

Deep Underground **Neutrino** Experiment Status e Contribuição Brasileira

Gustavo Valdiviesso
representando a comunidade DUNE-BR

5ª Conferência Nacional de CT & I

15 de Abril de 2024



The DUNE Collaboration

7 detectors • 37 countries • 209 institutions • 1399 collaborators



11



29



14

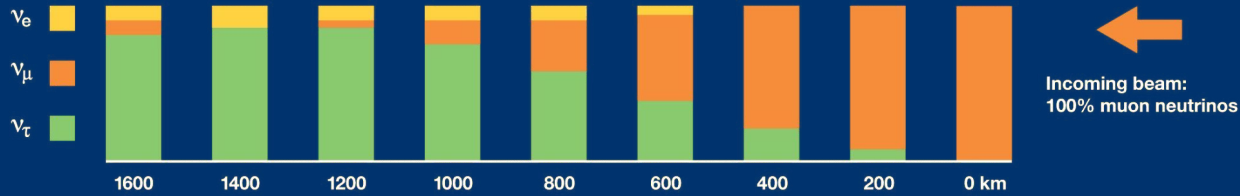
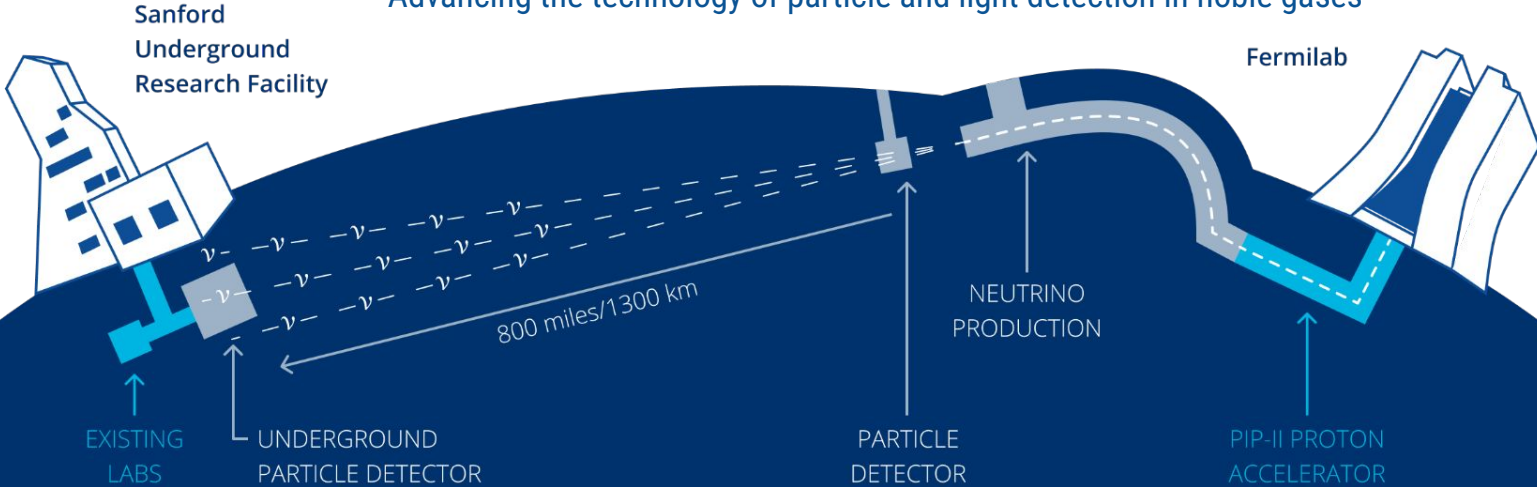


CERN meeting, Jan 2023

DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT

Our goals are

- To study the remaining pieces of the Neutrino puzzle
- With a rich science program involving other areas of nuclear physics and astrophysics
- Advancing the technology of particle and light detection in noble gases



Probability of detecting electron, muon and tau neutrinos

DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT

Far Detector Complex

Ross Shaft
1.5km to surface

Maintenance Shop

Expanded Drift

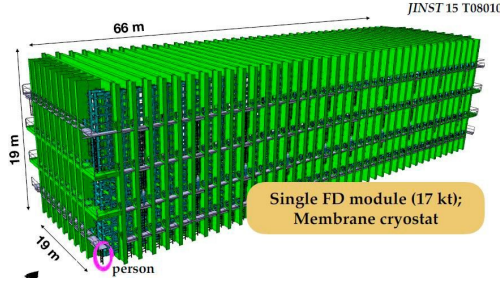
neutrinos
from Fermilab

North Detector Cavern

Central Utility Cavern: facility & cryogenic support systems

South Detector Cavern

4850 ft level of Sanford
Underground Research Facility
(SURF)



