

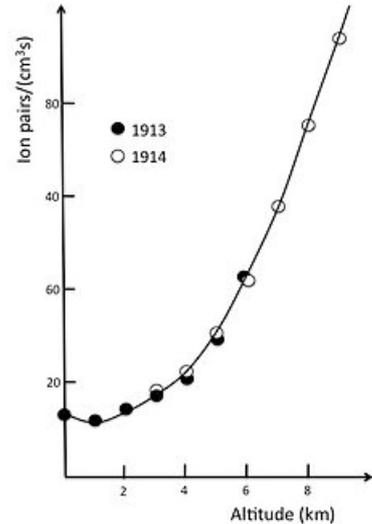
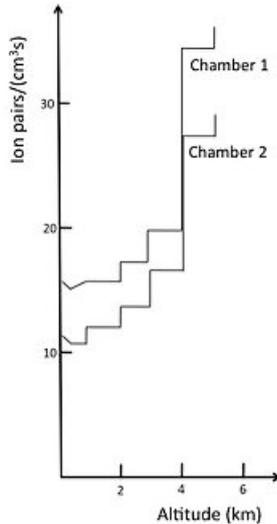
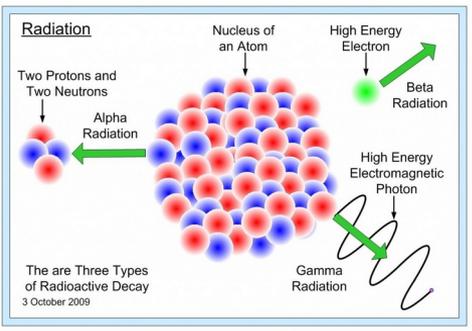
# experiências de astropartículas de 440 km a -2 km de altitude



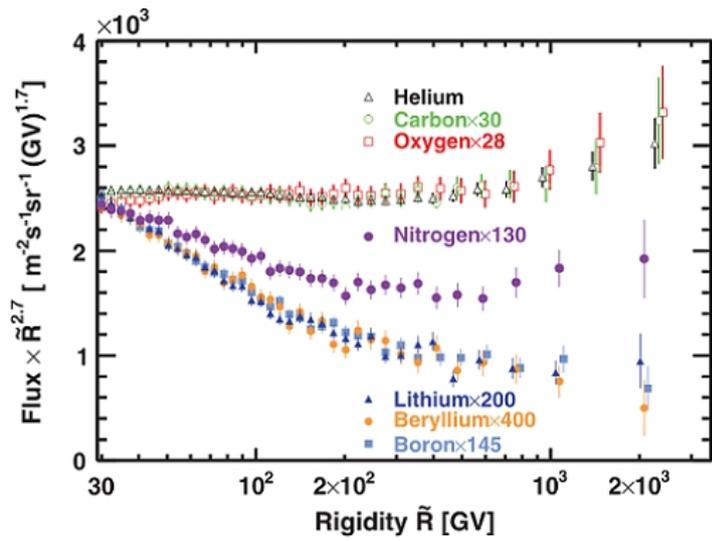
Estágio Ciência Viva  
Julho 2022



# da radioatividade aos raios cósmicos

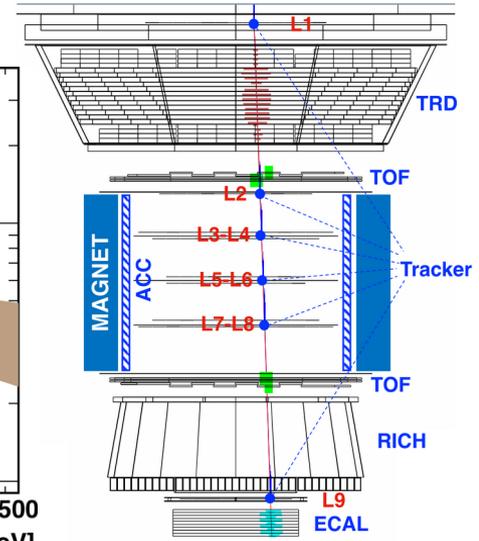
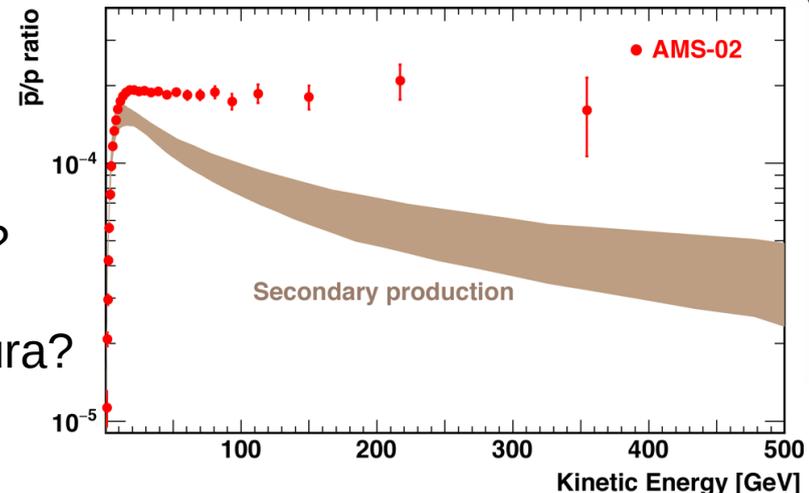


# AMS, o detetor de partículas na Estação Espacial Internacional



Pessoas e estrelas:  
os mesmos elementos

Sinais de anti-matéria?  
OU  
Sinais de matéria escura?

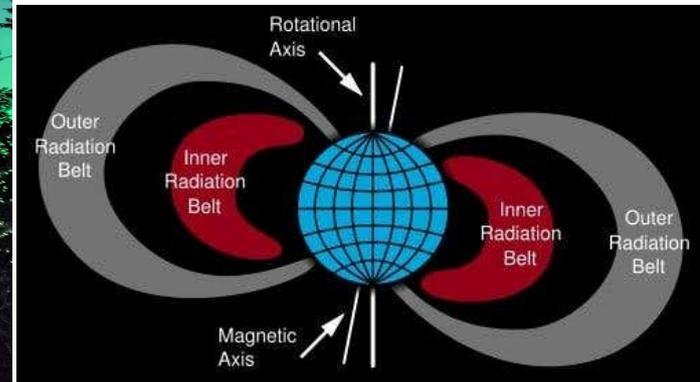


# a atmosfera (e campo magnético) protegem-nos dos raios cósmicos



As partículas com carga são guiadas para Polo Norte e Sul

Mas os raios cósmicos chegam também ao resto do planeta !



# ...mas e nas viagens espaciais?



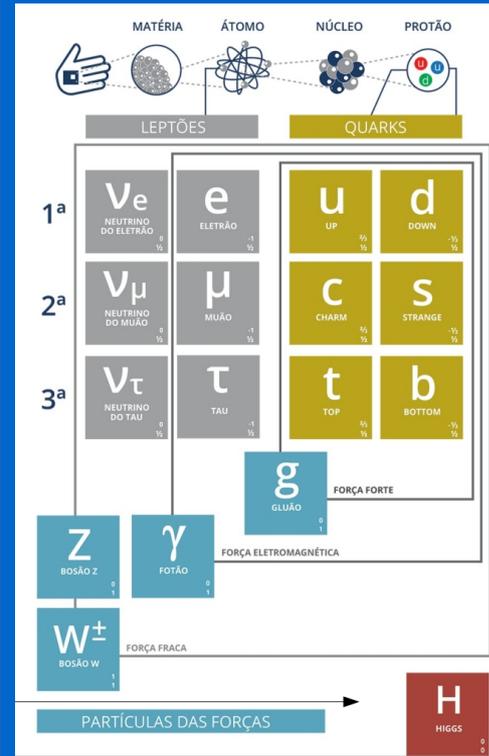
20 g/cm<sup>3</sup> de atmosfera (na Terra 1 kg/cm<sup>3</sup>)  
1.5 uT de campo magnético (na Terra 25 a 65 uT)  
Mapa de radiação à superfície calculado no LIP



Monitores para mapear a radiação numa viagem até Júpiter e às suas luas: Io, Europa e Ganimedes (tendo em atenção campos magnéticos complexos)

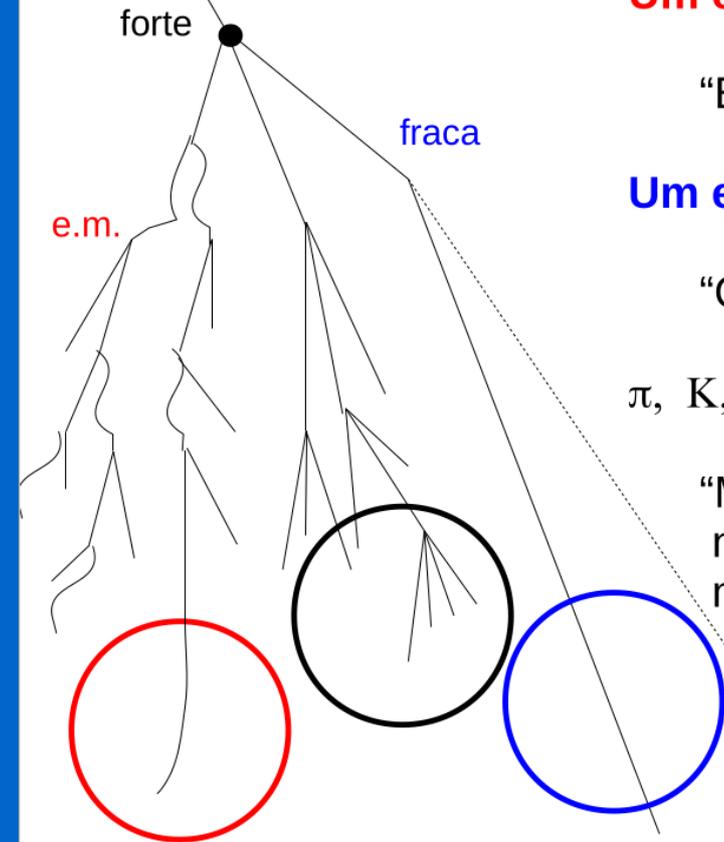
$$E = mc^2$$

Criar novas partículas!



1<sup>a</sup>: na matéria normal  
2<sup>a</sup>: nos raios cósmicos  
3<sup>a</sup>: nos laboratórios

# Raios cósmicos: mais partículas



Um electrão com carga positiva? **positrão,  $e^+$**

“É a outra solução da equação de Dirac!”

Um electrão com 200 x mais mass? **muão,  $\mu$**

“Ops, e isto? Quem é que pediu isto?”

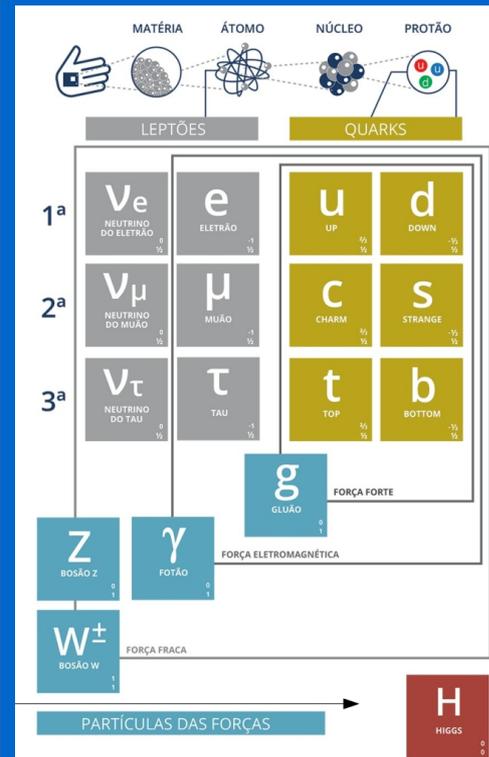
$\pi$ ,  $K$ ,  $\Lambda$ ,  $\Omega$ ,  $\Sigma$ ,  $\Delta$

“Muitos **hadrons** – todos são feitos de quarks, não só os quarks u/d dos nucleões p/n, mas também o **quark s** (e o **quark c**)”

A descoberta do positrão e do muão deu dois prémios Nobel a Anderson

$$E = mc^2$$

Criar novas partículas!



1ª: na matéria normal  
2ª: nos raios cósmicos  
3ª: nos laboratórios

# Raios cósmicos: mais partículas

Um electrão com carga positiva? **positrão,  $e^+$**

“É a outra solução da equação de Dirac!”

Um electrão com 200 x mais mass? **muão,  $\mu$**

“Ops, e isto? Quem é que pediu isto?”

