

نخستین درس در ستاره شناسی - بخش سوم

درس یازدهم: ستاره های دوتایی و چندتایی

دکتر حسین شناور



قطب کشوری نجوم پژوهش سراهای دانش آموزی



پژوهش سرای دانش آموزی امام جعفر صادق (ع) کوهان



مدیریت آموزش و پرورش شهرستان گلبهار

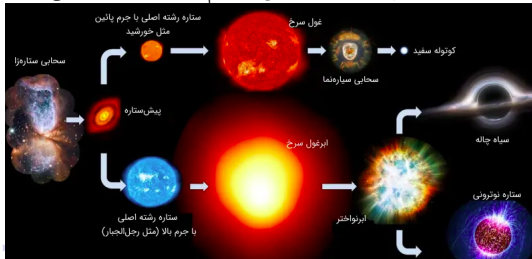
- این مجموعه درس برای آشنایی مقدماتی دانش آموزان و علاقمندان فارسی زبان با مباحث نجوم، اختر فیزیک و کیهان شناسی طراحی شده است. هدف اصلی این مجموعه درس، افزایش دانش علاقمندان به ستاره شناسی است؛ هرچند، به برخی مهارت های مربوطه نیز پرداخته خواهد شد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی 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.

آنچه گذشت: تحول ستاره های کم جرم و پر جرم

در درس های قبل یاد گرفتیم که:

اگر جرم هسته (قلب) ستاره کمتر از $1/4$ برابر جرم خورشید باشد، ستاره تبدیل به یک کوتوله سفید می شود. کوتوله سفید یک کره بسیار داغ (تقریباً به اندازه زمین) از ماده بسیار متراکم است که با فشار تبهگنی الکترون در مقابل نیروی گرانش بزرگ خود مقاومت می کند.

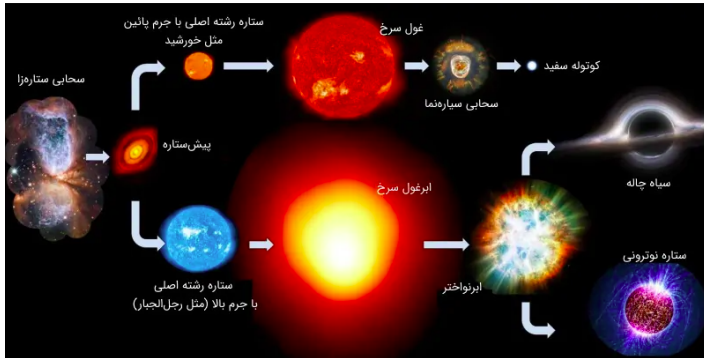
اگر جرم هسته ستاره بیشتر از $1/4$ و کمتر از $2/8$ برابر جرم خورشید باشد، ستاره تبدیل به یک ستاره نوترونی می شود. ستاره نوترونی یک کره بسیار چگال و بسیار داغ (به قطر تقریباً بیست کیلومتر) از ماده فوق العاده متراکم است که با فشار تبهگنی نوترون در مقابل نیروی گرانش عظیم خود مقاومت می کند.



آنچه گذشت: تحول ستاره های کم جرم و پر جرم

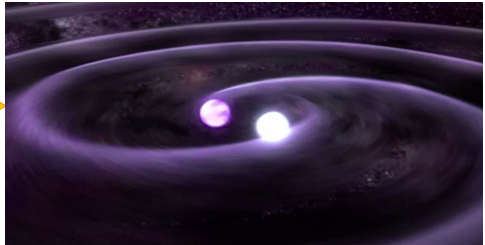
در درس های قبل یاد گرفتیم که:

اگر جرم قلب ستاره از $\frac{2}{8}$ برابر جرم خورشید بیشتر باشد، گرانش به فشار تبهگنی پروتون غلبه کرده و ستاره کاملاً رمبش می کند. بنا به نظریات کنونی فیزیک، هیچ نیرویی وجود ندارد که در این حالت بتواند از رمبش بیشتر ستاره جلوگیری کند. در این حالت یک سیاهچاله خواهیم داشت که موضوع جلسه قبل بود.



خورشید تنهاست!

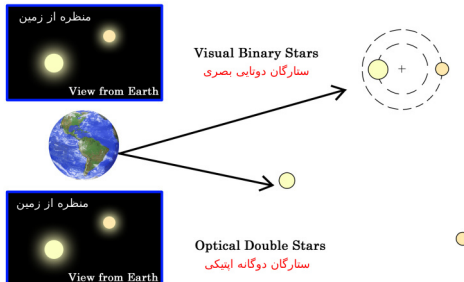
- ما در منظومه خورشیدی خود تعدادی سیاره، دنباله دار، قمر، سیارک و ... داریم؛ با این حال در این منظومه فقط یک ستاره (خورشید) وجود دارد. یعنی خورشید تنهاست!



- بر این اساس ممکن است تصور کنیم که همه ستارگان آسمان تنها هستند. البته وقتی با چشم غیر مسلح آنها را می بینیم، تنها هم به نظر می رسند. ولی اینطور نیست.
- وقتی با تلسکوپ ستارگان را رصد می کنیم، در می یابیم که بسیاری از آنها به همراه ستاره ای دیگر (و برخی اوقات چند ستاره) در آسمان حرکت می کنند. ستاره دیگر را ستاره همدم (ندیم) می نامند.

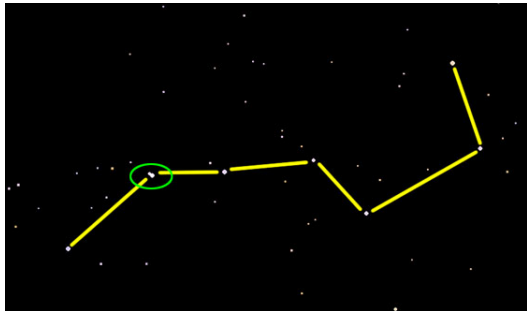
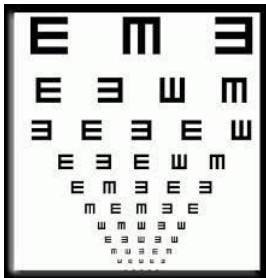
ستارگان دوگانه و دوتایی

- با توجه به تعداد بسیار زیاد ستارگان در آسمان، برخی از آنها ”به نظر“ نزدیک به هم هستند؛ هرچند در واقع در فضا از هم فاصله بسیار زیادی دارند. چنین ستارگانی را ستارگان دوگانه اپتیکی (*optical double stars*) می نامند.
- در قرن هجدهم، منجمین متوجه شدند که بسیاری از ستارگانی که به نظر نزدیک به هم هستند، در واقع از نظر فیزیکی هم به دور هم دوران می کنند. ما این ستارگان را دوتایی (*binary stars*) می نامیم تا آنها را از ستارگان دوگانه (که از نظر فیزیکی از هم دور هستند) تفکیک کنیم.
- درباره تعداد ستارگان دوتایی آسمان همچنان بحث می شود؛ هرچند، حدس بر این است که حدودا یک سوم تا نصف ستارگان موجود جزئی از سیستم های دوتایی یا چندتایی هستند.



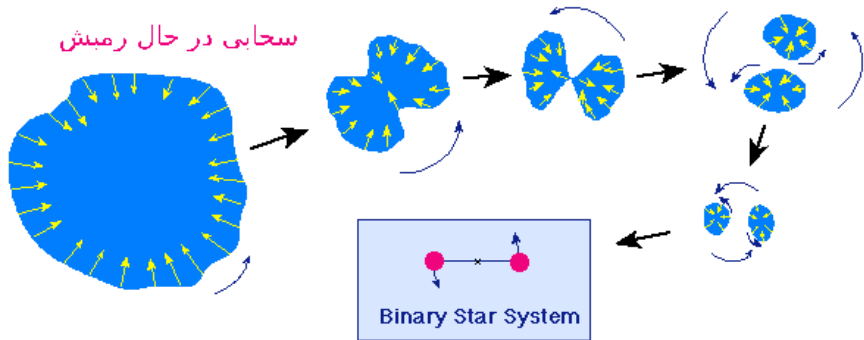
مثالی از ستارگان دوتایی

- یکی از این ستارگان دوتایی را حتی می توان با چشم غیر مسلح مشاهده کرد. این دو ستاره عِناق (یا بُزک یا زتا خرس بزرگ) و سُها در صورتواره ملاقه بزرگ در صورت فلکی دب اکبر هستند.
- این دو ستاره آنقدر به هم نزدیکند که برای تفکیک آن دو باید توانایی چشم به حد کافی خوب باشد. در واقع در زمان های باستان از این دو ستاره به عنوان آزمون بینایی افراد استفاده می شد.
- البته این سیستم پیچیده تر بوده و از شش ستاره تشکیل شده است. ادامه بحث را ببینید.

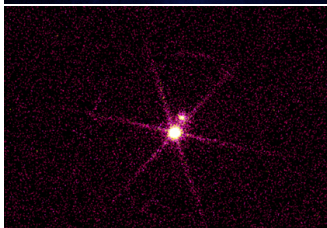
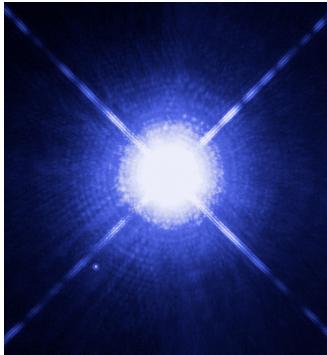


نحوه تشکیل دوتایی ها

- نظر فعلی منجمین این است که ستارگان دوتایی، به احتمال بسیار زیاد، با هم و در نزدیکی هم تشکیل شده اند. در واقع، در ابتدا به جای یک توده در حال رمبش، دو توده وجود داشته اند. این دو توده مواد اطراف خود را جمع کرده، داغ شده و در نهایت هر دو تشکیل ستاره می دهند (به این شرط که به دمای همجوشی برسند). چگونگی چنین فرایندی همچنان مورد بحث است و پیشرفت های نظری و محاسباتی گوناگونی را شاهد بوده است.



دوتایی بصری



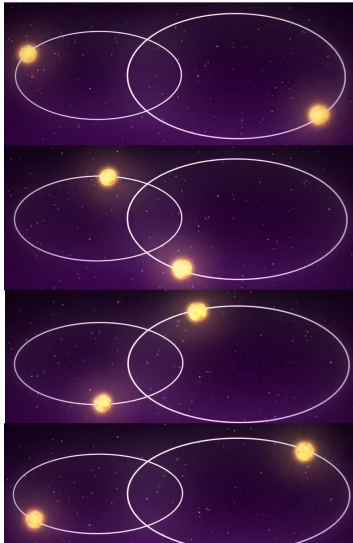
اگر دو ستاره را بتوان با استفاده از تلسکوپ تفکیک کرد، آن دو را دوتایی بصری (*visual binary*) می نامند.

البته این طبقه بندی در طی زمان تغییر می کند زیرا با افزایش قدرت تفکیک تلسکوپ ها، ستارگانی که نزدیک به هم هستند را می توان از هم تفکیک کرد.

ستاره شباهنگ (درخشان ترین ستاره آسمان شب) یک دوتایی بصری است. شباهنگ جرمی تقریباً دو برابر جرم خورشید دارد و یک کوتوله سفید (بسیار کم نور) در حال دوران به دور آن است.

همانطور که در درس هفتم از این بخش دیدیم، کوتوله های سفید می توانند بسیار داغ و پرنرژی باشند. در نتیجه، انرژی تابش شده توسط کوتوله های سفید در طول موج های کوتاه می تواند بسیار بیشتر از ستارگان معمولی باشد. در واقع وقتی ما ستاره شباهنگ را با یک تلسکوپ پرتو ایکس مشاهده می کنیم، کوتوله سفید نزدیک به آن بسیار درخشان تر از شباهنگ است.

تعیین جرم دوتایی ها



● مشاهده دوتایی های بصری بسیار مهم است زیرا اگر در زمان کافی آنها را رصد کنیم، ممکن است بتوانیم حرکت مداری آنها به دور هم را تشخیص دهیم.

● در چنین حالتی، اگر بتوانیم فاصله آنها تا زمین را تعیین کنیم، می توانیم اندازه و شکل مدار آنها را مشخص کنیم. در نتیجه، می توان جرم دو ستاره را (به کمک فیزیک گرانش) تعیین کرد. در واقع، تنها راهی که تاکنون برای تعیین دقیق جرم ستارگان یافته ایم مربوط به وقتی است که آنها در سیستم دوتایی هستند.

● همانطور که در درس دوم از این بخش دیدیم، با دانستن جرم ستارگان می توان بسیاری از مشخصات آنها (از جمله اندازه، درخشندگی و حتی طول عمر آنها) را تعیین کرد.

● در واقع اغراق نیست اگر بگوییم که با مطالعه دوتایی ها بود که اولین بررسی های دقیق اخترفیزیکی (کاربرد فیزیک در شناخت ستارگان) به بار نشست.

همه دوتایی ها دوتایی رصدی نیستند.



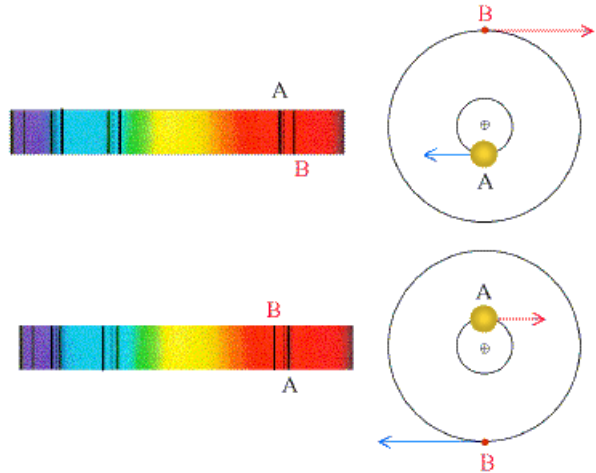
البته دقت کنیم که همه دوتایی ها دوتایی رصدی نیستند. در واقع، برخی ستارگان چنان نزدیک به هم دوران می کنند که حتی نمی توان با بزرگترین تلسکوپ ها هم آنها را از همدیگر تفکیک کرد.

پس از کجا می فهمیم اینها ستارگان دوتایی هستند؟ پاسخ: طیف سنجی.

وقتی که ستارگان در حال دوران به دور هم هستند، در هر لحظه از زمان یکی از آنها به سمت ما حرکت کرده در حالی که دیگری از ما دور می شود. در واقع، با وجودی که نمی توان این حرکت را با تلسکوپ دید، می توان جابه جایی داپلر آنها را از طیف سنجی تشخیص داد. طیف ستاره ای که در حال دور شدن از ماست، دچار جابه جایی قرمز و طیف ستاره ای که در حال نزدیک شدن به ماست دچار جابه جایی به سمت آبی می شود. این نوع ستارگان را ”دوتایی های طیف نمودی” می نامند.

مثالی از جابه جایی در طیف دوتایی های طیف نمودی

- به مثالی از جابه جایی در طیف دوتایی های طیف نمودی دقت کنید.



سیستم پیچیده عناق و سها

حتی با یک تلسکوپ کوچک هم می توان دید که عناق در واقع یک دوتایی بصری است. هرچند، اکنون معلوم شده است که هرکدام از این اجرام خود یک دوتایی طیف نمودی هستند. یعنی عناق در واقع از چهار ستاره تشکیل شده است.

ستاره سها نیز یک دوتایی طیف نمودی است.

از آنجا که سها و عناق به دور هم دوران می کنند، نتیجه می گیریم که این سیستم شامل شش ستاره است (یک سیستم شش تایی است) که به صورت گرانشی به هم وابسته هستند.



Mizar B

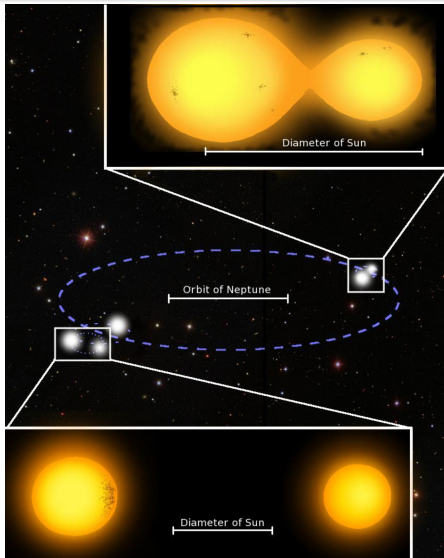
عناق

Mizar A

سها

Alcor

ستارگان چندتایی



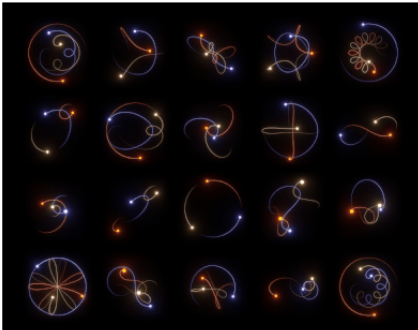
ستارگان به راحتی می توانند در سیستم های چندتایی (چندگانه) به سر ببرند. در واقع ما سیستم های سه تایی، چهارتایی و ... داریم.

مثلا برخی منجمین معتقدند که ستاره قطبی در واقع یک سیستم ستاره ای پنج تایی است در حالی که برخی دیگر این سیستم را شامل سه و یا شش ستاره می دانند. بحث در این زمینه ادامه دارد.

به سیستم پنج ستاره ای 1093010 در شکل مقابل نگاه کنید.

پایداری سیستم های چند ستاره ای

- کاملاً ممکن است که برخی ستارگان در دسته های چندتایی متولد شده باشند؛ هرچند، احتمال پایداری چنین سیستم هایی واقعاً کم است. در واقع اگر جرم و مدار این ستارگان کاملاً "تنظیم شده" نباشند، برخی از ستارگان دیر یا زود به بیرون از سیستم پرتاب می شوند. حتی ستارگانی که در حال حاضر در گروه های چندتایی به سر می برند، احتمالاً در طی زمان از سیستم خود خارج می شوند.
- پدیده پایداری سیستم ها یکی از مهم ترین مباحث در نجوم، فیزیک و ریاضی است. در واقع، هانری پوانکاره با بررسی مساله پایداری منظومه شمسی تمامی علم "آشوب" را بنیانگذاری کرد.

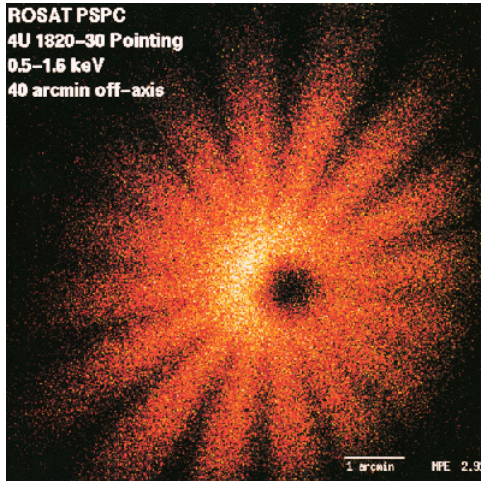


عناصر موجود در خورشید

عنصر	درصد نسبت به تعداد کل اتم ها	درصد نسبت به جرم کل
HYDROGEN	91.2	71.0
HELIUM	8.7	27.1
OXYGEN	0.078	0.97
CARBON	0.043	0.40
NITROGEN	0.0088	0.096
SILICON	0.0045	0.099
MAGNESIUM	0.0038	0.076
NEON	0.0035	0.058
IRON	0.030	0.014
SULFUR	0.015	0.040

پاسخ: نمی دانیم! ولی یک راه برای بررسی چنین پرسشی این است که به دنبال ستارگانی با ترکیب شیمیایی بسیار شبیه به خورشید بگردیم. هرچند، خورشید میلیاردها سال پیش به وجود آمده است و اگر همدمی هم داشته تاکنون به فاصله های بسیار دور (چند هزار سال نوری) منتقل شده است. بنابراین، اگر هم خورشید همدمی داشته، شاید هیچگاه نتوانیم آن را بیابیم.

مدار دوتایی ها

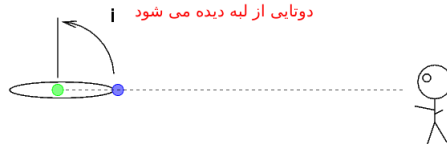
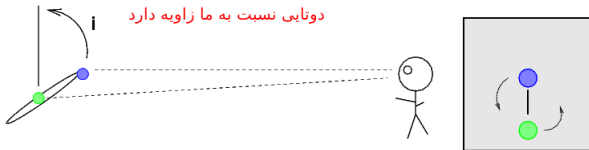
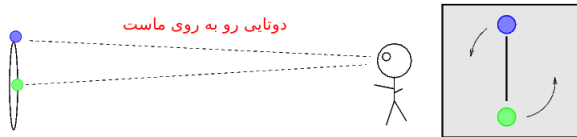


مانند مدار سیارات، مدار دوتایی ها هم می تواند بسیار بزرگ و یا بسیار کوچک باشد. در واقع، فاصله برخی ستارگان دوتایی ده ها میلیارد کیلومتر است. این ستارگان برای طی مدار خود قرن ها زمان نیاز دارند. هرچند برخی دیگر از ستارگان دوتایی چنان به هم نزدیکند که در طی چند روز (و حتی چند دقیقه) به دور هم دوران می کنند. مثلا سیستم دوتایی $4U1820 - 30$ شامل یک ستاره نوترونی و یک کوتوله سفید است که در هر 685 ثانیه یک بار مدار خود را طی می کنند. گرانش این سیستم بسیار قوی است و به همین جهت یک کاندیدای بسیار خوب برای بررسی درستی نظریه نسبیت اینشتین به شمار می رود.



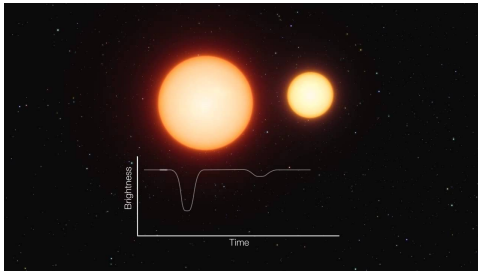
دوتایی های گرفتی

- مدار ستارگان دوتایی می تواند در هر جهت دلخواهی در فضا قرار داشته باشد. هرچند، برخی اوقات مدار این دوتایی ها نسبت به ما از لبه دیده می شود. این گونه سیستم ها را دوتایی های گرفتی می نامند.



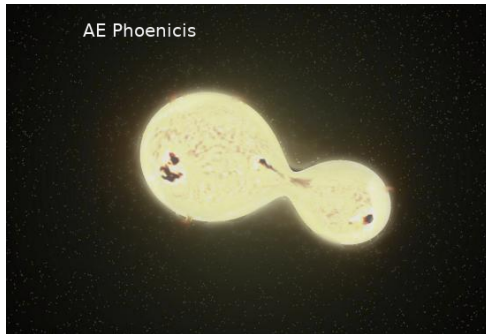
دوتایی های گرفتی

- وقتی با یک دوتایی گرفتی سر و کار داریم، انتظار داریم در هر دوران ستاره اول از جلوی ستاره دوم، و همچنین ستاره دوم از جلوی ستاره اول، عبور کند. در نتیجه این گذر انتظار خواهیم داشت که میزان نور دریافت شده کاهش یابد. شکل زیر و فیلم را ببینید.
- اگر دو ستاره شبیه به هم باشند (مثلا هر دو شبیه به خورشید باشند)، آنگاه دو دره موجود در منحنی نور شبیه به هم خواهند بود. ولی اگر یکی از ستارگان درخشندگی بسیار بیشتری نسبت به دیگری داشته باشد، داستان متفاوت خواهد بود. در این صورت وقتی ستاره کم نور در جلوی ستاره پرنور قرار می گیرد، کاهش زیادی در منحنی نور خواهیم داشت. با بررسی دقیق این منحنی می توان اطلاعات زیادی (از جمله اندازه، جرم، سرعت دوران، دما، فاصله تا سیستم و اندازه و شکل مدارها) را فهمید.



دوتایی های تماسی

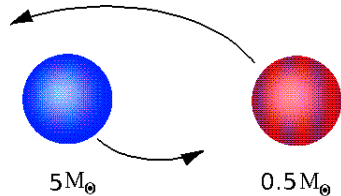
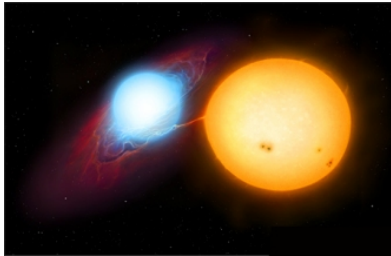
- برخی از ستارگان در سیستم های دوتایی چنان به هم نزدیک می شوند که عملاً همدیگر را لمس می کنند. این نوع سیستم ها را دوتایی های تماسی می نامند.
- دوتایی های تماسی می توانند رفتارهای عجیبی داشته باشند. در واقع نیروی جزر و مدی (یا کشندی- درس نهم از بخش اول را ببینید) ممکن است این ستارگان را به شکل قطره اشک در آورند. حتی اگر دو ستاره بسیار به هم نزدیک شوند، می توانند در هم ادغام شوند. سرنوشت این دوتایی ها هم می تواند بسیار شگفت باشد. چند سناریوی ممکن را در بخش بعد ببینید.



تحول دوتایی ها

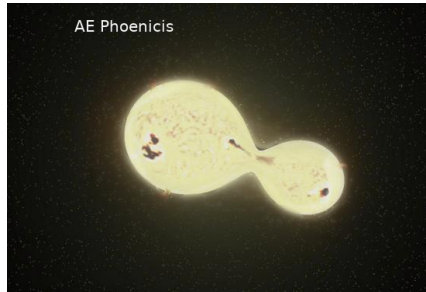
● فرض کنید که دو ستاره در یک زمان متولد شده و چند میلیون کیلومتر با هم فاصله دارند (یعنی به هم بسیار نزدیکند). همچنین، فرض کنید که جرم یکی از آنها پنج برابر جرم خورشید است (بنابراین یک ستاره آبی داغ می باشد) در حالی که دیگری فقط نصف خورشید جرم دارد (بنابراین یک کوتوله قرمز است).

● کوتوله قرمز کار خاصی انجام نمی دهد. در واقع این ستاره به آرامی هیدروژن را به هلیوم تبدیل کرده و نور کمی از خود تابش می کند. هرچند، ستاره بزرگتر به شدت مشغول به مصرف هیدروژن و تولید انرژی است تا اینکه به یک غول قرمز تبدیل می شود. در این حالت، غول قرمز مواد بسیاری را به بیرون پرتاب کرده و جرم خود را از دست می دهد.



تحول دوتایی ها

- گرانش ستاره به میزان جرم آن بستگی دارد. بنابراین وقتی ستاره بزرگتر جرم خود را از دست می دهد، مدار دو ستاره تغییر کرده و به بیضی های کشیده تری تبدیل می شوند.
- با انبساط ستاره بزرگتر، حالا دو ستاره به هم نزدیک شده و به دوتایی تماسی تبدیل می شوند. در واقع، بسیاری از موادی که از ستاره بزرگتر خارج می شوند در میدان گرانش ستاره کوچکتر به دام افتاده و توسط آن جذب می شوند. در نتیجه، جرم ستاره کوچکتر افزایش می یابد.
- در انتها، ستاره بزرگتر بیشتر جرم خود را از دست داده و به یک کوتوله سفید تبدیل می شود. همچنین، ممکن است جرم ستاره کوچکتر افزایش پیدا کرده، به حدی که از جرم کوتوله سفید بیشتر شود.

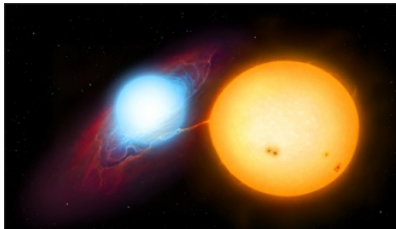


پارادوکس الگول

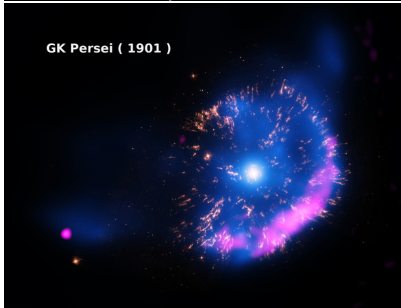
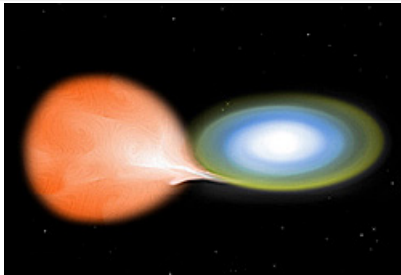
چطور چنین سیستمی را تشخیص می دهیم؟ وقتی این سیستم را مشاهده می کنیم، متوجه می شویم که کوتوله سفید بسیار بیشتر از ستاره بزرگتر تحول پیدا کرده است و این برعکس وضعیتی است که ما انتظار داریم. بنا به نظریه های تحول ستاره که در درس های قبلی بیان شدند:

هرچقدر جرم ستاره بیشتر باشد، تحول آن سریعتر اتفاق افتاده، ستاره زودتر از رشته اصلی خارج شده و وارد بخش زیرغول ها و یا غول ها در نمودار هرتسپرونگ-راسل می شود.

با توجه به انتقال جرم در اینگونه ستارگان دوتایی، نتیجه اساسی بالا مورد تردید واقع می شود. یعنی به جای اینکه ستاره پرجرم زودتر تحول پیدا کند، ستاره کم جرم (کوتوله سفید) زودتر متحول شده است. چنین حالت شگفتی را پارادوکس الگول (*Algol paradox*) می نامند (به خاطر دوتایی الگول در صورت فلکی برساووش). البته، نکته در اینجاست که ستاره ای که اکنون پرجرم است، در واقع در گذشته کم جرم بود و جرم ستاره پرجرم سابق را به خود جذب کرده است.

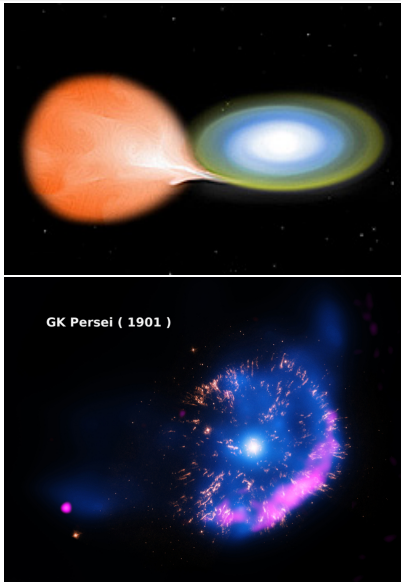


انتقال جرم بین ستاره ها



● انتقال جرم بین دو ستاره می تواند حتی به نتایج شگفت تری منجر شود. سیستمی که در بالا توصیف شد را در چند میلیارد سال آینده تصور کنید. ستاره سنگین لایه های بیرونی خود را از دست داده و تبدیل به یک کوتوله سفید شده است. ستاره دیگر سوخت هیدروژن (در هسته) خود را تمام کرده، منبسط شده و تبدیل به یک غول قرمز می شود. موادی که از این ستاره به بیرون پرتاب می شوند به دام گرانش بسیار بزرگ کوتوله سفید می افتند. اگر هیدروژنی که بر روی سطح کوتوله سفید جمع می شود به مقدار کافی برسد، گرانش می تواند آن را به حدی فشرده کند که همجوشی هیدروژن (تبدیل به هلیوم) آغاز شود.

نواختر

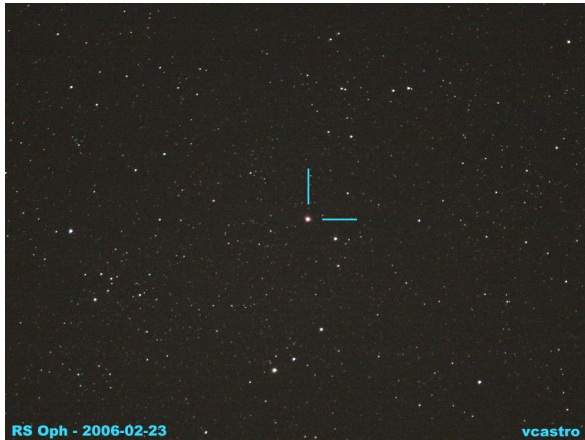


در واقع اگر انتقال جرم به حد کافی برسد، تمام هیدروژن جذب شده می تواند در یک لحظه وارد چرخه همجوشی شود. نتیجه، یک انفجار بسیار عظیم و درخشان است و ستاره مورد نظر در این لحظه ده ها هزار برابر درخشان تر از خورشید خواهد بود. وقتی چنین اتفاقی رخ دهد، جرمی که قبلا در آسمان دیده نمیشد، به ناگهان می درخشد. چندین گزارش تاریخی چنین رویدادهایی را ثبت کرده اند که آنها را نواختر (*stellar nova*) می نامند. نکته جالب اینکه این ستارگان در واقع پیر هستند!

فیلم را ببینید.

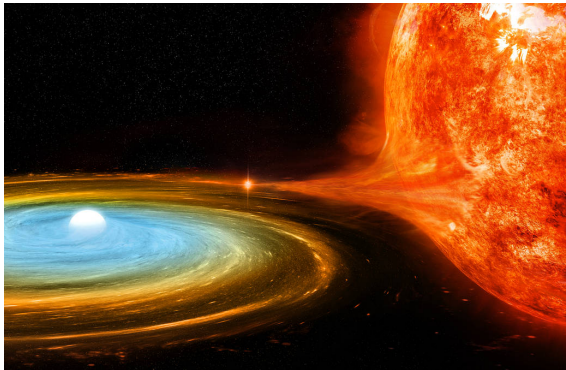
نواختر بازآیند (تکرار شونده)

- این انفجار می تواند جریان موادی که از ستاره دیگر سرازیر شده است را به بیرون پرتاب کند. هرچند، پس از چند هفته وضعیت آرامتر شده و دوباره جریان مواد به کوتوله سفید وارد می شود. در نتیجه، فرایند قبلی می تواند تکرار شود. چنین جرمی را نواختر بازآیند (تکرار شونده) می نامند.



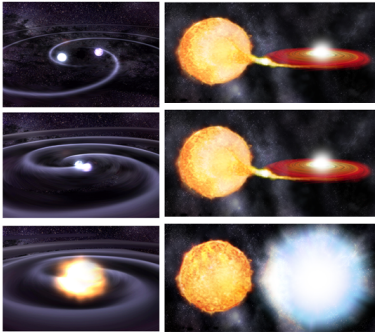
انتقال آهسته مواد

- از طرفی، اگر جریان انتقال جرم کند باشد، مواد می توانند به صورت آهسته در همجوشی شرکت کنند. در نتیجه انفجار ستاره رخ نخواهد داد. هرچند، حتی در این حالت هم جرم کوتوله سفید افزایش خواهد یافت. اگر جرم کوتوله سفید به حد $1/4$ برابر جرم خورشید برسد، گرانش ستاره باعث متراکم شدن آن و در نتیجه بالا رفتن دمای جرم می شود. دمای ستاره حالا به حدی رسیده است که برای همجوشی کربن مناسب است.



ابرنواختر

در یک ستاره معمولی، وقتی همجوشی کربن آغاز می شود، گرمای ناشی از آن صرف انبساط ستاره می شود. ولی کوتوله سفید نمی تواند منبسط شود زیرا فشار تبهگنی الکترون بر کوتوله حاکم است. در نتیجه، انرژی اضافی صرف همجوشی مقدار بیشتری کربن شده و همه کربن موجود در ستاره به صورت همزمان دچار همجوشی خواهد شد. بنابراین، جسمی به جرم تقریبی خورشید در یک لحظه همه کربن خود را خواهد سوزاند. یعنی تمام انرژی که خورشید در همه عمر خود تولید می کند در این ستاره در طی چند روز مصرف خواهد شد! چنین انفجاری را می توان تقریباً از سرتاسر کیهان مشاهده کرد. این پدیده هم یک ابرنواختر است؛ هرچند فرایند تولید این ابرنواختر کاملاً متفاوت از ابرنواختر ناشی از ستارگان پرجرم می باشد. هرچند، انرژی این دو ابرنواختر تقریباً یکسان است. در بخش چهارم خواهیم آموخت که چطور می توان از این ابرنواخترها برای تعیین فاصله در کیهان استفاده کرد.



نکات مهم این درس

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

- ۱ تفاوت بین ستارگان دوگانه و دوتایی را توضیح دهید.
- ۲ درصد ستارگان دوتایی و چندتایی آسمان چقدر است؟
- ۳ پژوهش: چند سیستم دوتاره ای، سه ستاره ای، چهارستاره ای، پنج ستاره ای و شش ستاره ای را بیابید.
- ۴ نحوه تشکیل یک سیستم دوتایی از سحابی را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۵ منظور از دوتایی بصری چیست؟
- ۶ چرا مطالعه دوتایی های بصری مهم است؟ چگونه می توان جرم این سیستم ها را تعیین کرد؟
- ۷ منظور از دوتایی طیف نمودی چیست؟
- ۸ پژوهش: درباره پایداری و آشوب در منظومه شمسی تحقیق کنید.
- ۹ منظور از دوتایی گرفتی چیست؟
- ۱۰ تغییر در منحنی درخشندگی دوتایی گرفتی چگونه است؟
- ۱۱ منظور از دوتایی های تماسی چیست؟
- ۱۲ پارادوکس گلول را توضیح دهید. چطور می توان این پارادوکس را برطرف کرد؟
- ۱۳ مراحل مختلف انتقال جرم در دوتایی ها را توضیح دهید (با فرض اینکه یکی از ستارگان بسیار پرچرم تر از دیگری است).
- ۱۴ نواختر و نواختر بازآیند چگونه پدید می آیند؟
- ۱۵ چطور ابرنواختر می تواند در یک سیستم دوتایی رخ دهد؟

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

مباحث بعدی: کهکشان ها و کیهان



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

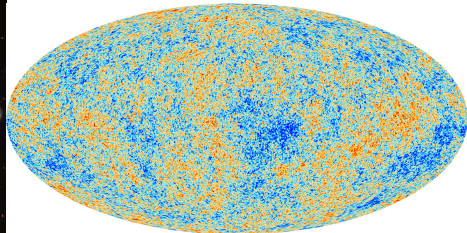
بخش نخست: مقدمات نجوم

بخش دوم: منظومه شمسی

بخش سوم: ستاره ها

بخش چهارم: کهکشان ها و کیهان

در ۱۳ جلسه بعد به بررسی کهکشان ها و کیهان خواهیم پرداخت.



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، 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.