Single FD module (17 kt);
Membrane cryostat

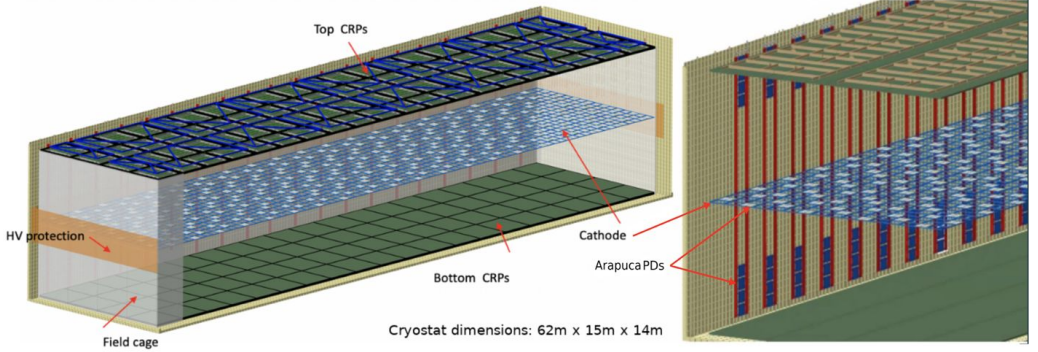
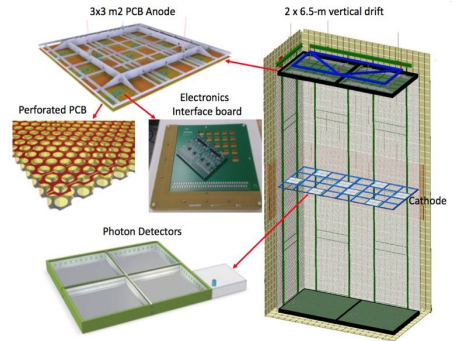
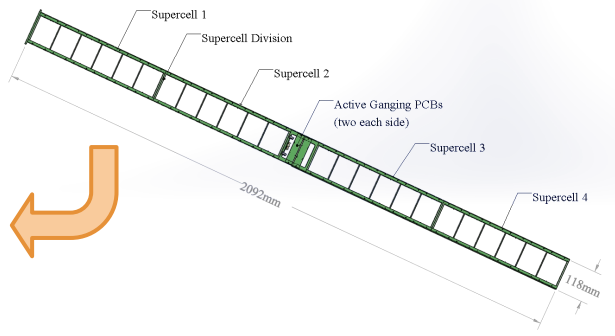
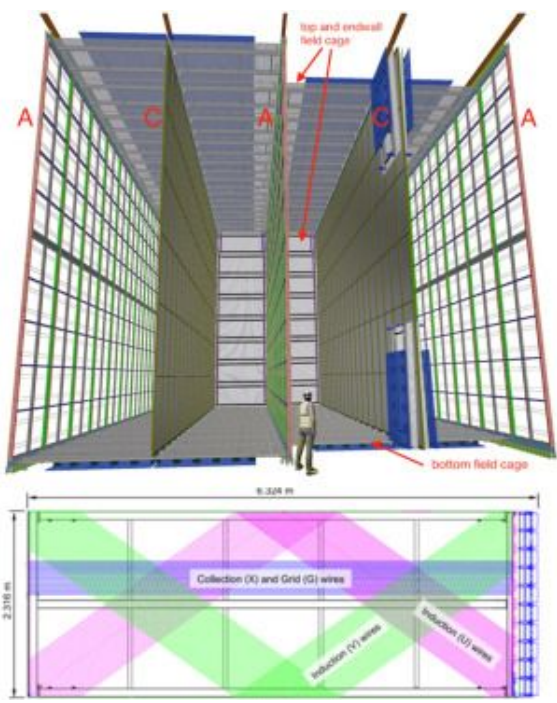
- 2 x Detector Caverns:**
475' L x 65' W x 92' H
145m L x 20m x 28m
- 1 x Central Utility Cavern (CUC):**
624' L x 64' W x 37' H
180m L x 20m W x 11m H

DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT

Excavation Status



Far Detectors: Horizontal Drift (HD) and Vertical Drift (VD)



Near Detector Complex

SAND monitors the beam constantly

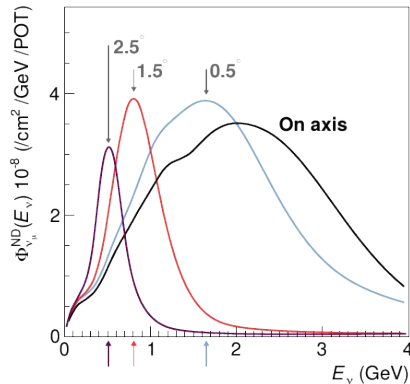
ND-LAr reducing cross-section and
detector systematics

