تکامل ستارگان

John Percy
International Astronomical Union, University of Toronto (Canada)

خلاصه

این مقاله شامل اطلاعات مفیدی در مورد ستاره ها و تکامل آنها برای معلمین فیزیک دوره متوسطه می باشد. همچنین شامل لینک هایی برای برنامه تحصیلی علمی مدارس است و چند فعالیت مرتبط برای دانش آموزان پیشنهاد شده.

-

اهداف

شناخت تکامل ستارگان و فرآیندهای تعیین آن
شناخت نمودار هرتسپرنگ راسل
شناخت قدر ظاهری و قدر مطلق ستارگان

مقدمه

تکامل ستارگان به تغییراتی گفته می شود که در ستارگان رخ می دهد. از زمان تولد، تا عمر و زندگی طولانی که دارند، تا مرگ آنها. جاذبه ستارگان را مجبور به تابش انرژی می کند. برای برقراری توازن انرژی از دست رفته، ستارگان بوسیله همجوشی هسته ای عناصر سبکتر به عناصر سنگینتر تولید انرژی می کنند. این اتفاق به آرامی باعث تغییر ترکیبات شیمیایی آنها و همچنین تغییر سایر خصوصیات آنها می شود. در نهایت سوخت هسته ای آنها به پایان می رسد و می میرند. شناخت ماهیت و تکامل ستارگان به ما کمک می کند تا ماهیت و تکامل خورشیدمان – ستاره ای که حیات را در زمین ممکن کرده- را بشناسیم (و قدردان آن باشیم!). به ما کمک می کند که منشا منظومه شمسی را یاد بگیریم و همچنین اتم ها و ملکول هایی که همه چیز – که حیات هم شامل آن می شود- را ساختند. همینطور به ما کمک می کند بعضی از پرسشهای اساسی مانند" آیا سایر ستارگان انرژی به قدر کافی تولید می کنند و به اندازه کافی زندگی می کنند و به اندازه کافی پایدار می مانند تا زندگی در سیارات اطراف خود رشد و تکامل یابد؟" به این دلیل و سایر دلایل، تکامل ستاره ای موضوعی جذاب برای دانش آموزان است.

خصوصیت خورشید و ستارگان

اولین قدم برای درک منشا و تکامل خورشید و ستارگان، درک خصوصیات آنهاست. دانش آموزان باید درک کنند که چگونه این خصوصیات تعیین می شوند. خورشید نزدیکترین ستاره است. خورشید در سایر بخش های این مجموعه مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، خورشید را طوری در نظر می گیریم که به تکامل ستاره ای مربطت شود. دانش آموزان باید خصوصیات و ساختار و منبع انرژی خورشید بدانند، زیرا همین اصول منجمان را قادر می سازد ساختار و تکامل همه ستاره ها را تعیین کنند.

خورشید

در مقایسه با خصوصیات سایر ستارگان، ویژگیهای اصلی خورشید نسبتاً به آسانی رصد می شود. فاصله متوسط آن 1.495978715 x 11^10 متر است؛ ما این فاصله را یک واحد نجومی می نامیم. از این طریق محاسبات هندسی، شعاع زاویه ای مشاهده شده آن (959/6 قوس در ثانیه) می تواند، به شعاع خطی تبدیل شود: 6.96265 x 8^10 متر یا 696.265 کیلومتر. شار مشاهده شده آن 1370 W/M^2 در فاصله زمین می تواند به یک کل قدرت تبدیل شود: 3.85 x 26^10 وات. با استفاده از قوانین حرکت و گرانش نیوتن می توان میزان جرم آن را از کشش گرانشی آن بر روی سیارات تعیین کرد: 1.989x 30^10 کیلوگرم. دمای سطح تابشی آن - لایه ای که از آن نور می آید - 5780 کلوین است. دوره چرخش آن حدود 25 روز است، اما در طول های مختلف جغرافیایی در خورشید متفاوت است، و تقریبا گرد است. خورشید، در درجه اول از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. در فعالیت 2، دانش آموزان می توانند خورشید، نزدیکترین ستاره ما را مشاهده کنند تا ببینند یک ستاره چگونه به نظر می رسد.

ستارگان

بارزترین ویژگی قابل مشاهده ستاره ، درخشندگی ظاهری آن است.. این به عنوان قدر اندازه گیری می شود، که یک اندازه گیری لگاریتمی جریان انرژی است که ما دریافت می کنیم.

مقیاس بزرگی توسط اخترشناس یونانی هیپارخوس (حدود 160-120 قبل از میلاد) توسعه یافته است. او ستارگان را به بزرگی 1 ، 2 ، 3 ، 4 و 5 طبقه بندی کرد. به همین دلیل ستارگان کم فروغتر دارای بزرگی مثبت تر هستند. بعداً مشخص شد که، چون حواس ما به صورت لگاریتمی به محرکها واکنش نشان می دهند، نسبت ثابت روشنایی (2.512) وجود دارد که مربوط به اختلاف 1.0 در بزرگی است. درخشان ترین ستاره آسمان شب قدر -1.44 دارد. کم نور ترین ستاره ای که با بزرگترین تلسکوپ قابل مشاهده است، قدری در حدود 30 را دارد.

میزان روشنایی ظاهری، B، یک ستاره به قدرت آن، D ، و فاصله آن، P، بستگی دارد. طبق قانون معکوس از روشنایی: میزان روشنایی به طور مستقیم متناسب با قدرت است، و برعکس متناسب با مربع فاصله : $B \cong P / D^2$. برای ستارگان نزدیک، فاصله را می توان با اختلاف منظر اندازه گرفت. در فعالیت1، دانش آموزان می توانند نشان دهند که اختلاف منظر متناسب با فاصله جسم مشاهده شده است. قدرت ستارگان را می توان از روشنایی اندازه گیری شده و برای شدت روشنایی، قانون مربع معکوس را محاسبه کرد.

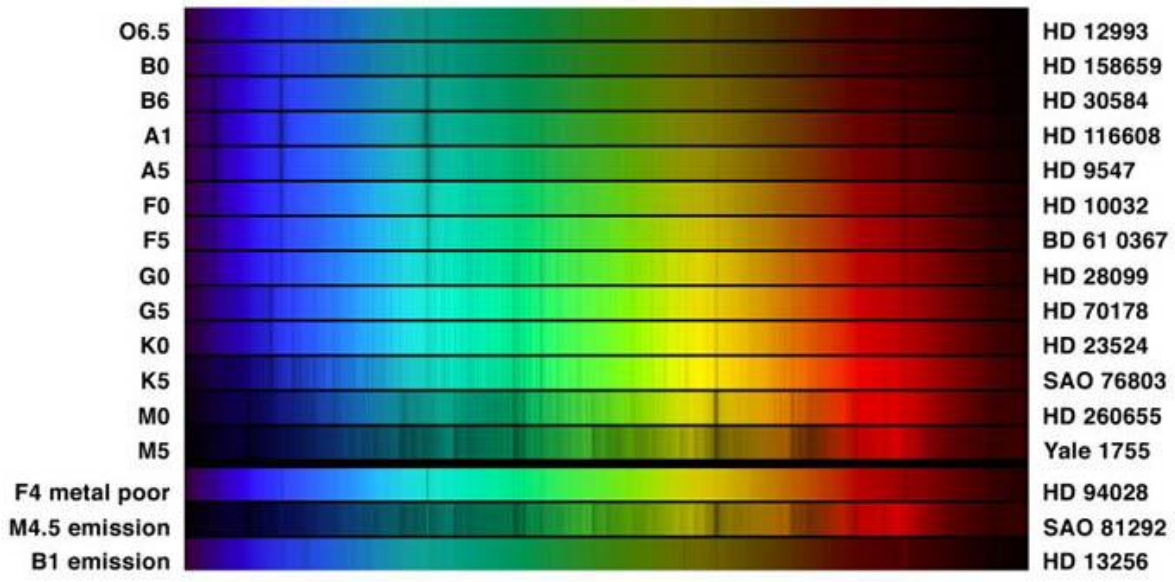
ستارگان مختلف، کمی رنگ متفاوت دارند. با دیدن ستاره های ریگل (بتا اوریون) و بتلجوز (آلفا اوریون) در صورت فلکی اوریون (شکل 1) می توانید این را به راحتی مشاهده کنید. در فعالیت 3 ، دانش آموزان می توانند شب ها ستارگان را مشاهده کنند و شگفتی و زیبایی آسمان واقعی را تجربه کنند. رنگ ستارگان به دلیل دمای متفاوت لایه های تابشی ستارگان است. ستاره های خنک کمی قرمز به نظر می رسند. ستاره های داغ کمی آبی به نظر می رسند. (این برخلاف رنگهایی است که شما در شیرهای آب گرم و سرد حمام خود مشاهده می کنید!) به دلیل روشی که چشمان ما به رنگ

