

# Detecção de raios gama

- Eles não penetram na atmosfera
- O fluxo médio de raios  $\gamma$  com  $E_\gamma > 100 \text{ MeV}$  é mil vezes menor do que o fluxo médio de RCs
- Pelos RCs, Ruído  $>$  Sinal
- A técnica de detecção depende da energia do fóton:
  - Na terra
  - Satélites

(Adaptado da apresentação "Astronomia de Raios Gama"  
da **Dra. Maria V. del Valle**)

$E > 100 \text{ GeV} :$

## Telescópios Cherenkov na Terra

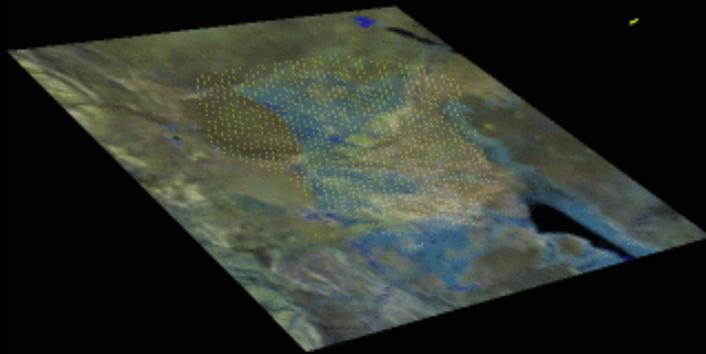


Image: Pierre Auger collaboration

- Raio gama de alta energia atinge a alta atmosfera
- Na interação com o meio, uma chuva de partículas subatômicas e raios gama de menores energias é produzida
- As partículas são muito energéticas!  
Com  $V > C_{\text{meio}} \rightarrow$
- Emitem radiação Cherenkov  $\rightarrow$   
telescópio na terra detecta o sinal

# Radiação Cherenkov

Partícula carregada num meio  
dielétrico produz radiação:

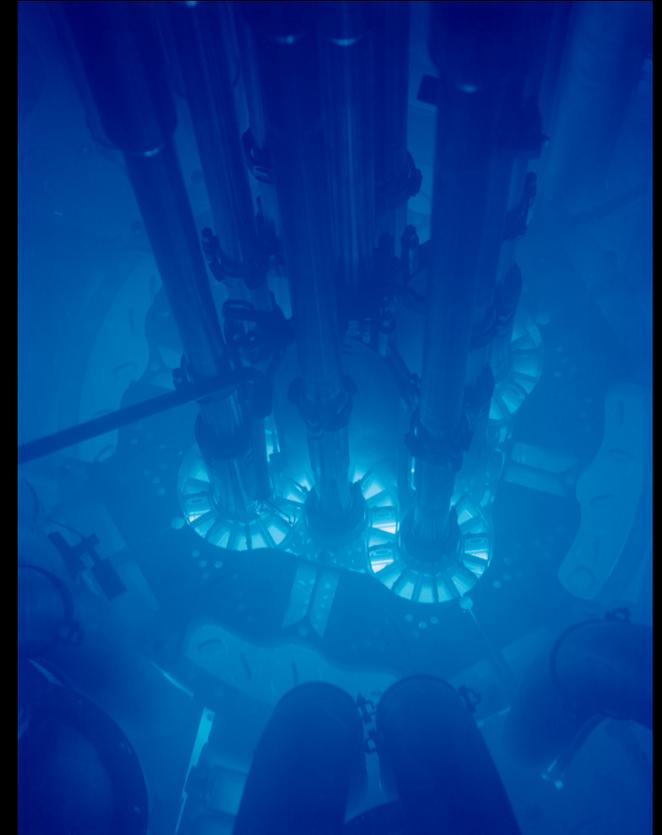
o material é excitado e quando se desexcita  
produz uma onda electromagnética, as ondas não  
interferem

Quando a partícula tem  $V > C_{\text{meio}}$ , as ondas viajam  
mais devagar que a partícula, interferem

construtivamente  $\rightarrow$  Sinal forte

$$C_{\text{ar}} = 0.9997 C$$

$$C_{\text{h2o}} = 0.75 C$$



Elétrons produzem radiação  
Cherenkov na água que rodeia o  
núcleo do reator nuclear ATR

# Radiação Cherenkov

- Partícula carregada num meio dielétrico produz radiação:

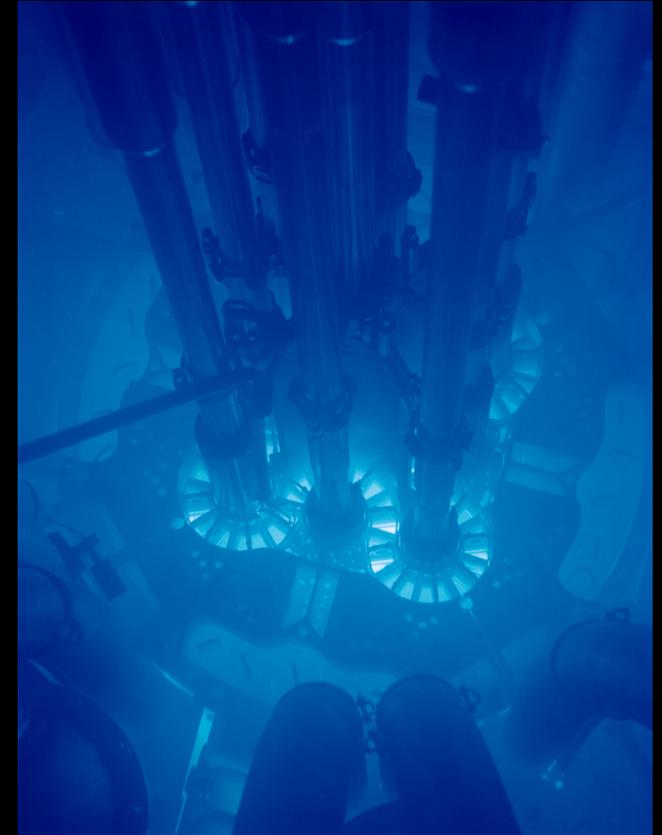
o material é excitado e quando se desexcita produz uma onda electromagnética, as ondas não interferem

