

ثوابت بنیادین در فیزیک مانند سرعت نور و ثابت گرانشی، معمولاً در زمان و مکان ثابت در نظر گرفته می‌شوند. یعنی مقدار آنها با انبساط جهان تغییر نمی‌کند. ثابت‌ها، تعیین‌کننده تمام ویژگی‌ها و رفتارهای کیهان بوده و تغییر آنها منجر به شکل‌گیری جهانی با ویژگی‌های فیزیکی جدید می‌شود. ثوابت فیزیک در کیهان در حال انبساط همواره یک چالش تحقیقی بوده که در این راستا، مدل‌هایی وجود دارند که نشان می‌دهند این ثوابت در طول زمان به دلیل تغییر شرایط در کیهان متغیر می‌باشند؛ اما این نظریات تاکنون مورد پذیرش عموم دانشمندان قرار نگرفته است. نیروهای بنیادین در کیهان نیز فعل و انفعالاتی هستند که نحوه رفتار ماده و انرژی را در ابتدایی‌ترین سطح اداره می‌کنند. به عنوان مثال میدان گرانشی که ثابت جهانی گرانش را در پی دارد، اثر خود را در ساختارهای بزرگ کیهان به وضوح نشان می‌دهد. طبق نظریه نسبیت عام، گرانش نتیجه انحنای فضا-زمانی است که توسط جرم و انرژی ایجاد شده است. همچنین، گرانش با نوع خاصی از ماده در کیهان به نام ماده تاریک برهم‌کنش می‌کند. در واقع از دیدگاه کیهان‌شناسان تصور می‌شود که این نوع ماده، از ذرات بنیادین فرضی تشکیل شده است که از خود، تشعشعات الکترومغناطیسی مانند نور ساطع نمی‌کند و از طریق اثرات گرانشی آن بر ماده مرئی و ساختار بزرگ مقیاس جهان قابل تشخیص است. در کیهان‌شناسی رایج، انرژی تاریک نیز می‌تواند به عنوان یک ثابت کیهانی در نظر گرفته شود و در تعریف کلی ویژگی خود فضا می‌باشد که فشار منفی ثابتی دارد و بر خلاف گرانش باعث انبساط شتابدار کیهان می‌شود. این انرژی یک کمیت دینامیکی است که می‌تواند در زمان و مکان متفاوت، متغیر باشد. اما کیهان‌شناسی شعوری برای فضا، ویسکوزیته تعریف کرده و آن را ثابت در نظر نمی‌گیرد. به عبارتی این دیدگاه گرانش را حاصل انقباض فضا (ویسکوزیته فضا) می‌داند که توسط جرم ماده روشن (معمولی) در پیرامون آن ایجاد می‌شود. از طرفی نیز این دیدگاه با معرفی انواع ماده تاریک (جامدگونه، مایع‌گونه، گازگونه) بیان می‌کند که ماده تاریک، مقدار بالایی از ویسکوزیته فضا در اطراف اجسام پرجرم و یا کهکشان‌ها می‌باشد که آنها را دربر گرفته است. در نتیجه ماده تاریک، ویسکوزیته بالا و انرژی تاریک، ویسکوزیته کم فضا است. همچنین هر دو ماده و انرژی تاریک نه تنها دارای خاصیت گرانشی می‌باشند بلکه به عنوان نگه‌دارنده اجرام و ساختارهای بزرگ کیهانی نیز عمل می‌کنند. از طرفی انرژی تاریک به خاطر فشار مثبتی که در کیهان کروی ایزوله شده به جهان وارد می‌کند، یکی از عوامل انبساط کیهان به شمار آمده و در این روند، ضد گرانش عمل می‌کند. در نتیجه کیهان‌شناسی شعوری با معرفی ضریب ویسکوزیته فضا، مقدار آن را از بینهایت در سیاهچاله کیهانی تا صفر در لبه نهایی کیهان (آخرین حد واگرد فضا) در نظر می‌گیرد. همچنین این دیدگاه بیان می‌کند که سرعت نور در ویسکوزیته‌های مختلف فضا متغیر است. بدین صورت که ویسکوزیته بالای فضا باعث افزایش فرکانس و کاهش طول موج آن شده که سبب کاهش سرعت نور می‌شود و برعکس. بنابراین به خاطر متغیر بودن ویسکوزیته فضا در کیهان، سرعت نور نیز در نقاط مختلف آن ثابت نیست. این سرعت با رسیدن کیهان به واگرد نهایی به علت رو به صفر رفتن ویسکوزیته فضا، به چندین برابر سرعت محاسبه شده فعلی خواهد رسید. شایان ذکر است در مورد متغیر سرعت نور، در علم رایج نظریات مختلفی وجود دارد که نظریه کیهان‌شناسی شعوری در این مورد با آنها تفاوت‌های عمده‌ای دارد.

**کلیدواژه‌ها:** ثابت‌های بنیادین، ثابت کیهانی، ویسکوزیته متغیر فضا، متغیر سرعت نور، اثر گرانشی انرژی تاریک، فشار مثبت انرژی تاریک، ضریب ویسکوزیته فضا، ماده تاریک جامدگونه-مایع‌گونه-گازگونه.

## ماده تاریک، انرژی تاریک و ویسکوزیته فضا

## مقدمه

در این ویژه‌نامه، بخش دیگری از فرضیات نوین کیهان‌شناسی شعوری همچون ویسکوزیته فضا و اصل تغییر معرفی می‌شود و دیدگاه‌های متمایز این شاخه فکری با اصول مطرح در کیهان‌شناسی رایج مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. تعاریف متفاوت کیهان‌شناسی شعوری در خصوص انرژی تاریک، ماده تاریک، ویسکوزیته فضا و ثوابت بنیادینی مانند سرعت نور و گرانش نیز پس از ارائه، با تعاریف مطرح در فیزیک رایج مقایسه می‌شود.

بخش ابتدایی مقدمه ایست بر ثوابت بنیادین، انرژی تاریک و ماده تاریک از نگاه فیزیک رایج، تا از رهگذر آن بتوان دیدگاه متفاوت کیهان‌شناسی شعوری را در ارتباط با موارد فوق ذکر معرفی نمود. در بخش بعدی، تعاریف ویسکوزیته از نگاه علم رایج ارائه و گستردگی آن در شاخه‌های مختلف از جمله کیهان‌شناسی رایج نشان داده می‌شود و در ادامه، به شرح و بسط فرضیه نوین ویسکوزیته فضا و همچنین مقایسه آن با آنچه در کیهان‌شناسی رایج مطرح است، پرداخته می‌شود. پس از آن نیز ضمن معرفی اصل تغییر، ثوابت بنیادین سرعت نور و گرانش، از دو دریچه کیهان‌شناسی رایج و شعوری مورد بررسی و قیاس قرار می‌گیرد. در بخش پایانی این ویژه‌نامه، به سرنوشت کیهان از منظر کیهان‌شناسی شعوری و به تشابهات یا تمایزات آن با یکی از سناریوهای مطرح در کیهان‌شناسی رایج اشاره می‌شود.

## ثوابت و برهم‌کنش‌های بنیادین در فیزیک

ثوابت بنیادین در فیزیک، کمیت‌هایی هستند که در حال حاضر و به گفته عموم دانشمندان دارای ماهیت جهانی می‌باشند، در تمام کیهان به عنوان یک مقدار ثابت شناخته شده‌اند و در طول زمان تغییر نمی‌کنند. این ثوابت، امکان توصیف و پیش‌بینی پدیده‌های فیزیکی را فراهم می‌آورند و پارامترهایی هستند که به جهت حفظ تناسب ابعاد در معادلات فیزیکی به کار برده می‌شوند. همچنین، برخی از جنبه‌های اساسی طبیعت را که مستقل از قراردادهای اندازه‌گیری‌های انسانی هستند، آشکار می‌نمایند.<sup>۱،۲</sup> از جمله این ثوابت بنیادین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- **سرعت نور در خلاء (C):** حداکثر سرعتی است که هر ذره یا سیگنال الکترومغناطیسی می‌تواند در محیط خلاء داشته باشد و مقدار دقیق آن  $299\,792\,458 \text{ m/s}$  می‌باشد.<sup>۳-۵</sup>

۲- **ثابت گرانشی نیوتن (G):** ضریب تناسبی است که نیروی گرانش بین دو جرم را به هم مرتبط می‌کند. به بیانی نیرویی است که بر اساس اصول مکانیک کلاسیک، به صورت حاصل ضرب آن دو جرم و مجذور فاصله آن‌ها بیان می‌شود و مقدار تقریبی برابر با  $6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  می‌باشد.<sup>۵-۷</sup>

۳- **ثابت پلانک (h):** کوانتا یا کمترین مقدار انرژی برای یک فوتون نور است. این ثابت، انرژی و فرکانس فوتون را به یکدیگر مرتبط می‌کند، و مقدار دقیق آن  $6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J Hz}^{-1}$

می‌باشد.<sup>۳،۴</sup>

۴- **طول پلانک ( $l_p$ ):** کوچکترین یکای اندازه‌گیری طول است، که به طور تقریبی مقداری معادل  $1.616255 \times 10^{-35} \text{ m}$  دارد.<sup>۵،۸</sup>

۴- **زمان پلانک ( $t_p$ ):** زمانی است که نور در محیط خلاء، یک واحد از طول پلانک را طی می‌کند. به عبارت دیگر، زمان پلانک کوتاه‌ترین زمانی است که می‌توان آن را به طور معنادار در فیزیک اندازه‌گیری کرد. مقدار تقریبی آن هم برابر است با  $5.391 \times 10^{-44} \text{ s}$

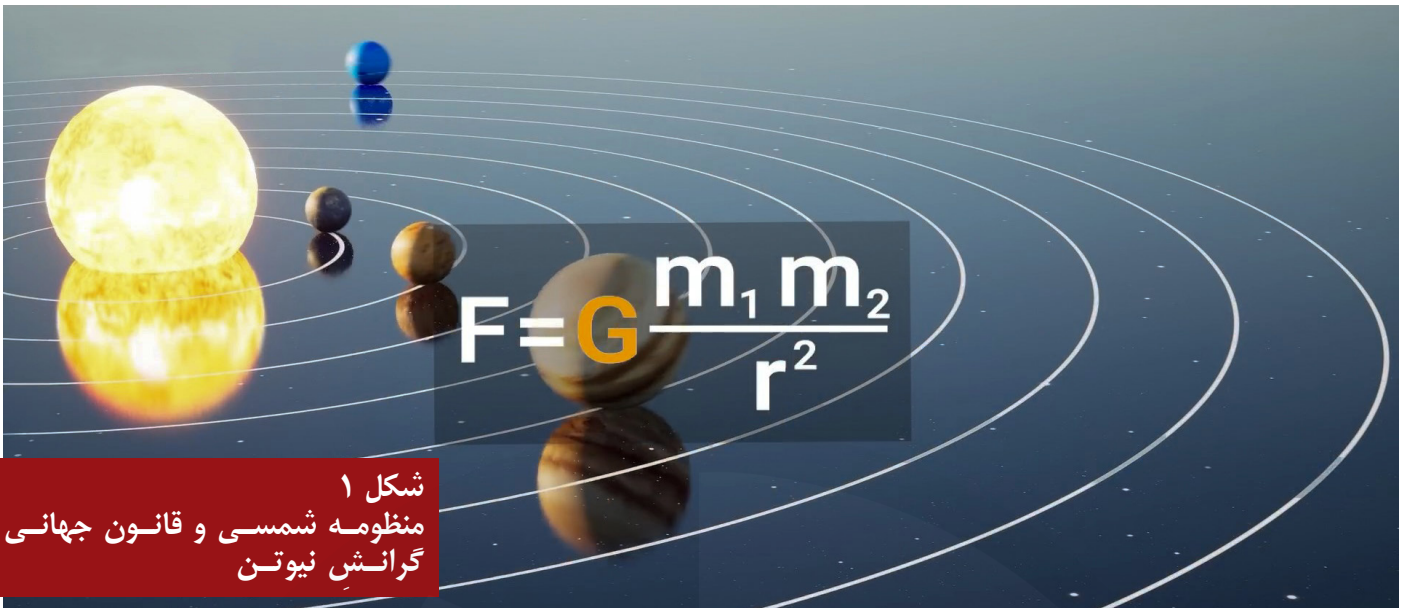
ثوابت بنیادین نه تنها از مفاهیم فیزیکی برخوردارند، بلکه تعیین کننده تمام ویژگی‌های کیهان نیز می‌باشند. اگر این ثوابت در کیهان کنونی مقادیر دیگری داشتند، جهانی جدید با ویژگی‌های فیزیکی جدیدی شکل می‌گرفت. از ترکیب ثوابت بنیادین می‌توان به کمیت‌های فیزیکی دیگری نیز دست یافت. به عنوان مثال، اگر سه ثابت بنیادین، همانند: سرعت نور در خلاء (C)، ثابت پلانک (h) و ثابت جهانی گرانش (G) با یکدیگر ترکیب شوند، زمان پلانک مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:<sup>۵،۸</sup>

$$t_p = \frac{l_p}{c} = \frac{\hbar}{m_p c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 5.391247(60) \times 10^{-44} [\text{s}]$$

در رابطه فوق،  $m_p$  جرم پلانک و  $\hbar$  ثابت پلانک (ثابت کاهیده پلانک) است که بر  $2\pi$  تقسیم شده است.

برهم‌کنش‌های بنیادین در فیزیک نیز مجموعه کنش و واکنش‌هایی هستند که نحوه رفتار ماده و انرژی را تعیین می‌کنند. از جمله این برهم‌کنش‌ها می‌توان به نیروی هسته‌ای قوی، نیروی هسته‌ای ضعیف، الکترومغناطیس و گرانش اشاره کرد. در طبیعت، هر یک از این برهم‌کنش‌های بنیادین، دامنه، بزرگی، قدرت و به طور کلی نقش متفاوتی دارند. به عنوان مثال، گرانش در مقیاس‌های ماکرو اثرات خود را به وضوح نشان می‌دهد، در حالیکه در مقیاس‌های زیر اتمی (و در مقایسه با برهم‌کنش‌های هسته‌ای قوی و ضعیف) اثرگذاری جزئی دارد.<sup>۹</sup>

از میان برهم‌کنش‌های بنیادین فوق ذکر، گرانش در سال ۱۶۸۷ توسط نیوتن، تحت عنوان قانون جهانی گرانش، در کتاب اصول ریاضی فلسفه طبیعی ارائه شد. این قانون، تعامل گرانشی اجرام در فضا را توصیف می‌کند و مسیر حرکت مداری اکثر سیارات را نیز به خوبی پیش‌بینی می‌نماید.<sup>۱۰</sup> براساس این قانون، اجسام، همواره نیرویی بر یکدیگر وارد می‌کنند که با حاصل ضرب جرم دو جسم، نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آن‌ها نسبت عکس دارد. (شکل ۱) قانون جهانی گرانش به شکل امروزی خود، در برگیرنده ثابت جهانی گرانش (G) نیز می‌باشد.<sup>۱۱،۱۲</sup>



**شکل ۱**  
 منظومه شمسی و قانون جهانی  
 گرانش نیوتن

فارغ از جایگاه خود، موقعیت مکانی و زمانی یک رخداد را یکسان اندازه‌گیری می‌کنند، و هیچ چارچوب مرجعی نسبت به چارچوب مرجع دیگری ارجحیت ندارد.<sup>۱۷-۱۹</sup> این موضوع برای فاصله زمانی و مکانی دو رخداد نیز که از چارچوب‌های مختلف نظاره شوند، صادق می‌باشد.

دیدگاه نیوتن، یعنی مطلق در نظر گرفتن فضا و زمان و مستقل دانستن آنها از یکدیگر در محاسبات مربوط به سرعت‌های معمولی کارآمد است، اما در سرعت‌های قابل مقایسه با سرعت نور جوابگو نمی‌باشد. به عنوان مثال، معادلات معروف ماکسول (Maxwell) که بر اساس آن‌ها میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با سرعت C در خلاء حرکت می‌کنند، با فضا و زمان مطلق در مکانیک نیوتنی ناسازگارند.<sup>۱۵،۱۶</sup>

بعدها، هرمان مینکوفسکی (Hermann Minkowski) ریاضیدان آلمانی، با متصل در نظر گرفتن فضا و زمان در یک زنجیره چهاربُعدی و ترکیب کردن سه بُعد آشنا از فضا با بُعد زمان، موفق به فرمول بندی مجدد معادلات ماکسول شد و ناسازگاری این معادلات را با مدل‌های موجود (تبدیلات لورنتس) حل کرد.<sup>۲۰-۱۸</sup> (شکل ۲)

همچنین مدل فضا-زمان مینکوفسکی نسبت خاص انیشتین را که در آن خمش فضا-زمان قابل اغماض است به خوبی توصیف می‌کند، چرا که بستر فضا-زمان در این مدل هندسی (نسبیت خاص) تخت در نظر گرفته می‌شود. اما در شرایط خمش فضا-زمان و گرانش ناشی از این خمش که در نسبیت عام انیشتین مطرح است، مدل فضا-زمان مینکوفسکی به طور عام کارآمد نمی‌باشد و به طور محلی و تقریبی قابل استفاده است.<sup>۲۴-۲۱</sup>

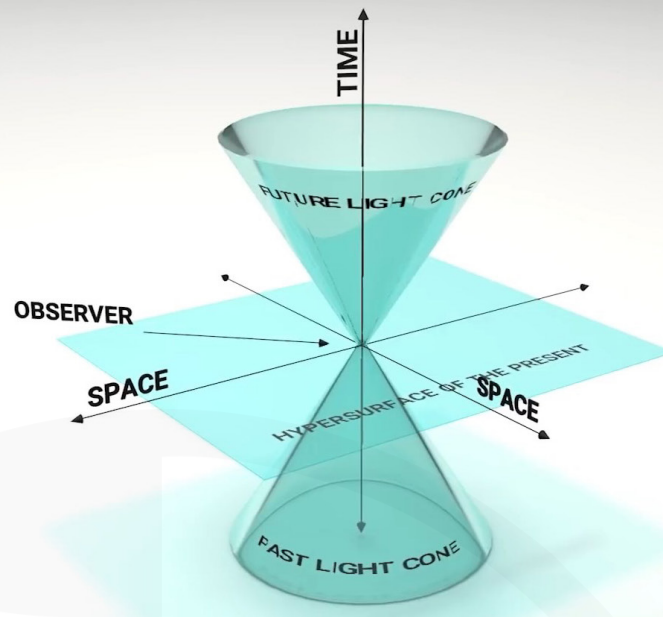
## گرانش و فضا-زمان: از مکانیک کلاسیک تا نظریه نسبیت

نیوتن علاوه بر معرفی گرانش که در بخش قبلی اشاره شد، تصویر منحصر به فردی از مفاهیم مهمی همچون فضا، زمان، نیرو و حرکت را نیز در کتاب معروف اصول ریاضی فلسفه طبیعی خود ارائه داد.<sup>۱۱،۱۲</sup> به طوریکه با وجود گذشت ۳۰۰ سال، این اصول کماکان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند، و از پایه‌های اصلی مکانیک کلاسیک برای توصیف حرکت به شمار می‌روند. به عنوان مثال، استقرار ماهواره‌ها و سفینه‌های فضایی در مدار زمین یا در مدار سایر سیارات، بر اساس قوانین حرکت نیوتن انجام می‌شوند. این قوانین همچنین بسیاری از رویدادهای فیزیکی مانند خسوف، کسوف و غیره را با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کنند.<sup>۱۰</sup>

مفهوم رویداد در فیزیک به ساده‌ترین پدیده فیزیکی نسبت داده می‌شود که در یک نقطه مشخص در فضا و در یک زمان مشخص، رخ می‌دهد.<sup>۱۴</sup> موقعیت مکانی و زمانی هر رویدادی نیز نسبت به چارچوب مرجعی<sup>۱۵</sup> که ناظر در آن به مشاهده یک رخداد می‌پردازد، تعریف می‌گردد. در مکانیک کلاسیک، موقعیت مکانی چارچوب مرجع با اتکا به هندسه اقلیدسی و استفاده از دستگاه مختصات معروف سه بعدی کارترین توصیف می‌شود، و موقعیت زمانی نیز با نسبت دادن یک ساعت مشخص به چارچوب مرجع بیان می‌شود. همچنین، ناظر می‌تواند در حین نظاره یک رخداد، در حالت سکون باشد و یا با سرعت یکنواختی حرکت کند.<sup>۱۶</sup> از آنجاییکه در دیدگاه نیوتن فضا و زمان به عنوان دو مفهوم مطلق و مجزا در نظر گرفته می‌شوند، مکان و زمان یک رخداد، مستقل از سرعت ناظر (سرعت حرکت چارچوب مرجع) می‌باشد. به عبارت دیگر، ناظران مختلف،



H. Minkowski

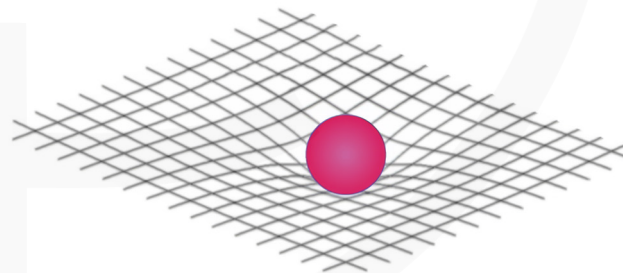


شکل ۲  
پرتوهای از هرمان مینکوفسکی و مدل چهار بعدی فضا-زمان او  
Credits for the 4D space-time: K. Aainsqatsi, CC BY-SA 3.0

در این رابطه،  $G_{\mu\nu}$  تانسور انیشتین،  $\Lambda$  ثابت کیهان‌شناختی،  $g_{\mu\nu}$  تانسور متریک و  $T_{\mu\nu}$  تانسور ضربه-انرژی هستند. همچنین، همانطور که مشاهده می‌شود، ثابت جهانی گرانش نیوتن ( $G$ ) نیز در معادلات میدانی مربوط به این نظریه، به عنوان ضریب تناسب به کار برده شده است که در بخش‌های آتی این ویژه‌نامه بیشتر به آن اشاره خواهد شد. (شکل ۳)

بر خلاف دیدگاه نیوتن که در آن، گرانش به عنوان یک نیروی متقابل میان اجرام در نظر گرفته می‌شود، در نسبیت عام انیشتین، گرانش تابعی هندسی و پیامدی از خمش فضا-زمان می‌باشد. این خمش نیز خود از توزیع نامتوازن جرم و انرژی نشات می‌گیرد.<sup>۲۲،۲۳</sup> نسبیت عام انیشتین با معادله میدانی زیر تعریف می‌شود:<sup>۱۴،۲۵</sup>

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

شکل ۳  
تصویری انتزاعی از خمش فضا-زمان در اثر توزیع جرم طبق معادله میدانی نسبیت عام انیشتین و وابستگی آن به ثابت جهانی گرانش ( $G$ )

جدیدی به درک ساز و کار کیهان باز می‌کند. اما پیش از آنکه بتوان به تاثیر این ثوابت بنیادین بر رفتار کیهان پرداخت و مفاهیم مهم فضا و زمان را از نگاه کیهان‌شناسی شعوری مورد بررسی قرار داد، ابتدا لازم است دو مبحث مهمی را که کیهان‌شناسان با آن مواجه هستند، توضیح داد: یکی انرژی تاریک و دیگری ماده تاریک در کیهان.

