

Contribuição Brasileira em JUNO



Workshop RENAFAE

Pietro Chimenti

Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brazil

Hiroshi Nunokawa

Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brazil

For the JUNO Collaboration

Plano:

- Introdução ao JUNO: instituições, objetivos científicos, detector
- O sistema SPMT
- A contribuição brasileira: aspectos institucionais e históricos
- Planos para os próximos anos
- Conclusões

JUNO: a colaboração



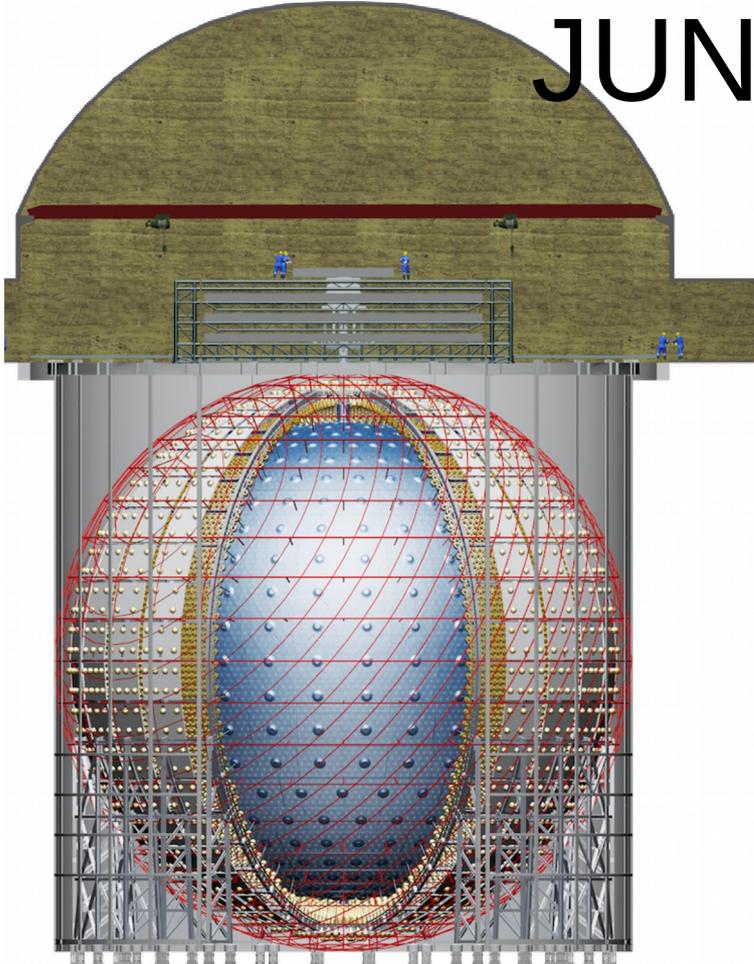
77 instituições
660 colaboradores

4 instituições na
América latina

UEL:
- 1 Prof. (colaborador)
- 6 estudantes envolvidos:
3 IC, 2 mestr., 1 dout.
PUC:
- 1 Prof. (colaborador)
- 2 estudantes dout.

Country	Institute	Country	Institute	Country	Institute
Armenia	Yerevan Physics Institute	China	IMP-CAS	Germany	FZJ-IKP
Belgium	Universite libre de Bruxelles	China	SYSU	Germany	U. Mainz
Brazil	PUC	China	Tsinghua U.	Germany	U. Tuebingen
Brazil	UEL	China	UCAS	Italy	INFN Catania
Chile	PCUC	China	USTC	Italy	INFN di Frascati
Chile	UTFSM	China	Ú. of South China	Italy	INFN-Ferrara
China	BISEE	China	Wu Yi U.	Italy	INFN-Milano
China	Beijing Normal U.	China	Wuhan U.	Italy	INFN-Milano Bicocca
China	CAGS	China	Xi'an JT U.	Italy	INFN-Padova
China	ChongQing University	China	Xiamen University	Italy	INFN-Perugia
China	CIAE	China	Zhengzhou U.	Italy	INFN-Roma 3
China	DGUT	China	NUDT		
China	ECUST	China	CUG-Beijing	Latvia	IECS
China	Guangxi U.	China	ECUT-Nanchang City	Pakistan	PINSTECH (PAEC)
China	Harbin Institute of Technology	Croatia	UZ/RBI	Russia	INR-Moscow
China	IHEP	Czech	Charles U.	Russia	JINR
China	Jilin U.	Finland	University of Jyväskylä	Russia	MSU
China	Jinan U.	France	IJCLab Orsay	Slovakia	FMPICU
China	Nanjing U.	France	CENBG Bordeaux	Taiwan-China	National Chiao-Tung U.
China	Nankai U.	France	CPPM Marseille	Taiwan-China	National Taiwan U.
China	NCEPU	France	IPHC Strasbourg	Taiwan-China	National United U.
China	Pekin U.	France	Subatech Nantes	Thailand	NARIT
China	Shandong U.	Germany	FZJ-ZEA	Thailand	PPRLCU
China	Shanghai JT U.	Germany	RWTH Aachen U.	Thailand	SUT
China	IGG-Beijing	Germany	TUM	USA	UMD-G
China	IGG-Wuhan	Germany	U. Hamburg	USA	UC Irvine

