

به نام خدا

زایش، تکامل، و فرجام

ستارگان

برگرفته از: <http://en.wikipedia.org/wiki/Star>

برگرداننده:

مهدی عباسیان

دانشجوی رشته‌ی فیزیک

www.Khorshidvash.com

ستارگان چراغ‌های روشن جهان هستند و بدون آنها زندگی هرگز هستی نمی‌یافت. کمابیش همه‌ی عنصرهای سنگین‌تر از هیدروژن و هلیوم درون هسته‌ی ستارگان ساخته شده‌اند. در طی تکامل ستارگان است که این عنصرهای سنگین شکل می‌گیرند.

در این نوشتار زایش، تکامل، و فرجام ستارگان را بررسی خواهیم کرد.

یک ستاره یک گوی سنگین و درخشان از پلازما است. ستارگان برای ساختن کهکشان‌ها گرد هم می‌آیند. آنان فرمانروایان جهان دیده‌شدنی هستند. نزدیک‌ترین ستاره به زمین خورشید است، که سرچشمه‌ی بیشترین مقدار انرژی در زمین است. ستارگان دیگر را در شب می‌توانیم ببینیم، آنگاه که روشنایی خورشید جلوی دیده شدن آنها را نمی‌گیرد. همجوشی هسته‌ای درون ستارگان انرژی مورد نیاز برای درخشیدن آنها را فراهم می‌آورد. کمابیش همه‌ی عنصرهای سنگین‌تر از هیدروژن و هلیوم درون هسته‌ی ستارگان ساخته شده‌اند.

یکاهای اندازه‌گیری

در آغاز به شناساندن یکاهای اندازه‌گیری کمیت‌های ستاره‌ای می‌پردازیم. بیشتر مشخصه‌های ستاره‌ای بنا بر قراردادهای SI بیان می‌شوند، ولی یکاهای CGS نیز به کار می‌روند. جرم، درخشندگی، و شعاع را، اغلب، یکاهای خورشیدی می‌گیریم که بر پایه‌ی ویژگی‌های خورشیدی ارائه می‌شوند:

$$M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30} \text{ Kg}$$

جرم خورشیدی

$$L_{\odot} = 3.827 \times 10^{26} \text{ Watts}$$

درخشندگی خورشیدی

$$R_{\odot} = 6.960 \times 10^8 \text{ m}$$

شعاع خورشیدی

طول‌های بزرگ، مانند شعاع یک ستاره‌ی غول یا نیم‌محور اصلی یک ستاره‌ی دو گانه، را اغلب با یکای واحد نجومی (AU) اندازه می‌گیریم. یک واحد نجومی برابر با میانگین فاصله‌ی زمین از خورشید است (۱۵۰ میلیون کیلومتر).

ساخت و تکامل

ستارگان درون توده‌های ابرهای مولکولی ساخته می‌شوند، ناحیه‌هایی بزرگ از چگالی بالا در واسطه‌ی میان‌ستاره‌ای (اگر چه هنوز هم چگالیشان کم‌تر از یک اتاق خلاء زمینی است!). این ابرها بیشتر از هیدروژن ساخته شده‌اند. همراه با ۲۳ تا ۲۵ درصد هلیوم و درصد کمی از عنصرهای سنگین‌تر. یک نمونه از چنین ابرگونه‌های ستاره‌ساز سحابی شکارچی است. همچنان که ستارگان سنگین از چنین ابرهایی ساخته شده‌اند، نیرومندان می‌درخشند و ابرها را به آنچه ابرها از آن ساخته شده‌اند یونیزه می‌کنند، آفریدن ناحیه‌ی H II.

