



利用液氙探测器测量反应堆 中微子的相干弹性散射

肖翔
中山大学

2022年8月10日

中国物理学会高能物理分会第十一届大会

中微子-原子核相干弹性散射 (CEvNS)

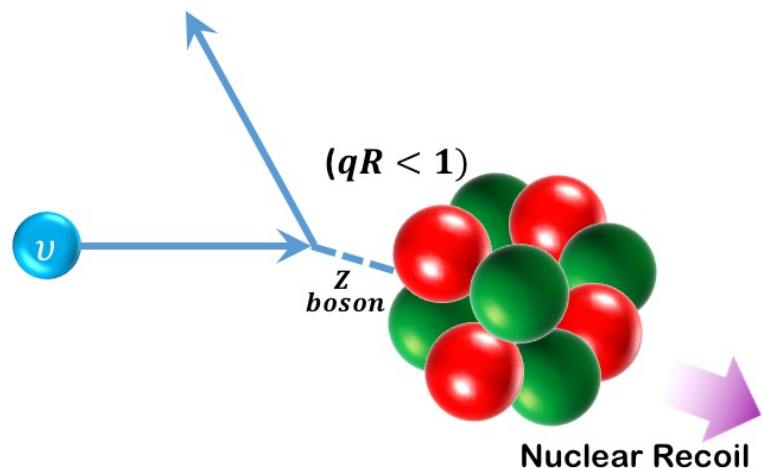
PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 9, NUMBER 5

1 MARCH 1974

Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering, CEvNS

- $qR < 1$
- Z-exchange between neutrino and nucleus
- Nucleus recoils as a whole
- Coherent up to $E_\nu \sim 50$ MeV



Coherent effects of a weak neutral current

Daniel Z. Freedman[†]

National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois 60510

and Institute for Theoretical Physics, State University of New York, Stony Brook, New York 11790

(Received 15 October 1973; revised manuscript received 19 November 1973)

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{G_F^2}{4\pi} Q_W^2 M \left(1 - \frac{MT}{2E_\nu^2} \right) F(Q^2)^2$$

$$Q_W = N - (1 - 4 \sin^2 \theta_W) Z$$

$$\sin^2 \theta_W = 0.23 \implies Q_W \propto N$$

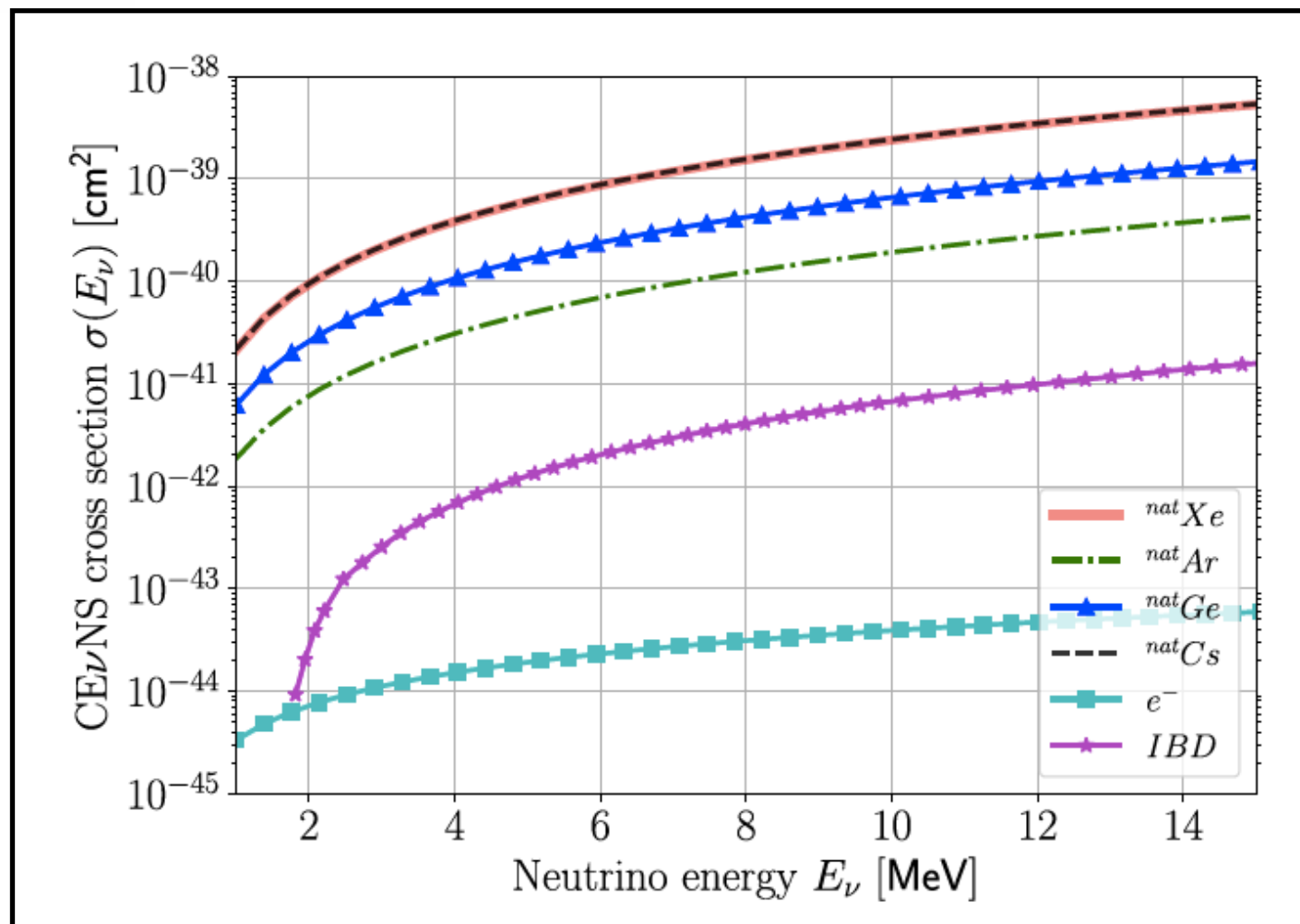
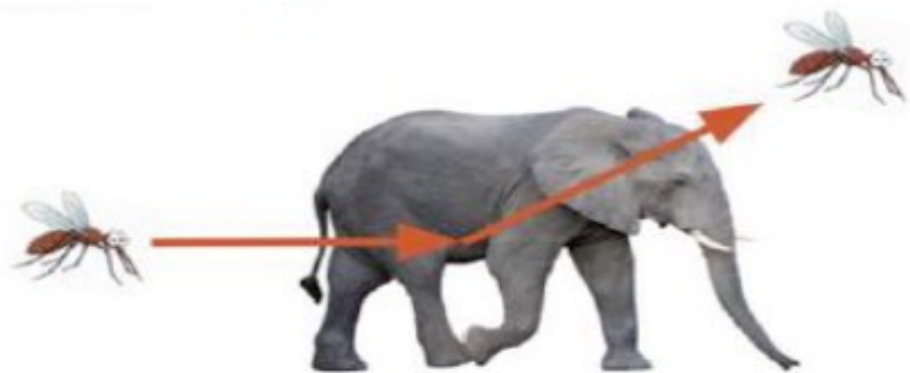
CE ν NS散射截面与反冲能量

