

نخستین درس در ستاره شناسی - بخش سوم

درس نهم: ستاره های نوترونی

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

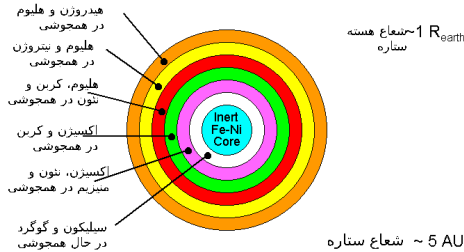
- این مجموعه درس برای آشنایی مقدماتی دانش آموزان و علاقمندان فارسی زبان با مباحث نجوم، اختر فیزیک و کیهان شناسی طراحی شده است. هدف اصلی این مجموعه درس، افزایش دانش علاقمندان به ستاره شناسی است؛ هرچند، به برخی مهارت های مربوطه نیز پرداخته خواهد شد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی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

درس نهم: ستاره های نوترونی

- ساخته شده از نوترون
- انواع ستاره های نوترونی و شواهد آنها



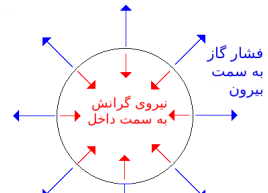
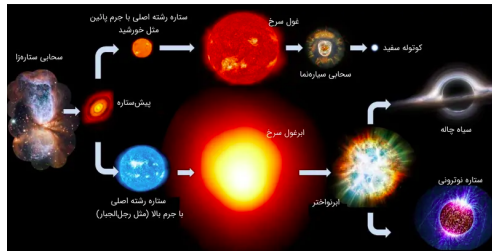
آنچه گذشت: ستارگان پرجرم



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

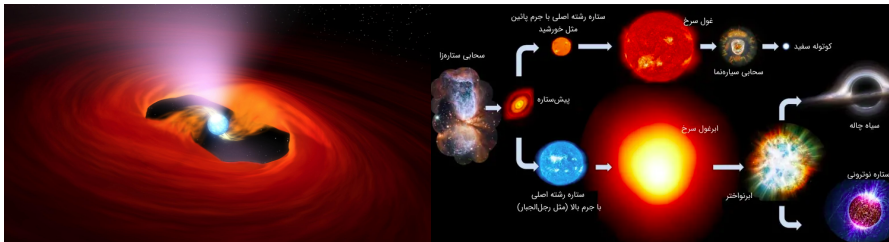
۱. روش تولید انرژی در ستارگان پرجرم
۲. ستاره آبی رنگ در رشته اصلی
۳. تعادل ستارگان پرجرم و طول عمر آنها
۴. همجوشی هیدروژن، هلیوم و ... تا آهن
۵. ابرغول قرمز و تغییر رنگ ابرغول ها
۶. ابرنواختر، موج ضربه و موج نوترینو

در این جلسه و جلسه بعد درباره باقی مانده این ستارگان بحث می کنیم.



چی هست این ستاره نوترونی؟!

- وقتی ستاره ای با جرم هشت تا بیست برابر جرم خورشید به پایان عمر خود می رسد، ما شاهد یک انفجار بزرگ خواهیم بود. نتیجه چنین انفجاری یک ابرنواختر است که مقادیر عظیمی پلازما (ذرات باردار از لحاظ الکتریکی) را با سرعتی در حدود سرعت نور به بیرون پرتاب می کند. همچنین، انرژی ناشی از این انفجار به صورت نور و نوترینو تابش می شود.
- در مرکز این پدیده نیز شاهد تولید یک ستاره نوترونی خواهیم بود که تقریباً همه آن از نوترون تشکیل شده است.
- ویژگی های این ستاره نوترونی چنان عجیب است که تا مدت ها برخی منجمین، با مشاهده امواج ناشی از این اجرام، تصور می کردند بیگانه های فضایی عامل فرستادن این امواج هستند!
امروز این پدیده بسیار شگفت را بررسی خواهیم کرد.



رمبش ستاره سنگین

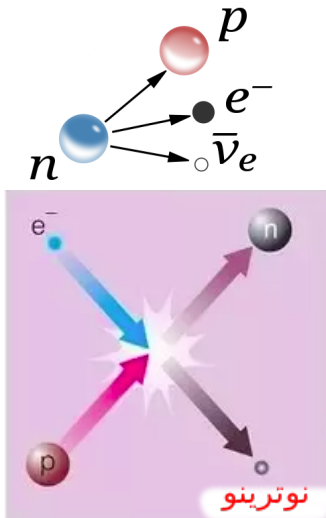


در مراحل آخر تحول یک ستاره سنگین، همجوشی سیلیکون باعث تولید آهن می شود. تولید آهن باعث ناپایداری قلب ستاره شده (درس قبل را ببینید) و ستاره در کسری از ثانیه رمبش می کند.