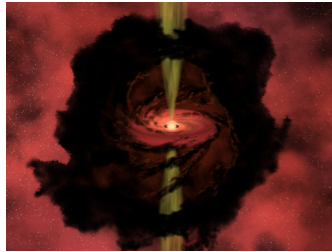
ساخت Protostar

ساخت یک ستاره با یک ناپایداری گرانشی درون یک ابر مولکولی آغاز می‌شود؛ اغلب کشیده شدن ماشه با امواج ناگهانی و تکان‌دهنده از ابرنواختر یا برخورد دو کهکشان انجام می‌شود. یک بار که یک ناحیه به مقداری بسنده از چگالی ماده برای ارائه‌ی شرایط ناپایداری Jeans برسد آغاز به فروپاشی در نیروی گرانشی می‌کند.

هنگامی که توده‌ی ابر فرو می‌ریزد، توده‌های تکی غبار و گاز چگال ساخته می‌شوند که گویچه‌های Bok نامیده می‌شوند. آنها می‌توانند بیش از ۵۰ جرم خورشیدی ماده را در بر داشته باشند. هنگامی که یک گویچه فرو می‌ریزد و چگالی افزایش می‌یابد انرژی

گرانشی به گرما دگرش یافته و دما افزایش می‌یابد. آنگاه که ابر Protostar-ی به حالت کمابیش پایدار "تعدادل هیدرواستاتیک" رسید یک Protostar در هسته‌ی آن ساخته می‌شود. این پیش‌ستارگان رشته‌ی اصلی اغلب با یک صفحه‌ی protoplanetary فرا گرفته شده‌اند. دوره‌ی همگرایی گرانشی کمابیش ۱۰ تا ۱۵ میلیون سال به درازا می‌کشد.

ستارگان اولیه‌ی دارای جرمی کم‌تر از ۲ برابر جرم خورشیدی، ستارگان T Tauri نامیده می‌شوند، و ستارگانی با جرمی بیشتر از آن را ستارگان Herbig Ae/Be می‌نامیم. این ستارگان نوزاد فواره‌هایی از گاز را در راستای محور چرخش خود به بیرون پرتاب می‌کنند، که تکه‌هایی از ابرواره‌هایی با نام اشیای Herbig-Haro را تولید می‌کنند.



تصویر هنری از زایش یک ستاره درون یک ابر مولکولی چگال (عکس از NASA)

