

نخستین درس در ستاره شناسی - بخش سوم

درس ششم: ستارگان کم جرم

دکتر حسین شناور



پروژه سراسری دانش آموزی امام جعفر صادق (ع) گیلان

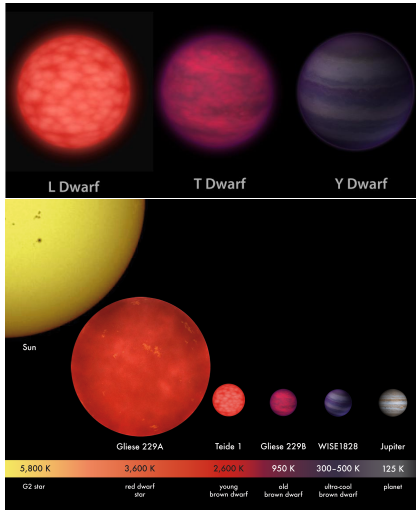


مدیریت آموزش و پرورش شهرستان گلبهار

- این مجموعه درس برای آشنایی مقدماتی دانش آموزان و علاقمندان فارسی زبان با مباحث نجوم، اختر فیزیک و کیهان شناسی طراحی شده است. هدف اصلی این مجموعه درس، افزایش دانش علاقمندان به ستاره شناسی است؛ هرچند، به برخی مهارت های مربوطه نیز پرداخته خواهد شد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:
h.shenavar@gmail.com
- از همکاران محترم در گلبهار و گلکان، برای همفکری ها و حمایت هایشان از فعالیت های پژوهش سرای دانش آموزی گلکان، کمال سپاسگزاری را دارم.
- برای ضبط این درس ها از نرم افزار Zoom استفاده شده است.

- ۱ درس ششم: ستارگان کم جرم
- تحول ستارگان با جرم بسیار کم
 - تحول خورشید و ستارگان مانند آن

آنچه گذشت: کوتوله های قهوه ای



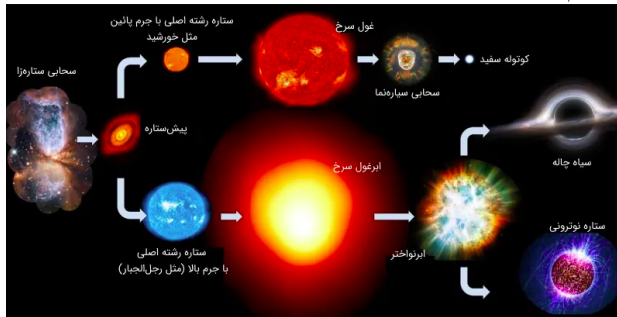
در جلسه پیش مفاهیم اصلی مربوط به کوتوله های قهوه ای را فرا گرفتیم:

۱. جرم کوتوله های قهوه ای
۲. اندازه کوتوله های قهوه ای
۳. روش تولید انرژی در کوتوله های قهوه ای
۴. تفاوت کوتوله های قهوه ای با سیارات و ستارگان
۵. نحوه رصد کوتوله های قهوه ای
۶. انواع کوتوله های قهوه ای
۷. اتمسفر کوتوله قهوه ای



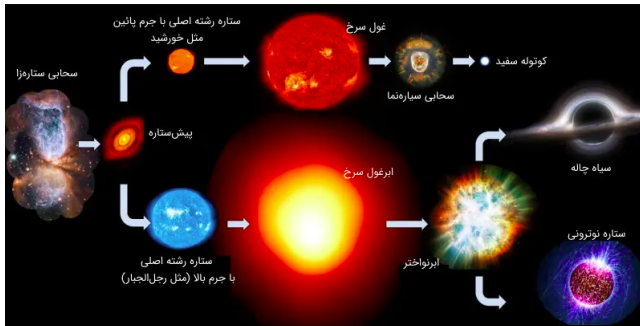
ستارگان: به نظر آرام، ولی بسیار طوفانی!

- ستارگان در آسمان شب به نظر مانند الماس هایی کوچک و درخشان هستند. این اجرام موضوع اشعار رمانتیک بوده و مظهر آرامش و زیبایی اند.
- هرچند، شرایط فیزیکی در این اجرام بسیار سهمگین است. هر کدام از ستارگان، با انرژی خود می توانند زمین را میلیون ها بار نابود کنند.
- ستارگان مانند رآکتورهای هسته ای عمل می کنند و تقریبا در حال تعادل هستند؛ ولی نه همیشه!
- زندگی و مرگ ستارگان به چگونگی تولید انرژی در آنها بستگی دارد؛ و سرعت تولید انرژی در ستارگان نیز به جرم آنها بستگی دارد.

