تکامل ستارگان
تولد، زندگی و مرگ ستارگان

John R. Percy

International Astronomical Union

University of Toronto, Canada

تکامل ستارگان

*هنگامی که از تکامل ستاره ها صحبت می کنیم در واقع هدفمان بررسی تغییرات درونی ستاره، به عبارتی مصرف سوخت آن ها، از زمان تولد تا لحظه مرگ شان است.

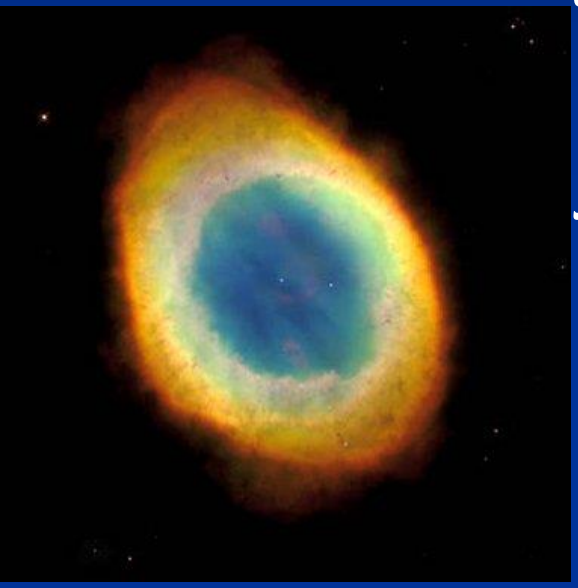
*دانستن چگونگی تکامل ستاره ای به ستاره شناسان کمک می کند تا موارد زیر را درک کنند :

- ماهیت و سرنوشت خورشید خودمان

-منشا سامانه خورشیدی

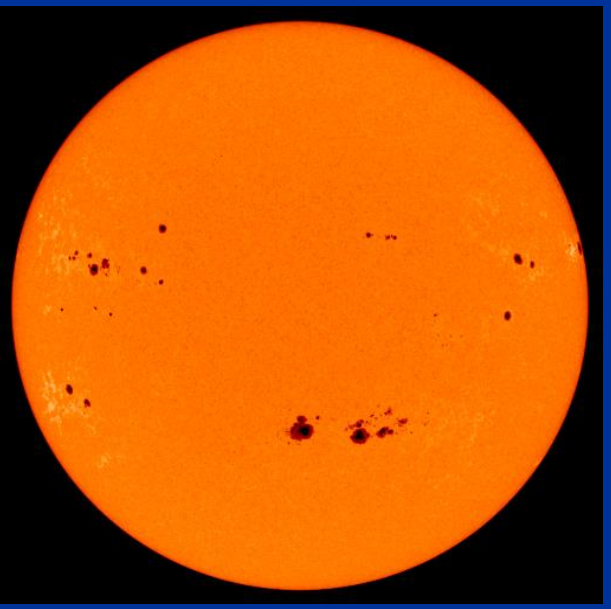
-چگونگی مقایسه سامانه خورشیدی با دیگر سامانه های سیاره ای

- امکان زندگی و حیات در دیگر نقاط کیهان



سحابی حلقه-یک ستاره مرده
منبع عکس :ناسا

جزییات خورشید : نزدیک ترین ستاره به ما و ستاره شناسان چگونه این جزییات را محاسبه می کنند!



خورشید
منبع عکس :ماهواره سوهو ناسا

*فاصله :1.5*10^11 متر، بازتاب امواج راداری از تیر و ناهید

*جرم :2*10^30 ،محاسبه به روش چرخش سیاره ها به دور خورشید

- *قطر: 1.4*10^9 ، از روش قطر ظاهری خورشید و فاصله اش از زمین
- *توان: 4*10^26 وات ،از روش فاصله و محاسبه تابش زمینی
- * ترکیبات شیمیایی: 98 درصد هیدروژن و هلیم ،مطالعات طیف سنجی

جزییات ستارگان ـفاصله خورشید وچگونه ستاره شناسان آن را محاسبه می کنند!

*فاصله: از طریق اختلاف منظر و یا بر اساس درخشندگی ظاهری تا کنون تعیین شده است.

*توان: بر اساس فاصله و درخشندگی ظاهری

*دمای سطحی : بر اساس رنگ و طیف سنجی

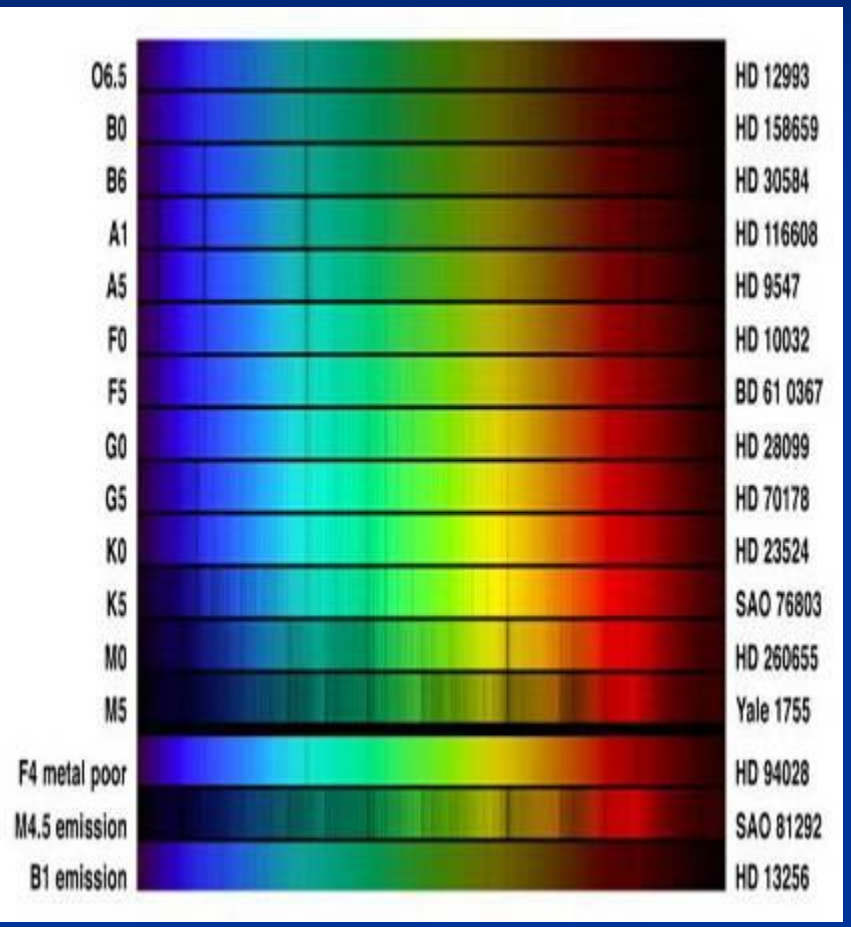
*رادیویی: بر مبنای توان و دمای سطحی

*جرم: با استفاده از سیستم دوتایی ستاره ای

ترکیبان شیمیایی : طیف ستاره

صورت فلکی شکارچی
منبع عکس: تلسکوپ هابل

طیف ستاره ها :
نور ستاره ای و تجزیه شدن به رنگ های مختلف



*ستاره شناسان با کمک ابزارهای ستاره شناسی و نور خروجی ستارگان، اطلاعات زیادی از آن ها بدست می آورند.

*روش طیف سنجی اطلاعات زیادی در زمینه ترکیبات ،دما و سایر ویژگی های ستاره برای ما فراهم می کند.

شکل چپ: طیف 13 ستاره مختلف با دمای سطحی متفاوت(ترتیب دما: از بالا به پایین)، سه طیف آخر از ستارگانی هستند که ساختاری پیچیده دارند.

