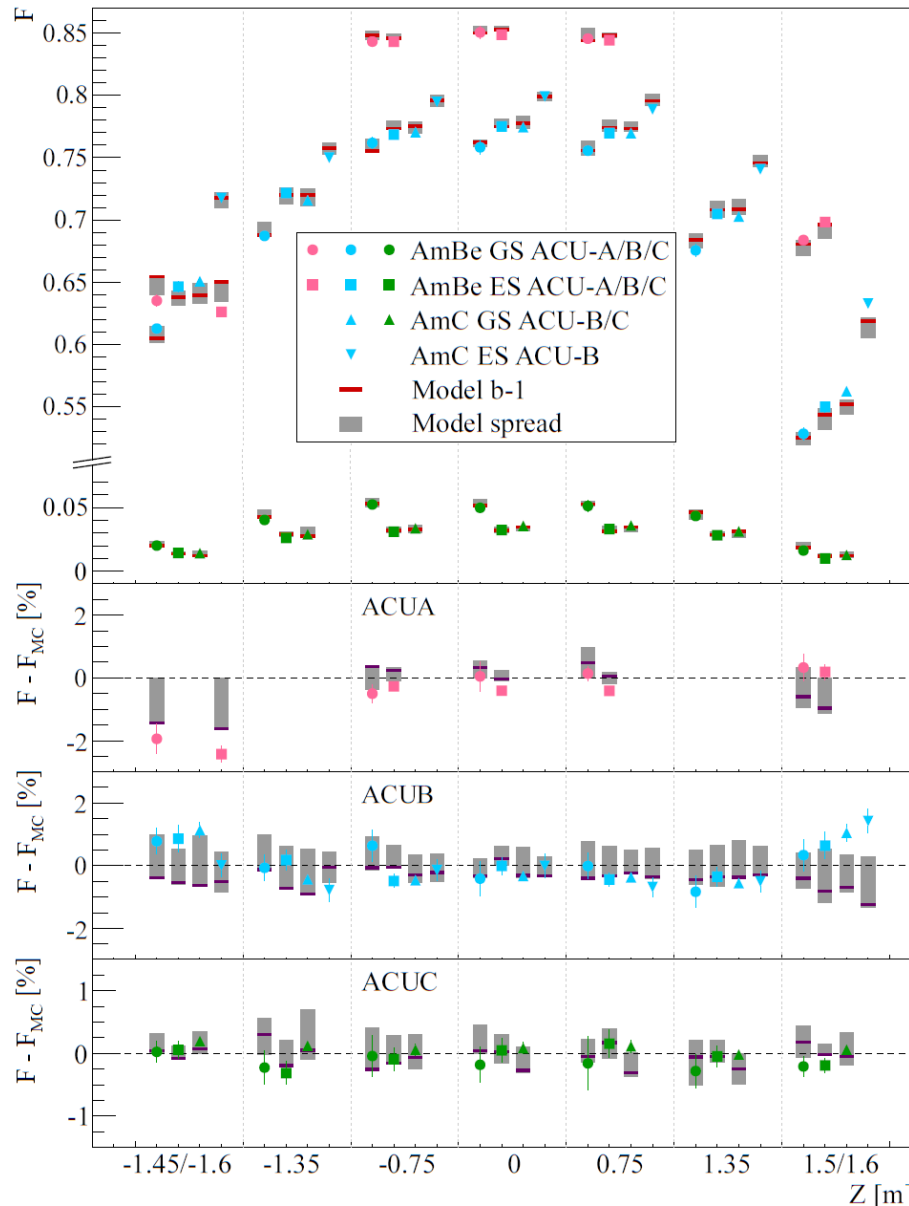
Dava Bav. Chin. Phys. C 41(1) (2017)

- 反应堆演化的测量精度主要来自
  - 中微子**绝对效率**的误差(1.93%), 中子效率占1.69%
- 中子效率的两个主要系统误差来源
  - 中子被钷俘获后释放的 **$\gamma$ 光子能谱**
  - 中子散射模型
- 2016年底, 上海交大团队在近点探测器上完成**中子刻度**
  - 镅碳AmC、镅铍AmBe中子源
    - $\Rightarrow$  中子动能范围广, 对散射模型灵敏
    - 三个自动刻度系统
    - $\Rightarrow$  “全探测器”刻度
    - $\Rightarrow$  目标: 中子效率的误差提升一倍

	Efficiency	Correlated
Target protons	-	0.92%
Flasher cut	99.98%	0.01%
Delayed energy cut	92.7%	0.97%
Prompt energy cut	99.8%	0.10%
Multiplicity cut		0.02%
Capture time cut	98.7%	0.12%
Gd capture fraction	84.2%	0.95%
Spill-in	104.9%	1.00%
Livetime	-	0.002%
Combined	80.6%	1.93%



# 中子效率和反应堆模型的验证



- 中子效率的精度提高一倍多, **0.76% (原来1.69%)**, 上海交大、清华
- 基于实验数据和蒙卡模拟的一致性检验, 对蒙卡模拟的中子效率稍加修正  $\Delta\varepsilon_n = -0.27\%$ .
- 将以更高精度验证最新的反应堆中微子模型 (Huber-Mueller),  $^{235}\text{U}$ 中微子的理论流强和大亚湾数据的偏差预计会高于 $3\sigma$
- 合作组文章撰写中

# 江门中微子实验

- **主要科学目标**：测量来自阳江和台山核电站的反应堆中微子，确定中微子质量顺序，精确测量振荡参数，天体中微子
- **地下700米，2万吨液体闪烁体探测器**



**江门中微子实验**

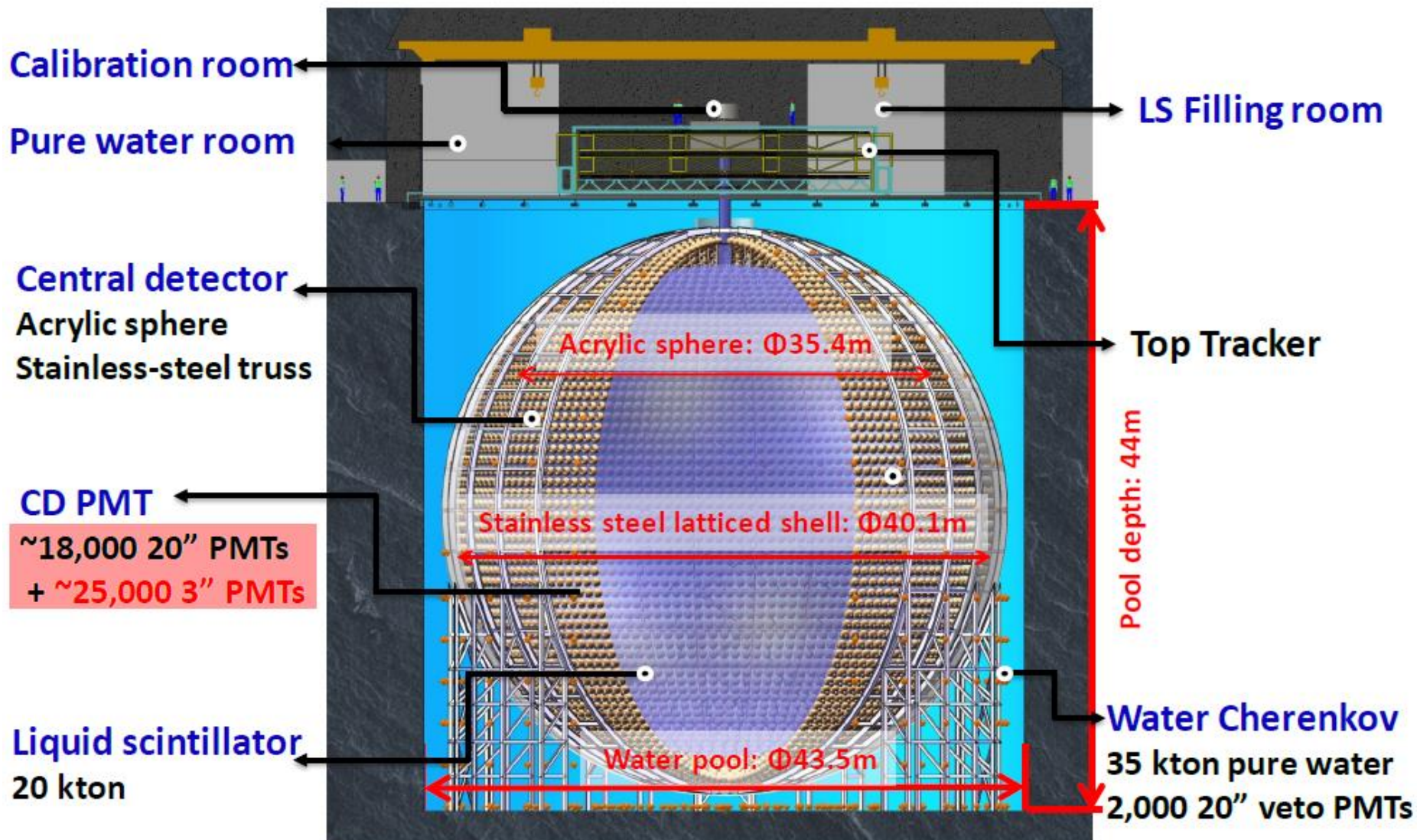
阳江核电站  
台山核电站

February 13-17, 2017, Zhuhai

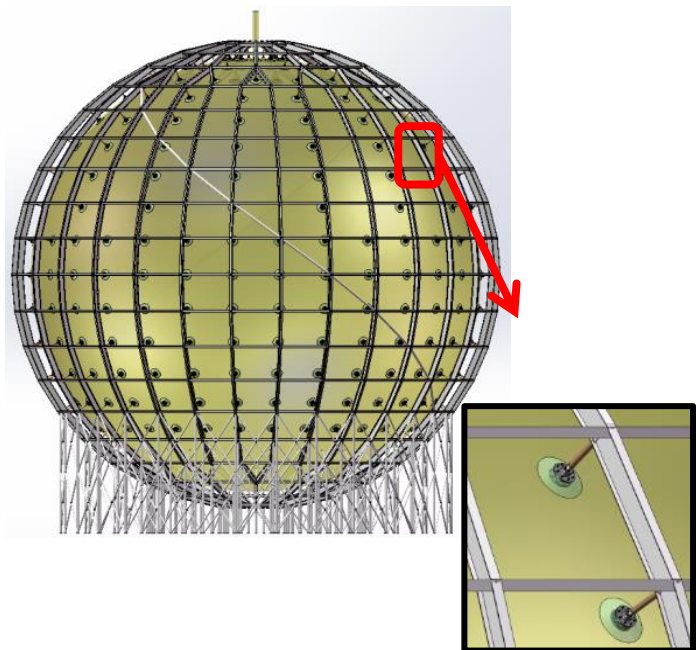
**国际合作组**：17个国家和地区，71个研究机构，550名研究人员

中 (29+台湾3)，泰 (3)，巴，亚美尼亚  
意 (8)，德 (7)，法 (6)，俄 (3)，比，  
捷、芬、斯洛伐克、拉脱维亚  
美国 (2)，巴西 (2)、智利 (2)