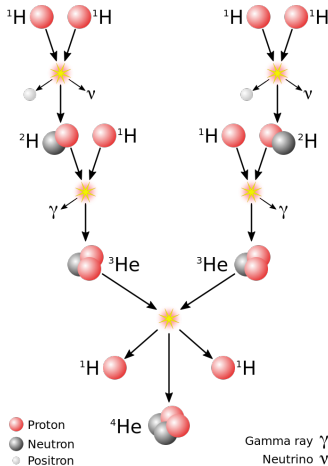


ستارگان پرجرم و کم جرم

- ستارگان را می توان به دو دسته پرجرم (با جرمی بیش از هشت برابر جرم خورشید) و کم جرم تقسیم بندی کرد. البته این دو نوع ستاره را در ادامه به بخش های دیگر (برحسب جرم شان) تقسیم کرده و مفصل بررسی خواهیم کرد.
- دلیل عدد ”هشت” را در ادامه خواهیم فهمید.
- پدیده های بسیار جالبی در ستارگان پرجرم رخ می دهند که بعدا درباره آنها بحث خواهیم کرد. ولی در این جلسه و جلسه بعد درباره ستارگان کم جرم بحث خواهیم کرد.



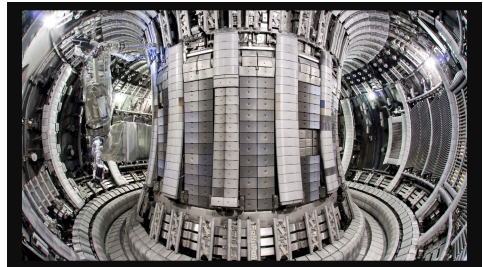
روش تولید انرژی در ستارگان



ستارگان در هسته خود هیدروژن را به هلیوم تبدیل می کنند و از این طریق قسمتی از جرم آنها تبدیل به انرژی می شود (رابطه هم انرژی جرم-اینشتین $E = mc^2$).

این فرایند را همجوشی هسته ای می نامند که البته فرایند پیچیده ای است. هرچند، به صورت خلاصه، چهار پروتون و تعدادی ذرات دیگر با هم برخورد کرده و هسته اتم هلیوم را تشکیل می دهند.

یکی از اهداف تکنولوژیکی انسان در عصر حاضر دستیابی به همجوشی هسته ای است.

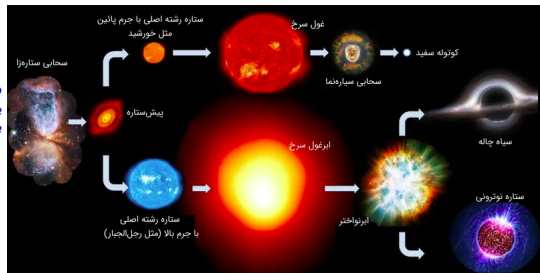
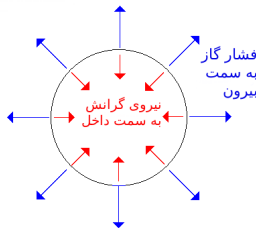


سرعت تولید انرژی در ستارگان

سرعت همجوشی هسته ای در هسته ستاره به فشار موجود در هسته ربط دارد. هرچقدر فشار هسته بیشتر باشد، سرعت همجوشی بالاتر خواهد بود. از طرفی، مقدار فشار هم به مقدار نیروی گرانش (مقدار جرم) ستاره بستگی دارد؛ زیرا فشار رو به بیرون و گرانش رو به داخل همدیگر را خنثی کرده و ستاره به حالت تعادل در می آید.

ستارگان پرجرم تر گرانش قوی تری دارند، در نتیجه فشار موجود در هسته بیشتر شده و سرعت واکنش ها افزایش می یابد.

سرعت همجوشی در ستارگان پرجرم به حدی زیاد است که با وجود مقدار ماده بسیار بیشتر در ستارگان پرجرم جهت همجوشی، عمر این ستارگان بسیار کمتر از ستارگان کم جرم خواهد بود.

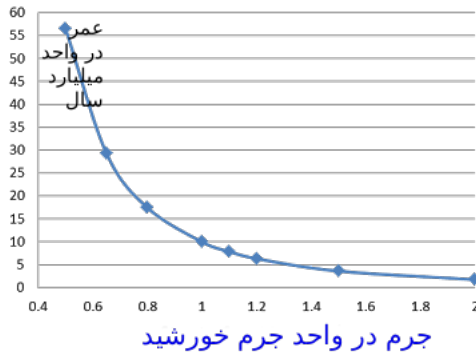


عمر ستارگان

حتی ستارگان هم می میرند!

