



Mecanismos de Explosão de Supernovas do Tipo IA

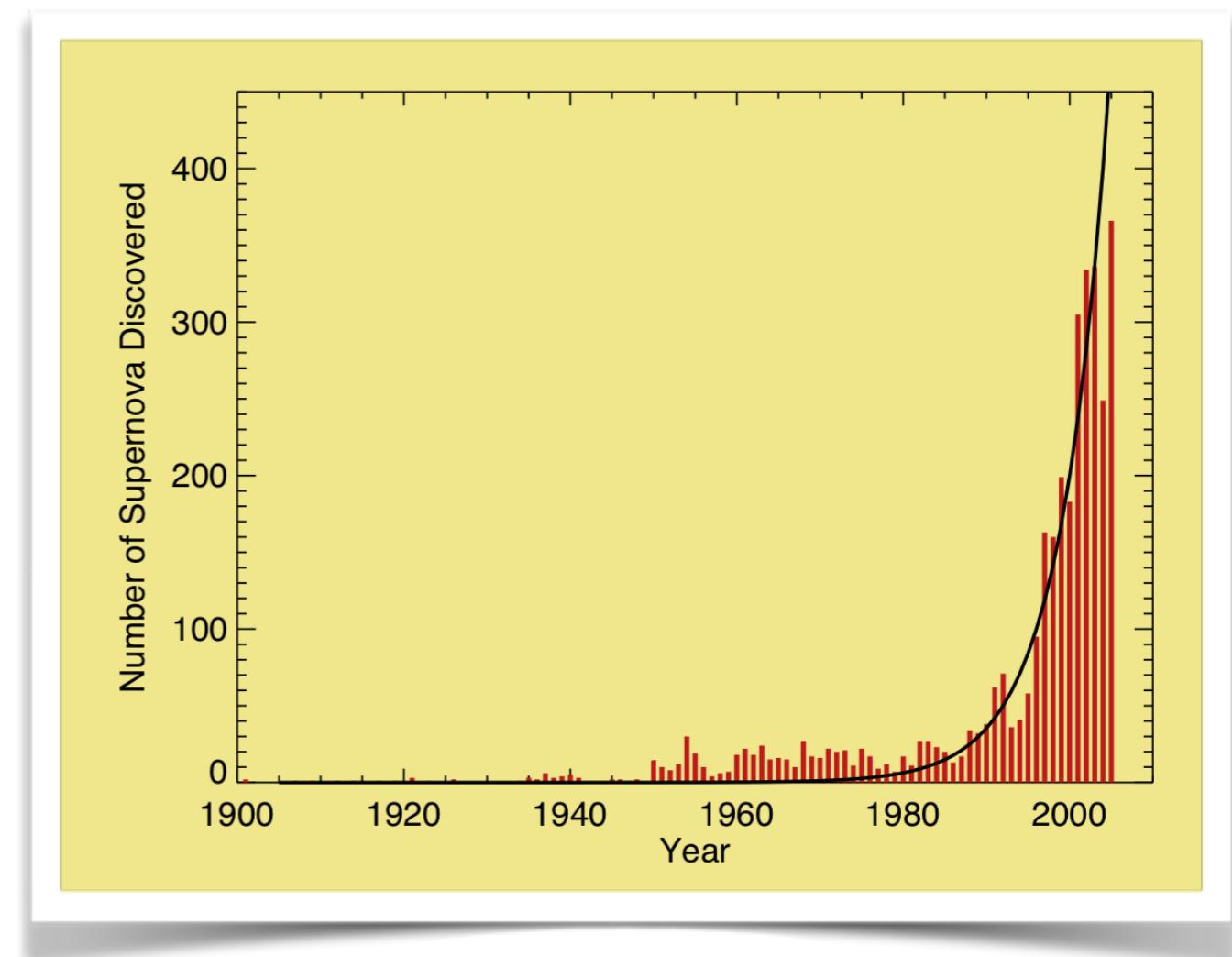
Elvis Soares



História das Supernovas

Histograma do número de SNe descobertas por ano.

- 185 - Astrônomos chineses registram a primeira observação de uma supernova, a SN 185;
- 1572 - Tycho Brahe descobre a supernova SN 1572, na constelação de Cassiopéia;
- 1604 - Kepler desobre a supernova SN 1604;
- 1930 - Chandrasekhar desobre o limite máximo da massa de anã-branca;



Barbon et al.: The Asiago Supernova Catalogue

Vínculos Observacionais

- Exibem um aumento súbito na luminosidade, magnitude absoluta para o máximo visível de $M_v \sim -19.3$ ($L_{pico} \sim 10^{10} L_\odot$) em aproximadamente 20 dias.
- Seguida por uma queda abrupta no brilho por volta de 3 magnitudes em ~30 dias.
- E então, uma queda suave de ~70 dias.