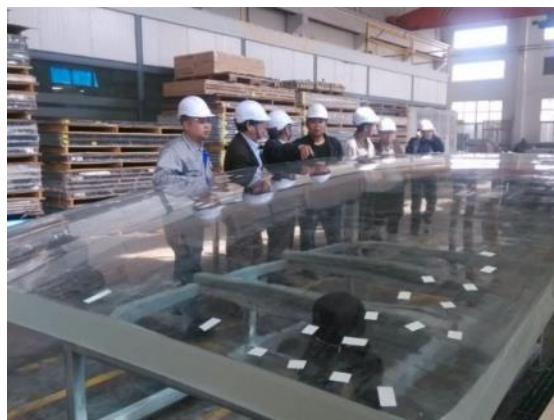
# 江门探测器



# 中心探测器



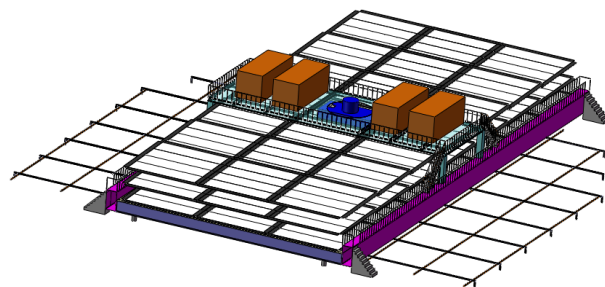
- ◆ 有机玻璃球2017.2完成招标（汤臣）
- ◆ 不锈钢网壳（支撑有机玻璃、PMT、地磁线圈等），2017.10.13签合同
- ◆ 研制 1:10 模型，验证力学分析
- ◆ 流固耦合分析 → 抗地震
- ◆ 有机玻璃材料老化试验（30年）
- ◆ 有机玻璃生产线改造，满足江门要求，2018.1评审，启动生产



# 反符合探测器

## ◆ 顶部径迹探测器 (TT) 法国

- ⇒ 重复使用OPERA's Target Tracker , 覆盖一半面积。已运抵中国



## ◆ 水切伦科夫探测器

- ⇒ 2000 20-in PMT
- ⇒ 3.5万吨纯水

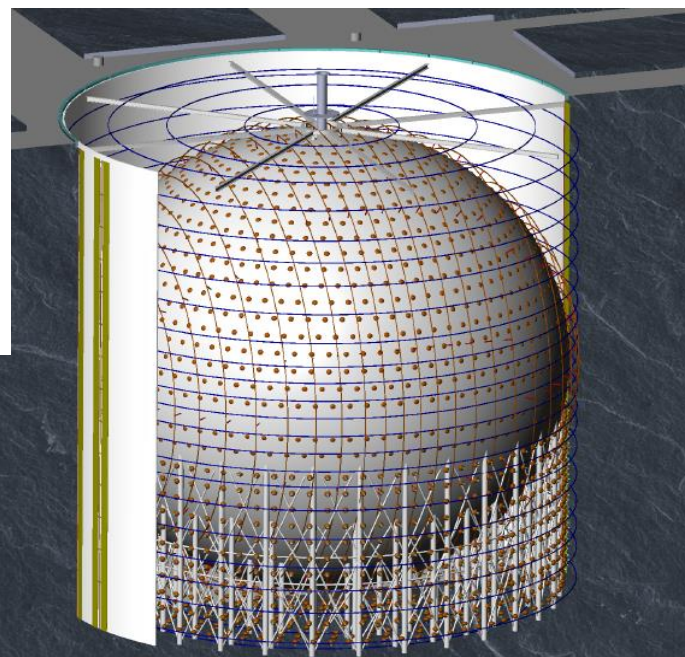
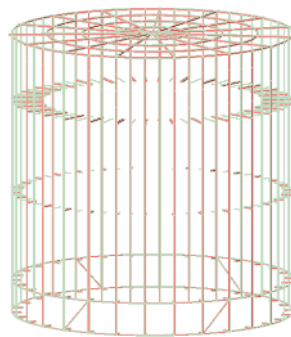
## ◆ 机械结构完成招标 , 2017.10.13签定合同

- ⇒ “鸟笼” 支撑PMT、tyvek, 电缆、水管

## ◆ 纯水系统

- ⇒ 2周循环一个体积
- ⇒ 氡气 $<0.2 \text{ Bq/m}^3$

## ◆ 地磁屏蔽线圈 ( 泰国 )



# 液体闪烁体20吨纯化

- ◆ 在大亚湾完成20吨烷基苯纯化实验，置换入一个大亚湾探测器，检验光学、放射性纯化效果
  - ⇒ 研究液闪配方，本底研究（见于泽源报告）、优化MC光学模型
- ◆ 目标：光学  $>20\text{m A.L @}430\text{nm}$ ，放射性  $10^{-15}\text{ g/g (U, Th)}$

蒸馏  
(意大利)

蒸气剥离  
(意大利)

水萃取  
(高能所)

超纯氮气  
(高能所)



存储罐

$\text{Al}_2\text{O}_3$  过滤  
(高能所)



# MCP-PMT生产

- ◆ 为江门实验研发的国产MCP-PMT，2015年在江门PMT招标中赢得1万5千支合同，日本滨松5千支
- ◆ 2016年底MCP-PMT生产线启动（北方夜视）每月300支
- ◆ 厂内建立批量测试装置
- ◆ 批量生产质量符合预期
  - ⇒ 3千多支已运抵测试地点，质量符合预期（QE, dark noise, glass bulb...）
  - ⇒ 玻璃放射性降至可接受水平（U略高于合同，K好于合同，目前国际最好水平）

Mass testing workshop near JUNO

批量测试设备（德国、俄国）



# PMT批量测试

- ◆ 在中山租用仓库，完成改装，用于PMT存储和批量测试（距江门实验点1小时）。基本完成设备调试
- ◆ 3千多MCP-PMT，2千支滨松PMT
  - ⇒ 部分因玻璃壳气泡问题退回。其它指标合格

Characteristics	unit	MCP-PMT (NNVT)	R12860 (Hamamatsu)
Detection Efficiency (QE*CE*area)	%	<b>27%, &gt; 24%</b>	<b>27%, &gt; 24%</b>
P/V of SPE		3.5, > 2.8	3, > 2.5
TTS on the top point	ns	~12, < 15	<b>2.7, &lt; 3.5</b>
Rise time/ Fall time	ns	R~2, F~12	R~5, F~9
Anode Dark Count	Hz	20K, < 30K	10K, < 50K
After Pulse Rate	%	<b>1, &lt; 2</b>	10, < 15
Radioactivity of glass	ppb	<b>238U:50</b> <b>232Th:50</b> <b>40K: 20</b>	238U:400 232Th:400 40K: 40

~28%

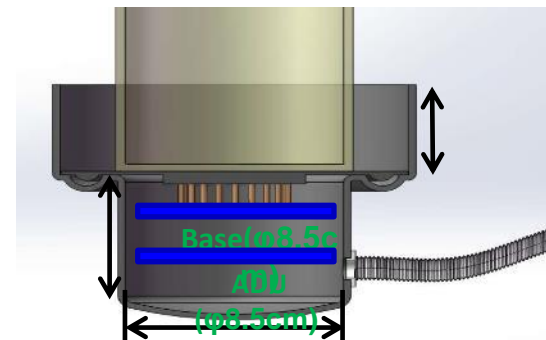
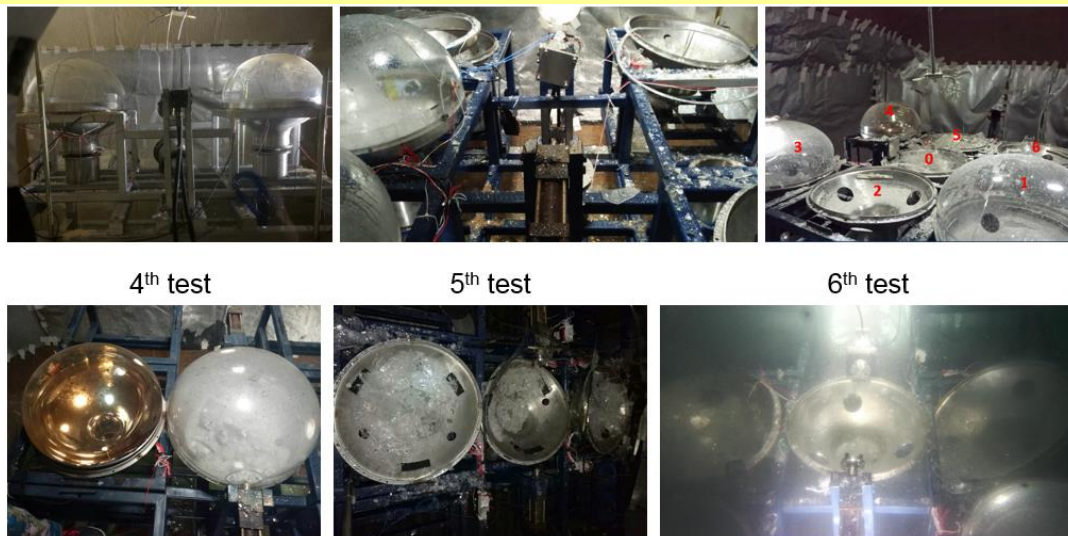
符合  
预期

# PMT封装和防爆

- ◆ 已完成大量封装测试。
- ◆ 防爆：防止45米深水中，因偶然PMT内爆产生冲击波，避免链式反应（殉爆）
- ◆ 高压水下测试：选定有机玻璃保护罩（9mm）+不锈钢底部

