



Data analysis in the SNO+ Neutrino Physics Experiment

José Maneira (LIP)

IST Inside View, February 2018

**Os neutrinos têm massa não-nula
e mudam de sabor (oscilam).**

**Então, o que podemos medir
agora?**

Neutrinos, de Dirac ou Majorana?

Qual o valor absoluto da massa?

Qual a ordem: $m_1 < m_2 < m_3$ ou $m_3 < m_1 < m_2$?

Violação de CP nos neutrinos ?

Matter and Anti-Matter

Early Universe

1,000,000,001

matter

1,000,000,000

anti-matter

Matter and Anti-Matter

Current Universe

|
•
us

matter

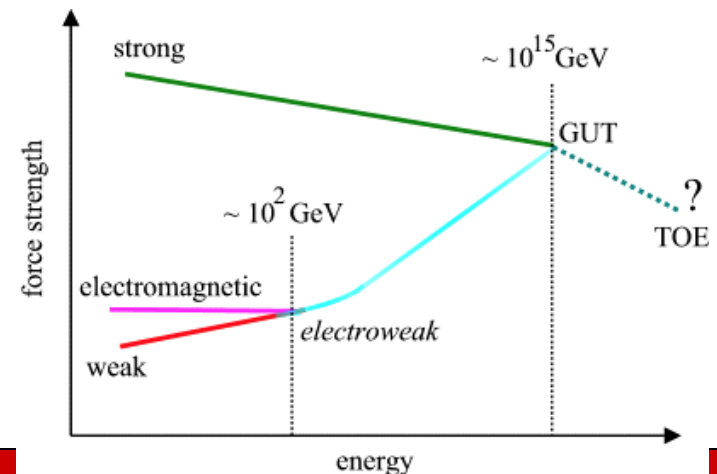
anti-matter

The Great Annihilation

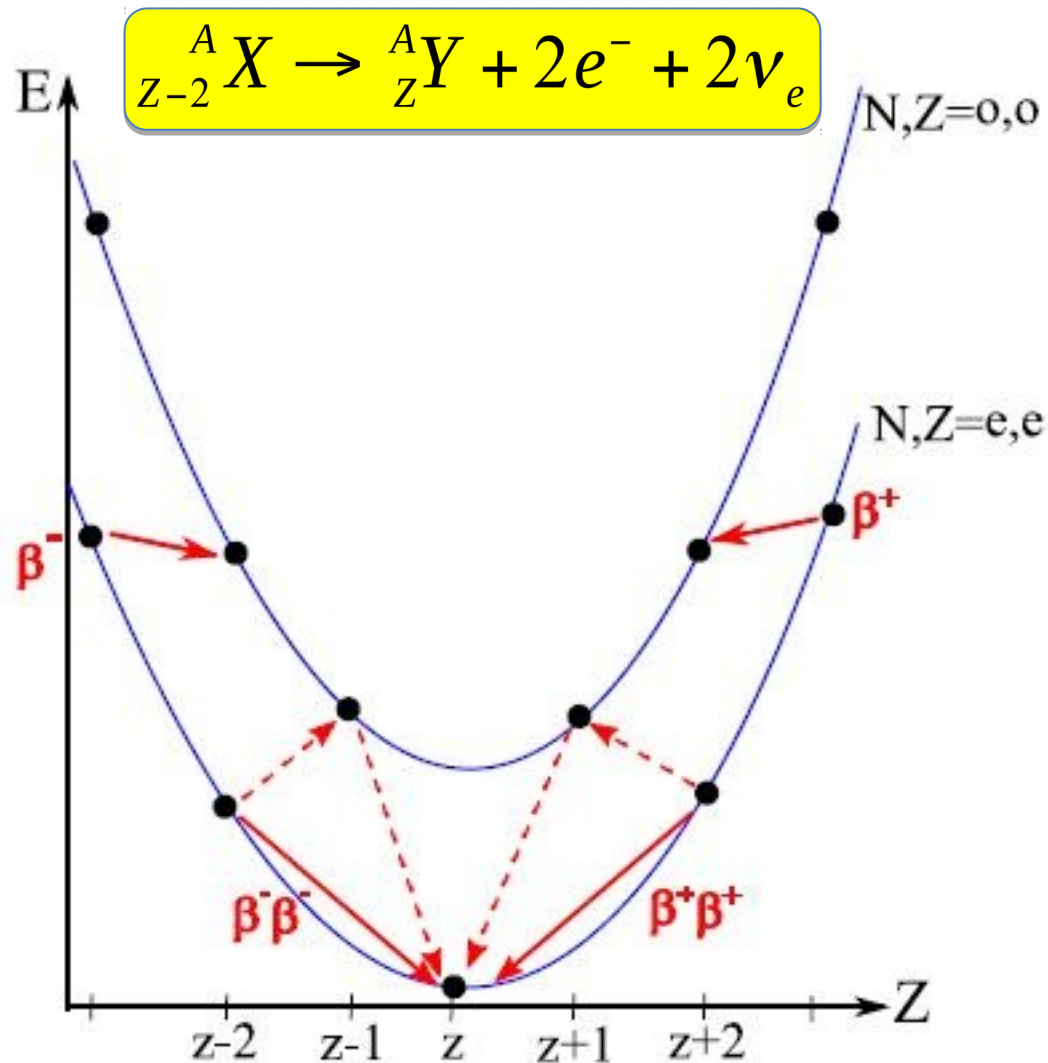
Origem da assimetria?

