

# PandaX-III: 锦屏地下实验室的 无中微子双贝塔衰变实验

韩柯

上海交通大学

全国粒子物理学术会议

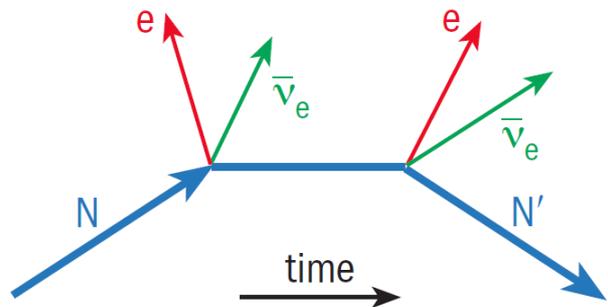
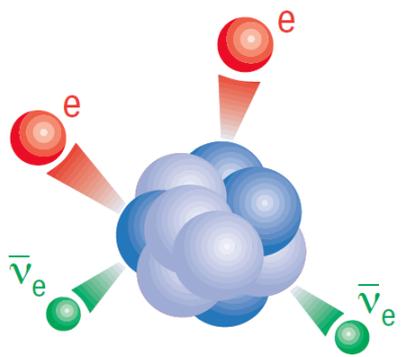
合肥, 2016年8月

# 无中微子双贝塔衰变实验

- 直接验证中微子是否是其本身反粒子(Majorana费米子)
- 直接验证轻子数是否守恒
- 探索中微子的质量起源
- 解释宇宙起源的物质-反物质不对称性

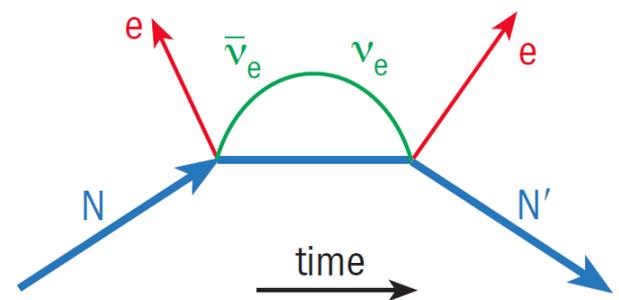
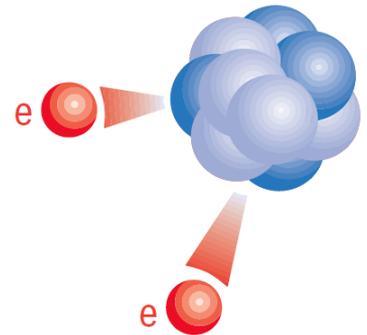
$$\bar{\nu} = \nu$$

双中微子  
双贝塔衰变



From Physics World

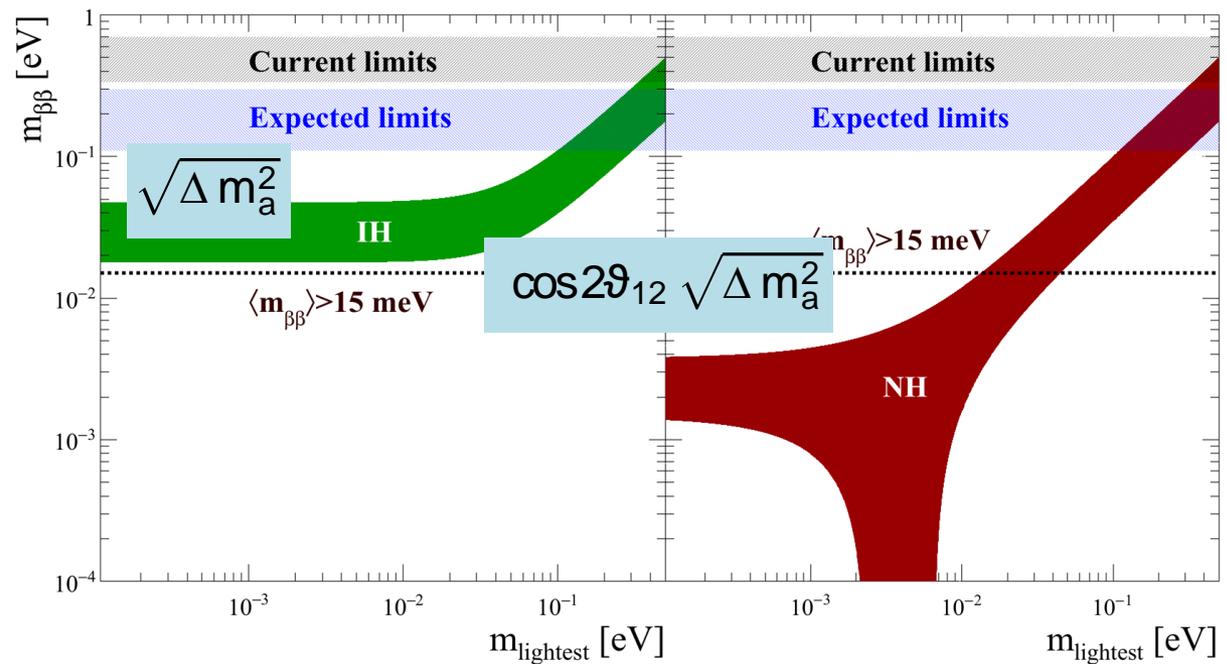
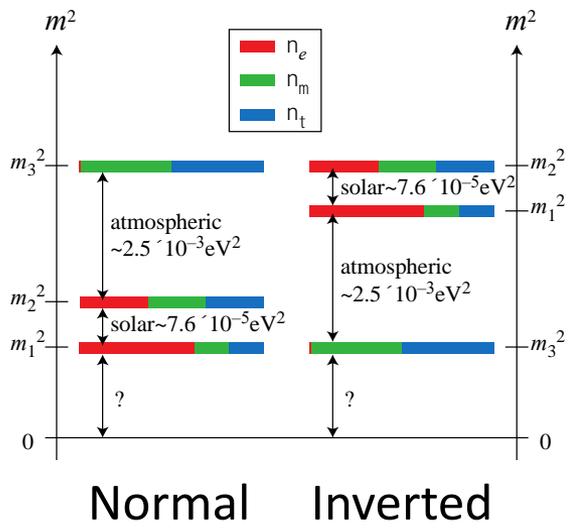
无中微子  
双贝塔衰变



# 无中微子双贝塔衰变实验是中微子物理的重要部分

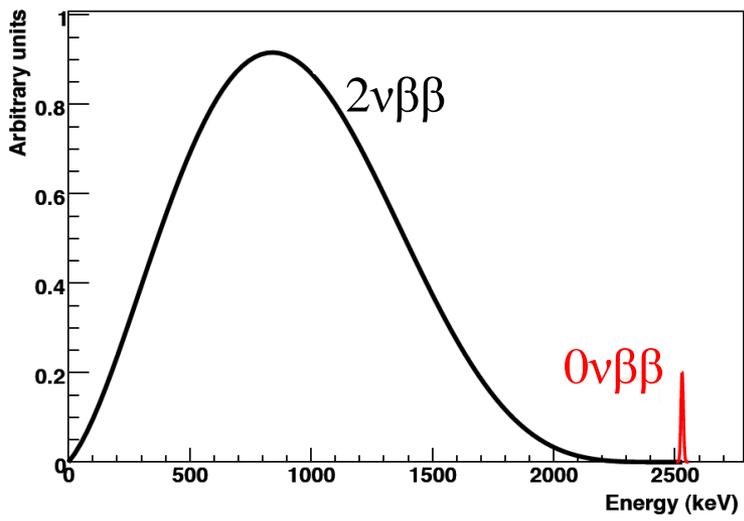
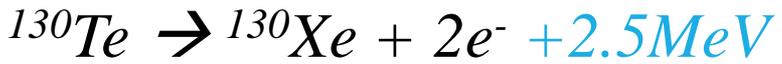
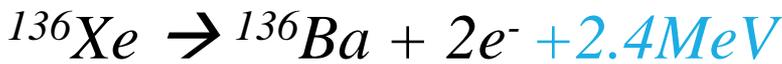
- 通过衰变速率测量中微子的有效Majorana质量
- 中微子振荡参数，特别是 $\Delta m_a^2$ 对Majorana质量有重要影响
- 促进我们对中微子质量序的理解