در رمبش یک ستاره سنگین اتفاقات بسیاری رخ می دهد. در ستارگان کم جرم، هسته ستاره با استفاده از "فشار تبهگنی الکترون ها" در مقابل رمبش مقاومت می کند: الکترون ها دوست ندارند در کنار هم قرار بگیرند! ولی اثبات شده است که اگر قلب ستاره جرمی در حدود $1/4$ برابر جرم خورشید داشته باشد، حتی فشار تبهگنی الکترون نمی تواند جلوی رمبش قلب ستاره را بگیرد. یعنی نیروی گرانش به نیروی ناشی از فشار تبهگنی الکترون غلبه می کند و رمبش هسته ستاره ادامه می یابد. این مقدار جرم را حد چاندرا سکار می نامند.

در این شرایط بسیار پرفشار، ماده موجود در هسته تغییر ماهیت می دهد! چطور این اتفاق رخ می دهد؟

رمبش ستاره سنگین و تبدیل همه ماده به نوترون



احتمالا با واپاشی نوترون آشنا هستید. در این واپاشی، نوترون به صورت خود به خودی به الکترون، پروتون و یک پادنوترینو تبدیل می شود. شکل بالا را ببینید.

نوع دیگری از برهمکنش این ذرات هم ممکن است. در این فرایند، در چگالی بسیار زیاد ستاره الکترون ها و پروتون ها با هم برخورد کرده و نوترون و نوترینو تولید می کنند. این اتفاق برای تقریبا همه ذرات درون قلب ستاره رخ می دهد.

دلیل موج نوترینویی که در جلسه قبل به آن اشاره شد نیز هم فرایند است.

وقتی بر اثر رمبش قلب ستاره، ابعاد به حدود بیست کیلومتر می رسد، عملا یک توپ نوترونی داریم (به علاوه تعداد بسیار ناچیزی الکترون، پروتون و ذرات دیگر). البته پوسه ستاره نوترونی را یک لایه بسیار نازک (ولی بسیار فشرده) از ماده معمولی تشکیل می دهد.

حالا ”فشار تبهگنی نوترون” مهم می شود.

فشار تبهگنی نوترون



بنا به قوانین مکانیک کوانتومی نوترون ها نیز، مانند الکترون ها، در مقابل اینکه در کنار هم قرار بگیرند مقاومت می کنند. در نتیجه حضور تعداد بسیار زیادی نوترون در ستاره نوترونی، یک ”فشار تبهگنی نوترون“ به وجود می آید. فشار تبهگنی نوترون بسیار بزرگ تر از فشار تبهگنی الکترون است.

اگر جرم هسته ستاره کمتر از $\frac{2}{8}$ برابر جرم خورشید باشد، رمبش هسته متوقف می شود زیرا نیروی ناشی از فشار تبهگنی موفق می شود بر نیروی گرانش غلبه کند. مقدار این عدد در برخی منابع متفاوت است (بسته به سرعت دوران ستاره و ...).

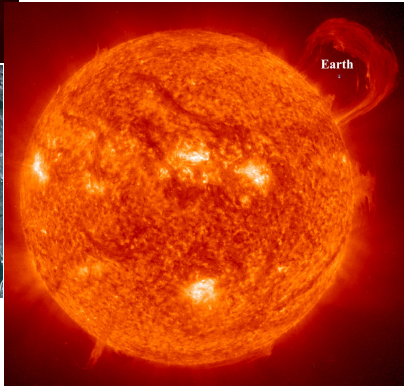
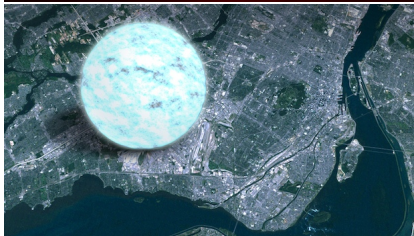
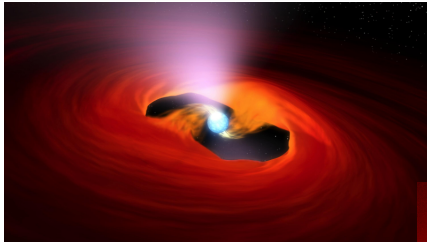
توقف رمبش هسته باعث تولید یک موج ضربه بسیار بزرگ می شود. همراه با این موج ضربه، انرژی بسیار زیادی به صورت نور و نوترینو تابش شده و مواد زیادی به بیرون پرتاب می شوند. این همان ابرنواختر است. در مرکز این ابرنواختر یک ستاره نوترونی تشکیل شده است.

فیلم شماره ۱ را ببینید.

ستاره نوترونی ویژگی های بسیار عجیبی دارد. در ادامه این ویژگی ها را مرور می کنیم.