- Leis da física (simetria CP) têm de ser um pouco diferentes para partículas e anti-partículas
- Já sabemos que essa diferença não é suficiente no caso dos quarks
- Mas pode ser com os leptões!
 - neutrinos (de Majorana) muito pesados produzidos no Big Bang
 - depois decaem nas partículas leves, com $<$ probabilidade em anti-partículas (devido à quebra de simetria CP)

$$m_\nu \cdot m_N \approx m_D^2$$



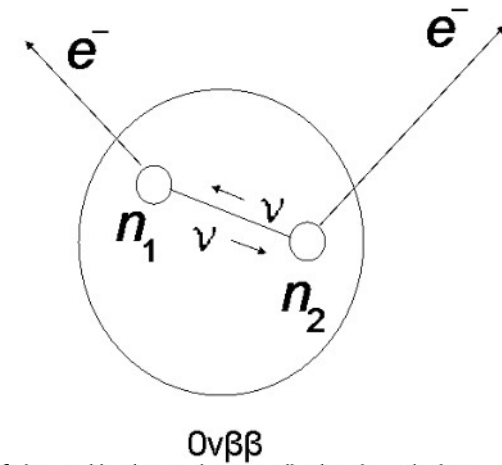
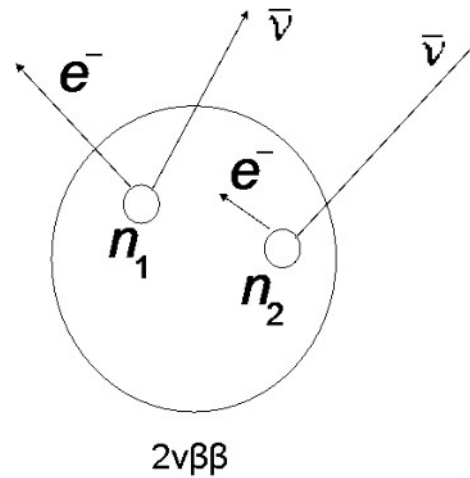
Declínio Beta Duplo



- Declínio radioativo muito raro
 - Quando o declínio beta normal não é energeticamente possível
 - 35 isótopos naturais podem ter DBD
 - Foi observado em 11 isótopos

Declínio Beta duplo sem neutrinos

- Caso muito especial
 - Só acontece se neutrinos forem de Majorana
 - Vida média depende da massa dos neutrinos

