



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

CICENNS 中微子相干散射实验进展与展望

黄振秀（中山大学）

on behalf of the CICENNS Collaboration

2026.7.16

CICENNS 合作组



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

➤ **CICENNS**: **CsI**(Na) detector for **C**oherent **E**lastic **N**eutrino **N**ucleus **S**cattering



中国散裂中子源
China Spallation Neutron Source



中国科学院近代物理研究所
Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences



- 项目首席科学家: Soo-Bong Kim
- 团队规模: ~20 位科研人员 | 6 个研究机构 | 中国 5 所 + 韩国 1 所

中微子-原子核相干弹性散射(CE ν NS)



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 9, NUMBER 5

1 MARCH 1974

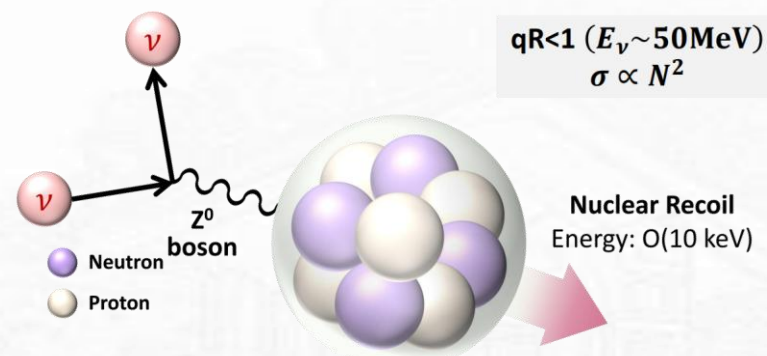
Coherent effects of a weak neutral current

Daniel Z. Freedman†

National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois 60510

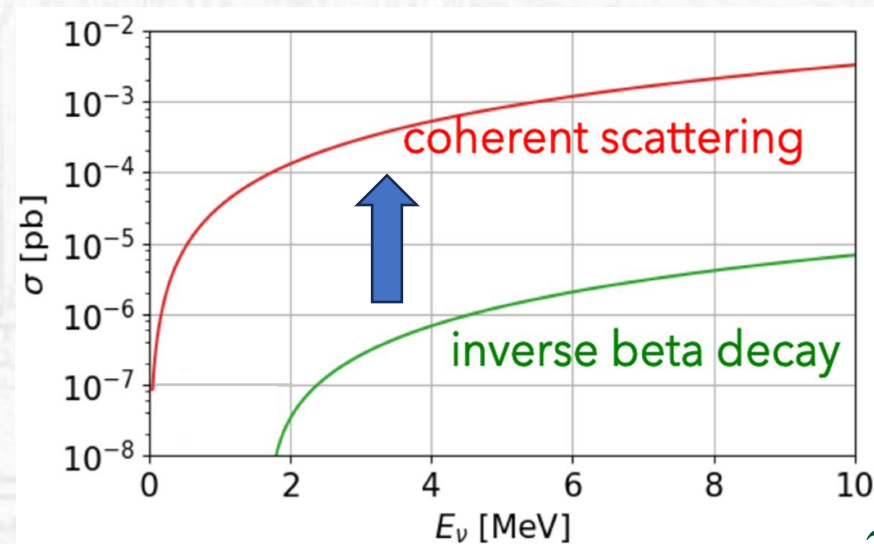
and Institute for Theoretical Physics, State University of New York, Stony Brook, New York 11790

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



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

- 1974年被预言，2017年被COHERENT实验首次观测。
- $qR < 1$ ，中微子无法分辨核内结构，与整个原子核发生相干散射。
- 截面增强： $\sigma \propto N^2$ ，远大于 IBD 过程（超过3个数量级）。
- 核反冲能量极低： $\sim \text{keV}$ 量级，需要极低阈值探测器和本底抑制。



