

Supernovas do tipo Ia nos levantamentos J-PAS e J-VAR



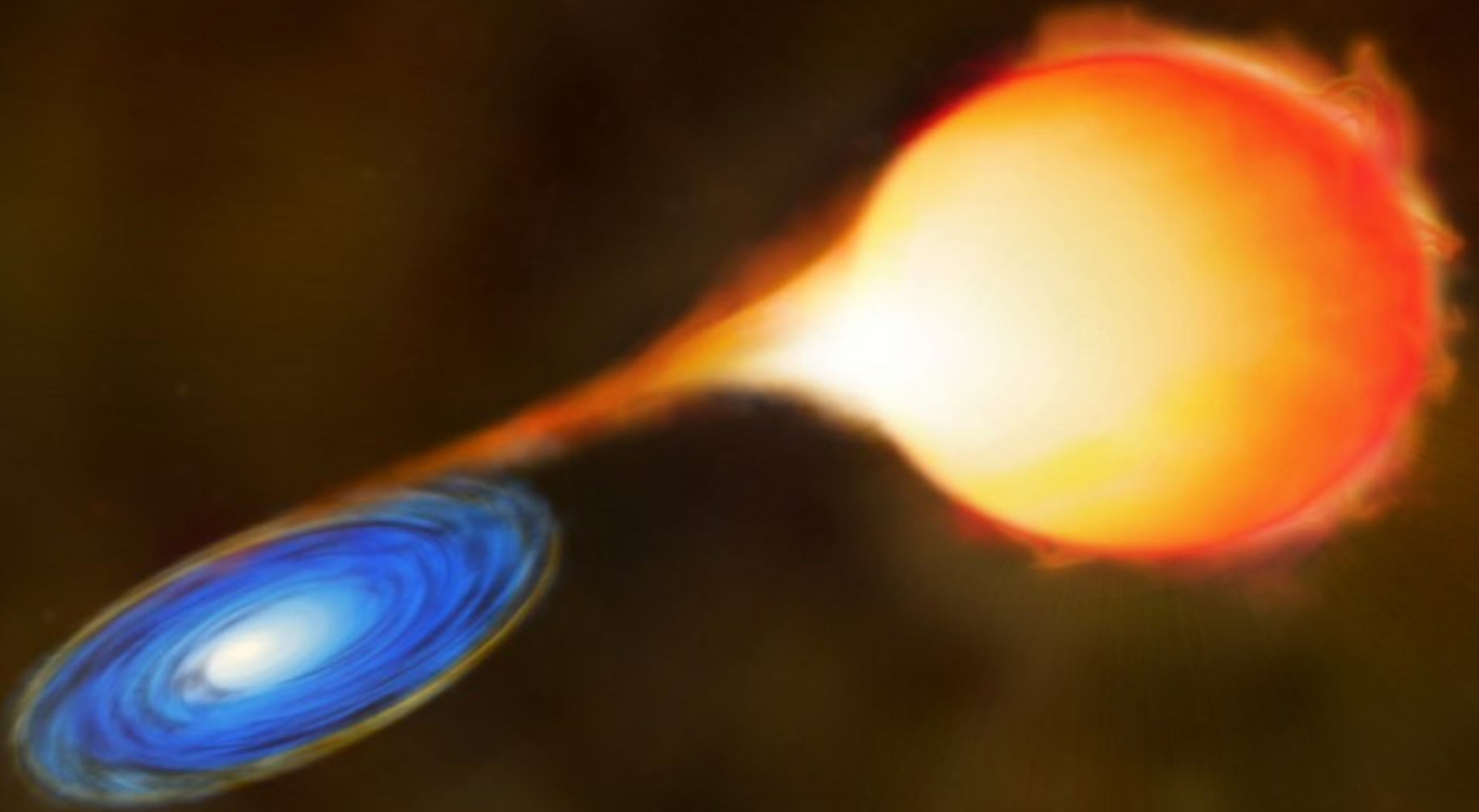
Beatriz Blanco Siffert
Campus Duque de Caxias - UFRJ



Inverno Astrofísico - Domingos Martins
28/09/2022

Resumo da apresentação

- **O que são supernovas;**
- **Velas padrão e medidas de distância;**
- **SN Ia em cosmologia;**
- **Os levantamentos J-PAS e J-VAR;**
- **Como detectar supernovas;**
- **Discussão.**



Supernovas do tipo Ia

Classification of Supernovae

Type	Ia	Ib	Ic	II
Spectrum	No Hydrogen			Hydrogen
	Silicon	No Silicon		
		Helium	No Helium	
Physical mechanism	Nuclear explosion of low mass star	Core collapse of evolved massive star (may have lost its hydrogen or even helium envelope during red-giant evolution)		
Light curve	Reproducible	Large Variations		
Neutrinos	Insignificant	~ 100 × Visible energy		
Compact Remnant	None	Neutron star (typically appears as pulsar) Sometimes black hole ?		
Rate/h ² SNU	0.36 ± 0.11	0.14 ± 0.07		0.71 ± 0.34
Observed	Total ~ 2000 as of today (nowadays ~200/year)			

Classification of Supernovae

Type	Ia	Ib	Ic	II
Spectrum	Silicon	No Hydrogen		Hydrogen
Physical mechanism	Nuclear explosion of low mass star	Core collapse of evolved massive star (may have lost its hydrogen or even helium envelope during red-giant evolution)		
Light curve	Reproducible	Large Variations		
Neutrinos	Insignificant	~ 100 x Visible energy		
Compact Remnant	None	Neutron star (typically appears as pulsar) Sometimes black hole ?		
Rate/h ² SNU	~1 a cada 500 anos por galáxia / ~10 vezes +			
Observed	~9000 tipo Ia ⁰ as of today (nowadays ~200/year)			

Antes e depois



Antes e depois



Antes e depois

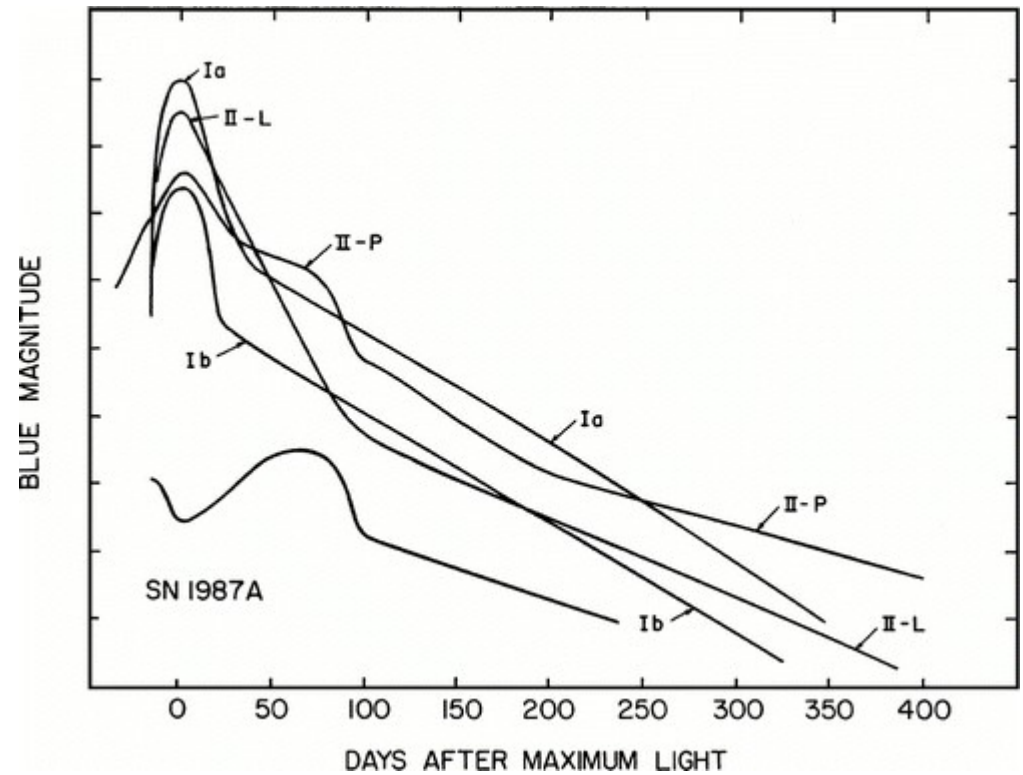
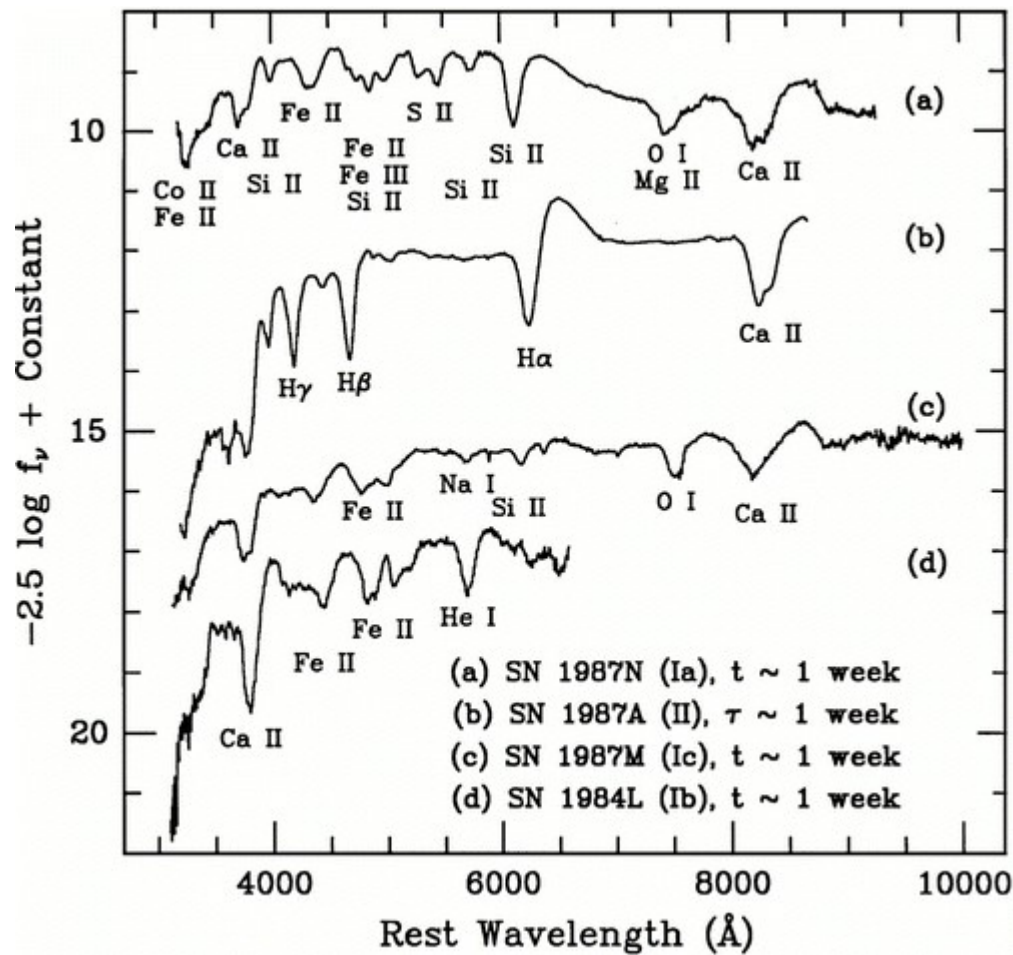


Before

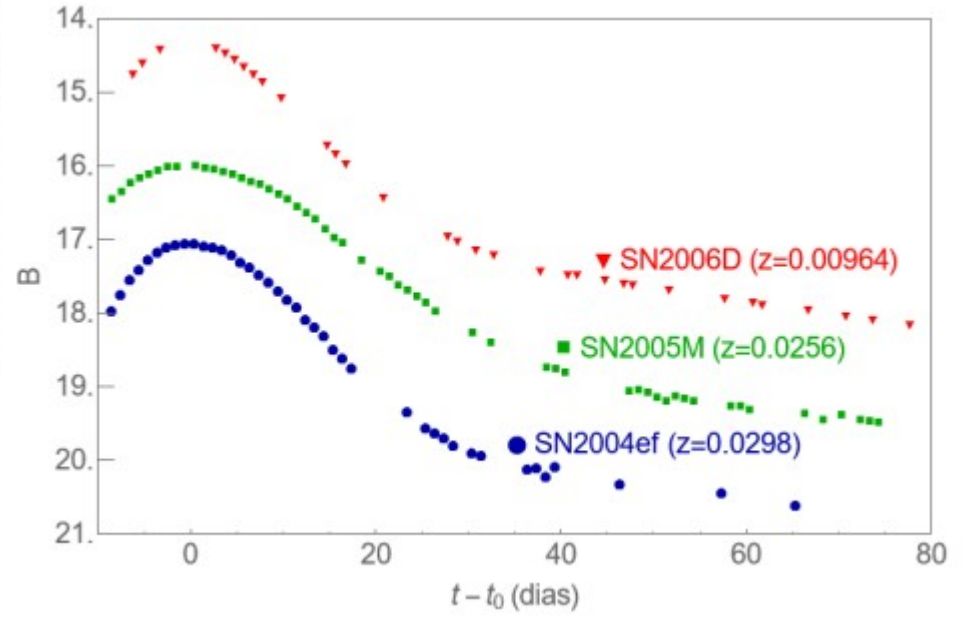
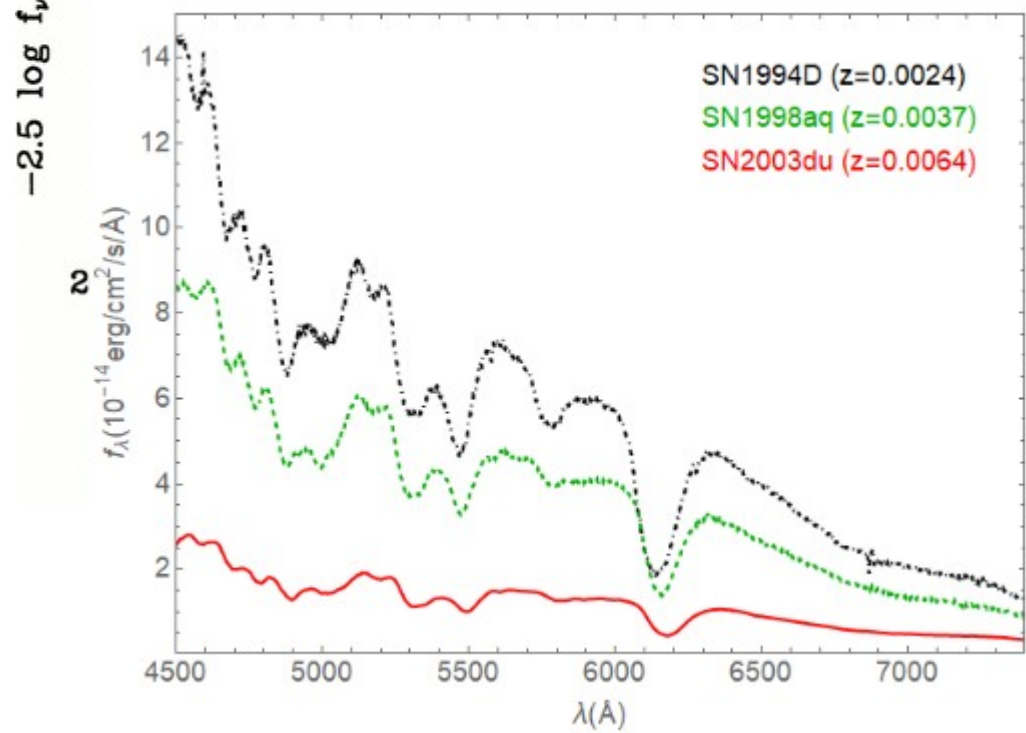
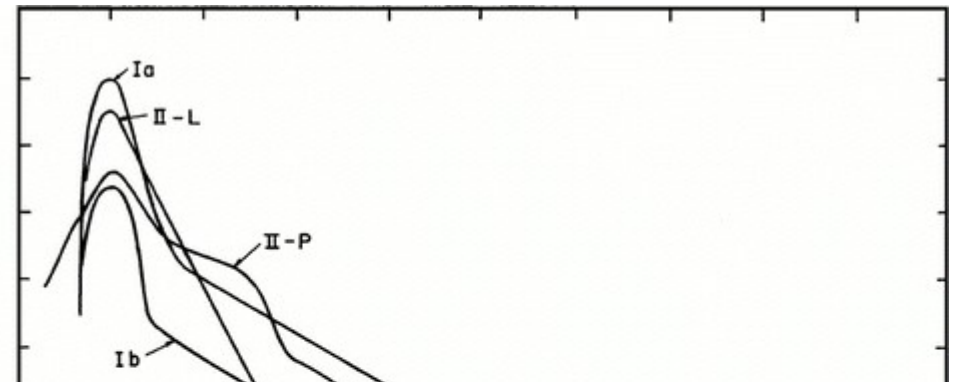
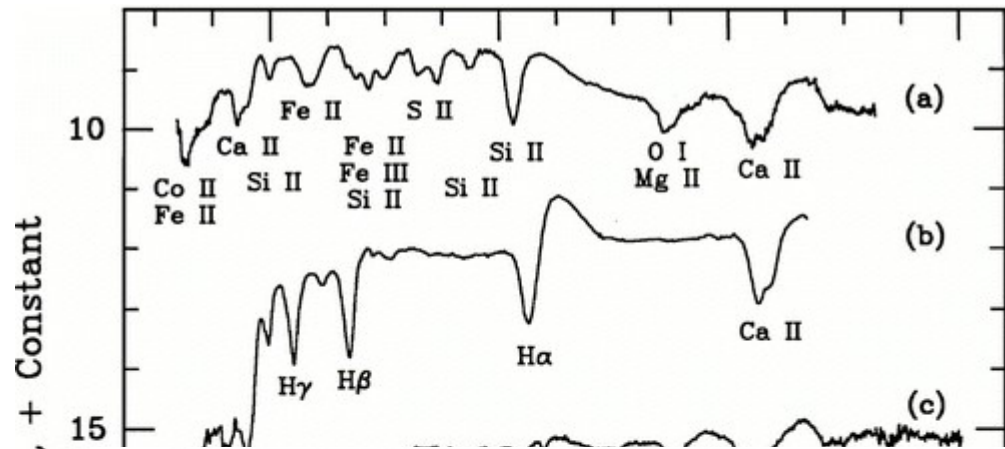