$\pi$ , K,  $\Lambda$ ,  $\Omega$ ,  $\Sigma$ ,  $\Delta$

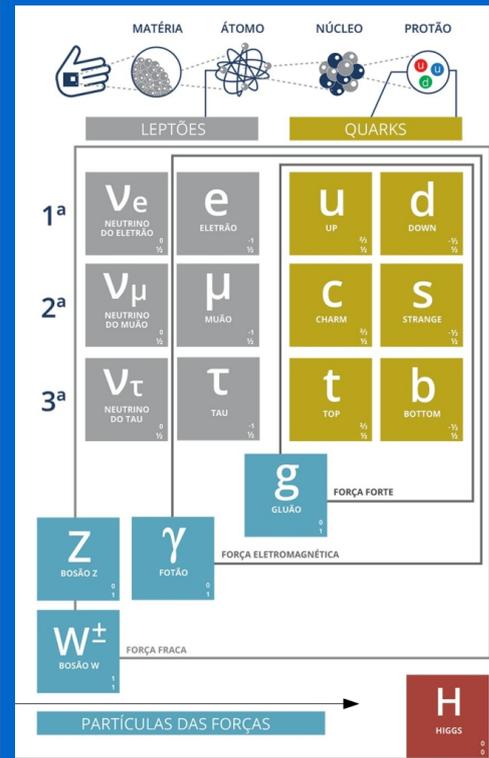
“Muitos **hadrões** – todos são feitos de quarks, não só os quarks u/d dos nucleões p/n, mas também o **quark s** (e o **quark c**)”

A descoberta do positrão e do muão deu dois prémios Nobel a Anderson



$$E = mc^2$$

Criar novas partículas!



1ª: na matéria normal  
2ª: nos raios cósmicos  
3ª: nos laboratórios

# Raios cósmicos: mais partículas

Um electrão com carga positiva? **positrão,  $e^+$**

“É a outra solução da equação de Dirac!”

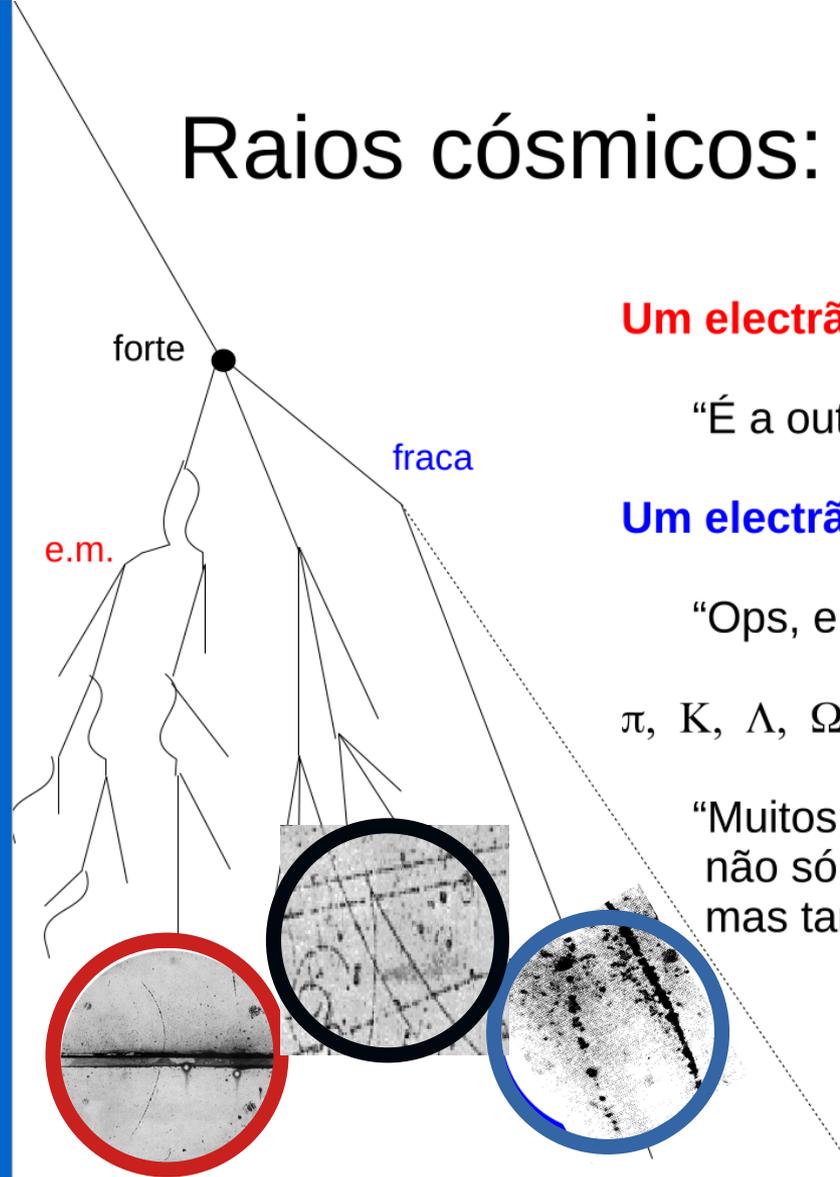
Um electrão com 200 x mais mass? **muão,  $\mu$**

“Ops, e isto? Quem é que pediu isto?”

$\pi$ ,  $K$ ,  $\Lambda$ ,  $\Omega$ ,  $\Sigma$ ,  $\Delta$

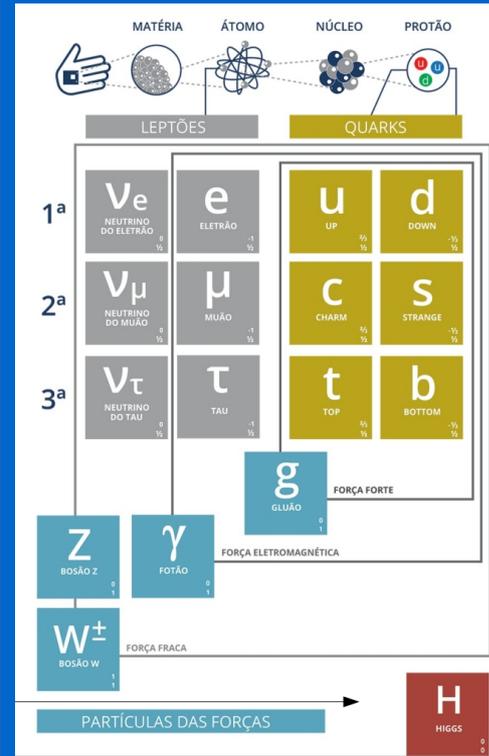
“Muitos **hadrões** – todos são feitos de quarks, não só os quarks  $u/d$  dos nucleões  $p/n$ , mas também o **quark  $s$**  (e o **quark  $c$** )”

A descoberta do positrão e do muão deu dois prémios Nobel a Anderson



$$E = mc^2$$

Criar novas partículas!



1ª: na matéria normal  
2ª: nos raios cósmicos  
3ª: nos laboratórios

# Raios cósmicos: mais partículas

Um electrão com carga positiva? **positrão,  $e^+$**

“É a outra solução da equação de Dirac!”

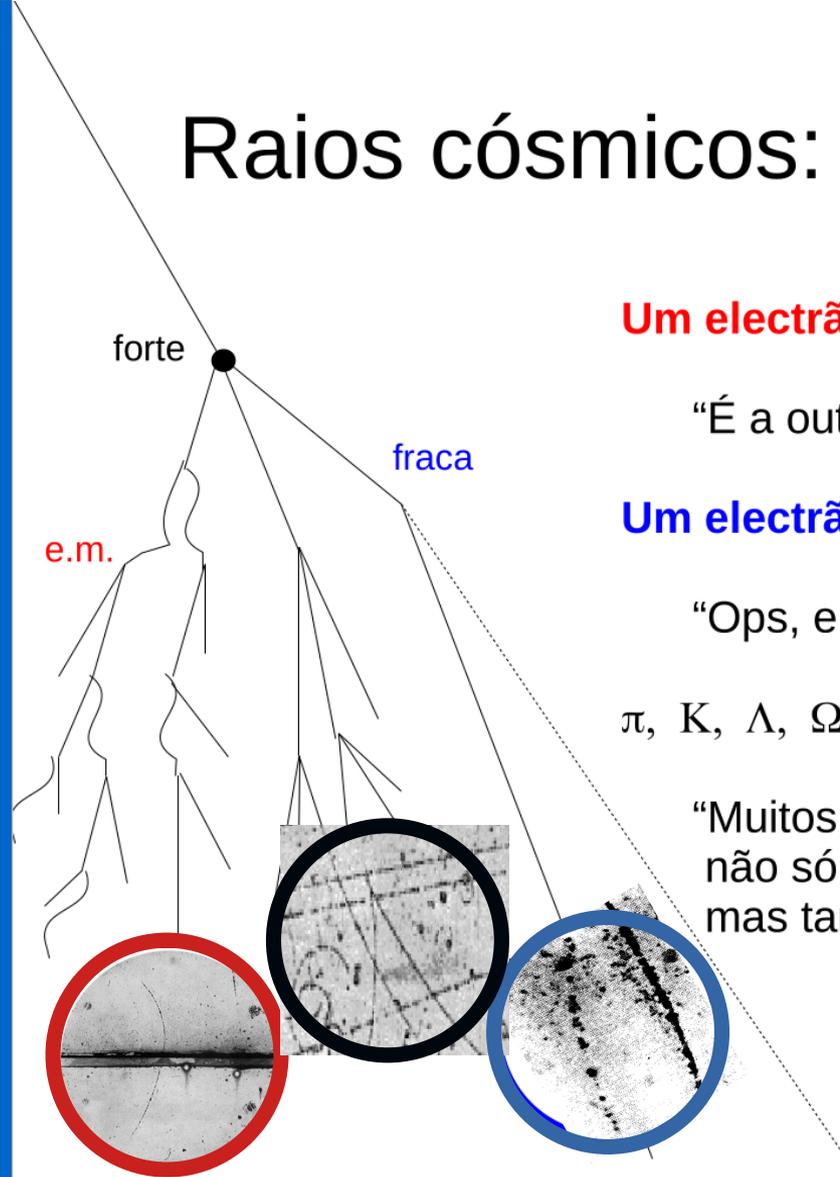
Um electrão com 200 x mais mass? **muão,  $\mu$**

“Ops, e isto? Quem é que pediu isto?”

$\pi$ ,  $K$ ,  $\Lambda$ ,  $\Omega$ ,  $\Sigma$ ,  $\Delta$

“Muitos **hadrões** – todos são feitos de quarks, não só os quarks u/d dos nucleões p/n, mas também o **quark s** (e o **quark c**)”

A descoberta do positrão e do muão deu dois prémios Nobel a Anderson



Muões: depois já veremos em mais detalhe!

$$E = mc^2$$

Criar novas partículas!

# muões e o espaço / tempo

Os muões são “cópias” muito mais pesados dos electrões

\* por isso vivem muito pouco tempo:  
“decaem”, criando 1 electrão + 2 neutrinos

vida média do muão  
 $T_{1/2} \sim 2 \times 10^{-6} \text{ s}$

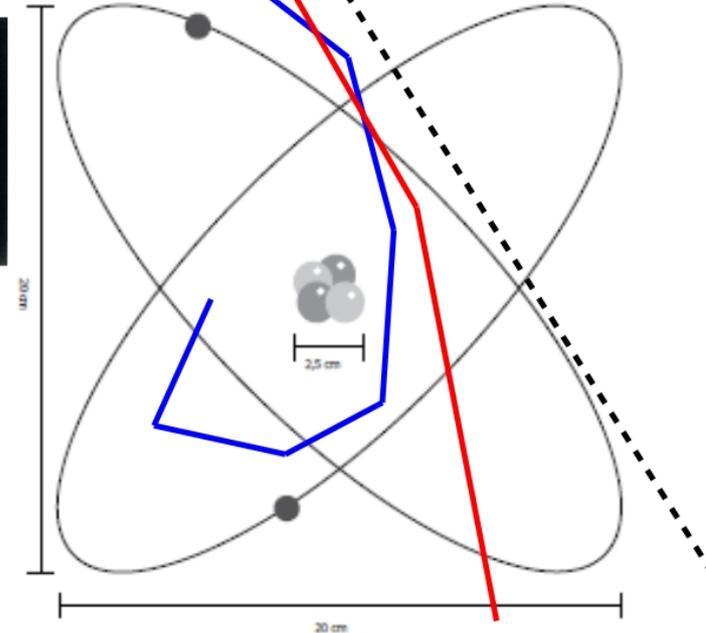
velocidade da luz  
 $c \sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

são produzidos a 10 km na atmosfera  
atravessam, em média,  $c \times T_{1/2}$  ?

