



stronomia de Raios δ

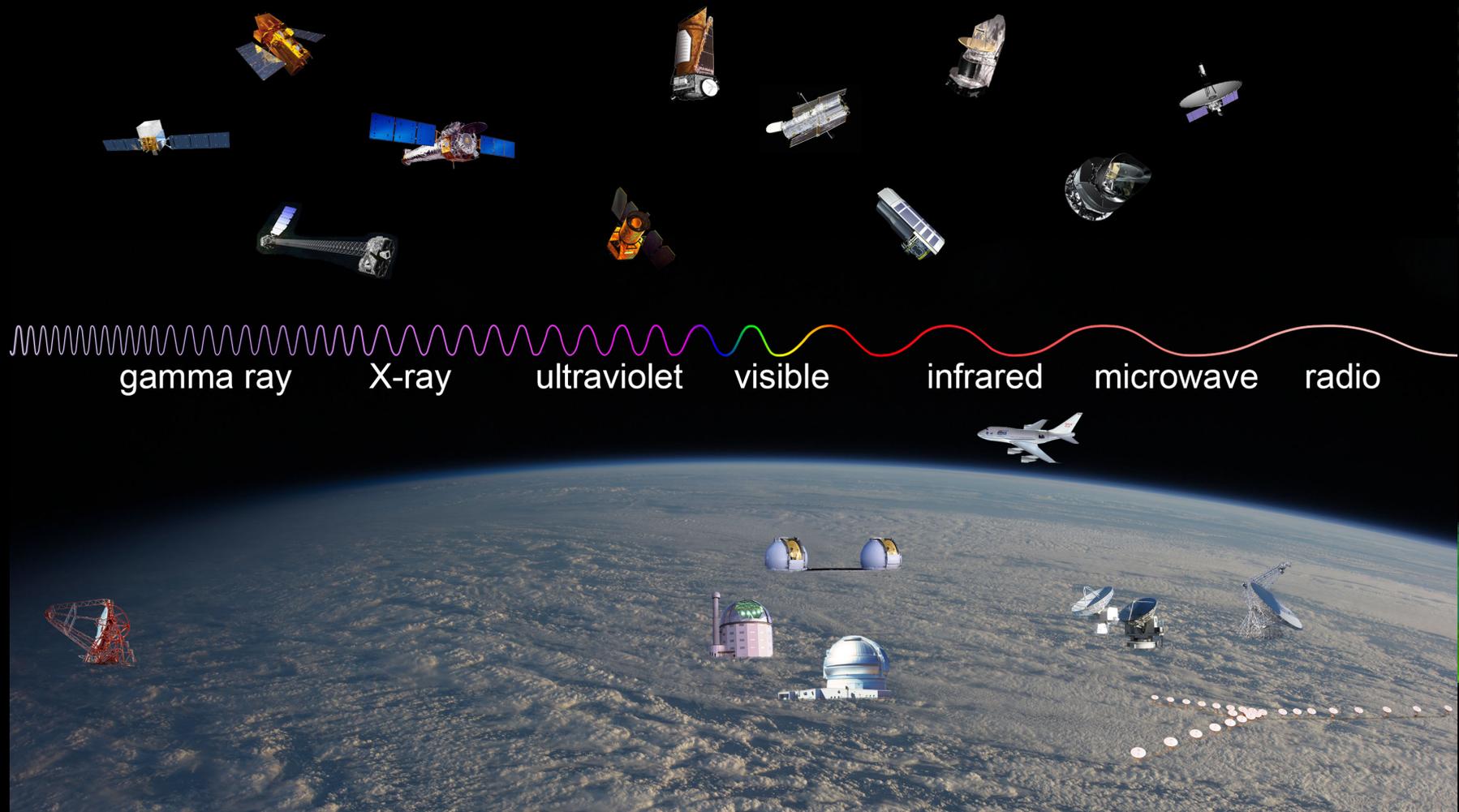
MARÍA VICTORIA DEL VALLE

**Astronomia ao Meio-dia, IAG
14 de Março de 2019**





Astronomia



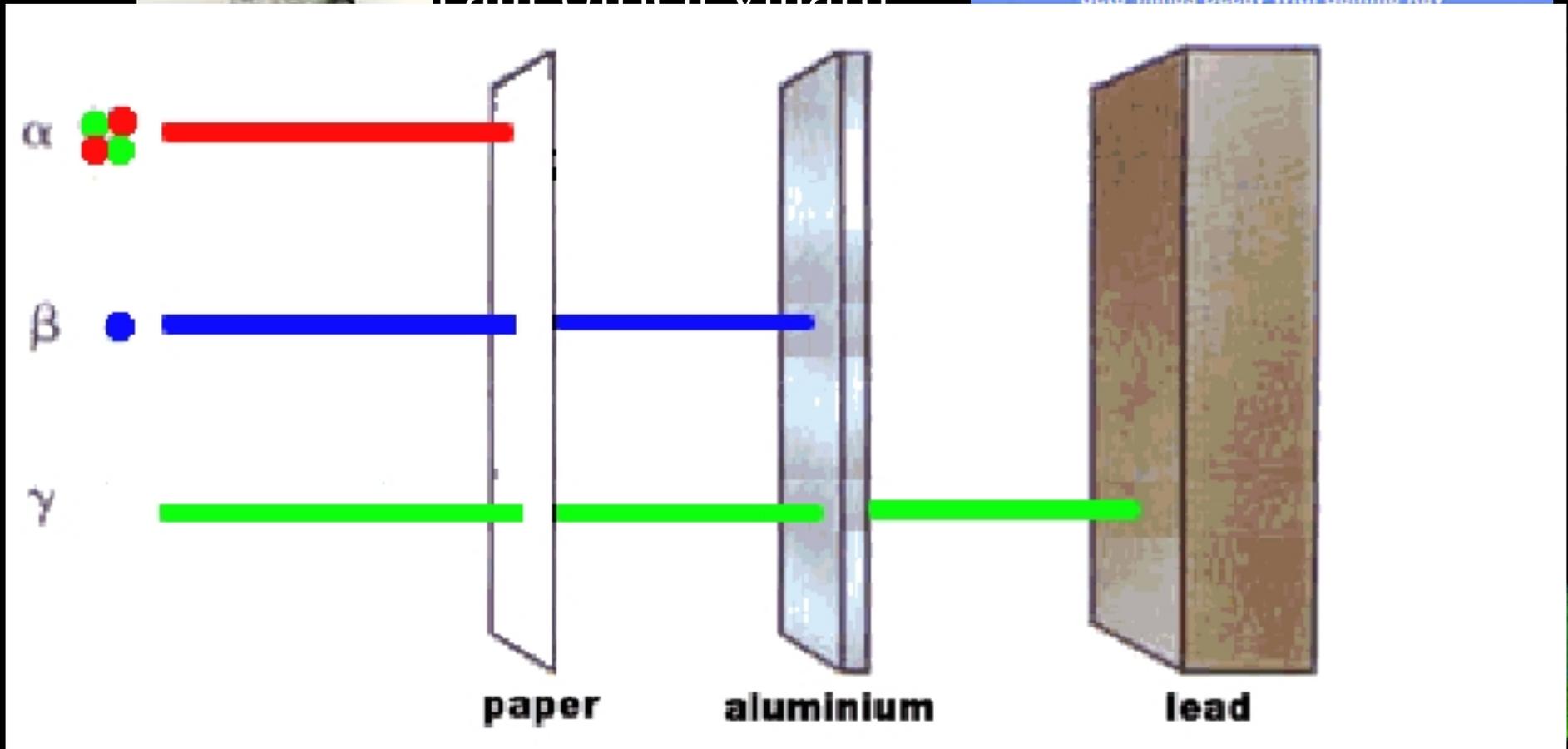
(Credit: Observatory images from NASA, ESA (Herschel and Planck), Lavochkin Association (Spektr-R), HESS Collaboration (HESS), Salt Foundation (SALT), Rick Peterson/WMKO (Keck), Gemini Observatory/AURA (Gemini), CARMA team (CARMA), and NRAO/AUI (Greenbank and VLA); background image from NASA)

Descoberta dos raios gama



Paul Ulrich Villard

Beta-minus Decay With Gamma Ray



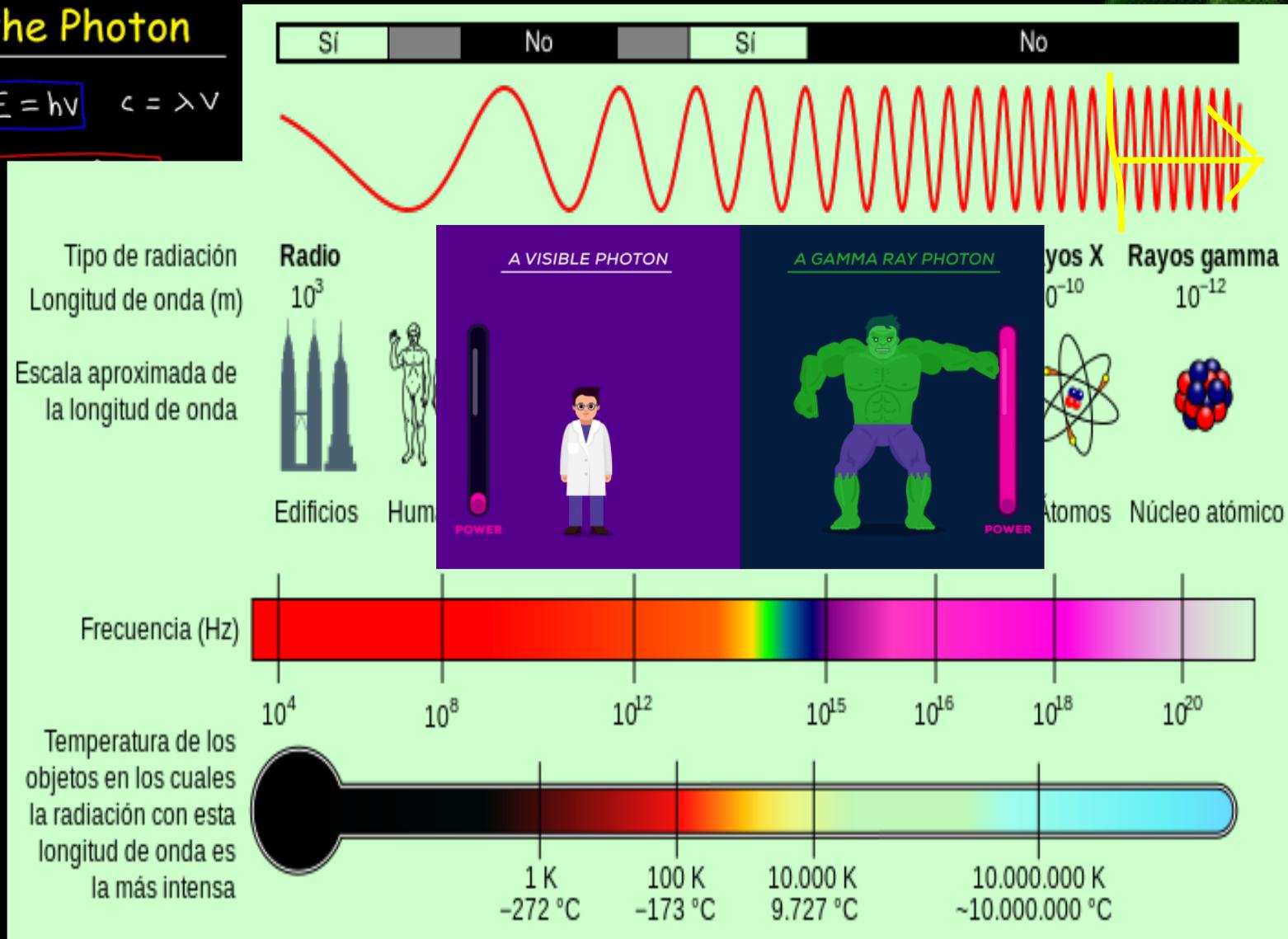
Ernest Rutherford

Image: Wikipedia

O espectro eletromagnético

Energy of the Photon

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad E = h\nu \quad c = \lambda\nu$$

