



Universidade Federal do ABC

Introdução à Física Estelar

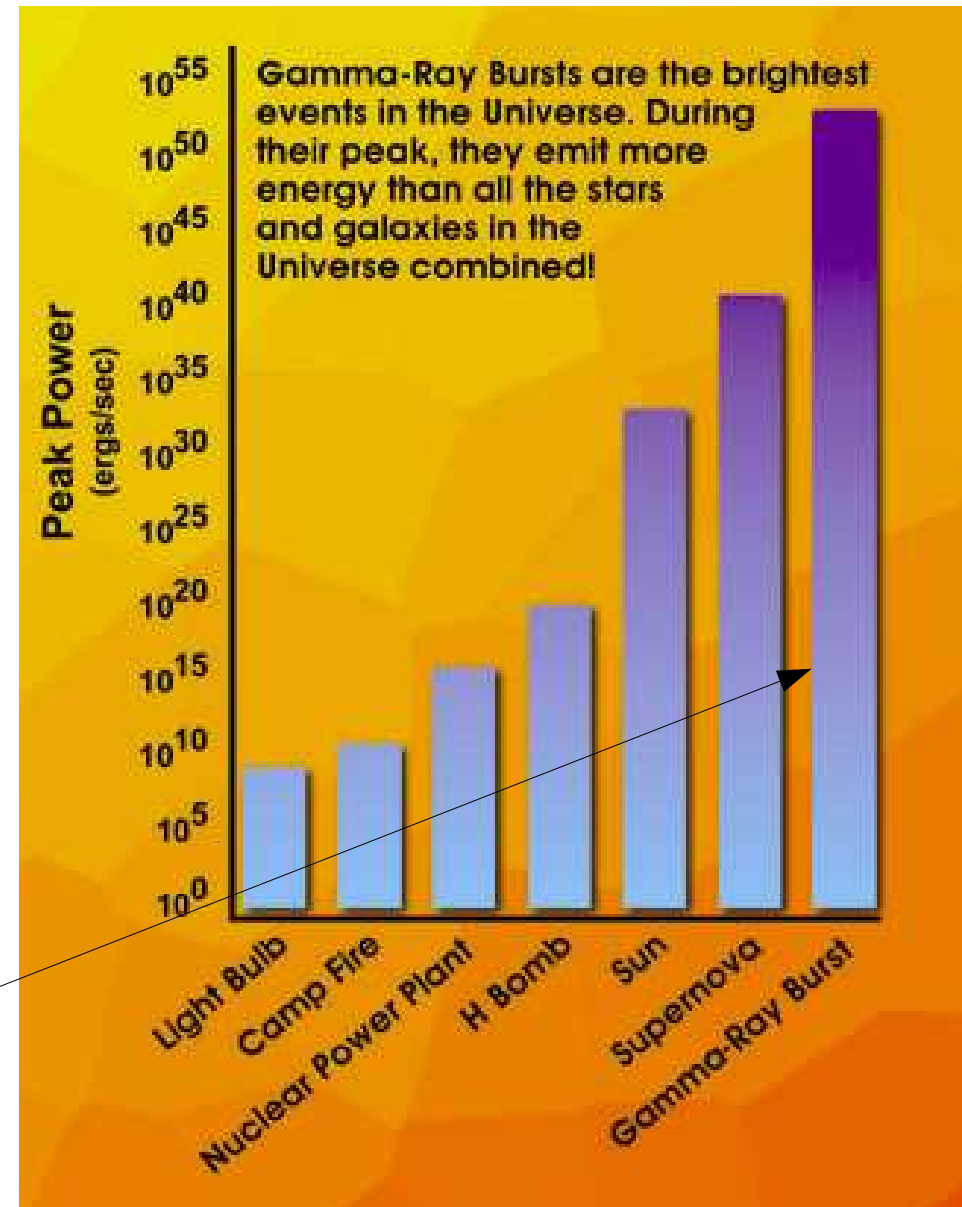
Surtos de raios gama

Surtos de raios gama (GRBs)

- Maiores explosões conhecidas no Universo
- Duração entre poucos milissegundos a vários minutos
- Temporariamente a mais intensa fonte de fótons gama no Universo observável

