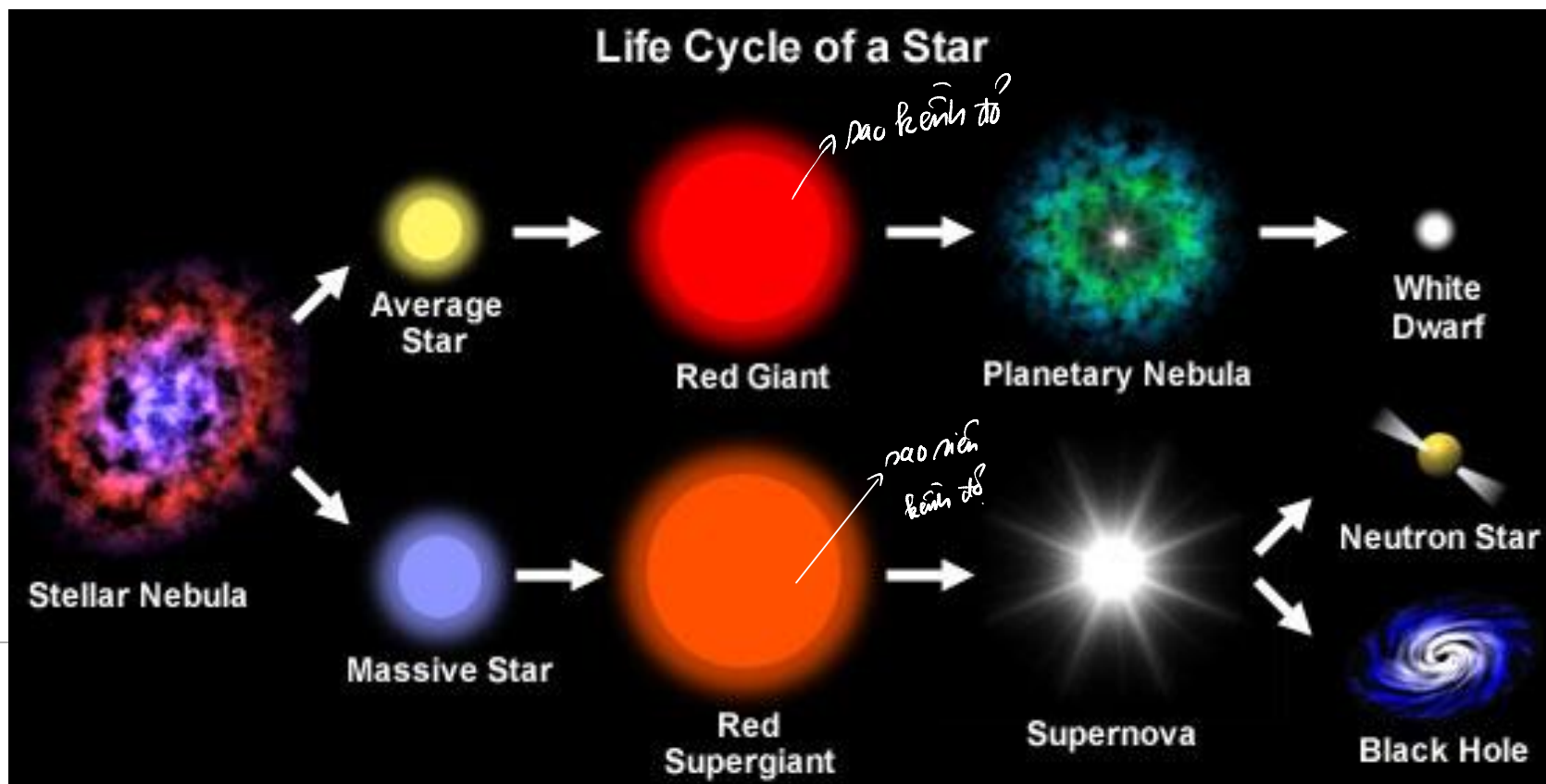


## Bài 6.2: Sự hình thành và phát triển của sao



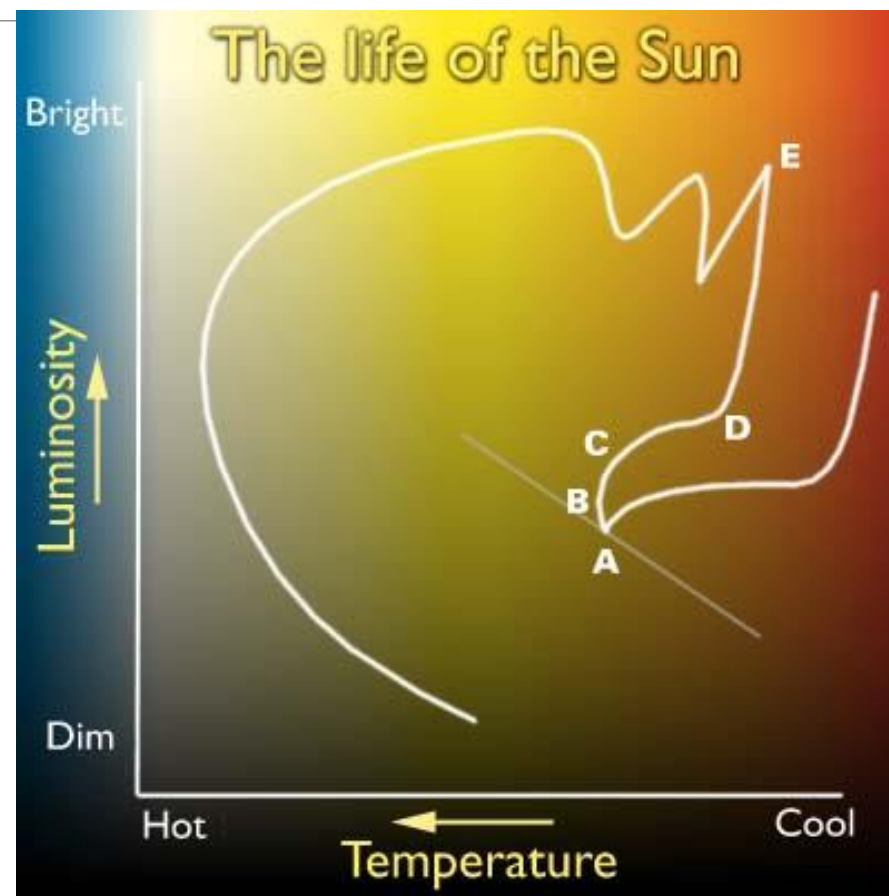
Giảng viên: TS. Nguyễn Nhật Kim Ngân

Email: nnkngan@hcmus.edu.vn

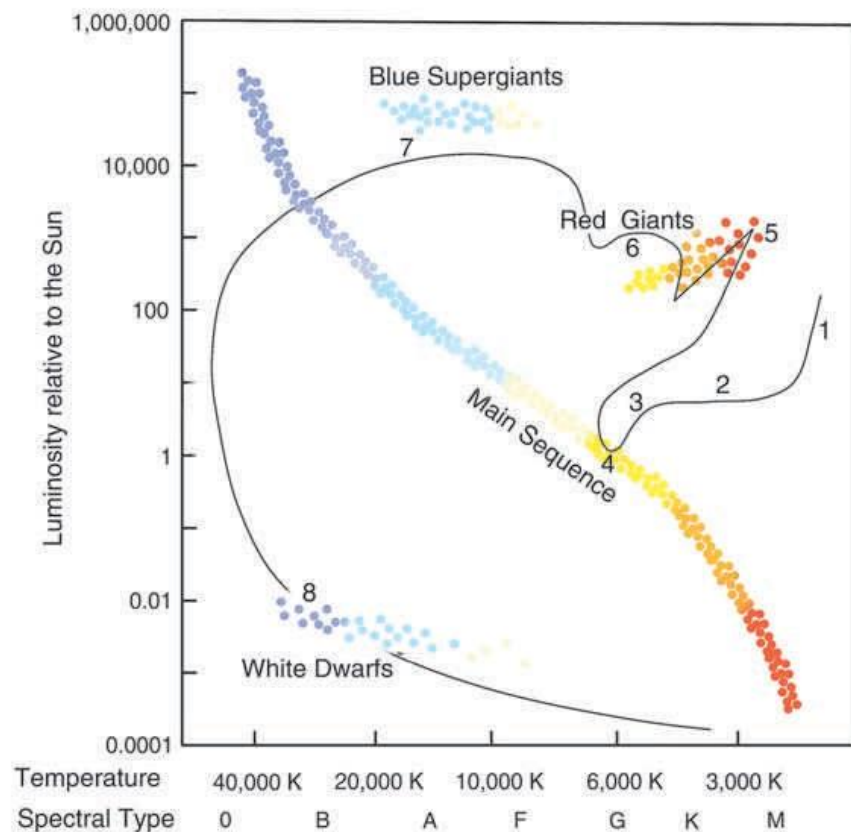
Văn phòng: B34, Vật lý Địa cầu,  
Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật

# 1. Quá trình tiến hóa

- ❑ Khi Hydrogen của một ngôi sao cháy hết lượng hydro, sẽ trở thành sao kền đỏ và tiếp tục nung cháy Heli.