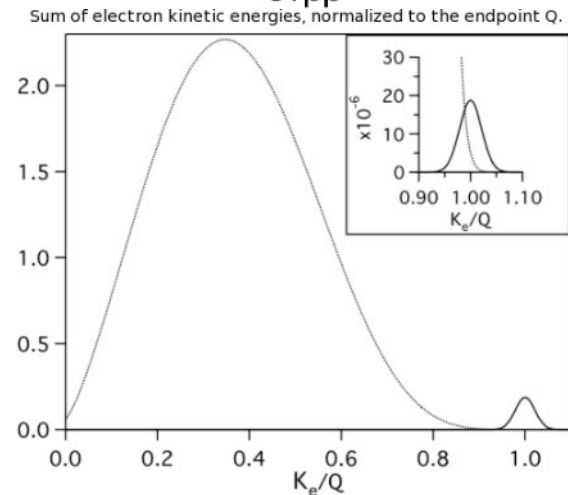


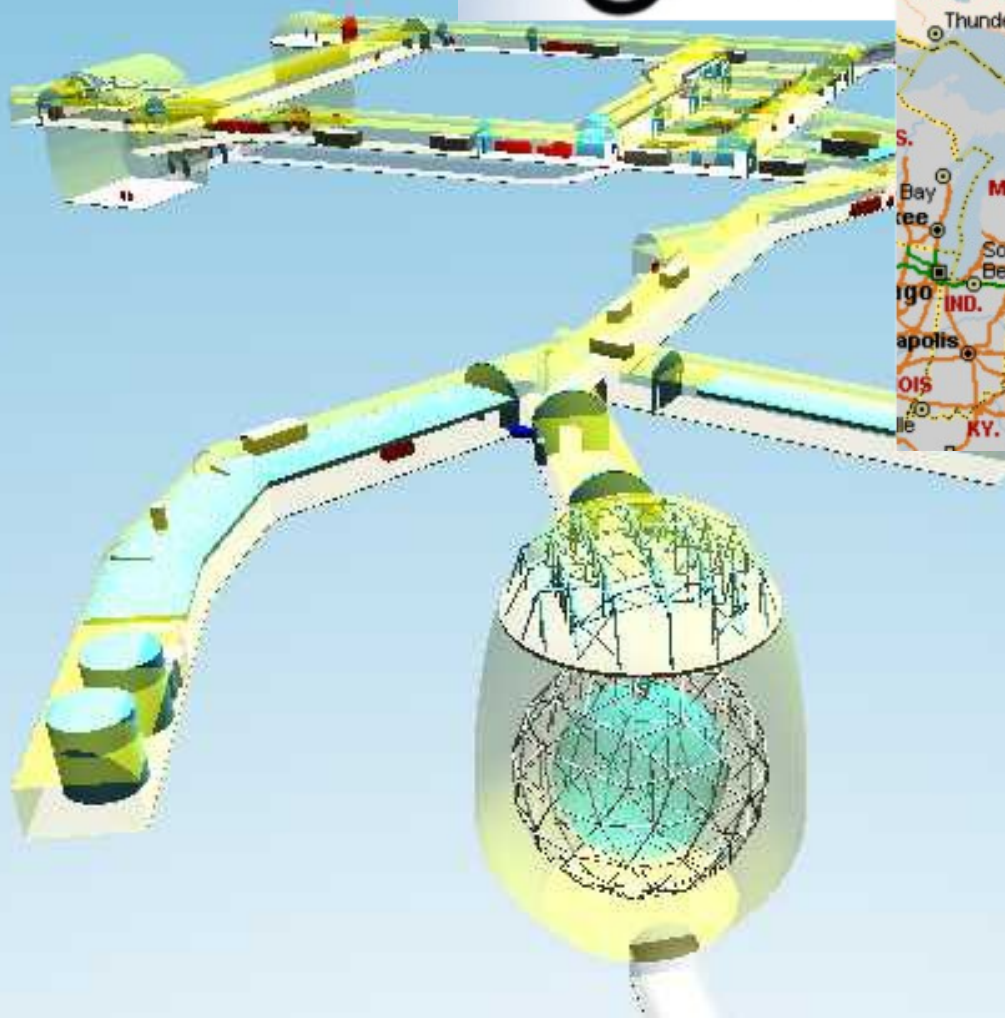
$$\frac{1}{T_{1/2}^{0\nu}} = G_{0\nu} |\mathcal{M}_\nu|^2 \left| \frac{m_{ee}^\nu}{m_e} \right|^2$$