$$|\langle m_{\beta\beta} \rangle| = \left| \sum_{i=1}^3 U_{ei}^2 m_i \right|$$

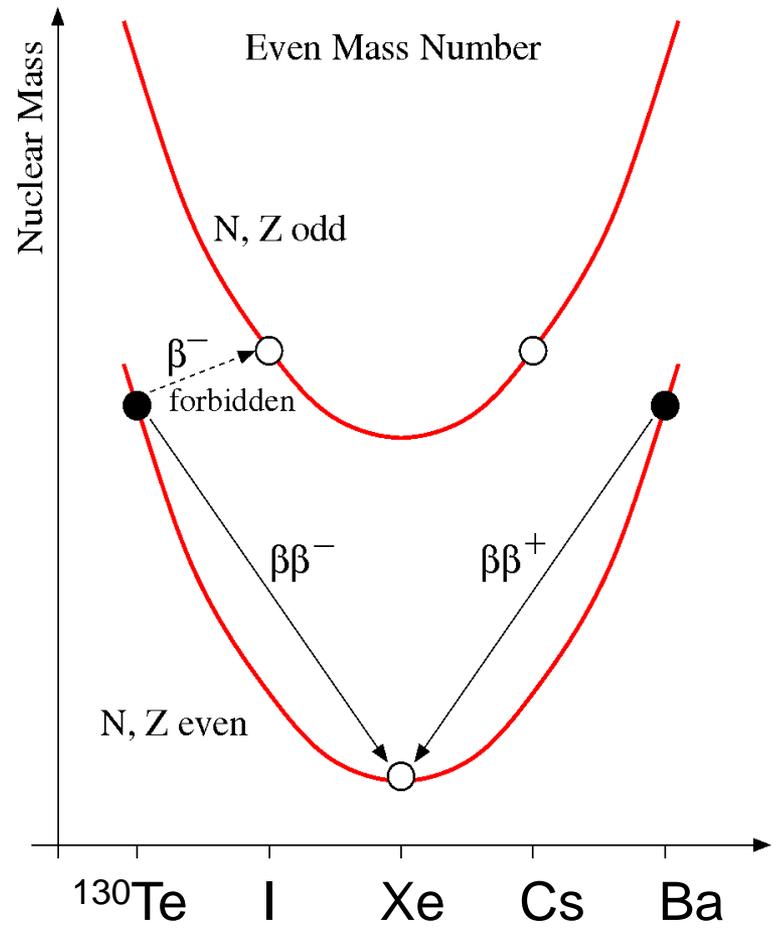


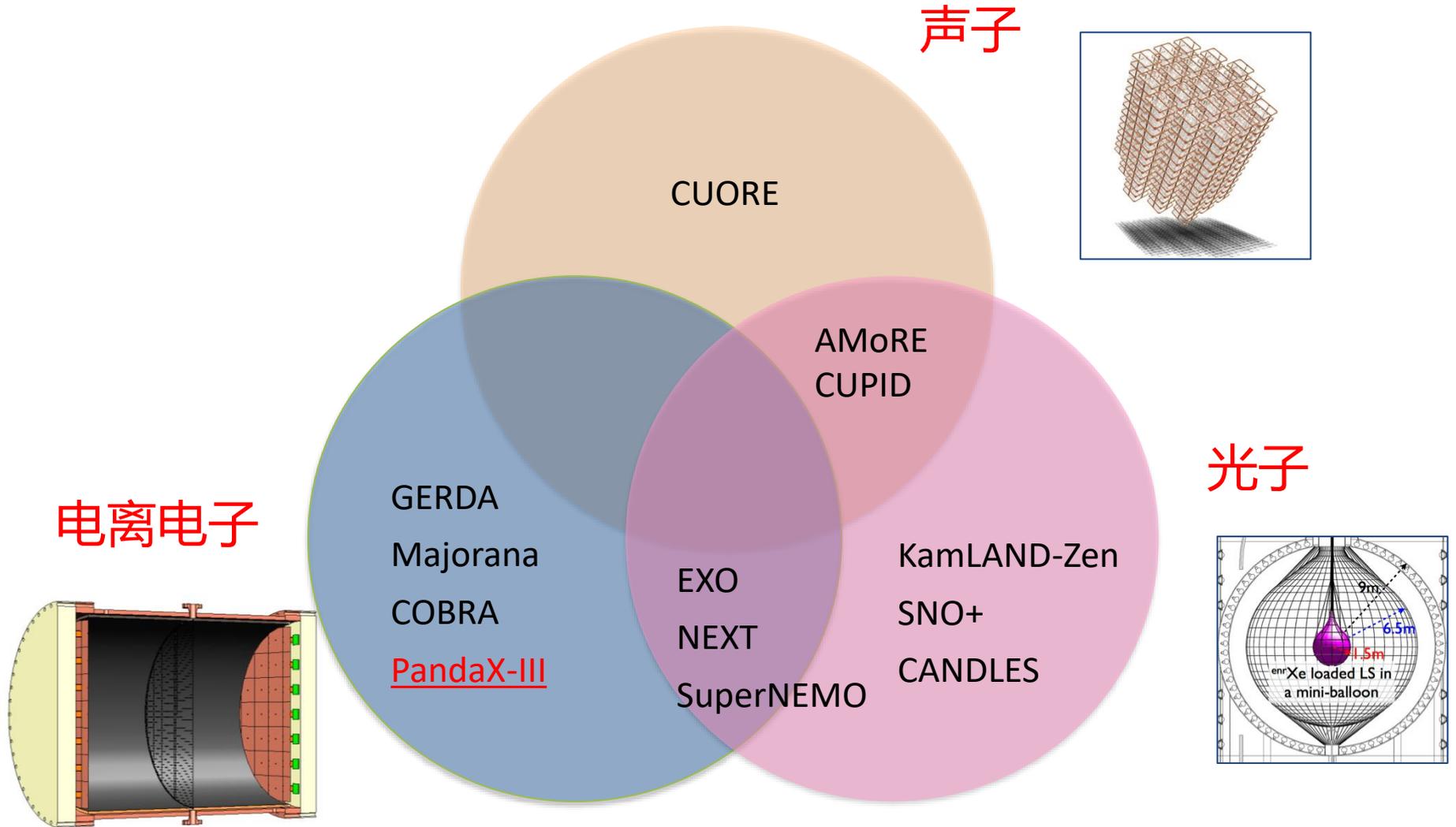
# 实验观测无中微子双贝塔衰变

例子：



测量的两个电子的能量之和





**PandaX = Particle and astrophysical Xenon experiments**

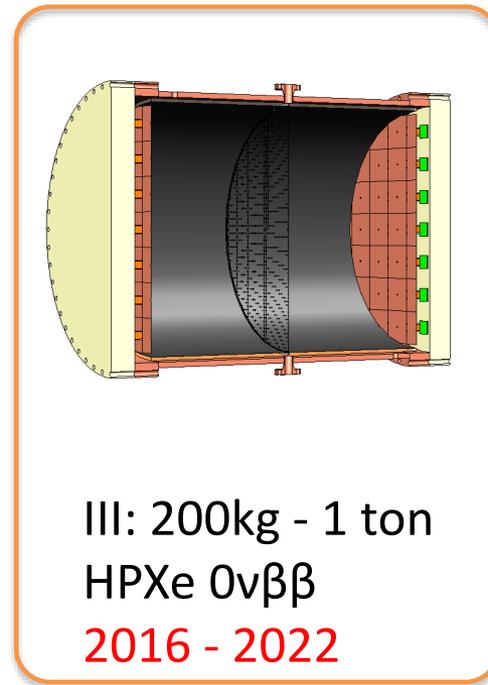
PandaX-III: 利用气体时间投影室(Time Projection Chamber, TPC)来寻找 $^{136}\text{Xe}$ 的无中微子双贝塔衰变



