

反应堆中微子物理和 液闪探测器关键技术研究

粒子物理卓越中心2018年考核

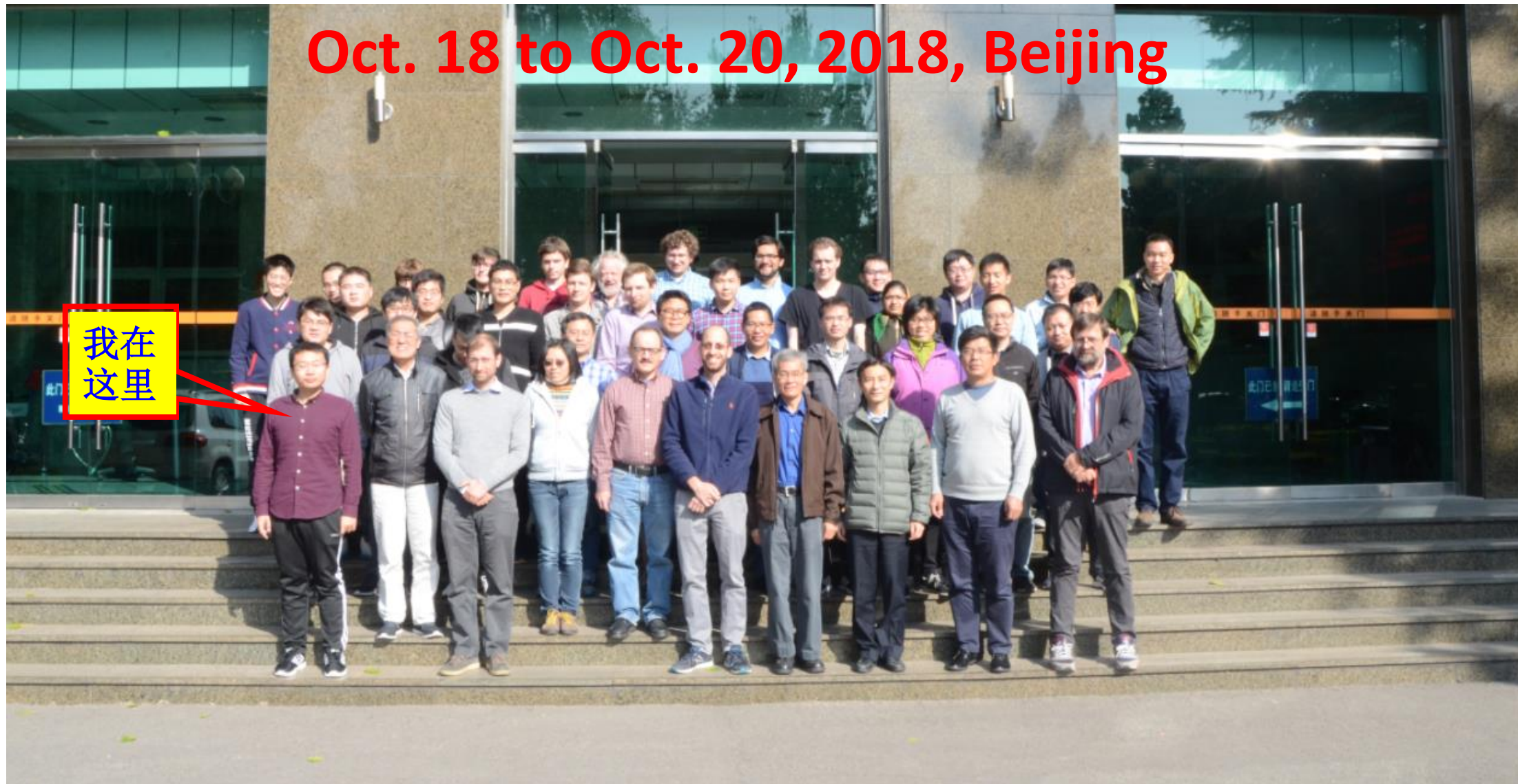
于泽源

高能物理研究所

2018年11月23日

第29届大亚湾中微子实验国际合作组会议

Oct. 18 to Oct. 20, 2018, Beijing



我在这里

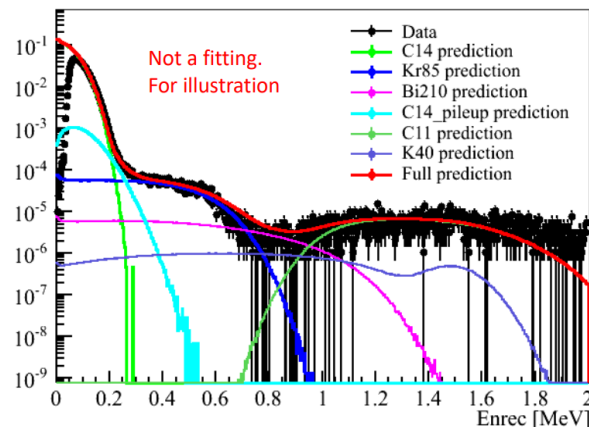
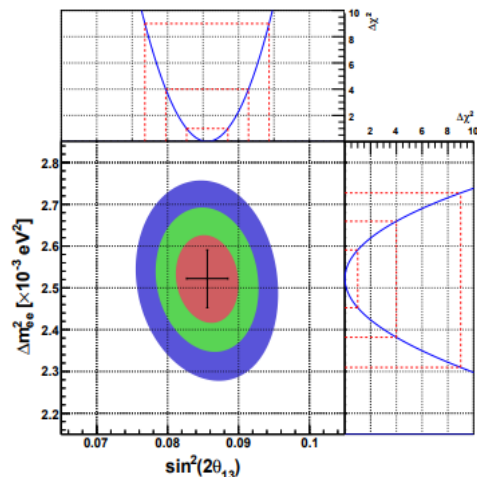
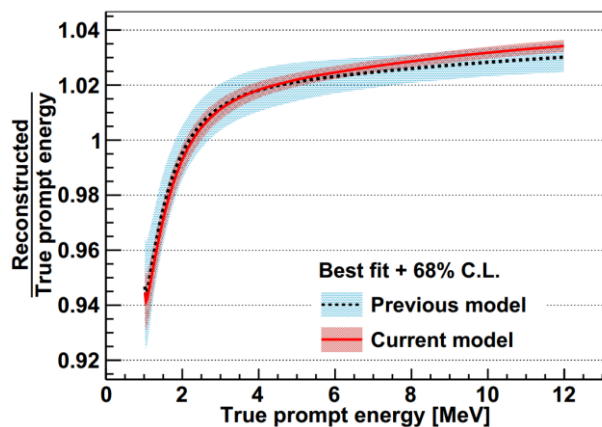
个人简介

- 于泽源，男，副研究员，29岁

- 2004–2008，中国科学技术大学，少年班系，本科
- 2008–2013，中国科学院高能物理研究所，博士
- 2013年至今，中国科学院高能物理研究所，助理研究员，副研究员