Massa eficaz de Majorana

Depende das massas m_1, m_2, m_3 mas também de outros parâmetros

$$m_{ee}^\nu = m_1 c_{12}^2 c_{13}^2 + m_2 s_{12}^2 c_{13}^2 e^{2i\alpha_2} + m_3 s_{13}^2 e^{2i(\alpha_3 + \delta)}$$



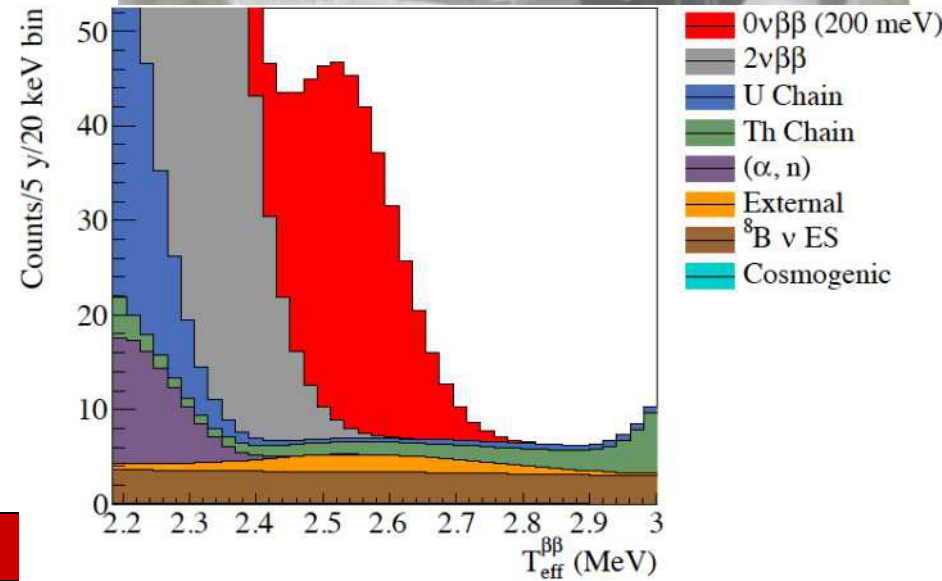


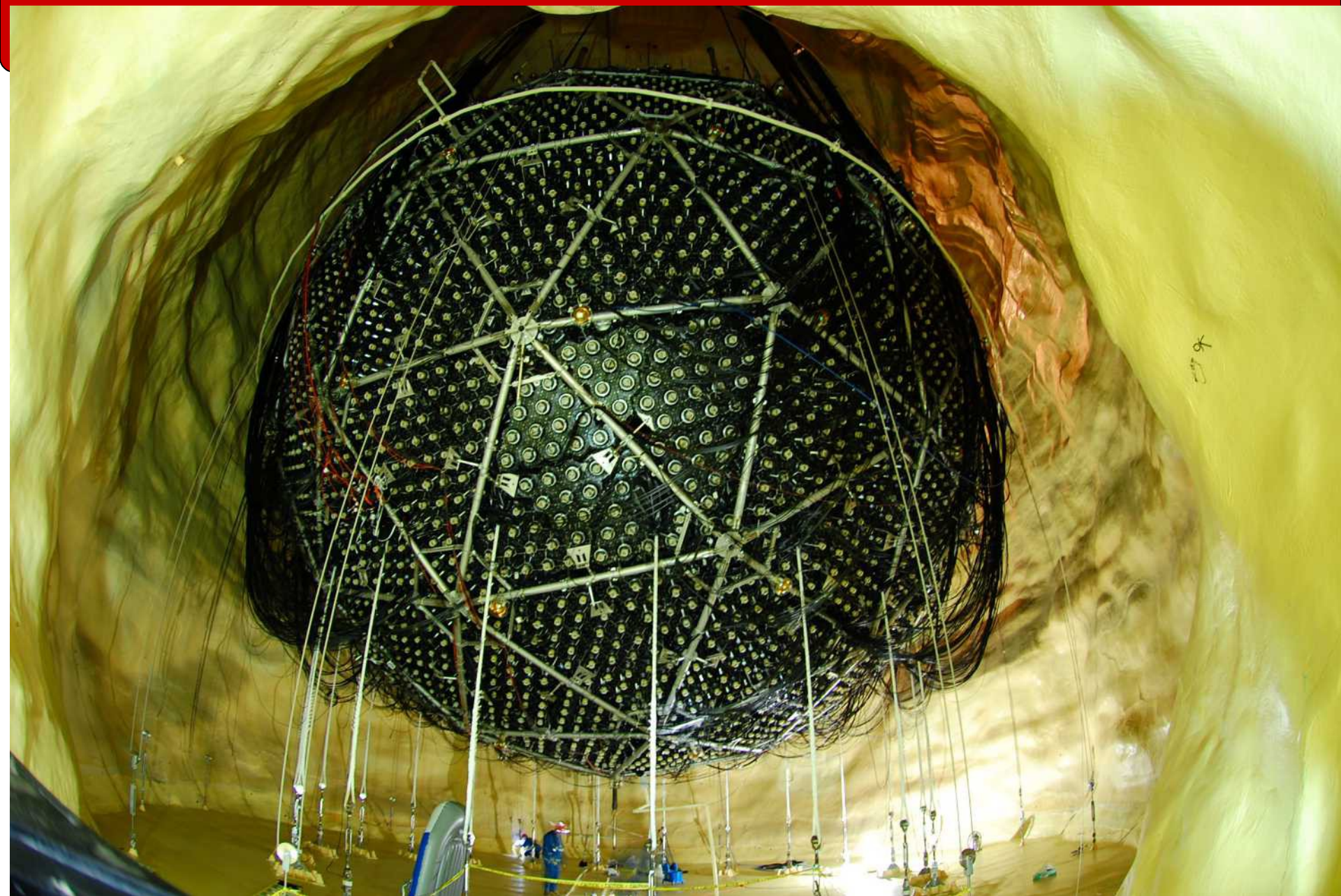
SNOLAB, no Canadá, é o 2º laboratório mais profundo do mundo, e portanto, com muito baixo “ruído de fundo” devido a muões cósmicos