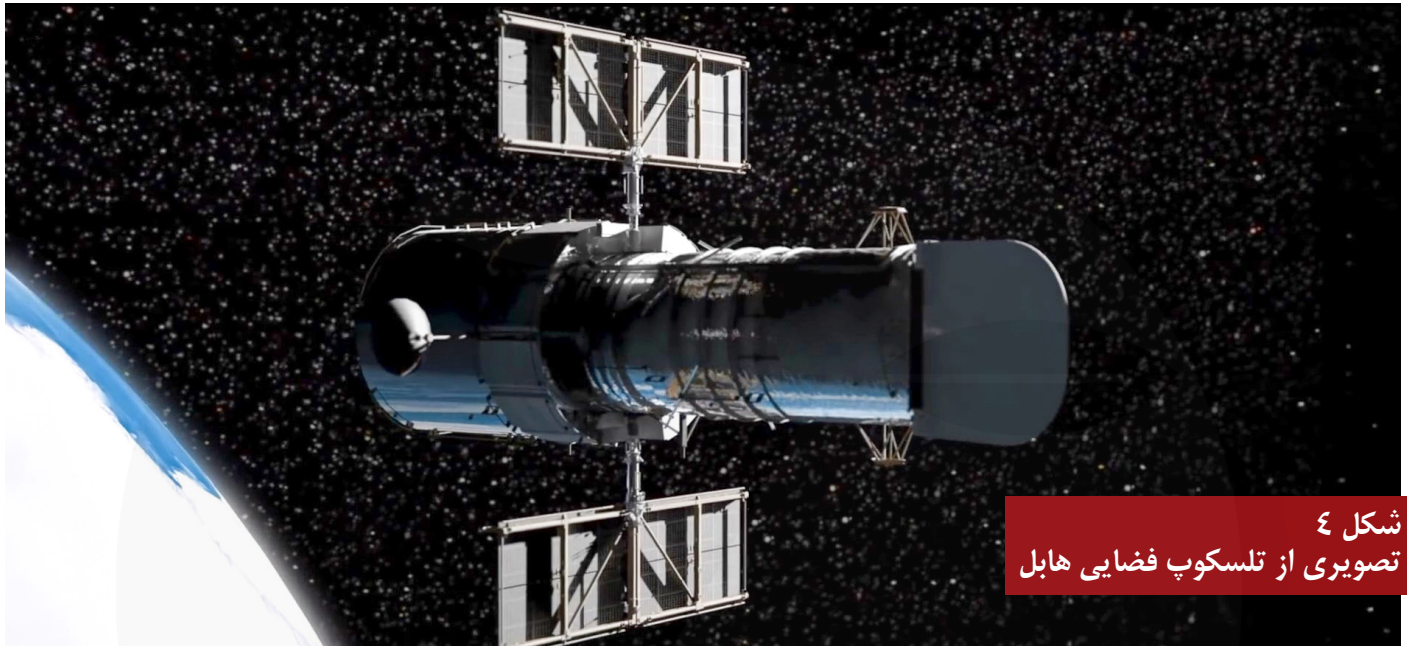
پس از اشاره اجمالی به ثوابت بنیادین و مفاهیم فضا، زمان و گرانش، اکنون می‌توان آن‌ها را از دریچه کیهان‌شناسی شعوری مورد بررسی قرار داد. همانطور که در مقدمه این ویژه‌نامه گفته شد، این شاخه نوین، با ارائه فرضیات جدید، تعاریف متفاوتی از ثوابت بنیادین در فیزیک همچون سرعت نور در خلاء، گرانش، فضا، زمان و تاثیر آنها بر دینامیک کیهان ارائه می‌دهد که این تعاریف با آخرین نظریات پذیرفته شده در علم رایج تفاوت‌هایی دارد و زاویه

## انرژی تاریک و ماده تاریک از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج

### انرژی تاریک

در اواخر دهه ۱۹۰۰، گروهی از دانشمندان با رصدهایی که توسط تلسکوپ فضایی هابل (شکل ۴) از ابرنواخترهای بسیار دور انجام دادند، دریافتند که کیهان با نرخ شتابدار و فزاینده‌ای در حال انبساط است.<sup>۲۶-۲۸</sup> این موضوع برای جامعه نجوم و کیهان‌شناسی

بسیار حیرت آور و به دور از انتظار بود، چرا که با توجه به گرانش موجود در میان اجزای کیهان، هدف ابتدایی از این رصدها، یافتن نرخی بود که بر اساس آن روند انبساط کیهان رو به کاهش می‌گذارد. دانشمندان این مشاهدات غیر منتظره خود یعنی انبساط شتابدار کیهان را، به نوع مفروض و ناشناخته‌ای از انرژی به نام انرژی تاریک نسبت دادند که ضد گرانش عمل می‌کند و آن را در مدل استاندارد کیهان‌شناسی نیز لحاظ کردند.<sup>۲۹</sup>



شکل ۴  
تصویری از تلسکوپ فضایی هابل

با سرعت فزاینده‌ای از هم جدا می‌کند و یا به عبارتی منجر به انبساط شتابدار کیهان می‌شود.<sup>۳۰</sup> از این رو، انرژی تاریک علاوه بر آنکه با ثابت کیهان‌شناختی معادل در نظر گرفته شده است، به عنوان انرژی خلاء نیز شناخته می‌شود. (شکل ۵)

۲- انرژی تاریک در برخی از مدل‌ها به عنوان صورت جدیدی از یک میدان اسکالر بنیادین تعریف می‌شود، که کیهان را فرا گرفته و منجر به انبساط شتابدار آن می‌شود؛ یعنی کمیت دینامیکی که بر خلاف ثابت کیهان‌شناختی (Λ) می‌تواند با زمان و مکان تغییر کند. این نوع میدان بنیادین (quintessence) نامیده می‌شود.<sup>۳۲-۳۹</sup>

۳- انرژی تاریک همچنین می‌تواند با ذرات فرضی به نام تاقیون‌ها (tachyons) که با سرعتی بیش از سرعت نور حرکت می‌کنند، معادل باشد.<sup>۴۰</sup> در واقع، در مدل‌های کیهان‌شناسی که بر مبنای این ذرات فرضی ارائه می‌شوند، انبساط شتابدار کیهان با انرژی تاریکی که منشأ آن تاقیون‌ها است، فیت می‌شود.

۴- در دسته دیگری از مدل‌ها، انرژی تاریک به عنوان سیال خاصی (با نام گاز چاپلیگین (Chaplygin gas)) در نظر گرفته می‌شود، که با فشار منفی‌ای که دارد، عاملی برای انبساط شتابدار کیهان

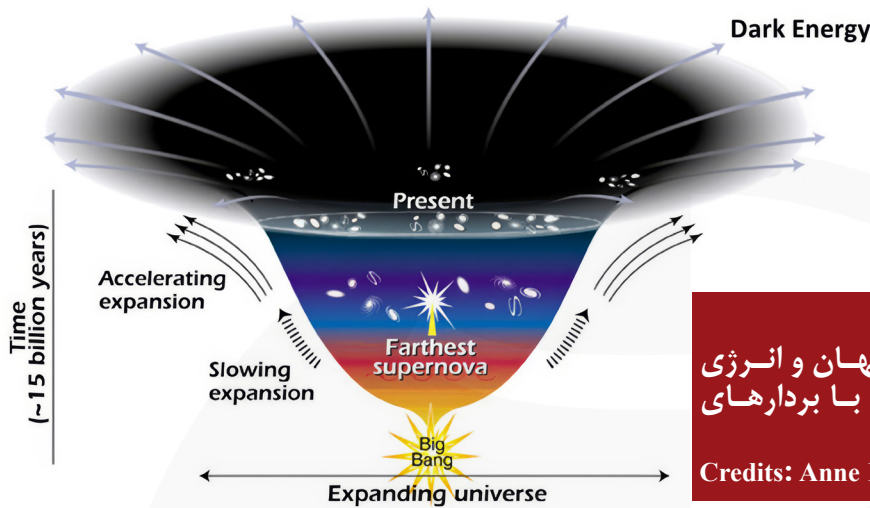
بر اساس محاسبات آماری، انرژی تاریک حدود ۶۸٪ از انرژی کل کیهان را تشکیل می‌دهد<sup>۳۲-۳۳</sup> و با وجودی که ماهیت این نوع از انرژی کماکان مشخص نیست، در مدل‌های مختلف، برای توصیف آن تعاریف متفاوتی ارائه شده است<sup>۳۳،۳۴</sup> که در زیر به مهم‌ترین آن‌ها اشاره اجمالی می‌شود:

۱- در مدل استاندارد کیهان‌شناسی، انرژی تاریک معادل با ثابت کیهان‌شناختی (Λ) در نظر گرفته می‌شود، که انیشتین آن را در سال ۱۹۱۷ و بر اساس این ایده که موقعیت اجرام در کیهان توسط یک نیروی ناشناخته ثابت نگه داشته می‌شود، در معادلات میدانی نسبیت عام خود لحاظ کرد.<sup>۳۵</sup> این ثابت بسیار کوچک است (حدوداً برابر با  $10^{-52}$  متر مربع<sup>۳۱</sup>)، فشار منفی ثابتی دارد و ویژگی ذاتی از فضا می‌باشد. همچنین، همانند کارکردی که به انرژی تاریک نسبت داده می‌شود، این ثابت نیز می‌تواند ضد گرانش عمل کند.

اما منظور از "ویژگی ذاتی فضا" چیست؟ اگر در کیهان، به فضای خلاء، چگالی انرژی ثابت و غیر صفری نسبت داده شود، در شرایطی که چگالی ماده موجود در کیهان از چگالی خلاء کمتر باشد، فضای خلاء می‌تواند ضد نیروی گرانش عمل کند و باعث کشیده شدن بافت فضا-زمان شود که در این صورت اجرام موجود در کیهان را

۵- انرژی تاریک برای رفع تنش موجود میان پارامترهای مورد استفاده در مدل استاندارد کیهان‌شناسی که در سال‌های اخیر و به دلیل افزایش دقت در محاسبات ایجاد شده، به عنوان سیال دینامیکی در نظر گرفته می‌شود که با ماده تاریک برهم‌کنش دارد.<sup>۴۳،۴۴</sup>

به شمار می‌آید. یکی از انگیزه‌های ارائه چنین مدل‌هایی، رفع مشکلات مربوط به تنظیم دقیق میادین اسکالر بوده که پیش‌تر برای توصیف انرژی تاریک استفاده شده است.<sup>۴۱،۴۲</sup>



### شکل ۵

انبساط شتابدار کیهان در دوره فعلی کیهان و انرژی تاریک به عنوان عامل پیشران آن، که با بردارهای طوسی رنگ نشان داده شده است.

Credits: Anne Field, public domain

فريتز زویکی (Fritz Zwicky)، ستاره‌شناس سوئیسی، یکی از اولین افرادی بود که وجود ماده تاریک را استنباط کرد. وی در سال ۱۹۳۳ مشاهده کرد که کهکشان‌های متعلق به خوشه کوما (COMA) نسبت به یکدیگر سریعتر از حدی که بر اساس محاسبات انتظار می‌رود حرکت می‌کنند. به طوریکه این کهکشان‌ها باید خیلی پیش‌تر از زمان رصد، از یکدیگر جدا می‌شدند. همچنین، جرم مرئی قابل مشاهده در این خوشه و نیروی گرانش ناشی از آن بسیار کمتر از آن بود که بتواند مانع از جدایی این کهکشان‌ها از یکدیگر شود. بنابراین، زویکی به این نتیجه رسید که احتمالاً باید مقداری «جرم نامرئی» یا همان «ماده تاریک» وجود داشته باشد تا کهکشان‌های این خوشه را در کنار هم نگه دارد.<sup>۴۶</sup> (شکل ۶)

### ماده تاریک

ماده تاریک، فرم ناشناخته‌ای از ماده است که در مدل استاندارد کیهان‌شناسی (ΛCDM)، حدود ۲۶٪ از جرم-انرژی موجود در کیهان را به خود اختصاص می‌دهد.<sup>۳۰-۳۲</sup> ماده تاریک، بر خلاف ماده معمولی شناخته شده در کیهان (ماده مرئی)، هیچ نوع برهم‌کنشی با نور (امواج الکترومغناطیسی) ندارد و از این رو «تاریک» خوانده می‌شود. به عبارتی ماده تاریک نور را نه ساطع و نه جذب می‌کند.<sup>۴۵</sup>



### شکل ۶

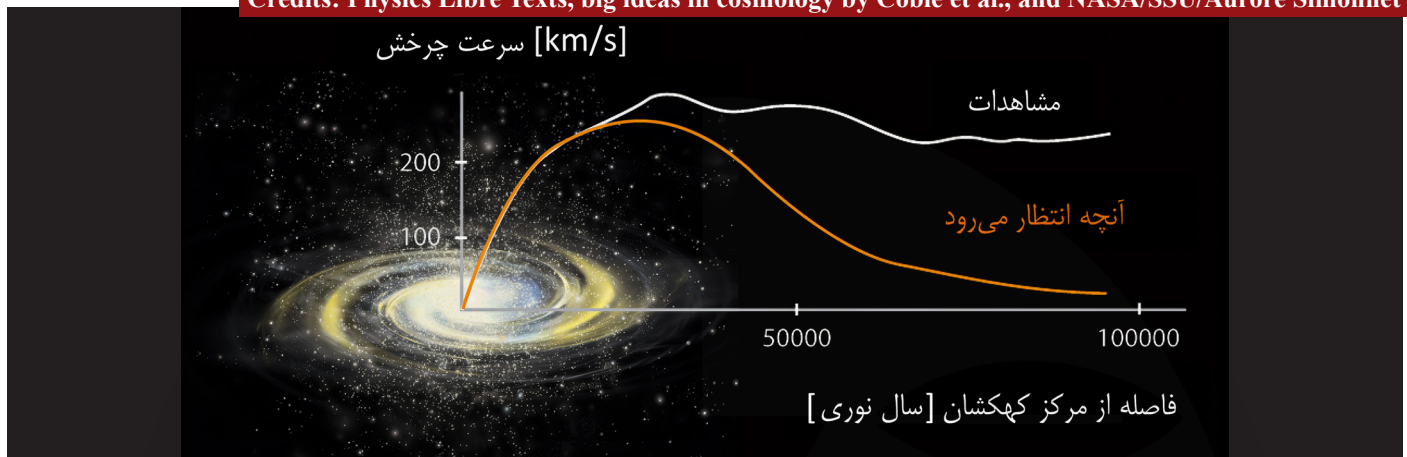
خوشه کهکشانی کوما که تا به حال حدود هزار کهکشان در آن شناخته شده است.

Credits: NASA / JPL-Caltech / L. Jenkins (GSFC), public domain

چرخش کهکشان‌ها با فاصله از مرکز کاهش نمی‌یابد و دارای مقدار تقریباً ثابتی می‌باشد. بنابراین به این نتیجه رسیدند که جرم، در نواحی بیرونی کهکشان‌ها باید بیشتر از آن چیزی باشد که با نور، قابل رصد است. <sup>۴۷،۴۸</sup> (شکل ۷)

ایده‌ی زویکی تا دهه ۱۹۷۰ به طور گسترده پذیرفته نشد. در این دوره، ستاره‌شناسان متعددی از جمله ورا روبین (Vera Rubin) و کنت فورد (Kent Ford)، به بررسی منحنی‌های مربوط به چرخش کهکشان‌ها و سرعت آن‌ها پرداختند و دریافتند که نتایج حاصله، با قوانین حرکت نیوتن مطابقت ندارد. یعنی بر خلاف انتظار، سرعت

**شکل ۷**  
 منحنی چرخش یک کهکشان. بر اساس مشاهدات، اجزای یک کهکشان، صرف نظر از دوری یا نزدیکی، با سرعت تقریباً ثابتی حول مرکز می‌چرخند.  
 Credits: Physics Libre Texts, big ideas in cosmology by Coble et al., and NASA/SSU/Aurore Simonnet

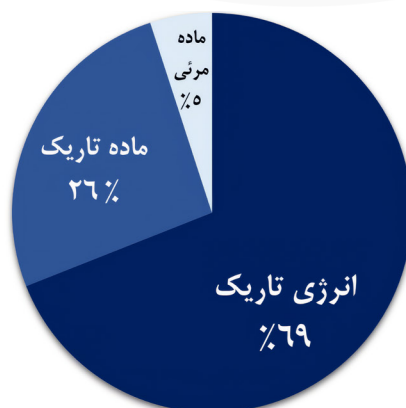


مربوط به منحنی چرخش کهکشان‌ها نیز نشان می‌دهد که تقریباً ۸۰٪ از جرم یک کهکشان، غیرقابل رویت است. <sup>۴۵،۵۱</sup> در نتیجه برای ردیابی این جرم نامرئی، دانشمندان در پی یافتن روش‌های نوینی هستند تا بتوانند ماده تاریک را به واسطه اثراتی که بر نوسانات گرانشی می‌گذارد، تشخیص دهند. <sup>۴۵،۵۲-۵۴</sup>

از دیگر دلایل مهم مطرح کردن وجود ماده تاریک، مشاهدات مربوط به تابش پس زمینه کیهانی <sup>۵۵،۵۶</sup> (CMB) می‌باشد. تابش پس‌زمینه کیهان، تابشی در محدوده ریزموج (Microwave) است که به گفته دانشمندان، اطلاعاتی از دوره نوترکیبی کیهان (Recombination epoch) را در اختیار ما قرار می‌دهد. اطلاعات این تابش، پراکندگی یکنواختی از ماده مرئی را در آغاز کیهان به نمایش می‌گذارد. اما چنین یکنواختی نمی‌تواند منجر به ساختار منسجم کهکشان‌های امروزی شود، مگر آنکه مقدار قابل توجهی ماده تاریک با گرانش فوق‌العاده زیاد خود بتواند شکل‌گیری کهکشان‌ها را تسریع کند. <sup>۴۵،۴۹،۵۷-۶۲</sup> (شکل ۸)

معمولاً جرم مرئی و قابل رصد، در مرکز یک کهکشان متمرکز می‌شود، و بنابر اصول حرکت در مکانیک نیوتنی و قوانین کپلر، ستارگان یا اجرامی که از این مرکز دورتر هستند، باید سرعت مداری کمتری داشته باشند. حرکت مداری سیارات، اقمار و غیره در منظومه شمسی از این اصول به خوبی تبعیت می‌کنند. اما همانطور که پیش‌تر اشاره شد، چرخش اجزای یک کهکشان حول مرکز جرم آن با قوانین حاکم بر حرکت در مکانیک نیوتنی سازگاری ندارد. به عبارت دیگر، اجرام موجود در یک کهکشان، از دورترین تا نزدیکترین آنها، با سرعت تقریباً ثابتی حول مرکز جرم آن کهکشان می‌چرخند. در نتیجه، برای جلوگیری از نقض قوانین حرکت، وجود «جرم گمشده»، «جرم نامرئی» یا همان «ماده تاریک» پیشنهاد شد. <sup>۳۶،۴۶،۴۸،۴۹</sup>

با وجودی که ماده تاریک با امواج الکترومغناطیسی برهم‌کنشی ندارد، و از طریق ابزارهای معمولی سنجش قابل تشخیص نیست، اما می‌تواند با ماده مرئی تعامل گرانشی داشته باشد. <sup>۵۰</sup> داده‌های