300公斤CsI(Na)探测器探测中微子与原子核弹性相干散射实验

在中国散裂中子源
探测来自静止 π 介子/ μ 子衰变的中微子



➤ 精确测量

- CEvNS截面
- 弱相互作用混合角
- 原子核内中子分布半径

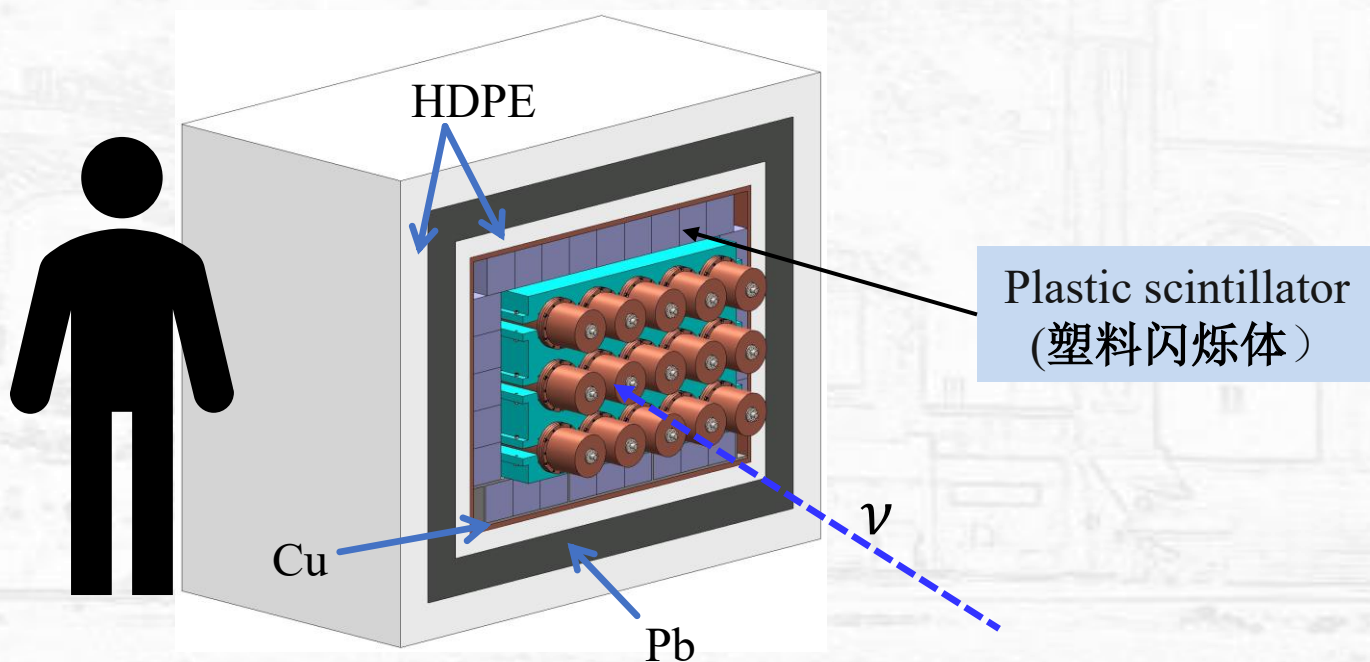
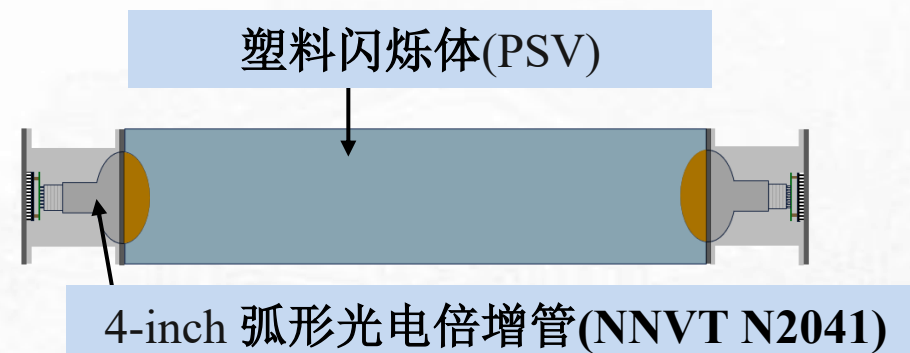
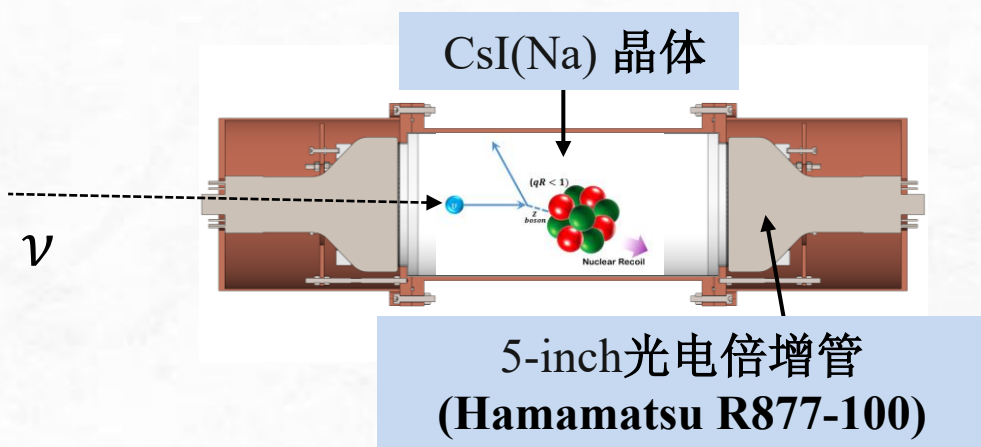
➤ 新物理的寻找

- 非标准（新）中微子相互作用(NSI)
- 新粒子搜寻：暗光子或亚GeV暗物质
- 中微子磁矩的新区域

CICENNS探测器示意图



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



- 中微子靶探测器CsI(Na) 晶体
 - 14 cm (ϕ) x 28.7 cm/个 20kg *15个
- 塑料闪烁体Veto
 - 135*25*15*cm *28块
 - 40*25*15*cm *4块
- 屏蔽材料: Cu、Pb、HDPE共25吨

