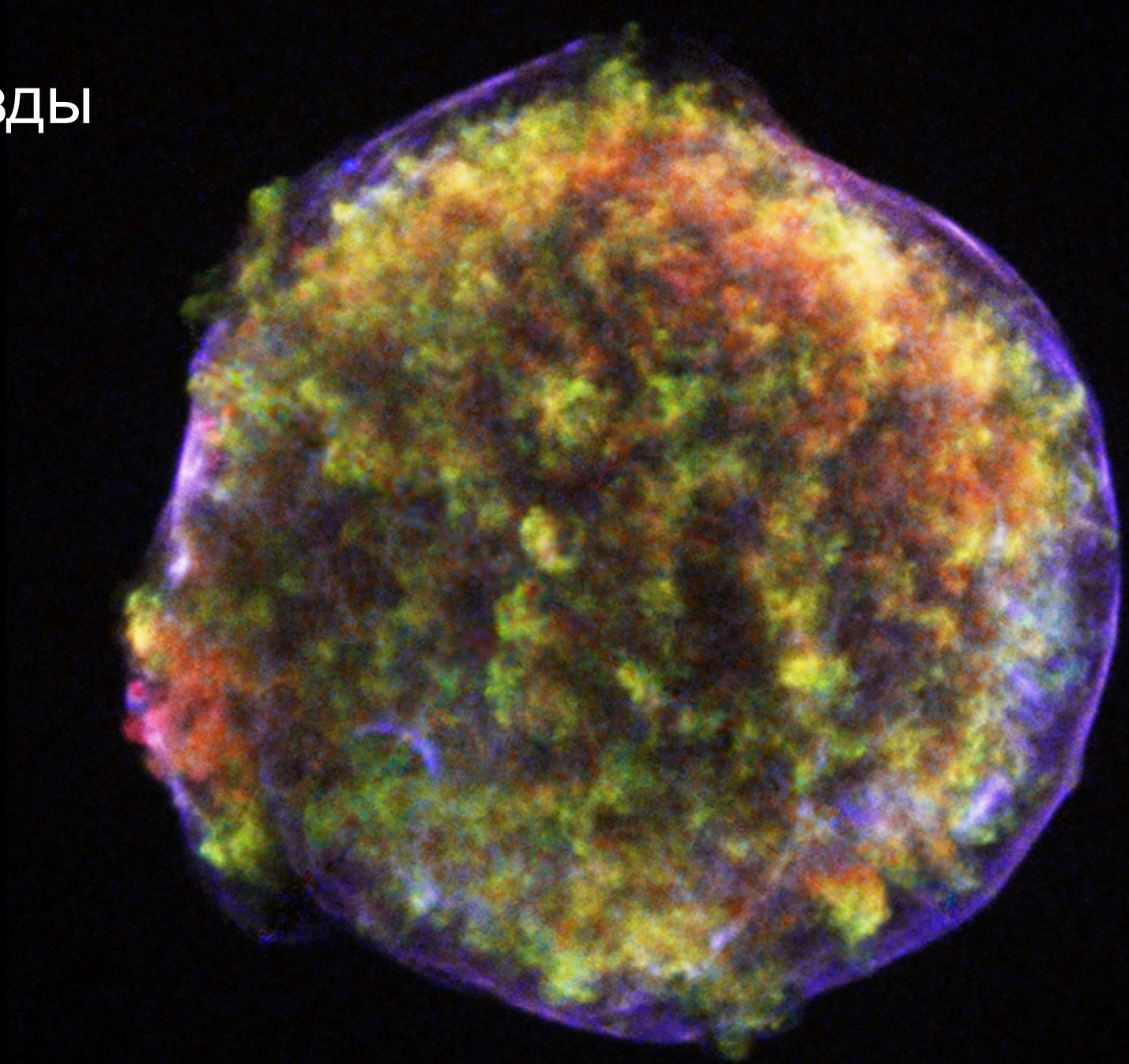


Сверхновые звезды

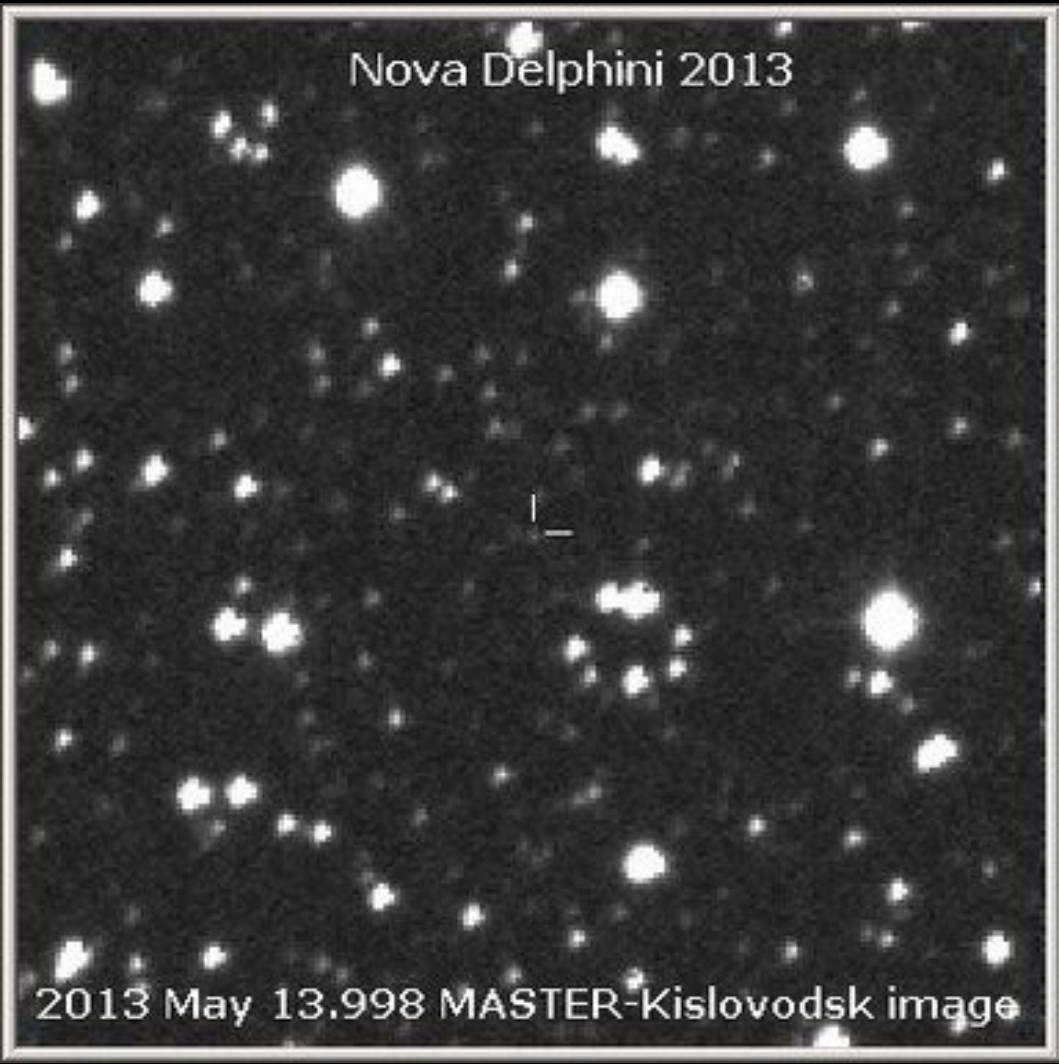
А.Н. Баушев
ЛТФ ОИЯИ

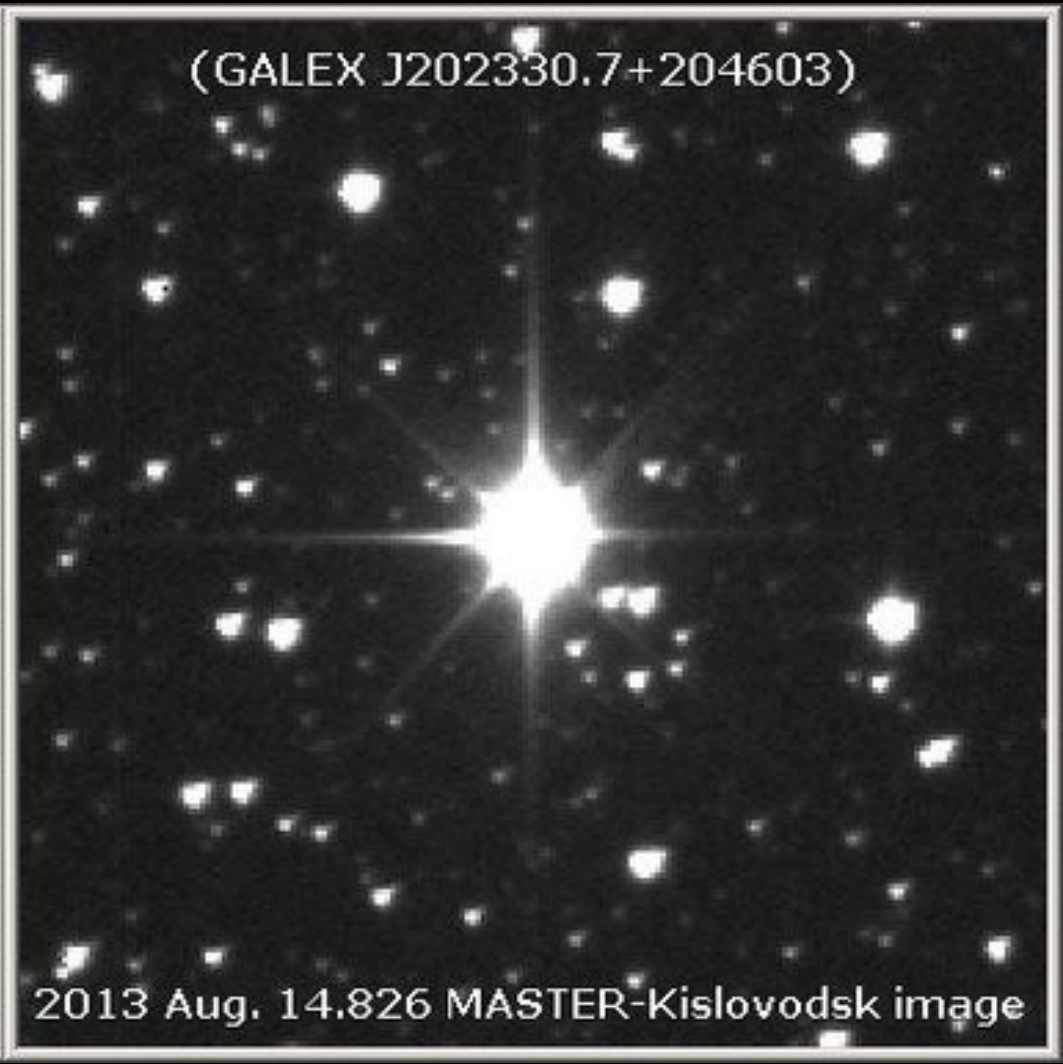
Новые звезды



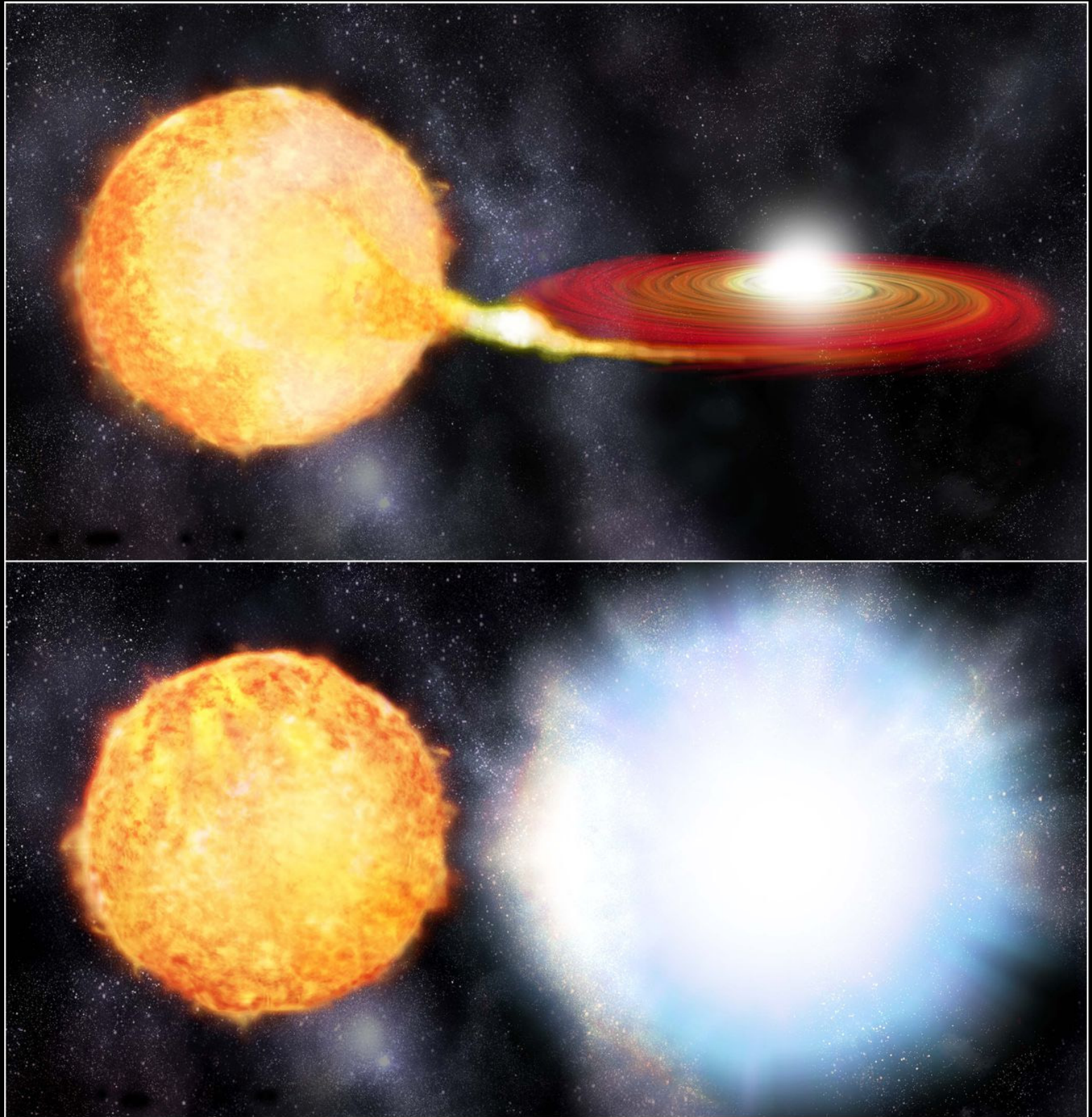
Тихо Браге, 1572, "De nova et nullius aevi memoria prius visa stella"