Quando a partícula tem  $V > C_{\text{meio}}$ , as ondas viajam mais devagar que a partícula, interferem

construtivamente → Sinal forte

$$C_{\text{ar}} = 0.9997 C$$

$$C_{\text{h2o}} = 0.75 C$$



Elétrons produzem radiação Cherenkov na água que rodeia o núcleo do reator nuclear ATR

# Radiação Cherenkov

- Partícula carregada num meio dielétrico produz radiação:

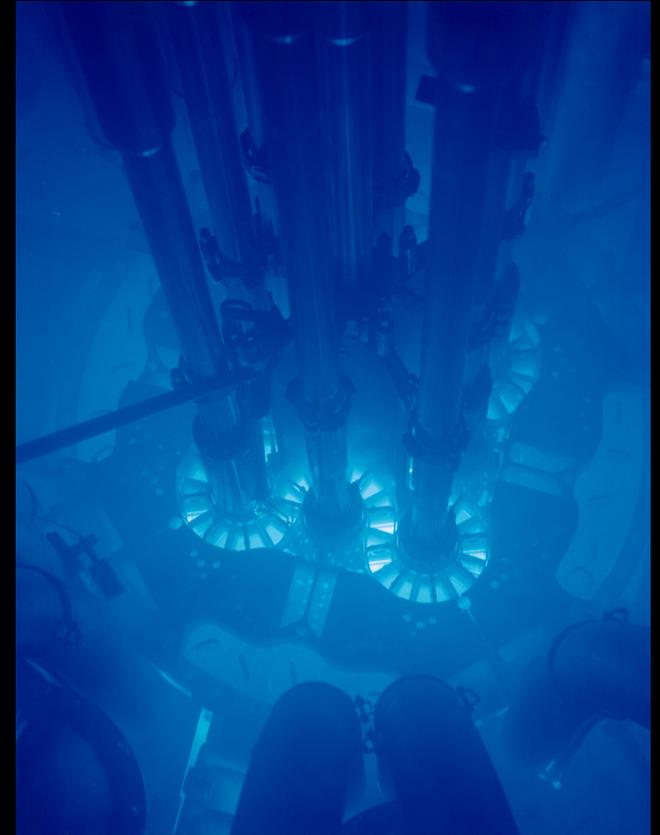
o material é excitado e quando se desexcita produz uma onda electromagnética, as ondas não interferem

Quando a partícula tem  $V > C_{\text{meio}}$ , as ondas viajam mais devagar que a partícula, interferem construtivamente