CsI(Na) 晶体能量刻度

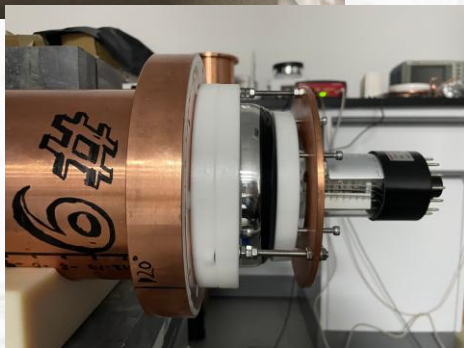


中山大学
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

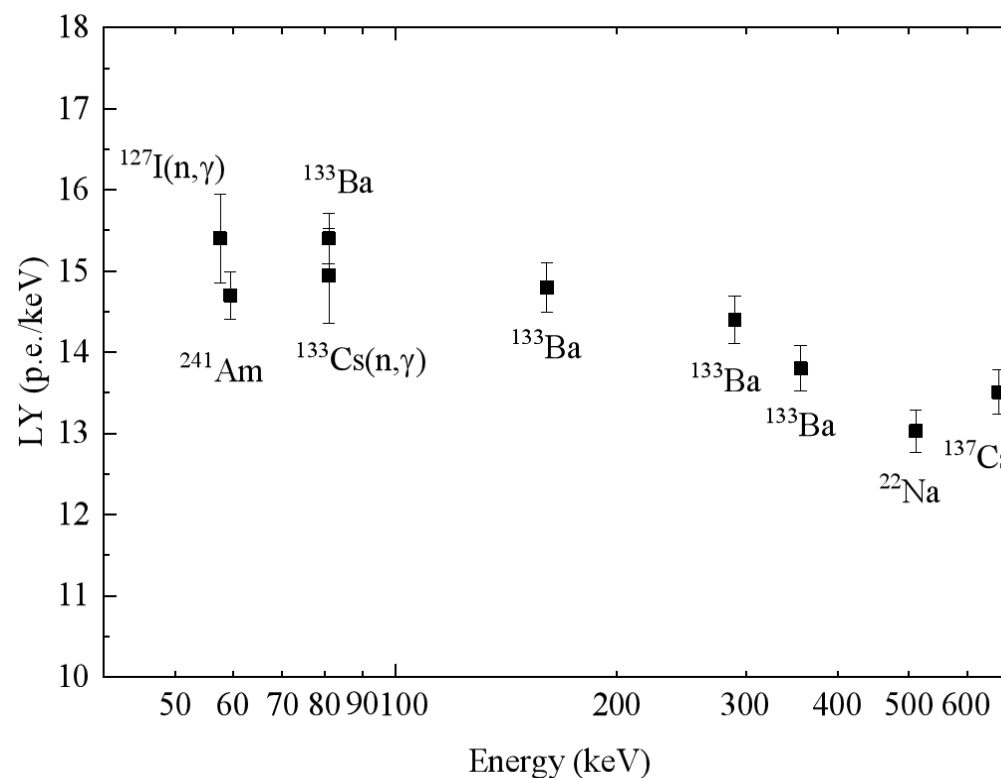
刻度装置与放射源



$^{241}\text{Am}/^{133}\text{Ba}/^{137}\text{Cs}/^{22}\text{Na}$ 源



能量刻度结果



- 光产额: $14.70 \text{ pe/keV}@^{241}\text{Am}$
- 光产额随能量非线性下降 (猝灭效应)

PSV的能量刻度



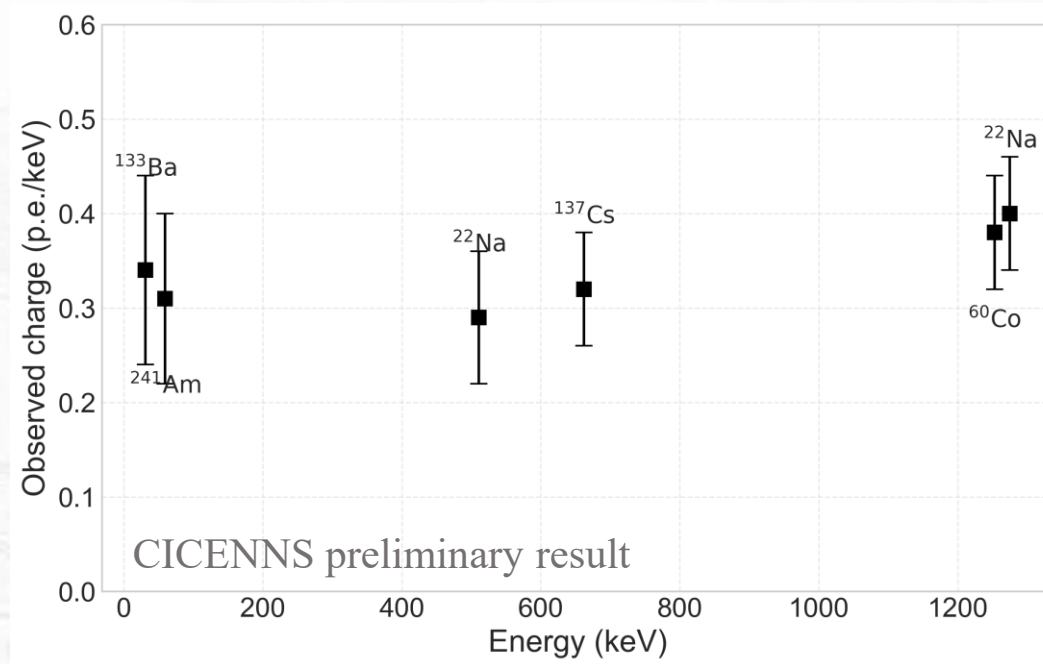
中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

能量刻度设置



$^{241}\text{Am}/^{133}\text{Ba}/^{137}\text{Cs}/^{22}\text{Na}/^{60}\text{Co}$ 源