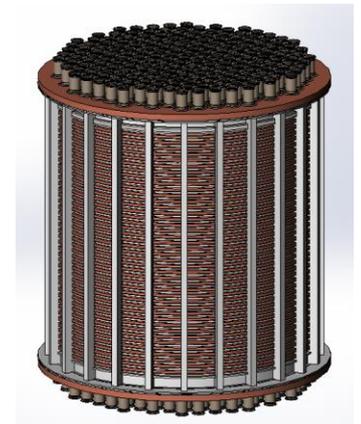
I: 120kg LXe DM  
2009 - 2014



II: 500kg LXe DM  
2014 - 2017



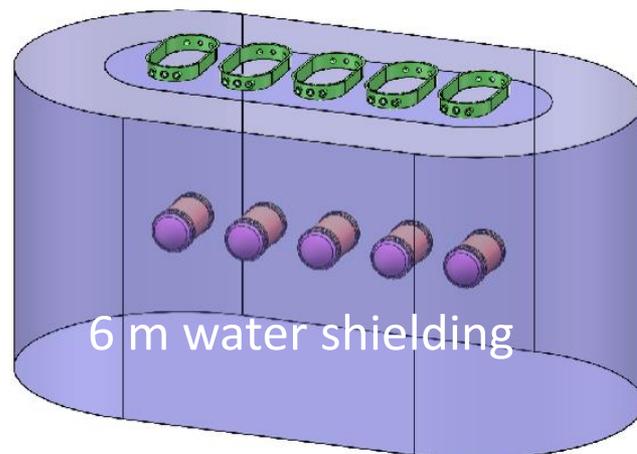
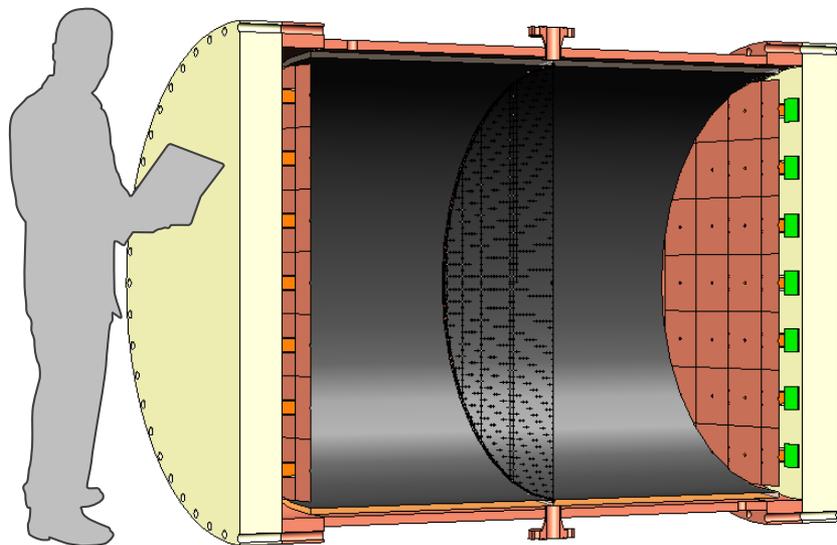
III: 200kg - 1 ton  
HPXe  $0\nu\beta\beta$   
2016 - 2022



IV: Multi-ton  
LXe DM  
2017 -

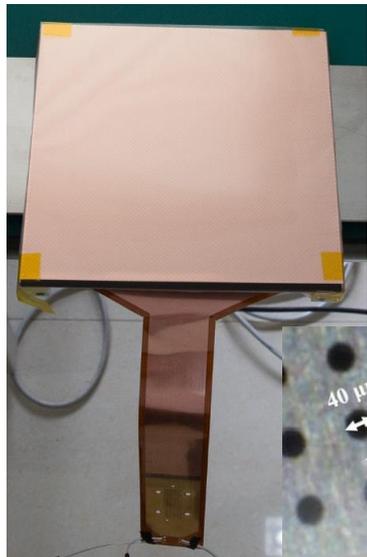
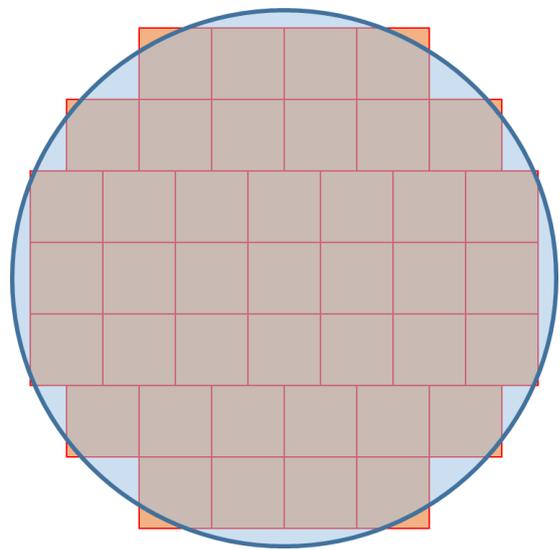
# PandaX-III: 国内首个大型无中微子双贝塔衰变实验

- 200公斤级高压气体探测器
  - 2m长，1.5m直径，在10个大气压下可容纳200公斤氙气
  - 对称设计：10万伏负高压在中间，端盖两侧为MicroMegas电荷读出平面
  - 2017年建成，国际上最大的低本底气体成像仪
  - 在锦屏二期B4厅，大型的高纯水屏蔽系统，保证各个方向上的6m水屏蔽
- 多个模块，共同组成一个大型吨级实验

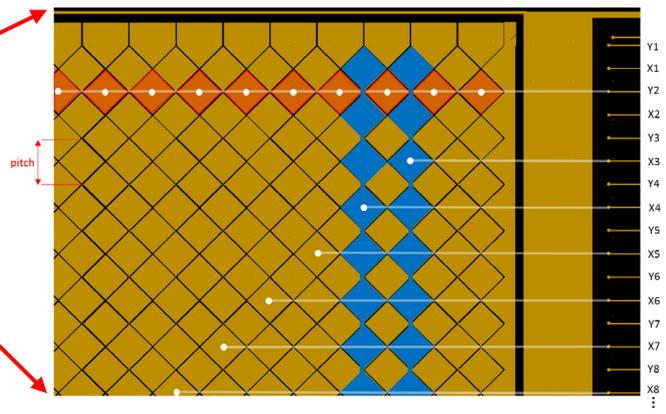
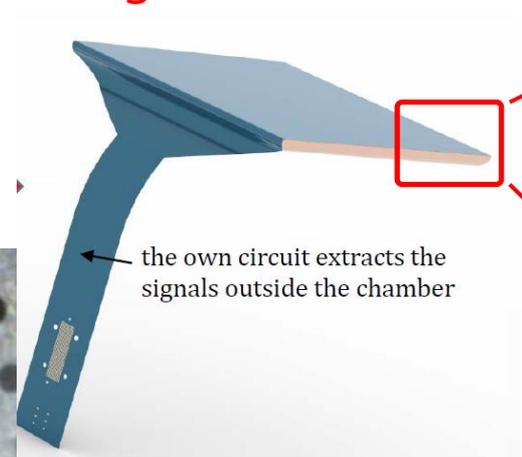