$$\sigma \propto Q_W^2 \propto (N - (1 - 4 \sin^2 \theta_W)Z)^2$$

$$\Rightarrow \sigma \propto N^2$$

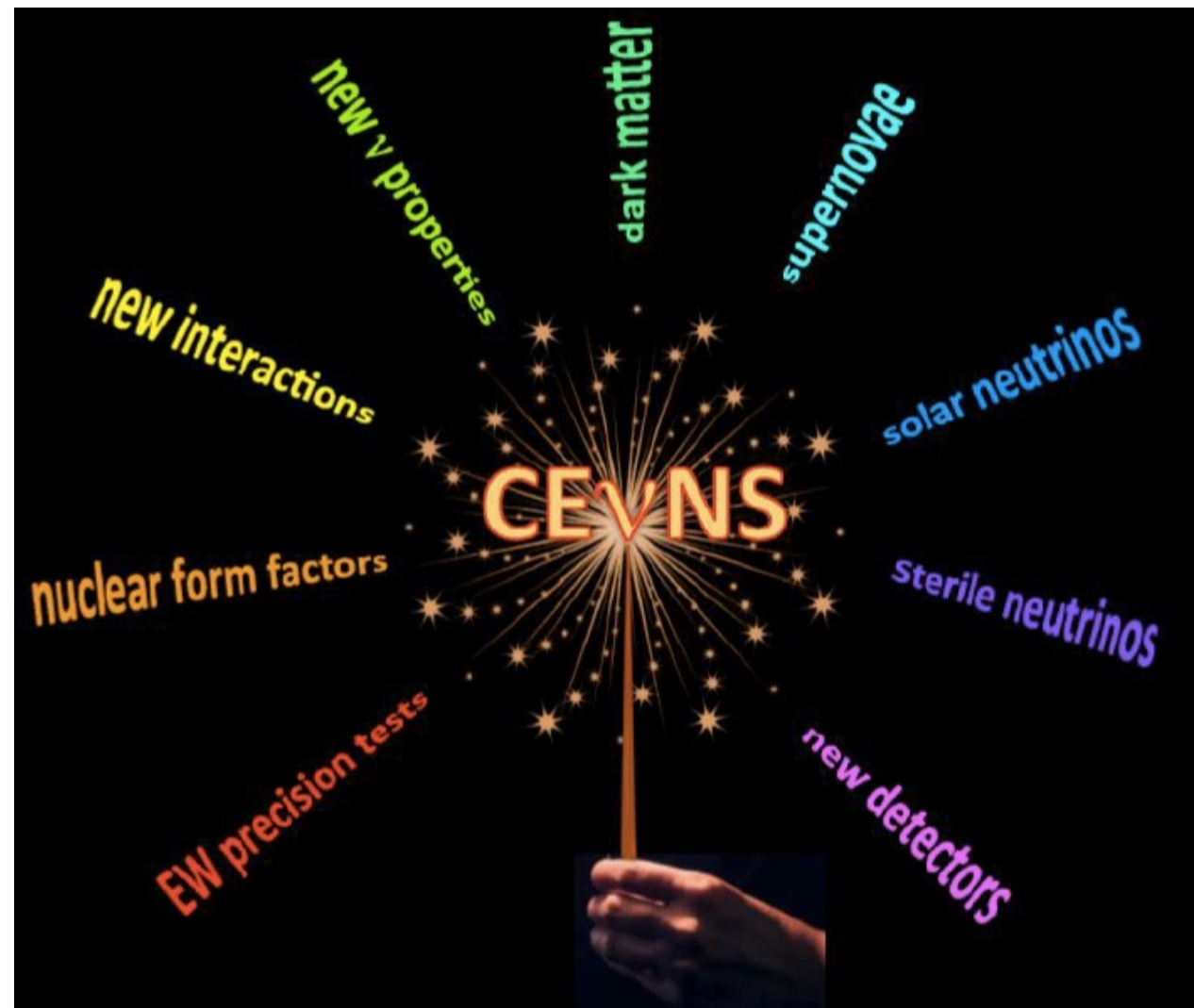
$$T_R \approx \frac{E_\nu^2 (\text{MeV})}{A} \text{ keV}$$

散射截面得到数量级的提升，
但低反冲能量的探测是挑战！



CEvNS研究意义

- ❖ 粒子物理：
 - 低动量转移下的弱混合角
 - 中微子非标准相互作用
 - 中微子反常磁矩
 - 惰性中微子
- ❖ 天体物理：
 - 探测天体中微子的新手段
 - 暗物质直接探测的重要本底
- ❖ 核物理：
 - 原子核的形状因子
- ❖ 中微子探测的应用：
 - 中微子探测器小型化
 - 反应堆监测