Magnitude absoluta

$$M = M_\odot - 2.5 \log_{10}(L/L_\odot)$$



Vínculos Observacionais (II)

- Energia cinética do material em expansão (velocidades entre 5000 e 10 000 km/s):

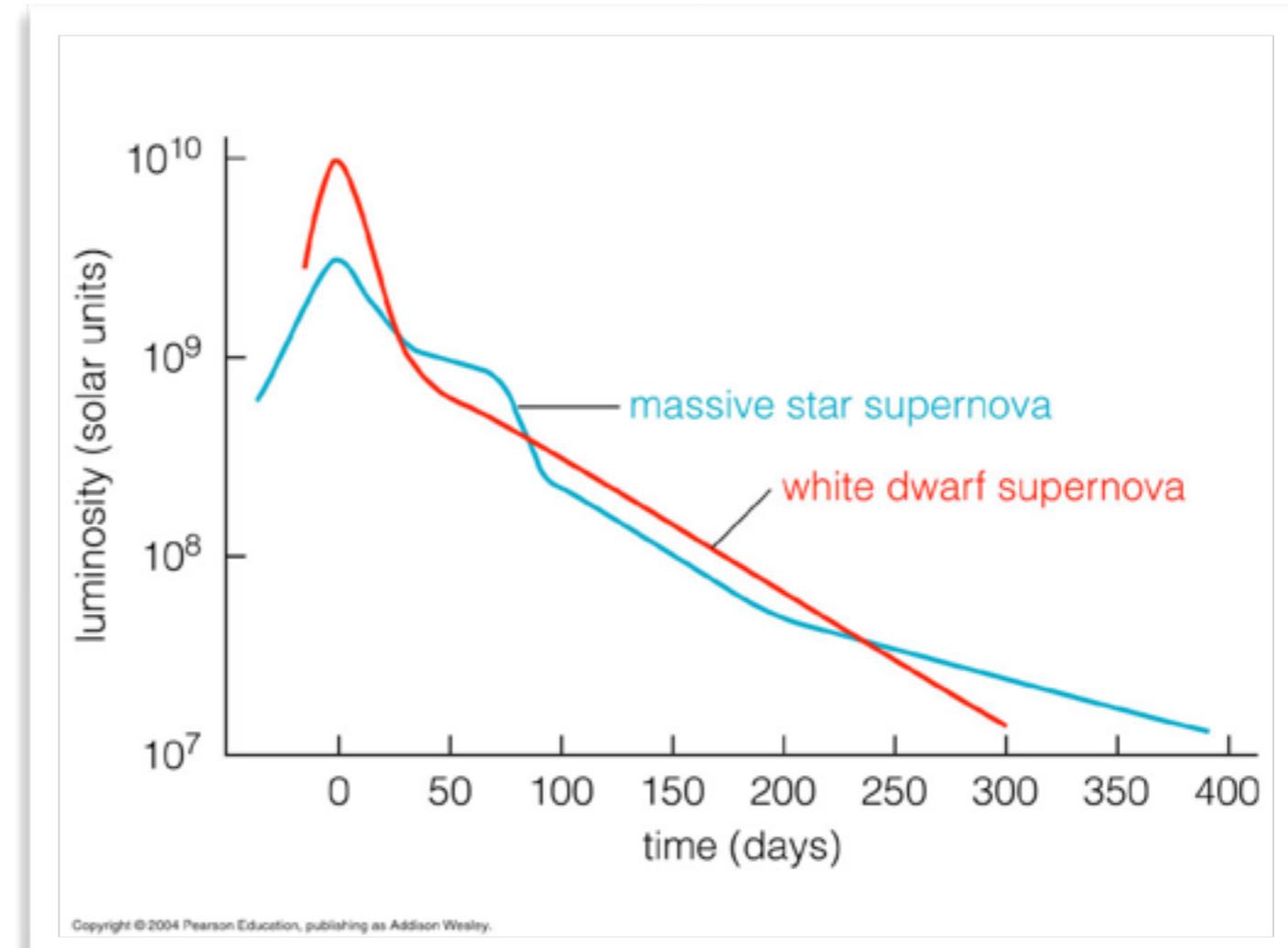
$$E_{cin} \sim 10^{51} erg$$

- Energia integrada sobre a curva de luz:

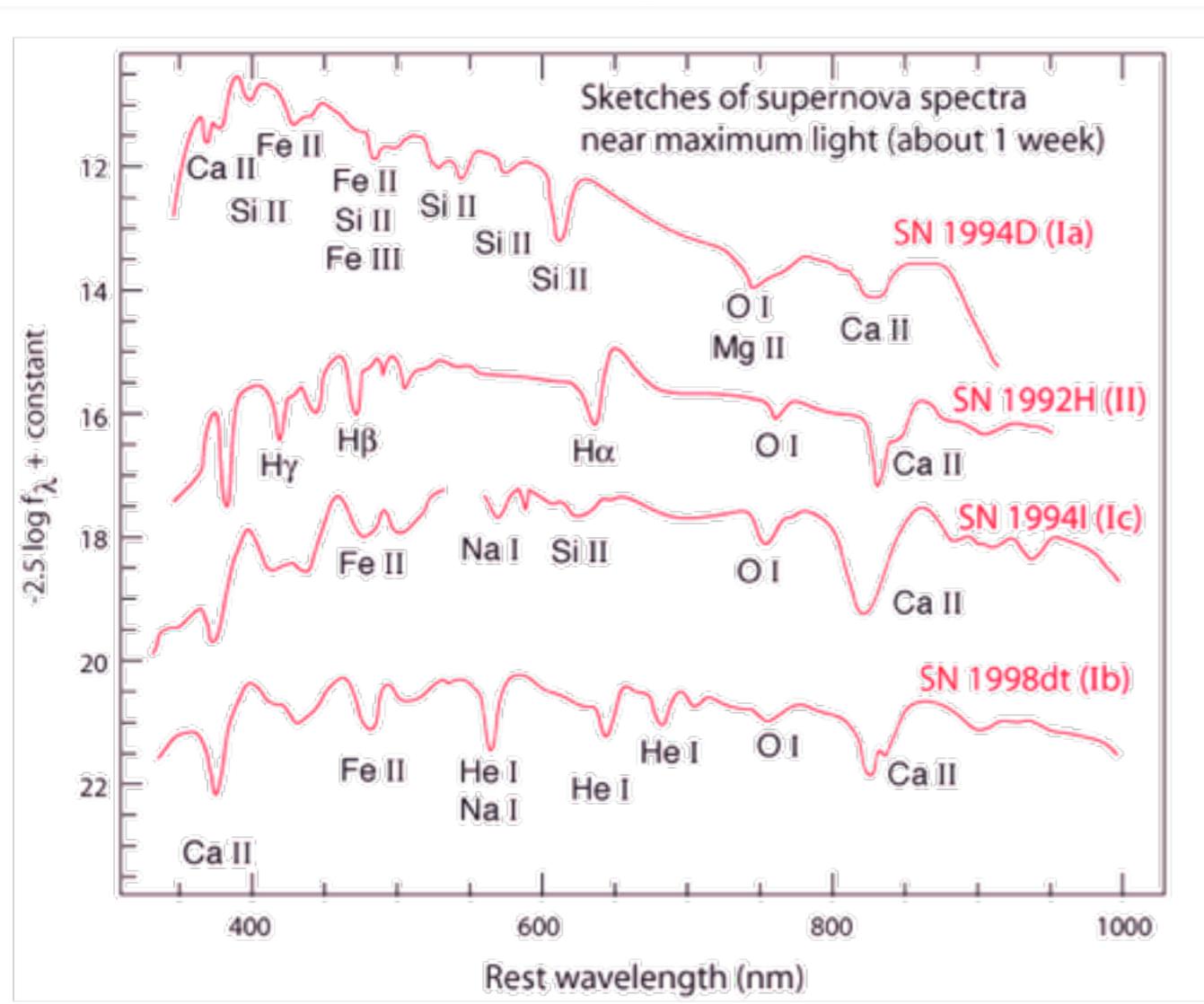
$$E_{rad} \sim 10^{49} erg$$

- Fonte de energia: processos termonucleares do material rico em C-O em elementos mais pesados.

- A queima de $\sim 1M_\odot$ de C-O fornece $\sim 10^{18} erg/g$, levando aos necessários $\sim 10^{51} erg$



Características Principais



- Ausência das linhas de Balmer de emissão do H;
 $M_H \leq 0.03 - 0.1 M_{\odot}$
- Presença de uma proeminente emissão de Si II (P Cygni) deslocada para o azul, próximo ao máximo de emissão.
- O espectro próximo ao máximo é dominado por: Si, Ca, Mg, S e O;
- Após duas semanas: Fe II
- Após um mês, falta das linhas de: Fe II, Fe III e Co III.

Harkness R P and Wheeler J C 1990 Supernovae ed A G Petschek (New York: Springer) p 1

Melhor Cenário para SNIa

- Deflagração ou detonação de carbono de uma anã-branca que atinge sua massa limite (chamado *limite de Chandrasekhar*, $M_{Ch} \sim 1.4M_{\odot}$) pela acreção de matéria devida a uma estrela companheira.
- Dois diferentes sistemas progenitores: **unicamente degenerado**¹ (uma estrela de sequência principal ou gigante companheiras que transfere massa para a anã-branca) ; e o **duplamente degenerado**² (composto por duas anãs-brancas).