- 研究经历

- 大亚湾中微子实验：探测器刻度重建、中微子振荡、中微子能谱测量等
- 江门中微子实验：离线软件开发、液闪研制等



2009-2017年工作简介

- 2012年大亚湾实验发现非零 θ_{13} 重大物理成果数据分析核心成员
 - 和温良剑、占亮共获2012年晨光杯特别奖
- 继续参加大亚湾实验数据分析，在大部分物理文章中做出重要贡献
 - 2016年6月代表合作组在Neutrino 2016会议汇报2015、2016年新结果
 - 2016年12月当选物理分析协调委员会委员
- 参加江门实验软件开发和液闪研制
 - 开发波形重建算法，积极参与重建、数据库开发、数据筛选算法等讨论
 - 和液闪组合作完成液闪置换，优化液闪光产额，研究天然放射性移除等
- 获得2014年、2017年卓越中心优秀青年奖

2018年工作总结—ACC组织工作

- 2016年12月当选大亚湾实验分析协调委员会(ACC)委员
 - 带领高能所数据分析小组，6位博士生，2位博士后，4位职工(部分时间)
- 2018年6月接任大亚湾实验ACC主席
 - 每周召开ACC会议，协调各个分析组进展，安排会议报告预审等

2018年工作总结—ACC组织工作

- 2016年12月当选大亚湾实验分析协调委员会(ACC)委员
 - 带领高能所数据分析小组，6位博士生，2位博士后，4位职工(部分时间)
- 2018年6月接任大亚湾实验ACC主席
 - 每周召开ACC会议，协调各个分析组进展，安排会议报告预审等
 - 2018年4月19日至21日主办大亚湾分析workshop，44人参会



2018年工作总结—ACC组织工作

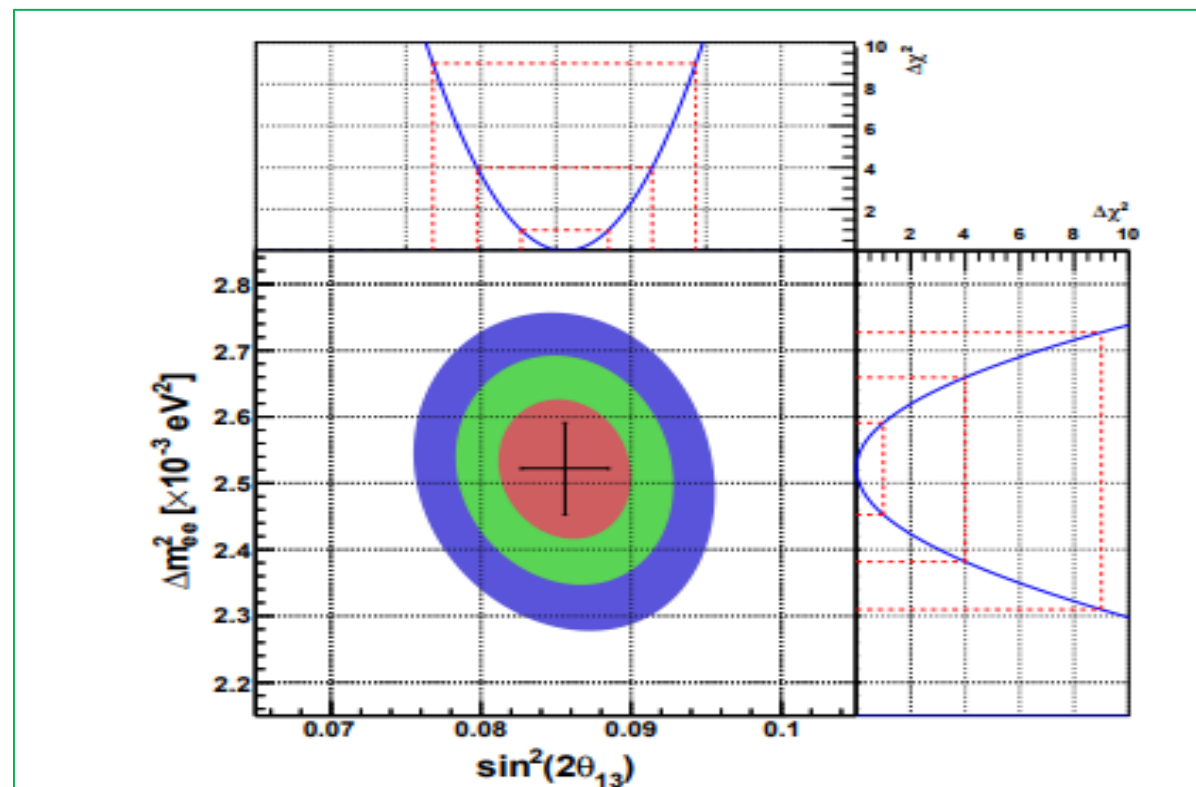
- 2016年12月当选大亚湾实验分析协调委员会(ACC)委员
 - 带领高能所数据分析小组，6位博士生，2位博士后，4位职工(部分时间)
- 2018年6月接任大亚湾实验ACC主席
 - 每周召开ACC会议，协调各个分析组进展，安排会议报告预审等
 - 2018年04月19日至21日主办大亚湾分析workshop，44人参会
 - 2018年10月18日至20日主办大亚湾合作组会，61人参会



2018年工作总结—学术研究

- 反应堆中微子物理
 - 中微子振荡参数更新
 - ^{235}U 和 ^{239}Pu 中微子能谱分解
- 液闪探测器关键技术
 - 能量非线性刻度
 - 江门液闪最优配方寻找
 - 江门液闪天然放射性研究

得到国际最高精度 $\sin^2 2\theta_{13}$ (误差~3.4%) ;
主要完成人, 分析文章撰稿人、通讯作者;
文章已被P. R. L.接收。



2018年工作总结—学术研究

• 反应堆中微子物理

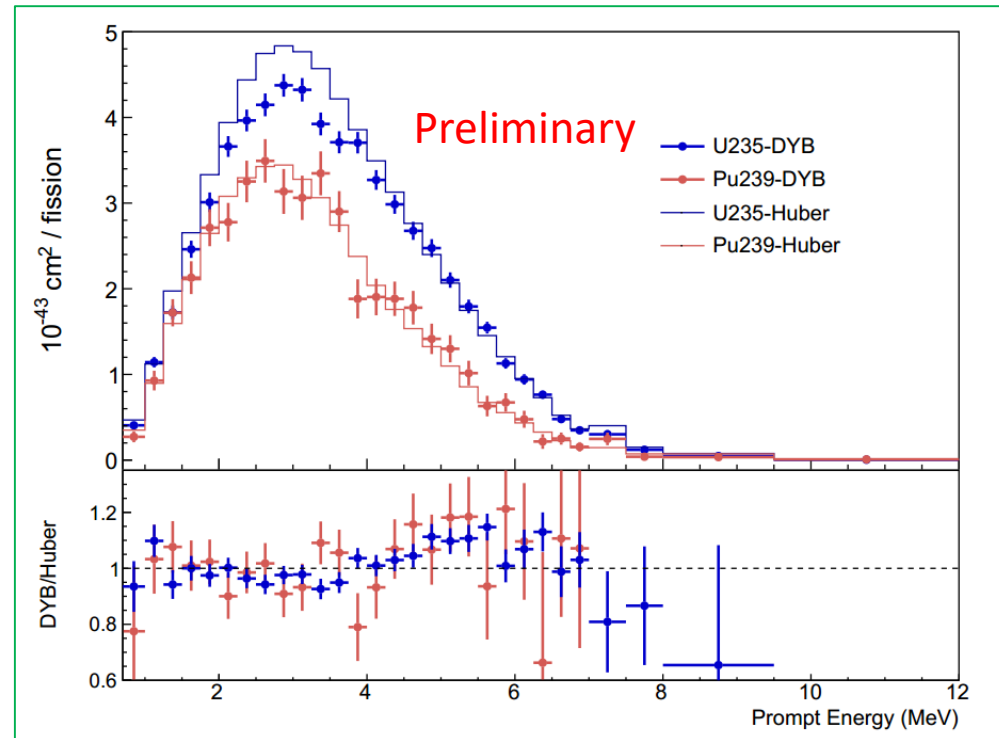
- 中微子振荡参数更新
- ^{235}U 和 ^{239}Pu 中微子能谱分解

• 液闪探测器关键技术

- 能量非线性刻度
- 江门液闪最优配方寻找
- 江门液闪天然放射性研究

主要完成人，分析文章撰稿人、通讯作者；
文章已被P.R.L接收。

世界首次解出 ^{235}U 和 ^{239}Pu 的中微子能谱；
有助于进一步理解反应堆中微子反常；
主要分析人，文章即将投稿P. R. L.