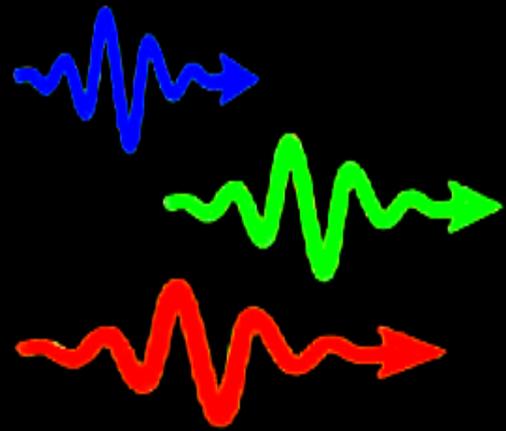
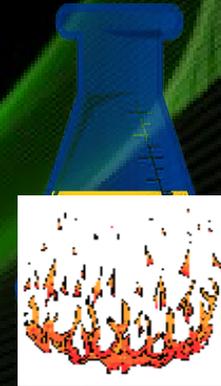


Como se produzem os raios gama?

Gás quente: emissão térmica

Produzir 1 fóton $E = 1 \text{ MeV}$
(CN)

$T \sim 10^{13} \text{ K} !!!$



Raios gama \longrightarrow Emissão não térmica

Partículas não-térmicas:
Energias relativísticas, i.e. $E \gg mc^2$

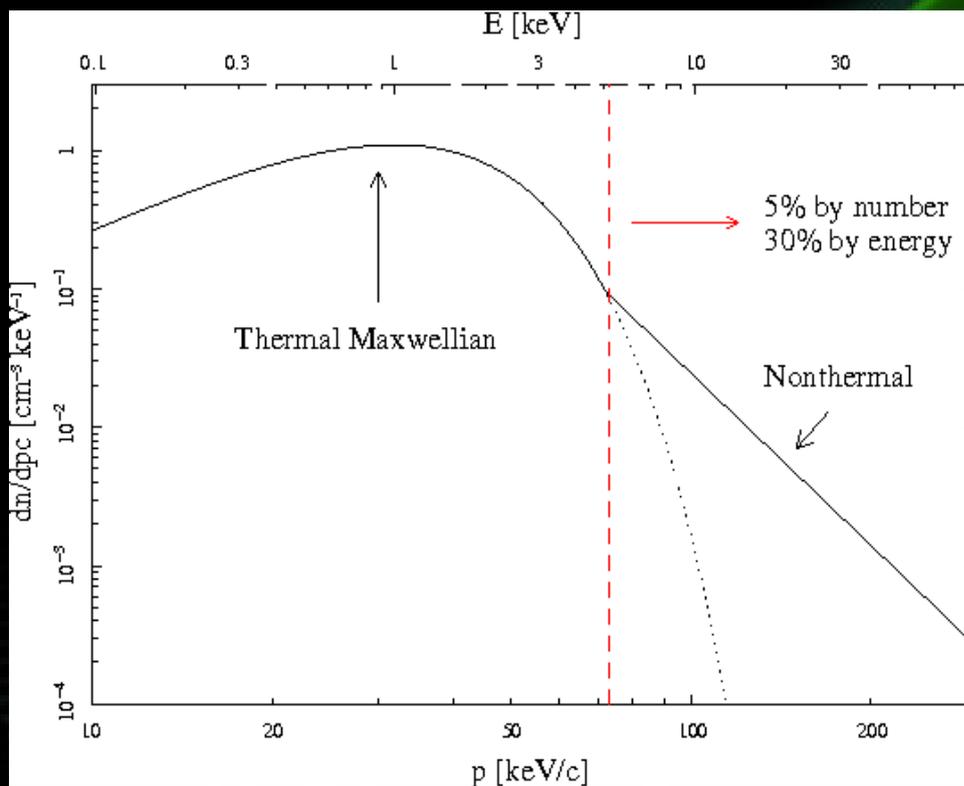
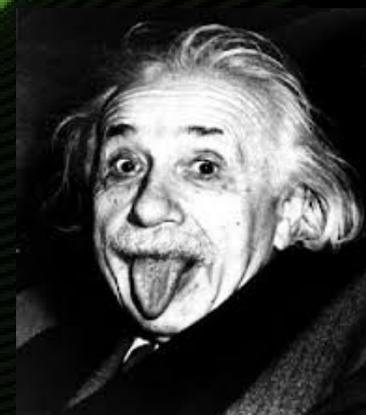
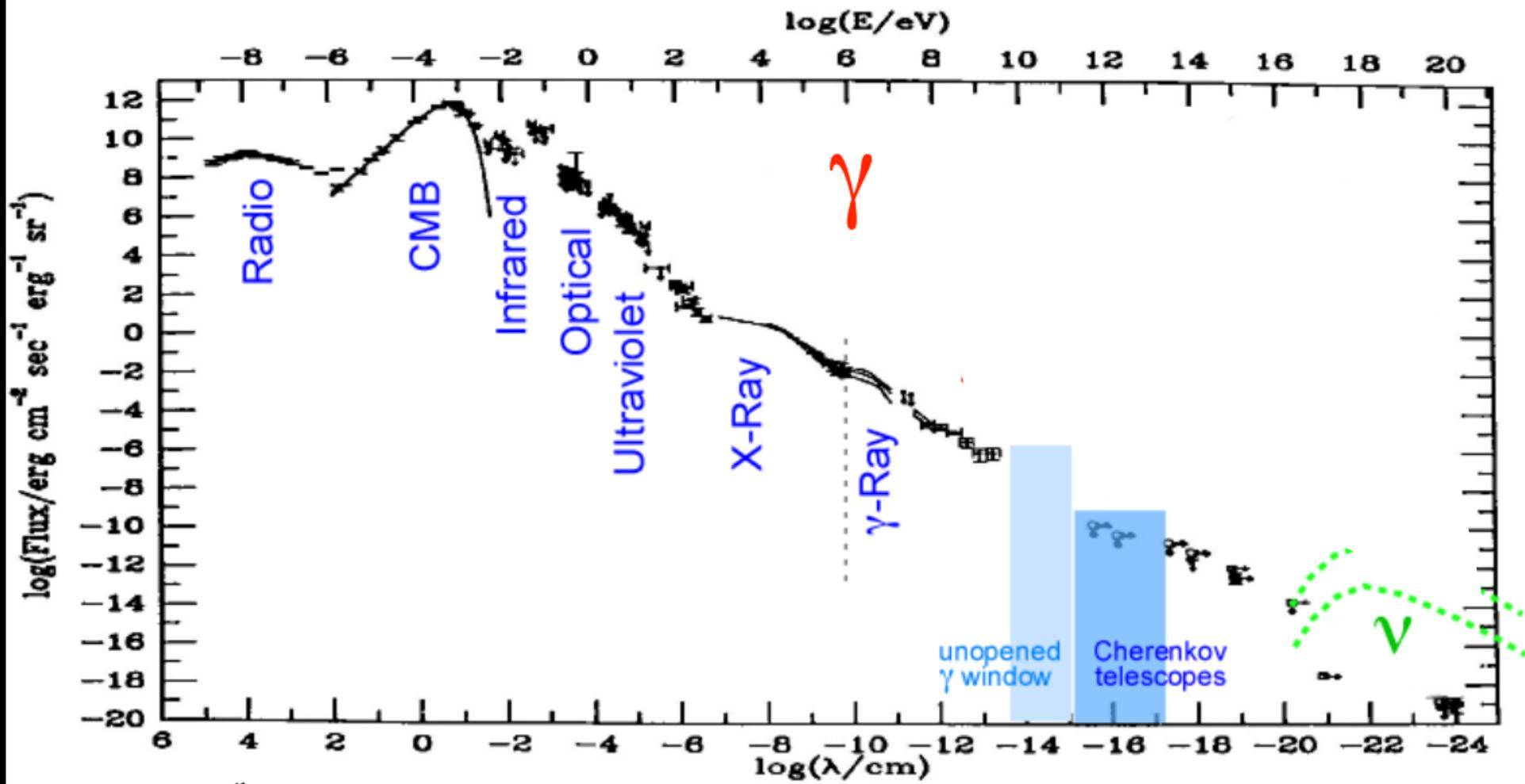


Figure from ICRC, Allen & Houck 2008



thermal
 non-thermal

thermal / lines

non-thermal

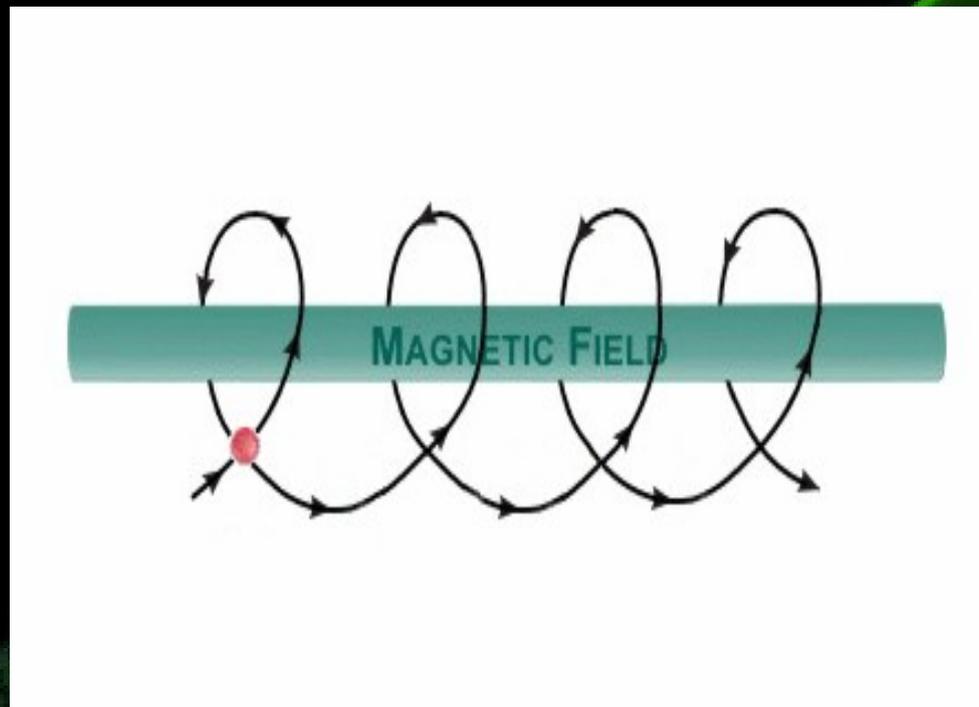
Mecanismos de radiação

2 ingredientes:

- ✓ Partículas relativísticas
- ✓ Campos alvo

Emissão não térmica

Partículas relativísticas \longrightarrow campos alvo:
Campo magnético



Síncrotron

Emissão não térmica

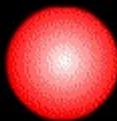
Partículas relativísticas \longrightarrow campos alvo:
Campo de radiação



Inverse Compton

Emissão não térmica

Partículas relativísticas \longrightarrow campos alvo:
Campo de matéria



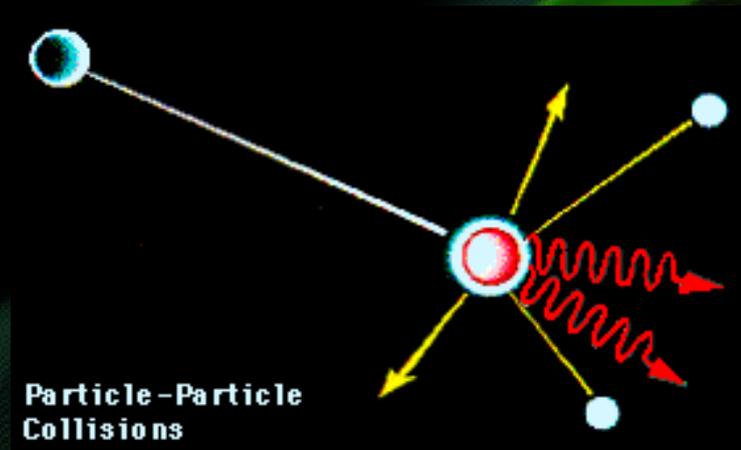
**Bremsstrahlung
Relativístico**

Emissão não térmica

Partículas relativísticas \longrightarrow campos alvo:

Campo de matéria (proton-proton)

Campo de radiação (proton-foton)



Processos hadrônicos

Processos hadronicos

$$p + p \rightarrow p + p + a\pi^0 + b(\pi^+ + \pi^-)$$

$$p + p \rightarrow p + n + \pi^+ + a\pi^0 + b(\pi^+ + \pi^-)$$

$$p + p \rightarrow n + n + 2\pi^+ + a\pi^0 + b(\pi^+ + \pi^-)$$

$$p + \gamma \rightarrow p + a\pi^0 + b(\pi^+ + \pi^-)$$

$$p + \gamma \rightarrow n + \pi^+ + a\pi^0 + b(\pi^+ + \pi^-)$$

$$p + \gamma \rightarrow p + e^+ + e^-$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu)$$

$$\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \bar{\nu}_\mu (\nu_\mu) + \nu_e (\bar{\nu}_e)$$

Nota: produção de neutrinos

The background features several overlapping, wavy, ribbon-like shapes in shades of green and blue. These shapes flow from the bottom left towards the top right, creating a sense of motion and depth. The lines are composed of many thin, parallel strokes, giving the ribbons a textured, almost woven appearance. The overall effect is a dynamic and futuristic aesthetic.

Origem das partículas relativísticas

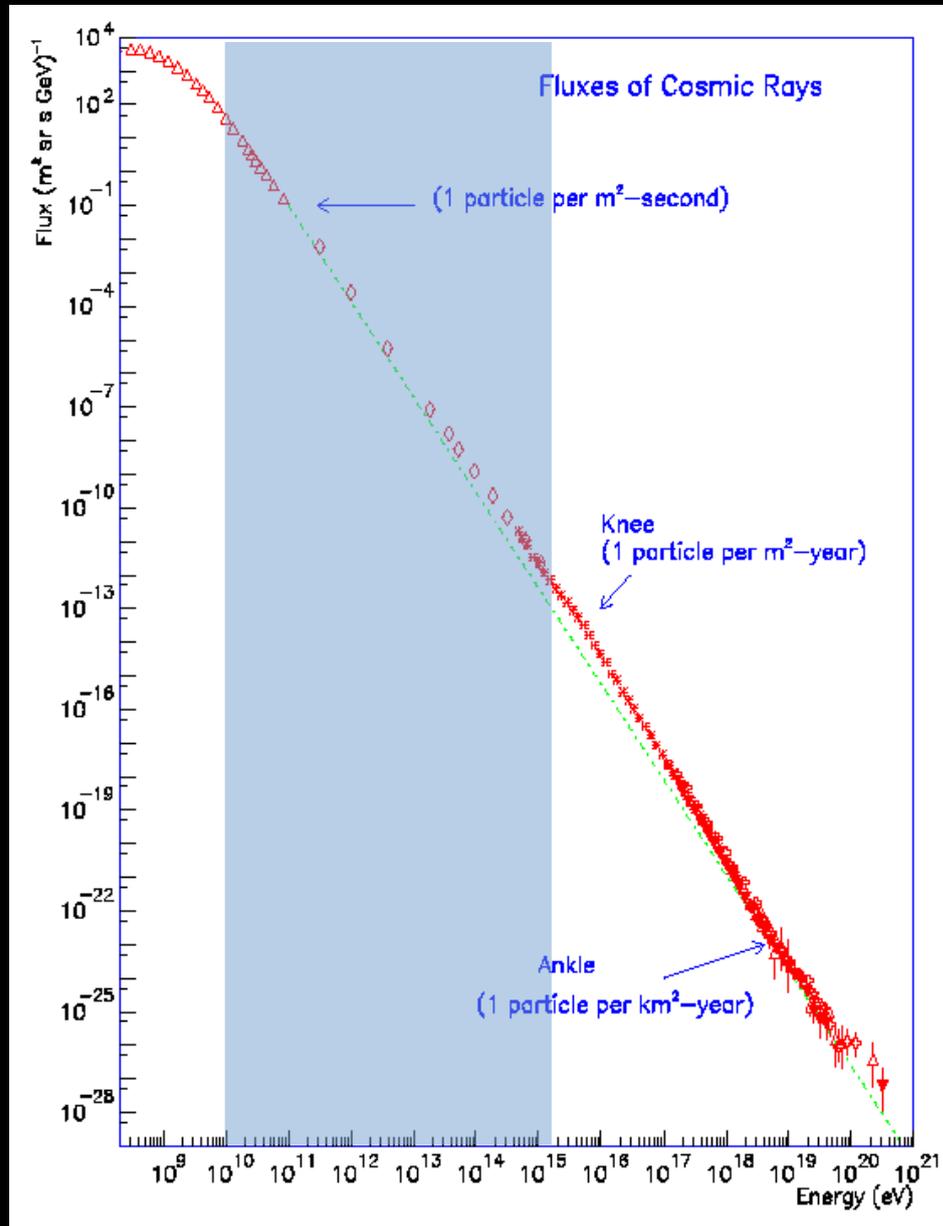
Raios cósmicos



VICTOR HESS
1912

- 89% protons
- 10% nuclei of helium
- 1% heavier nuclei, all the way up to uranium

Raios cósmicos



$$N(E)dE = K E^{-x} dE, \quad x \approx 2.7$$

Lei de potência

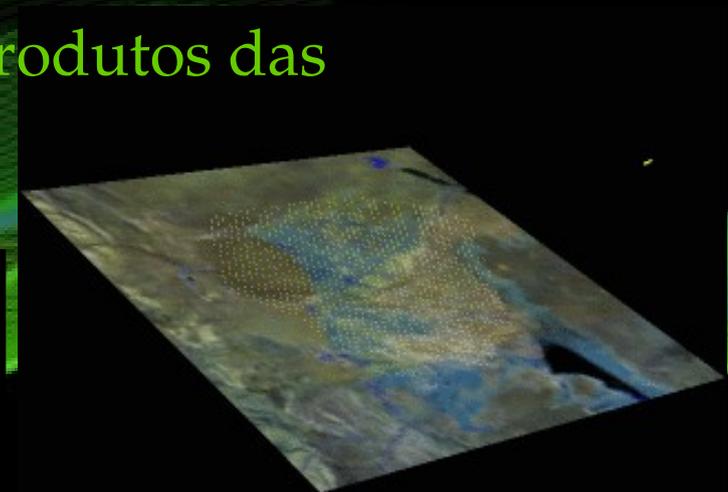
Origem Galáctica:

$$10^{10} < E < 10^{15}$$

Raios cósmicos

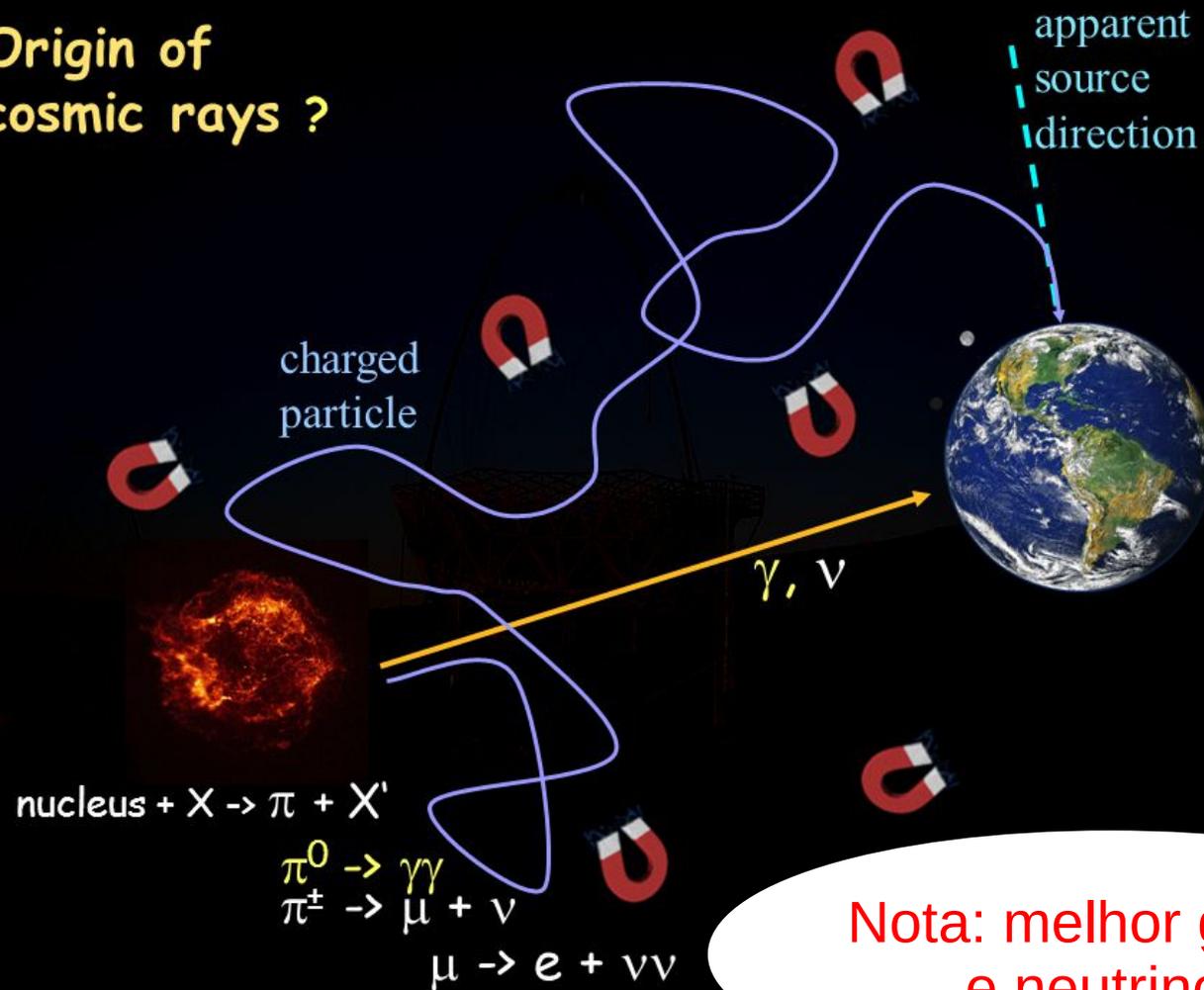
- Os RCs não penetram a atmosfera
- Quando a partícula colisiona com outro núcleo na atmosfera uma chuva de partículas secundárias é produzida, e raios gama (partículas muito energéticas atingindo alvos)
- Para detectá-los é preciso estudar os subprodutos das interações com a atmosfera

O mesmo acontece com os raios gama!



Raios cósmicos

Origin of cosmic rays ?



Nota: melhor gamas e neutrinos

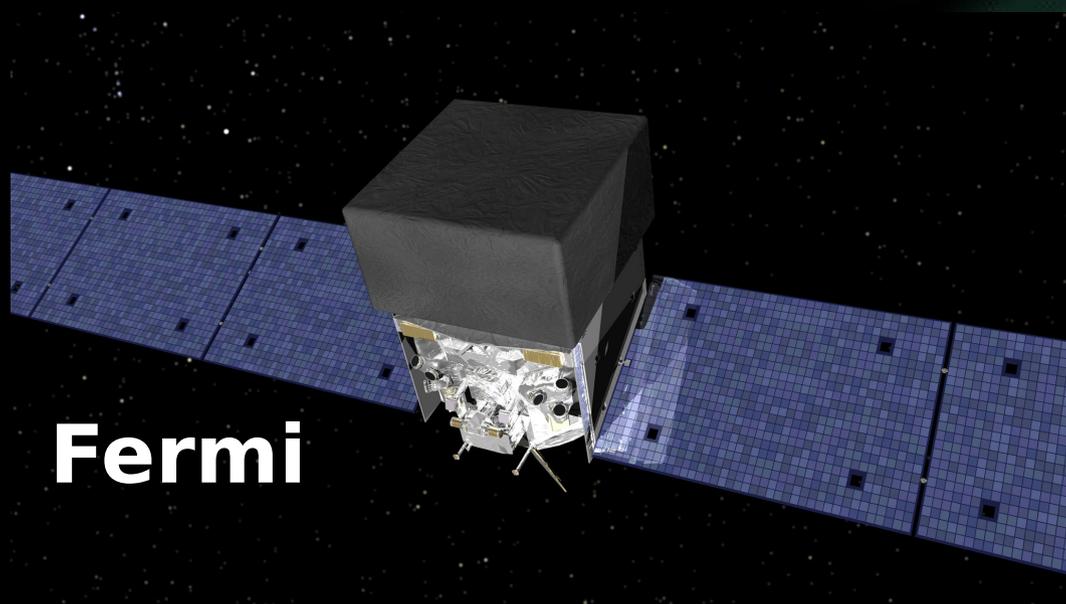
Esclarecimento importante!

- Os Raios cósmicos são partículas muito energéticas
- Os Raios gama são fótons muito energéticos
- Os Raios gama são produzidos quando partículas muito energéticas (p.e. RCs) interagem com campos alvos.

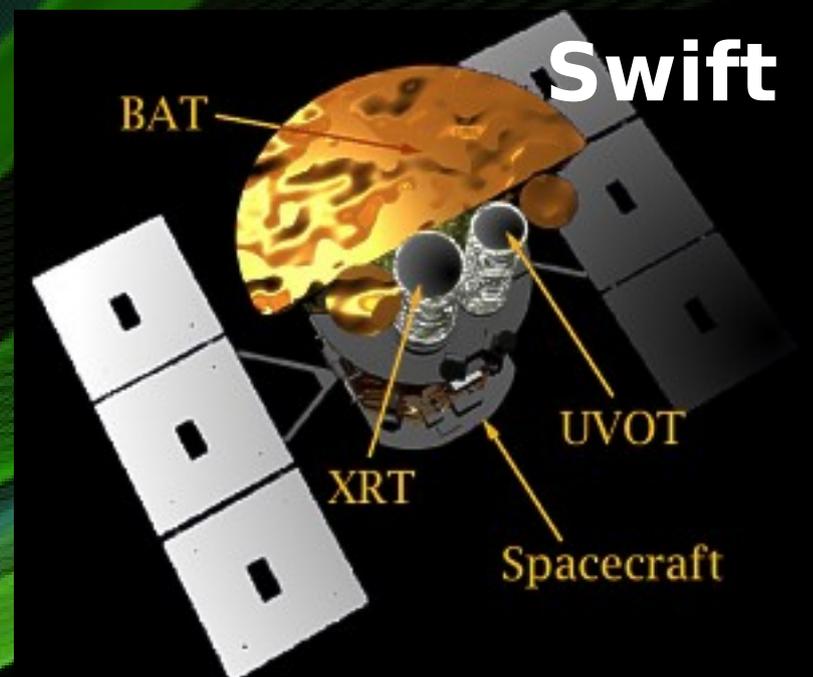
Detecção de raios gama

- Eles não penetram a atmosfera
- O fluxo médio de raios γ 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
 - Satelites