نکته بسیار مهم: هرچقدر جرم ستاره بیشتر باشد، عمر آن کمتر خواهد بود. به نمودار زیر دقت کنید.

طول عمر ستارگان رشته اصلی



کوتوله های قرمز



در ستارگان بسیار کم جرم، که به نام کوتوله های قرمز مشهورند، سرعت همجوشی هیدروژن بسیار کم است؛ در نتیجه عمر ستاره بسیار طولانی است.

هسته این ستارگان کوچک است و همجوشی نیز فقط در این ناحیه رخ می دهد. هرچند، گاز خارج از هسته حالت همرفتی دارد. یعنی در اثر گرمای ناشی از همجوشی، گاز اطراف هسته به سمت سطح ستاره جریان پیدا کرده و سرد می شود. آنگاه، گاز سرد شده به سمت هسته برمی گردد و این چرخه ادامه پیدا می کند.

نکته اخیر بسیار مهم است زیرا نشان میدهد که ” گاز هیدروژن کل ستاره” در اختیار فرایند همجوشی است.

توجه: هر دو گاز هیدروژن و هلیوم به سمت سطح و برعکس جریان پیدا می کنند، البته فقط هیدروژن در این فرایند مصرف می شود.

ستاره مقابل یک کوتوله قرمز به نام پروکسیما قنطورس می باشد که نزدیکترین ستاره به ماست.

عمر کوتوله های قرمز



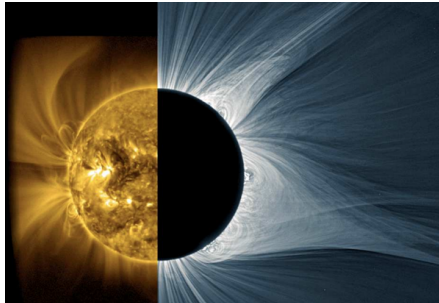
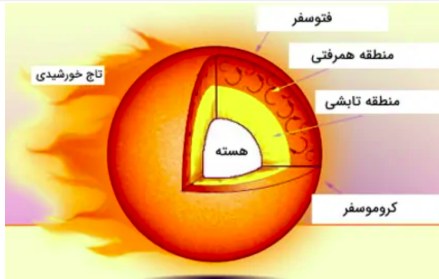
یک کوتوله قرمز بسیار کم جرم چقدر می تواند عمر کند؟! پاسخ: چنین ستاره ای می تواند تا یک تریلیون سال (هزار میلیارد سال) عمر کند. مقایسه کنید با عمر عالم که $13/7$ میلیارد سال است. بنابراین، حتی پیرترین کوتوله های قرمز در دوره نوزادی خود هستند!

انتظار می رود که این ستارگان تا صدها میلیارد سال دیگر بدون تغییر به فعالیت خود ادامه دهند. هرچند؛ در ادامه سوخت آنان تمام شده و در این مرحله تقریباً کل ستاره از هلیوم تشکیل شده است. بنابراین همجوشی متوقف شده و ستاره مانند کیک که از فر بیرون آمده کم کم سرد می شود. این فرایند نیز میلیاردها سال طول می کشد. در انتها ستاره سرد شده و هیچ نوری از خود تابش نمی کند. چنین ستاره ای مرده است!

البته با توجه به اینکه عمر کیهان بسیار کمتر از عمر پیرترین کوتوله های قرمز است، این سناریو را ما تا الان مشاهده نکرده ایم.

بنا به پیش بینی های فیزیک، این سناریو برای کم جرم ترین ستارگان (با جرمی کمتر از یک سوم جرم خورشید) درست است.

تحول ستارگانی مانند خورشید



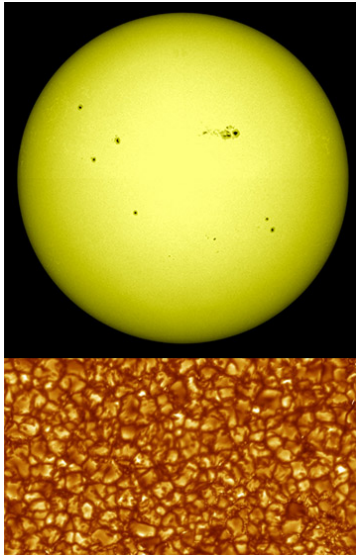
● روش کار و تحول ستارگانی مانند خورشید، نسبت به کوتوله های قرمز، متفاوت است.

● هسته خورشید بزرگتر، داغتر و چگالتر است و همجوشی هیدروژن در آن اتفاق می افتد. شرایط به حدی متفاوت است که مواد داخل هسته ستاره همرفت به بیرون از هسته ندارند.