参见下午何苗报告

6 times of protection tests under 0.5MPa water since 2016



design of the protection cover:  
acrylic + stainless steel

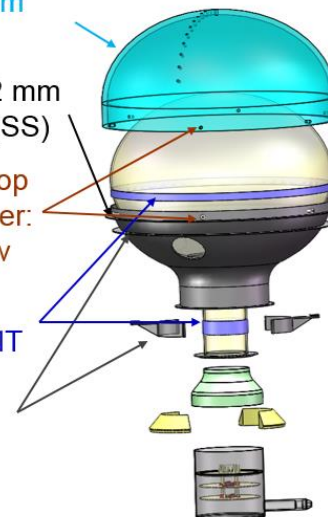
Top cover: ~9mm  
acrylic

Bottom cover: 2 mm  
stainless steel (SS)

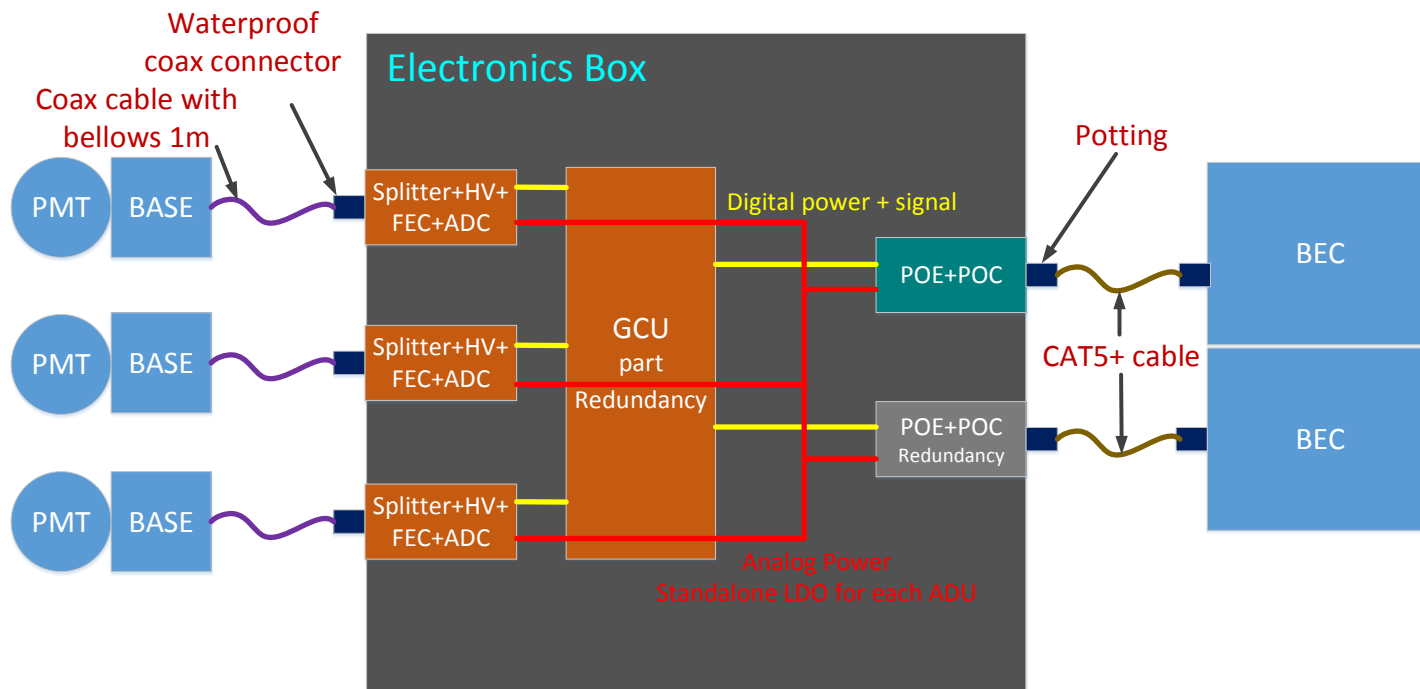
Connection of top  
and bottom cover:  
horizontal screw

Two rings of  
rubber to fix PMT

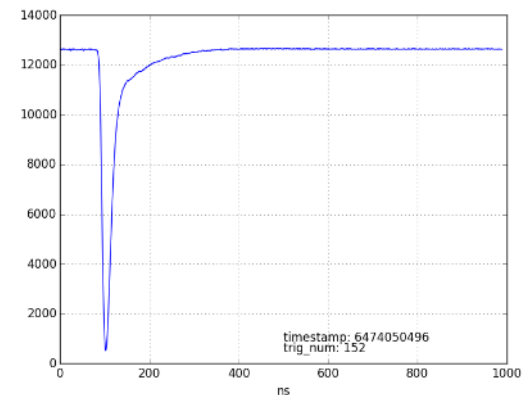
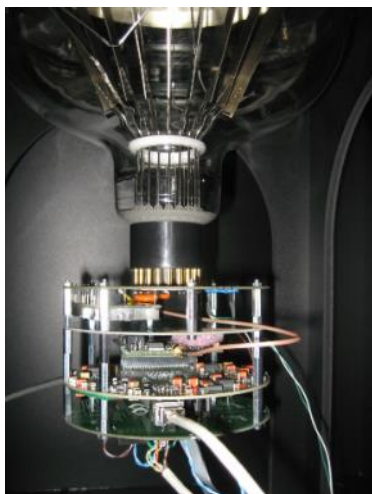
Connections to  
the SS rack



# 电子学读出



## 1<sup>st</sup> electronics prototype testing



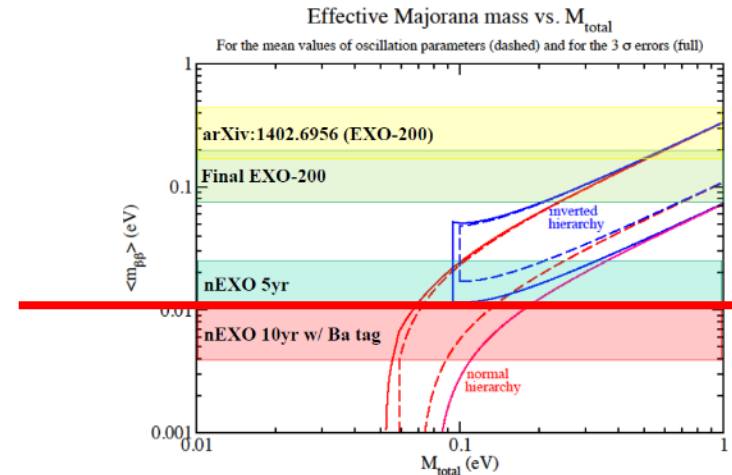
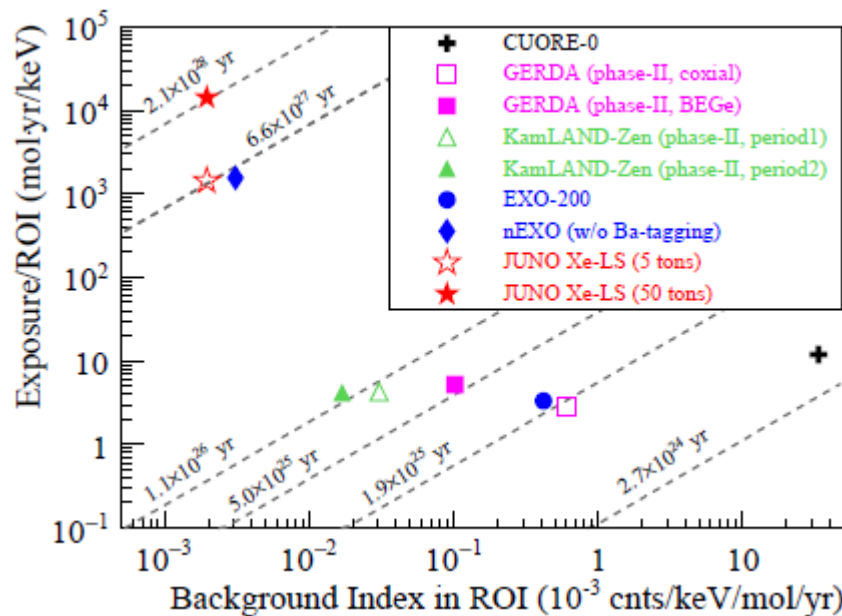
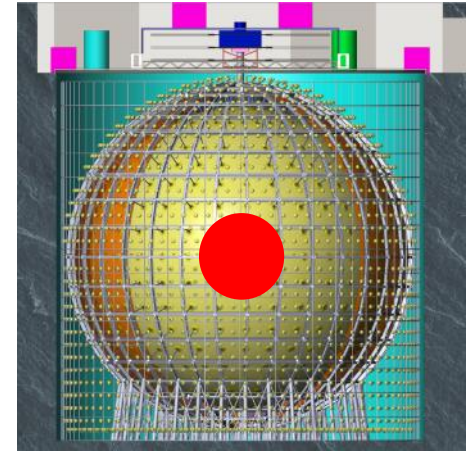
# 小光电倍增管系统

- ◆ 国内、台湾、法国、智利、意大利等参与
- ◆ 完成25,000 3.5英寸PMT招标（海南展创）
  - ⇒ 增加光电子数约3%
  - ⇒ 光电子计数测量能量，控制系统误差
  - ⇒ muon tracking, supernova detection ...