**Relatividade: quando ( $v \rightarrow c$ )  
o tempo dilata ... ou o espaço contrai**



**Eletrão / Muão / Neutrino**



A relatividade  
sempre presente!

Para que servem?

muografia:

um novo “raio-X”  
para grandes objetos

Propriedades de cada  
partícula elementar  
são exploradas na  
arqueologia,  
aplicações médicas,  
além da geofísica,  
astrofísica,  
cosmologia, ...

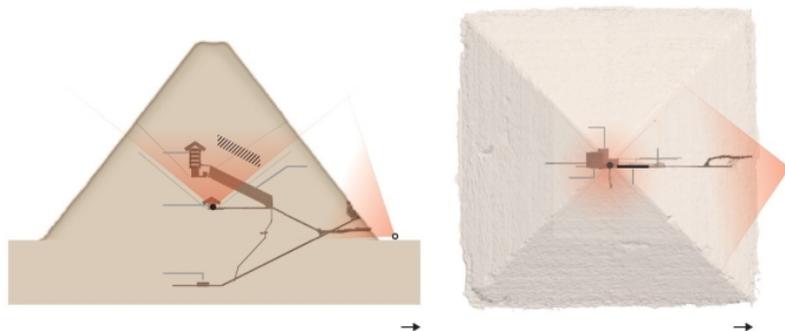
# muões e a muografia

Os muões são “cópias” muito mais pesados dos electrões

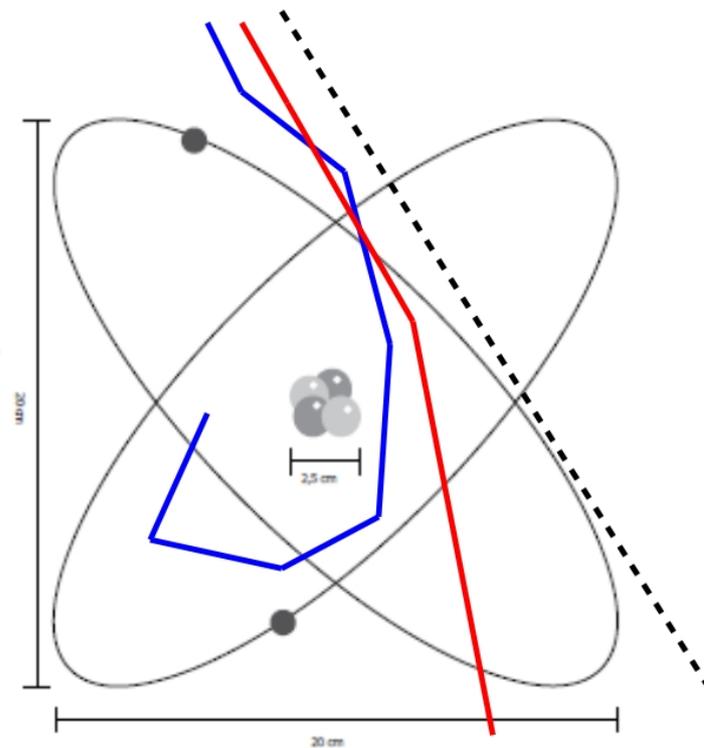
\* por isso atravessam mais a matéria (um muão / segundo, numa mão)



◀ Detector 1   ◀ Detector 2   ▨ secret chamber



Eletrão / Muão / Neutrino



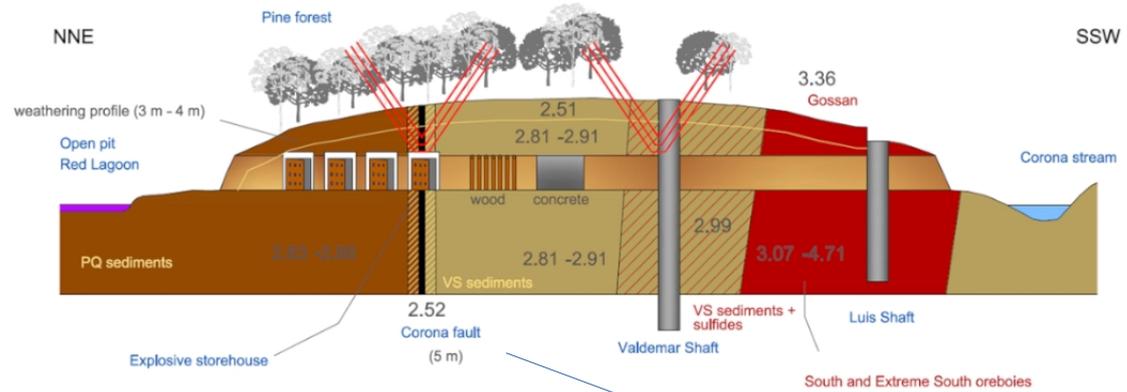
Para que servem?

muografia:

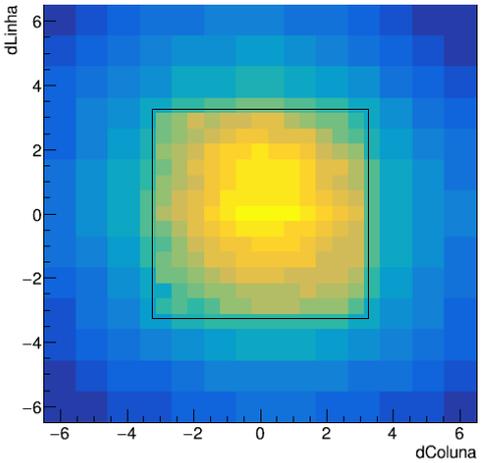
um novo “raio-X”  
para grandes objetos

Projecto LouMu

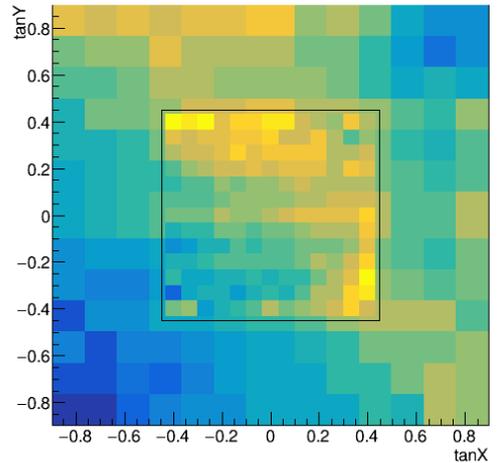
### Mina do Lousal – Galeria Waldemar Lousal Mine – Waldemar Gallery



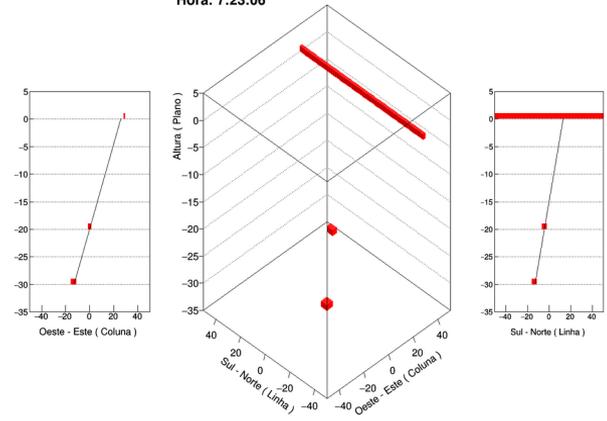
Mapa de Contagens/Count Map



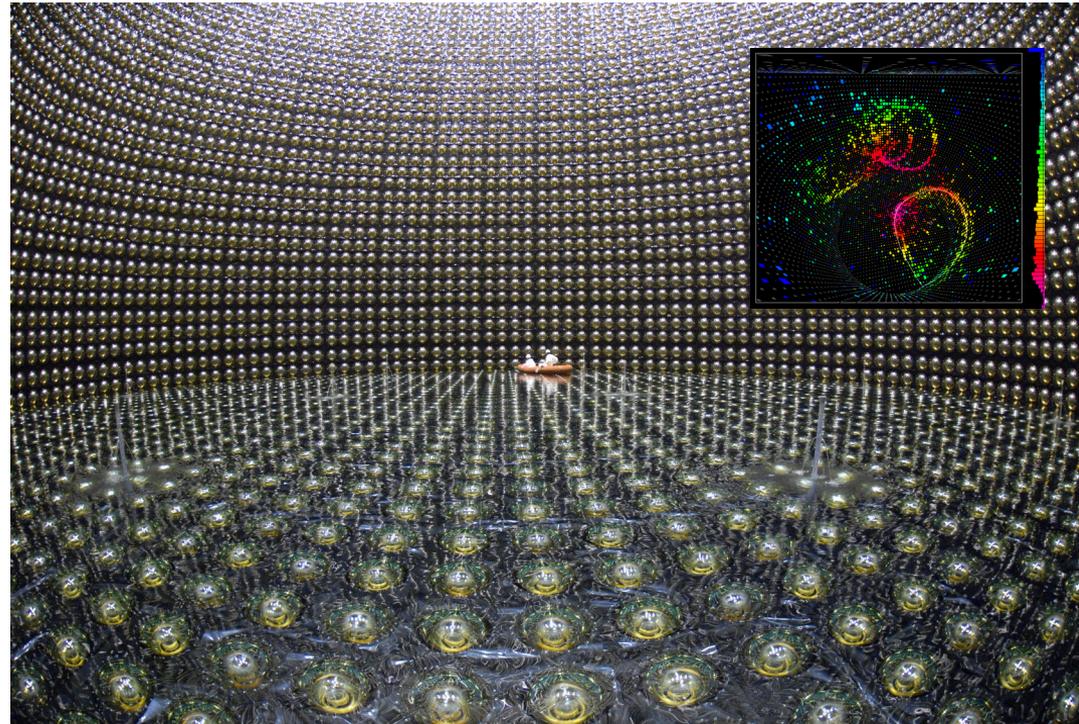
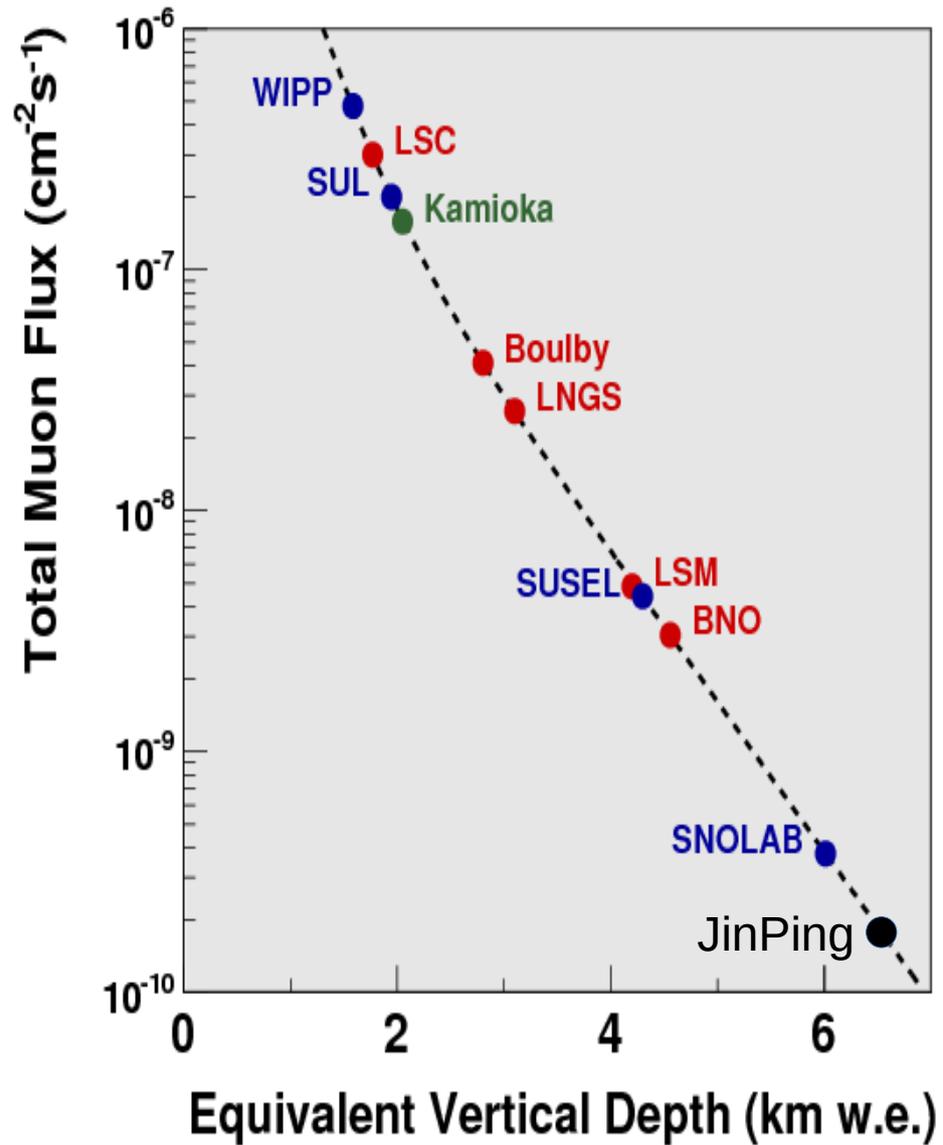
Muografia/Muography



Data: 17/7/2022  
Hora: 7:23:06



# observatórios subterrâneos

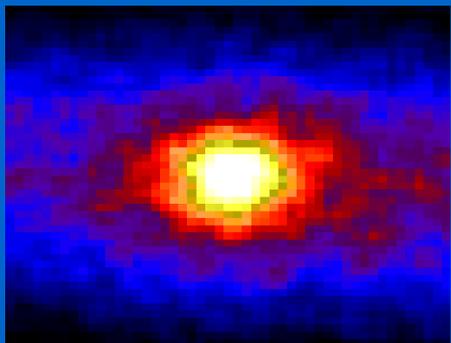


Neutrinos: depois já veremos em mais detalhe!