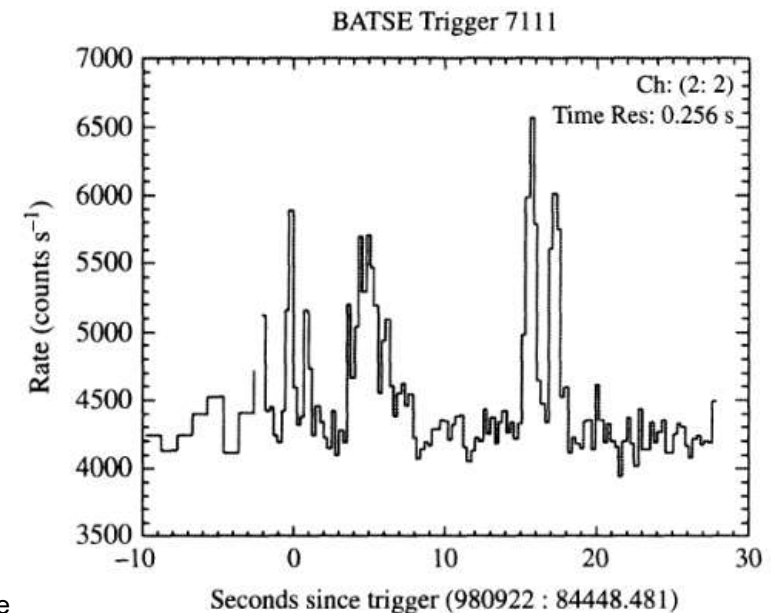
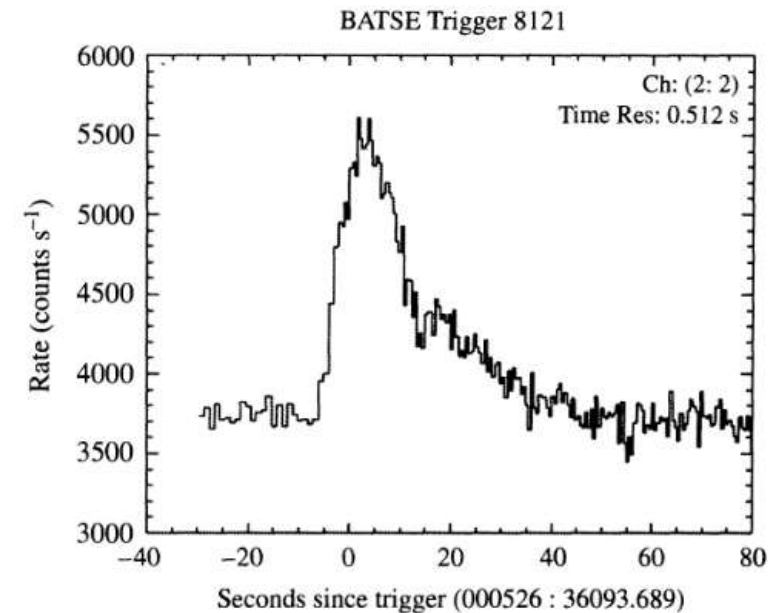
Mas a emissão é colimada, não isotrópica:

$$E_{\text{GRB}} \sim E_{\text{supernova}} \sim 10^{51} \text{ ergs}$$



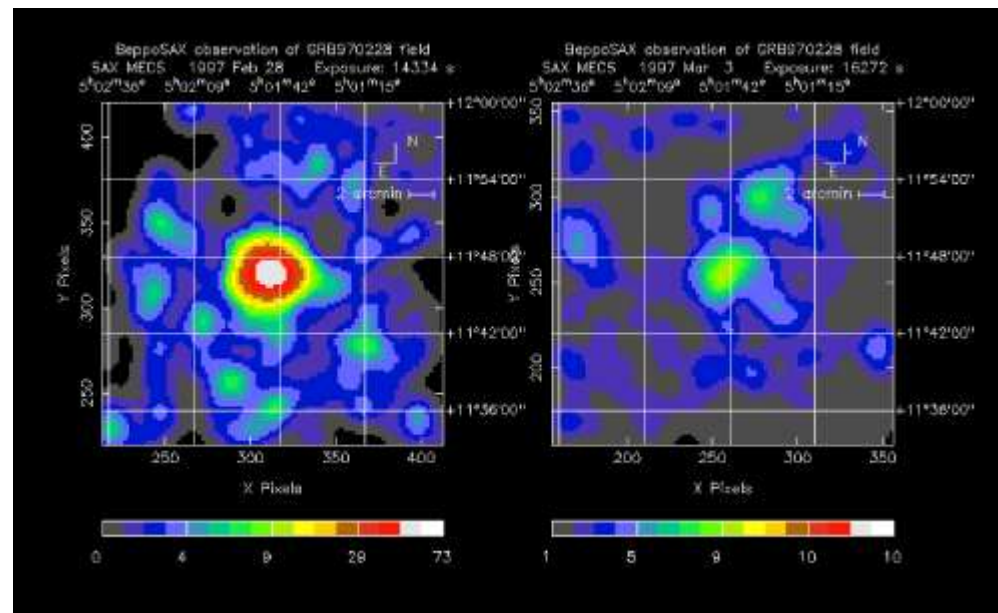
Espectro de GRBs

- Espectro entre 1 keV a muitos GeV (apesar de incluir raios-X, maior parte da emissão em γ)
- **Tempo de subida rápido:** até 10^{-4} s, seguido de queda exponencial
- Geralmente com múltiplos picos e complexo
 - "If you've seen one gamma-ray burst, you've seen one gamma-ray burst." Dr. Bill Paciesas, membro do BATSE



Surto de raios gama

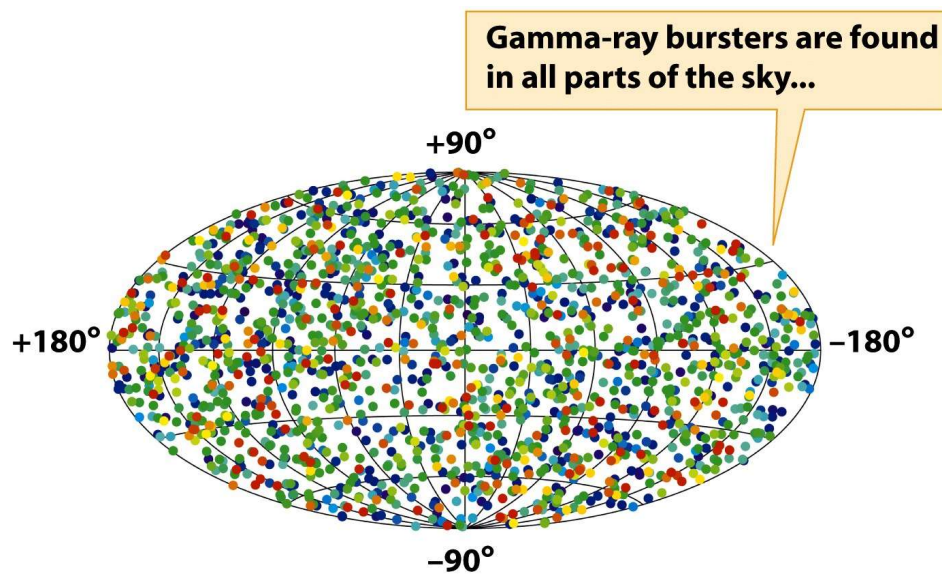
- 28/02/1997: Beppo-SAX detecta um *afterglow* em raio-X de um GRB → o surto de gamas dura muito pouco mas a emissão X dura dias!
- ~1 GRB/dia



GRB970228 (BeppoSAX). À esquerda, surto X de 28 de fevereiro. À direita, mesma região do céu em 3 de março.