Ziggy



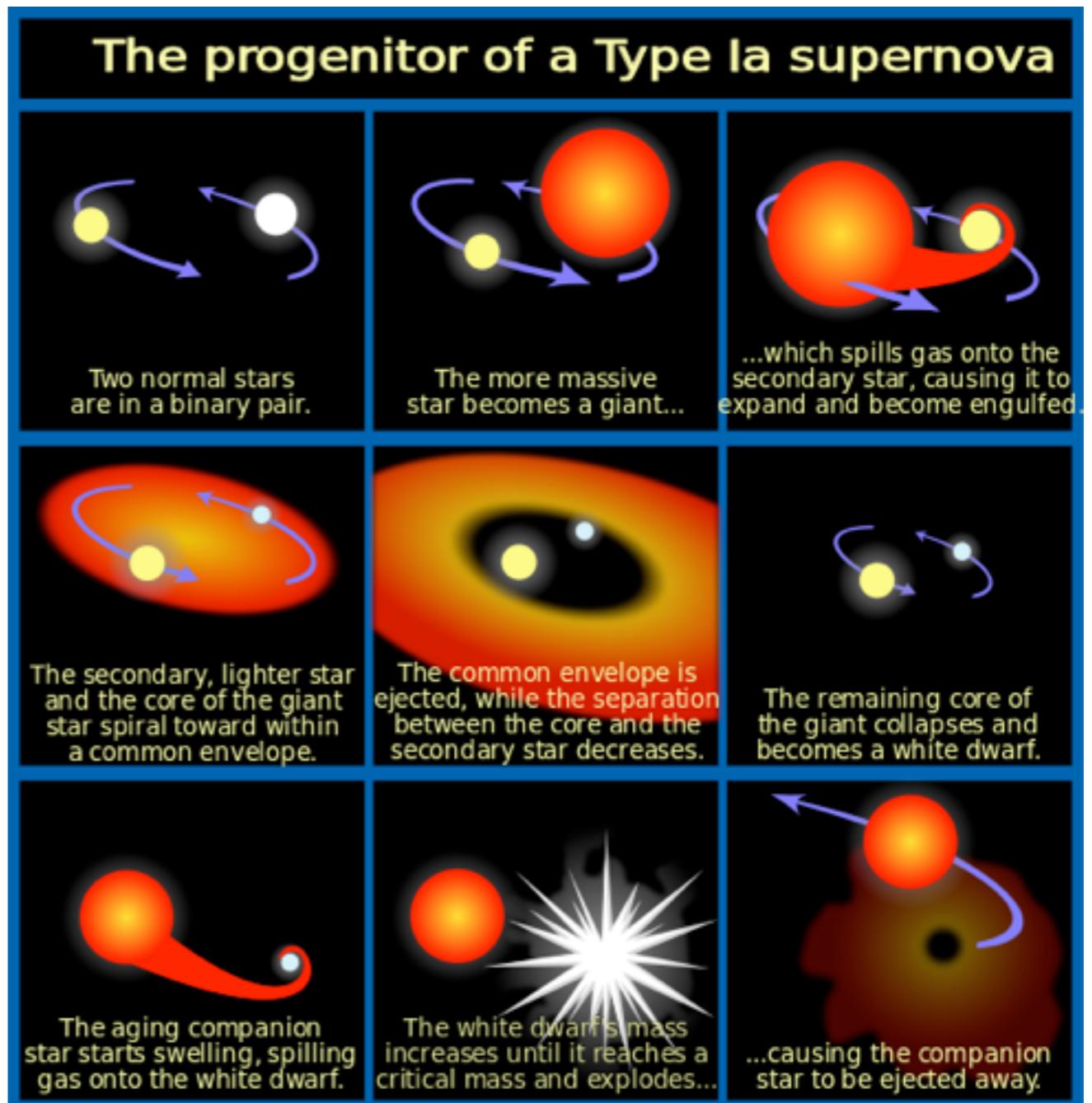
1- Whelan J and Iben I Jr 1973 *Astrophys. J.* **186** 1007

2 -Iben I Jr and Tutukov A V 1984 *Astrophys. J. Suppl.* **54** 335

2 - Webbink R F 1984 *Astrophys. J.* **277** 355

Os atuais problemas teóricos de Supernovas do Tipo Ia

- Quais são os progenitores?
- Como e onde a ignição ocorre?
- Como ocorre a transição de deflagração para detonação?
- Como as curvas de luz dependem do progenitor e seu meio?



Explosões Termonucleares

- A natureza de uma bomba é possuir uma imensa quantidade de energia à beira de ser liberada;
- Muitas maneiras de se liberar essa energia.
- **Problema:** *Qual a maneira escolhida pela Natureza?!*



Regimes para Ignição em SNIa

Ignição de Carbono no interior degenerado de uma anã-branca próxima ao limite de Chandrasekhar podem resultar em uma propagação de onda:

- Supersônica (uma **detonação** conduzindo a queima nuclear por uma onda de choque);
- Subsônica (uma **deflagração** induzindo a queima por condução térmica dos elétrons degenerados)



Modelo de detonação

Pura detonação no centro da anã-branca que se propaga pra fora.