能量刻度结果



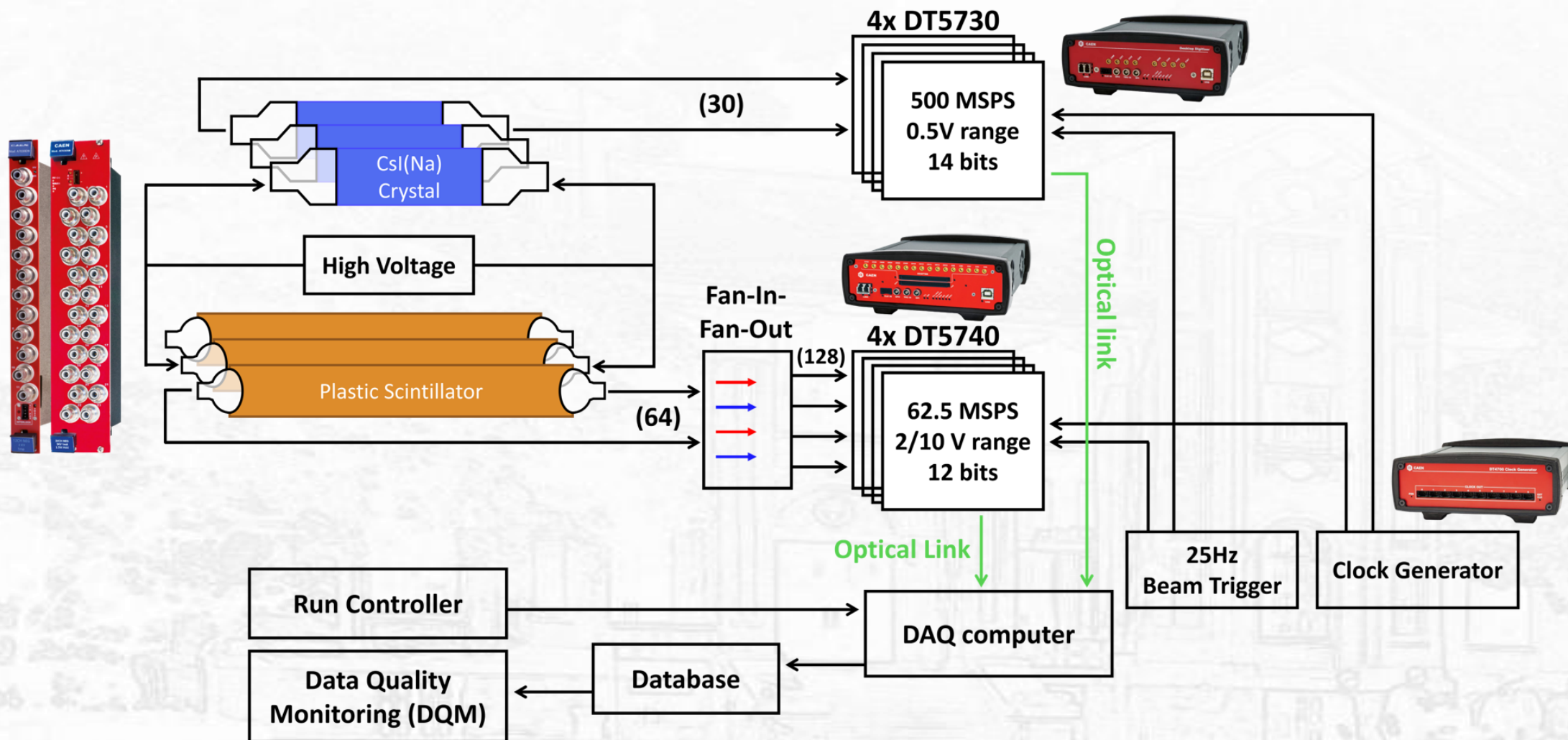
- 光产额: $0.34 \text{ p.e./keV}@^{137}\text{Cs}$
- 光产额线性分布, 基本不随能量变化

海报: 黄杰, 湛江厅

实验数据采集系统(DAQ)



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



中国散裂中子源(CSNS)



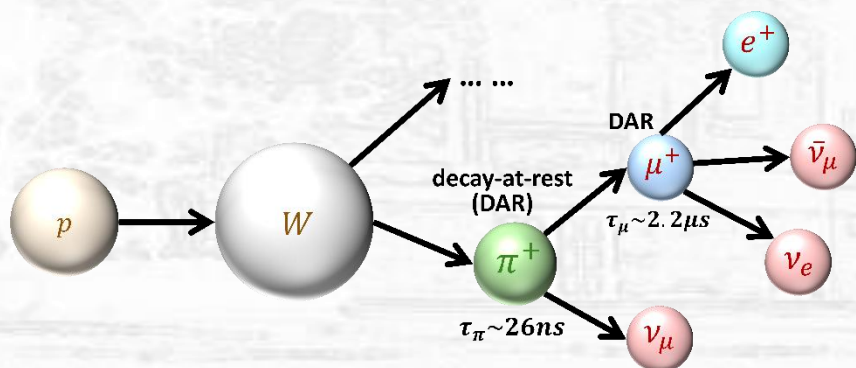
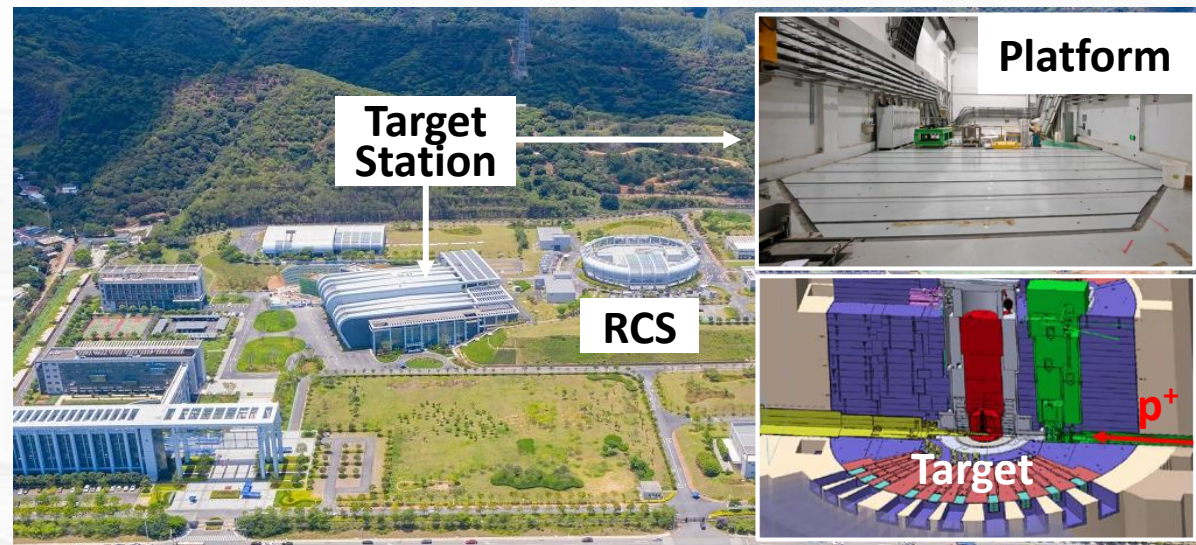
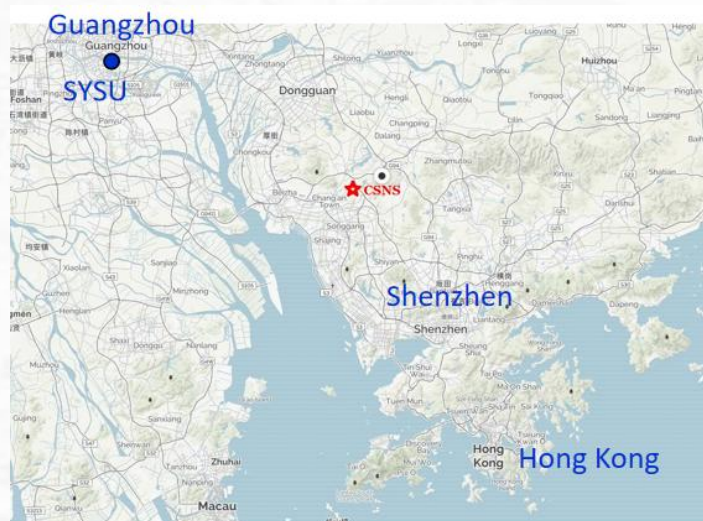
中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