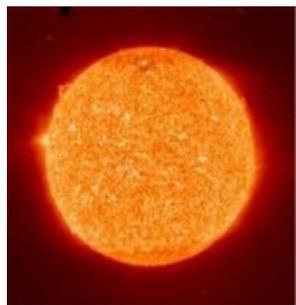
JUNO: intro



- > Detector de cintilador liquido
- > Parâmetros característicos:
Massa e Resolução

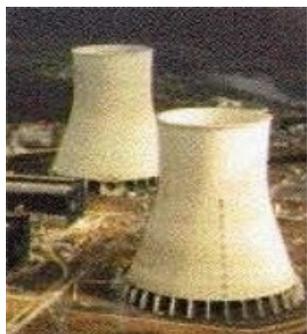
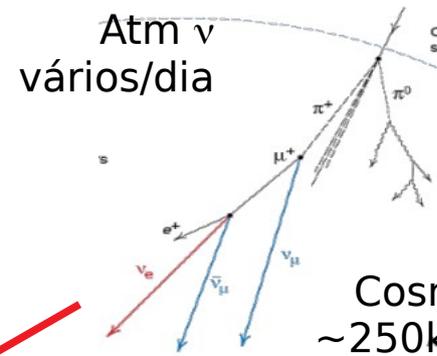
Experimento	Massa do alvo	Resolução
DC/DYB/RENO	0.02 kt	8%
Borexino	0.3 kt	5%
KamLAND/SNO+	1 kt	6%
JUNO	20 kt	3%

Objetivos científicos



Solar ν
(10~1000)/dia

Supernova ν
 $\sim 10^4$ in 10s
(@10kpc)