● مواد داخل هسته خورشید، درون آن باقی خواهند ماند!

● البته همرفت در خارج از هسته ستاره برقرار است، ولی این فرایند با داخل هسته برهمکنشی ندارد.

عمر خورشید و ستارگان مشابه



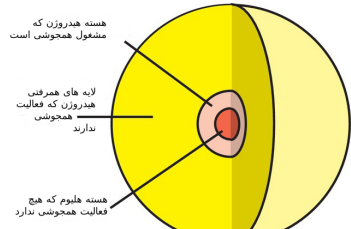
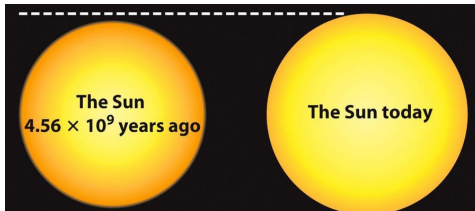
از آنجا که ستارگانی مانند خورشید سنگین تر از کوتوله های قرمز هستند، فشار درون هسته آنها بیشتر بوده و سرعت مصرف هیدروژن شان بیشتر است. به علاوه، سوخت مورد استفاده ستارگان خورشید مانند نیز فقط از هسته آنان تامین می شود. در نتیجه این سوخت معمولاً کمتر از کوتوله های قرمز است که همه ستاره در تامین سوخت نقش دارد. با توجه به این دو عامل، عمر ستارگان خورشید مانند بسیار کمتر از کوتوله های قرمز است.

عمر خورشید با تقریب خوبی در حدود دوازده میلیارد سال خواهد بود، یعنی خورشید در میانسالی خویش است.

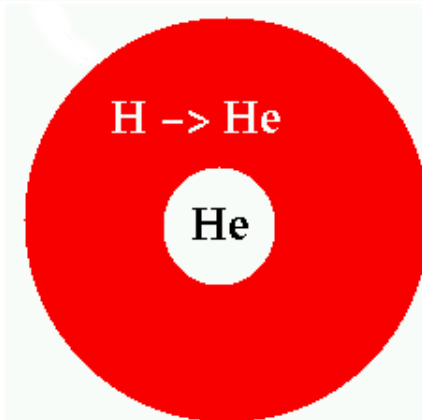
در ادامه زندگی و طول عمر خورشید و ستارگان شبیه به آن را به صورت دقیق تر بررسی می کنیم.

تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

- ۱ از ابتدای به وجود آمدن خورشید، هیدروژن در فرایند همجوشی تبدیل به هلیوم شده است. هلیوم در هسته خورشید به دام افتاده است و نمی تواند به عنوان سوخت همجوشی استفاده شود. در نتیجه، مقدار هلیوم در هسته خورشید مانند خاکستر در حال افزایش است. بنابراین، چگالی هسته خورشید کم کم افزایش می یابد، و این باعث افزایش فشار و در نتیجه افزایش سرعت همجوشی در هسته می شود.
- ۲ در نتیجه فرایند بالا، گرمای تولید شده توسط خورشید به صورت بسیار بسیار آهسته، ولی پیوسته، در حال افزایش است.
- ۳ گرمای تولید شده در هسته به سمت لایه های بیرونی تر خورشید می رود. در نتیجه فرایند بالا، درخشندگی ستاره نیز روز به روز افزایش می یابد. در واقع، درخشندگی خورشید از ابتدای آن تا کنون حدودا ۴۰٪ افزایش یافته است (شعاع آن نیز کمی افزایش یافته است).



تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن



این فرایند همچنان ادامه خواهد داشت؛ هرچند بالاخره هیدروژن هسته خورشید تمام می شود و در نتیجه همجوشی در هسته متوقف خواهد شد.

هلیوم در هسته برخی ستارگان می تواند در همجوشی شرکت کرده و اتم های کربن، نئون و اکسیژن را تولید کند. البته برای اینکار باید دمای هسته بسیار بالا باشد. دمای هسته خورشید در این مرحله نمی تواند به این مقدار برسد.

حالا نیمی از جرم خورشید (به شکل هلیوم در هسته دفن شده است؛ در نتیجه، هسته متراکم تر شده و داغتر می شود.

دمای بسیار بالای هسته باعث می شود که هیدروژن در خارج هسته به دمای همجوشی برسد. حالا نوبت به همجوشی هیدروژن در بیرون هسته رسیده است.

تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

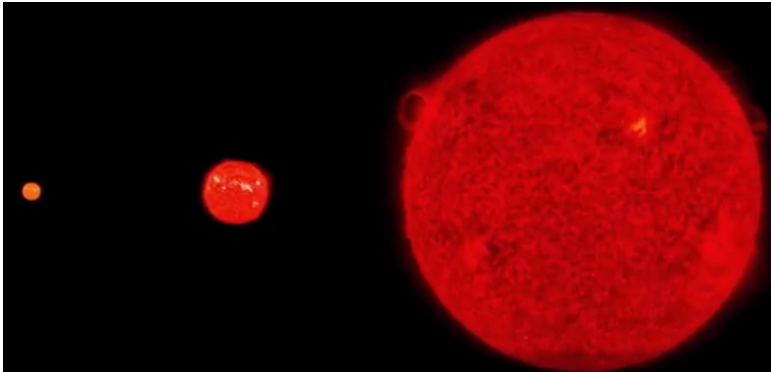
۸ تولید گرما در اثر همجوشی گاز خارج هسته، باعث می شود که این گاز منبسط شود. در نتیجه خورشید به ابعادی بیش از دو برابر ابعاد فعلی می رسد. منجمین این حالت ستاره را زیرغول می نامند.

۹ نه فقط خورشید منبسط شود، بلکه رنگ آن نیز تغییر می کند. در این حالت انرژی تولیدی خورشید بیشتر از مقدار کنونی است؛ هرچند مساحت سطح آن نیز افزایش پیدا می کند. در نتیجه، مقدار انرژی تابش شده در واحد سطح کاهش می یابد و سطح در واقع سرد می شود. بنابراین، دمای خورشید کاهش می یابد و رده بندی آن نیز تغییر می کند. خورشید به یک ستاره قرمز رنگ تبدیل می شود.



تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

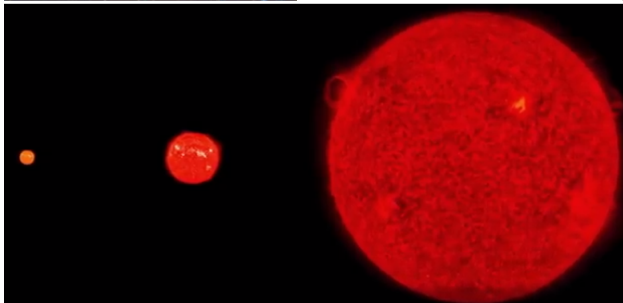
- ❶ کار هسته هنوز تمام نشده است. جزییات ریاضی این موضوع پیچیده است، هرچند، هسته همچنان متراکم تر و داغتر می شود. در نتیجه این مقدار عظیم گرما، لایه های بیرونی بسیار منبسط می شوند. خورشید در این حالت می تواند بین 10° تا 150° برابر اندازه فعلی اش بزرگ شود. این وضعیت ستاره را غول قرمز می نامیم.
- ❷ غول های قرمز بسیار پرنور هستند (به دلیل بزرگی زیاد و تولید انرژی فراوان آنها). درخشندگی خورشید در این حالت 2000 برابر حالت فعلی خواهد بود.



تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

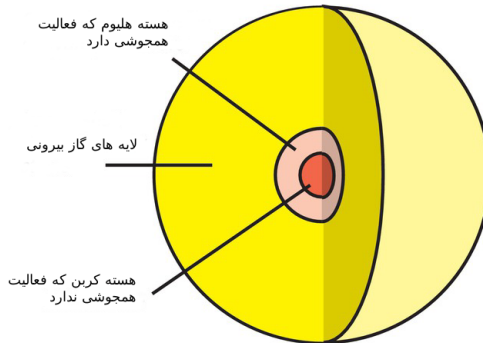


وقتی خورشید به این اندازه می رسد، گرانش در سطح آن، نسبت به گرانش کنونی، کاهش بسیاری خواهد داشت. هرچند، همچنان نیروی ناشی از فشار درون ستاره بسیار بزرگ خواهد بود. در نتیجه، تعادل ستاره به هم خورده و مواد به سمت بیرون پرت خواهند شد. این وضعیت مانند یک ابرطوفان خورشیدی بسیار قدرتمند خواهد بود. یعنی خورشید با سرعت بسیار بیشتری نسبت به وضعیت کنونی جرمش را از دست خواهد داد (حدوداً یک سوم جرم خورشید به بیرون پرت می شود).