- CICENNS 实验拟在散裂中子源顶部大厅进行。
- 1.6 GeV proton beam
- 180 kW
- 25 Hz repetition rate

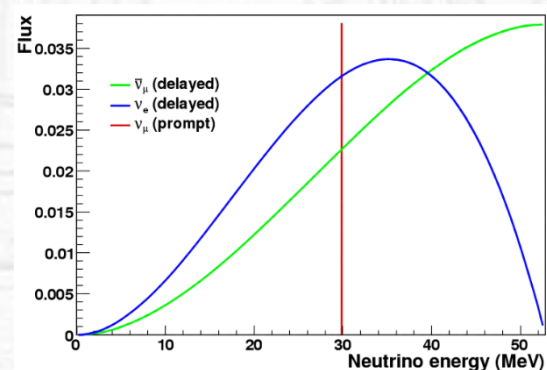


中国散裂中子源

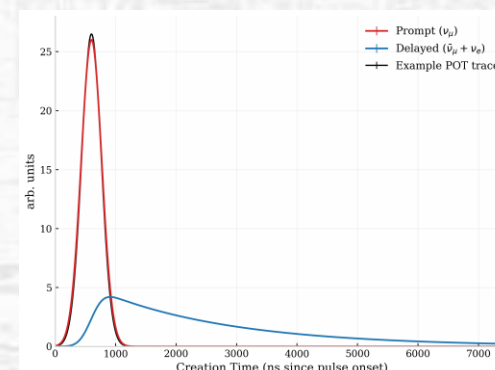
China Spallation Neutron Source



中微子能量分布



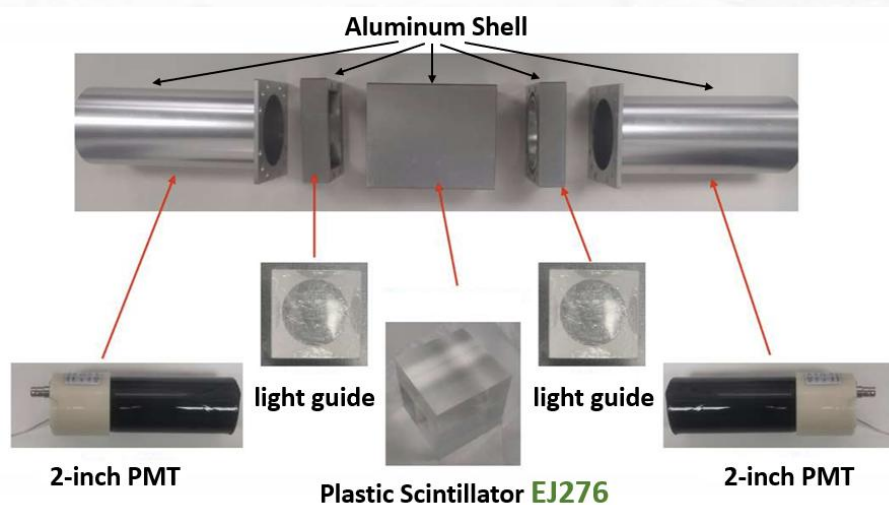
中微子时间分布



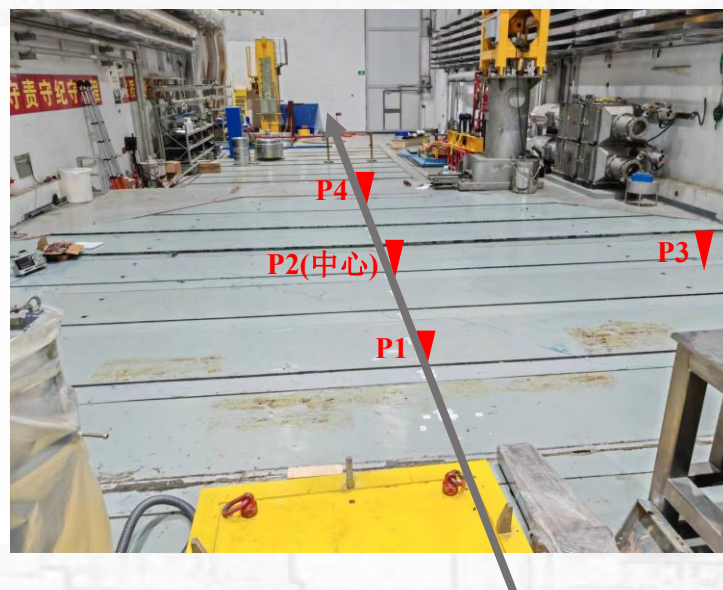
探测器位置选择

- 使用 $6*6*6\text{ cm}^3$ PSD塑料闪烁体探测器(可鉴别 γ 和中子)在顶部大厅进行位置扫描, **P1** 最佳, 本底最低, 距离钨靶~10.5m