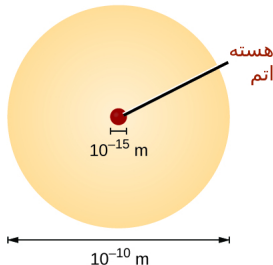
ویژگی های ستاره نوترونی

جرم ستاره های نوترونی از خورشید بیشتر است در حالی که ابعاد آن به اندازه یک شهر نسبتاً متوسط (در حدود بیست کیلومتر) است. دقت کنید که جرم خورشید سیصد هزار برابر جرم زمین است.



تراکم ماده در ستارگان نوترونی

- چطور چنین تراکم ماده ای در ستارگان نوترونی ممکن است؟
- پاسخ: ماده معمولی از اتم ها تشکیل شده است. اتم ها نیز شامل هسته (پروتون ها و نوترون ها) و الکترون ها می باشند. اگر ابعاد اتم به اندازه یک استادیوم (صد متر) باشد، ابعاد هسته اتم تقریبا چند میلیمتر متر است. پس بیشتر حجم اتم های تشکیل دهنده بدن ما و همه عناصر روی زمین را فضای خالی تشکیل داده است.
- ولی در ستاره نوترونی اینطور نیست. در اینگونه ستاره ها، همه نوترون ها در کنار هم قرار گرفته و تقریبا هیچ فضای خالی بین آنها وجود ندارد.
- دلیل اصلی ویژگی های عجیب ستاره نوترونی نیز این چگالی فوق العاده است.



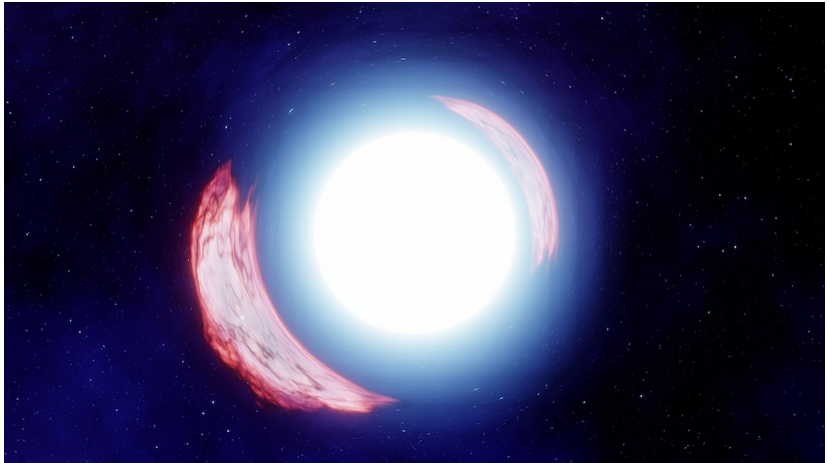
ویژگی های ستاره نوترونی

- برای درک چگالی بسیار بزرگ ستاره های نوترونی به این مثال دقت کنید: یک سانتی متر مکعب از ماده موجود در ستاره نوترونی به اندازه چهارصد میلیون تن جرم دارد؛ یعنی تقریباً به اندازه جرم تمام ماشین های موجود در ایالات متحده!
- این مقدار را با چگالی زمین (5.51 گرم بر سانتی متر مکعب) و چگالی کوتوله سفید (1000 کیلوگرم بر سانتی متر مکعب) مقایسه کنید.
- ماده معمولی، در مقایسه با ماده موجود در ستاره های نوترونی، چگالی فوق العاده کمتری دارد و بیشتر شبیه به فضای خالی است.



نیروی گرانش ستاره های نوترونی

- نیروی گرانش بر روی سطح ستاره نوترونی تقریباً صد میلیارد برابر نیروی گرانش در سطح زمین است. این نیرو به حدی بزرگ است که هر جسم معمولی را فوراً متلاشی کرده و به بر روی سطح خود پخش می کند (با ضخامت بسیار ناچیز در حد چند اتم!).



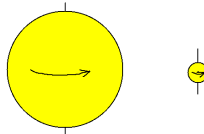
سرعت دوران ستاره های نوترونی



در درس اول از بخش دوم (نگاهی به منظومه شمسی) گفتیم که اگر ابعاد یک جسم در حال دوران را کوچک کنیم، سرعت دوران جسم زیاد خواهد شد. یک مثال از این پدیده می تواند فرد در حال دوران باشد، وقتی که او بازوان خود را جمع کرده و سرعتش ناگهان زیاد می شود. برای درک بهتر این اثر، آزمایش مقابل را انجام دهید.

در ستاره های نوترونی نیز همین اتفاق رخ می دهد. هسته ستاره رمبش کرده و شعاع آن از صدها کیلومتر به چند کیلومتر می رسد. در نتیجه سرعت دورانش به شدت افزایش پیدا می کند.