# MicroMegas电荷读出平面

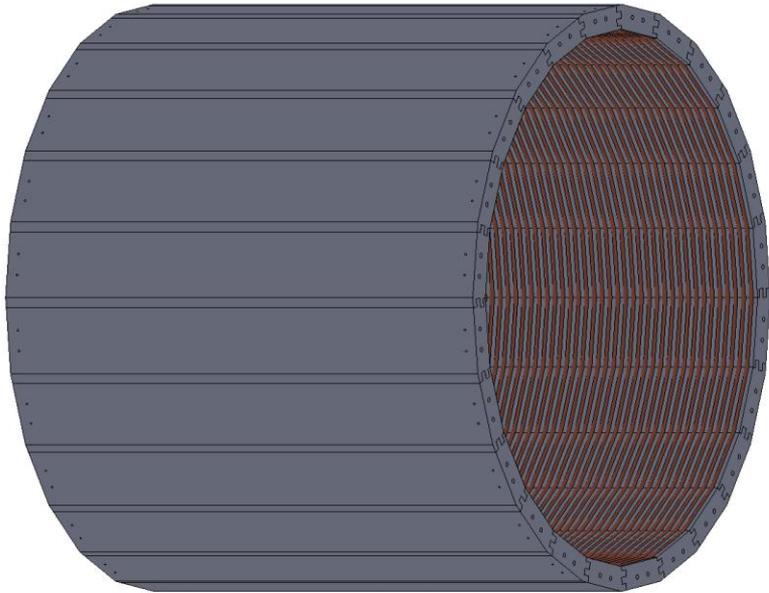
- 读出平面由~40个MicroMegas模块拼成
- 模块CERN生产，20cm 边长，铜+Kapton作成，极好的放射性本底控制
- XY条读出，128通道，3mm像素大小
- 100 ~ 1000的电荷放大率，3%的能量分辨率
- 第一版模块在交大和西班牙测试中



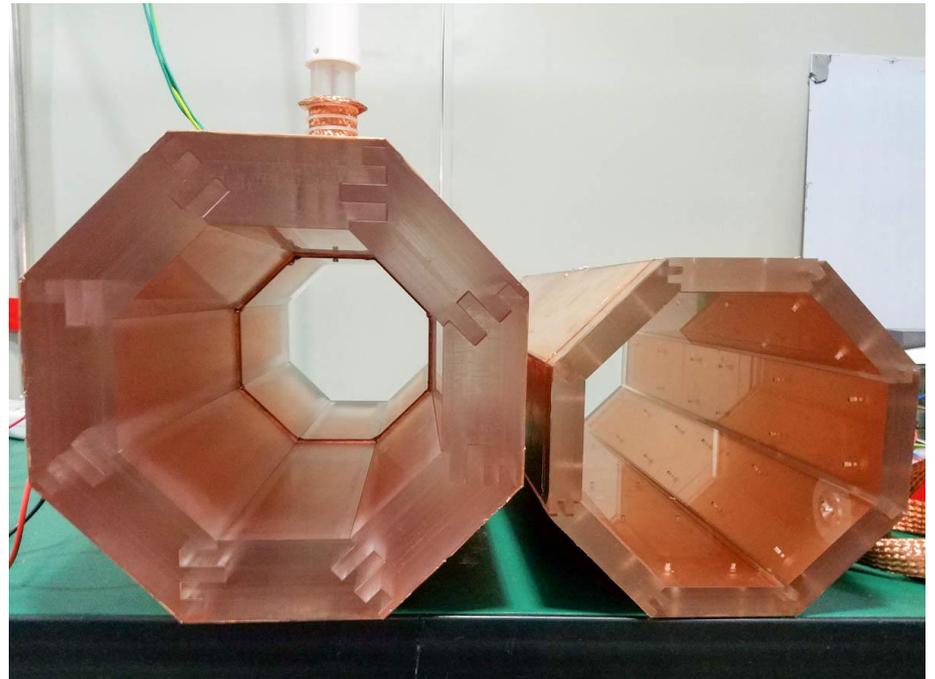
## MicroMegas气体微网结构探测器



- 铜整场圈+外围特氟龙（有机玻璃）
  - 成熟技术
  - 特氟龙作为绝缘介质，同时还可以把 $^{136}\text{Xe}$ 排除在探测器死区外
- 有机玻璃上镀电阻性膜（比方说Diamond Like Carbon）
  - 简化安装难度
  - 上海交大 + 泰国苏拉那里技术大学共同研发