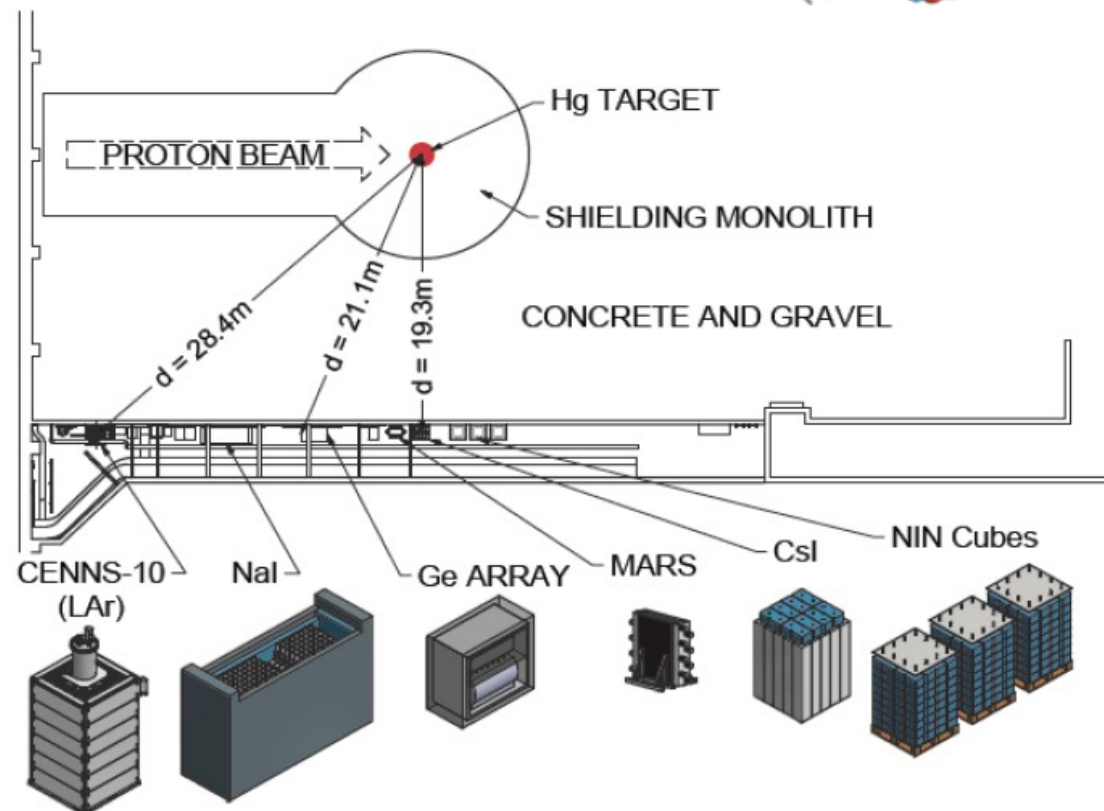


E. Lisi @Neutrino 2018

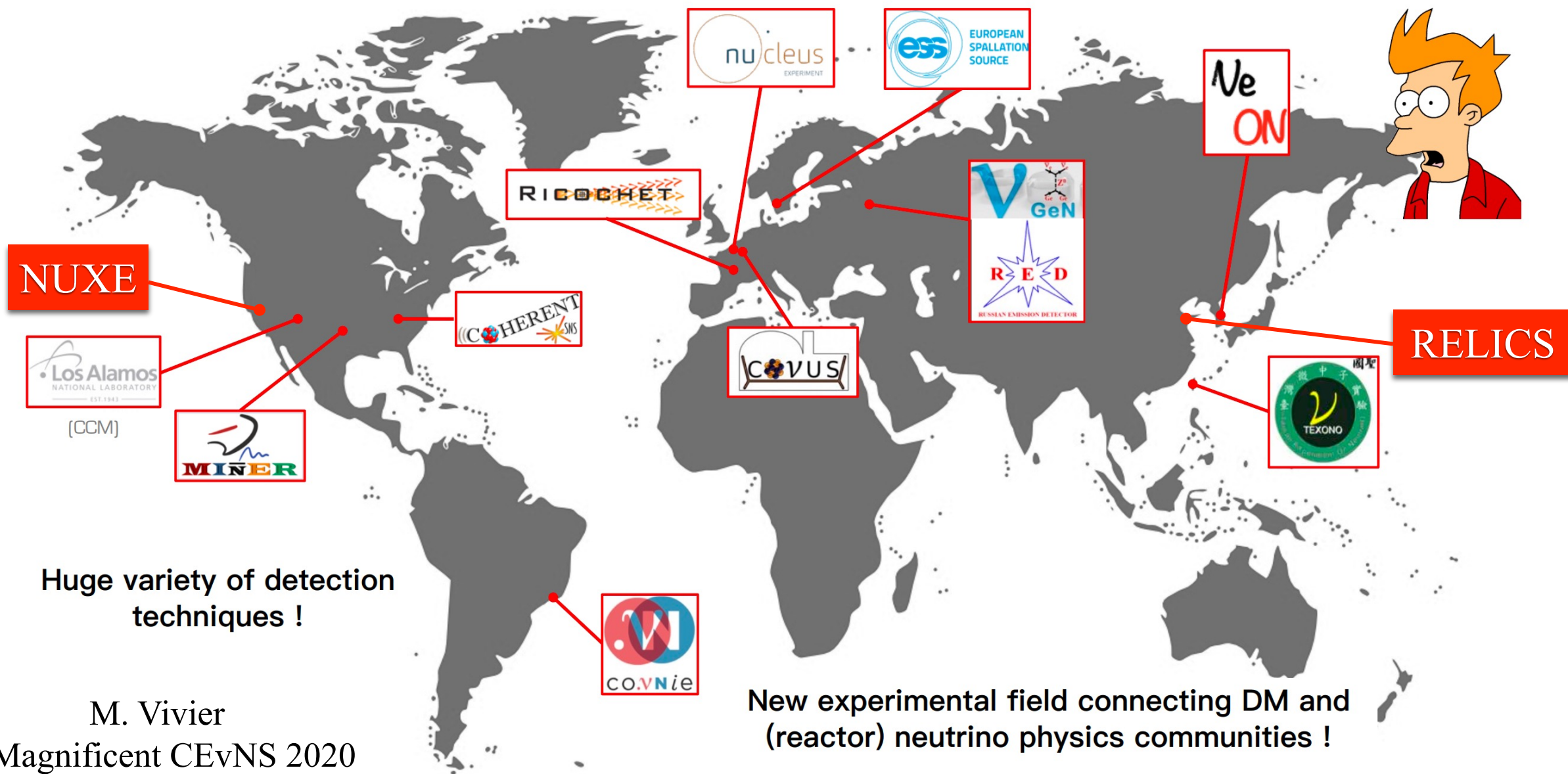
CEvNS在实验上的首次探测

理论预言：1974

实验观测：2017，COHERENT实验，入选《Science》年度十大科技进展



CEvNS实验项目



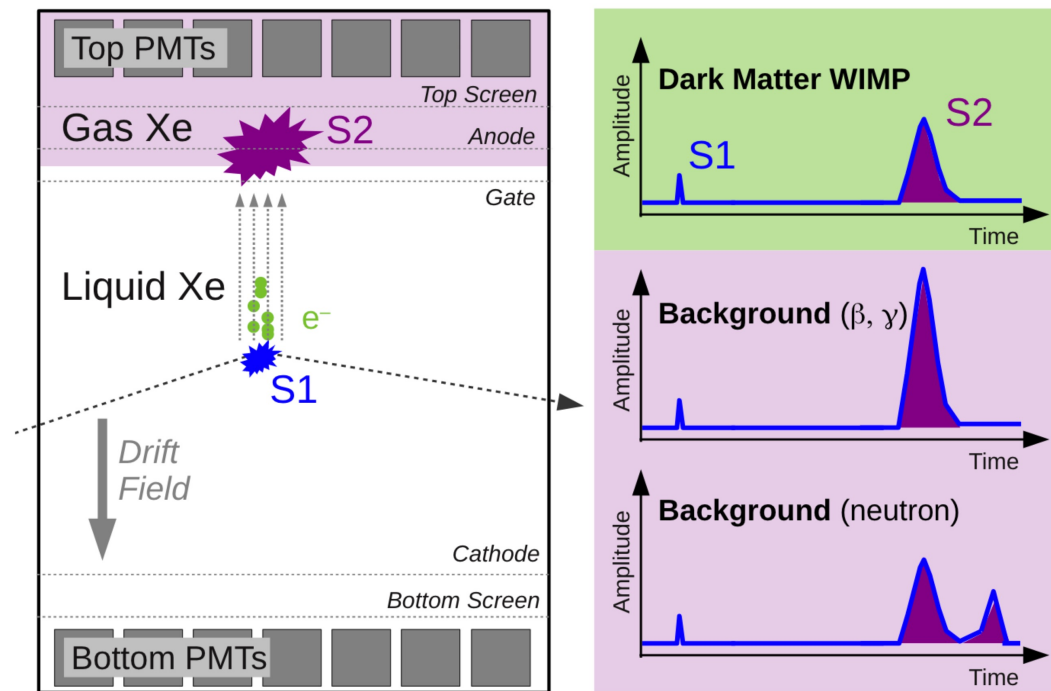
RELICS实验介绍

RELICS: REactor neutrino LIquid xenon Coherent Scattering experiment

研究目标：发展可在地面运行的大质量低阈值低本底液氙时间投影室探测器，精确测量CEvNS信号

拟选址：山东石岛湾核电站，高温气冷堆250 MW，距堆芯12米，中微子通量 $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