**شکل ۸**  
 میزان کل جرم-انرژی تشکیل دهنده کیهان، در مدل استاندارد کیهان‌شناسی و بر اساس داده‌های منتشر شده در منبع ۳۰

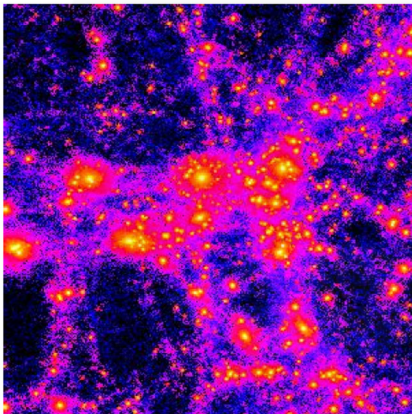
فرضی، قبل از تجمع با یکدیگر و تشکیل توده‌هایی به بزرگی کهکشان‌های امروزی طی می‌کنند. برای ذرات فرضی که سرعت پایینی دارند و عمدتاً از طریق گرانش با یکدیگر در حال تعامل هستند، این طول جریان آزاد، کوتاه‌تر بوده و در نتیجه تشکیل ساختارهای کوچک مقیاس در کیهان تسهیل می‌شود.<sup>۶۳</sup> (شکل ۹)

۱- ماده تاریک سرد (CDM یا Cold Dark Matter): متشکل از ذرات فرضی سنگینی است که از سرعت پایینی برخوردارند که همین موضوع منجر به طول جریان آزاد بسیار کوتاه آنها می‌شود. بنابراین می‌توانند با انباشته شدن تدریجی در طول زمان، ساختارهای کوچک مقیاس همانند کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشان را در کیهان ایجاد کنند.<sup>۶۱</sup> ماده تاریک سرد، پذیرفته شده‌ترین مدل پیشنهادی برای این موضوع است. برخی از نامزدهای احتمالی برای ذرات تشکیل دهنده آن نیز ذرات پرجرم با برهم‌کنش ضعیف (WIMPs) یا آکسیون‌ها هستند.<sup>۶۳</sup> همچنین لازم به ذکر است که خصوصیات ماده تاریک سرد با ویژگی‌های تابش پس‌زمینه کیهانی (CMB) مطابقت بالایی دارد.<sup>۶۹</sup>

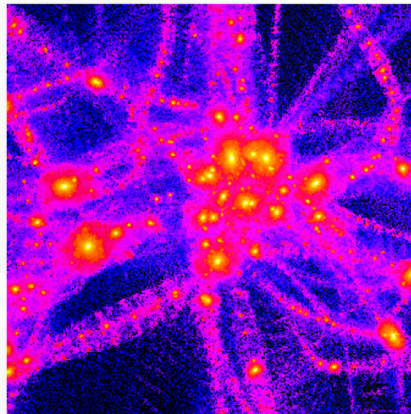
همزمان با آنکه اخترشناسان و کیهان‌شناسان در حال تلاش برای کشف ماهیت اصلی ماده تاریک از طریق رصدهای خود هستند، کیهان‌شناسان و یا نظریه‌پردازان در حوزه ذرات و فیزیک نظری نیز در جستجوی این ماده اسرارآمیز بر آمده‌اند و با ارائه فرضیات نوین خود، ذرات جدیدی را پیش‌بینی می‌کنند که می‌توانند به عنوان ماده تاریک در نظر گرفته شوند.<sup>۶۱</sup> تاکنون، نامزدهای احتمالی بسیار زیادی برای ماده تاریک پیشنهاد شده است که از جمله آنها می‌توان به ذرات پرجرم با برهم‌کنش ضعیف (WIMPs) یا (Weakly Interacting Massive Particle)،<sup>۶۳</sup> آکسیون‌ها (Axions)،<sup>۶۴،۶۵</sup> و یا سیاهچاله‌های اولیه (Primordial Black Holes) اشاره کرد.<sup>۶۶-۶۹</sup>

با وجود اینکه آزمایش‌های متعددی برای شناسایی و مطالعه مستقیم ذرات ماده تاریک در حال انجام است، اما هیچ یک از این تلاش‌ها تاکنون منجر به آشکارسازی آنها (چه در محیط آزمایشگاه و چه از طریق رصدهای اختری) نشده است و این بخش از جامعه فیزیک را به نوعی با "بحران ماده تاریک" مواجه کرده است.<sup>۷۰</sup> ماده تاریک در مدل‌های پیشنهادی، بسته به سرعت و طول جریان آزاد ذرات فرضی تشکیل دهنده‌اش، می‌تواند به سه دسته سرد، گرم و داغ طبقه بندی شود.<sup>۶۳</sup> طول جریان آزاد در واقع مسافتی است که ذرات

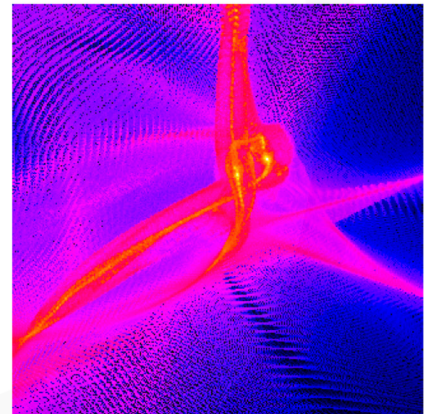
### ماده تاریک سرد



### ماده تاریک گرم



### ماده تاریک داغ



## شکل ۹

نقشه چگالی تشکیل ساختار کیهان فعلی در ماده تاریک سرد، گرم و داغ به ترتیب از چپ به راست که با استفاده از شبیه‌سازی انجام شده، با افزایش سرعت و در نتیجه افزایش طول جریان آزاد، حفره‌های موجود خالی‌تر می‌شوند. منابع عکس: ۲۱۹-۷۲

جایگزین احتمالی برای ماده تاریک سرد در مدل‌های کیهان‌شناسی به شمار بیاید.<sup>۶۳،۷۵،۷۸</sup>

۳- ماده تاریک داغ (HDM یا Hot Dark Matter): از ذرات فرضی سبک و بسیار سریعی تشکیل شده است که طول جریان آزاد بسیار بزرگی دارند، بدین معنا که این ذرات نمی‌توانند ساختارهای موجود در کیهان را ایجاد کنند، بلکه فقط نوسانات مربوط به چگالی در دوره آغازین کیهان را حذف می‌کنند.<sup>۶۳</sup> در نتیجه، ماده تاریک داغ تنها سهم کوچکی در چگالی کل ماده تاریک دارد. از جمله نامزدهای احتمالی این دسته، می‌توان به نوترینوهای باقیمانده از دوره آغازین کیهان اشاره کرد.<sup>۶۱،۶۳</sup>

۲- ماده تاریک گرم (WDM یا Warm Dark Matter): این نوع از ماده تاریک احتمالاً از ذراتی فرضی با جرم متوسط و سرعت نسبتاً بالا تشکیل شده است و در نتیجه، طول جریان آزاد ذرات آن بیشتر از طول جریان آزاد ذرات فرضی در ماده تاریک سرد می‌باشد. بیشتر بودن طول جریان آزاد در ماده تاریک گرم بدین معناست که ذرات فرضی در آن می‌توانند تشکیل ساختارهای کوچک مقیاس در کیهان را محدود کنند؛ اما روی تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس تأثیری ندارند.<sup>۶۳</sup> برخی از نامزدهای احتمالی برای ذرات ماده تاریک گرم، نوترینوهای استریل (Sterile Neutrinos)<sup>۶۱،۷۳</sup> یا گراویتینوها (Gravitinos) می‌باشند.<sup>۷۴،۷۵</sup> به دلیل مشکلات موجود در مدل مربوط به ماده تاریک سرد،<sup>۷۶،۷۷</sup> ماده تاریک گرم می‌تواند یک

تبدیل نطفه کیهانی به جهان نوزاد است، عاملی است که باعث می‌شود اجزاء کیهان شروع به شکل‌گیری کنند. همانطور که در فرضیه پوسته کیهان اشاره شد، TAM از وحدت ماده تاریک تاریک یا توری‌های فوق فشرده فضا، ماده روشن تاریک و همچنین ماده جدید حاصل از فشردگی بسیار زیاد امواج حرارتی، تشکیل شده است.

طی تجزیه TAM، ماده تاریک تاریک از هم باز شده و در چند مرحله به حالت‌های مختلفی تبدیل می‌شود. یعنی در ابتدا، حالت ماده تاریک جامدگونه و سپس به ماده تاریک مایع‌گونه و در ادامه ماده تاریک گازگونه به وجود می‌آیند. در نهایت، ماده تاریک گازگونه نیز با رهایی کامل از حالت انقباض هرچند کم، به شکل توری‌های فضا خود را در کیهان آزاد می‌کند. همه این مراحل منوط بر افزایش حجم کیهان می‌باشند که شرایط لازم برای این عمل را فراهم کند. به عبارتی بستری به نام توری‌های فضا، حاصل سیر رهایی ماده تاریک تاریک از حالت فوق فشرده به حالت کاملاً باز و بدون تنش است که با تجزیه TAM در کیهان شکل می‌گیرد. (شکل ۱۰)

از دیدگاه دانشمندان، دمای ماده تاریک به سرعت و جرم ذرات فرضی تشکیل دهنده آن مرتبط است. هر چه سرعت این ذرات فرضی بیشتر و جرم آنها کمتر باشد، دما بیشتر می‌شود. بنابراین، ماده تاریک داغ دمای بیشتری نسبت به ماده تاریک گرم، و ماده تاریک گرم نیز دمای بیشتری نسبت به ماده تاریک سرد دارد. با این حال، نمی‌توان دمای ثابتی برای ماده تاریک در نظر گرفت؛ چراکه با انبساط و کاهش دمای کیهان،<sup>۳۵</sup> این دما نیز کاهش می‌یابد.<sup>۳۴</sup>

## کیهان‌شناسی شعوری

### ماده تاریک و انرژی تاریک از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری

کیهان‌شناسی شعوری با معرفی مدل کیهان کروی بیان می‌کند که جهان از سیاهچاله‌ای به نام سیاهچاله کیهانی که مملو از ماده مطلق یا TAM می‌باشد به وجود آمده است. TAM بعد از شوک بزرگ، شروع به تجزیه از درونی‌ترین سطح نزدیک به مرکز سیاهچاله می‌کند. این تجزیه که یکی از مراحل واگرد کیهان و

**شکل ۱۰**  
تجزیه TAM (پوسته کیهان) عامل ایجاد ماده و انرژی روشن، ماده و انرژی تاریک و در نهایت آزادسازی فضا می‌شود.



تاریک تشکیل می‌شود. شایان ذکر است که ماده تاریک مایع گونه‌ای که در این دیدگاه بیان می‌شود همان ماده تاریک شناخته شده در کیهان‌شناسی و ماده تاریک گازگونه نیز همان انرژی تاریک کشف شده می‌باشد. (شکل ۱۱)

در نتیجه از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری منشأ ماده تاریک، فشردگی خود فضا است. شکل‌های مختلف ماده تاریک تاریک که همان ماده تاریک جامدگونه، مایع‌گونه و گازگونه است به صورت بالقوه در فضا وجود دارند و زمانی که گرانش به واسطه تشکیل جرم، بر فضا اثر می‌گذارد بر حسب میزان آن، ماهیت‌های مختلف ماده

## ماده تاریک



### شکل ۱۱

از راست به چپ، مراحل تجزیه TAM یا پوسته کیهان باعث تولید انواع حالت‌های ماده تاریک می‌شود.

### بررسی تفاوت‌ها و تشابهات بین دو دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری و رایج

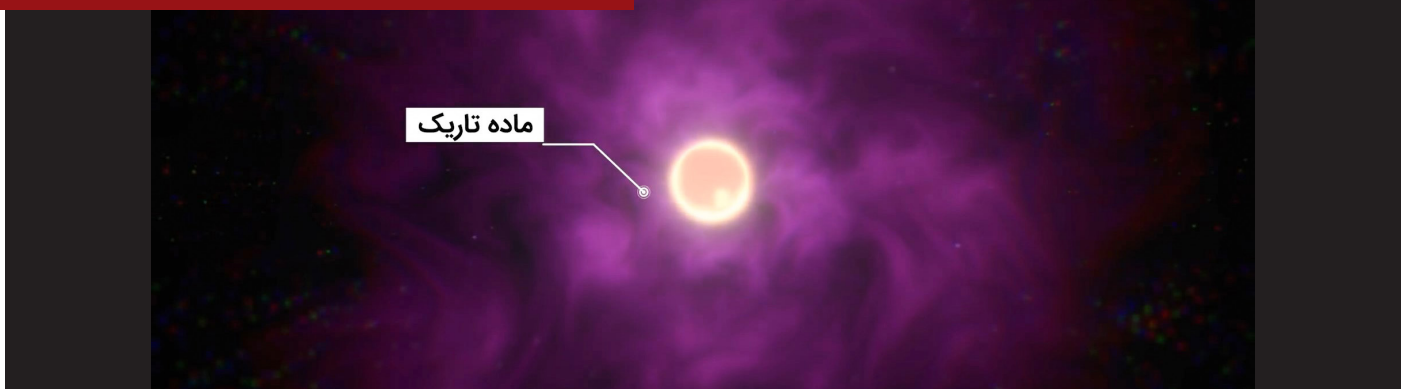
کیهان‌شناسی رایج عموماً ماهیت‌های متفاوتی را برای انرژی و ماده تاریک قائل شده است. برای مثال، همانطور که قبلاً توضیح داده شد، انرژی تاریک که به عنوان عامل انبساط شتابدار کیهان در نظر گرفته می‌شود، بر اساس نظریات مختلف مطرح شده، می‌تواند معادل با ثابت کیهان‌شناختی (1)،<sup>۳۵</sup> صورتی از میدان‌های اسکالر (quintessence)،<sup>۳۶-۳۷</sup> تاقیون‌ها (tachyons)<sup>۴۰</sup> و غیره باشد. حتی در احتمالات اخیر، انبساط شتابدار کیهان با ارائه اصلاحاتی در معادلات میدانی انیشتین و یا با مدل‌های جایگزین کیهان‌شناسی که به انرژی تاریک نیاز ندارند، توضیح داده شده است.<sup>۳۴،۳۹</sup> برای ماده تاریک نیز که عامل ثبات کهکشان‌ها و عدم جدایی اجزای آنها از یکدیگر در نظر گرفته می‌شود، کاندیداهای متعددی از سوی جامعه فیزیک نظری و ذرات ارائه شده است: WIMPs (Weakly Interacting Massive Particle)،<sup>۶۳</sup> آکسیون‌ها (axions)،<sup>۶۴</sup> نوترینوهای استریل (sterile neutrinos)<sup>۶۱،۶۲</sup> و غیره. اما تاکنون هیچ کدام از کاندیدهای مطرح شده برای ماده تاریک به صورت عینی و تجربی کشف نشده‌اند. در نتیجه، این بخش از جامعه علمی با بحران "ماده تاریک" مواجه گشته است.<sup>۷۰</sup>

در حالیکه کیهان‌شناسی شعوری منشأ انرژی و ماده تاریک را یکی می‌داند و آنها را شکل مختلفی از فشردگی توری‌های فضا در نظر می‌گیرد و چنین بیان می‌کند ماده تاریک و انرژی تاریک تابع گرانش ماده معمولی می‌باشند.

این دیدگاه بیان می‌کند که هرگاه جرم یا همان ماده معمولی در کیهان تشکیل شود، فضای پیرامون آن در اثر گرانش خود جرم، منقبض می‌شود. به طوریکه هر چقدر چگالی جرم بیشتر شود، گرانش آن نیز بیشتر شده و فضای حوالی آن بیشتر متراکم می‌شود. بنابراین در پیرامون اجرام کیهانی بسته به میزان گرانش، درجات مختلفی از تراکم فضا ایجاد می‌شود که منجر به شکل‌گیری ماهیت‌های مختلفی به صورت ماده تاریک سیال‌گونه (ماده تاریک مطرح شده در علم) و یا ماده تاریک گازگونه (انرژی تاریک)، می‌شود. به عبارتی ماده تاریک جمع شده در اطراف هر جسم، با جرم آن جسم نسبت مستقیم دارد. (شکل ۱۲) از طرفی در پیرامون تمامی اجرام کیهانی، از ذرات بنیادین گرفته تا ابرخوشه‌های کهکشانی و...، همواره تراکم یا به بیانی ویسکوزیته معینی از فضا متناسب با گرانش آن جرم وجود دارد. همچنین طبق نظریه کیهان‌شناسی شعوری، ماده و انرژی تاریک همانند داریست نامرئی، عامل حفظ ساختار ماده معمولی می‌باشند.

### شکل ۱۲

تصویر فرضی از ماده تاریک در اطراف اجسام پر جرم



۶- عامل تعامل مادهٔ تاریک با گرانش به خاطر یکی بودن ماهیتشان است که از انقباض فضا نشأت می‌گیرند.

۷- همواره مقداری از مادهٔ تاریک هرچند کم در اطراف سیارات و یا ستارگان بسیار پرجرم، کوتولهٔ سفید، ستارهٔ نوترونی، مگنتار، پولسار و یا سیاهچاله‌ها که با توجه به افزایش جرم این اجسام، به مادهٔ تاریک اطراف آنها نیز افزوده می‌شود قابل شناسایی است و مقدار زیاد آن در اطراف کهکشان‌ها، خوشه‌های کهکشانی و ساختارهای بزرگتر قابل کشف است.

۸- کهکشان‌هایی که دارای جرم مرکزی نیستند به علت نداشتن **رزونانس گرانشی** که یکی از فرضیات کیهان‌شناسی شعوری است، ممکن است مادهٔ تاریک در پیرامون خود نداشته باشند و یا در صورت وجود، مقدار آن از حد انتظار بسیار کم باشد. (پدیدهٔ رزونانس گرانشی در بخش‌های بعدی این ویژه‌نامه توضیح داده خواهد شد)

۹- انرژی تاریک و مادهٔ تاریک در پیرامون اجرام، دارای شکل یا ساختار منظمی می‌باشند که این موضوع یکی از دلایل چرخش معنادار اجسام کم جرم در مدار اجسام پرجرم است.

۱۰- انرژی تاریک به واسطهٔ ماهیت خود، دارای خاصیت گرانشی است. اما علت اینکه باعث انبساط کیهان می‌شود به واسطهٔ فشاری است که این انرژی همانند گاز پرفشار محبوس در محفظهٔ ایزوله، به دیوارهٔ کیهان کروی از درون اعمال می‌کند که این موضوع در فرضیهٔ پوستهٔ کیهان توضیح داده می‌شود.

در نتیجه می‌توان بیان کرد که کیهان‌شناسی شعوری یکی از نقش‌های ماده و انرژی تاریک در کیهان را همانند داربست مخفی برای جلوگیری از واپاشی مادهٔ معمولی می‌داند. به عبارتی فضا، برای جلوگیری از فروپاشی اجرام از بنیادین تا بزرگ مقیاس در کیهان، با انقباض خود که وابسته به میزان گرانش جرم است، به شکل انرژی تاریک یا مادهٔ تاریک در پیرامون آنها شکل می‌گیرد و باعث استحکام و ثبات آنها می‌شود. برای مثال همانطور هم که در کیهان‌شناسی رایج مطرح شده است جرم مادهٔ معمولی موجود در کهکشان‌ها به خودی خود برای نگهداری ساختار و پایداری آنها کافی نیست و عامل قدرتمند دیگری برای حفظ شکل کهکشان‌ها نیاز است. این عامل که همان مادهٔ تاریک می‌باشد، در همه جا بطور یکسان تجمع نداشته و در شرایط متفاوت گرانشی، غلظت و یا به بیانی ویسکوزیته‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهد که در ادامه به این مفهوم بیشتر پرداخته خواهد شد. (شکل ۱۳)

شایان ذکر است که کیهان‌شناسی شعوری این فرضیه را نیز مطرح می‌کند که به موازات بالا رفتن گرانش، زمان نیز متقابلاً به عنوان نیروی تدریجی مضمحل‌کنندهٔ جرم و ایجاد کنندهٔ آنتروپی و همچنین از میان برندهٔ گرانش عمل می‌کند. مقلهٔ زمان و انواع آن، در فرضیهٔ فضا-گرانش زمان مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

همچنین مطابق مدل کیهان کروی، در فضای قابل رویت کیهان نمی‌توانیم اثری از حالت جامدگونهٔ مادهٔ تاریک داشته باشیم. چون این نوع مادهٔ تاریک فقط با آزاد شدن فشردگی مادهٔ تاریک تاریک از TAM ایجاد می‌شود که در نزدیکی پوستهٔ کیهان و یا احتمالاً درون سیاهچاله‌های درون کیهانی وجود دارند.