SNO+ Te130

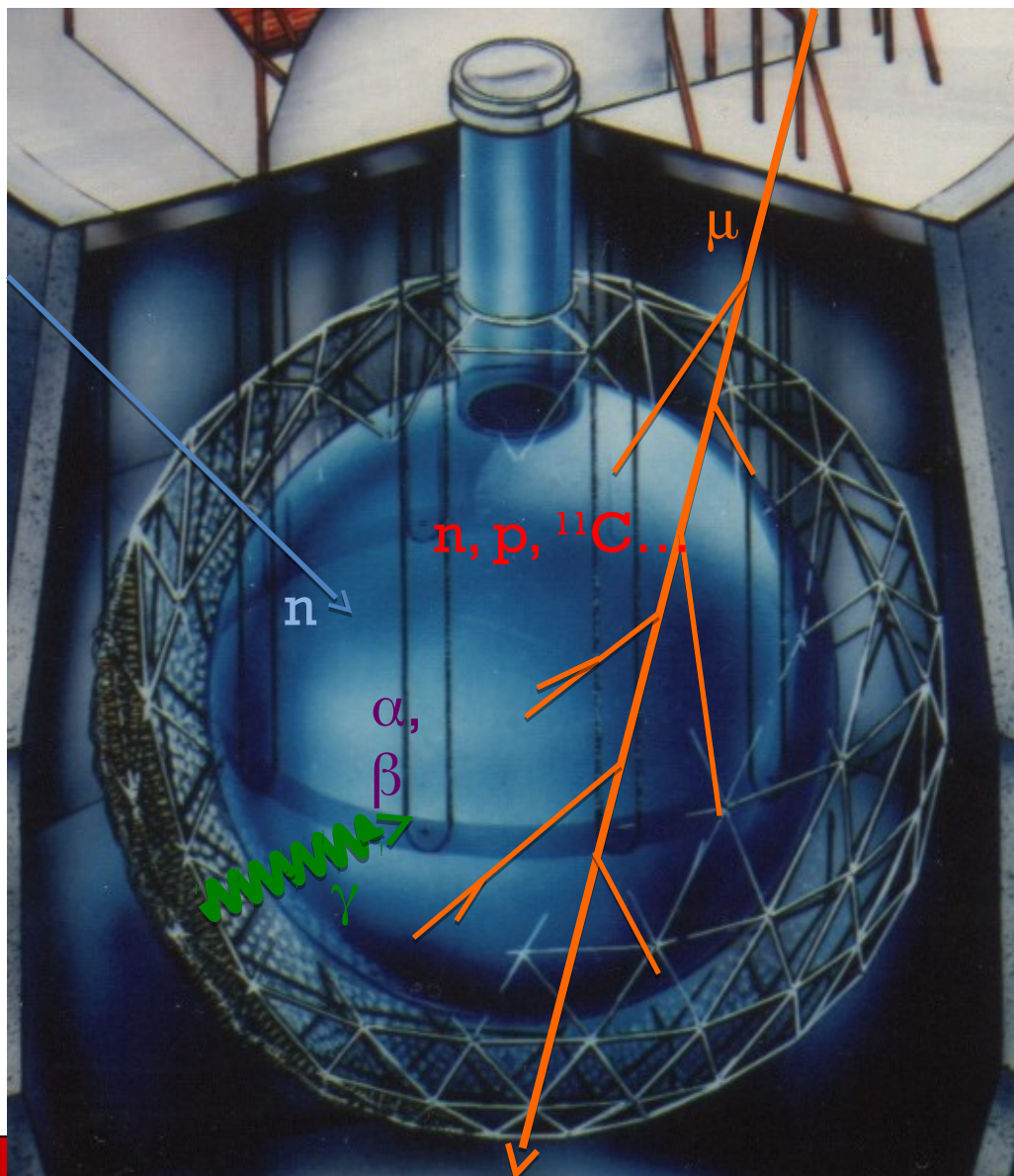


- Sucessor de SNO
 - Cintilador líquido dopado com Telúrio a 0.5% (3900 kg!)
 - Mais luz: energias mais baixas
 - Mais leve: cordas de reforço
- Programa de física
 - Neutrinos de várias fontes: Reatores, Sol, Terra, SN
 - Dec. Beta Duplo do Te130





Desafio principal: eventos raros



Taxa esperada

dezenas de eventos de
0NDBD **por ano!**

Eventos de radioatividade
têm de ser rejeitados

Radioatividade Interna

resíduos de radioisótopos
(U/Th, ⁴⁰K, etc) no cintilador.

Gamas Externos

acrílico, água, PMTs, etc.