TMS→ND-GAr

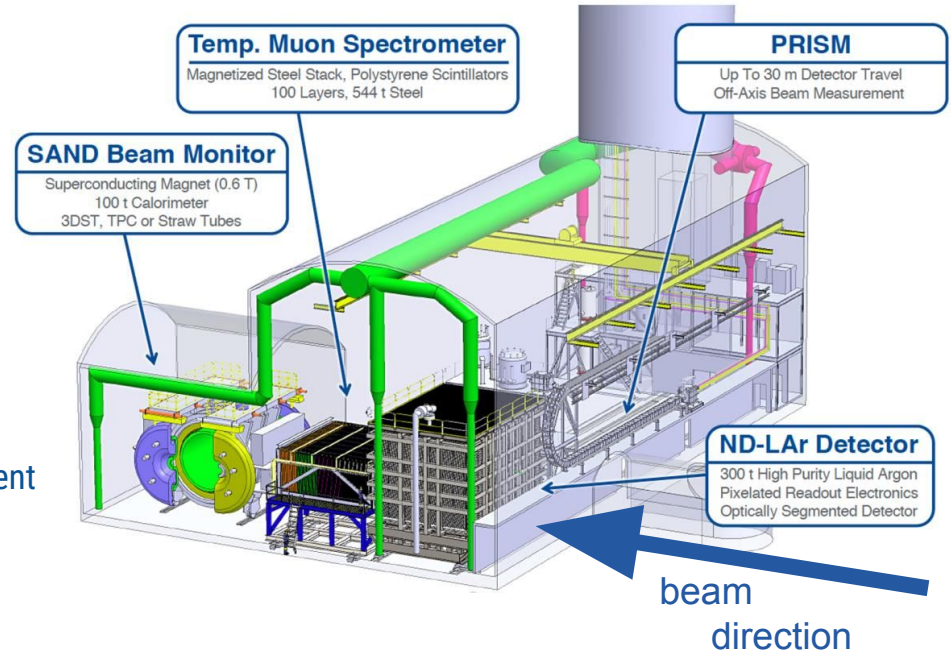
matching exiting muons

PRISM

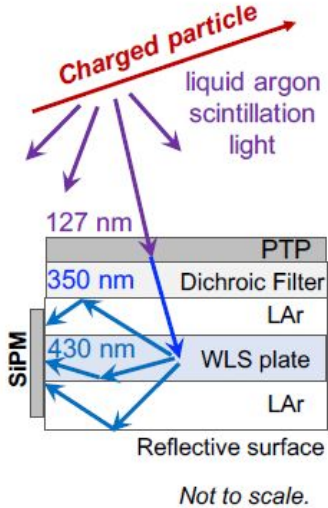
Precision
Reaction-Independent
Spectrum
Measurement



- PRISM uses off-axis data to mitigate our reliance on simulations
- Helps uncover unexpected biases in the extracted oscillation parameters



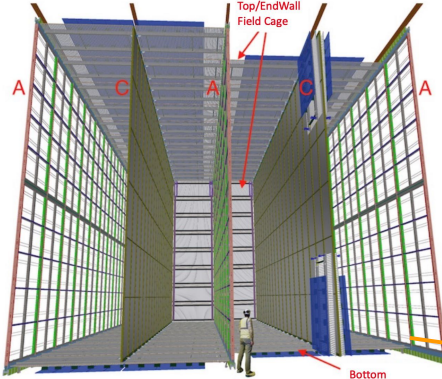
Brazil's Hardware Contribution: Photon Detection System (HD)



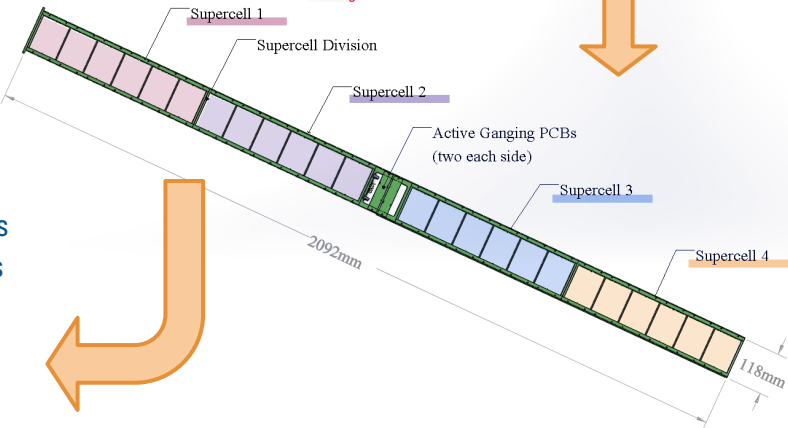
The X-ARAPUCA light trap

The Photon Detection System

- 1000 Single-sided X-ARAPUCA light traps
- 500 Double-sided X-ARAPUCA light traps
- Novel light detection technology
- 2019 APS Early Career Award



Each APA frame carries 10 modules (2m in length).



DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT



Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE)

O DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment - <https://www.duneneutrino.org/>) é um experimento de grande porte que está sendo desenvolvido pela comunidade em colaboração com mais de 200 cientistas (de 13 países) de mais de 20 países e mais de 150 colaboradores.

DUNE realizará algumas das medições mais importantes em física de neutrinos de próxima geração de física.

O experimento será extremamente sensível de modo padronizado de neutrinos de alta energia, mas também permitirá de detectar e quantificar neutrinos de baixa energia (até 100 MeV) produzidos por fontes naturais (como o decaimento de partículas e fontes de neutrinos de reatores nucleares).

É um projeto conjunto de física de neutrinos em escala global, envolvendo a comunidade de neutrinos, além de física de partículas de próxima e quarta gerações de experimentos.