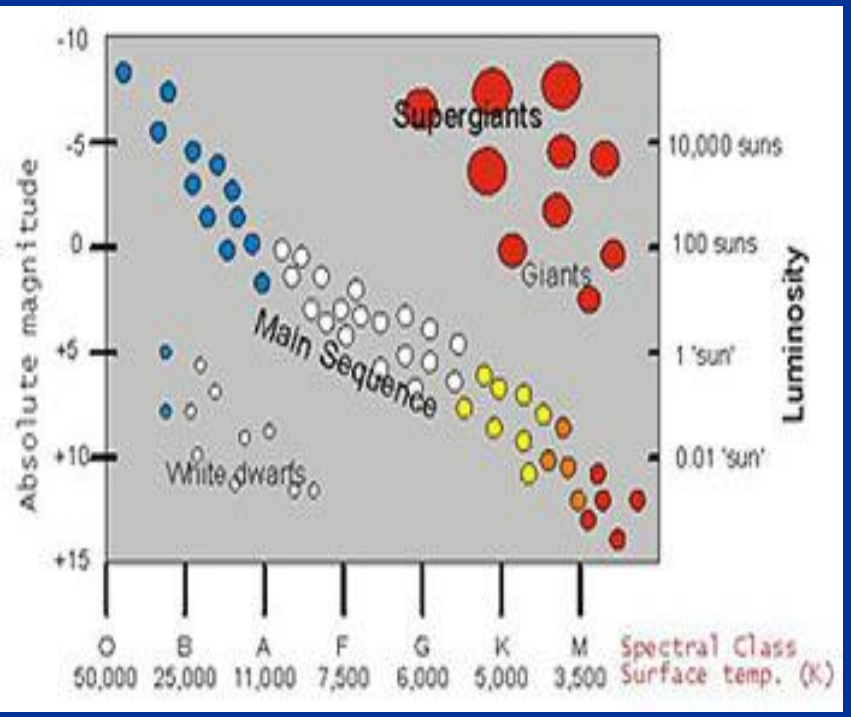
Stellar Spectra
Source: US National Optical Astronomy Observatory

نمودار هرتسپرونگ ـ راسل
آرایش ستارگان بر اساس خواص آنها

نمودار هرتسپرونگ – راسل (HR) به ما درخشندگی ستاره را بر اساس تابعی از دما نمایش می دهد(به همراه رده طیفی). هم چنین نمایش ستارگان بر حسب قدر واقعی شان که به صورت لگاریتمی آرایش یافته اند.

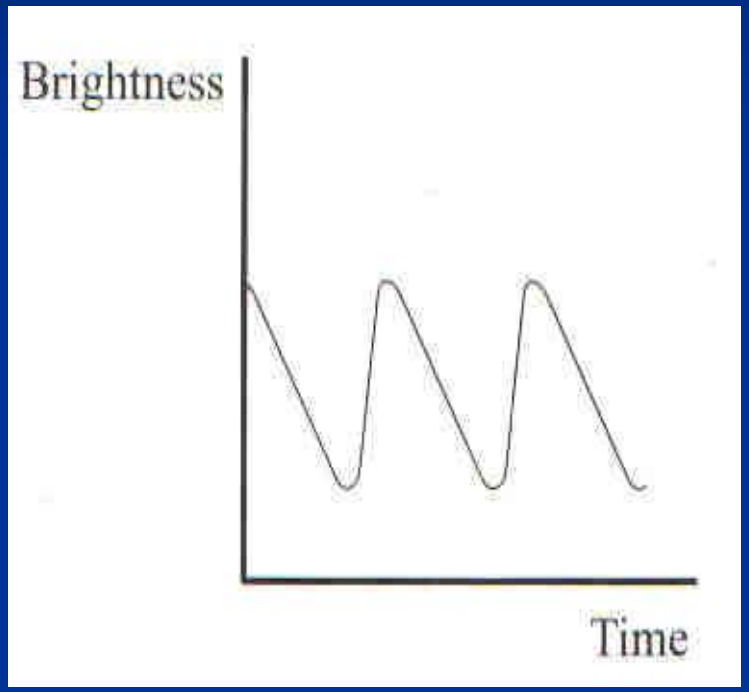
"بیشتر ستارگان در رشته اصلی قرار می گیرند".

ستارگان پرجرم و داغ در گوشه بالا سمت چپ قرار گرفته اند. در حالی که ستاره های کوچک و کم جرم که دارای توان کمتری هستند، در گوشه سمت راست، پایین نمودار دیده می شوند. در گوشه بالا سمت راست جایگاه غول های سرخ و پایین سمت محل چپ کوتوله های سفید هستند.



نمودار HR، منبع ناسا

ستارگان متغیر



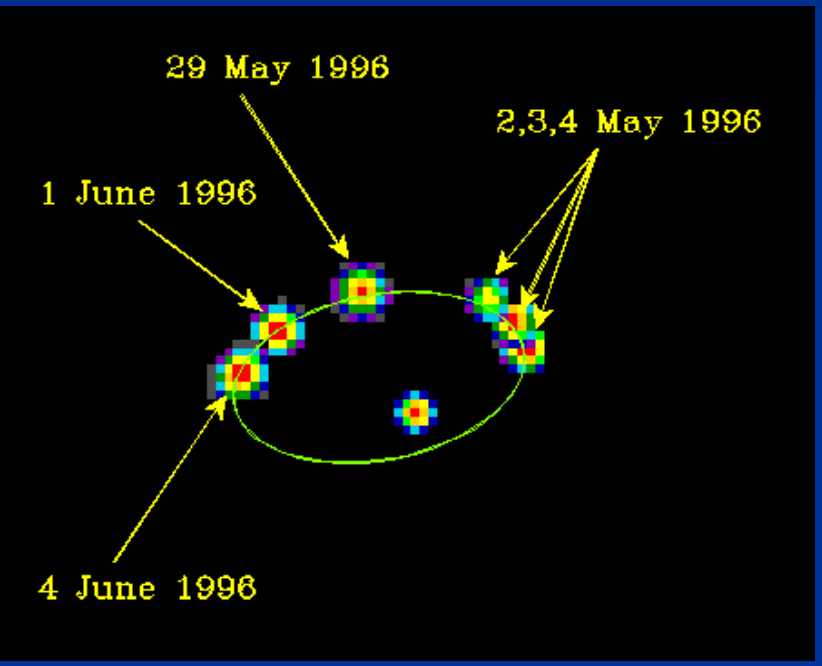
Light curve: a graph of brightness vs. time.

* ستارگان متغیر در واقع ستاره هایی هستند که درخشندگی آن ها با گذر زمان تغییر می کند.

* بیشتر ستارگان از گونه متغیر هستند، می توانند به علت تپش، درخشانی بیشتر،فوران ماده و انفجار و یا این که توسط ستاره یا سیاره همدم شان دچار گرفت شوند، انواع متفاوتی داشته باشتد.

* ستارگان متغیر می توانند در شناخت ماهیت ستارگان و تکامل شان اطلاعات خوبی را برای ما فراهم کنند.