Новые звезды



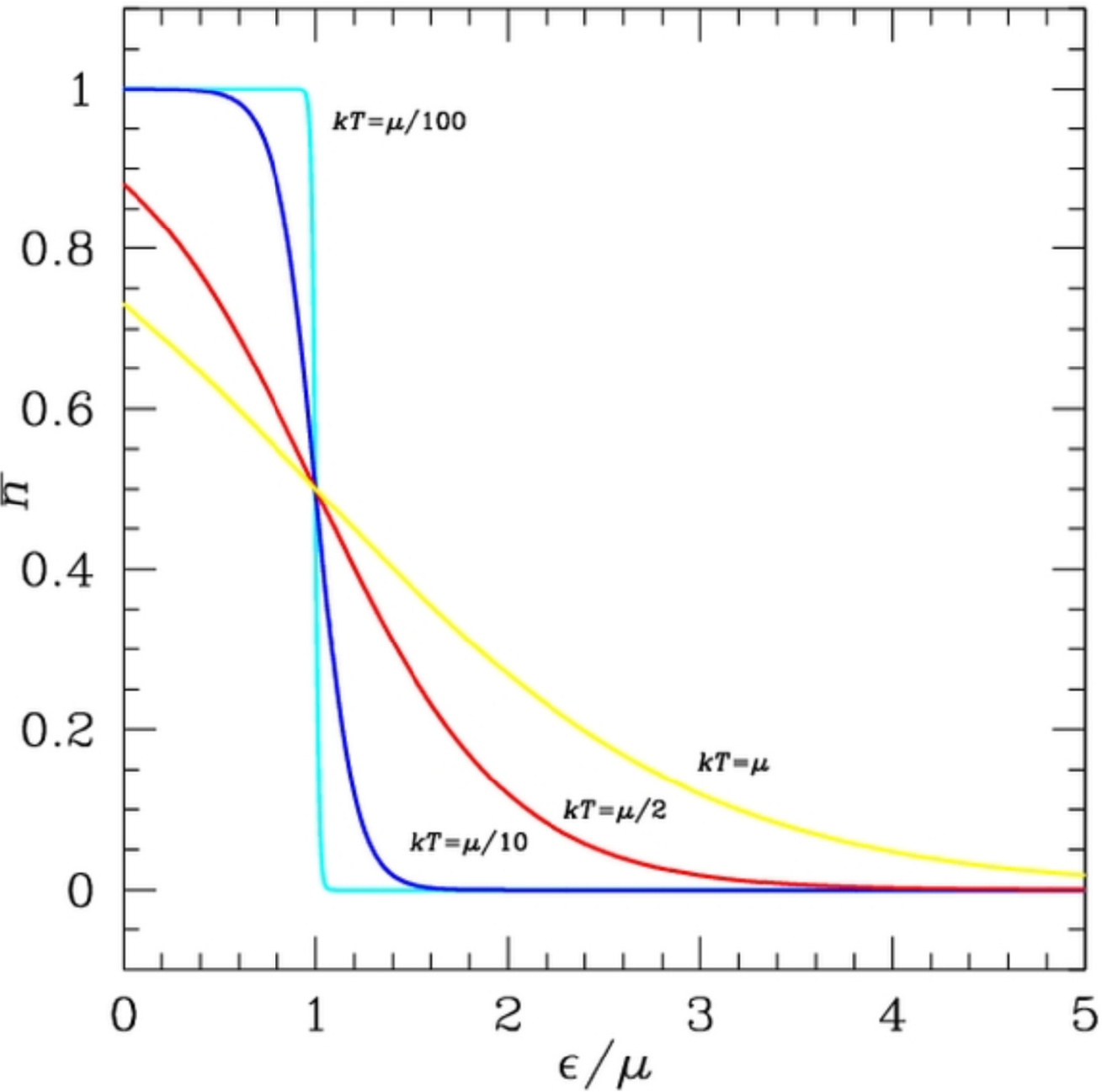


	Новые	Сверхновые
Максимальная яркость	10 000 – 100 000 солнечной	~ 1000 000 000 солнечной
Энергия вспышки	10^{47} эрг	10^{51} эрг
Частота возникновения в Млечном Пути	~ 10 раз в год	~ раз в 60 лет