两相型氙时间投影室技术



实验组成员

清华大学：高飞

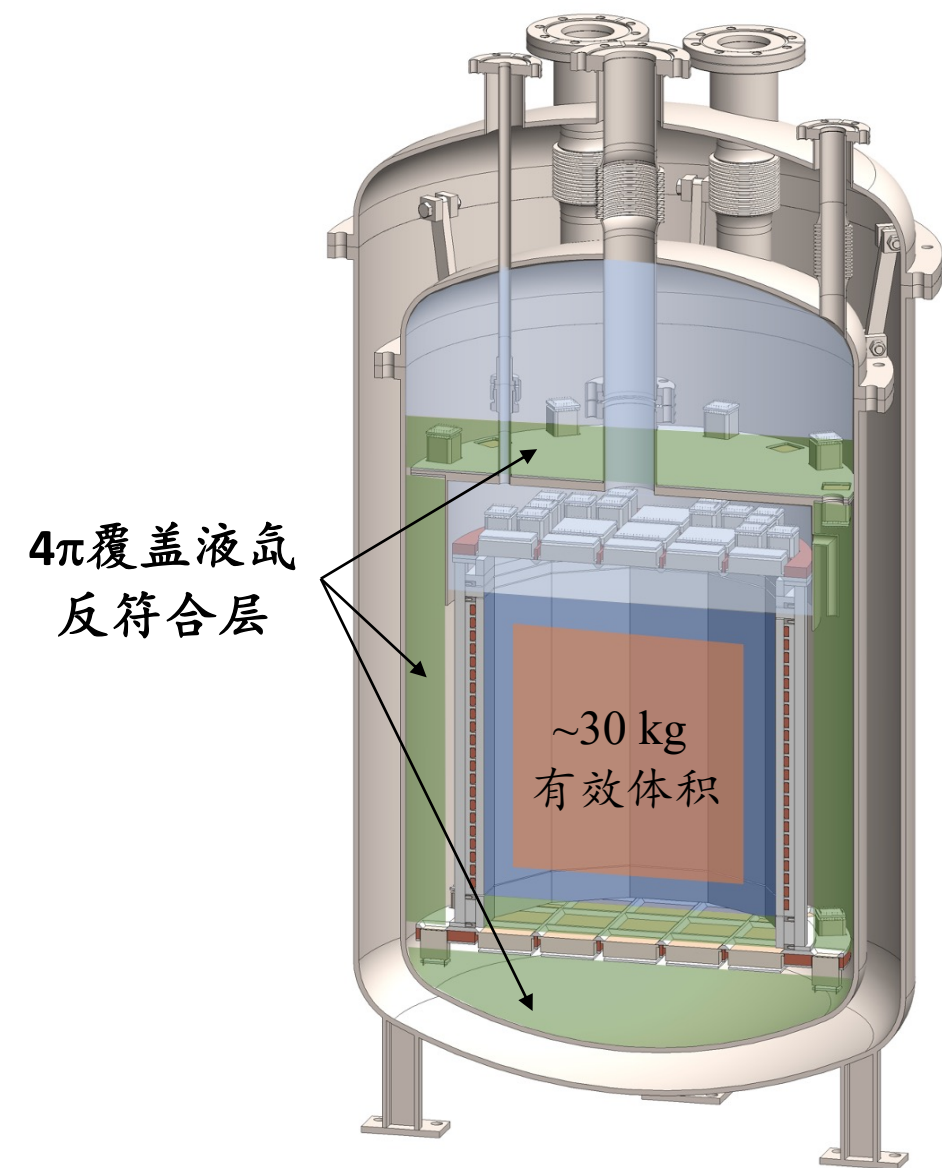
中国科学技术大学：林箐

中山大学：魏月环、肖翔

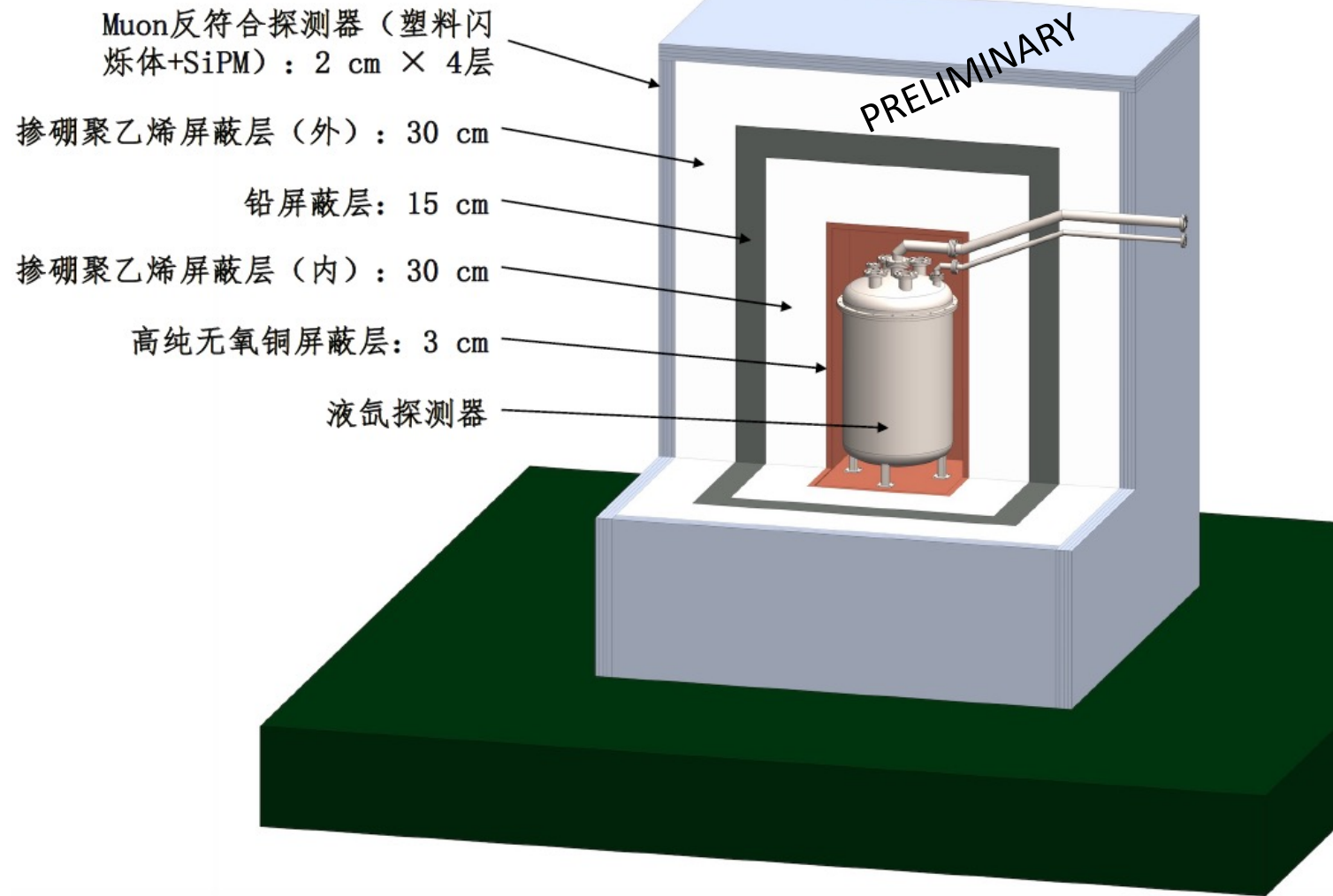
教师、博士生、本科生，~20人

获得科技部国家重点研发计划“大科学装置前沿研究”重点专项，青年科学家项目支持