# OS NEUTRINOS

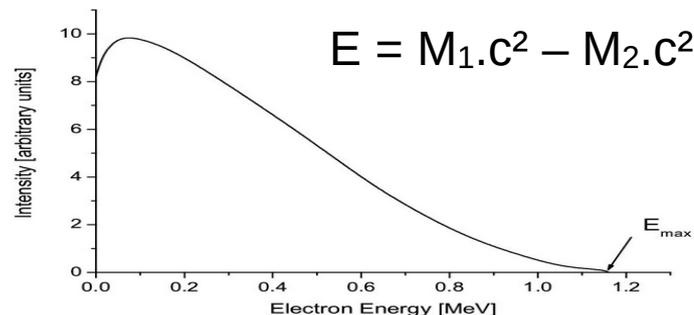
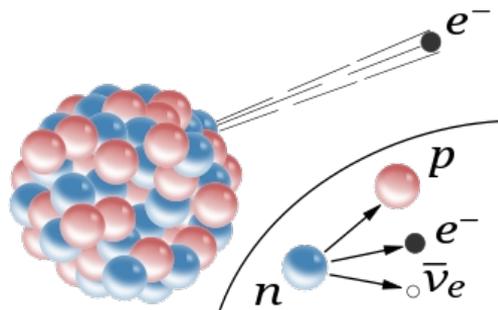
Com cada muão é produzido 1 (ou até 3) neutrino na atmosfera:  
~ 1 / cm<sup>2</sup> / min

Do centro do Sol chegam muito mais:  
~ 10<sup>12</sup> / cm<sup>2</sup> / min

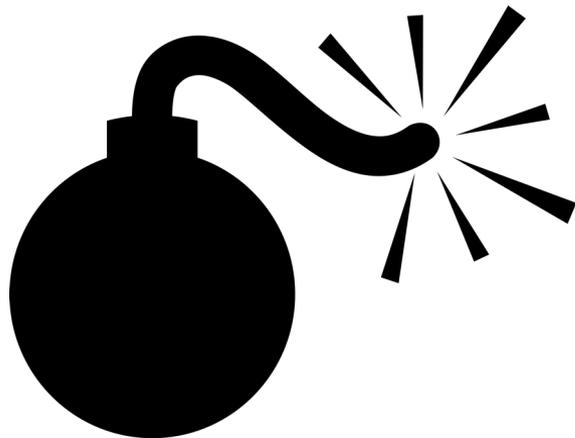


Neutrinografia do Sol  
p/ SuperKamiokande  
( com exposição de  
500 dias e noites! )

Neutrinos são necessários para garantir a conservação de energia!



Para (quase) todos os efeitos, os neutrinos não interagem!



Uma partícula invisível?

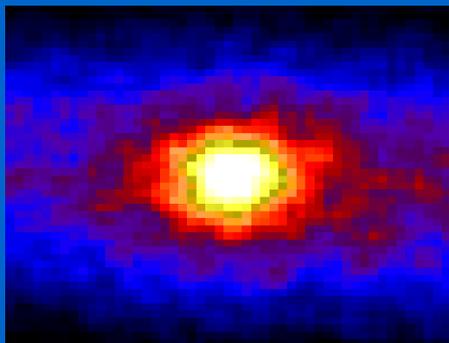
Que não podemos detetar?

Sem carga elétrica e com Massa ~ 0

# OS NEUTRINOS

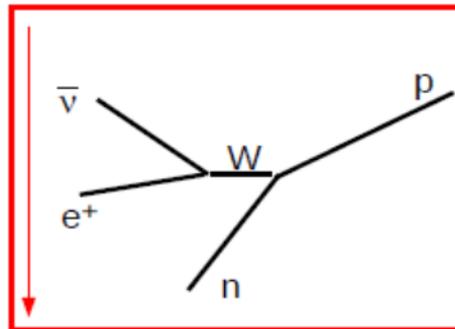
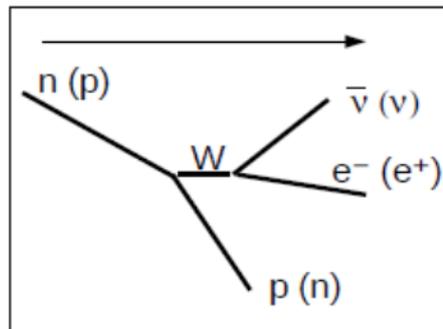
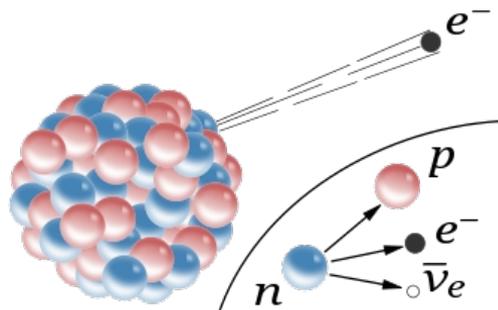
Com cada muão é produzido 1 (ou até 3) neutrino na atmosfera:  
~ 1 / cm<sup>2</sup> / min

Do centro do Sol chegam muito mais:  
~ 10<sup>12</sup> / cm<sup>2</sup> / min



Neutrinografia do Sol p/ SuperKamiokande ( com exposição de 500 dias e noites! )

Neutrinos são necessários para garantir a conservação de energia!



Levou 25 anos até poderem serem observados!

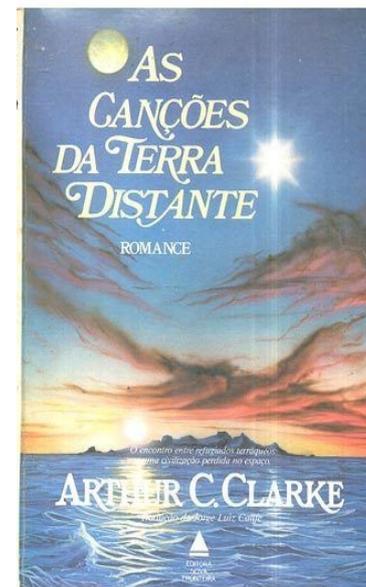
E mais 25 anos para resolver o “Problema dos Neutrinos Solares”!

**O Sol está bem e estável!**

número de neutrinos = energia

**Os 3 neutrinos oscilam entre si!!**

e deixamos de os poder detectar



# Prêmio Nobel 2015

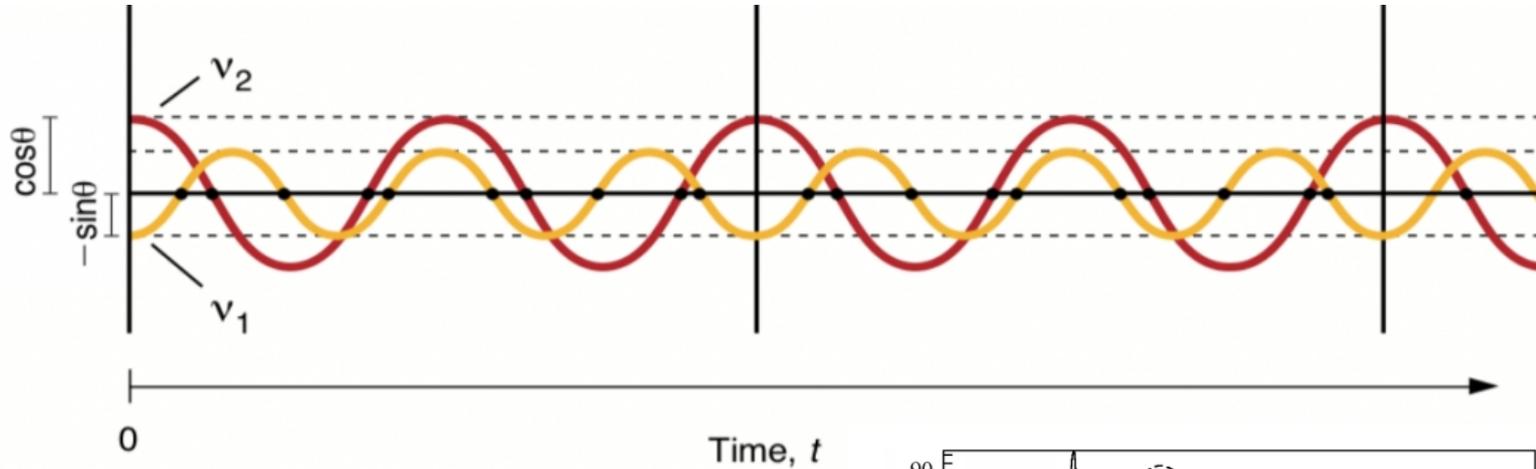


Os neutrinos mudam de família ao longo do tempo!

Oscilação é um grande exemplo da mecânica quântica

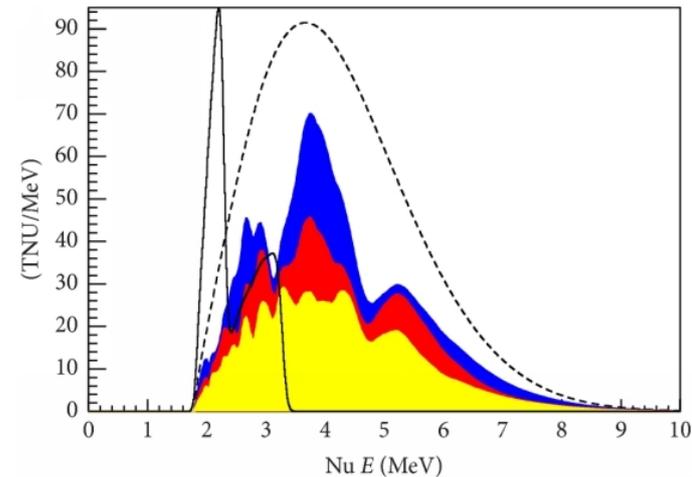
Se sentem o tempo, é porque têm massa!

Os neutrinos oscilam ao longo do tempo mudam de tipo enquanto viajam:



Perto da fonte (e periodicamente), interagem criando elétrons (são neutrinos de elétron)

Ao longo do caminho misturam-se com neutrino de muão e de tau



# Prémio Nobel 2015



As propriedades dos neutrinos continuam a ser exploradas!

A deeper understanding  
of the **Universe**  
from 2 km underground

Lisboa, 6 Setembro, 18h00  
Aud. José Mariano Gago - Pavilhão do Conhecimento



**Arthur B. McDonald**

Prémio Nobel da Física 2015

*"pela descoberta das oscilações de neutrinos  
que mostram que os neutrinos têm massa."*



ENTRADA GRATUITA  
reservação: [www.cienciaviva.pt](http://www.cienciaviva.pt)

O LIP participa na experiência DUNE  
mede neutrinos (e anti-neutrinos) produzidos num acelerador  
com grande precisão nas oscilações de neutrinos:  
é igual ou é diferente entre eles???  
contribuem para um Universo de matéria (e não anti-matéria)?



# Prémio Nobel 2015



As propriedades dos neutrinos continuam a ser exploradas!