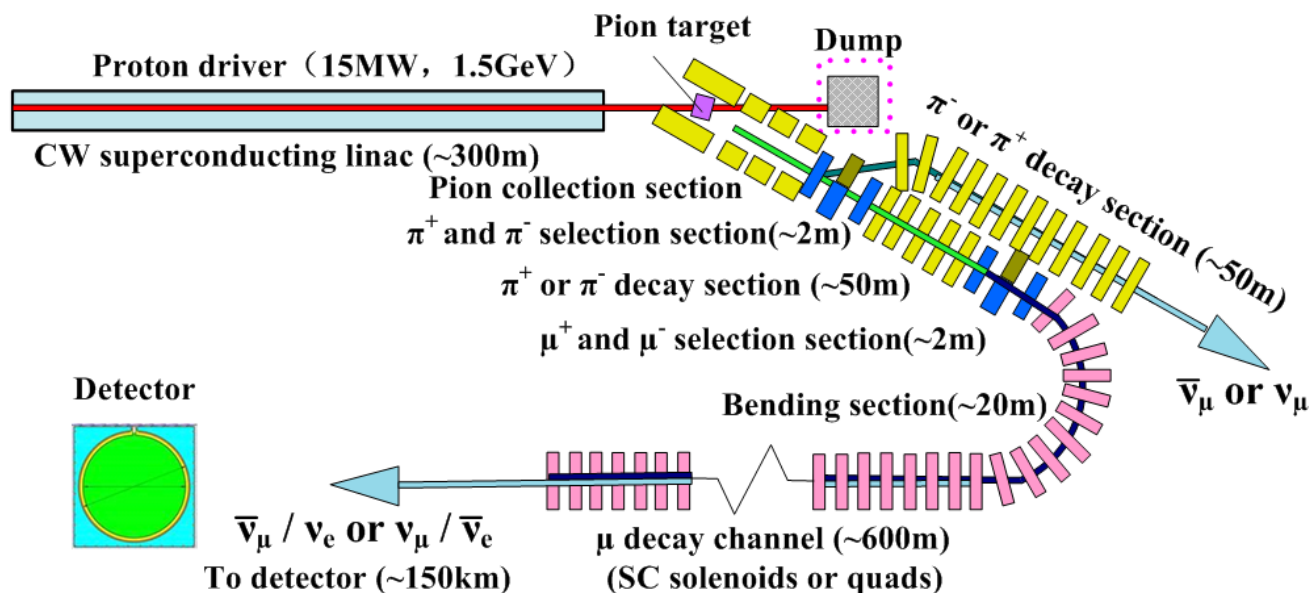
# JUNO-0 $\nu\beta\beta$

- ◆ 气球载入溶解5-50吨氙气的液闪
- ◆ 同时考虑技术更复杂但廉价的掺Te液闪方案（例如SNO+）
- ◆ 时间节点：完成初步质量顺序测量后（2026?）



# 中微子束流 MOMENT

- ◆ MOMENT (Muon-decay Medium Baseline Neutrino Beam Facility) : 利用低能强流质子加速器，产生类似中微子工厂的流强。2017年主要进展：
  - ⇒ 合作团队：高能所、近物所、国科大、中山大学
  - ⇒ 开展了**颗粒靶的概念设计研究**
  - ⇒ 物理开展了LCPV以外的其他物理目标研究，包括Non-Standard Interactions, Sterile Neutrinos
  - ⇒ 召开一次全体会议（中山大学）



# CSNS实验型缪子源 (EMuS)

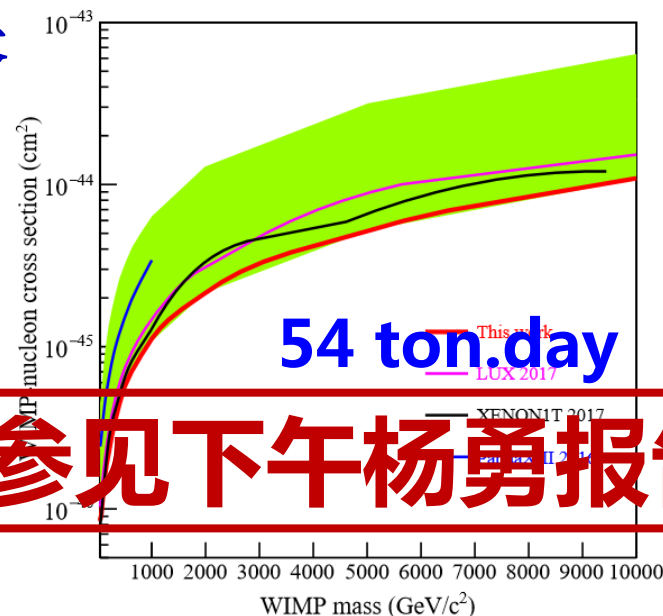
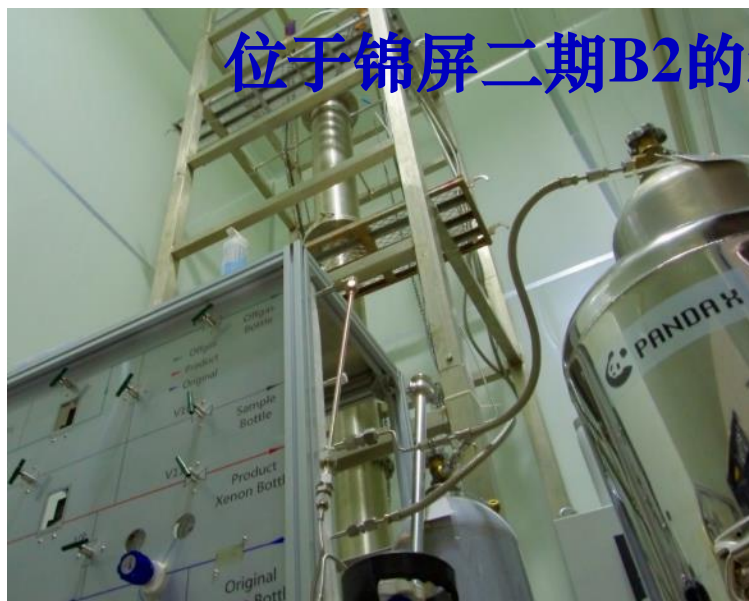
- ◆ 高强度 $\mu$ 子源在粒子物理/核物理和多学科应用方面（特别是基于 $\mu$ SR技术）发挥重要作用。粒子物理方面：
  - ⇒  $\mu$ 稀有衰变实验：轻子味道破坏实验(Mu2e, COMET, MEG)；muon g-2 / EDM实验
  - ⇒ 中微子工厂/  $\mu$ 子对撞机：中微子振荡实验研究/能量前沿
- $\mu$ 子源依附于CSNS高功率质子加速器 (1.6GeV/100kW)
- EMuS: 1.6 GeV, 5 kW (5% of total)
- 物理目标： $\mu$ SR, MOMENT预研,  $\mu$ 物理, 中微子截面
- 特殊设计：厚靶、超导螺线管俘获和传输 → 高强度（具有国际竞争力）
- 团队：高能所、科大、中山
- 2017年研究工作进展
  - 基金委重大仪器项目支持
  - 物理设计更新、铝基超导线材研发





# PandaX-II实验进展

- ◆ 继续进行PandaX二期实验。
  - ⇒ 大量的氡衰变 $\beta$ 刻度数据
  - ⇒ 通过精馏去除氦气等杂质，本底降低2.5倍(2 mDRU  $\rightarrow$  0.8 mDRU)
  - ⇒ 改进触发性能，阈值降至大约两个单电子信号
- ◆ 预期运行至2018，然后开展PandaX-4T的升级
- ◆ 发布质量100GeV以上**国际最灵敏的测量结果** (PRL2017)

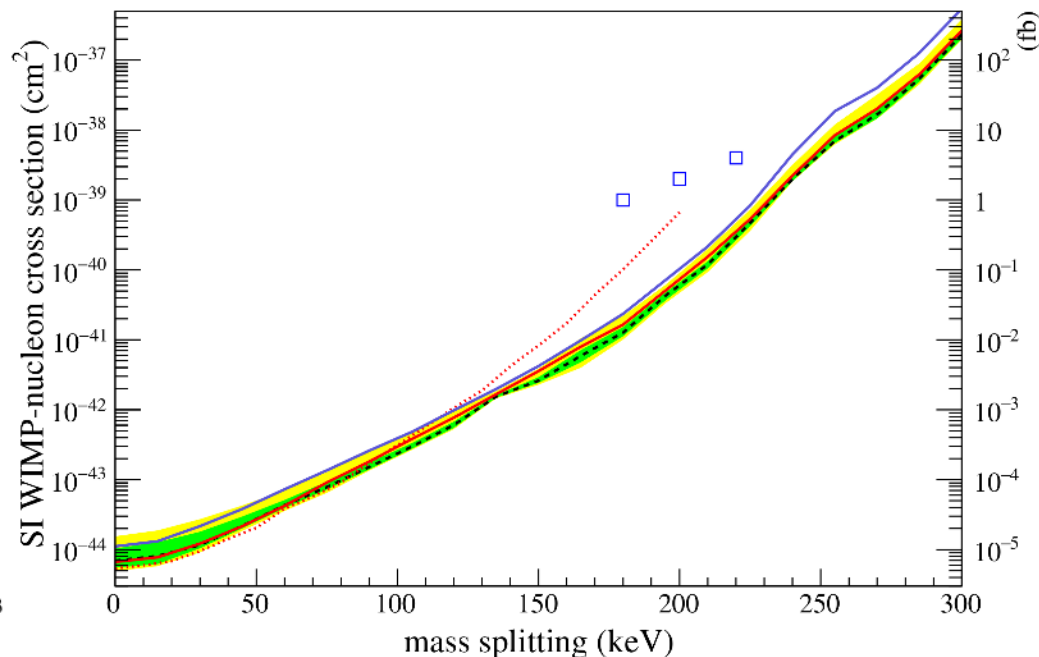
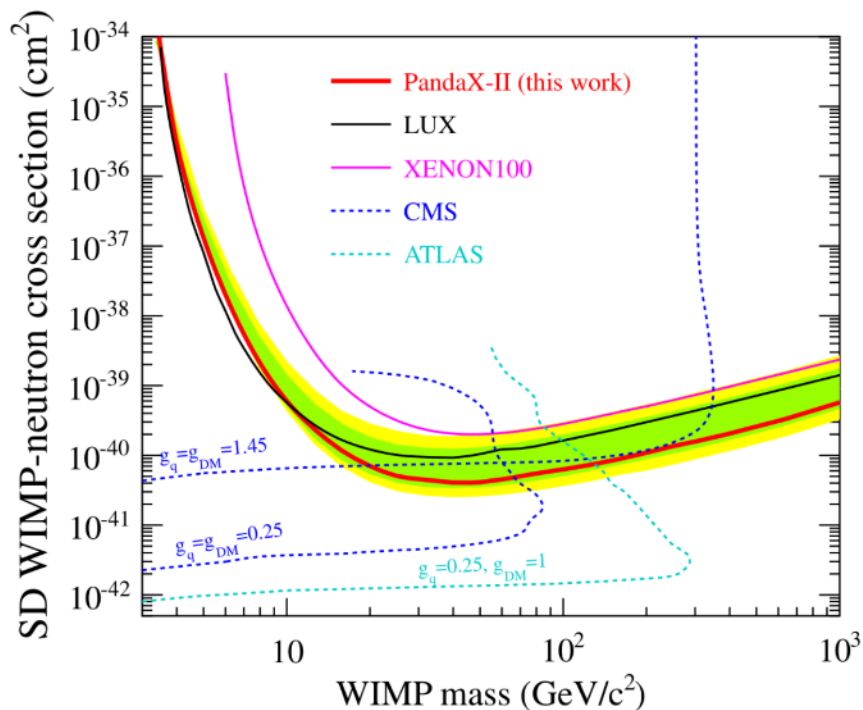