پاسخ می دهند ، یک ستاره قرمز به رنگ قرمز مایل به سفید به نظر می رسد و یک ستاره آبی به رنگ آبی مایل به سفید ظاهر می شود.

رنگ را می توان دقیقاً با یک فتومتر با فیلترهای رنگی اندازه گیری، و سپس دما را می توان از رنگ تعیین کرد.

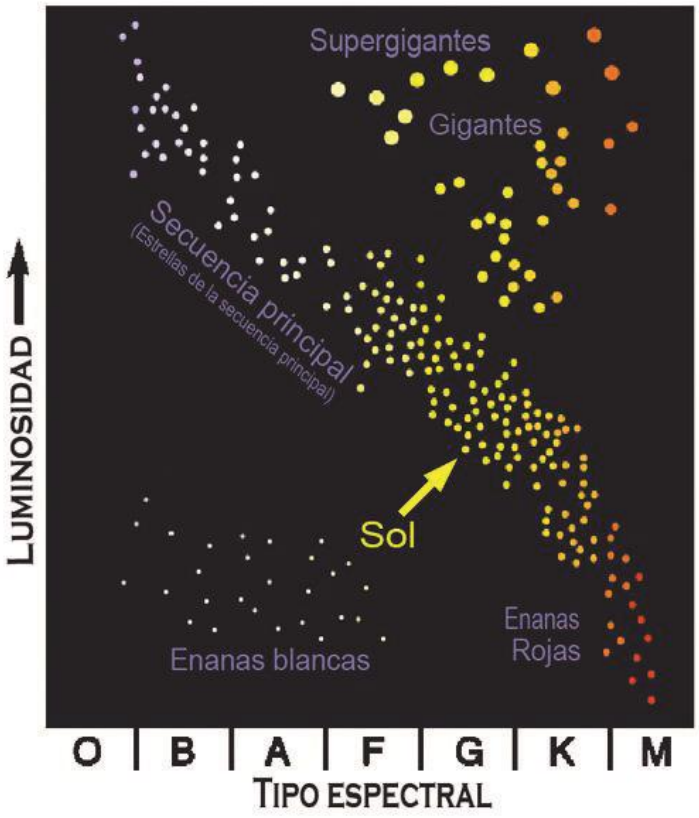
شکل 1:صورت فلکی شکارچی. ابط الجوزا، ستاره سمت چپ بالا، سرد است و بنابراین مایل به قرمز بنظر می رسد. ریگل، ستاره راست پایین، گرم است و به همین دلیل مایل به آبی است. سحابی شکارچی در وسط صورت فلکی در زیر سه ستاره ظاهر می شود.

دمای ستاره را نیز می توان از طیف آن تعیین کرد - توزیع رنگ ها یا طول موج در پرتوی ستاره (شکل 2)را مشاهده می کنید. این شکل زیبایی طیف های نور ستارگان را نشان می دهد. این نور از جو بیرونی ستاره عبور کرده است و یونها، اتمها و مولکولهای موجود در جو طول موجهای خاص را از طیف منتشر می کنند. این خطوط تیره یا رنگهای از دست رفته را در طیف ایجاد می کند (شکل 2). بسته به دمای جو ممکن است اتمها یونیزه شوند، برانگیخته شوند و یا در مولکولها ترکیب شوند. وضعیت اتم ها را در طیف آن می توان مشاهده کرد، بنابراین اطلاعاتی در مورد دما ارائه می دهد.



شکل 2: طیف بسیاری از ستارگان ، از داغترین(O6.5 : بالا) تا سردترین(M5 : چهارم از پایین). ظهور متفاوت طیف ها به دلیل دمای متفاوت ستارگان است. سه طیف پایین از ستاره هایی هستند که به نوعی غیرعادی هستند. منبع: رصدخانه نجوم ملی نوری.

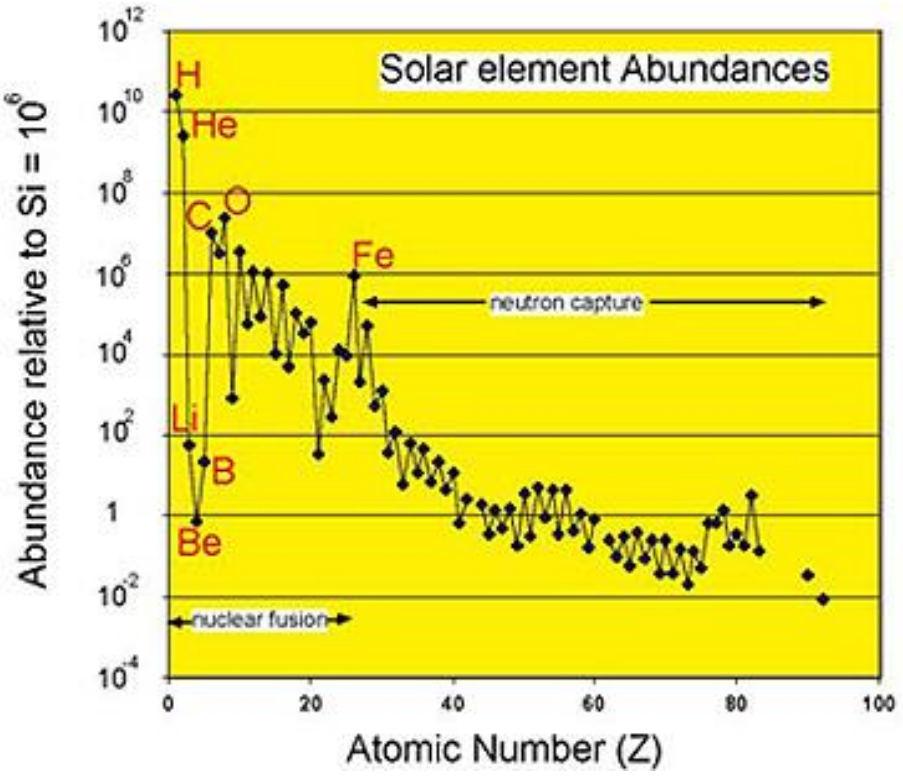
یک قرن پیش ، اخترشناسان رابطه مهمی را بین توان یک ستاره و دمای آن کشف کردند: این توان برای بیشتر (اما نه همه) ستارگان، با درجه حرارت بیشتر است. بعداً فهمیدند که عامل آن جرم ستاره است: ستارگان عظیم تر، قدرتمندتر و داغ تر هستند. به نمودار توان - دما، نمودار هرتسپرونگ-راسل گفته می شود (شکل 3). یادگیری ساختن نمودارها (فعالیت 8) و تفسیر آنها برای دانش آموزان بسیار مهم است (شکل 3).