A deeper understanding  
of the **Universe**  
from 2 km underground

Lisboa, 6 Setembro, 18h00  
Aud. José Mariano Gago - Pavilhão do Conhecimento



Arthur B. McDonald

Prémio Nobel da Física 2015

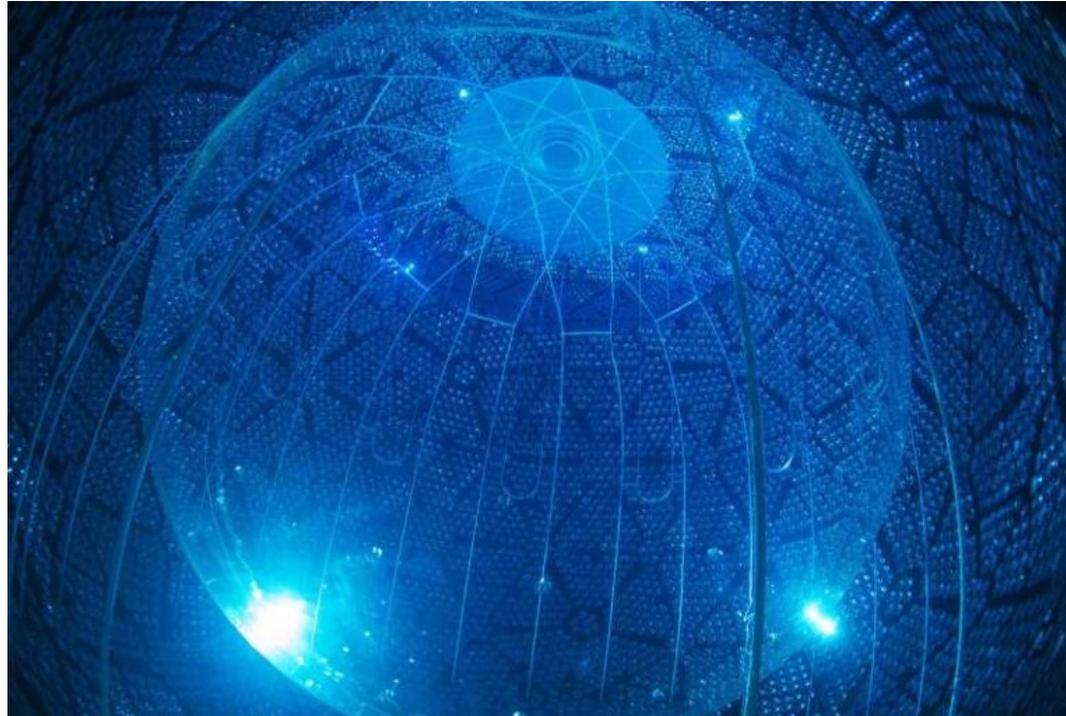
*"pela descoberta das oscilações de neutrinos  
que mostram que os neutrinos têm massa."*



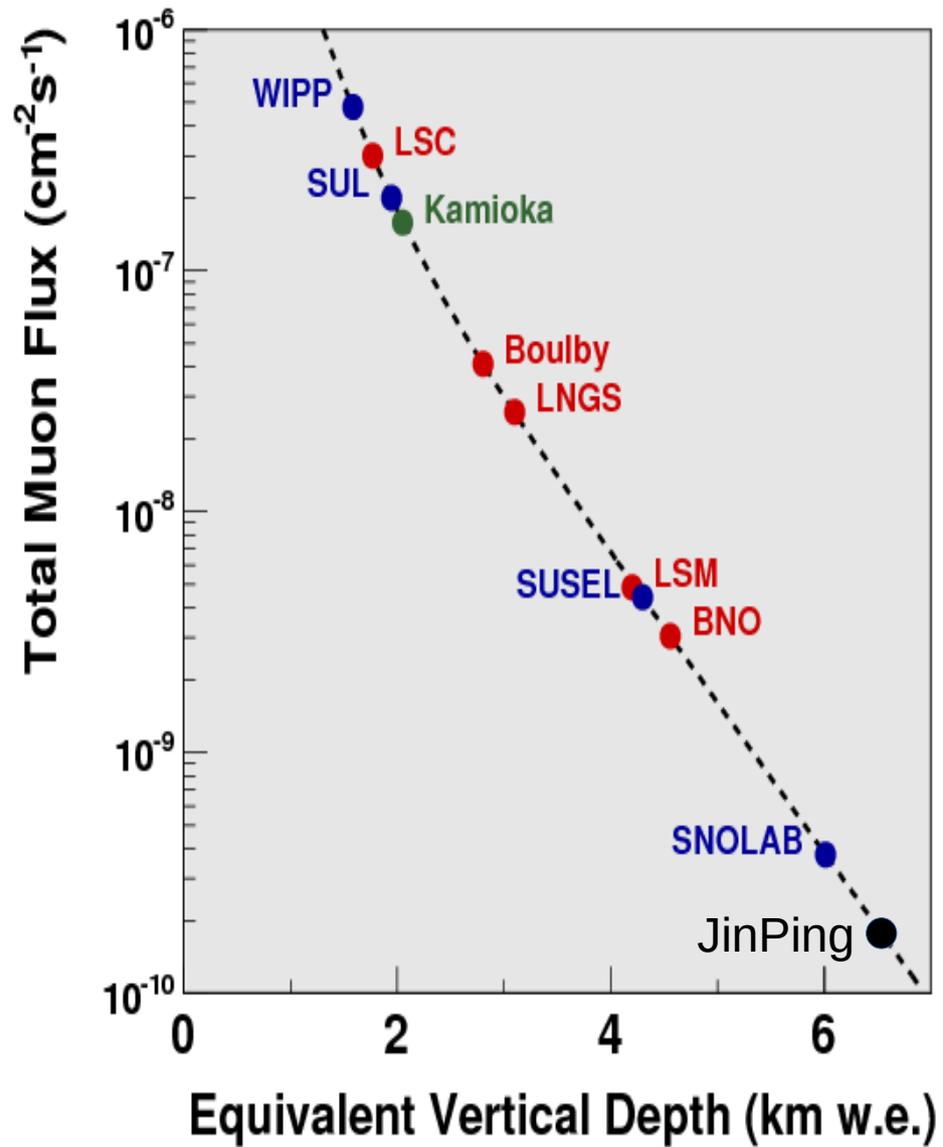
ENTRADA GRATUITA  
reservação: [www.ciencia viva.pt](http://www.ciencia viva.pt)

O LIP participa na experiência SNO+

mede neutrinos do Sol, da Terra (e de Supernovas?)  
mede decaimento beta duplo (com e sem neutrinos):  
os neutrinos são a sua própria anti-partícula???  
contribuem para um Universo de matéria (e não anti-matéria)?  
[ajudarão a explicar a matéria escura??]



Matéria escura: como procurar o que não conhecemos?



Prémio Nobel 2015



As propriedades dos neutrinos continuam a ser exploradas!

A deeper understanding  
of the **Universe**  
from 2 km underground

Lisboa, 6 Setembro, 18h00  
Aud. José Mariano Gago - Pavilhão do Conhecimento



Arthur B. McDonald

Prémio Nobel da Física 2015

"pela descoberta das oscilações de neutrinos  
que mostram que os neutrinos têm massa."



CIÊNCIA VIVA 20

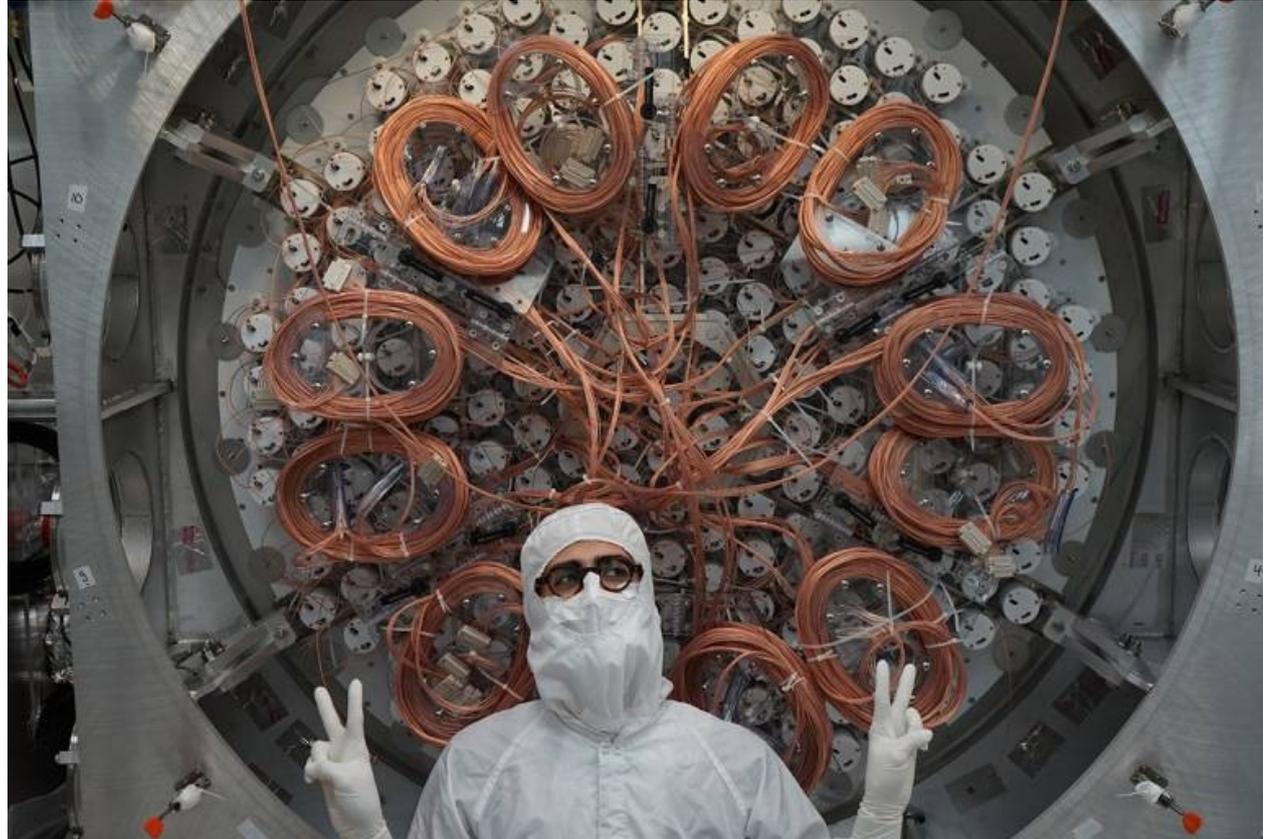
sp física



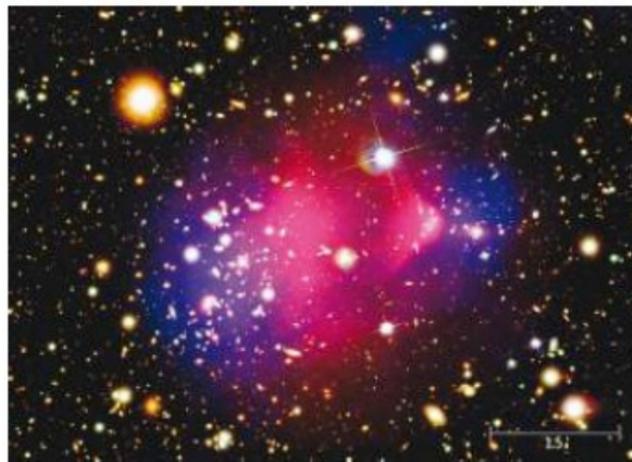
ENTRADA GRATUITA  
reservação: ciencia.viva - www.ciencia.viva.pt

O LIP participa na experiência LZ

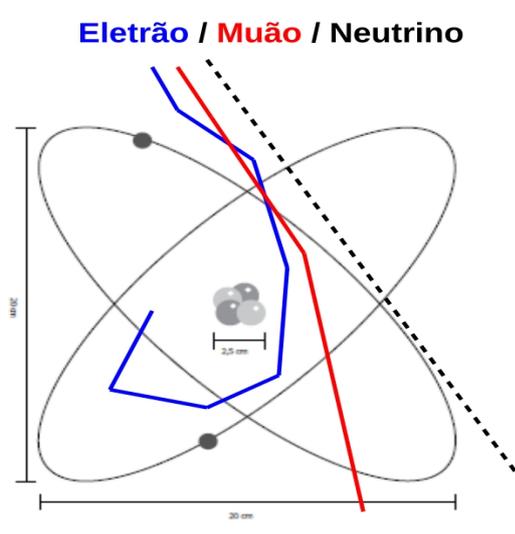
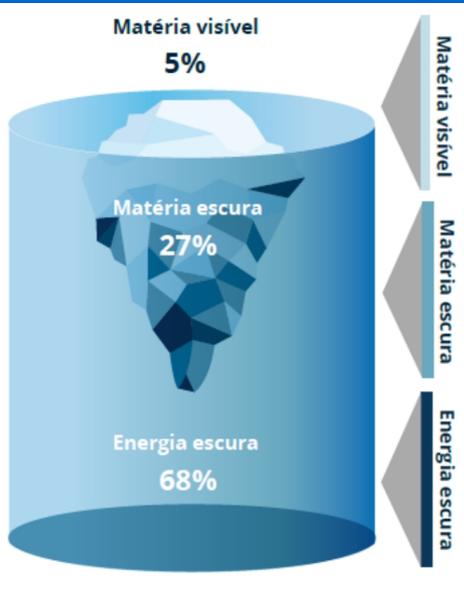
para procurar diretamente as partículas de matéria escura



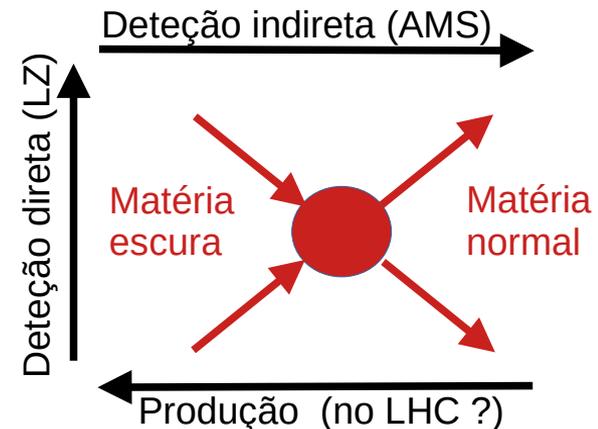
# matéria escura ?