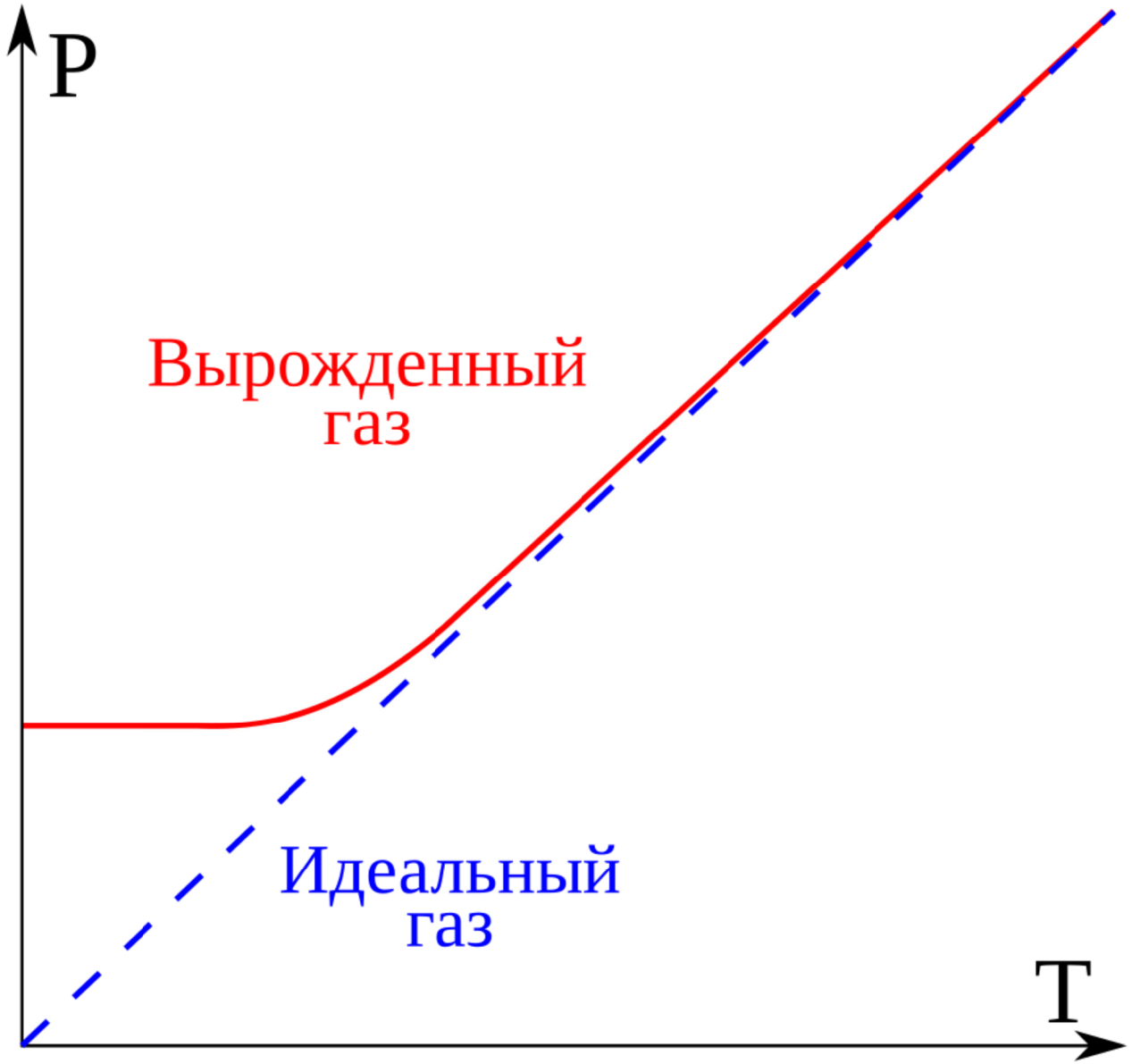
Вырожденный ферми-газ

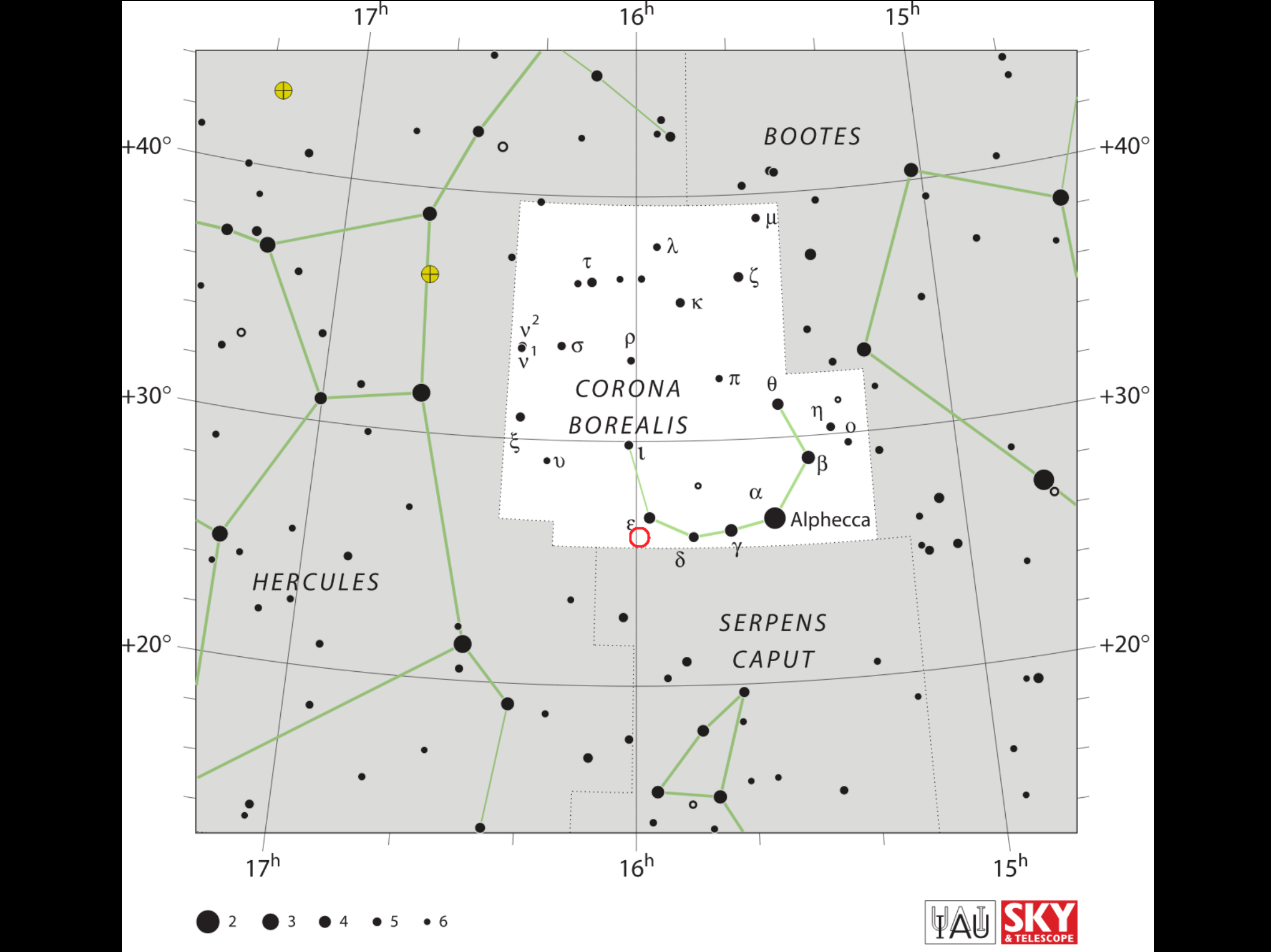
$$F(\varepsilon, T) = \frac{1}{\exp\left(\frac{\varepsilon - E_F}{kT}\right) + 1}.$$