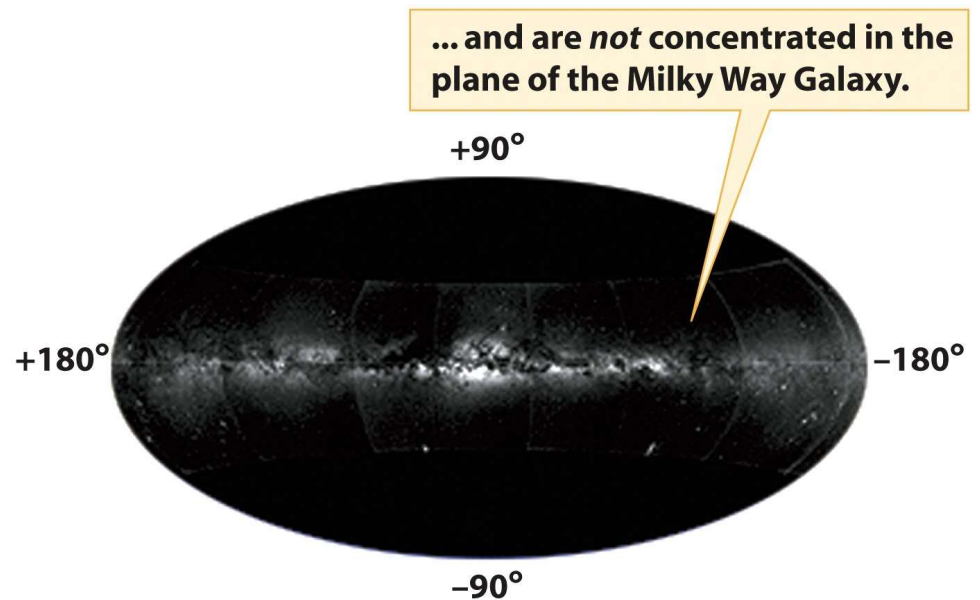
Surto de raios gama

As fontes de GRB estão situadas a distâncias cosmológicas (**extragaláticas**)