ستارگان دوتایی یا چند تایی



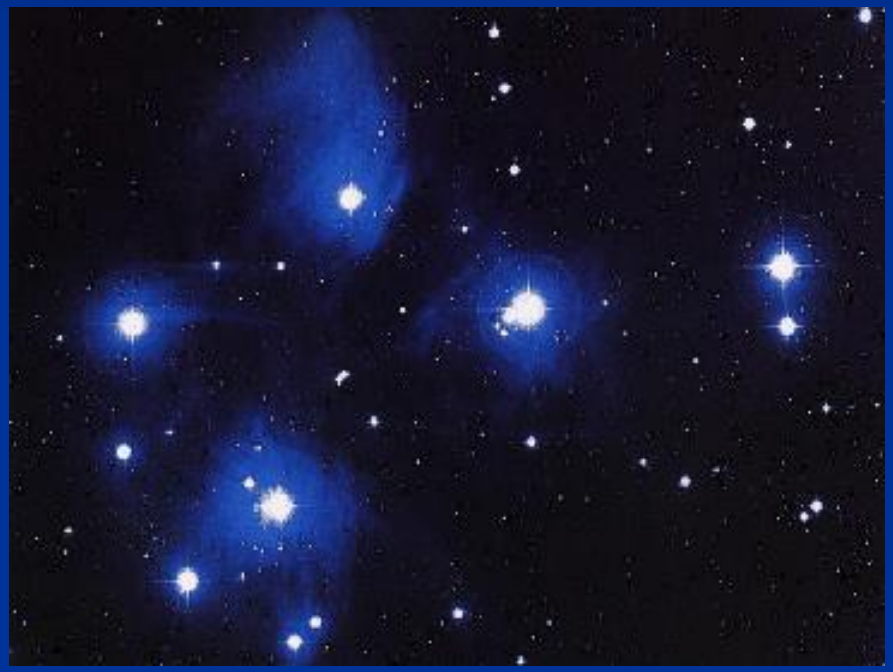
Orbital movement of Mizar, in Osa Major.
Source: NPOI Group, USNO, NRL

*ستارگان دوتایی، یک جفت ستاره هستند به وسیله نیروی جاذبه، در نزدیکی همدیگر قرار می گیرند و به دور یکدیگر می چرخند. آن ها می توانند به طور مستقیم (مانند شکل سمت چپ)مشاهده شوند و یا با شیوه های طیف سنجی و اختفا توسط ستاره همدم شان تشخیص داده شوند.

*این گونه ستارگان ابزار مناسبی برای اندازه گیری جرم ستاره های دیگر نیز هستند.

*ستاره های سه تایی یا چند تایی نیز به دلیل نیروی جاذبه در کنار یکدیگر قرار می گیرند.

خوشه های ستاره ای
آزمایشگاه های طبیعی



Open Cluster The Pleiades.
Source: Mount Wilson Observatory

* خوشه های ستاره ای، گروهی از ستارگان هستند که به واسطه نیروی جاذبه در کنار هم قرار می گیرند و در فضا با هم جا به جا می شوند.

* آن هادر زمان و مکان یکسانی شکل گرفته اند و دارای ترکیبات مشابه اند. همچنین در فاصله مشخصی از ما قرار دارند و تنها در جرمشان با هم اختلاف دارند.

* خوشه ها، نمونه ای از ستارگانی هستند که دارای عمر یکسان ولی جرم های متفاوت اند.

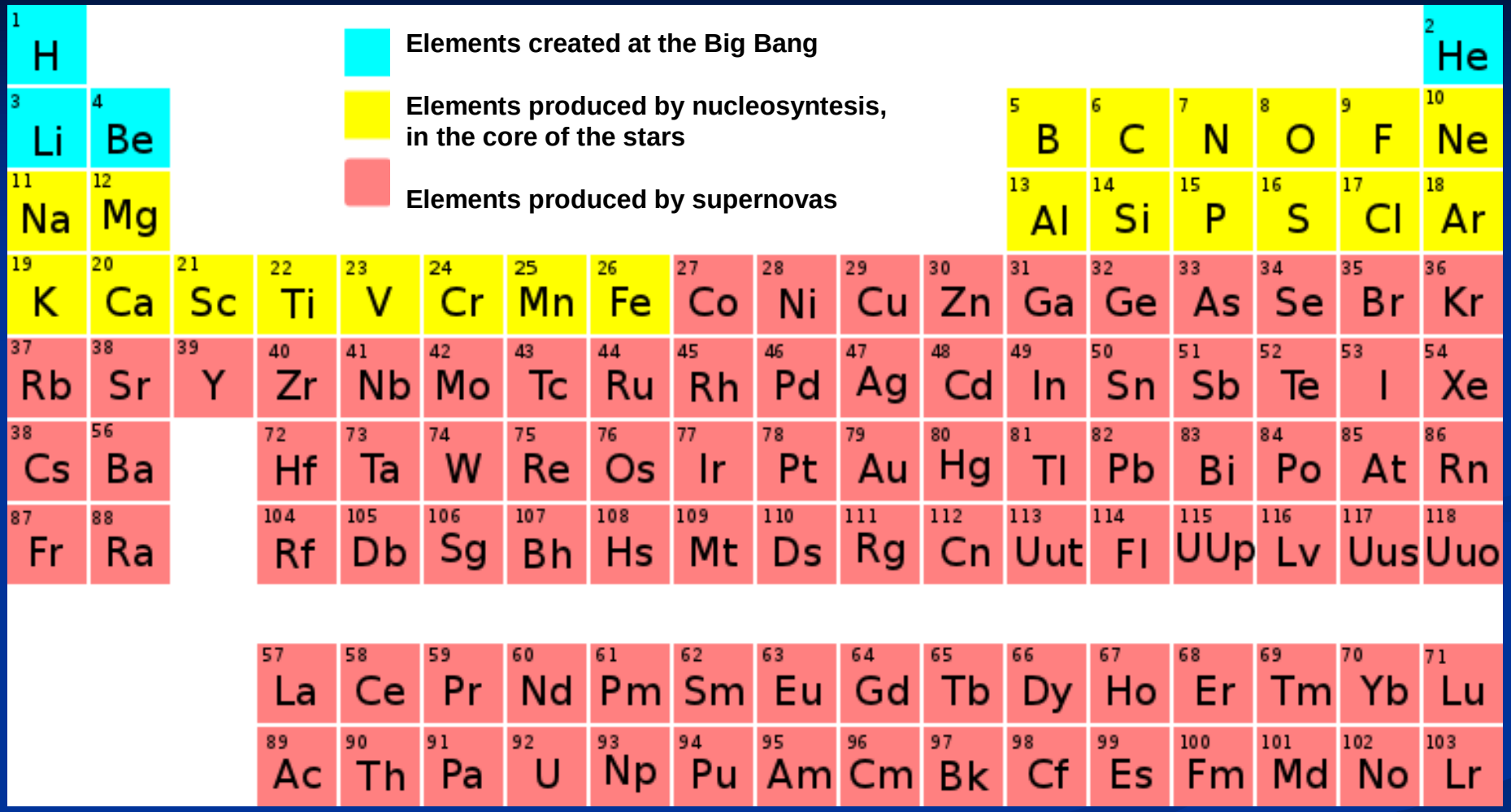
خورشید و دیگر ستاره ها از چه چیزی ساخته شده اند؟

فراوانی مواد شیمیایی در کیهان:
دانه پرنده: H (90 درصد)،
برنج: He (8درصد)،
حبوبات: C, N, O و بقیه ذرات(حدود دو درصد).

*با استفاده از روش تحلیل طیفی و سایر روش ها ستاره شناسان می توانند به مواد اولیه تشکیل دهنده ستاره ها پی ببرند.

*هیدروژن و هلیم بیشترین فراوانی را دارند و بیشتر اجزای کیهان از ترکیبات این دو است.

*ا اتم ها میلیون ها و حتی میلیارد ها بار فراوانی کمتری نسبت به این دو اتم دارند و تشکیل این اتم های سنگین در درون ستاره هایی است که فرایند های قوی هسته ای دارند.