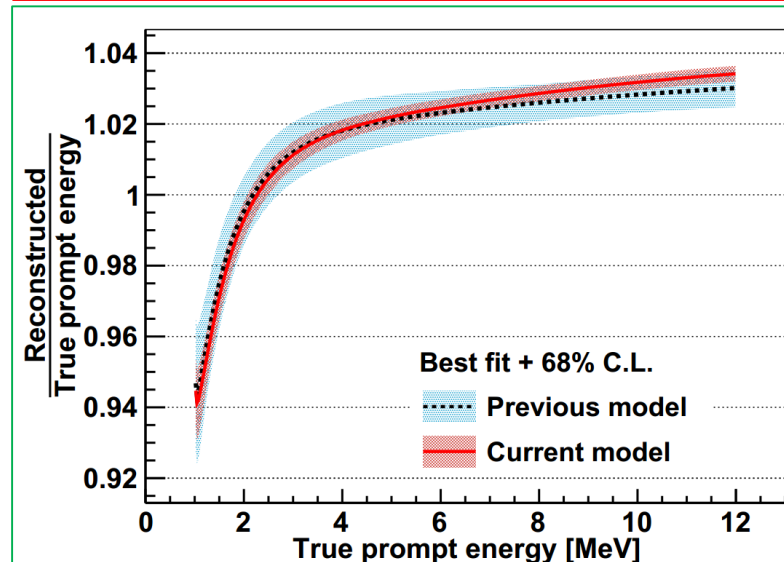
2018年工作总结—学术研究

- 反应堆中微子物理
 - 中微子振荡参数更新
 - ^{235}U 和 ^{239}Pu 中微子能谱分解
- 液闪探测器关键技术
 - 能量非线性刻度
 - 江门液闪最优配方寻找
 - 江门液闪天然放射性研究

主要完成人，分析文章撰稿人、通讯作者；
文章已被P.R.L接收

世界首次解出 ^{235}U 和 ^{239}Pu 的中微子能谱；
主要分析人，文章即将投稿P.R.L

能量非线性模型精度从1%提高到0.5%；
为同类型实验最高精度，满足JUNO要求；
发表两篇技术文章，一篇合作组审议中；



2018年工作总结—学术研究

• 反应堆中微子物理

- 中微子振荡参数更新
- ^{235}U 和 ^{239}Pu 中微子能谱分解

• 液闪探测器关键技术

- 能量非线性刻度
- 江门液闪最优配方寻找
- 液闪天然放射性研究

主要完成人，分析文章撰稿人、通讯作者；
文章已被P.R.L接收

世界首次解出 ^{235}U 和 ^{239}Pu 的中微子能谱；
主要分析人，文章即将投稿P.R.L

能量非线性模型精度从1%提高到0.5%；
发表两篇技术文章，一篇合作组审议中；

主要完成人，利用大亚湾探测器优化液闪
发光物质含量，调节MC，开发新方法；
确定PPO含量为2.5 g/L，bis-MSB含量为
(1-3) mg/L，提高光产额并节约经费

2018年工作总结—学术研究

- 反应堆中微子物理
 - 中微子振荡参数更新
 - ^{235}U 和 ^{239}Pu 中微子能谱分解
- 液闪探测器关键技术
 - 能量非线性刻度
 - 江门液闪最优配方寻找
 - 液闪天然放射性研究

主要完成人，分析文章撰稿人、通讯作者；
文章已被P.R.L接收

世界首次解出 ^{235}U 和 ^{239}Pu 的中微子能谱；
主要分析人，文章即将投稿P.R.L

能量非线性模型精度从1%提高到0.5%；
发表两篇技术文章，一篇合作组审议中；

确定PPO含量为2.5 g/L，bis-MSB含量为
(1-3) mg/L，提高光产额并节约经费

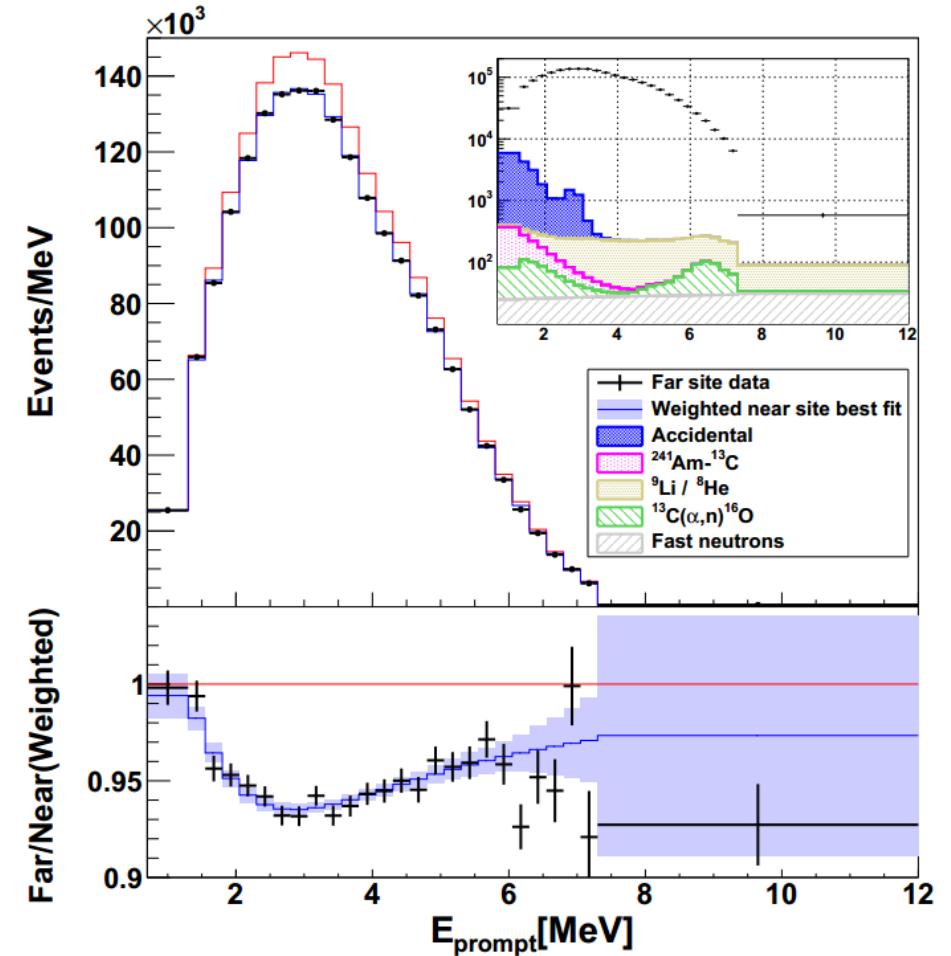
开展江门液闪放射性纯化效果研究；
获得各种天然放射性含量

完成中微子振荡参数测量

• 协调三个分析小组高质量完成中微子振荡参数测量更新

- $\sin^2 2\theta_{13}$ 误差~3.4%，系统误差约占60%
- $|\Delta m^2_{32}|$ 误差~2.8%，系统误差约占50%