RELICS初步设计

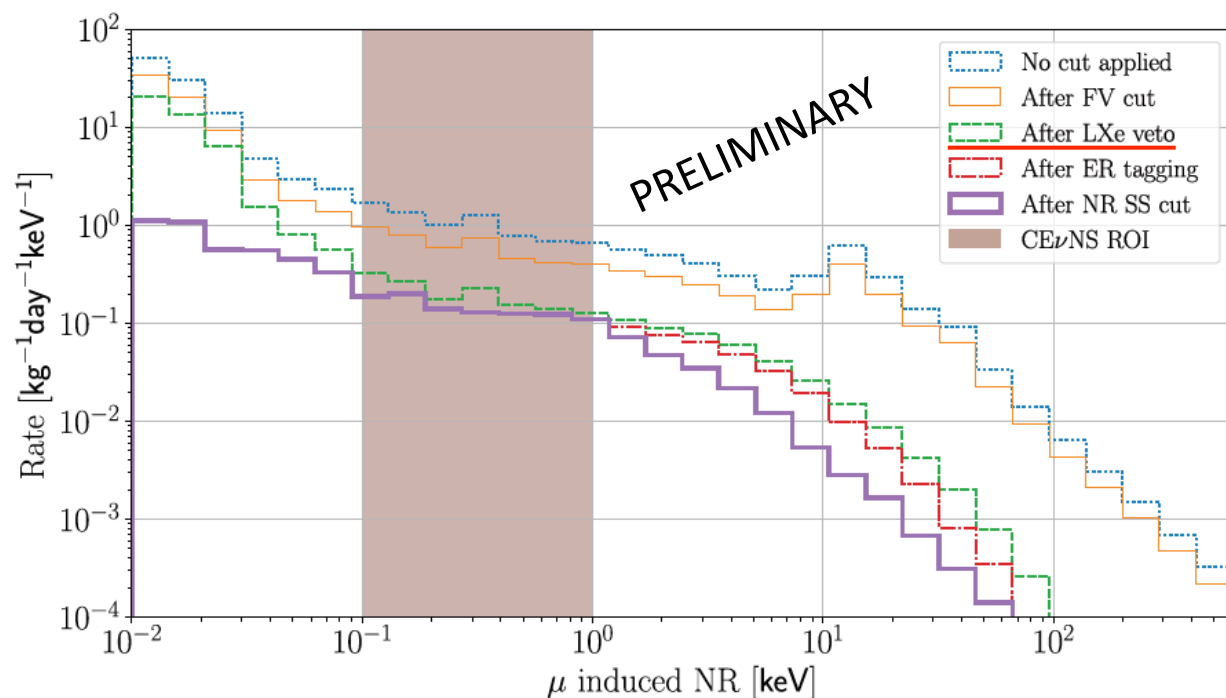


Muon反符合效率 > 99%



RELICS本底估计

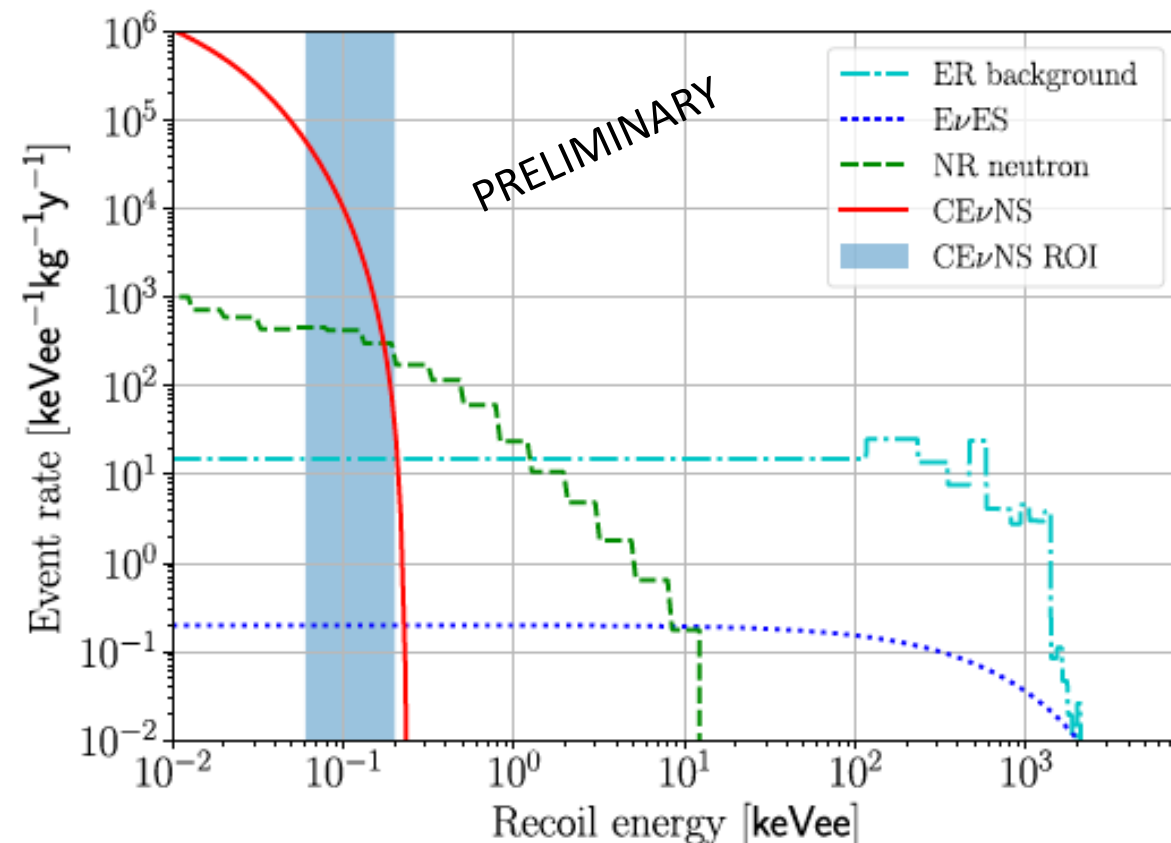
Muon引起的中子本底估计 (经过99%效率的Muon反符合)