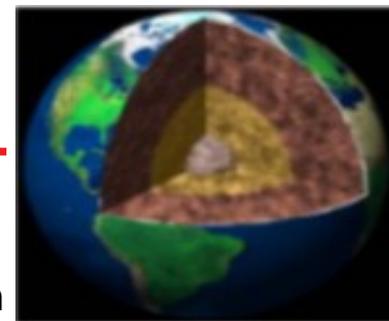
Reactor ν

14/07/2021 $\sim 60/day$

Decaimento
do proton



Geo ν
(1~2)/dia



Detector Design

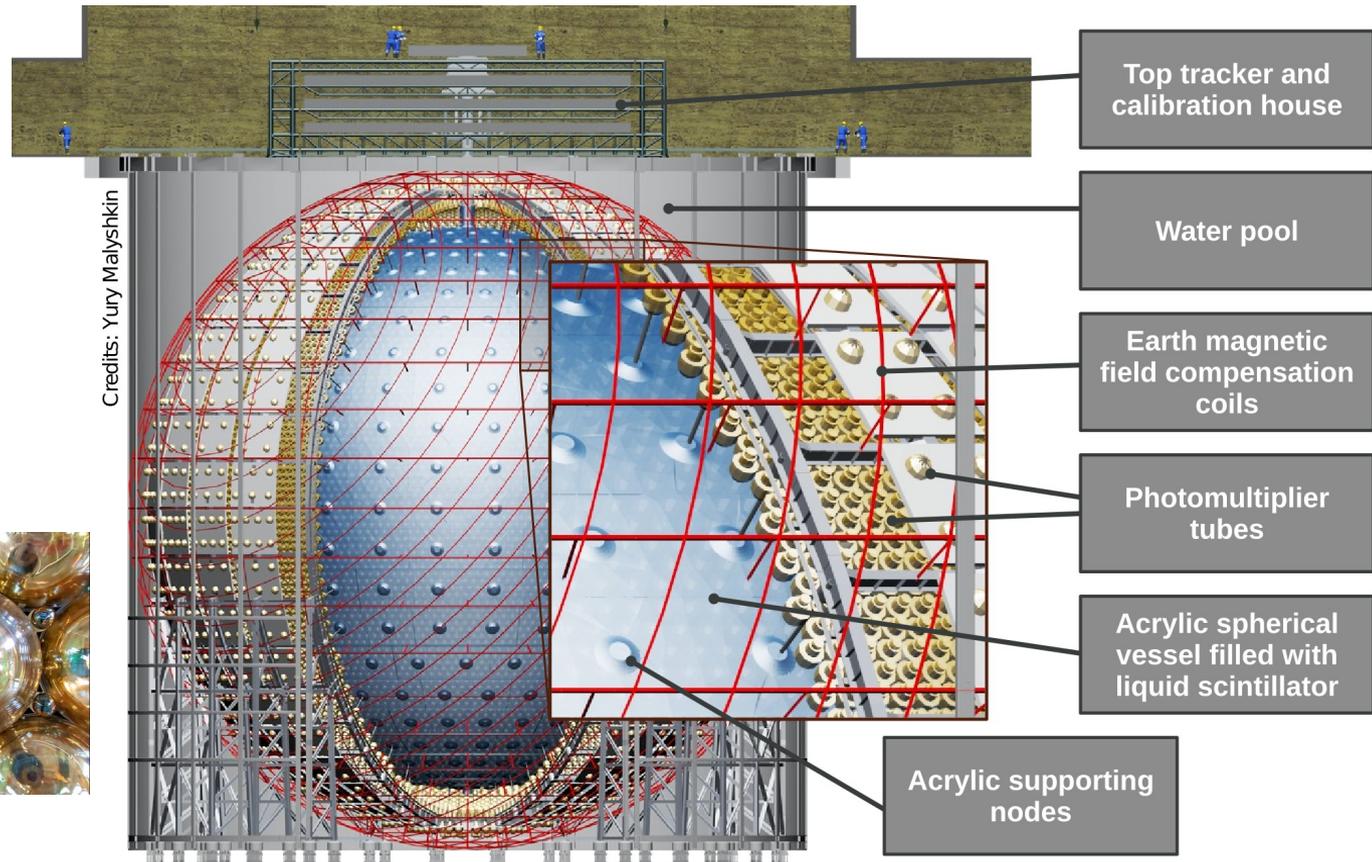


Elementos de destaque:

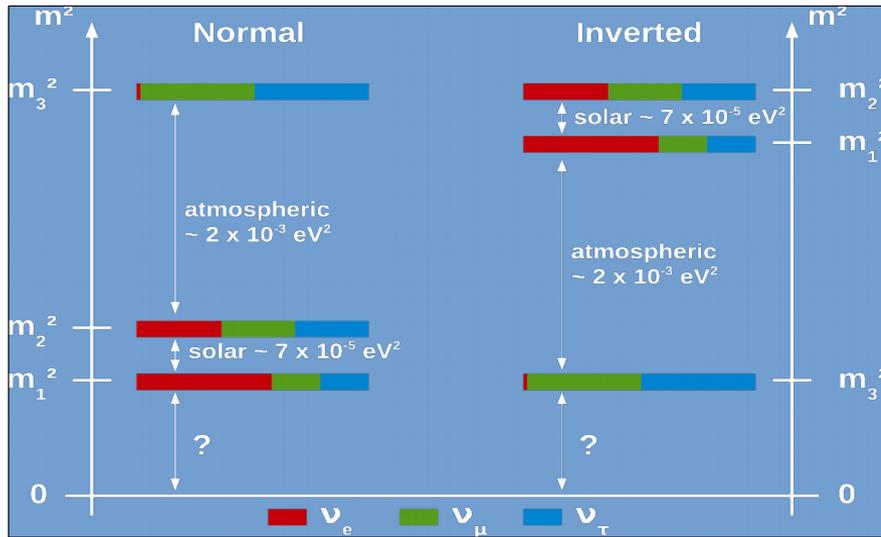
Cintilador liquido

- Não dopado
- Alta transparência (>20m)
- Alta eficiência luminosa (~ 10^3 Fótons/MeV)