- não é anti-matéria: que, pelo contrário, devia dar muita luz!
- não são neutrinos: demasiado rápidos para criar estrutura!
- não tem interação eletromagnética, não tem interação forte. Talvez fraca?

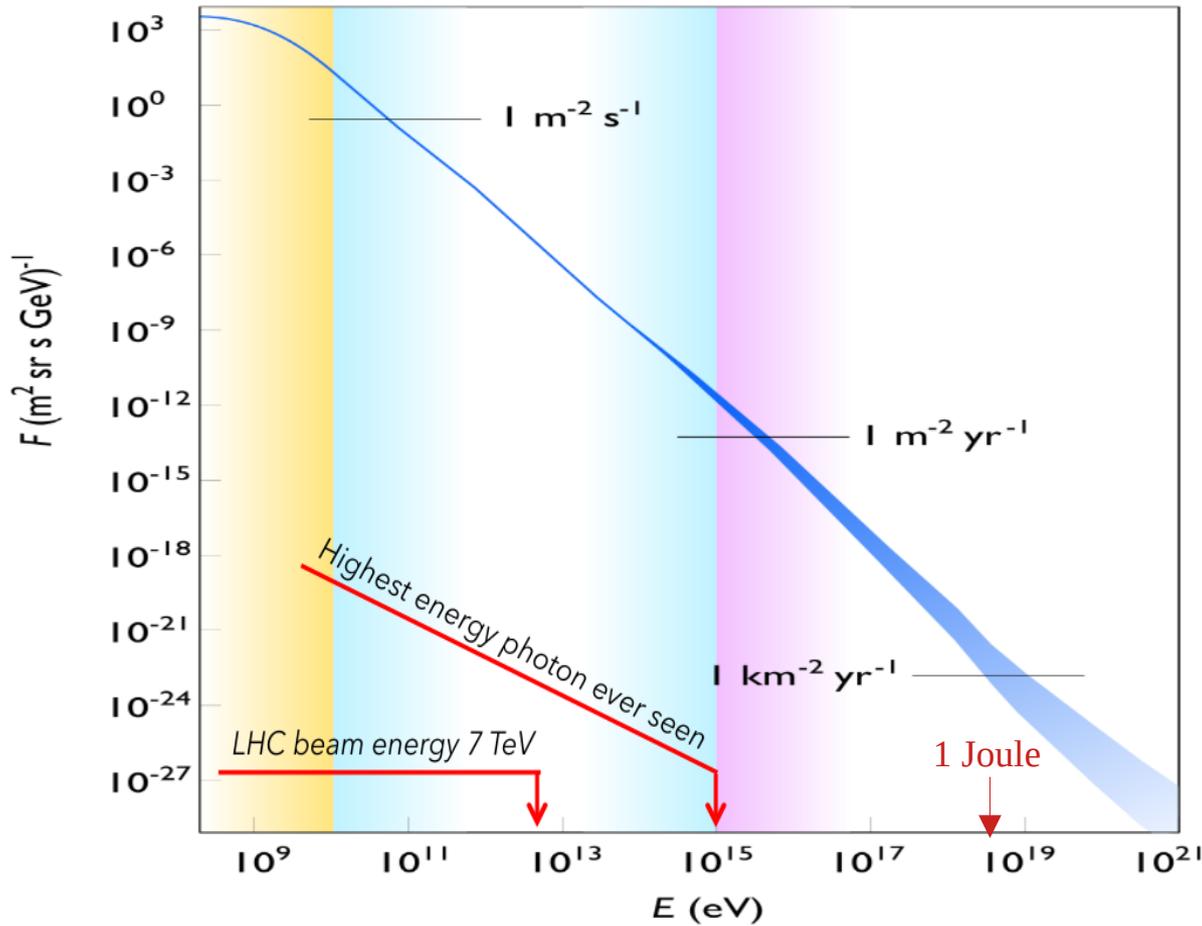


Se for como um neutrino mas muito pesado, pode bater e mover os núcleos atômicos!

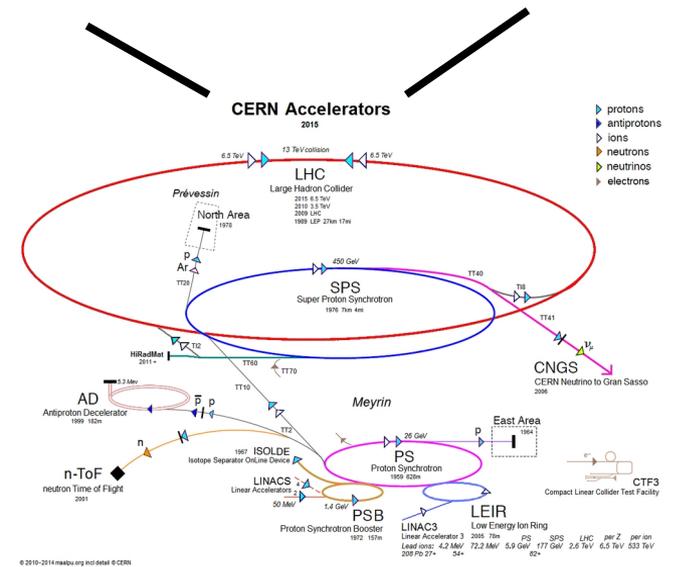


Raios cósmicos: o nosso trabalho hoje à tarde!

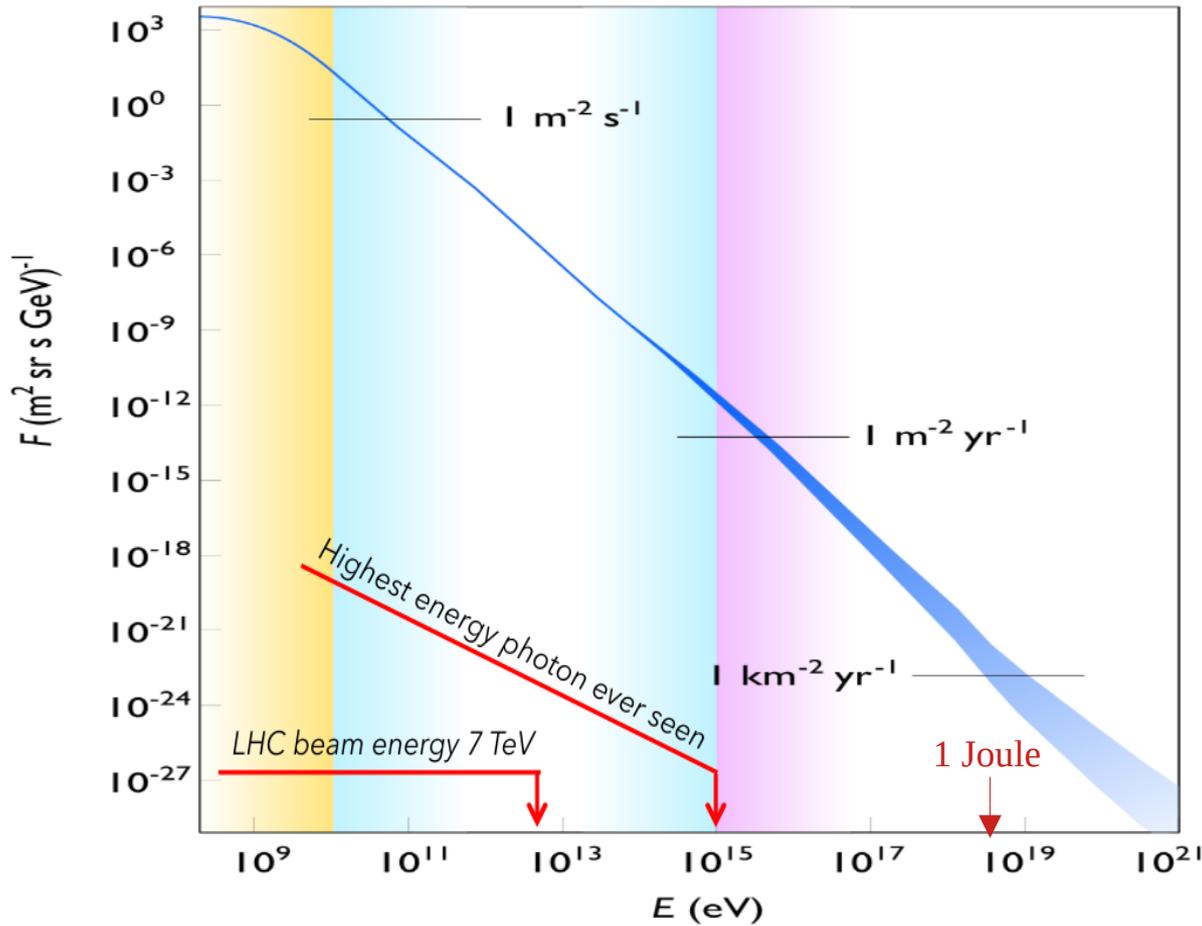
# Raios cósmicos de muito alta energia



um LHC com o perímetro da órbita de Mercúrio ?



# Raios cósmicos de muito alta energia

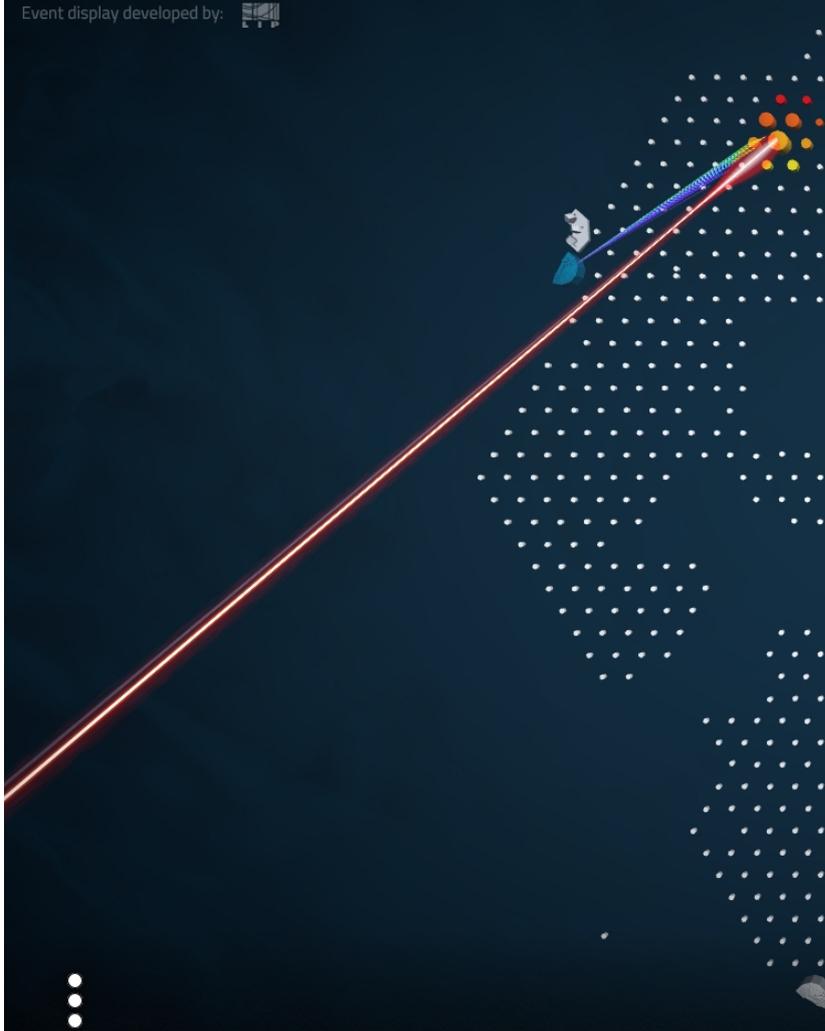


um detetor do tamanho da grande Lisboa?