- Área de Física
- Recursos
- Informação do sistema de física de partículas
- Atividades e reuniões de trabalho
- Física além do modelo padrão
- Colaboradores
- Centros no Brasil
- Divulgação científica
- Notícias
- Organização
- Equipamentos
- Públicas



Hilda de Mattos Filho
 Professora de Física, especialista em CPT e técnicas de produção de fótons com 10 anos de experiência em física de partículas e em física de neutrinos. Foi vice-chefe de física no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10693>



Orlando Luis Guenther Peres
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10713>



Ana Machado
 Professora de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10743>



Estere Segreto
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10758>



Francisco de Castro Marinho
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10773>



Laura Paolucci Moriho
 Professora de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10793>



Gustavo de Amorim Valdivieiro
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10813>



André Fabiano Steinhilber Lima
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10833>



Rubelio Valente de Costa Lima
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10853>



Marcio Bastos Adames
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10873>



Arthal Thiago Dreves
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10893>



Vinício de Lages Pinheiro
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10913>



Luciana Rocha Hirach
 Professora de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10933>



Celso Adrego de Moura Junior
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10953>



João R. T. de Mattos Neto
 Professor de Física, especialista em física de partículas e em física de neutrinos. Foi chefe de física de neutrinos no DUNE.

<https://www.dune-br.org/pt-br/colaboradores/10973>

DUNE-BR

Photon Detection System

X-ARAPUCAS R&D

Simulation

Calibration

Neutrino Theory

Non-standard Interactions

Neutrino Oscillation

Supernovas

Cryogenics

www.dune-br.org

Contribuição via fomento

Responsible	Project / Subsystem	Funding Agency	Value (R\$)
E. Segreto	PDS	FAPESP (several projects)	30M
P. Pagliuso	Cryogenics	FAPESP	3.5M
A. A. Machado	ProtoDUNE / SBND	FAPESP	370k
G. Valdivieso	SBND	Intensity Frontier (Fermilab)	165k
O. Peres	Theory	FAPESP	157k
A. Lisboa	PDS	Fundação Araucária	134k
L. Pauluci / F. Marinho	Simulation	FAPESP	65k
L. Pauluci / F. Marinho	Instrumentation	CAPES	86k
M. Adames	Simulation	CNPq	88k
A. Fauth	Instrumentation (spin-off)	FAPESP	218k

~ R\$ 35M

Além de diversas
bolsas de
pesquisa e de
estudantes

Necessidades e Pontos Críticos

- Common Funds (CF) no valor de USD 3000 / PhD-ano. Acumulado USD 90k desde 2023.
Para apoiar seriamente nosso envolvimento em grandes colaborações, o Brasil precisa de uma linha dedicada a CF/M&O para que os pesquisadores possam aplicar-se em grupo ou individualmente.
- Maior mobilidade internacional: Fomento específico para missões de trabalho, shifts e meetings, incluindo estudantes que não tenham outras fontes.
Existe um compromisso com a nossa presença, principalmente durante os anos de pesquisa e desenvolvimento. Tanto pesquisadores quanto estudantes perdem em atuação e ganho de experiência pela dificuldade em angariar recursos para viagens internacionais.
- Logística de equipamentos e instrumentos: Equipamentos desenvolvidos no Brasil têm dificuldades alfandegárias.
Instituições de pesquisa, agências de fomento e empresas brasileiras têm participado da entrega de sistemas fundamentais para os experimentos. É preciso criar canais para que estes equipamentos possam circular sem serem qualificados como exportação ou, ainda que absurdo, importação de componentes repatriados.
- Falta de prioridades claras nas agências Federais: Os valores apresentados são uma pequena fração das nossas propostas.
Nota-se uma ausência de apoio de agências federais. Necessitamos de uma priorização proporcional ao impacto que as grandes colaborações têm na pesquisa brasileira. É sintomático que nossas propostas vêm sendo sistematicamente recusadas mesmo com excelentes avaliações de mérito.

Short-baseline Near Detector (SBND)



- Um subconjunto dos colaboradores brasileiros do DUNE também fazem parte do SBND.
- Quebrará todos os recordes em números de neutrinos observados, com algo entre 5000 e 7000 eventos por dia.
- Desenvolvemos e fornecemos e instalamos as X-ARAPUCAS do *photon detection system* de SBND.
- Simulações: Desenvolvemos as várias versões dos modelos geométricos para o detector, bem como modelos físicos para correlação entre luz e carga na cintilação do argônio líquido.
- O SBND serviu como precursor de várias tecnologias associadas ao DUNE, antes mesmo do ProtoDUNE.
- Iniciou operações em Fevereiro de 2023 e deve ver seus primeiros neutrinos nas próximas semanas.



DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT

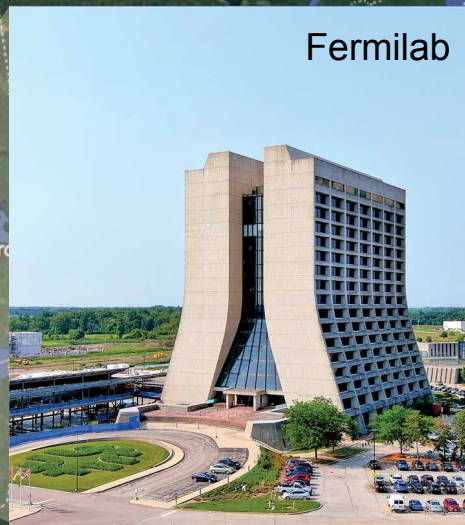
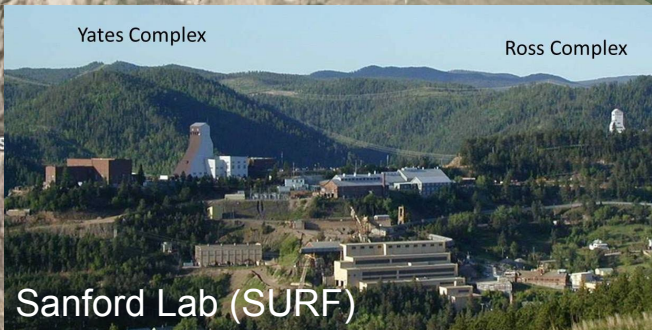


Obrigado

Backups

DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT

Long Baseline



1285 km

Neutrino Mixing and Oscillations

$$\begin{bmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{bmatrix}}_{\text{PMNS}} \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{bmatrix}.$$

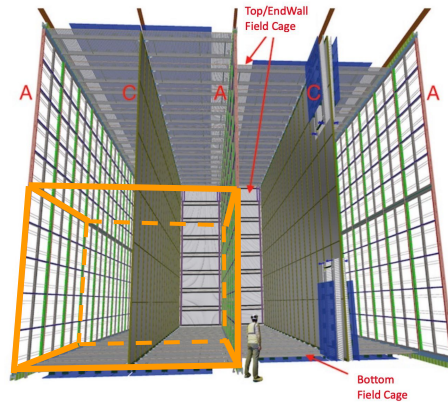
$$U = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix}}_{\text{atmospheric/accelerator}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta_{\text{CP}}} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta_{\text{CP}}} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}}_{\text{reactor}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} c_{21} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{solar}}$$

$$\begin{aligned} P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e) &\simeq \sin^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{13} \frac{\sin^2(\Delta_{31} - aL)}{(\Delta_{31} - aL)^2} \Delta_{31}^2 \\ &+ \sin 2\theta_{23} \sin 2\theta_{13} \sin 2\theta_{12} \frac{\sin(\Delta_{31} - aL)}{(\Delta_{31} - aL)} \Delta_{31} \\ &\times \frac{\sin(aL)}{aL} \Delta_{21} \cos(\Delta_{31} \pm \delta_{\text{CP}}) \\ &+ \cos^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{12} \frac{\sin^2(aL)}{(aL)^2} \Delta_{21}^2, \end{aligned}$$

$$a = \pm \frac{G_{\text{F}} N_e}{\sqrt{2}} \approx \pm \frac{1}{3500 \text{ km}} \left(\frac{\rho}{3.0 \text{ g/cm}^3} \right)$$

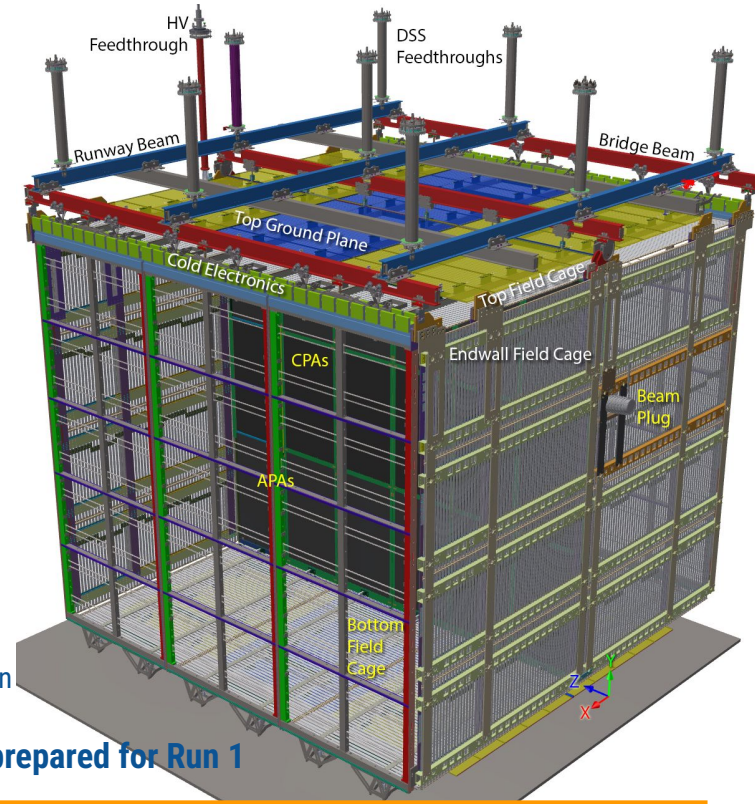
- Matter effects
- θ_{23} octant
- CP violation