NR: ~ 0.23 event/kg/day

ER: ~ 0.005 event/kg/day/keV

总体本底估计



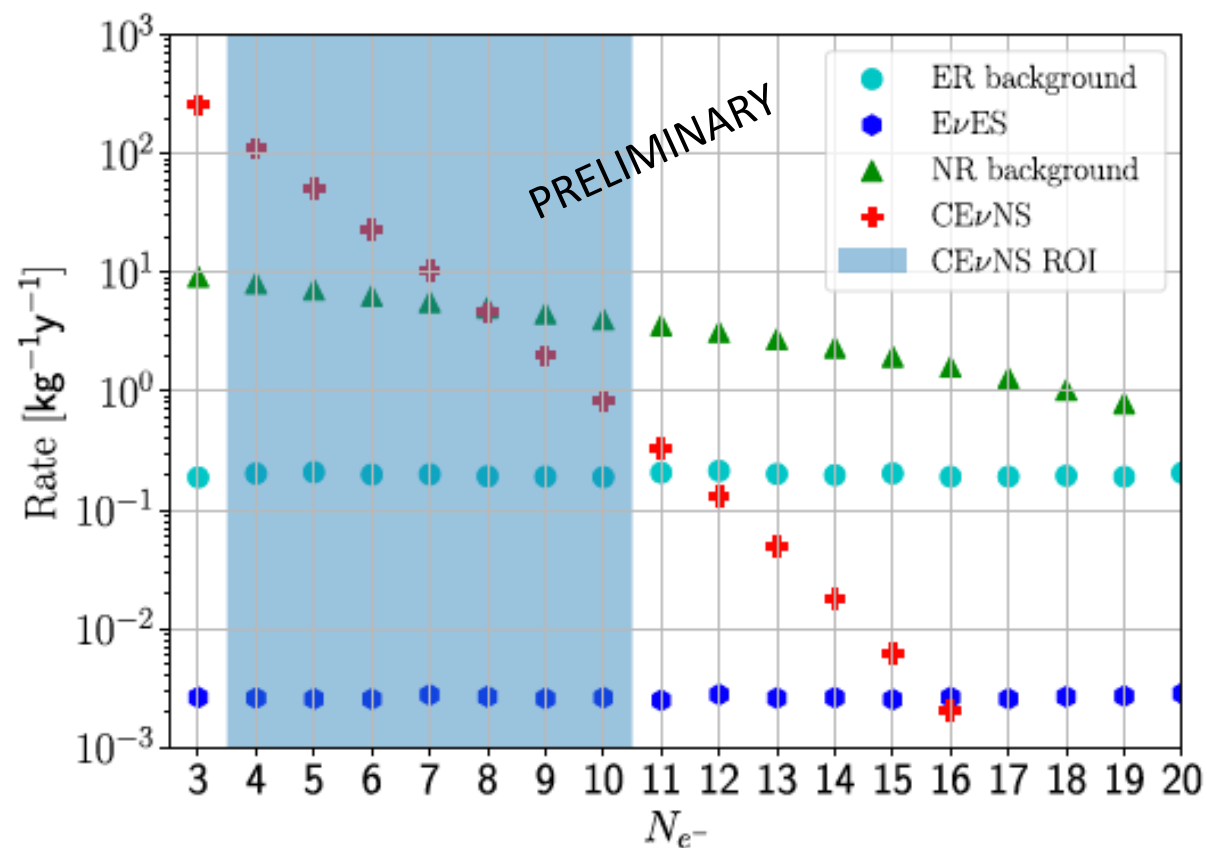
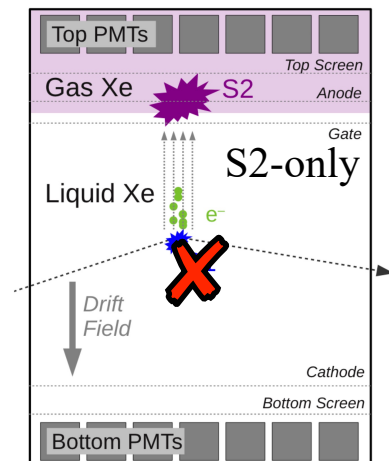
NR: < 0.3 event/kg/day

ER: < 0.05 event/kg/day/keV

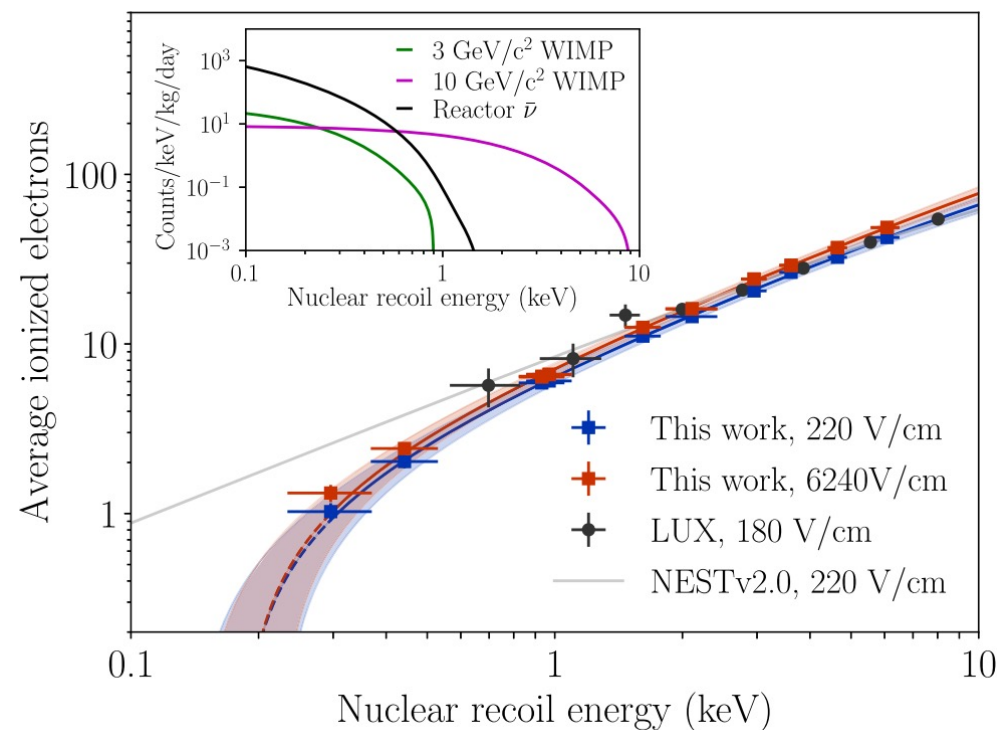
RELICS能量阈值

仅用电离信号分析：单电子探测灵敏度，4个电子分析阈值
(~100%探测效率)