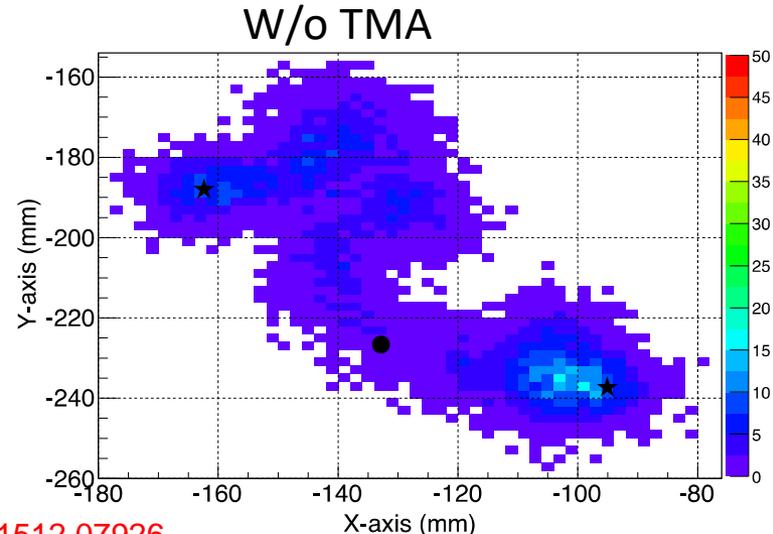
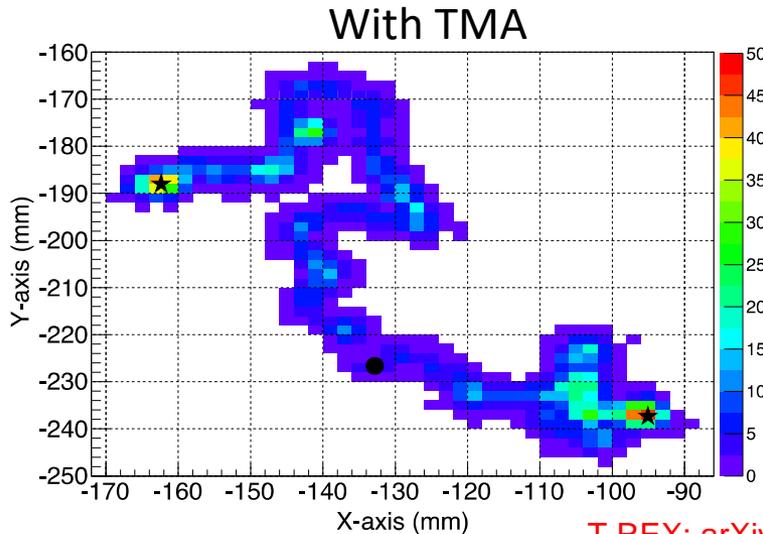
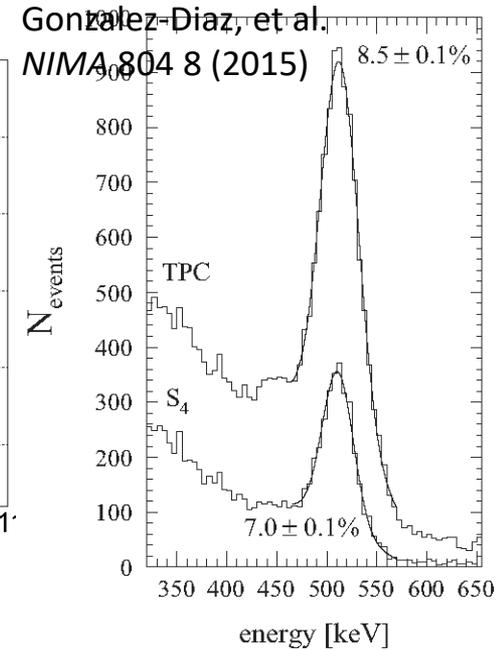
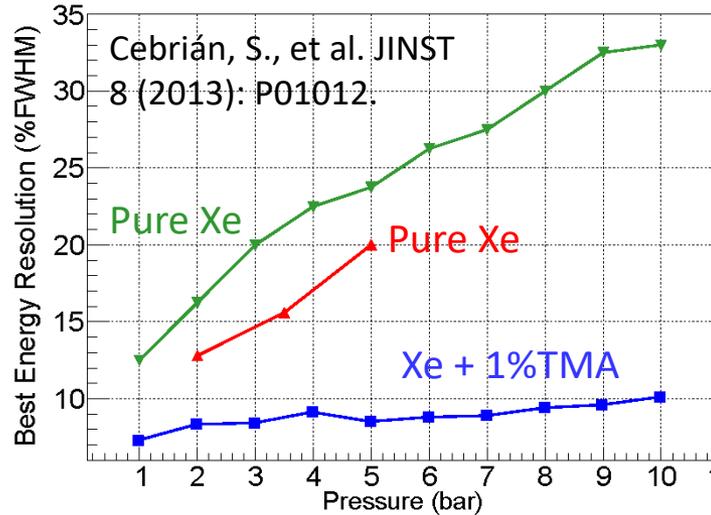


原型设计



# Xe + TMA混合气体

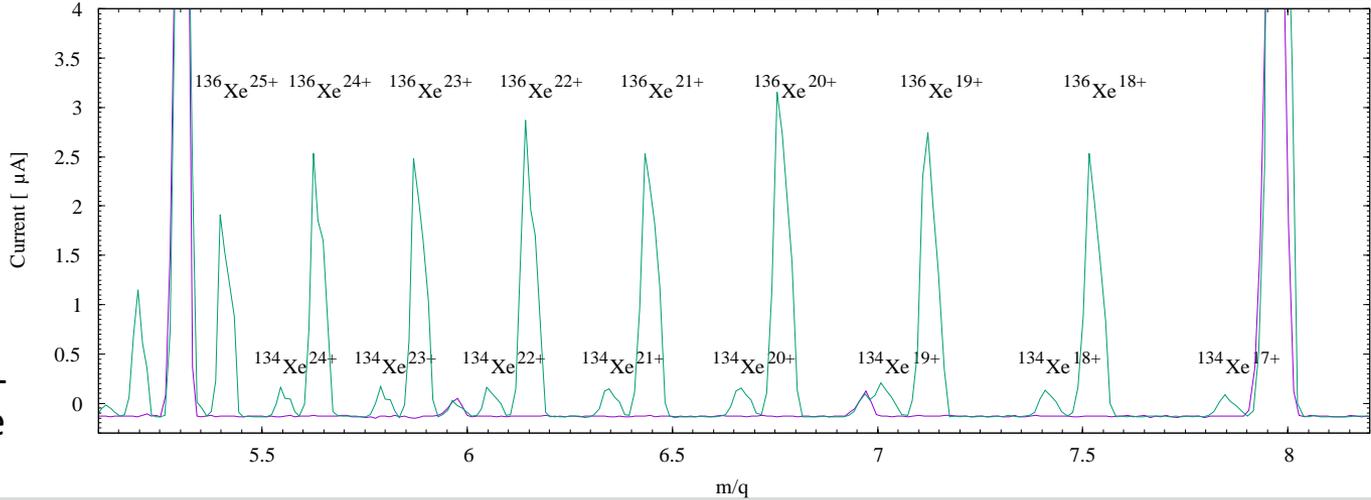
- 更好的能量分辨率
  - 从511keV和1.2MeV的电子信号外推：3% FWHM (@ $Q_{0\nu\beta\beta}$ )
- 更好的轨迹
  - TMA抑制电子扩散
- 更平稳的运行
  - TMA作为抑制剂



T-REX: arXiv:1512.07926

# $^{136}\text{Xe}$ 提纯气体

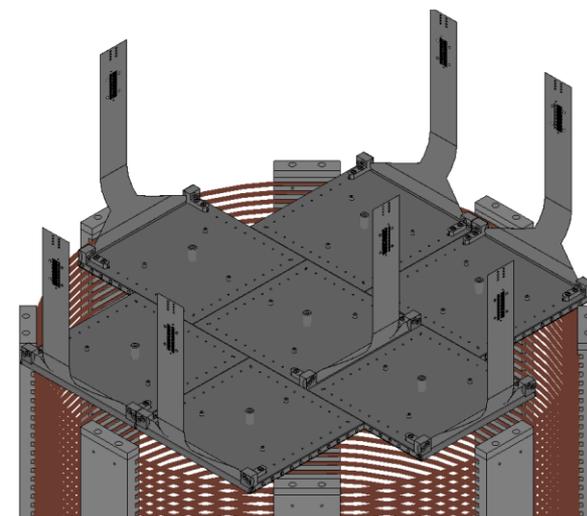
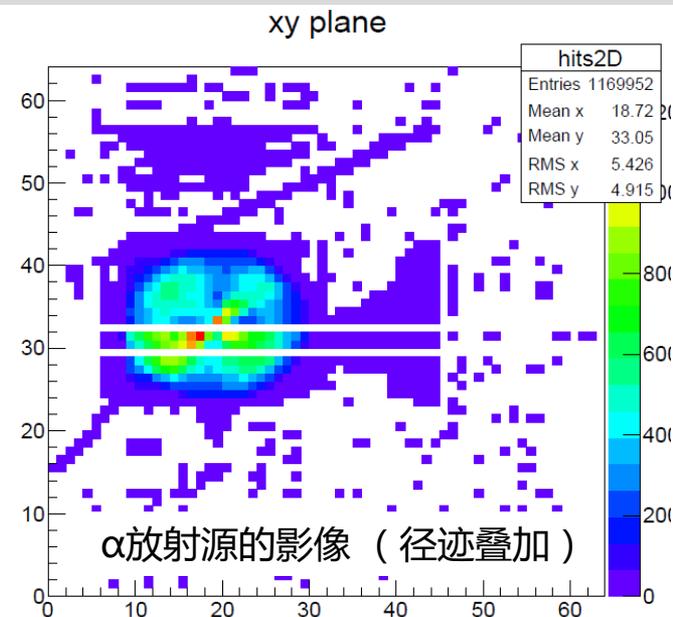
- 已经购买145 公斤的90% 提纯 $^{136}\text{Xe}$
- 气体成分由伯克利国家实验室利用离子束分析法确定，交大再次确认所有气瓶的氙-136含量达到了90% 以上
- 近期购入剩余55公斤