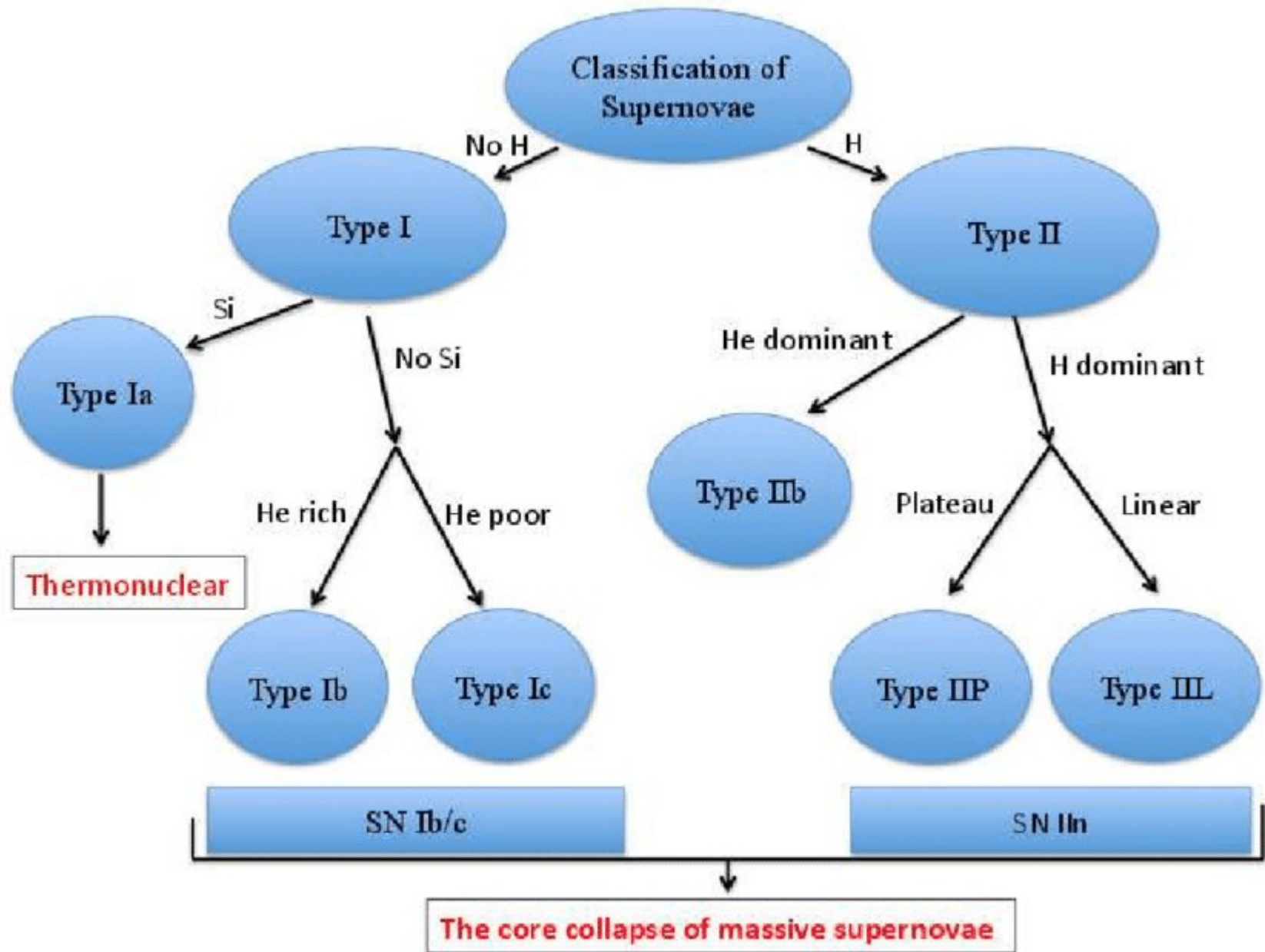
Jan. 22, 2014

Espectro e curva de luz

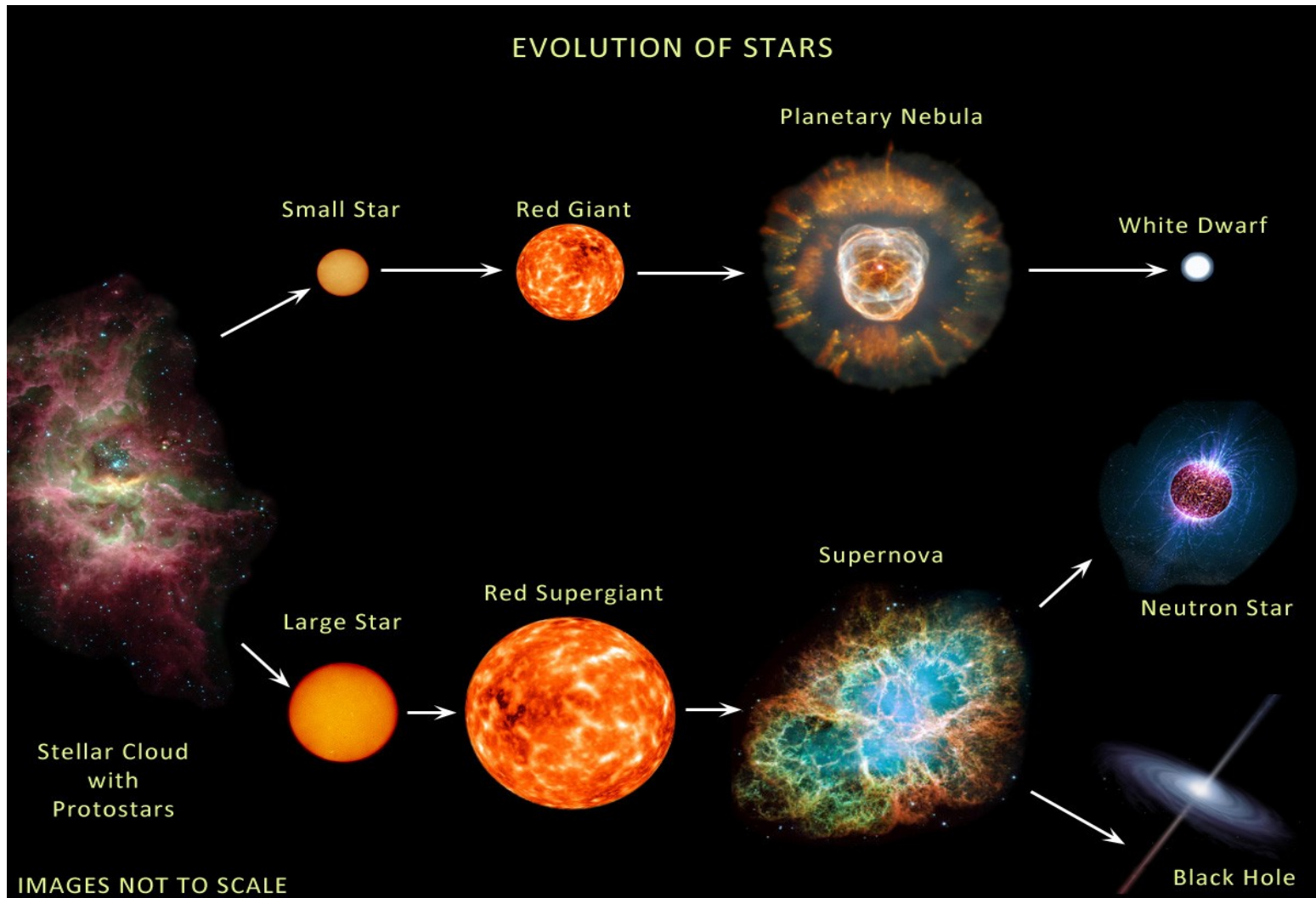


Espectro e curva de luz





Colapso de caroço vs tipo Ia



Colapso de caroço

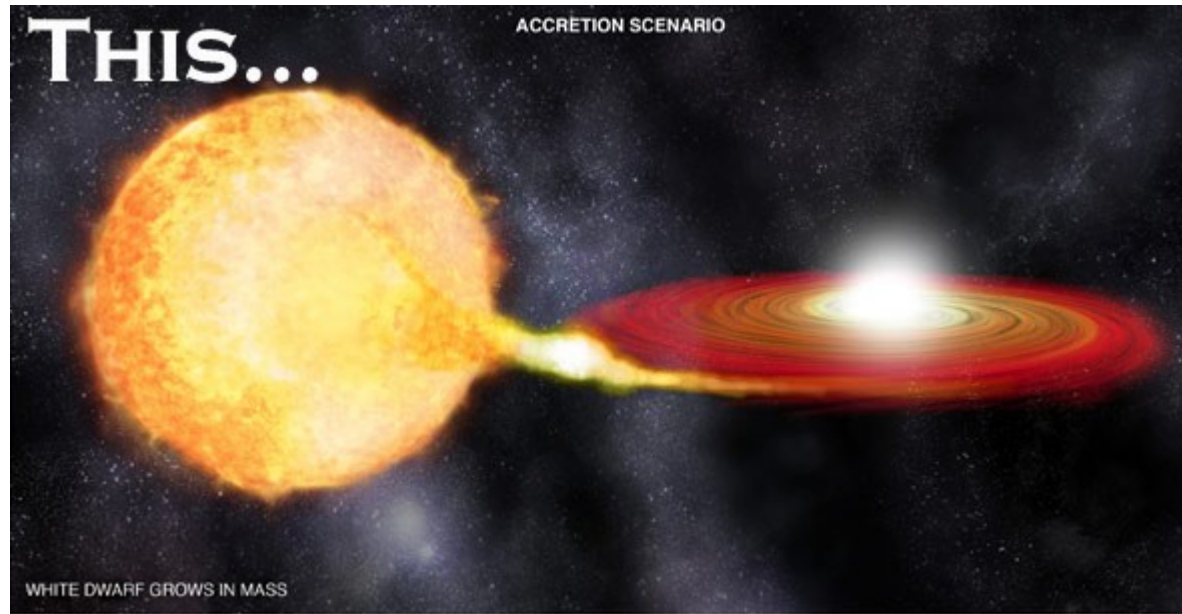
Supernova observada pelos chineses em 1054.

Deu origem à nebulosa observada pela primeira vez em 1731.



**Nebulosa do
Caranguejo**

Supernovas do tipo Ia

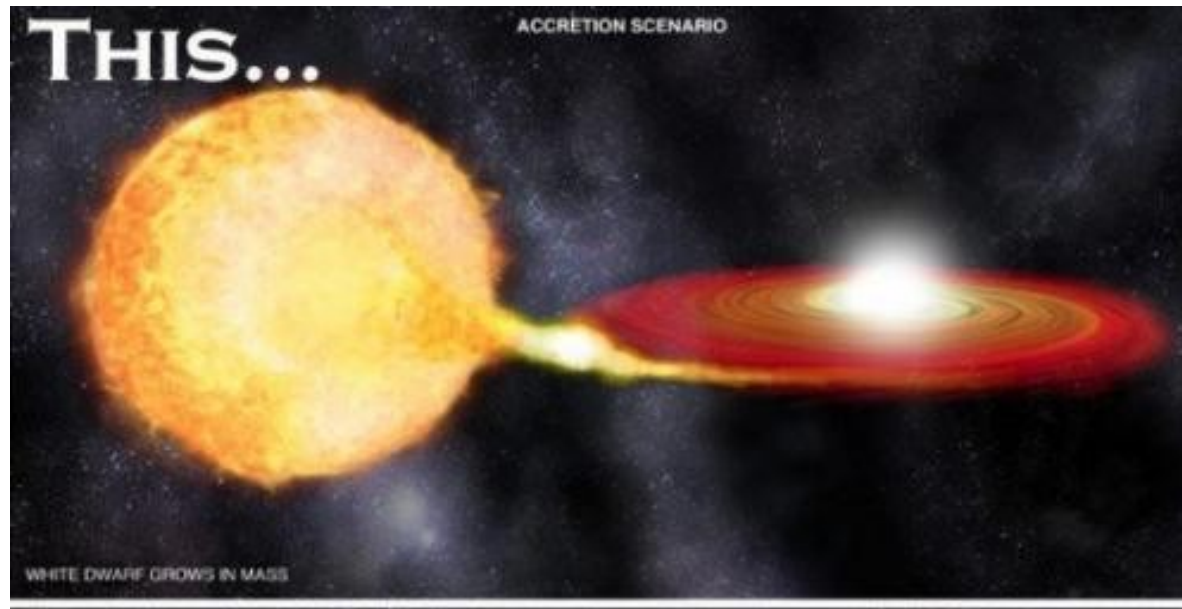


**Single
degenerate**



**Double
degenerate**

Supernovas do tipo Ia

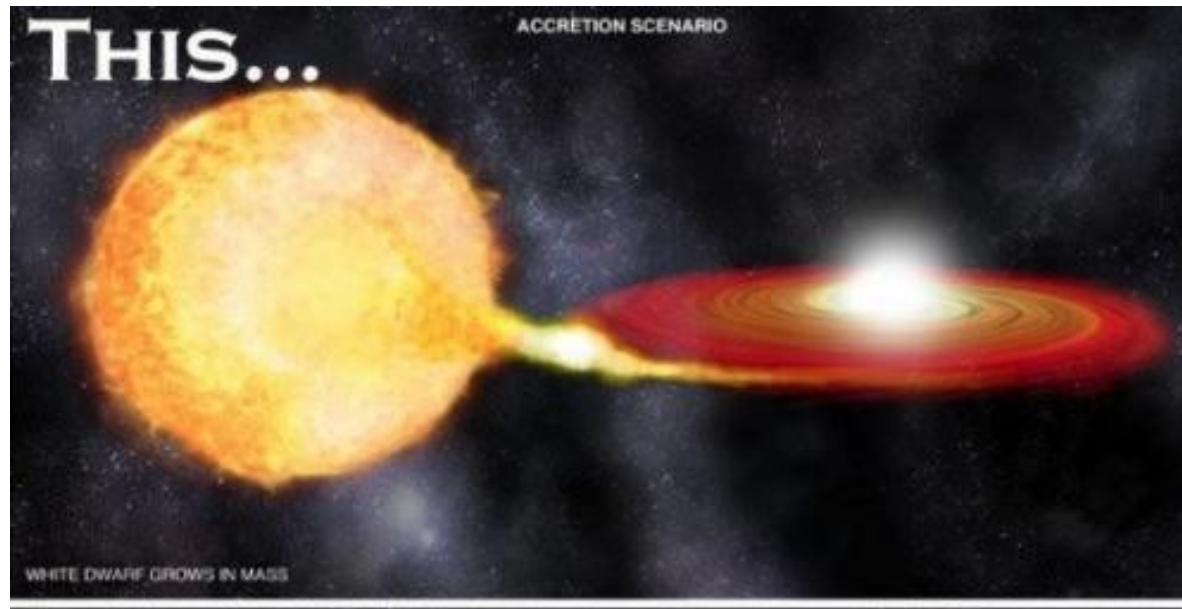


**Single
degenerate**

Cenário *single degenerate*:

Curvas de luz e espectro simulados em melhor acordo com as observações.

Progenitor - SN Ia



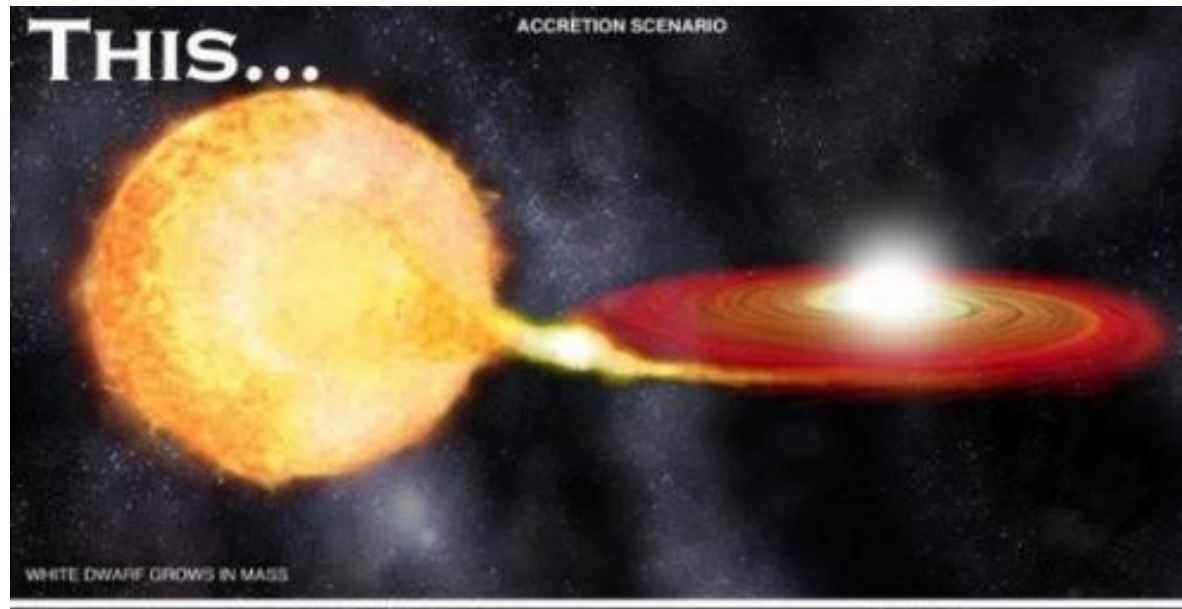
**Single
degenerate**

Cenário *single degenerate*:

Curvas de luz e espectro simulados em melhor acordo com as observações.

Anã branca acreta massa até atingir o limite de massa de Chandrasekhar: $1,4 M_{\odot}$.

Progenitor - SN Ia



*Single
degenerate*

Cenário *single degenerate*:

Curvas de luz e espectro simulados em melhor acordo com as observações.

Anã branca aceta massa até atingir o limite de massa de Chandrasekhar: $1,4 M_{\odot}$.

Todas explodem com ~mesma massa.

Progenitor - SN Ia



**Double
degenerate**

Cenário *double degenerate*:

Fusão de anãs brancas parecem ocorrer com a mesma frequência que explosões de SNe Ia (na Via Láctea temos ~0,003/ano).

Progenitor - SN Ia



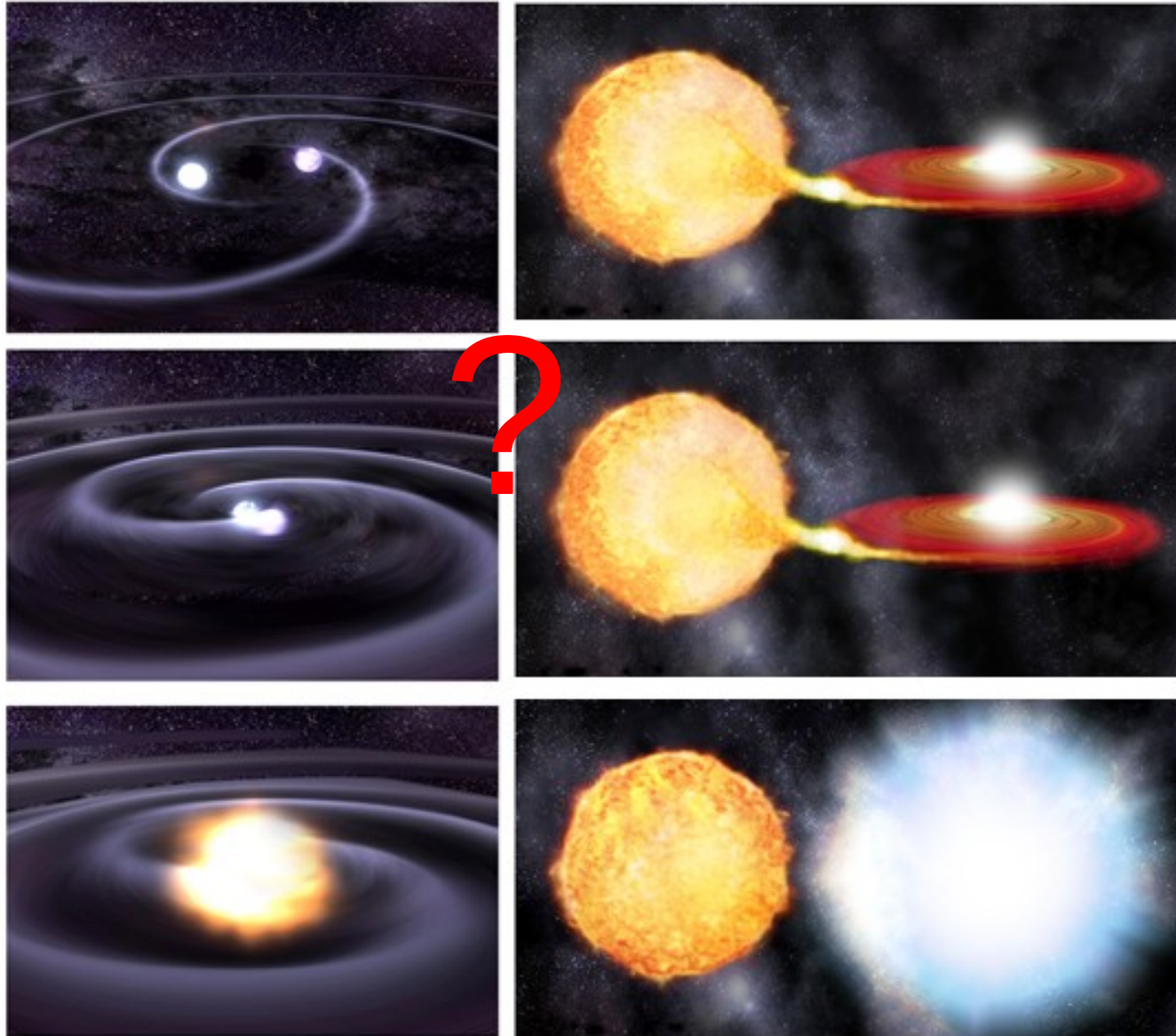
**Double
degenerate**

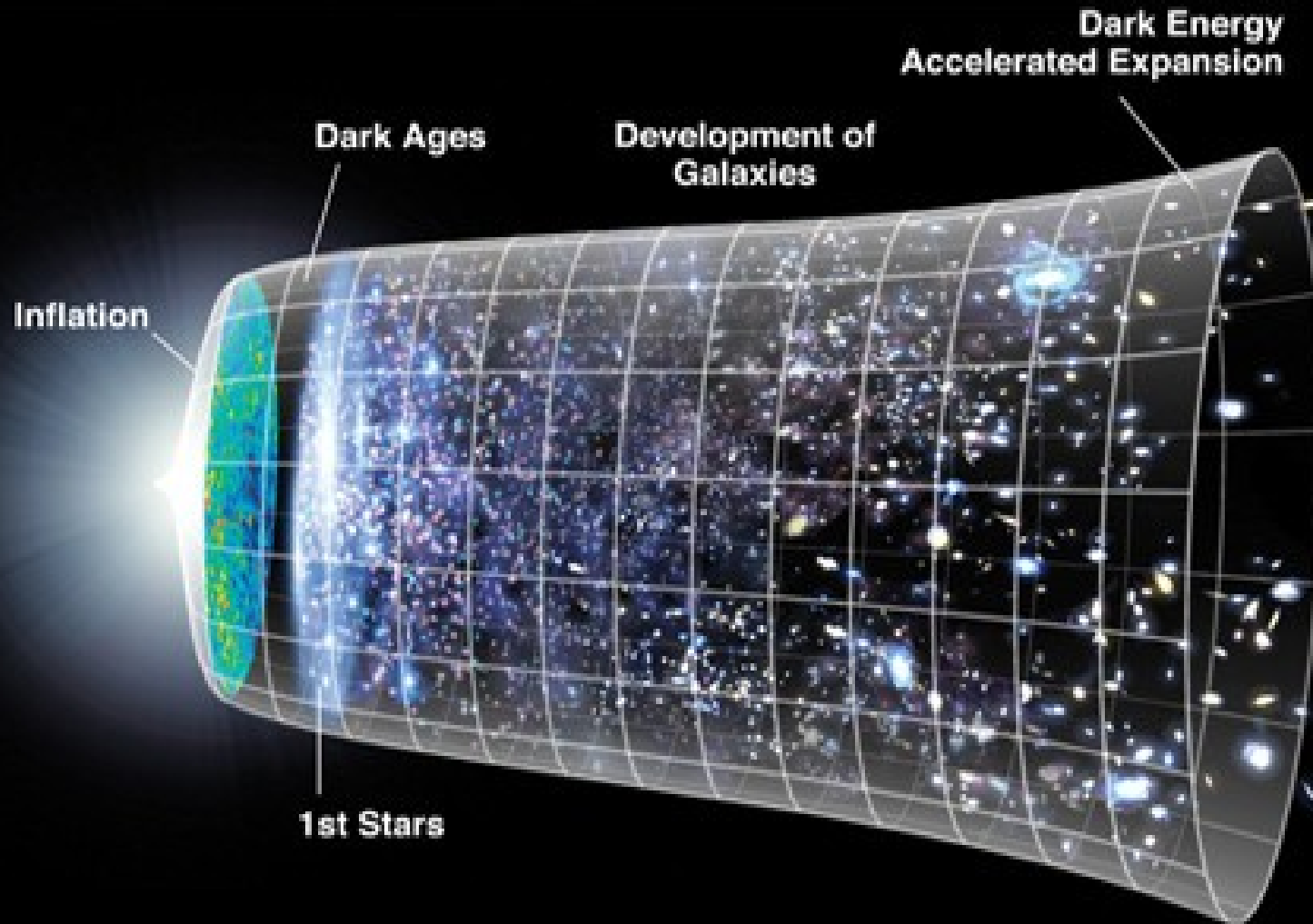
Cenário *double degenerate*:

Fusão de anãs brancas parecem ocorrer com a mesma frequência que explosões de SNe Ia (na Via Láctea temos ~0,003/ano).

Explicam a ausência de H no espectro de SNe Ia.

Progenitor - SN Ia





Supernovas Ia: Aplicação em cosmologia

O diagrama de Hubble

A relação entre a distância e a velocidade de recessão de um objeto devido à expansão do universo depende do modelo adotado.

