

# ***O QUE SÃO NEUTRINOS?***

***Marcelo M. Guzzo***

***Instituto de Física Gleb Wataghin***

***UNICAMP***

***Física ao Vivo 27/05/2020***

***Sociedade Brasileira de Física***

# 25 anos do



## Apoio:



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE  
CAMPINAS



[sites.ifi.unicamp.br/gefan/](http://sites.ifi.unicamp.br/gefan/)



# INSTITUTO PRINCIÃ

Onde a Ciência Conecta o Mundo



Escola de Talentos →

# **Alguns dados sobre os NEUTRINOS**

## **Estão em toda parte!**

 Até o final desta apresentação cada um de nós terá emitido cerca de 10 milhões de neutrinos! (20 mg de  $^{40}\text{K}_{19}$  que é  $\beta$ -radioativo)  
-Até bananas emitem neutrinos!-

 Na direção oposta, ***em um único segundo***, somos atravessados:

- ✘ 50 bilhões da radioatividade natural da Terra
- ✘ 10 a 100 bilhões de reatores nucleares pelo mundo
- ✘ 300 trilhões provenientes do Sol

 Toda esta radiação de neutrinos faz mal à saúde? **Não!**

**Os neutrinos interagem muito pouco com a matéria:**

- ✘ 1 neutrino com energia moderada nos atravessa, atravessa o planeta, atravessa **1 ano-luz de chumbo!**
- ✘ Ao longo de uma vida humana, um único destes neutrinos vai interagir com algum átomo do nosso organismo!

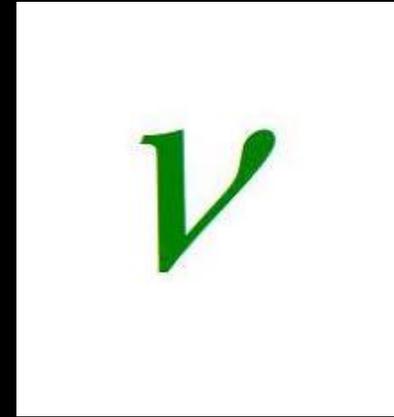
Interessante notar:

os *neutrinos* são as partículas de  
matéria mais abundantes do  
Universo. Para cada elétron ou  
próton, existem cerca de

*1 bilhão de neutrinos*

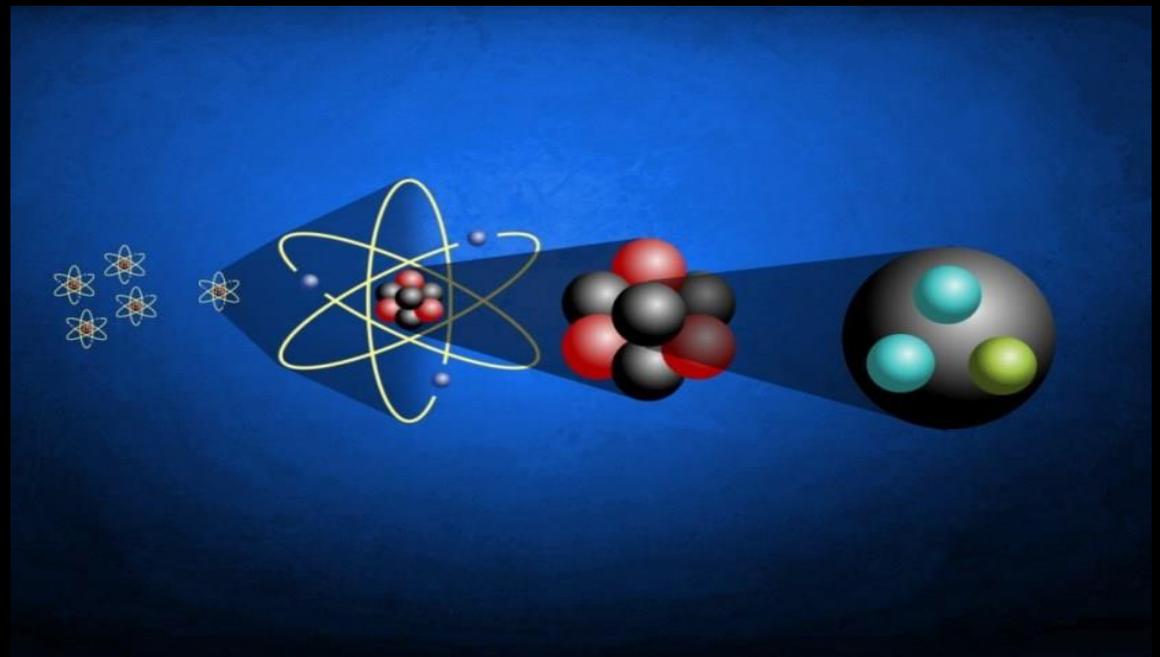
no Universo!!