Results from LBNL ion source

# 交大原型探测器

- 10个大气压下可以容纳16公斤氙气（TPC内有效质量）
- 用于研究Micromegas模块的能量，空间分辨率
- 用于研究径迹重建算法
- 详见李兴隆报告（周三分会5, 14:00）



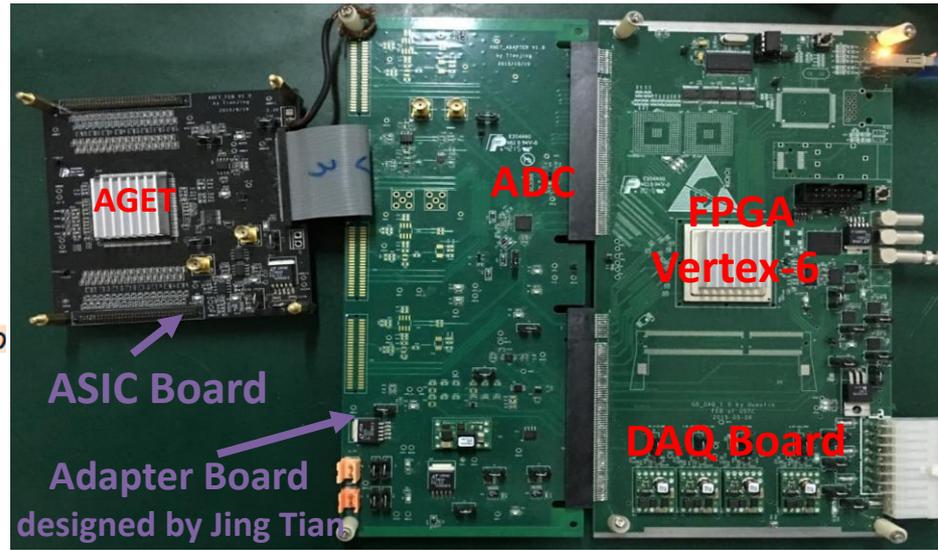
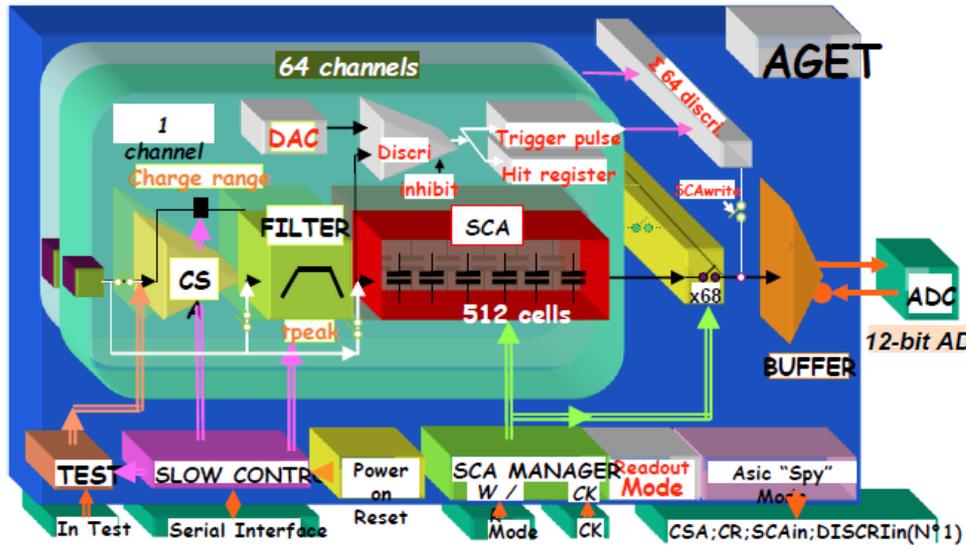
7块MicroMegas

- 电子学利用AGET芯片: 法国CEA-Saclay开发的TPC通用型芯片
  - 350 nm CMOS, 成熟技术
  - 64 通道
  - 12 bit ADC
  - 动态范围可达 10 pC
  - 取数率为: 1 MHz 到 100 MHz

确保能量分辨率

科大, 上海交大, 西班牙在共同测试AGET芯片系统 (包括商业版ASAD)。

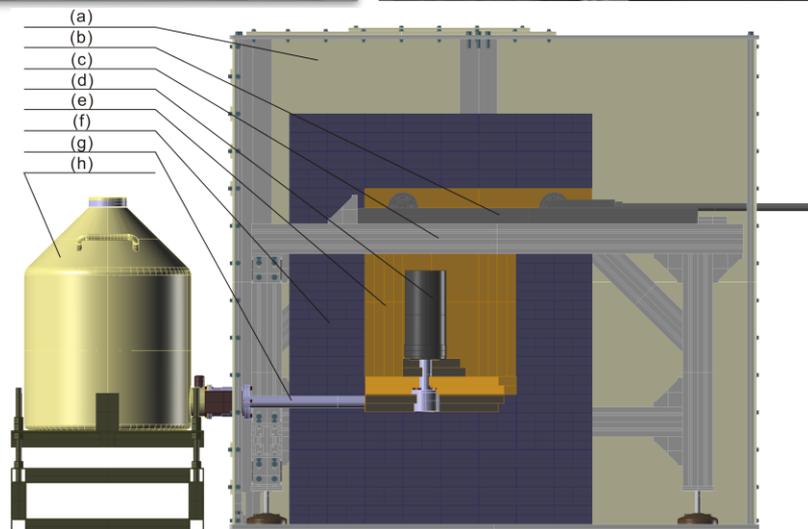
详见董家宁报告 (周三分会5, 14:20)



- 北大的感应耦合等离子体质谱仪 ICP-MS 开始运行
  - Agilent 7900 ICP-MS
  - 10级洁净室; ICP-MS 的样品间附件达到了1级
  - 精确测量材料中的U、Th等
- 交大在锦屏和上海各运行一台高纯锗探测器，对材料进行筛选。
- 地下实验空间
  - 防氡处理
  - 水屏蔽系统

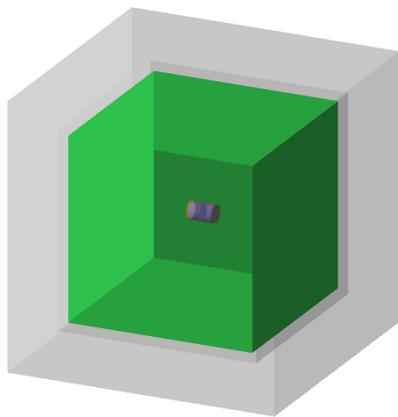


详见付长波报告 (周三分会5, 15:00)  
袁影报告 (周三分会5, 16:50)