## Size of the Pierre Auger Observatory

This is the Pierre Auger ground array boundaries in Malargüe, Argentina. To get a better idea of its size, this small tool allows you to display the Auger boundaries anywhere on earth, thanks to [Google maps](#).





Instrumentar uma área de 3000 km<sup>2</sup>?  
detectar algumas das partículas  
ver a luz UV emitida na atmosfera

Como medir a energia do raio cósmico?  
é proporcional à luz emitida  
mais partículas no solo

Como medir a direção de chegada?  
geometria e velocidade da luz

Event ID: 62394571900

Date: 28 Aug 2006

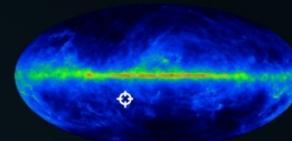
Time: 01:42:24

Reconstruction: SD

Theta: 40.39°

Phi: 271.17°

Energy: 8.81 EeV



Galactic Longitude: 319.13°

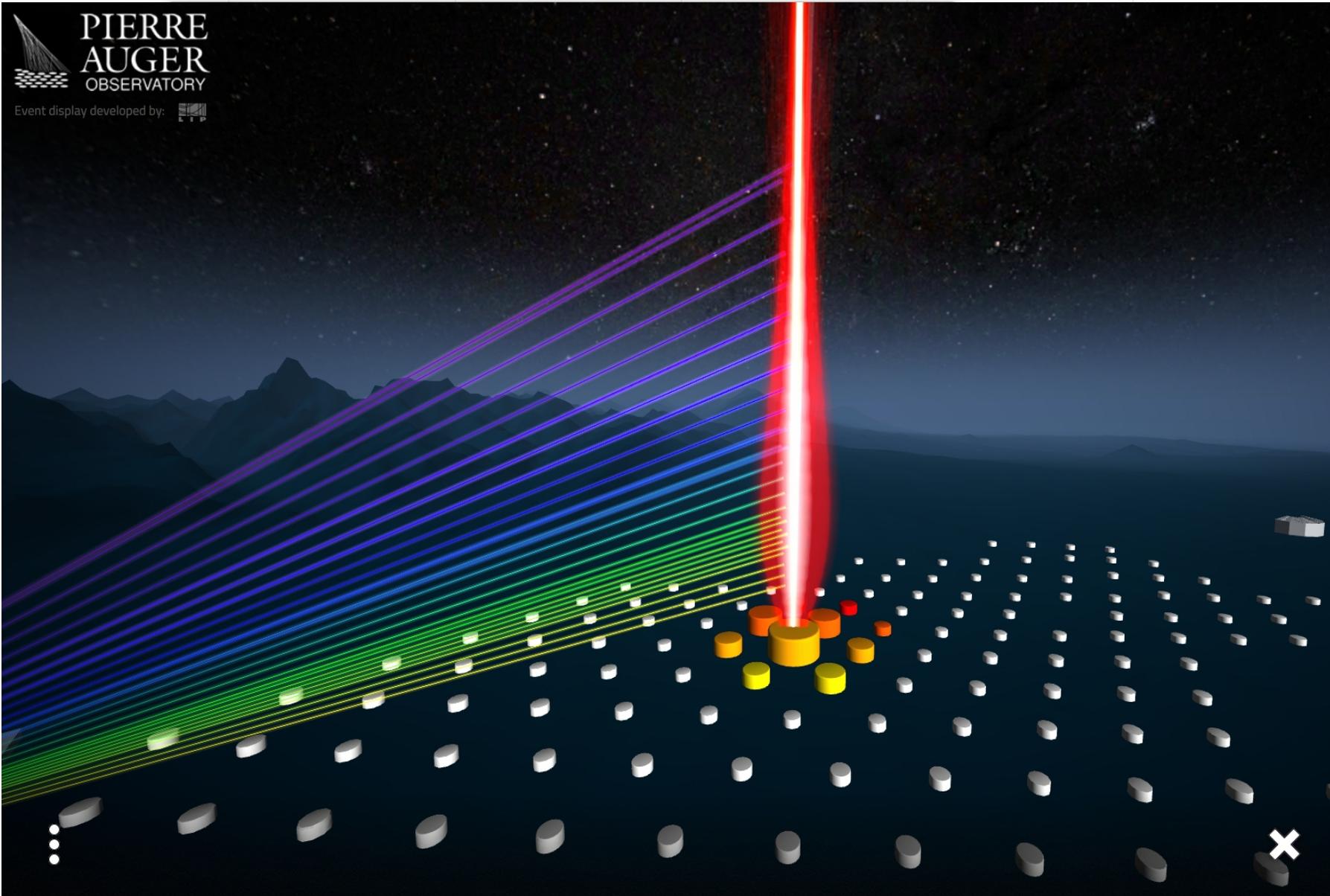
Galactic Latitude: -25.51°

Number of Stations: 10

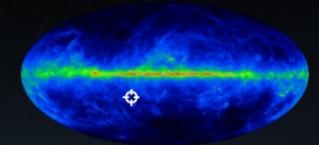
ID	Time	Signal
923		
931		
1020		
1022		
965		
1038		
997		
1035		
1040		
1034		



Select a Station



Event ID: 62394571900  
Date: 28 Aug 2006  
Time: 01:42:24  
Reconstruction: SD   
Theta: 40.39°  
Phi: 271.17°  
Energy: 8.81 EeV



Galactic Longitude: 319.13°  
Galactic Latitude: -25.51°

Number of Stations: 10

ID	Time	Signal
923		
931		
1020		
1022		
965		
1038		
997		
1035		
1040		
1034		



Select a Station

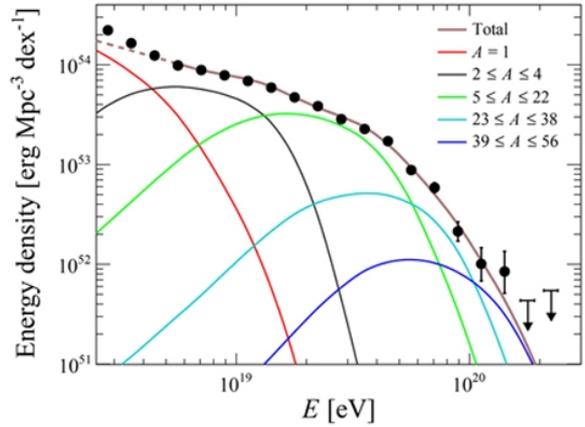
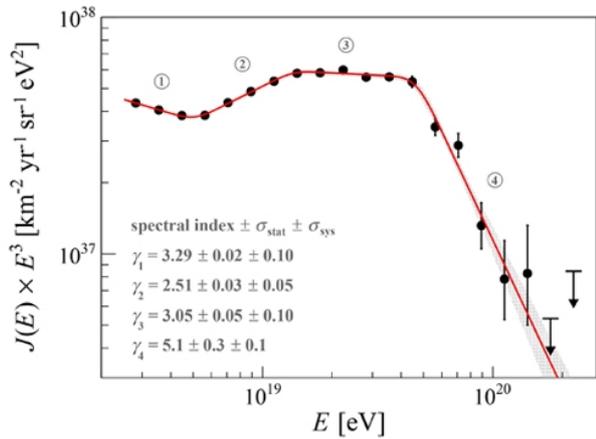
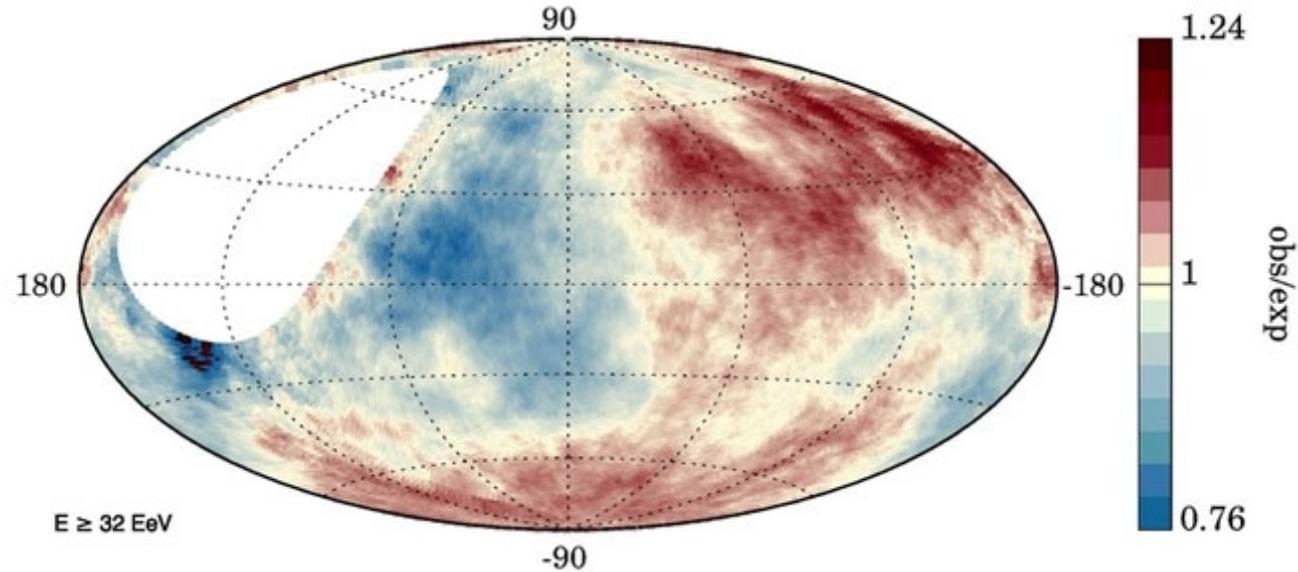




# Os Raios C3smicos de mais alta energia

s3o n3ucleos at3omicos que chegam de fora da nossa gal3xia !!!