Elements created at the Big Bang
Elements produced by nucleosyntesis, in the core of the stars
Elements produced by supernovas
1 H
2 He
3 Li
4 Be
5 B
6 C
7 N
8 O
9 F
10 Ne
11 Na
12 Mg
13 Al
14 Si
15 P
16 S
17 Cl
18 Ar
19 K
20 Ca
21 Sc
22 Ti
23 V
24 Cr
25 Mn
26 Fe
27 Co
28 Ni
29 Cu
30 Zn
31 Ga
32 Ge
33 As
34 Se
35 Br
36 Kr
37 Rb
38 Sr
39 Y
40 Zr
41 Nb
42 Mo
43 Tc
44 Ru
45 Rh
46 Pd
47 Ag
48 Cd
49 In
50 Sn
51 Sb
52 Te
53 I
54 Xe
38 Cs
56 Ba
72 Hf
73 Ta
74 W
75 Re
76 Os
77 Ir
78 Pt
79 Au
80 Hg
81 Tl
82 Pb
83 Bi
84 Po
85 At
86 Rn
87 Fr
88 Ra
104 Rf
105 Db
106 Sg
107 Bh
108 Hs
109 Mt
110 Ds
111 Rg
112 Cn
113 Uut
114 Fl
115 UUp
116 Lv
117 Uus
118 Uuo
57 La
58 Ce
59 Pr
60 Nd
61 Pm
62 Sm
63 Eu
64 Gd
65 Tb
66 Dy
67 Ho
68 Er
69 Tm
70 Yb
71 Lu
89 Ac
90 Th
91 Pa
92 U
93 Np
94 Pu
95 Am
96 Cm
97 Bk
98 Cf
99 Es
100 Fm
101 Md
102 No
103 Lr

قوانین حاکم بر ساختار ستارگان

* در مرکز ستاره، هر چقدر به هسته نزدیک تر شویم، فشار نسبت به لایه های فوقانی بیشتر می شود.
* طبق قوانین گازها، دما و چگالی با افزایش فشار بیشتر می شود.
* انرژی از نواحی داغتر به نواحی سردتر به وسیله تابش و جریان همرفت منتقل می شود.
* انرژی خارج شده از ستاره موجب کاهش دمای آن می شود، این فرآیند تا زمانی که انرژی در هسته تولید می شود ادامه پیدا می کند.
* ستاره ها به وسیله همین قوانین ساده و جهانشمول فیزیک به حیاتشان ادامه می دهند.

چرا خورشید از هم فرو نمی پاشد یا ثابت نمی ماند؟

-بادکنک پر از باد را در سمت چپ مشاهده می کنیم.

-فشار اتمسفر میل به کوچک کردن بادکنک دارد ولی فشار درونی بادکنک مانع این کار می شود و عمل انقباض به راحتی رخ نمی دهد.

-در درون خورشید جاذبه که مواد را رو به داخل می کشاند ولی به وسیله فشار گاز به تعادل می رسد.

منبع انرژی خورشید و سایر ستارگان

*احتراق مواد شیمیایی، روغن یا کربن ؟

فرایند های بالا بسیار ناکارآمد است چون که انرژی را تنها برای هزاران سال فراهم می کند.

*انقباض گرانشی آهسته؟

این فرایند نیز می تواند انرژی خورشید را برای میلیون ها سال حفظ کند ولی عمر خورشید میلیارد ها سال است.

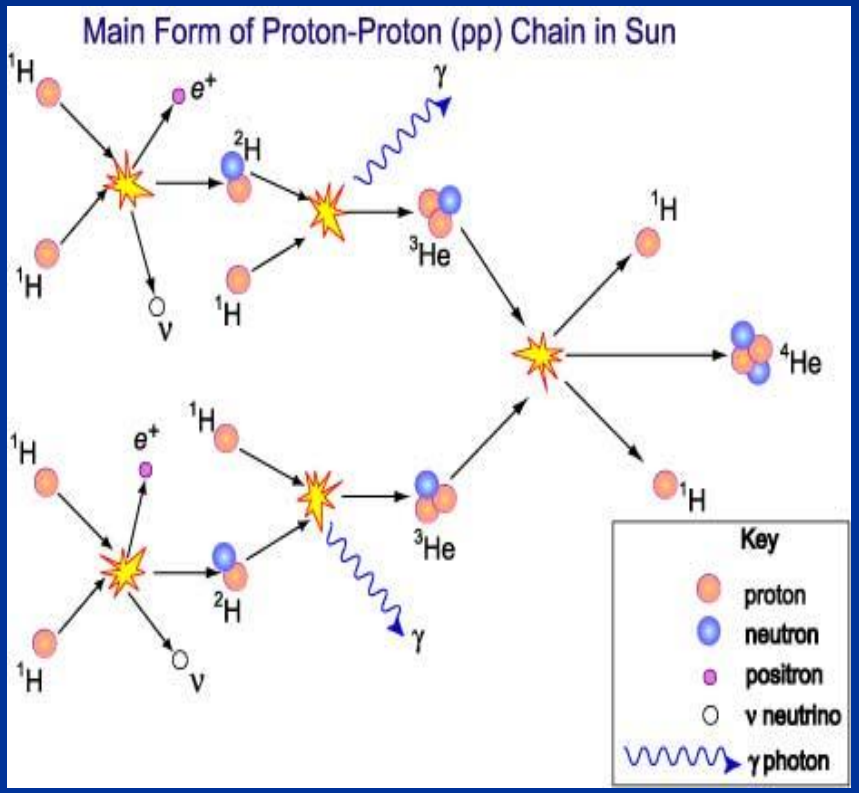
*رادیو اکتیویته(همجوشی هسته ای)؟

ایزوتوپ های رادیو اکتیوی درون بیشتر ستاره ها و خورشید ما وجود ندارد.

*گداخت هسته ای باعث تبدیل و تشکیل عناصرسنگین تر می شود؟

بله! این یک فرایند کارامد است و اجزای نور از قبیل هیدروژن و هلیم 98 درصد ساختار خورشید و ستاره ها را تشکیل می دهد.

چرخه پروتون – پروتون
این مهم ترین چرخه در خورشید است



Proton-proton cycle
Source: Australia National Telescope Facility

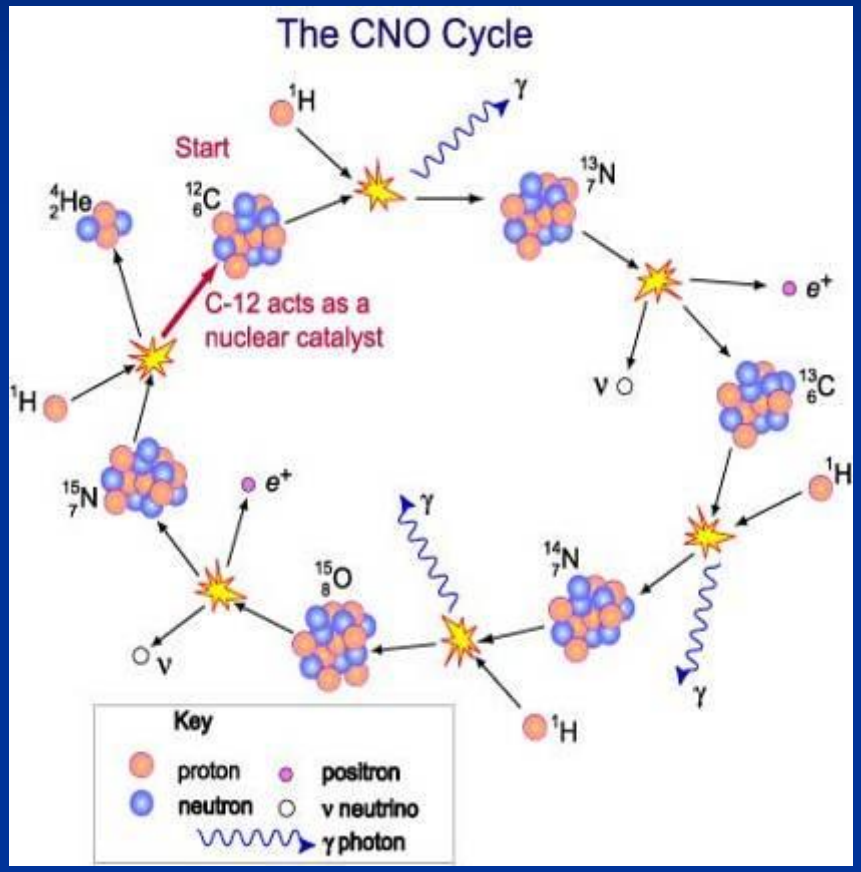
*در فشار و چگالی بالا درون ستاره ها،مانند خورشید ما، پروتون ها (قرمز رنگ) با غلبه کردن بر نیروهای الکترواستاتیکی و دفع آن در بین خودشان، دوتریم و نوترینو را به وجود می آورند.