参见下午杨勇报告

# 其他暗物质模型的探索

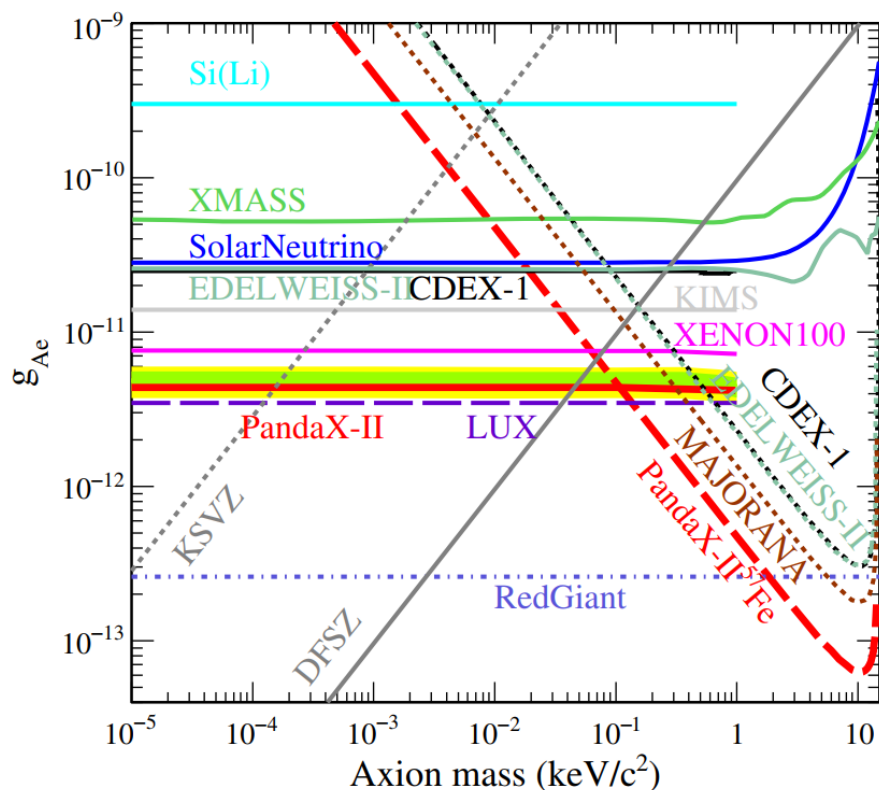
国际领先自旋相关WIMP中子截面的限制  
PRL 118, 071301 (2017), “主编推荐”  
杨勇 (交大)、符长波 (交大)、燕斌斌  
(山大) 等

国际领先非弹性暗物质-核子截面的限制，排除CRESST-II疑似事例  
PRD接收，谏勋 (交大)、阿布  
萨拉姆 (新疆大学) 等



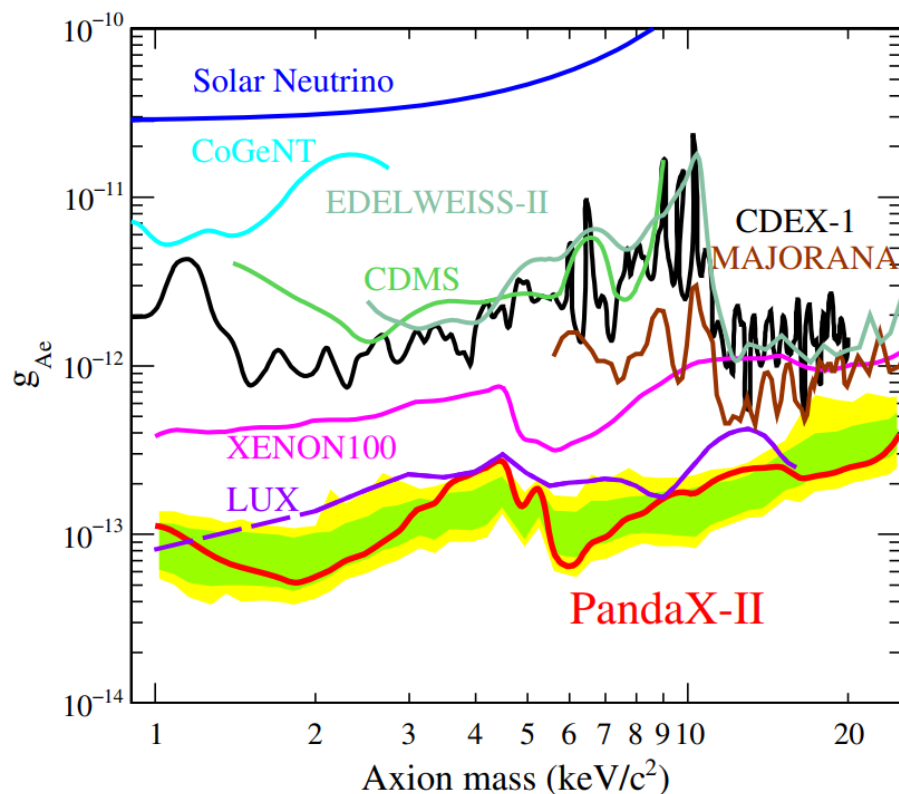
# 轴子暗物质-电子耦合限制

## 太阳轴子



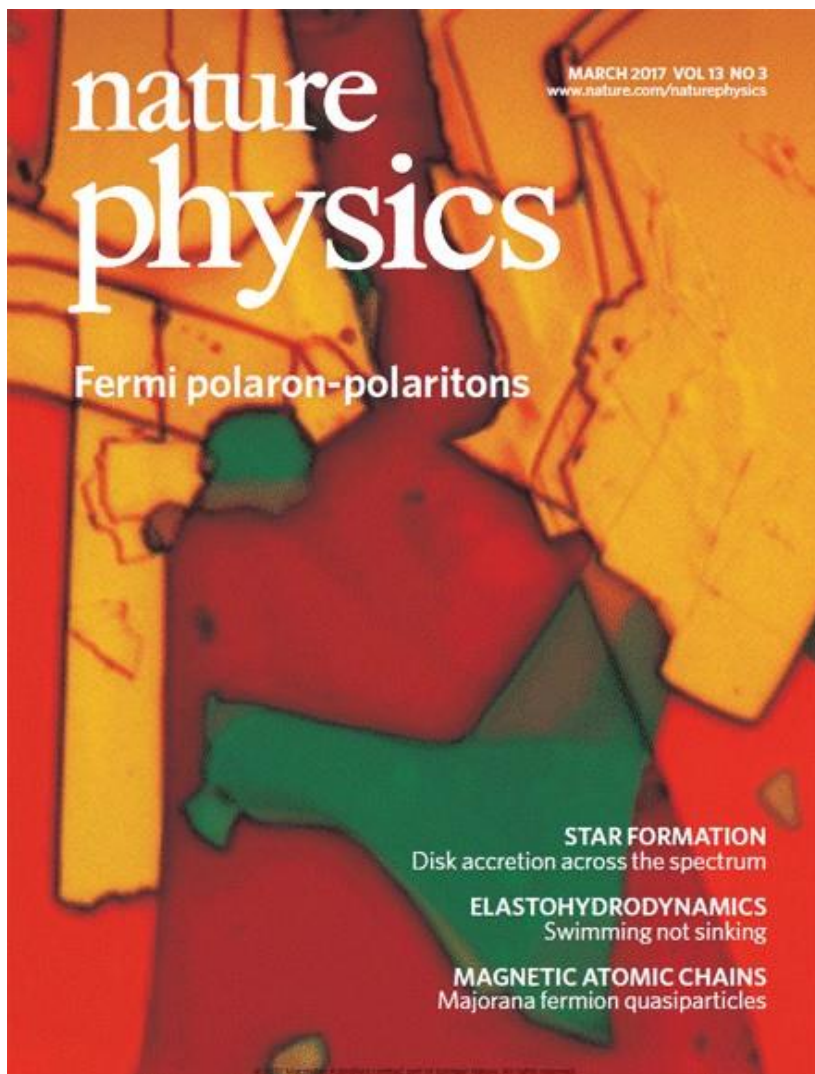
PRL 119, 181806 (2017)