Satélites de raios gama

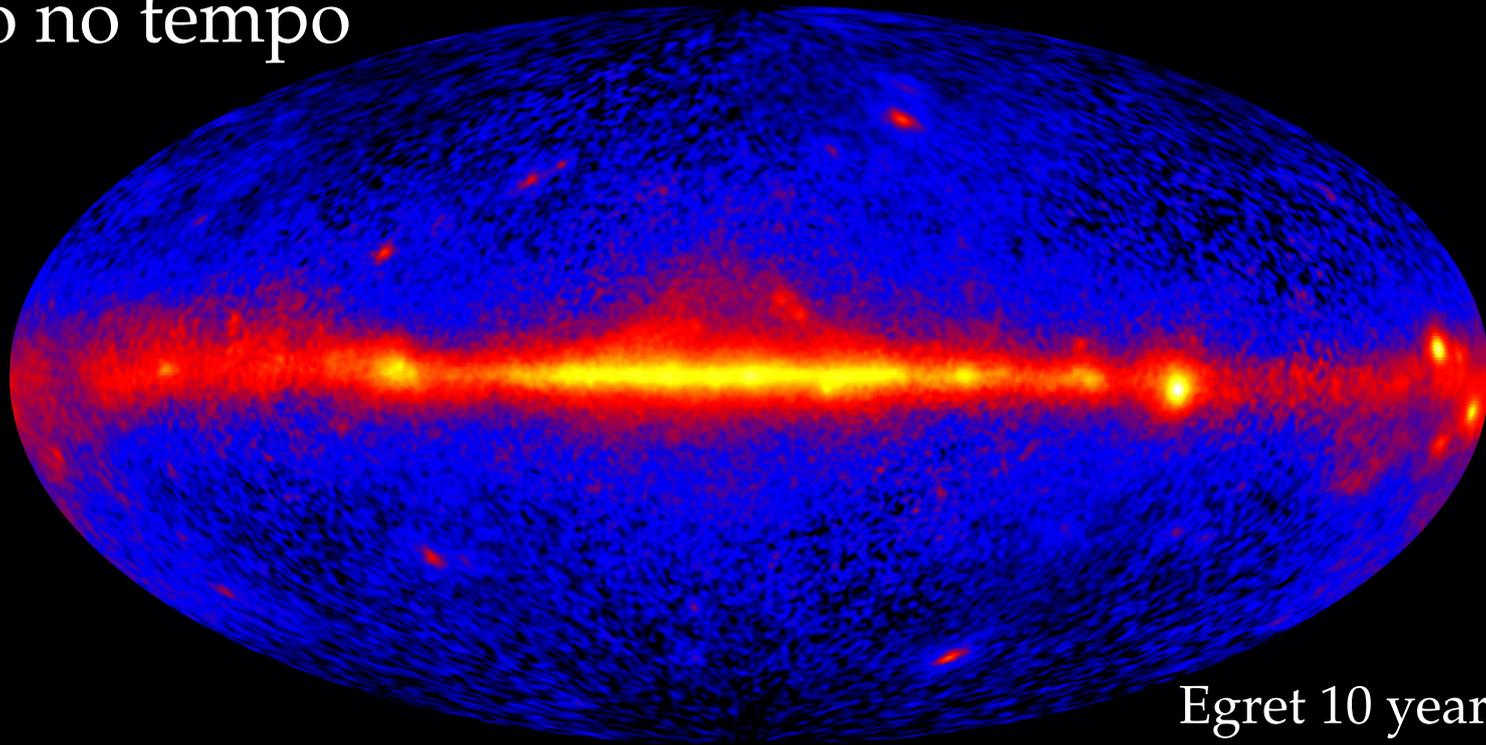


Fermi

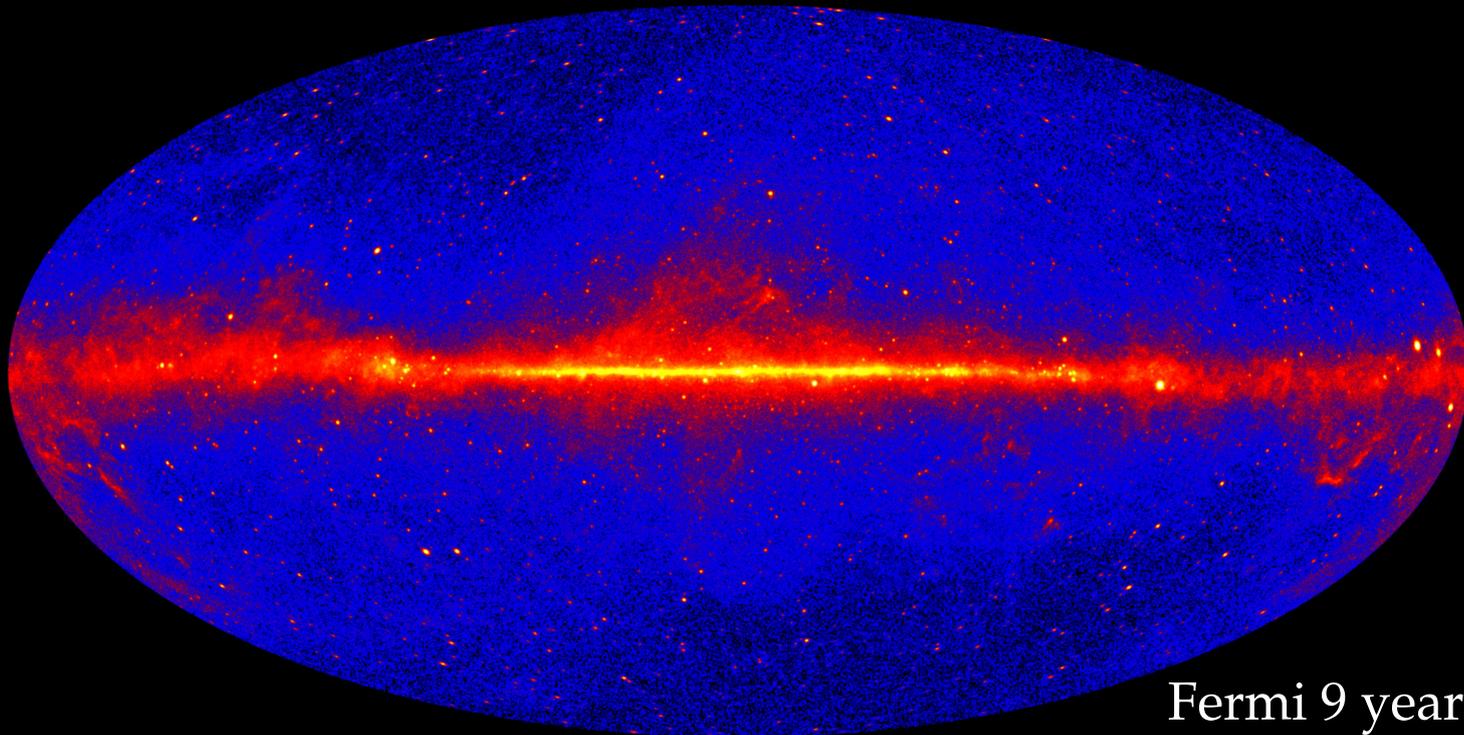


Swift

Evolução no tempo

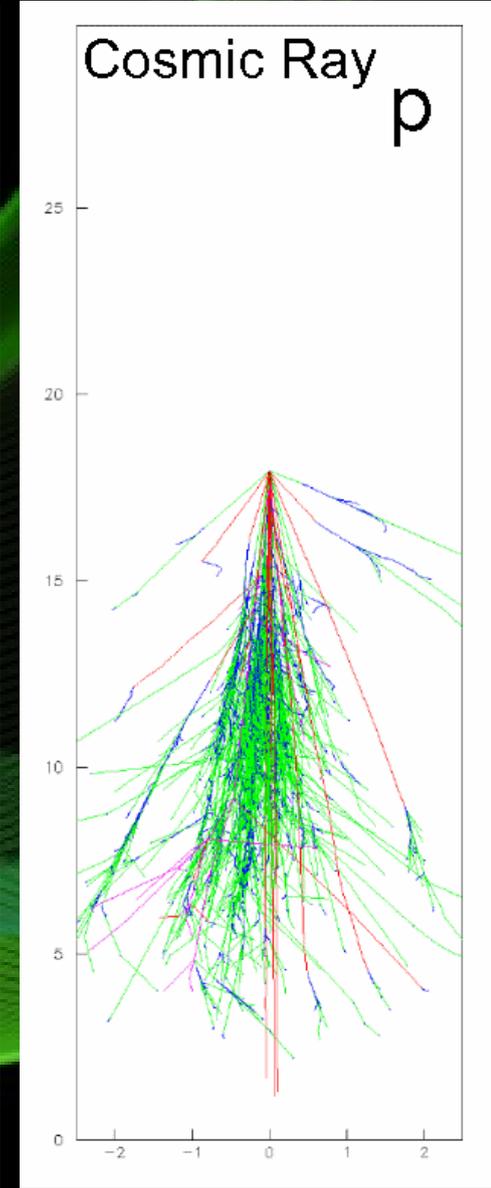
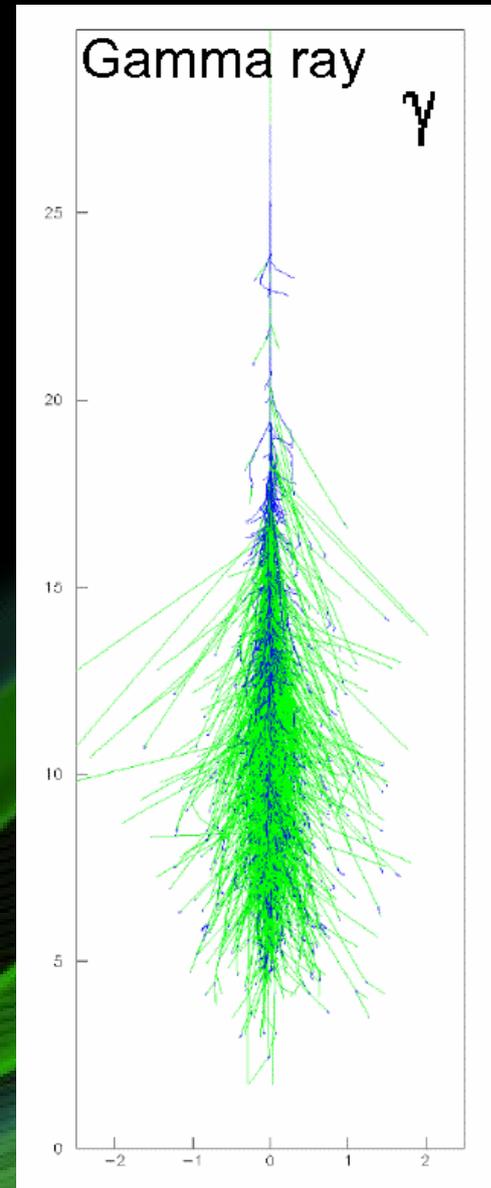
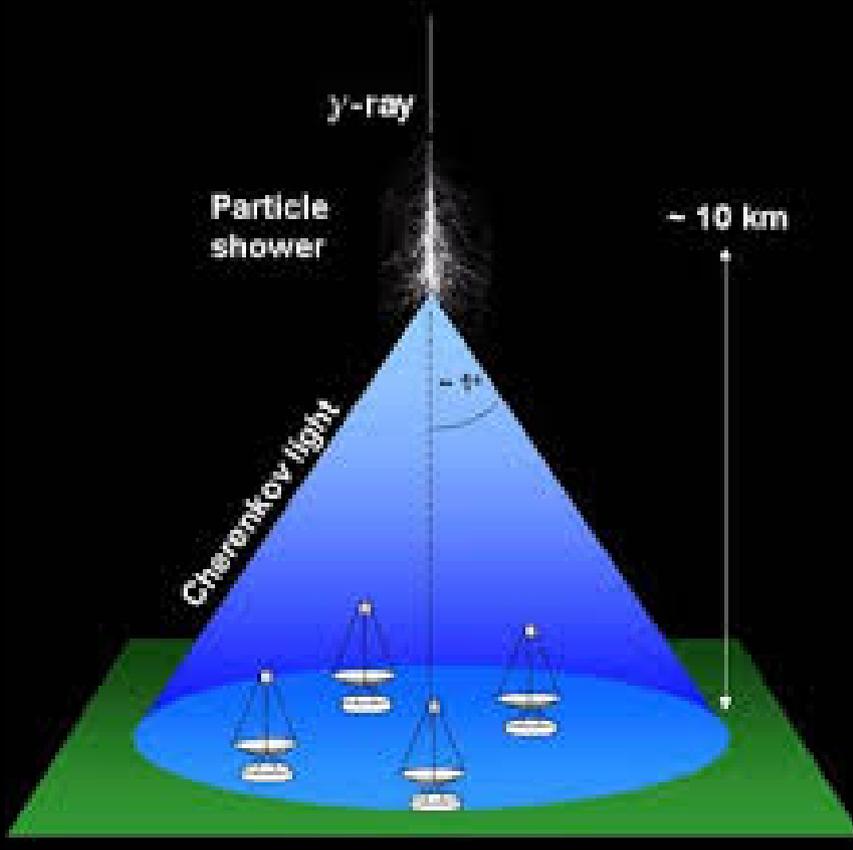


Egret 10 years



Fermi 9 years

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



gamma e^+/e^- μ^+/μ^- hadrons

Telescópios Cherenkov

MAGIC



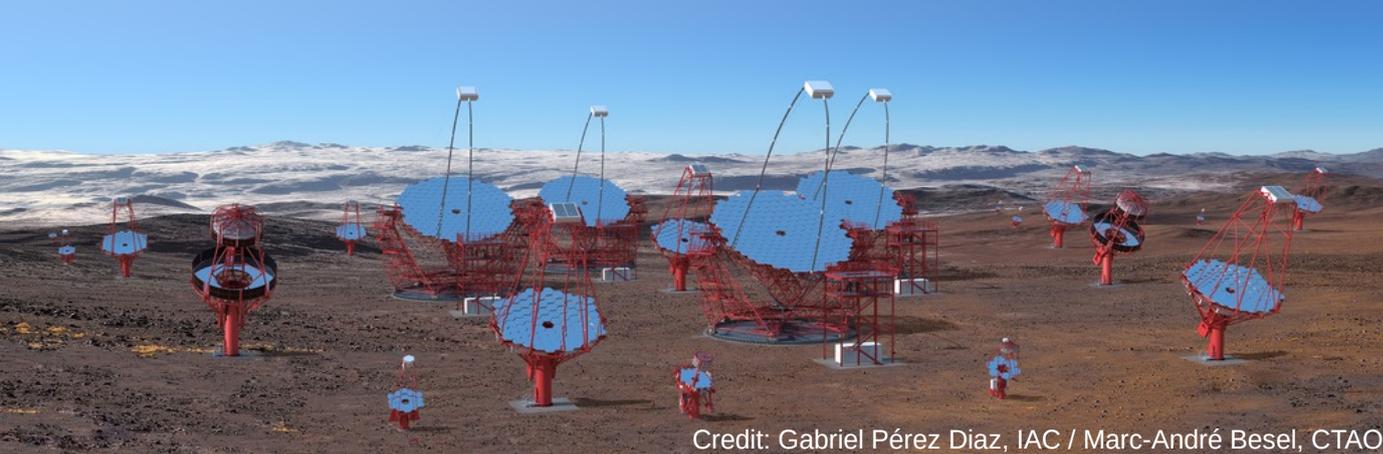
H.E.S.S.