O diagrama de Hubble

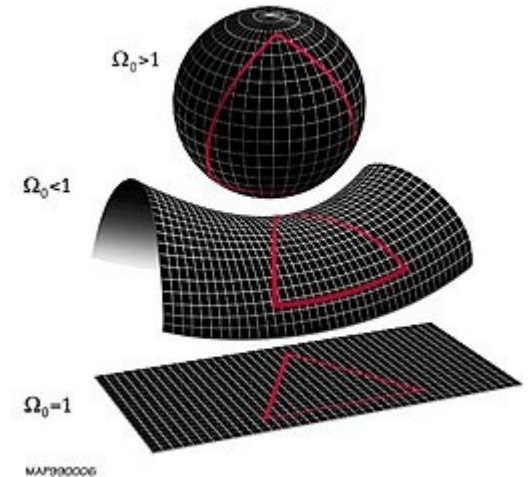
A relação entre a distância e a velocidade de recessão de um objeto devido à expansão do universo depende do modelo adotado.

Em um universo homogêneo e isotrópico temos:

$$\mathcal{D}_L(z; \theta) = \begin{cases} (1+z) \left(\frac{1}{\sqrt{\Omega_{k0}}} \right) \sinh \left(\sqrt{\Omega_{k0}} \int_{z'=0}^z \frac{1}{E(z'; \theta)} dz' \right), & \text{if } \Omega_{k0} > 0, \\ (1+z) \int_{z'=0}^z \frac{1}{E(z'; \theta)} dz', & \text{if } \Omega_{k0} = 0, \\ (1+z) \left(\frac{1}{\sqrt{-\Omega_{k0}}} \right) \sin \left(\sqrt{-\Omega_{k0}} \int_{z'=0}^z \frac{1}{E(z'; \theta)} dz' \right), & \text{if } \Omega_{k0} < 0, \end{cases}$$

$$E(z; \theta) := H(z; \theta, h) / H_0$$

$$H_0 = 100h \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$$



O diagrama de Hubble

A relação entre a distância e a velocidade de recessão de um objeto devido à expansão do universo depende do modelo adotado.

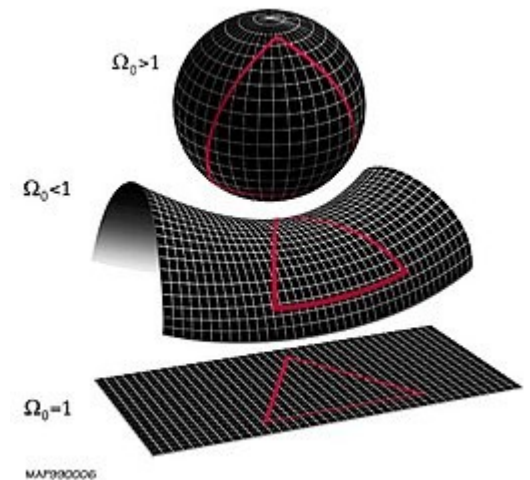
Em um universo homogêneo e isotrópico temos:

$$\mathcal{D}_L(z; \theta) = \begin{cases} (1+z) \left(\frac{1}{\sqrt{\Omega_{k0}}} \right) \sinh \left(\sqrt{\Omega_{k0}} \int_{z'=0}^z \frac{1}{E(z'; \theta)} dz' \right), & \text{if } \Omega_{k0} > 0, \\ (1+z) \int_{z'=0}^z \frac{1}{E(z'; \theta)} dz', & \text{if } \Omega_{k0} = 0, \\ (1+z) \left(\frac{1}{\sqrt{-\Omega_{k0}}} \right) \sin \left(\sqrt{-\Omega_{k0}} \int_{z'=0}^z \frac{1}{E(z'; \theta)} dz' \right), & \text{if } \Omega_{k0} < 0, \end{cases}$$

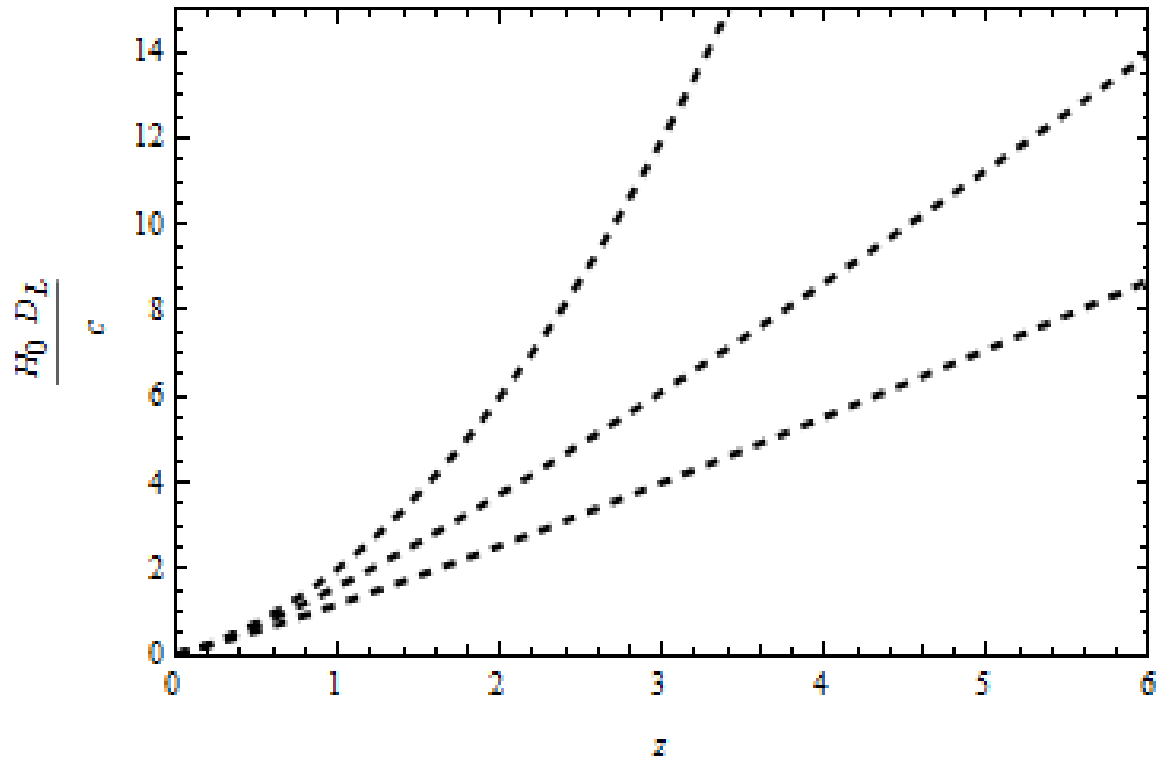
$$E(z; \theta) := H(z; \theta, h) / H_0 \quad H_0 = 100h \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$$

\mathcal{D}_L é a distância de luminosidade:

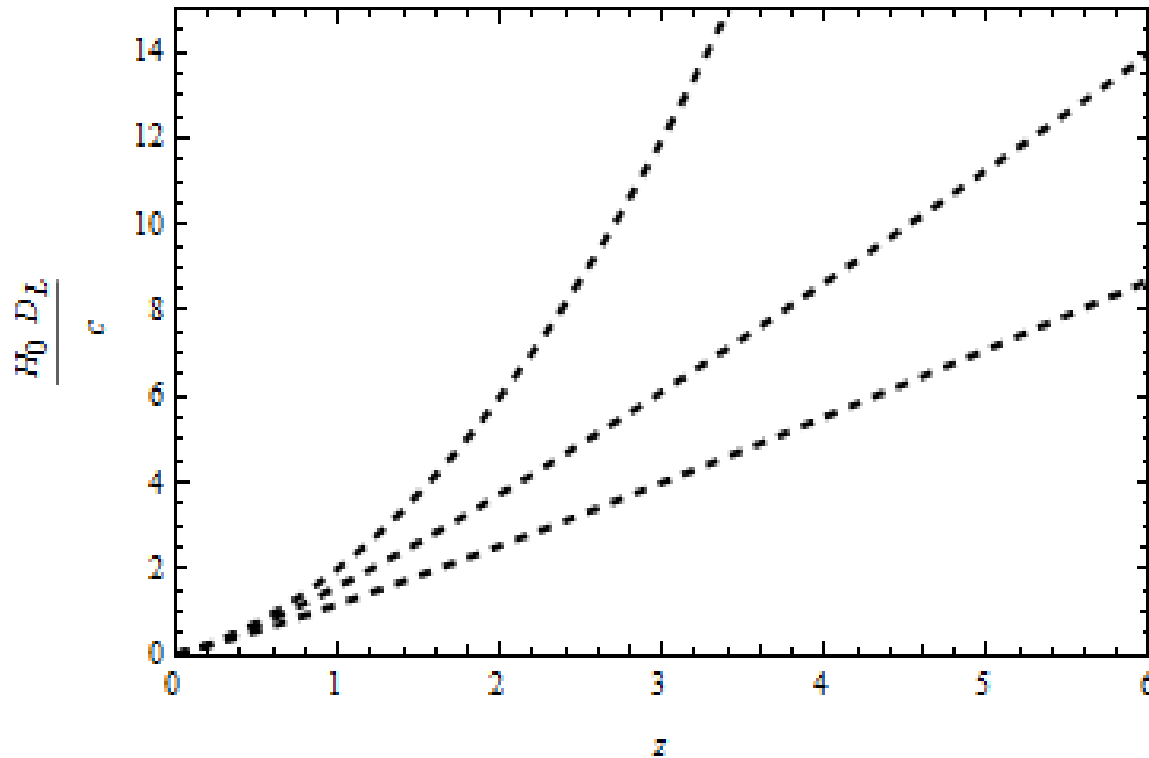
$$D_L := \sqrt{\frac{L}{4\pi f}}$$



O diagrama de Hubble



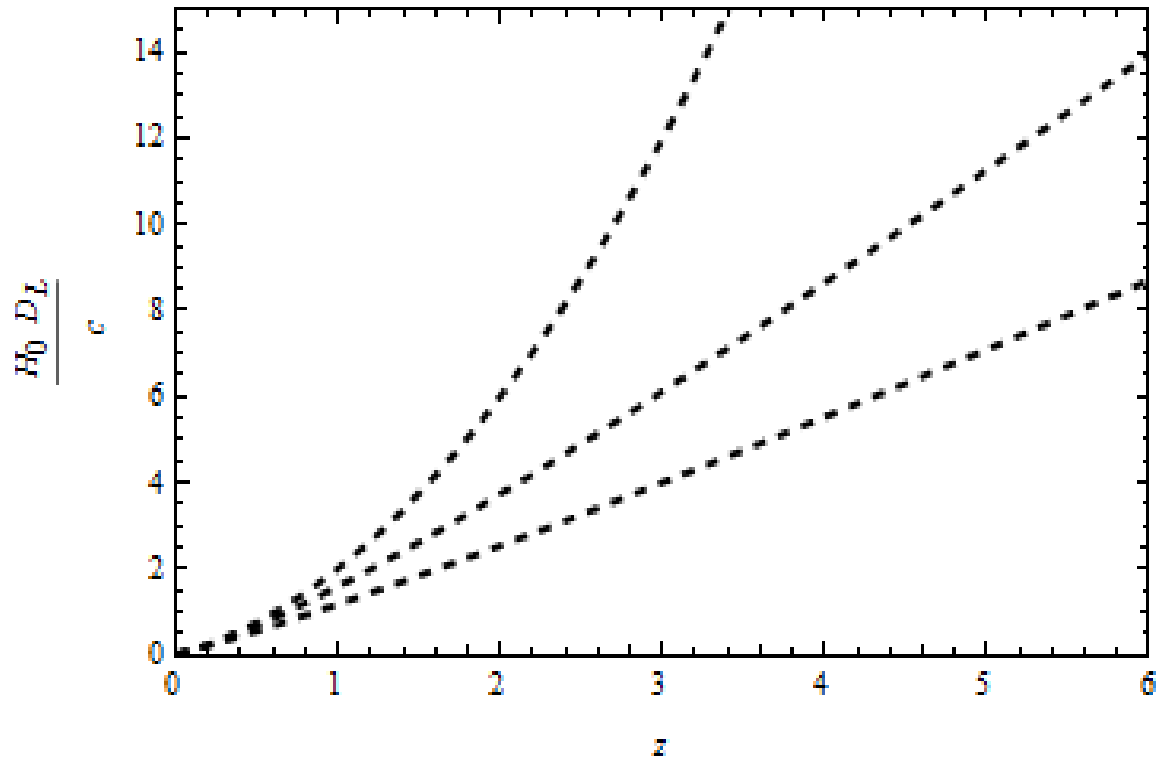
O diagrama de Hubble



$$D_L := \sqrt{\frac{L}{4\pi f}}$$

Para estimar a distância de luminosidade a partir do fluxo observado, precisamos conhecer a luminosidade...

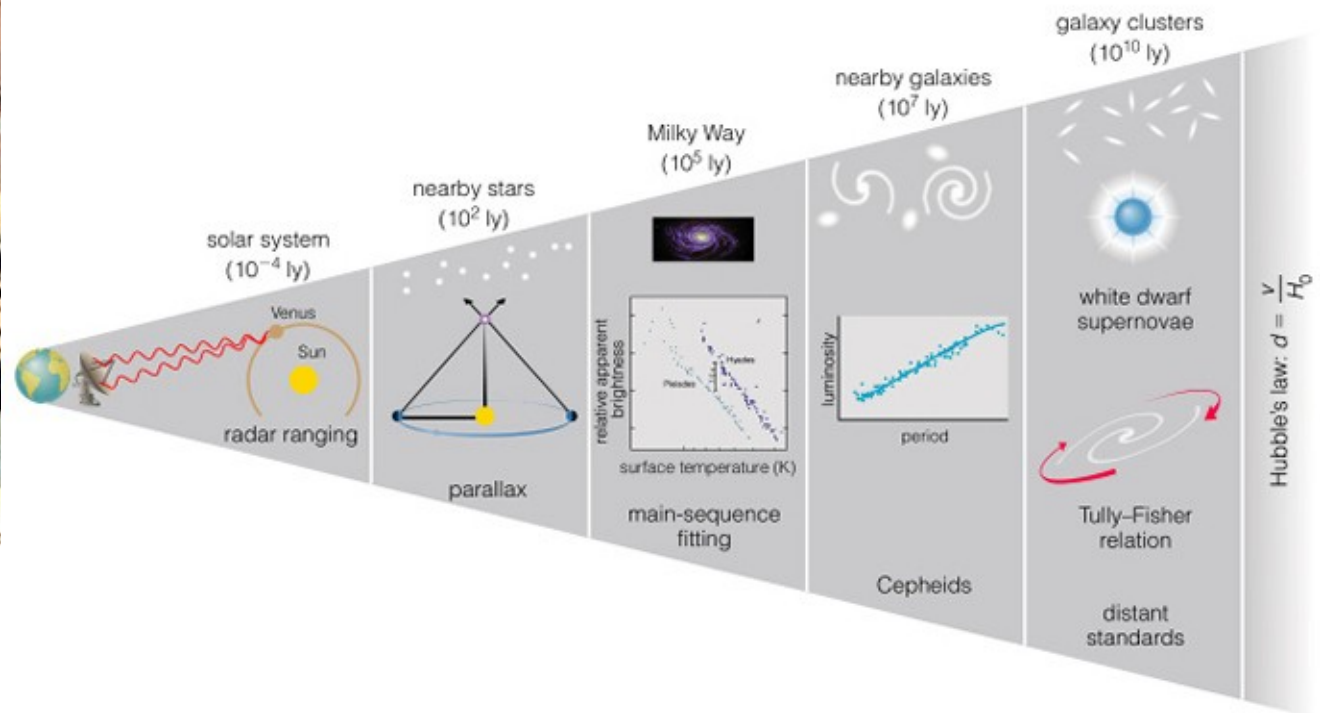
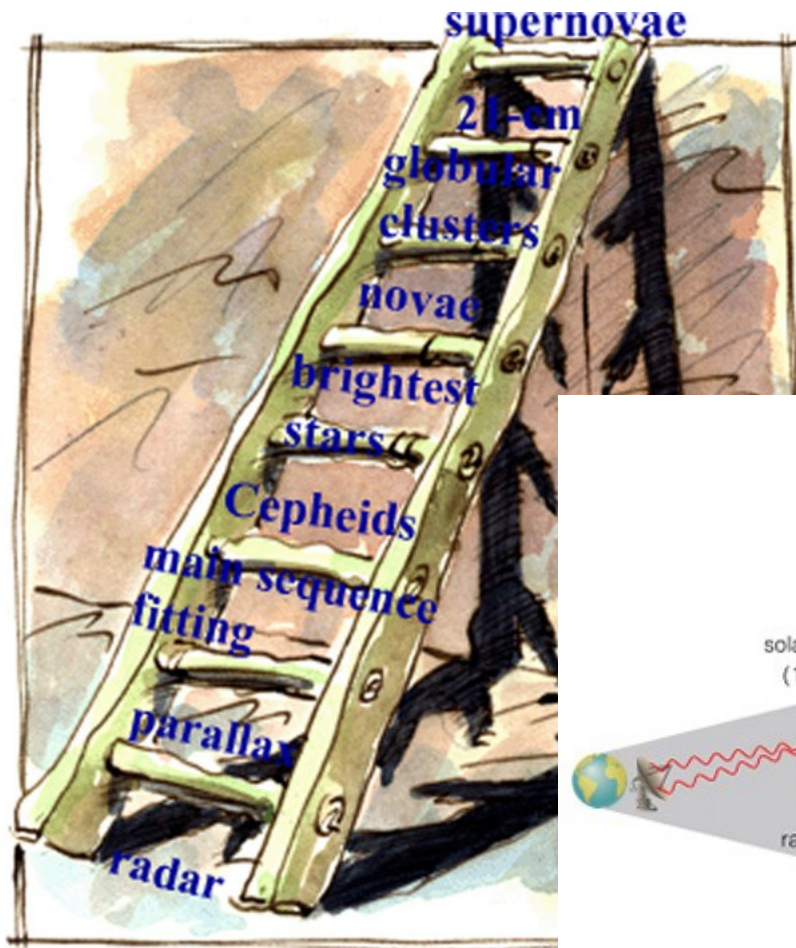
O diagrama de Hubble



Como medir distância de luminosidade?

Velas padrão!

A escada cósmica



Velas padrão

Vizinho



D

Minha casa



O brilho aparente (fluxo) diminui com $1/D^2$.

$$D := \sqrt{\frac{L}{4\pi f}}$$

Velas padrão

Se conhecermos a luminosidade de uma fonte luminosa, podemos estimar a sua distância através da medida do seu fluxo na Terra.

Velas padrão

Se conhecermos a luminosidade de uma fonte luminosa, podemos estimar a sua distância através da medida do seu fluxo na Terra.

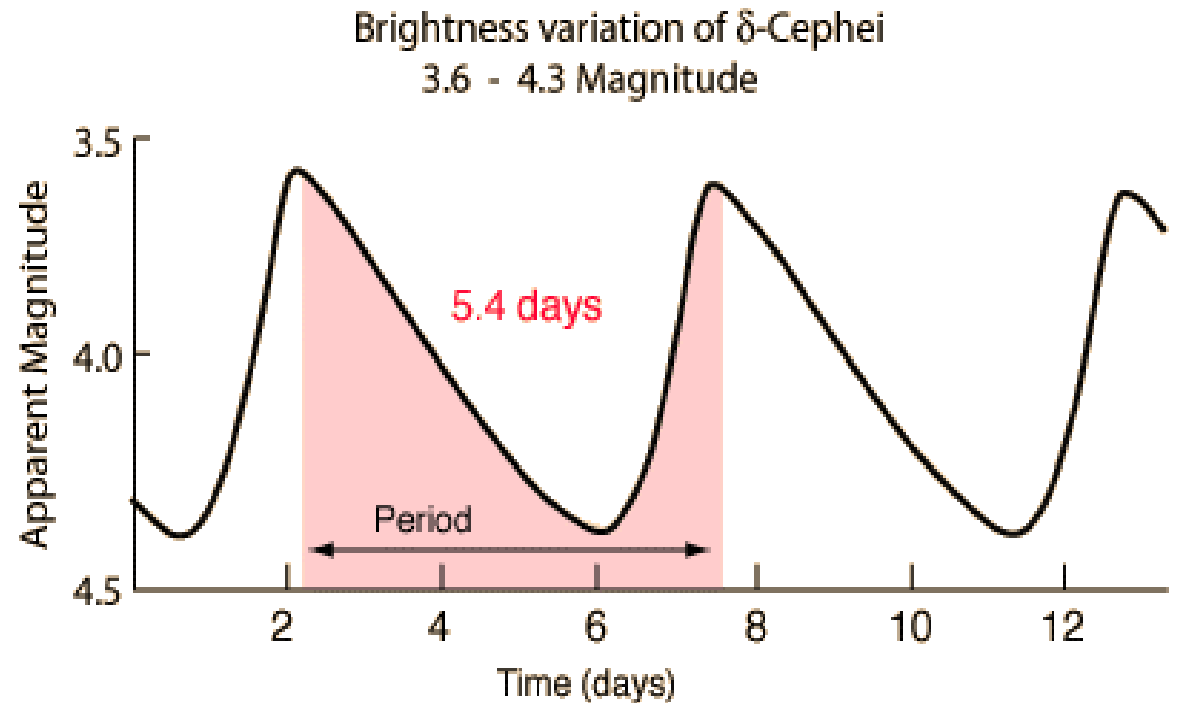
Objetos de luminosidade conhecida são chamados de “vela padrão”.



Variáveis Cefeidas

Estrelas supergigantes muito luminosas cuja luminosidade varia com o tempo de forma periódica.