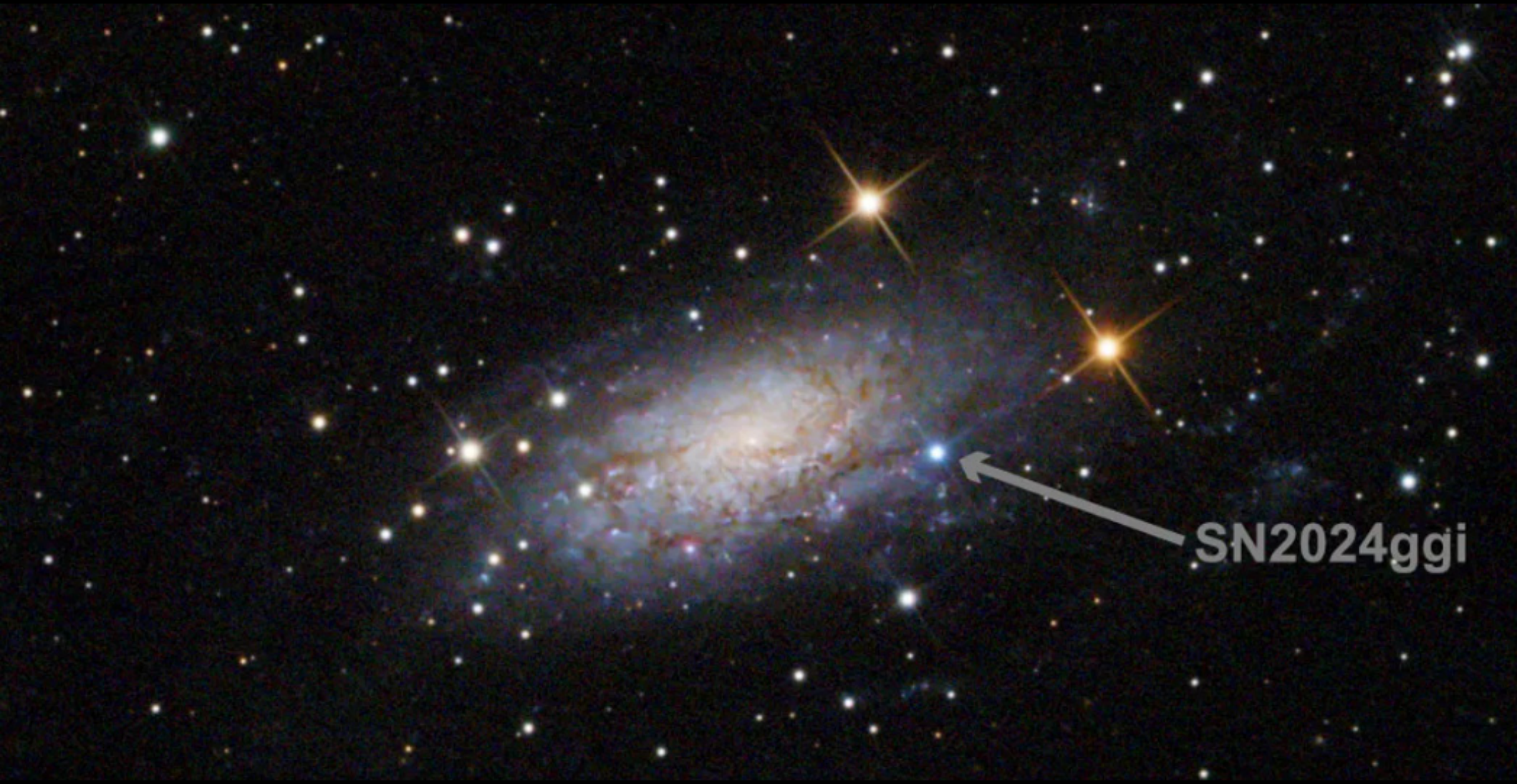
$$P \sim K\rho^{5/3}$$

Вырожденный ферми-газ




17h
16h
15h
+40°
+30°
+20°
BOOTES
CORONA
BOREALIS
HERCULES
SERPENS
CAPUT
Alphecca
μ
λ
τ
ζ
κ
ν2
ν1
σ
ρ
π
θ
η
ο
ξ
υ
ι
β
α
ε
δ
γ
2
3
4
5
6
IAU
SKY
& TELESCOPE

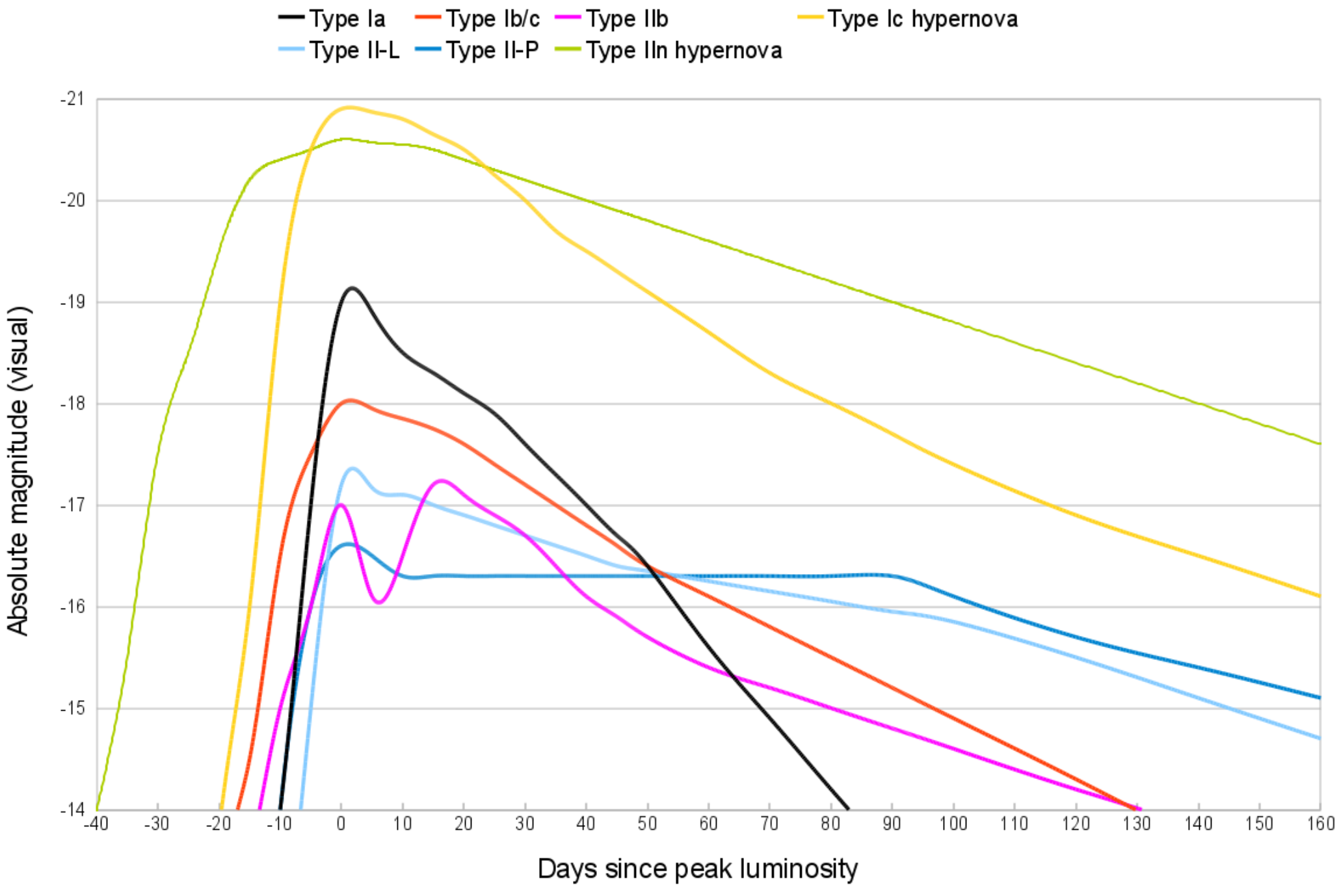
Сверховые звезды



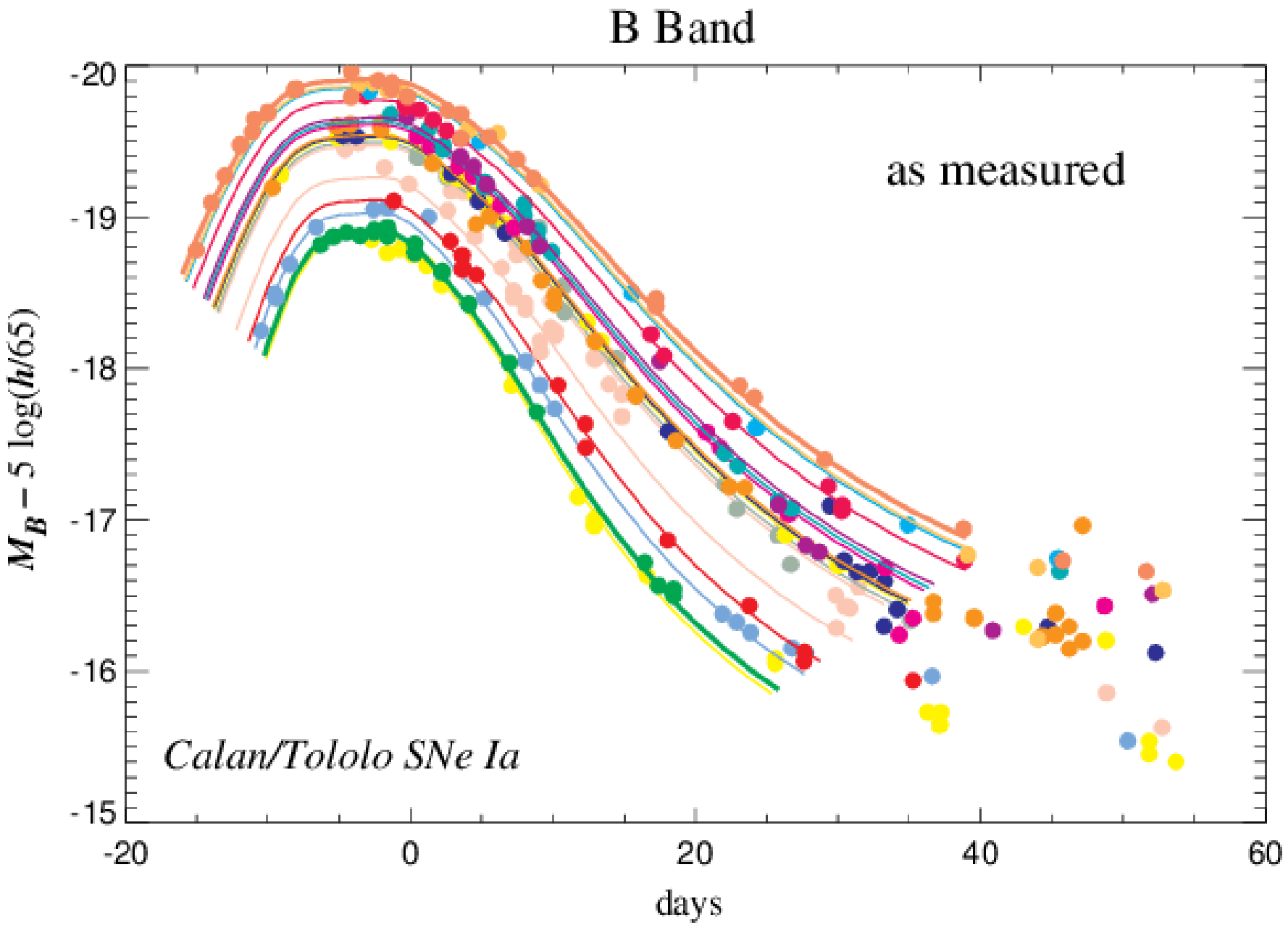
Сверховые звезды

	Ia	Ib	Ic	II
Линии водорода	Нет			Есть
Характерная особенность	Сильные линии кремния	Есть линии гелия	Нет линий гелия	
Кривые блеска	Сходные			Разнообразные
Механизм	Термоядерный взрыв	Коллапс ядра		