O que é o Neutrino?  
*É uma partícula elementar*



Faz parte do seleto grupo de partículas previsto no  
*Modelo Padrão das Partículas Elementares*

Mas o que é uma partícula elementar?  
*Uma partícula que não contém  
nenhuma subestrutura*



## ***Nota bene:***

1. O átomo não é uma Partícula Elementar: é composto por prótons, nêutrons e elétrons
2. Prótons e nêutrons não são partículas elementares: são compostos por quarks
3. Quarks, elétrons, fótons e ***neutrinos*** são exemplos de partículas elementares!

# Tudo começou de forma muito simples...

- Nos anos 1920: desintegração beta  $\beta$



**Problema: Energia Inicial > Energia Final**

Em confronto com um pilar sagrado da Física:

**Conservação da Energia**

**Grandes físicos da época reagiram de maneiras muito diferentes:**

**Bohr: pronto para abandonar a Lei da Conservação da Energia**

**Dirac: “Somente por cima do meu cadáver”**

**Pauli (1930): “Caros Senhoras e Senhores radioativos..”**

**“Uma nova partícula pode estar sendo emitida juntamente com o elétron, carregando a energia que falta!!!”**

***NEUTRINO***

Em 1933, Enrico Fermi incorporou o neutrino na sua “Teoria de 4-Férmions”



Ou mais especificamente, a desintegração beta fica:



*A maior parte dos neutrinos que nos atinge  
provém do Sol*

*A cadeia de reações nucleares mais importante  
que produz tais neutrinos no Sol é:*