→ Sinal forte

$$C_{\text{ar}} = 0.9997 C$$

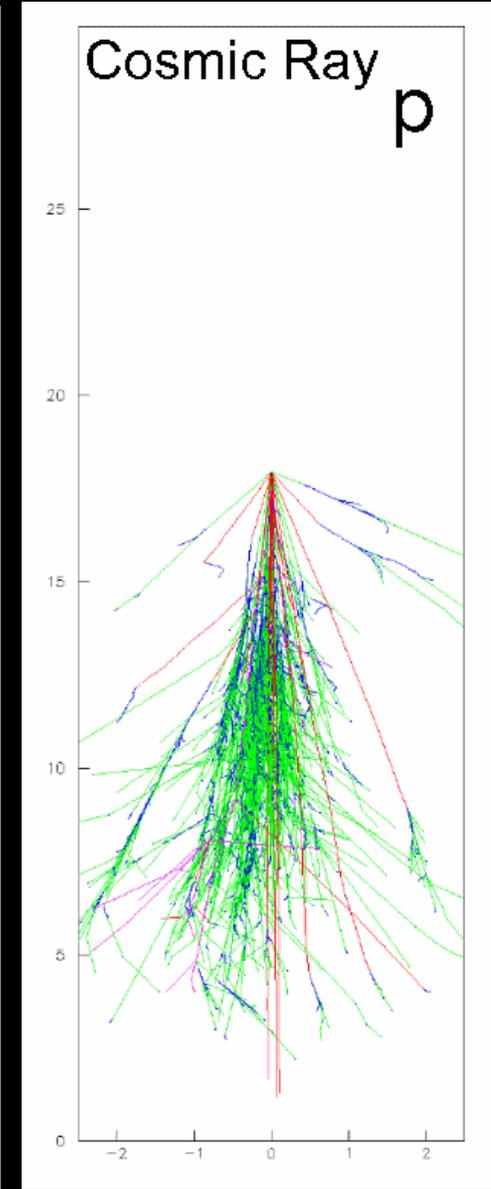
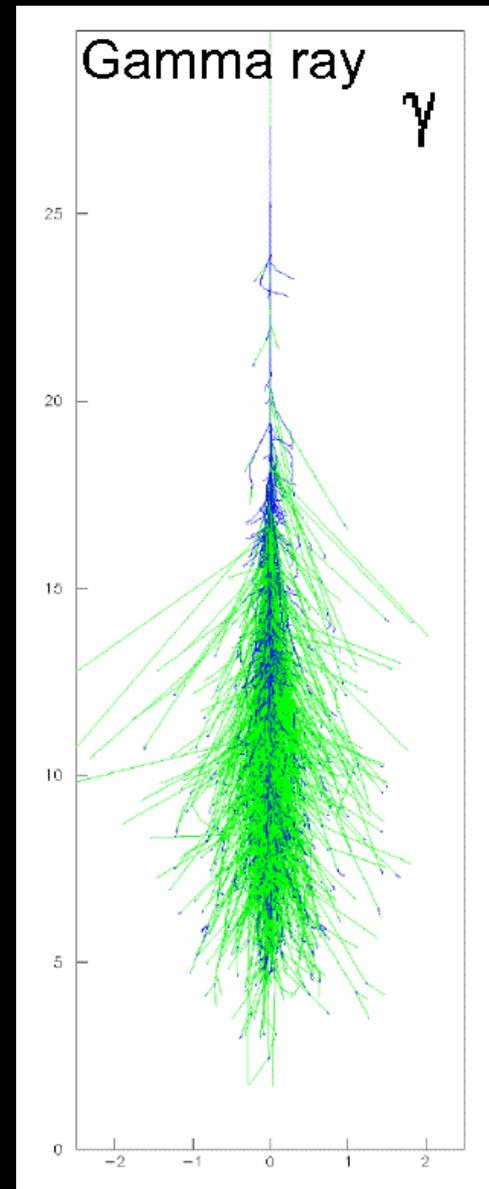
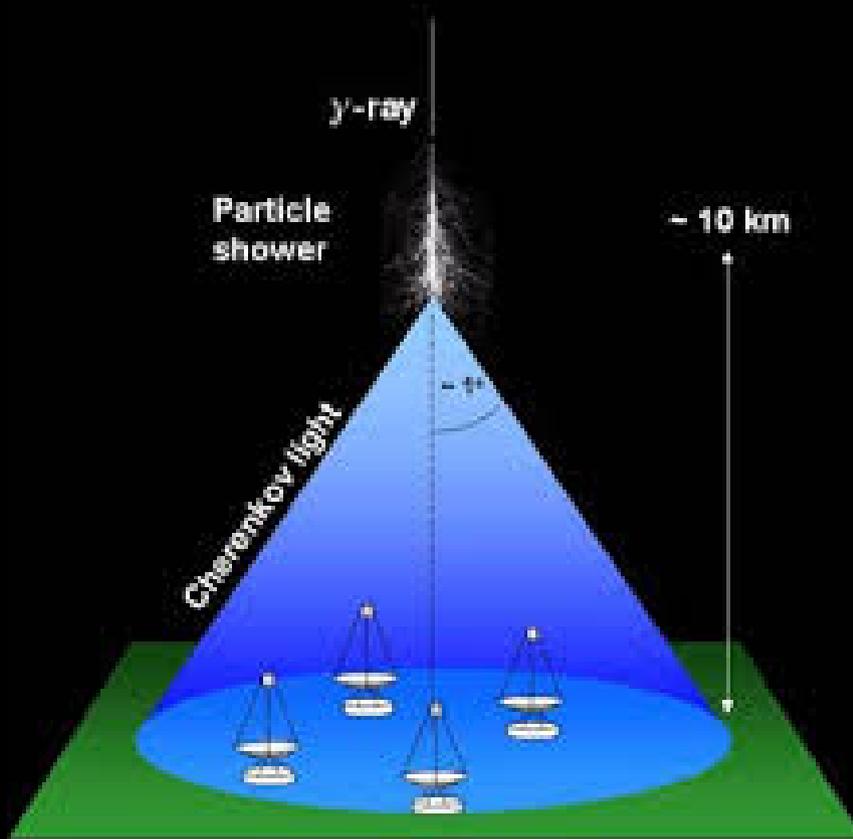
$$C_{\text{h2o}} = 0.75 C$$



Elétrons produzem radiação Cherenkov na água que rodeia o núcleo do reator nuclear ATR



