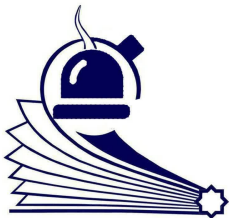


نخستین درس در ستاره شناسی - بخش چهارم

درس هشتم: ماده تاریک

دکتر حسین شناور



قطب کشوری نجوم پژوهش سراهای دانش آموزی



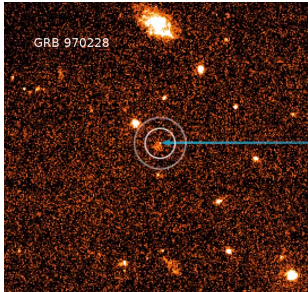
پژوهش سرای دانش آموزی امام جعفر صادق (ع) کهنان



مدیریت آموزش و پرورش شهرستان گلبهار

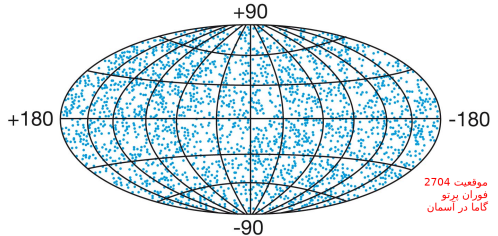
- این مجموعه درس برای آشنایی مقدماتی دانش آموزان و علاقمندان فارسی زبان با مباحث نجوم، اختر فیزیک و کیهان شناسی طراحی شده است. هدف اصلی این مجموعه درس، افزایش دانش علاقمندان به ستاره شناسی است؛ هرچند، به برخی مهارت های مربوطه نیز پرداخته خواهد شد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی 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 گلמکان، برای همفکری ها و حمایت هایشان از فعالیت های پژوهش سرای دانش آموزی گلمکان، کمال سپاسگزاری را دارم.
- برای ضبط این درس ها از نرم افزار *Zoom* استفاده شده است.

آنچه گذشت: فوران پرتو گاما



• در درس قبل درباره این موضوعات بحث کردیم:

- ۱ دو نوع فوران پرتو گاما
- ۲ فوران پرتو گاما: صدای تولد سیاهچاله
- ۳ تلسکوپ های پرتو گاما
- ۴ فرانواختر
- ۵ برخورد دو ستاره نوترونی
- ۶ موج گرانشی
- ۷ خطرات فوران پرتو گاما

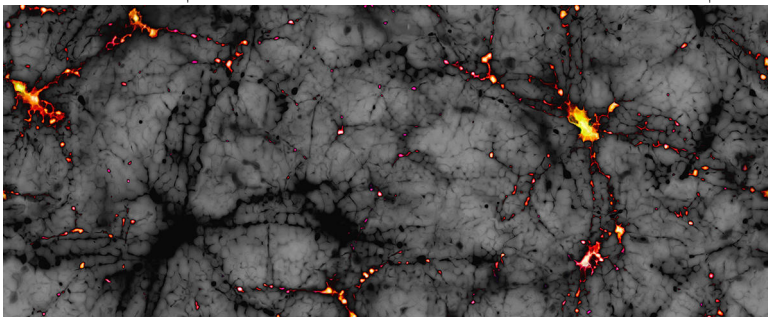


موقعیت 2704
فوران پرتو
گاما در آسمان

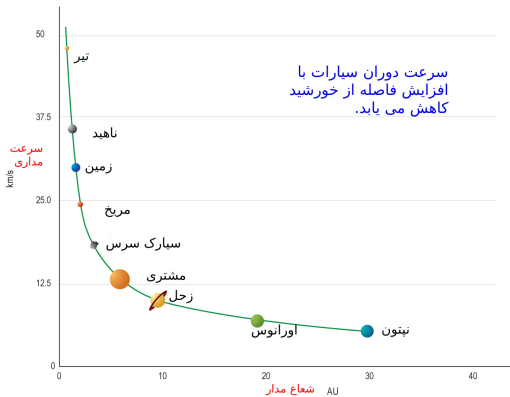
دنیای از چه چیزی ساخته شده است؟

ما حالا می دانیم که زمین جزء بسیار کوچکی از منظومه شمسی است در حالی که منظومه شمسی خود یکی از میلیاردها سیستم ستاره ای در کهکشان راه شیری است. کهکشان راه شیری نیز خود یکی از صدها میلیارد کهکشان موجود در این جهان است.

همه مواردی که در بالا به آنها اشاره شد از ماده معمولی (اتم ها و مولکول ها) ساخته شده اند. ولی حالا منجمین عقیده دارند که ماده معمولی فقط حدود ۱۵٪ از ماده موجود در عالم را تشکیل می دهد و بقیه ۸۵٪ ماده جهان از چیزی به نام ماده تاریک ساخته شده است. در این جلسه مساله جرم گمشده و یا مساله ماده تاریک در کیهان شناسی را بررسی خواهیم کرد.



مساله جرم گمشده



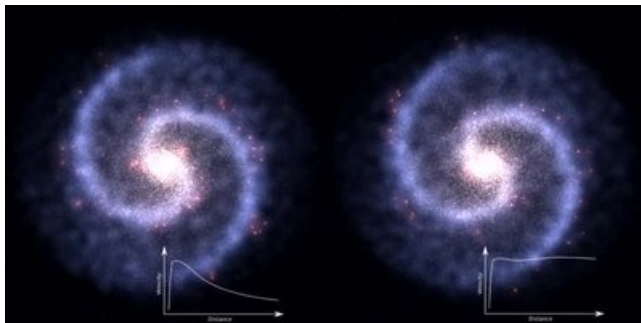
در سال های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ میلادی برخی منجمین مشغول به مطالعه دقیق سرعت دوران کهکشان ها بودند. آنها امید داشتند که از این طریق بتوانند کهکشان ها را بهتر بشناسند.

در واقع قبلا منجمین به همین روش منظومه شمسی را مطالعه و درک بودند. کپلر فهمید که هرچقدر از خورشید دورتر شویم، سرعت مداری سیارات کمتر می شود. نیوتن این ایده کپلر را به صورت قوانین فیزیکی بیان و اثبات کرد و نظریه حرکت نیوتن به این صورت به وجود آمد. همچنین، با استفاده از سرعت مداری سیارات می توان به راحتی جرم خورشید را به دست آورد.

منحنی چرخش

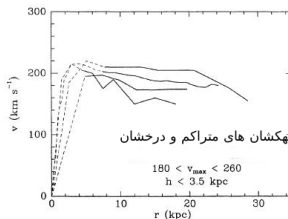
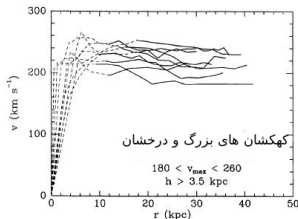
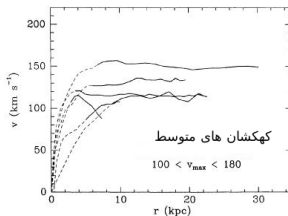
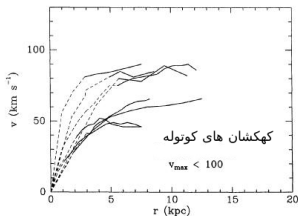
به همین صورت، منجمین امیدوار بودند که با مطالعه دوران کهکشان ها بتوانند جرم آنها را به درستی تخمین بزنند. ولی با مطالعه سرعت دوران کهکشان ها، منجمین متوجه شدند که سرعت دوران برخی کهکشان ها کاهش می یابد، برای اکثر کهکشان ها این سرعت ثابت است و حتی در برخی موارد سرعت دوران افزایش می یابد. این را می توان در نمودار سرعت دوران بر حسب فاصله از مرکز دید. چنین نموداری را منحنی چرخش می نامند.

فیلم های شماره ۱ و ۲ را ببینید.



منحنی چرخش

منحنی چرخش کهکشان های کوتوله، متوسط، بزرگ-درخشان و متراکم-درخشان را در زیر
میبینید. مساله جرم گمشده به خوبی روش علمی را توضیح می دهد.

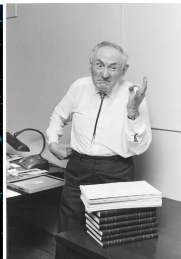
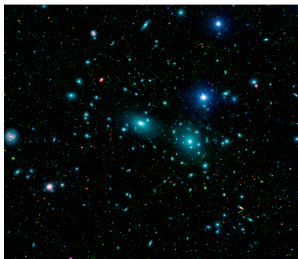


روش علمی

- این معما، که آن را مساله جرم گمشده و یا مساله ماده تاریک می نامند، از اوایل دهه ۱۹۳۰ در نجوم خود را نشان داده بود. مثلا، در سال ۱۹۳۳ فریتز زویکی نشان داد که سرعت کهکشان ها در خوشه کما به حدی زیاد است که این خوشه باید در اندک زمان کیهانی محو شود (خوشه از هم بپاشد). با توجه به اینکه ما حرکت اجرام را با استفاده از قانون دوم نیوتن

$$\text{شتاب} \times \text{جرم} = \text{نیرو}$$

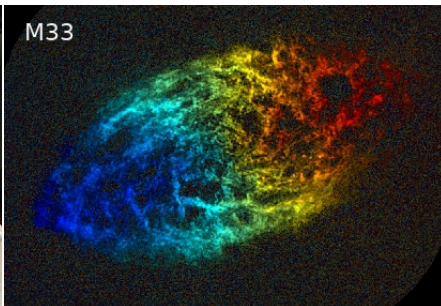
- بررسی می کنیم، زویکی دو راه برای حل مساله ارائه کرد:
- مقداری جرم ناشناخته (حداقل صد برابر جرم مرئی) در خوشه کما موجود است.
- قانون دوم نیوتن نیاز به بازبینی دارد.



روش علمی

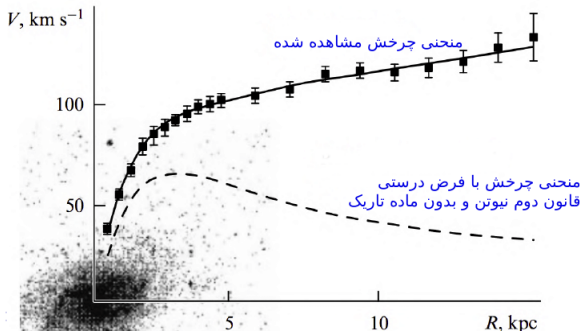


البته خطای داده های زویکی زیاد بود و بنابراین اکثر
منجمین به این نتیجه گیری اعتقاد نداشتند.
با پیشرفت تلسکوپ ها و افزایش روزافزون دقت
آنها، وِرا روِبِن (*Vera Rubin*) و آلبرت بازما (*Albert Bosma*)
توانستند سرعت حرکت گاز در
لبه کهکشان ها را اندازه گیری کنند. برای اندازه گیری
سرعت حرکت گاز، منجمین از جابه جایی داپلر در طیف
این گاز استفاده می کنند.

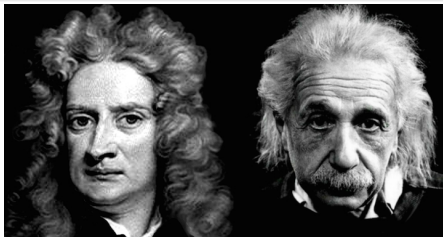


روش علمی

- پیشتر سرعت حرکت ستارگان هم به خوبی اندازه گیری شده بود و منجمین انتظار داشتند که با افزایش فاصله از مرکز کهکشان، سرعت حرکت ذرات (ستارگان و گاز) کاهش یابد (مانند منظومه شمسی). ولی با بررسی نتایج رصدی معلوم شد که سرعت حرکت ذرات (ستارگان و گاز) معمولاً ثابت است و حتی در برخی موارد افزایش می یابد.
- تصاویر کهکشان ها نشان می دهد که جرم کهکشان در نواحی خارجی کمتر است. با مقایسه نتایج این مشاهدات با جرم مرئی کهکشان ها معلوم شد که (در اکثر موارد) این جرم برای ایجاد منحنی چرخش کافی نیست؛ بنابراین، معلوم شد که مساله جرم گمشده یک مشکل جدی است.



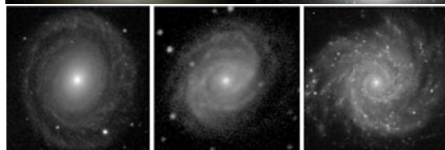
روش علمی



یک توضیح برای چنین مساله ای می تواند تغییر قانون دوم نیوتن تغییر کند. البته این تغییر به احتمال زیاد به معنی تغییر در نظریه نسبیت اینشتین هم هست؛ چون در ابعاد کهکشانی پیش بینی نظریه های نیوتن و اینشتین یکسان است. ولی باید توجه کنیم که نظریه اینشتین در اندازه منظومه شمسی و ابعاد کیهانی با دقت بسیار خوبی آزموده و تایید شده است. بنابراین، احتمالا در اندازه های میانی (کهکشان و خوشه های کهکشانی) نیز درست است.

در نتیجه اکثر منجمین بر این باور بودند که باید جرم بیشتری (پنج تا شش برابر جرم مرئی) در کهکشان ها وجود داشته باشد. از اینجا ایده "کهکشان محصور در هاله ماده تاریک" متولد شد. البته شواهد دیگری نیز برای وجود ماده تاریک ارائه شده اند.

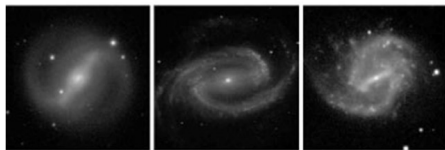
پایداری قرص های کهکشانی



Sa

Sb

Sc



SBa

SBb

SBc

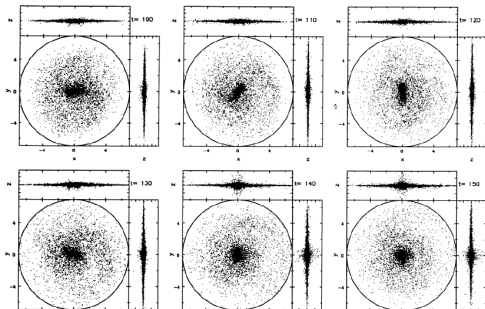
ذرات در دیسک های کهکشانی به صورتی حرکت می کنند که بیشتر حرکت منظم و به دور مرکز است؛ قسمت بسیار کوچکی از حرکت نیز حالت تصادفی دارد. می گوئیم دیسک های کهکشانی سرد هستند چون حرکت تصادفی ذرات در آنها کم است.

همچنین، درصد بزرگی از کهکشان های قرصی اصلا میله ندارند.

پایداری قرص های کهکشانی

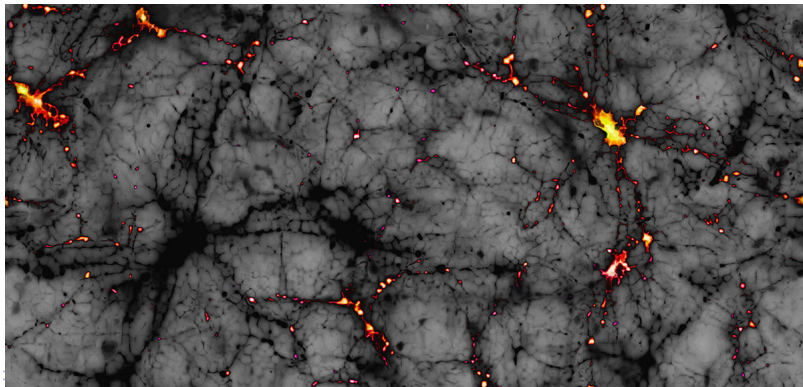
• اوسترایکر و پپلز در سال ۱۹۷۳ قرص های کهکشانی را شبیه سازی کرده و متوجه شدند که این قرص ها سریعاً داغ می شوند (یعنی حرکت تصادفی ذرات در آنها زیاد می شود). همچنین، همه دیسک های شبیه سازی شده تشکیل می دهند! به علاوه در این شبیه سازی ها نشان داده شد که با قرار دادن قرص کهکشان در یک هاله ماده تاریک می توان از داغ شدن قرص و تشکیل میله جلوگیری کرد. **فیلم های شماره ۳ و ۴ را ببینید.**

• البته باز هم تا مدتها منجمین به دقت شبیه سازی ها بی اعتماد بودند؛ ولی در حال حاضر شبیه سازی های کهکشانی بسیار دقیقتر شده اند و ما می دانیم که مشکل ناپایداری قرص ها واقعی است.



شواهد دیگر

تاکنون شواهدی از مساله جرم گمشده در کهکشان های دیگر (مانند کهکشان های بیضوی) و در بسیاری سیستم ها و ابعاد بزرگتر (خوشه های کهکشانی و کیهان) یافت شده است. مثلا اندازه و سرعت چرخش میله در کهکشان ها با ماده تاریک کاملا متفاوت از وقتی است که ماده تاریک نداریم. و یا در ابعاد کیهانی، سرعت تشکیل ساختارها کاملا به وجود ماده تاریک بستگی دارد. در نتیجه منجمین به دنبال جرمی بودند که بتواند همه این پدیده ها را توضیح دهد.



نامزدهای ماده تاریک

- منجمین تا مدت ها به دنبال این ماده تاریک بودند و با تکنیک های رصدی جدید مقداری از آن را هم یافتند (مانند گاز و غبار)؛ ولی مقدار این مواد برای توضیح جرم گمشده کافی نبود. در حال حاضر اصلی ترین نامزدهای توضیح مساله جرم گمشده به صورت زیر هستند:
- ۱) اجرام بزرگ مقیاس (مانند کوتوله های قهوه ای و سیاهچاله ها)

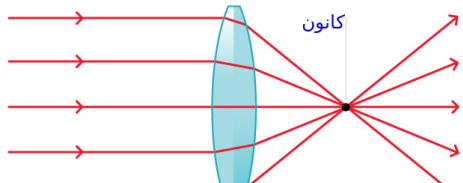
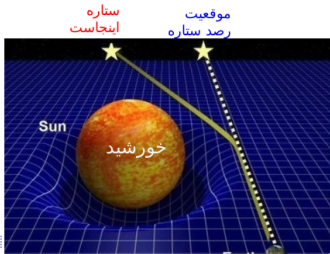


- ۲) نوترینوها
- ۳) ذرات بنیادی با برهمکنش ضعیف
- ۴) ذرات بوزونی سبک (مانند اکسیون ها)
- ۵) تعمیم نظریه گرانش

- جستجو برای پیدا کردن شواهدی از این موارد در بسیاری از قسمت های اخترفیزیک و فیزیک ذرات بنیادی ادامه دارد؛ هرچند، مورد آخر (تعمیم نظریه گرانش) داستان متفاوتی دارد. به نظر اکثر منجمین، تعمیم نظریه گرانش نمی تواند مساله جرم گمشده را توضیح دهد. این موضوع را در ادامه توضیح می دهیم.

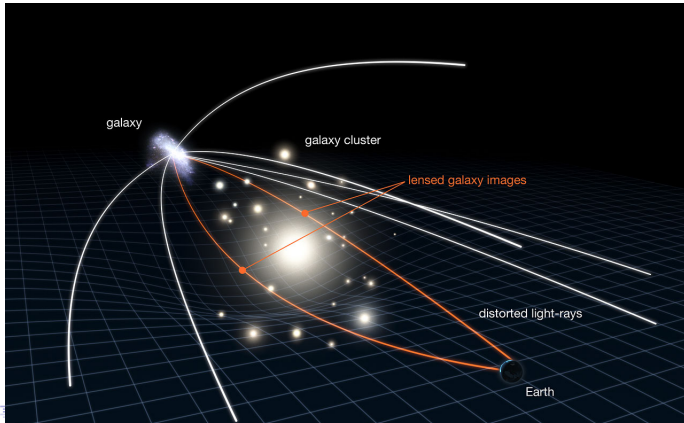
عدسی گرانشی

- یکی از ویژگی های نظریه نسبیت عام اینشتین این است که فضا را به عنوان یک ساختار در نظر می گیرد که ماده و انرژی را در بر دارد. البته تار و پود فضا نشانه های واضحی نیز در دنیای واقعی ما دارد. مثلاً، نیروی گرانش در نظریه اینشتین ناشی از خم شدن (انحنای) فضا است؛ مانند وقتی که جسم سنگینی را بر روی تشک قرار داده و تشک فرو می رود.
- در این حالت اگر گلوله ای را بر روی تشک بیاندازید، گلوله در امتداد انحنای تشک حرکت می کند. برای یک پرتو نور هم اتفاق مشابهی رخ می دهد: انحنای فضا باعث تغییر در مسیر پرتو نور می شود. این پدیده را عدسی گرانشی می نامند (زیرا عدسی هم پرتو نور را منحرف و یا متمرکز می کند).
- هرچقدر جرم جسم بیشتر باشد، گرانش آن بیشتر خواهد بود. در نتیجه انحنای فضا بیشتر شده و انحراف در پرتو نور هم بیشتر می شود.

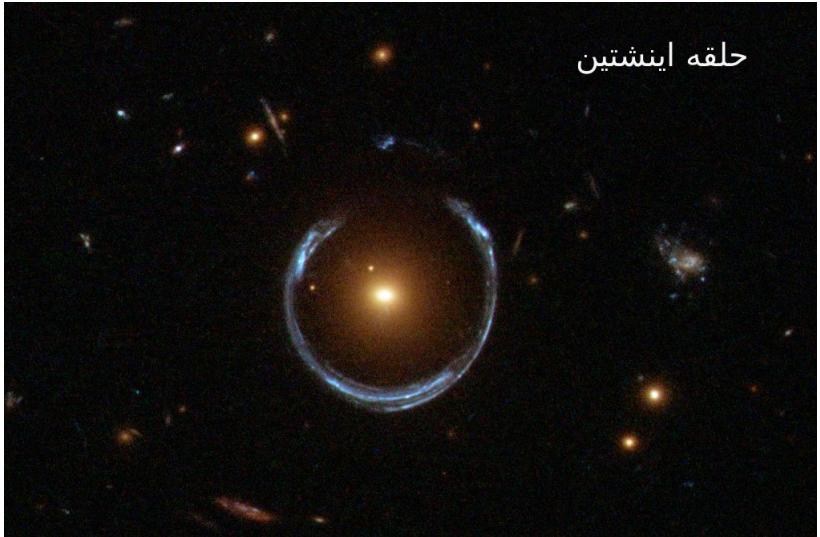


خوشه های کهکشانی به عنوان عدسی گرانشی

- خوشه های کهکشانی جرم بسیار زیادی دارند و می توانند مسیر حرکت نور را منحرف کنند. اگر یک کهکشان در فاصله بسیار دور و در طرف دیگر یک خوشه کهکشانی نسبت به ما قرار داشته باشد، نور تابیده شده از آن در اثر گرانش خوشه کهکشانی خمیده شده و به سمت ما می آید. در نتیجه ما می توانیم چند تصویر از کهکشان مورد نظر ببینیم! **فیلم های ۵ تا ۸ را ببینید.**

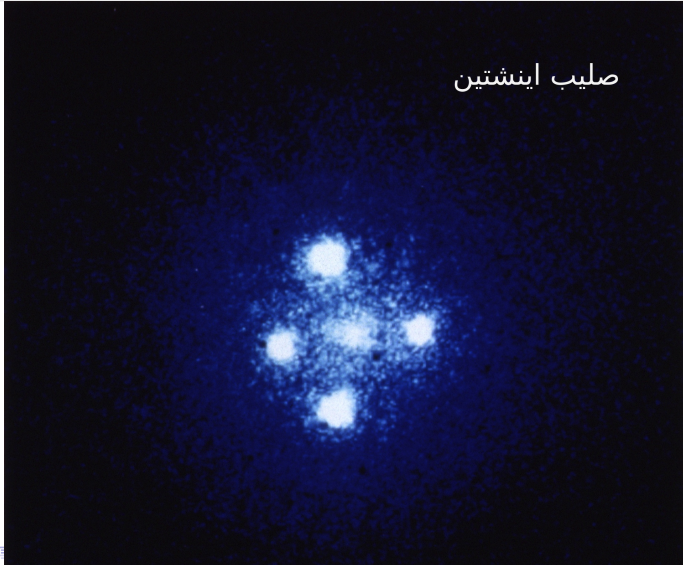


تصاویری از عدسی های گرانشی



تصاویری از عدسی های گرانشی

صليب اينشتين



تصاویری از عدسی های گرانشی

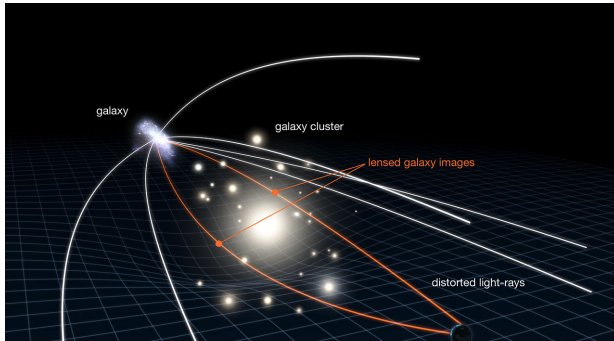


تصاویری از عدسی های گرانشی



خوشه های کهکشانی به عنوان عدسی گرانشی

اینشتین به ما می گوید که مقدار انحراف نور به مقدار جرم مرکزی (در اینجا خوشه کهکشانی) بستگی دارد. همچنین، نظریه اینشتین توزیع جرم خوشه را نیز به ما می دهد. بنابراین با اندازه گیری انحراف نور می توان مقدار جرم خوشه کهکشانی را اندازه گرفت. تاکنون جرم بسیاری از خوشه های کهکشانی به این روش اندازه گیری شده و همگی آنها جرم گمشده داشته اند (یعنی میزان جرم مرئی آنها با میزان جرم تعیین شده به روش عدسی گرانشی همخوانی نداشته است.) البته این کار را تا حد خوبی می توان با تعمیم نظریه گرانش هم انجام داد، ولی ...

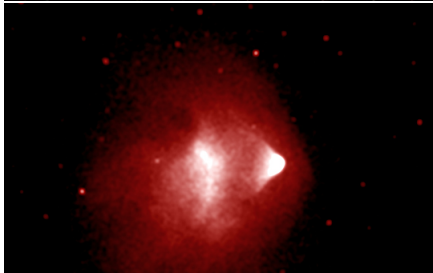


خوشه گلوله

خوشه گلوله در حدود $۳/۷$ میلیارد سال نوری از ما فاصله دارد. در واقع این خوشه نتیجه برخورد دو خوشه عظیم کهکشانی است. در این خوشه ها می توان کهکشان ها و توده های عظیم گاز را دید (دومی را با تابش پرتو ایکس می بینیم). جرم گاز در این خوشه ها از جرم ستارگان بیشتر است.



برخورد در خوشه گلوله



وقتی خوشه های کهکشانی با هم برخورد می کنند، عملاً از درون هم عبور می کنند بدون اینکه چندان تغییر شکل دهند و یا ستارگان آنها به صورت سر به سر برخورد کنند.

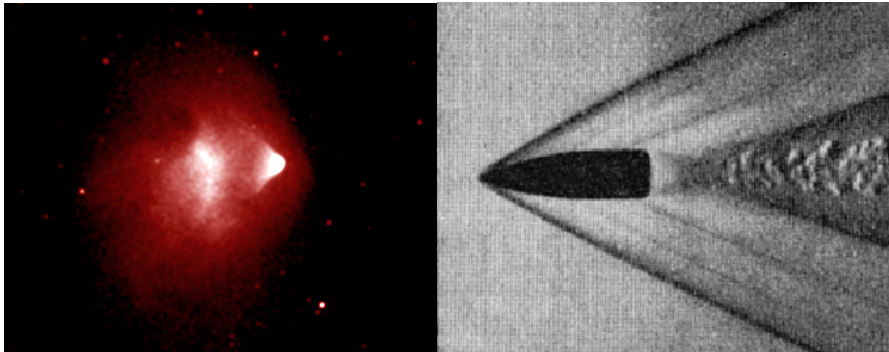
ولی توده های گاز موجود در خوشه ها به شدت با هم برخورد می کنند و در نتیجه شدیداً داغ می شوند. داغ شدن گاز باعث تابش پرتو ایکس می شود.

ذرات ماده تاریک هم هیچگونه برخوردی با هم نداشته و به راحتی عبور می کنند.

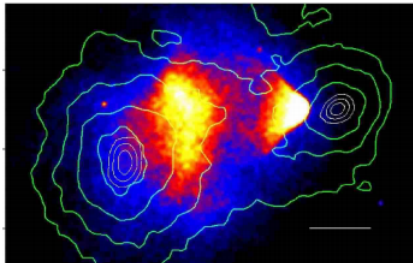
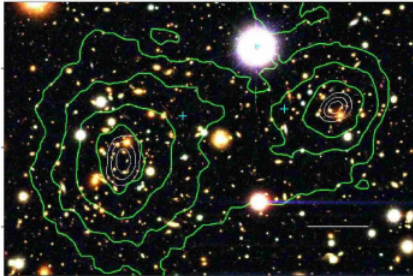


کمی بیشتر درباره برخورد گازها

- با استفاده از تلسکوپ پرتو ایکس چاندرا، منجمین توانستند میزان و توزیع گاز را تعیین کنند. این گاز، همانطور که انتظار می رفت، در بین دو خوشه قرار گرفته و سرعت آن پس از برخورد کاهش یافته است. از این تصویر می توان فهمید که چطور برخورد شکل گاز را تغییر داده است. برخورد یک توده گاز از درون توده دیگر طرحی شبیه به حرکت گلوله در هوا ایجاد کرده است.



تعیین جرم خوشه گلوله توسط عدسی های گرانشی



با وجودی که این خوشه در فاصله بسیار زیادی از ما قرار دارد، کهکشان هایی وجود دارند که حتی از آن هم دورترند. نور این کهکشان ها به سمت ما می آید؛ ولی در اثر گرانش خوشه گلوله مسیر آنها انحنای پیدا می کند. با استفاده از این اثر می توان جرم و توزیع جرم را در خوشه گلوله یافت.

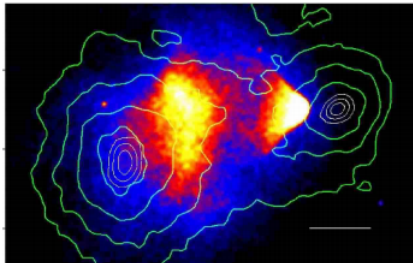
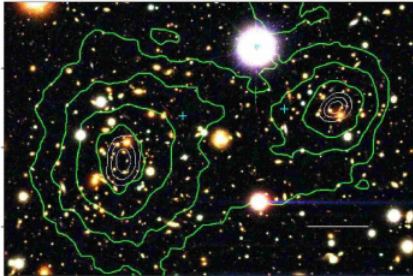
توزیع جرم نشان می دهد که بیشتر جرم در مکان کهکشان ها قرار گرفته است و نه موقعیت گاز. با توجه به اینکه داده های چاندرا نشان می دهند جرم گاز از جرم کهکشان ها بیشتر است، این یک نتیجه غیرمنطقی خواهد بود مگر اینکه ماده تاریک وجود داشته و در موقعیت کهکشان ها قرار داشته باشد.

تعیین جرم خوشه گلوله توسط عدسی های گرانشی

- موقعیت ماده تاریک در شکل زیر با رنگ آبی-بنفش نشان داده شده است. جرم ماده تاریک از جرم گاز و کپکشان های بیشتر است.



چرا خوشه گلوله اهمیت دارد؟



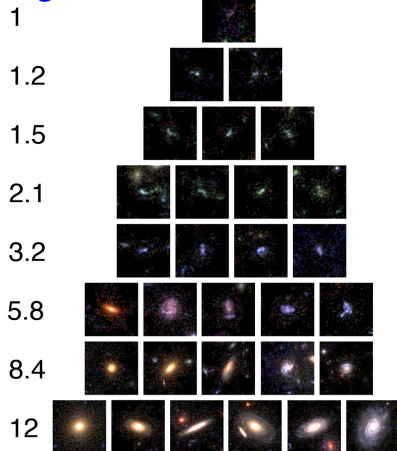
● ماده تاریک هیچ نوری از خود تابش نمی کند.
● طرفداران نظریه های گرانش جدید تاکنون تلاش های بسیاری برای توضیح خوشه گلوله، بدون فرض ماده تاریک، انجام داده اند. هرچند، منجمین معتقد هستند که بهترین توضیح را فرضیه ماده تاریک ارائه می کند.

● مشکل نظریه های گرانش جدید این است که این نظریه ها به احتمال زیاد مرکز گرانش را در جایی که بیشترین مقدار ماده قرار دارد (یعنی در موقعیت گاز و نه موقعیت کهکشان ها) پیش بینی می کنند. این البته با نتایج عدسی های گرانشی در تضاد است.

● تاکنون خوشه های کهکشانی جدیدی کشف شده اند که رفتار مشابهی را نشان می دهند. در نتیجه، احتمالاً بیشتر ماده موجود در جهان مرئی نیست، بلکه تاریک است.

ماده تاریک و تشکیل ساختار

میلیارد
سال

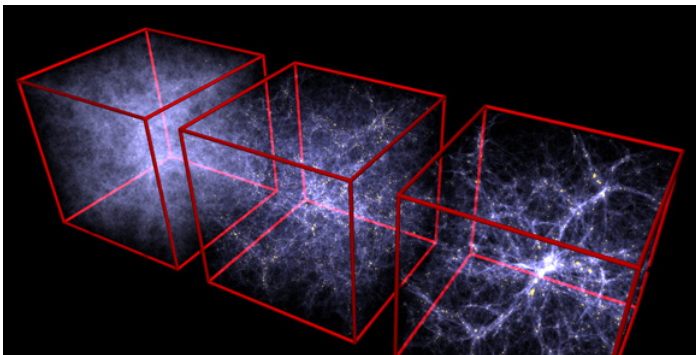


برخی فرضیه های ماده تاریک می توانند تشکیل ساختار در کیهان را به خوبی توضیح دهند.

در درس های بعدی خواهیم دید که چگونه کیهان به وجود آمده و چگونه در طی میلیاردها سال تحول پیدا کرده است. کیهان شناسان معتقدند که اجرام کوچکتر (مانند ستارگان) زودتر تشکیل شده اند. سپس کهکشان ها به وجود آمده و در انتها خوشه های کهکشانی تشکیل شده اند. یعنی تشکیل ساختار کیهانی از کوچک به بزرگ بوده است.

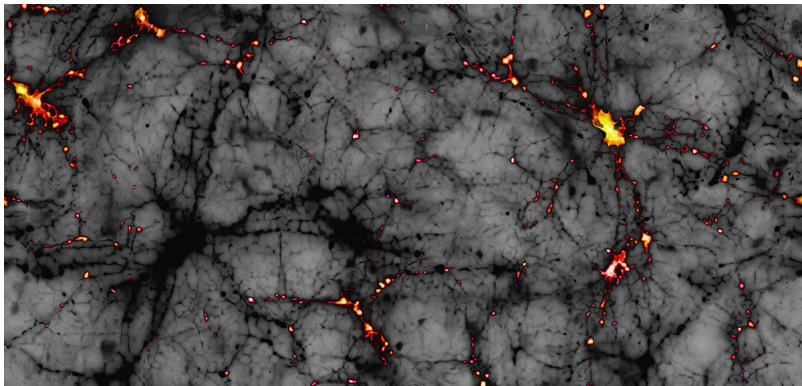
ماده تاریک و تشکیل ساختار

- ولی مشکلی در این سناریو وجود دارد! اگر ستارگان و کهکشان ها زودتر تشکیل شوند، آنگاه انرژی شدید تابش شده توسط آنها تشکیل ساختارهای بزرگتر را دچار مشکل می کند.
- در اینجا هم ماده تاریک به کمک ما می آید: ماده تاریک برهمکنش ناچیزی با ماده معمولی دارد. در نتیجه ماده تاریک (سرد) زودتر جمع شده و ساختارها را تشکیل می دهد. پس از مدتی مواد معمولی نیز سردتر شده و به درون ساختارهای ناشی از ماده تاریک سقوط می کنند. در نتیجه ستارگان، کهکشان ها و ساختارهای بزرگتر مرئی به وجود می آیند.



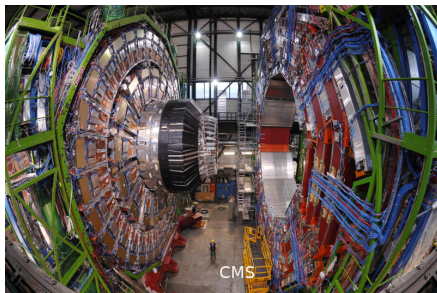
ما و ماده تاریک

• بنا به اعتقاد فعلی کیهان شناسان، مواد تشکیل دهنده ما، زمین و ستارگان تنها بخش کوچکی (۱۵ %) از ماده موجود در عالم را تشکیل می دهد. این بخش از مواد عالم گرم و متراکم است و از خود موج الکترومغناطیسی تابش می کند. ولی بیشتر ماده موجود در جهان (۸۵ %) سرد و کم چگالی است و تا آنجا که می دانیم نوری از خود تابش نمی کند.



چی هست این ماده تاریک؟!

- ما درباره ساختار مواد معمولی چیزهای بسیار زیادی می دانیم. مخصوصا درباره برهمکنش آنها و نوری که از این مواد تابش می شود تاکنون اطلاعات زیادی به دست آورده ایم. در واقع بسیاری از اطلاعات ما از ساختار ماده به دلیل بررسی تابش آن به دست آمده است.
- هرچند، ماده تاریک هیچ تابشی ندارد و برهمکنش چندانی با ماده معمولی نیز ندارد (و یا حداقل اینطور فرض می شود!). بنابراین ما شناخت مناسبی از ساختار و برهمکنش آن نداریم. در واقع تنها می دانیم که این ماده جرم دارد و در برهمکنش گرانشی شرکت می کند.

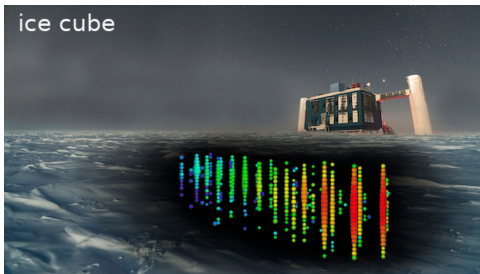


CMS

چی هست این ماده تاریک؟!

تعیین ساختار و ویژگی های ماده تاریک یکی از اساسی ترین ماموریت های کیهان شناسی و ذرات بنیادی است. تاکنون رصدها و آزمایش های زیادی برای کشف ساختار ماده تاریک انجام شده است.

حل مساله جرم گمشده اهمیت بسیار زیادی دارد زیرا اگر در طی تلاش برای حل این مساله ماده جدیدی کشف شود، این کشف به احتمال زیاد به معنی تغییر اساسی در نظریه های ماده خواهد بود. از طرفی، اگر چنین ماده ای کشف نشود ولی یک نظریه جدید گرانش بتواند مساله را توضیح دهد، آنگاه دیدگاه ما نسبت به فضا و زمان تغییر اساسی خواهد داشت. در هر دو صورت اتفاقات بزرگی در علم فیزیک رخ خواهد داد.



نکات مهم این درس

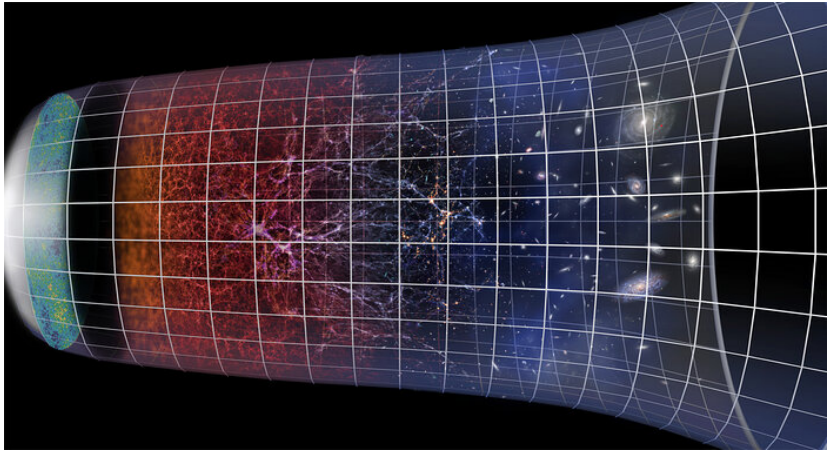
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید خلاصه ای از مفاهیم ماده تاریک را بیان کنید. همچنین، انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ دهید:

۱. پژوهش: تحقیق کنید که سرعت مداری سیارات در منظومه شمسی چطور با فاصله نسبت به خورشید تغییر می کند.
۲. تغییرات در منحنی چرخش کهکشان ها با فاصله به چه صورت است؟
۳. توضیح دهید که چگونه منحنی چرخش کهکشانی به معنی وجود مساله جرم گمشده است.
۴. دو راه حل کلی برای مساله جرم گمشده را توضیح دهید.
۵. چرا نتایج روبین و بازما نسبت به نتایج زویکی مقبولیت بیشتری داشتند؟
۶. منظور از سرد بودن دیسک های کهکشانی چیست؟
۷. چند درصد کهکشان های دیسکی شامل میله هستند؟
۸. منظور از هاله ماده تاریک چیست؟
۹. نتیجه اصلی اوستراکر و پیبلز در توجیه وجود هاله ماده تاریک را توضیح دهید.
۱۰. اصلی ترین نامزدهای توضیح مساله جرم گمشده را نام ببرید.
۱۱. توضیح دهید که چگونه می توان با استفاده از اثر عدسی های گرانشی میزان جرم یک سیستم را به دست آورد.
۱۲. چرا منجمین معتقدند که نمی توان با تغییر در نظریه گرانش، توزیع جرم در خوشه گلوله را توضیح داد؟
۱۳. ساختارهای کیهانی از اجرام کوچک به بزرگ تشکیل می شوند و یا برعکس؟
۱۴. وجود ماده تاریک چگونه می تواند تشکیل ساختار کیهانی را توضیح دهد؟
۱۵. ماده تاریک چه ویژگی هایی دارد؟

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

مبحث بعدی: مِهبانگ

در جلسه بعد درباره انبساط کیهان، قانون هابل، مدل مِهبانگ (بیگ بنگ) و سن کیهان صحبت خواهیم کرد. مدل مِهبانگ یکی از بزرگترین دستاوردهای کیهان شناسی مدرن به شمار می رود.



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.