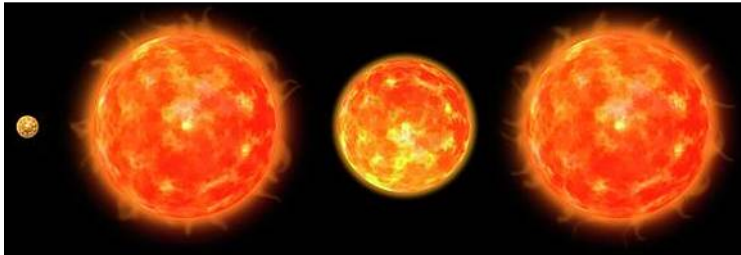
تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

۱۳ بالاخره، تراکم رو به افزایش هسته به حدی می رسد که شرایط برای همجوشی هلیوم آماده خواهد بود. هلیوم به کربن (و مقدار ناچیزی اکسیژن و نئون) تبدیل شده و مقدار فوق العاده ای انرژی تولید خواهد شد. البته، در اثر یک سری عوامل فیزیکی، هسته خورشید مقدار زیادی از انرژی تولید شده در آن را جذب خود کرده و منبسط می شود. در نتیجه، انرژی کمتری به فضای بیرون ستاره منتقل خواهد شد. بنابراین، لایه های بیرونی ستاره سرد شده و خورشید حالا منقبض می شود.



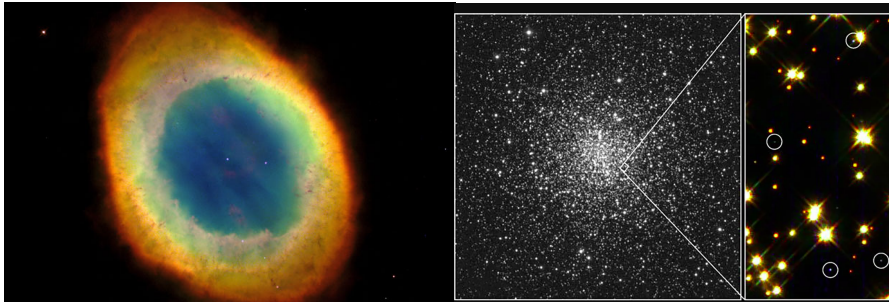
تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

- ۱۶ لایه های بیرونی خورشید در اثر این انقباض گرم تر می شوند. حالا رنگ خورشید از قرمز به نارنجی تغییر می کند. اندازه خورشید در این مرحله حداقل ده برابر حالت فعلی آن خواهد بود. انرژی تولید شده در این حالت نیز حدودا بیست تا پنجاه برابر وضعیت فعلی است.
- ۱۷ اتفاقاتی که از این به بعد در هسته می افتد، تا حدی تکرار اتفاقات قبلی است. البته، حالا هلیوم در حال همجوشی است و کربن مانند خاکستر در هسته ذخیره می شود. دوباره هسته متراکم شده و داغتر می شود. انرژی تولید شده به لایه های بیرونی خورشید منتقل شده و آنها را گرم می کند. در نتیجه لایه های بیرونی دوباره منبسط و سرد می شوند و خورشید دوباره تبدیل به یک غول قرمز می شود. البته، خورشید حالا بزرگتر و درخشان تر از حالت قبلی است و حتی مقدار جرم بیشتری از دست می دهد (نیمی از جرم خورشید در این مرحله از دست خواهد رفت).



تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

۱۶ حالا بالاخره در حال نزدیک شدن به پایان این ستاره هستیم: جرم خورشید به حدی نیست که باعث همجوشی کربن شود. در نتیجه، با وجود موجود بودن کربن در هسته، فرایند همجوشی متوقف می شود. در این مرحله خورشید همه لایه های بیرونی خود را به خارج پرتاب کرده است. در عکس های موجود، هسته ستاره به صورت کاملاً عریان معلوم است و لایه های گاز ستاره، که به بیرون پرتاب شده اند، نیز آشکارند. اندازه این هسته، که بسیار متراکم است، تقریباً به اندازه زمین است. ما این موجود را کوتوله سفید می نامیم. کوتوله های سفید سرنوشت مشخصی دارند: آنها نمی توانند انرژی تولید کنند و طی چند ده میلیارد سال آینده سرد و کم نور خواهند شد. در این حالت می توانیم بگوییم که خورشید مرده است.