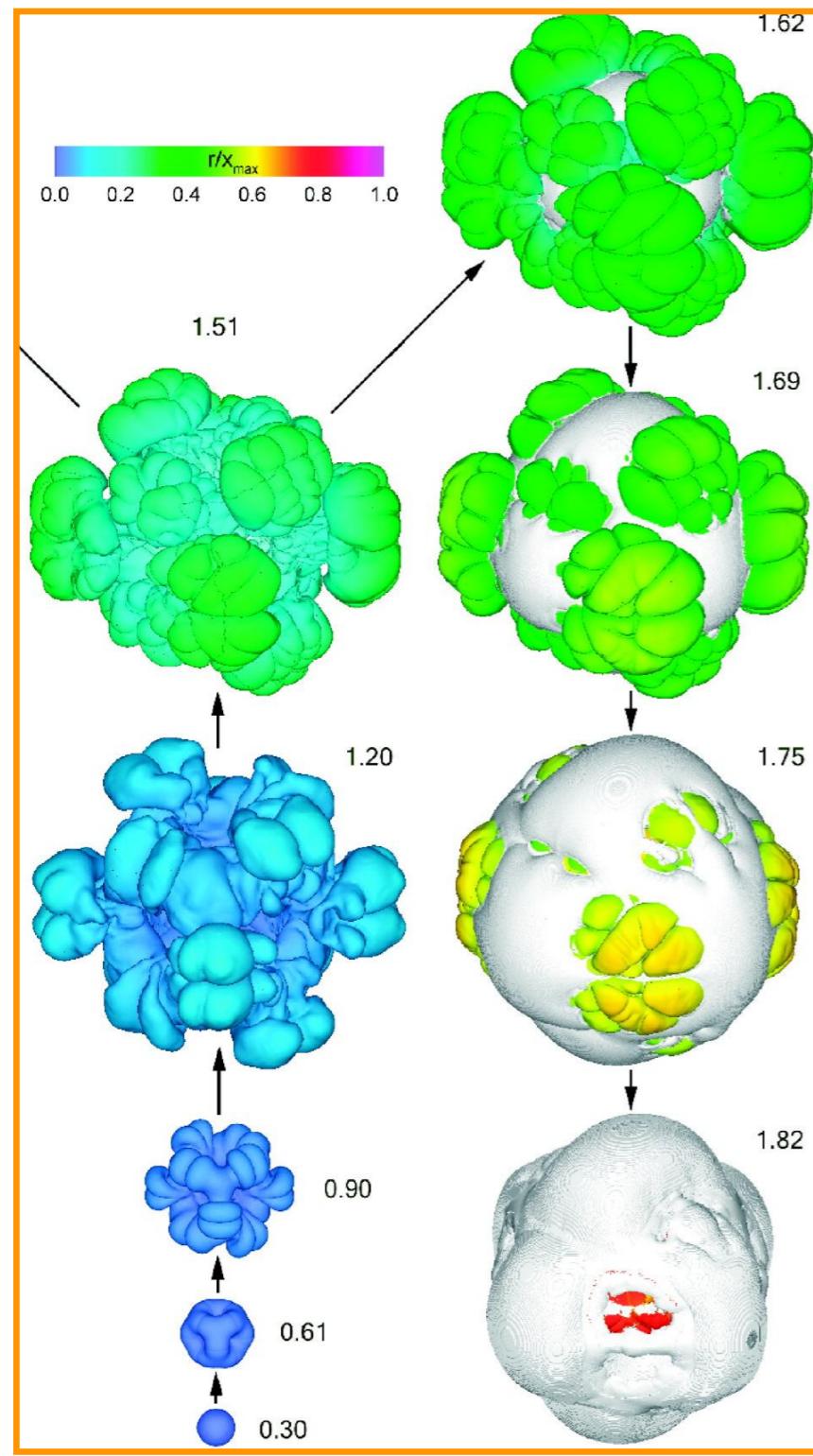
- **Pró:** Energeticamente plausível
- **Contra:** Falha na reprodução da distribuição de elementos de massa intermediária visto no espectro de SNIa;
- **Contra:** Além disso, uma onda de detonação impede a expansão de camadas adiante da frente de onda e por isso o combustível é quase totalmente incinerado em elementos no pico de Fe.

Modelo de deflagração

Assume uma propagação subsônica, permitindo as camadas de combustível reagentes avançarem junto a expansão;

- **Pró:** Uma fração da matéria da estrela pode, em princípio, ser processada em elementos mais leves;
- **Contra:** Falta de estratificação química no material ejetado e a presença de grandes aglutinados de ^{56}Ni na fotosfera no pico de luminosidade.

