

نخستین درس در ستاره شناسی - بخش چهارم

درس اول: خوشه های ستاره ای

دکتر حسین شناور



پژوهش سرای 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.

- درس اول: خوشه های ستاره ای
- خوشه های ستاره ای باز
- خوشه های ستاره ای کروی

طرح درس کلی "نخستین درس در ستاره شناسی"



نخستین درس در ستاره شناسی به چهار بخش زیر تقسیم می شود.

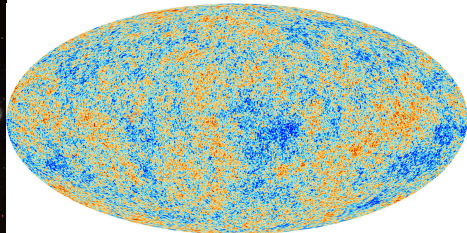
۱ بخش نخست: مقدمات نجوم

۲ بخش دوم: منظومه شمسی

۳ بخش سوم: ستارگان

۴ بخش چهارم: کهکشان ها و کیهان

هر بخش شامل چندین درس خواهد بود.



آنچه گذشت؛ بخش نخست: مقدمات نجوم

موضوعات مطرح شده بخش اول از نخستین درس
در ستاره شناسی، یعنی مقدمات نجوم، به صورت زیر است:

۱ طرح درس

۲ مقدمه ای بر نجوم

۳ نجوم با چشم غیر مسلح

۴ چرخه های آسمان

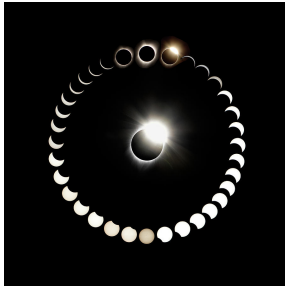
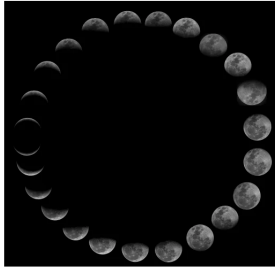
۵ ماه و هلال هایش

۶ خورشید گرفتگی و ماه گرفتگی

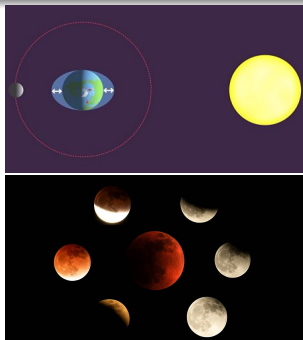
۷ تلسکوپ ها

۸ گرانش به زبان ساده

۹ جزر و مد



آنچه گذشت؛ بخش دوم: منظومه شمسی



موضوعات مطرح شده بخش دوم از نخستین درس
در ستاره شناسی، یعنی منظومه شمسی، به صورت زیر است:

- ۱ نگاهي به منظومه شمسي
- ۲ ستاره ما، خورشيد
- ۳ سیاره ما، زمین
- ۴ قمر ما، ماه
- ۵ سیاره تیر (عطارد)
- ۶ سیاره ناهید (زهره)
- ۷ سیاره مریخ
- ۸ سیاره مشتری
- ۹ قمرهای مشتری
- ۱۰ سیاره زحل
- ۱۱ سیاره های اورانوس و نپتون
- ۱۲ سیارک های منظومه شمسی
- ۱۳ دنباله دار ها در منظومه شمسی
- ۱۴ ابر اورت
- ۱۵ شهاب سنگ ها در منظومه شمسی

طرح درس بخش سوم از نخستین درس در ستاره شناسی: ستارگان

• موضوعات مطرح شده بخش سوم از نخستین درس

در ستاره شناسی، یعنی ستارگان، به صورت زیر است:

۱ نور در ستاره شناسی

۲ فاصله ها در ستاره شناسی

۳ ستارگان

۴ سیارات فراخورشیدی

۵ کوتوله های قهوه ای

۶ ستارگان کم جرم

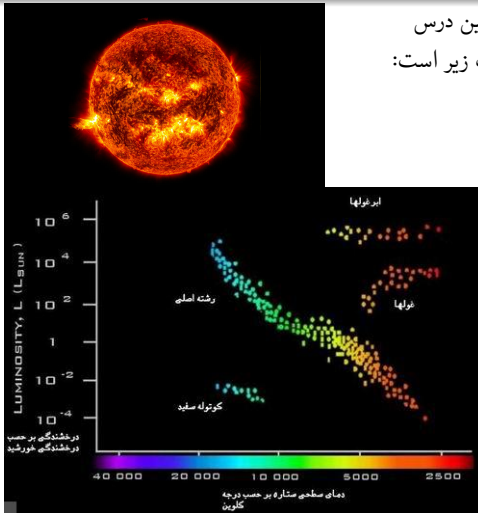
۷ کوتوله های سفید و سحابی های سیاره نما

۸ ستارگان پرجرم

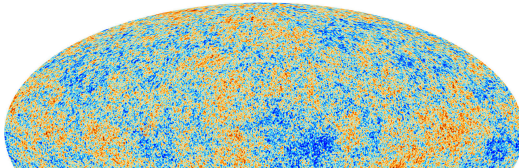
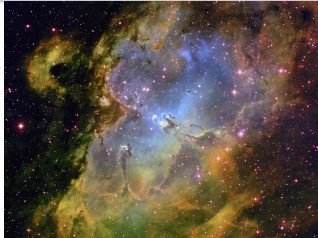
۹ ستارگان نوترونی

۱۰ سیاهچاله ها

۱۱ ستارگان دوتایی و چندتایی



طرح درس بخش چهارم از نخستین درس در ستاره شناسی: کهکشان ها و کیهان



- موضوعات مطرح شده بخش چهارم از نخستین درس در ستاره شناسی، یعنی کهکشان ها و کیهان، به صورت زیر است:

- ۱ خوشه های ستاره ای
- ۲ سحابی ها
- ۳ کهکشان ما: راه شیری
- ۴ کهکشان ها، بخش اول
- ۵ کهکشان ها، بخش دوم
- ۶ انفجار پرتو گاما
- ۷ ماده تاریک
- ۸ کیهان شناسی؛ مهبانگ (بیگ بنگ)
- ۹ کیهان شناسی؛ انرژی تاریک
- ۱۰ تاریخچه مختصر کیهان
- ۱۱ آینده کیهان بنا به فهم کنونی ما
- ۱۲ حیات فرازمینی

طرح درس کلی "نخستین درس در ستاره شناسی"



این مجموعه درس بر اساس سرفصل های دوره فشرده نجوم PBS با عنوان *Crash Course Astronomy* تهیه شده است؛ هرچند، از منابع دیگر هم استفاده خواهد شد.

نویسنده اصلی مجموعه دوره فشرده نجوم Philip Cary Plait می باشد که با نام های *The Bad Astronomer* و منجم ناقلًا هم فعالیت می کند.

دلیل اصلی من برای انتخاب سرفصل های فیل پلایت، تاکید بر تصویری بودن مباحث (بدون نیاز به ریاضیات و فیزیک پیشرفته) است.

البته، دوره هایی که پس از "نخستین درس در ستاره شناسی" ارائه خواهند شد، دوره های مهارتی نجوم خواهند بود و به ریاضیات و فیزیک پیشرفته تری نیاز خواهند داشت.

خوشه ها: تجمع ستارگان

وقتی دو ستاره به دور هم بچرخند آن دو ستاره را دوتایی می نامند، وقتی سه ستاره به دور هم بچرخند آن سه ستاره را سه تایی می نامند و به همین ترتیب.

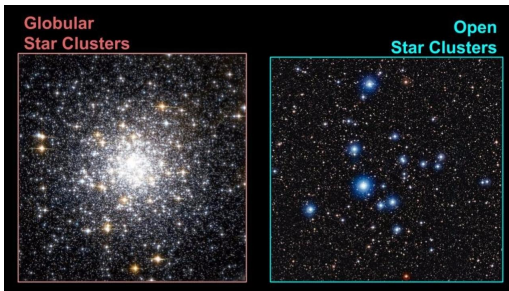
وقتی ده ها، هزاران و یا میلیون ها ستاره به دور هم جمع می شوند مجموعه آنها را خوشه ستاره ای می نامند.

منجمین معتقدند که اکثر ستارگان به صورت جمعی پدید آمده اند؛ هرچند، احتمال بوجود آمدن ستاره تنها نیز وجود دارد. به همین دلیل بررسی فیزیک خوشه ها بسیار مهم است.