ممکن است هسته ستاره، پیش از رخداد ابرنواختری، به آهستگی دوران کند. مثلاً ممکن است یک دوران کامل آن چند هفته طول بکشد. ولی وقتی ابرنواخت رخ می دهد و ستاره نوترونی متولد می شود، این سرعت به شدت افزایش پیدا می کند. در واقع یک ستاره نوترونی تازه متولد شده می تواند تا چندین بار در ثانیه به دور خود بچرخد.



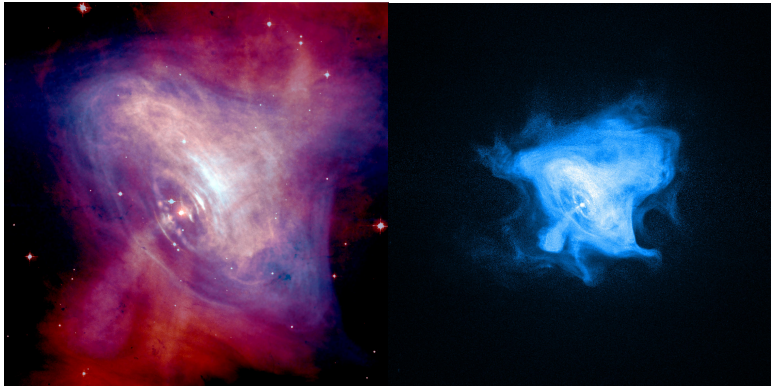
میدان مغناطیسی در ستاره های نوترونی

- میدان مغناطیسی ستاره نوترونی، در مقایسه با ستاره پیش از خود، افزایش می یابد.
- میانگین میدان مغناطیسی خورشید از لحاظ اندازه تقریباً در ابعاد میدان مغناطیسی زمین است. ستارگان معمولی آسمان نیز میدان مغناطیسی شدیدی ندارند. ولی وقتی این ستارگان رمبش می کنند، میدان مغناطیسی آنها به شدت افزایش می یابد.
- اندازه میدان مغناطیسی معمول یک ستاره نوترونی می تواند تا چندین تریلیون (10^{12}) برابر میدان مغناطیسی خورشید باشد. این میدان به حدی قوی است که می تواند اطلاعات کارت های بانکی را از فاصله صدها هزار کیلومتری پاک کند.



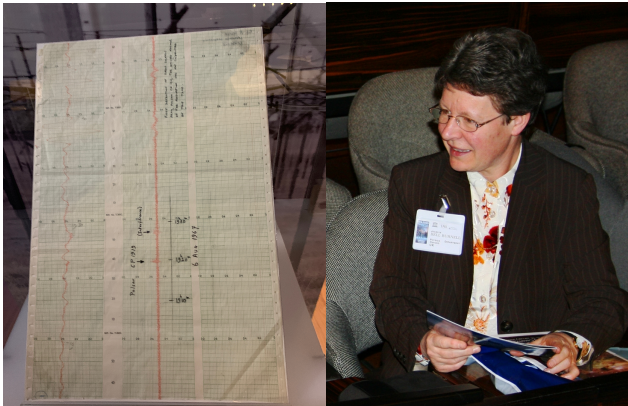
شواهد رصدی برای ستارگان نوترونی

- این ویژگی ها به نظر غیرقابل تصور و اغراق آمیز می آیند؛ ولی آیا واقعی هستند؟ آیا شواهد رصدی برای وجود چنین اجرامی پیدا شده است؟
- پاسخ: بله و بله! اولین ستاره نوترونی در سال ۱۹۶۵ پیدا شد؛ ولی در ابتدا ماهیت آن تشخیص داده نشد. چند سال بعد، جرم دیگری رصد شد و اینبار به درستی به عنوان یک ستاره نوترونی معرفی شد. ولی مشکلاتی در درک فیزیک و اثرات ستاره های نوترونی وجود داشت.



تپ اخترها

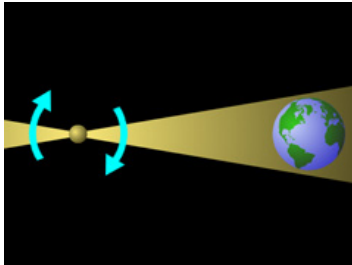
- در سال ۱۹۶۷ جاسلین بل (*Jocelyn Bell*) که در آن زمان دانشجوی تحصیلات تکمیلی بود، در حال ساخت یک تلسکوپ رادیویی بود. گروه او متوجه شده بودند که سیگنال مشخصی به صورت مداوم در داده های آنها وجود دارد. آنها در ابتدا فکر می کردند این یک نویز (موج ناخواسته) است. پس از بررسی های دقیق بل متوجه شد که سیگنال دریافت شده نویز نیست، بلکه ناشی از یک جرم نجومی است. او اولین تپ اختر (*pulsar*) را کشف کرده بود.



