

جلسات هفتگی گروه فیزیک دانشگاه هرمزگان

مسائل کیهان شناسی مدرن

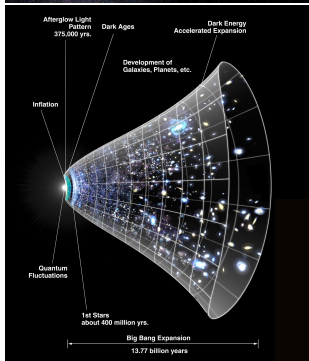
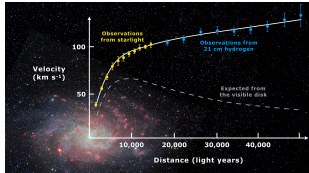
حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم



دانشگاه هرمزگان

آسمان شب همچنان نیاز به روشنایی دانش دارد.



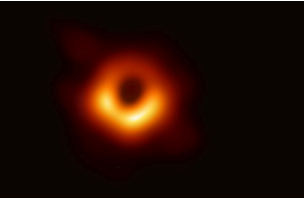
اخترفیزیک و کیهان شناسی معاصر، در بیست سال گذشته، بسیار پیشرفت داشته اند و سوالات بسیاری را برای ما مطرح کرده اند. پاسخ به این سوالات نیازمند تلاش هماهنگ دوست داران علم است. همچنین، برای پاسخ به این سوالات نیاز داریم که پدیده های مختلف مورد نظر خود را به روش های مختلف رصدی، نظری و محاسباتی بررسی کنیم.

۱ مساله تورم.

۲ مساله ماده تاریک (و یا جرم گم شده).

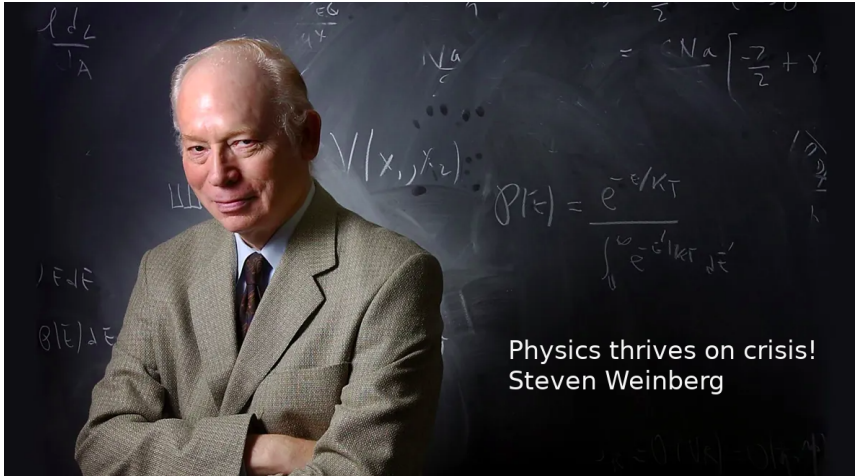
۳ مساله انرژی تاریک و یا انبساط شتابدار جهان.

۴ فیزیک سیاهچاله ها.



استیون واینبرگ: فیزیک در بحران ها رشد می کند!

پیش از آشنایی با سوالات باز کیهان شناسی، باید با مدل استاندارد کیهان شناسی آشنا شویم.



مدل های استاندارد در علم و مدل استاندارد کیهان شناسی



وقتی در فیزیک (و علم در حالت کلی) تلاش می کنیم که مشاهدات را بفهمیم، ما آنها را درون یک طرح فیزیکی کلی قرار داده و تفسیر می کنیم. این طرح فیزیکی کلی بر اساس مطالبی که فکر می کنیم به درستی فهمیده شده اند، ساخته می شود. **این طرح کلی را در فیزیک معاصر "مدل استاندارد" می نامند.**

بنا به گفته استیون واینبرگ، ممکن است همه و یا جزئی از مدل استاندارد اشتباه باشد. ولی اهمیت مدل استاندارد در درستی کامل آن نیست، بلکه در ارائه یک زمینه کلی برای درک و بحث درباره داده هاست. با بحث درباره داده ها در زمینه مدل استاندارد می توانیم درستی و یا نادرستی مدل، تفسیر و حتی داده ها را به مرور بفهمیم.

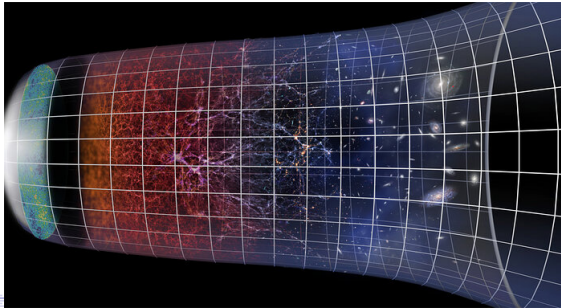
وقتی به درستی داده ها اطمینان داشته باشیم، ولی داده ها را نتوانیم در مدل استاندارد فعلی تفسیر کنیم، آنگاه بهتر است به دنبال مدل های جدیدتر و بهتری بگردیم. این اتفاق قبلا در کیهان شناسی رخ داده و ممکن است در آینده نیز رخ دهد.

مدل استاندارد کیهان شناسی را مدل Λ CDM می نامند که بر اساس نظریه نسبیت عام اینشتین، میدان تورمی، ماده تاریک سرد CDM و ثابت کیهان شناسی Λ بنا شده است.

سرگذشت کیهان در یک نگاه

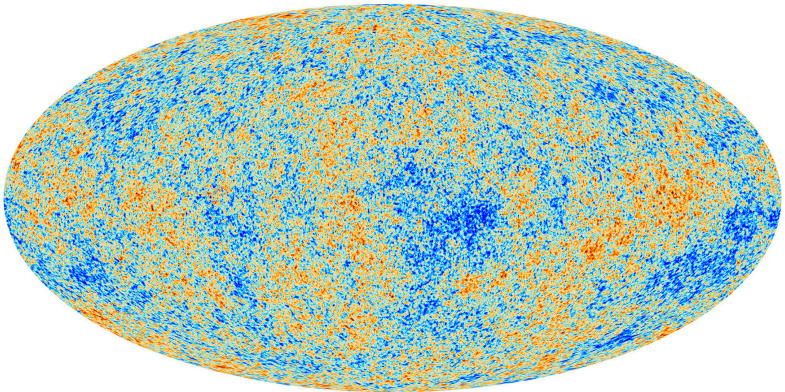
تاریخچه کیهان را می توان به صورت ساده در شکل زیر مشاهده کرد. مراحل مختلف تحول کیهان به ترتیب چنین اند.

- ۱ گرانش کوانتومی (بدون نظریه تثبیت شده)
- ۲ تورم کیهانی و انبساط شتابدار کیهان اولیه (مسائل باز)
- ۳ مهبانگ داغ (توافق بسیار خوب با تجربه)
- ۴ تشکیل ساختار و نقش ماده تاریک (مسائل باز)
- ۵ انرژی تاریک و انبساط شتابدار کیهان اخیر (مسائل باز)

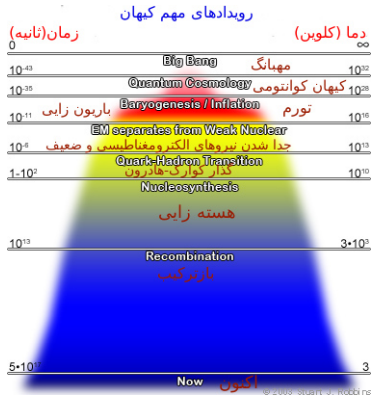


معمای تورم کیهانی

- با بهبود بسیار زیاد تلسکوپ ها، حالا می بینیم که نقاط مختلف آسمان تفاوت هایی در دمای تابش زمینه کیهانی نشان می دهند. ولی این اختلاف دمایی بسیار بسیار کوچک است (در حد چند صدهزارم). مثلاً دمای تابش یک نقطه از آسمان ممکن است در حد 2.72500 K بوده در حالی که در سمت دیگر دما برابر 2.72501 K است.



تورم کیهانی



بنابراین باید طی فرایندی در گذشته کیهان به چنین یکنواختی رسیده باشد. این ایده آلن گوث را بر آن داشت که مدل تورم کیهانی را مطرح کند. بنا به این مدل، کیهان در مراحل ابتدایی مهبانگ دچار یک انبساط شتابدار بسیار شدید شده است. سپس این انبساط شتابدار متوقف شده و انبساط کند شونده شروع شده است (که تا همین اواخر و شروع دوره انرژی تاریک ادامه داشته است).

دلیل پدیده تورم، فرایند آن و نحوه توقف آن همچنان مورد فرضیه سازی دانشمندان است؛ ولی، اکثر کیهان شناسان اعتقاد دارند که برای توضیح مشاهدات کیهان، وجود چنین مرحله ای ضروری است. تورم باعث شده است که مقادیر بسیار زیادی انرژی به درون ساختار فضا زمان وارد شود.

چطور دوره تورم شروع شده است؟

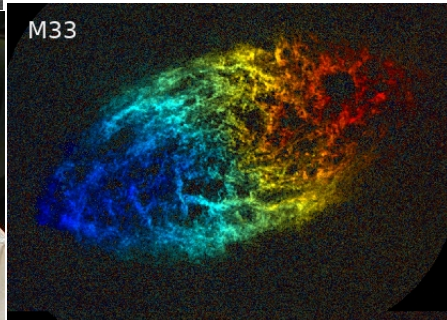
فیزیک تورم چیست؟

چطور دوره تورم به اتمام رسیده است؟

مساله ماده تاریک

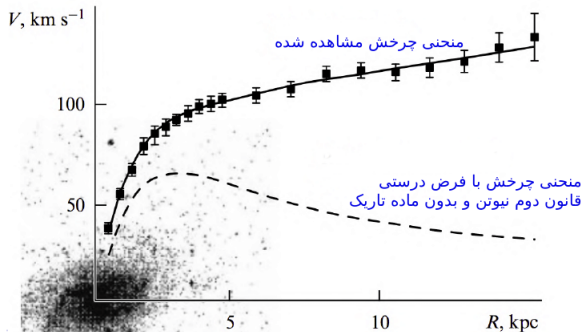


با پیشرفت تلسکوپ ها و افزایش روزافزون دقت آنها، وِرا روبِن (Vera Rubin) و آلبرت بازما (Albert Bosma) توانستند سرعت حرکت گاز در لبه کهکشان ها را اندازه گیری کنند. برای اندازه گیری سرعت حرکت گاز، منجمین از جابه جایی داپلر در طیف این گاز استفاده می کنند.



مساله ماده تاریک

- 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.

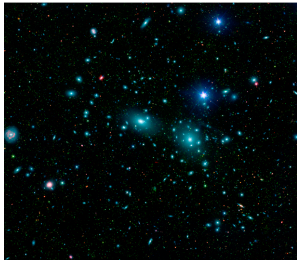


ماده تاریک و یا دینامیک (گرانش) تعمیم یافته

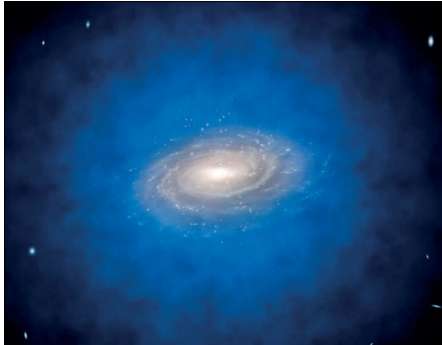
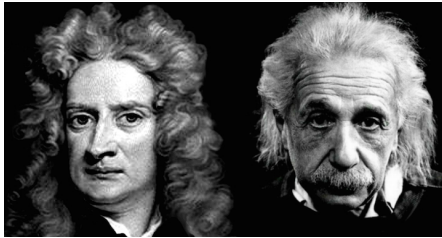
- این معما، که آن را مساله جرم گمشده و یا مساله ماده تاریک می نامند، از اوایل دهه ۱۹۳۰ در نجوم خود را نشان داده بود. مثلاً، در سال ۱۹۳۳ فریتز زویکی نشان داد که سرعت کهکشان ها در خوشه گیسو به حدی زیاد است که این خوشه باید در اندک زمان کیهانی محو شود (خوشه از هم بپاشد). با توجه به اینکه ما حرکت اجرام را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



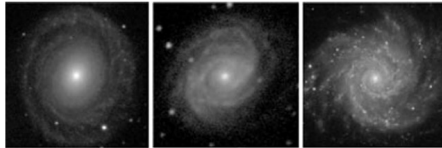
مساله ماده تاریک



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، احتمالاً 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.

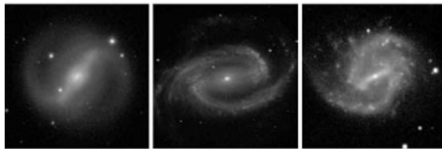
پایداری قرص های کهکشانی



Sa

Sb

Sc



SBa

SBb

SBc

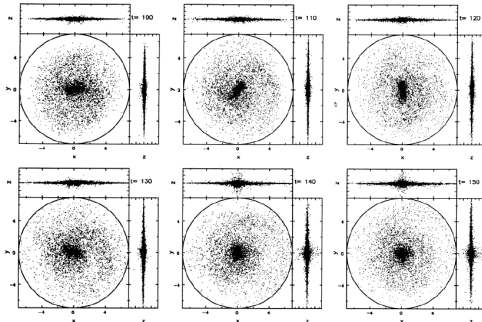
ذرات در دیسک های کهکشانی به صورتی حرکت می کنند که بیشتر حرکت منظم و به دور مرکز است؛ قسمت بسیار کوچکی از حرکت نیز حالت تصادفی دارد. می گوئیم دیسک های کهکشانی سرد هستند چون حرکت تصادفی ذرات در آنها کم است.

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

قرص های شبیه سازی شده داغ می شوند و تشکیل میله می دهند!

• اوسترایکر و پیبلز (نوبل ۲۰۱۹) 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 میله 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: تشکیل ساختار کیهانی

میلیارد
سال

1

1.2

1.5

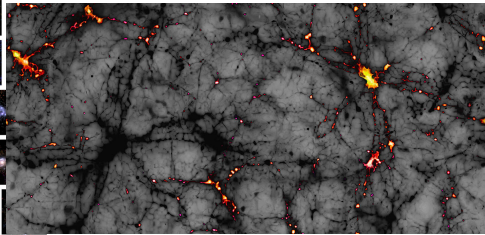
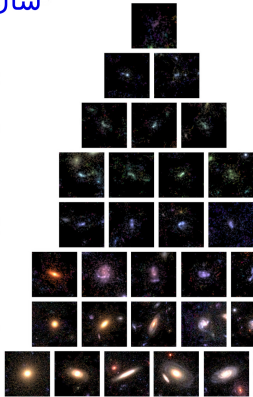
2.1

3.2

5.8

8.4

12

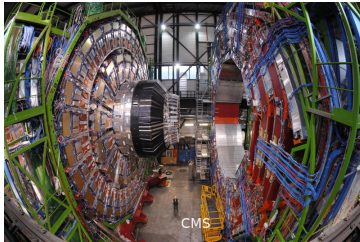


تاکنون شواهدی از مساله جرم گمشده در کهکشان های دیگر (مانند کهکشان های بیضوی) و در بسیاری سیستم ها و ابعاد بزرگتر (خوشه های کهکشانی و کیهان) یافت شده است. مثلا اندازه و سرعت چرخش میله در کهکشان ها با ماده تاریک کاملا متفاوت از وقتی است که ماده تاریک نداریم. و یا در ابعاد کیهانی، سرعت تشکیل ساختارها کاملا 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

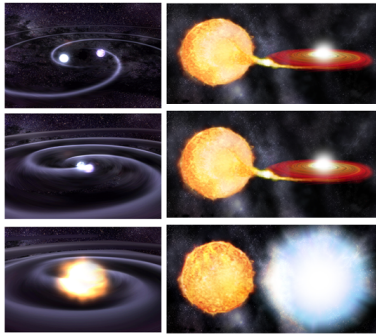
- منجمین تا مدت ها به دنبال این ماده تاریک بودند و با تکنیک های رصدی جدید مقداری از آن را هم یافتند (مانند گاز و غبار)؛ ولی مقدار این مواد برای توضیح جرم گمشده کافی نبود. در حال حاضر اصلی ترین نامزدهای توضیح مساله جرم گمشده به صورت زیر هستند:
- ۱ اجرام بزرگ مقیاس (مانند کوتوله های قهوه ای و سیاهچاله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

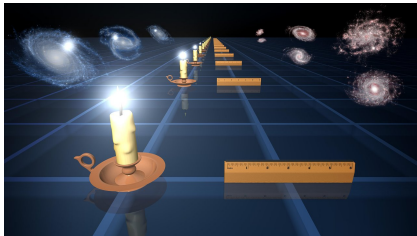
تلاش برای اندازه گیری تغییر در سرعت انبساط کیهان و شوک انرژی تاریک



در دهه ۱۹۹۰ میلادی، دو تیم از منجمین از بزرگترین تلسکوپ های موجود برای مشاهده و مطالعه اعماق فضا استفاده می کردند. هدف این دو تیم، کشف ابرنواخترهای بسیار دور بود. آنها این کار را با نوع خاصی از ابرنواخترها به نام ابرنواختر "نوع Ia" انجام می دادند.

ابرنواختر "نوع Ia" وقتی پدید می آید که جرم یک کوتوله سفید افزایش یافته تا حدی که فشار تبهگنی الکترون دیگر نمی تواند مانع فروریزش ستاره در اثر گرانشش شود. در نتیجه ستاره رمبش کرده، ماده دچار یک دوره شدید همجوشی هسته ای شده و ستاره منفجر می شود. این ها را شمع های کیهانی می نامند.

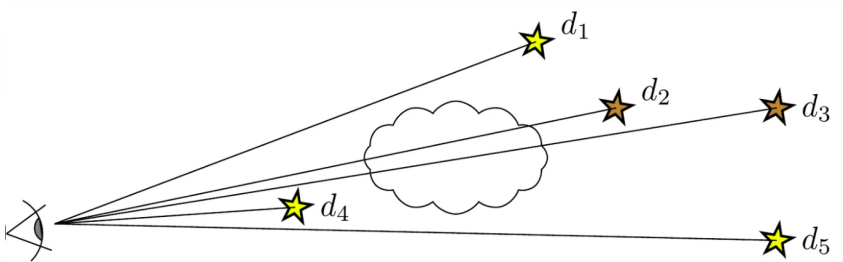
شمع های کیهانی اجرامی هستند که روشنایی ذاتی (درخشندگی) آنها مشخص است. با دانستن مقدار درخشندگی، و تعیین قدر ظاهری آنها در تلسکوپ، می توان فاصله این اجرام را تعیین کرد.



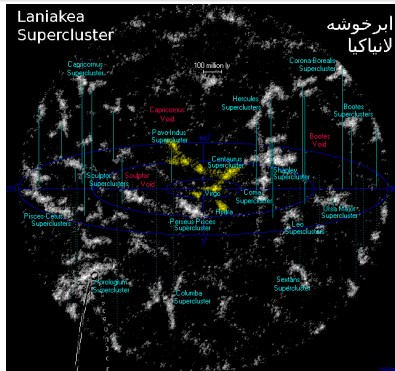
معمای انرژی تاریک

البته این دو گروه به نتیجه غیر قابل تصویری رسیدند: ابرنواخترهای مشاهده شده در فواصل بسیار زیاد کم نورتر از انتظار منجمین بودند. به نظر می رسید که فاصله تعیین شده به روش قرمزگرایی کمتر از فاصله واقعی تا ستاره در حال انفجار است. این پدیده عجیب در مشاهدات مختلف تکرار شد.

منجمین تمام تلاش خود را برای کشف اشتباهات احتمالی در روش شان به کار بردند. حتی آنان لیستی از همه چیزهایی که می توانستند باعث این پدیده (کم سویی ابرنواختر) شوند تهیه کردند. مثال هایی از این لیست: تاثیر غبار بین کهکشانی، ترکیبات شیمیایی متفاوت ستاره منفجر شده و غیره. این لیست همچنان بروز رسانی می شود!



معمای انرژی تاریک



ولی دو تیم، به صورت مستقل، بالاخره به این نتیجه رسیدند که عامل های بررسی شده نمی توانند اثری به بزرگی اثر مشاهده شده به وجود آورند. در نتیجه، ابرنواخترها در فاصله های دور واقعا کم نور تر از حد انتظار ما هستند. بنابراین، این اجرام باید از فاصله مورد انتظار ما دورتر باشند.

این کشف به عنوان انبساط شتابدار کیهان شناخته می شود.

در ابتدا چنین کشفی به نظر بسیار شگفت (و حتی احمقانه!) می رسید زیرا ما انتظار داشتیم که به دلیل گرانش همه مواد موجود در عالم، انبساط کیهان کند شود. ولی منجمین حالا می گویند که سرعت انبساط عالم در حال افزایش است.

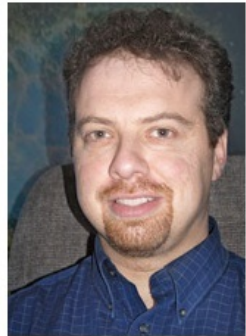
انبساط شتابدار کیهان مانند این است که سنگی را به بالا بیندازیم و این سنگ به جای کند شدن و برگشتن به سمت زمین، حتی با سرعت بیشتری به سمت بالا حرکت کند!

منجمین همچنان مشکوک هستند!

- منجمین از ابتدا به این کشف مشکوک بودند و برخی همچنان مخالف آن هستند! ولی در ادامه،
- چندین گروه دیگر با داده های متفاوت به نتیجه مشابهی رسیدند:
- کیهان نه فقط در حال انبساط است، بلکه سرعت انبساط آن نیز در حال افزایش است.



Saul Perlmutter


Nobel 2011
 Brian P. Schmidt


Adam G. Riess

آیا بزرگترین اشتباه اینشتین می تواند کیهان شناسی را نجات دهد؟

- ثابت کیهان شناسی Λ در ابتدا برای تولید یک کیهان ایستا وارد معادلات اینشتین شد. ولی بعدها معلوم شد که کیهان ایستا نیست بلکه در حال انبساط است! در نتیجه اینشتین ثابت لامبدا را بزرگترین اشتباه خود نامید.
- ولی در سه دهه اخیر فرض شده است که ثابت لامبدا می تواند انرژی تاریک را توضیح دهد! هرچند این پایان راه نیست.

CURVATURE IN DIFFERENT DIRECTIONS

ENERGY-MOMENTUM FLUX

$$R_{ab} - \frac{1}{2} R g_{ab} + \Lambda g_{ab} = T_{ab}$$

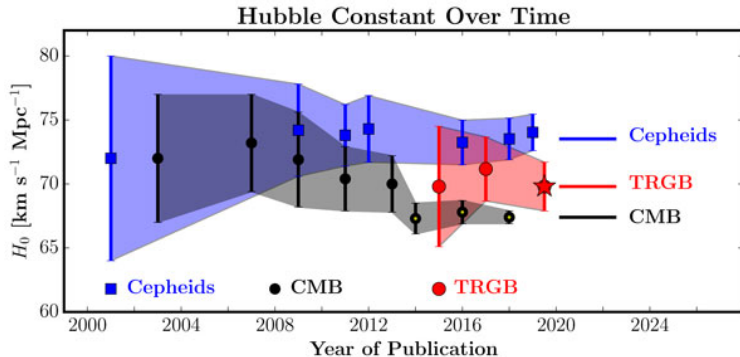
EINSTEIN'S GREATEST BLUNDER

OVERALL CURVATURE

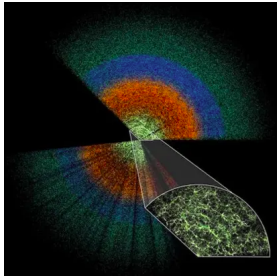
$$8\pi \frac{G}{c^2} = 1.87 \times 10^{-26} \frac{m}{Kg}$$

تنش هابل و دیگر تنش های کیهان شناسی

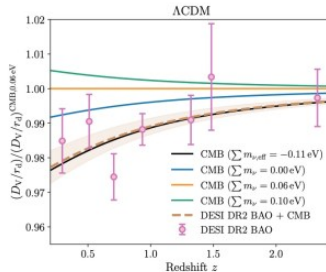
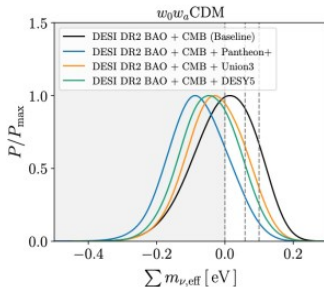
- مدل های تثبیت شده فیزیک تعدادی ثوابت دارند که مقدار آنها بر اساس آزمایش های گوناگون یکسان به دست می آید. مهم ترین مثال در این زمینه نظریه کوانتومی است که بر اساس آزمایش ها در زمینه های مختلف مقدار یکسانی را برای $\hbar$ و ... به دست می دهد.
- در ابتدا تصور می شد که مدل استاندارد کیهان شناسی، یعنی Λ CDM نیز همین کار را انجام خواهد داد. هرچند در پنج سال اخیر معلوم شده است که مشکلی جدی در تعیین برخی ثوابت کیهان شناسی، به ویژه ثابت هابل H_0 ، وجود دارد.



ثابت کیهان شناسی احتمالا ثابت نیست!



به علاوه، داده های اخیر پایش طیف سنجی انرژی تاریک (DESI : Dark Energy Spectroscopic Instrument) نشان داده اند که به احتمال زیاد ثابت کیهان شناسی ثابت نیست! اگر چنین نتیجه ای به تایید نهایی برسد، باید قبول کرد که یکی از ستون های مدل استاندارد (یعنی Λ) نیاز به بازبینی دارد.

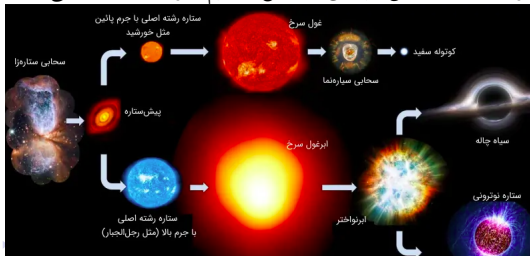


زندگی و مرگ ستارگان، معمای سیاهچاله ها

در بررسی تحول ستارگان می آموزیم 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.

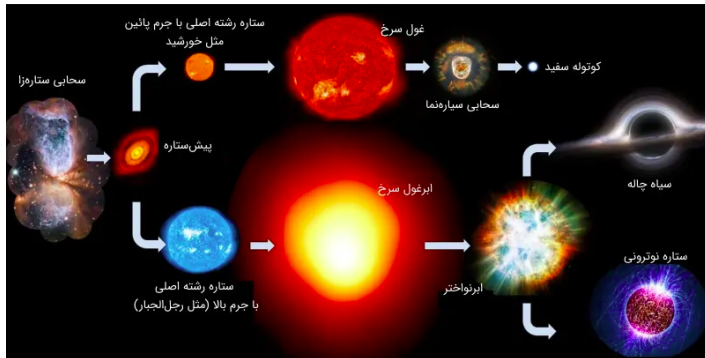
اگر جرم هسته ستاره بیشتر از $1/4$ و کمتر از $2/8$ برابر جرم خورشید باشد، ستاره تبدیل به یک ستاره نوترونی می شود. ستاره نوترونی یک کره بسیار چگال و بسیار داغ (به قطر تقریباً بیست کیلومتر) از ماده فوق العاده متراکم است که با فشار تبهگنی نوترون در مقابل نیروی گرانش عظیم خود مقاومت می کند.



زندگی و مرگ ستارگان، معمای سیاهچاله ها

در بررسی تحول ستارگان می آموزیم که:

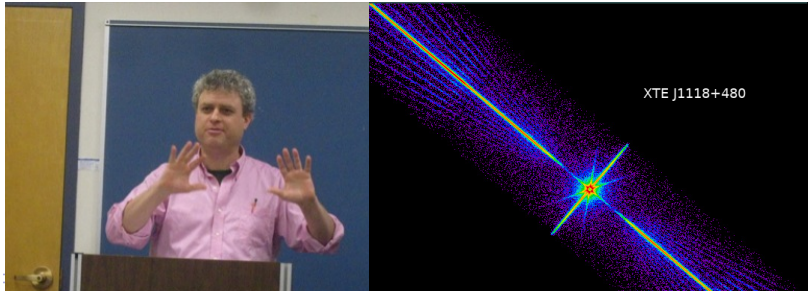
اگر جرم قلب ستاره از $\frac{2}{8}$ برابر جرم خورشید بیشتر باشد، گرانش به فشار تبهگنی نوترون غلبه کرده و ستاره کاملاً رمبش می کند. بنا به نظریات کنونی فیزیک، هیچ نیرویی وجود ندارد که در این حالت بتواند از رمبش بیشتر ستاره جلوگیری کند. در این حالت یک سیاهچاله خواهیم داشت که موضوع این بخش است.



تعاریف مختلف سیاهچاله

• اریک کوریل نشان داده است که وقتی فیزیکدانان از سیاهچاله صحبت می کنند، در واقع تعاریف متفاوتی از این جرم دارند. بهتر است با این تعاریف آشنا باشیم:

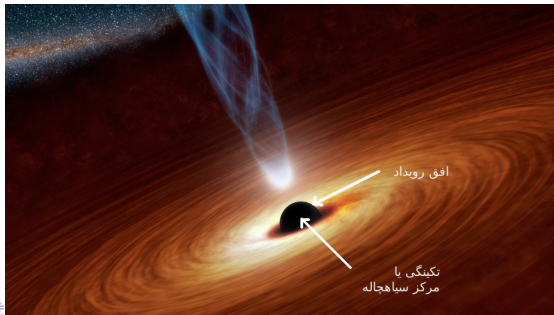
• سیاهچاله اختরفیزیکی: وقتی اختরفیزیکدانان از سیاهچاله صحبت می کنند، منظورشان یک جسم بسیار متراکم (حتی متراکم تر از ستاره نوترونی) است که هیچ چیزی نمی تواند از آن فرار کند (حتی نور). چنین جسمی می تواند انرژی زیادی به گازهای اطراف خود داده و آنها را به شدت برانگیخته کند. بنابراین سیاهچاله های اختরفیزیکی موتور تابش های بسیار پرانرژی هستند.



تعاریف مختلف سیاهچاله

• اریک کوریل نشان داده است که وقتی فیزیکدانان از سیاهچاله صحبت می کنند، در واقع تعاریف متفاوتی از این جرم دارند. بهتر است با این تعاریف آشنا باشیم:

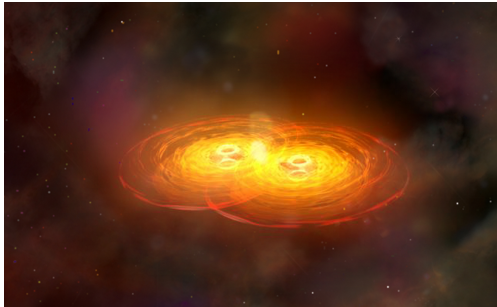
• سیاهچاله در نظریه نسبیت عام: در بحث های مربوط به نسبیت عام، وقتی به سیاهچاله اشاره می شود منظور جسمی است که افق رویداد مشخصی دارد و همچنین شامل تکینگی است. بنا به پیش بینی نسبیت عام، تکینگی فضا زمان (یا تکینگی گرانشی) موقعیتی است که در آن چگالی و میدان گرانشی جسم بینهایت می شوند.



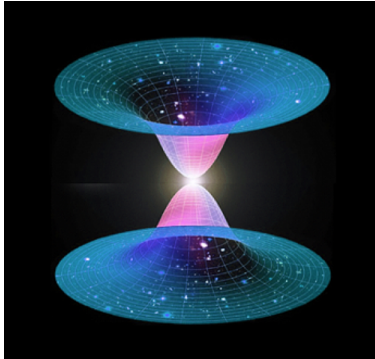
تعاریف مختلف سیاهچاله

- اریک کوریل نشان داده است که وقتی فیزیکدانان از سیاهچاله صحبت می کنند، در واقع تعاریف متفاوتی از این جرم دارند. بهتر است با این تعاریف آشنا باشیم:

۳ سیاهچاله نیمه کلاسیکی: در این نوع سیاهچاله ها علاوه بر ویژگی های سیاهچاله در نظریه نسبیت عام (سیاهچاله کلاسیک) درباره ترمودینامیک و آنتروپی این اجرام نیز بحث می شود. مساله اصلی در این بخش این است که آیا سیاهچاله ها تابش می کنند؟ فهم سیاهچاله نیمه کلاسیکی می تواند به درک ما از گرانش کوانتومی کمک کند.



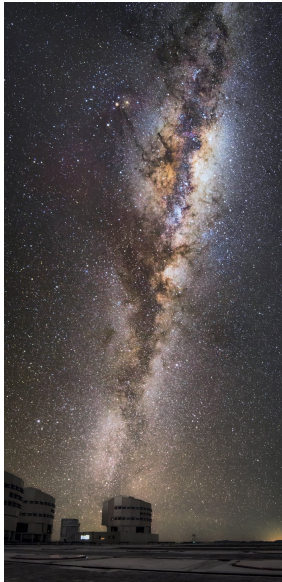
تعاریف مختلف سیاهچاله



- اریک کوریل نشان داده است که وقتی فیزیکدانان از سیاهچاله صحبت می کنند، در واقع تعاریف متفاوتی از این جرم دارند. بهتر است با این تعاریف آشنا باشیم:
- سیاهچاله ها در گرانج کوانتومی: گرانج تنها نیروی طبیعت است که تاکنون توصیف کوانتومی موفق برای آن ارائه نشده است؛ هرچند تلاش هایی در این جهت (مانند نظریه ریسمان و نظریه گرانج کوانتومی حلقه ای) انجام شده است. اثرات گرانج کوانتومی معمولا در نزدیکی سیاهچاله مطالعه و بحث می شوند. برخی دانشمندان اعتقاد دارند که وقتی سیاهچاله ها را به صورت کوانتومی بررسی کنیم، خواهیم فهمید که ذرات می توانند از سیاهچاله فرار کنند. در این دیدگاه، مفهوم افق رویداد تا حدی تغییر خواهد کرد.

• همچنان، به شدت چالش برانگیز!

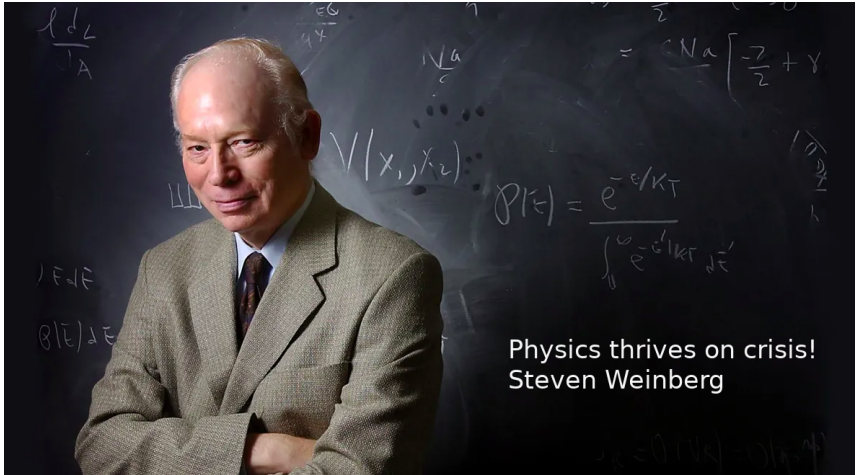
پرسش های همچنان باز!



● حالا ما پرسش های زیر را بهتر می فهمیم؛ ولی همچنان راه زیادی تا درک کامل جواب آنها داریم:

- ۱ کیهان چگونه به وجود آمده است؟
- ۲ در لحظات ابتدایی مهبانگ چه گذشته است؟
- ۳ آیا کیهان ما تنها جهان موجود است؟
- ۴ ساختار و تحول ستارگان چگونه است؟
- ۵ سیارات چگونه به وجود آمده اند؟
- ۶ آیا منظومه شمسی پایدار است؟
- ۷ ماده تاریک چیست؟
- ۸ انرژی تاریک چیست؟
- ۹ چی هست این سیاهچاله؟
- ۱۰ چه چیزی باعث تورم کیهان آغازین شده است؟
- ۱۱ سرنوشت کیهان چگونه خواهد بود؟
- ۱۲ آیا ما تنها هستیم؟

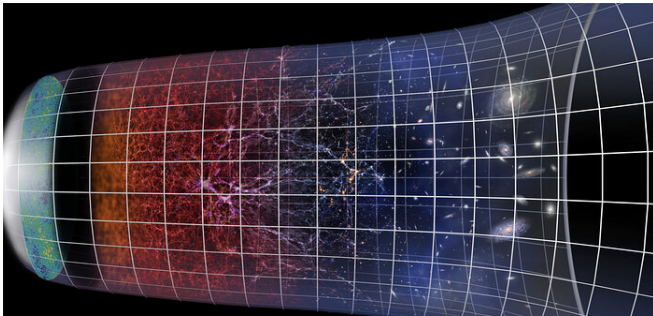
استیون واینبرگ: فیزیک در بحران ها رشد می کند!



درس های کلی در کیهان شناسی

● با گام نهادن در راه شناخت کیهان شما می توانید چیزهای بسیار جذابی بیاموزید:

- ۱ جهان جای عجیبی است، ولی همچنان قابل فهم است.
- ۲ هنوز موارد زیادی برای فهمیدن وجود دارد!
- ۳ تقریباً همه فیزیک در اینجا به کار می آیند (گرانش، الکترومغناطیس، مکانیک آماری، ترمودینامیک، مکانیک کوانتومی، اپتیک و ...).
- ۴ تکنیک ها: مشاهدات، نظریه و محاسبات عددی!
- ۵ فرصت عظیم یادگیری، یاددهی و کارگروهی.



درس های شخصی

● درس های شخصی در کیهان شناسی برای من:

۱ ● من همه چیز را بلد نیستم و قرار هم نیست همه چیز را یاد بگیرم!

۲ ● ولی بهتره هرچه بیشتر یاد بگیرم!

۳ ● کامپیوتر و کد نویسی باحاله، مهمه، کاربردی هم هست!

۴ ● در کیهان شناسی جایی برای تعصب نیست!

۵ ● تاب آوری!



با سپاس از توجه شما