رشته‌ی اصلی

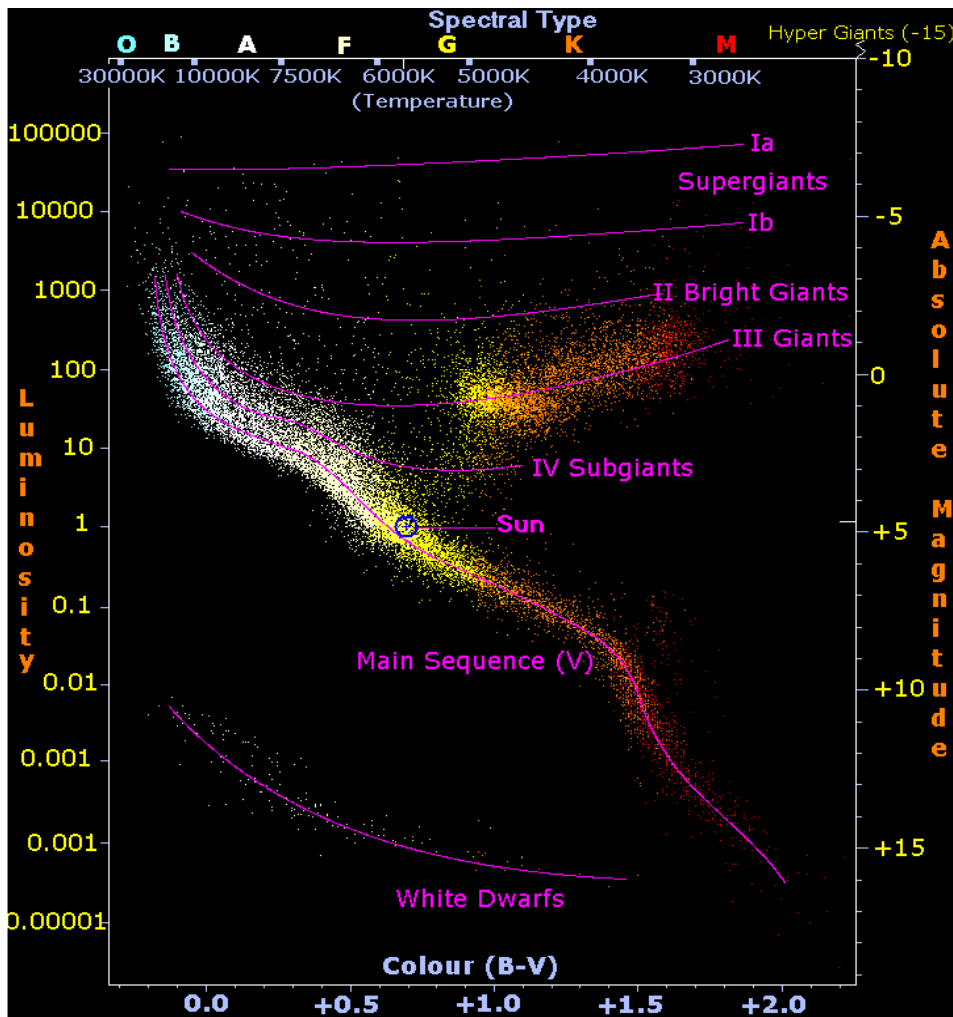
ستارگان، کمابیش، ۹۰ درصد از زندگی‌شان را صرف آمیختن هیدروژن می‌کنند تا هلیوم را در واکنش‌هایی با دما و فشار بالا در نزدیکی هسته تولید کنند. چنین ستاره‌هایی را که در رشته‌ی اصلی جای دارند "ستارگان کوتوله" یا "ستارگان رشته‌ی اصلی" می‌نامیم. با آغاز از عمر صفر رشته‌ی اصلی (ZAMS)، نسبت هلیوم در هسته‌ی ستاره همواره افزایش می‌یابد. به عنوان یک پیامد، برای پشتیبانی از نرخ (آهنگ) همجوشی هسته‌ای مورد نیاز در هسته، دما و درخشندگی ستاره به آرامی افزایش می‌یابد. برای نمونه، برآورد شده است که درخشندگی خورشید از ۴.۶ میلیارد سال پیش، که به رشته‌ی اصلی رسید، تا کنون ۴۰٪ افزایش یافته است.

هر ستاره بادی از ذرات (باد خورشیدی) را تولید می‌کند که موجب پرتاب پیوسته‌ی گاز به سوی بیرون می‌شود. برای بیشتر ستارگان، اندازه‌ی جرمی که بدین گونه از دست می‌رود بسیار ناچیز است. برای نمونه، خورشید ما هر ساله 10^{-14} جرم خورشیدی از دست می‌دهد، یا به دیگر سخن، خورشید در همه‌ی زندگی خود کمابیش یک صدم درصد از همه‌ی جرمش را از دست می‌دهد. به هر روی، ستارگان بسیار سنگین می‌توانند 10^{-7} تا 10^{-5} جرم خورشیدی را هر ساله از دست بدهند، که به طور معنی‌داری بر فرایند تکامل آنها اثرگذار است.

مدت زمانی را که یک ستاره در رشته‌ی اصلی می‌گذراند، در اصل، به مقدار سوخت آن و سرعت سوزاندن سوخت بستگی دارد و به عبارت دیگر، به مقدار جرم آغازین و درخشندگی آن. برای خورشید، 10^{10} سال را پیش‌بینی می‌کنیم. ستارگان بزرگ سوختشان را به تندی می‌سوزانند و زندگی کوتاهی دارند. ستارگان کوچک، که کوتوله‌های سرخ نامیده می‌شوند، سوختشان را به آهستگی می‌سوزانند و چند صد میلیارد سال می‌پایند. در پایان زندگی‌شان تاریک و تاریک‌تر می‌شوند، و در پایان به کوتوله‌ی سیاه بی‌فروغی تبدیل می‌شوند. به هر روی، اکنون از آنجا که طول عمر چنین ستارگانی بزرگ‌تر از عمر جهان است (۱۳.۷ میلیارد سال)، انتظار وجود چنین ستاره‌هایی را نداریم.