# $E > 100 \text{ GeV}$ : Telescópios Cherenkov na Terra



gamma  $e^+/e^-$   $\mu^+/\mu^-$  hadrons

# Telescópios Cherenkov

**MAGIC**



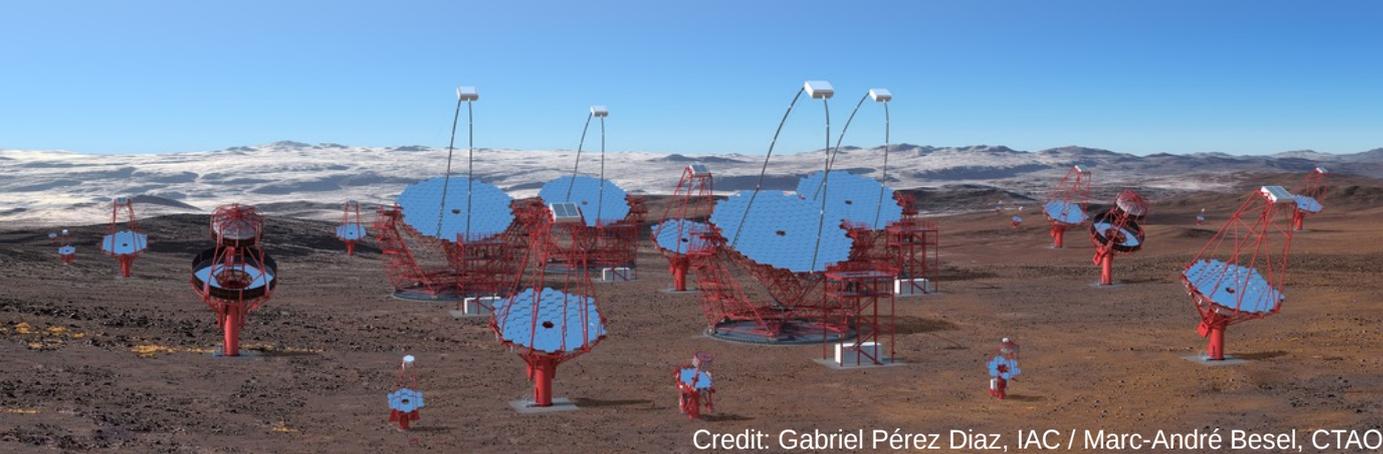
**H.E.S.S.**



**VERITAS**



**No futuro próximo: CTA**



Credit: Gabriel Pérez Diaz, IAC / Marc-André Besel, CTAO

# CTA: Cherenkov Telescope Array

- A nova geração de detectores de raios gama na Terra
- Um dos maiores esforços da astronomia atual
- Com a participação de mais de 31 países, incluindo o **Brasil**
- Serão dois arranjos de telescópios de distintos tamanhos, um no hemisfério Norte e outro no Sul.
- O CTA abrirá uma janela de altas energias não explorada até agora.

# Outros mensageiros além do fóton

- Radiação:

  - Fótons

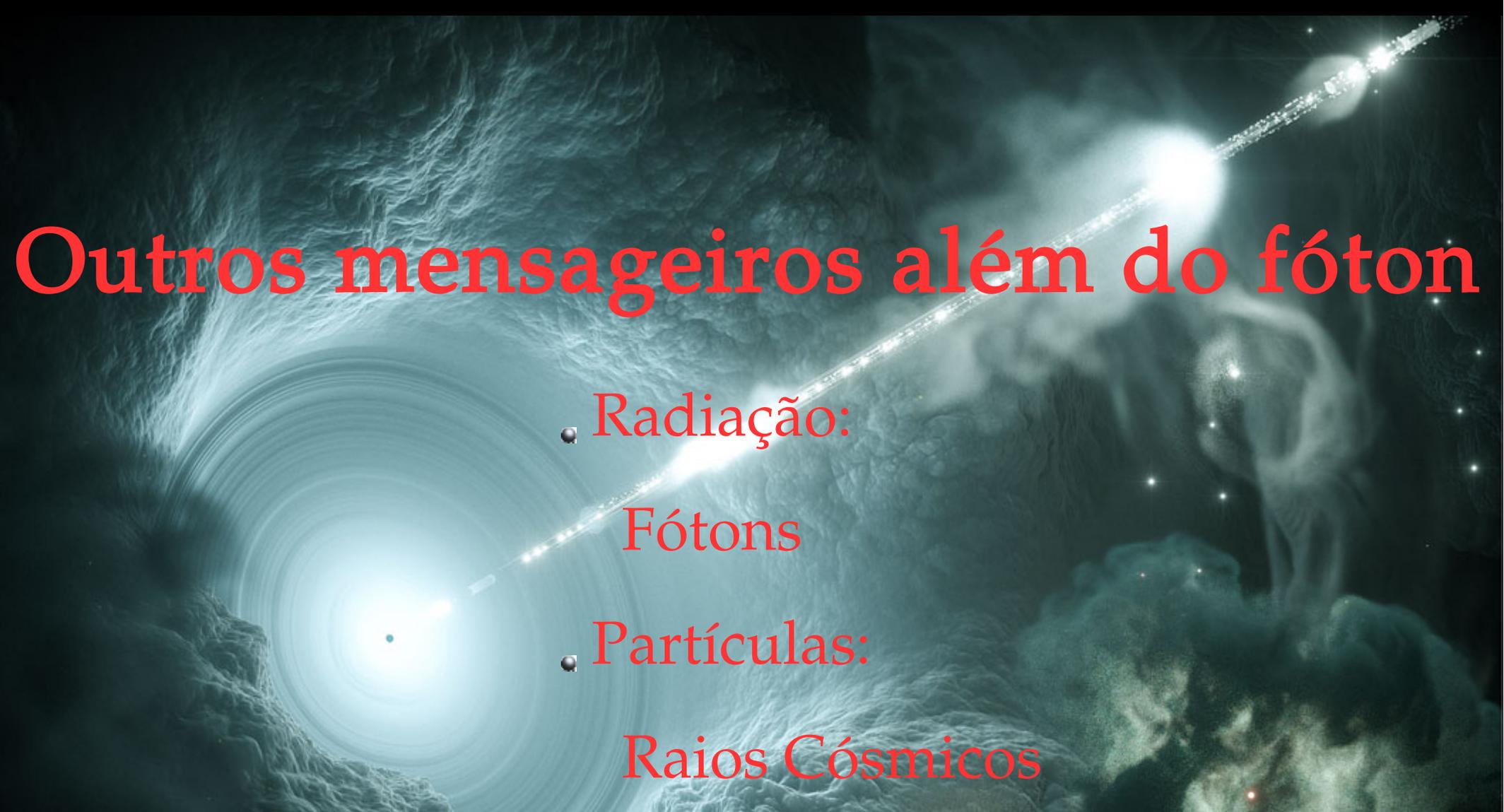
- Partículas:

  - Raios Cósmicos

  - Neutrinos

- Ondas gravitacionais

# Outros mensageiros além do fóton



- Radiação:

Fótons

- Partículas:

Raios Cósmicos

Eles fornecem informação complementar muito importante para compreender os fenômenos físicos que acontecem nas fontes!

# Neutrinos $\nu$

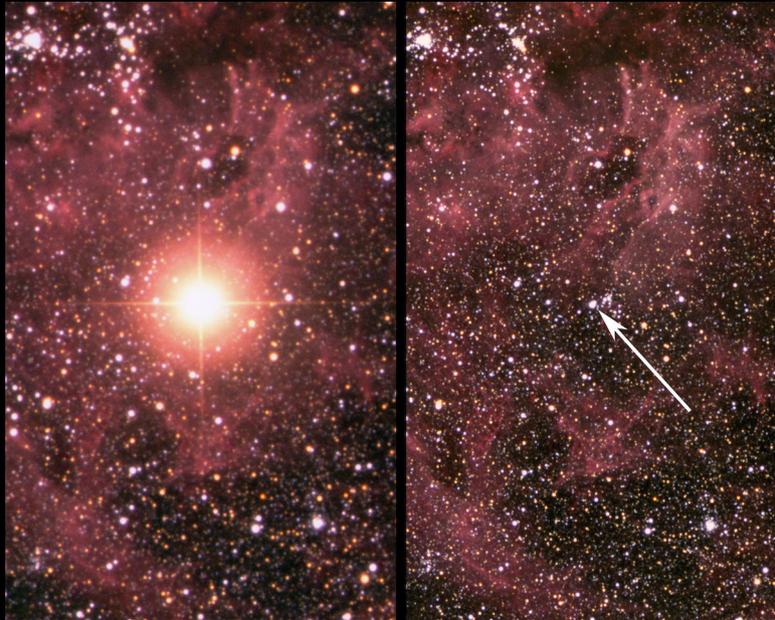
- Previstos por Wolfgang Pauli 1930
  - Partícula muito leve
  - Sem carga elétrica
- > pouca interação, muito difícil de se detectar!
- Fontes: o sol, as explosões estelares (supernovas), raios cósmicos (neutrinos de altas energias), etc.



Wikipedia

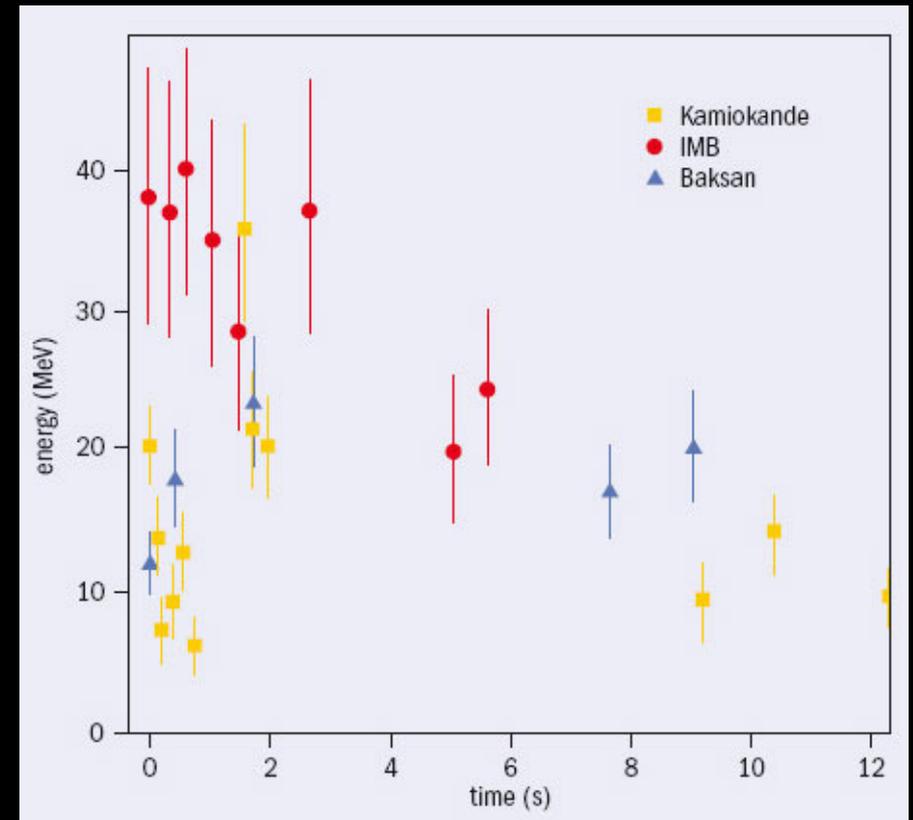
Os neutrinos viajam quase sem sofrer alterações desde a fonte até o observador