- ❑ Sau đó sẽ là quá trình cháy các nguyên tố nặng hơn, nặng hơn. Sau khi cháy hết các nguyên tố, quá trình tiếp theo sẽ phụ thuộc vào khối lượng của mỗi ngôi sao.



# 1.1. Sự phát triển của các ngôi sao tương tự mặt trời

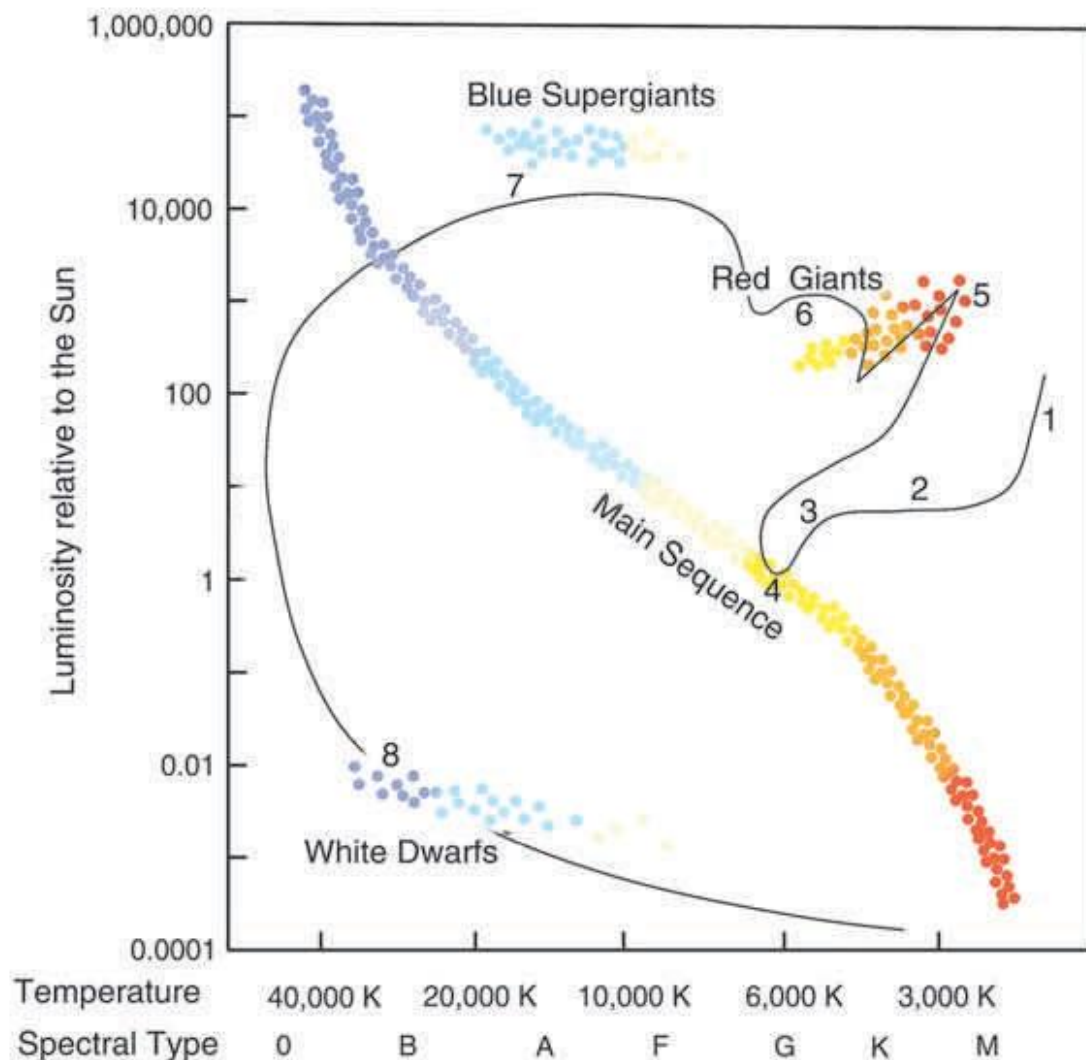


(1) Bề mặt sụp đổ của một ngôi sao protostar hướng đến nhiệt độ khi đó ngôi sao bắt đầu bức xạ ra ánh sáng đỏ

(2) Protostar trở nên nhỏ hơn, diện tích bề mặt giảm, nhiệt độ bề mặt tăng lên và lúc này ngôi sao lại tiếp tục bức xạ năng lượng nhiều hơn trên mỗi đơn vị thể tích. Khi các quá trình kết thúc, luminosity của sao gần như không đổi

