

نخستین درس در ستاره‌شناسی - بخش سوم

درس هفتم: کوتوله های سفید و سحابی های سیاره‌نما

دکتر حسین شناور



پژوهش‌سرای دانش‌آموزی امام جعفر صادق (ع) گیلان



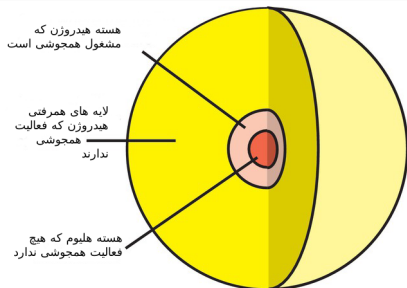
مدیریت آموزش و پرورش شهرستان گلبهار

۱ درس هفتم: کوتوله های سفید و سحابی های سیاره‌نما

- کوتوله های سفید

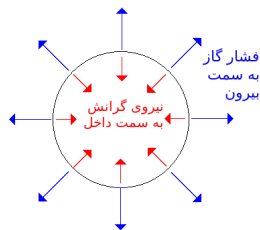
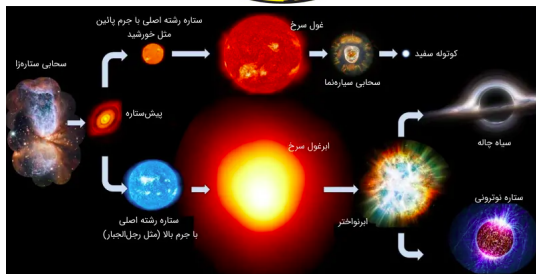
- سحابی های سیاره‌نما

آنچه گذشت: ستارگان کم جرم

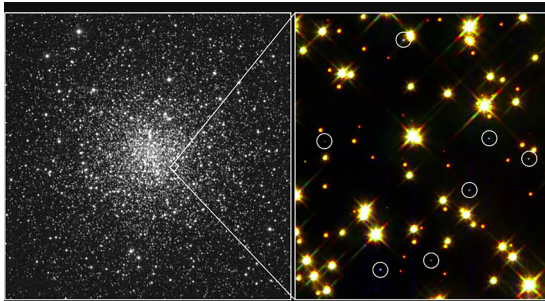


در جلسه پیش مفاهیم اصلی مربوط به ستارگان کم جرم را فرا گرفتیم:

۱. روش تولید انرژی
۲. طول عمر ستارگان
۳. تعادل ستارگان
۴. همجوشی هیدروژن و هلیوم
۵. کوتوله های قرمز
۶. تحول خورشید
۷. غول قرمز



کوتوله های سفید و سحابی های سیاره‌نما



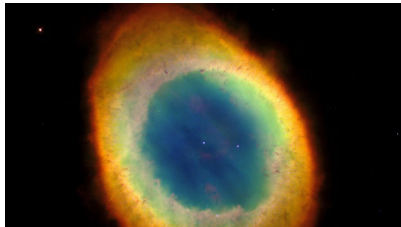
در فرایند تحول ستارگان کم جرم، و پس از انبساط، انقباض و انبساط دوباره ستاره، یک کوتوله سفید تشکیل می شود که جرم بسیار جالبی است. همچنین، در بسیاری موارد یک سحابی سیاره‌نما نیز تشکیل می شود که یکی از زیباترین پدیده های آسمانی محسوب می شود.

در این جلسه این دو مورد را با جزییات بیشتر بررسی خواهیم کرد ولی پیش از آن فرایند تحول خورشید را مرور کوتاهی خواهیم کرد.