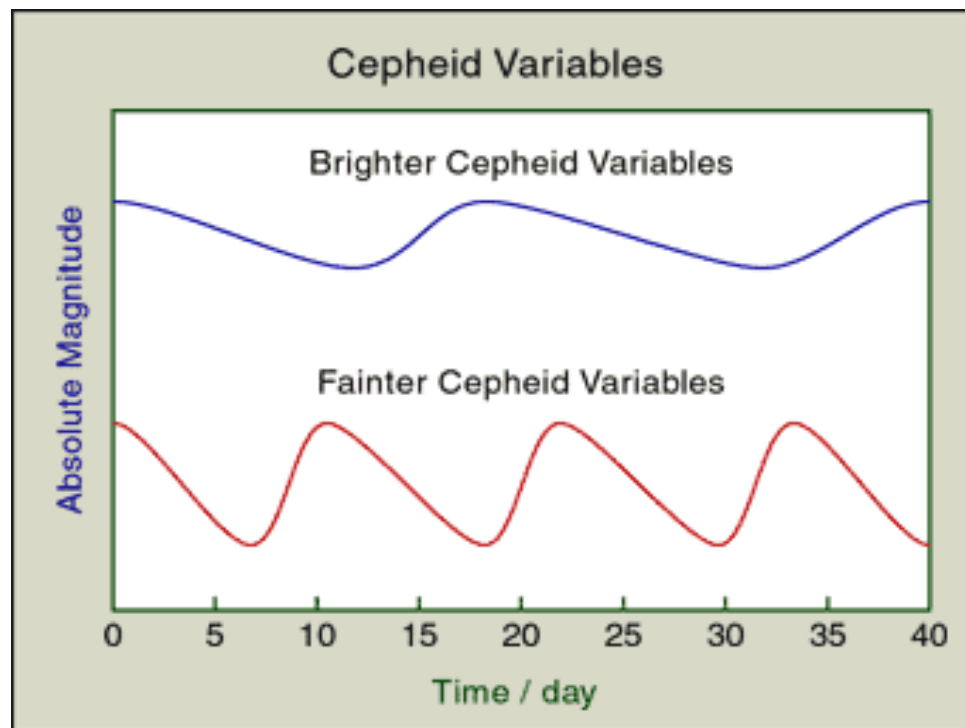
Luminosidade intrínseca média não é igual para todas as cefeidas:
($400 < L < 40.000 L_{\text{sol}}$)



Comparando duas cefeidas de luminosidades aparentes distintas, como saber se uma é intrinsecamente mais luminosa que a outra ou se as duas tem a mesma luminosidade intrínseca mas estão a distâncias diferentes?

Variáveis Cefeidas

Em 1908, Henrietta Leavitt descobriu uma relação entre o período e a luminosidade de variáveis cefeidas.

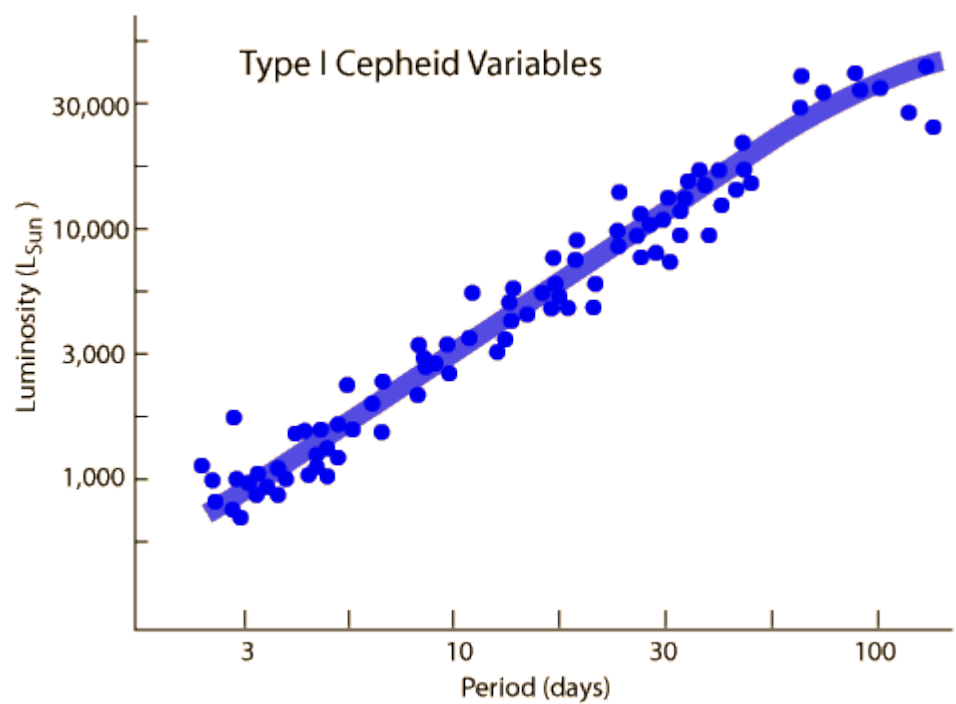


Quanto maior é a luminosidade intrínseca, maior é o período de pulsação.

Variáveis cefeidas são **velas padronizáveis!**

Variáveis Cefeidas

Comparando duas cefeidas de brilho aparente distintos, podemos determinar a causa dessa diferença medindo o período de pulsação de cada uma.



No entanto, cefeidas não são luminosas o suficiente para serem vistas em galáxias distantes (somente até ~ 20 Mpc).

Supernovas Ia como velas padrão

Supernovas Ia poderiam ser usadas como velas padrão?

Supernovas Ia como velas padrão

Supernovas Ia poderiam ser usadas como velas padrão?

Todas explosões parecem ter ~ o mesmo brilho.

Muito brilhantes: podem ser observadas em escalas cosmológicas.

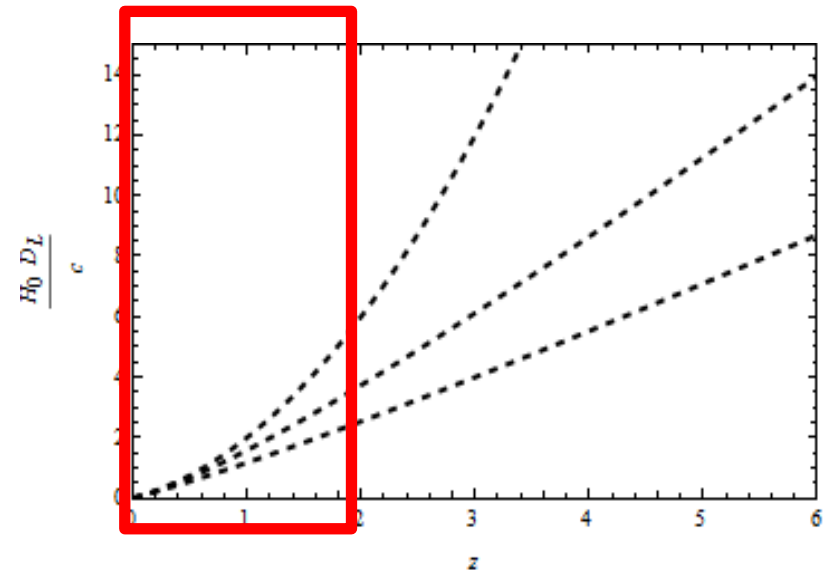
Supernovas Ia como velas padrão

Supernovas Ia poderiam ser usadas como velas padrão?

Todas explosões parecem ter o mesmo brilho.

Muito brilhantes: podem ser observadas em escalas cosmológicas.

2013: SN Ia com $z=1,9$.
(Jones et al, *The Astrophysical Journal*, 768)

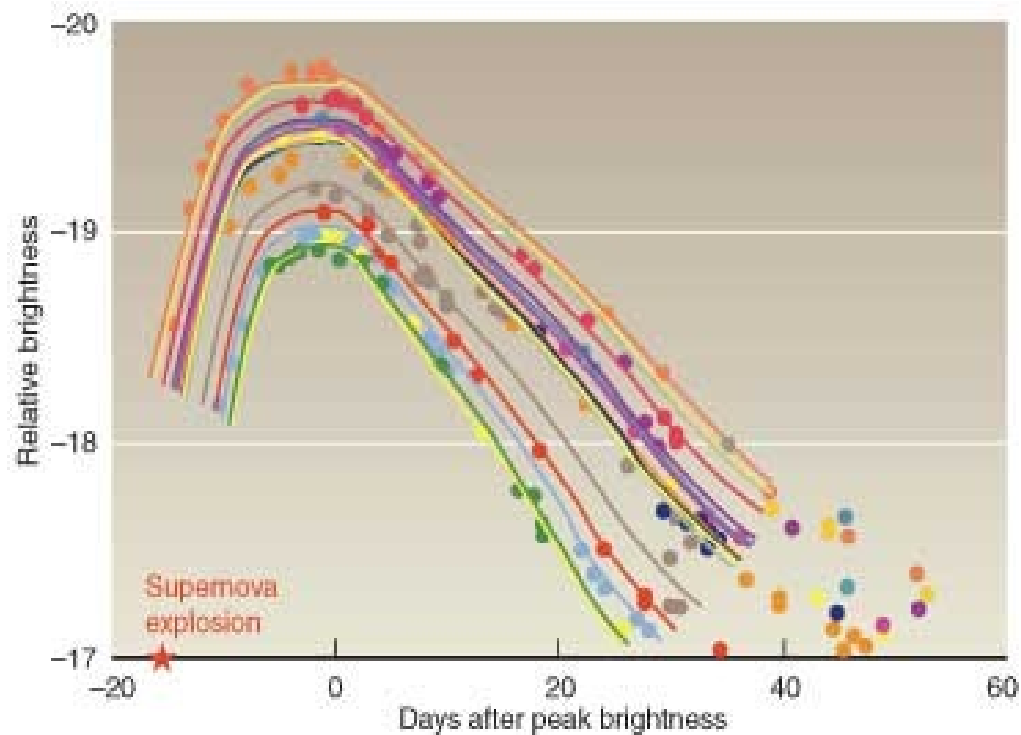


Supernovas Ia como velas padrão

Já no final da década de 80 verificou-se que as curvas de luz de SNe Ia não são todas exatamente iguais...

Supernovas Ia como velas padrão

Já no final da década de 80 verificou-se que as curvas de luz de SNe Ia não são todas exatamente iguais...



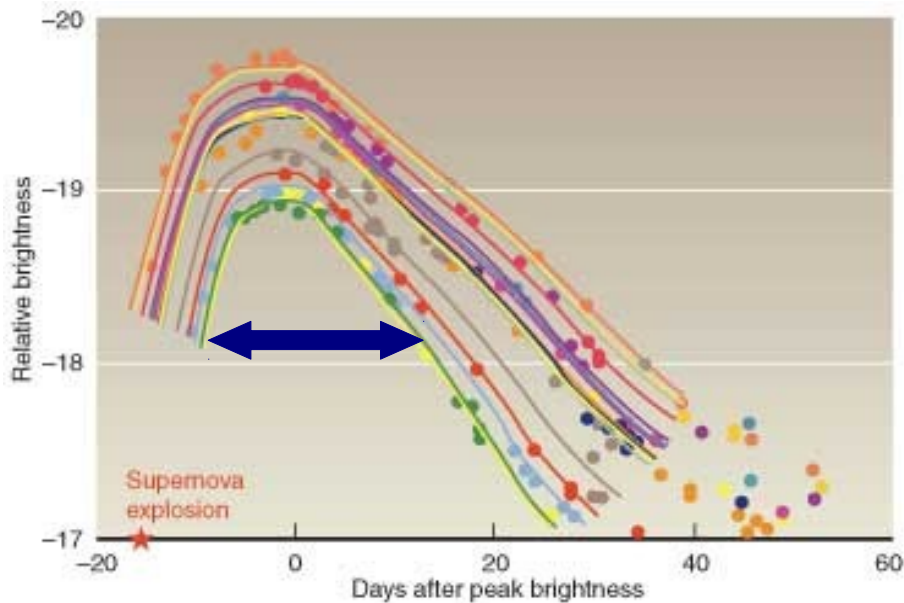
Padronização das curvas de luz

Phillips (1993): relação empírica entre a luminosidade da SN e a forma da curva de luz.

Padronização das curvas de luz

Phillips (1993): relação empírica entre a luminosidade da SN e a forma da curva de luz.

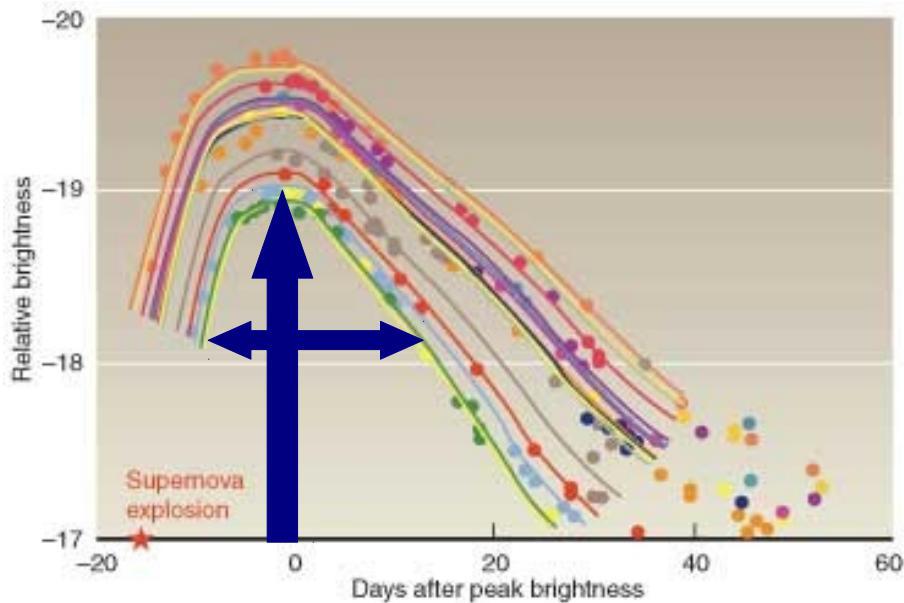
$\Delta m_{15}(B)$: variação de magnitude 15 dias após o máximo na banda B, está relacionada com a magnitude ABSOLUTA máxima M_{\max}



Padronização das curvas de luz

Phillips (1993): relação empírica entre a luminosidade da SN e a forma da curva de luz.

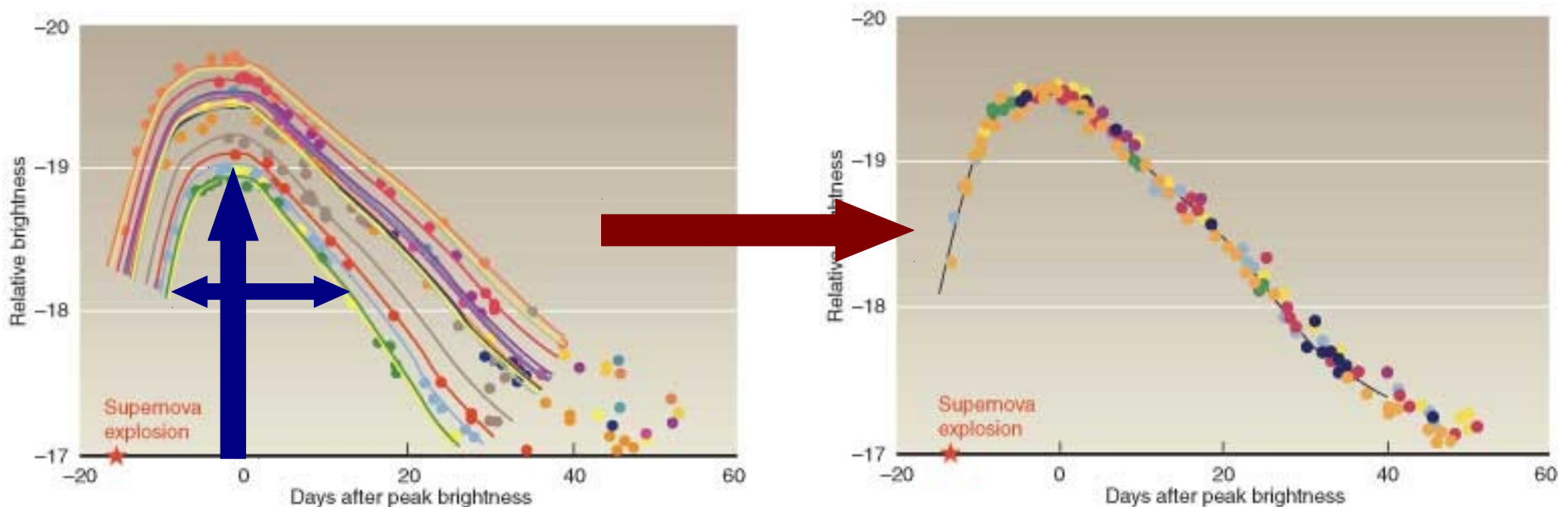
$\Delta m_{15}(B)$: variação de magnitude 15 dias após o máximo na banda B, está relacionada com a magnitude ABSOLUTA máxima M_{\max}



Padronização das curvas de luz

Phillips (1993): relação empírica entre a luminosidade da SN e a forma da curva de luz.

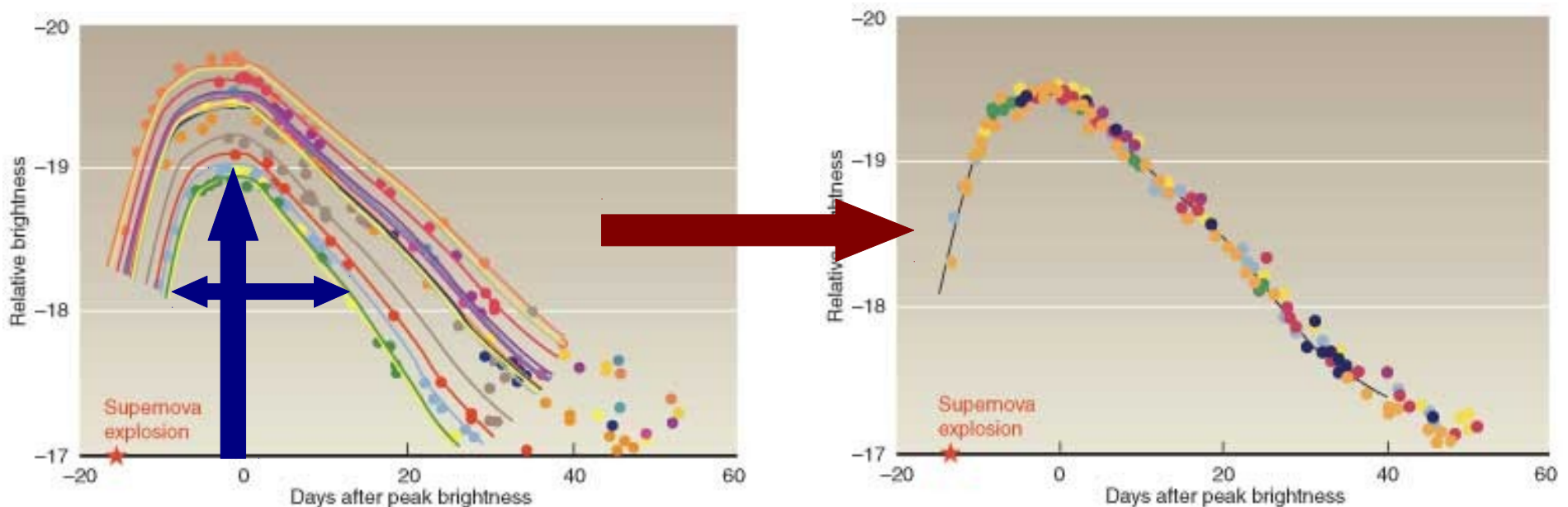
$\Delta m_{15}(B)$: variação de magnitude 15 dias após o máximo na banda B, está relacionada com a magnitude ABSOLUTA máxima M_{\max}



Padronização das curvas de luz

Phillips (1993): relação empírica entre a luminosidade da SN e a forma da curva de luz.

$\Delta m_{15}(B)$: variação de magnitude 15 dias após o máximo na banda B, está relacionada com a magnitude ABSOLUTA máxima M_{\max}



Ajustadores de curva de luz mais utilizados:

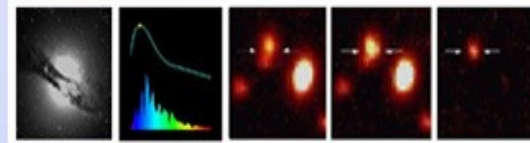
Spectral Adaptive Light curve Template (SALT2) &
Multicolor Light Curve Shape (MLCS2k2)

Energia Escura

Em 1998 dois grupos anunciaram a descoberta da expansão acelerada do Universo usando supernovas do tipo Ia.