- Push伯克利和高能所完成重建算法更新和数据产生
- 领导高能所三名博士生完成整个分析流程
- 比较三个分析小组的输入和振荡拟合结果，最终得到一致结果
- 检验两处统计涨落导致的tension中有没有系统误差影响



完成中微子振荡参数测量

- 本人作为主撰稿人完成振荡分析文章撰写，并担任通讯作者
- 文章于2018年10月27日被P. R. L.接收

arXiv.org > hep-ex > arXiv:1809.02261

Search or Article

(Help | Advanced search)

High Energy Physics - Experiment

Measurement of electron antineutrino oscillation with 1958 days of operation at Daya Bay

Daya Bay Collaboration: D. Adey, F. P. An, A. B. Balantekin, H. R. Band, M. Bishai, S. Blyth, D. Cao, G. F. Cao, J. Cao, Y. L. Chan, J. F. Chang, Y. Chang, H. S. Chen, S. M. Chen, Y. Chen, Y. X. Chen, J. Cheng, Z. K. Cheng, J. J. Cherwinka, M. C. Chu, A. Chukanov, J. P. Cummings, F. S. Deng, Y. Y. Ding, M. V. Diwan, M. Dolgareva, D. A. Dwyer, W. R. Edwards, M. Gonchar, G. H. Gong, H. Gong, W. Q. Gu, L. Guo, X. H. Guo, Y. H. Guo, Z. Guo, R. W. Hackenburg, S. Hans, M. He, K. M. Heeger, Y. K. Heng, A. Higuera, Y. B. Hsiung, B. Z. Hu, J. R. Hu, T. Hu, Z. J. Hu, H. X. Huang, X. T. Huang, Y. B. Huang, P. Huber, W. Huo, G. Hussain, D. E. Jaffe, K. L. Jen, X. L. Ji, X. P. Ji, R. A. Johnson, D. Jones, L. Kang, S. H. Kettell, L. W. Koerner, S. Kohn, M. Kramer, T. J. Langford, L. Lebanowski, J. Lee, J. H. C. Lee, R. T. Lei, R. Leitner, J. K. C. Leung, C. Li, F. Li, H. L. Li, Q. J. Li, S. Li, S. C. Li, S. J. Li, W. D. Li, X. N. Li, X. Q. Li, Y. F. Li, Z. B. Li, H. Liang, C. J. Lin, G. L. Lin, S. Lin, S. K. Lin, Y.-C. Lin, J. J. Ling, J. M. Link, L. Littenberg, B. R. Littlejohn, J. C. Liu, J. L. Liu, Y. Liu, Y. H. Liu, C. W. Loh, C. Lu, H. Q. Lu et al. (104 additional authors not shown)

(Submitted on 7 Sep 2018 (v1), last revised 26 Oct 2018 (this version, v4))

We report a measurement of electron antineutrino oscillation from the Daya Bay Reactor Neutrino Experiment with nearly 4 million reactor $\bar{\nu}_e$ inverse beta decay candidates observed over 1958 days of data collection. The installation of a Flash-ADC readout system and a special calibration campaign using different source enclosures reduce uncertainties in the absolute energy calibration to less than 0.5% for visible energies larger than 2 MeV. The uncertainty in the cosmogenic ^9Li and ^8He background is reduced from 45% to 30% in the near detectors. A detailed investigation of the spent nuclear fuel history improves its uncertainty from 100% to 30%. Analysis of the relative $\bar{\nu}_e$ rates and energy spectra among detectors yields

$\sin^2 2\theta_{13} = 0.0856 \pm 0.0029$ and $\Delta m_{32}^2 = (2.471_{-0.070}^{+0.068}) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ assuming the normal hierarchy, and $\Delta m_{32}^2 = -(2.575_{-0.070}^{+0.068}) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ assuming the inverted hierarchy.

Comments: 6 pages, 4 figures, and 1 table. v3: update with referees' comments

Subjects: **High Energy Physics - Experiment (hep-ex)**; Instrumentation and Detectors (physics.ins-det)

Cite as: **arXiv:1809.02261 [hep-ex]**

(or **arXiv:1809.02261v4 [hep-ex]** for this version)

Submission history

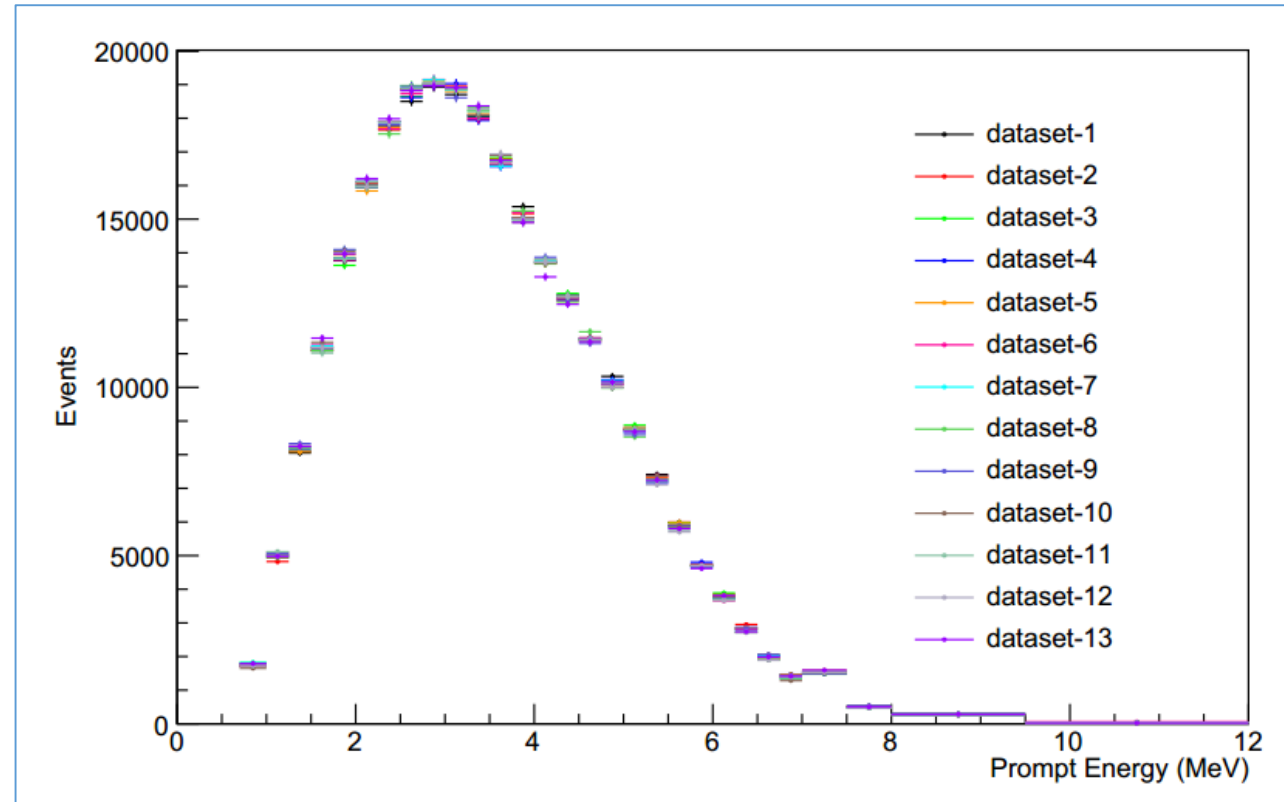
From: Zeyuan Yu [view email]