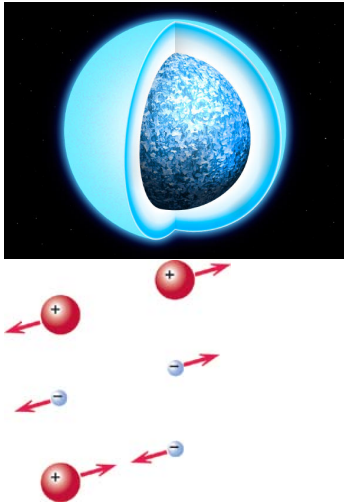


مروری بر فرایند تحول خورشید

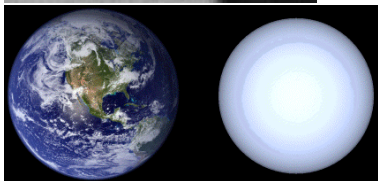
- خورشید در حال حاضر، در هسته خود هیدروژن را به هلیوم تبدیل می‌کند. ولی در انتها شامل یک هسته هلیومی بوده و با همجوشی هلیوم، تولید کربن می‌کند (و کمی اکسیژن و نئون).
- با توجه به اینکه خورشید جزو ستارگان کم جرم است، وقتی هلیوم خورشید نیز تمام شود، خورشید نمی‌تواند کربن موجود را با فرایند همجوشی تبدیل کند.
- همجوشی منبع انرژی خورشید است و وقتی هسته خورشید تماماً کربن باشد، منبع انرژی خورشید تمام شده است زیرا همجوشی نمی‌تواند رخ دهد. در این زمان (حدوداً هشت میلیارد سال آینده) لایه های بیرونی خورشید نیز به بیرون پرتاب شده اند.
- در این مرحله چیزی که از ستاره باقی مانده است، فقط هسته آن است که کوتوله سفید نامیده می‌شود. این هسته در طی چند میلیارد سال آینده سرد، کم نور و محو خواهد شد. این پایان ماجرای این ستاره است. هرچند، در این بین اتفاق مهمی رخ می‌دهد.



- وقتی همجوشی هلیوم تمام می شود، جرم خورشید کمتر از نصف جرم کنونی آن است. در این حالت خورشید عملاً از الکترون ها و هسته های اتم کربن تشکیل شده است (و مقدار ناچیزی از عناصر دیگر).
- این جرم چه جور موجودی است؟
- یادآوری از فیزیک: بارهای غیرهمنام همدیگر را جذب می کنند و بارهای همنام همدیگر را دفع می کنند.
- الکترون ها در کوتوله سفید همدیگر را دفع می کنند. هرچقدر این الکترون ها به هم نزدیکتر شوند، نیروی دافعه بین الکترون ها قوی تر خواهد بود (قانون نیروی کولن).
- البته در این حالت نیروی دافعه دیگری نیز بین الکترون ها وجود دارد که به نام "فشار تبهگنی الکترون" مشهور است.



فشار تبهگنی الکترون



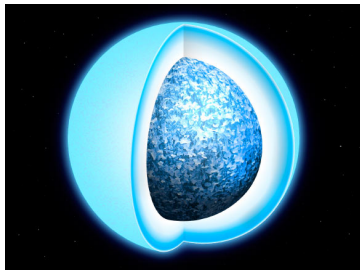
فشار تبهگنی الکترون: بنا به یکی از نتایج مکانیک کوانتومی (اصل طرد پائولی) دو الکترون نمی توانند در یک حالت یکسان قرار بگیرند. در نتیجه الکترون ها در مقابل اینکه کنار هم قرار بگیرند مقاومت می کنند. توجه کنید که این نوع دافعه متفاوت از دافعه الکتریکی بین الکترون هاست.

فشار تبهگنی الکترون بسیار قوی است و می تواند تا حدی از رمبش هسته ستاره در اثر گرانش جلوگیری کند.

در این حالت اندازه هسته تقریباً در حدود اندازه زمین است (حدوداً یک صدم اندازه فعلی خورشید). چنین جرمی را کوتوله سفید می نامند.

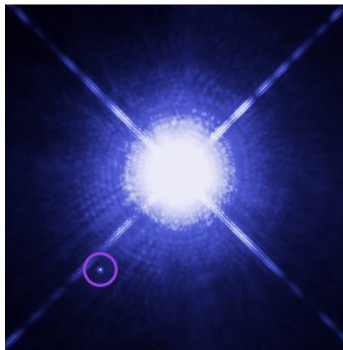
ویژگی های فیزیکی کوتوله سفید بسیار عجیب اند و با افزایش چگالی کوتوله های سفید، این ویژگی ها تشدید هم می شوند. بحث در ادامه را ببینید.