Supernova
Cosmology Project

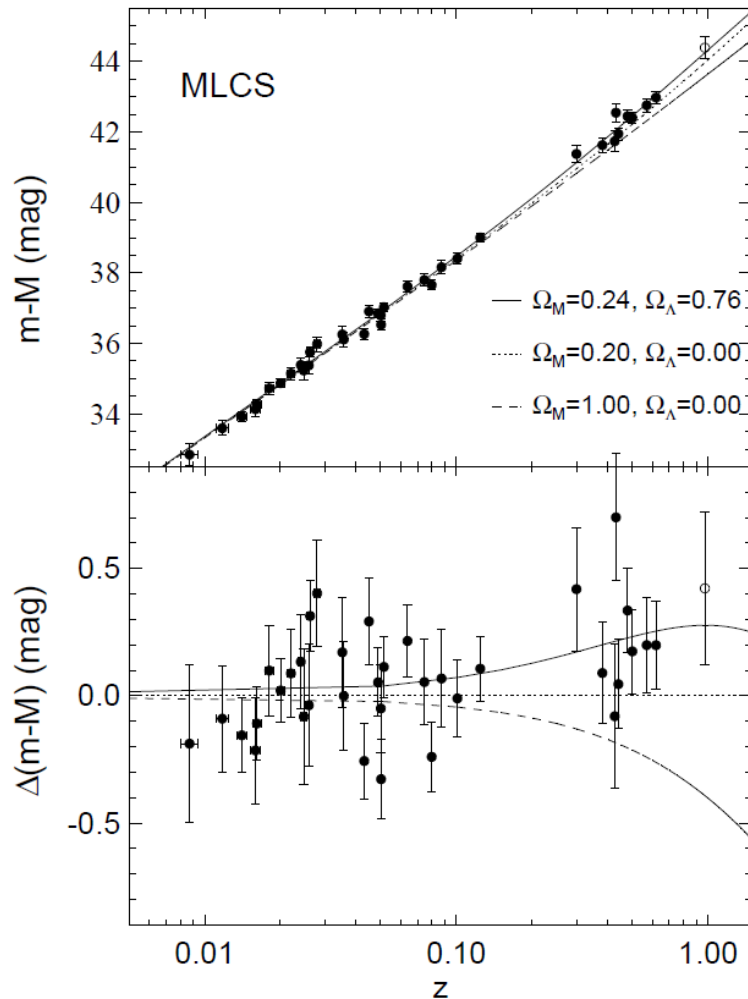


The High-Z SN Search

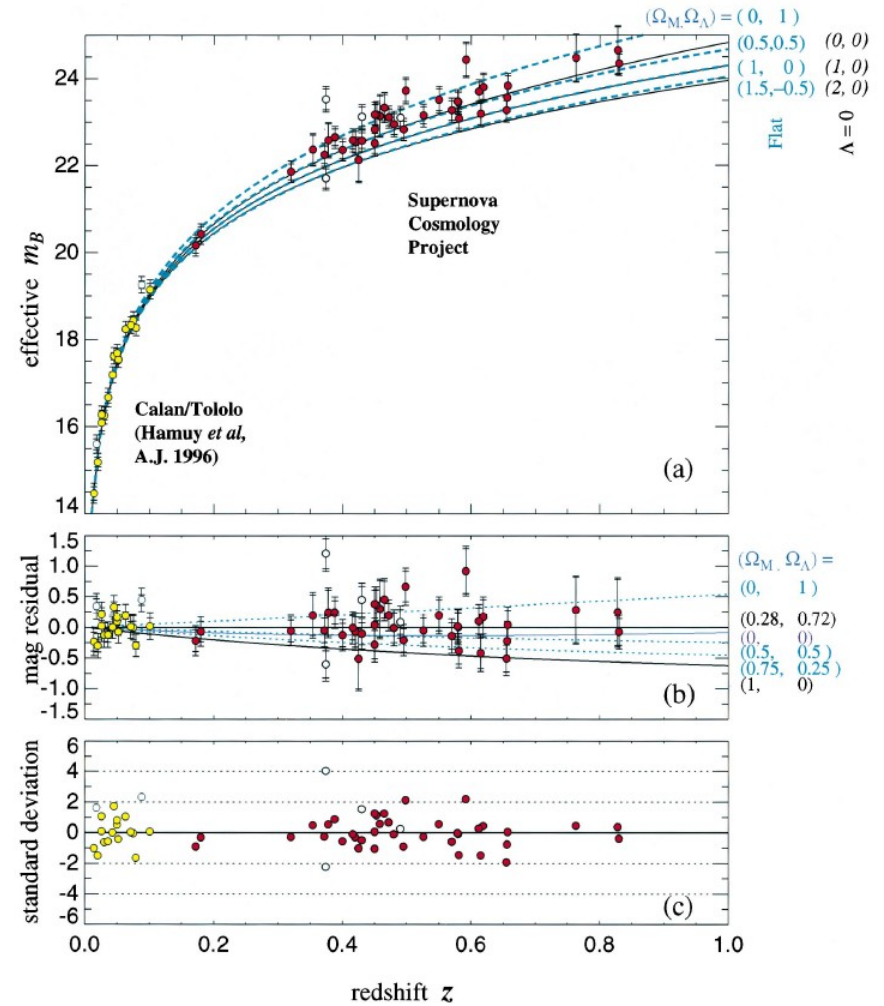
(Prêmio Nobel 2011)

Energia Escura

A descoberta da expansão acelerada do universo usando SNe Ia:



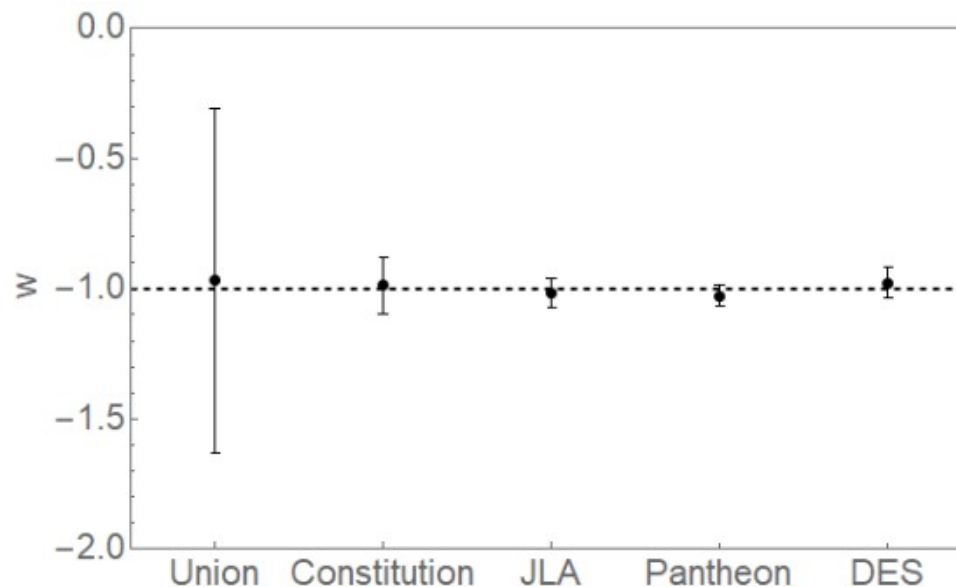
Riess et al., 1998



Perlmutter et al., 1999

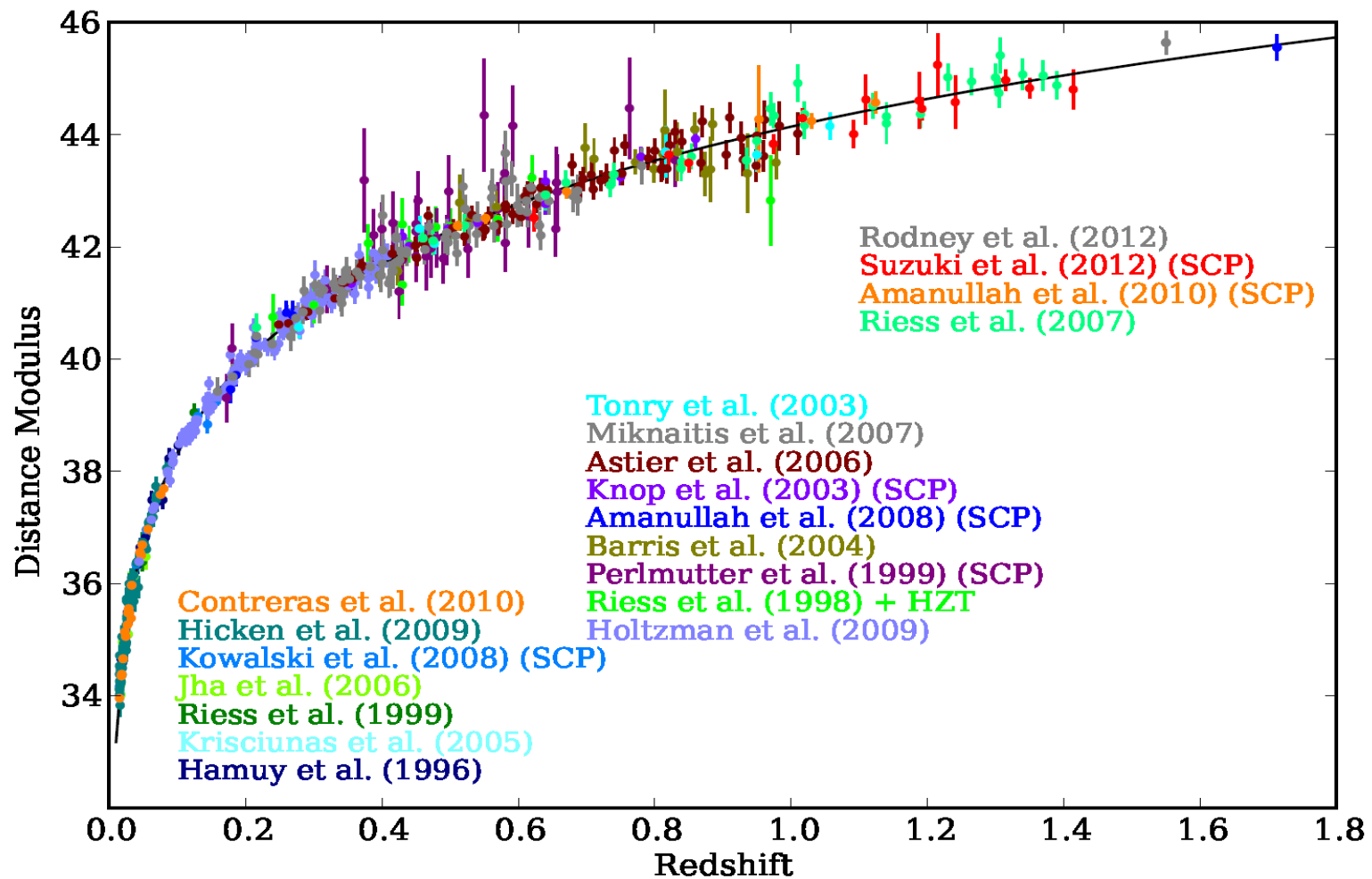
Amostras de SNe do tipo Ia

- **Union (2008): 307 SNe - $0,01 < z < 1,55$;**
- **Constitution (2009): 307+185 SNe - $0,01 < z < 1,55$;**
- **JLA (2014): 740 SNe - $0,01 < z < 1,2$;**
- **Pantheon (2018): 1048 SNe - $0,01 < z < 2,3$.**



Energia Escura

Rubin et al. ApJ 763 (2013)



Questões em aberto

- **Progenitor;**
- **Possibilidade de evolução (idade, metalicidade?);**
- **Influência da extinção;**
- **Homogeneidade das amostras;**
- **Sistemáticos provenientes da calibração (amostra *Foundation*, Foley et al. 2017);**
- **Etc.**

Atuais levantamentos de SNe

- **Zwicky Transient Facility (ZTF)**

1,2 m, Palomar - Califórnia (2017)

- **Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS)**

2 telescópios de 0,5 m - Havaí (2017)

- **All-Sky Automated Survey for Supernovae (ASAS-SN)**

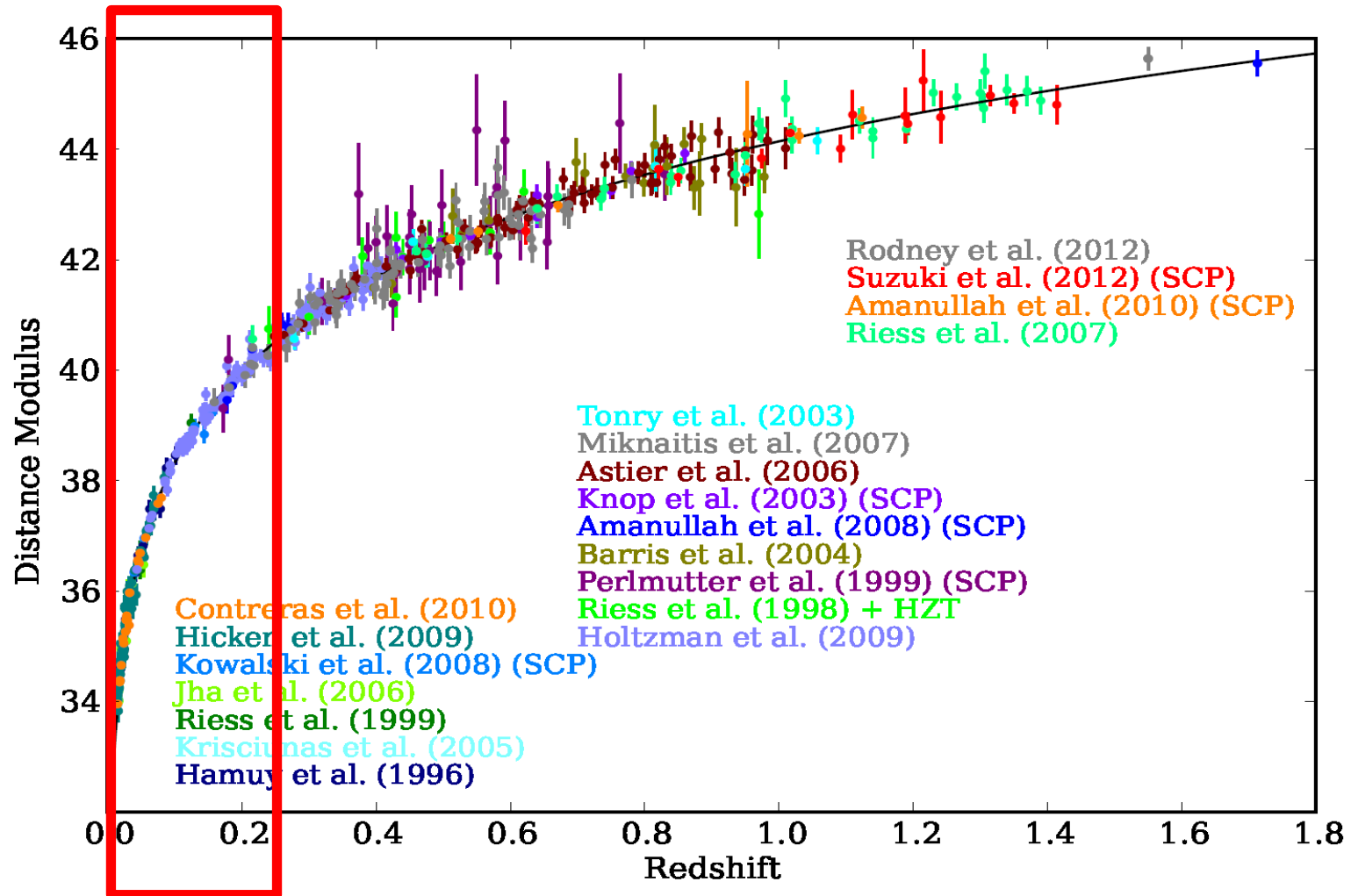
24 telescópios ao redor do planeta (2014)

Mais de 5000 SNe Ia

$z < 0,24$

Profundidade dos levantamentos

Rubin et al. ApJ 763 (2013)



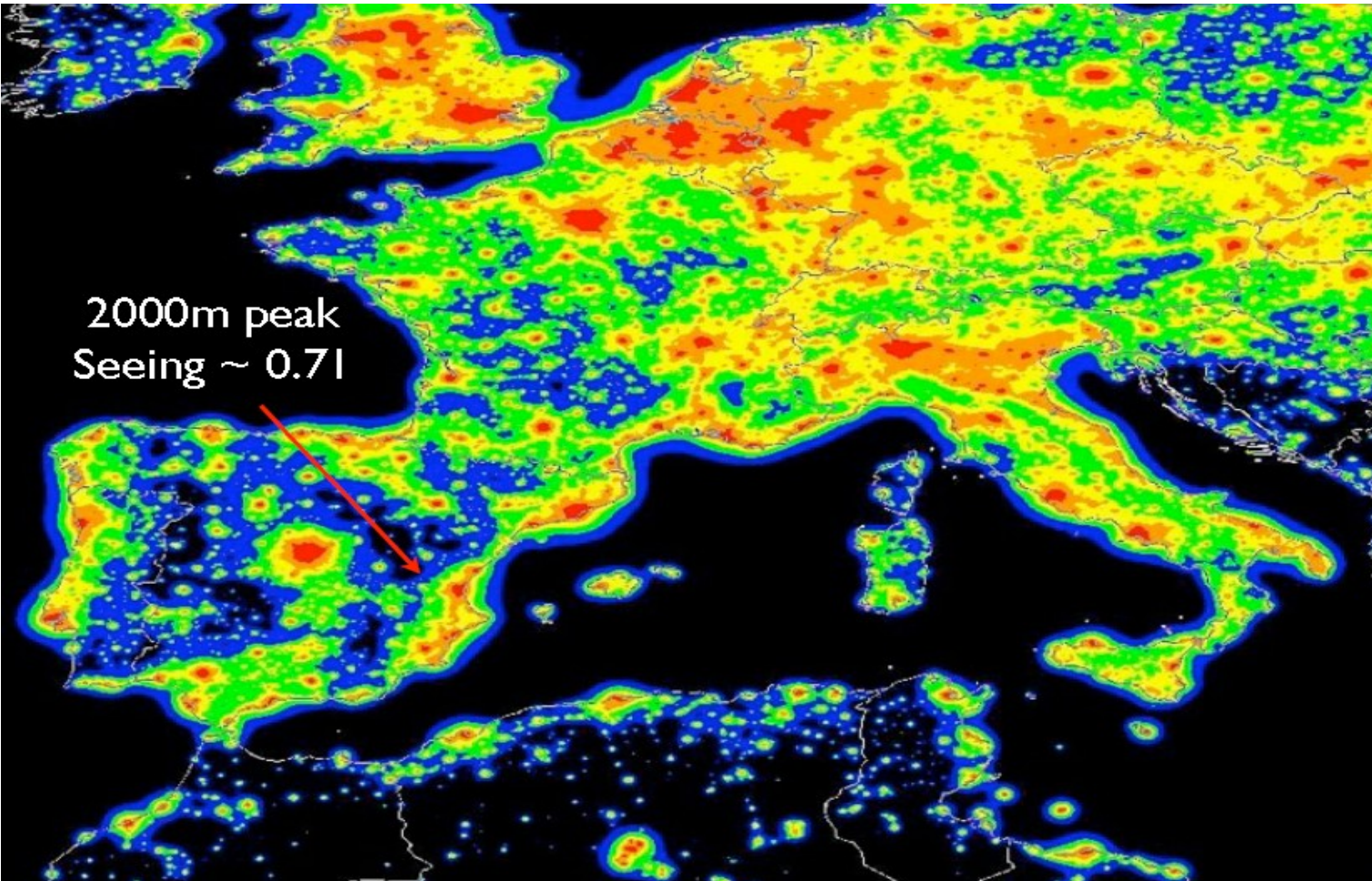


Os levantamentos J-PAS e J-PLUS



Observatório Astrofísico de Javalambre

- **Colaboração Brasil-Espanha;**
- **Construído na Serra de Javalambre, Espanha;**



Antes



Depois

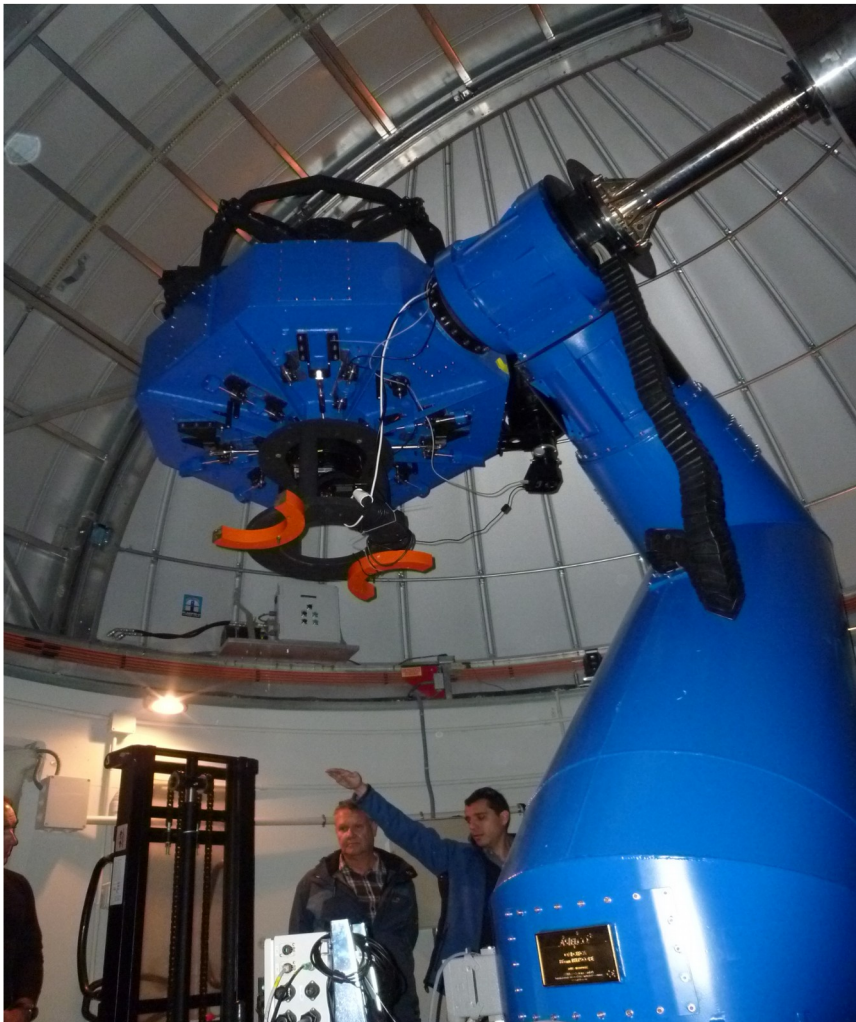


Observatório Astrofísico de Javalambre

- **Colaboração Brasil-Espanha;**
- **Construído na Serra de Javalambre, Espanha;**
- **2 telescópios (JAST-80 e JST-250);**

Observatório Astrofísico de Javalambre

JAST-80 (1.7 degrees FoV)



JST-250 (3 degrees FoV)



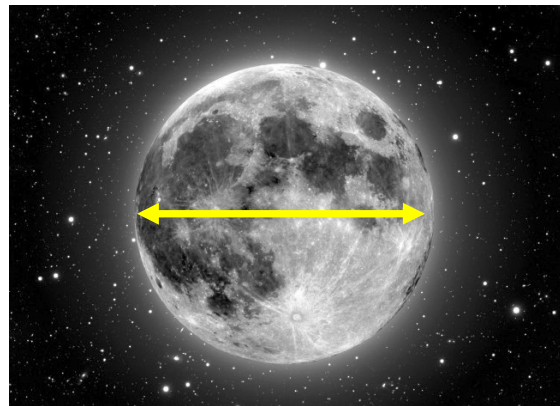
Campos de visão



J-PAS = SDSS



J-PLUS



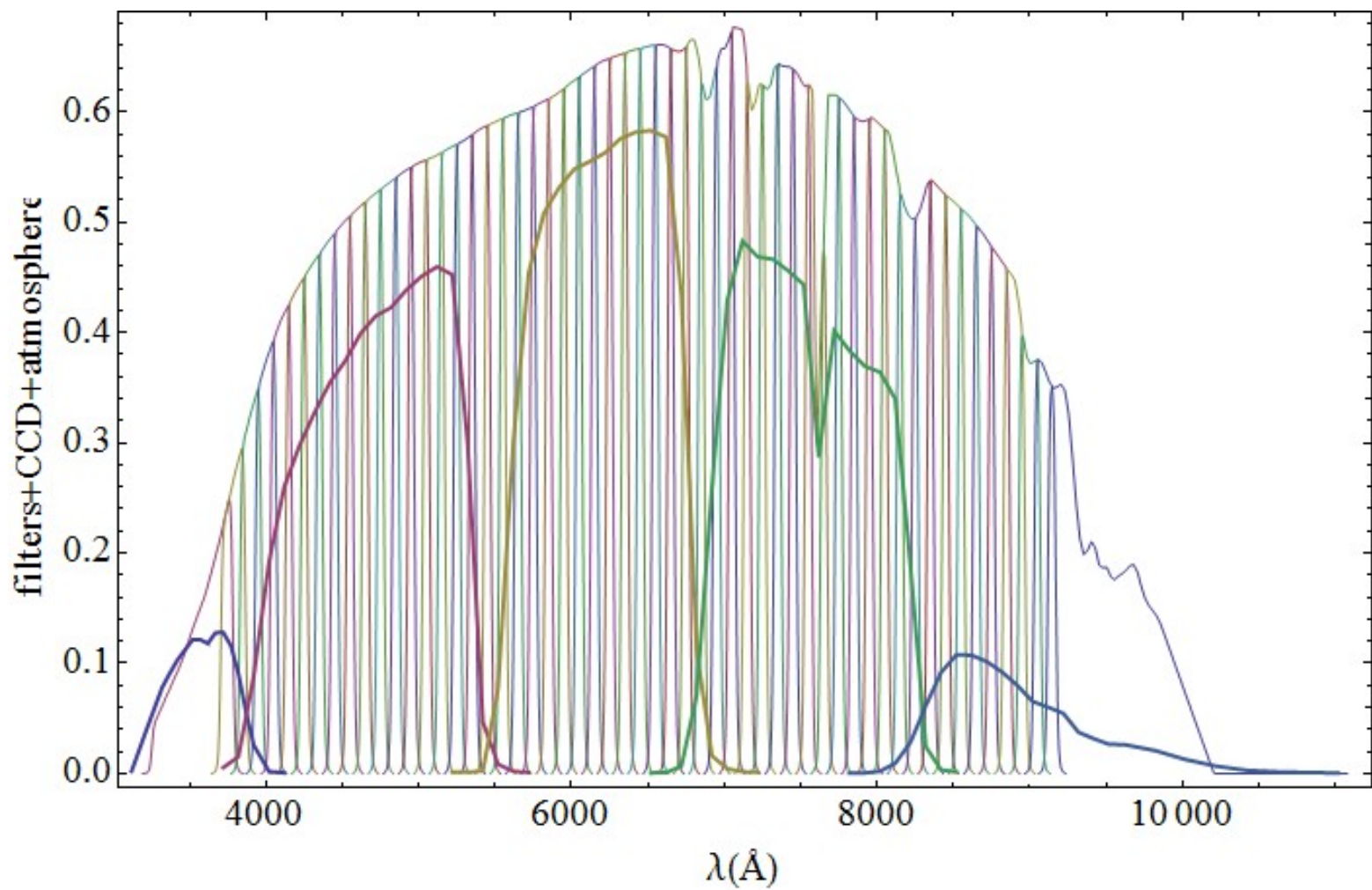
Observatório Astrofísico de Javalambre

- **Colaboração Brasil-Espanha;**
- **Construído na Serra de Javalambre, Espanha;**
- **2 telescópios (JAST-80 e JST-250);**



- **Objetivo principal: oscilações acústicas bariônicas;**
- **56 filtros de banda estreita;**
- **Previsão para iniciar este ano.**

Filtros J-PAS



Espectrofotometria

Melhorias esperadas com o J-PAS

Medidas do desvio para o vermelho fotométrico mais precisas: $\sigma_z = 0,005 (1+z)$.