ProtoDUNE HD @ CERN

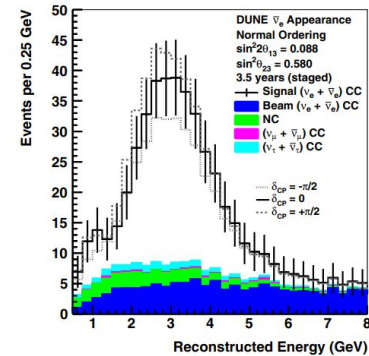
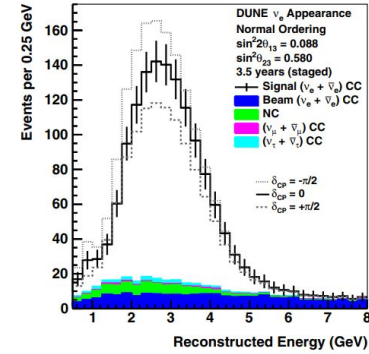
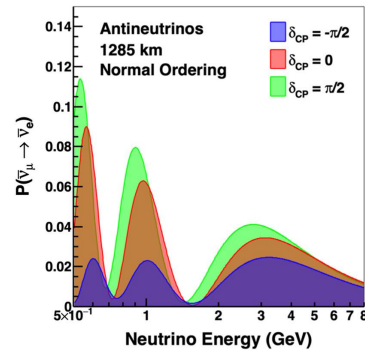
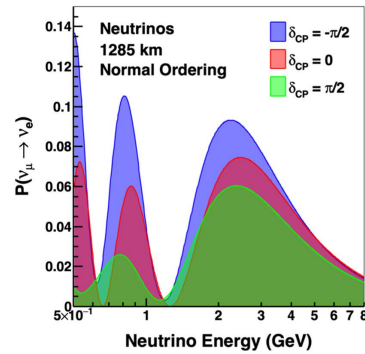
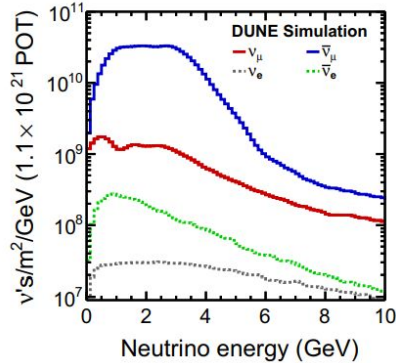
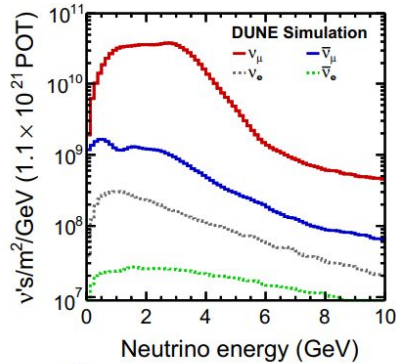


A piece of DUNE running on a test beam

- Beam of charged particles e , π , μ , K and p
- A fraction of the size (still huge)
- Instrumentation and Software tools validation
- Currently on its Run 2
- **ProtoDUNE VD (Vertical Drift) being prepared for Run 1**

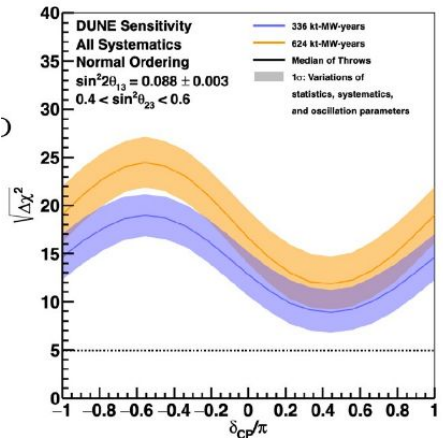
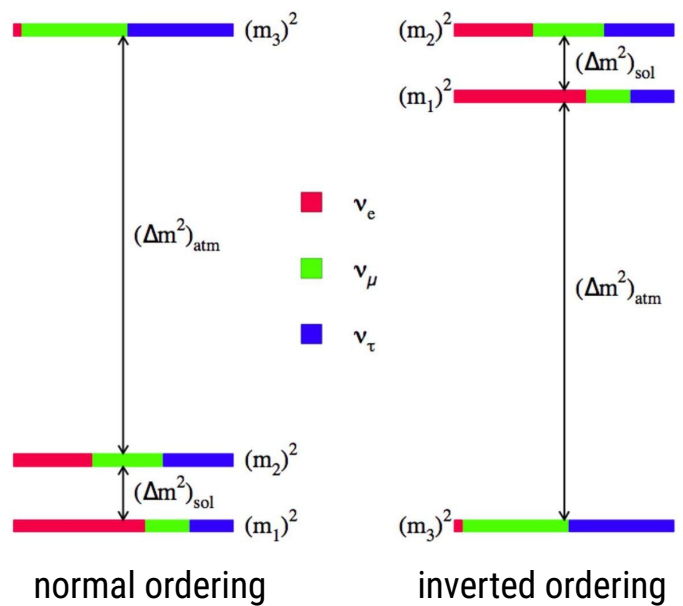