ویژگی های فیزیکی کوتوله سفید

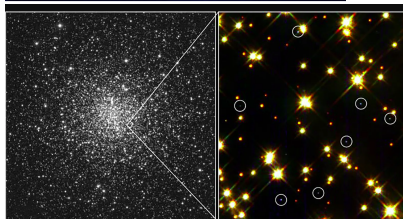


- چگالی کوتوله سفید به حدی است که یک سانتی متر مکعب آن (به اندازه مکعب تاس) هزار کیلوگرم وزن دارد.
- به دلیل چگالی بسیار زیاد کوتوله سفید، گرانش در سطح آن بسیار زیاد است (تقریباً صد هزار برابر گرانش در سطح زمین). به همین دلیل، نیروی وزن در سطح کوتوله سفید بسیار بیشتر از سطح زمین است.
- کوتوله های سفیدی که تازه متولد شده اند بسیار داغ هستند. دمای سطحی چنین اجرامی به راحتی به چند ده هزار درجه می رسد. البته در طی چند میلیارد سال این اجرام سردتر می شوند.
- این اجرام بسیار داغ و بسیار کوچک هستند؛ بنابراین به نام کوتوله های سفید مشهور شده اند.

ویژگی های فیزیکی کوتوله سفید

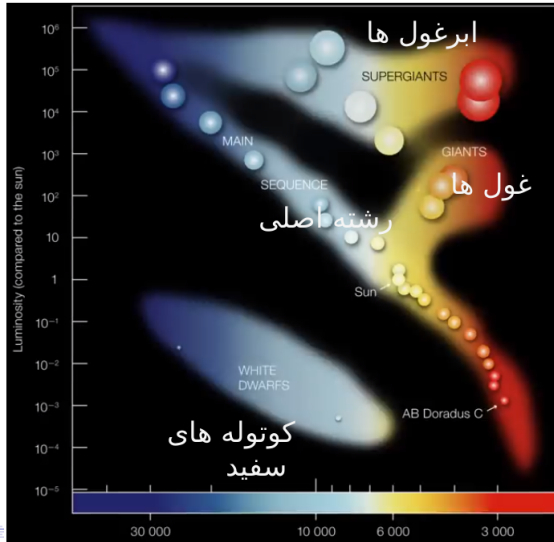


- کوتوله های سفید به حدی داغ هستند که می توانند پرتو فرابنفش و حتی پرتو ایکس تابش کنند.
- البته، با توجه به ابعاد بسیار کوچک کوتوله های سفید، این اجرام بسیار کم نور هستند.
- نزدیکترین کوتوله سفید به ما شباهنگ B می باشد. این جرم را فقط می توان با تلسکوپ دید، با وجودی که فاصله آن تا زمین ۹ سال نوری است.
- این اجرام بسیار داغ و بسیار کوچک هستند؛ بنابراین به نام کوتوله های سفید مشهور شده اند.
- تاکنون حدوداً ده هزار کوتوله سفید در کهکشان ما پیدا شده اند.

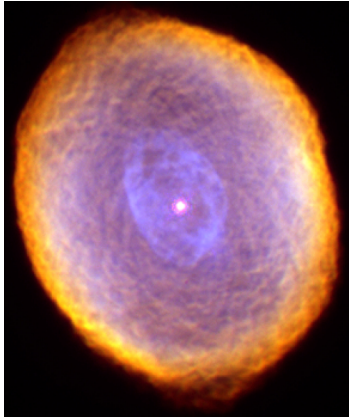


موقعیت کوتوله سفید در نمودار هرتسپرونگ-راسل

• به موقعیت کوتوله های سفید در نمودار هرتسپرونگ-راسل دقت کنید.