核反冲能量阈值：<1 keV_{nr}



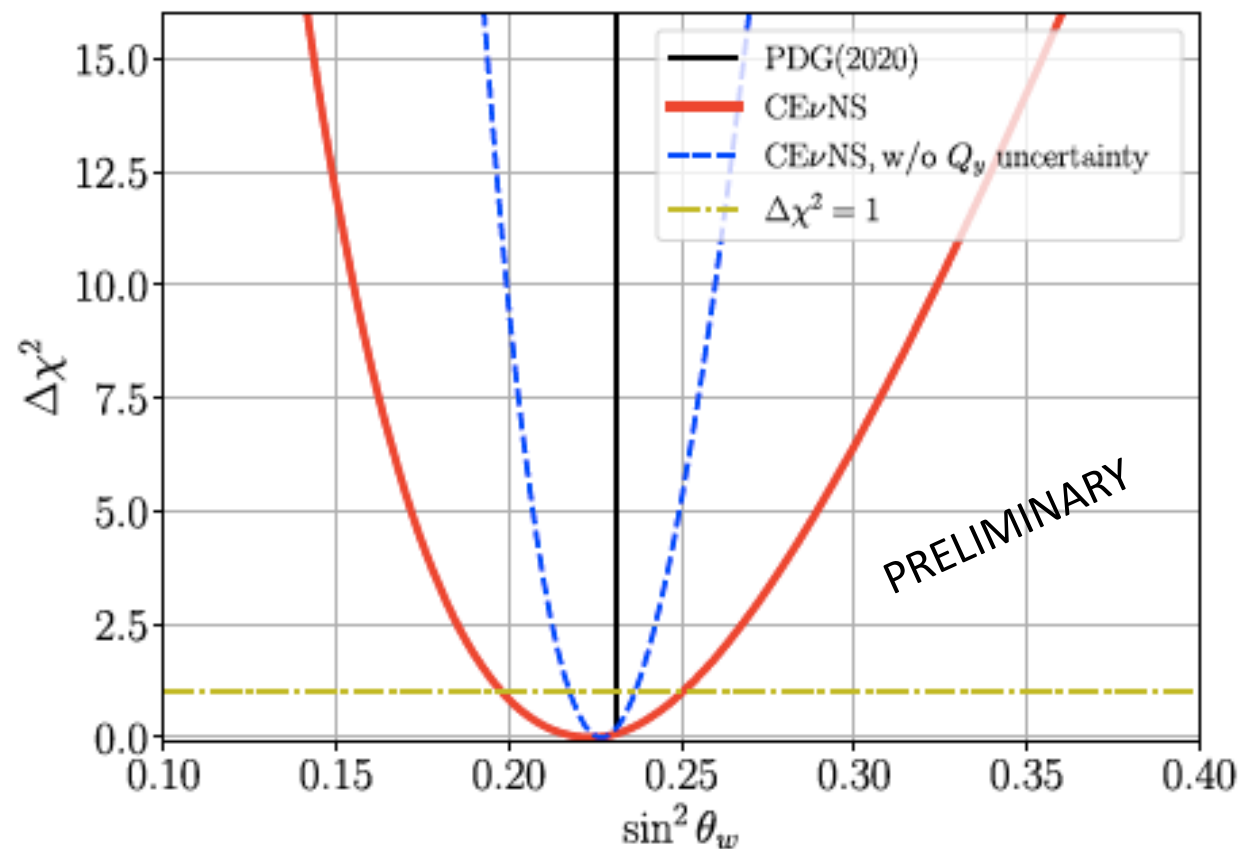
液氙探测器已经有1 keV以下核反冲信号的刻度



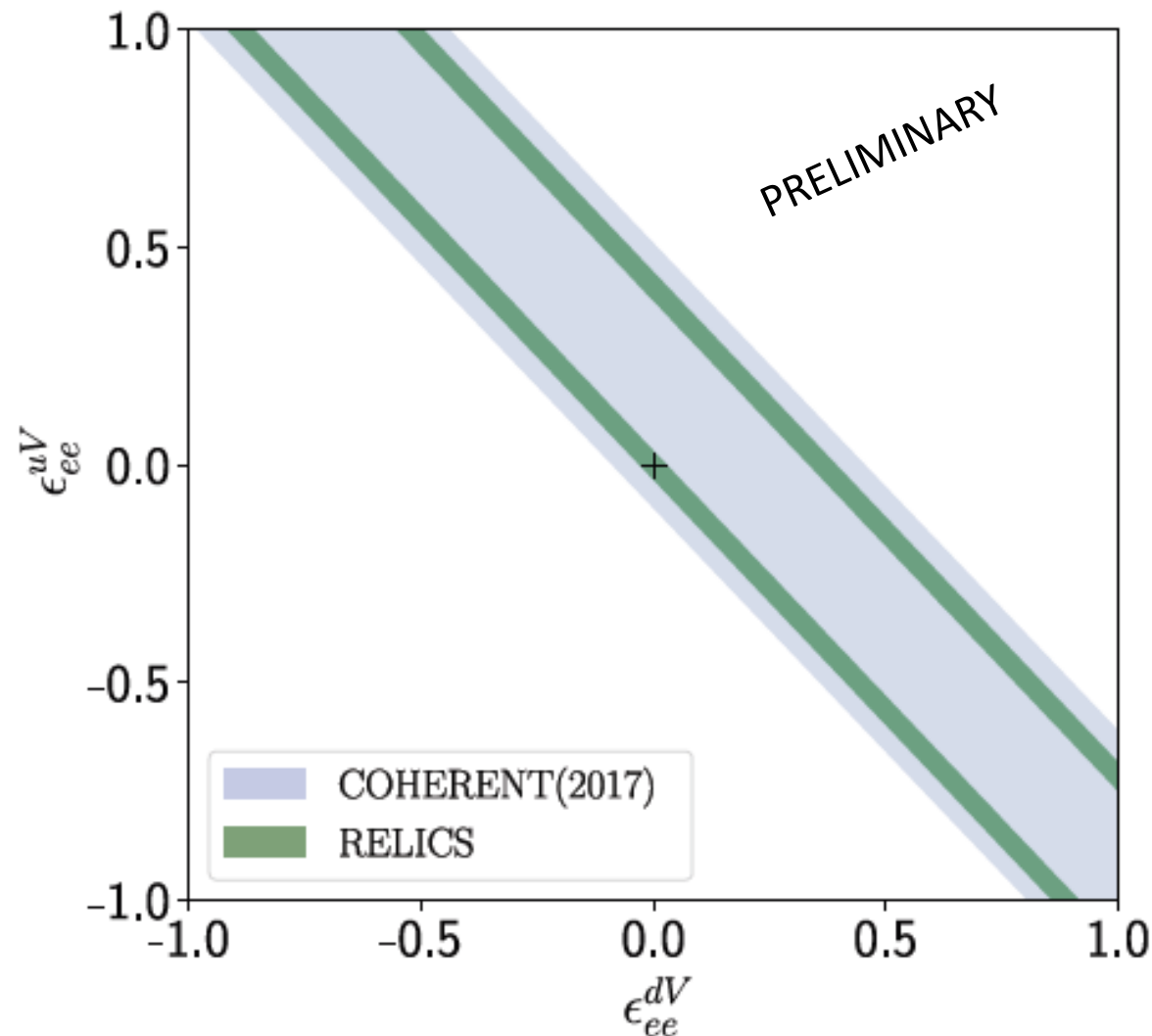
B. Lenardo *et al.*, Phys. Rev. Lett. 123, 231106 (2019)

RELICS预期结果 (30 kg*year)