From me

反应堆中微子能谱测量

- 反应堆中微子模型预期和实验观测有多处不符
 - 总流强有5%区别
 - 4-6 MeV处数据有bump
- 今年高能所分析小组**世界首次**解出 ^{235}U 和 ^{239}Pu 裂变链释放的中微子对应的快信号能谱
 - ^{235}U 能谱的精度和极短基线实验PROSPECT类似
 - 可以进一步检验反应堆模型
 - 其他实验更好的输入

解谱原理：随着反应堆运行， ^{235}U 不断消耗， ^{239}Pu 在积累，探测器观测到的能谱随之变化。



反应堆中微子能谱测量

• 分析小组

- 胡健润、安丰鹏、占亮、吴文杰和本人等

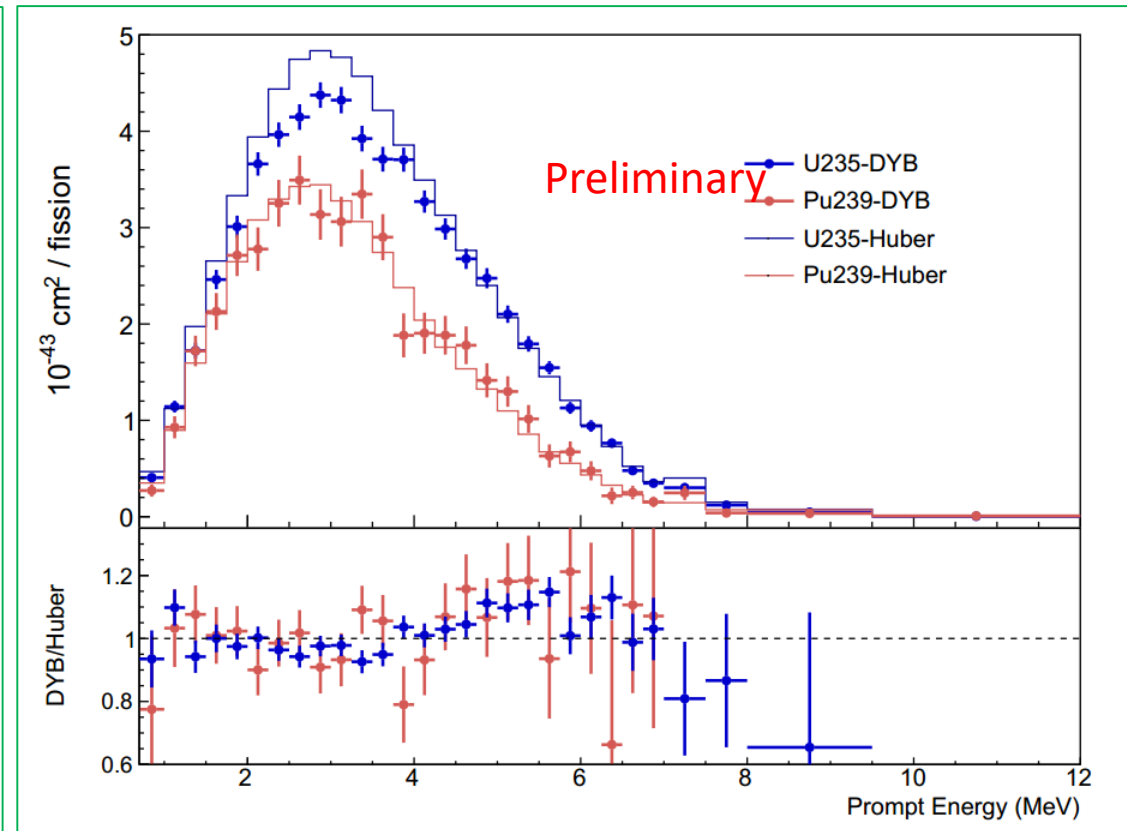
• 文章撰稿人

- 占亮、安丰鹏

• 本人贡献

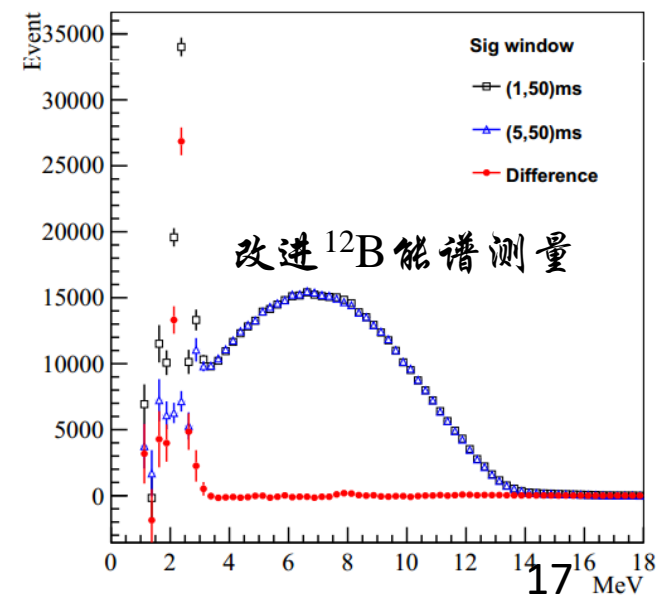
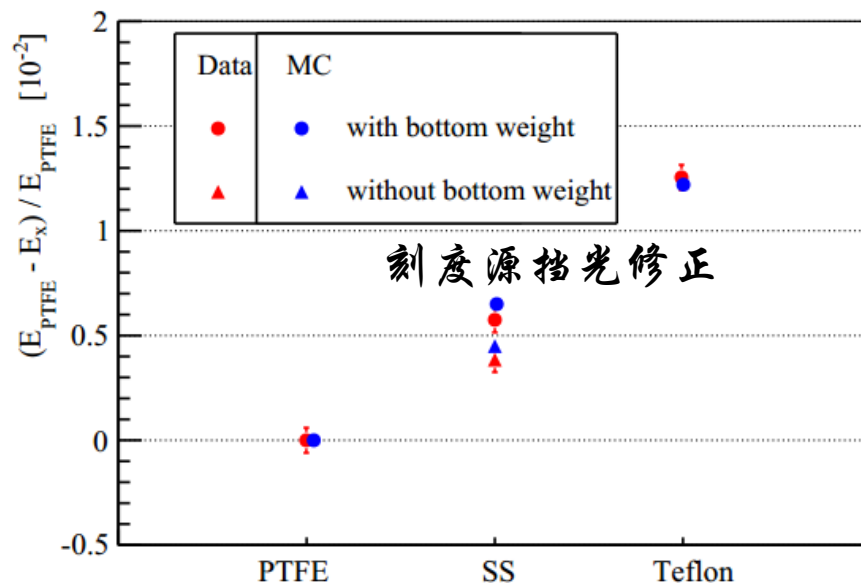
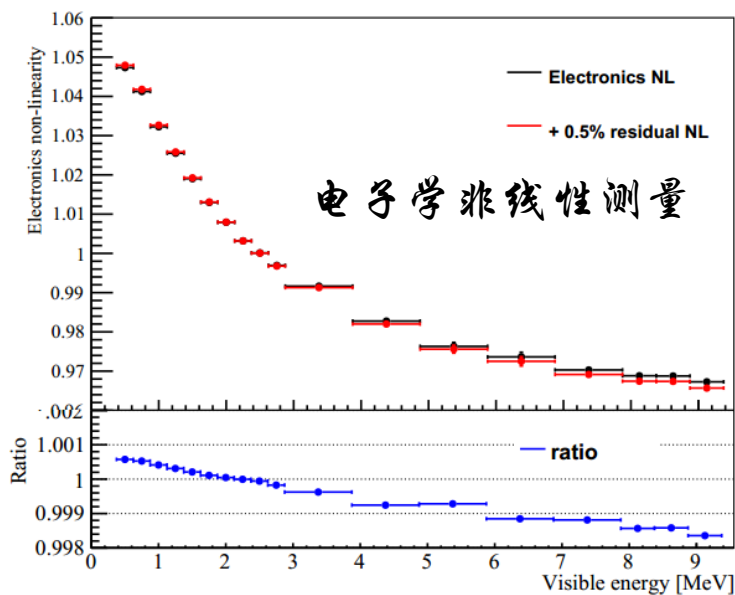
- 组织讨论，确定分析方法和细节
- 推动数据分析，修改techonote、文章
- 推动合作组内部分析评审（即将结束）