شکل 3: نمودار هرتسپرونگ-راسل ، نموداری از قدرت ستاره ای یا درخشندگی در مقابل دمای ستاره. به دلایل تاریخی، درجه حرارت به سمت چپ افزایش می یابد. حروف OBAFGKM انواع طیفی توصیفی است که مربوط به دما است. خطوط مورب شعاع ستاره ها را نشان می دهند. ستارگان بزرگتر (غول ها و ابرغول ها) در سمت راست بالا هستند ، ستاره های کوچکتر (کوتوله ها) در سمت چپ پایین قرار دارند. توجه داشته باشید که رشته اصلی از پایین راست به بالا سمت چپ باشد. بیشتر ستارگان در اینجا یافت می شوند. توده های ستاره های رشته اصلی نشان داده شده است. مکان برخی از ستارگان مشهور نیز نشان داده شده است. منبع: دانشگاه کالیفرنیا برکلی.

از اهداف اصلی نجوم تعیین قدرت ستارگان در انواع مختلف است. پس، اگر آن نوع ستاره در جای دیگری از جهان مشاهده شود، ستاره شناسان می توانند از روشنایی اندازه گیری شده آن B و توان فرض شده آنP برای تعیین فاصله D از قانون مربع معکوس روشنایی استفاده کنند: $B \cong P / D2$.

طیف ستاره ها (و سحابی ها) همچنین نشان می دهد که ستاره ها از چه ساخته شده اند: منحنی فراوانی کیهانی (شکل 4). آنها از حدود 4/4 هیدروژن ، 4/1 هلیوم و 2 درصد عناصر سنگین، بیشتر کربن، نیتروژن و اکسیژن تشکیل شده اند.



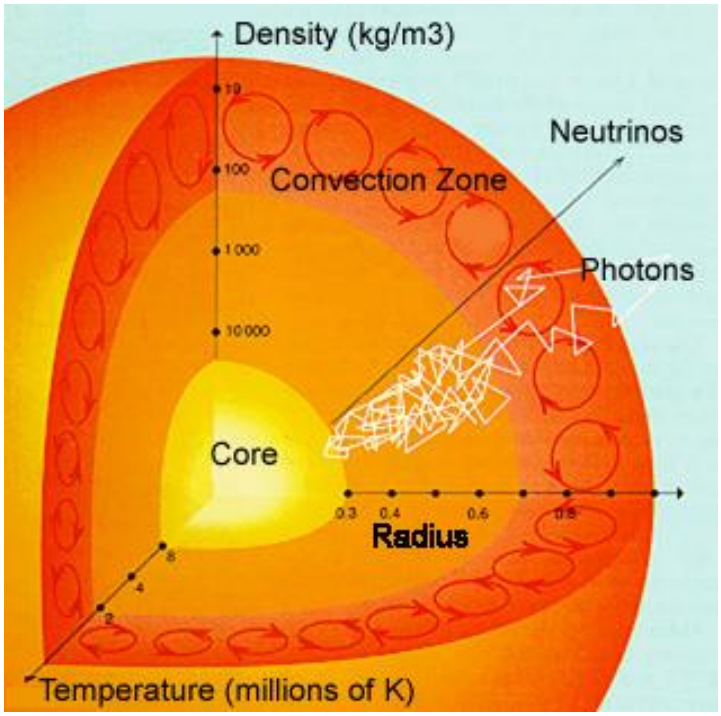
شکل 4: فراوانی عناصر موجود در خورشید و ستاره ها. هیدروژن و هلیوم فراوان هستند. لیتیم ، بریلیوم و بور فراوانی بسیار کمی دارند. کربن، نیتروژن و اکسیژن فراوان است. با افزایش تعداد اتمی فراوانی عناصر دیگر کاهش می یابد. هیدروژن 12^10 برابر بیشتر از اورانیوم فراوان است. عناصری که تعداد پروتون های یکنواخت دارند نسبت به عناصر با تعداد پروتون های غیرعادی فراوانی بیشتری دارند. عناصر سبک تر از آهن با همجوشی هسته ای در ستاره ها تولید می شوند. عناصر سنگین تر از آهن در اثر ضبط نوترون در انفجار ابرنواخترها تولید می شوند. منبع: ناسا.

حدود نیمی از ستاره های همسایه خورشید ستاره های دوتایی هستند - دو ستاره در مدار یکدیگر. ستاره های دوگانه از این جهت اهمیت دارند که ستاره شناسان را قادر می سازند تا جرم های ستاره را بسنجند. جرم یک ستاره را می توان با مشاهده حرکت ستاره دوم اندازه گیری کرد، ستاره دوم هم به همین طریق محاسبه می شود. شباهنگ، شعرای شامی و عیوق نمونه هایی از ستاره های دوتایی هستند. همچنین چندین ستاره وجود دارد: سه یا چند ستاره در مدار اطراف یکدیگر درحال گردش هستند. آلفا قنطورس، نزدیکترین ستاره به خورشید ، یک ستاره سه گانه است. اپسیلون شلیاق یک ستاره چهار گانه است.
همانطور که گفته شد، رابطه مهمی بین توان یک ستاره و جرم آن وجود دارد: توان متناسب با تقریباً مکعب جرم است. به این حالت رابطه جرم و روشنایی گفته می شود.

جرم ستاره ها در حدود 0.1 تا 100 برابر بیشتر از خورشید است. توان از حدود 0.0001 تا 1.000.000 برابر خورشید است. داغترین ستارگان عادی در حدود 50،000 K است. سردترین ، در حدود K2000 . هنگامی که ستاره شناسان ستاره ها را بررسی می کنند، در می یابند که خورشید از 95٪ کل ستارگان در همسایگی خود انبوه تر و قدرتمندتر است. ستارگان پرجرم و پرقدرت بسیار نادر هستند. خورشید یک ستاره متوسط نیست. این بالاتر از حد متوسط است!

ساختار خورشید و ستاره ها

ساختار خورشید و ستارگان در درجه اول با گرانش مشخص می شوند. جاذبه باعث می شود خورشید سیال تقریباً کاملاً کروی باشد. در اعماق خورشید، فشار به دلیل وزن لایه‌های گاز در قسمت های بالایی آن افزایش خواهد یافت. طبق قوانین گازی که در مورد گاز کامل اعمال می شود، در صورت فشار بیشتر، چگالی و دما نیز بیشتر می شود. اگر لایه های عمیق تر داغ شوند، گرما به سمت بیرون جریان می یابد، زیرا گرما همیشه از گرم تا گرمی کمتر (سردتر) جریان می یابد. این ممکن است با تابش یا همرفت رخ دهد. این سه اصل منجر به قانون درخشندگی انبوه می شود.
اگر گرما از خورشید خارج شود ، لایه های عمیق تر خنک می شوند و نیروی جاذبه باعث انقباض خورشید می شود - مگر اینکه انرژی در مرکز خورشید تولید شود. همنطور که دانشمندان مشاهده کرده اند، خورشید در حال انقباض نیست، بلکه در اثر فشار تابش ایجاد شده از فرآیند همجوشی گرمای هسته ای، که در زیر شرح داده شده است، نگه داشته می شود.



شکل 5: مقطع خورشید، همانطور که از مدل های فیزیکی مشخص می شود. در منطقه همرفت بیرونی، انرژی توسط همرفت منتقل می شود. در زیر آن ، توسط تابش حمل می شود. انرژی در هسته تولید می شود. منبع: انستیتوی فیزیک نظری ، دانشگاه اسلو.

این چهار اصل ساده برای همه ستاره ها اعمال می شود. آنها را می توان به صورت معادلات بیان کرد و بر روی یک کامپیوتر حل کرد. این به الگویی از خورشید یا هر ستاره می دهد: فشار، چگالی، فشار و جریان انرژی در هر فاصله از مرکز ستاره. این روش اصلی است که ستاره شناسان در مورد ساختار و تکامل ستارگان می آموزند. این مدل برای یک توده و ترکیب خاص فرض شده از ستاره ساخته شده است. اخترشناسان می توانند شعاع ستاره، توان و سایر خصوصیات مشاهده شده را پیش بینی کنند. (شکل 5)

اخترشناسان اخیراً روشی بسیار کارآمد برای آزمایش مدلهای خود در مورد ساختار خورشید، لرزه شناسی خورشیدی و سایر ستارگان اخترلرزه شناسی یا لرزه شناسی ستاره ای ارائه داده اند. خورشید و ستاره ها به آرامی در هزاران الگوی یا حالت های مختلف لرزش ایجاد می کنند. این موارد را می توان با ابزارهای حساس مشاهده کرد و با خواص لرزش که توسط مدل ها پیش بینی می شود ، مقایسه شد.