Mini-JPAS (Bonoli et al, 2021):

1 deg²

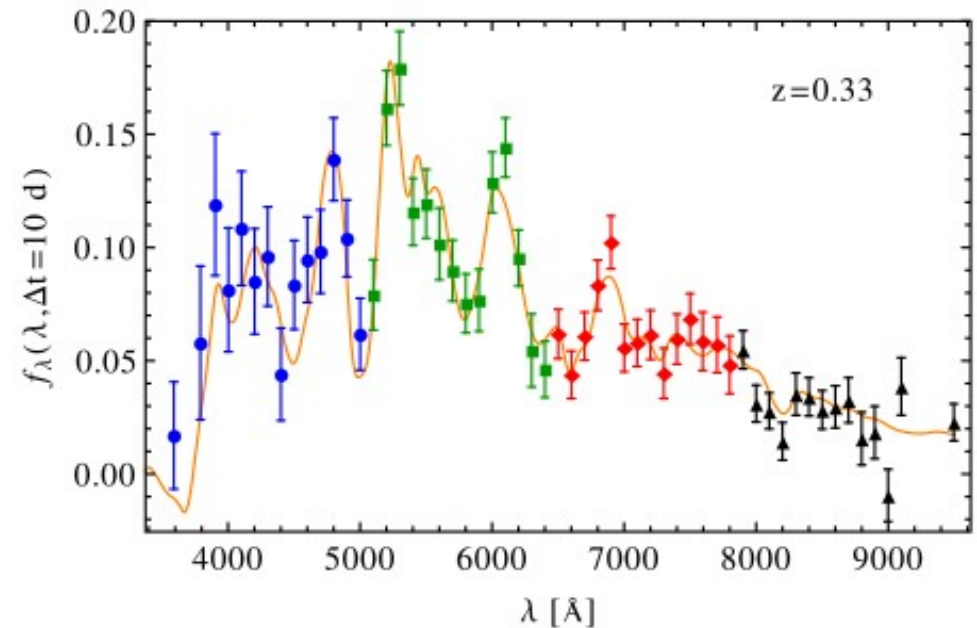
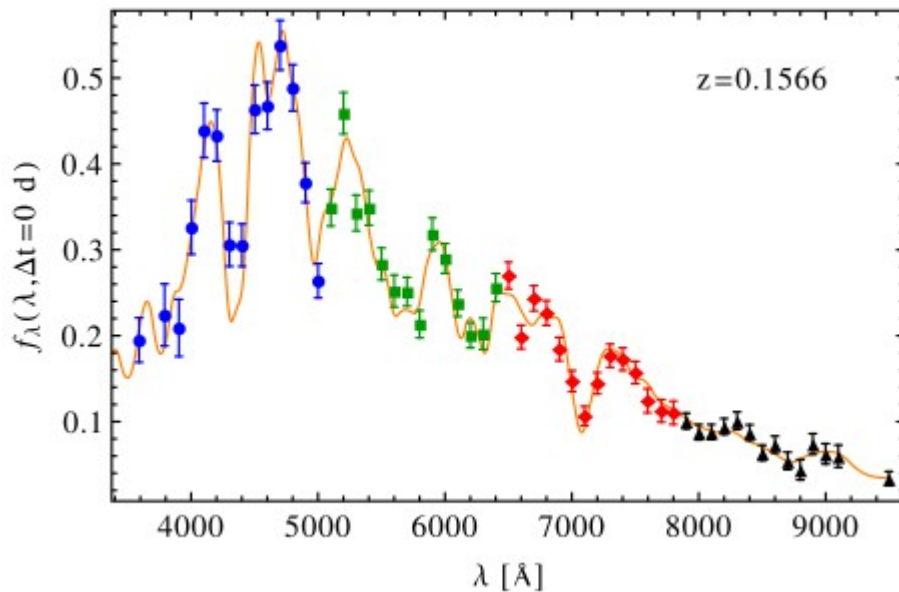
z até ~0,9

Precisão em z de < 1% para fontes com mag de 22,5 e $\leq 0,3\%$ para metade da amostra.

Melhorias esperadas com o J-PAS

Medidas do desvio para o vermelho fotométrico mais precisas: $\sigma_z = 0,005 (1+z)$.

Melhor separação das características do espectro



Xavier et al (2014)

Observatório Astrofísico de Javalambre

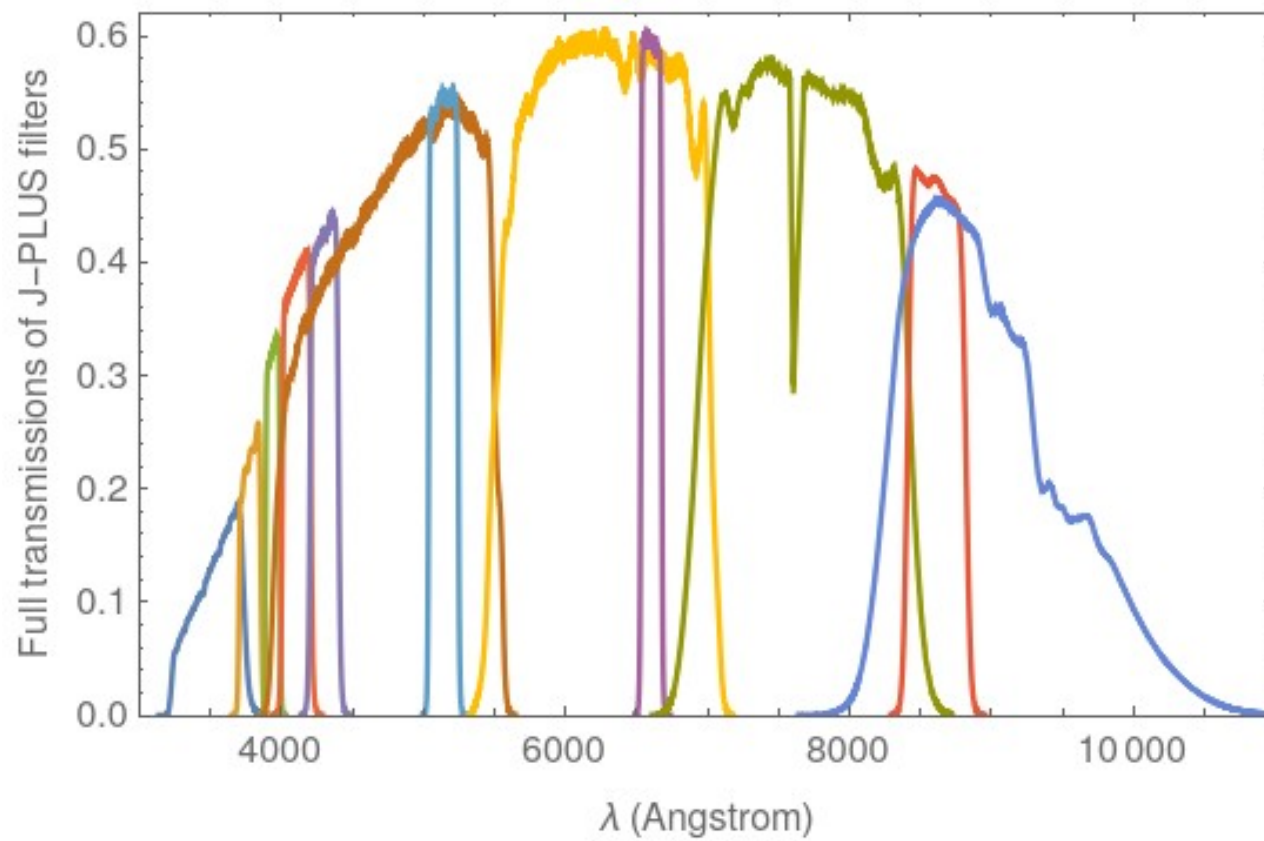
- **Colaboração Brasil-Espanha;**
- **Construído na Serra de Javalambre, Espanha;**
- **2 telescópios (JAST-80 e JST-250);**



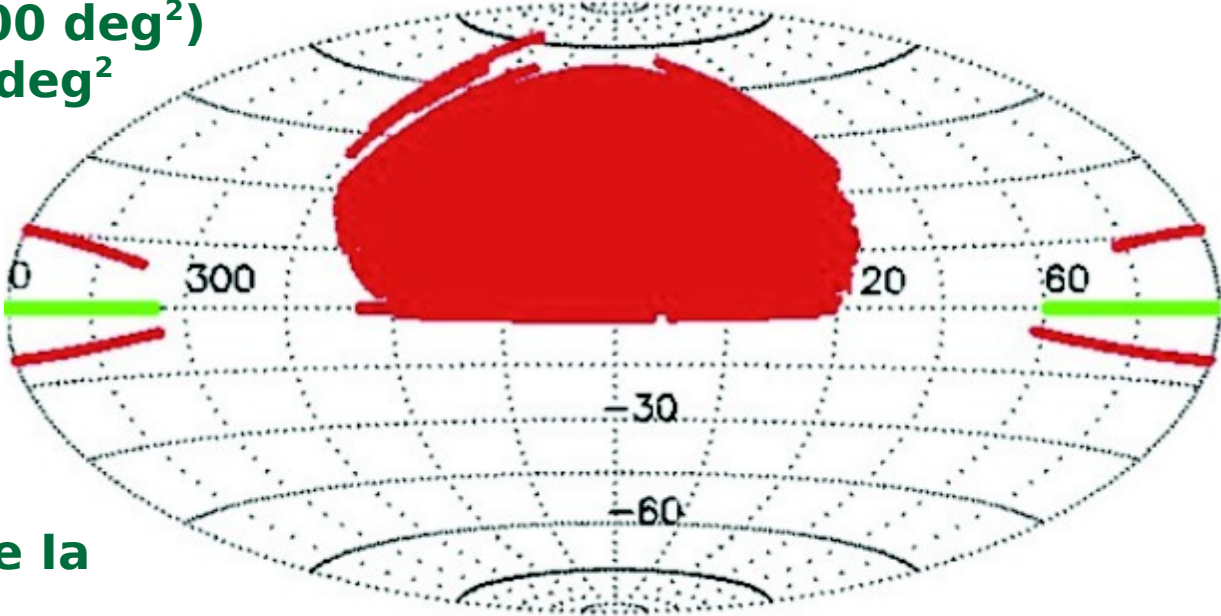
Cenarro et al (2019)

- **Telescópio auxiliar ao JST-250;**
- **12 filtros (7 de banda estreita);**
- **3 data releases.**

Filtros J-PLUS

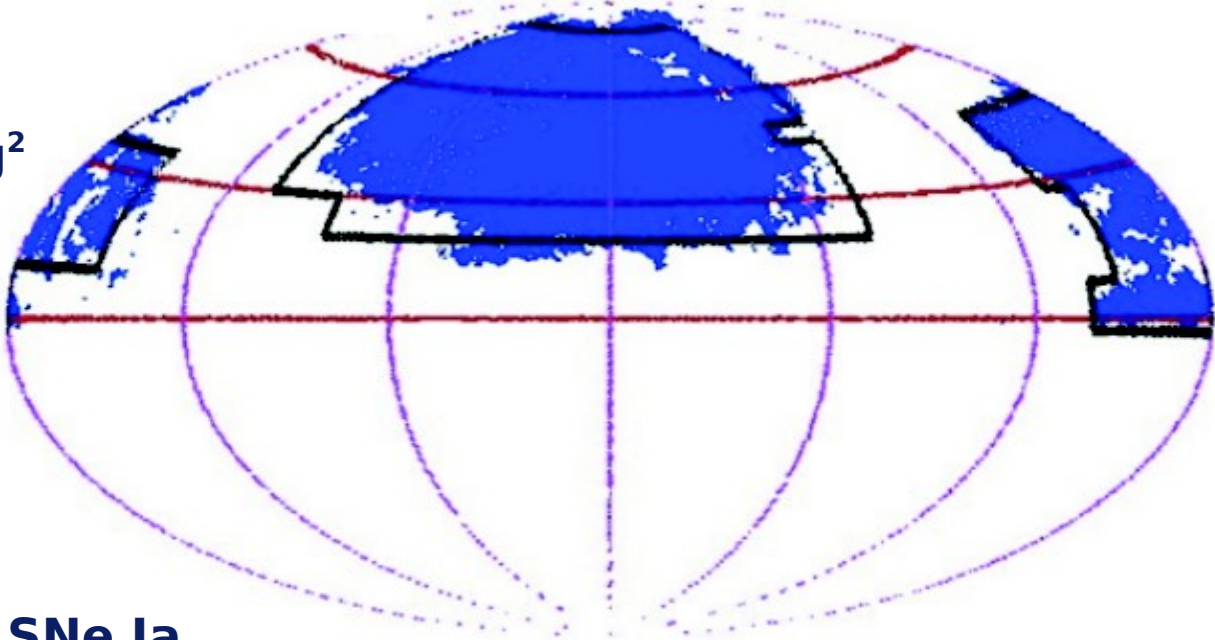


**SDSS (8400 deg²)
SNe: 250 deg²**



500 SNe Ia

**J-PAS
8600 deg²**



~6000 SNe Ia

Melhorias esperadas com o J-PAS

- **Tipificação;**
- **Determinação da taxa de ocorrência;**
- **Propriedades da galáxia hospedeira:**
 - Metalicidade**
 - Massa em estrelas**
 - Taxa de formação estelar**
 - Morfologia**

Detecção de supernovas e o levantamento J-VAR

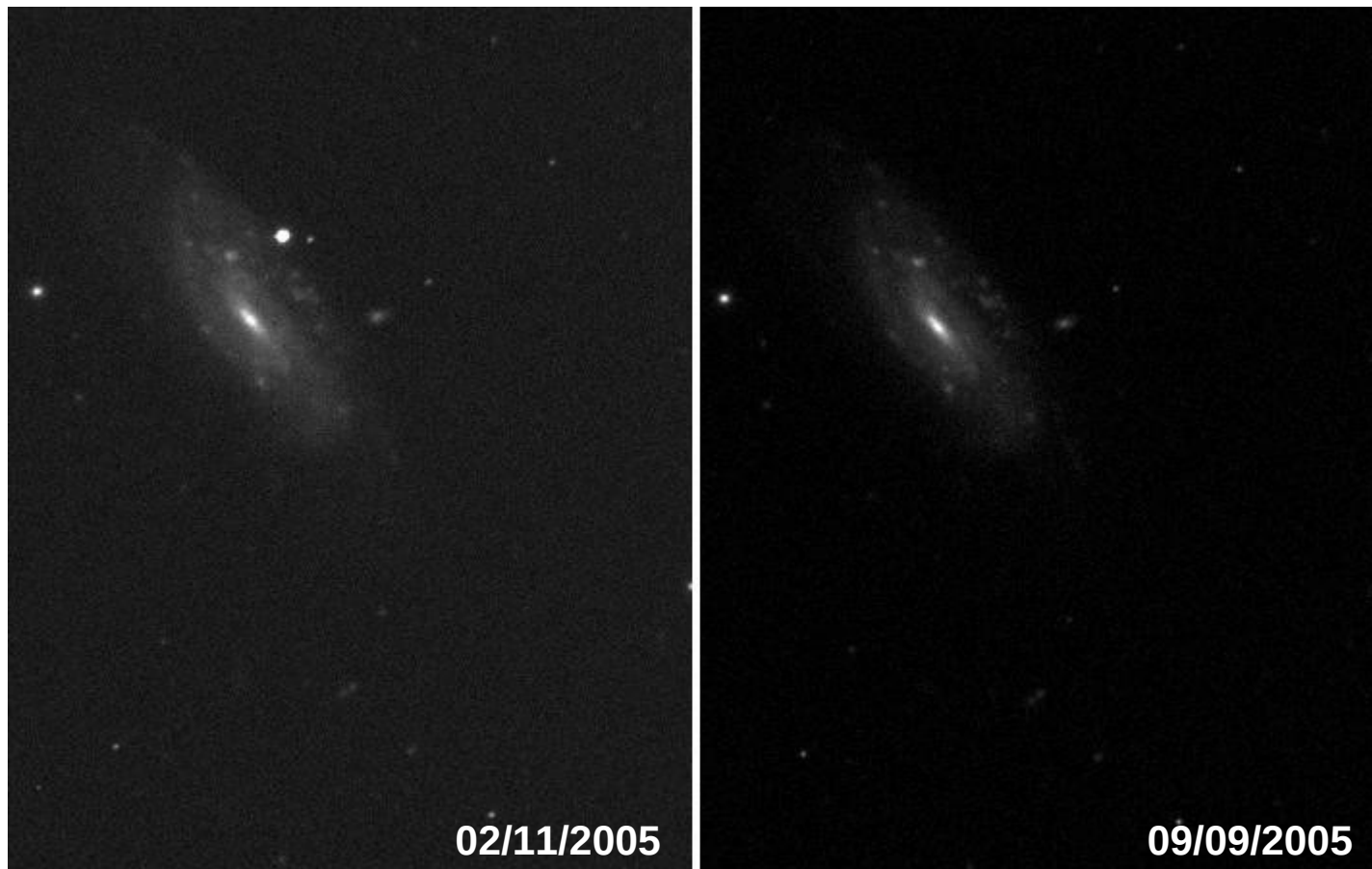


Subtração de imagens

Eventos transientes: subtração de imagens!

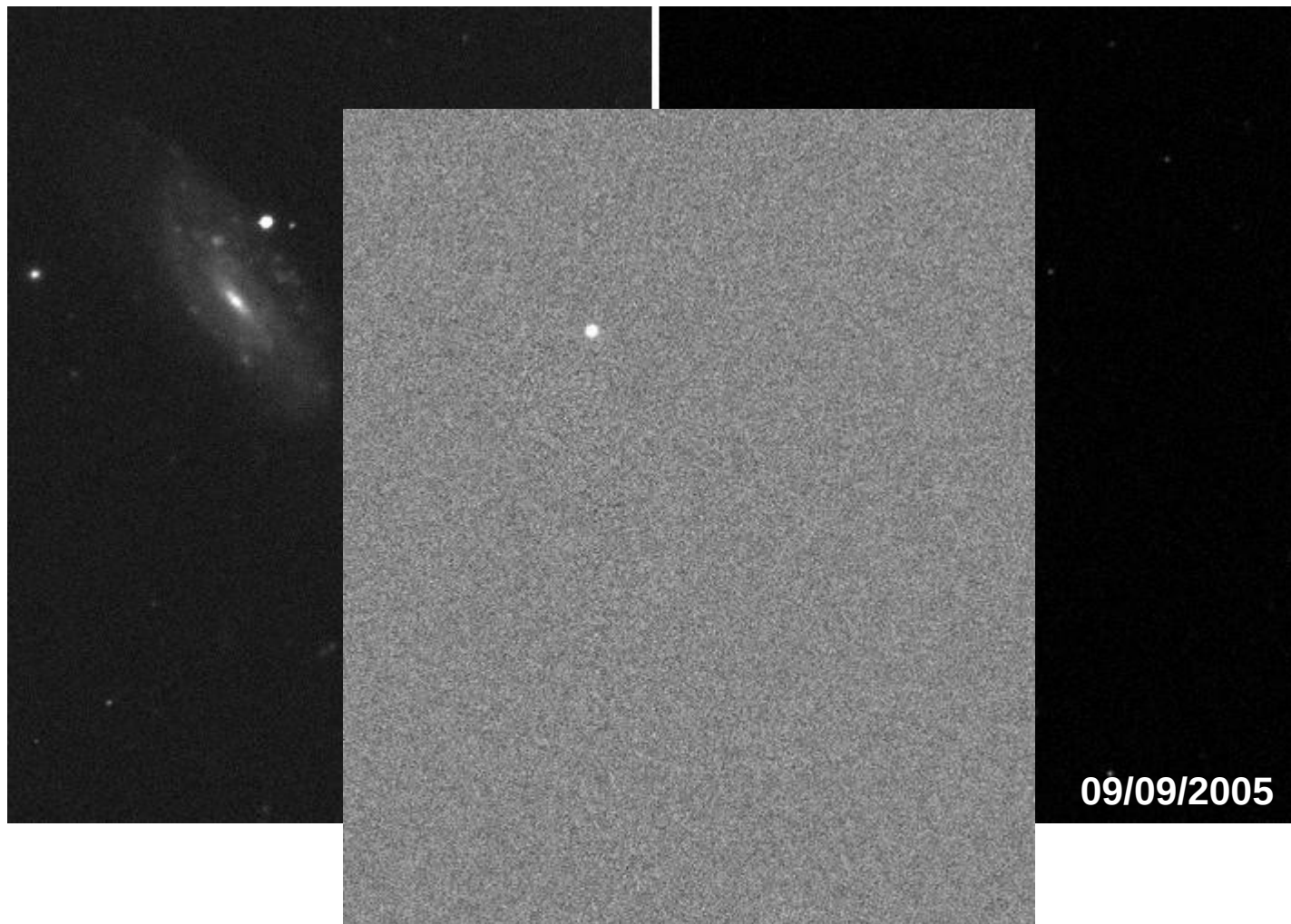
Subtração de imagens

Eventos transientes: subtração de imagens!