با این تعاریف، کیهان‌شناسی شعوری برای مادهٔ تاریک ویژگی‌هایی را در نظر می‌گیرد و بیان می‌کند که:

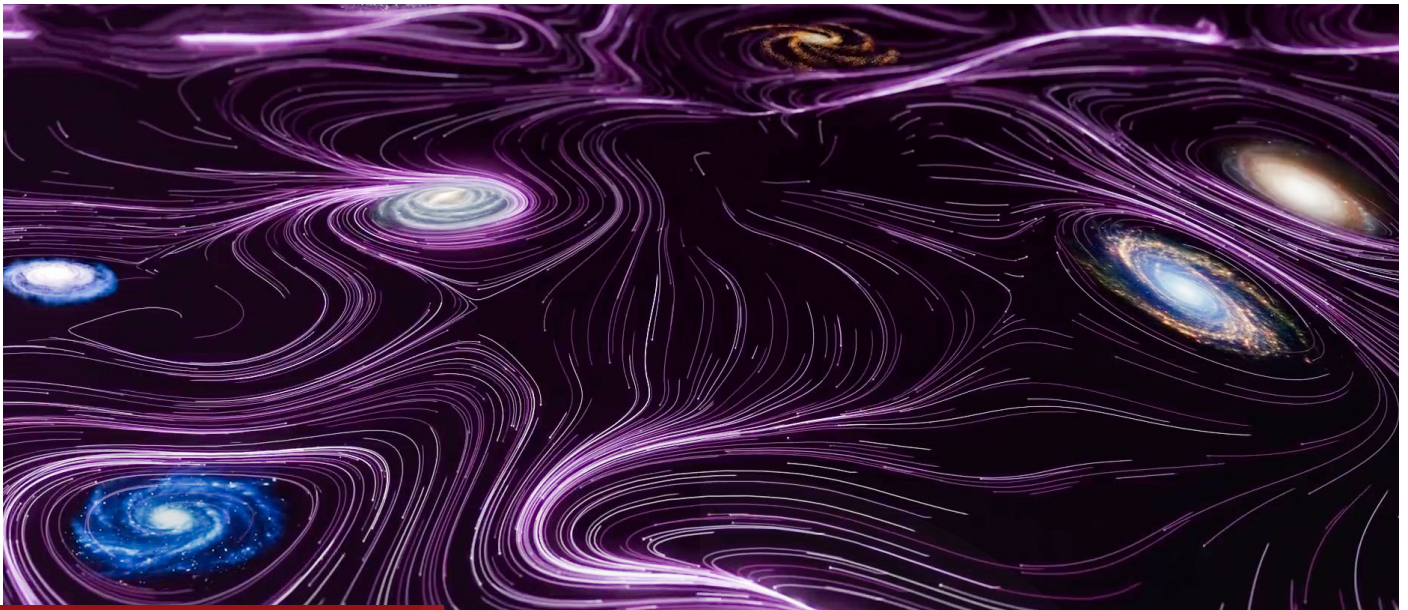
۱- مادهٔ تاریک هیچ‌کدام از خواص ماده‌هایی را که در زندگی با آن‌ها سر و کار داریم ندارد و حتی شکلی از ماده که ستارگان و سیارات را می‌سازد هم نیست. زیرا، مواد از ذراتی تشکیل شده‌اند که باریون نام دارند. ما می‌توانیم خاصیت باریونی مواد را از طریق آشکارسازی جذب تشعشع عبوری از میان آنها تشخیص دهیم، اما مادهٔ تاریک چنین آشکارسازی ندارد. به عبارتی مادهٔ تاریک یا انرژی تاریک از جنس باریون‌ها نیستند. در نتیجه قابل کشف به صورت ذرات فرضی که توسط فیزیکدانان مطرح شده نیز نخواهند بود.

۲- مادهٔ تاریک را نمی‌توان دید، چون از خود نور یا امواج الکترومغناطیسی منتشر یا بازتاب نمی‌کند؛ اما از اثرات گرانشی موجود بر روی اجسام مرئی، مثل ستارگان و کهکشان‌ها، می‌توان به وجود آن پی برد. به همین دلیل از صفت تاریک برای توصیف رفتار این نوع ماده استفاده شده است.

۳- مادهٔ تاریک پادماده هم نیست. زیرا هنگام برخورد ماده و پادماده به یکدیگر امواج گاما و سایر ذرات ایجاد می‌شوند. بنابراین از این دیدگاه ماده یا پادماده نمی‌تواند با مادهٔ تاریک برخورد کنند و هر جا ماده‌ای با هر جرمی که وجود داشته باشد، بر حسب میزان جرم، ماده یا انرژی تاریک نیز قطعاً آن را احاطه کرده است. بدین صورت که انرژی تاریک در اطراف اجسام کم‌جرم و مادهٔ تاریک (مایع‌گونه) در اطراف اجسام پرجرم وجود دارند.

۴- انرژی تاریک در پیرامون ذرات بنیادین نیز وجود دارد. چون ذرات بر حسب جرم خود بر اثر نیروی گرانشی عامل انقباض فضا حتی به صورت بسیار جزئی می‌باشند که این انقباض جزئی فضا، همان انرژی تاریک در اطراف آنها است.

۵- مادهٔ تاریک از ذرات تشکیل نشده است، بنابراین برای آشکارسازی آن نمی‌توان از دستگاه‌هایی که برای شناسایی ذرات طراحی شده‌اند استفاده کرد. در نتیجه ذرات فرضی همچون گرویتینو، آکسیون و WIMP ها پاسخگوی ماهیت مادهٔ تاریک یا انرژی تاریک نخواهند بود.



شکل ۱۳  
شکل منظم ماده تاریک تشکیل شده در اطراف کهکشان‌ها

و به جریان در می‌آیند. مایعات و گازها هر دو در این طبقه‌بندی قرار می‌گیرند. در بررسی حرکت سیالات، یکی از پارامترهایی که در تعیین ویژگی‌های ترمودینامیکی این دسته از مواد نقش نسبتاً مهمی دارد، ویسکوزیته است. بنابراین می‌توان گفت که ویسکوزیته به معنای میزان مقاومت یک سیال در برابر تغییر شکل یا جاری شدن در اثر اعمال تنش برشی می‌باشد و معیاری برای اندازه‌گیری به اصطلاح "ضخامت" یا غلظت آن سیال به حساب می‌آید. هر چه یک سیال سخت‌تر تغییر شکل دهد و یا سخت‌تر جریان پیدا کند، ویسکوزیته بالاتری دارد. برای مثال، ویسکوزیته روغن گل‌سیرین ۱۵۰۰ برابر بیشتر از آب و یا ویسکوزیته عسل ۳۰۰۰ برابر بیشتر از آب می‌باشد. به همین دلیل، هم زدن یک لیوان آب بسیار راحت‌تر از هم زدن یک ظرف روغن و یا یک ظرف عسل است.<sup>۸۰-۸۴</sup> (شکل ۱۴)

### ویسکوزیته فضا

برای توضیح مفهوم ویسکوزیته فضا در کیهان‌شناسی شعوری، ابتدا کمیتی به نام ویسکوزیته که در مکانیک کلاسیک، اخترشناسی، فیزیک مدرن و حتی کیهان‌شناسی برای توصیف حرکت سیالات و یا سیستم‌های سیال به کار می‌رود، معرفی می‌گردد و در ادامه، به نقش محتمل این کمیت در افزایش انبساط و آنتروپی کیهان و متغیر بودن آن پرداخته می‌شود. سپس فرضیه ویسکوزیته فضا در کیهان‌شناسی شعوری ارائه و شرح و بسط داده می‌شود. در انتها نیز تمایزات یا تشابهات دو دیدگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد:

### ویسکوزیته و دینامیک سیالات و وسعت کاربرد آن‌ها در علم رایج

از منظر فیزیک، سیالات به موادی گفته می‌شود که به هنگام اعمال تنش برشی، به طور پیوسته در طول زمان تغییر شکل داده

شکل ۱۴  
ویسکوزیته‌های مختلف در سیالات



آب



روغن



عسل

کم

زیاد

ویسکوزیته

برخی از سیالات مانند آب یا هوا، صرف نظر از میزان تنش‌ی که به آنها وارد می‌شود یا نرخ تنش‌ی که تجربه می‌کنند (در دما و فشار معین)، ویسکوزیته ثابتی دارند؛ اما برخی دیگر مانند محلول‌های پلیمری، پلاسمای خون و یا مخلوط شن و آب، بر اساس میزان تنش وارده یا نرخ تنش (در دما و فشار معین)، ویسکوزیته متغیری از خود نشان می‌دهند. دسته اول را سیالات نیوتنی و دسته دوم را سیالات غیرنیوتنی نامیده‌اند.<sup>۸۰،۸۱</sup> هر دو دسته، برحسب ویژگی‌هایی که دارند، به زیرگروه‌های متعدد دیگری نیز تقسیم‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال، در یک نوع از سیالات غیرنیوتنی، با افزایش نرخ تنش، ویسکوزیته رو به کاهش می‌گذارد؛ یا در نوع دیگر، با گذر زمان و در صورت ثابت بودن نرخ تنش، از میزان ویسکوزیته کاسته می‌شود.<sup>۸۰،۸۳</sup>

### کاربرد فزاینده دینامیک سیالات

به طور کلی، از نگاه علم رایج، هرآنچه که در روی زمین یا آن سروکار داریم، یا سیال است، یا در سیال جریان دارد و یا در مجاورت با یک سیال قرار دارد. بنابراین، بررسی سیالات و نقش ویسکوزیته در ترمودینامیک آنها چه در مقیاس میکروسکوپی و چه در مقیاس ماکروسکوپی طبیعتاً از اهمیت بالایی برخوردار است.<sup>۸۱</sup> این موضوع البته محدود به سیالات معمولی سیاره زمین نیست. در علم اخترشناسی مدرن و کیهان‌شناسی نیز برای توصیف پدیده‌های متعددی همچون نحوه شکل‌گیری و حرکت ستارگان<sup>۸۵-۸۷</sup> یا سیارات بسیار بزرگ،<sup>۸۸</sup> ساختارهای صفحه‌گون در اطراف اجرام سماوی،<sup>۸۹،۹۰</sup> ترمودینامیک سیاهچاله‌ها،<sup>۹۱-۹۴</sup> حتی انبساط کیهان و افزایش آنتروپی آن<sup>۹۵-۹۸</sup> و همچنین ماده تاریک و انرژی تاریک<sup>۹۹-۱۰۲</sup> از معادلات مربوط به حرکت سیالات استفاده می‌شود و طبیعتاً ویسکوزیته و نقش آن نیز مطرح می‌گردد.

با وجودی که سیالات به عنوان یک سیستم، از مجموعه مولکول‌ها و اتم‌ها تشکیل شده‌اند، در معادلات حرکت عموماً در هر نقطه به عنوان یک محیط پیوسته با دما و چگالی مشخص در نظر گرفته می‌شوند.<sup>۱۰۳</sup> در چنین حالتی که مقدار مولکول‌ها و اتم‌ها قابل ملاحظه است، میانگین خواص یک سیال مهم‌تر از ویژگی تک‌تک ذرات تشکیل دهنده آن می‌شود.<sup>۸۴</sup> با منطقی مشابه، بررسی حرکت ستارگان یک کهکشان را نیز می‌توان به عنوان یک مسئله مکانیک سیالات در نظر گرفت و با دانستن ویسکوزیته و سایر فاکتورها، پارامترهایی چون سرعت و چگالی یک کهکشان را در نواحی مختلف آن به طور میانگین محاسبه کرد؛ با این تفاوت که در این سیستم سیال (کهکشان) به جای مولکول‌ها و اتم‌ها، با مجموعه ستارگان و سایر اجرام سماوی سرو کار خواهیم داشت.<sup>۸۸</sup>

### ترمودینامیک سیالات و نسبیت عام

از میان معادلات مطرح در بررسی حرکت سیالات، معادله ناویه-استوکس (Navier-Stokes)،<sup>۸۴،۱۰۴</sup> برای توصیف ترمودینامیکی فضا-زمان در نسبیت عام نیز به کار برده می‌شود؛ چراکه این معادله با معادله میدانی انیشتین در شرایط خاصی مشابه است. یافتن چنین تشابهی البته یک روند تاریخی را طی کرده که ابتدا به ساکن با بررسی ترمودینامیک سیاهچاله‌ها و کشف یکسان بودن قوانین حاکم بر آنها با قوانین مطرح در ترمودینامیک کلاسیک آغاز شده است.<sup>۹۱،۱۰۵،۱۰۶</sup>

به دنبال این دستاورد مهم، دانشمندان نشان دادند که معادله میدانی انیشتین در نسبیت عام را می‌توان از قوانین ترمودینامیک نیز استخراج کرد و آن را یک معادله حالت در نظر گرفت.<sup>۱۰۷-۱۰۹</sup> معادله حالت در ترمودینامیک معادله ایست که بر اساس آن، حالت یک ماده به عنوان تابعی از فشار، چگالی و دما توصیف می‌شود. در صورتیکه معادله حالت مربوط به یک سیستم سیال باشد، به هنگام بررسی حرکت سیالات نیز قابل استفاده خواهد بود.<sup>۸۸</sup> در مراحل بعدی، یافتن ارتباط میان گرانش در معادله میدانی انیشتین و ترمودینامیک<sup>۱۱۱-۱۱۲</sup> و همچنین ارائه فرضیه آنتروپیک گرانش<sup>۱۱۳</sup> منجر بدان شد که معادله میدانی انیشتین را بتوان به صورت معادله ناویه-استوکس با ویسکوزیته مشخص نیز نشان داد.<sup>۱۱۴-۱۱۶</sup> لازم به ذکر است که در معادله ناویه-استوکس یا هر معادله دیگری که مربوط به توصیف دینامیک یک سیال است، عموماً دو نوع ضریب ویسکوزیته به کار برده می‌شود: ویسکوزیته ناشی از تنش برشی که به آن اشاره شد و ویسکوزیته حجمی (Bulk viscosity) ناشی از فشردگی و یا انبساط کل یک سیال.<sup>۸۴،۱۰۴</sup> از منظر ترمودینامیک، هر دو نوع ویسکوزیته با به هم خوردن تعادل حرارتی در یک سیستم سیال مرتبط هستند و منجر به برگشت ناپذیری انرژی مکانیکی (تبدیل آن به حرارت)، انتقال تکانه در سیال و در نتیجه افزایش آنتروپی آن سیال می‌شوند.<sup>۹۵،۱۰۴،۱۱۷،۱۱۸</sup>

### ویسکوزیته در کیهان‌شناسی رایج

از آنچه تاکنون بیان شد، می‌توان به وسعت کاربرد ویسکوزیته در بررسی هر نوع سیستم سیال (معمولی یا غیر معمولی) در هر مقیاسی در فضا-زمان پی برد. بنابراین به دور از انتظار نیست که اثرات ویسکوزیته در مقیاس کلان کیهانی نیز توسط کیهان‌شناسان مورد بررسی قرار گرفته باشد. در کیهان‌شناسی رایج و در مدل استاندارد (ΛCDM)<sup>۱۱۹</sup> یا فریدمان-لومتر-رابرتسون-واکر (FLRW)،<sup>۱۱۳-۱۱۹</sup> کیهان عموماً به عنوان یک سیال (گاز) ایده‌آل، همگن و همسان‌گرد<sup>۱۲۴</sup> در نظر گرفته می‌شود که تعاملات گرانشی در آن، تابع نسبیت عام انیشتین است و به صورت شتاب‌دار در حال انبساط می‌باشد.<sup>۱۲۵</sup> به عبارتی از این دیدگاه، مدل استاندارد در هم‌خوانی با مشاهدات تجربی همچون تابش پس‌زمینه کیهانی (CMB)، ابرنواخترها و یا پیش‌بینی ساختارهای بزرگ مقیاس، تاکنون بسیار موفق عمل کرده است. با این وجود، در نظر گرفتن آن به عنوان یک سیال ایده‌آل طبیعتاً به دور از واقعیت است؛ چراکه به گفته برخی از کیهان‌شناسان، این سیستم سیال از تعادل حرارتی خارج است و آنتروپی آن مطابق با قانون دوم ترمودینامیک در حال افزایش می‌باشد.<sup>۱۲۵</sup> از منظر ترمودینامیک سیالات، برای توصیف فرآیندهایی که منجر به برهم خوردن تعادل حرارتی، تغییر یا همان هدررفت انرژی مکانیکی و در نتیجه افزایش آنتروپی و برگشت ناپذیری<sup>۱۲۶،۱۲۷</sup> می‌شوند، لازم است کیهان را به عنوان سیالی در نظر گرفت که با ایده‌آل بودن فاصله دارد و ویسکوزیته در توصیف دینامیک آن نقش داشته باشد.<sup>۱۲۸-۱۳۰</sup>

از میان ویسکوزیته ناشی از تنش برشی و ویسکوزیته حجمی، اولی معمولاً به دلیل همسان‌گردی و متعاقباً تقارن موجود در مدل استاندارد کیهان‌شناسی از بررسی‌های مربوط به دینامیک کیهان حذف می‌شود، چراکه این نوع تنش، تانسوری بوده و در شرایط تقارن بالا (همسان‌گردی) قابل اغماض خواهد بود. در نتیجه،

## ویسکوزیته حجمی و دینامیک ماده تاریک

نقش ویسکوزیته حجمی در دینامیک ماده تاریک و ارتباط آن با انبساط کیهان نیز در دهه اخیر توسط کیهان‌شناسان مورد بررسی قرار گرفته است. انگیزه نسبت دادن ویسکوزیته به ماده تاریک به مشکلات موجود در مدل استاندارد کیهان‌شناسی باز می‌گردد. همان‌طور که در مباحث فوق نیز اشاره شد، مدل استاندارد در پیش‌بینی ساختارهای بزرگ مقیاس بسیار موفق بوده است. اما در مقیاس‌های کوچک با مشکلات متعددی از جمله معضل کهکشان کوتوله<sup>۱۵۰</sup> یا همان (Dwarf Galaxy Problem) که به عدم تطابق تعداد این کهکشان‌ها در داخل راه شیری با شبیه‌سازی‌هایی که توزیع ماده در کیهان را نشان می‌دهند، اشاره می‌کند و<sup>۱۵۱</sup> Cuspy Halo Problem که عدم تطابق بین نحوه استنباط در میزان ماده تاریک در یک کهکشان با شبیه‌سازی‌ها را نشان می‌دهد و ... مواجه است. یکی از راه‌های جالبی که برای رفع این مسائل در مدل استاندارد کیهان‌شناسی ارائه شده، در نظر گرفتن ماده تاریک به عنوان یک سیال است، که در آن ذرات فرضی ماده تاریک برخلاف آنچه در مدل استاندارد مفروض است، با یکدیگر برهم‌کنش دارند.<sup>۱۵۲، ۱۵۳</sup> طبیعتاً با در نظر گرفتن این برهم‌کنش، ظهور ضرایب ویسکوزیته ناشی از تنش برشی و ویسکوزیته حجمی در سیال غیر معمولی مثل ماده تاریک اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. به علاوه، به گفته نظریه‌پردازان این حوزه بر اساس آنچه محاسبات نشان می‌دهند، چنین فرضیه‌ای ضمن آنکه با مدل استاندارد کیهان‌شناسی هم‌خوانی دارد، از تنش موجود میان داده‌های حاصل از تابش پس‌زمینه کیهانی (CMB) و ساختارهای بزرگ مقیاس نیز می‌کاهد.<sup>۱۴۰</sup> و معضلاتی را که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد حل می‌کند.<sup>۱۵۲</sup> همچنین، ویسکوزیته ناشی از برهم‌کنش ذرات فرضی در ماده تاریک سیال ضمن ایجاد فشار منفی، خود عاملی برای انبساط کیهان به شمار می‌رود. در نتیجه می‌تواند جایگزینی برای اثرات ثابت کیهان‌شناختی (A) در مدل استاندارد نیز باشد.<sup>۱۵۴، ۱۵۵</sup>

## وحدت ماده تاریک و انرژی تاریک

وحدت ماده تاریک و انرژی تاریک و در نظر گرفتن آنها به عنوان وجوه مختلفی از یک سیال واحد، یکی دیگر از فرضیاتی است که توسط کیهان‌شناسان به دلیل ناشناخته بودن بخش تاریک کیهان، ارائه شده است.<sup>۱۵۸-۱۵۵، ۴۱۰</sup> از پیامدهای چنین فرضیه‌ای، عدم نیاز جداگانه به ماده و انرژی تاریک در مدل‌های کیهان‌شناسی است. همچنین، از آنجایی که در کیهان، هدررفت انرژی یک پدیده رایج در نظر گرفته می‌شود، نسبت دادن ویسکوزیته حجمی به این سیال واحد و در نظر گرفتن آن به عنوان عاملی برای انبساط کیهان طبیعی می‌باشد. اما کارایی چنین یکپارچه‌سازی به هنگام توصیف شکل‌گیری ساختار کیهان در کوچکترین و بزرگ‌ترین ابعاد، با انتقادات جدی همراه بوده است.<sup>۱۵۹، ۱۶۰</sup>

## تغییرات ویسکوزیته حجمی با زمان (Evolution of bulk viscosity)

با توجه به فرضیات فوق ذکر، ویسکوزیته حجمی به عنوان عاملی برای انبساط کیهان مقدار ثابتی نداشته و با زمان در طول ادوار مختلف تغییر می‌کند. زیرا همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، کیهان با نرخ فزاینده و متغیری منبسط می‌شود و دمای آن در حال کاهش می‌باشد. ضریب ویسکوزیته می‌تواند به دما<sup>۹۵</sup>، چگالی انر