Dois sistemas de **Fotomultiplicadoras**:
18k de 20 polegadas
26k de 3 polegadas



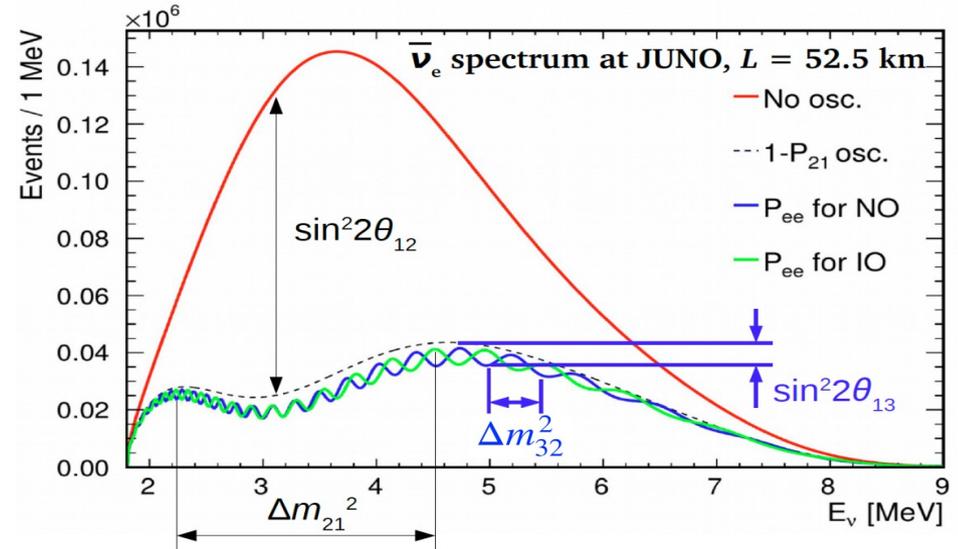
Medidas de Oscilação de ν



-> Determinação do Ordenamento das Massas dos Neutrinos

- Medida da estrutura fina do padrão de oscilação

- > 3σ após 6 anos de dados



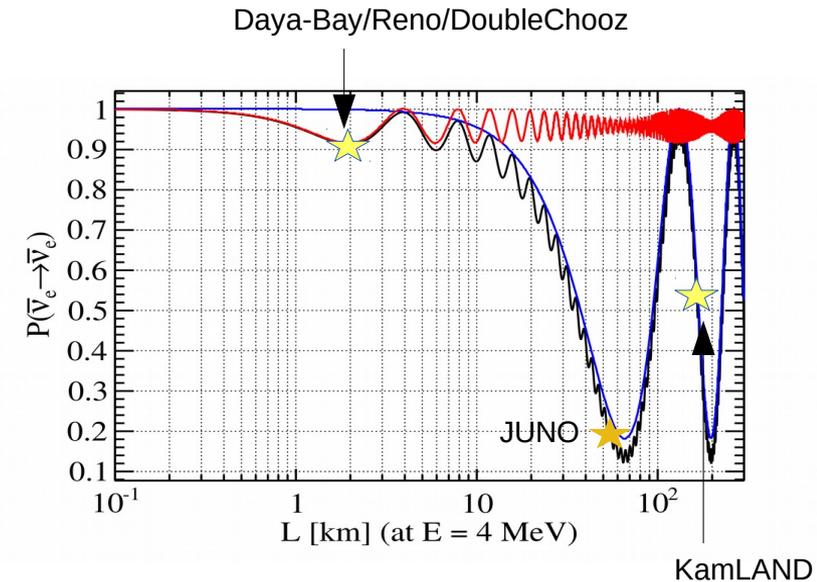
-> Medidas de Δm_{31}^2 , Δm_{21}^2 e θ_{12} com 1% de precisão ou melhor