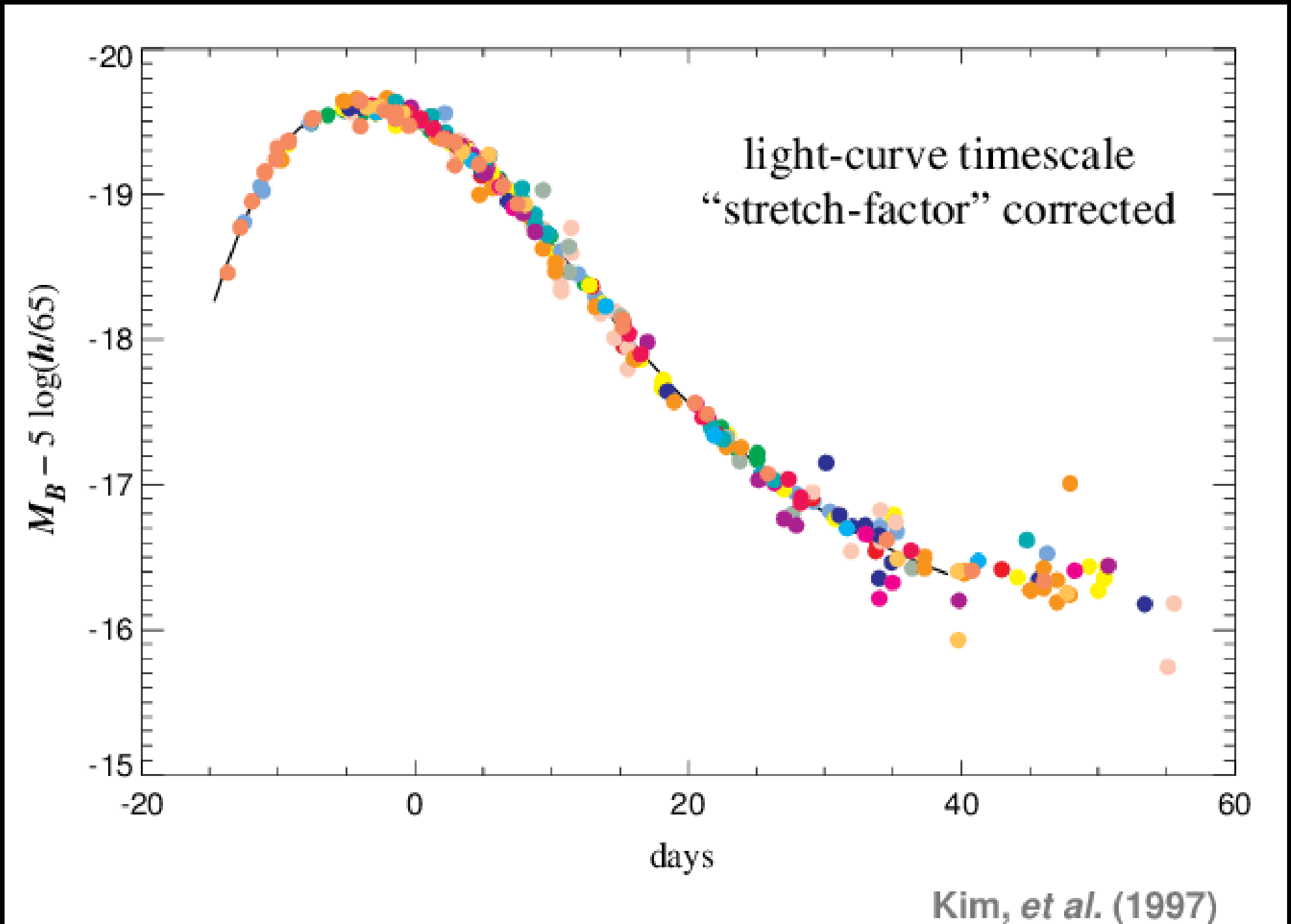
Кривые блеска



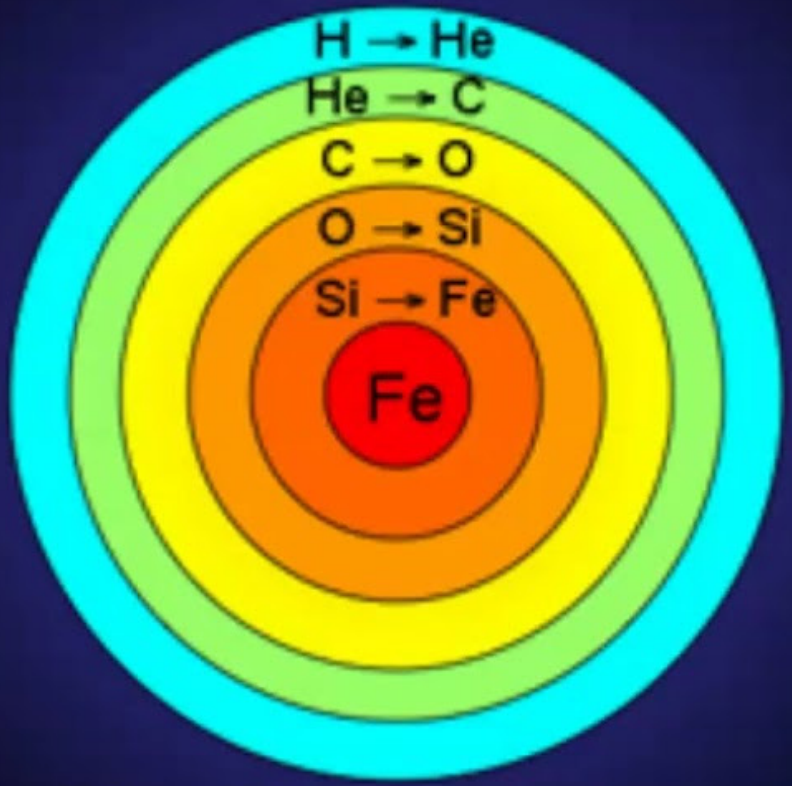
Сверховые типа Ia как стандартная свеча



Сверховые типа Ia как стандартная свеча



Astrophysical Journal, Vol. 225, p. 1021-1029 (1978)



Big Star

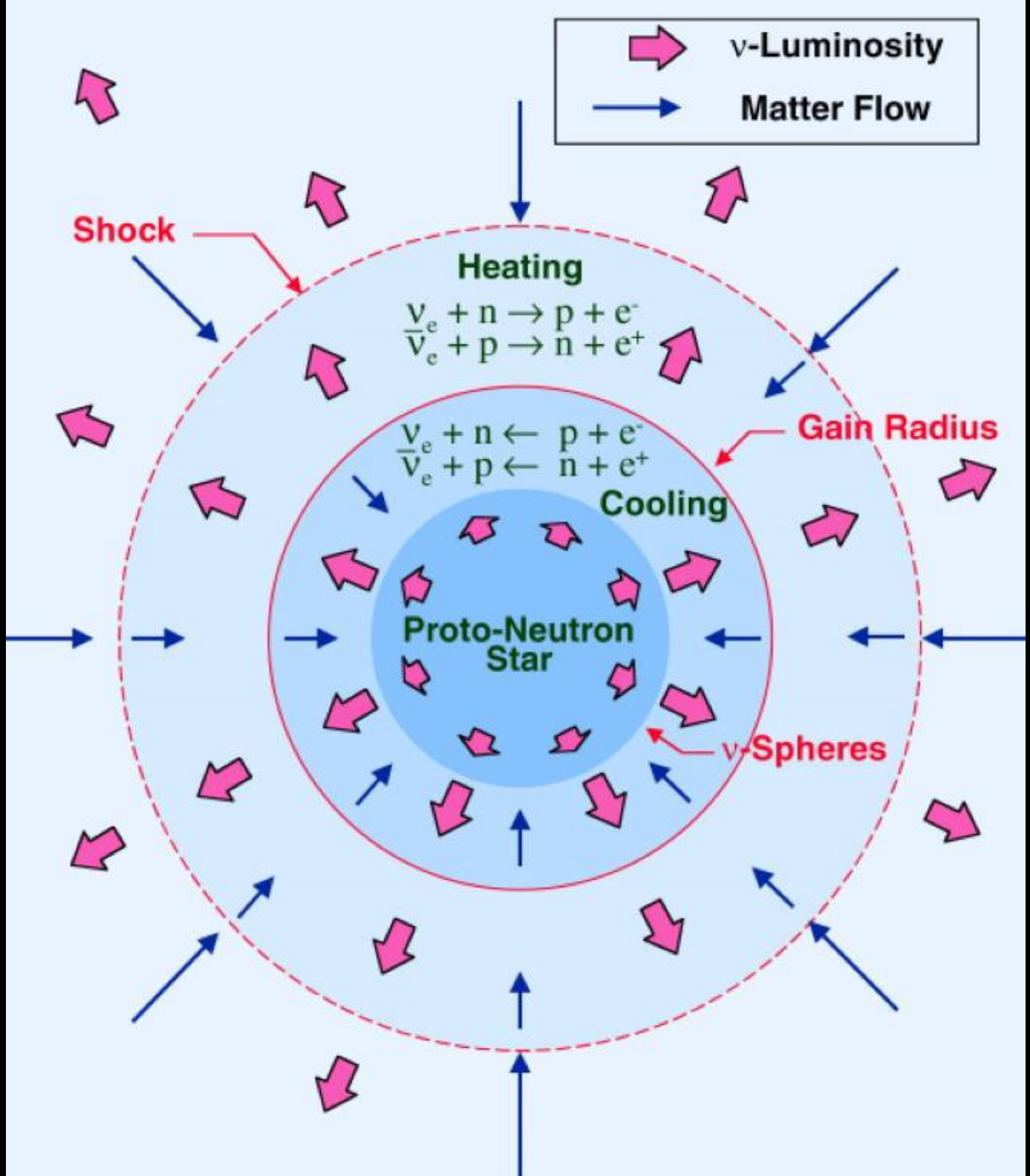
For a 25 solar mass star:

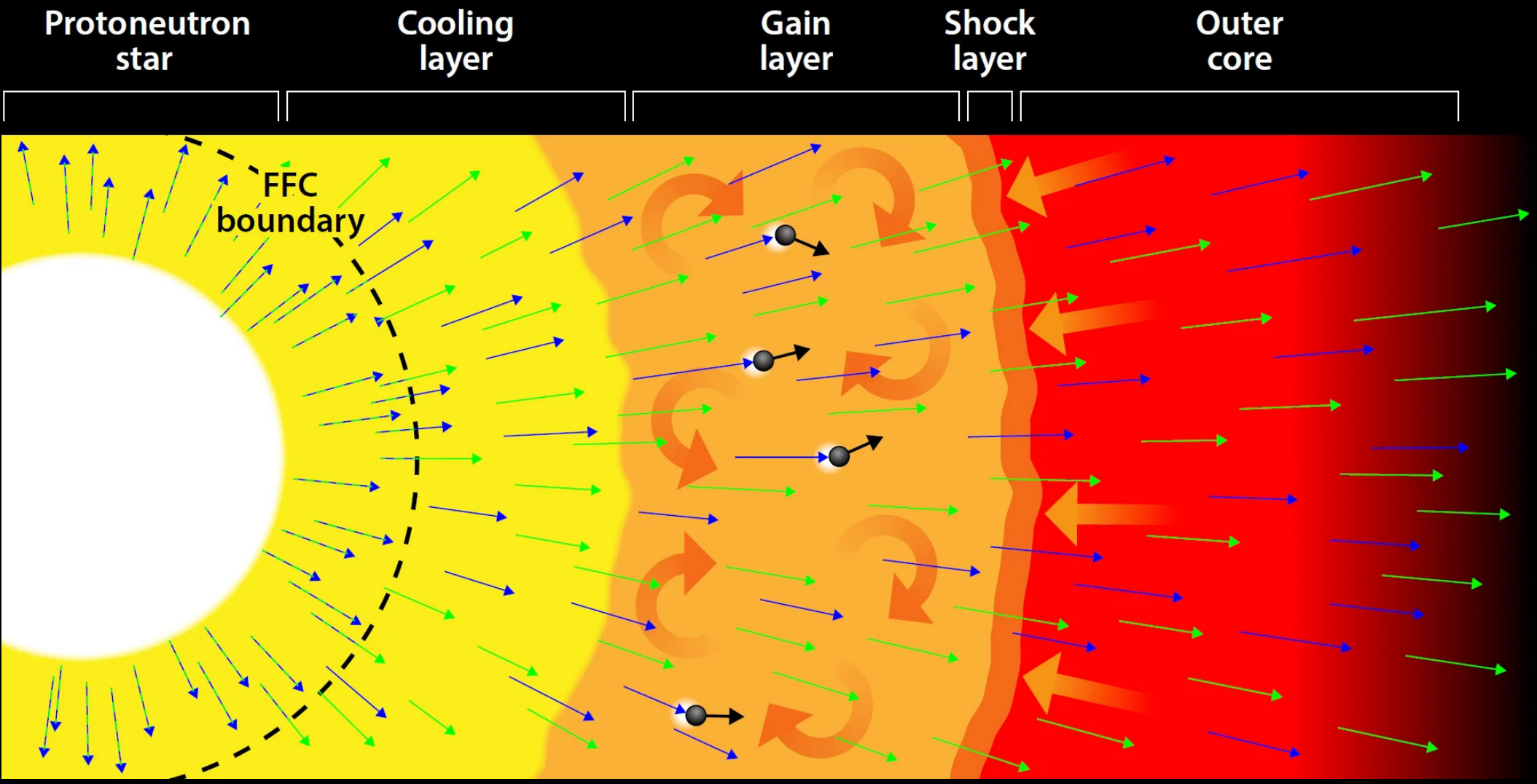
Stage	Duration
H → He	7×10^6 years
He → C	7×10^5 years
C → O	600 years
O → Si	6 months
Si → Fe	1 day
Core Collapse	1/4 second

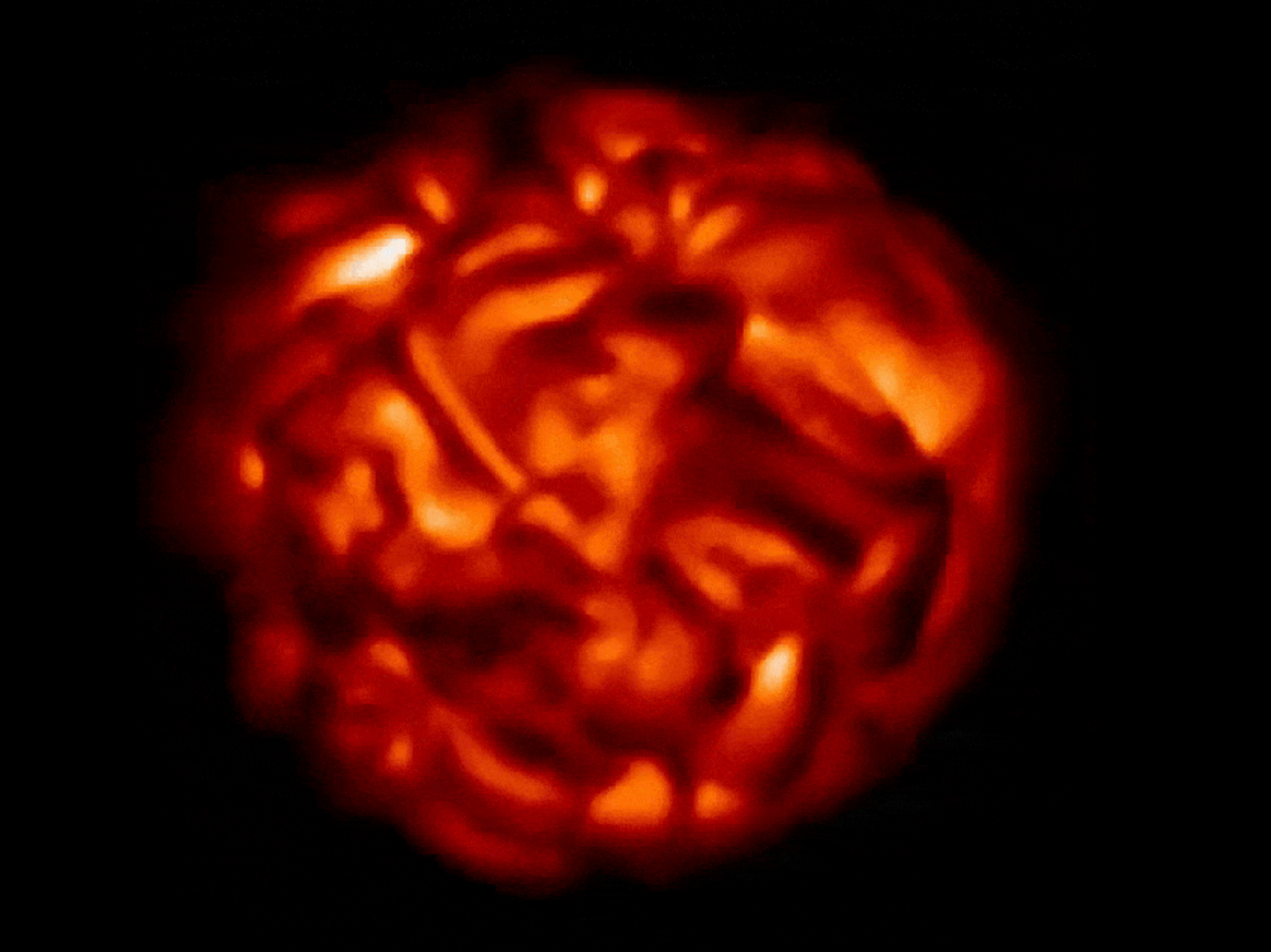
TABLE 1

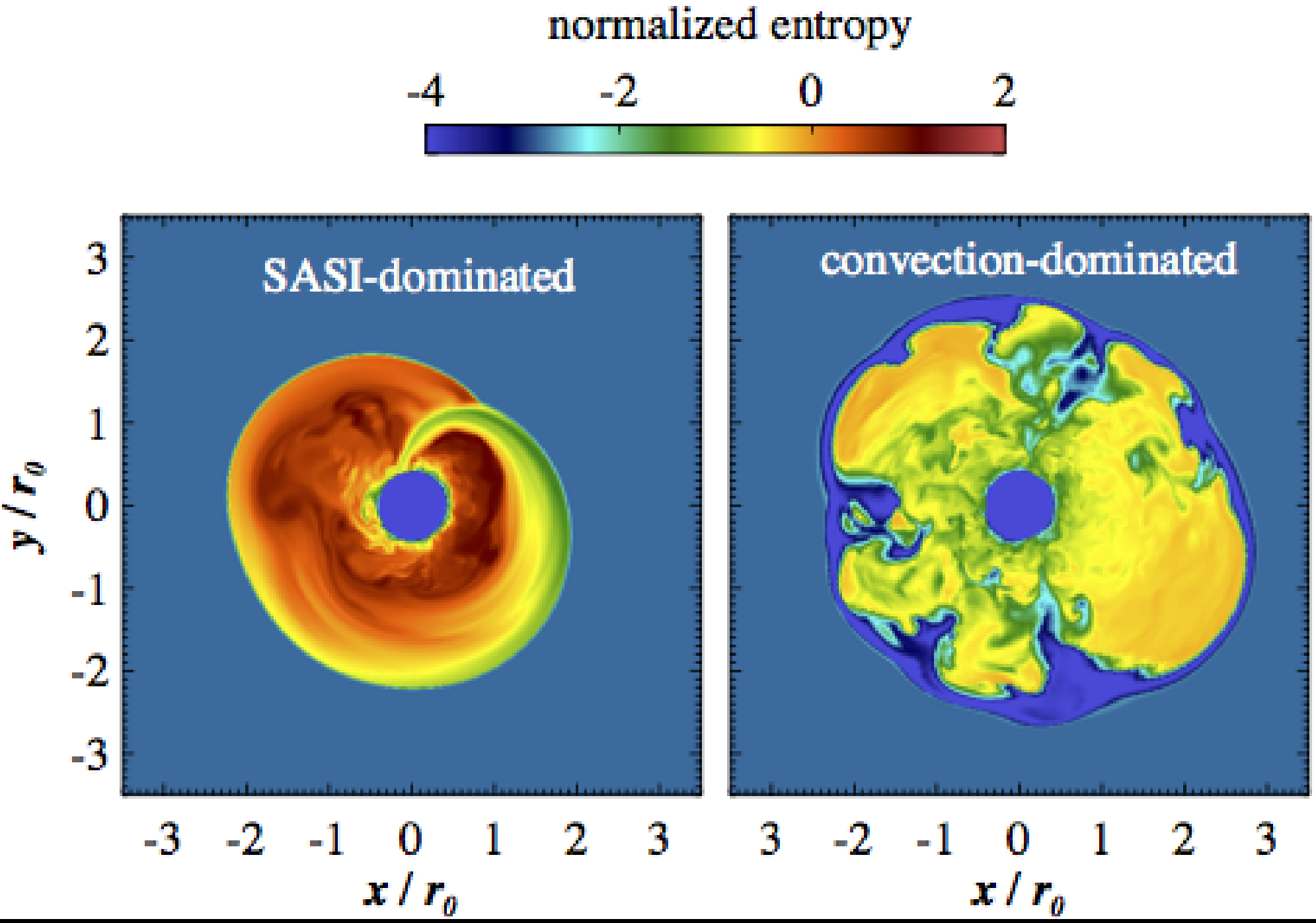
MAJOR NUCLEAR BURNING STAGES FOR 15 AND 25 $M_\odot$ POPULATION I STARS*