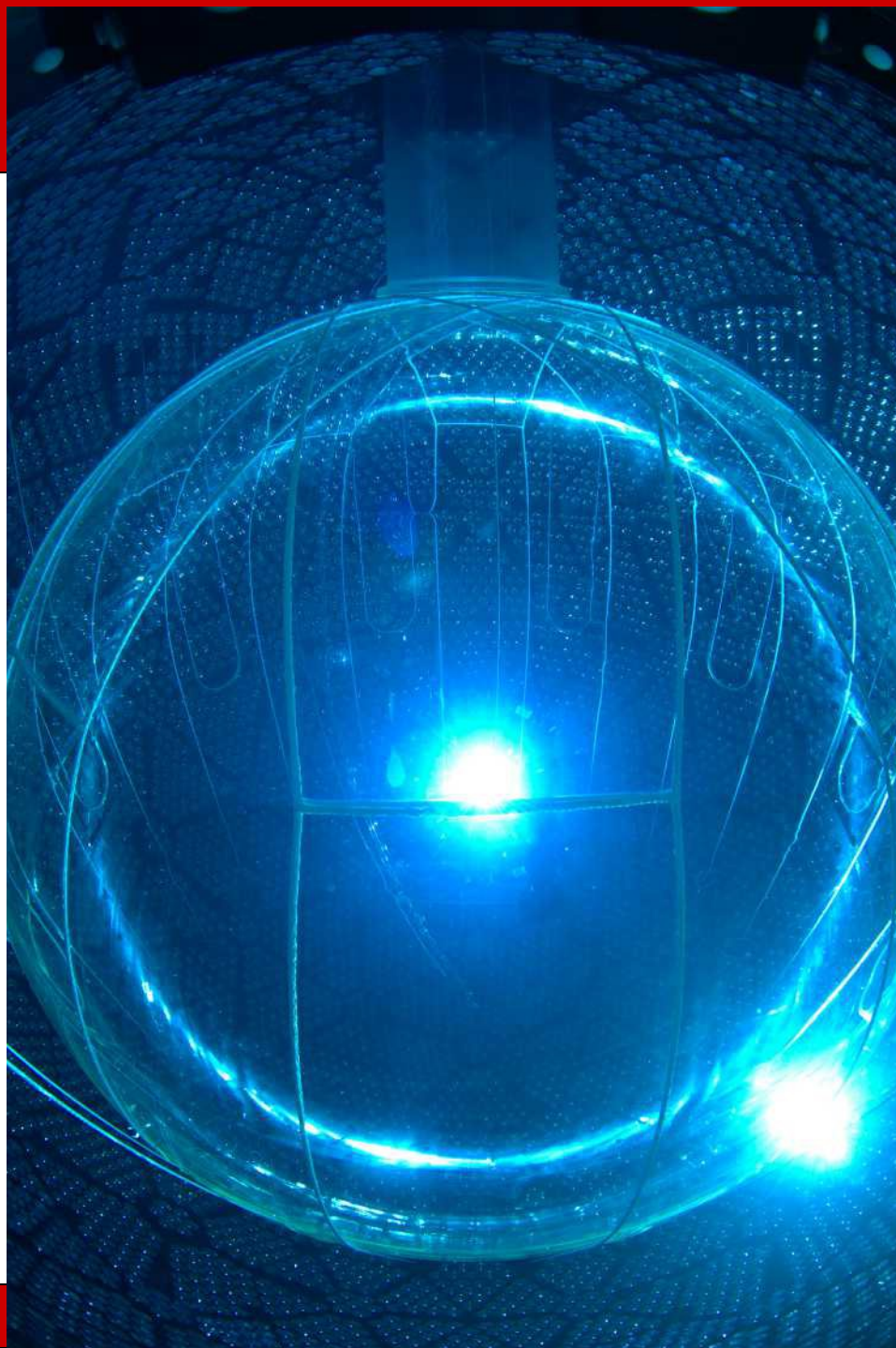
Muões de raios cósmicos

“Cosmogénicos”