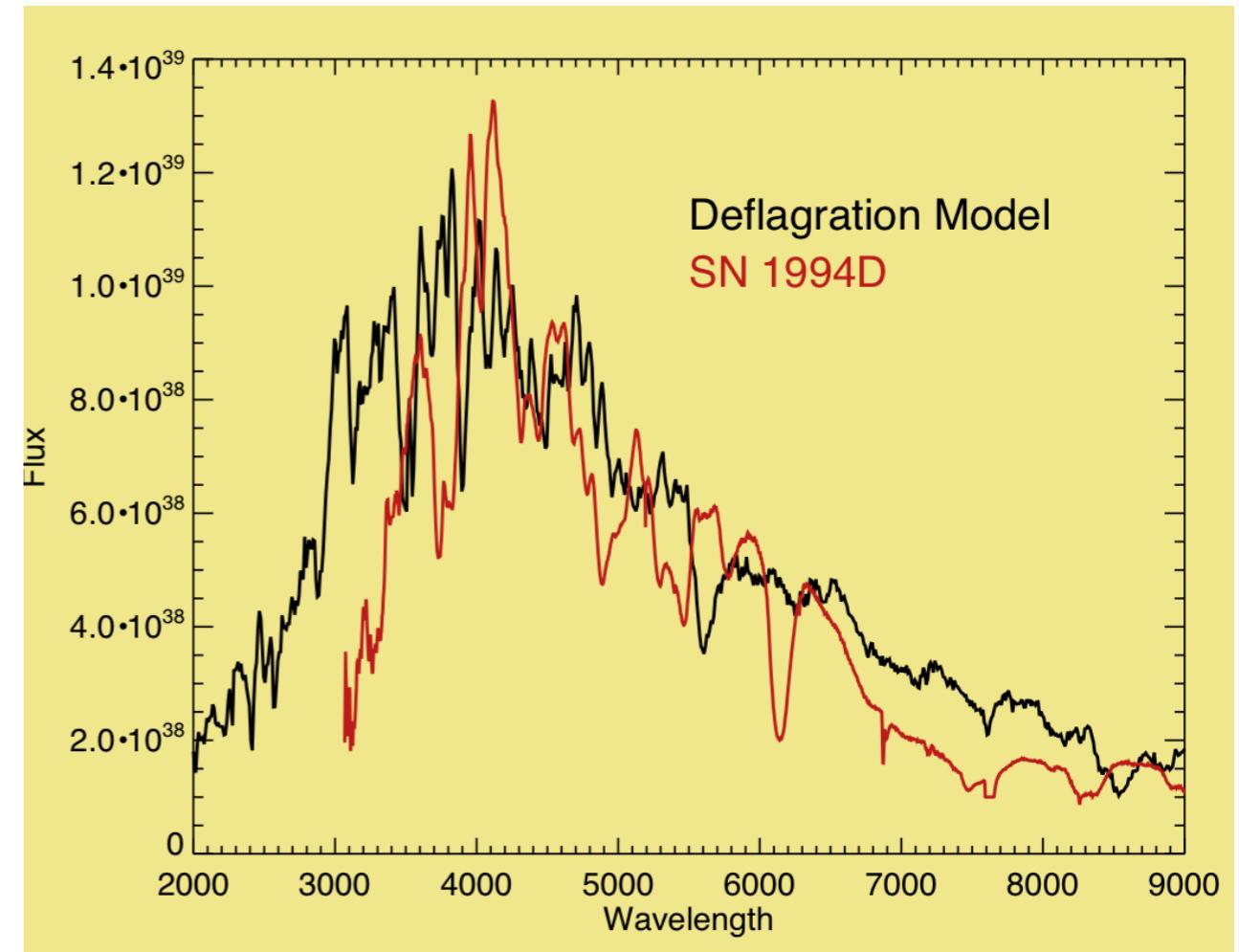
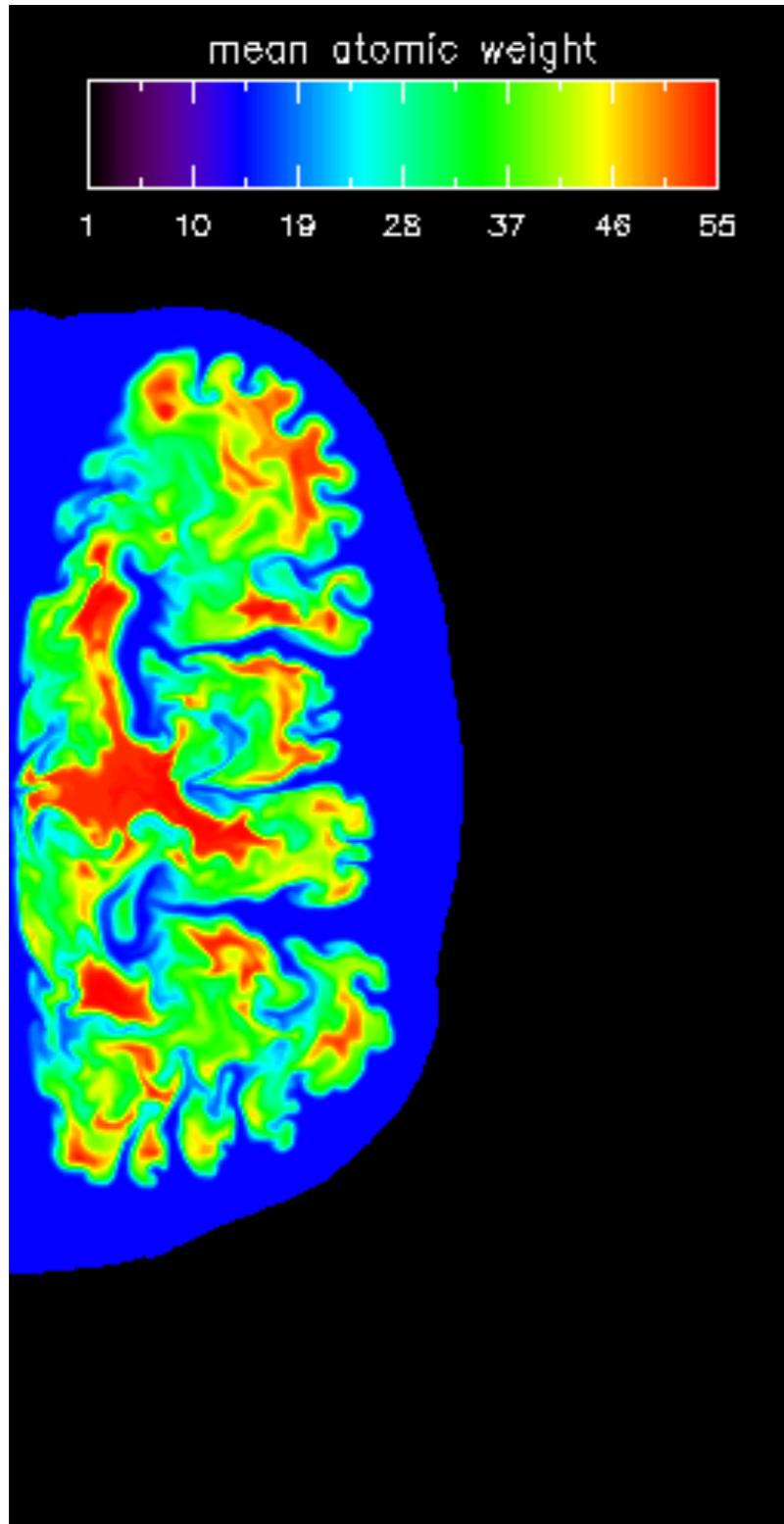
Modelo de detonação-atrasada