Subtração de imagens

Eventos transientes: subtração de imagens!



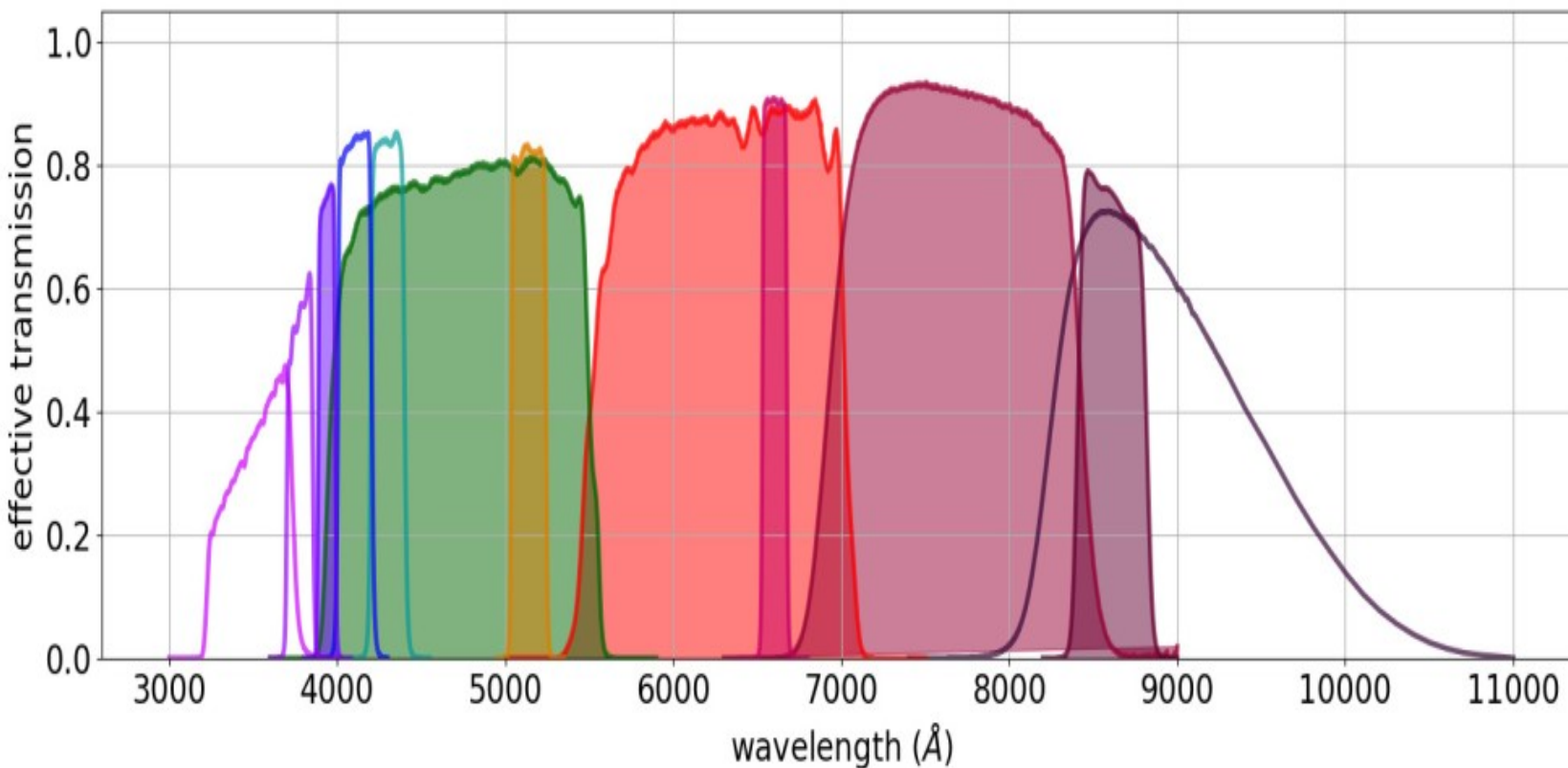
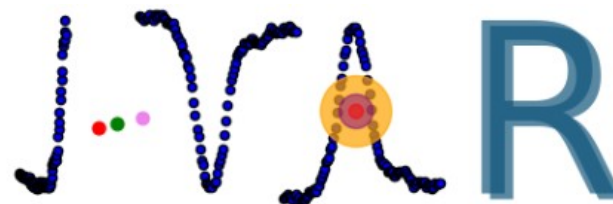
Subtração de imagens

Eventos transientes: subtração de imagens!



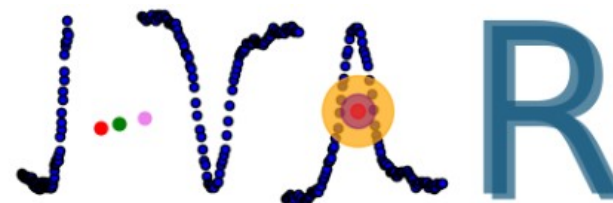
O levantamento J-VAR

JAST-80, 7 filtros
Noites não fotométricas
(cadência não é fixa)

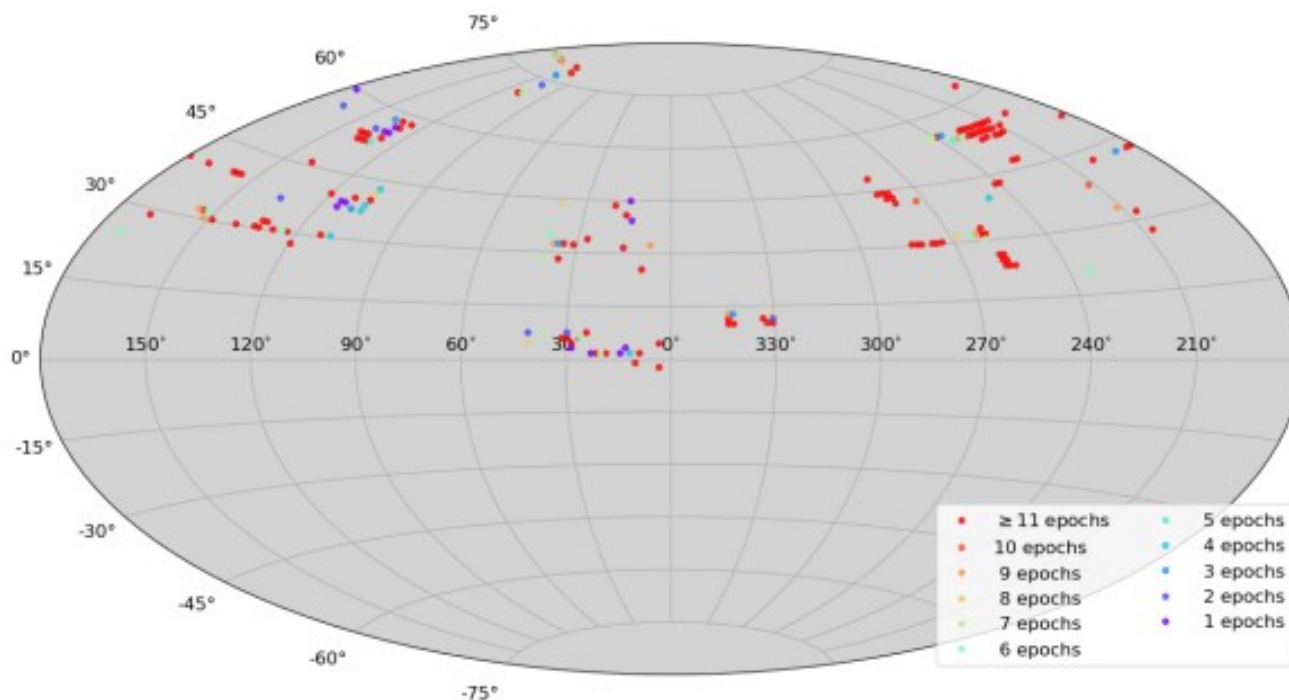


O levantamento J-VAR

JAST-80, 7 filtros
Noites não fotométricas
(cadência não é fixa)



J-VAR progress by 2021-11-29 - 116 completed fields



Passos necessários do pipeline

(1) Escolher imagens fonte e *template*;

(2) Subtrair *template* da imagem fonte;

(3) Obter catálogo com os objetos restantes;

(4) Reduzir lista de candidatos;

Lista curta de candidatos que serão individualmente analisados para determinar sua natureza.

(5) Calcular magnitude e obter curva de luz;

(6) Classificar supernova.

Alguns resultados

8 SNe ou candidatos já conhecidos;

1 SNe confirmada;

5 candidatos;

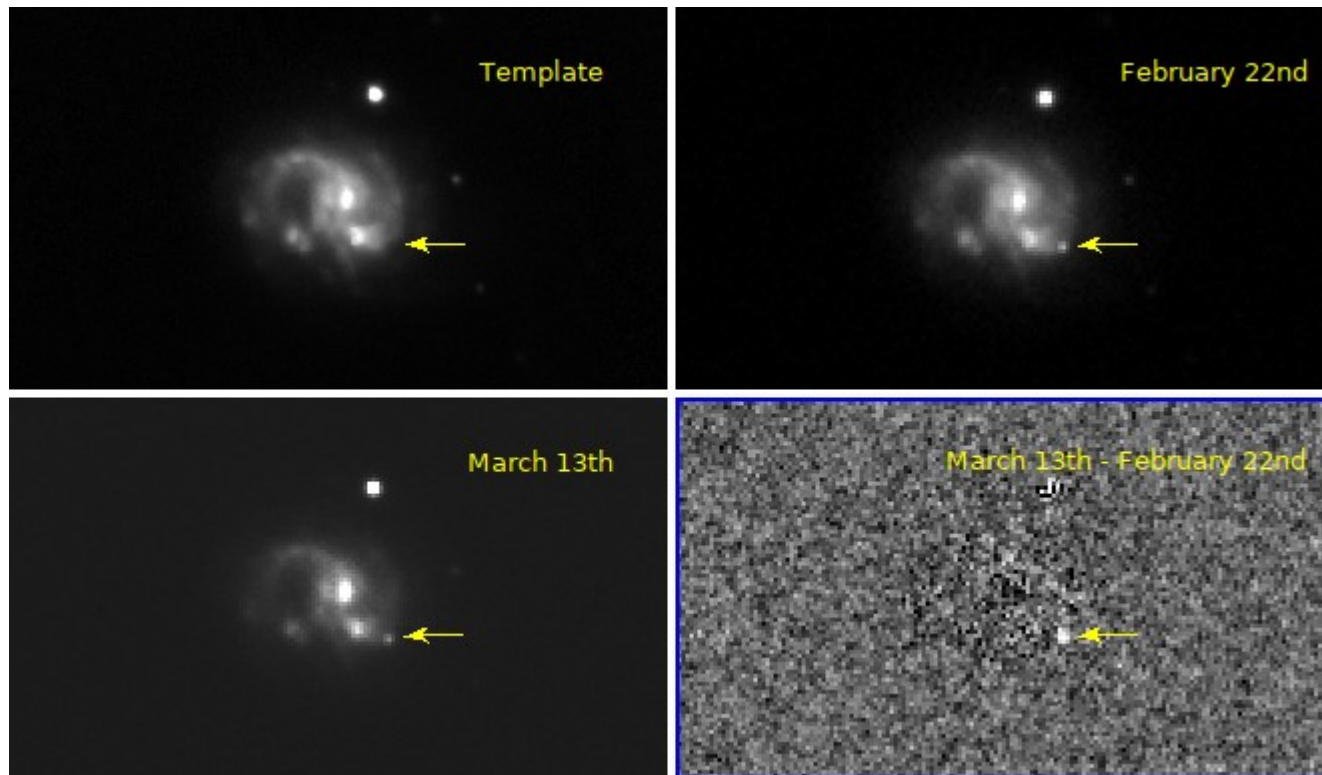
~200 estrelas variáveis + ~40 AGNs conhecidas;

~200 objetos variáveis desconhecidos.

Alguns resultados

SN 2020cvy

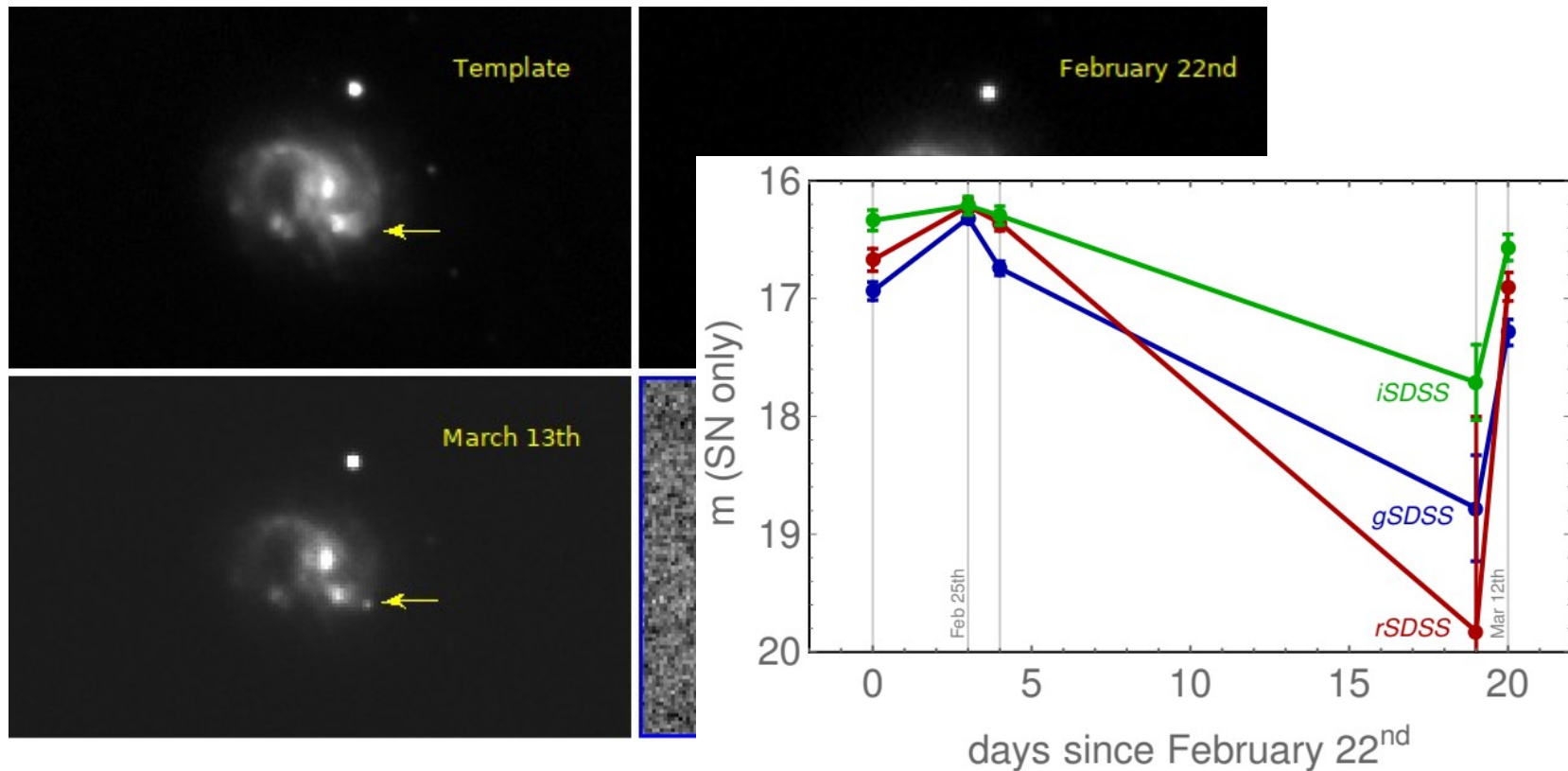
Descoberta pelo ZTF, tipo II, $z = 0,017$



Alguns resultados

SN 2020cvy

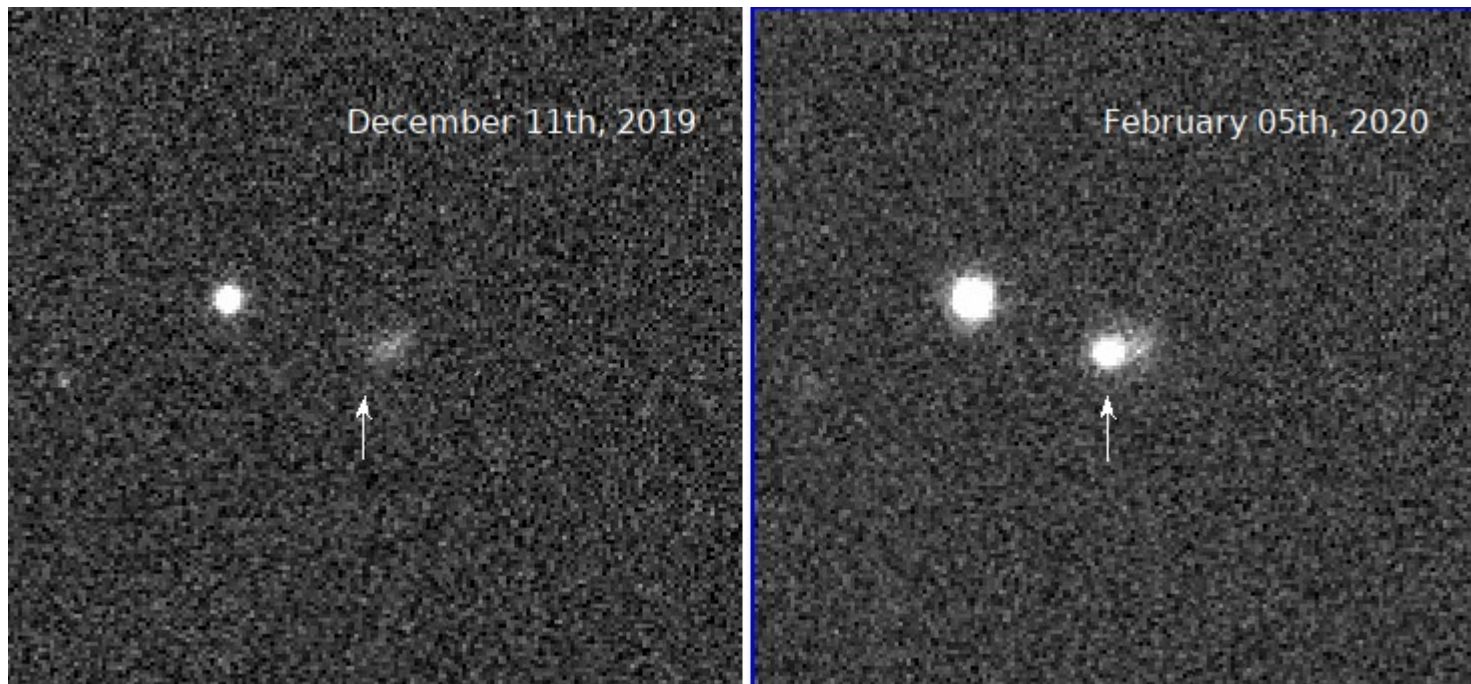
Descoberta pelo ZTF, tipo II, $z = 0,017$