Neutrino Beam and Oscillations

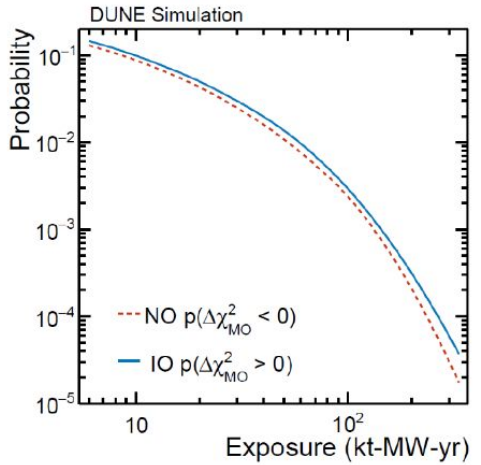


1000 events
in 7 years

Mass Ordering



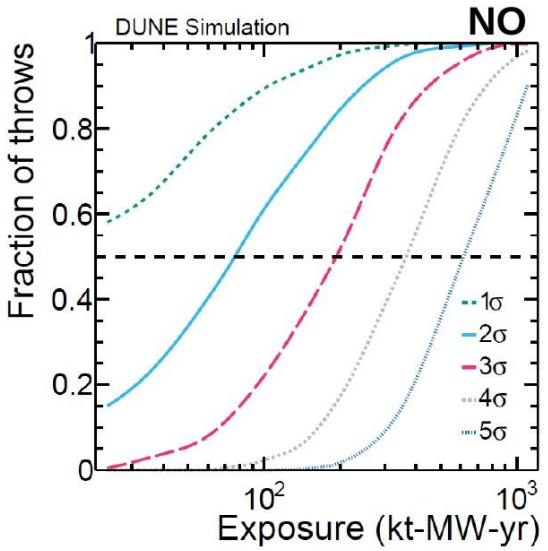
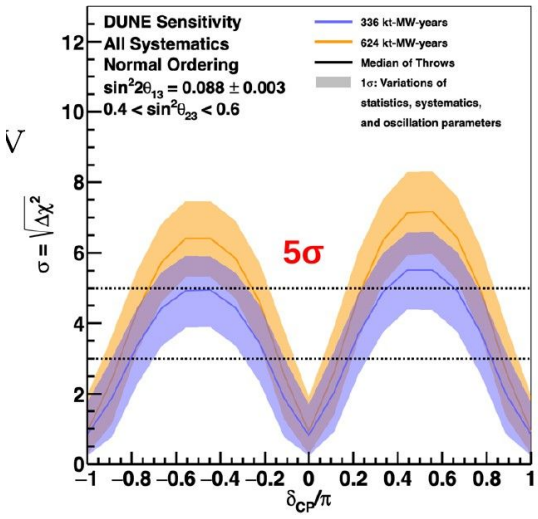
EPJ C 80 (2020) 978



arXiv:2109.01304

- DUNE will determine the M.O. in less than 2 years
- In terms of exposure, 66 kt-MW-yr corresponds to less than 1% chance probability of extracting the wrong ordering.

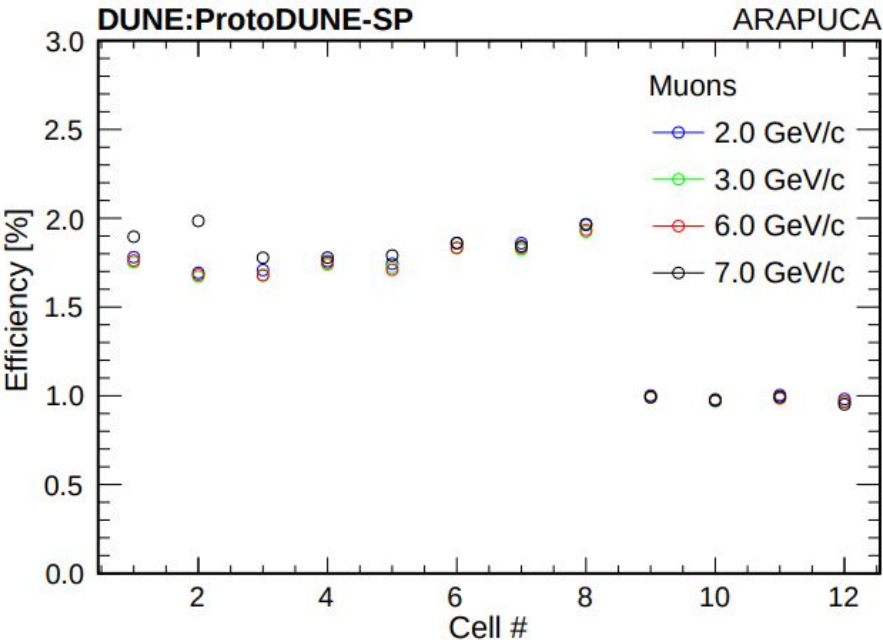
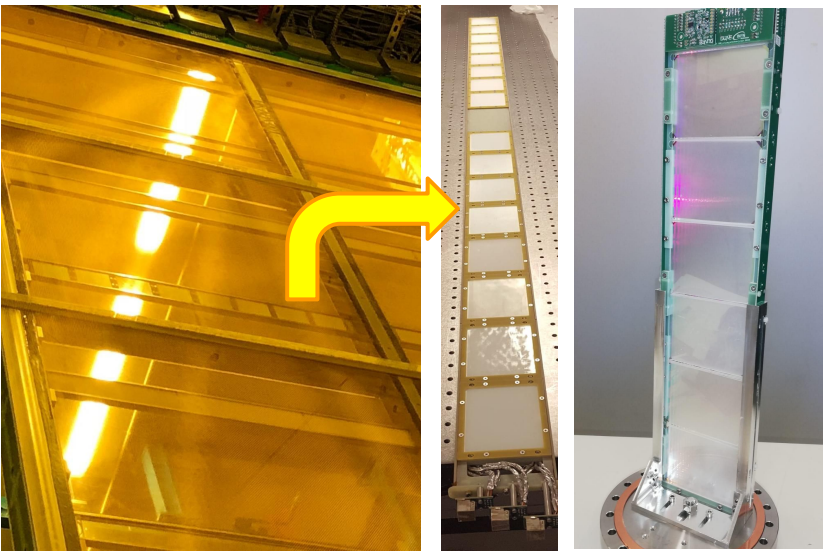
CP Violation