# Neutrinos da SN 1987A



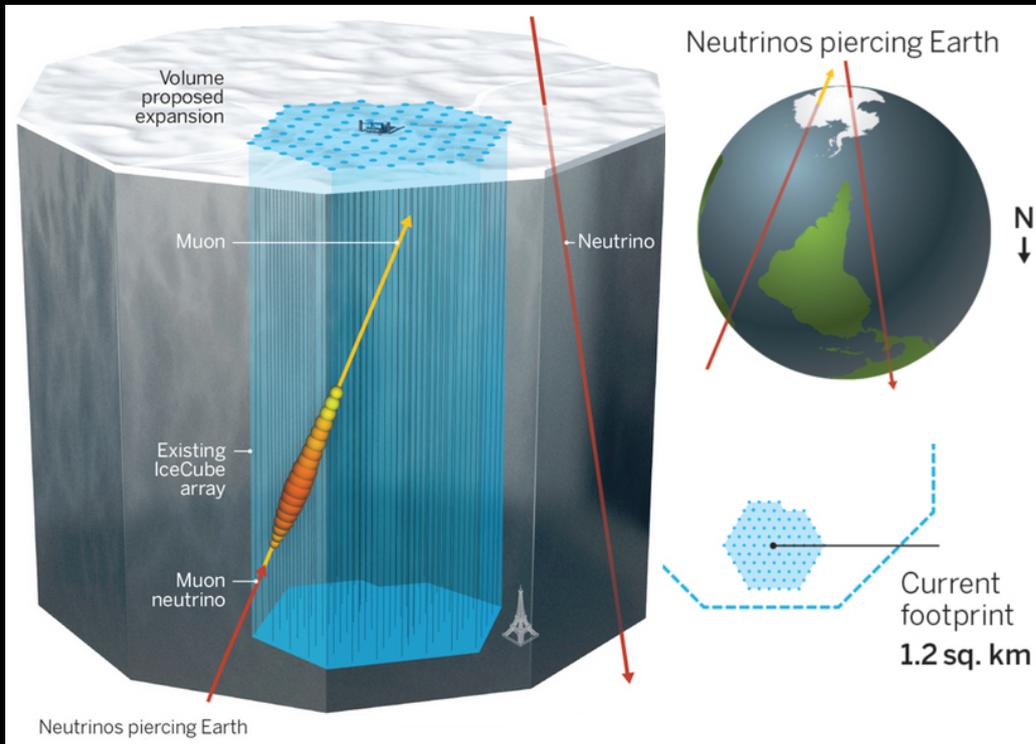
- Supernova na Grande Nuvem de Magalhães

- Neutrinos térmicos produzidos na Supernova
- Um *burst* de neutrinos foi observado por três detetores de neutrinos



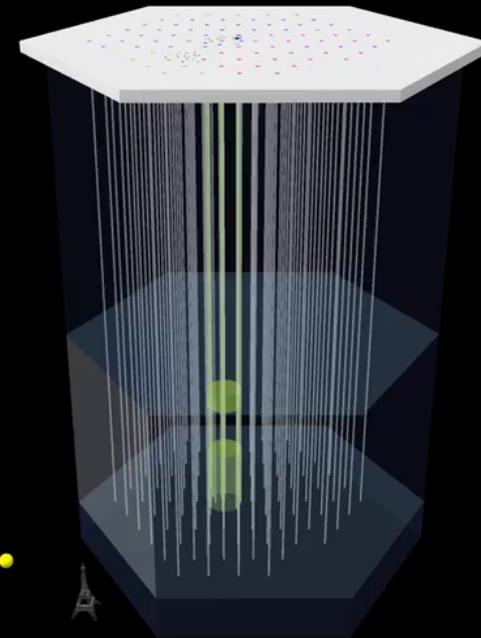
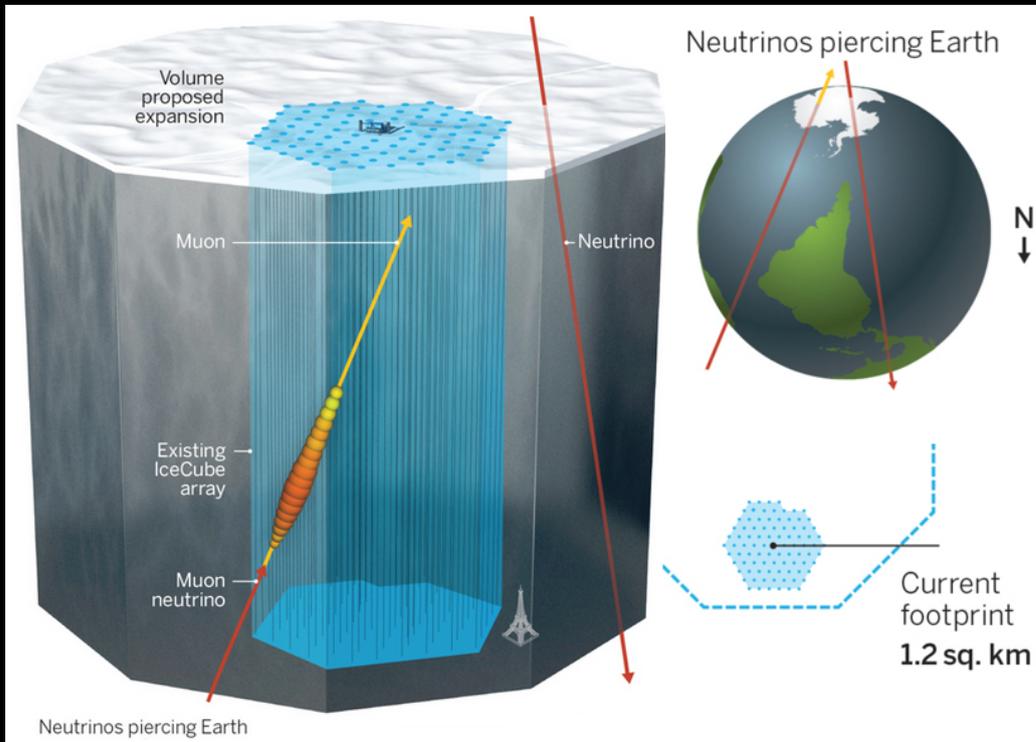
Marcou o começo da astronomia de neutrinos