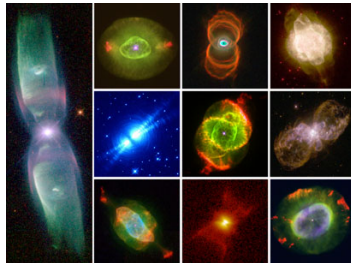


تاثیر کوتوله های سفید بر محیط اطرافشان



● تابش شدید کوتوله های سفید، گازهای نزدیک این اجرام را تحت تاثیر قرار می دهد.

● در جلسه قبل فهمیدیم که وقتی ستاره ای مانند خورشید در مراحل آخر تحول خود (مرگ ستاره) قرار دارد، لایه های خارجی خود را به بیرون پرتاب می کند. وقتی کوتوله سفید تشکیل می شود، این لایه های گاز نسبتاً نزدیک هستند (در حدود یک و یا دو سال نوری). در نتیجه، تابش شدید کوتوله سفید باعث درخشش گاز در اطراف آن می شود. چنین جرمی را سحابی سیاره نما می نامند.



درباره نام "سحابی های سیاره‌نما"



نام "سحابی های سیاره‌نما" از زمان کشف آن باقی مانده است؛ هرچند، این نام چندان مناسب این جرم نیست.

ویلیام هرشل (که سیاره اورانوس و تابش فروسرخ را کشف کرد) این نام را انتخاب کرده است زیرا این اجرام شبیه به قرص های کوچک سبزرنگ بودند.

اولین سحابی سیاره نما در سال ۱۷۶۴ توسط شارل مسیه (منجم فرانسوی *Charles Messier*) کشف شد. او سالها در آسمان به دنبال کشف دنباله‌دارها بود و در این بین اجرام زیادی را رصد کرد. در حین این رصدها، او ۱۱۰ جرم کم نور و مه‌آلود را کشف کرد. در ابتدا او این اجرام کشف شده را به اشتباه دنباله دار فرض کرد؛ ولی به زودی به اشتباه خود پی برد و برای جلوگیری از اشتباهات بعدی کاتالوگ آنها را تهیه کرد. اجرام مسیه شامل کهکشان ها، سحابی ها و خوشه های ستاره ای است.

تصویر $M27$ را در ادامه ببینید. این جرم یکی از بزرگترین سحابی های سیاره‌نما در آسمان است.

سحابی های سیاره‌نما $M27$



رصد سحابی های سیاره نما

- رصد سحابی های سیاره نما نسبتا سخت است زیرا اکثر این اجرام کوچک و کم نورند. حتی با زمان نوردهی زیاد نیز این اجرام به نظر یک قرص می آیند.
- تا مدتها فکر می شد که این ها اجرام ساده ای (مثل قرص) هستند. ولی اکنون جزییات بیشتری درباره این اجرام می دانیم.
- وقتی ستاره به یک غول قرمز تبدیل می شود، لایه های بیرونی به سمت خارج پرتاب می شوند؛ در نتیجه این بادهای ستاره ای باید به شکل کروی باشند. بعضی از این سحابی های سیاره نما نیز کروی هستند؛ مانند حباب صابون.



رصد سحابی های سیاره نما

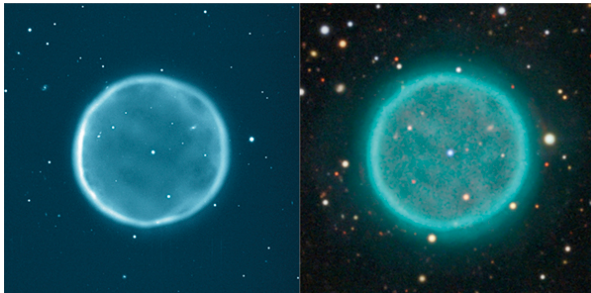
- هرچند، با اختراع آشکارسازهای دیجیتال، جزییات بیشتری از ساختار ظریف سحابی های سیاره نما معلوم شد.
- حال می دانیم که برخی از این سحابی ها کشیده هستند، برخی دیگر شامل اشکال مارپیچی اند. از بعضی سحابی های سیاره نما نیز جت خارج می شود (از دو جهت آنها). در واقع فقط تعدادی از این اجرام واقعا کروی هستند و بقیه ساختارهای پیچیده ای دارند.