بررسی فرآیندهایی که در مدل استاندارد منجر به افزایش آنتروپی می‌شوند، عموماً از طریق ویسکوزیته حجمی امکان‌پذیر می‌باشد<sup>۱۳۱</sup> و برخلاف آنچه تصور می‌شود، از این ضریب نمی‌توان صرف نظر کرد؛ ضمن آنکه ویسکوزیته حجمی با همگنی و همسان‌گردی تعریف شده در مدل استاندارد کیهان‌شناسی نیز همخوان است. البته شایان ذکر است که بر اساس برخی از مطالعات، در صورت وجود مقدار جزئی اختلال در همسان‌گردی، از تاثیر ویسکوزیته ناشی از تنش برشی در انبساط کیهان نمی‌توان صرف نظر کرد و هر دو نوع ضریب در این فرآیند انبساط نقش خواهند داشت.<sup>۱۳۲-۱۳۴</sup>

اعمال ضرایب ویسکوزیته در کیهان‌شناسی سابقه تاریخی دارد. در سال ۱۹۶۸، نقش ویسکوزیته تا ثانیه اول عمر کیهان<sup>۱۳۵</sup> به عنوان عاملی برای برقراری همسان‌گردی توسط میزور (Misner)<sup>۱۳۶</sup> مطالعه شده بود. اما یکی از اولین افرادی که تاثیر ویسکوزیته را در افزایش آنتروپی کیهان همگن و در حال انبساط مورد بررسی جدی قرار داد و عبارات عمومی مربوط به ویسکوزیته ناشی از تنش برشی و ویسکوزیته حجمی را با استفاده از فرمول‌بندی‌های معروف اکارت (Eckart)<sup>۱۳۶</sup> و همچنین با در نظر گرفتن کیهان به عنوان یک سیال غیرکامل استخراج کرد، واینبرگ (Weinberg) بود.<sup>۹۵</sup> این محاسبات و سایر مطالعاتی که به دنبال آن توسط فیزیکدانان دیگر انجام شد،<sup>۱۳۷، ۱۳۹، ۱۳۶</sup> به نوعی راه را برای بررسی نقش ویسکوزیته حجمی به عنوان عامل انبساط کیهان در ادوار نخستین (تورم، لپتون، تسلط تابش)، در دوره کنونی و در آینده کیهان نیز باز کرد.<sup>۱۳۸، ۱۴۶، ۱۰۰، ۱۴۵-۹۶</sup>

## ویسکوزیته حجمی جایگزینی برای انرژی تاریک

ویسکوزیته حجمی با چه انگیزه‌ای و چگونه عاملی برای انبساط کیهان در نظر گرفته می‌شود؟

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، اطلاعات رصدی به دست آمده از ابرنواخترهای دور دست شاهدهی بر آن است که کیهان با نرخ شتاب‌داری در حال انبساط می‌باشد.<sup>۴۷</sup> این انبساط عموماً به عامل ناشناخته انرژی تاریک نسبت داده می‌شود که دارای فشار منفی است و در مدل استاندارد کیهان‌شناسی با ثابت کیهان‌شناختی A (به کار برده شده در معادله میدانی انیشتین) معادل در نظر گرفته می‌شود.<sup>۳۵</sup> اما یکی از مشکلات مهمی که کیهان‌شناسان در مدل استاندارد با آن مواجه هستند، عدم تطابق ثابت کیهان‌شناختی حاصل از مشاهدات تجربی با محاسبات است. به عبارت دیگر، آنچه از رصدها به دست آمده، حدود ۱۲۱ مرتبه کوچکتر از تخمین‌های تئوری می‌باشد.<sup>۱۴۸</sup> این معضل، تنها یکی از دلایلی است که محققین را وا داشته تا برای توصیف انبساط شتاب‌دار کیهان به فرضیات دیگری از جمله در نظر گرفتن اثرات ویسکوزیته روی آورند؛ چراکه به گفته دانشمندان، ویسکوزیته حجمی با نشان دادن فشار منفی می‌تواند خود عاملی برای انبساط شتاب‌دار کیهان به حساب بیاید.<sup>۱۴۹، ۱۴۵، ۱۴۳، ۱۳۸، ۹۶، ۸۴</sup> به عبارت دیگر، در صورتی که ضریب این ویسکوزیته به اندازه کافی بزرگ باشد، رفتاری مانند معادله حالت انرژی تاریک از خود نشان می‌دهد. در چنین شرایطی و برای توصیف انبساط شتاب‌دار کیهان، اعمال اثرات هدررفت انرژی (ناشی از در نظر گرفتن کیهان به عنوان سیالی با ویسکوزیته معین) در مدل استاندارد کافی است و دیگر نیازی به ثابت کیهان‌شناختی A نیست. همچنین لازم به ذکر است که ضریب ویسکوزیته حجمی برای حفظ قانون دوم ترمودینامیک همیشه مقدار مثبتی دارد.<sup>۹۵</sup>

می‌تواند کمتر از سن استاندارد آن، یعنی ۱۳/۸ میلیارد سال نیز باشد.<sup>۱۴۵</sup>

### فرضیه ویسکوزیته فضا در کیهان‌شناسی شعوری

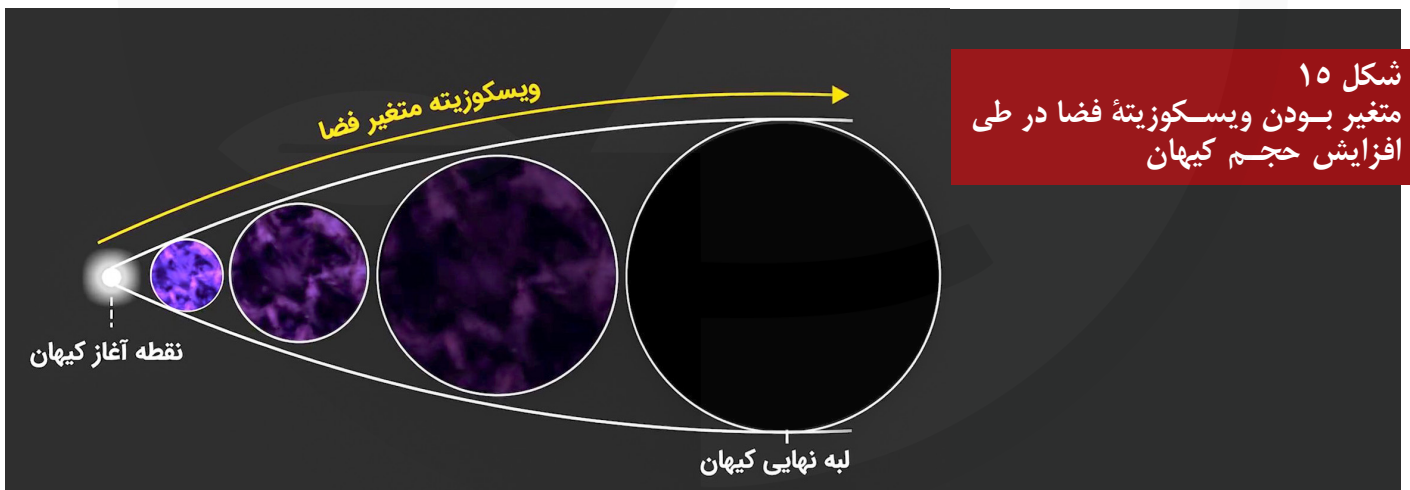
با در نظر گرفتن نظریه‌های مختلف دانشمندان، کیهان‌شناسی شعوری ویسکوزیته را شامل خود توری‌های فضا نیز می‌داند و بیان می‌کند که ویسکوزیته فضا در اطراف هر جسم نسبت به میزان جرم آن متفاوت است و هر چقدر جسم پرچم‌تر باشد، در اطراف خود دارای ویسکوزیته بالاتری از فضا می‌باشد. به عنوان مثال، به واسطه گرانش بالای سیاهچاله‌های درون کیهانی، تراکم فضای دربرگیرنده آنها یا همان ویسکوزیته فضا در اطرافشان طبیعتاً بسیار زیاد است.

در نتیجه این دیدگاه ویسکوزیته را یکی از مهمترین عوامل اثرگذار در انبساط یا انقباض کیهان و یا تشکیل اجرام درون کیهانی می‌داند و اظهار می‌دارد که به دلیل فشردگی بینهایت در سیاهچاله کیهانی یا همان نطفه آغازین کیهان، قبل از شوک بزرگ، ویسکوزیته فضا در بالاترین حالت خود قرار داشته که این میزان در انتهای واگرد یا همان رسیدن جهان به حداکثر افزایش حجم خود، به صفر می‌رسد. بنابراین، ویسکوزیته فضا همواره متغیر می‌باشد و مقادیر مختلفی را به نمایش می‌گذارد. به این ترتیب که در نقطه آغاز کیهان مقدار آن بسیار زیاد است و در حین واگرد کیهان از میزان آن رفته رفته کاسته می‌شود تا در لبه نهایی کیهان (پایان واگرد فضا) به صفر برسد. (شکل ۱۵)

ژی،<sup>۱۲۶، ۱۳۸، ۱۴۱، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۶، ۱۶۲</sup> پارامتر هابل و فاکتور بزرگنمایی که هر دو معیاری برای تعیین نرخ انبساط کیهان هستند،<sup>۹۶، ۱۰۰، ۱۰۲، ۱۲۹، ۱۳۵، ۱۵۸، ۱۶۱</sup> وابسته باشد. در معادلات ارائه شده برای توصیف تغییرات ویسکوزیته حجمی در طول ادوار مختلف کیهان‌شناسی توافق نظر واحدی وجود ندارد. چرا که بسته به مدل کیهان‌شناسی که انتخاب می‌شود و مفروضات اولیه در محاسبات، مقدار این نوع ویسکوزیته می‌تواند با انبساط کیهان افزایش و یا کاهش یافته و به صفر برسد.<sup>۱۴۵، ۱۴۶، ۱۶۳</sup> به باور عده‌ای از محققین، در صورتی که مقدار این ضریب به اندازه کافی بزرگ باشد، می‌تواند نقش کلیدی در آینده کیهان ایفا نماید.<sup>۹۶، ۱۶۱</sup> همچنین ضریب ویسکوزیته حجمی می‌تواند در یک برهه زمانی خاص از کیهان مقدار ثابتی داشته باشد<sup>۹۶، ۱۶۲</sup> و یا اگر مطابق محاسبات واینبرگ از نوعی تابش نشأت بگیرد، در شرایطی که سرعت ذرات تشکیل دهنده سیال عادی است و یا به سرعت نور بسیار نزدیک می‌شود، در آن برهه زمانی صفر باشد. از طرفی دیگر، با کاهش دمای کیهان در حال انبساط، مقدار این ضریب می‌تواند کاهش پیدا کند.<sup>۹۵</sup>

### ویسکوزیته حجمی و عمر کیهان

از دیدگاه نظریه‌پردازان، نسبت دادن ویسکوزیته به سیال کیهان و تأثیری که این ضریب در روند انبساط دارد، در محاسبات مربوط به سن کیهان نیز اثر می‌گذارد. از آنجایی که ویسکوزیته می‌تواند عاملی برای انبساط کیهان در نظر گرفته شود و نرخ این انبساط را هم را افزایش دهد، وجود آن منجر به افزایش سن کیهان کنونی می‌شود.<sup>۱۰۰، ۱۲۴</sup> اما بسته به مفروضات و معادلاتی که برای توصیف ویسکوزیته حجمی استفاده می‌شود، سن کیهان در دوره فعلی



شکل ۱۵  
متغیر بودن ویسکوزیته فضا در طی  
افزایش حجم کیهان

اهمیت می‌باشند. هر دو کمیت، ۱- در اثر برهم‌کنش میان اجزای تشکیل دهنده یک سیال ظاهر می‌شوند، ۲- معیاری برای میزان مقاومت آن سیال در برابر حرکت به‌شمار می‌آیند و منجر به برهم خوردن تعادل حرارتی می‌شوند، ۳- باعث افزایش آنتروپی و یا هدررفت انرژی در یک سیستم سیال می‌شوند. اولی در اثر اعمال تنش برشی بر سیال و دومی بر اثر انبساط/تراکم توده سیال ایجاد می‌شود. در مدل‌های استاندارد کیهان‌شناسی، به دلیل همگنی و همسان‌گردی کیهان، عموماً ضریب ویسکوزیته حجمی مدنظر است و در شرایطی که مقدار آن به اندازه کافی بزرگ باشد، با ایجاد فشار منفی می‌تواند به عنوان عاملی برای انبساط شتابدار

### مقایسه اجمالی دو دیدگاه

پس از ارائه تعاریف مطرح در خصوص ویسکوزیته از دریچه کیهان‌شناسی رایج و کیهان‌شناسی شعوری، می‌توان به قیاس میان دو دیدگاه پرداخت:

### انواع و منشا

- از منظر علم رایج، دو کمیت ویسکوزیته ناشی از تنش برشی و ویسکوزیته حجمی در توصیف دینامیک یک سیستم سیال حائز

صفر برسد، و یا برعکس در دوره نهایی کیهان به میزان آن افزوده شود. همچنین در یک برهه زمانی خاص می‌تواند مقدار ثابت و یا صفر داشته باشد.

- اما در کیهان‌شناسی شعوری و مدل کیهان کروی ضریب ویسکوزیته فضا از مقدار زیاد در سیاهچاله کیهانی (نطفه اولیه کیهان) به مقدار صفر در در نهایت واگرد فضا (کیهان) کاهش پیدا می‌کند. یعنی در هر برهه زمانی به طور محلی (در مقیاس غیرکلان)، بسته به گرانش ناشی از جرم ماده روشن و متعاقباً میزان فشردگی توری‌های فضا و ظهور ماده تاریک یا انرژی تاریک، ضریب ویسکوزیته در آن ناحیه ثابت، ولی در کل کیهان به توجه به اضمحلال و تبدیل تدریجی اجرام به امواج مطلق، متغیر است.

### دخیل بودن در سن کیهان

- عدم تطابق ثابت کیهان‌شناختی حاصل از مشاهدات تجربی در مدل استاندارد کیهان‌شناسی با محاسبات، سبب روی آوردن برخی از کیهان‌شناسان به مفهوم ویسکوزیته حجمی شده است. یعنی در صورتیکه ضریب ویسکوزیته حجمی به صورت نمایی منجر به انبساط شتابدار کیهان شود آنگاه سن فعلی کیهان نسبت به میزان استاندارد آن بیشتر خواهد بود. همچنین این ضریب در برخی از مدل‌های کیهان‌شناسی ضمن آنکه با گذر زمان کاهش پیدا می‌کند، باعث می‌شود که سن فعلی کیهان کمتر از میزان استاندارد آن باشد.

- از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری علت اختلاف محاسبات و مشاهدات تجربی کیهان‌شناسان به نوع مدل یا هندسه‌ای برمی‌گردد که برای کیهان در نظر می‌گیرند. به طوریکه مطابق مدل استاندارد کیهان‌شناسی، اعماق فضا نشان‌دهنده ادوار اولیه کیهان بوده که به صورت خط زمانی در نظر گرفته می‌شود، نه مکان. از طرفی نیز کیهان به صورت سیستم بسته در نظر گرفته نشده و با انبساط درونی در حال افزایش حجم می‌باشد. این درحالی‌ست که با توجه به مدل کیهان کروی و جایگاه ما به عنوان مشاهده‌گر اعماق فضا در این کره، تفسیری که از رصدها به دست می‌آید می‌تواند با محاسبات صورت گرفته تطابق داشته باشد که این موضوع در فرضیه مرکز کیهان مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین ضریب ویسکوزیته از درجه کیهان‌شناسی شعوری با توجه به متغیر بودن آن از آغاز تولد تا واگرد نهایی کیهان یکی از فاکتورهایی است که می‌تواند میزان انبساط یا همان حجم کیهان را با توجه به میزان جرم کلی موجود در آن تعیین کند. بدین صورت که ویسکوزیته بالا نشان دهنده وجود جرم زیاد در کیهان (تولد تا جوانی)، ویسکوزیته کم نشان دهنده حرکت اجرام به سمت پوسته کیهان و تبدیل تدریجی آنها به موج (میانسالی تا پیری) و در نهایت ویسکوزیته صفر نشان دهنده تبدیل همه اجرام به امواج مطلق و عدم وجود ماده و انرژی تاریک و گرانش به واسطه نبود استرس در فضا (واگرد نهایی کیهان) می‌باشد.

کیهان به حساب آید و جایگزینی برای ثابت کیهان‌شناختی 1/ (انرژی تاریک) در مدل استاندارد باشد. ویسکوزیته حجمی همچنین می‌تواند به ماده تاریک (حاوی ذرات فرضی که با یکدیگر برهم‌کنش دارند) و یا به ماده تاریک و انرژی تاریک هر دو (با پیش فرض تشکیل سیال واحد توسط آنها) نسبت داده شود.

- از درجه کیهان‌شناسی شعوری، ویسکوزیته برای کیهان اینگونه تعریف نمی‌شود. به عبارتی این دیدگاه در درجه اول بیان می‌کند که خود توری‌ها یا همان ابعاد فضا (بدون در نظر گرفتن زمان)، دارای ویسکوزیته در مقادیر مختلف با توجه به جرمی که عامل ایجاد آن شده است، می‌باشد. به بیانی میزان جرم و به تبع آن گرانش، رابطه مستقیم با میزان ویسکوزیته فضا دارد. در درجه بعدی، ویسکوزیته فضا که همان درجات مختلف فشردگی فضا است، دارای سه حالت است که عبارتند از: ۱- جامدگونه (موجود در پوسته کیهان) (از زمان تغییر نقش TAM به عنوان پوسته تا واگرد نهایی کیهان)، سیاهچاله کیهانی (کمی قبل از تشکیل نهایی آن در حین بازگشت کیهان و بعد از شوک بزرگ یا همان تولد کیهان در طی واگرد) و احتمالاً سیاهچاله‌های درون کیهانی (با توجه به قدرت گرانشی آنها)، ۲- مایع‌گونه (ماده تاریک شناخته شده در علم رایج که با توجه به میزان جرم یا همان نیروی گرانشی که در فضا وجود دارد، آن نیز متغیر است)، ۳- گازگونه (انرژی تاریک شناخته شده در علم رایج). و در نهایت، این دیدگاه جنس ماده یا انرژی تاریک و یا نیروی گرانش را متشکل از ذرات بنیادین فرضی که حامل نیرو می‌باشند، نمی‌داند بلکه گرانش یا جنس این دو نوع حالت ماده، همان توری‌های فضا هستند که به واسطه حضور اجرام، با تراکم (Squeeze) یا کش آمدن (Stretch) به صورت خطی و نه فرکانسی یا موجی باعث انتقال نیروی گرانش به فضای اطراف می‌شود. بنابراین علت تعامل گرانش با ماده تاریک، یکی بودن جنس آنها است که به فشردگی توری‌های فضا برمی‌گردد. به عبارتی فضا به نسبت میزان تنش یا استرسی که به آن از طریق ماده معمولی با توجه به میزان آن وارد می‌شود، باعث تجلی گرانش و به تبع آن ماده و انرژی تاریک می‌شود. (مفهوم ماهیت غیر موجی و یا همان خطی گرانش در مبحثی جداگانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت). همچنین کیهان‌شناسی شعوری علت اینکه چرا انرژی تاریک عامل انبساط کیهان بوده و به ظاهر ضد گرانش عمل می‌کند را اینگونه توضیح می‌دهد: انرژی تاریک با آزاد شدن مداوم از سمت پوسته به درون کیهان و با توجه به حضور آن در اطراف همه انواع جرم، همانند گاز تحت فشار در محفظه ایزوله عمل می‌کند، با این تفاوت که محفظه ایزوله شده همان کیهان است و جنس دیواره آن، پوسته کیهان می‌باشد. بنابراین با توجه به اعمال فشار به پوسته کیهان نه تنها یکی از عواملی است که باعث انبساط جهان می‌شود بلکه باعث حفظ ساختار اجرام در درون کیهان نیز می‌شود.