گذشته از جرم، سهم عنصرهای سنگین‌تر از هلیوم می‌تواند نقش معنی‌داری در تکامل ستارگان داشته باشد. در اخترشناسی همه‌ی عنصرهای سنگین‌تر از هلیوم "فلز" دانسته می‌شوند و شدت شیمیایی این عنصرها را metallicity گویند. metallicity می‌تواند مدت زمانی را که یک ستاره سوختش را می‌سوزاند دگرگون سازد، و نیز می‌تواند ساختار میدان‌های مغناطیسی آن را مهار کند و بزرگی باد خورشیدی را دگرش دهد. ستارگان پیرتر (جمعیت II) با توجه به آرایش ابرهای مولکولی که از آنها ساخته شده‌اند به طور بنیادین

metallicity کم تری نسبت به جوان ترها (ستارگان جمعیت I) دارند. پیش از آنکه این ابرها به طور فزاینده از عنصرهای سنگین تر غنی شوند ستاره‌های پیرتر می‌میرند و اجزای جو خود را می‌افشانند.



نمونه‌ای از نمودار HR برای دسته‌ای از ستارگان که خورشید نیز جزو آنهاست.

رشته‌ی Post-main

ستارگانی که دست کم دارای ۰.۴ جرم خورشیدی هستند، پس از آنکه موجودی هیدروژن هسته‌ی خود را به طور کامل می‌سوزانند، لایه‌های بیرونیشان گسترده و سرد می‌شود تا یک غول سرخ را بسازند. کمابیش ۵ میلیارد سال دیگر خورشید، زمانی که غولی سرخ است، چنان بزرگ می‌شود که سیاره‌ی تیر و شاید سیاره‌ی ناهید را در بر می‌گیرد! پیش‌بینی‌ها به ما می‌گویند که خورشید تا ۹۹ درصد از فاصله‌ی مداری زمین را پر خواهد کرد (یک واحد نجومی یا یک AU). در آن زمان، با توجه به اتلاف جرم توسط خورشید، مدار زمین تا ۱.۷ واحد نجومی گسترش خواهد یافت و از این روی زمین از خطر خواهد جست. با این وجود، زمین تهی از اقیانوس‌ها و جو خواهد شد چرا که درخشندگی خورشید چندین هزار برابر افزایش یافته است.

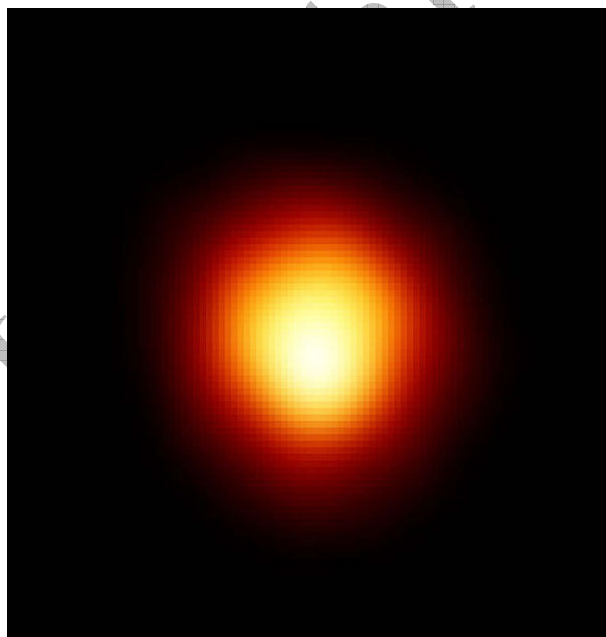
در غول سرخی که جرمی تا ۲.۲۵ جرم خورشیدی دارد، همجوشی هیدروژنی در یک لایه‌ی پوسته‌ای پیرامون هسته ادامه خواهد یافت. همچنین هسته به اندازه‌ی کافی فشرده خواهد شد تا همجوشی هلیومی آغاز شود و اینک شعاع این ستاره اندک‌اندک کم می‌شود و دمای سطحش افزایش می‌یابد. برای ستارگان بزرگ‌تر ناحیه‌ی هسته از همجوشی هیدروژن، به طور سراسر، به همجوشی هلیومی گذار