Alguns resultados

SN 2020amv

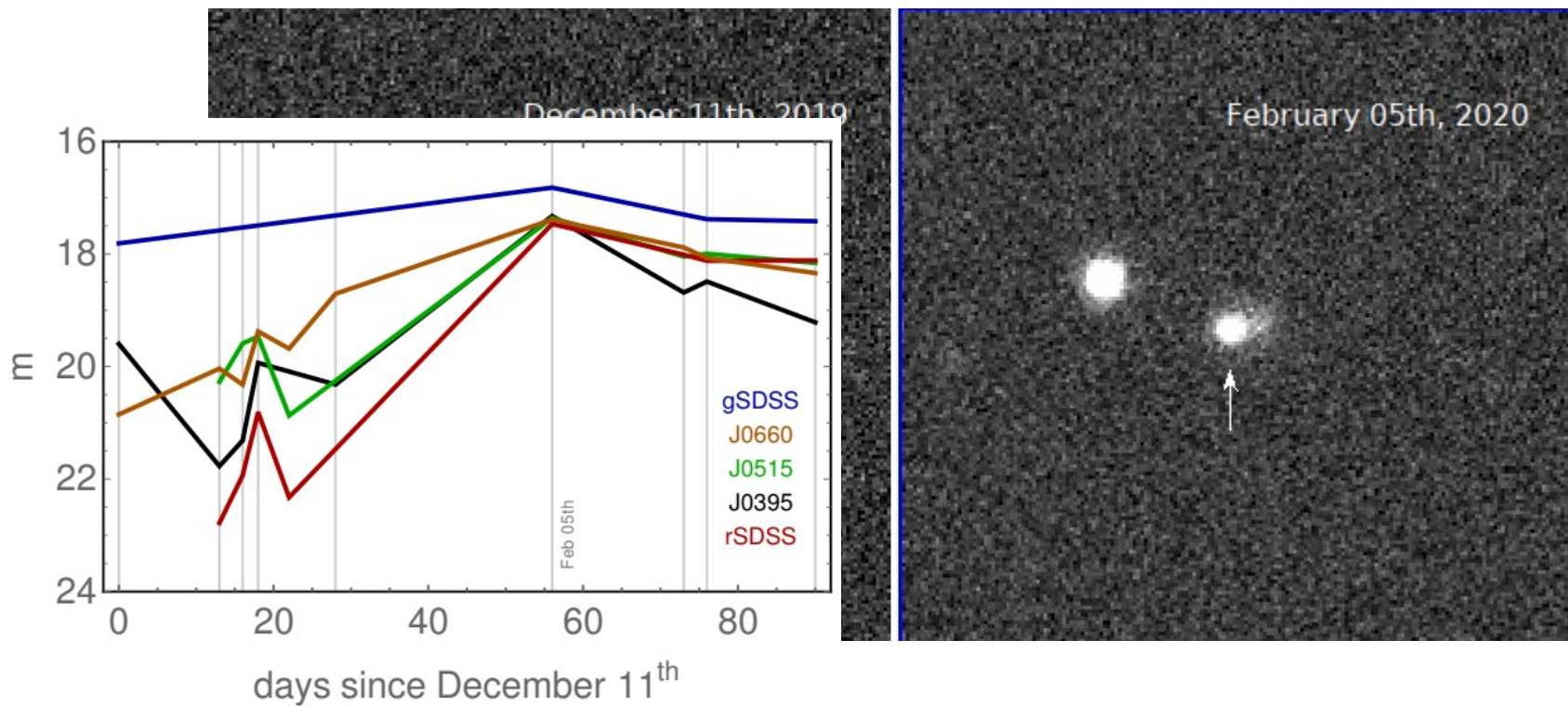
Descoberta pelo ZTF, tipo II, $z = 0,0452$



Alguns resultados

SN 2020amv

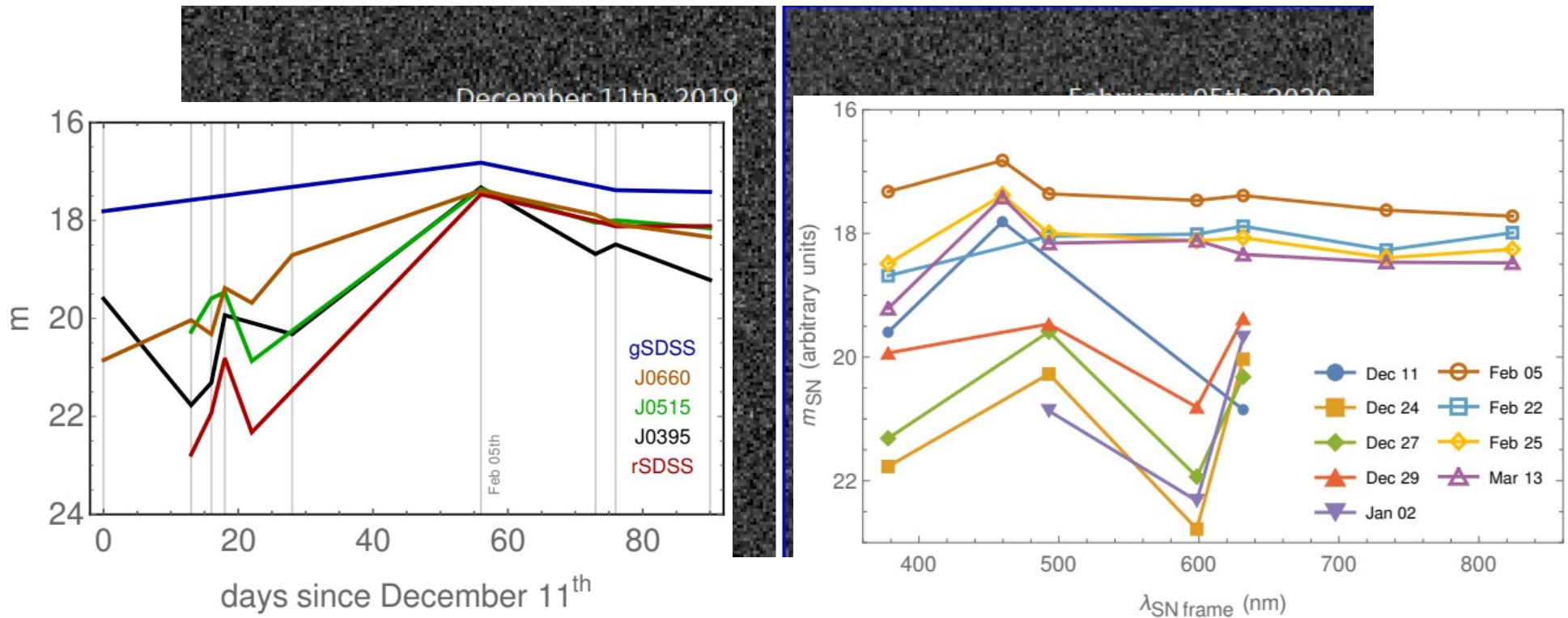
Descoberta pelo ZTF, tipo II, $z = 0,0452$



Alguns resultados

SN 2020amv

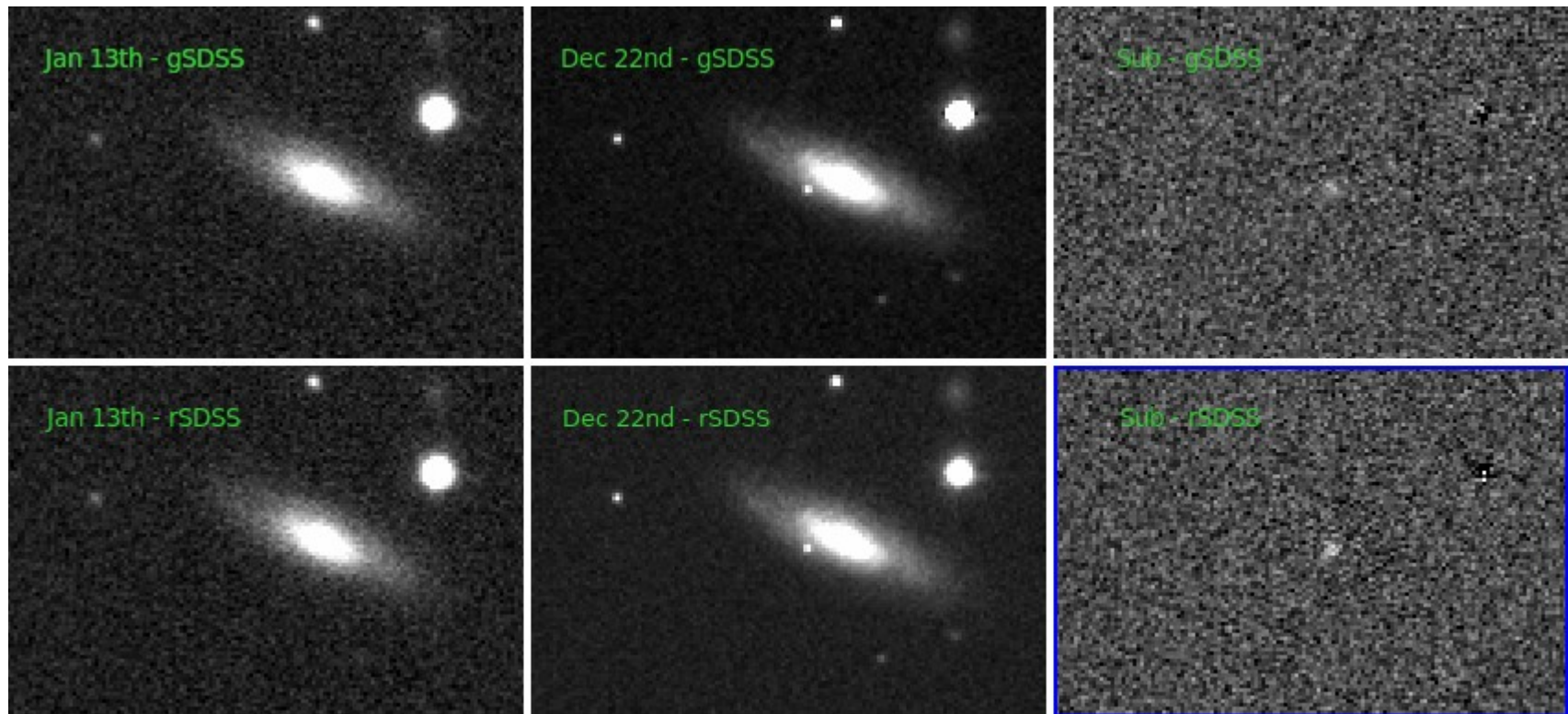
Descoberta pelo ZTF, tipo II, $z = 0,0452$



Alguns resultados

JVAR20a (SN 2020admb)

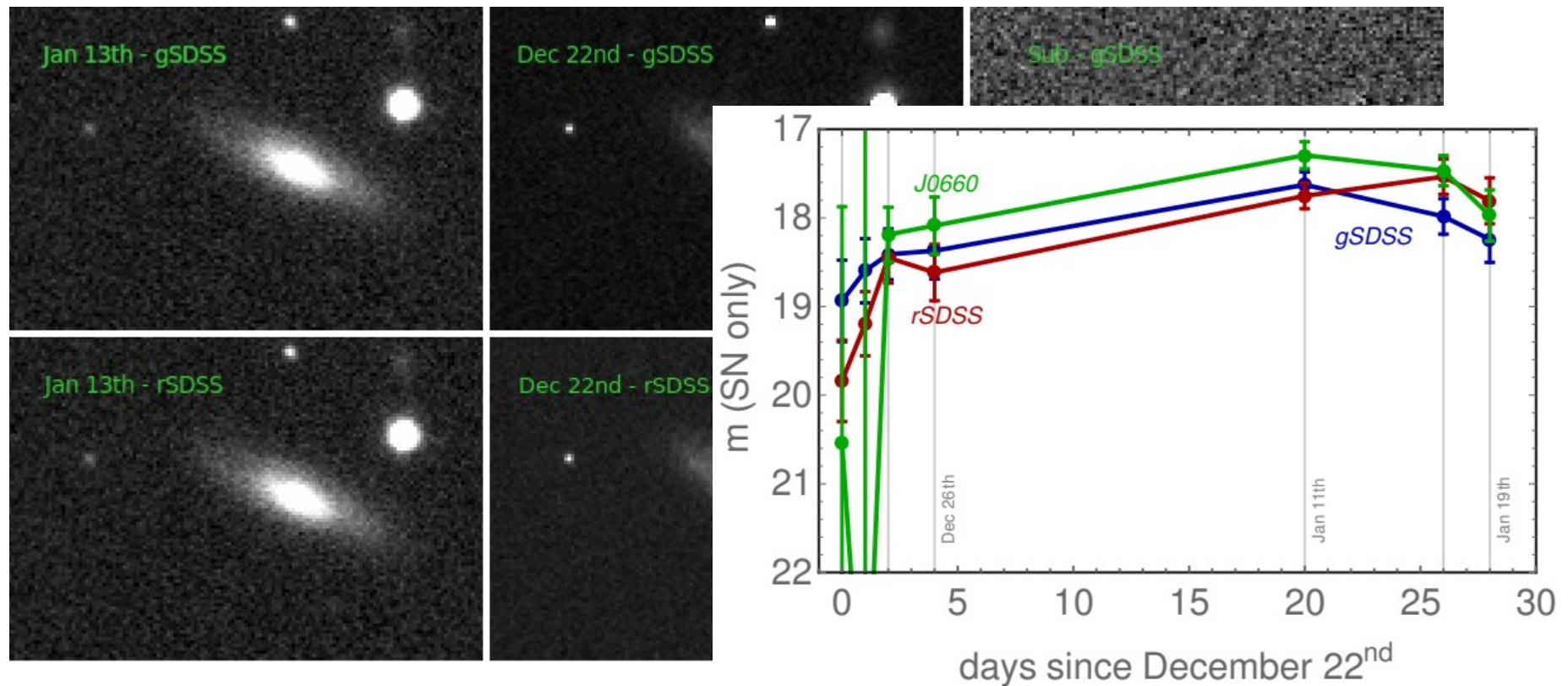
Classificada pelo ZTF como tipo Ia, $z = 0,04$



Alguns resultados

JVAR20a (SN 2020admb)

Classificada pelo ZTF como tipo Ia, $z = 0,04$



Alguns resultados

JVAR21a (AT2021aggv)

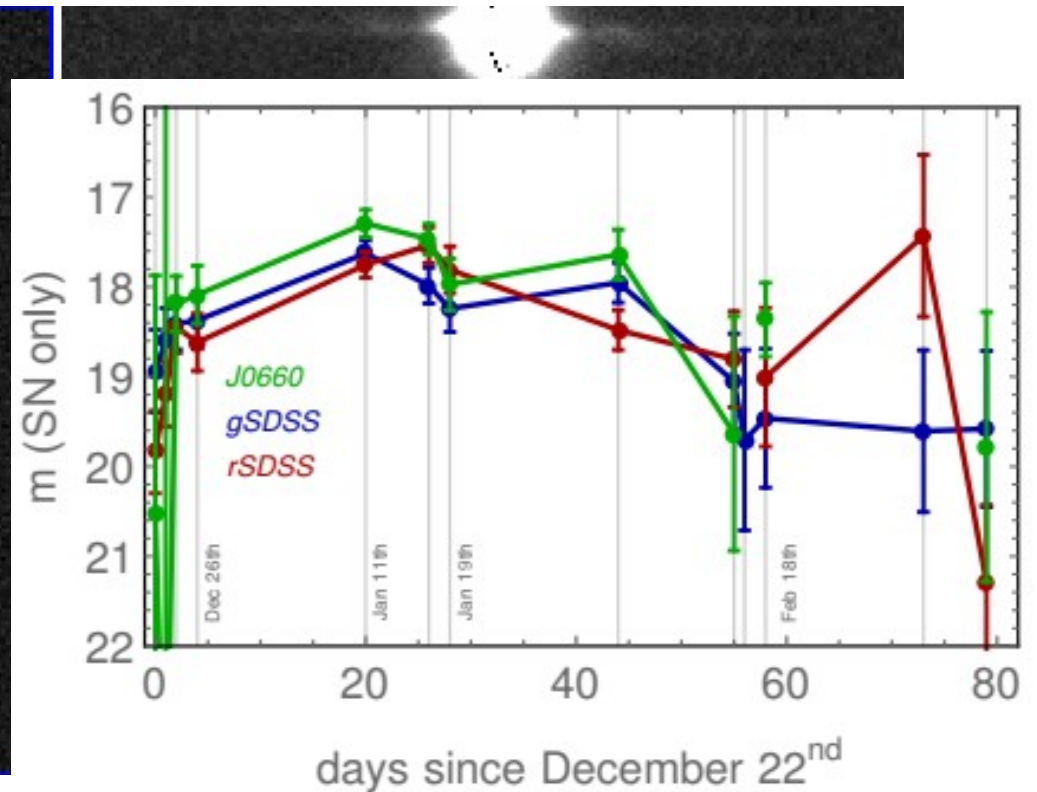
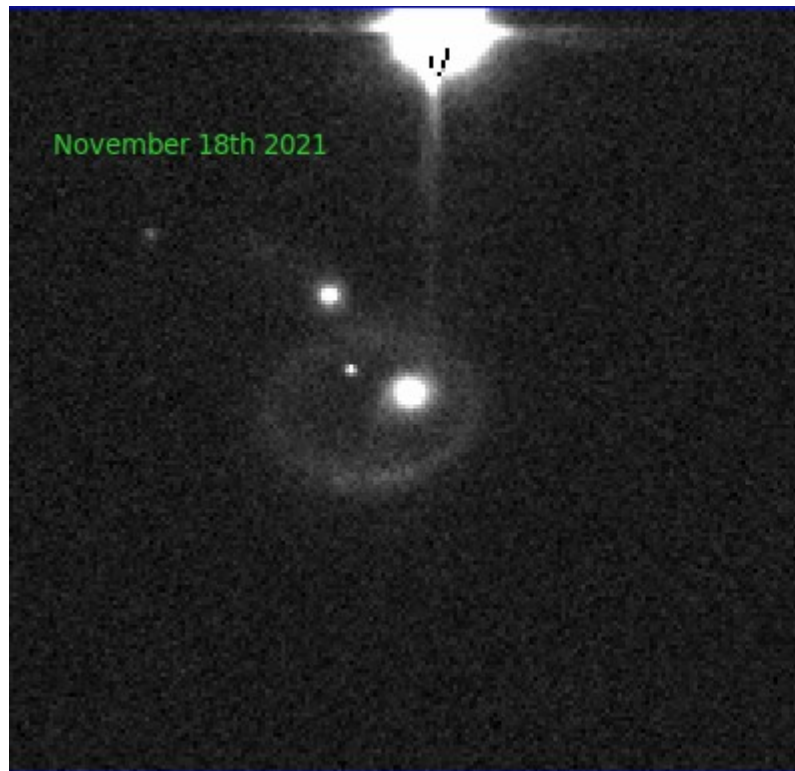
$z = 0,043$ (galáxia J-PLUS), não classificado



Alguns resultados

JVAR21a (AT2021aggv)

$z = 0,043$ (galáxia J-PLUS), não classificado



Discussão

Todas as questões em aberto tornam necessário o estudo mais extenso da natureza das supernovas do tipo Ia;

J-PAS pode trazer importante contribuição nessa área:

Grande área: muitas supernovas

Muitos filtros de banda estreita: melhor determinação de z e fotoespectro;

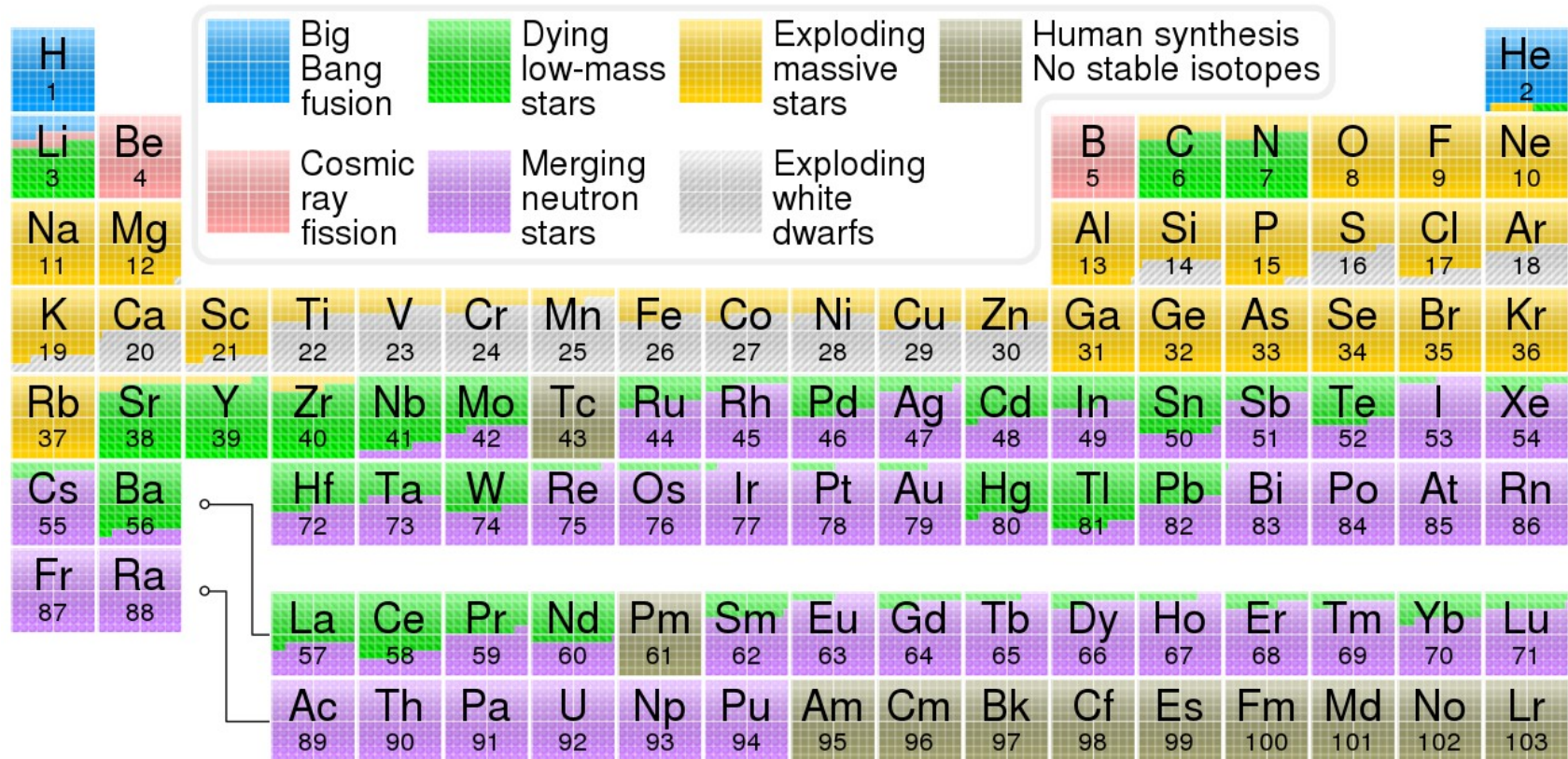
Resultados dependem da estratégia de observação!

Campo profundo?

Noites não fotométricas?

Obrigada!

Origem dos elementos



JST-250

Mount:	Altazimuthal
Optical configuration:	Ritchey Chrétien modified, equipped with a field corrector and rotator
M1 diameter:	2.55 m
Field corrector:	3 aspherical lenses
Effective collecting area:	3.75 m ²
Focus:	Cassegrain
F#:	3.5
Focal length:	9098 mm
Plate scale:	22.67 arcsec mm ⁻¹
FoV (diameter)	3.0 deg
Étendue:	26.5 m ² deg ²
EE50 ^(a) (diameter, as-built)	12 μm
EE80 ^(a) (diameter, as-built)	25 μm