# Neutrinos de altas energias: IceCube



- Colaboração de 12 países
- Localizado no Pólo Sul
- 1 kilômetro cúbico de gelo
- Detecta luz Cherenkov

# IceCube



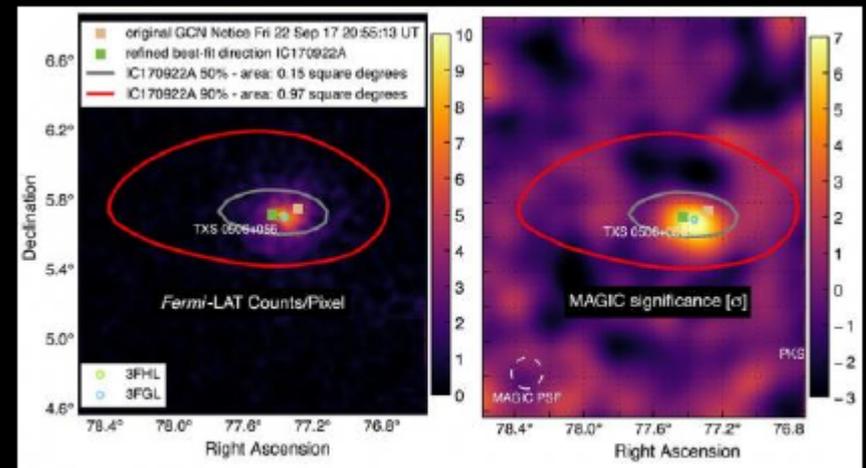
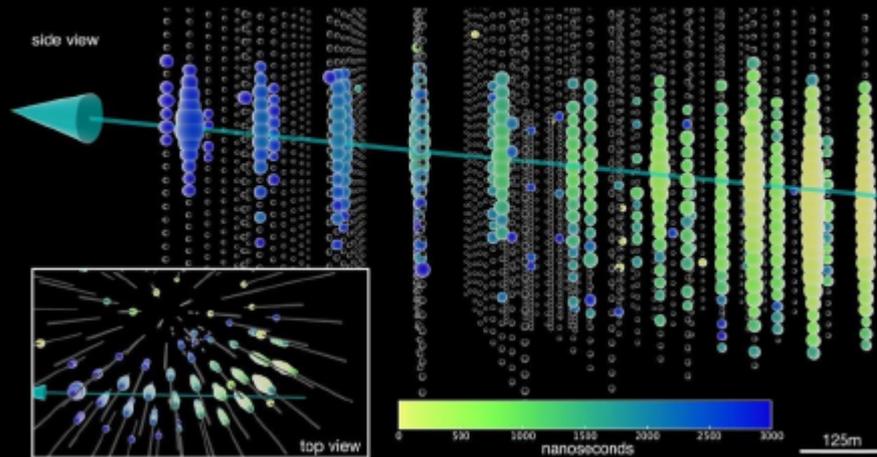
Uma partícula carregada é produzida na interação com o gelo Antártico

Ela viaja a velocidade maior que a velocidade da luz no gelo → Cherenkov

# Multi-messenger observations:

A flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A

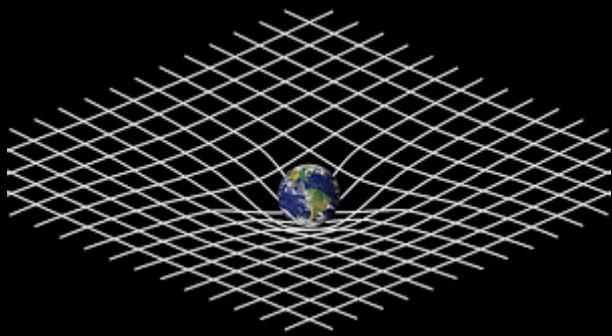
IceCube170922a (September 22<sup>nd</sup>, 2017)



