### Probing mass loss at the end stages of massive star evolution

Groh+ 2013a, A&A 550, 7 Groh+ 2014, A&A 564, 30 Groh 2014, A&A 572, 11 Shivvers, Groh+ 2015, ApJ in press



Jose Groh (Geneva University, Switzerland)

### Collaborators

Georges Meynet + Sylvia Ekstrom (Geneva), Cyril G<mark>eorgy (Keele), Avishay Gal-Yam+Ofer Y</mark>aron+Eran Ofek (Weizmann), Isaac Shivvers + Jon Mauerhan + Ori Fox + Alex Filippenko (Berkeley), D. Leonard (SDiego)

#### NSNF

FONDS NATIONAL SUISSE Schweizerischer Nationalfonds Fondo Nazionale svizzero Swiss National Science Foundation

# Massive stars bridge many fields of (astro)Physics

### Star formation

- Chemical evolution
- Supernova, Black Holes, Neutron Stars
- Distant Universe (first stars, reionization, cosmology)
- Intergalactic, interstellar, circumstellar media
- High-energy physics, particle physics, ...
- Stellar evolution



### Massive star evolution is challenging



Advantage of SN progenitors: we know the evolutionary stage

# Spectroscopic phases: timescales of 60 Msun star



### 60 Msun at solar Z: mass loss is important at all times



Groh+ 2014, A&A 564, 30

# Pre-SN mass loss: SN IIn







### Palomar Transient Factory (PTF): monitoring the night sky (PI Kulkarni)



### Early-time observations of SNe ("infant SNe")

#### SN shock front propagates outwards at v ~ 10000 km/s.



### Now SN can be observed within a day of explosion

#### SN 2013cu: observations at 15.5h after explosion (Gal-Yam+ 14, Nature)



Strong emission line spectrum at 15.5h

### Now SN can be observed within a day of explosion

#### SN 2013cu: direct detection of a WR progenitor wind? (Gal-Yam+ 14, Nature)



## SN 2013cu progenitor: rad. transf. modeling

(Groh 14, A&A 572, 11)





CMFGEN model Lbol = 2e10 Lsun R\_shock = 1.4e14 cm Mdot =  $3 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ /yr Vel <= 100 km/s H/He~1 N enriched (10x solar)

# Which kind of star was the progenitor of 2013cu?

### Expected from theory or indirect observational constraints from SNe



# SN 2013cu progenitor: best matched by an LBV

(Groh 14, A&A 572, 11)

НВ He ≡ Flux (erg/s/cm<sup>2</sup>/Angstrom) 1.5•10<sup>-16</sup> **CMFGEN model** Mdot ~ 10<sup>-3</sup> M⊙/yr 1.0.10-16 Vel < 100 km/s H/He~1 **N** enriched 5.0.10-17 Dense 1.10-18 Wind 8•10<sup>-19</sup> <sup>-</sup>lux (erg/s/cm^2/Angstrom) SN 6•10<sup>-19</sup> Shoc Fell Fell Fell 4·10<sup>-19</sup> 2·10<sup>-19</sup>



### Progenitor wind is illuminated by SN photons (Groh 14, A&A 572, 11)



# **Prospects for UV spectroscopy with HST**

Allows to directly measure SN metallicities Target of Opportunity program waiting for trigger (PI Gal-Yam)



(Groh 14, A&A 572, 11)

# SN 1998S: also not a WR progenitor

# Early observations of a SN IIn (2 days after detection) Most likely LBV/YHG; perhaps a RSG



Shivvers, Groh+ 2015, ApJ in press (arXiv1408:1404)

# What I learned from Olivier Chesneau

### I) Have the broad picture and implications in mind



### 2) Don't be overparanoid about your work

Olivier Chesneau 🖉		24 Mar 2010 14:40
To: Adriane Liermann		Hide Details
Cc: Florentin Millour, Anthony Meilland <meilland@mpifr-bonn.mpg.d< th=""><th>le&gt;, Jose Henrique Groh</th><th>1</th></meilland@mpifr-bonn.mpg.d<>	le>, Jose Henrique Groh	1
Re: proposal		

#### Dear Adriane,

This is not an easy proposal. In spite of sending you many comments, I will do something less official: I send you a similar proposal on Zeta Puppis that never got granted any time...Please, keep this proposal for your eduction only. However, don't hesitate to do some cut&paste for good sentences.