测量低动量转移下的弱混合角

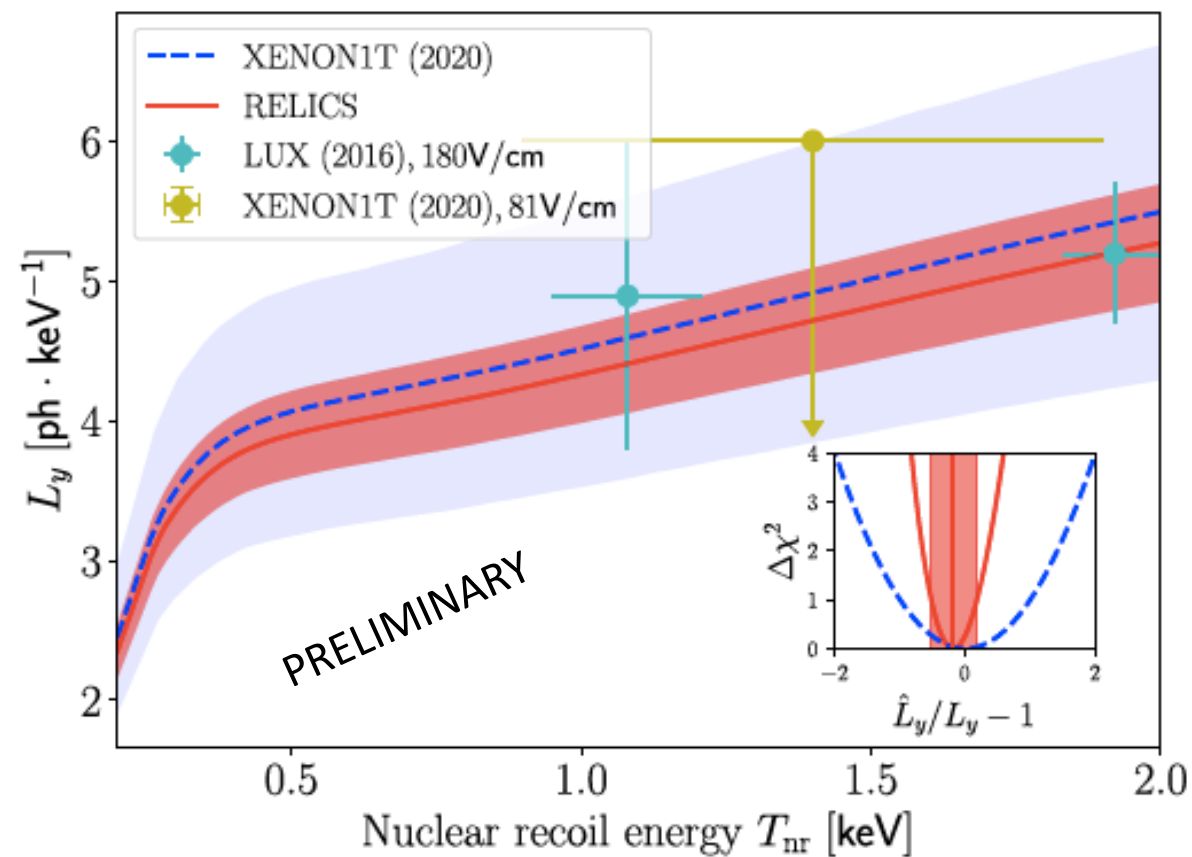
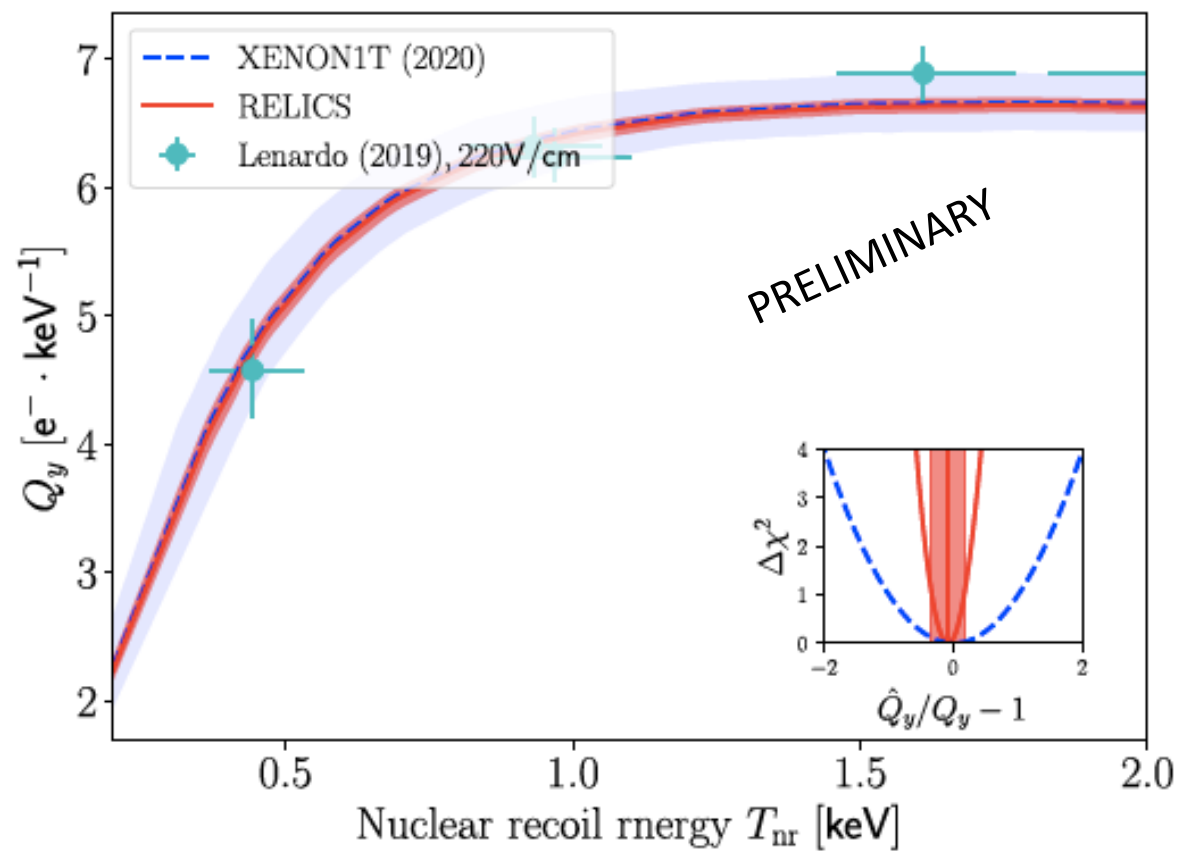


限制中微子-夸克非标准相互作用



RELICS预期结果 (30 kg*year)

测量液氙对于低能核反冲的发光产额和电离产额



总结与展望

- CE ν NS连接多个研究领域，具有丰富的物理目标和应用潜力
- RELICS是一个地面运行的低本底、低能量阈值的核反应堆中微子CE ν NS探测液氙实验
- 希望实现对反应堆中微子CE ν NS物理过程的精确测量

期待与实验和理论同行深度合作！

谢谢！