PSD 探测器



测试位置



γ 和中子的事例率分布

Position	Gamma rate[/h]	Neutron rate[/h]
P1	301.1 ± 4.2	211.8 ± 3.3
P2	723.6 ± 9.3	635.4 ± 7.6
P3	329.5 ± 8.5	249.1 ± 5.8
P4	5504.4 ± 20.3	4995.1 ± 18.8

Neutrino flux at 10.5 m: $6.71 \times 10^6/\text{cm}^2/\text{s}/\text{flavor}$ (~40% of COHERENT)

详细报告: 郭学康 Jul 16, 2:40PM 湛江厅

CsI(Na)与PSV在CSNS中的测量

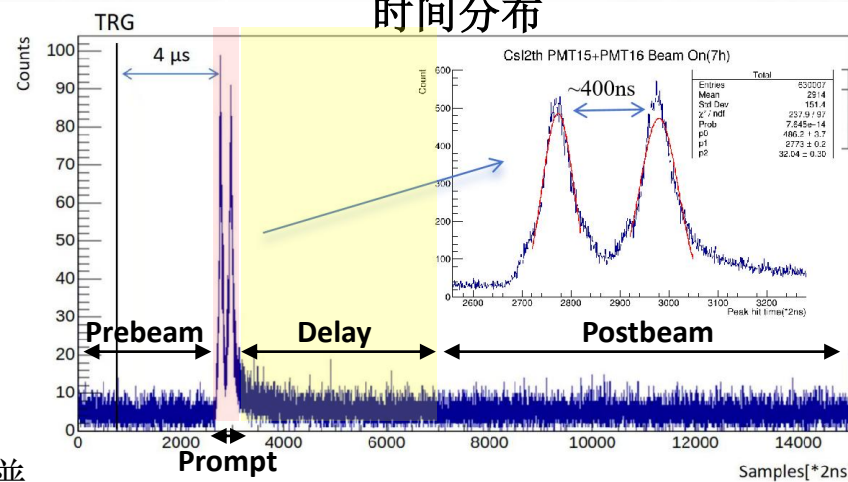


中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

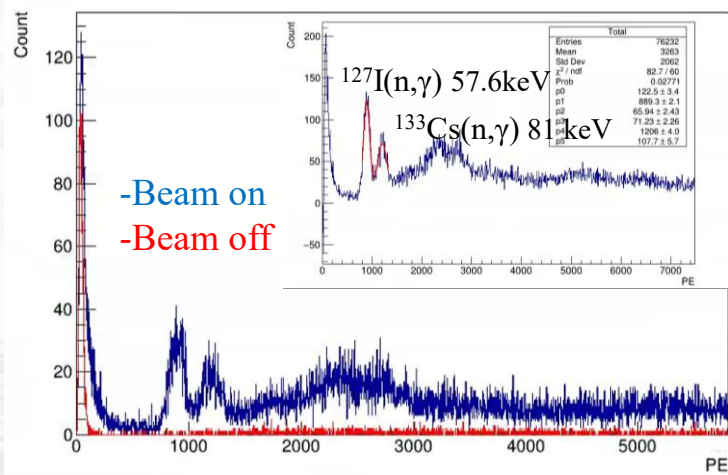
探测器位置



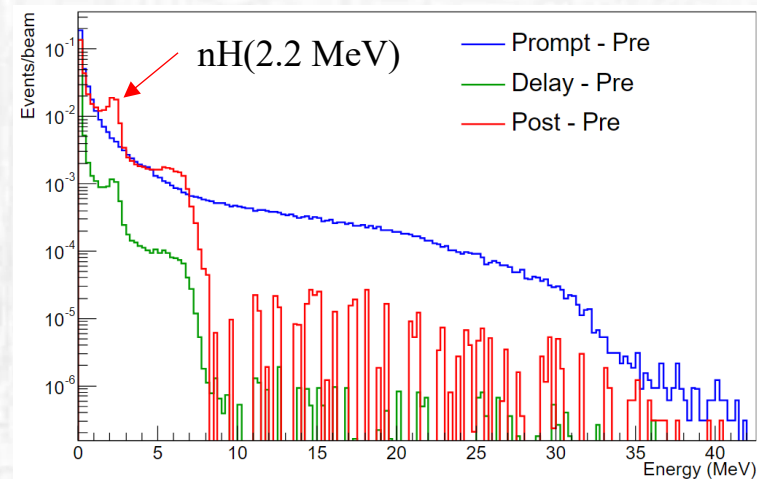
时间分布



CsI(Na) 能谱



PSV 能谱



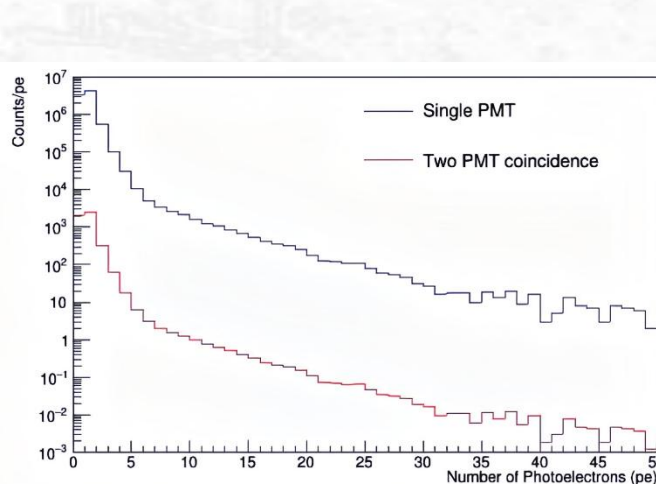
- 利用CSNS束流结构，划分Prebeam / Prompt / Delay / Post四窗口，实现瞬发信号、延迟信号与束流本底的时域分离。
- CsI(Na): 热中子被 Cs 和 I 原子俘获，发射57.6 和 81 keV γ 。
- PSV: 热中子被 H 俘获，发射2.2 MeV γ 。