منبع انرژی خورشید و ستاره ها

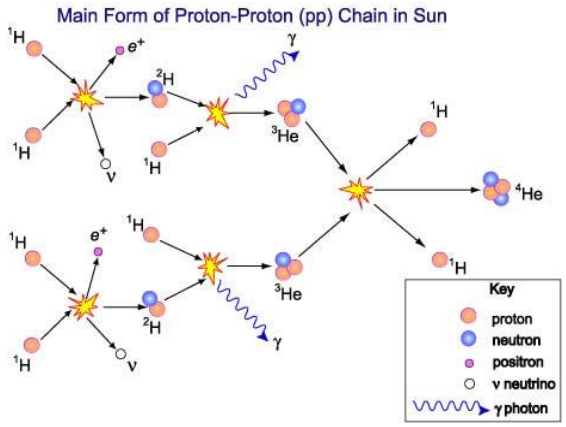
دانشمندان قرن ها از منبع انرژی خورشید و ستارگان شگفت زده بودند. بارزترین منبع سوختن شیمیایی، سوخت هایی مانند نفت یا گاز طبیعی است، اما به دلیل قدرت بسیار زیاد خورشید (4×1026 W) ، این منبع تنها برای چند هزار سال دوام خواهد داشت. اما تا چند قرن پیش، مردم فکر می کردند قدمت زمین و جهان فقط چند هزار سال است.

پس از کار اسحاق نیوتن، کسی که قانون جاذبه جهانی را توسعه داد، دانشمندان فهمیدند که خورشید و ستاره ها با انقباض آرام می توانند انرژی تولید کنند. انرژی گرانشی (بالقوه) می تواند به گرما و تابش تبدیل شود. این منبع انرژی برای چند ده میلیون سال دوام خواهد داشت. با این وجود شواهد زمین شناسی اظهار داشتند که زمین و به همین دلیل خورشید بسیار قدیمی تر از این بودند.

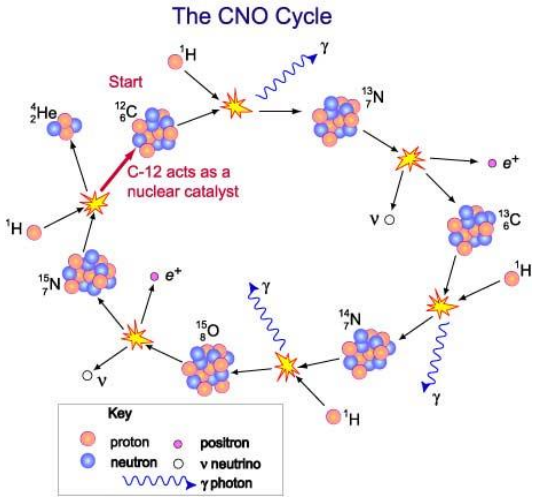
در اواخر قرن نوزدهم ، دانشمندان رادیواکتیویته یا شکافت هسته ای را کشف کردند. با این حال، عناصر رادیواکتیو در خورشید و ستاره ها بسیار نادر هستند و نمی توانند میلیاردها سال قدرت و توان برای آنها فراهم کنند.

سرانجام ، دانشمندان در قرن بیستم متوجه شدند که در فرایندی به نام همجوشی هسته ای، عناصر سبکتر می توانند به عناصر سنگین تر بپیوندند. اگر دما و چگالی به اندازه کافی بالا باشد، این مقدار زیادی انرژی تولید می کند - بیشتر از انرژی کافی برای خورشید و ستاره ها. عنصری با بیشترین انرژی همجوشی، هیدروژن بود. هیدروژن فراوان ترین عنصر خورشید و ستارگان است.

در ستاره های کم جرم مانند خورشید، همجوشی هیدروژن در یک سری مراحل به نام زنجیره PP اتفاق می‌افتد. پروتون ها برای تشکیل دوتریوم ترکیب می شوند. پروتون دیگر با دوتریوم ترکیب می شود تا هلیوم 3 تشکیل شود. بین هسته های هلیوم -3 برای تولید هلیوم -4 ، ایزوتوپ طبیعی هلیوم، همجوشی هسته ای رخ می دهد (شکل 6).



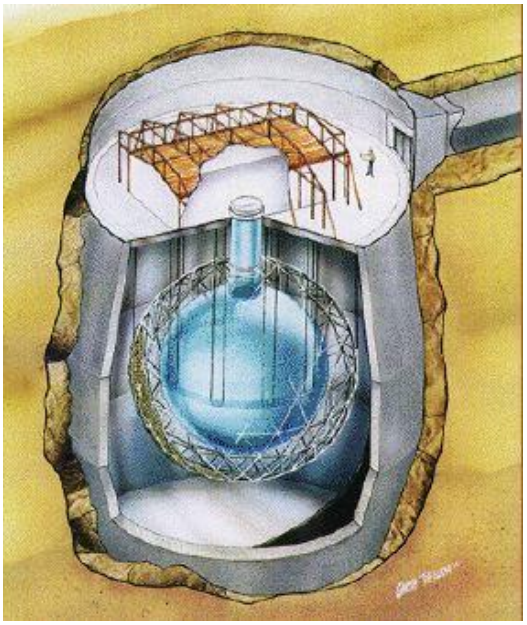
شکل 6: واکنش های زنجیره ای پروتون-پروتون که توسط آن هیدروژن در خورشید و سایر ستارگان کم جرم به هلیوم تبدیل می شود. در این و شکل بعدی توجه داشته باشید که نوترینها در برخی از واکنش ها منتشر می شوند. انرژی به صورت پرتوهای گاما و انرژی جنبشی هسته ها منتشر می شود. منبع: تسهیلات تلسکوپ ملی استرالیا.



شکل 7: چرخه CNO که توسط آن هیدروژن در ستارگان عظیم تر از خورشید در هلیوم ذوب می شود (همجوشی بین هیدروژن و هلیوم اتفاق می افتد). کربن 12 (با عنوان "شروع") به عنوان یک کاتالیزور عمل می کند و بدون استفاده از آن در این فرآیند شرکت می کند. منبع: تسهیلات تلسکوپ ملی استرالیا.

در ستارگان عظیم، هیدروژن از طریق یک سری مراحل مختلف به نام چرخه CNO با هلیوم ترکیب می شود، که در آن از کربن 12 به عنوان کاتالیزور مورد استفاده قرار می گیرد (شکل 7). نتیجه گیری، در هر حالت، این است که چهار هسته هیدروژن ترکیب می شوند تا یک هسته هلیوم را تشکیل دهند. بخش کوچکی از جرم هسته های هیدروژن به انرژی تبدیل می شوند. فعالیت 9 را ببینید. از آنجا که هسته ها به طور معمول یکدیگر را دفع می کنند (به دلیل بار مثبت آنها)

همجوشی فقط در صورت برخورد هسته ها با دمای بالا و غالبا چگالی زیاد اتفاق می افتد.