Uma frente de deflagração se propaga e pre-expande a estrela. Em seguida, uma onda de deflagração transforma-se em uma detonação (*transição deflagração-detonação*)

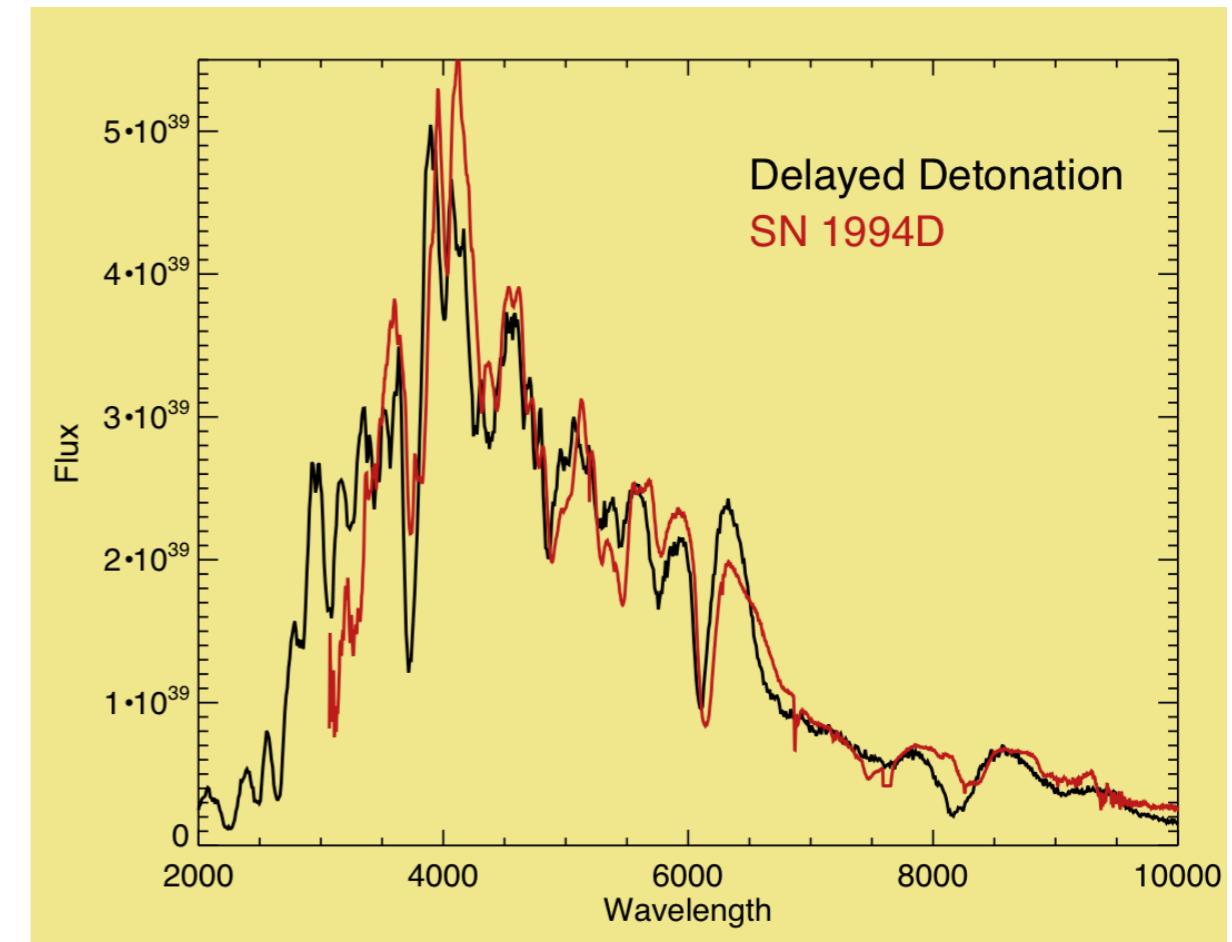
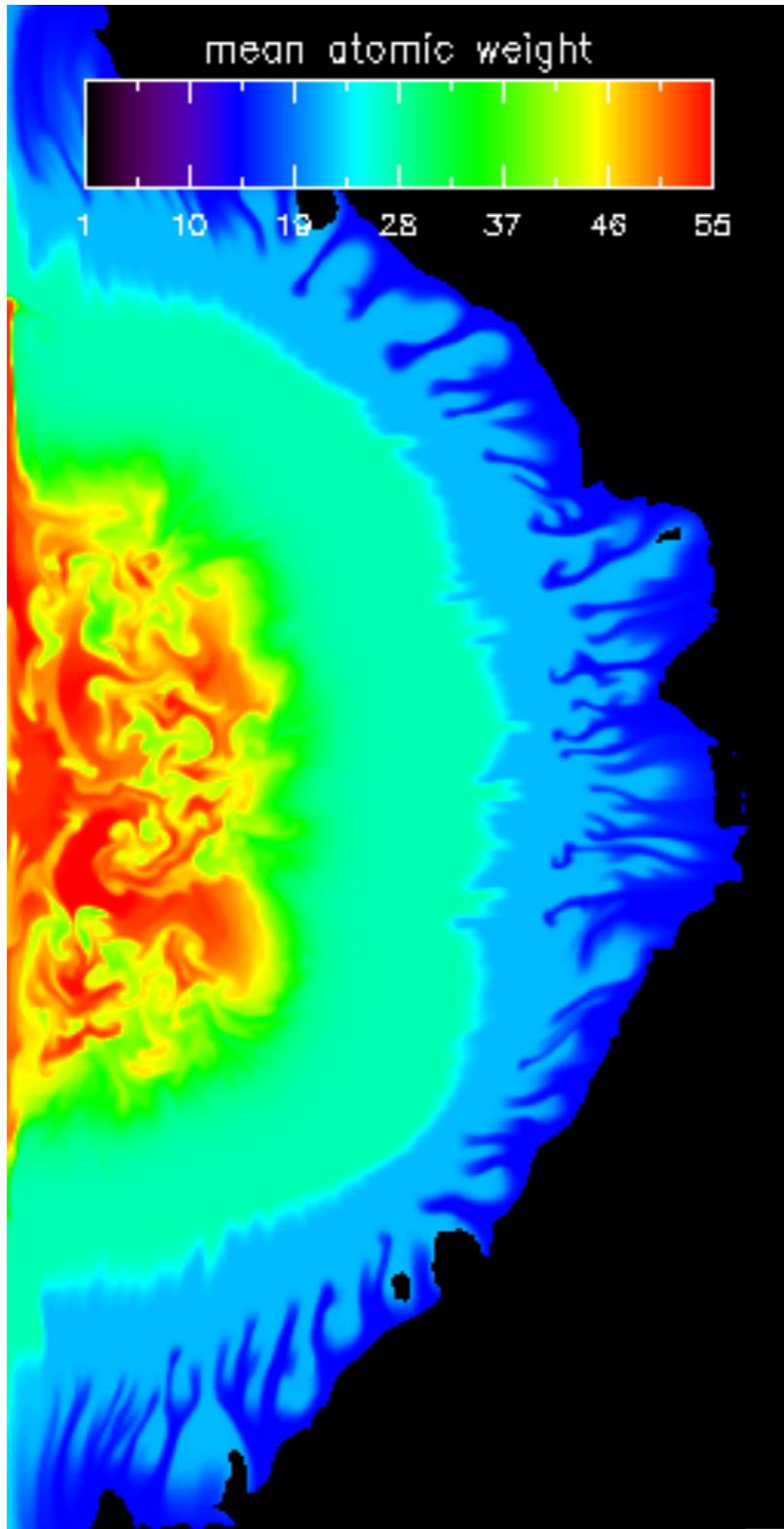
Simulações unidimensionais de detonações-atrasadas tiveram sucessos em reproduzir muitas características de SNIa:

- **Pró:** A combinação de dois regimes de ignição permite a síntese de elementos de massa intermediária, enquanto fornece a quantidade de energia necessária.
- **Pró:** Fornece as curvas de luz e velocidades de expansão fotosféricas esperadas.
- **Contra:** Mecanismo de condução para a transição deflagração-detonação.



Ropke, Kansen, Woosley

Modelo de deflagração em 2D



Ropke, Kansen, Woosley

Modelo de detonação-atrasada em 2D

Obrigado!