- Nova era de medidas de precisão para além do modelo padrão e testes de unitariedades

A posição experimental



$$P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e} = 1 - \sin^2 2\theta_{13} \left(\cos^2 \theta_{12} \sin^2 \frac{\Delta m_{31}^2 L}{4E} + \sin^2 \theta_{12} \sin^2 \frac{\Delta m_{32}^2 L}{4E} \right) - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E}$$

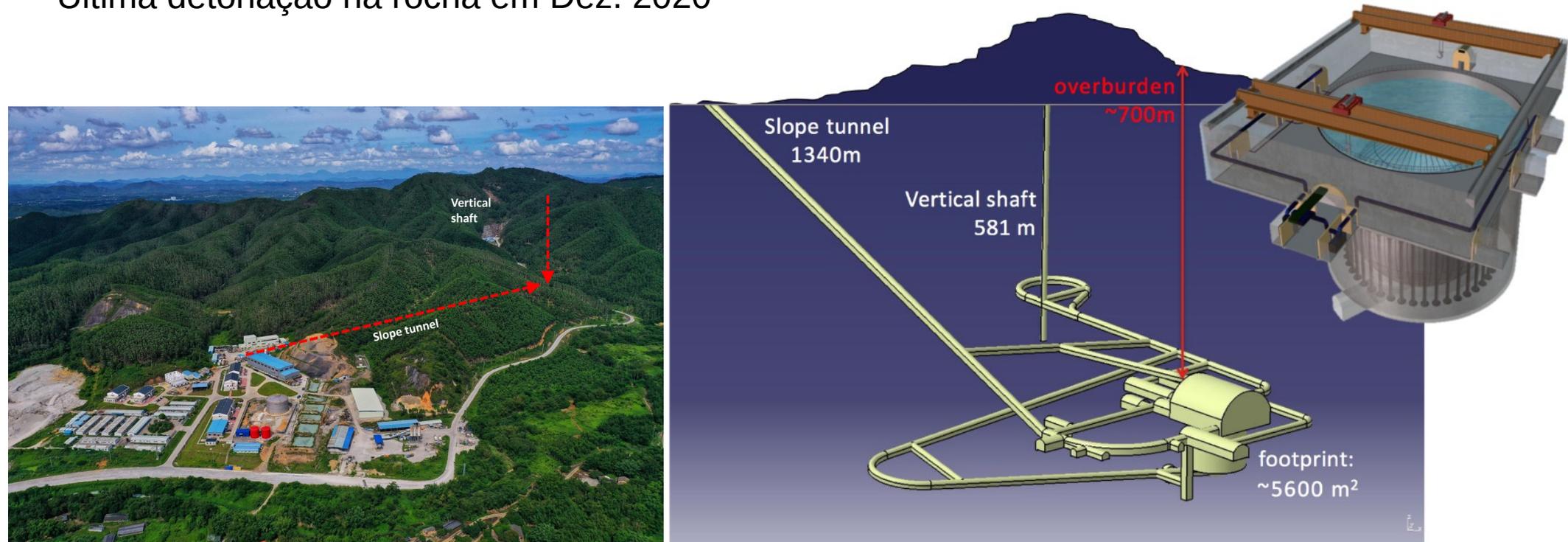


Cores	YJ-1	YJ-2	YJ-3	YJ-4	YJ-5	YJ-6	TS-1	TS-2	DYB	HZ
Power (GW)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	4.6	4.6	17.4	17.4
Baseline(km)	52.74	52.82	52.41	52.49	52.11	52.19	52.77	52.64	215	265

A construção civil



Laboratório subterrâneo (700m “overburden”) em construção desde 2014
Última detonação na rocha em Dez. 2020



14/07/2021

RENAFAE WORKSHOP 2021 -
pietro.chimenti@uel.br

Resolução em energia



-> 3% @ 1 MeV!!