VERITAS



No futuro próximo: CTA



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

CTA: Cherenkov Telescope Array

- A nova geração de detectores na Terra de raios gama
- 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 a altas energias não explorada até agora.

Fontes Astrofísicas de raios gama

- Passivas: São alvos para as partículas (RCs) aceleradas em outras fontes
- Ativas: Aceleram as partículas e produzem a emissão.

Fontes Astrofísicas de raios gama

- Passivas: São alvo para as partículas (RCs)
- Ativas: Aceleram as partículas e produzem a emissão.

Lembrar:

- ✓ Partículas relativísticas
- ✓ Campos alvo

Fontes Astrofísicas de raios gama

- Passivas: São alvos para as partículas (RCs) aceleradas em outras fontes.
- Ativas: Aceleram as partículas e produzem a emissão.

Estudo de
RCs

Algumas Fontes Gama

- ★ Remanecentes de Supernovas
 - ★ Pulsares
 - ★ Microquasares
 - ★ CWBs
-
- ★ GRBs
 - ★ AGNs

Fontes Galácticas: Pulsares



Jocelyn Bell Burnell

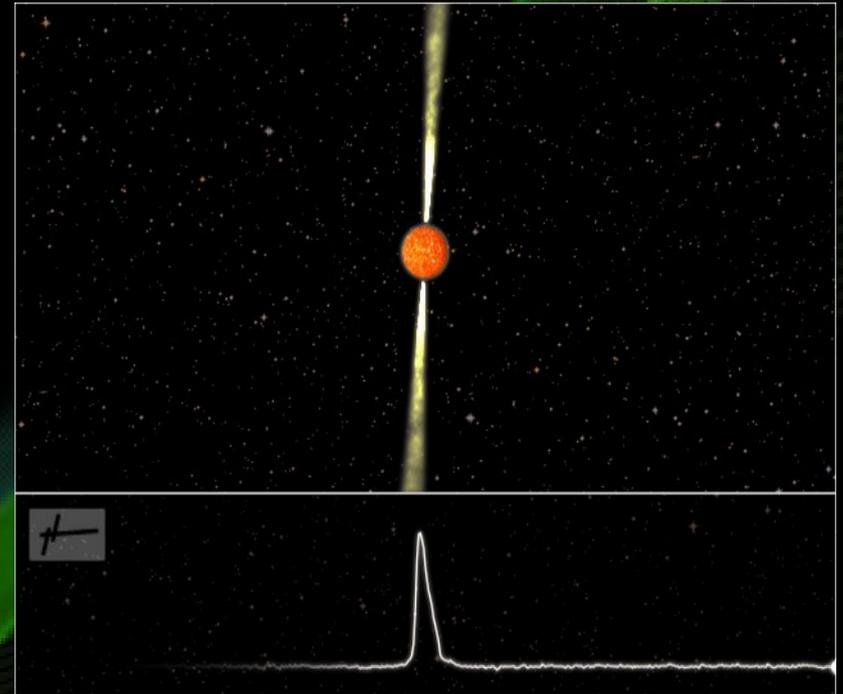


LGM

Fontes Galácticas: Pulsares

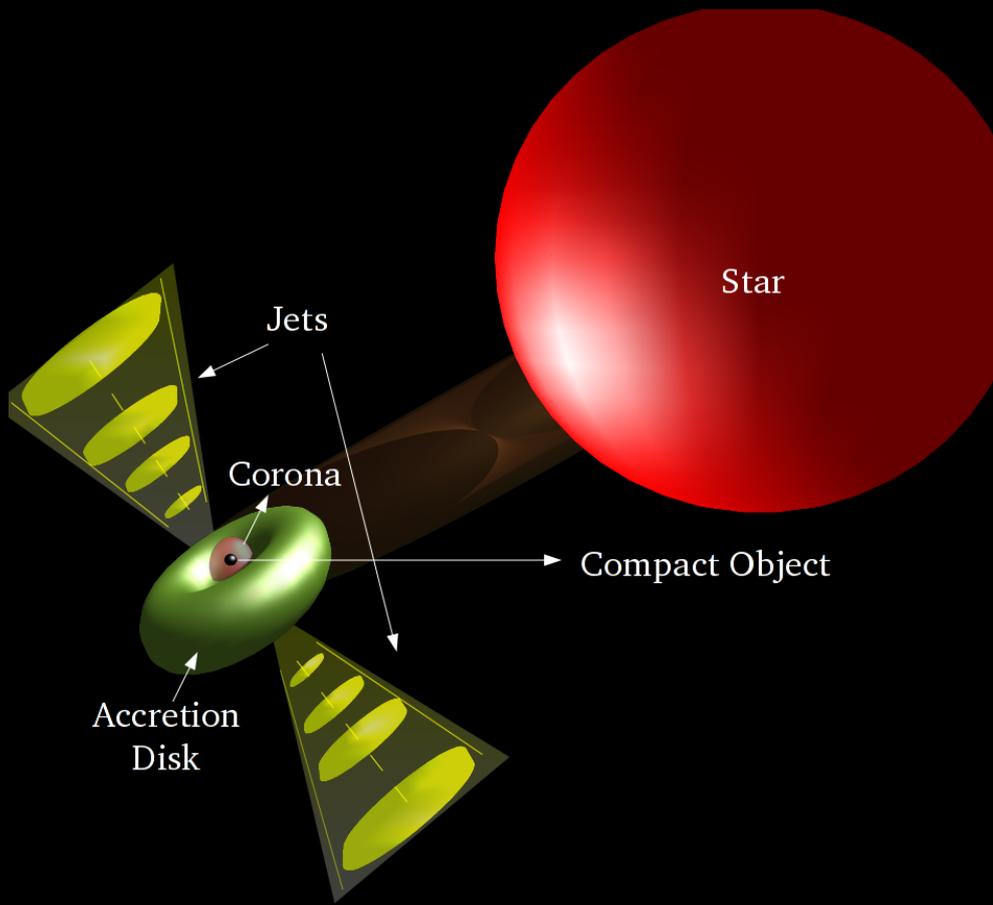


Jocelyn Bell Burnell



Credits: Joeri van Leeuwen

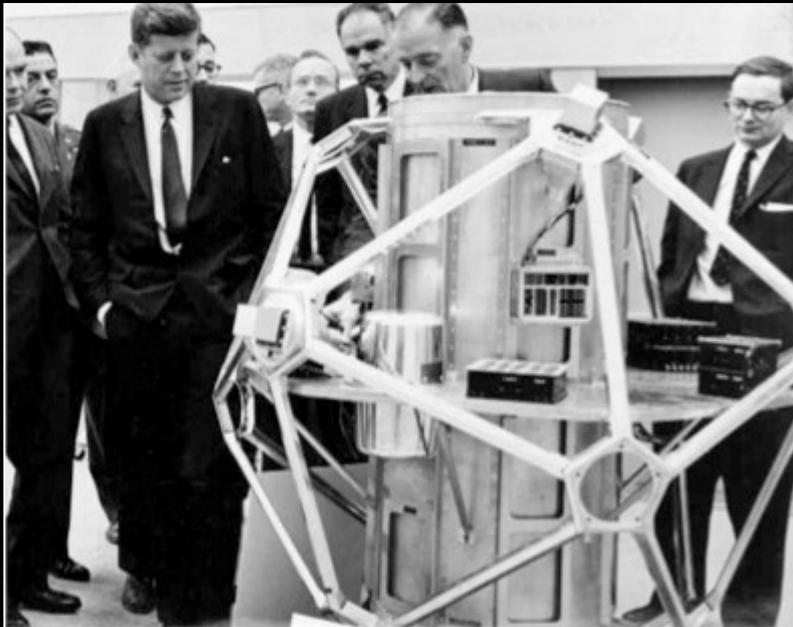
Fontes Galácticas: Microquasars



Credit:European Space Agency, NASA & Felix Mirabel

Surto de raios gama: história

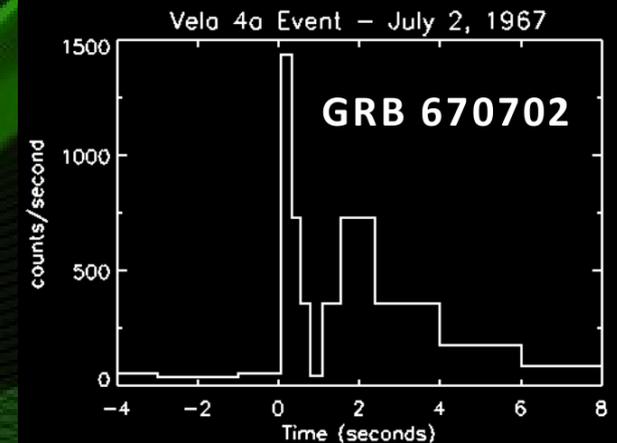
Décadas de 60 e 70



President Kennedy visits Vela Project at Sandia and Los Alamos national laboratories (Credit: Sandia, 1962)



Vela satellite launch, October 17, 1963. (Credit: US Air Force, Space and Missile Systems Cent