September 24<sup>th</sup>

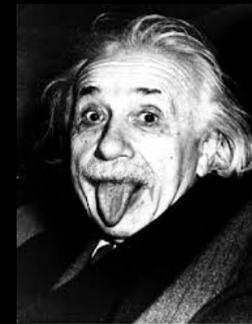
October 4<sup>th</sup>

22 de setembro de 2017 um neutrino astrofísico de alta energia (IC170922)



# Ondas gravitacionais

- Deformações no espaço-tempo que se propagam
- Viajam à velocidade da luz
- Existência prevista na teoria Geral da Relatividade
- Evidências indiretas da sua existência
- Primeira detecção direta em 2015: colisão de BNs!



Em 2017, o Prêmio Nobel de Física foi concedido a Rainer Weiss , Kip Thorne e Barry Barish por seu papel na detecção de ondas gravitacionais.

# Como se detectam

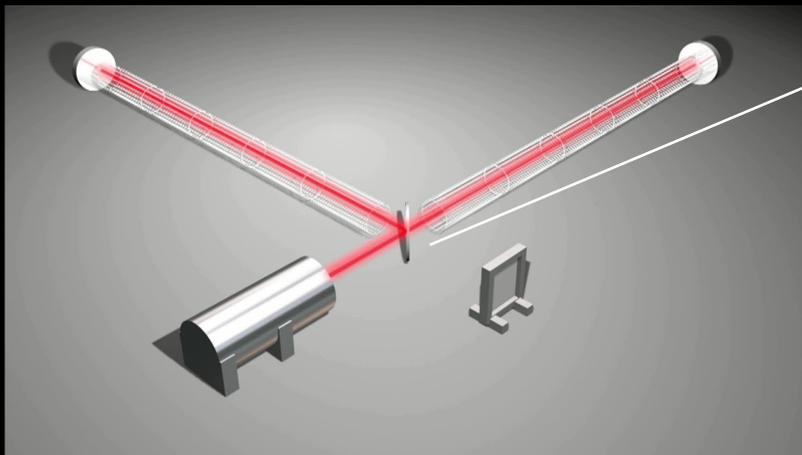
LIGO: São dois detectores, forma de L, braços de 4 km (Virgo é similar).



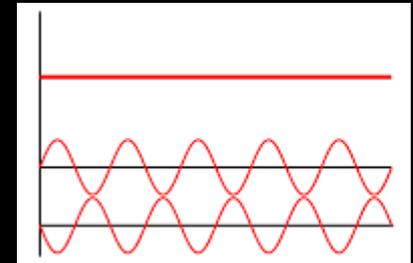
Mede a distância relativa dos braços do L

No caso de uma onda gravitacional passar vai esticar e contrair os braços do detector

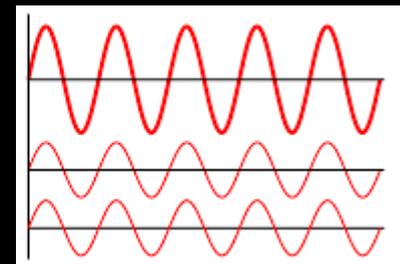
Usa interferometria de alta precisão: pode detectar a mudança no comprimento dos braços de 1/10,000 do tamanho de um próton!



Se o comprimento não muda, interferência destrutiva, não chega luz no detector



A passagem da OG faz o comprimento dos braços mudar. Interferência não é mais completamente destrutiva. Chega um sinal no detector

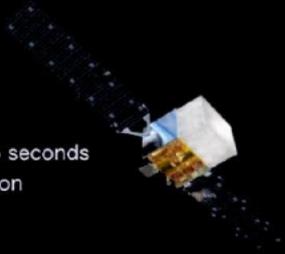


# Evento: EN-EN

GRBs curto!

## Fermi

Reported 16 seconds after detection



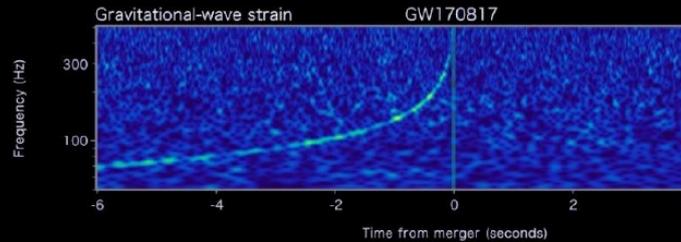
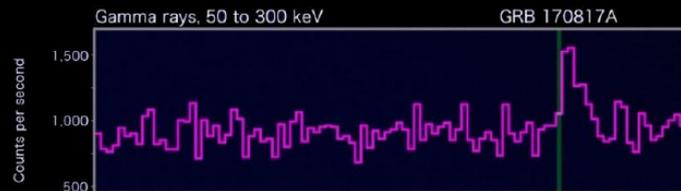
## LIGO-Virgo

Reported 27 minutes after detection



## INTEGRAL

Reported 66 minutes after detection



GW170817

LIGO Coll+ (2017)

# Fusão de duas estrelas de nêutrons

GW170817: The Merger of Two Neutron Stars



Matter Density

Gravitational Waves



Credit: Christopher W. Evans/Georgia Tec