-> forte requerimento de alto número de fótoelectrons detectados

-> Diferentes técnicas para resolver este problema:

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{STOCH}}^2}{E} + \sigma_{\text{NON-STOCH}}^2}$$

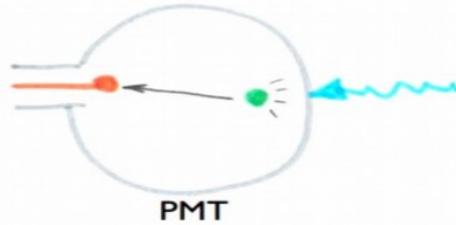
Estratégia de Calibração:
10.1007/JHEP03(2021)004

	KamLAND	JUNO	Ganho Relativo
Nível de Luz Total	250 p.e. / MeV	1345 p.e. / MeV	5
Cobertura de Fotocatodo	34%	75%+3%(LPMT+SPMT)	~2
Efficiência de Luz	1.5 g/l PPO	2.5 g/l PPO	~1.5
Comprimento de atenuação / R	15/16 m	25/35 m	~0.8
PMT QE _x CE	20% x 60% ~ 12%	~30%	~2

As fotomultiplicadoras de 20 polegares permitem de atingir a alta cobertura reduzindo os custos.

Dois regimes de trabalho

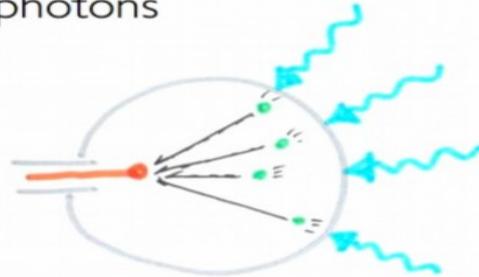
Single photon



Output signal seen from FADC



Multiple photons



SPMTs

-> Termo sistemático sob controle ($\leq 1\%$)

-> 25,600 3-inch PMTs trabalhando

principalmente em modalidade “photon-counting” para energias menores de 10MeV: complementar aos LPMTs

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{STOCH}}^2}{E} + \sigma_{\text{NON-STOCH}}^2}$$

($\leq 1\%$ nunca alcançado antes)



-> Outros benefícios dos PMTs:

- Medidas parcialmente independentes (e.g. param. solares)
- Ajuda na reconstrução de vértices e dos traços de múon
- Ajuda na medida de neutrinos de SN (alto rate)
- Maior intervalo dinâmico
- Boa resolução temporal

JUNO TAO

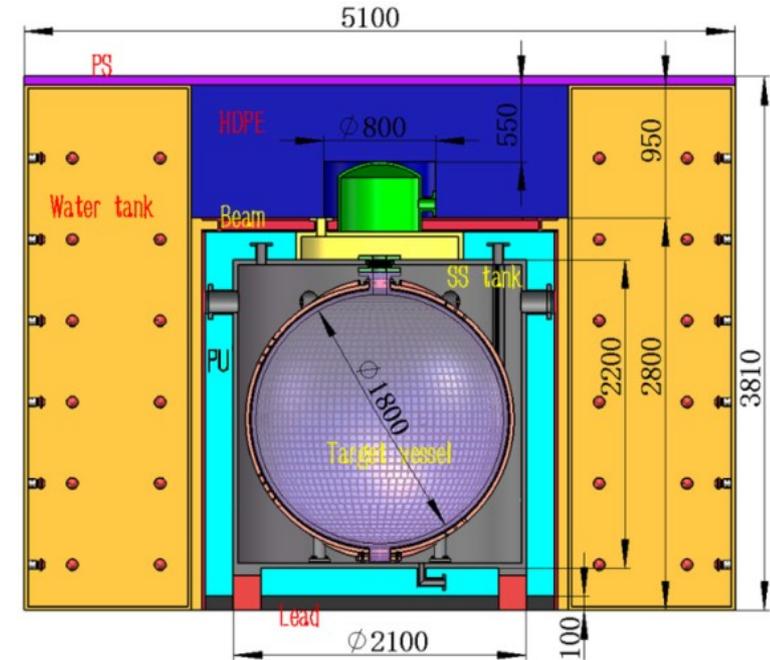


-> Taishan Antineutrino Observatory

- ~30 m de um reator de 4.6 GW_{th}
- 1 ton Gd-LS @ -50°C
- 2,000 IBD's/dia
- 10 m² SiPM (>95% photo-coverage)
- resolução em energia: < 2% @ 1 MeV!!! (4500PE/MeV)

-> Medir o espectro dos antineutrinos com resolução extraordinária

- *Benchmark* para JUNO e outros projetos
- Busca de neutrinos estéreis
- Estudar a evolução do espectro de acordo com o combustível nuclear
- Previsão *online* para final de 2022!