As you know, we have been successful in monitoring Rigel which is much bigger and brighter.

I wish you a good and informative reading,

Olivier

# What I learned from Olivier Chesneau

### 3) Be supportive and motivate young people

ier Chesneau	17 Apr 2009 11:08	
livier Chesneau	25 Sep 2009 14:26	
Olivier Chesneau 🖉	29 Mar 2010 11:38	
Olivier Chesneau	3 Jun 2010 11:44	
( Olivier Chesneau	29 May 2013 14:59 Hide Details	
Re: paper on core-collapse SN progenitors	Groh SN progenitor spectra	
E curve that confirm beautifully the interferometric observations!	vere able to perform an independent fitting of the light	
	13 Mar 2014 09:1	
To: Jose Groh	Hide Detai	
C <sup>I</sup> Re: ESO press release on yellow hypergiant paper (Chesneau et al.)	YHG Olivier Chesneau	
C (		
funny indeed!		

# HR 5171A in the Brazilian press

#### Maior estrela amarela até o momento tem 1.300 vezes o tamanho do Sol

O Observatório Europeu Austral (ESO) identificou a maior estrela amarela -com mais de 1,3 mil vezes o diâmetro do Sol-, o que a transforma em uma das dez maiores estrelas detectadas até o momento, informou nesta quarta-feira (12) este centro em comunicado.

Esta estrela hipergigante, detectada com o interferômetro do telescópio VLT (Very Large Telescope) do observatório da cote D'Azur em Nice, França, faz parte de um sistema composto por duas estrelas, onde a segunda, de menor tamanho, se encontra em contato com a hipergigante.



As pesquisas da HR 5171 A (1), como se conhece formalmente a estrela amarela, foram realizadas durante 60 anos, algumas vezes inclusive por amadores, e indicam que este estranho objeto, maior do que o esperado, muda muito rápido e foi detectado em uma fase muito breve e instável de sua vida.

Devido a esta instabilidade, as hipergigantes amarelas expelem material para o exterior, formando uma atmosfera grande e estendida ao redor da estrela.

Essa nova descoberta a transforma assim na maior estrela amarela conhecida e entra na lista das dez maiores estrelas, com 50% a mais de tamanho que a famosa supergigante vermelha Betelgeuse e ao redor de 1 milhão de vezes mais brilhante que o Sol.

Os astrônomos utilizaram na pesquisa uma técnica chamada interferometria que combina a luz recolhida por múltiplos telescópios individuais, recriando um telescópio gigante de mais de 140 metros de tamanho.

"As novas observações também mostraram que esta estrela tem uma companheira muito próxima, formando um sistema binário que nos surpreendeu", descreveu hoje em comunicado Olivier Chesneau, líder da equipe internacional de colaboradores da pesquisa.

A estrela pequena, que orbita a hipergigante a cada 1,3 mil dias "pode influenciar no destino da HR 5171 A, por exemplo, fazendo com que expulse suas camadas exteriores e modificando sua evolução", acrescentou Chesneau.

As amarelas hipergigantes são muito pouco usuais. Só são conhecidas cerca de 12 em nossa galáxia, e apesar da grande distância que a separa da Terra (perto de 12 mil anos luz), o objeto pode ser visto a olho nu aguçando a vista.

Além disso, foi observado que a HR 5171 A foi ficando maior e enfriou nos últimos 40 anos, e sua evolução foi captada em pleno processo, algo que foi conseguido com poucas estrelas e pode ajudar a compreender os processos evolutivos das estrelas maciças em geral.



Veja turistas espaciais famosos 14 fotos

Um leilão beneficente da amfAR arrecadou 1,2 milhão de euros (cerca de R\$ 3,378 milhões) ao promover uma viagem espacial ao lado de Leonardo DiCaprio (foto). O russo Vasily Klyukin e um casal vão passar três dias em treinamento com o ator no México antes da decolagem - o quarteto está entre as primeiras mil pessoas a participar do voo da Virgin Galactic, garantiu a amfAr Leia mais lan Langsdon/Efe

### 4) Have fun!

# Take-home messages

Mass loss significantly affects the evolution of massive stars; however Mdot is largely uncertain at all phases (specially post-MS)

2. Desperately need theoretical RSG and WR mass loss rates

1

Early time spectra of SN: constraints on progenitor nature via
Mdot, vinf, and chemical abundances