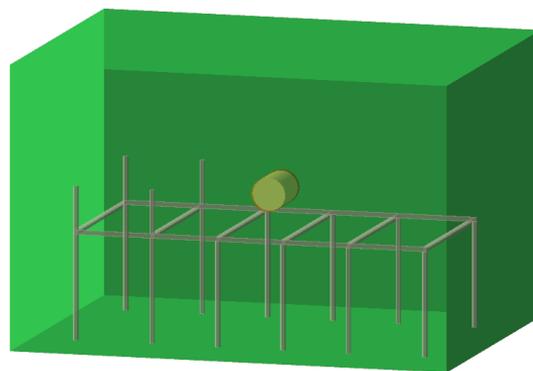


- 计算实验室环境和探测器各个部件的本底
  - 水系统
  - 探测器支架
  - 高压铜罐
  - TPC部件
- 计算无中微子双贝塔衰变的信号提取效率
  - ~40% (*TRex study*: J. Phys. G40 (2013) 125203 )
- 对探测器物理特性模拟，径迹重建算法的效率研究

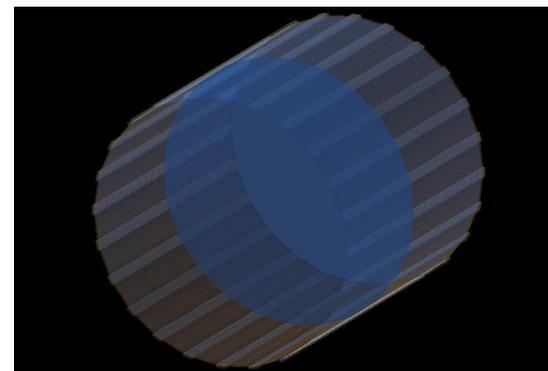
详见谏勋报告（下一个）



水系统

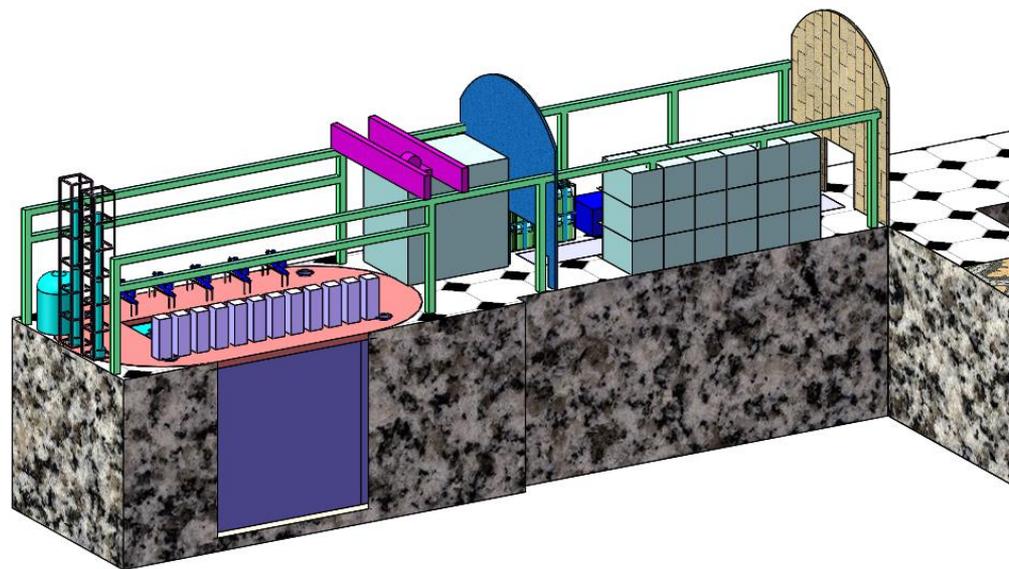


探测器支架



TPC部件

- 超纯水基坑土方工程完毕
- 混凝土涂层完工
- 将镀HDPE防水涂层



2016/1/8 : 基坑刚刚开挖



2016/3/28 : 基坑土方工程基本完成



工作人员

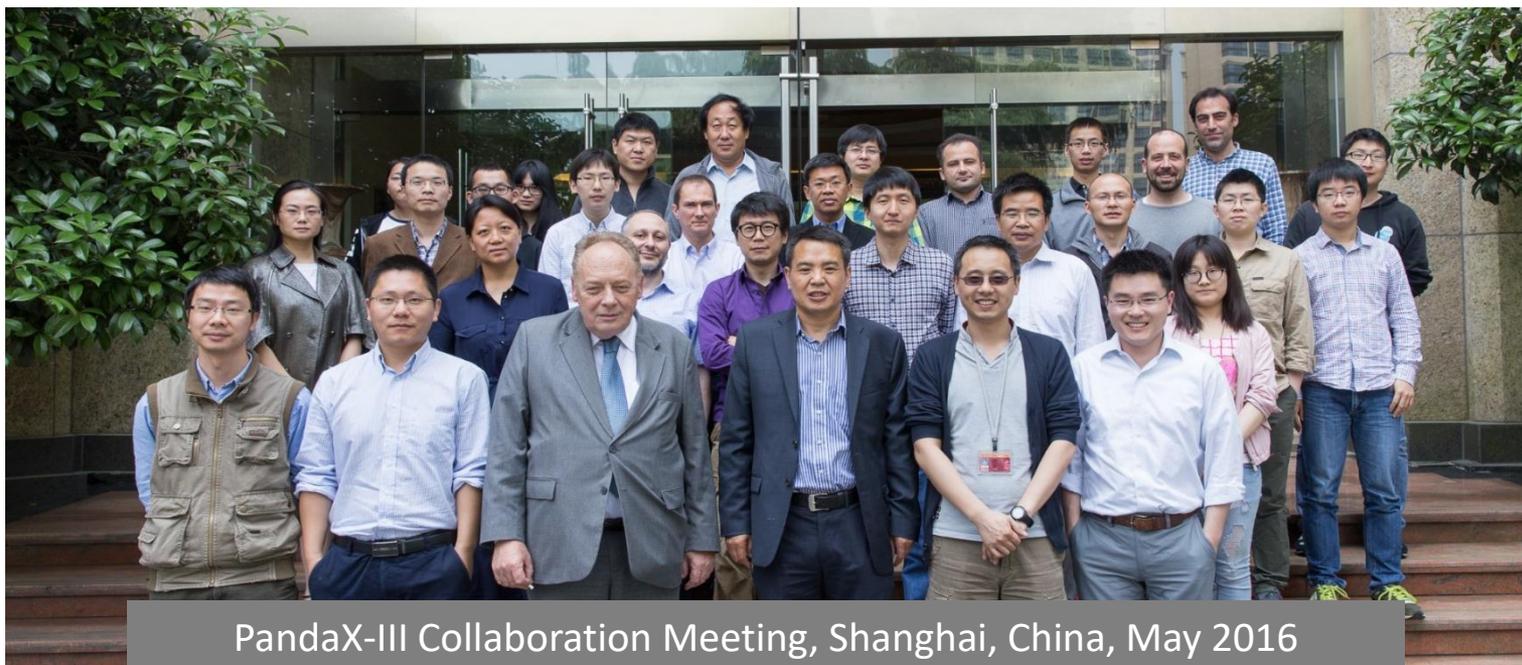


2016/4/9 : 基坑内壁混凝土涂层工程开始

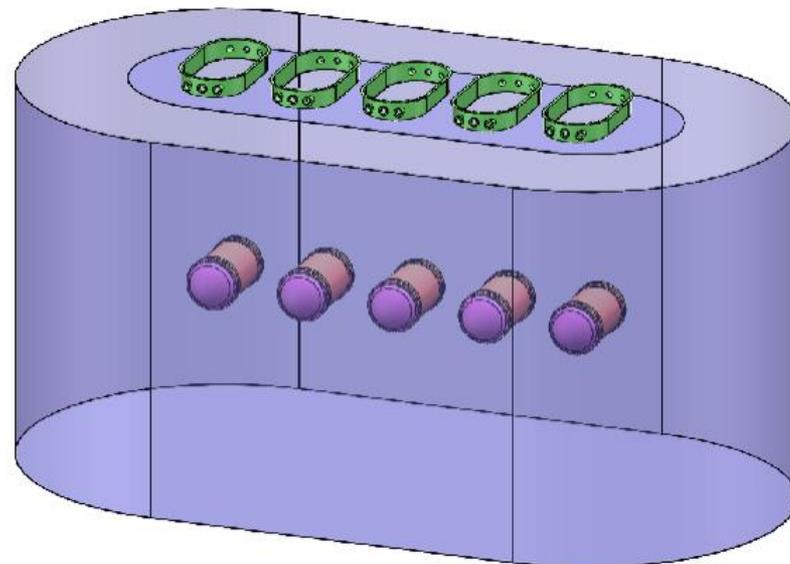
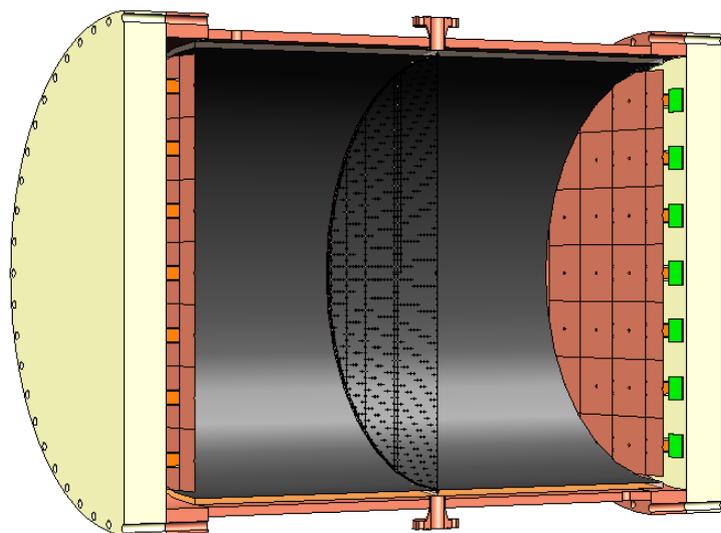


# PandaX-III 合作组

- 中国：上海交通大学，北京大学，中国科学技术大学，原子能院研究所，山东大学，中山大学，华中师范大学
- 西班牙：萨拉戈萨大学
- 法国：原子能院CEA
- 美国：马里兰大学，劳伦斯伯克利国家实验室
- 泰国：苏拉那里技术大学

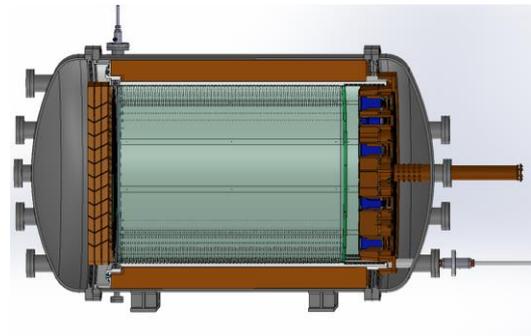