## 银河系轴子暗物质



符长波 (交大)、周小鹏 (北大) 等

# 《Nature Physics》综述



受《Nature Physics》邀请，撰写  
暗物质直接探测领域的综述文章。  
**Nature Physics 13, 212 (2017)**

nature physics

Home | Current issue | Comment | Research | Archive | Authors & referees | About the journal

home > current issue > progress article > full text

NATURE PHYSICS | PROGRESS ARTICLE

Current status of direct dark matter detection experiments

Jianglai Liu, Xun Chen & Xiangdong Ji

Affiliations | Corresponding author **刘江来、谌勋、季向东**

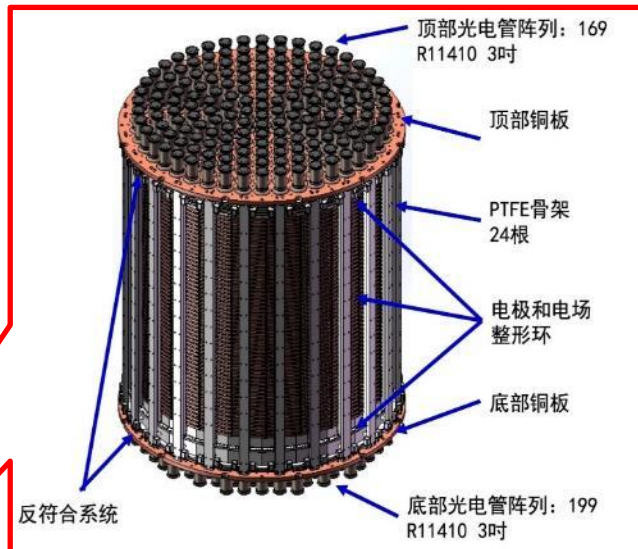
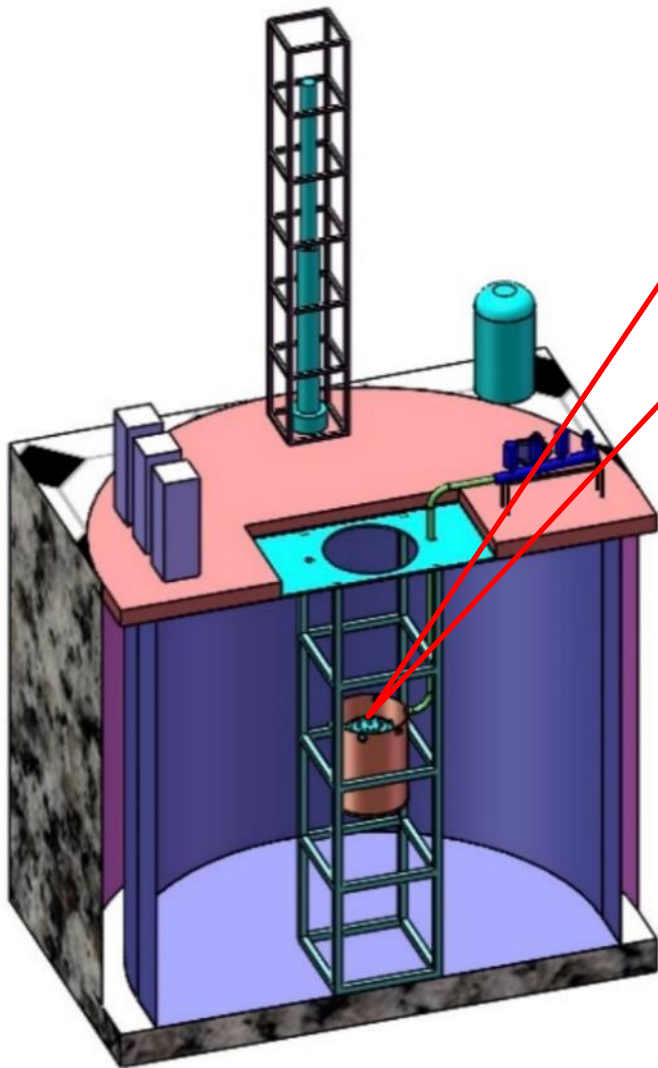
Nature Physics 13, 212–216 (2017) | doi:10.1038/nphys4039  
Received 16 November 2016 | Accepted 13 January 2017 | Published online 02 March 2017

PDF | Citation | Reprints | Rights & permissions | Article metrics

Abstract

# PandaX-4T 研制

## 下午周宁报告

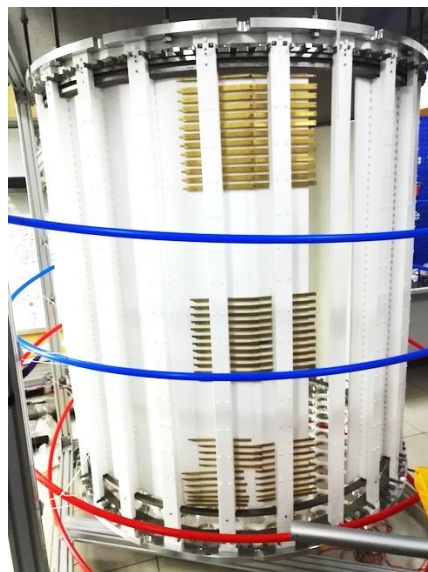


漂移区直径 ~ 1.2米

漂移区高度 ~ 1.2米

液氙使用总量 ~ 6吨

灵敏区液氙 ~ 4吨

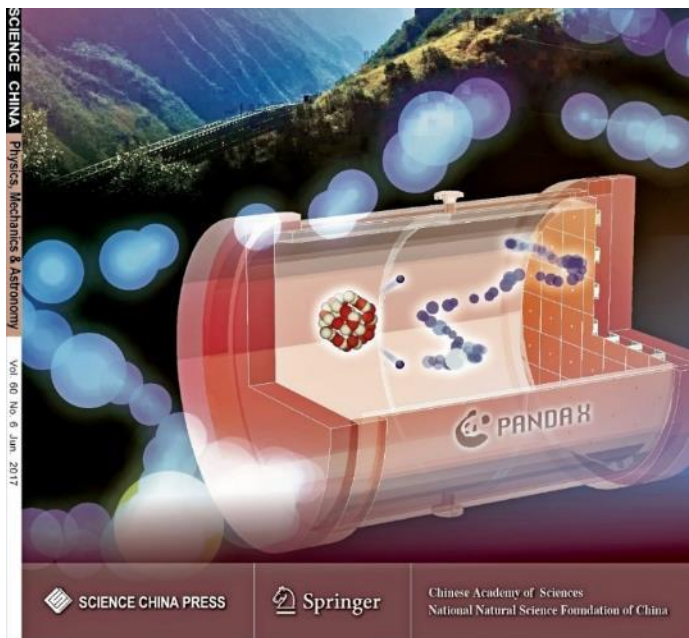


# PandaX-III 双贝塔衰变进展

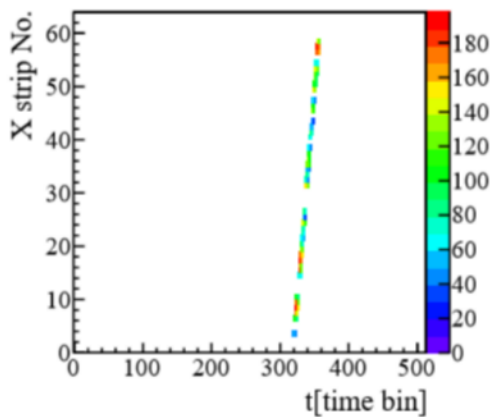
20公斤级小模型探测器整个读出平面 ~  
2000道全面取数，系列技术文章准备中

CDR发表在《中国科学》

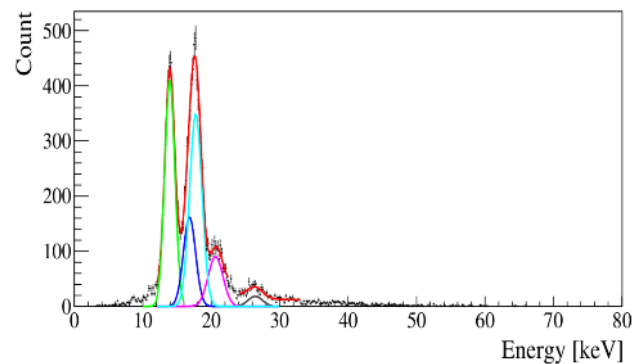
arXiv:1610.08883



XZ plane



Energy spectrum detected of  $^{241}\text{Am}$  after selection



下午韩柯报告

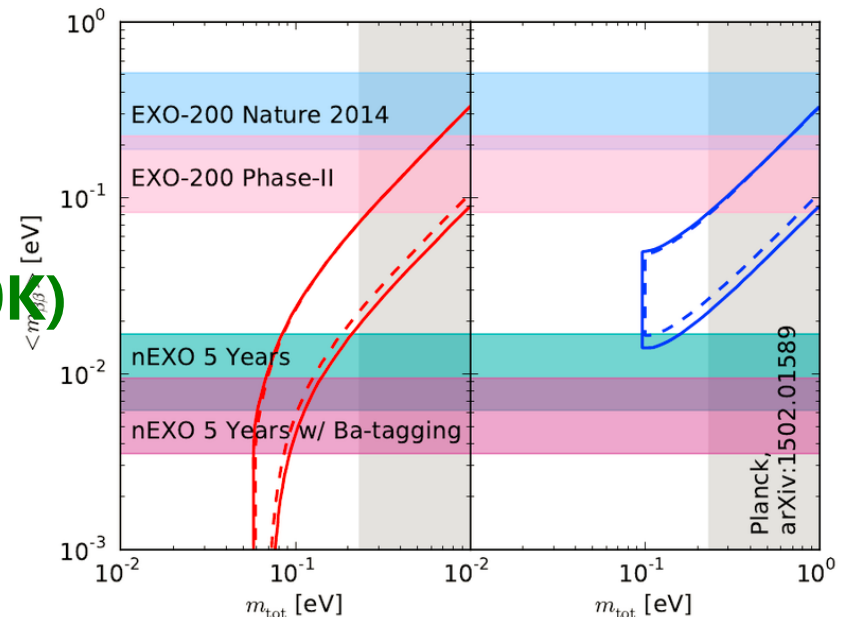
# 国际合作 EXO-200/nEXO

## ◆ EXO-200数据分析

- PRD96 (2017) 092001: 寻找 $^{134}\text{Xe}$ 双贝塔衰变,  $T_{1/2}^{2\nu\beta\beta} > 8.7 \times 10^{20} \text{ yr}$ ,  $T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} > 1.1 \times 10^{23} \text{ yr}$  (90% C.L.)
- NIM A871 (2017) 169-179: EXO-200材料放射性测量总结
- PRC95 (2017) 025502: 测量电子漂移速度和扩散系数
- arXiv:1710.07670: 寻找 $^{136}\text{Xe}$ 的核子衰变过程,  $T_{1/2}(^{136}\text{Xe} \rightarrow ^{133}\text{Sb}) > 2.4 \times 10^{23} \text{ yr}$ ,  $T_{1/2}(^{136}\text{Xe} \rightarrow ^{133}\text{Te} + ) > 1.1 \times 10^{23} \text{ yr}$