(3) Ngôi sao di chuyển vào dãy chính

# 1.1. Sự phát triển của các ngôi sao tương tự mặt trời

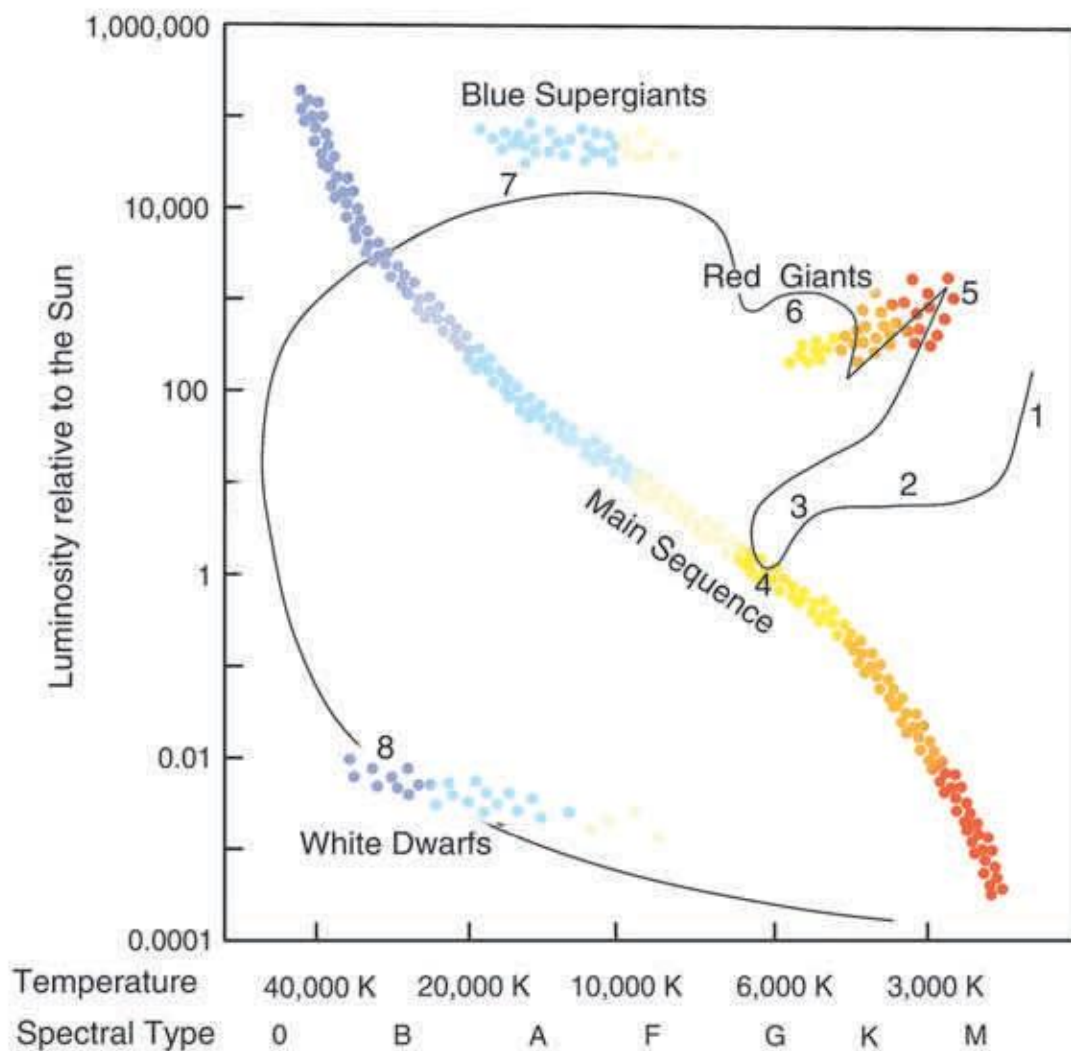


(4) Ngôi sao ở Main sequence và bắt đầu quá trình nung nóng Hydro thành Heli qua các phản ứng nhiệt hạch. Lượng Heli trong lõi tăng lên và nhiệt độ sao tăng lên, sao di chuyển trên đường Main Sequence lên phía trên về phía trái.

(5) Sao trở thành sao kền đỏ (Red Giant) khi Heli bị nung nóng thành Carbon

(6) Carbon nung nóng thành Oxygen bên trong lõi, ngôi sao trở nên kém ổn định

## 1.1. Sự phát triển của các ngôi sao tương tự mặt trời



(7) Khi không còn năng lượng ở lõi, bao ngoài của ngôi sao bị thổi bay vào không gian  
⇒ planetary nebula

(8) Lõi lạnh dần và sụp đổ và co lại, kích thước bằng Trái đất, trở thành sao lùn trắng



## 1.2. Các ngôi sao khối lượng thấp (0.05 – 0.5 khối lượng mặt trời)

- ❑ Đối với các ngôi sao khối lượng thấp, quá trình chuyển đổi khí Hydrogen sang Heli bởi các phản ứng nhiệt hạch tương tự như mặt trời. Tuy nhiên với các sao khối lượng lớn thì chỉ 10% khối lượng sao là dùng cho phản ứng nhiệt hạch.
- ❑ Còn đối với các ngôi sao có khối lượng nhỏ thì các dòng đối lưu trong lõi các ngôi sao sẽ giúp hòa trộn các thành phần trong lõi của các ngôi sao giúp cho quá trình nhiệt hạch diễn ra lâu hơn



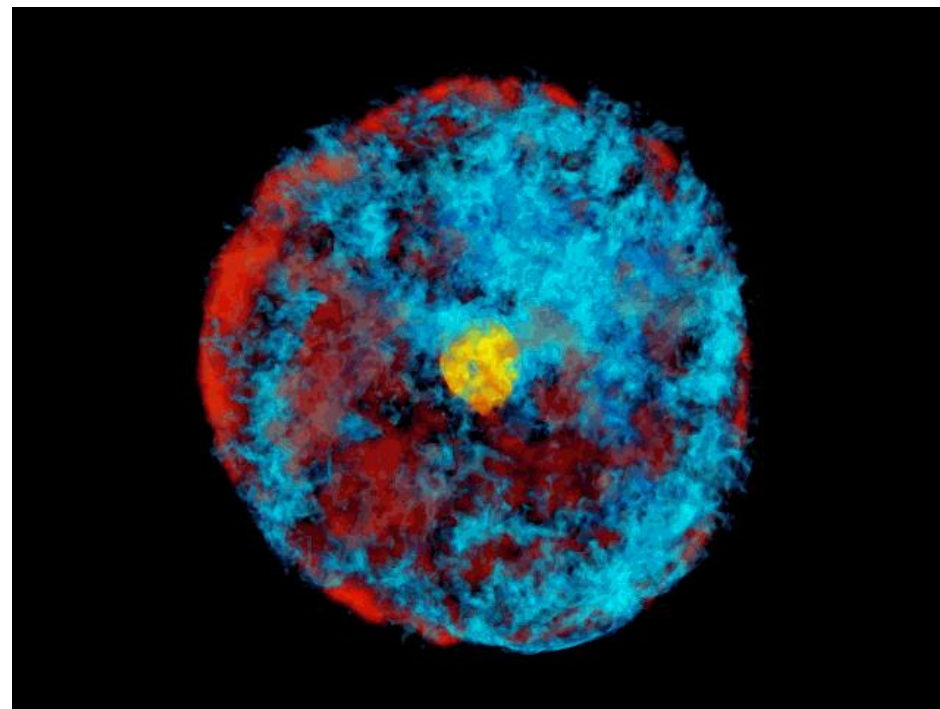
**Thời gian sống của sao trong dãy chính (main sequence) kéo dài lâu hơn**