Map of the entire sky showing the positions of gamma-ray bursters

Figure 22-13a
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

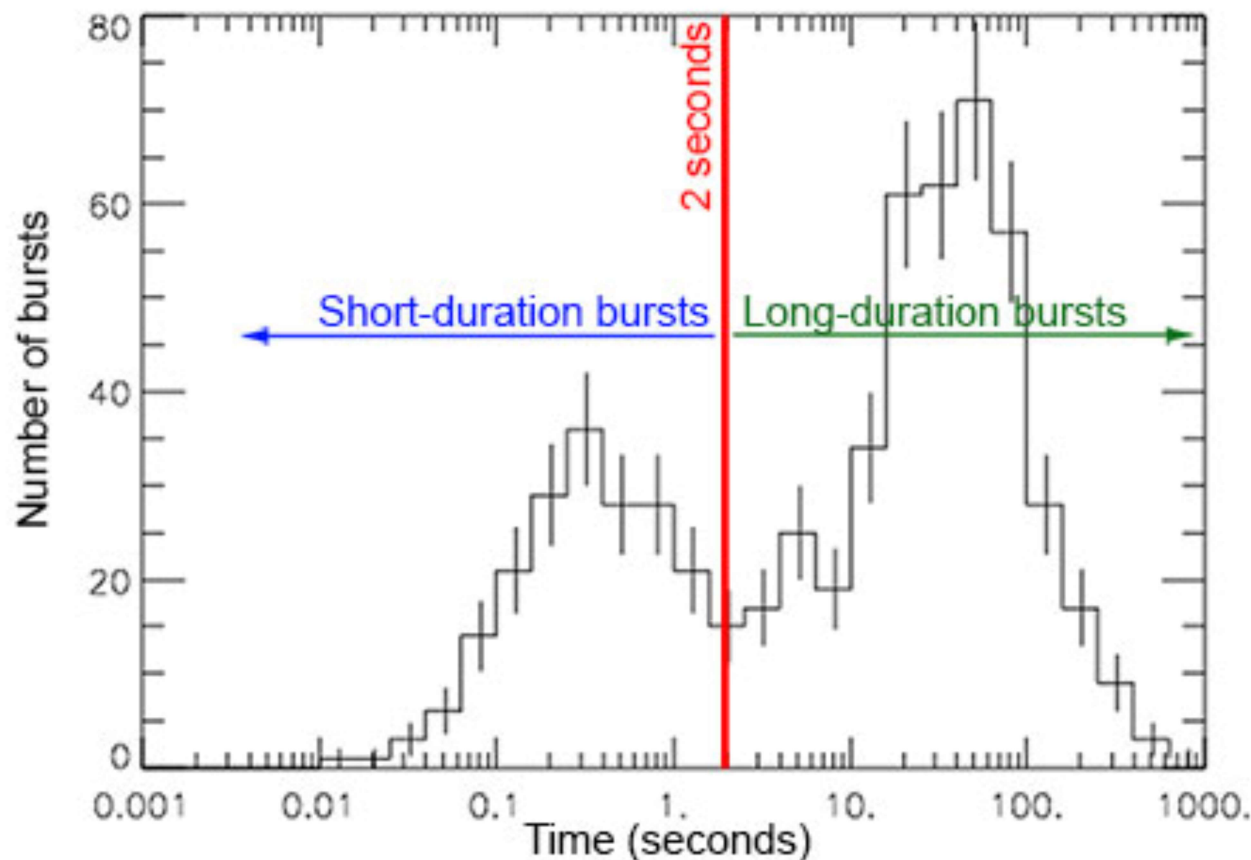


Map of the entire sky at visible wavelengths

Figure 22-13b
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Surto de raios gama

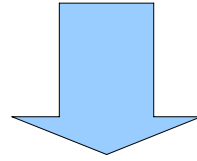
- Taxa: 1 a cada $3 \cdot 10^5$ anos por galáxia (~1/3000 da taxa de supernovas)
- Dividem-se em duas classes: **longos** e **curtos**



Ingredientes de um GRB

- Energia: $E \sim 10^{51}$ ergs → fração significativa da energia de ligação de um objeto compacto
 - A fonte deve gerar esta energia e acelerar $\sim 10^5 M_{\text{sol}}$ a velocidades relativísticas
- Escala temporal:
 - variabilidade tão curta quanto 1 ms → objeto compacto
 - Duração ~ 50 s → atividade prolongada
 - pelo menos duas escalas temporais diferentes
 - descartado modelo ‘explosivo’ que libera E em uma única explosão

Ingredientes de um GRB



- Acreção de um **disco** ($0,1 M_{\text{sol}}$) em um **BN**
 - **Objeto compacto** pelas pequenas escalas de tempo
 - **Acreção** pelas duas diferentes escalas de tempo e atividade prolongada
 - **Disco massivo** pela energética → formação de um BN
 - Modelo suportado por observações de jatos relativísticos em AGNs (acrecção sobre BN)

Ingredientes de um GRB

- Duração da acreção deve depender do tipo de disco...
 - Surtos **curtos**: Coalescência de **NS – NS** ou **NS – BN**
 - Discos pequenos
 - Surtos **longos**: **colapso** de estrela massiva a um **BN**
 - Discos pequenos com acreção prolongada
- GRBs são tipicamente seguidos por ***afterglows***
 - emissões em mais baixa energia (raio-x, ótico e rádio) de mais longa duração

Ingredientes de um GRB

- **Dissipação**: energia do **fluxo relativístico** é dissipada → energia do GRB (γ) e *afterglow* (matéria circundante)
- **Radiação síncrotron**: emissão de radiação de elétrons relativísticos
- **Jatos e colimação**: abertura angular de $1^\circ < \theta < 20^\circ$

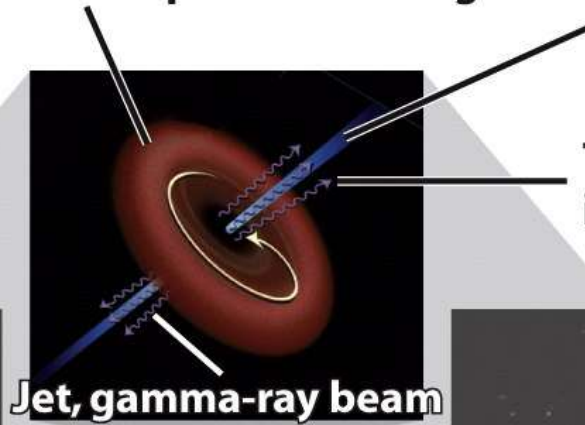
Surto longos

- Burst de ~20s de duração.
- *Soft* (mais energia “baixa”)
 - Há evidências de que a emissão de energia ($\sim 10^{51}$ erg) é fortemente colimada em um feixe, com um cone de abertura de apenas alguns graus
- Associação com **formação estelar e SN**
 - GRB980425 e SN1998bw
 - GRB030329 e SN 2003dh