شکل های اعجاب انگیز سحابی های سیاره نما

● اکنون یک سوال منطقی مطرح شده است: اگر سحابی های سیاره نما از یک انفجار کروی حاصل شده اند، چطور می توانند به چنین شکل های اعجاب انگیز (بدون تقارن کروی) درآیند؟

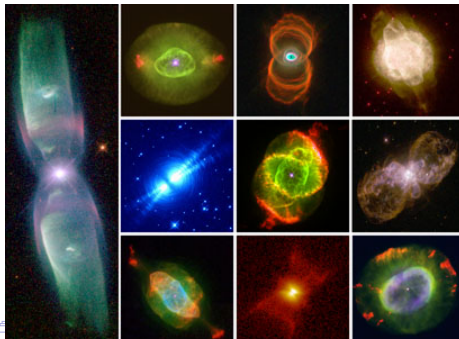
● پاسخ: ابتدا شکل حبابی این اجرام را توضیح می دهیم. وقتی ستاره به حالت غول قرمز در می آید، به آرامی دوران می کند. بادهای ستاره ای ناشی از این جرم نیز متراکم هستند و با سرعت کم در فضا پخش می شوند (به صورت کروی). اگر اتفاق دیگری برای ستاره نیفتد، قسمت های دیگری از لایه های ستاره (با دمای بالاتر، سرعت بالاتر ولی با چگالی کمتر) به سمت بیرون پرتاب می شوند و با لایه اولیه برخورد می کنند. نتیجه این برخورد شکل حباب صابون سحابی سیاره نماست.



شکل های اعجاب انگیز سحابی های سیاره نما

ادامه پاسخ: برخی ستارگان در سیستم های دوتایی (و حتی سه و یا چهارتایی) حضور دارند. ما این سیستم ها را در درس های بعدی بیشتر بررسی خواهیم کرد. اکنون، اگر ستاره در حال مرگ یک همدم (ستاره دیگر در سیستم دوتایی) نیز داشته باشد، آنگاه این دو ستاره می توانند با سرعت بسیار به دور هم بچرخند. فرض کنید که لایه های بیرونی ستاره در حال مرگ به سمت بیرون پرتاب شده اند. چرخش ستاره همدم باعث می شود که مقدار بسیار زیادی از گاز در صفحه چرخش دو ستاره پخش شده و مقدار بسیار کمتری در جهت عمود بر صفحه جریان یابد. شکل کلی بادهای ستاره ای در این حالت نسبتاً تخت خواهد بود.

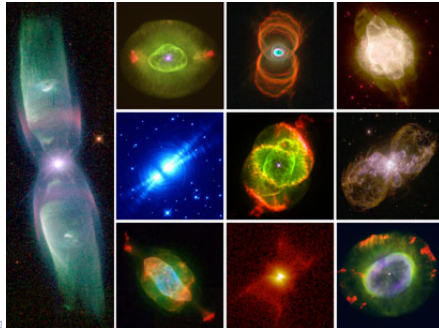
فیلم را ببینید.