### متغیر بودن

- ضریب ویسکوزیته حجمی در کیهان‌شناسی رایج کمیتهی است که در ادوار مختلف کیهان‌شناسی برحسب زمان تغییر می‌کند و مقدار ثابتی ندارد، چراکه مطابق محاسبات، این کمیته می‌تواند به چگالی انرژی، دما، پارامتر هابل و یا فاکتور بزرگ‌نمایی وابسته باشد. بسته به مفروضات اولیه و مدل کیهان‌شناسی مورد استفاده، ضریب ویسکوزیته با انبساط کیهان می‌تواند کاهش پیدا کند و به

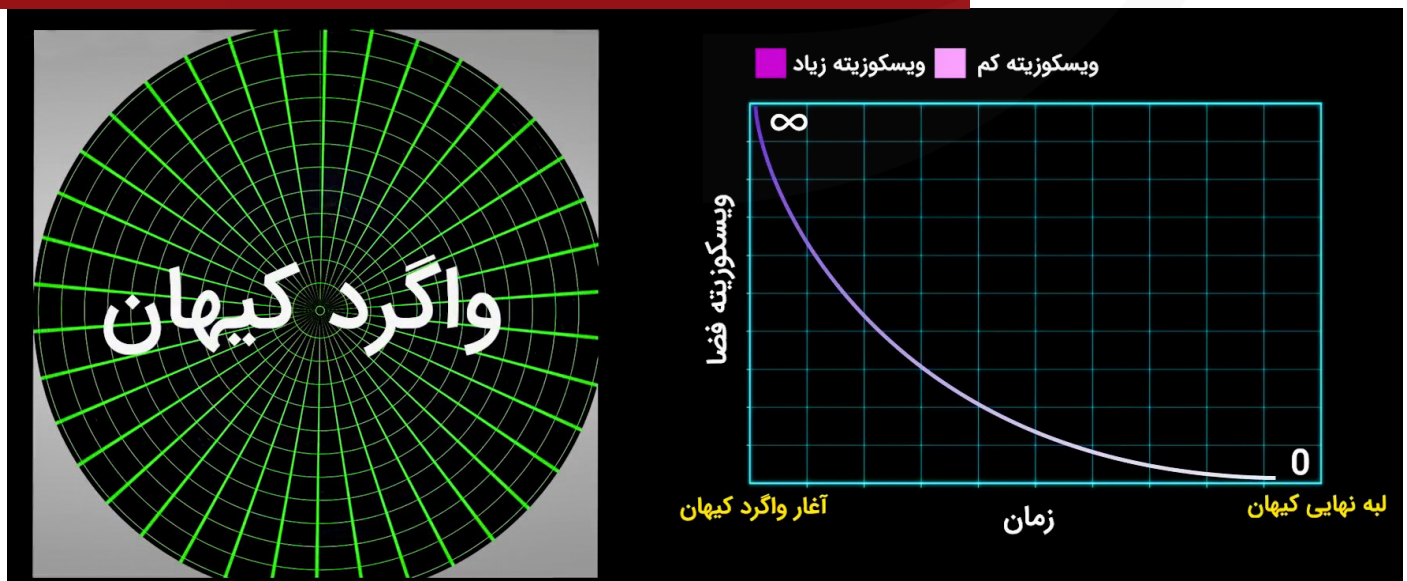
## عدم تطابق نظریه تورم نخستین در مدل کیهان کروی

مدل بیگ‌بنگ پیش از آنکه به شکل امروزی خود یعنی مدل استاندارد  $\Lambda$ CDM ارائه شود، با دو معضل عمده مواجه بود: یکی همگن بودن کیهان، علیرغم آنکه بخش‌های دور دست آن الزاماً با یکدیگر در تعامل نوری نیستند که به مسئله افق (Horizon problem) معروف است و دیگری نزدیکی بودن چگالی کیهان به حد بحرانی حتی در ادوار نخستین، که تحت عنوان مسئله تخت بودن (Flatness problem) شناخته می‌شود که توجیه ساختارهای ایجاد شده در کیهان را با مشکل مواجه می‌کند.<sup>۱۶۴،۱۶۵،۱۶۶</sup> ارائه مدل تورم در اوایل دهه ۱۹۸۰-۱۶۶ از دید کیهان‌شناسان کلیدی برای رفع این معضلات بود. مطابق این مدل، کیهان در ابتدای شکل‌گیری خود و پیش از دوره تسلط تابش، فازی از تورم را طی کرده که به موجب آن، در مدت زمان بسیار کوتاهی (بازه زمانی  $10^{-32}$  تا  $10^{-33}$  ثانیه بعد از انفجار بزرگ)<sup>۱۶۴</sup> با نرخ شتاب‌دار و به صورت نمایی دچار انبساط شده است. شروع چنین انبساطی با برهم خوردن آنی تقارن در میادین اسکالر مرتبط دانسته می‌شود<sup>۱۶۵،۱۶۴،۱۶۶</sup> و از آنجایی که طبق نظریه برخی از کیهان‌شناسان ویسکوزیته حجمی نیز می‌تواند منجر به انبساط سیال کیهان با نرخ نمایی و حتی نرخ فراتر از نمایی شود، روی تورم کیهانی و پس از آن اثرگذار است؛ با این شرط که ضریب ویسکوزیته حجمی به اندازه کافی و در حضور میادین اسکالر بزرگ باشد.<sup>۱۶۹،۱۷۱</sup> بنابراین با توجه به دیدگاه برخی نظریه‌پردازان، در نظر گرفتن ویسکوزیته حجمی به عنوان نیروی محرکه برای تورم نخستین، امر غیرممکنی نیست؛<sup>۱۳۱،۱۳۹</sup> که البته توسط همه کیهان‌شناسان تایید نمی‌شود.<sup>۱۳۸</sup> مقدار این ضریب هم همانطور که پیش‌تر اشاره شد، در ادوار مختلف کیهان ثابت نیست و می‌تواند بسته به مفروضات و مدل کیهان‌شناسی استفاده شده، با زمان کاهش پیدا کرده و به صفر برسد.<sup>۱۶۳،۱۶۴،۱۶۵</sup> به علاوه، در نظر گرفتن ویسکوزیته حجمی محاسبات مربوط به سن کیهان را دستخوش تغییر می‌کند و می‌تواند موجب افزایش آن شود.<sup>۱۳۳،۱۴۰</sup>

اما یکی از مهمترین جنبه‌هایی که کیهان‌شناسی شعوری در مدل کیهان کروی خود ارائه می‌دهد این است که چون ویسکوزیته فضا رابطه مستقیم با گرانش دارد، بنابراین بالا بودن آن در کیهان اولیه، عامل جلوگیری از وقوع تورمی می‌شود که در مدل استاندارد ( $\Lambda$ CDM) برای دوره نخستین<sup>۱۶۶،۱۶۷</sup> بیان شده است. به عبارتی، مدل کیهان کروی بیان می‌کند که از یک طرف گرانش بسیار بالا در جهان اولیه و از طرف دیگر وجود پوسته کیهان، مانع افسارگسیختگی توری‌های فضای آزاد شده از خود پوسته در راستای انبساط می‌شود و افزایش حجم کیهان نوزاد، بر خلاف نظریه تورم به آهستگی صورت گرفته است. به عبارتی پوسته کیهان (TAM) دارای نرخ تجزیه متناسب با گرانش حاکم بر کل حجم کیهان در هر برهه زمانی می‌باشد و چون در زمان کیهان نوزاد گرانش بسیار بالا بوده، بنابراین انبساط کیهان نمی‌توانسته با نرخی که در نظریه تورم بیان شده صورت بگیرد، حال آنکه وجود خود پوسته کیهان نیز عامل مهار این نرخ افزایش حجم (فراتر از سرعت نور) می‌باشد. نکته حائز اهمیت از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری اینجاست که چون زمان به عنوان نیروی آنتروپایی (که در میحث فضا، گرانش-زمان به آن پرداخته خواهد شد) رابطه مستقیم با میزان گرانش دارد، در نتیجه در کیهان اولیه به خاطر رو به بینهایت بودن گرانش به واسطه وجود TAM، نیروی زمان نیز متعاقباً بالا بوده (منظور در دسترس بودن زمان بیشتر است) بنابراین امکان تورم در چندین میلیارد ثانیه امکان پذیر نیست و میلیاردها سال زمان طول کشیده تا کیهان اولیه منبسط شود. (برعکس نظریه تورم که انبساط جهان نخستین را در کسری از ثانیه می‌داند) در این راستا یافته‌های اخیر کیهان‌شناسان نیز سن کیهان را به چالش کشیده و آن را بسیار فراتر از  $13/8$  میلیارد سال در نظر گرفته‌اند.<sup>۱۳۰</sup> بنابراین کیهان‌شناسی شعوری معتقد است ویسکوزیته فضا در کیهان کنونی عدد ثابتی ندارد و بسته به میزان انقباض یا انبساط کیهان که تحت تاثیر گرانش است، متغیر می‌باشد. (شکل ۱۶)

### شکل ۱۶

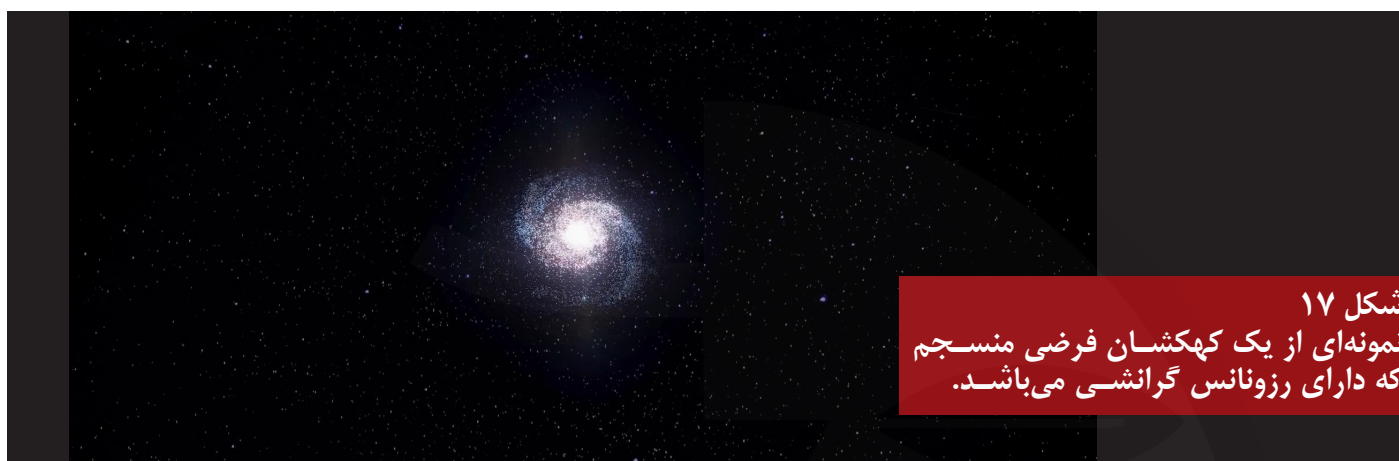
تصویر راست: نمودار تغییرات ویسکوزیته فضا از تولد تا واگرد کامل کیهان. تصویر چپ: باز شدن توری‌های فضا (به رنگ سبز) تا حد نهایی خود.



که در پیرامون خود دارند به دور آن در حال چرخش باشند، این ابرسیاهچاله که دارای گرانش عظیم و به تبع آن دارای ماده تاریک قابل توجهی می‌باشد، با گرانش حاصل از تمامی اجرام دور خود، هم‌افزایی کرده و بدون آنکه جرمی از خارج به کهکشان وارد شود، به شکل تصاعدی گرانش در کل سیستم تشدید می‌شود. در کیهان‌شناسی شعوری به این پدیده «رزونانس گرانشی» یا «تشدید گرانشی» گفته می‌شود. (شکل ۱۷)

### رزونانس (تشدید) گرانشی به عنوان یکی از نظریه‌های کیهان‌شناسی شعوری

کیهان‌شناسی شعوری فرضیه مهم دیگری به نام رزونانس گرانشی را نیز مطرح می‌کند. این فرضیه بیان می‌کند که هرگاه در مرکز سیستمی همانند یک کهکشان، ابرسیاهچاله‌ای وجود داشته باشد که ستارگان، سیارات و اقمار با میزان معین ماده تاریکی



شکل ۱۷  
نمونه‌ای از یک کهکشان فرضی منسجم که دارای رزونانس گرانشی می‌باشد.

خواهد بود. در این صورت، به واسطه فاصله‌ای که ماده تاریک تک اجرام این سیستم از هم دارند که منجر به عدم تشدید گرانش می‌شود، رزونانس گرانشی این نوع کهکشان‌ها بسیار کمتر خواهد بود. خود این امر عدم وجود یا کم بودن ماده تاریک در اطراف این نوع کهکشان‌ها را سبب می‌شود. (شکل ۱۸)

یکی از کاربردهای پدیده رزونانس گرانشی این است که می‌تواند علت نبود ماده تاریک و یا کم بودن آن در برخی از کهکشان‌های کشف شده را توضیح دهد. در واقع چون این کهکشان‌ها دارای ابرسیاهچاله مرکزی نیستند، در نتیجه وضعیت اجرام تشکیل دهنده آنها نیز به صورت پراکنده بدون چرخش به دور یک جرم مرکزی

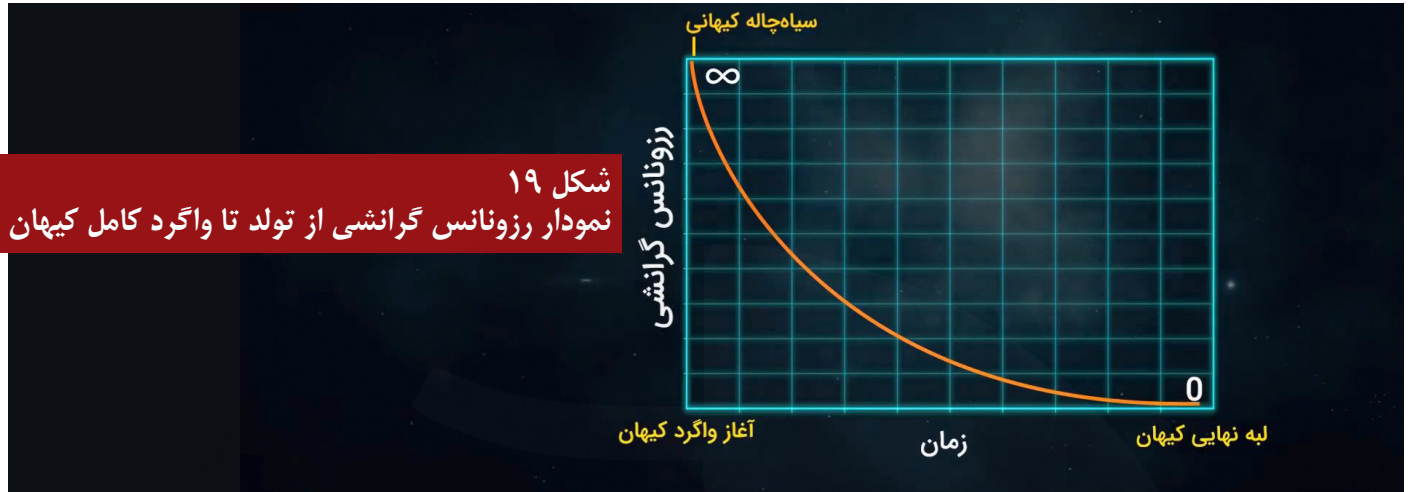


شکل ۱۸  
نمونه‌ای از کهکشان غیر منسجم بدون رزونانس گرانشی و ویژگی‌های آن (NGC1052-DF2)<sup>۱۱</sup>

CreditS: NASA, ESA, and P. van Dokkum [Yale University] CC-BY-4.0

فضا، کمتر و کمتر شده تا در انتها با رسیدن به حداکثر حجم (پایان واگرد فضا همان لبه نهایی کیهان) به صفر برسد. (شکل ۱۹)

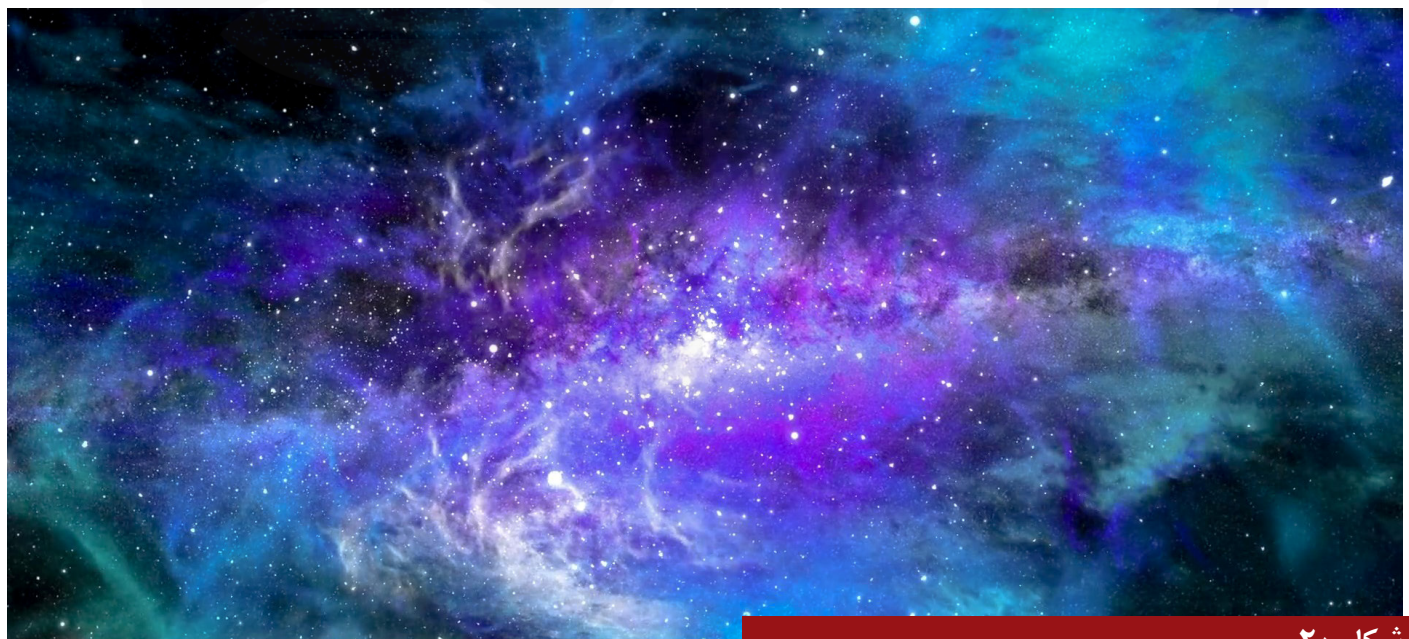
با توجه به تعریف رزونانس گرانشی نکته حائز اهمیت این است که میزان این پدیده قبل از تولد کیهان در سیاهچاله کیهانی در نهایت خود بوده و با افزایش حجم کیهان یا همان آغاز واگرد



شکل ۱۹  
نمودار رزونانس گرانشی از تولد تا واگرد کامل کیهان

یا هر نوع جسم باقیمانده از انفجار، فضا نسبت به جرم بالای آن، مجدداً منقبض شده و ماده تاریک در پیرامون آن جسم باقی مانده، با میزان زیاد تشکیل می‌شود. در واقع ویسکوزیته فضای اطراف اجساد باقیمانده از انفجار یک ستاره (به خاطر چگالی بسیار بالا) از ویسکوزیته فضای اطراف خود آن ستاره قبل از انفجار، بسیار زیادتر می‌باشد. (شکل ۲۰)

نکته دیگری که از این دیدگاه به آن پرداخته می‌شود این است که در رخدادهایی همانند سوپرنوا، ماده تاریک اطراف ستاره به طور موقت از بین رفته و یا بسیار کاهش می‌یابد. این امر به دلیل تبدیل ماده معمولی تشکیل دهنده ستاره به انرژی است که با از میان رفتن گرانش ستاره، بخش اعظمی از ماده تاریک پیرامون آن نیز به واسطه برداشتن استرس از روی توری فضای اطراف آن، از بین می‌رود و در صورت تشکیل کوتوله سفید یا ستاره نوترونی و



شکل ۲۰  
تصویر هنری از ستاره منفجر شده (ابرناختر) که ماده تاریک اطراف خود را از دست داده است.

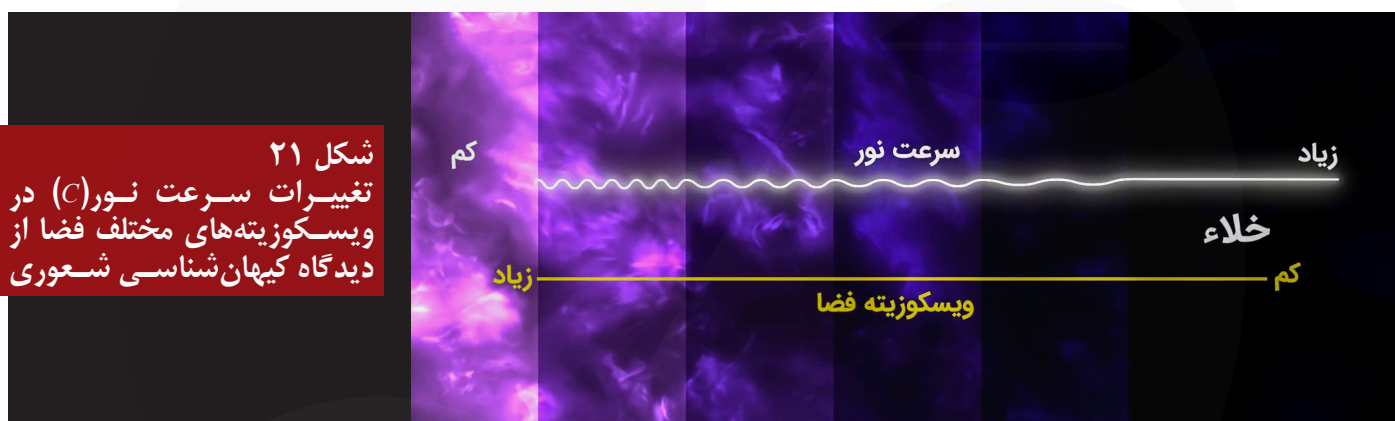
## اصل تغییر در کیهان‌شناسی شعوری

یکی از مهمترین اصول کیهان‌شناسی شعوری «اصل تغییر» می‌باشد. طبق این اصل ثوابت بنیادین مطرح شده در فیزیک، طی واگرد کیهان دستخوش تغییر واقع می‌شوند. از جمله این ثوابت، می‌توان به ثابت جهانی گرانش و سرعت نور اشاره کرد.