• 完成各种评审后，文章将投稿P. R. L.



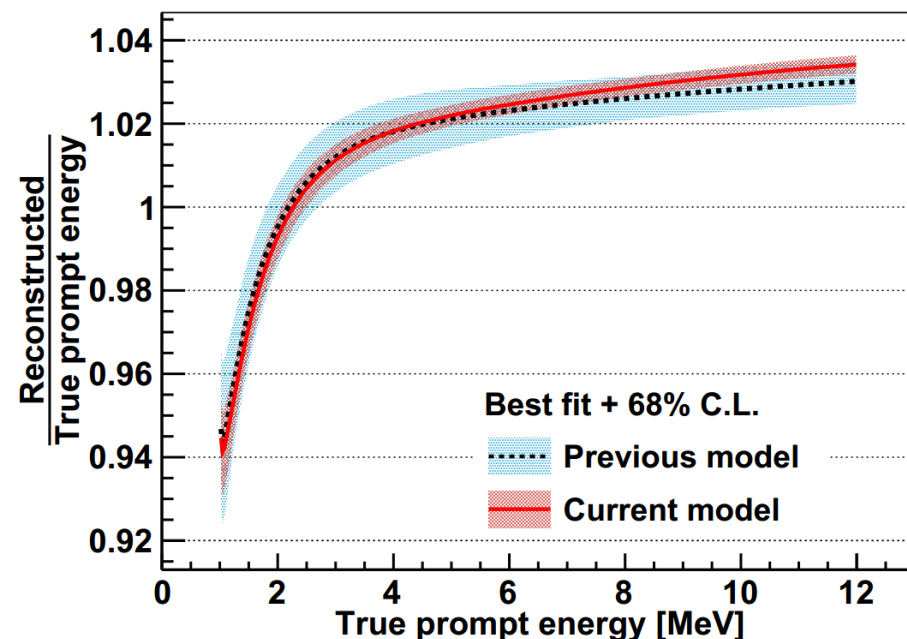
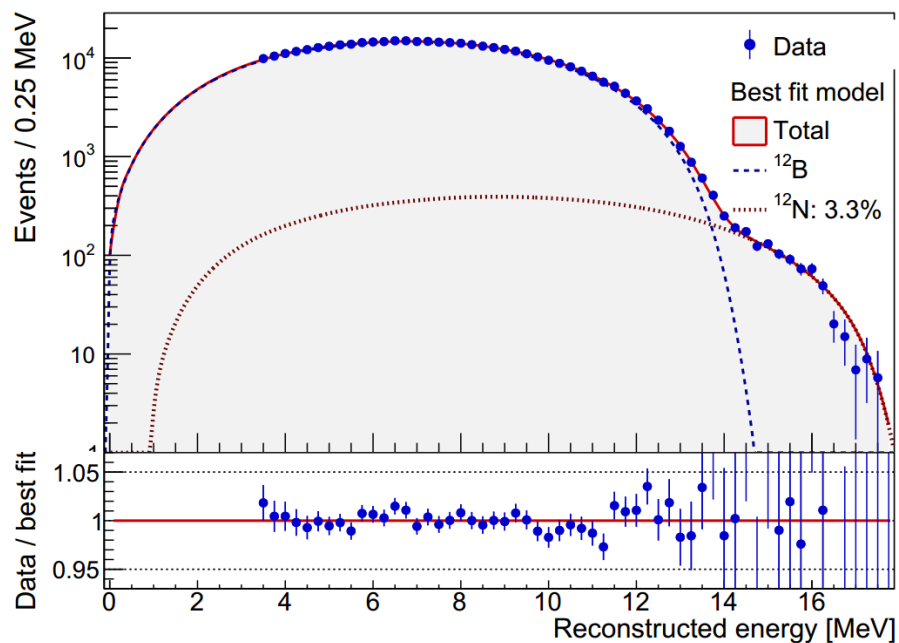
液闪探测器能量非线性刻度

- 本人及指导的博士生黄永波完成了大亚湾探测器非线性的精确刻度
 - PMT波形重建和电子学非线性的精确测量: [N.I.M. A 895 \(2018\) 48-55](#)
 - 重分析了 γ 刻度源数据及 ^{12}B 贝塔衰变电子谱, 解决了3个难题
 - 细致分析系统误差, 同类实验中首次考虑了3项系统误差
 - 感谢上海交大2017年1月开展的大亚湾探测器特殊刻度!