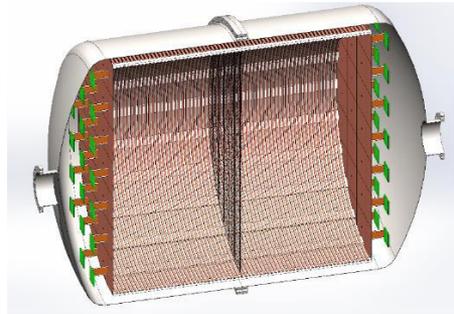


- 无中微子双贝塔衰变探索中微子的Majorana性质，是中微子物理的重要组成部分
- PandaX-III利用高压气体TPC来寻找 $^{136}\text{Xe}$ 的无中微子双贝塔衰变
- 200公斤探测器将于2017年建成，并有望尽快达到吨级实验
- 中国首个大型无中微子双贝塔衰变实验

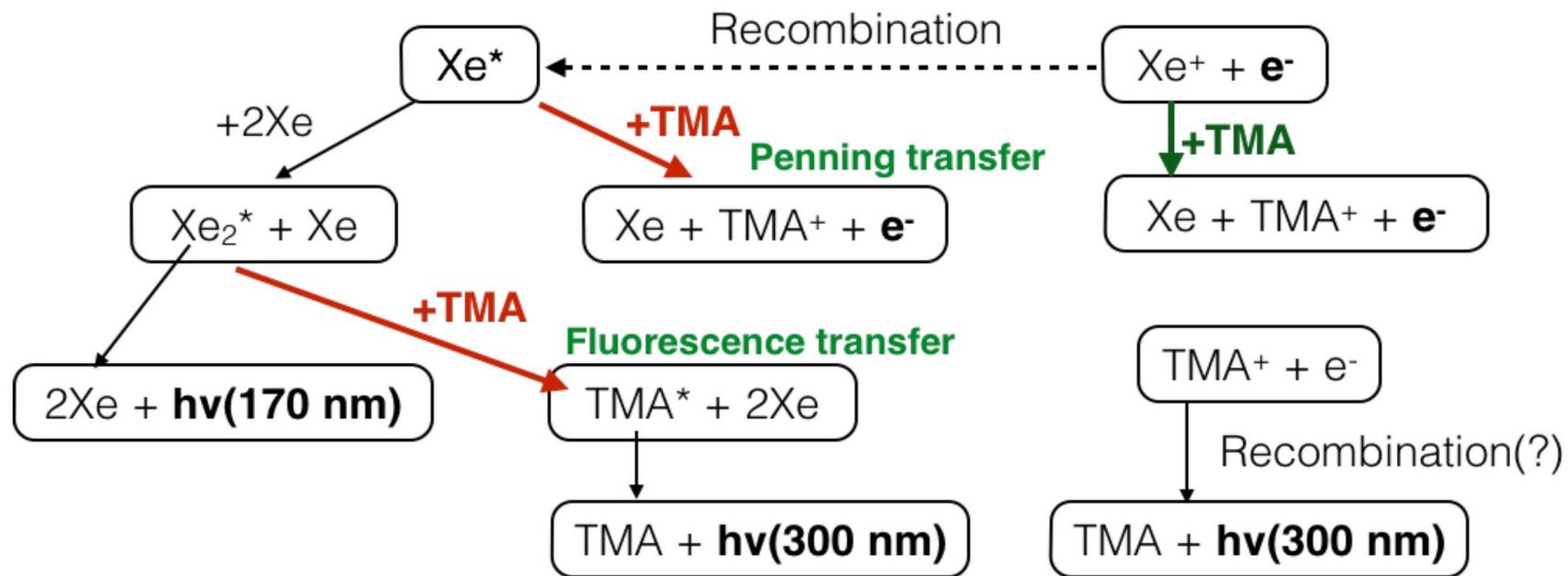




# PandaX vs. NEXT



PandaX-III first TPC		NEXT-100
200 kg Xe(enriched) + 1% TMA	Detector medium	100 kg pure Xe (enriched)
-----	Light	Primary + electroluminescence light readout by PMTs
Micromegas	Charge/Tracking	SiPM
3%	Projected energy resolution	0.7%
2-3 mm	Tracking pitch size	1 cm
X,Y	Fiducialization	X,Y,Z
Since 2015		Since ~2008



**Figure 1.** Simplified schematic of Xe and TMA reactions after initial ionization and excitation of Xe. We made the first direct measurement of the processes shown with red arrows.