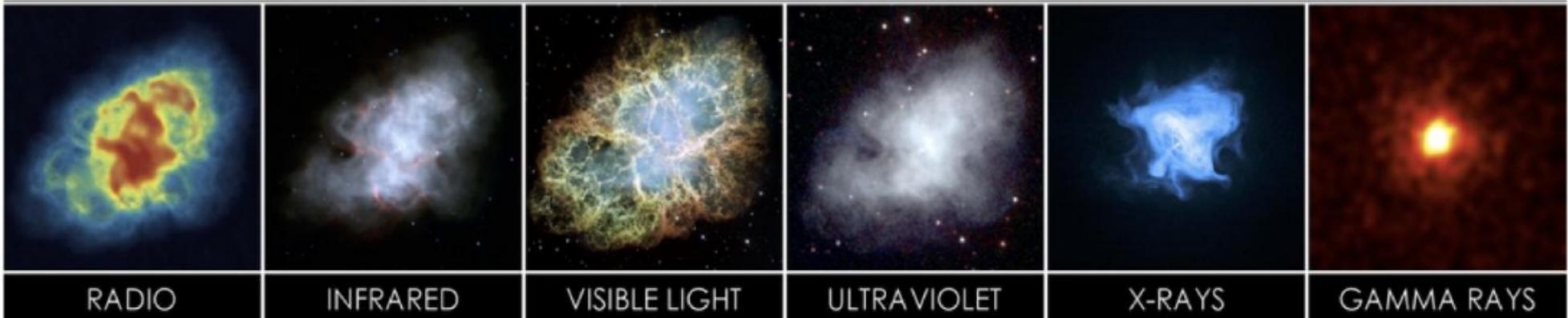
Mas ainda n3o 3 claro de onde exatamente e como s3o emitidos



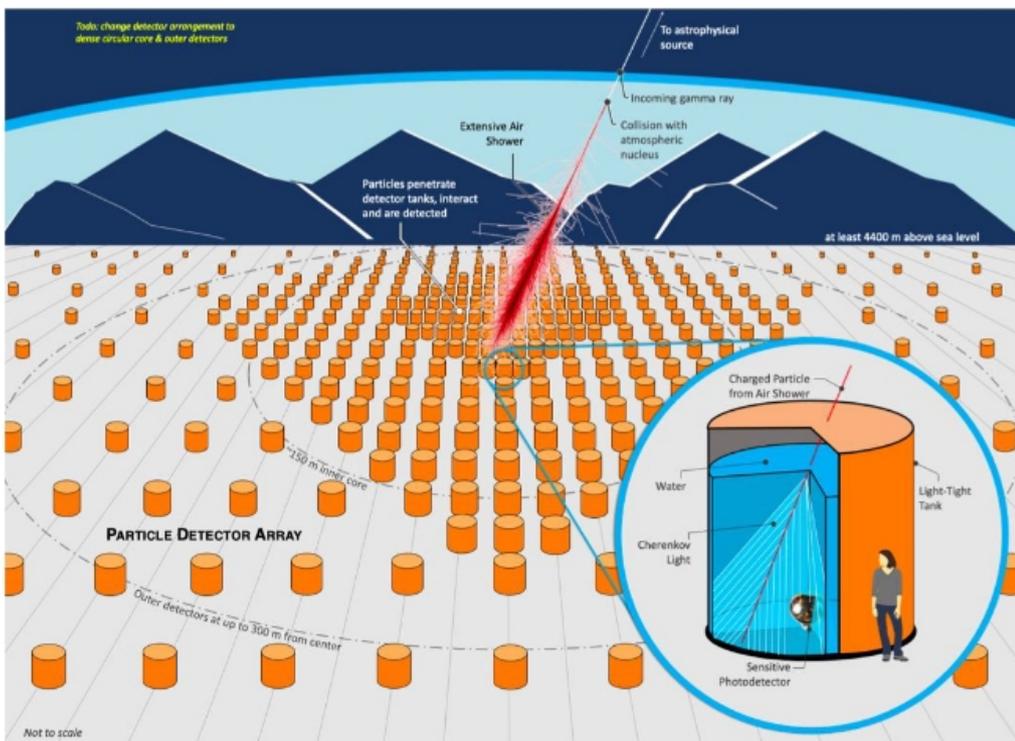
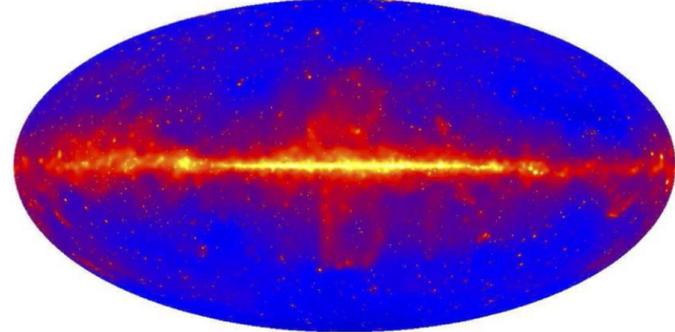
Outros: os caminhos de uma nova astronomia!

Nova astronomia:  
das várias cores da luz  
às várias mensageiras

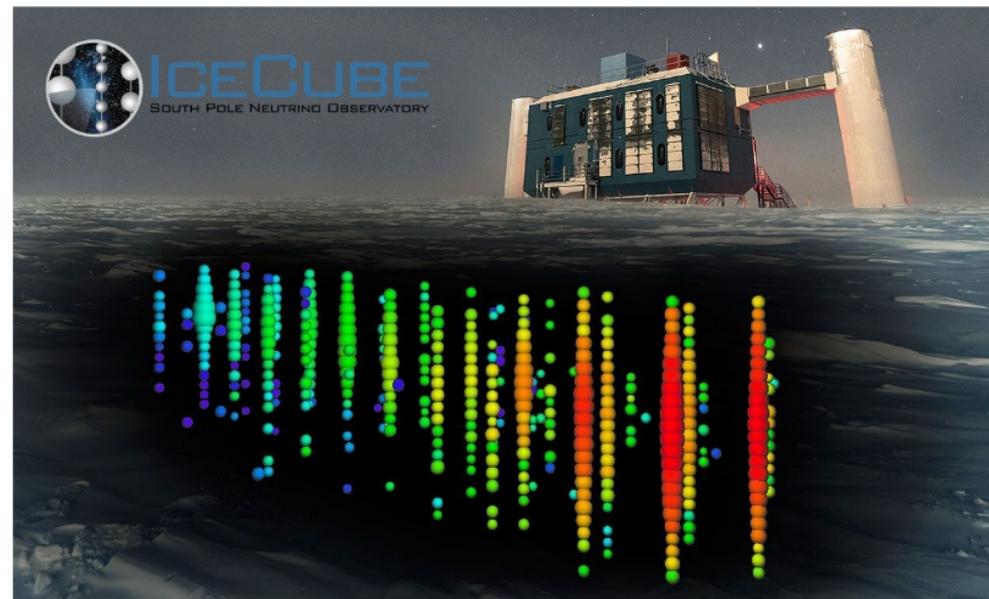
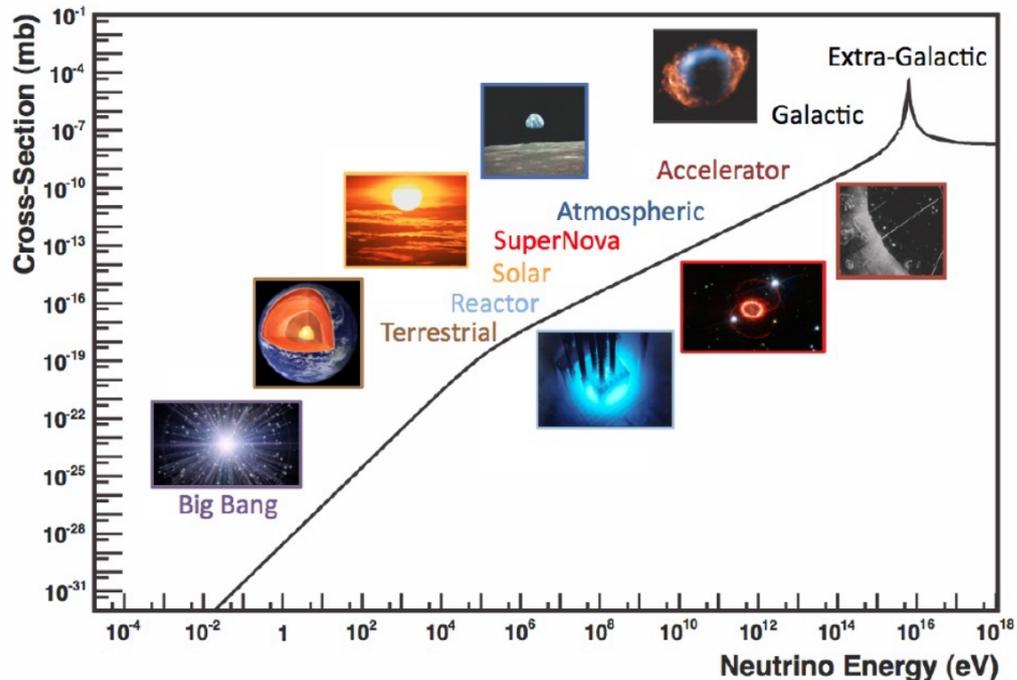
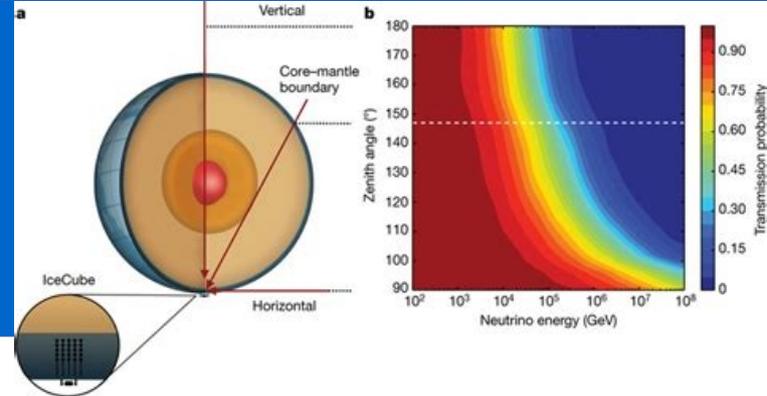
a nebulosa do Caranguejo

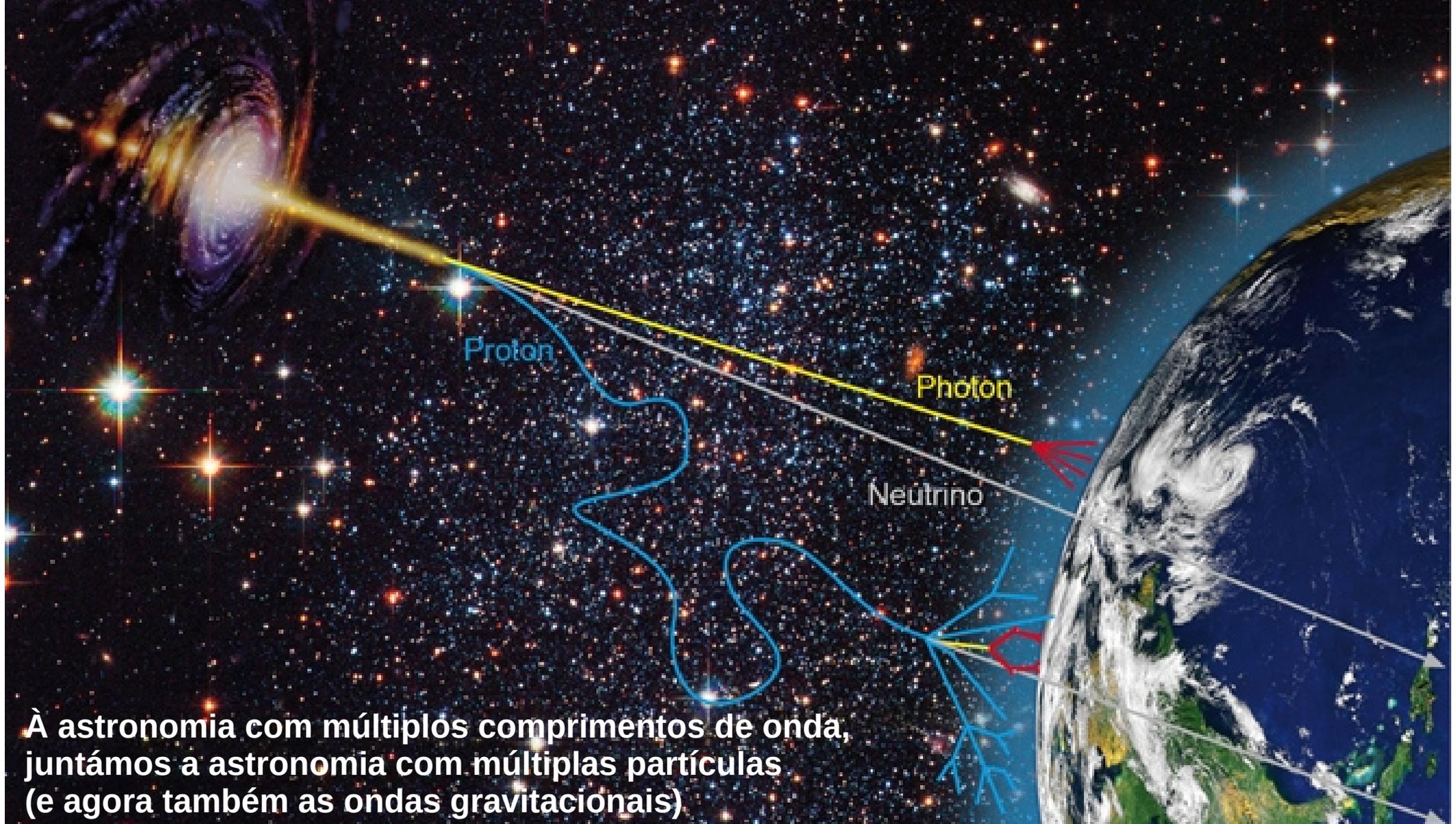


# Fotões de muito alta energia



# Neutrinos de muito alta energia





À astronomia com múltiplos comprimentos de onda,  
juntamos a astronomia com múltiplas partículas  
(e agora também as ondas gravitacionais)