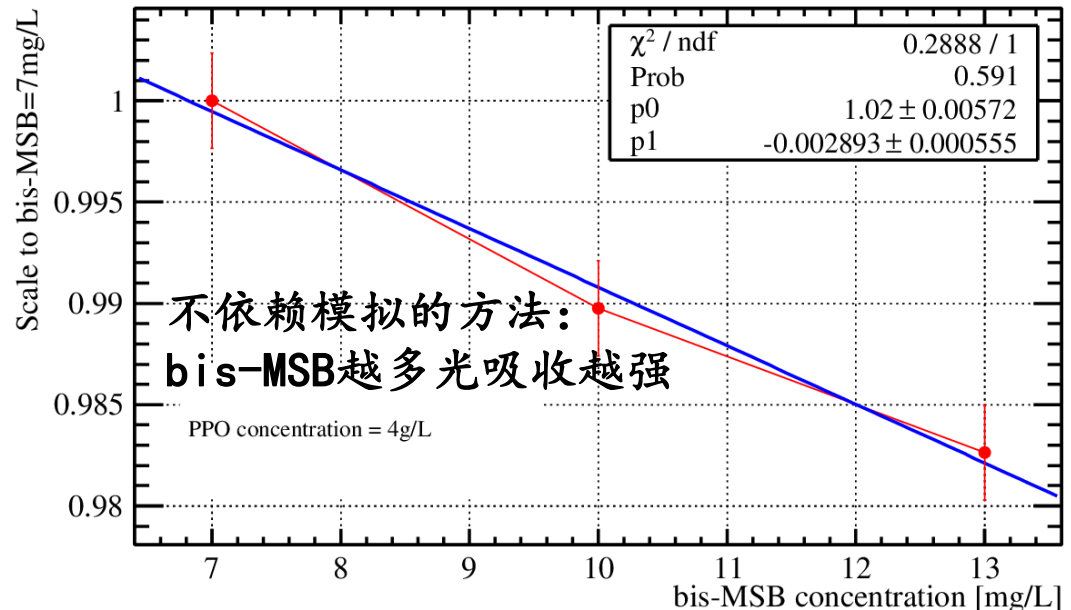
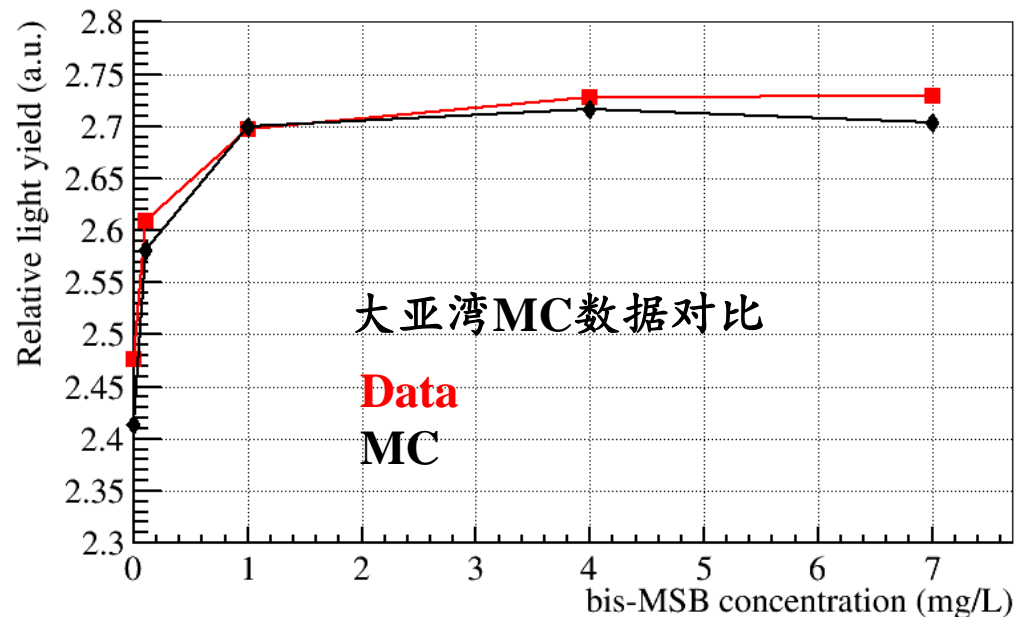
液闪探测器能量非线性刻度

- 能量非线性模型的精度在2-12MeV从1%提高到0.5%
 - 世界同类实验最高精度，中微子能谱测量的精度从1.5%提高到0.6%左右
 - 超过江门实验的能量刻度精度要求1%，是江门实验物理目标的有力支撑
- 18年4月完成22页technote撰写，18页的技术文章正在合作组审议
 - 另有两篇技术文章计划中：若干核素beta能谱测量，非线性测量综述



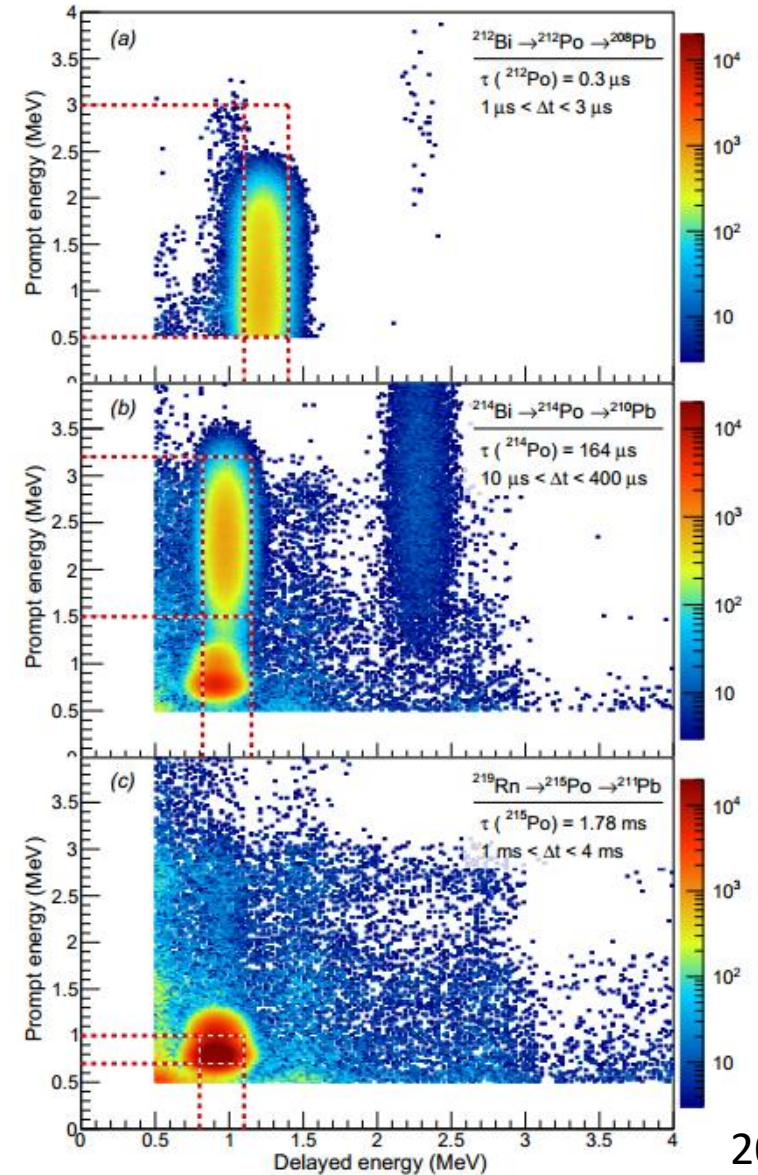
液闪光产额优化

- 本人带领团队，完成了大亚湾液闪置换实验数据采集和分析工作
 - 精确测量了不同发光物质含量下的光产额
 - 调节大亚湾模拟使之与数据符合，通过模拟预期江门发光物质含量
 - 开发了不依赖模拟的新方法，检验PPO和bis-MSB含量对光吸收的影响
 - 两种方法均给出江门液闪的PPO含量应为2.5 g/L， bis-MSB为 1-3 mg/L
 - 相比大亚湾液闪配方(3+15)，预计提高5%光产额：对JUNO的有力支撑