Burning Stage	Central Temperature (K)	Central Density (g cm^{-3})	Neutrino Luminosity† (erg s^{-1})	Optical Luminosity (erg s^{-1})	Effective Temperature (K)	Photospheric Radius (cm)	Time Scale (s)
Hydrogen	3.4 (7)	5.9 (0)	----	8.1 (37)	3.26 (4)	3.2 (11)	3.9 (14)
	3.7 (7)	3.8 (0)	----	3.1 (38)	3.98 (4)	4.2 (11)	2.3 (14)
Helium	1.6 (8)	1.3 (3)	3.9 (33)	2.3 (38)	1.59 (4)	2.2 (12)	4.2 (13)
	1.8 (8)	6.2 (2)	7.3 (34)	9.5 (38)	1.58 (4)	4.7 (12)	2.1 (13)
Carbon	6.2 (8)	1.7 (5)	3.4 (38)	3.3 (38)	4.26 (3)	3.7 (13)	2.0 (11)
	7.2 (8)	6.4 (5)	1.0 (40)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	5.2 (9)
Neon	1.3 (9)	1.6 (7)	6.7 (41)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	2.2 (8)
	1.4 (9)	3.7 (6)	7.8 (42)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	3.9 (7)
Oxygen	1.9 (9)	9.7 (6)	7.9 (42)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	5.5 (7)
	1.8 (9)	1.3 (7)	2.3 (43)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	1.6 (7)
Silicon	3.1 (9)	2.3 (8)	3.4 (44)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	5.2 (5)
	3.4 (9)	1.1 (8)	3.8 (45)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	1.2 (5)
Collapse	8.3 (9)	6.0 (9)	6.8 (48)	3.7 (38)	4.28 (3)	3.9 (13)	3.0 (-1)
	8.3 (9)	3.5 (9)	8.1 (48)	1.2 (39)	4.36 (3)	6.7 (13)	3.5 (-1)

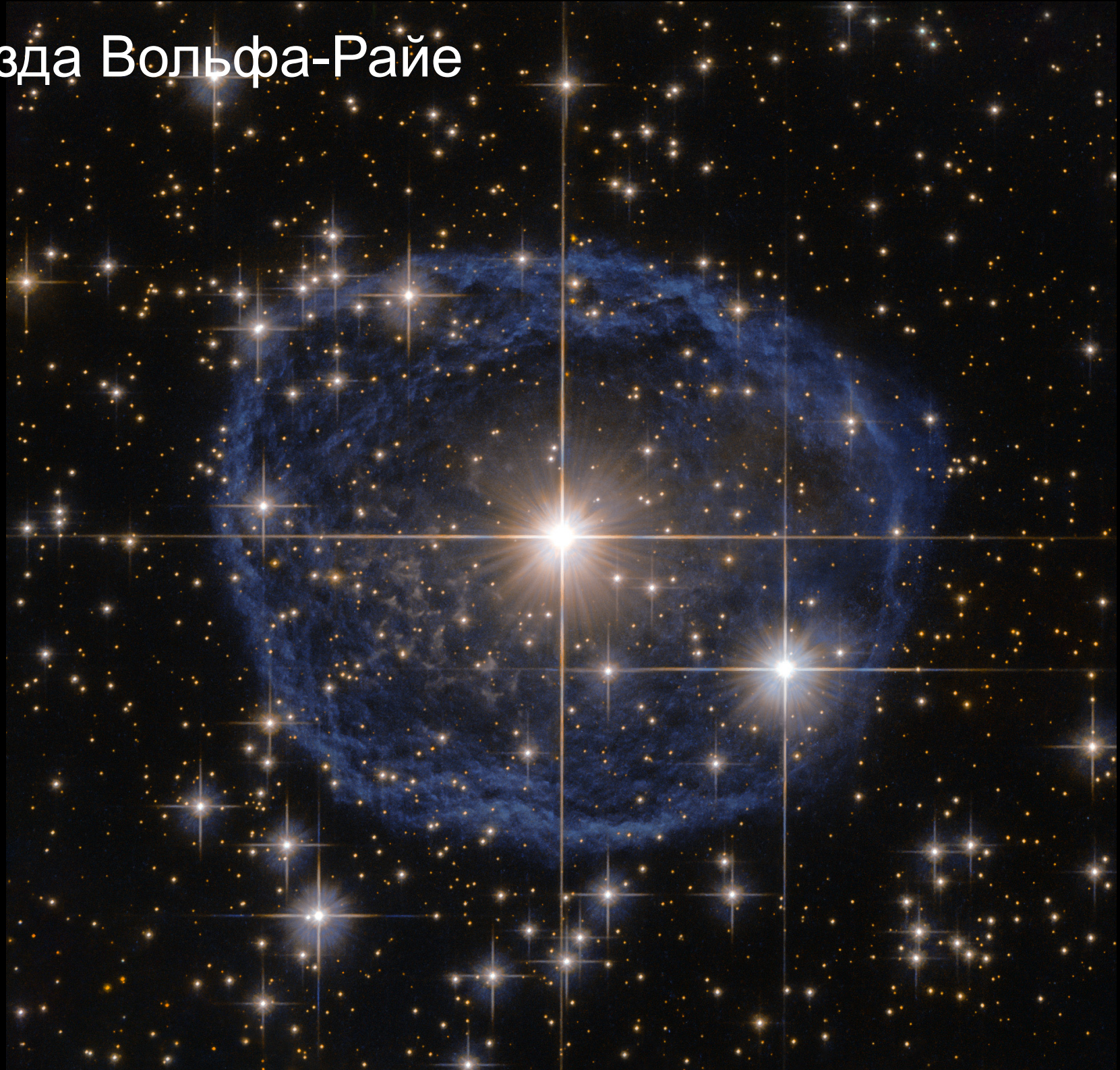

ν-Luminosity
Matter Flow
Shock
Heating
$\nu_e + n \rightarrow p + e^-$
$\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$
Gain Radius
$\nu_e + n \leftarrow p + e^-$
$\bar{\nu}_e + p \leftarrow n + e^+$
Cooling
Proto-Neutron Star
ν-Spheres