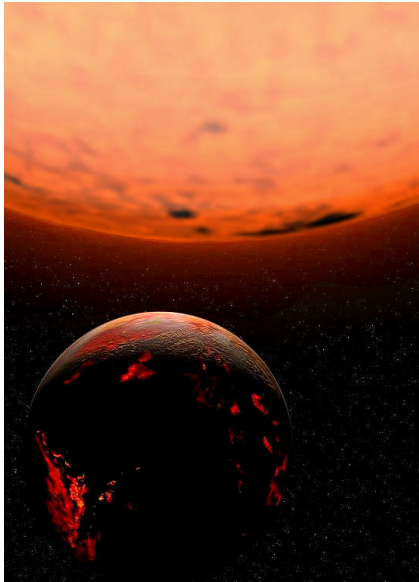
تحول خورشید و ستارگان شبیه به آن

- البته داستان زندگی برای ستارگانی که کمی سنگین تر از خورشید هستند متفاوت است. این ستارگان یک مرحله اضافی در زندگی خود خواهند داشت. این ستارگان تشکیل "سحابی سیاره نما" خواهند داد که در درس بعد به آن خواهیم پرداخت.



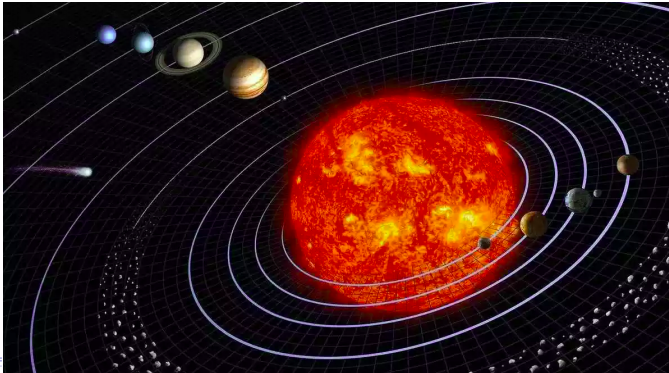
سرنوشت زمین در این بین چه خواهد شد؟!

در این تحولات، سرنوشت زمین چندان خوب نیست. در واقع حتی قبل از اینکه خورشید به یک زیرغول تبدیل شود، زمین فوق العاده گرم خواهد شد و وقتی خورشید به یک غول قرمز تبدیل شود، زمین بسیار داغتر می شود. در این حالت، دمای زمین چنان افزایش می یابد که سنگ ها ذوب می شوند؛ یعنی زمین دوباره به شکلی که در ابتدای خلقتش وجود داشت، تبدیل می شود.



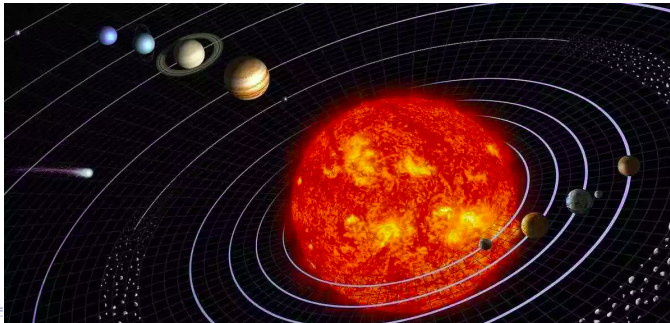
سرنوشت زمین در این بین چه خواهد شد؟!

- وضعیت حتی بدتر نیز خواهد شد. وقتی خورشید منبسط می شود، به شعاعی نزدیک به فاصله زمین تا خورشید (AU) خواهد رسید.
- آیا زمین در این حالت وارد خورشید خواهد شد؟ شاید بله، شاید هم نه! زیرا وقتی خورشید منبسط می شود، جرم خود را نیز از دست می دهد. بنابراین نیروی جاذبه خورشید ضعیف شده و در نتیجه زمین به فاصله مداری بزرگتری منتقل خواهد شد. یعنی اگر زمین خوش شانس باشد، زودتر از اینکه توسط خورشید بلعیده شود، به فواصل دورتری منتقل خواهد شد.



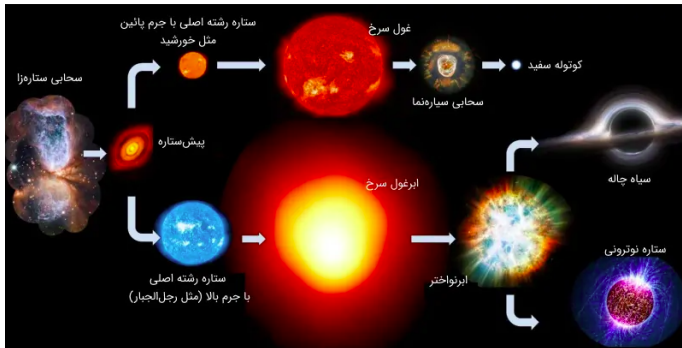
سرنوشت زمین در این بین چه خواهد شد؟!