## ◆ 继续nEXO探测器预研究

- 电荷读出探测器
- 低温ASIC电子学(200e-@160K)
- ICP-MS极低本底测量
- 探测器模拟、设计优化
- 光探测器预研究

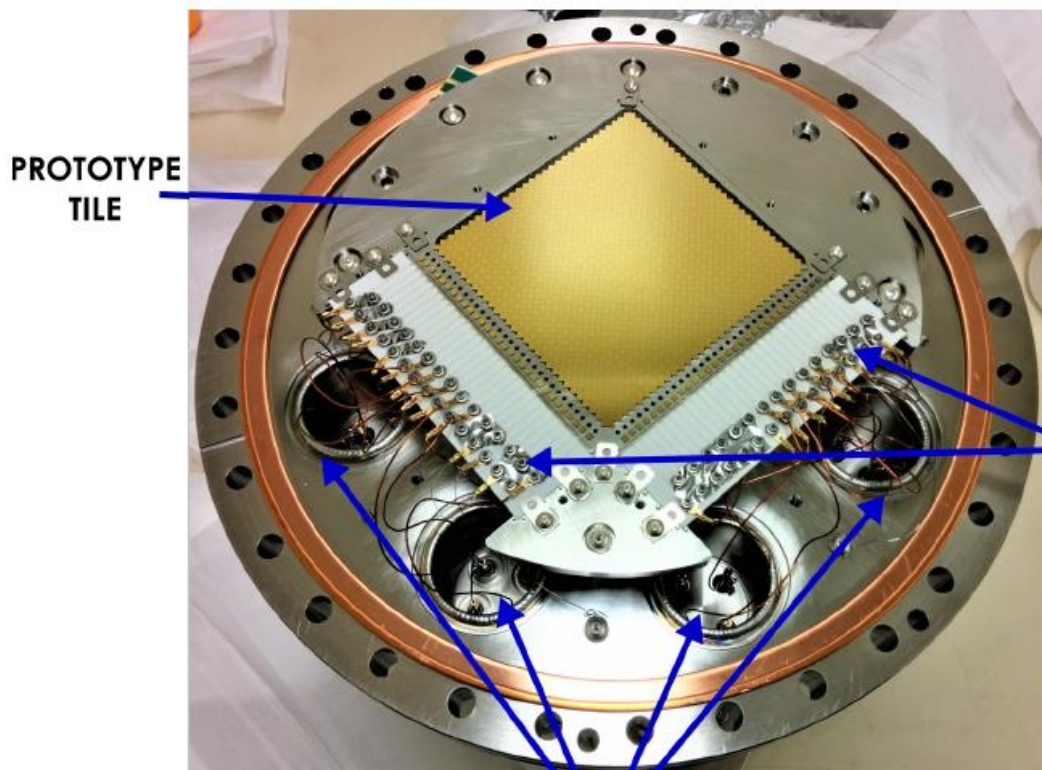


# 新型电荷读出探测器研制

## ◆ 石英晶圆上制作二维读出阵列，集成ASIC

⇒ 在斯坦福大学成功测试，数据与模拟很好符合，[ariXiv:1710.05109](https://arxiv.org/abs/1710.05109)

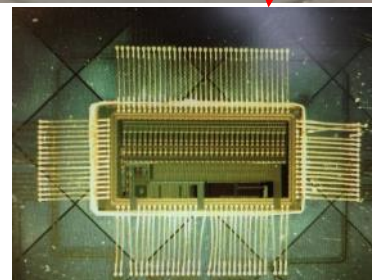
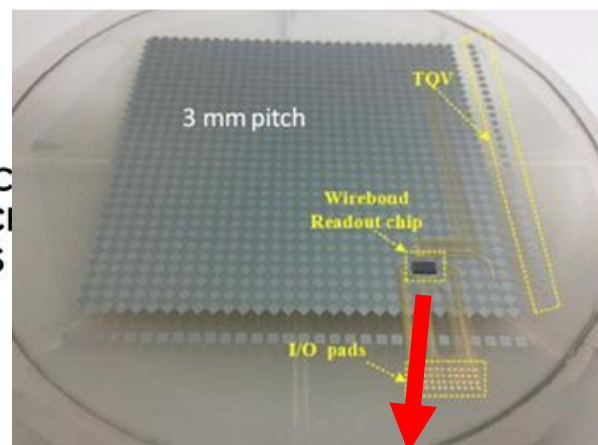
- 实现石英通孔(TQV)工艺，石英晶圆的双面工艺和双层布线技术
- 将用于合作组内测试电荷读出芯片 ( IHEP/SLAC/BNL )



PROTOTYPE  
TILE

CERAMIC  
INTERFACI  
BOARDS

FEEDTHROUGHS





# ICP-MS低本底测量



## ◆ 灵敏度达到0.45 ppt Th/U (Cu样品)

⇒ 目标灵敏度U/Th < 0.1 ppt

⇒ 确定共沉淀方法进行Cu样品前处理。实验表明，共沉淀处理后的溶液，Cu含量极低，<sup>238</sup>U回收率高于70%（<sup>232</sup>Th的回收率由于示踪剂未到货，暂时无法测量）

⇒ 确定采用内标校正，标准加入法定量，并扣除空白来确定Th/U含量

## ◆ 为低本底实验服务

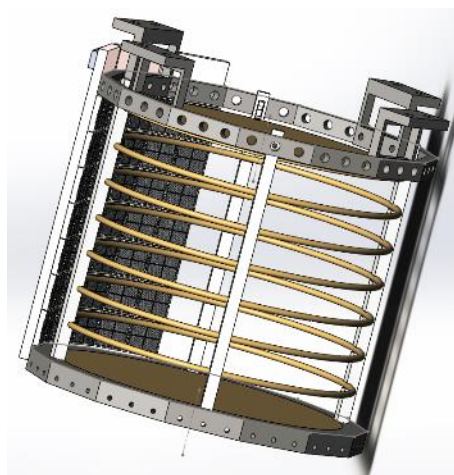
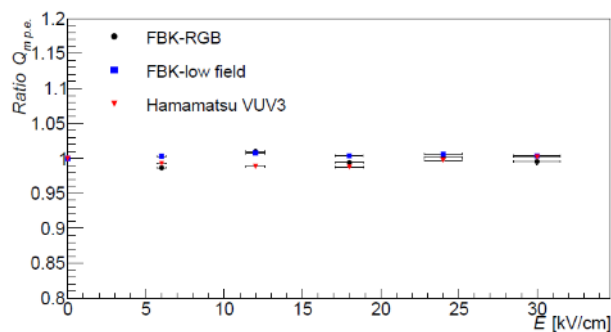
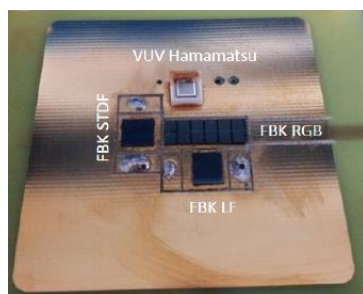
⇒ JUNO：PMT玻璃、有机玻璃、弹簧钢等

⇒ nEXO：Aurubis无氧铜

# 光探测器相关预研

## ◆ 完成SiPM在强电场下的性能研究

- ⇒ 形成合作组文章，高能所人员为Principle Authors，拟投JINST
- ⇒ 对4种SiPM器件的测量结果显示增益、效率、暗噪声、关联噪声等参数在0-30kV/cm范围内很稳定。对nEXO和其他在低温下使用SiPM的TPC探测器有重要参考价值



## ◆ 完成20 kg液氙TPC的设计，建造中

- ⇒ 系统地研究SiPM在液氙中的性能
- ⇒ 电荷读出晶圆与ASIC集成模块的联合测试
- ⇒ 验证液氙TPC中能量分辨率能达到1%的指标

## ◆ 设计建造新型3D反射率测量装置

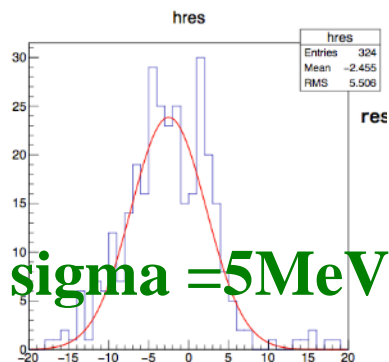
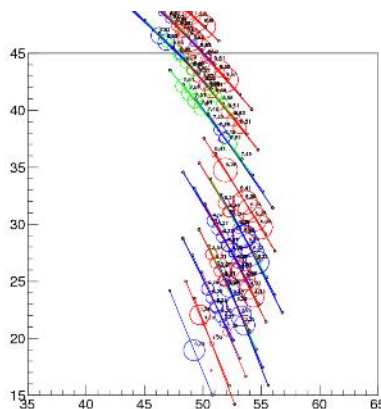
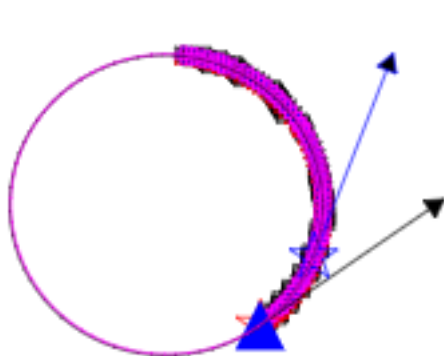


# COMET : 物理与软件

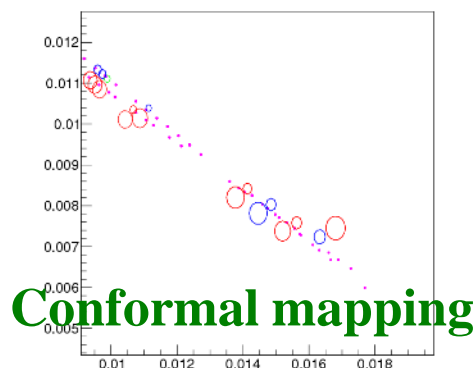
- ◆ **COherent Muon to Electron Transition at J-PARC**
  - ⇒ **标准模型O(-54) (考虑中微子振荡), 超对称O(-15)**
- ◆ **李海波, 张瑶, 袁野(物理分析协调人), 张杰, 江晓山**
- ◆ **参与COMET实验一期TDR的撰写, 2018年中完成可发表版本, 李海波担任TDR编委**
- ◆ **完成束流相关本底、宇宙线本底的MC模拟**
- ◆ **框架软件的开发和研究**
  - ⇒ **独立的寻迹和拟合软件移植到框架下**
  - ⇒ **框架的更新和性能研究**
- ◆ **进行漂移室重建算法的开发和研究**
  - ⇒ **径迹寻找算法、多圈径迹拟合算法**
- ◆ **实现COMET实验数据产生在超算上的应用**
  - ⇒ **批量模拟数据的产生**