شکل های اعجاب انگیز سحابی های سیاره نما

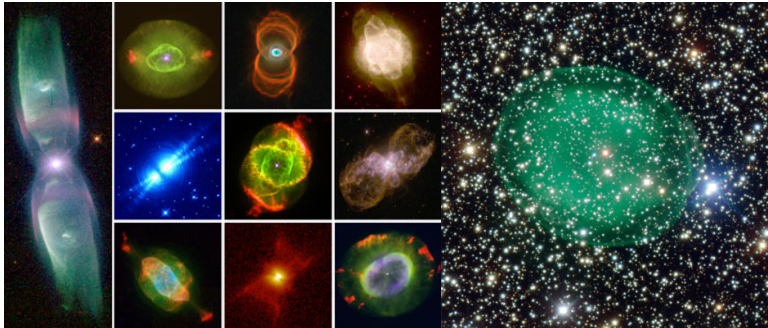
ادامه پاسخ: البته شبیه سازی های سحابی های سیاره نما نشان داده اند که برای تشکیل بسیاری از این اجرام، دو ستاره باید به مقدار زیادی به هم نزدیک باشند. چنین چیزی معمولا دربارہ ستارگان دوتایی درست نیست. در نتیجه احتمالا فرایندهای دیگری نیز موثر هستند. بنا به حدس منجمی به نام ”نوم سوکر“ این پدیده ها می توانند در اثر وارد شدن سیارات به داخل غول های قرمز به وجود آیند. میلیون ها سال طول می کشد تا سیاره داخل غول قرمز محو شود (تبخیر شود) و در تمام این مدت با سرعت زیادی داخل غول خواهد چرخید. با توجه به وجود تعداد زیادی مشتری های داغ در نزدیکی ستارگان، چنین سناریویی واقعا ممکن است.

فیلم را ببینید.



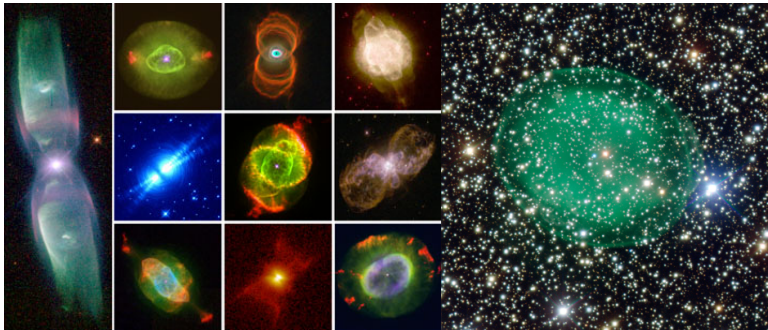
رنگ سحابی های سیاره نما

همانطور که گفته شد، درخشش سحابی های سیاره نما در اثر کوتوله سفید بسیار داغ در مرکز آنهاست. بیشتر گاز موجود در این اجرام هیدروژن است که به رنگ قرمز می درخشد. بخش دیگری از گاز نیز اکسیژن است که رنگ آن سبز است و درخشش بیشتری دارد. اتم های دیگر نیز در این اجرام یافت می شوند. نیتروژن و گوگرد نیز به رنگ قرمز می درخشند و اکسیژن می تواند تابش آبی رنگ هم داشته باشد. با مطالعه ساختار و مواد موجود در سحابی های سیاره نما، که ناشی از مرگ ستاره است، می توان درباره زندگی ستاره بیشتر فهمید.

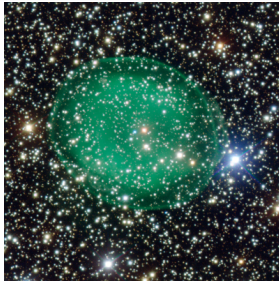


عمر کوتاه سحابی های سیاره نما

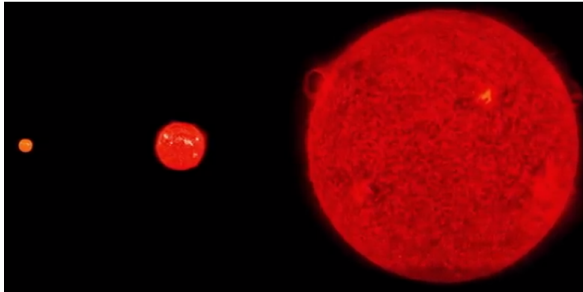
توجه کنید که گاز موجود در درخشش سحابی های سیاره نما همچنان در حال گسترش است. پخش شدن این گاز در ادامه به حدی خواهد بود که با بهترین تلسکوپ ها نیز قابل تشخیص نبوده و در نتیجه سحابی های سیاره نمایی که اکنون می بینیم، در آینده محو خواهند شد. این اتفاق معمولا چند هزار سال طول می کشد. بنابراین وقتی یک سحابی سیاره نما می بینیم، در واقع به مرگ یک ستاره نگاه می کنیم. به همین دلیل تعداد این اجرام بسیار کم است: با وجودی که میلیاردها ستاره در کهکشان تاکنون به این ترتیب مرده اند، این دوره از مرگ آنها بسیار کوتاه بوده و واقعا کمیاب است.