Protoneutron star
Cooling layer
Gain layer
Shock layer
Outer core
FFC boundary

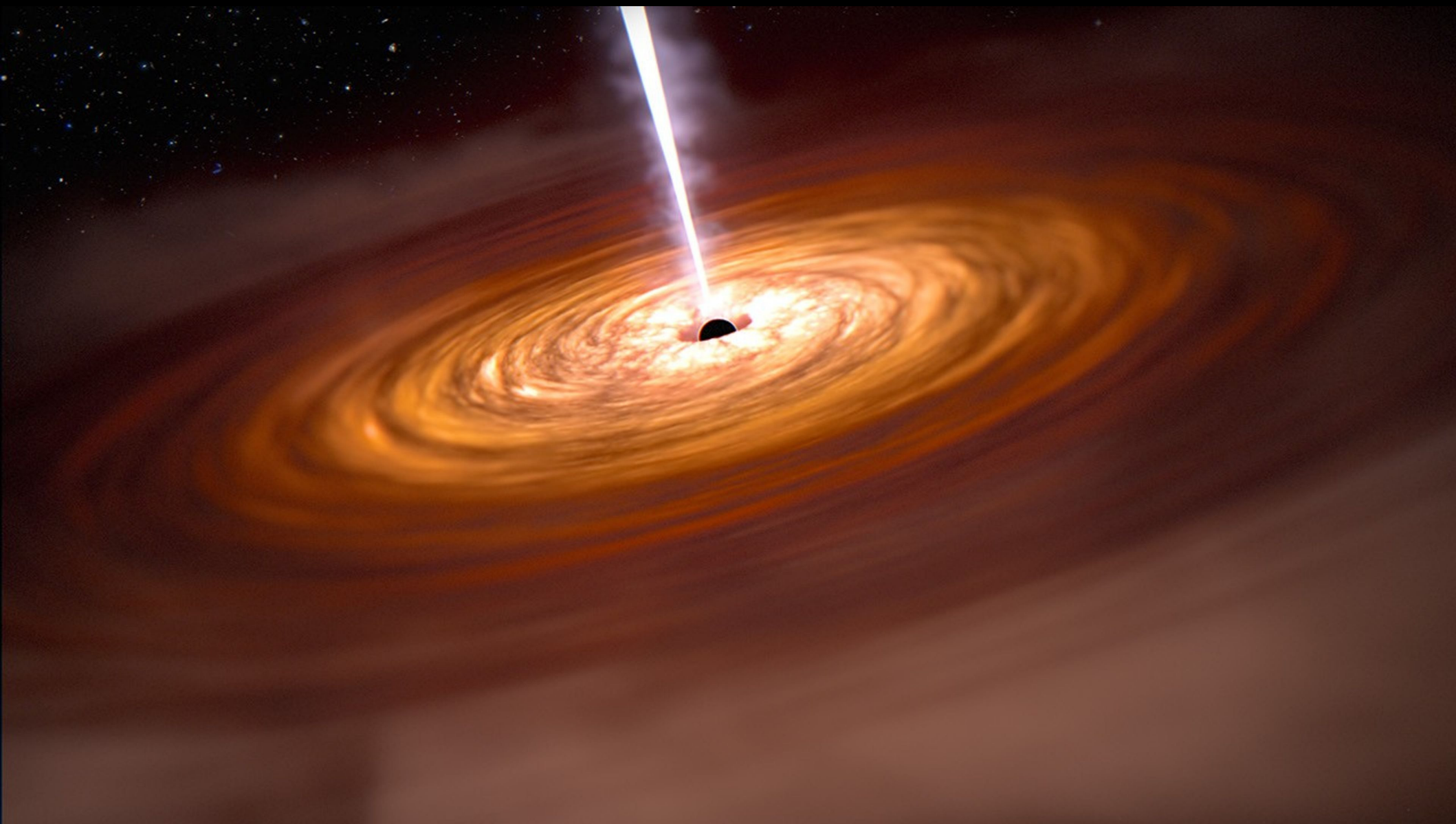



normalized entropy
-4
-2
0
2
SASI-dominated
convection-dominated
3
2
1
0
-1
-2
-3
y / r0
-3 -2 -1 0 1 2 3
x / r0
3 -2 -1 0 1 2 3
x / r0

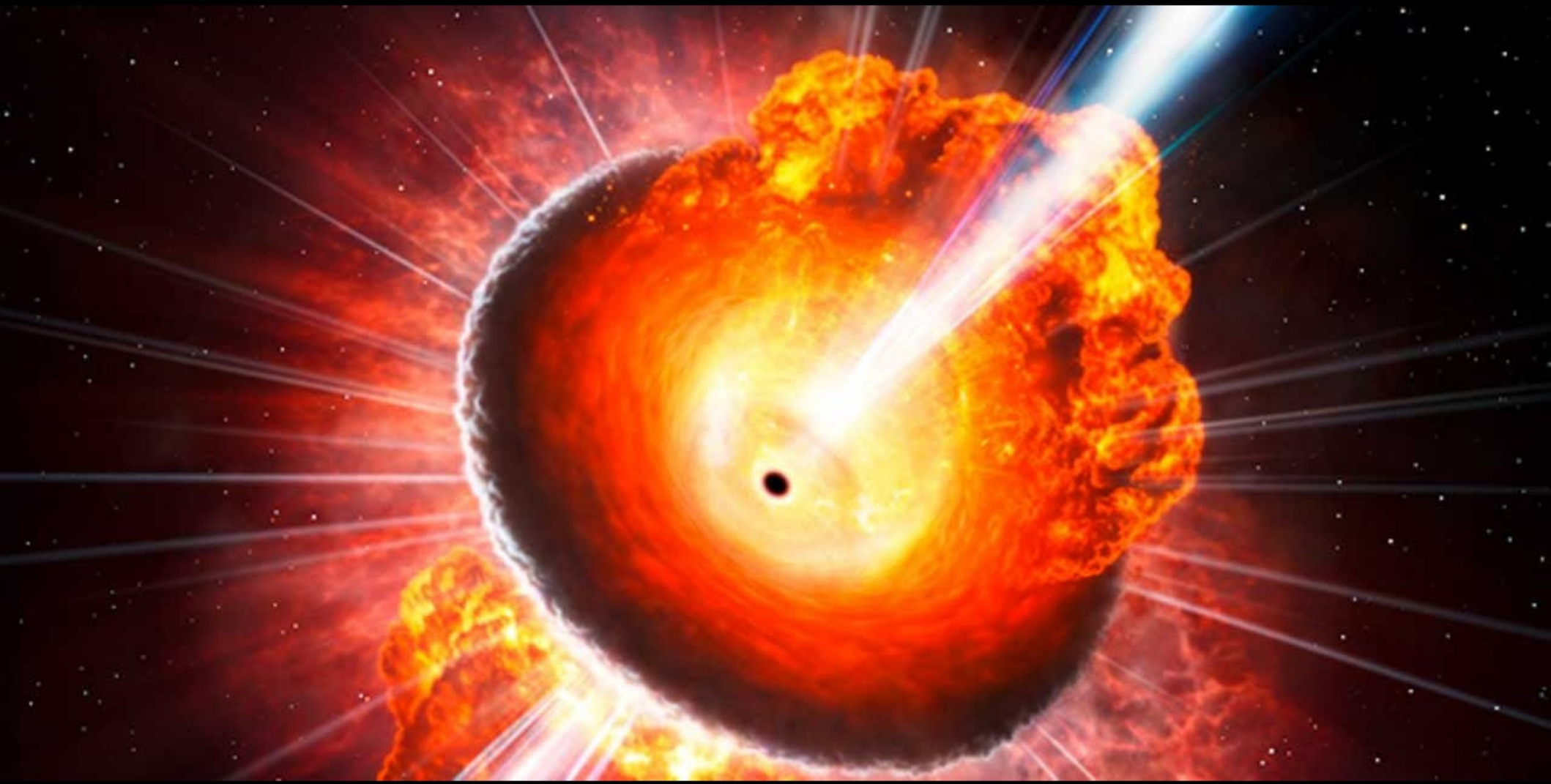
Звезда Вольфа-Райе



Гиперновые звезды



Гиперновые звезды

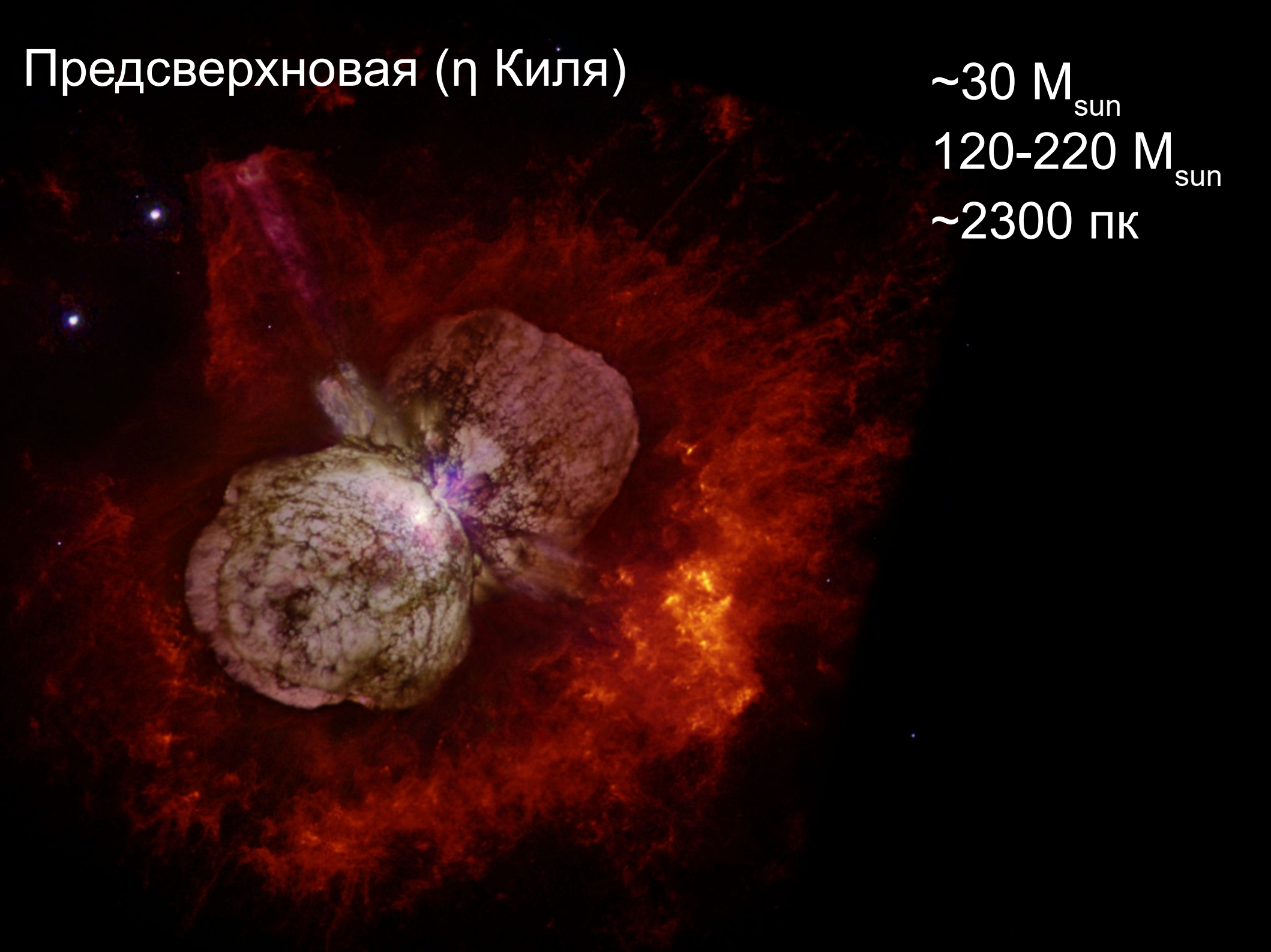


Предсверхновая (Бетельгейзе)

16.5-19 M_{sun}

~170 пк




Предсверхновая (η Киля)
~30 M_{sun}
120-220 M_{sun}
~2300 пк

Происхождение элементов



Слияние нейтронных звёзд

Гибель звёзд малой массы

Взрыв массивных звёзд

Взрыв белых карликов

Большой Взрыв

Космическое излучение