# 径迹寻找算法

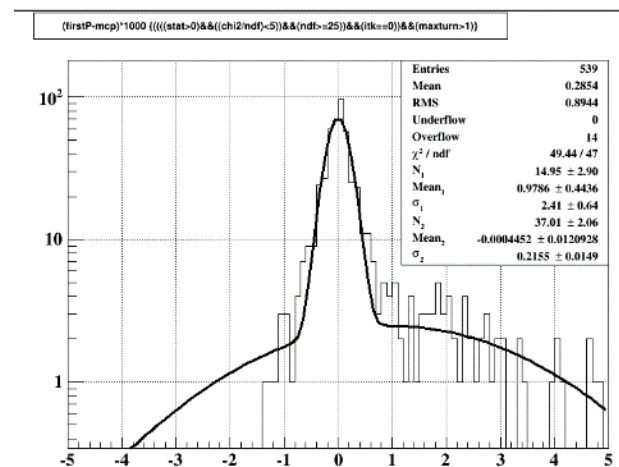
- ◆ 调试了框架下基于Hough变换的径迹寻找算法，符合预期
- ◆ 开发了一种利用边缘击中挑选击中的方法，确定三维参数
- ◆ 基于genfit2和多圈击中加权平均算法，用于区分多圈击中
- ◆ 经过径迹质量cut的单圈径迹效率与TDR一致



$\sigma = 5\text{MeV}$



Conformal mapping



Stand alone MTFitter for multiple turn

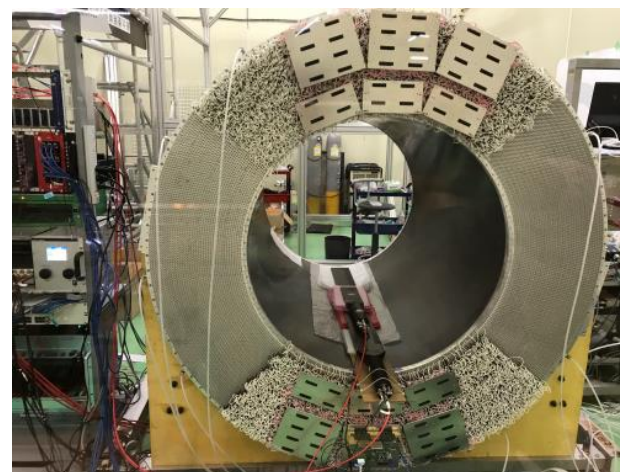
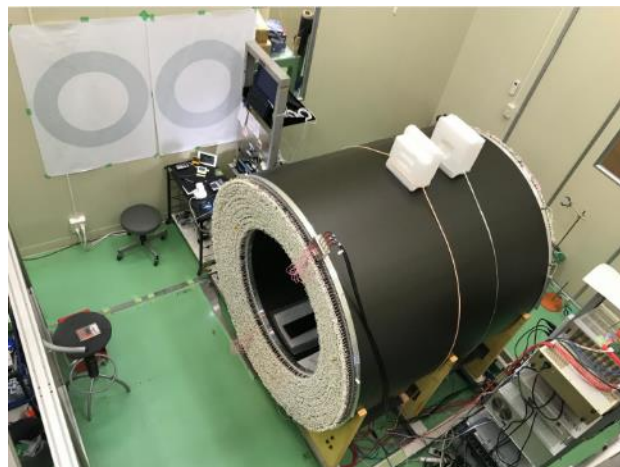
# COMET模拟在超算上的应用

- ◆ 由于COMET实验1秒钟有 $1e6$ 个束团，而一个束团包含 $1e9$ 个质子，模拟一个束团需要CPU近9000小时，所以运算能力成为物理分析的关键
- ◆ 天河II是世界上运算速度最快的超级计算机之一
- ◆ 克服了无万维网连接、跨操作系统、作业系统等因素，成功实现了COMET实验软件在天河II的跨节点、多线程的应用
  - ⇒ ICEDUST软件成功安装至天河II系统
  - ⇒ 实现了一个节点同时进行24个伪多线程模拟作业
  - ⇒ 理想情况下，可以同时模拟12000个作业
  - ⇒ 运算速度达到每个事例2.5秒
- ◆ 超算目前已成为合作组**规模最大**和**速度最快**的运算资源
- ◆ 计划模拟至1000个束团用于评估探测器环境和辐射情况



# COMET实验硬件与电子学

- ◆ 继续进行漂移室宇宙线实验，逐步增加测试区域。初步分析表明探测器效率约为95%，空间分辨率约为 $170\mu\text{m}$ ，符合COMET一期对探测器性能的需求。
- ◆ 参与电源芯片的抗辐照测试（ $\gamma$ 光和中子），筛选抗辐照能力大于 $2000\text{Gy}$ 的DC/DC和LDO电源芯片，为二期的电子学设计提供指导。
- ◆ 对COMET二期稻草管读出电子学进行预研，完成基于uTCA机箱的测试母版的开发。



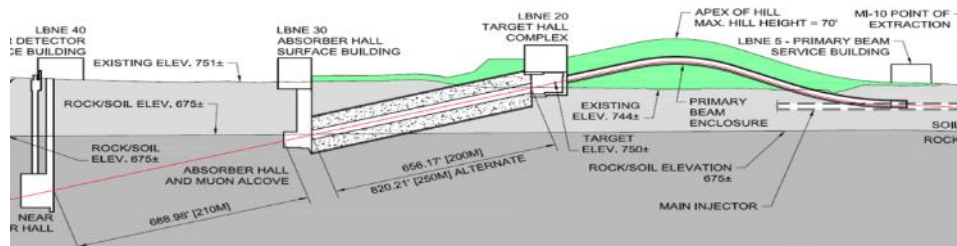
Top View



Bottom View

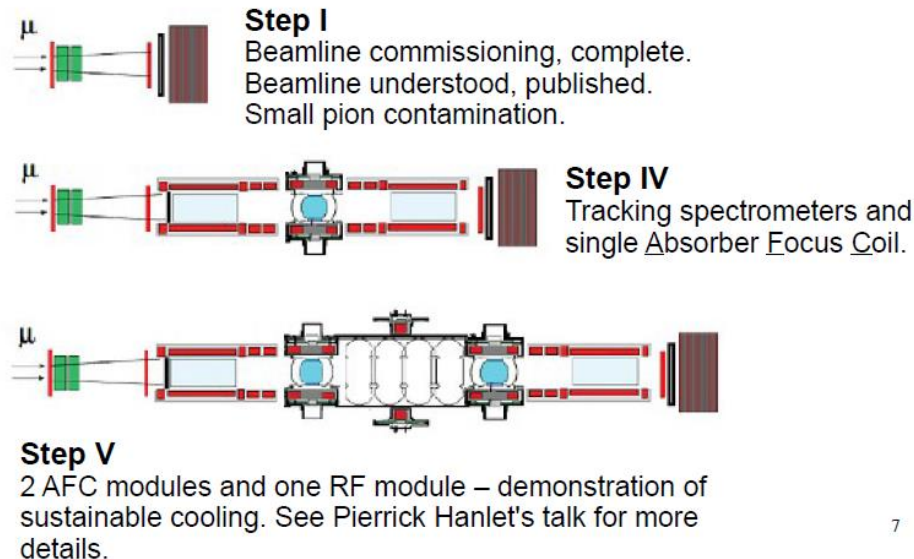
# 高能所参与LBNF合作

- ◆ **LBNF(Long Baseline Neutrino Facility)+DUNE**是美国高能物理界支持的**唯一大型项目**（前者是装置，后者是探测器）
  - ⇒ 2014年起开展同LBNF的合作，作为对国际性项目的贡献，同时也培养加速器中微子束方面的人才和掌握相关技术和经验。
- ◆ **高能所的参与主要在LBNF中微子束线设计、关键技术预研、部分设备研制方面，2017年的主要进展如下：**
  - ⇒ **参与LBNF衰变通道的机械设计**
  - ⇒ **研制了特殊校正磁铁样机，准备启动23台批量研制**
  - ⇒ **强子监测器的设计，正在开展关键技术的研究**
  - ⇒ **衰变通道上游束窗的机械设计和关键技术研究，准备样机研制**
  - ⇒ **正在协商高能所参与抗辐射材料的国际合作研究（RaDIATE）**
  - ⇒ **成功申请到科技部重点研发计划-中美政府间合作项目**



# MICE Experiment

- ◆ **Goal: demonstrate ionization cooling method, a key technique for future Neutrino Factory and Muon Collider**
  - ◆ **Since 10 years ago, MICE collaboration working at RAL, multiple steps**
  - ◆ **Step IV almost accomplished; good data taking to prove the cooling principle without reacceleration**
  - ◆ **Early project termination in end 2017** due to the US fading out, consequence of the P5 Statements
  - ◆ **IHEP participation: since 2015.3, mainly manpower: 2 staff, 1 PhD, 1 student**
- ⇒ **2017: David Adey important support to the MICE operation (tracker and DAQ), PhD student Yingpeng Song contributed heaviest shift in one-year, senior Weibin Liu now at RAL for last MICE run and data analysis**



**Enhanced Step-IV  
in progress  
(Exp: end 2017  
Analysis: 2018)**



# 卓越中心暑期学校

- ◆ 大亚湾核电长湾，2017年7月1-9日
- ◆ <http://indico.ihep.ac.cn/event/6774/other-view?view=standard>



国籍/地区	人员数量
埃及籍	1
巴基斯坦	1
德国籍	1
香港	1
印度籍	1
中国	68
总计	73

- 高能所42人
- 实验63人
- 理论10人

总支出：35万  
注册费收入：12万  
花费：23万



# 卓越中心暑期学校

## ◆ 讲师阵容强大，讨论活跃，组织学员报告，评选优秀学员

- ⇒ Morihiro Honda (日) : Cosmic ray & atmospheric neutrino flux
- ⇒ Kevin McFarland (美) : Neutrino interactions
- ⇒ Alessandro Mirizzi (意) : Supernova burst
- ⇒ Tsuyoshi Nakaya (日) : Accelerator neutrino
- ⇒ Yongzhong Qian (美) : Solar neutrino and Supernova neutrino
- ⇒ Petr Vogel (美) : Reactor neutrino, 0nbb, relic neutrino
- ⇒ Roger Wendell (日) : Atmospheric neutrino
- ⇒ Zhizhong Xing (中) : Neutrino phenomenology
- ⇒ Jun Cao (中) : Reactor neutrino experiments



**谢谢！**