- در واقع محاسبات نشان داده اند که اگر خورشید بیش از نصف جرمش را از دست دهد، سیارات از جاذبه خورشید رها شده و در فضای بین ستاره ای سرگردان می شوند. این به معنی یخ زدن زمین و دیگر سیارات خواهد بود که باز هم سرنوشت خوبی نیست. امیدواریم انسان ها تا آن زمان توانسته باشند به نقاط دیگر جهان سفر کرده و خود را نجات دهند!
- البته این اتفاقات به این زودی ها نخواهند افتاد. در واقع خورشید در سن یازده میلیارد سالگی به یک زیرغول تبدیل می شود (یعنی شش میلیارد سال دیگر!). اولین و دومین مرحله غول قرمز خورشید نیز به ترتیب در سن ۱۱/۵ و ۱۲ میلیارد سالگی آن رخ خواهد داد.



سرنوشت زمین در این بین چه خواهد شد؟!

- اگر خورشید جرم بیشتری می داشت می توانست از این سرنوشت اجتناب کند. در واقع، فشار در هسته ستاره ای با حدود هشت برابر جرم خورشید آنقدر زیاد است که می تواند باعث همجوشی کربن شود. این ستارگان پر جرم سرنوشت دیگری دارند (با انفجارهای بزرگتر). این موضوع را نیز در یکی از درس های آینده بررسی خواهیم کرد.
- وجود همه اتم های سنگین در زمین مدیون تحول ستارگان و انفجارهای آنها است.



نکات مهم این درس

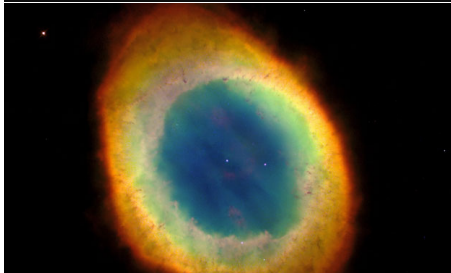
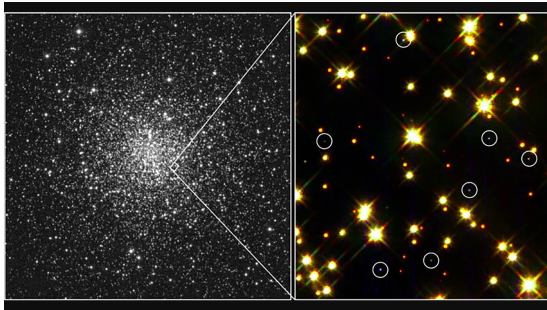
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات مهم مربوط به ستارگان کم جرم را بیان کنید. همچنین، انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ گوید:

- ۱ ستارگان کم جرم و پرجرم به چه نوع ستارگانی گفته می شود؟
- ۲ اصلی ترین فرایند تولید انرژی در ستاره ها چیست؟
- ۳ منظور از تعادل ستارگان چیست؟
- ۴ سرعت تولید انرژی در ستارگان به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۵ توضیح دهید که چرا عمر ستارگان کم جرم بیشتر است؟
- ۶ فرایند تبدیل انرژی در هسته کوتوله های قرمز را توضیح دهید.
- ۷ عمر تخمینی کوتوله های قرمز چقدر است؟ چرا این نوع ستارگان عمری طولانی دارند؟
- ۸ جرم کوتوله های قرمز چقدر است؟
- ۹ لایه های مختلف خورشید را نام ببرید. تولید انرژی و همرفت در کدام بخش ها اتفاق می افتند.
- ۱۰ عمر خورشید چقدر خواهد بود؟
- ۱۱ چرا درخشندگی خورشید در حال افزایش است؟
- ۱۲ وقتی هیدروژن در هسته خورشید تمام شود چه اتفاقی می افتد؟
- ۱۳ مراحل مختلف تحول خورشید را توضیح دهید.
- ۱۴ درباره سناریوهای مختلف سرنوشت زمین در اثر تحول خورشید توضیح دهید.

اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، می توانید درس را یک بار دیگر مرور کنید.

مبحث بعدی: کوتوله های سفید و سحابی های سیاره‌نما

در جلسه بعد درباره کوتوله
های سفید و سحابی های
سیاره‌نما بحث خواهیم کرد.



منابع درس

- ۱ PBS Crash Course Astronomy by Phil Plait, available on YouTube and PBS website

- ۱ نجوم به زبان ساده، مایر دگانی، ویراست سوم، ترجمه محمدرضا خواجه پور، انتشارات گیتاشناسی، ۱۳۹۳
- ۲ اساس ستاره شناسی، مایکل سیدز، جلد‌های ۱ و ۲، ترجمه اشرفی و صالحی، ویراسته خواجه‌وی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۰

با سپاس از توجه شما،
لطفاً ما را در شبکه های
اجتماعی دنبال کنید.