دکتر حسین شناور

تپ اخترها

- تپ اخترها یک نوع ستاره نوترونی هستند که با سرعت بسیار زیادی دوران می کنند. این اجرام پالس های مداومی از انرژی تابشی به همراه خطوط میدان مغناطیسی قوی (و در برخی اوقات پرتو ایکس) از خود منتشر می کنند.
- سرعت بسیار زیاد چرخش تپ اخترها، وقتی که با میدان مغناطیسی شدیدشان برهمکنش می کند، باعث می شود که پرتو نور فوق العاده از این ستاره تابش شود (مانند فانوس دریایی). این پرتو نور، در اثر دوران ستاره، در زمان های مشخصی به زمین می رسد و ما آن را مانند یک پالس (سیگنال) نوری می بینیم. **فیلم های ۲ و ۳ را ببینید.**
- این سیگنال ها را می توان در نور مرئی، موج رادیویی و حتی پرتو ایکس مشاهده کرد.

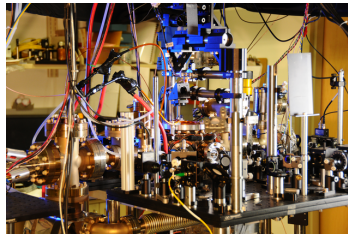


تپ اخترها به عنوان ساعت های بسیار دقیق کیهانی

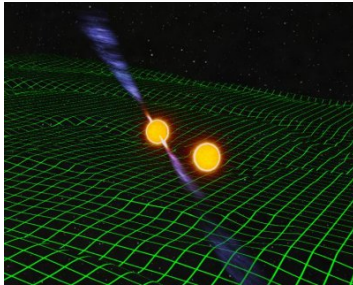


سیگنال فرستاده شده توسط تپ اخترها با دوره زمانی بسیار دقیقی دریافت می شود. در سال ۱۹۸۳ چند تپ اختر رصد شدند که دقت تابش آنها از دقت بهترین ساعت های اتمی در آن زمان بیشتر بود. هرچند، در حال حاضر دقت ساعت های اتمی از دقت زمانی تپ اخترها بیشتر است.

در سال ۱۹۶۷ کسی تصور نمی کرد یک منبع تابش طبیعی بتواند چنین دقیق عمل کند. در واقع برخی افراد گمان می کردند که این ها سیگنال های ناشی از تمدن های فرازمینی اند! بنابراین تپ اختر کشف شده در سال ۱۹۶۷ را برخی LGM ۱ (Little Green Men) می نامیدند.

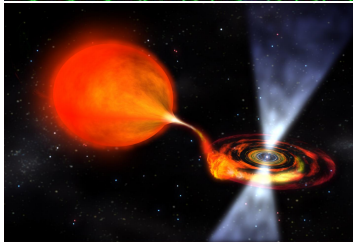


تپ اخترها



در حال حاضر بیش از هزار تپ اختر در کهکشان راه شیری کشف شده اند. همچنین، حالا مطمئن هستیم که اینها باقیمانده انفجار ستارگان سنگین هستند. زمان دوران برخی از این تپ اخترها چندین ثانیه و یا دقیقه است.

برخی تپ اخترها در سیستم های دوتایی هستند و ممکن است یک ستاره معمولی به دور آنها بچرخد. اگر این دو جرم به اندازه کافی به هم نزدیک شوند، ستاره نوترونی از ستاره معمولی تغذیه می کند.

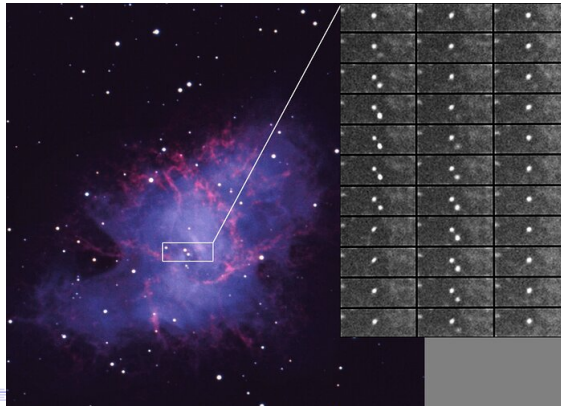


برهمکنش و تغذیه یک ستاره نوترونی در یک سیستم دوتایی می تواند سرعت دوران تپ اختر را به شدت افزایش دهد. در واقع تپ اخترهایی مشاهده شده اند که صدها بار در ثانیه به دور خود دوران می کنند. این اجرام را تپ اخترهای میلی ثانیه می نامند. **فیلم ۴ را ببینید.**

اگر سرعت دوران تپ اختر باز هم افزایش یابد، نیروی گریز از مرکز می تواند سیستم را نابود کند (با وجود گرانش بسیار شدید موجود).

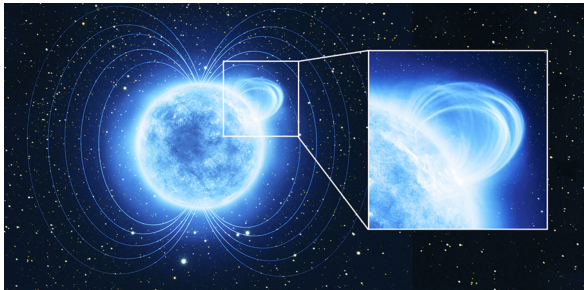
تپ اخترها

- قدرت تولید انرژی تپ اختر حتی پس از هزاران سال هم زیاد خواهد بود. مثلاً، تپ اختری در مرکز سحابی خرچنگ وجود دارد که باقیمانده ابرنواختر ۱۰۵۴ میلادی است. ثابت شده است که حجم زیادی از نوری که از این سحابی به ما می رسد، در اثر انرژی این تپ اختر تولید شده است. حتی پس از نزدیک به هزار سال، انرژی این تپ اختر گازهای مود در سحابی را برانگیخته کرده و آنها را وادار به تابش می کند. **فیلم ۵ را ببینید.**

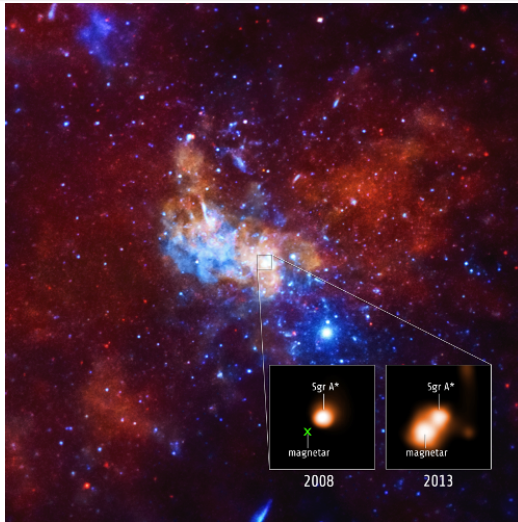


مگنتارها

- مگنتارها (به انگلیسی: *Magnetar*) نوعی ستاره نوترونی با میدان مغناطیسی بسیار نیرومند هستند. پوسته ستاره نوترونی بسیار نازک (احتمالاً به ضخامت چند سانتی متر) بوده و از ماده متراکم معمولی تشکیل شده است. میدان مغناطیسی ستاره نوترونی از این پوسته عبور کرده و تا فواصل بسیار دور پخش می شود.
- در برخی ستاره های نوترونی میدان مغناطیسی بسیار قوی تر از سایر ستاره های نوترونی است. میدان مغناطیسی در این اجرام یک کوآدریلون برابر (10^{15} برابر) میدان مغناطیسی خورشید است. این گونه ستاره های نوترونی را مگنتار می نامند. احتمالاً حدود ده درصد ستاره های نوترونی به عنوان مگنتار متولد می شوند.



مگنتارها

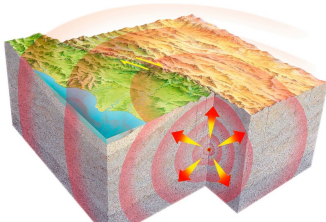


عمر مگنتارها کم است. در واقع میدان مغناطیسی در اینگونه ستاره ها مانند یک ترمز عمل کرده و سرعت دوران آنها را کاهش می دهد. از طرفی، سرعت دوران بالا عامل میدان مغناطیسی شدید است؛ بنابراین با کاهش سرعت دوران، اندازه میدان مغناطیسی نیز کاهش می یابد. پس از این بازه زمانی، مگنتار تبدیل به یک ستاره نوترونی عادی می شود.

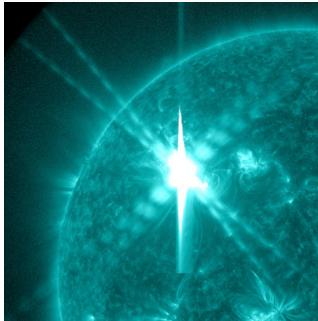
مگنتارها دارای قوی ترین میدان مغناطیسی در کل کیهان هستند. در شکل مقابل، مگنتار موجود در نزدیکی ابرسیاهچاله مرکزی کهکشان راه شیری ($Sgr A^*$) را مشاهده می کنید.

ستاره لرزه!

- هرگونه تغییر در پوسته ستاره نوترونی می تواند بر روی میدان مغناطیسی آن تاثیر بگذارد و برعکس. از طرفی، به دلیل گرانش و سرعت دوران بسیار شدید، تنش در پوسته ستاره زیاد است. اگر تنش در پوسته باعث جابجایی کوچکی در آن شود، ”ستاره لرزه“ رخ می دهد. فیزیک این پدیده تا حدودی شبیه به زمین لرزه است، ولی ستاره لرزه بارها و بارها قوی تر است.
- یادآوری: در یک زمین لرزه، مقادیر زیادی انرژی در اثر جابجایی پوسته زمین آزاد می شود. این انرژی صرف تخریب خانه ها و فعالیت های کوه زایی می شود.
- ستاره لرزه در یک ستاره نوترونی، می تواند باعث جابه جایی چند سانتی متری پوسته شود. هرچند، انرژی رها شده در این فرایند فراتر از تصور است. در نتیجه این جابجایی، انفجار بسیار شدیدی در پوسته رخ می دهد و تغییر بسیار سریعی نیز در میدان مغناطیسی رخ می دهد.

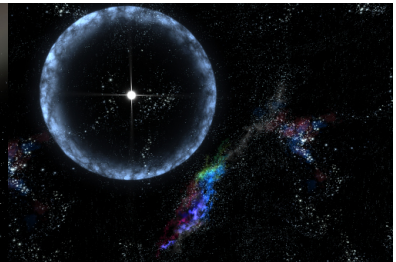
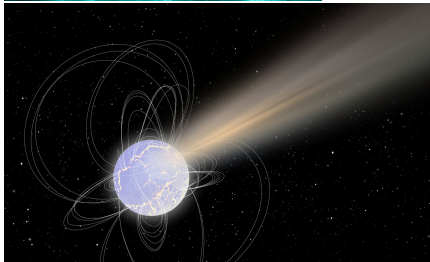


مگنتارها

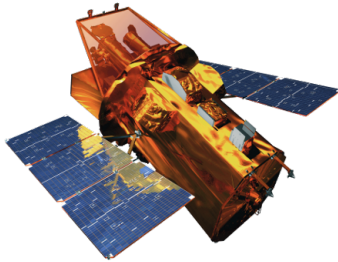
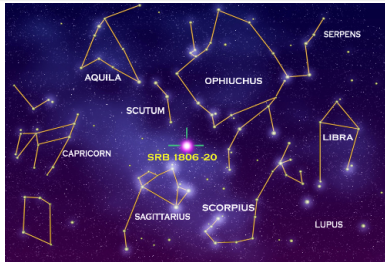


یادآوری: وقتی تغییر سریعی در میدان مغناطیسی خورشید رخ می دهد، نتیجه آن یک شراره خورشیدی است. انرژی موجود در این شراره خورشیدی می تواند به اندازه یک میلیارد بمب اتمی باشد. درس "ستاره ما: خورشید" را ببینید.

شراره مگنتارها می تواند یک تریلیون برابر قوی تر از شراره خورشیدی باشد. در واقع، انرژی رها شده توسط یک مگنتار در کسری از ثانیه می تواند از انرژی تولیدی توسط خورشید در ۲۵۰ هزار سال بیشتر باشد.



مگنتارها



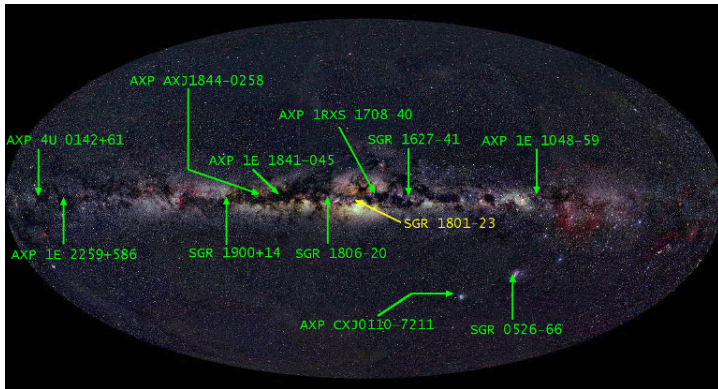
در ۲۷ دسامبر ۲۰۰۴، منجمین متوجه شدند که ماهواره های موجود در مدار زمین یک سیگنال عظیم پرتو ایکس را دریافت کرده اند. یکی از این ماهواره ها به نام *Swift* برای آشکارسازی پرتوهای شدید ایکس طراحی شده بود. با این وجود، سیگنال ورودی از حد اندازه گیری ماهواره فراتر بود. نکته جالب اینکه این ماهواره در آن لحظه به سمت منبع پرتو جهت گیری نشده بود.

فیلم ۶ را ببینید.

بررسی های بعدی نشان داد که منبع این پرتو یک مگنتار به نام $SGR\ 1806-20$ بوده که نزدیک به ۴۲ هزار سال نوری از ما فاصله دارد. پرتو ایکس این مگنتار میدان مغناطیسی زمین را تحت تاثیر قرار داد و باعث یونیزه شدن لایه های بالای جو زمین شد. چنین انفجاری اگر در فاصله ده سال نوری از زمین رخ می داد می توانست با نابودی لایه ازن، حیات بر روی کره زمین را برای همیشه نابود کند.

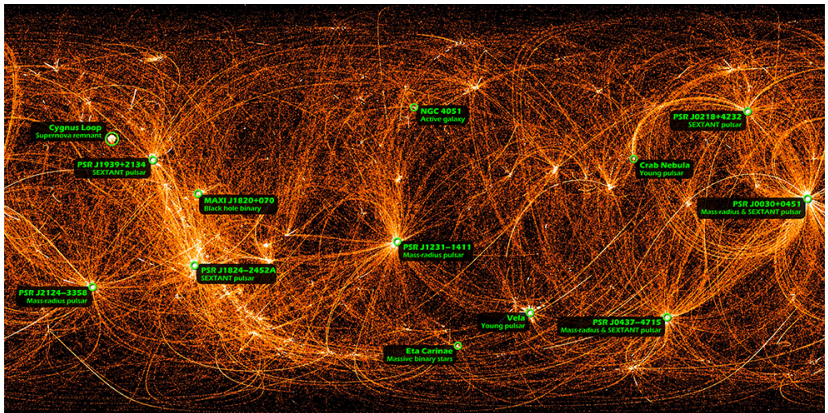
مگنتارهای کشف شده تاکنون

- نزدیکترین مگنتار به ما ۵۹ - ۱۰۴۸ AXP ۱E نام دارد که نه هزار سال نوری از ما فاصله دارد. در زیر نقشه مگنتارهای موجود در کهکشان راه شیری، که تاکنون کشف شده اند، را ملاحظه می کنید. خبر خوب اینکه تعداد این مگنتارها واقعا کم و فاصله آنها بسیار زیاد است. همچنین، احتمال رخدادهای عظیم (مانند سال ۲۰۰۴) نیز کم است.



ستاره های نوترونی: همچنان منبع شگفتی

- تاکنون نکات بسیاری درباره ستاره های نوترونی فراگرفته ایم؛ ولی داستان ستاره های نوترونی همچنان باز است. در واقع، با هر کشف جدید درباره ستاره نوترونی ما بیشتر شگفت زده می شویم. همچنان نکات زیادی درباره این ستاره ها باید بفهمیم.



نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات مهم مربوط به ستاره های نوترونی را بیان کنید. همچنین، انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ گوئید:

- ۱ جنس ستاره نوترونی از چه ذره ای است؟
- ۲ ستاره نوترونی چطور به وجود می آید؟
- ۳ چطور نوترینو در ستاره نوترونی تولید می شود؟
- ۴ حداقل و حداکثر جرم قلب ستاره سنگین چقدر باید باشد تا محصول نهایی انفجار آن یک ستاره نوترونی شود؟
- ۵ منظور از فشار تبهگنی نوترون چیست؟ اندازه ستاره نوترونی چقدر است؟
- ۶ چگالی ستاره نوترونی چقدر است؟
- ۷ چرا در فرایند رمبش، سرعت دوران ستاره نوترونی به شدت افزایش می یابد؟
- ۸ میدان مغناطیسی معمول در ستاره های نوترونی چقدر است؟
- ۹ پژوهش: درباره تپ اخترها تحقیق کنید.
- ۱۰ زمان دوران تپ اخترها معمولا چقدر است؟
- ۱۱ اگر یک تپ اختر از ستاره همدم خود تغذیه کند، سرعت دوران تپ اختر کاهش می یابد و یا افزایش؟
- ۱۲ مگنتار چیست و اندازه میدان مغناطیسی مگنتارها چقدر است؟
- ۱۳ چرا عمر مگنتارها کم است؟
- ۱۴ فرایند ستاره لرزه را توضیح دهید.
- ۱۵ پژوهش: درباره امکان تابش گاما از ستاره های نوترونی تحقیق کنید.

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

مبحث بعدی: سیاهچاله ها

ستاره های نوترونی، با همه شگفتی شان، عجیب ترین اجرام کیهان نیستند. رتبه نخست عجیب ترین ها سال هاست که به سیاهچاله ها اختصاص دارد! سیاهچاله ها نیز با انفجار ابرنواختری به وجود می آیند. در واقع، اگر جرم هسته ستاره بیش از $\frac{2}{8}$ برابر جرم خورشید باشد، گرانش به فشار تبهگنی نوترون ها غلبه می کند. بنا به قوانین فیزیک، در این مرحله دیگر هیچ نیرویی وجود ندارد که بتواند در مقابل گرانش مقاومت کند؛ در نتیجه قلب ستاره کاملاً رمبش می کند. در درس بعدی این اجرام عجیب را بررسی 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، جلد های ۱ و ۲، ترجمه اشرفی و صالحی، ویراسته خواجهوی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۰

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