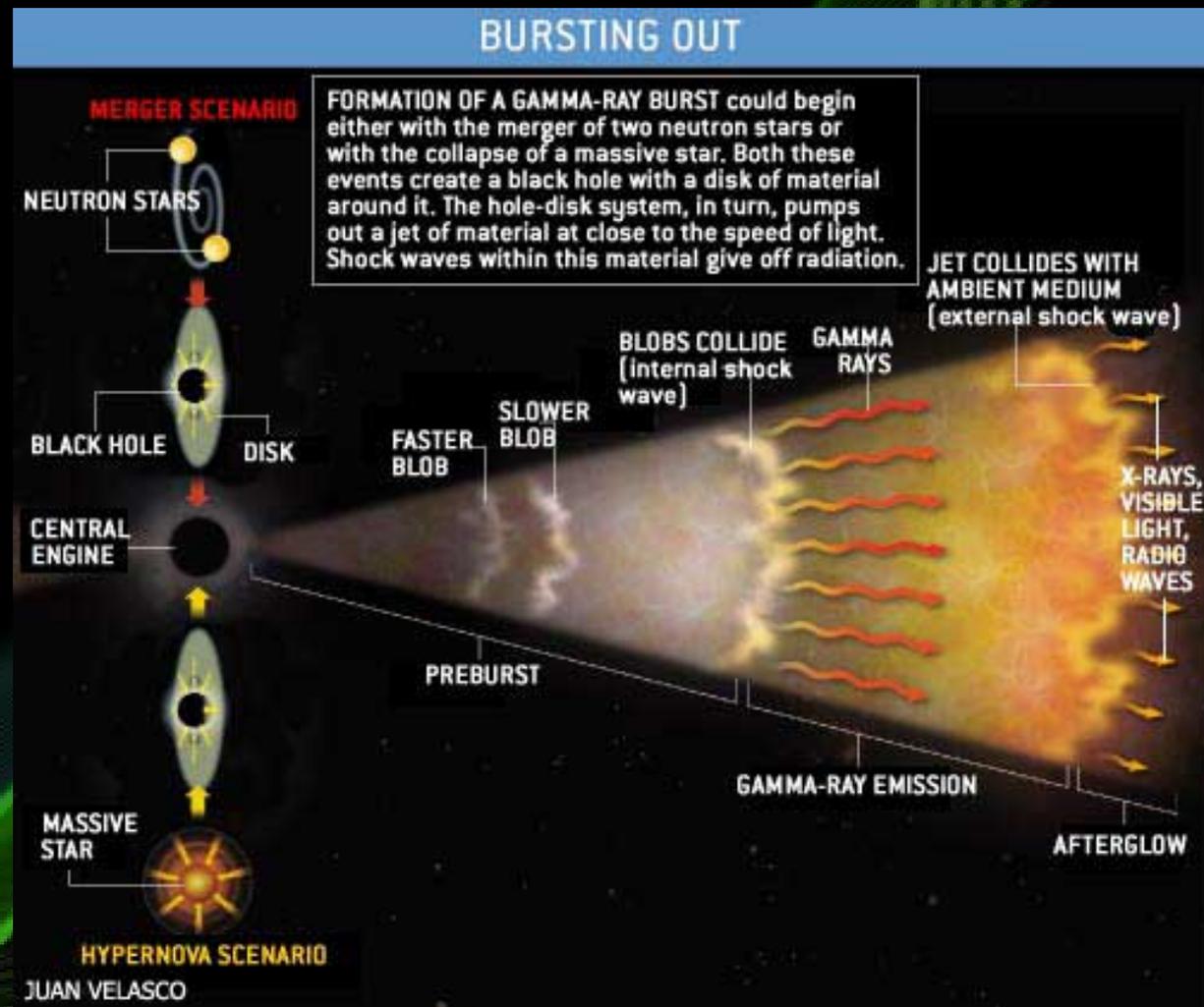


Klebesadel+ (1973)

Gamma-ray burst: duas classes

- Curtos:
0.2 segundos

- Longos:
2 segundos



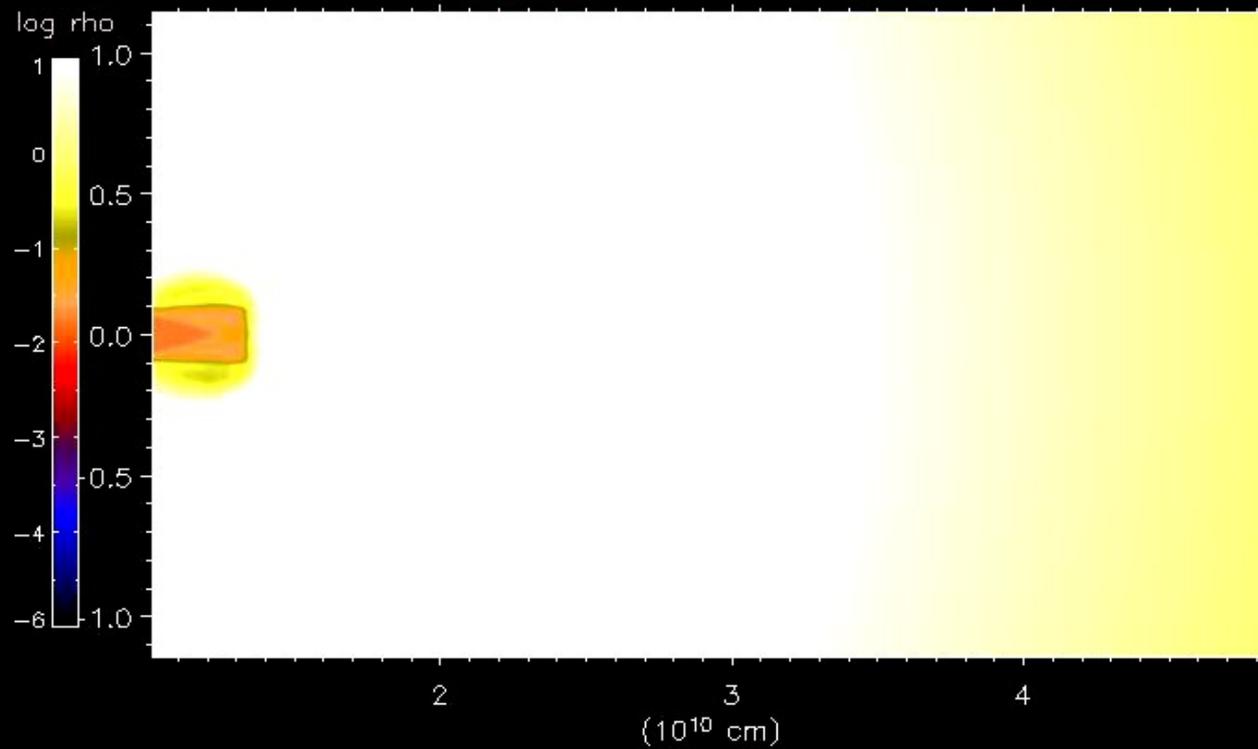
GRB longo

3-D Special Relativistic Hydro Simulation of Collapsar Jet

Wei-qun Zhang, S.E. Woosley & A. Heger

Model 3BS

$t = 1.50$ s



Astronomia multi-messenger

The background of the slide features a series of overlapping, wavy, ribbon-like shapes in shades of green and blue. These shapes flow from the bottom left towards the top right, creating a sense of motion and depth. The lines are composed of many fine, parallel lines, giving the overall effect a textured, almost digital or scientific appearance. The colors transition from a bright green in the center to a darker blue at the edges, all set against a solid black background.

Astronomia multi-messenger

Partículas:

Raios Cósmicos ultra energéticos

Neutrinos

Radiação:

Raios gama

Ondas gravitacionais

Astronomia multi-messenger

Partículas:

Raios Cósmicos ultra energéticos

Neutrinos

Radiação:

Raios gama

Ondas gravitacionais

Neutrinos

- Previstos por Wolfgang Pauli 1930
- Partícula muito leve
- Sem carga elétrica
- > pouca interação, muito difícil de detectar!
- Fontes: o sol, as explosões estelares (supernovas) e os **raios cósmicos**:

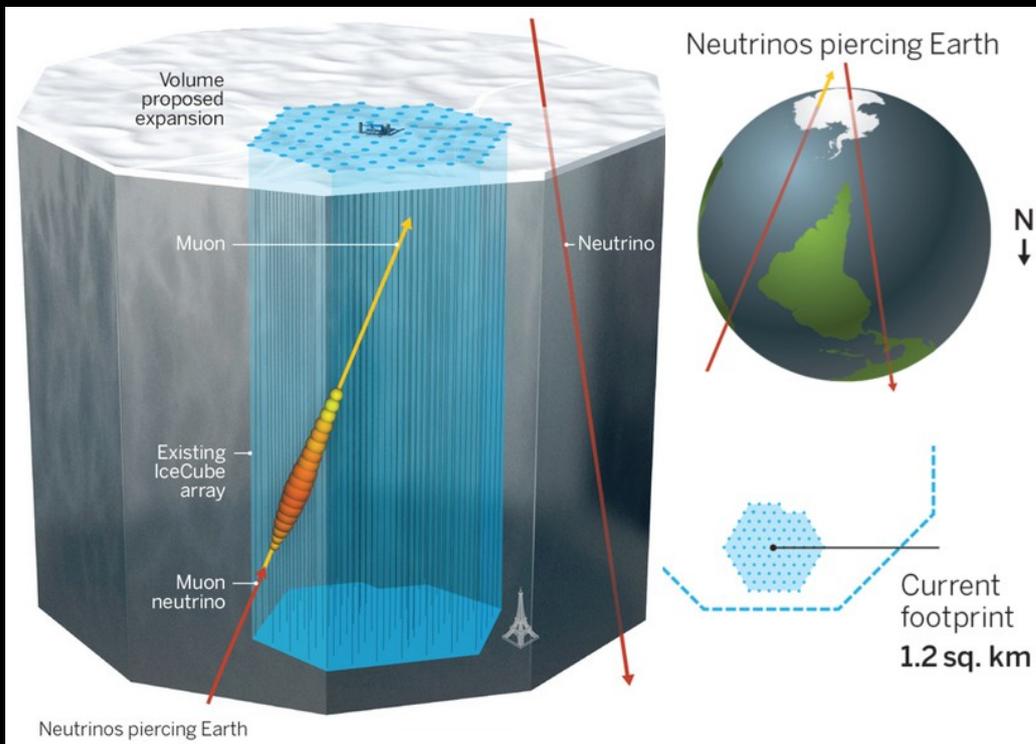


Wikipedia

Neutrinos de altas energias

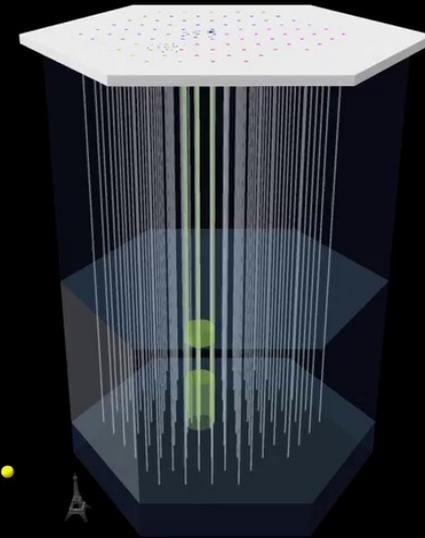
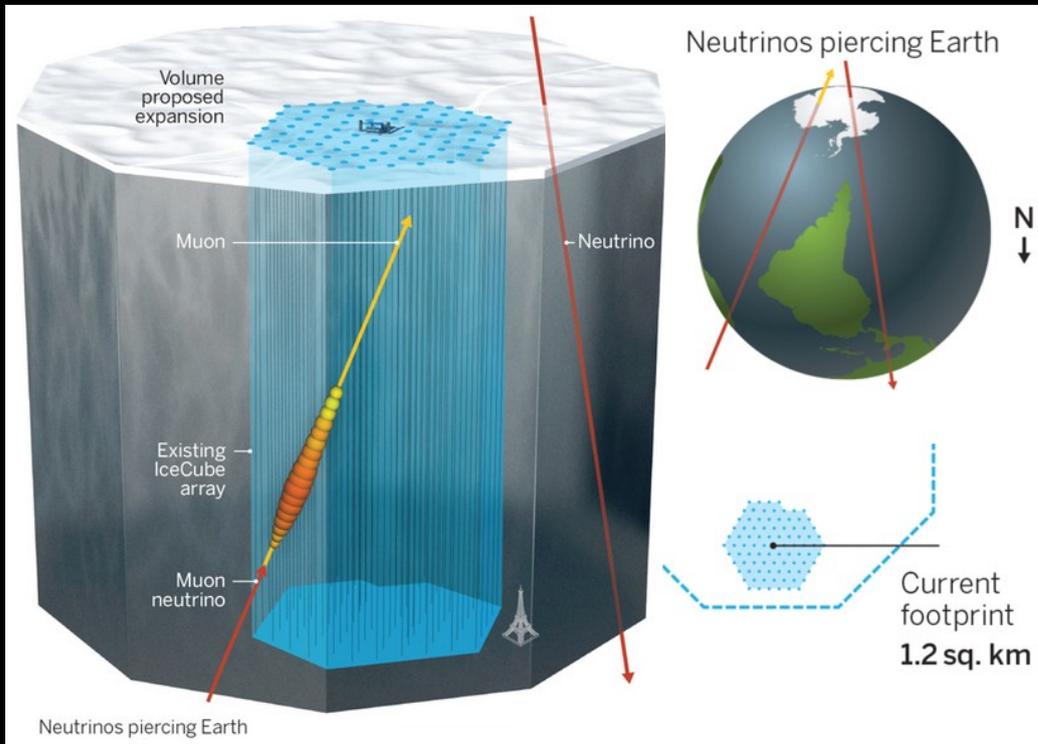
These high-energy astronomical messengers provide information to probe the most violent astrophysical sources

IceCube



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

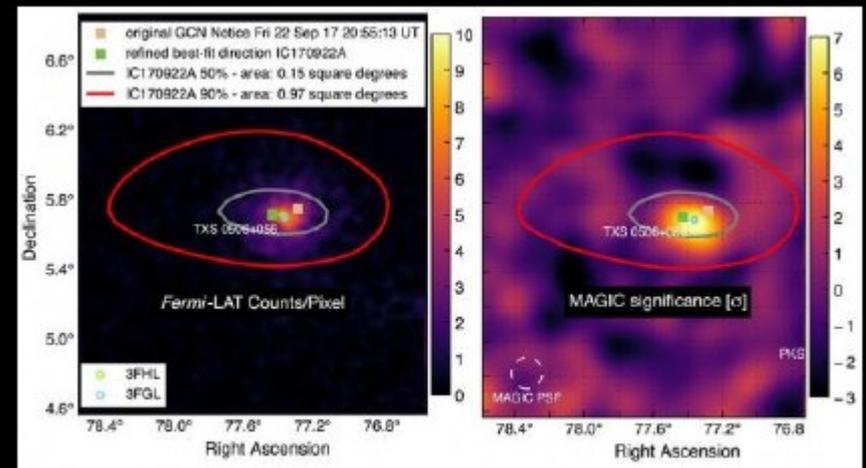
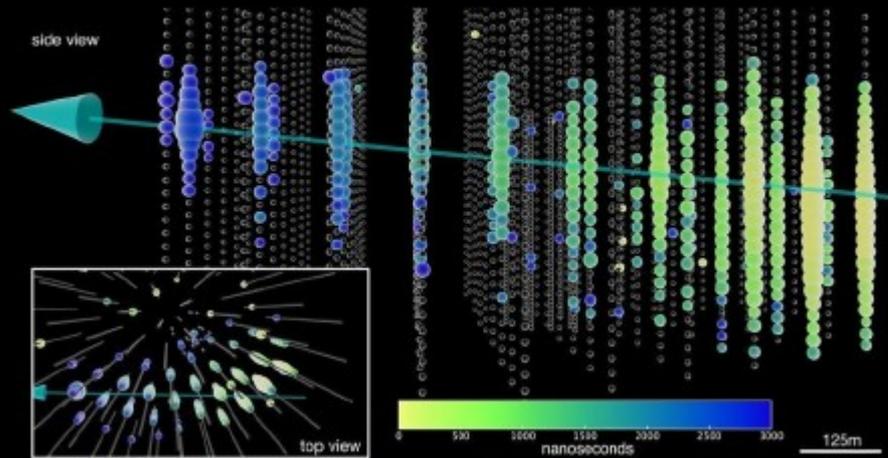
IceCube



Multi-messenger observations:

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

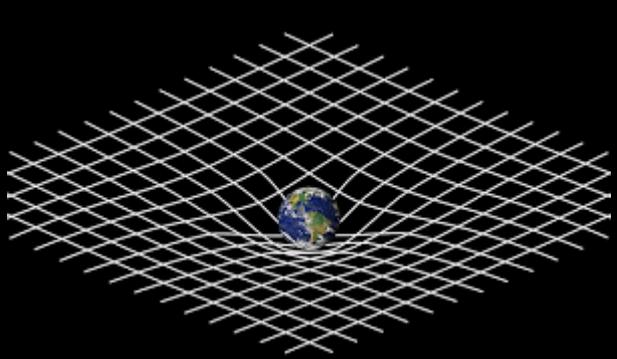
IceCube170922a (September 22nd, 2017)



September 24th

October 4th

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



Ondas gravitacionais

- Ondulações na curvatura do espaço-tempo
- Viajam à velocidade da luz
- Existência prevista na teoria Geral da Relatividade
- Evidências indiretas da sua existência

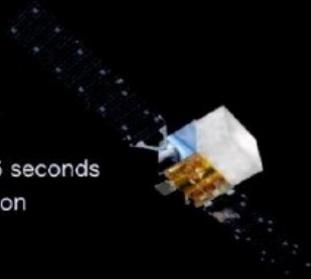
- Primeira detecção direta 2015: colisão de BNs!

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.

Evento: EN-EN

Fermi

Reported 16 seconds after detection



LIGO-Virgo

Reported 27 minutes after detection

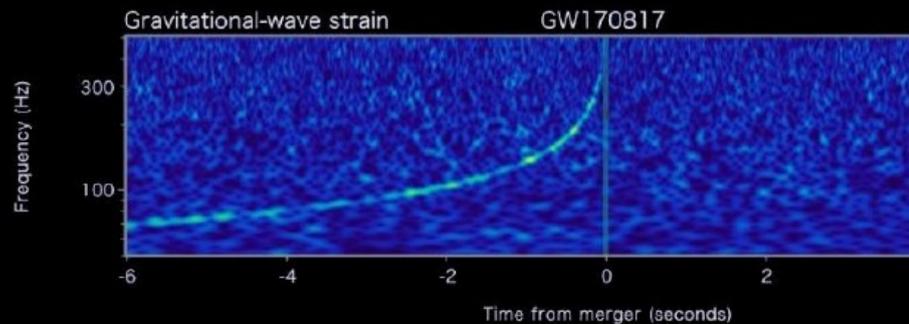


INTEGRAL

Reported 66 minutes after detection



GRBs curto!



GW170817

Evento: EN-EN

Earth

Space

Fer
Repor
after c

LIG
Repor



IN
Repor
after c



GW170817

LIGO Coll+ (2017)

Fusão de duas estrelas de neutrons

GW170817: The Merger of Two Neutron Stars



Matter Density

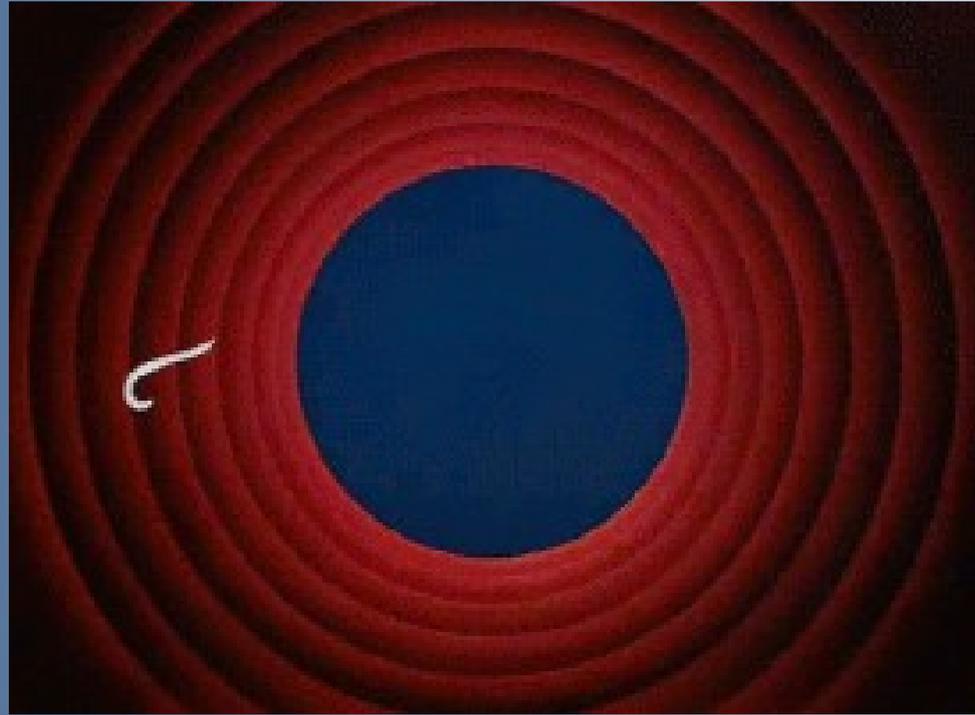
Gravitational Waves



Credit: Christopher W. Evans/Georgia Tec

RESUMO

- A astronomia de raios gama estuda eventos muito energéticos e extremos
- Nos últimos anos evoluiu muito rapidamente
- Fundamental no estudo de Raios Cósmicos
- Papel protagônico nos eventos multi-messenger: NS merger & Blazar neutrino
- Futuro muito promissor na astrofísica gama e nas futuras descobertas relacionadas a outras formas de radiação não eletromagnética



O brigada!