Years	kt-MW-years
7	336
10	624
15	1104

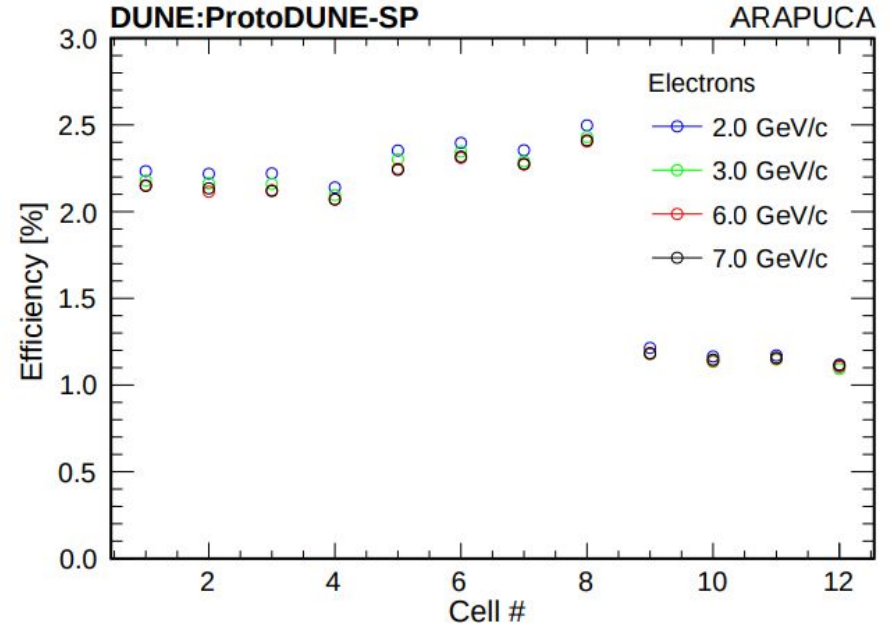
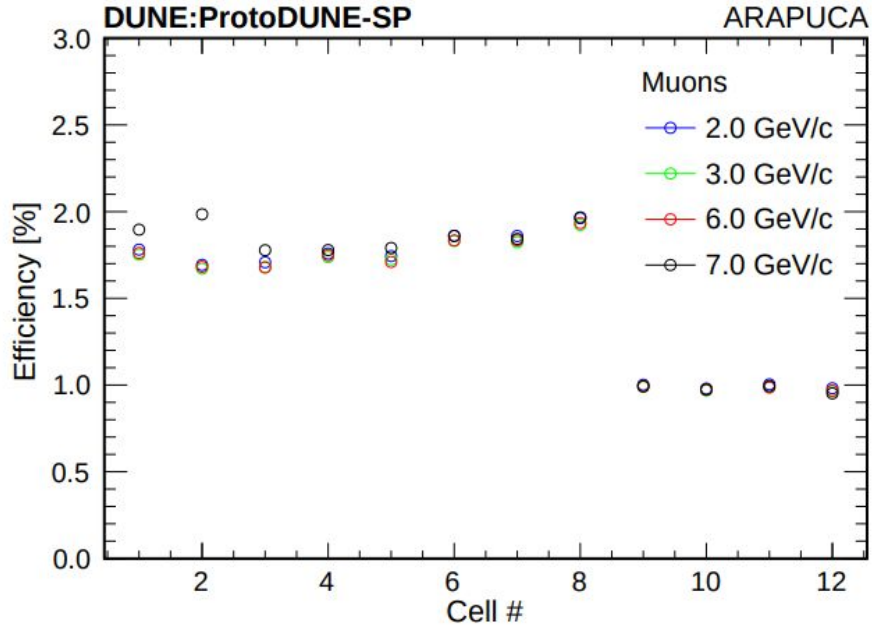
- Median Sensitivity to over 50% of δ_{CP} values at 3 σ C.L., with full exposure (5 years)
- Sensitivity to over 50% of δ_{CP} values at 5 σ C.L., with full exposure (10 years)

X-ARAPUCA's in ProtoDUNE



Efficiency detecting light from muon beam

DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT



DEEP UNDERGROUND NEUTRINO EXPERIMENT

Far Detector Complex

70 kton LAr

FD-1
Horizontal
Drift

FD-2
Vertical Drift

FD-3
Phase 2

FD-4
Phase 2