## سرعت نور از نگاه کیهان‌شناسی شعوری و تعریف نویسی از مفهوم خلاء

نظریه نسبیت، بیان می‌کند که سرعت نور در خلاء (c)، به طور محلی (locally) ثابت و مستقل از منبع یا ناظر است. به صورت کلی خلاء به هر فضایی اطلاق می‌شود که فشار آن به طور قابل توجهی کمتر از فشار اتمسفر باشد. اما از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری در درجه اول تعریف خلاء (در حوزه کیهان‌شناسی) معادل میزان انقباض فضایی است که دارای ویسکوزیته معینی بوده که به واسطه جرم معمولی در پیرامون آن ایجاد شده است. به طور مثال،

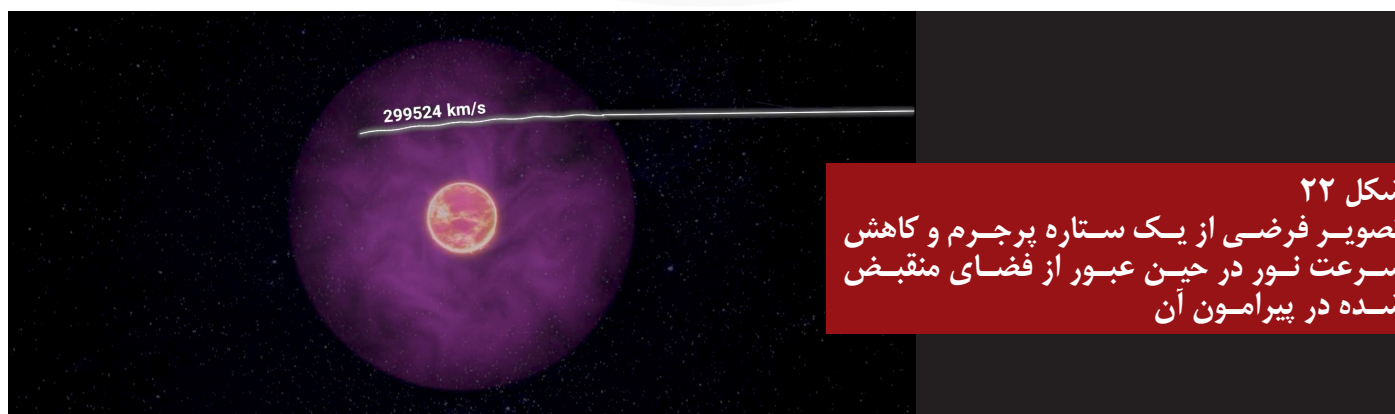
کهکشان راه‌شیری در پیرامون خود ویسکوزیته‌ای از فضا را با توجه به جرم و رزونانس گرانشی که دارد ایجاد کرده و سرعت نور با توجه به اینکه ما درون آن قرار داریم بسته به میزان آن، محاسبه شده است. در نتیجه ویسکوزیته خلاء در فضای بین کهکشان‌ها و یا در جای‌جای کیهان برحسب میزان جرم ماده معمولی متفاوت است و مسلماً در اندازه‌گیری ثوابتی همچون سرعت نور، تاثیر مستقیم خواهد داشت. همچنین با توجه به رزونانس گرانشی که توسط اجرام محلی (Local objects) همانند گروه محلی (Local group) که متشکل از کهکشان ما و چندین کهکشان دیگر است و یا خوشه‌های عظیم کهکشان‌ها که هر کدام به عنوان مجموعه‌ای از اجرام یک سیستم جرمی به حساب می‌آیند، ماده تاریک پیرامون آنها دارای مقدار معینی از ویسکوزیته فضا خواهد بود که از دید ناظر خارج از آن سیستم، امواج نوری در حین ورود به آن، از سرعت کمتر و در حین خروج، با سرعت قبلی خود به مسیر ادامه خواهند داد که این موضوع برای دانشمندان در محاسبه فاصله نوری اجرام در اعماق کیهان می‌تواند مورد لحاظ واقع شود. (شکل ۲۱)



شکل ۲۱  
تغییرات سرعت نور (c) در ویسکوزیته‌های مختلف فضا از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری

یا ستارگان نیست؛ بلکه مسبب این انحراف، ویسکوزیته خود فضا (بدون در نظر گرفتن زمان) یا همان ظهور ماده تاریک است که به واسطه جرم ثقیل با تراکم فضای پیرامون آن به وجود آمده است. این ماده به صورت کروی جسم را در برگرفته و تاثیر گرانش را به نمایش در می‌آورد که عامل انحراف نور نیز است. (شکل ۲۲)

در درجه بعدی اگر نور در طی مسیر خود به نزدیکی جسم پر جرمی برسد، بسته به زاویه برخورد با ماده تاریک پیرامون آن جسم، دچار شکست و انحراف می‌گردد که این انحراف در دنیای کیهان‌شناسی رایج، به خمیدگی هندسی فضا-زمانی که توسط آن جرم ایجاد شده است نسبت داده شده است. در صورتی که از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری، خمیدگی فضا-زمان که در نظریه نسبیت تعریف شده، عامل انحراف نور در اطراف اجسام سنگین همانند سیاهچاله‌ها و

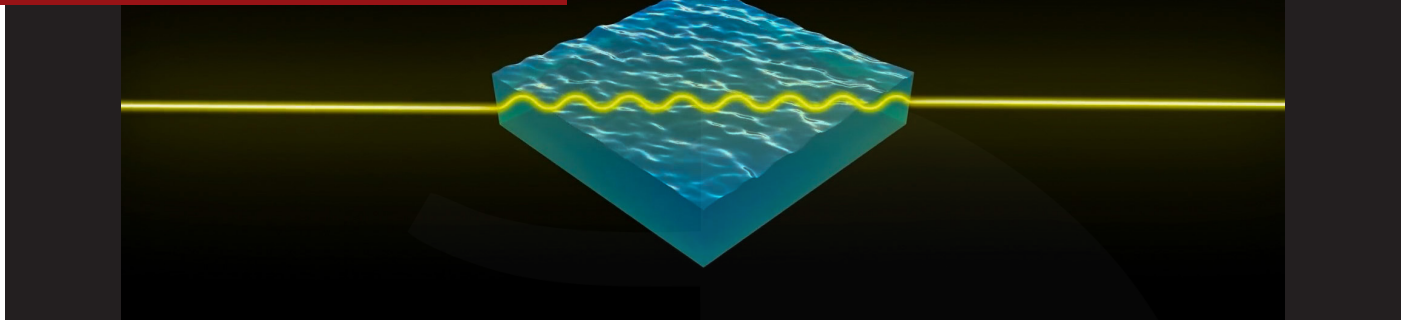


شکل ۲۲  
تصویر فرضی از یک ستاره پر جرم و کاهش سرعت نور در حین عبور از فضای منقبض شده در پیرامون آن

اتفاق می‌افتد. حال این نور، بعد از عبور از این محیط، مجدداً رها شده و با سرعت، فرکانس و طول موج قبلی خود به مسیر ادامه می‌دهد. (شکل ۲۳) علت بازگشت موج به وضعیت قبلی خود مربوط به ساختار و حافظه موج است که کیهان‌شناسی شعوری آن را در مقوله‌ای جداگانه مطرح خواهد کرد.

متفاوتی دارند نیز صادق است. برای مثال، سرعت نور در محیط‌های شفاف مانند آب و هوا به دلیل شکست نور، کمتر از سرعت نور در خلاء تعریف شده فیزیک رایج می‌باشد.<sup>۱۷۲، ۱۷۳</sup> بدین صورت که چنانچه نور به دام ماده تاریک با ویسکوزیته بالا بیفتد، تغییر سرعت داده، فرکانس آن نسبت به میزان ویسکوزیته بالا رفته و طول موجش کاهش پیدا می‌کند که در نهایت خم‌شدگی در آن

### شکل ۲۳ کاهش سرعت نور در محیط سیالی مانند آب با ویسکوزیته ای بالاتر از محیط خلا



میدان گرانشی اجرام سماوی همچون خورشید بود. انیشتین با انتشار مقاله‌ای در سال ۱۹۱۱ نشان داد که تغییر طول موج نور حین گذر از حوالی میدان گرانشی اجرام ثقیل می‌تواند منجر به تغییر سرعت و انحراف آن شود،<sup>۱۷۸</sup> پدیده‌ای که بسته به کاهش یا افزایش طول موج نور، به انتقال به سرخ یا آبی گرانشی معروف است.<sup>۱۷۹</sup>

انتقال به سرخ گرانشی، به هنگام فرار نور از میدان گرانشی یک جسم عظیم مانند یک ستاره یا یک سیاهچاله رخ می‌دهد. در چنین شرایطی، نور برای فرار نیازمند صرف انرژی است. بنابراین، با از دست دادن انرژی خود، طول موج بلندتری پیدا می‌کند. چنانچه ناظری در فاصله قابل توجهی از این میدان گرانشی باشد، فرکانس کمتر و سرعت کمتری را نسبت به ناظری که نزدیک به میدان گرانشی این اجرام است، اندازه‌گیری می‌کند.<sup>۱۷۸</sup>

برای درک بهتر تاثیر میدان گرانشی بر سرعت نور، می‌توان از حرکت نور در امتداد یک مسیر منحنی در فضا-زمان، (به عنوان مثال اطراف یک جسم ثقیل) نیز کمک گرفت. پرتو نور همیشه مستقیم‌ترین فاصله ممکن بین دو نقطه را دنبال می‌کند که به آن ژئودزیک (Geodesic) گفته می‌شود.<sup>۱۸۰، ۱۸۱</sup> اما از آنجایی که در فرضیه نسبیت، فضا-زمان خمیده است، ژئودزیک ممکن است یک خط مستقیم (Straight) در یک فضای تخت نبوده و به شکل قوسی از یک منحنی باشد. بنابراین اگر دو ناظر فرضی را در نظر بگیریم که یکی سرعت نور را در امتداد ژئودزیک اندازه‌گیری میکند، و دیگری آن را در امتداد یک خط مستقیم و در یک فضای مسطح، آنگاه دو ناظر مذکور مقادیر متفاوتی را برای سرعت نور به دست می‌آورند. (شکل ۲۴)

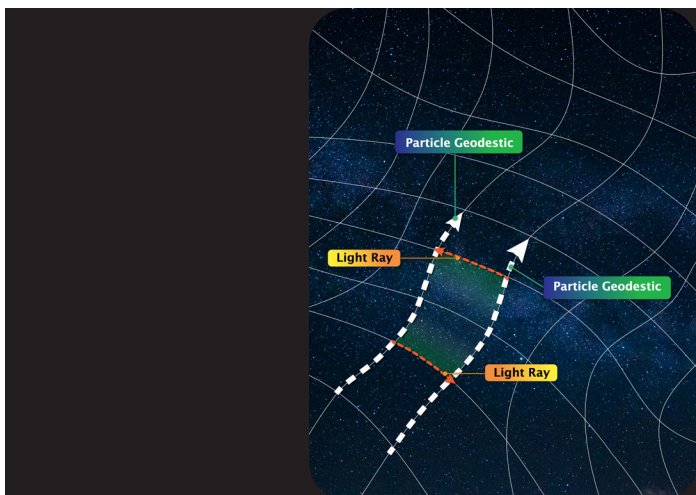
### تغییر سرعت نور (c) با توجه به نظریات مطرح شده در علم رایج

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، ثابت بودن سرعت نور (c) به طور محلی (locally) در محیط خلاء، از اصولی است که جزء ستون‌های نظریه نسبیت به شمار آمده و فیزیک مدرن نیز بر مبنای آن بنا نهاده شده است. طبیعتاً متغیر دانستن این ثابت جهانی، به منزله انقلاب فکری بزرگی در میان فیزیکدانان و همچنین تغییر در اساس چارچوب‌ها و فرمول بندی‌های شکل گرفته شده می‌باشد. با این حال، استمرار و برقراری چنین اصول سلبی و مخالف جامعۀ علمی با تغییر در آنها هیچگاه مانع از ارائه نظریاتی که مبنای آن متغیر بودن سرعت نور می‌دانند، نشده است.<sup>۱۷۴، ۱۷۵</sup> در نسبیت، ثابت بودن سرعت نور به طور دقیق‌تر به معنای آن است که سرعت ذرات با جرم سکون صفر (همچون فوتون‌ها، گروتون‌ها (کوانتوم گرانش) و...) صرف نظر از فرکانس (رنگ)، فضایی که در آن حرکت می‌کنند، زمان و جهت حرکت، موقعیت ناظر و منبع ساطع کننده، برای همه مقدار یکسانی است. اما هر کدام از پارامترهای مذکور، می‌توانند به نحوه‌های مختلفی نقض شوند و مجموعه نظریاتی را تحت عنوان سرعت نور متغیر (Variable Speed of Light (VSL)) منجر گردند.<sup>۱۷۶، ۱۷۷</sup> این مجموعه نظریات، راه خود را به کیهان‌شناسی، گرانش کوانتومی و غیره نیز باز کرده‌اند که در ذیل، به برخی از آن‌ها به طور اجمالی اشاره می‌شود:

### سرعت نور متغیر و خمش نور

شاید یکی از اولین افرادی که متغیر بودن سرعت نور را به عنوان یک حالت ممکن مطرح کرده است، خود انیشتین باشد. انگیزه ارائه این ایده، توصیف پدیده خمش نور به هنگام عبور از حوالی

## شکل ۲۴ مفهوم ژئودزیک در فضا-زمان خمیده



### سرعت نور متغیر، جایگزینی برای نظریه تورم نخستین

مجموعه نظریات سرعت نور متغیر، توجه جامعه کیهان‌شناسی را نیز به خود معطوف کرده است؛ چراکه می‌تواند به عنوان جایگزینی برای نظریه تورم نخستین در نظر گرفته شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در فرضیه تورم نخستین، کیهان در ابتدای شکل‌گیری، در مدت زمان بسیار کوتاهی دچار انبساط شتابداری شده است.<sup>۱۶۶-۱۶۸</sup> این سناریو به جهت رفع دو مسئله مهم افق (horizon problem) و تخت بودن (flatness problem) در مدل استاندارد کیهان‌شناسی ارائه گشته و بر مبنای متغیر بودن چگالی ماده در دوره تورم، استوار است.<sup>۱۶۵، ۱۶۴، ۱۶۶</sup> اما یکی از راه‌های دیگری که برای حل دو معضل مذکور در کیهان‌شناسی رایج پیشنهاد می‌شود، در نظر گرفتن سرعت نور متغیر در دوره نخستین کیهان می‌باشد.

از مدل‌های مطرح در این راستا می‌توان به مدل آلبرخت و مگیخو (Albrecht و Maguijeo) اشاره کرد که در سال ۱۹۹۹ ارائه شده است.<sup>۱۸۲</sup> در این مدل، سرعت نور در ابتدای شکل‌گیری کیهان بسیار بیشتر از زمان کنونی در نظر گرفته می‌شود؛ در نتیجه، بخش‌هایی از کیهان که نمی‌توانند دارای تعامل نوری باشند، از همان دوره نخستین به یکدیگر مرتبط می‌شوند و به این ترتیب، مساله افق و تخت بودن کیهان را حل می‌کنند. از دیگر پیامدهای متغیر بودن سرعت نور در این مدل آن است که کوچک بودن ثابت کیهان‌شناختی ( $\Lambda$ ) در زمان کنونی کیهان نیز توجیه می‌شود. همچنین تحول سرعت نور با زمان می‌تواند به گونه‌ای طراحی شود که نوساناتی را به همراه آورد و شکل‌گیری ساختار در کیهان را توضیح دهد.

مدل آلبرخت و مگیخو بعدها توسط فیزیکدان مطرح دیگری به نام بارو (Barrow) مورد مطالعه و بررسی جامع‌تری قرار گرفت.<sup>۱۸۳</sup> بر خلاف مدل اولیه که در آن کاهش سرعت نور به نوعی به صورت آنی در نظر گرفته شده، Barrow در فرضیات خود، کاهش سرعت نور با زمان را به انبساط کیهان و فاکتور بزرگنمایی، وابسته می‌داند و نرخ این کاهش سرعت را نیز به جهت حل معضلات موجود در کیهان‌شناسی محاسبه می‌کند. در مقاله دیگری بارو و مگیخو برای توجیه تغییرات در ثابت ساختار (Fine Structure Constant) با نماد  $\alpha$  (از دیگر ثوابت بنیادین و بدون واحد اندازه‌گیری یا بعد) سناریوی

### سرعت نور متغیر و ضریب شکست محیط خلاء

از دیگر افرادی که سرعت نور متغیر را در فرضیات خود مطرح کرد، رابرت دیکه (Robert Dicke) بود. وی در سال ۱۹۵۷، با انتشار مقاله‌ای نشان داد که خمش فضا-زمان در فرضیه نسبیت می‌تواند به تغییرات ضریب شکست محیط خلاء، نسبت داده شود. به عبارت دیگر، خلاء را می‌توان به مثابه یک محیط عایق الکتریکی در نظر گرفت که ضریب شکست آن به میزان گرانش اجرام در آن وابسته است، و با مختصات فضا مطابق رابطه زیر تغییر می‌کند:<sup>۱۸۰، ۱۸۹</sup>

$$n(r) \equiv c(r)/c_{\infty} = 1 + (2GM/rc_{\infty}^2)$$

در این رابطه،  $n(r)$  ضریب شکست متغیر محیط خلاء،  $c(r)$  سرعت نور متغیر،  $c_{\infty}$  سرعت نور در غیاب میدان گرانشی،  $(G)$  ثابت جهانی گرانش،  $(M)$  جرم جسم و  $(r)$  فاصله از جسم است.

متغیر بودن ضریب شکست نور می‌تواند متغیر بودن سرعت، طول موج و فرکانس نور در حوالی اجسام با گرانش بالا را با خود به دنبال آورد و انحراف نور (انتقال به سرخ یا آبی گرانشی) را منجر گردد. رابرت دیکه همچنین برای توجیه پدیده انتقال به سرخ در طی انبساط کیهان استدلال کرد که با افزایش افق رویداد، تولید ماده در کیهان بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود و این امر افزایش ضریب شکست خلاء را به دنبال می‌آورد. بنابراین، سرعت نور طبق رابطه زیر باید روند کاهشی با گذر زمان داشته باشد:<sup>۱۸۰، ۱۸۹</sup>

$$c(t) = n(t)^{-1} \times c_0$$

در رابطه فوق،  $c_0$  سرعت نور در زمان کنونی کیهان یعنی  $t=0$  می‌باشد.

فرضیات رابرت دیکه بعدها منجر به ارائه نظریه گرانش نسبیتی به عنوان تمدیدی برای نسبیت عام انیشتین شد که در آن ثابت جهانی گرانش نیوتن تحت تاثیر یک میدان اسکالر، متغیر در نظر گرفته می‌شود.<sup>۱۸۱</sup>

علاوه بر این مجموعه نظریات، بر اساس قانون هابل، کهکشانی‌های دور دست که ورای حجمی به نام حجم هابل قرار دارند، می‌توانند با سرعتی متغیر و بیش از سرعت نور (c) از ناظر روی زمین در حال دور شدن باشند، که در ادامه به این موضوع به طور مختصر می‌پردازیم:

### فرا تر از سرعت نور ورای حجم هابل (Hubble Volume)

همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد، کیهان با نرخ شتاب‌دار در حال انبساط می‌باشد.<sup>۳۷</sup> از تبعات این انبساط، انتقال به سرخ طیف دریافتی از کهکشانی‌های مورد رصد است که به دلیل فاصله گرفتن این کهکشانی‌ها از زمین با سرعتی تحت عنوان سرعت دور شدن، رخ می‌دهد. بر اساس قانون هابل، بزرگی سرعت دور شدن یک کهکشان، به طور متوسط به فاصله آن از ناظر (زمین) و ثابت هابل ( $H_0$ )، که مقدار عددی آن معادل  $1/10^{-18} \times 2$  است، وابسته می‌باشد:<sup>۳۶</sup>

$$v = H_0 d$$

به عبارتی، با افزایش فاصله یک کهکشان از ناظر روی زمین، سرعت دور شدن آن کهکشانی نیز نسبت به ناظر افزایش پیدا می‌کند و برای میزان آن هم محدودیتی وجود ندارد. یعنی سرعت دور شدن می‌تواند مقداری بیش از سرعت نور (c) داشته باشد. در وهله اول ممکن است چنین به نظر برسد که نبود محدودیت برای سرعت دور شدن کهکشانی‌ها در قانون هابل، مغایر با اصول تبیین شده در نسبیت است بطوریکه باعث نقض آن می‌شود؛ در حالیکه از دیدگاه فیزیک رایج چنین نیست. در واقع، آنچه که بیش از سرعت نور نمی‌تواند باشد، سرعت حرکت اجسام نسبت به یکدیگر است و نه فضای بین آنها، یعنی، فضای بین اجرام می‌تواند با سرعتی بیش از سرعت نور دچار انبساط شود؛ اما طبیعتاً با ابزارهای اندازه‌گیری قابل ثبت نیست.