**Aqui na Terra:  
60 bilhões de  $\nu$  / seg.cm<sup>2</sup>**

**Previstos**

# Desde ~1970 vários experimentos detectam neutrinos do Sol:

**Homestake - EUA**  
**(Prêmio Nobel)**



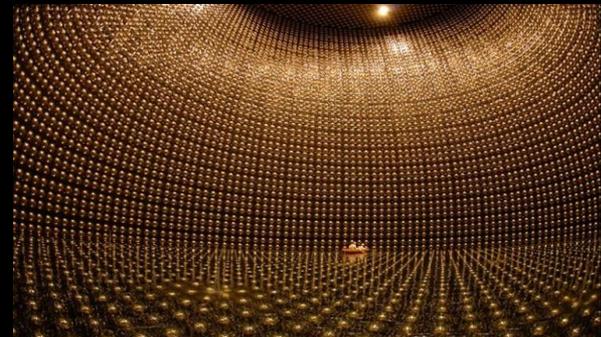
**GALLEX - Itália**



**SAGE - Rússia**



**SuperKamiokande**  
**Japão (Prêmio Nobel)**



**Número de neutrinos detectados**

**BEM MENOR QUE**

**Número de neutrinos previstos**

**=**

***O PROBLEMA DO NEUTRINO SOLAR***

**Por cerca de 30 anos: o que se passa??**

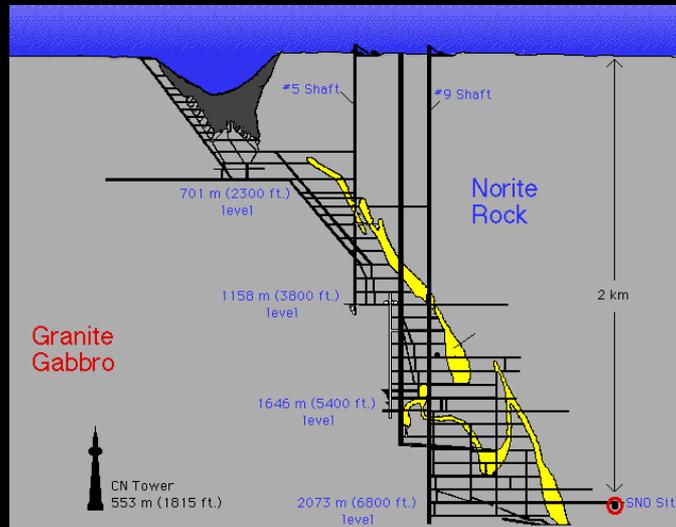
**Hoje sabemos a resposta!**

# É sabido que existem três tipos de neutrinos:

- 1956: Cowan e Reines descobrem o neutrino eletrônico (Prêmio Nobel):  $\nu_e$
- 1962: Schwartz, Lederman e Steinberger descobrem o neutrino muônico (Prêmio Nobel):  $\nu_\mu$
- 2000: Colaboração DONUT (Fermilab) descobre o neutrino tauônico:  $\nu_\tau$

**Os experimentos pioneiros que observaram neutrinos solares estavam interessados somente nos  $\nu_e$  porque são estes que são criados no Sol.**

# Mas experimentos mais modernos, como SNO- Canadá (Prêmio Nobel):



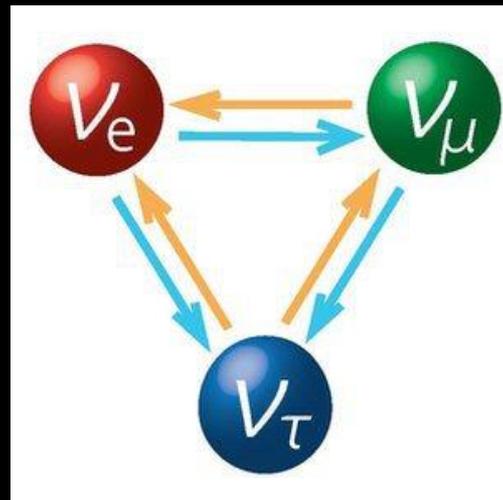
mediram todos os tipos de neutrinos que chegam  
à Terra vindos do Sol:  $\nu_e + \nu_\mu + \nu_\tau$

as medidas são consistentes com o previsto!

# O que se passa??

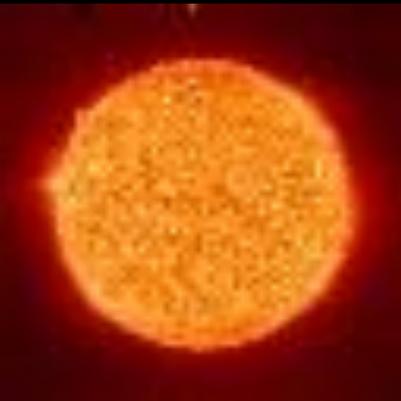
Desde a década de 1960, modelos teóricos preveem que diferentes tipos de neutrinos podem se transformar espontaneamente uns nos outros:

## *OSCILAÇÕES QUÂNTICAS DE NEUTRINOS*



Os primeiros experimentos de neutrinos solares estavam interessados somente nos  $\nu_e$  porque são estes que são criados no Sol.

Mas ao longo do caminho entre o Sol e a Terra...



$$\nu_e \rightarrow \nu_{\mu, \tau}$$



... se transformam em outros tipos de neutrinos!  
Estes outros tipos de neutrinos  
escapavam da detecção.

***Oscilações Quânticas de Neutrinos***

***resolvem o***

**Problema do Neutrino Solar**

# Além do Sol, há outras evidências que os neutrinos oscilam:

- *Neutrinos atmosféricos*: resultado de colisões raios cósmicos no alto da atmosfera