شکل 8: رصدخانه نوترینو سادبر، که در آن دانشمندان با مشاهده شار پیش بینی نوترینوها، مدل های همجوشی هسته ای در خورشید را تأیید کردند. در قلب رصدخانه مخزن بزرگی از آب سنگین قرار دارد. هسته های دوتریوم (متن را ببینید) گاهی اوقات با نوترینو برخورد می کند تا یک نور بصورت فلش ایجاد کند. منبع: رصدخانه سادبری نوترینو

اگر همجوشی هسته ای خورشید را نیرومند کند، پس باید واکنش های همجوشی باید تعداد زیادی ذرات زیر اتمی به نام نوترینوها را تولید کند. اینها معمولاً بدون تعامل با آن از ماده عبور می کنند. میلیاردها نوترینو وجود دارد که هر ثانیه از بدن ما عبور می کنند. "رصدخانه های نوترینو" ویژه می تواند تعدادی از این نوترینو ها را تشخیص دهد. اولین رصدخانه های نوترینو تنها یک سوم از تعداد پیش بینی شده نوترینوها را کشف کردند. "مسئله نوترینوی خورشیدی" برای بیش از 20 سال به طول انجامید، اما سرانجام توسط رصدخانه سودربوری نوترینو (SNO) در کانادا حل شد (شکل 8). در قلب این رصدخانه مخزن بزرگی از آب سنگین بود که در آن بعضی از هسته های هیدروژن دوتریوم قرار دارند. این هسته ها گاهاً نوترینو را جذب می کنند و تابش نور می کنند. سه نوع نوترینو وجود دارد. دو سوم نوترینو های خورشید به انواع دیگر تغییر می کنند. SNO به هر سه نوع نوترینو حساس است، و تعداد کامل نوترینوهای پیش بینی شده توسط تئوری را تشخیص می دهد.

زندگی خورشید و ستاره ها:

از آنجا که "روش علمی" مفهوم اساسی در آموزش علم است، ما باید با توضیح اینکه چگونه ستاره شناسان تکامل ستارگان را درک می کنند شروع کنیم:

•با استفاده از شبیه سازی های رایانه ای، براساس قوانین فیزیک، همانطور که در بالا توضیح داده شد.

•با مشاهده ستارگان در آسمان، که در مراحل مختلف تکامل هستند و قرار دادن آنها در یک "توالی تکاملی" منطقی.

•با مشاهده خوشه های ستاره ای: در خوشه های ستاره ای که همه ستاره ها از یک نوع ابر گاز و غبار و در یک زمان تشکیل شده اند، اما با توده ها و جرم های مختلف. در کهکشان ما هزاران خوشه ستاره وجود دارد، از جمله حدود 150 خوشه کروی که از قدیمی ترین اجرام در کهکشان ما هستند. خوشه هیادس(در صورت فلکی ثور)، خوشه پروین (درصورت فلکی ثور) و بیشتر ستارگان در خرس بزرگ ، خوشه هایی هستند که با چشم غیرمستقیم قابل مشاهده است. خوشه ها "آزمایش های طبیعی" هستند: گروه هایی از ستاره ها که از یک ماده در یک مکان در یک زمان شاخته شده اند. ستارگان آنها فقط از نظر مقدار جرم متفاوت هستند. از آنجا که خوشه های مختلف سن های متفاوتی دارند، می توانیم ببینیم که چگونه مجموعه ای از ستاره های در جرم های مختلف پس از تولد در دوره های متفاوت ظاهر می شوند.

•با مشاهده مستقیم مراحل سریع تکامل؛ اینها بسیار نادر خواهند بود، زیرا آنها فقط بخش کوچکی از زندگی ستاره ها را در خود جای می دهند.

•با مطالعه تغییرات دوره های ستاره های متغیر. این تغییرات اندک است اما قابل مشاهده است. دوره این ستاره ها به شعاع ستاره بستگی دارد. در تکامل ستاره با افزایش شعاع، دوره نیز افزایش می یابد. تغییر دوره می تواند از طریق مشاهدات منظم و طولانی مدت از ستارگان اندازه گیری شود.

روش اول، استفاده از شبیه سازی های رایانه ای، همان روشی بود که برای تعیین ساختار ستاره مورد استفاده قرار

گرفت. پس از کشف ساختار ستاره، ما دما و چگالی را در هر نقطه از ستاره می شناسیم و ما می توانیم محاسبه کنیم که چگونه ترکیبات شیمیایی با فرآیندهای حرارتی هسته ای که اتفاق می افتند و تغییر می یابند. سپس این تغییرات می تواند در مدل بعدی در دنباله تکاملی گنجانیده شود.

مشهورترین ستاره های متغیر، متغیر های قیفاووسی نامیده می شوند، ستاره دلتا قیفاووس نمونه بارز آن است. بین دوره تغییرهای قیفاووسی و قدرت آنها رابطه وجود دارد. با اندازه گیری دوره آنها، ستاره شناسان با استفاده از قانون روشنایی مربع معکوس می توانند توان و همچنین فاصله را تعیین کنند. متغیر های قیفاووسی ابزاری مهم برای تعیین اندازه و مقیاس سن جهان هستند.

در فعالیت 5، دانش آموزان و دانشجویان می توانند از طریق پروژه هایی مانندCitizen Sky ، ستاره های متغیر را مشاهده کنند. این امر آنها را قادر می سازد ضمن انجام یک مشاهد علمی نجومی، دانش خود را در سایر علوم و مهارت های ریاضی را توسعه دهند.

زندگی و مرگ خورشید و ستاره ها

همجوشی هیدروژن یک فرایند بسیار کارآمد است. می تواند درخشندگی را برای ستاره ها در طول عمر طولانی خود فراهم می کند. واکنشهای همجوشی سریع در مرکز ستاره، جایی که درجه حرارت و چگالی در بالاترین حد خود است، انجام می شود. بنابراین ستاره، هسته ای از هلیوم ایجاد می کند که به تدریج به طرف خارج از مرکز حرکت می کند. با این اتفاق، هسته ستاره باید با کوچکتر شدن داغ تر شود، به طوری که هیدروژن اطراف هسته هلیوم به اندازه کافی داغ شود تا همجوشی رخ دهد. این امر باعث می شود که لایه های بیرونی ستاره در ابتدا به سرعت کم شود، اما سپس با سرعت بیشتری گسترش یابد. این ستاره به یک غول سرخ تبدیل می شود که صد برابر بزرگتر از خورشید است. سرانجام مرکز هسته هلیوم به اندازه کافی داغ می شود تا بتواند هلیوم به کربن بپیوندد. در اثر این همجوشی، کشش درونی جاذبه را متعادل می کند، اما برای مدت طولانی نیست، زیرا فیوژن هلیوم به اندازه فیوژن هیدروژن کارآمد نیست. حالا هسته کربن کوچکتر می شود و داغ تر می شود و لایه های بیرونی ستاره گسترش می یابد تا به یک غول قرمز بزرگتر تبدیل شود. عظیم ترین ستارگان به اندازه ای حتی بزرگتر گسترش

می یابند. آنها به ستاره های فوق العاده قرمز بزرگی (ابرغول ها) تبدیل می شوند

یک ستاره زمانی از می میرد که سوخت آن تمام شده باشد. هیچ منبع انرژی دیگری برای گرم نگه داشتن داخل ستاره وجود ندارد و همچنین ایجاد فشار گاز کافی برای جلوگیری از گرانش از انقباض ستاره وجود ندارد. نوع مرگ بستگی به جرم ستاره دارد.

طول عمر ستاره نیز به جرم آن بستگی دارد: ستاره های کم جرم دارای درخشندگی کم و عمر بسیار طولانی دهها میلیارد سال هستند. ستاره های پر جرم از درخشندگی بسیار بالا و طول عمر بسیار کوتاه - میلیون ها سال است. بیشتر ستارگان بسیار کم جرم هستند و طول عمر آنها از عصر کنونی جهان فراتر رفته است.