## 1.2. Các ngôi sao khối lượng thấp (0.05 – 0.5 khối lượng mặt trời)

- ❑ Sao khối lượng thấp không đủ để duy trì áp suất cho nhiệt độ 100 triệu độ K để cho phản ứng nhiệt hạch của Heli xảy ra, do đó sau phản ứng nhiệt hạch của Hydro kết thúc, Hydro chuyển hóa hoàn toàn thành Helium và sao sẽ chuyển thành sao lùn đỏ (red dwarf – 0.1 solar mass).
- 
- ❑ Sau đó là quá trình sụp đổ dần dần trong khoảng vài trăm tỷ năm và cuối cùng là trở thành sao lùn trắng white dwarf.

## 1.2. Các ngôi sao khối lượng thấp (0.05 – 0.5 khối lượng mặt trời)

- ❑ Đối với các ngôi sao khối lượng gấp trên 2 lần mặt trời, khi nhiên liệu đã cạn kiệt, lớp vỏ ngoài của ngôi sao sẽ bị thổi bay để lại phần lõi ngôi sao
- ❑ Lõi còn lại chính là sao lùn trắng, được nung nóng bởi nhiệt giải phóng từ sự co lại của trọng lực và ban đầu có thể rất nóng. Sau đó lạnh dần và mờ đi.





## 1.2.1. Sao lùn trắng (White dwarfs)

- ☐ Tại tâm của tinh vân hành tinh là một ngôi sao trắng hoặc trắng xanh.
- ☐ Chúng có độ sáng không quá  $-0.02$  bán kính mặt trời
- ☐ Khối lượng  $0.17 - 1.33$  khối lượng Mặt trời, do đó cần đến các kính thiên văn năng suất lớn để quan sát
- ☐ Chúng đang tiến đến trạng thái cuối cùng của cuộc đời một ngôi sao là sao lùn trắng.
- ☐ Khi phản ứng hạt nhân kết thúc, tâm ngôi sao sẽ co lại dưới tác dụng của trọng lực
- ☐ Kích thước sao lùn trắng từ  $0.008$  lượng mặt trời
- ☐ Mật độ khối của white dwarf là vô cùng lớn ( $10^9 \text{g/cm}^3$ )

## 1.2.1. Sao lùn trắng (White dwarfs)

---

- Có mật độ vật chất vô cùng đặc, gấp một triệu lần mật độ nước. Có khối lượng tương đương Mặt trời, kích thước cũng chỉ bằng Trái đất.
- Khối lượng lớn nhất có thể bằng 1.4 khối lượng Mặt trời, được biết đến như giới hạn Chandrasekhar (**Chandrasekhar limit**).

## 1.2.1. Sao lùn trắng (White dwarfs)

- ❑ Sao lùn trắng là những sao nhỏ, bán kính khoảng 500 km, đặc và có độ trung rất yếu. sao này phát ra ánh sáng trắng do chuyển động của các electron. Nhiệt độ bề mặt khoảng 10.000 K.
- ❑ Sao lùn trắng là thiên thể được tạo ra khi các ngôi sao có khối lượng thấp và trung bình, khối lượng nhỏ hơn hoặc bằng 1,4 khối lượng Mặt trời (giới hạn Chandrasekhar).
- ❑ Các ngôi sao này không đủ nặng để sinh ra nhiệt độ ở lõi cần thiết để nung chảy cacbon trong các phản ứng tổng hợp hạt nhân sau khi chúng chuyển thành các sao kền đỏ trong giai đoạn đốt cháy He. Cuối giai đoạn này, nửa bên ngoài của sao kền đỏ sẽ bị đẩy ra không gian tạo thành các tinh vân, Để lại đằng sau một lõi tro chứa chủ yếu là C và O<sub>2</sub>, đó chính là sao lùn trắng

## 1.2.1. Sao lùn trắng (White dwarfs)



*Hình. Sao lùn trắng*

## 1.2.2. Sao lùn đen (Black dwarfs)

Sao lùn đen là giai đoạn cuối của sao lùn trắng. Sau khi sao lùn trắng phát tán hết động năng của các electron, nó nguội dần đi và co lại thành một khối cầu đen không thể thấy bằng mắt thường.

---

**Chỉ có thể quan sát bằng kính thiên văn trong vùng hồng ngoại**



*Hình. Sao lùn đen*



## 1.3. Các ngôi sao biến đổi (Variable stars)

- ❑ Vào giai đoạn cuối cùng của cuộc đời mình, các ngôi sao trở nên kém ổn định và có sự dao động trong kích thước của chúng. Khi kích thước sao tăng lên, diện tích bề mặt sẽ tăng lên, và luminosity có thể tăng lên theo. Tuy nhiên, trong cùng lúc đó, nhiệt độ bề mặt giảm xuống, do đó luminosity giảm theo quy luật lũy thừa 4, sao có màu đỏ.

---

- ❑ Ngược lại khi kích thước sao giảm xuống, màu sắc sao sẽ chuyển qua màu xanh và luminosity sẽ tăng.

## 1.3. Các ngôi sao biến đổi (Variable stars)

Sao biến quang là các sao có độ sáng thay đổi, đều đặn hoặc không đều đặn. Chu kỳ biến đổi của độ sáng có thể là vài giờ hoặc vài năm. Biên độ dao động có thể từ 15 đến 17 cấp sao. Có ba nhóm sao biến quang chủ yếu

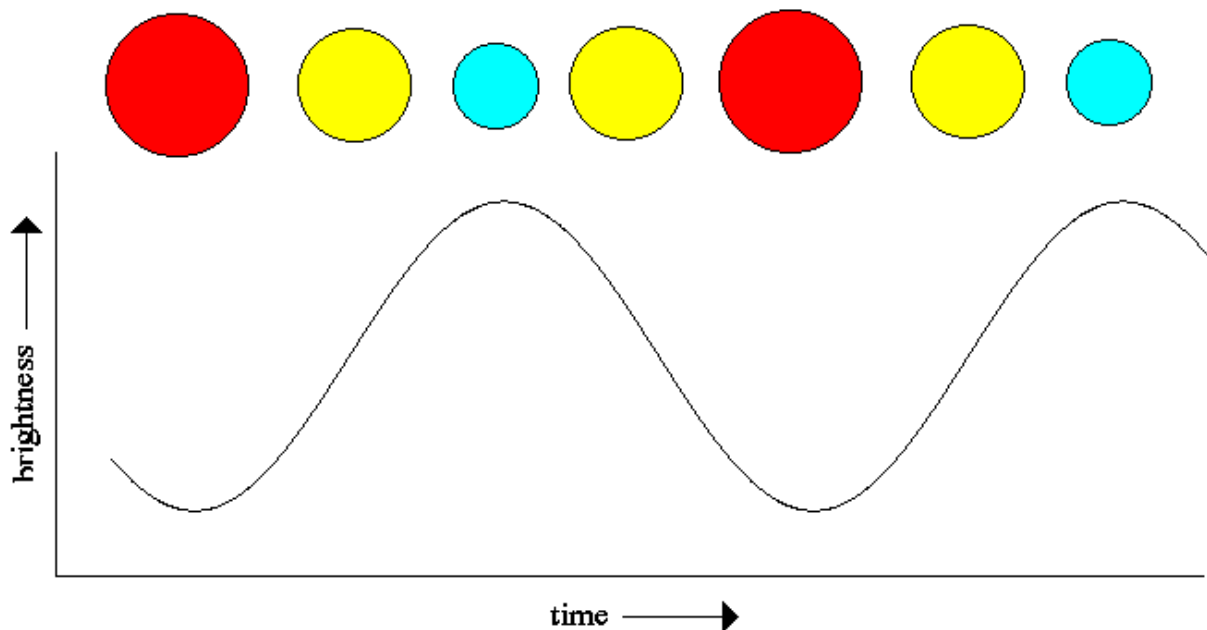
- Sao biến quang co giãn
- Sao biến quang bộc phát
- Sao biến quang che khuất