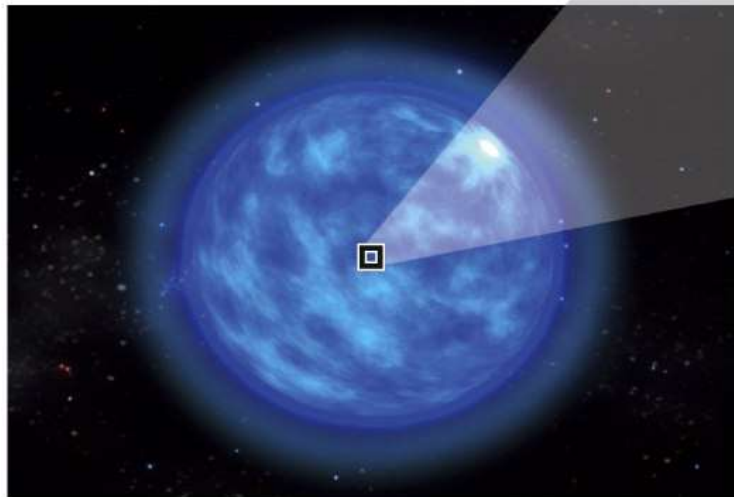
Modelo de colapsar

Torus with a black hole and accretion disk at its center.

Two oppositely-directed jets of fast-moving particles emerge along the star's rotation axis.

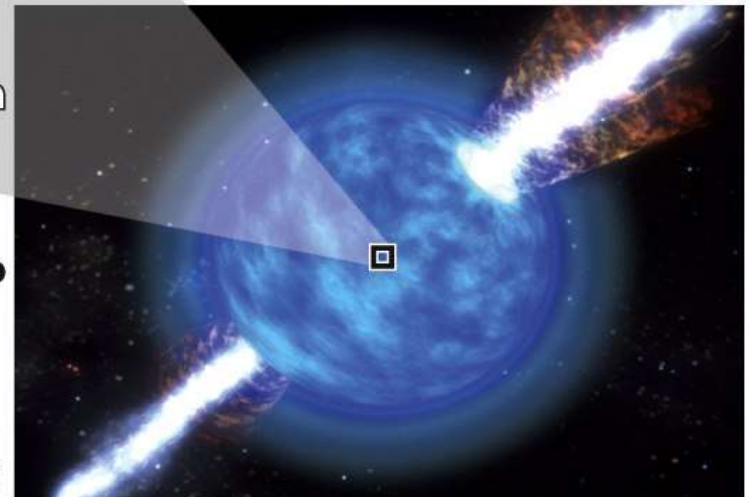


The fast-moving jets produce intense beams of gamma rays.



(a) After shedding its outer layers of hydrogen and helium, a rapidly rotating supergiant star of more than $30 M_{\odot}$ reaches the end of its lifetime.

(b) The star's core rapidly collapses to form a black hole. Material around the black hole falls inward, forming an accretion disk and jets.



(c) The jets blast through what remains of the supergiant star. If one of the jets and its beam is directed towards Earth, we see a gamma-ray burster.

Figure 22-15

Universe, Eighth Edition

© 2008 W. H. Freeman and Company

Surto curtos

- Duram menos que 2s (usualmente apenas alguns ms)
- Emitem tipicamente 1000x **menos energia** que os longos
- **Mais duros** (têm mais raios gama de alta energia) que os longos
 - produzidos por **coalescência** (*mergers*) de duas estrelas de nêutrons ou de uma estrela de nêutrons com um buraco negro