قبل از مرگ یک ستاره، جرم خود را از دست می دهد. با استفاده از آخرین سوخت هیدروژن و سپس سوخت هلیوم آن، به یک ستاره غول پیکر قرمز متورم می شود، بیش از صد برابر در شعاع و بیش از یک میلیارد برابر حجم از خورشید بیشتر است. در فعالیت 4 ، دانش آموزان می توانند یک الگوی مقیاس تهیه کنند تا تغییرات بزرگ در اندازه ستاره را در هنگام تکامل مشاهده کنند. وزن در لایه های بیرونی یک غول قرمز بسیار کم است. همچنین از نظر ضربان، انبساط و انقباض ریتمیک ناپایدار می شود. به دلیل بزرگی غول قرمز، برای هر چرخه پالس ماهها یا سال ها طول می کشد. این اتفاق لایه های بیرونی ستاره را به فضا منتقل می کند و یک سحابی سیاره ای زیبا و به آرامی در حال گسترش را در اطراف ستاره در حال مرگ تشکیل می دهد (شکل 9). گازهای موجود در سحابی سیاره ای توسط نور ماوراء بنفش از هسته داغ ستاره در معرض فلورسانس قرار دارند. سرانجام ، آنها از ستاره دور می شوند و با سایر گازها و غبارها به هم می پیوندند تا سحابی های جدیدی ایجاد شوند که از آنها ستاره های جدید متولد می شوند.

شکل 9: سحابی هلیکس ، سحابی سیاره نما. گازهای سحابی در مرحله تکامل غول سرخ از ستاره خارج شده اند. هسته اصلی ستاره کوتوله داغ سفید است که بصورت کم رنگ در مرکز سحابی دیده می شود. منبع: ناسا.

زندگی ستارگان پرجرم اندکی با زندگی ستارگان کم جرم متفاوت است. در ستارگان کم جرم ، انرژی به صورت تابش به بیرون از هسته به خارج منتقل می شود. در هسته ستارگان پرجرم، انرژی با همرفت منتقل می شود، بنابراین هسته ستاره کاملاً مخلوط می شود. از آنجا که آخرین ماده هیدروژن در هسته مورد استفاده قرار می گیرد ، ستاره پرجرم خیلی سریع به یک غول قرمز تغییر می کند. در مورد ستارگان کم جرم، انتقال آهسته تر و تدریجی تر است.

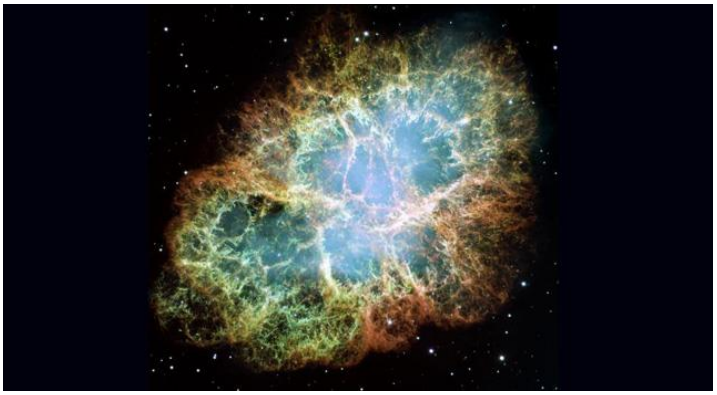
جرم ستاره ها باید بیش از 0.08 برابر خورشید باشند. در غیر این صورت، آنها در مراکز خود به اندازه کافی داغ و متراکم نخواهند بود تا هیدروژن به جوش آید. بزرگترین ستارگان دارای جرم هایی در حدود صد برابر خورشید هستند. ستارگان سنگین تر آنقدر قدرتمند خواهند بود که تشعشعات خود آنها مانع از شکل گیری و پایدار ماندن آنها می شود.

ستاره های متداول و کم حجم

در ستارگان با جرم اولیه کمتر از هشت برابر بیشتر از خورشید، از دست دادن جرم هسته آنها کمتر از 1.4 برابر جرم خورشید است. این هسته فاقد سوخت حرارتی است. کشش درونی گرانش با فشار بیرونی الکترون ها متعادل می شود. بنابر اصل طرد پائولی آنها در مقابل هر گونه انقباض بیشتر مقاومت می کنند - قانونی از نظریه کوانتومی که می گوید محدودیتی در تعداد الکترون هایی که می توانند در یک حجم معین وجود داشته باشد وجود دارد. به این هسته، کوتوله سفید گفته می شود. کوتوله های سفید جرم کمتر از 1.44 برابر خورشید دارند. به این حد چاندراسخار گفته می

شود، زیرا این ستاره شناس هندی-آمریکایی و برنده جایزه نوبل، سوبرامانیان چاندراسخار نشان داد که کوتوله سفید رنگی سنگین تر از این حد، می تواند از هم فروبپاشد.

کوتوله های سفید نقاط پایانی طبیعی تکامل ستاره ای هستند. آنها در کهکشان ما بسیار متداول هستند. اما دیدن آنها دشوار است: زیرا آنها بزرگتر از زمین نیستند، اگرچه که گرم هستند، اما منطقه تابشی آنها بسیار کم است. قدرت آنها هزاران برابر کمتر از خورشید است. تابش آنها فقط به دلیل گرم بودن آنهاست، زیرا انرژی خود به آرامی از دست می دهد. ستارگان درخشان سیریوس و پروسیون هر دو کوتوله های سفید دارند که در اطراف آنها می چرخند. این کوتوله های سفید غیر از گرمای ذخیره شده آنها منبع انرژی ندارند. آنها مانند زغال درحال سوختن در یک شومینه هستند که بعد از مدتی آرامی سرد می شوند. بعد از میلیاردها سال کاملاً سرد و تاریک می شوند.



شکل 10: سحابی خرچنگ ، بقایای انفجار ابرنواختر است که توسط اخترشناسان در آسیا در سال 1054 میلادی به ثبت رسید. هسته این ستاره منفجر شده یک ستاره نوترونی در حال چرخش یا پالسار به همراه سحابی بوده است. بخش کوچکی از انرژی چرخشی آن به سحابی منتقل می شود و باعث درخشش آن می شود. منبع: ناسا.

کمیاب، ستاره های سنگین

ستارگان پرجرم داغ و قدرتمند هستند اما تعداد آنها کم است. عمر کوتاه آنها چند میلیون سال است. هسته آنها به اندازه کافی داغ و متراکم است که عناصر را تا آهن می تواند فیوز کند(همجوشی تا عنصر آهن اتفاق می افتد). هسته آهن انرژی لازم برای همجوشی یا شکافت ندارد. هیچ

منبع انرژی برای گرم نگه داشتن هسته و نمی تواند در برابر نیروی گرانش مقاومت از خود نشان دهد. گرانش، هسته ستاره را در یک ثانیه در خود فرو می برد و آن را به یک توپ نوترون (یا حتی ماده ناشناس) تبدیل می کند و مقدار زیادی انرژی گرانشی را آزاد می کند. این باعث می شود که لایه های بیرونی ستاره به عنوان ابرنواختر منفجر شوند (شکل 10). این لایه های بیرونی با سرعت حداکثر 10،000 کیلومتر در ثانیه بیرون می روند.

ابرنواختر، با حداکثر روشنایی، می تواند به اندازه کل کهکشان صدها میلیارد ستاره روشن باشد. تیکو براهه و یوهانس کپلر هر دو به ترتیب در سالهای 1572 و 1604 به ترتیب ابرنواخهای روشن را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. به گفته ارسطو، ستاره ها کامل بودند و تغییر نکردند. براهه و کپلر خلاف این حرف را ثابت کردند. 400 سال هیچ ابرنواختر در کهکشان راه شیری ما مشاهده نشده است. یک ابرنواختر، در سال 1987 در ابر ماژلانی بزرگ، که یک کهکشان کوچک ماهواره ای کهکشان راه شیری است، با چشم غیرمسلح مشاهده شد.