*Hình . Sao biến quang*

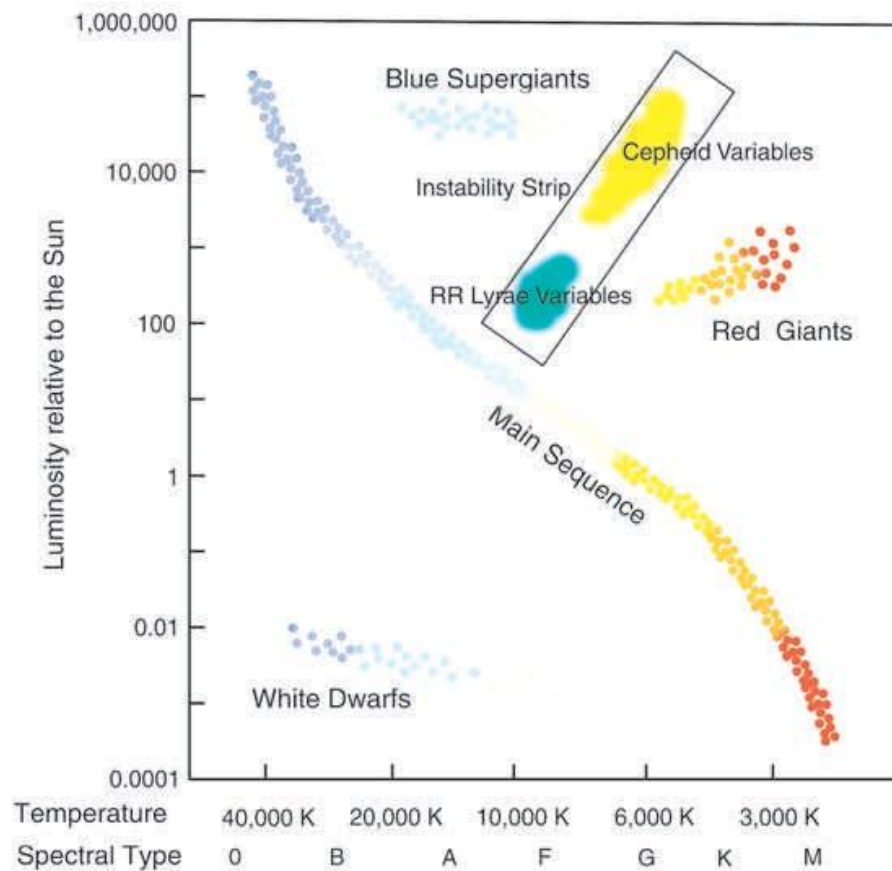


## 1.3. Các ngôi sao biến đổi (Variable stars)

Variable Star



# 1.3. Các ngôi sao biến đổi (Variable stars)



RR Lyrae Variables:  
 $\frac{1}{2}$  khối lượng mặt trời  
Chu kỳ 0.2 – 2 ngày

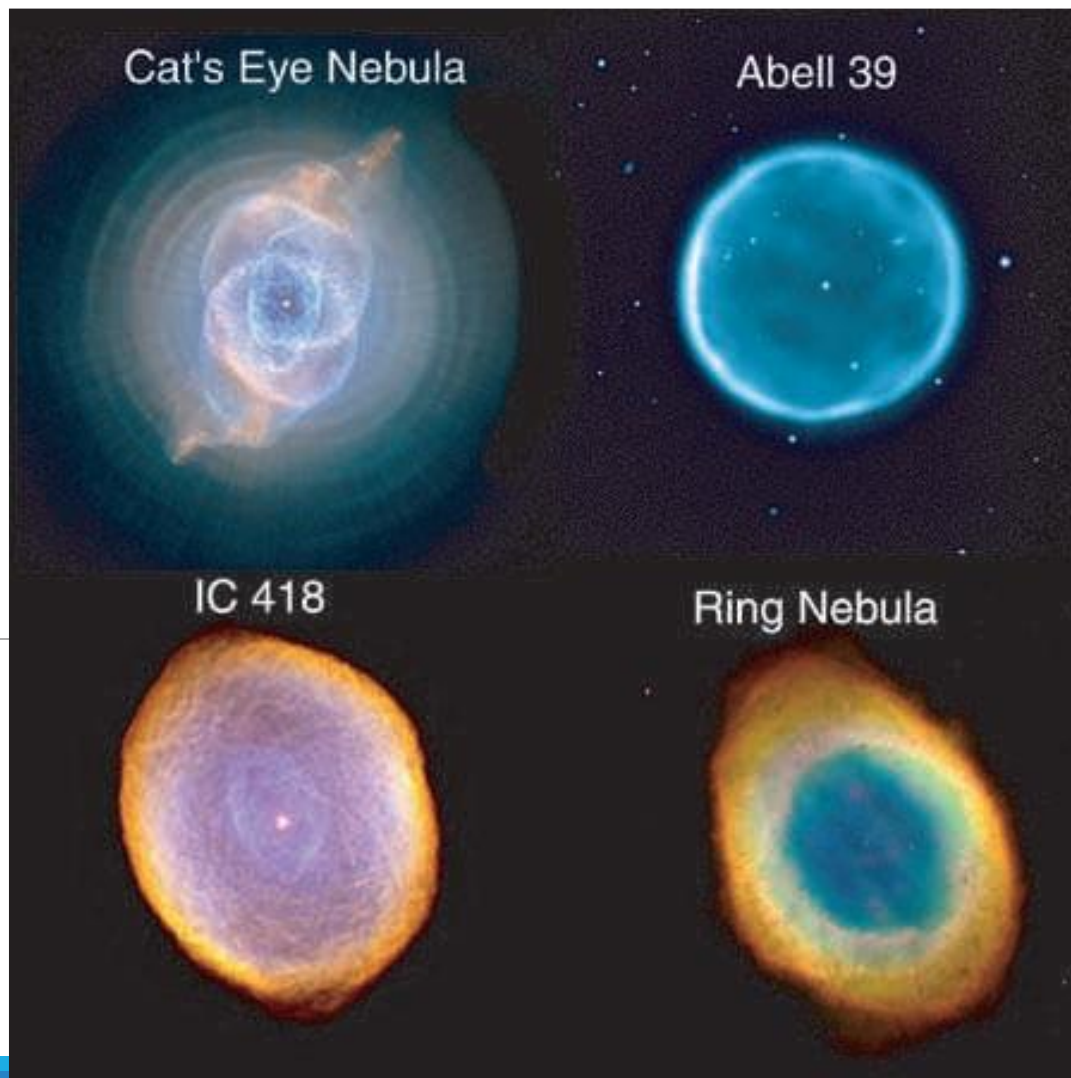
Cepheid Variables

## 1.4. Tinh vân Hành tinh (Planetary nebula)

- ❑ Cuối cùng ngôi sao trở nên bất ổn nhất và một phần vật chất bên ngoài ngôi sao bị thổi ra ngoài (gió mặt trời) không gian hình thành tinh vân hành tinh (Planetary nebula)
- ❑ Tinh vân hành tinh là một trong các vật thể đẹp nhất mà ta quan sát trong vũ trụ
- ❑ Khoảng 1500 tinh vân đã được quan sát
- ❑ Dự đoán có khoảng 50 000 tinh vân trong toàn thiên hà chúng ta, tuy nhiên chúng bị che khuất bởi các đám mây bụi



## 1.4. Tinh vân Hành tinh (Planetary nebula)



## 1.4. Tinh vân Hành tinh (Planetary nebula)



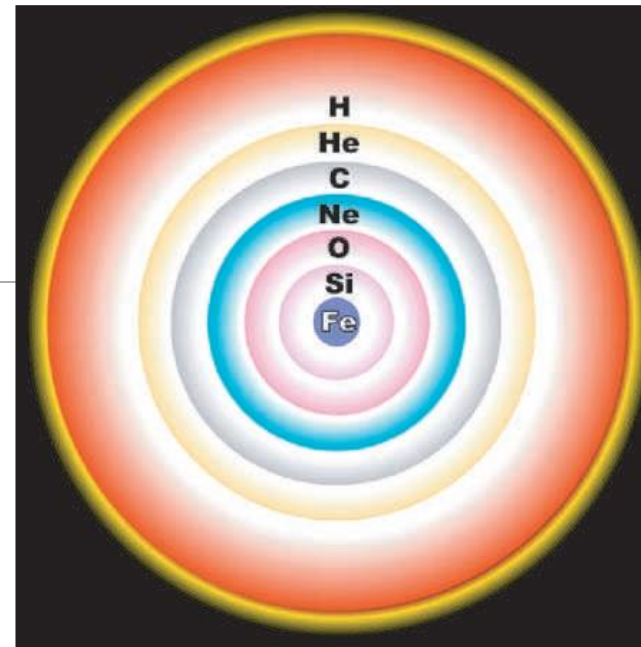
## 1.5. Sự phát triển của các ngôi sao khối lượng lớn ( $> 8$ Solar mass)

Nhiệt độ trong lõi của các ngôi sao tăng lên nhiều so với các ngôi sao khối lượng nhỏ, điều này cho phép việc nung nóng các nguyên tố nặng

O<sub>16</sub> trở thành Ne<sub>20</sub>

Ne<sub>20</sub> trở thành Mg<sub>24</sub>

Mg<sub>24</sub> trở thành Si<sub>28</sub>

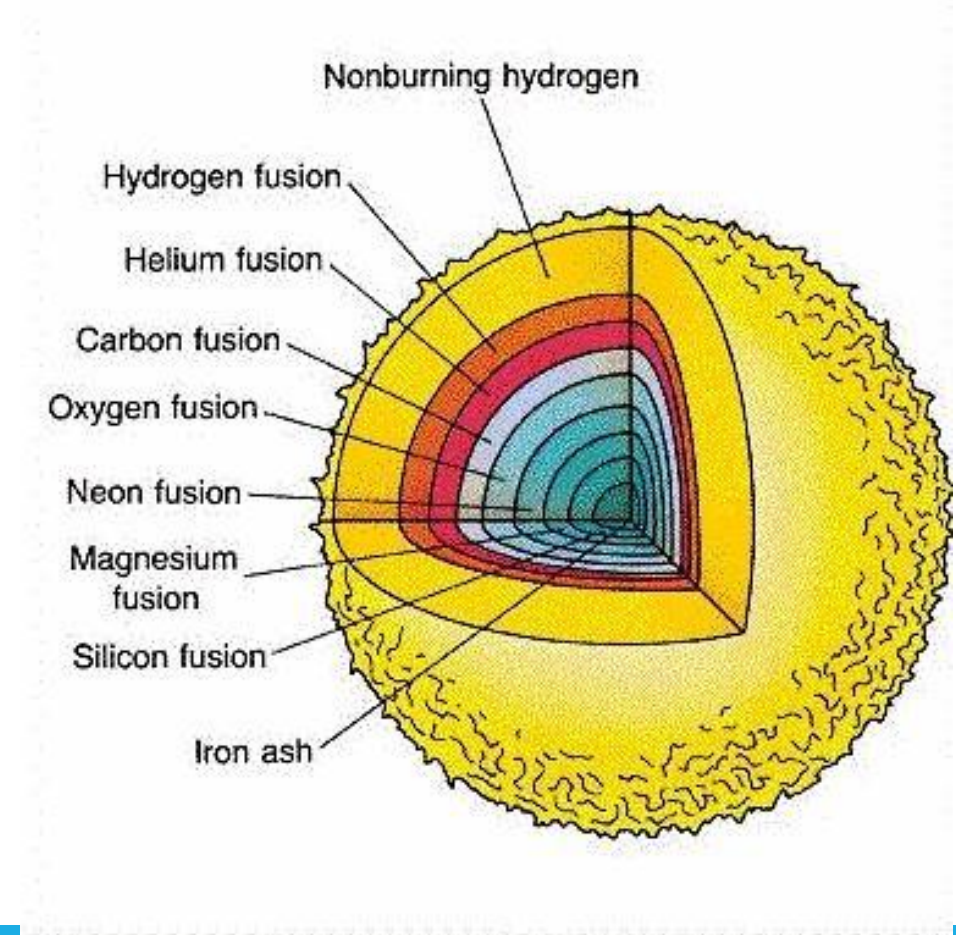




## 1.5. Sự phát triển của các ngôi sao khối lượng lớn ( $> 8$ Solar mass)

Các ngôi sao khối lượng cao có thể đốt cháy các nguyên tố nặng hơn, nặng hơn cho đến khi nó tạo thành 1 lõi sắt bên trong (không còn khả năng đốt cháy và tạo ra bất cứ gì bên trong).

Không còn năng lượng để duy trì, lõi sẽ sụp đổ và ngôi sao phát nổ.



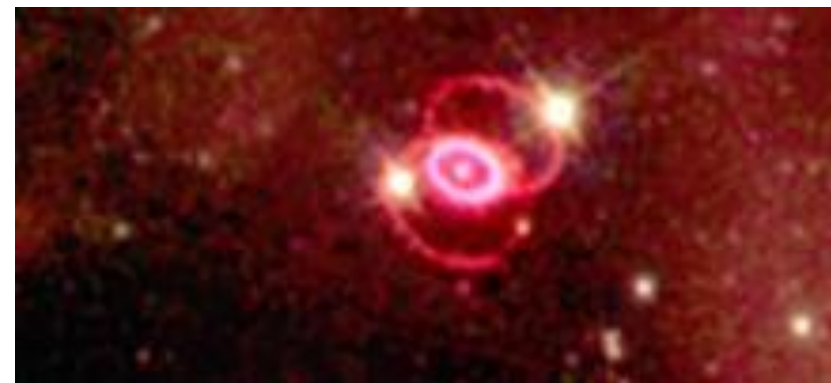
## 1.6. Siêu tân tinh (Supernova)

- ❑ Khi cấp sao tuyệt đối từ -18 giảm mạnh xuống 6-8 mỗi năm và ngôi sao dần dần mờ đi.
- ❑ Những Supernova xảy ra 44 năm một lần trong Galaxy, nhưng do sự che lấp của bụi trong mặt phẳng Galaxy do đó ta chỉ có thể quan sát 10-20% của supernova.



## 1.6. Siêu tân tinh (Supernova)

- ❑ Vụ nổ của một siêu tân tinh là một trong các hiện tượng đẹp nhất trong vũ trụ. Vụ nổ của một ngôi sao đơn giải phóng lượng ánh sáng tương đương với tổng lượng ánh sáng của tất cả các ngôi sao trong 1 thiên hà cộng lại.



Supernova 1987a

- ❑ Trong 1 thiên hà, có 1 vài sự kiện siêu tân tinh phát nổ mỗi thế kỷ (100 năm)

## 1.6. Siêu tân tinh (Supernova)

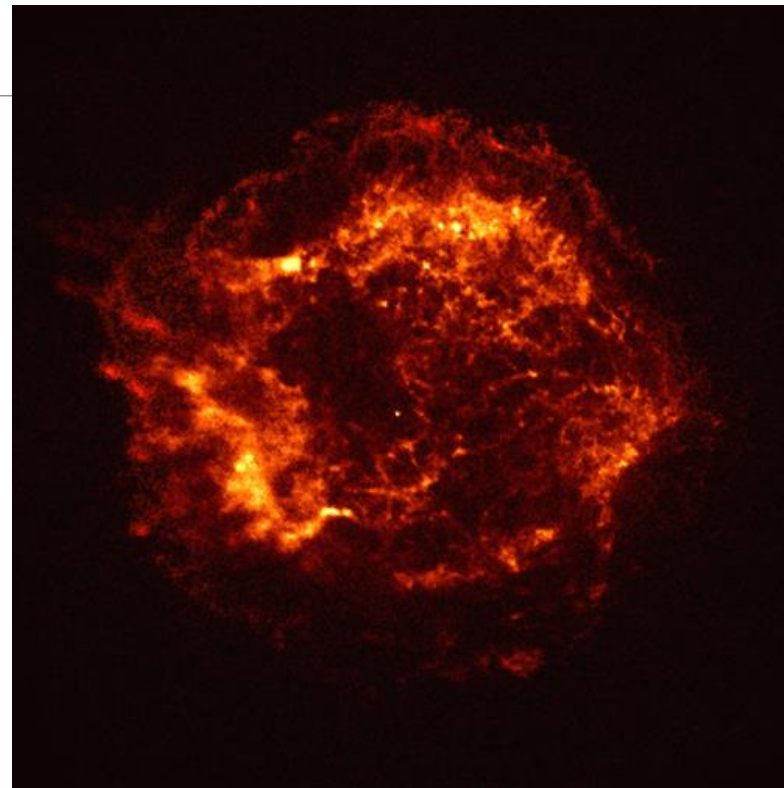
---

- ❑ Nổ siêu tân tinh là phương cách chính để các nguyên tố kim loại nặng như Oxygen, carbon, sắt, ... thoát khỏi ngôi sao và trở thành bụi trong vũ trụ.
- ❑ Nếu không có hiện tượng nổ siêu tân tinh, sẽ không có các nguyên tố kim loại thoát ra khỏi lõi của một ngôi sao.

## 1.7. Sau sự kiện nổ siêu tân tinh

Sau khi nổ siêu tân tinh, lớp vỏ của ngôi sao sẽ bị thổi bay ra khoảng không vũ trụ, và trạng thái kế tiếp sẽ phụ thuộc vào khối lượng ban đầu của ngôi sao.

- ☐ A neutron star (Sao Neutron)
- ☐ A black hole (Hố đen)



*Chandra* satellite X-ray image of Cassiopeia A

## 1.7.1. Sao Neutron

- ❑ Thành phần là các neutrons. Trọng lực rất mạnh làm cho các electrons và protons kết hợp với nhau hình thành neutrons.
- ❑ Sao neutron chịu ảnh hưởng của các hạt nhân nguyên tử khổng lồ.
- ❑ Chúng quay nhanh, một số phát ra ánh sáng trong vùng sóng vô tuyến (radio), được biết đến như là ản tinh (pulsars)



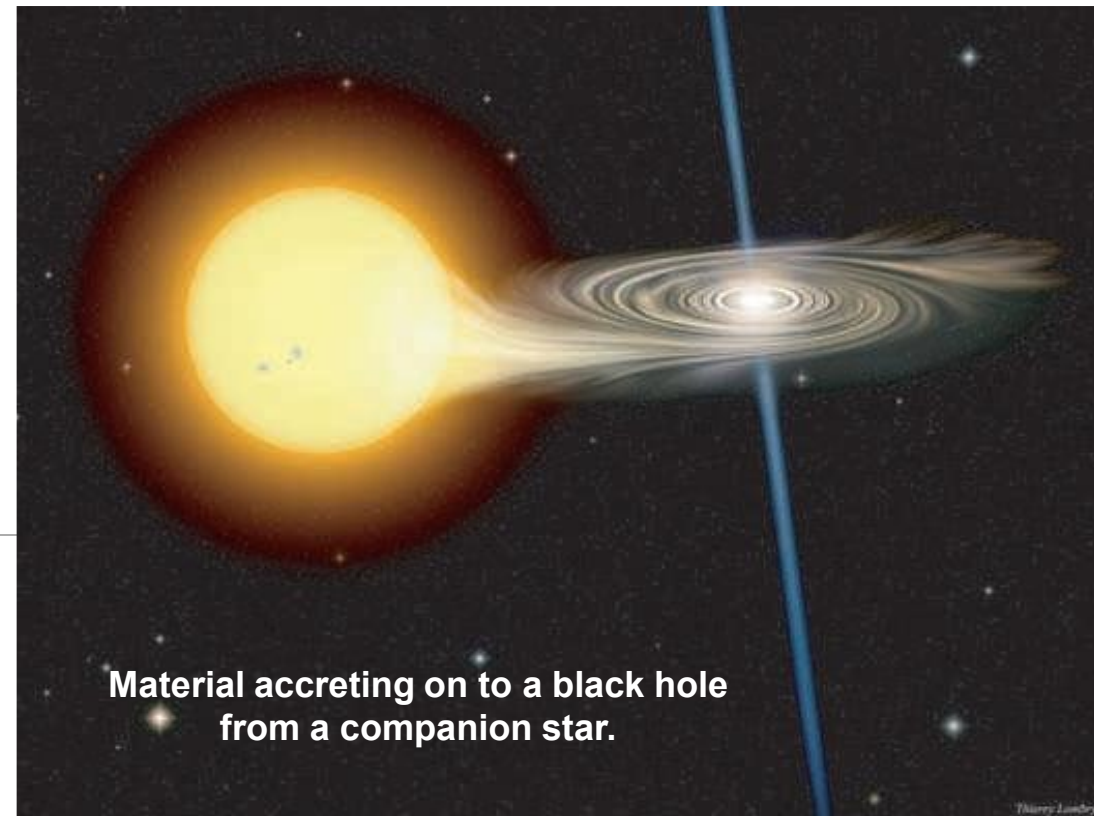
## 1.7.1. Sao Neutron

- ❑ Thiên thể nhỏ (có bán kính khoảng 10.000 km) có mật độ vật chất rất lớn do được cấu tạo hầu hết từ neutron.
- ❑ Vụ co lại này dẫn đến một vụ nổ sao siêu mới và kết thúc là sao neutron.
- ❑ Lần đầu tiên sao neutron được phát hiện dưới dạng phát xạ xung điện từ nên còn gọi là Pulsar.
- ❑ phát hiện ra gần 1000 Pulsar phát xạ xung điện từ. Pulsar là các sao xoay rất nhanh, nó biểu hiện như một nguồn sóng radio, được phát ra điều đặn ở các chu kỳ ngắn.



## 1.7.2. Lỗ đen

- ❑ Lỗ đen hình thành khi một ngôi sao khối lượng lớn kết thúc vòng đời của nó
- ❑ Có rất nhiều sao tồn tại trong hệ thống sao đôi Binary system.
- ❑ Trong hệ thống sao đôi, nếu một ngôi sao trở thành lỗ đen thì nó sẽ hút vật chất của ngôi sao còn lại hình thành đĩa vật chất xoắn ốc quanh lỗ đen



## 1.7.2. Lỗ đen

- ❑ Hố đen là kết quả co lại của các ngôi sao có khối lượng lớn hơn bốn lần khối lượng Mặt trời. Lực hấp dẫn làm ngôi sao co lại thành một điểm có mật độ vô hạn, lực hấp dẫn làm cho không một vật thể nào có thể thoát ra ngoài, kể cả ánh sáng.
- ❑ Trường hấp dẫn mà hố đen tạo ra rất lớn, vì vậy, một vật muốn thoát ra khỏi hố đen phải có vận tốc thoát lớn hơn vận tốc ánh sáng trong chân không.



*Hình. Hố đen*

## 2. Thời gian sống của một ngôi sao

---

Tốc độ cho các phản ứng hạt nhân trong các ngôi sao tăng lên nhanh chóng theo nhiệt độ.

Ví dụ: Rigel có khối lượng gấp 17 lần mặt trời và độ trung (luminosity) gấp 41000 lần mặt trời. Thời gian sống của mặt trời vào khoảng 10 tỷ năm trong dãy chính (main sequence). Do đó thời gian sống của Rigel là:

$$(17/41000) \times 10 \text{ tỷ năm} = 4 \text{ triệu năm}$$

### 3. Bài tập

**Bài 3.1:** Mặt trời có cấp sao nhìn thấy  $m = -26,81$  nó ở cách người quan sát 1 đơn vị thiên văn.

- a) Tìm cấp sao tuyệt đối  $M$  của Mặt trời.
- b) Người ta gọi  $(m-M)$  là mô đun khoảng cách của thiên thể. Tính mô đun khoảng cách của Mặt trời.

## 3. Bài tập

**Bài 3.2:** Từ mặt đất người ta đo được hằng số Mặt Trời (đã hiệu chỉnh phần mất mát do khí quyển hấp thụ) là  $a_{\odot} = 1,95 \text{ cal/cm}^2\text{phút}$ . Hãy tính công suất bức xạ toàn phần của Mặt trời  $L_{\odot}$  (giá trị này còn gọi là độ trung)

## 3. Bài tập

**Bài 3.3:** Proton là một thành phần trong tia vũ trụ đi từ Mặt trời đến Trái đất, giả sử nó có năng lượng 10 MeV. Hãy:

- a) Ước tính thời gian để nó đến được mặt đất?
- b) Khi đi vào từ quyển Trái đất, quỹ đạo của nó sẽ ra sao? (Van allen)



## 3. Bài tập

**Bài 3.4:** Xác định cấp sao tuyệt đối của sao Chức Nữ (ngôi sao  $\alpha$  trong chòm Thiên Cầm) biết rằng nó ở cách ta 8 ps và có cấp sao nhìn thấy  $m = +0,04$ .

**Bài 3.5:** Sao  $\alpha$  của chòm Tráng Sĩ có cấp sao nhìn thấy  $m = 0,41$ , cấp sao tuyệt đối  $M = -5,47$ .

- a) Hãy tính khoảng cách đến sao  $\alpha$ .
- b) Đối chiếu với dữ kiện về Mặt trời ở bài số 1, cho biết thực chất Mặt trời hay sao  $\alpha$  sáng hơn và sáng hơn bao nhiêu lần?

## 3. Bài tập

---

**Bài 3.6:** Tính bán kính sao  $\beta$  trong chòm sao Nhân Mã theo bán kính Mặt trời, biết rằng sao  $\beta$  có cấp sao  $M = -5$ ; nhiệt độ  $T = 21000$  K, còn Mặt trời có  $M_{\odot} = +4,8$ ;  $T_{\odot} = 5800$  K