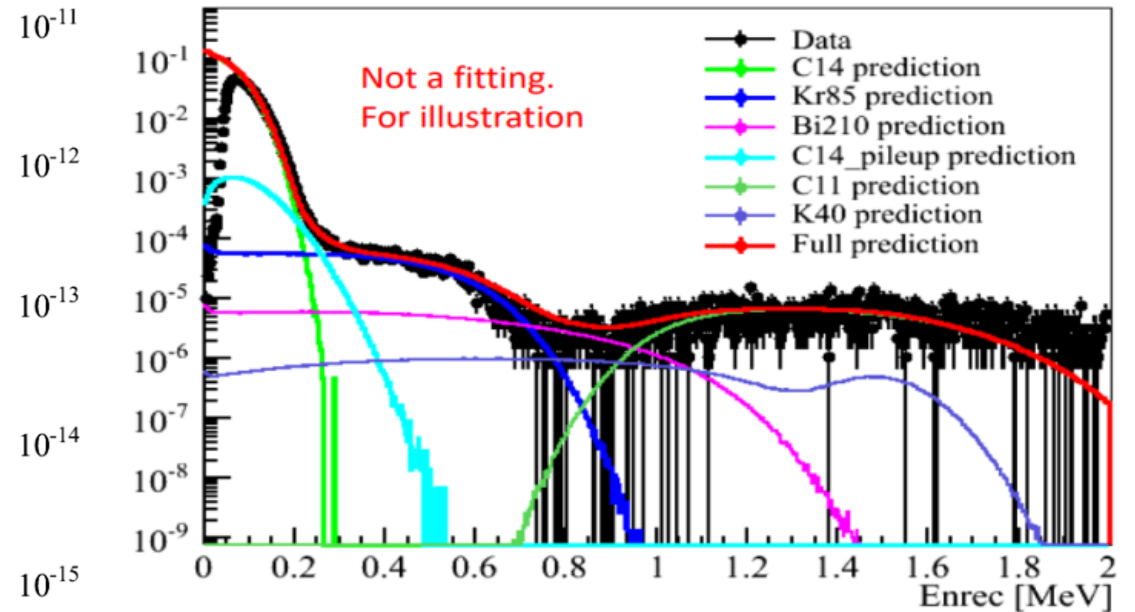
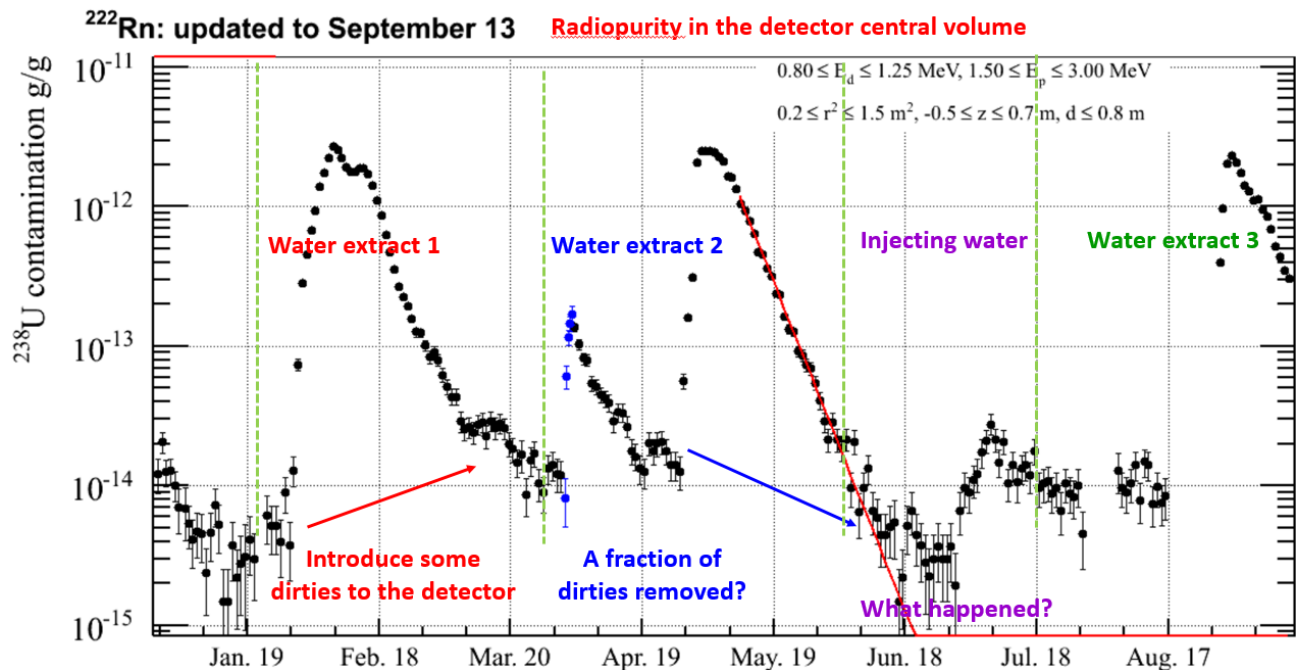
液闪天然放射性研究

- 在大亚湾实验中，本人在天然放射性研究中有多项成果积累
 - 首次发现掺钷液闪中的 ^{235}U 富集现象
 - 确定掺钷液闪中 ^{238}U 链基本为平衡态， ^{232}Th 链的平衡在 ^{228}Th 打破， ^{235}U 的平衡在 ^{227}Ac 打破
 - 发现 ^{210}Pb 和灰尘在有机玻璃罐壁有富集，基于探测器建造时间，得到有机玻璃在氩和万级洁净间中的污染系数
- 技术文章正在撰写中
 - 大亚湾实验天然放射性研究，合作组文章



液闪天然放射性研究

- 本人和江门液闪组一起，开展多项天然放射性纯化研究
 - 2017年11月，确定剥离对 ^{222}Rn 的去除效率约95%
 - 2018年2月、5月和8月开展水草对放射性去除效率研究
 - 分解液闪放射性能谱，得到各种放射性本底的含量上限



其他学术活动

• 大亚湾实验分析评审

- Oscillation analysis based on the neutron capture on Hydrogen: rate + shape
- Search for a time-varying electron antineutrino signal at Daya Bay

• 江门实验评审委员会委员

- Calibration final design review, 25 July 2018;
- OSIRIS review, 24 July 2018 (液闪放射性在线监测);
- Offline software review, 22 July 2018;
- Offline software review, 22 Jan. 2018;
- Veto LED review, 30 Nov. 2017.

发表文章、学术会议

- 本年度发表文章（均为通讯作者）

- *Measurement of electron antineutrino oscillation with 1958 days of operation at Daya Bay*, P. R. L.接收
- *The flash ADC system and waveform reconstruction of Daya Bay*, N.I.M. A 895 (2018) 48-55, 已被引用4次
- *Measurement of proton quenching in a LAB based liquid scintillator*, RDTM (2019) 3:3
- *Precision energy nonlinearity calibration at Daya Bay*, 大亚湾合作组审核中

- 撰写中文章

- ^{40}K 、 ^{212}Bi 、 ^{214}Bi 、 ^{208}Tl 贝塔衰变能谱测量（对核物理和地球中微子有重要意义）
- 大亚湾实验液闪和掺钷液闪中天然放射性研究
- 液体闪烁体非线性测量结果综述

- 会议报告

- 综述报告, Review of the reactor neutrino oscillation, NuPhys 2017, London, Dec. 22, 2017;
- 邀请报告, Energy calibration and reconstruction of Daya Bay, ESCAPE 2018, Heidelberg;

谢谢!