Marcos e Cronograma



Design
Conceitual.
Colaboração
internacional

Licitação de
partes do
detector

Produção
em massa
dos PMTs e
testes

Terminio da
construção
civil e da
produção
em massa
dos PMTs

2014 -> 2015 -> 2016 -> 2017 -> 2018 -> 2019 -> 2020 -> 2022

Início
construção
civil.
Linha de
produção
dos PMTs

Início
produção
em massa
dos PMTs.
Protótipos
da
eletrônica

Envasamento
dos PMTs

Instalação
das PMTs e
termino da
construção
do detector.

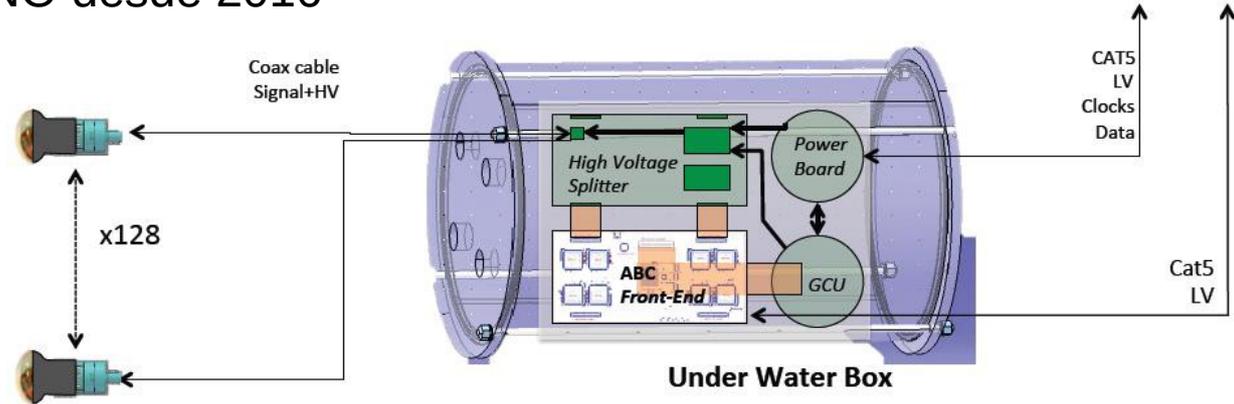
Contribuição Brasileira (intro)



PUC-RJ e UEL fazem parte de JUNO desde 2016

Plano inicial:

- Hardware (UWB), junto à outras instituições latino-americanas
- Análise e fenomenologia



Infelizmente os recursos (humanos, infraestruturais e financeiros) não permitiram contribuir com partes hardware.

Nossa contribuição foi então na:

- Simulação da eletrônica dos SPMT
- Avaliação da sensibilidade de medidas de precisão

- Investigações fenomenológicas

ArXiv:2008.11280 "Earliest Resolution to the Neutrino Mass Ordering?"

Contribuição Brasileira (planos)



Para os próximos anos pretendemos:

- Continuar aprofundando estudos fenomenológicos, visando por exemplo as sinergias entre diferentes técnicas experimentais (JUNO - DUNE – Hyper-Kamiokande) (PUC-RJ)
- Desenvolver técnicas de análise bayesianas para as medidas de precisão dos parâmetros de oscilação visando aplicar desenvolvimentos recentes como as estimativas de precisão preditiva a posteriori (como os critérios de informação bayesiana) para a seleção de diferentes modelos (UEL)

Esta contribuição em análise e fenomenologia é condizente com o “manpower” envolvido.

Dada a sinergia entre diferentes técnicas de investigação, e o curto prazo de desenvolvimento de JUNO, a contribuição neste observatório é valiosa para a física de neutrinos no Brasil (veja o trabalho do LASF4RI).

Conclusões



A construção de JUNO é muito bem encaminhada, esperando o começo da aquisição de dados em breve.

A contribuição brasileira, embora pequena, é muito valiosa pelas oportunidades científicas oferecidas e para a formação de jovem pesquisadores (especialmente na UEL).

Obrigado!