جرم هسته ستاره ابرنواختر از حد چاندراسخار بیشتر است. پروتون ها و الکترون های موجود در همجوشی هسته در حال فروپاشی برای تولید نوترون ها و نوترینوها. پشت سر هم نوترینوها توسط یک رصدخانه نوترینو قابل تشخیص است. تا زمانی که جرم هسته کمتر از حدود سه برابر جرم خورشید باشد، پایدار خواهد بود. نیروی درونی گرانش با فشار کوانتومی بیرونی نوترون ها متعادل می شود. این جرم را ستاره نوترونی می نامند. قطر آن حدود 10 کیلومتر است. چگالی آن بیشتر از 14^10 برابر آب است. اگر هنوز خیلی گرم باشد، ممکن است با یک تلسکوپ اشعه X قابل مشاهده تابش کند، اما ستاره های نوترونی به روشی بسیار غیر منتظره ای کشف شدند - به عنوان منبع پالس های امواج رادیویی به نام پالسار. دوره پالس آنها تقریباً یک ثانیه و گاه بسیار کمتر است. پالس ها توسط میدان مغناطیسی قوی ستاره نوترونی تولید می شوند و با چرخش سریع ستاره تقریباً با سرعت نور به گردش در می آیند.

نوع دوم ابرنواختر وجود دارد که در سیستم های ستاره دوتایی رخ می دهد که در آن یک ستاره از بین رفته و تبدیل به یک کوتوله سفید می شود. هنگامی که ستاره دوم

شروع به بزرگ شدن می کند، ممکن است گاز به کوتوله سفید انتقال یابد. اگر جرم کوتوله سفید از حد چاندراسخار بیشتر شود، کوتوله سفید "از بین می رود". ماده آن تقریباً فوراً به کربن متصل شده و انرژی کافی برای از بین بردن ستاره آزاد می کند.

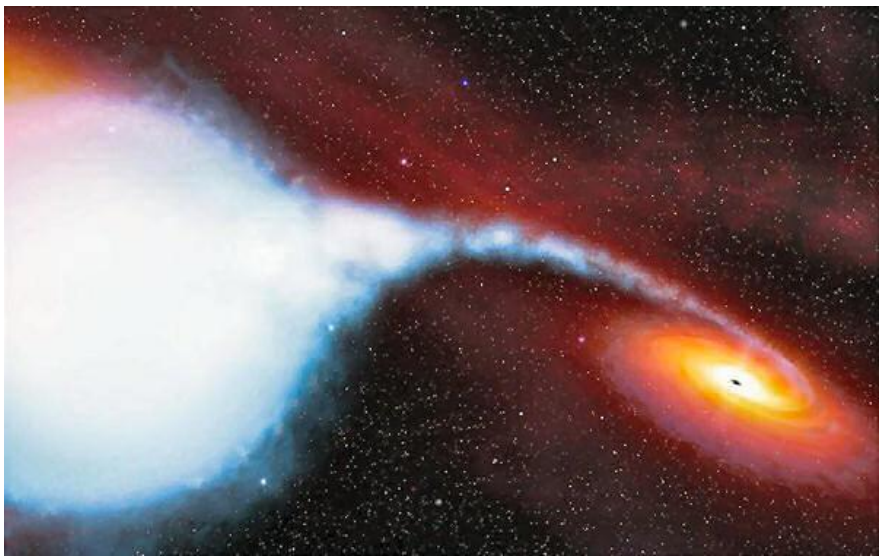
در یک انفجار ابرنواختر، تمام عناصر شیمیایی تولید شده توسط واکنشهای همجوشی در فضا پخش می شود. عناصر سنگین تر از آهن در این انفجار تولید می شوند هرچند در مقادیر اندک، زیرا نوترون هسته های سبک تر را پخش و تابش می کند.

خیلی کمیاب، ستاره های خیلی سنگین

ستاره های بسیار سنیگن بسیار نادر هستند - یک ستاره در یک میلیارد.قدرت آنها تا یک میلیون برابر خورشید است و زندگی بسیار کوتاه دارند. آنها چنان سنگین هستند که هنگامی که انرژی از بین می روند و هسته آنها نابود می شود، جرم آن بیش از سه برابر جرم خورشید است. گرانش حتی بر فشار کوانتومی نوترونها غلبه می کند. هسته همچنان در حال فروپاشی است تا زمانی که آنقدر متراکم باشد که نیروی گرانشی آن مانع فرار هر چیزی می شود، حتی نور. این یک سیاه چاله است. سیاهچاله ها هیچ تابشی از خود ساطع نمی کنند، اما اگر آنها یک همراه ستاره معمولی باشند، باعث می شوند که آن همراه در مدار حرکت کند. حرکت مشاهده شده از آن همراه (همدم)، ستاره شناسان را قادر می سازد سیاهچاله را تشخیص دهند و میزان آن را اندازه گیری کنند. علاوه بر این: مقدار کمی از گاز ستاره معمولی ممکن است به سمت سیاهچاله کشیده شود و گرم شود تا قبل از اینکه در سیاهچاله قرار بگیرد در پرتوهای X از خود ساطع کند (شکل 11). بنابراین سیاهچاله ها منابع قوی اشعه X هستند و با تلسکوپ های اشعه ایکس کشف می شوند.

ستاره شناسان در مرکز بسیاری از کهکشان ها، از جمله کهکشان راه شیری ما، سیاهچاله های فوق العاده پرجرم، میلیون ها یا میلیارد ها بار سنیگن تر از خورشید را کشف کرده اند. جرم آنها از تأثیر آنها بر روی ستارگان قابل مشاهده در نزدیکی مراکز کهکشان ها اندازه گیری می شود. به نظر می رسد سیاه چاله های سوپرمسیو (فوق العاده پرجرم) به عنوان بخشی از فرایند تولد کهکشان شکل گرفته اند، اما هنوز مشخص نیست که چگونه این اتفاق افتاد. یکی

از اهداف ستاره شناسی قرن بیست و یکم درک این است که چگونه اولین ستاره ها و کهکشان ها و سیاهچاله های بسیار بزرگ شکل می گیرند، مدت خیلی کوتاهی پس از تولد جهان.

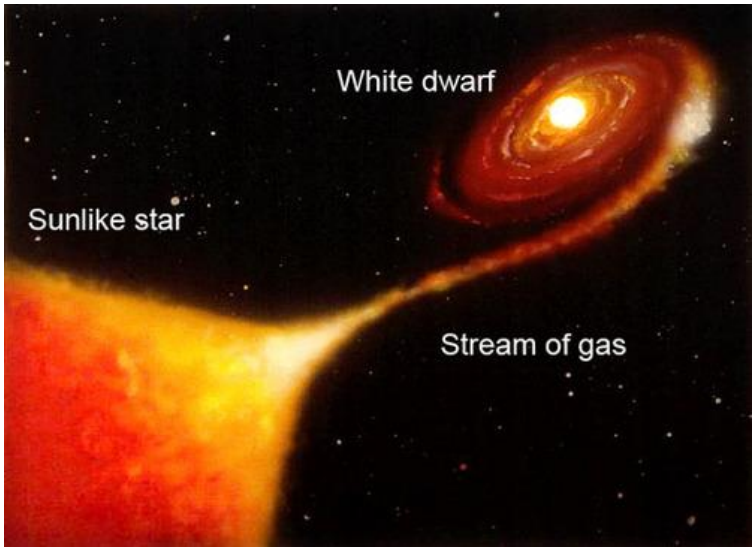


شکل 11: تصور هنری از منبع دوتایی ستاره اشعه X در دجاجه X-1 . شامل یک ستاره عادی بزرگ (سمت چپ) و یک سیاه چاله (راست)، تقریباً 15 برابر جرم خورشید، در مدار متقابل تشکیل شده است. برخی از گازهای موجود در ستاره معمولی به دور سیاهچاله و در نهایت به درون سیاه چاله به صورت دیسکی جمع می شوند. گازها در دمای بسیار بالا گرم می شوند و باعث می شوند اشعه ایکس ساطع شود. منبع: ناسا.