آیا مواد باقیمانده از خورشید نیز به یک سحابی سیاره نما تبدیل خواهند شد؟



آیا مواد باقیمانده از خورشید نیز به یک سحابی سیاره نما تبدیل خواهند شد؟ پاسخ: احتمالاً نه! کوتوله سفید به جای مانده از خورشید نسبتاً کم جرم خواهد بود و بنابراین انرژی کافی برای تحریک تابش در گازهای اطرافش را نخواهد داشت. ولی ستارگان پرجرمتر و داغتر از خورشید می توانند یک سحابی ستاره نما بسازند.



نکات مهم این درس

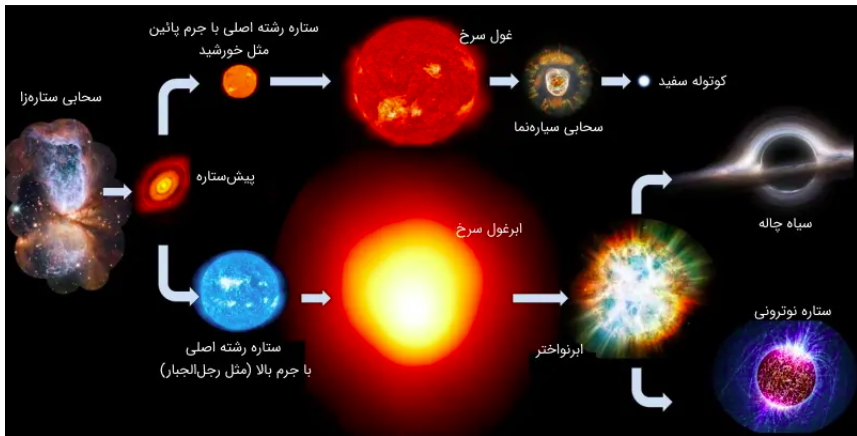
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات مهم مربوط به کوتوله های سفید و سحابی های سیاره‌نما را بیان کنید. همچنین، انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ گوئید:

- ۱ نیروی بین الکترون ها دافعه است و یا جاذبه؟ نیروی بین الکترون و پروتون چطور؟
- ۲ منظور از فشار تبهگنی الکترون چیست؟
- ۳ فشار تبهگنی الکترون چطور از رمیش کوتوله سفید پیشگیری می کند؟
- ۴ اندازه معمول یک کوتوله سفید چقدر است؟
- ۵ چگالی کوتوله سفید و دمای سطح آن چقدر است؟
- ۶ موقعیت کوتوله های سفید در نمودار هرتسپرونگ-راسل را توضیح دهید.
- ۷ منظور از سحابی سیاره نما چیست؟
- ۸ دلیل درخشش سحابی سیاره نما چیست؟ چرا رصد سحابی های سیاره نما سخت است؟
- ۹ سه فرایند اصلی در تشکیل سحابی های سیاره نما را توضیح دهید.
- ۱۰ توضیح دهید که چطور می توان با تحلیل رنگ یک سحابی سیاره نما، اطلاعاتی درباره تحول ستاره آن به دست آورد.
- ۱۱ چرا عمر سحابی های سیاره نما کوتاه است؟ طول عمر این اجرام حدودا چقدر است؟
- ۱۲ آیا مواد باقیمانده از خورشید نیز تشکیل سحابی سیاره نما خواهند داد؟

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

مبحث بعدی: ستارگان پرجرم

- تاکنون درباره تحول ستارگان کم جرم بحث کرده ایم (با جرمی کمتر از هشت برابر جرم خورشید). درباره سرنوشت انفجاری ستارگان پرجرم در جلسات بعدی صحبت خواهیم کرد.



منابع درس

-  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 خواجه‌جوی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۰

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