می‌کند. پس از آنکه ستاره هلیوم را در هسته به پایان رساند، همجوشی در یک پوسته پیرامون یک هسته‌ی داغ از کربن و اکسیژن ادامه خواهد یافت. سپس ستاره یک راه تکاملی را، که موازی با فاز غول سرخ ولی با یک دمای سطحی بالاتر است، دنبال خواهد کرد.

ستارگان سنگین

در هنگام فاز هلیوم‌سوزی، ستارگان بسیار پرجرم با جرمی بیشتر از ۹ برابر جرم خورشیدی برای فرآوردن ابرغول‌های سرخ گسترده می‌شوند. یک بار که این سوخت در هسته به پایان رسید، آنها می‌توانند به گداختن عنصرهای سنگین‌تر از هلیوم پردازند. تا زمانی که فشار و دما برای گداخت کربن کافی باشد، هسته منقبض می‌شود. این پردازش با سوزاندن اکسیژن، نئون، سیلیکون، و سولفور ادامه می‌یابد. نزدیک به پایان زندگی ستاره، گداخت می‌تواند در طی یک دنباله از پوسته‌های پیازلایه‌ای درون ستاره رخ دهد. هر پوسته عنصری متفاوت را می‌گدازد، به این ترتیب که در پوسته‌ی بیرونی "هیدروژن"، در پوسته‌ی درونی‌تر "هلیوم" و در پوسته‌های درونی‌تر از آن عنصرهای دیگر گداخت می‌یابند.

گام پایانی زمانی فرا می‌رسد که ستاره فرآوردن آهن را آغاز می‌کند. از آنجا که اتم‌های آهن بسیار مقیدتر از اتم‌های هر عنصر سنگین‌تر دیگر هستند، اگر هم‌گدازی کنند هیچ انرژی‌ای را آزاد نخواهند کرد و این پردازش، به طور وارون، انرژی را مصرف خواهد کرد. همچنین از آنجا که آنها بسیار مقیدتر از همه‌ی اتم‌های سبک‌تر هستند، نمی‌توانند توسط شکافت هسته‌ای انرژی آزاد کنند. ستارگان بسیار پر جرم و به‌نسبت پیر، هسته‌ای از آهن را که در مرکزشان انباشته می‌کنند. عنصرهای سنگین‌تر در این ستاره‌ها می‌توانند راهشان را تا سطح فراهم آورند و اشیایی رشدیافته را شکل دهند که آنها را با نام ستارگان Wolf-Rayet می‌شناسیم و چنان باد خورشیدی متراکمی دارند که جو بیرونی را می‌افشانند.



ستاره‌ی آلفا-شکارچی که یک ابرغول سرخ است و به پایان زندگی خود نزدیک می‌شود.