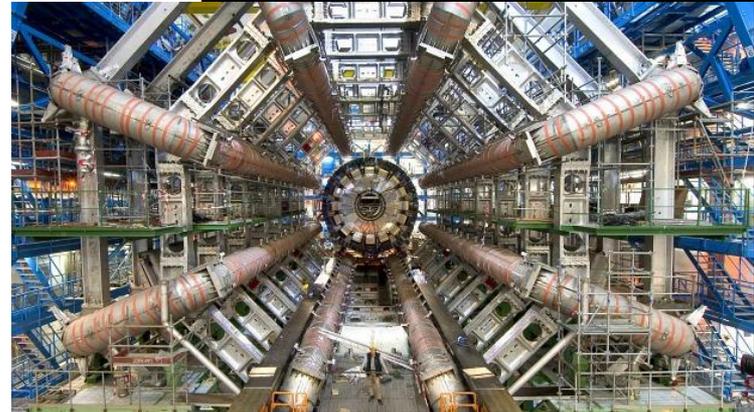
# *Neutrinos produzidos em reatores*



Usina Nuclear de Angra dos Reis



# *Neutrinos de aceleradores*



Fermilab, EUA



***Sabemos que os neutrinos  
oscilam, mas falta muito para se  
descobrir sobre os neutrinos!***

***Alguns exemplos:***

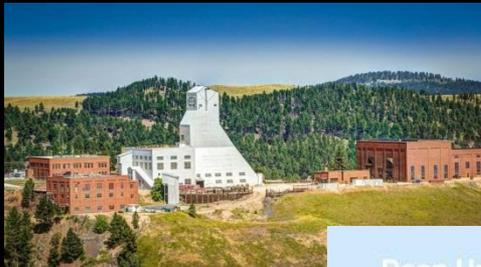
- sabemos que eles têm massa (porque oscilam), mas qual é sua massa?
- qual é o neutrino mais pesado?
- sofrem algum tipo de interação não-padrão?
- têm momento magnético?
- neutrino = antineutrino?
- ???



# DUNE

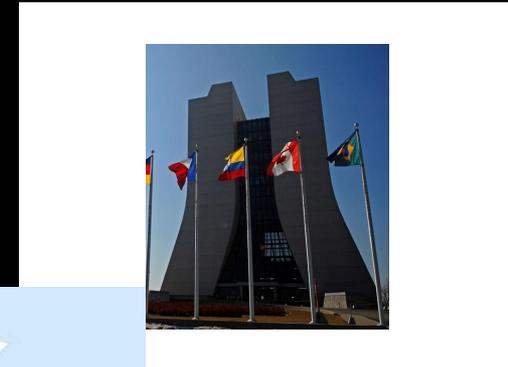
## Deep Underground Neutrino Experiment (forte presença brasileira)

- Projeto experimental que pode responder algumas destas questões



Sanford

← 1300 km →



Fermilab



# *neutrino = antineutrino?*



Pode estar aí a chave de um dos maiores enigmas do Universo:

***Por que existe alguma coisa ao invés de nada?***

Segundo o Big Bang: matéria e antimatéria foram criadas em igual quantidade

***Se elas se aniquilassem, só sobraria luz!***

Mas nós estamos aqui e não somos formados de luz!

***Houve um desbalanço! E neutrinos podem ter algo com isso!***

- ***Para cada próton ou elétron do Universo, existem cerca de 10 bilhões de fótons***
- **10 bilhões de “partículas” aniquilaram 10 bilhões de “antipartículas” e sobrou uma partícula!**
- ***DUNE vai comparar o comportamento de um feixe de neutrinos com o comportamento de um feixe de antineutrinos.***
- **Se houver alguma diferença, esta pode ser a causa do “desbalanço” entre matéria e antimatéria!**

**Concluindo...**

**Os neutrinos abrem uma janela para o Universo!**

**Eles podem gerar muito conhecimento e aplicações.**

**Apesar dos avanços no nosso conhecimento sobre os neutrinos, eles continuam**

**MISTERIOSOS**

**e OBJETO DE MUITO ESTUDO!**

A person stands on a beach at night, looking up at the Milky Way galaxy in the sky. The person is silhouetted against the dark water and sky, holding a light that illuminates the sand around them. The Milky Way is visible as a bright, cloudy band of stars stretching across the sky.

***Obrigado pela sua atenção!***

***Marcelo M. Guzzo***

***Instituto de Física da UNICAMP***

***guzzo@unicamp.br***

***sites.ifi.unicamp.br/gefan/***

*Thaisson Fucini*