CICENNS实验的本底

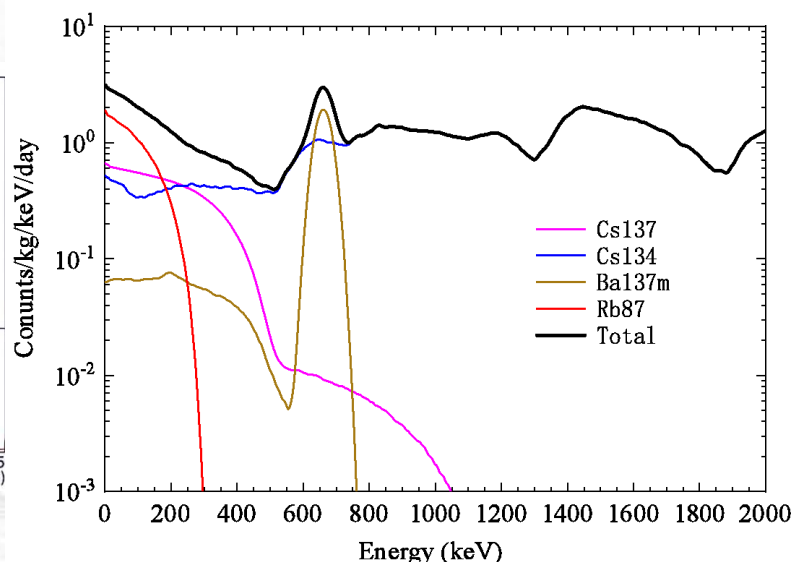


中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

来源	抑制/评估方法
束流相关的快中子	利用PSV鉴别与反符合，正在测量
PMT 暗噪声	在晶体两端各放置两个PMT，可使噪声降低3个数量级
CsI(Na)内部放射性本底	提纯（对于 ^{87}Rb ，与COHERENT比降低了20倍）
中微子诱导中子	Geant4模拟评估，能谱拟合扣除
环境 γ /中子	Pb, Fe, HDPE 等屏蔽材料屏蔽，PSV鉴别与反符合
宇宙射线 μ 子诱导的中子和 γ 射线	PSV veto (可忽略)



单端/双端PMT暗噪声分布



Geant4 内部放射性本底模拟

CsI(Na)内部放射性本底含量（锦屏/北大核实验室）

Isotopes	^{238}U (ppt)	^{232}Th (ppt)	^{87}Rb (ppb)	^{137}Cs (mBq/kg)	^{134}Cs (mBq/kg)
CICENNS	63 ± 25	14 ± 5	0.77 ± 0.04	2.27 ± 2.22	23.1 ± 3.0
COHERENT	<1000	<1000	~20	28 ± 3	26 ± 2

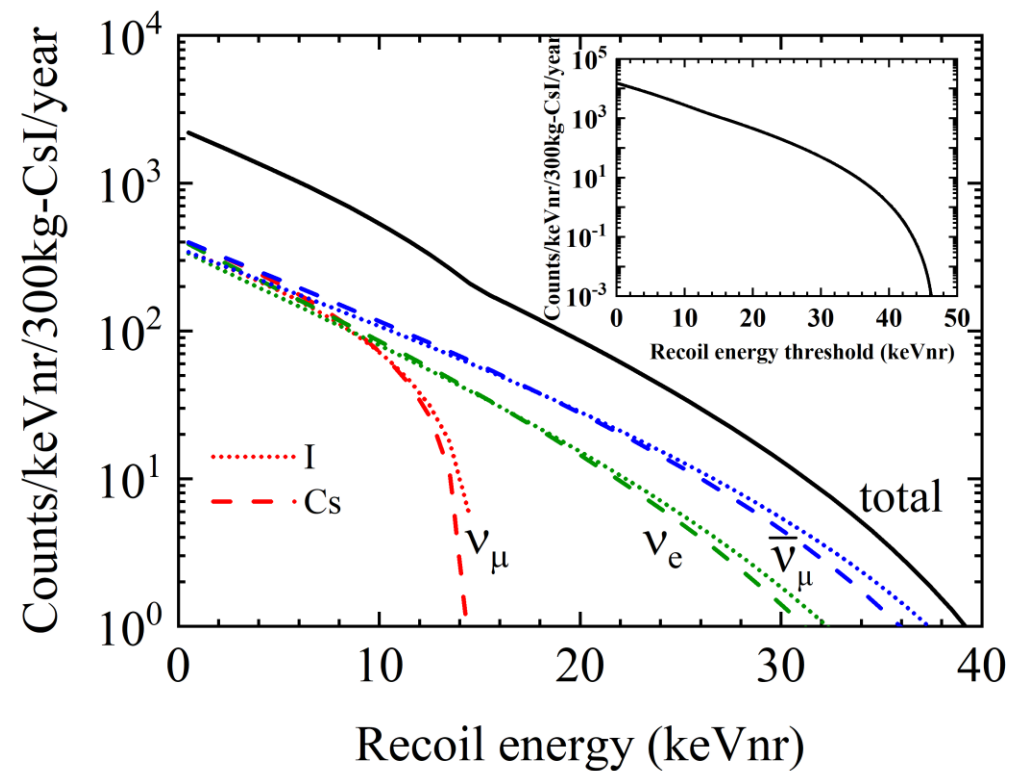
CEvNS 信号预期



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

- 最大核反冲能: $45 \text{ keV}_{\text{nr}}$
- COHERENT 14.6 kg CsI(Na) 晶体:
306 CEvNS events
(PRL 129, 081801, 2022)
- CICENNS 实验中 300 公斤探测器的年预期
CEvNS 事例率:

在 $5 \text{ keV}_{\text{nr}}$ 能量阈值以上, 预期事例数: 4950 个
在 $3 \text{ keV}_{\text{nr}}$ 能量阈值以上, 预期事例数: 6450 个
(~20倍于 COHERENT)