www.youtube.com/watch?v=vw2sLcyV7Vc

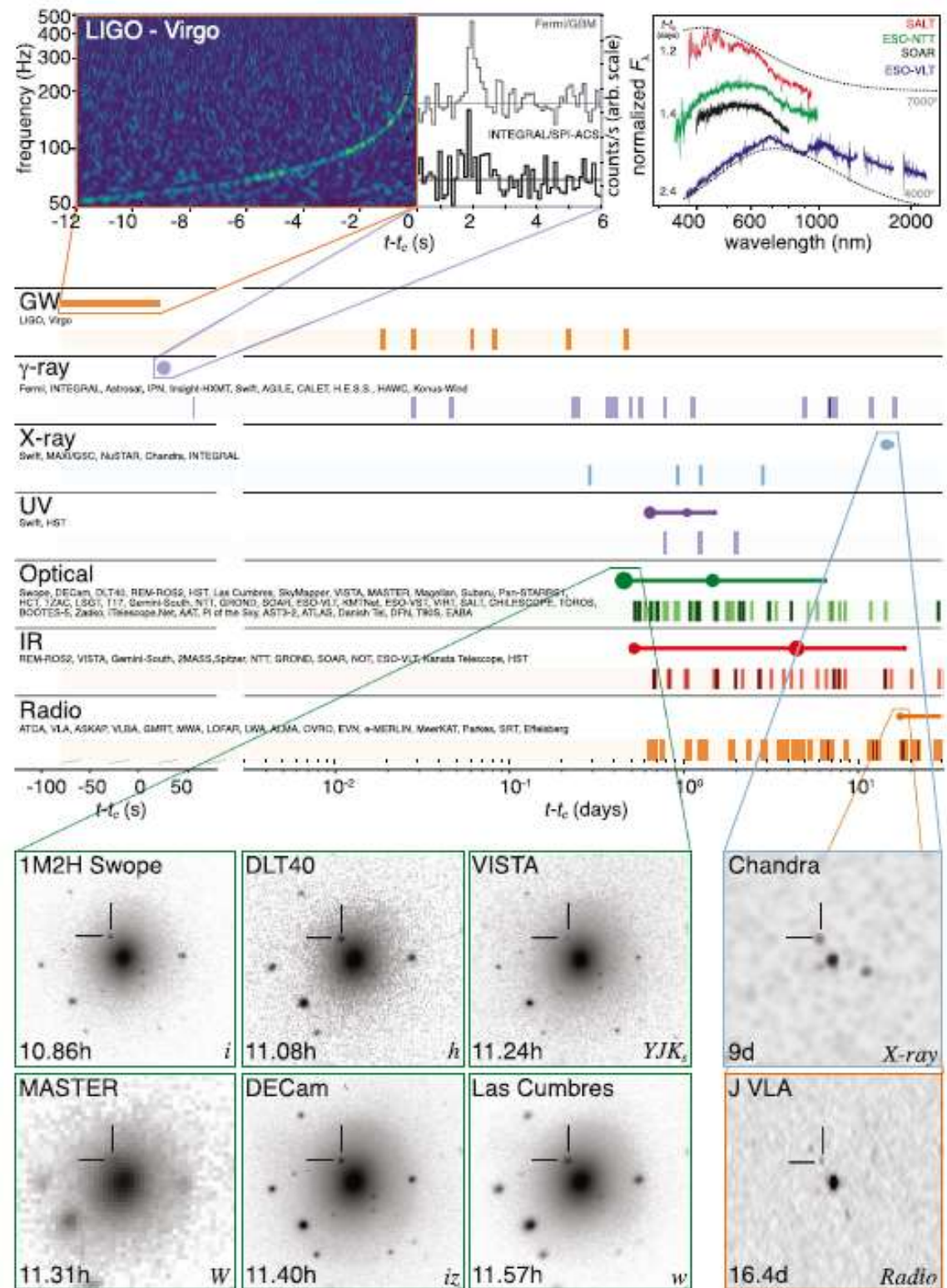
O evento GW170817 e a era de multimessageiros

- 17/ago/17: primeira observação de um evento com ondas eletromagnéticas **E** gravitacionais!
 - Revista Science: “**Breakthrough of the Year**”
- Evento: colisão de duas estrelas de nêutrons
 - Onda gravitacional: LIGO, Virgo
 - Onda eletromagnética: por mais de 70 observatórios em solo e no espaço
- Colisão a 130 milhões de anos-luz
 - Massas iniciais: **1,1 e 1,6 M_{sol}**

O evento GW170817 e a era de multimessageiros

- Observações ópticas, em rádio, em raio-x e raios-gama
 - *Afterglow* importantíssimo para caracterização da distribuição espacial dos eventos
 - **Kilonovas**: Detecção de ouro ($\sim 200 M_{\text{Terra}}$) e platina ($\sim 500 M_{\text{Terra}}$)!
 - as fusões de estrelas de nêutrons são responsáveis por produzir grande parte dos elementos químicos pesados do universo

Linha do tempo da descoberta de GW170817, GRB 170817A, SSS17a/AT 2017gfo e observações subsequentes



O evento GW170817 e a era de multimessageiros

- Detecção óptica de GW170817 em NGC4993