- *در قدم بعد پروتون دیگری با دوتریم ترکیب می شود و تریتیم را به وجود می آورد.

*سپس هسته های ^{3}He با هم ترکیب می شوند تا ^{4}He را ایجاد کنند و در این فرایند دو پروتون آزاد می شود.

*چهار پروتون در کنار هم هلیم را به وجود می آورند و انرژی بسیار زیادی را نیز تولید می کنند امواج گاما و ..)

چرخه کربن ،نیتروژن و اکسیژن



CNO cycle
Source: Australia National Telescope Facility

*ستارگان با جرم بالا و هسته بسیار داغ پروتون ها (قرمز) با اتم کربن 12 (چپ تصویر) برخورد می کنند.

*این شروع یک چرخه ای است که در نهایت چهار پروتون تبدیل به هلیم می شوند.

*در انتهای این چرخه اتم کربن 12 مجددا بازیافت می شود، بنابراین این اتم نابود یا ایجاد نمی شود و در واقع مانند یک کاتالیزور عمل می کند.

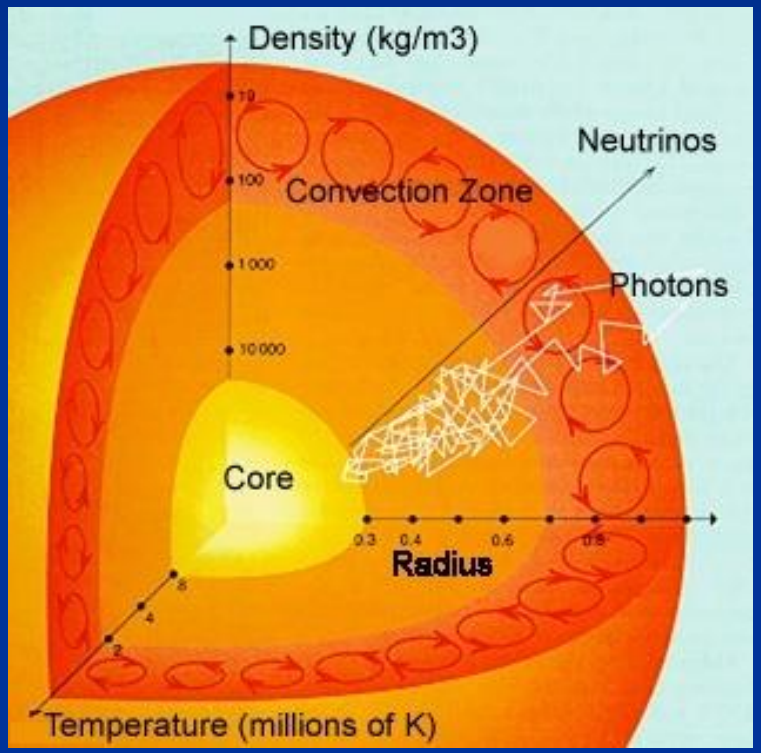
مدل سازی ستاره ای

*قوانینی که ساختار ستاره ای را توصیف می کنند در معادلات بیان می شوند و با استفاده از کامپیوتر حل می شوند.

*کامپیوتر دما، تراکم، فشار و قدرت در هر نقطه از خورشید یا ستاره را محاسبه می کند. این یک مدلسازی است.

* در مرکز خورشید، چگالی 150 برابر بیشتر از چگالی آب است و دمای آن 15،000،000 کلوین است.

درون خورشید
بر اساس مدل سازی یک کامپیوتر از خورشید



Solar model
Source: Institute of Theoretical Physics, University of Oslo

*درون هسته داغ، واکنش های هسته ای انرژی لازم را برای تبدیل هیدروژن به هلیوم فراهم می کنند.

*در ناحیه تابشی، بالای هسته، انرژی از طریق مکانیزم تابش به خارج حرکت می کند.

*در ناحیه همرفتی، بین منطقه تابشی و ناحیه سطحی، انرژی از طریق همرفت جریان پیدا می کند.

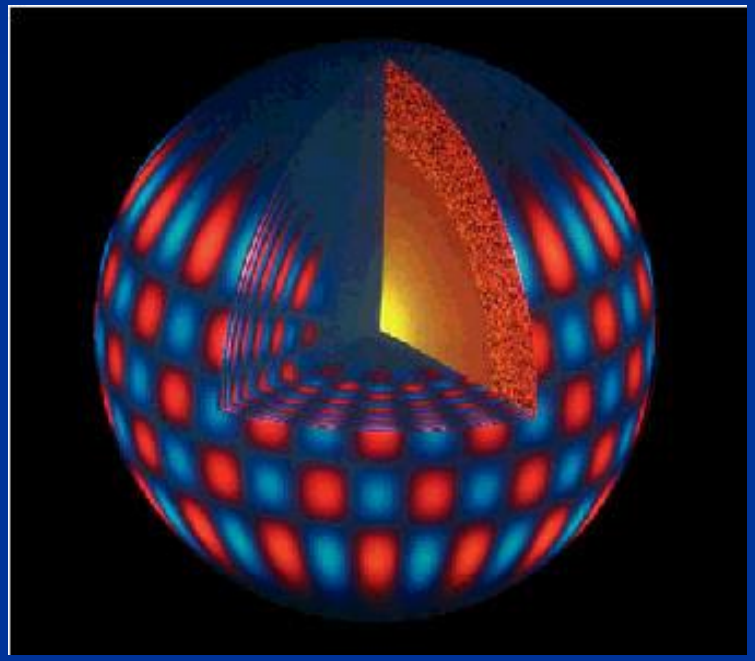
*شیدسپهر، بر روی سطح، لایه ای است که شفافیت خورشید آغازمی شود.

بررسی مدل لرزه شناسی خورشید

*خورشید به هزاران راه (الگوها) به آرامی ارتعاش می کند. یکی از آن ها در تصویر سمت چپ نشان داده شده است.

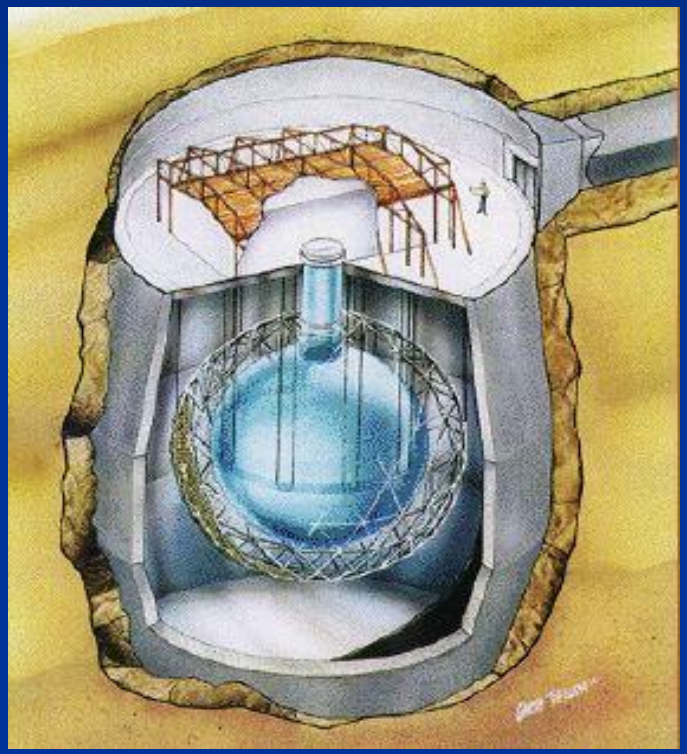
*این ارتعاشات را می توان بررسی کرد، هم چنین ما می توانیم از آنها برای کشف ساختار داخلی خورشید استفاده کنیم، سپس مدل های موجود در ساختار خورشید را آزمایش کنیم. این فرایند به عنوان لرزه شناسی خورشید شناخته می شود.

*لرزش های مشابهی را می توان در ستاره های دیگر مشاهده کرد: لرزه شناسی ستاره ای



Artistic conception of the solar vibration.
Source: US National Optical Astronomy Observatory

آزمایش مدل نوترینو خورشیدی



Observatory of neutrino, Sudbury
Source: Sudbury Neutrino Observatory

*واکنش گداخت هسته ای ذرات بنیادی را به نام نوترینو تولید می کند.

*آن ها جرم بسیار کمی دارند و به ندرت با مواد دیگر واکنش نشان می دهند.

*جرم آنها به وسیله رصدخانه های ویژه ،مانند رصدخانه نظارت بر نوترینو سودبوری (شکل سمت چپ) شناسایی و اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده با پیش بینی های حاصل از مدل سازی ها سازگار بود.

مدت زمان زندگی ستاره ای

*طول عمر یک ستاره بستگی به میزان سوخت هسته ای (هیدروژن) آن و سرعت مصرف آن (توان) دارد.

*ستاره هایی که جرمشان کمتر از خورشید ما است، متداول ترند. آنها سوخت کمتری دارند، و توان کمتری دارند و این باعث می شود عمر طولانی تری داشته باشند.

*ستاره هایی که جرم بیشتری از خورشید دارند، کمتر رایج هستند. آنها سوخت بیشتری دارند، و توان بسیار بالاتری دارند، و این موجب می شود زندگی کوتاه تری داشته باشند.

چگونه ستاره شناسان در مورد تکامل ستارگان اطلاعات کسب می کنند؟

*با مشاهده ستارگان در مراحل مختلف زندگی شان و قرار دادن آن ها در نمودارتکامل ستاره ای

*ساخت مدل با استفاده از رایانه، با استفاده از قوانین فیزیک، و بررسی تغییرات در ترکیب ستاره در طی همجوشی هسته ای

*مطالعه خوشه های ستاره ای و یا گروه های ستاره ای با جرم های مختلف، اما با سن مشابه

*مطالعه فازهای سریع و عجیب و غریب در زندگی ستارگان (به عنوان مثال ابرنواخترها و نواخترها)

*از طریق مطالعه ستاره های متغیرتپنده، اندازه گیری تغییرات آهسته در دوره تپندگی ناشی از تکامل آن ها

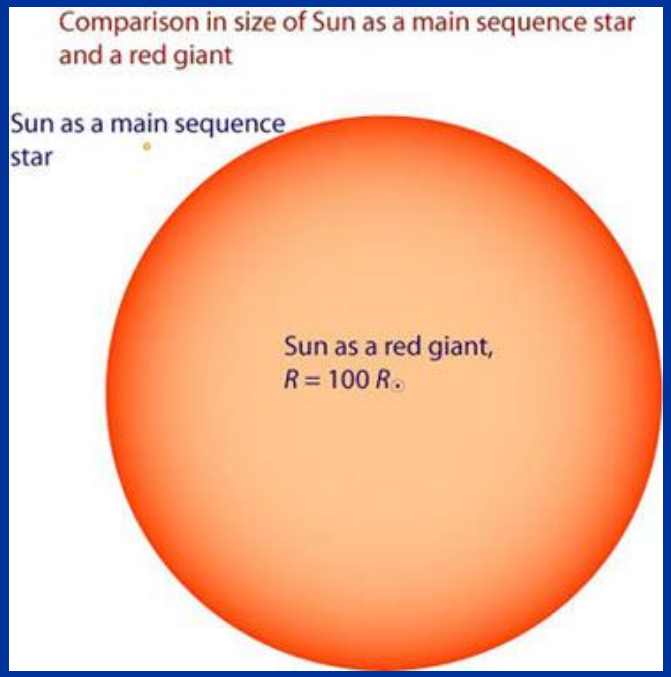
تکامل ستاره های شبیه به خورشید

*ستاره ی شبیه به خورشید،در 90 درصد ابتدایی زندگی اش تغییرات چندانی ندارد، تا آنجا که به اندازه کافی سوخت (هیدروژن) برای ادامه واکنش های اتمی هسته ای را دارد. ما آن را یک ستاره رشته اصلی می نامیم.

*هنگامی که سوخت آن، هیدروژن رو به پایانی می رود، به یک ستاره غول سرخ تبدیل می شود.

*در داخل هسته، درجه حرارت می تواند به اندازه کافی بالا باشد ، برای شروع تولید انرژی از طریق همجوشی هلیوم به کربن

*هنگامی که سوخت هلیوم رو به اتمام می رود، ستاره دوباره با متورم شدن به غول قرمز بزرگتری تبدیل می شود که صدها برابر بزرگتر از خورشید است.



Comparison of size: Sun - red giant
Source: Australia National Telescope Facility

مرگ ستارگان شبیه به خورشید

Helix Planetary Nebula.
Source: NASA

*هنگامی که ستاره به یک غول قرمز تبدیل می شود، شروع به تپندگی (تپش) می کند. ما آن را ستاره میرایی می نامیم.

*تپندگی باعث جدا شدن لایه های بیرونی ستاره می شود و تولید یک سحابی سیاره ای زیبا (در سمت چپ) می کند.

*هسته ستاره در این حالت کوتوله، متراکم، سفید، کوچک، و بدون سوخت می شود.

کوتوله سفید

*کوتوله سفید یک هسته مرده از ستاره های شبیه به خورشید است.

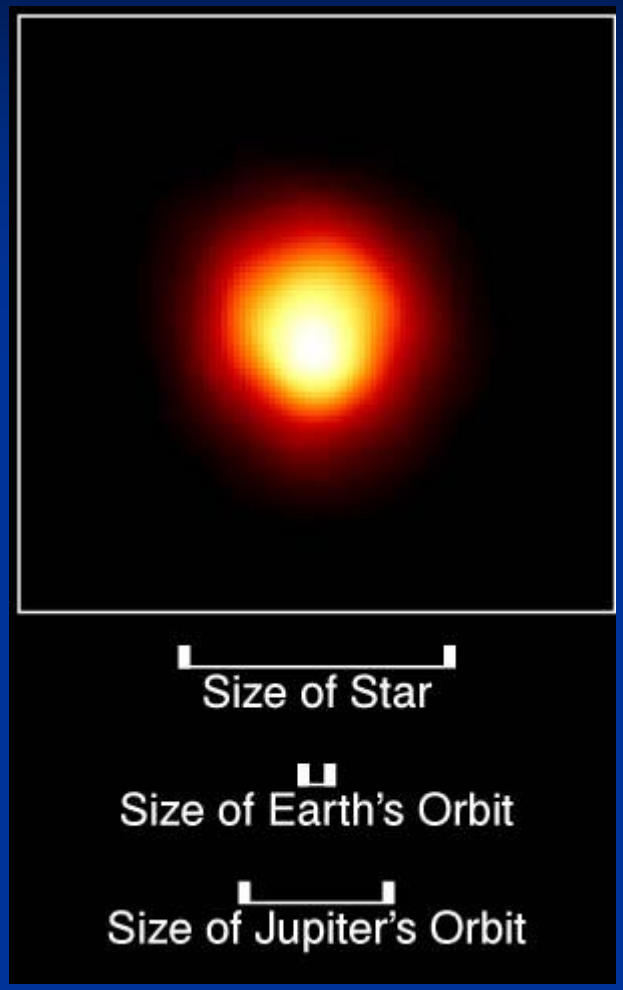
*یک ستاره کوتوله سفید دارای جرمی شبیه به خورشید، حجمی شبیه به زمین است و چگالی آن میلیون بار بزرگتر از چگالی آب می باشد.

*در یک کوتوله سفید، نیروی گرانشی مرکزگرا، توسط فشار کوانتومی خارجی الکترونها به تعادل می رسد.

*بسیاری از ستاره های نزدیک ما ، از جمله شعرای یمانی(سمت چپ) و شعرای شامی، همراهانی از کوتوله سفید دارند.

The white dwarf companion (below) of Sirius (above). Source NASA

تکامل یک ستاره پرجرم



*ستاره های پرجرم به نسبت کم و قدرتمند هستند و سوخت خود را بسیار سریع مصرف می کنند - در چند میلیون سال.

*هنگامی که سوخت خود را مصرف کردند، متورم می شوند و به ستاره های سوپر غول قرمز تبدیل می شوند.

*هسته آن ها بسیار گرم است، به اندازه ای که می تواند عناصر سنگین تری را تولید کند مثل آهن

*ابط الجوزا(سمت چپ)، در صورت فلکی شکارچی ، یک ابر غول قرمز درخشان است. این ستاره بسیار بزرگتر از مدار چرخش زمین است.

Betelgeuse.
Source: NASA/ESA/HST

مرگ یک ستاره پرجرم

*زمانی که هسته یک ستاره عظیم پرجرم مملو از آهن می شود، در این حالت سوخت هسته ای بیشتری برای ادامه همجوشی ندارد و دیگر نمی تواند داغ باشد.

*جاذبه هسته را فشرده می کند و آن را تبدیل به یک ستاره نوترونی می کند، سپس مقادیر زیادی انرژی پتانسیل گرانشی را آزاد می کند و ستاره با انفجاری به یک ابرنواختر تبدیل می شود.(سمت چپ)

*ابرنواخترها عناصر سنگین تر از آهن را تولید می کنند و عناصرمختلفی را به فضا منتقل می کنند که تبدیل به بخشی از ستارگان، سیارات و زندگی جدید خواهند شد.

The Crab nebula, the remnant of an explosion of supernovae observed in 1054 AD. Source: NASA

سیاه چاله ها

Artistic conception of Cygnus X-1, a visible star (left) with a black hole (right) in a center of accretion disk. Source: NASA.

*سیاهچاله یک جرم نجومی است که گرانش آن بسیار قوی است و هیچ چیز نمی تواند از آن فرار کند، حتی نور.

*هسته ستاره های عظیم غیر معمول (بیش از 30 برابر جرم خورشید) هنگامی که سوخت آنها رو به پایانی می رود، سیاهچاله ها می شوند.

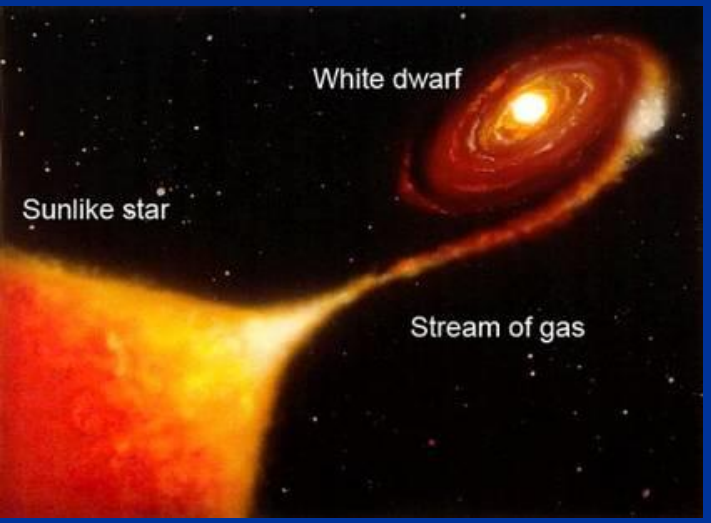
*یک روش تشخیص سیاه چاله: هنگامی که یک ستاره قابل مشاهده در اطراف آن ها در حال چرخش است (سمت چپ)

ستارگان متغیر انفجاری

*بسیاری از بقایای ستاره ای - کوتوله های سفید، سیاه چاله ها یا ستاره های نوترونی - یک ستاره قابل مشاهده معمولی در اطراف خود دارند.

*اگر گاز از ستاره عادی به باقی مانده ستاره ای دیگر برسد، قرصی برافزایشی می تواند در اطراف آن تشکیل شود (سمت چپ).

*هنگامی که گاز به بقای ستارهای ریزش می کند، می تواند انفجار، فوران یا منفجر شود، که ما آن را یک ستاره متغیر انفجاری می نامیم.



A star with a normal cataclysmic variable (left) and a white dwarf star on an accretion disc (right).
Source: NASA

تولد ستارگان

*ستاره ها در داخل ابرهای مولکولی (سحابی)، که از گاز سرد ،گرد و غبار ساخته شده شکل می گیرند.

*گرد و غبار بین ستاره ای و گاز حدود 10 درصد از ماده در کهکشان ما است. ستاره های جوان به طور کلی می توانند در داخل و یا در نزدیکی سحابی یافت می شوند، در واقع از آنها برخاسته اند.

*نزدیک ترین و واضح ترین نمونه از منطقه شکل گیری ستاره ،سحابی شکارچی (سمت چپ) است که حدود 1500 سال نوری از ما فاصله دارد

Orion Nebula
Source: NASA

گاز میان ستاره ای
گاز بین ستاره ها

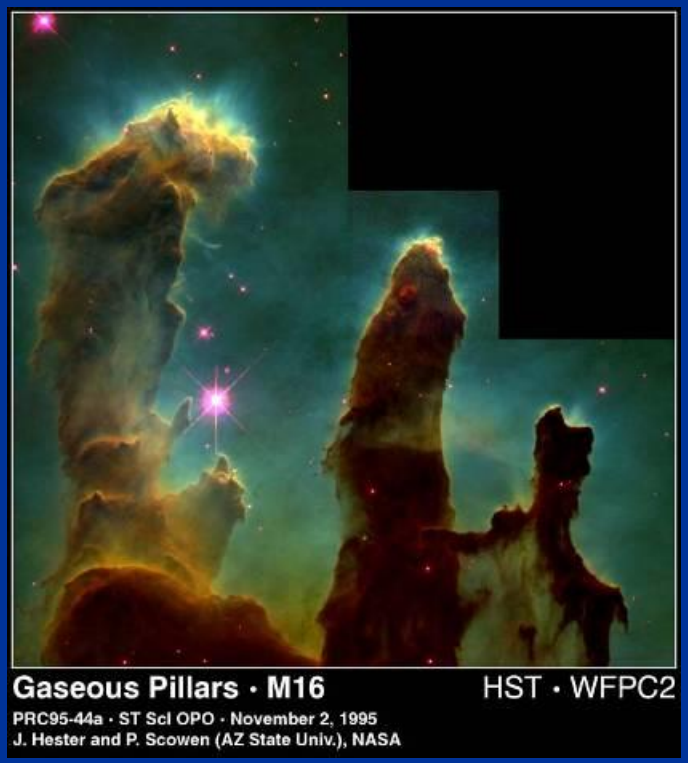
The Orion nebula. The gas is energized by ultraviolet light from the stars in the nebula. Source: NASA

*گاز بین ستاره ای (اتم یا مولکول) می تواند توسط نور ماوراء بنفش ستاره ی مجاورش فعال شود و یک سحابی نشری ایجاد کند.(سمت چپ).

*گاز سرد بین ستاره ها، امواج رادیویی را تولید می کند که می توان توسط تلسکوپ های رادیویی آنها را شناسایی کرد.

98 درصد از گاز بین ستاره ای، از هیدروژن و هلیوم ساخته شده است.

گرد و غبار بین ستاره ای
گرد و غبار بین ستارگان



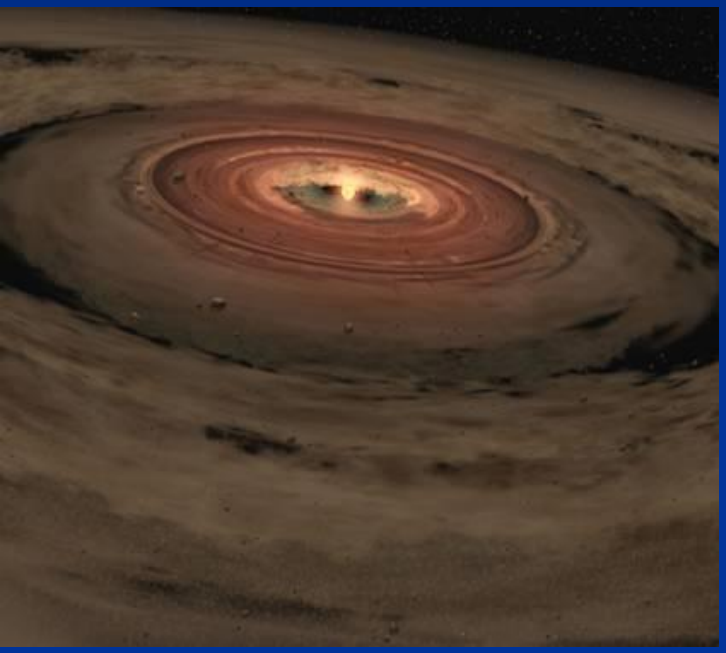
M16
Soruce: NASA/ESA/HST

*گرد و غبار میان ستاره ای در نزدیکی ستارگان درخشان می تواند در قسمت قابل مشاهده طیف ها شناسایی شود.

*گرد و غبار می تواند نور و گازستارگانی که در پشتش قرار دارند را انسداد کند.(شکل چپ). ستاره ها در این ابرها شکل می گیرند.

تنها 1درصد ماده بین ستاره ها گرد و غبار است. ذرات گرد و غبار چند صد نانومتر هستند و عمدتا سیلیکات یا گرافیت

تشکیل ستاره



Artistic conception of a planetary system in the formation process.
Source: NASA

*ستاره ها در داخل قسمت هایی از یک سحابی تشکیل می شوند ،که هسته ای متراکم یا فشرده دارند.

*جاذبه مسئول جذب اجزای هسته است.

*پایستگی تکانه زاویه ای، موجب افزایش چرخش هسته می شود، در نتیجه، در ابتدا مسطح و در نهایت به دیسک های چرخانی تغییر شکل می دهد.

*ستاره ها در مرکز دیسک تشکیل می شوند. سیاره ها در قسمت های سردترو بیرونی تشکیل می شوند.

دیسک های پیش سیاره ای
سیستم های سیاره ای در فرایند تشکیل

Proplyds
Source: NASA/ESA/HST

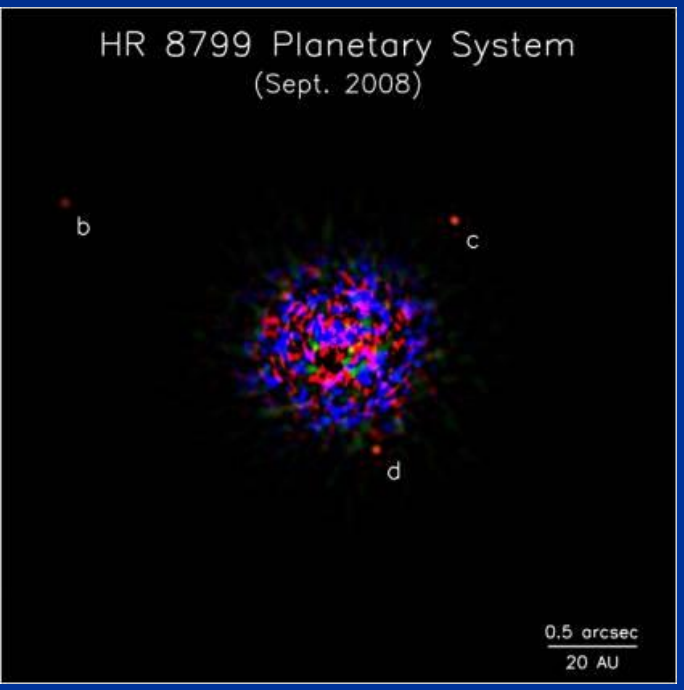
*دیسک های پیش سیاره ای در سحابی شکارچی دیده شده اند (سمت چپ).

*ستاره به سختی می تواند در مرکز دیسک دیده شود.

*دیسک گرد و غبار سبب مسدود شدن نورپشتش می شود.

*این مشاهده و سایر مشاهدات، شواهدی مستقیم از تشکیل سیستم های سیاره ای را به ما نشان می دهد.

سیارات فرا خورشیدی
سیارات اطراف ستارگان



System exoplanet HR 8799
Source: C. Marois et al., NRC Canada

*سیارات فراخورشیدی معمولا از طریق اثر گرانشی ستاره، و یا از طریق کم شدن نور ستاره هنگام عبورسیاره از مقابل آن کشف و مورد مطالعه قرار می گیرند.

*تعداد کمی از آن ها به طور مستقیم ثبت شده اند. (سمت چپ). بر خلاف سیارات در سیستم خورشیدی ما، بسیاری از سیارات فرا خورشیدی بزرگ و بسیار نزدیک به ستاره مادر هستند. این فرصت برای ستاره شناسان مهیا می شود که نظریه تشکیل سیاره ها را بررسی یا تصحیح کنند.

ملاحظات نهایی

- *"جاذبه موجب تشکیل، زندگی و مرگ ستارگان می شود". [Professor R.L. Bishop]

*تولد یک ستاره منشاء سامانه خورشیدی ما و دیگر سیستم های سیاره ای را توضیح می دهد.

*زندگی یک ستاره منبع انرژی که زندگی در زمین را ممکن می سازد توضیح می دهد.

*زندگی و مرگ ستارگان ،عناصر شیمیایی سنگین تر از هیدروژن را تولید می کند که تشکیل ستارگان، سیاره ها و زندگی از آنها نشات می گیرد.

*در طول مرگ یک ستاره، گرانش عجیب ترین اجرام را در جهان ایجاد می کند: کوتوله های سفید، ستاره های نوترونی و سیاه چاله ها

از توجه شما بسیار سپاسگزارم !