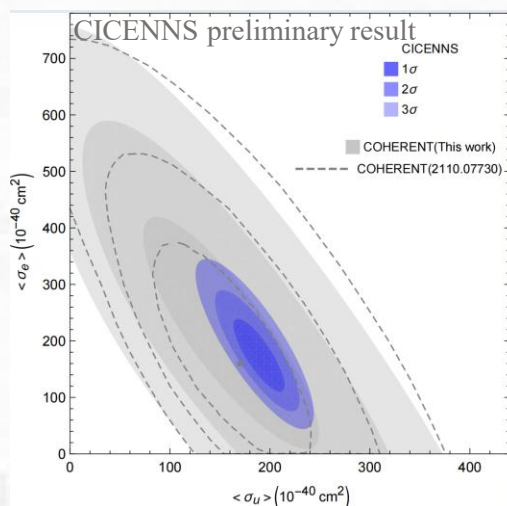


CICENNS 实验结果预期

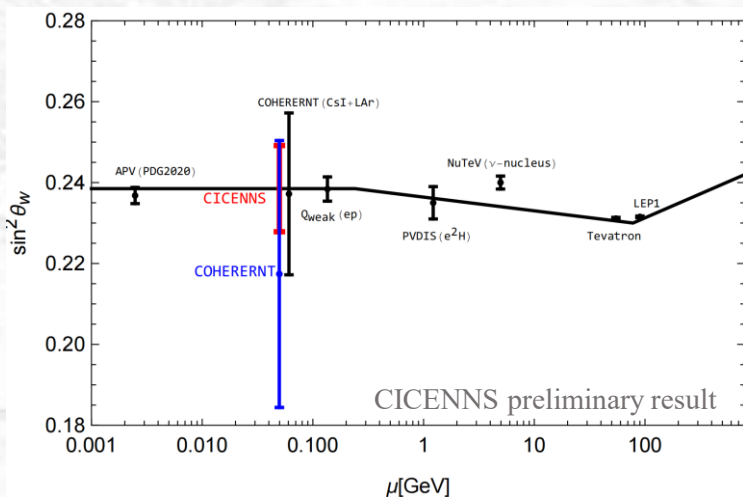


中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

CEvNS反应截面



弱混合角



COHERENT

CICENNS

CEvNS 反应截面

+18 or -15%

$\pm 8\%$

弱混合角

$\pm 10\%$

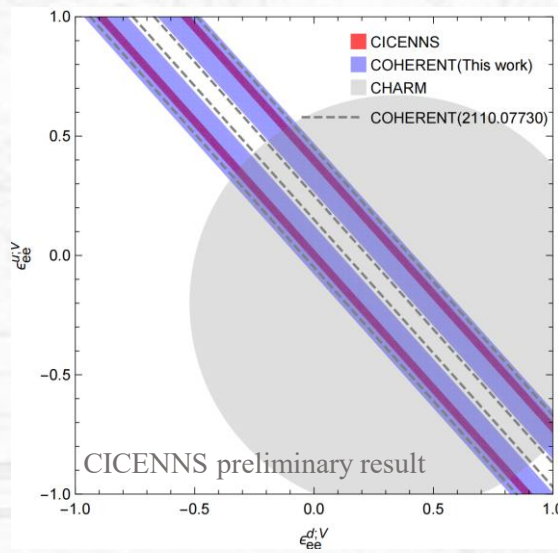
$\pm 3\%$

中子分布半径

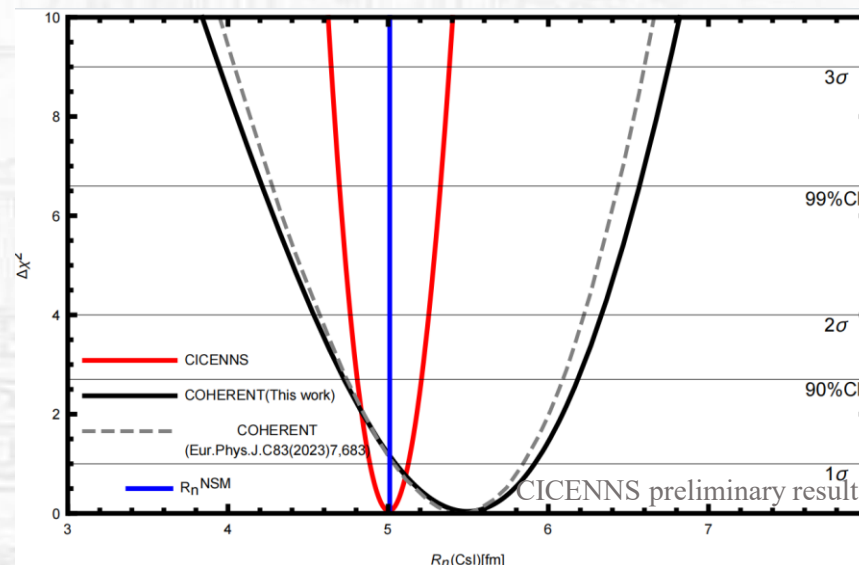
$\pm 8\%$

$\pm 2\%$

NSI的研究



中子分布半径



实验进展与计划



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

2026

- 完成所有CsI(Na)和PSV组装
- 在中山大学组装完整探测器并调试
- 在散裂中子源顶部大厅组装，并开始取数

2027

- 继续取数
- 得到物理结果



- CICENNS 实验已完成探测器关键技术验证（DAQ取数、能量刻度、位置重建、晶体验收、选址测量），为后续 300 kg CsI(Na) 探测器在 CSNS 的 CE ν NS 精确测量和新物理搜寻奠定了坚实基础。
- 预计下半年在散裂中子源正式取数，预计在 4~5 keV $_{nr}$ 的核反冲能量阈值下，运行一年获得约 5000 个信号事例。