Radioisótopos, produzidos
pelos raios cósmicos
incidentes no Telúrio

Diferentes fase de SNO+

- **ÁGUA** (a tomar dados desde Maio 2017)
 - calibrações, “afinar” o detetor
 - medir a radioatividade externa
 - procura de sinais de decaimento do nucleão e antineutrinos de reator
- **CINTILADOR** (enchimento começa em 2018)
 - medir as propriedades óticas do cintilador
 - medir a sua radioatividade intrínseca
- **CINTILADOR COM TELURIO** (2019)
 - double-beta-decay!
 - Antineutrinos de reator e da Terra! Neutrinos solares! Muões atmosféricos!



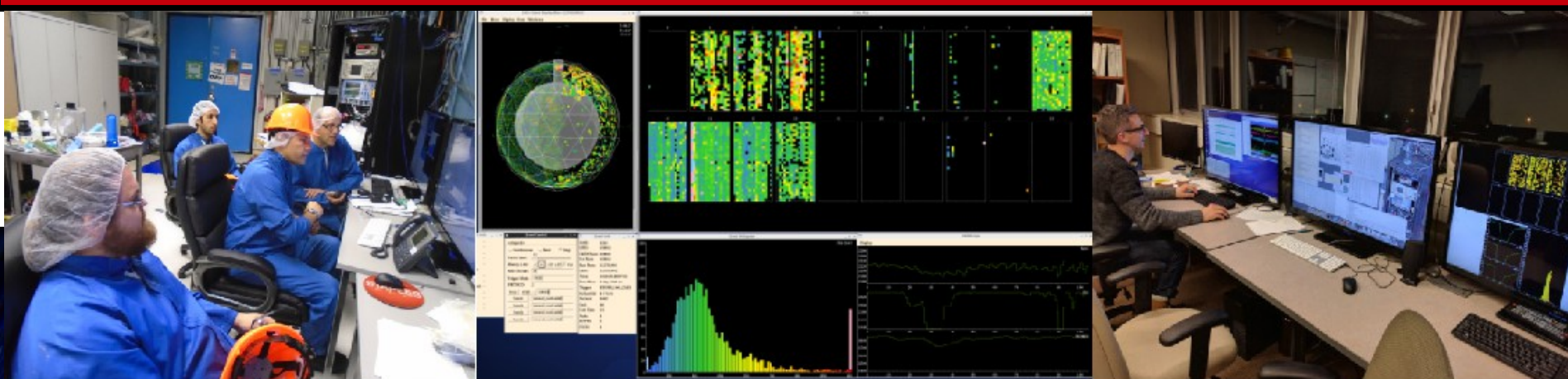
Vários temas de tese

- **Análise dos dados da fase da água**
 - medição precisa da radioatividade do detetor: medir agora para usar na fase do Telúrio
 - procura de sinais de antineutrinos: medição inovadora num detetor de água
 - calibrar, perceber, modelizar o detetor
- **Preparar a análise do cintilador/Telúrio**
 - calibrar, perceber, modelizar o detetor, outra vez...
 - radioatividade do próprio cintilador
 - Outros sinais de Física, com altas energias
 - muões atmosféricos: taxa estável? direções?
 - sinais exóticos (Matéria escura “boosted”)
 - Antineutrinos reator e Terra, neutrinos solares B8

Orientadores

- Dependendo do tema, os orientadores podem serão (ordem alfabética):
 - Sofia Andringa (Inv. FCT)
 - Fernando Barão (Prof. IST)
 - Valentina Lozza (Inv. FCT)
 - José Maneira (IR, Inv. LIP, Prof. Conv. FCUL)
 - Gersende Prior (Inv. FCT)

Bolsas!



- **Bolsas!**
 - vários meses de dados da fase da água para analisar
- **Entusiastas de análise de dados, precisam-se!**
- **Bolsas em vários temas também possíveis**
- **Temas de tese no IST podem ser ajustados**

www.lip.pt

snoinfo@lip.pt