دو نوع خوشه ستاره ای داریم:

خوشه های ستاره ای باز
(کَهکشانِ)

خوشه های ستاره ای کروی



خوشه های ستاره ای باز (کهکشانی)

- خوشه های ستاره ای باز (کهکشانی) تجمعی از ده ها و یا هزاران ستاره است که از لحاظ گرانشی کم و بیش به هم وابسته اند. شکل خوشه های ستاره ای باز معمولاً نامنظم است.
- برخی از این خوشه ها آنقدر بزرگ اند، و یا آنقدر به ما نزدیک اند، که می توانند با چشم غیر مسلح هم دیده شوند (به صورت یک توده ستاره).
- تا آنجا که می دانیم گالیله اولین کسی بوده است (و یا حداقل اولین کسی که گزارش کرده است) که این ها مجموعه ای از ستارگان نزدیک به هم هستند. ستارگان درون خوشه معمولاً با چشم غیر مسلح قابلیت تفکیک ندارند. بنابراین مردم آنها را به شکل یک جرم می دیدند.

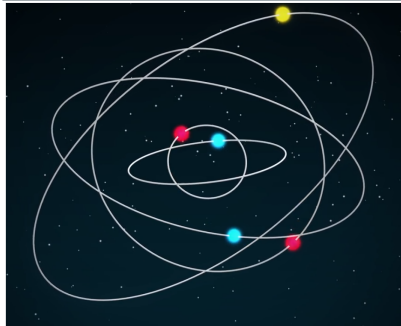
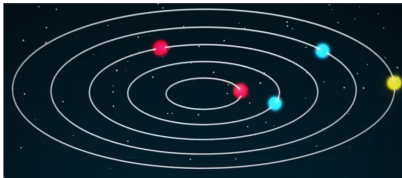


خوشه ها چطور تشکیل می شوند؟

- در جلسه بعد خواهیم دید که خوشه ها در توده های عظیم گاز و غبار (سحابی ها) تشکیل می شوند.
- بنا به شرایط سحابی، مانند جرم و اندازه آن، آنها می توانند باعث تشکیل ده ها تا هزاران توده چگال کوچک می شوند. این توده ها به مرور زمان متراکم تر شده و هر کدام یک ستاره را بوجود می آورد.



مدارهای ستارگان در خوشه های باز



این ستاره ها می توانند توسط نیروی جاذبه کلی شان یک مجموعه تشکیل دهند.

البته وضعیت گرانش در خوشه های باز با منظومه شمسی تفاوت دارد. در منظومه شمسی، خورشید نیروی گرانش اصلی را فراهم می کند و بنابراین همه اجرام دیگر منظومه به دور آن می چرخند. ولی در خوشه های ستاره ای باز همه ستارگان در پدید آوردن جاذبه کمک می کنند. البته ستارگان یک خوشه همه به دور مرکز (مرکز جرم) آن می چرخند، ولی ممکن است در مرکز خوشه ستاره ای باز چیزی وجود نداشته باشد.

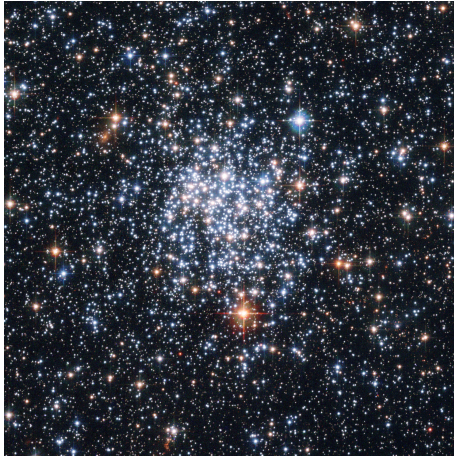
سیارات منظومه شمسی در یک صفحه می چرخند ولی ستارگان یک خوشه ستاره ای باز ممکن است در صفحه های مختلفی دوران کنند (مانند دوران دنباله دارها به دور خورشید).

ابعاد خوشه های باز

- اندازه خوشه های باز معمولا در حد چندین سال نوری است. ستارگان در این خوشه ها، نسبت به ستارگان موجود در کهکشان، بسیار به هم نزدیک هستند.
- نزدیکترین ستاره به خورشید در حدود چهار سال نوری از ما فاصله دارد. این در حالی است که ستارگان در خوشه های باز معمولا کسری از سال نوری از هم فاصله دارند!



سن خوشه های باز



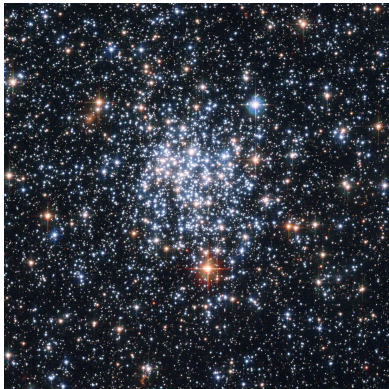
برخی خوشه های باز چند میلیون سال عمر دارند و بنابراین، بنا به استانداردهای نجومی، جوان محسوب می شوند.

برخی دیگر از خوشه های باز میلیاردها سال عمر دارند و بنابراین بسیار پیر هستند.

چطور سن خوشه ها را تعیین می کنیم؟ پاسخ: با مشاهده ستارگان آنها.

یادآوری از درس های ستارگان: ستارگان آبی رنگ و پرجرم و داغ عمر چندانی ندارند و بسیار زود منفجر می شوند. بنابراین، اگر خوشه ستاره ای شامل چنین ستارگانی باشد، آنگاه خوشه مورد نظر حتما جوان است. از طرفی، اگر خوشه ستاره ای شامل کوتوله های قرمز کم جرم باشد، آنگاه خوشه مورد نظر بسیار پیر خواهد بود زیرا همه ستاره های پرجرم و سنگین خود را از دست داده است.

سن خوشه های باز



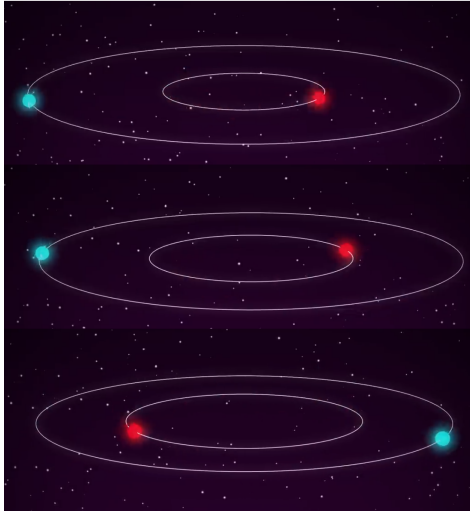
اگر به عنوان یک فرض ساده کننده بپذیریم که همه ستارگان درون خوشه تقریباً همزمان پدید آمده اند، آنگاه سن خوشه را می توان با توجه به سن پرجرم ترین ستارگانی که هنوز در ”رشته اصلی” قرار دارند تخمین بزنیم.

یادآوری از بخش ستارگان: این نوع ستارگان در حال تبدیل هیدروژن به هلیوم هستند – مانند خورشید.

پرجرم ترین ستارگان خوشه را می توان توسط طیف آنها تشخیص داد. از طیف این ستارگان می توان جرم آنها را بدست آورده و در نهایت سن خوشه را تخمین زد.

ممکن است انتظار داشته باشیم که برخی خوشه های ستاره ای جوان، برخی میانسال و برخی پیر باشند؛ هرچند، بررسی های دقیق نشان داده است که اکثر خوشه های باز جوان هستند و تنها تعداد اندکی از آنها بیش از ۵۰ میلیون سال عمر دارند. چرا؟

چرا اکثر خوشه های باز جوان هستند؟



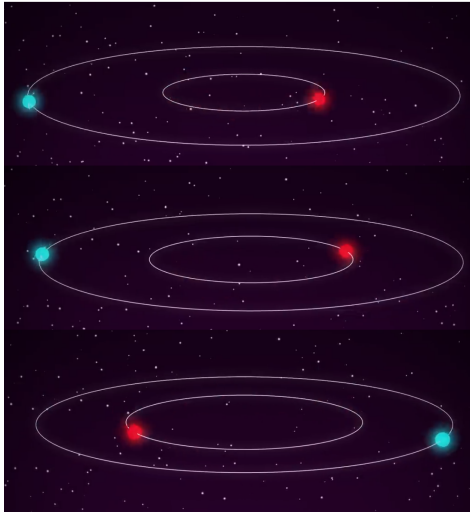
چرا اکثر خوشه های باز جوان هستند؟

پاسخ: این خوشه ها تبخیر می شوند!!
البته تبخیر شدن در اینجا به این معنی
است که خوشه ها ستارگان خود را از
دست می دهند و بنابراین جرم کلی شان
کم می شود.

چرا ستارگان از خوشه ها فرار می کنند؟

پاسخ: همه ستارگان درون خوشه از
طریق گرانش با هم برهمکنش می کنند.
از آنجا که فاصله ستارگان درون خوشه
کم است، برهمکنش گرانشی نزدیک
باعث می شود که مسیر حرکت ستارگان
به صورت مداوم تغییر کند. چطور؟

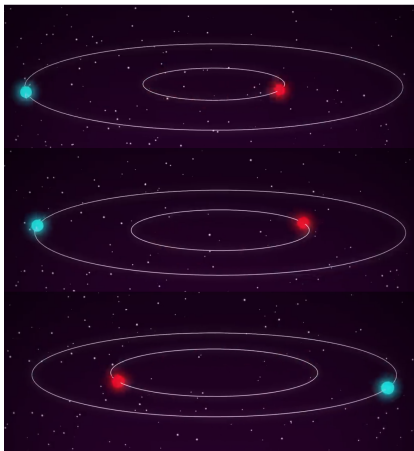
چرا اکثر خوشه های باز جوان هستند؟



یادآوری از گرانش (درس هفتم از بخش اول): مدار یک جسم به مقدار انرژی آن وابسته است. هرچه مقدار انرژی جسم بیشتر باشد، اندازه مدار آن بزرگتر می شود. همچنین، اگر به اندازه کافی به یک جسم انرژی دهیم، جسم به سرعت فرار رسیده و کاملاً آزاد می شود.

حال فرض کنید که در یک خوشه، دو ستاره با جرم متفاوت با هم برهمکنش گرانشی دارند. در این حالت، ستاره کوچکتر مدام از ستاره بزرگتر انرژی گرفته و مدارش بزرگتر می شود. در همین حال، مدار ستاره بزرگتر، کوچکتر می شود. در نهایت سرعت ستاره کوچکتر به حدی می رسد که می تواند از خوشه فرار کند.

چرا اکثر خوشه های باز جوان هستند؟



به این ترتیب خوشه ها ستارگان خود را از دست می دهند. این فرایند با فرار ستارگان کم جرم شروع شده و در ادامه حتی ستارگان سنگین هم از خوشه فرار می کنند. در نهایت فقط سنگین ترین ستارگان در خوشه باقی می مانند، که البته این ستارگان منفجر خواهند شد.

حتی در صورتی که فقط ستاره های نوترونی و سیاهچاله ها باقی مانده باشند، این ها با هم برهمکنش گرانشی کرده و از خوشه فرار می کنند. این فرایند توسط گازهای اطراف و برهمکنش جزر و مدی با ستارگان کهکشان تشدید می شود.

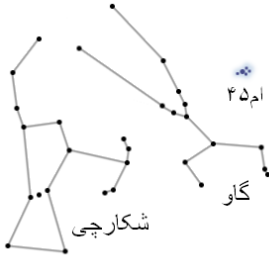
اگر به اندازه کافی به خوشه زمان دهیم، کم کم محو خواهد شد و ستارگان آن وارد فضای کهکشانی می شوند.

چرا اکثر خوشه های باز جوان هستند؟

- بیش از هزار خوشه کهکشانی باز تاکنون شناخته شده اند؛ ولی این خوشه ها - با فرایند بالا - در حال از بین رفتن هستند. بهتر است قبل از نابودی، آنها را مشاهده کنیم.



خوشه پروین



خوشه پروین یکی از خوشه های باز بسیار زیبا در آسمان است. این خوشه با نام های ثریا، $M45$ و هفت خواهران هم مشهور است. فاصله این خوشه در حدود ۴۴۰ سال نوری از زمین است.

با دوربین دوچشمی می توان چندین ستاره دیگر را نیز در این منطقه از آسمان دید. اکثر این ستارگان آبی هستند. این البته به دلیل اثری مشاهداتی است که "سوگیری انتخاب" نامیده می شود. در واقع، ستارگان با رنگ های دیگر هم موجودند (و با تلسکوپ به راحتی دیده می شوند) ولی ستارگان آبی رنگ بیشترین درخشندگی را دارند و بنابراین راحت تر دیده می شوند.

خوشه پروین

- با مشاهده دقیق خوشه پروین می توان پدیده جالبی را دید. ستارگان خوشه پروین در یک ابر غبار قرار دارند. این ابر در اثر بازتاب نور آبی ستارگان آبی به نظر می رسد.
- پیشتر منجمین گمان می کردند که این غبار باقیمانده تشکیل ستارگان است. ولی اکنون می دانیم که خوشه پروین در حال برخورد با این توده غبار است.



خوشه پروین و خوشه قلائص

- خوشه پروین در نزدیکی خوشه قلائص قرار دارد. خوشه قلائص نیز یک خوشه ستاره ای باز است. خوشه های پروین و قلائص تنها خوشه های آسمان هستند که چشم می تواند ستارگان شان را تفکیک کند. قلائص در قسمت شاخ صورت فلکی گاو قرار دارد.
- ستارگان خوشه قلائص، نسبت به پروین، بسیار به ما نزدیک ترند (۱۵۳ سال نوری) و به نظر بزرگتر می آیند.
- بررسی ها نشان می دهد که هیدروژن موجود در هسته پنج ستاره درخشان قلائص تقریباً تمام شده و اکنون این ستارگان در حال تبدیل شدن به ستارگان غول هستند (رجوع کنید به بخش سوم: ستارگان).



خوشه
پروین

خوشه
قلائص

جبار

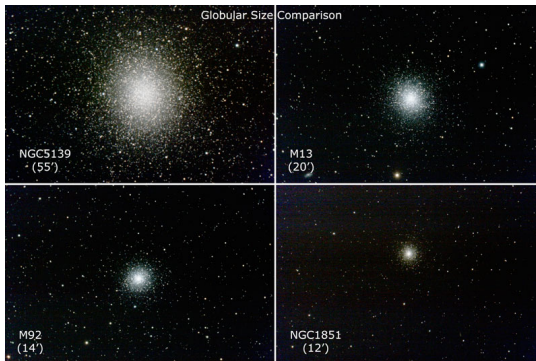
خوشه های ستاره ای کروی



- خوشه های ستاره ای کروی از صدها هزار تا میلیون ها ستاره تشکیل شده اند.
- همانطور که از نامشان پیداست این خوشه ها به شکل تقریباً کروی هستند.
- مرکز خوشه های کروی را "هسته خوشه" می نامند. در هسته تجمع بسیار چگال ستارگان را شاهدیم. خارج از هسته، تعداد ستارگان رو به کاهش می گذارد تا اینکه خوشه محو شود.
- تصویر مرئی و فرابنفش هسته یک خوشه کروی را در شکل مقابل می بینید.

مقایسه با خوشه های باز

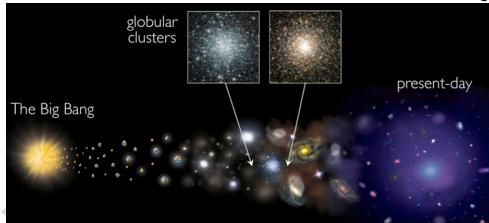
- اکثر خوشه های کروی از خوشه های باز بزرگترند. قطر خوشه های کروی معمولاً در حد صدها سال نوری است. البته، چندین تعریف می توان برای اندازه خوشه های کروی ارائه کرد.
- مانند خوشه های باز، ستارگان در خوشه های کروی به صورت کاملاً تصادفی در حال گردش هستند (مانند زنبورهای عسل که به دور کندو می چرخند).
- برعکس خوشه های باز، خوشه های کروی بسیار پیر هستند. بیشتر خوشه های کروی بیش از ۱۰ میلیارد سال عمر دارند. مدل های کنونی کیهان پیش بینی می کنند که خوشه های ستاره ای کروی از اولین ساختارهای تشکیل شده در کیهان اند.



ساختار ستارگان و سن خوشه های کروی

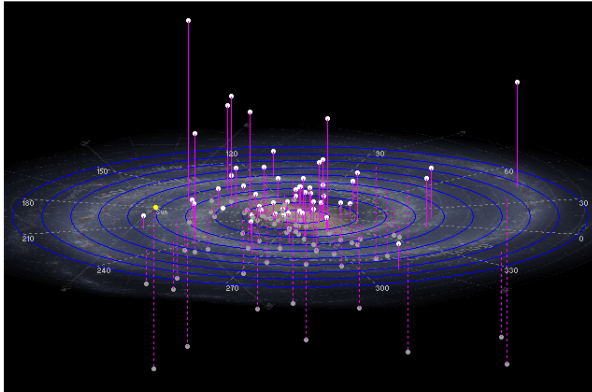
چطور سن خوشه های کروی را می دانیم؟ پاسخ: سنگین ترین ستارگان موجود در خوشه های کروی معمولاً جرمی کمتر از خورشید دارند. یعنی خوشه های کروی آنقدر عمر کرده اند که حتی ستارگانی مانند خورشید نیز هیدروژن خود را سوزانده و به غول قرمز تبدیل شده اند. چنین فرایندی بسیار طولانی است.

مشاهدات نشان می دهند که ستارگان موجود در خوشه های کروی عناصر سنگین کمتری دارند. این موضوع با توجه به سن زیاد ستارگان آنها قابل انتظار است. ستارگان سنگین منفجر می شوند و عناصر سنگین خود را به محیط اطراف می دهند، البته این فرایند زمان بر است. کیهان میلیاردها سال زمان نیاز داشته تا ستارگانی مانند خورشید را بوجود آورد. این ستارگان شامل عناصر سنگین هستند که از انفجار ستارگان قبلی به ارث رسیده اند. از طرفی، ستارگان قدیمی تر، که در ابتدای آفرینش بوجود آمده اند، این عناصر سنگین را در اختیار نداشته اند. بنابراین عناصر سنگین را ندارند.



ساختار ستارگان و سن خوشه های کروی

- خوشه های کروی از خوشه های باز بزرگترند، تعداد ستاره بیشتری دارند و چگالی بیشتری نیز دارند. به همین دلیل طول عمر خوشه های کروی از خوشه های باز بیشتر است.
- یک دلیل دیگر برای عمر طولانی خوشه های کروی این است که این خوشه ها بیشتر عمرشان را در خارج کهکشان می گذرانند. بنابراین برهمکنش گرانشی کمتری دارند و چیزی مزاحم تعادل شان نیست. مکان ۱۱۹ خوشه کروی در اطراف کهکشان را شیری را می بیند.

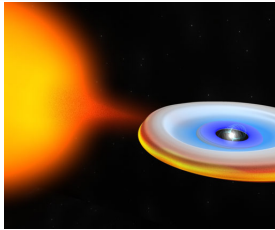


خوشه های کروی به عنوان آزمایشگاه اخترفیزیک

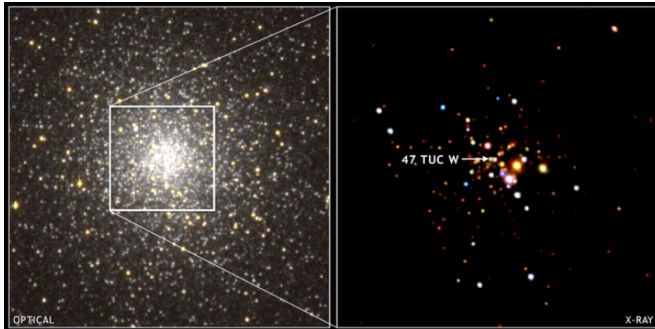
- خوشه های کروی جزو بهترین آزمایشگاه های اخترفیزیک هستند؛ همه ستارگان این خوشه ها تقریباً در زمانی یکسانی متولد شده اند. همچنین فاصله این ستارگان تا زمین کم و بیش یکسان است. بنابراین اگر دو ستاره در یک خوشه کروی را ببینیم و مقدار نور دریافت شده از اولی دو برابر دومی باشد، آنگاه روشنایی ذاتی ستاره اولی نیز دو برابر ستاره دومی است.



ستارگان مرده در خوشه های کروی

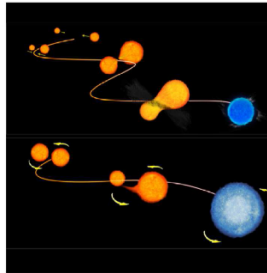
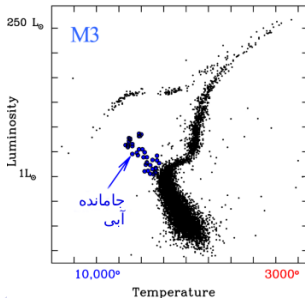


از آنجا که خوشه های کروی پیر هستند، شامل تعداد زیادی ستارگان مرده اند. در واقع تعداد زیادی کوتوله سفید، ستاره نوترونی و سیاهچاله می توان در این خوشه ها پیدا کرد. اگر این اجرام ستارگان همدم داشته باشند، آنگاه با جاذبه شدید خود مواد ستاره همدم را به درون خود کشیده و در این فرایند پرتو ایکس تابش می شود (تصویر پرتو ایکس را در زیر ببینید).



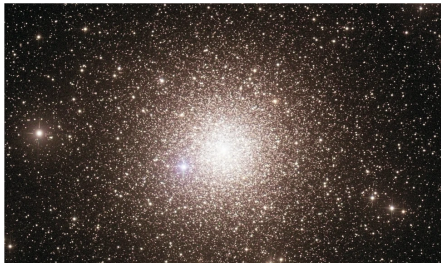
ستارگان آبی رنگ هم در خوشه های کروی پیدا شده اند!

- معمولا ستارگان کم جرم قرمز رنگ در خوشه های کروی باقی می مانند؛ بنابراین، خوشه های کروی معمولا قرمز رنگ هستند.
- در برخی خوشه های کروی تعداد کمی ستارگان آب رنگ هم داریم. در ابتدا به نظر می رسد که این ستارگان جوان نباید در خوشه های کروی (پیر) حضور داشته باشند. منجمین نشان داده اند که چنین ستارگان آبی رنگ و سنگینی از برخورد ستارگان پیشین بوجود آمده اند. این نوع ستارگان را "جامانده آبی" می نامند. احتمال چنین برخوردهای بین ستاره ای در فضای کهکشانی بسیار کم است؛ هرچند، ستارگان خوشه های کروی در فواصل بسیار کمی از هم قرار گرفته اند و احتمال برخورد بیشتر است.



امکان وجود سیارات شبیه به زمین در خوشه های کروی

- تاکنون 150° خوشه کروی در حال دوران به دور کهکشان ما (راه شیری) یافت شده اند. تعداد خوشه های کروی در برخی کهکشان های دیگر بسیار بیشتر است.
- اگر سیاره ای به دور یک ستاره در یک خوشه ستاره ای کروی داشته باشیم، احتمالاً آسمان شب آن سیاره بسیار روشن خواهد بود! احتمالاً روشنایی بسیاری از ستارگان در چنین آسمانی از قدر ناهید در آسمان ما بیشتر خواهد بود.
- هرچند، از آنجا که ستارگان موجود در خوشه های کروی فاقد عناصر سنگین هستند، احتمال وجود سیاراتی مانند زمین بسیار کم است. همچنین، با توجه به فاصله بسیار کم چنین ستارگانی، اگر سیاره ای مانند زمین تشکیل شود، احتمالاً به دلیل برهمکنش گرانشی با سایر ستارگان به فضای بین ستاره ای پرت خواهد شد! پس احتمال تشکیل چنین سیاره ای در خوشه های کروی کم است.



نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید مفاهیم اصلی خوشه های ستاره ای را بیان کنید. همچنین، انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ گوید:

- ۱ منظور از خوشه ستاره ای چیست؟
- ۲ چند نوع خوشه ستاره ای داریم؟
- ۳ آیا خوشه های ستاره ای را می توان با چشم غیر مسلح دید؟
- ۴ مسیر حرکت ستارگان در خوشه های باز و کروی چگونه است؟ وضعیت چه تفاوتی با حرکت ها در منظومه شمسی دارد؟
- ۵ اندازه خوشه های ستاره ای باز و کروی چقدر است؟
- ۶ سن خوشه های ستاره ای باز و کروی چقدر است؟
- ۷ چطور سن خوشه ها را تعیین می کنیم؟
- ۸ فرایند فرار ستارگان از خوشه های باز را توضیح دهید.
- ۹ کدامیک زودتر از خوشه های باز فرار می کند؟ ستارگان سنگین و یا سبک؟
- ۱۰ دلیل رنگ آبی غبار موجود در خوشه پروین چیست؟
- ۱۱ منظور از هسته خوشه کروی چیست؟
- ۱۲ ستاره های موجود در خوشه های کروی سبک اند و یا سنگین؟
- ۱۳ رنگ غالب ستارگان در خوشه های کروی چه رنگی است؟
- ۱۴ دلیل وجود ستارگان آبی رنگ در خوشه کروی چیست؟
- ۱۵ احتمال وجود سیاراتی مانند زمین در خوشه های کروی کم است و یا زیاد؟

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

مبحث بعدی: سحابی ها

- در جلسه بعد با سحابی ها آشنا خواهیم شد. سحابی ها ابرهای گاز و گرد و غبار در فضا هستند. این اجرام جزو زیباترین پدیده های آسمان اند.



منابع درس

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

- 2. نجوم به زبان ساده، مایر دگانی، ویراست سوم، ترجمه محمدرضا خواجه پور، انتشارات گیتاشناسی، ۱۳۹۳
- 3. اساس ستاره شناسی، مایکل سیدز، جلد های 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.