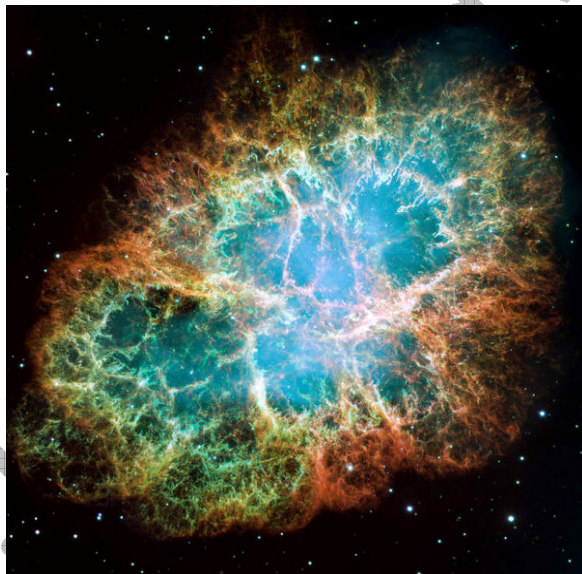
رُمبش (فروریختگی)

یک ستاره‌ی میان‌اندازه و رشدیافته لایه‌های بیرونی را به صورت یک سحابی سیاره‌ای به بیرون می‌افشانند. اگر آنچه که پس از افشاندن جو بیرونی می‌ماند کم‌تر از ۱.۴ جرم خورشیدی باشد، ستاره به صورت یک جسم به‌نسبت کوچک (نزدیک به اندازه‌ی زمین) در

می آید که جرم کافی برای فشردگی بیشتر ندارد، به این دسته از ستارگان "کوتوله‌های سفید" می‌گوییم. کوتوله‌های سفید، سرانجام، پس از گذشت زمانی طولانی به "کوتوله‌های سیاه" بی‌نور تبدیل می‌شوند.

در ستاره‌های بزرگ‌تر، تا زمانی که هسته‌ی آهنی بسیار بزرگ شود (بیش از ۱.۴ جرم خورشیدی) و نتواند جرم بیشتری را نگهداری کند، همجوشی ادامه می‌یابد. در این زمان ناگهان هسته فرو می‌ریزد، به گونه‌ای که الکترون‌های آن به درون پروتون‌ها رانده شده و نوترون‌ها و نوترینوها در قطاری از واپاشی بتای وارون یا رایش الکترونی شکل می‌گیرند. ضربه‌ی موج به وجود آمده از این زُمبش ناگهانی موجب انبساط بقیه‌ی ستاره به یک ابرنواختر می‌شود. ابرنواخترها آنچنان درخشان هستند که شاید از کهکشانی که در آن هستند درخشش بیشتری را به نمایش بگذارند. در گذشته، هنگامی که ظهور ابرنواخترها در راه شیری رخ می‌داده است مشاهده‌گرها نام "ستارگان نو" را به آنها می‌دادند، چرا که پیش از آن در این نقاط نبودند.

بیشتر ماده‌ی درون ستاره با انبساط ابرنواختری به بیرون پرتاب می‌شود (و ابرواره‌هایی مانند سحابی خرچنگ را شکل می‌دهد)، و آنچه می‌ماند یک ستاره‌ی نوترونی است (که گاهی خود را به صورت یک تپ‌اختر یا ایجادکننده‌ی اشعه‌ی X نشان می‌دهد). در مورد بزرگ‌ترین ستاره‌ها (آن اندازه بزرگ که بازمانده‌ای بیشتر از ۴ برابر جرم خورشیدی بر جای بگذارند)، فرجام یک سیاه‌چاله است. لایه‌های بیرونی پرتاب‌شده‌ی ستاره‌های در حال مرگ در بردارنده‌ی عنصرهای سنگینی هستند که می‌توانند در طی ساختیابی ستارگان نو بازیابی شوند. این عنصرهای سنگین اجازه‌ی ساخت یافتن سیاره‌های سنگی را می‌دهند. برون‌ریزی از ابرنواخترها و پادهای خورشیدی ناشی از ستاره‌های بزرگ نقشی بنیادین در شکل‌دهی محیط میان‌ستاره‌ای بازی می‌کنند.



سحابی خرچنگ، بازمانده‌ای از یک ابرنواختر است که برای نخستین بار در ۱۰۵۰ میلادی دیده شد.