ستاره های متغیر با تحولات زیاد

حدود نیمی از ستاره ها ستاره های باینری (دوتایی) هستند، دو یا چند ستاره در مدار متقابل. اغلب، مدارها بسیار بزرگ هستند و این دو ستاره در تکامل یکدیگر دخالت نمی کنند. اما اگر مدار کوچك باشد، این دو ستاره ممکن است در تعامل باشند، خصوصاً وقتی که یك غول قرمز متورم شود. اگر یک ستاره برای تبدیل شدن به کوتوله سفید، ستاره نوترونی یا سیاه چاله بمیرد، ممکن است تکامل ستاره عادی مواد روی ستاره مرده ریخته شود (مواد ستاره عادی به سمت ستاره از بین رفته کشیده و وارد آن شود)، و اتفاقات جالب بسیاری می تواند رخ دهد (شکل 12). سیستم دوتایی ستاره ای به دلایل مختلف در روشنایی متفاوت است و به آن یک ستاره متغیر با تحولات زیاد گفته می شود. همانطور که در بالا ذکر شد، اگر یک جرم کافی به آن منتقل شود، همراهی کوتوله سفید می تواند به عنوان ابرنواختر

منفجر شود. اگر ستاره عادی مواد غنی از هیدروژن را بر روی کوتوله سفید ریخت، آن ماده می تواند از طریق فیوژن (همجوشی) هیدروژن به عنوان یک نواختر منفجر شود. ماده ای که به سمت کوتوله سفید، ستاره نوترونی یا سیاه چاله می ریزد می تواند خیلی داغ شود، زیرا انرژی پتانسیل گرانشی آن به گرما تبدیل می شود و تابش پرانرژی مانند اشعه ایکس تولید کند.در این تصویر هنری از سیاه چاله (شکل 11)، می توانید دیسک پیوستن گاز در اطراف سیاهچاله و جریان گاز از ستاره معمولی را مشاهده کنید که به سمت آن جریان می یابد.



شکل 12: یک ستاره متغیر با تحولات زیاد. ماده از ستاره عادی (سمت چپ) به سمت کوتوله سفید (سمت راست) کشیده می شود. به دیسک پیوند اطراف کوتوله سفید برخورد می کند که باعث روشنایی و درخشش می شود. سرانجام این ماده بر روی کوتوله سفید فرود می آید، جایی که ممکن است شعله ور شود یا منفجر شود. منبع: ناسا.

تولد خورشید و ستاره ها

اکنون ستاره ها به دنیا می آیند! از آنجا که سنگینترین ستاره ها عمر آنها تنها چند میلیون سال است و همچنین به دلیل اینکه سن جهان بیش از ده میلیارد سال است، از این رو نتیجه می شود که این ستاره های عظیم باید اخیراً متولد شده باشند. مکان آنها سرنخی را فراهم می کند: آنها در ابرهای بزرگی از گاز و غبار به نام سحابی یافت می شوند. گاز متشکل از یون ها، اتم ها و مولکول ها هستند که اکثراً از هیدروژن و دارای مقداری هلیوم و مقدار بسیار کمی از عناصر سنگین تر هستند. گرد و غبار از دانه های سیلیکات و گرافیت تشکیل شده و اندازه های آن کمتر از میکرومتر است. گرد و غبار بسیار کمتری از

گاز وجود دارد ، اما گرد و غبار نقش مهمی در سحابی ایفا می کند. این غبار ها، مولکول ها را قادر می سازد با محافظت از آنها در برابر اشعه شدید ستاره های اطراف، شکل بگیرند. سطح آن می تواند یک کاتالیزور برای تشکیل مولکول ها باشد. نزدیکترین سحابی بزرگ و روشن، سحابی شکارچی است (شکل 13). ستاره های داغ سحابی، اتم های گاز را در اثر تابش فلورسانس درخشان می کنند. گرد و غبار آن هم گرم است و اشعه مادون قرمز را ساطع می کند. همچنین نور ستارگان و گاز موجود در پشت آن را مسدود می کند و باعث ایجاد تکه های تاریک در سحابی می شود.

جاذبه نیروی کشنده است، بنابراین جای تعجب ندارد که بعضی از قسمت های یک سحابی به آرامی منقبض شوند. این اتفاق می افتد اگر نیروی گرانشی بیشتر از فشار تلاطم آن قسمت از ابر باشد. اولین مراحل انقباض ممکن است با ایجاد یک موج شوک از ابرنواخترهای اطراف یا فشار تابش یک ستاره عظیم در این نزدیکی باشد. پس از شروع انقباض گرانشی، همچنان ادامه دارد. حدود نیمی از انرژی آزاد شده، از انقباض گرانشی، ستاره را گرم می کند. نیمه دیگر به دور تابش می شود. هنگامی که دمای مرکز ستاره به حدود 1000،000 Kمی رسد ، ذوب (همجوشی) حرارتی هسته ای دوتریوم آغاز می شود. هنگامی که دما کمی گرمتر است، همجوشی ذرات گرمایشی هیدروژن طبیعی شروع می شود. هنگامی که انرژی تولید شده برابر با انرژی در حال تابش است، ستاره "رسما" متولد می شود.

شکل 13: سحابی اریون، ابر بزرگی از گاز و غبار که در آن ستاره ها (و سیارات آنها) شکل می گیرند. گاز توسط فلورسانس می درخشد. گرد و غبار

باعث ایجاد تکه های جذب تیره ای می شود، به خصوص در قسمت فوقانی سمت چپ. منبع: ناسا.

هنگامی که اولین انقباض گرانشی آغاز می شود، مواد به دلیل تلاطم در سحابی، چرخش بسیار کمی دارند (حرکت زاویه ای). با ادامه انقباض، "حفظ حرکت زاویه ای" باعث افزایش چرخش می شود. این اثر معمولاً در اسکیت شکل مشاهده می شود. وقتی اسکیت باز بخواهد وارد چرخش سریع شود، بازوهایشان را تا حد ممکن به محور چرخش (بدن خود) می کشند و چرخش آن بیشتر می شود. همچنان که چرخش ستاره منقبض شده ادامه می یابد، "نیروی گریز از مرکز" (همانطور که به طور آشنا اما نادرست خوانده می شود) باعث می شود مواد اطراف ستاره در یک دیسک (صفحه) صاف شوند. ستاره در مرکز متراکم دیسک شکل می گیرد. سیارات در دیسک خود شکل می گیرند. سیاره های سنگی در نزدیکی ستاره و سیارات گازی و یخی در قسمت دیسک بیرونی بوجود می آیند.

ستاره شناسان در تمام مراحل شکل گیری ستاره ها را در سحابی هایی مانند سحابی شکارچی مشاهده کرده اند. آنها مواردی را مشاهده کرده اند - دیسک های پیش سیاره ای که سیارات مانند سیاره ما در حال شکل گیری هستند. و از سال 1995، ستاره شناسان سیارات فراخورشیدی - سیاره هایی را در اطراف سایر ستارگان خورشید مانند کشف کرده اند. این اثبات مهمی است که سیارات واقعاً به عنوان یک محصول فرعی عادی از تشکیل یک ستاره هستند. ممکن است سیارات زیادی مانند زمین در جهان وجود داشته باشد!

Bibliography

- Bennett, Jeffrey et al, *The Essential Cosmic Perspective*, Addison-Wesley; one of the best of the many available textbooks in introductory astronomy,2005.
- Kaler, James B, *The Cambridge Encyclopaedia of Stars*, Cambridge Univ. Press, 2006.
- Percy, J.R, *Understanding Variable Star*, Cambridge University Press, 2007.

Internet Sources

- American Association of Variable Star Observers. http://www.aavso.org. Education project: http://www.aavso.org/vsa
- Chandra X-Ray Satellite webpage. http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/
- Kaler's "stellar" website. http://stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.html
- Stellar Evolution on Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution