

ماده و انرژی ی-تاریک - کیهانی

احمد - شریعتی

یک ی از مهم‌ترین یافته‌ها ی-چند سال - اخیر در کیهان‌شناسی این است که کیهان ساخته شده از حدود - 4% ماده ی-باریونی، 23% ماده ی-تاریک، و 73% انرژی ی-تاریک. این نوشته توضیح - مقدماتی ای است درباره ی-فرق - ماده ی-تاریک با انرژی ی-تاریک.

خوب است ابتدا تصویر ی از توزیع - ماده در کیهان داشته باشیم. در کیهان، ماده در ناحیه‌ها یی به نام - کهکشان متمرکز شده است. اندازه ی- کهکشان‌ها از مرتبه ی- 10^{19} - 10^{20} m است. در کیهان حدود - 10^{11} کهکشان هست و اندازه ی- کیهان از مرتبه ی- 10^{26} m است. پس اگر کهکشان‌ها در کیهان به طور - یک‌نواخت توزیع شوند، فاصله ی- میان گین - آن‌ها حدود - 10^{22} m خواهد بود. فاصله ی- بین - کهکشان‌ها (تا آن جا که می‌بینیم) خالی است. یعنی، کیهان ی که می‌بینیم عملاً "خالی" است، به این معنی که ماده ای در آن نمی‌بینیم. در این فضا ی- "خالی" تابش - زمینه ی- کیهانی هست، تابش ی که باقی‌مانده ی- مه‌بانگ است. مقدار ی نوترینو باقی‌مانده از مه‌بانگ هم هست. آیا چیز - دیگر ی هم هست؟ برای - پاسخ به این پرسش باید کم ی کیهان‌شناسی بدانیم.

در نظریه ی- نیوتنی، برای - مشخص کردن - میدان - گرانشی، باید تابع - عددی ای به نام - پتانسیل - گرانشی را تعیین کنیم. این پتانسیل را با نماد - φ نشان می‌دهیم. گرادیان - φ ، شدت - میدان - گرانشی است، و مشتق - این گرادیان (یعنی $\nabla^2 \varphi$) میزان - نایک‌نواختی ی- میدان - گرانشی است. معادله ی- اصلی در گرانش - نیوتنی به شکل - $\nabla^2 \varphi = 4\pi G \rho$ است (G ثابت - گرانش - نیوتن است). در نظریه ی- نسبیت - عام، برای - مشخص کردن - میدان - گرانشی، باید یک ماتریس - 4×4 - متقارن را مشخص کرد. این ماتریس را تانسور - متریک می‌نامند و آن را با نماد - $g_{\mu\nu}$ نشان می‌دهند¹. معادله ی- اصلی ی- نسبیت - عام معادله ی- اینشتین است:

$$G_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^2} T_{\mu\nu}. \quad (1)$$

سمت - راست - این معادله ماتریس - 4×4 ی است موسوم به تانسور - انرژی - تکانه - تنش. عنصر - 00 - این ماتریس، یعنی T_{00} چگالی ی- جرم است. عنصرها ی- دیگر - سطر - صفرم، مؤلفه‌ها ی-

¹ مرسوم است که برای - شمردن - شاخص‌ها ی- این ماتریس‌ها ی- 4×4 از صفر شروع کنیم، و مثلاً می‌گوییم سطر - صفرم، سطر - اول، سطر - دوم، و سطر - سوم.

چگالی ی- تکانه اند؛ و ماتریس 3×3 ی- T_{ij} ، ماتریس یا تانسور- تنش نام دارد. سمت- چپ- معادله ی- اینشتین ماتریس ی است موسوم به تانسور- اینشتین. این ماتریس هم متقارن است. پیش از ادامه ی- بحث خوب است کم ی در تعبیر- فیزیکی ی- تانسور- تنش تأمل کنیم. توده ای از ماده در نظر بگیرید. در هر نقطه از این توده می توان صفحه ای در فضا در نظر گرفت. این صفحه، موضعاً ماده را به دو ناحیه تقسیم می کند: ناحیه های که آن ها را می توانیم چپ و راست- صفحه بنامیم. ناحیه ی- چپ به ناحیه ی- راست نیرویی مثل F وارد می کند، و بنا بر قانون- سوم- نیوتن، ناحیه ی- راست هم نیرو ی- $-F$ را به ناحیه ی- چپ وارد می کند. این نیروها را یک ماتریس 3×3 به نام- تانسور- تنش مشخص می کند، به این ترتیب که مؤلفه ی- i اُم- نیرو ی- وارد بر هر متر- مربع از صفحه ای که عمود بر امتداد- j اُم است، برابر است با T_{ij} . تانسور- تنش را همواره می توان به شکل-

$$T_{ij} = -p \delta_{ij} + S_{ij} \quad \left(\sum_{i=1}^3 S_{ii} = 0 \right) \quad (2)$$

نوشت. p ای که در این جا ظاهر می شود فشار نام دارد. معمولاً فشار مثبت است، اما می تواند منفی هم باشد. مثلاً اگر یک تکه کش را بکشید، در هر نقطه از آن یک کشش هست که چیزی نیست جز یک فشار- منفی.

برای- تعیین- دینامیک- کیهان، باید بدانیم تانسور- انرژی- تکانه- تنش- کل- کیهان به چه شکلی است. این تانسور را در سمت- راست- معادله ی- اینشتین بگذاریم و معادله ی- اینشتین را حل کنیم.

خود- اینشتین، بلافاصله پس از آن که نسبت- عام را کامل کرد، این کار را کرد. فرض ی که کرد این بود که ماده ی- کل- عالم مثل- یک غبار است، یعنی مجموعه ای از ذره ها که عملاً نیرویی به هم وارد نمی کنند. برای- غبار، فشار صفر است و تانسور- انرژی- تکانه- تنش به شکل- بسیار ساده ای است: $T_{00} = \rho$ ، و بقیه ی- مؤلفه ها صفر اند. وقت ی اینشتین با این $T_{\mu\nu}$ معادله اش را حل کرد، دید که حل ی که به دست می آورد ایستا نیست. در این حل، یا کیهان در حال- انبساط است، یا در حال- انقباض. اینشتین از این رفتار خوش اش نیامد، و برای- این که یک حل- ایستا برای- کیهان به دست آورد، معادله اش را به شکل- زیر تصحیح کرد.

$$G_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^2} T_{\mu\nu}. \quad (3)$$

در این جا λ ثابت ی است به نام- ثابت- کیهان شناختی. اگر برای- λ یک مقدار مثبت فرض کنیم، حل ی به دست می آوریم که ایستا است. اینشتین این حل را به دست آورد، و از آن راضی بود، تا این که با کارها ی- هایل مشخص شد که جهان در حال- انبساط است. آن وقت اینشتین جمله ی- کیهان شناختی را دور انداخت، و گفت که افزودن- این جمله بزرگترین اشتباه- زنده گی اش بوده.

اگر جمله ی کیهان‌شناختی را حذف کنیم، می‌بینیم که آهنگ - انبساط - کیهان را جرم - کیهان معین می‌کند. یک جرم - بحرانی هست، که اگر جرم - کیهان بیش از آن باشد، انبساط نهایتاً متوقف خواهد شد، و پس از آن کیهان شروع به کوچک شدن می‌کند. اگر جرم - کیهان از این جرم - بحرانی کم‌تر باشد، انبساط تا ابد ادامه خواهد داشت. در چند سال - اخیر معلوم شده که جرم - کیهان خیل ی به این جرم - بحرانی نزدیک است. اما آن چه در کیهان می‌بینیم، یعنی کهکشان‌ها، جرم شان خیل ی کم‌تر از این حد است. تفاوت - جرم - بحرانی (که به دلایل ی می‌دانیم جرم - کیهان آن قدر است) با جرم - ماده ی - روشن (یعنی ماده ای که می‌توانیم آن را ببینیم) باید چیزی باشد که آن را جرم - تاریک می‌نامیم. در سال 1998 این تصویر تا حدود ی عوض شد. در این سال، معلوم شد که کهکشان‌ها ی - دوردست با سرعت ی بیش از آن چه از معادله ی - اینشتین بر می‌آید از ما دور می‌شوند. یک مدل برا ی - این انبساط - فزاینده این است که فرض کنیم کیهان مملو از ماده ای است تاریک و عجیب. تاریک به این معنی که آن را نمی‌بینیم، عجیب به این معنی که فشار - این ماده منفی است. منظور از انرژی ی - تاریک این ماده ی - تاریک - عجیب است.

در این جا خوب است به این نکته توجه کنیم که می‌توان جمله ی - کیهان‌شناختی را به سمت - راست - معادله ی - اینشتین برد. در این صورت جمله ی - کیهان‌شناختی، درست شبیه - تانسور - انرژی - تکان - تنش - ماده ای است که فشار اش منفی است². عکس - این حرف هم درست است، به این معنی که اگر کیهان از ماده ای پر شده باشد که فشار اش منفی است، تأثیری که این ماده بر دینامیک - کیهان دارد، درست مثل - تأثیری است که افزودن - یک ثابت - کیهان‌شناختی دارد. با وجود - شباهت - انرژی ی - تاریک با ثابت - کیهان‌شناختی، کیهان‌شناس‌ها این دو را از هم متمایز می‌دانند، زیرا ثابت - کیهان‌شناختی دینامیک ندارد، یعنی λ با گذشت - زمان تغییر نمی‌کند؛ اما انرژی ی - تاریک باید از چیزی ساخته شده باشد که دینامیک دارد. مدل‌ها ی - مختلف ی - برای - انرژی ی - تاریک ارائه شده. در برخی از این مدل‌ها ماده، یا ذره، یا میدان - جدید ی موسوم به «عنصر - پنجم» معرفی می‌شود.

شاهد - انرژی ی - تاریک

چیزی که باعث شده غالب - فیزیک‌پیشه‌ها فرض - انرژی ی - تاریک را جدی بگیرند این است که سه شاهد - مختلف برا ی - وجود - آن هست.

شاهد - اول آهنگ - انبساط - کیهان است. منظور از انبساط - کیهان این است که کهکشان‌ها ی - دوردست با سرعت ی که متناسب است با فاصله ی - آن‌ها از ما، از ما دور می‌شوند، به این ترتیب که اگر کهکشان ی در فاصله ی - r از ما باشد، با سرعت $v = Hr$ از ما دور می‌شود. در این فرمول H ثابت - هابل نام دارد. سرعت - دور شدن - کهکشان‌ها ی - دوردست را به ساده گی می‌توان با سنجیدن -

² اگر λ مثبت باشد، اما اگر λ منفی باشد، این جمله شبیه - تانسور - انرژی - تکان - تنش - ماده ای است با چگالی ی - جرم - منفی و فشار - مثبت.

انتقال به سرخ - خط‌ها ی- طیفی ی- آن‌ها به دست آورد. معلوم شده که آهنگ - انبساط - کیهان فزاینده است، یعنی H ثابت نیست. این را از مشاهده ی- تعداد - زیاد ی ابرنواختر در کهکشان‌ها ی- دوردست می‌دانیم. ابرنواخترها ستاره‌ها ی- پرچم ی هستند که در نتیجه ی- فرایند ی هسته ی- مرکزی ی- آن‌ها فرو می‌رُمد، و لایه‌ها ی- بیرونی ی- آن‌ها به بیرون پرت می‌شود. ابرنواخترها از شدیدترین انفجارها یی هستند که در کیهان می‌بینیم. فیزیک‌پیشه‌ها توانسته‌اند با ترکیب - نظریه و رصد، درک - نسبتاً خوب ی از انفجار - ابرنواختری پیدا کنند، و از این جا می‌توانند با نگاه کردن به یک ابرنواختر، بگویند که چه مقدار انرژی در چه گستره ی- بسامدی ای گسیل کرده. با این اطلاعات می‌توان دقیقاً تعیین کرد که ابرنواختر - دیده شده چه قدر از ما دور است. از طرف ی، با نگاه کردن به طیف - نوری که از ابرنواختر می‌آید، می‌توان به ساده‌گی انتقال به سرخ - کیهانی ی- آن را سنجید، و از فرمول - هابل ی- انتقال به سرخ فاصله ی- آن را به دست آورد. پس ابرنواخترها این امکان را می‌دهند که فاصله شان را به دور روش بسنجیم: یک ی با سنجیدن - شدت - نوری که از آن‌ها می‌گیریم، دیگری با استفاده از انتقال به سرخ - طیف - شان. مسئله این است که این دو فاصله با هم نمی‌خوانند. یا باید بپذیریم که ابرنواخترها هر چه از ما دورتر اند کم‌قدرت‌تر اند، یا بپذیریم که H ثابت نیست³. برای ی- آن که H ثابت نباشد، باید فرض کنیم در کیهان مقدار ی ماده ی- عجیب هست که فشارش منفی است. این فشار - منفی است که باعث - انبساط - فزاینده ی- کیهان می‌شود، زیرا در معادله ی- اینشتین آن چیزی که انبساط یا انقباض - کیهان را تعیین می‌کند $\rho + p/(3c^2)$ است. حال اگر p آن قدر منفی باشد که $\rho + p/(3c^2)$ منفی باشد، مثل - این است که کیهان از ماده ای پُر شده که جرم اش منفی است، و این منجر به یک نیرو ی- پادگرانش یا پادجاذبه می‌شود⁴.

شاهد - دوّم نقشه ی- دقیق ی است که اخیراً از تابش - زمینه ی- کیهانی تهیه شده است، و شاهد - سوّم نقشه ای است که از تراکم - کهکشان‌ها تهیه شده. در این جا وارد - بحث - این روش‌ها نمی‌شویم.

برای مطالعه ی- پیش‌تر

در مورد - انبساط - فزاینده ی- کیهان و انرژی ی- تاریک:

[1] Saul Perlmutter: Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe;

Physics Today, vol. 56, no. 4, pp. 53-59, (Apr 2003)

³ فعلاً پیش‌تر - فیزیک‌پیشه‌ها این راه - حل - دوّم را جدّی گرفته‌اند، البته هستند فیزیک‌پیشه‌ها یی که در مورد - امکان - اوّل پژوهش می‌کنند. حرف - این‌ها این است که وقت ی ما به کهکشان‌ها ی- دوردست می‌نگریم، در واقع به زمان - گذشته می‌نگریم (این حرف کاملاً درست است). حال اگر ثابت‌ها ی- فیزیک، مثلاً ثابت - ساختار - ریز ($\alpha \approx 1/137$) واقعاً ثابت نباشد، آن وقت این امکان هست که شدت - انفجار - ابرنواخترها در گذشته‌ها ی- دور کم‌تر بوده باشد.

⁴ ذکر - این تذکر هم به جا است که این نیرو در واقع همان نیرو ی- گرانش است، اما چون به جا ی- آن که جاذبه باشد، دافعه است، آن را پادگرانش می‌نامیم.

- [2] Eric Linder: On the trail of dark energy; *CERN Courire*, vol. 43, no. 7, pp. 23-25 (Sep 2003)

در مورد تابش زمينه ی کیهانی و اطلاعات ی که در آن نهفته است:

- [3] Robert R. Caldwell, Marc Kamionkowski: Echoes from the Big Bang; *Scientific American*, vol. 284, no. 1, pp. 28-33 (Jan 2001).
- [4] Charles Bennett, Gary F. Hinshaw, Lyman page: A Cosmic Cartographer; *Scientific American*, vol. 284, no.1, pp. 34-35 (Jan 2001).

ترجمه ی این دو مقاله را می‌توانید در مجله فیزیک، سال ۱۹، شماره ۱ و ۲، بهار و تابستان ۱۳۸۰، صص. ۳۲ تا ۳۹ بخوانید.

در مورد نقشه ی دقیق تابش زمينه ی کیهانی:

- [5] Bertram Schwarzschild: WMAP Spacecraft Maps the Entire Cosmic Microwave Sky With Unprecedented Precision; *Physics Today*, vol. 56, no. 4, pp. 21-22, 24 (Apr 2003)

مسئله ی 1) منجم ی یونانی به نام آریستارخوس¹⁾ در نیمه ی نخست قرن سوم پیش از میلاد، با استفاده از اطلاعات زیر، تخمین ی از نسبت‌ها ی R_{\oplus}/R_m و D/R_{\oplus} به دست آورد - R_{\oplus} شعاع زمین، R_m شعاع ماه، و D فاصله ی ماه از زمین است.

1) قطر ظاهری ی ماه و خورشید، هر دو، تقریباً نیم درجه است.

2) خورشید خیل ی دورتر از ماه است.

3) ماه گرفته گی قرار گرفتن ماه در سایه ی زمین است.

4) در ماه گرفته گی ی کامل، برای حدود یک ساعت، ماه اصلاً دیده نمی‌شود.

5) وضعیت نسبی ی زمین - ماه - خورشید با دوره ی تناوب تقریباً 30 روز تکرار می‌شود.

با استفاده از اطلاعات بالا، نسبت‌ها ی R_{\oplus}/R_m و D/R_{\oplus} را تخمین بزنید.

¹⁾ Aristarchus (c. 310 - 230 BC)