مطابق تعریف، فاصله‌ای که در آن سرعت دور شدن یک کهکشان نسبت به ناظر، به مقدار (c) می‌رسد، فاصله هابل نام دارد. به این معنی که ورای این فاصله، سرعت دور شدن، بیش از (c) خواهد بود. این فاصله، حجمی به نام حجم هابل (کره هابل) را نیز ایجاد می‌کند که با انبساط کیهان، پیوسته در حال افزایش است و رخدادهایی هم که فراسوی این حجم رخ می‌دهند، قابل ردیابی نیستند. لازم به ذکر است که این حجم کوچکتر از حجم کیهان قابل مشاهده می‌باشد.<sup>۱۹۷</sup> (شکل ۲۵)

سرعت نور متغیر را ارائه می‌دهند. به موجب این سناریو سرعت نور از دوره نخستین کیهان تا دوره تسلط ماده کاهش یافته و بعد از آن به مقدار ثابت و کنونی c رسیده است. در چنین شرایطی، نوسانات جزئی در c، تغییر در ثابت ساختار را نیز توجیه خواهد کرد.<sup>۱۸۴</sup>

موفات (Moffat) نیز از دیگر دانشمندانی بود که در سال ۱۹۹۳، با ارائه مدلی بر مبنای سرعت نور متغیر و مفروض دانستن مقداری در حدود  $10^{28}$  برابر مقدار فعلی سرعت نور در دوره نخستین کیهان، نشان داد که دو معضل اصلی مدل استاندارد (مسئله افق و تخت بودن) قابل حل می‌باشد. در مدل وی پس از رسیدن به یک زمان بحرانی، سرعت نور به مقدار فعلی و امروزی کاهش پیدا کرده است.<sup>۱۸۵</sup>

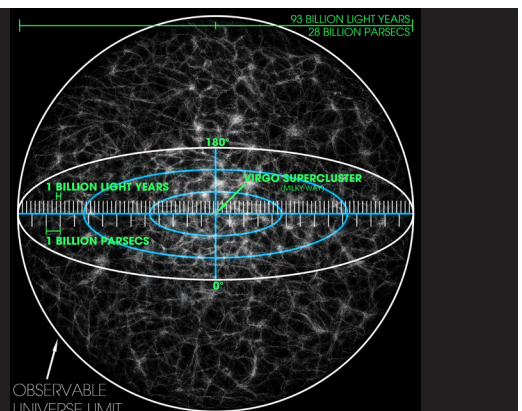
### سرعت نور متغیر و نظریه ریسمان (ابر ریسمان)

سرعت نور متغیر راه خود را به نظریات دیگری همچون نظریه ریسمان نیز باز کرده است. این نظریه یا همان ابرریسمان (string theory, superstring theory) از جمله نظریات مطرح در حوزه فیزیک نظری است که با هدف به وحدت رساندن تمامی برهم کنش‌های بنیادین در فیزیک (گرانیش و سایر نیروهای بنیادین) و همچنین تمامی اشکال ماده، ارائه شده است. در این نظریه، اجزاء بنیادین و تشکیل دهنده کیهان به جای آنکه ذرات بنیادین نقطه‌گون (بدون بعد) باشند، ریسمان‌های یک بُعدی در ابعاد میکروسکوپی هستند که می‌توانند از خود ارتعاشاتی را بروز دهند؛ به طوریکه بر حسب حالت ارتعاش این ریسمان‌ها، نوع، جرم و بار الکتریکی ذرات بنیادی تعیین می‌شود. این چارچوب فکری با ارائه یک سیستم کوانتومی گرانیشی و کاملاً سازگار با نسبیت عام، سعی بر حل تضادهای دیرینه بین این دو دیدگاه (مکانیک کوانتوم و نسبیت عام) دارد تا از این رهگذر، تئوری واحدی را برای توصیف "همه چیز" ارائه دهد.<sup>۱۹۱-۱۹۶</sup>

یکی از ویژگی‌های نظریه ریسمان، ظهور ابعاد اضافی برای فضا-زمان در محاسبات می‌باشد.<sup>۱۸۷</sup> این ابعاد می‌توانند بر اساس هندسه و دینامیکی که دارند، اثرات قابل توجهی بر سرعت موثر نور داشته باشند. به عنوان مثال، در یکی از سناریوهای مطرح در این نظریه، تحت عنوان دنیای غشاء (Brane world)، کیهان ما در غشاء (ابسطح)‌هایی محبوس شده است؛ غشاءهایی که خود نیز در فضا-زمانی با ابعاد بالاتر از ۵ بُعد احاطه شده‌اند. در شرایط خاص و بسته به مدلی که به کار برده می‌شود، سرعت موثر نور حین عبور از درون این غشاءها می‌تواند کاهش یابد<sup>۱۹۲، ۱۹۳</sup> و یا به حدی بیش از آنچه که در چارچوب نسبیت تعریف شده، برسد.<sup>۱۹۴-۱۹۶</sup>

**شکل ۲۵**  
حجم هابل و کیهان قابل مشاهده. حجم هابل شعاعی تقریبی معادل شعاع دایره درونی آبی رنگ دارد و بنابراین درون "کیهان قابل مشاهده" است.

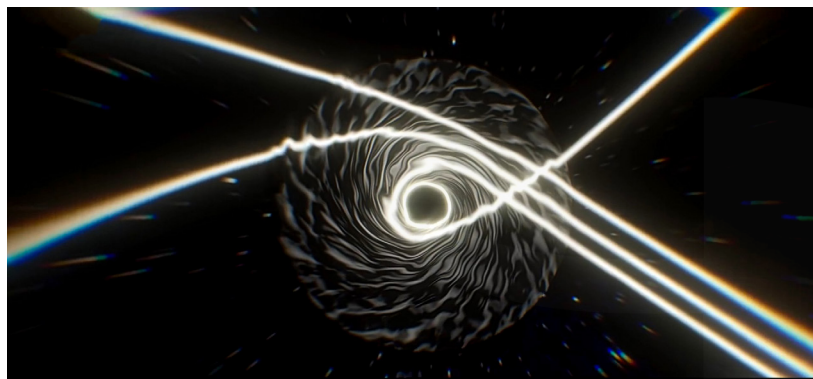
Credits: Andrew Z. Colvin, CC BY-SA 3.0



جرم ماده معمولی است داشته باشد، در طی مسیر به واسطه پیچ خوردن در توری‌های فضا، سرعت آن کمتر شده و خمش بیشتری پیدا می‌کند و یا اینکه اگر سیاهچاله‌ای در مسیر نور باشد، به علت افزایش قابل توجه ویسکوزیته فضا، نور در افق رویداد آن به طور کامل به دام افتاده و به درون سیاهچاله کشیده می‌شود. (شکل ۲۶)

### قیاس دیدگاه‌های مطرح در علم رایج با کیهان‌شناسی شعوری

با توجه به این توضیحات، تفاوت واضحی بین این فرضیات و علت متغیر بودن سرعت نور از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری وجود دارد و این تفاوت بارز، در تاثیر مستقیم ویسکوزیته فضا در کاهش یا افزایش سرعت نور می‌باشد. یعنی هر چقدر نور، نفوذ بیشتری به درون فضای دارای ویسکوزیته بالا که حاصل انقباض آن در اثر وجود



**شکل ۲۶**  
خمش و انحراف نور در اطراف سیاهچاله درون کیهانی به دلیل ویسکوزیته بالای فضای اطراف آن

- در صورتی که کیهان‌شناسی شعوری سرعت نور را در لحظات اولیه آغاز جهان، به واسطه گرانش بسیار بالایی که توسط TAM (درنقش پوسته کیهان) اعمال می‌شد، بسیار پایین می‌داند. چرا که حجم کیهان در دوره‌های اولیه انبساط، کوچک بوده و فضای آزاد شده از پوسته به درون کیهان با ویسکوزیته بالایی همراه بوده است. یعنی ماده تاریکی که در آن زمان به واسطه فشردگی فضا در کیهان موجود بود، از غلظت بالایی برخوردار بوده است. همین امر عامل کاهش سرعت نور در جهان اولیه و افزایش تدریجی آن با توجه به انبساط کیهان است. شایان ذکر است که از این دیدگاه، نرخ سرعت نور باید با توجه به حجم کیهان امروزی به صورت محلی مورد اندازه‌گیری قرار بگیرد.

### مقایسه از منظر سرعت نور متغیر در نظریه ریسمان

- مطابق این نظریه، موضوعی به نام دنیای غشاء مطرح می‌شود که در آن، کیهان ما در غشاء یا همان ابرسطح‌هایی محبوس شده است. این غشاءها در فضا-زمانی با ابعاد بالاتر از ۵ بُعد احاطه شده‌اند. بنابراین در شرایط خاص، سرعت نور حین عبور از درون این غشاءها می‌تواند کاهش یابد و یا به حدی بیش از آنچه که در چارچوب نسبیت تعریف شده است، برسد.

- در صورتی که کیهان‌شناسی شعوری فضای کیهانی که در آن زندگی می‌کنیم را متشکل از سه بُعد، نه فراتر می‌داند و زمان را نیز به عنوان نیروی آنتروپایی در آن تعریف می‌کند که عکس گرانش عمل کرده و سبب اضمحلال جرم معمولی و رهایی فضا از تراکم و تنش می‌شود. بنابراین همان طور که قبلاً نیز بیان شد، این ویسکوزیته متغیر فضا است که به واسطه وجود اجرام مختلف عامل تغییر در سرعت نور می‌شود، نه غشاءهای تعریف شده در نظریه ابر ریسمان.

### مقایسه از منظر متغیر سرعت نور Robert Dicke

- در این نظریه، به طور کلی نشان داده می‌شود که در طی انبساط جهان با افزایش افق رویداد، تولید ماده در کیهان بیشتر می‌شود و این امر افزایش ضریب شکست خلاء را به دنبال می‌آورد. بنابراین، سرعت نور باید روند کاهشی با گذر زمان داشته باشد.

- اما طبق دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری، اولاً دلیل افزایش تولید ماده، به تجزیه پوسته کیهان و ماده‌زایی فعلی آن برمی‌گردد. ثانیاً، با توجه به افزایش حجم کیهان کروی که توام با چرخش بوده و به تبع آن همه اجرام به واسطه این چرخش که به سمت پوسته در حال پیشروی هستند، با واگرد فضا و رهایی مستمر آن از هرگونه استرس و تنش تجزیه می‌شوند و با اضمحلال کامل خود به امواج مطلقاً تبدیل می‌شوند که هیچ تاثیر گرانشی بر کیهان نخواهند داشت که خود این امر منجر به کاهش و صفر شدن ویسکوزیته فضا خواهد شد. همچنین با کاهش ویسکوزیته فضا نرخ سرعت این امواج به فراتر از سرعت نور کنونی با فرکانس و دامنه رو به صفر (نه خود صفر) خواهد رسید. در کل می‌توان گفت کیهان‌شناسی شعوری، درست برعکس این نظریه، سرنوشت نهایی کیهان را توام با افزایش چند برابری سرعت نور می‌داند.

### مقایسه از منظر سرعت نور متغیر به عنوان جایگزینی برای نظریه تورم نخستین

- نظریات مختلف در مورد سرعت نور متغیر که توسط دانشمندانی همچون Maguiejo و Albrecht, Barrow و در نهایت Moffat جهت جایگزینی برای نظریه تورم نخستین ارائه شد، به طور کلی به این موضوع اشاره دارند که در لحظات اولیه تولد جهان، سرعت نور بسیار بالاتر از سرعت کنونی بوده و با روند انبساط، این سرعت کاهش یافته و به سرعت محاسبه شده فعلی رسیده است.

## فراتر از سرعت نور، ورای حجم هابل از منظر کیهان‌شناسی شعوری

با توجه به مدل کیهان‌کروی، کیهان دارای پوسته بوده که همواره در حال ماده‌زایی و آزاد سازی فضا می‌باشد. در نتیجه در درجه اول با افزایش حجم جهان (افزایش حجم کره کیهان) و با کاهش ضخامت پوسته به سرعت فرار آن (پوسته کیهان) به بیرون افزوده می‌شود که فراتر از سرعت نور است و همچنین برآیند سرعت حرکت اجرام تولید شده از پوسته علی‌رغم پرتاب به سمت درون کیهان از حرکت (نزدیک شدن) کلی مجموعه اجرام به سمت پوسته کمتر بوده که این امر، با توجه به رصدهایی که از اعماق کیهان صورت گرفته و مدلی که کیهان‌شناسان برای جهان در نظر گرفته‌اند، ظاهراً منجر به وجود آمدن موضوعی به نام تنش هابل شده است. به عبارتی با توجه به اینکه از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری هم‌اکنون جایگاه پوسته بسیار دورتر از فاصله ۱۳/۸ میلیارد سال نوری است که توسط کیهان‌شناسان رصد می‌شود و همچنان در حال ماده‌زایی می‌باشد، بدون در نظر گرفتن این زاویه از رفتار کیهان، وجود تنش هابل در مدل استاندارد کیهان امری عادی خواهد بود. یکی دیگر از عواملی که منجر به تفاسیر متفاوت و غیر یکپارچه در دنیای کیهان‌شناسی می‌شود، نحوه درک دانشمندان از کیهان و ارائه مدل‌های مختلفی است که قسمتی از رصدهای انجام شده را تحت پوشش قرار می‌دهد ولی برای رفتارهای دیگر

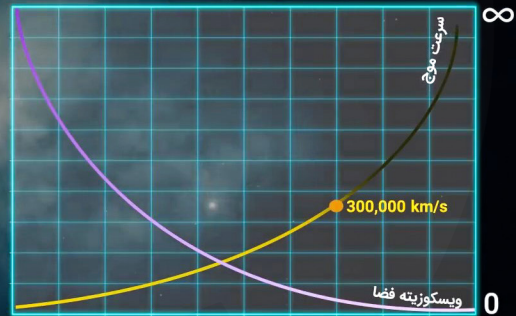
کیهان همانند فراتر بودن سرعت انبساط کیهان از سرعت نور در اعماق، توجیهی ندارد. به این موضوع در فرضیه مرکز کیهان بیشتر پرداخته خواهد شد.

## رابطه سرعت نور با ویسکوزیته فضا طی انبساط کیهان

در فرضیات کیهان‌شناسی شعوری که شامل گذشته جهان و یا پیش‌بینی رفتار کیهان در آینده است، اینگونه بیان می‌شود که سرعت نور در لحظات اولیه تولد کیهان، به علت ویسکوزیته بالای فضا بسیار کم بوده و با افزایش حجم کیهان تا به امروز در این ناحیه یعنی فضای درونی کهکشانی راه‌شیری به عدد تقریبی  $299,792,458 \text{ m/s}$  رسیده است که در ادامه با افزایش حجم جهان، به علت کاهش ویسکوزیته فضا، سرعت نور افزایش خواهد یافت. یعنی در نهایت واگرد کیهان که معادل حداکثر واگرد فضا است، نور (امواج الکترو مغناطیسی) به حد نهایی سرعت خود با فرکانس و دامنه رو به صفر (نه خود صفر) می‌رسد که می‌تواند چندین برابر میزان فعلی باشد. بنابراین مقدار سرعت نور در طول مسیر واگرد کیهان در محیط‌های مختلف نسبت به کم یا زیاد شدن ویسکوزیته فضا به واسطه حضور اجرام متغیر خواهد بود. (شکل ۲۷)

### تغییر سرعت نور در طول زمان

آغاز واگرد کیهان — پایین‌ترین حد  
کیهان کنونی —  $300,000 \text{ km/s}$   
لبه نهایی کیهان — بالاترین حد



### شکل ۲۷

نمودار تغییر سرعت نور و ویسکوزیته فضا در طول واگرد کیهان از سیاهچاله کیهانی تا حد نهایی واگرد کیهان

جان-باپتیست بیل (Jean-Baptiste Baille) در فرمول‌بندی مربوط به نیروی گرانش و با نماد  $(f)$  اضافه شده است. امروزه این کمیت با نام اختصاری  $(G)$  نشان داده می‌شود که معیاری برای قوت گرانش است. همچنین به عنوان ضریب تناسب در معادلات میدانی انیشتین در نسبیت نیز به کار می‌رود. اما از این "ثابت" تا چه حد می‌دانیم؟

ثابت جهانی گرانش  $(G)$  برابر با مقدار تقریبی  $6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  می‌باشد. دقت اندازه‌گیری این ثابت نسبت به سایر ثوابت در فیزیک بسیار کمتر است<sup>۲۰</sup> و میزان عدم قطعیت نسبی در آن مطابق با گزارش کار-گروه CODATA که در سال ۲۰۱۸ منتشر شده،  $2/2 \times 10^{-5}$  می‌باشد.<sup>۵</sup> تعیین دقیق این ثابت یکی از چالش‌های دنیای اخترشناسی، نجوم و حتی زمین‌شناسی است که در چند

## ثابت جهانی گرانش و تغییرات آن با زمان

با توجه به تعاریف ذکر شده، گرانش از جمله نیروهای بنیادین در طبیعت به شمار می‌رود که بین هر دو جسمی با جرم معین برقرار است و در فواصل بزرگ مقیاس اثرگذاری قابل ملاحظه‌ای دارد. نیوتن در کتاب اصول ریاضی فلسفه طبیعی خود، نیروی گرانش را بدون استفاده از ثابت جهانی گرانش ارائه داد و بزرگی این نیرو را صرفاً برابر با حاصل ضرب جرم دو جسم و معکوس مجذور فاصله آن‌ها معرفی کرد؛ البته توصیف وی از جرم نیز نسبت به آنچه امروزه به عنوان جرم تعریف می‌کنیم، مقداری متفاوت می‌باشد.<sup>۱۱</sup> ثابت جهانی گرانش تنها از سال ۱۸۷۳، یعنی حدود دوپست سال پس از تبیین نیروی گرانش توسط نیوتن، به وسیله دو فیزیکدان فرانسوی با نام‌های ماری-آلفرد کورنو (Mari-Alfred Cornu) و

دوره‌هایی بسیار بعدتر از دوره‌های ابتدایی کیهان صادق می‌باشد. در این بررسی، گرانش تابعی از دمای کیهان در حال انبساط در نظر گرفته می‌شود و از آنجاییکه دمای کیهان پیوسته در حال کاهش است، میزان گرانش نیز متعاقباً کاهش پیدا می‌کند.<sup>۲۱۲</sup> یا در یکی از مدل‌های مطرح شده از فیتینگ (تطابق) ثابت جهانی گرانش با داده‌های تجربی موجود از ابرنواخترها (Ia) چنین نتیجه‌گیری شده که این کمیت فیزیکی در دوران‌های نخستین کیهان، مقدار بیشتری نسبت به زمان فعلی داشته است.<sup>۲۱۳</sup>

در مطالعه دیگری نیز اصول عمومی بر مبنای متغیر بودن ثابت گرانش (G)، سرعت نور (c)، ثابت کیهان‌شناختی (A) و یا هر سه این کمیت‌ها ارائه شده‌اند که این اصول در مدل‌های مختلف می‌توانند به کار برده شوند و از رهگذر آنها مشکلات مربوط به فرضیه تورم نخستین (مسئله تخت بودن و مسئله افق)، در کیهان حل گردند.<sup>۲۱۴</sup> از جمله مدل‌هایی که این اصول در آنها استفاده شده‌اند، می‌توان به مدل کیهان‌شناسی رجنندرا گوپتا (Rajendra Gupta) اشاره کرد که با داده‌های تجربی نیز مطابقت داده شده است.<sup>۲۱۵</sup> در این مدل، ثابت جهانی گرانش و سرعت نور نه تنها به فاکتور بزرگنمایی (انبساط هابل) وابسته هستند، بلکه می‌توانند مقادیر کمتری در گذشته داشته باشند و با انبساط کیهان تا زمان کنونی افزایش پیدا کنند.

از تحقیقات دیگری که اشاره به آن خالی از لطف نیست، ارائه مدلی بر مبنای متغیر بودن ثابت جهانی گرانش و ثابت کیهان‌شناختی (A) می‌باشد که با مفروض در نظر گرفتن کیهان به عنوان سیالی با ویسکوزیته مشخص، محاسبه شده است. در این مدل، در صورتیکه انبساط شتابدار کیهان به صورت تابع توانی نشان داده شود، ثابت جهانی گرانش بسته به علامت A می‌تواند نرخ تغییرات متفاوتی داشته باشد. چنانچه A منفی باشد، گرانش با زمان کاهش می‌یابد و در صورتیکه که A مثبت باشد، گرانش نرخ فزاینده باز زمان خواهد داشت.<sup>۲۱۶</sup>

پس از این آشنایی اجمالی با فرضیات مطرح در خصوص متغیر بودن ثابت جهانی گرانش از دیدگاه علم رایج و وسعت دیدگاه‌های ارائه شده، می‌توان به بررسی این کمیت و تغییرات آن با زمان از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری پرداخت. در مقدمه، فرضیه‌ای تحت عنوان توزیع گرانش عمومی کیهانی ارائه می‌گردد.

### فرضیه توزیع گرانش عمومی کیهانی در کیهان‌شناسی شعوری

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، براساس فرضیات کیهان‌شناسی شعوری انقباض فضا (ویسکوزیته فضا) و نیروی گرانش در طول عمر کیهان از نقطه آغازین تا پایان واگرد کیهان متغیر است. چرا که نیروی زمان (فرضیه فضا، گرانش - زمان) در طی این فرآیند در حال واپاشی جرم و به تبع آن از بین بردن استرس یا تنش وارده بر فضا می‌باشد. موضوع بیان شده از این جهت حائز اهمیت است که میزان انقباض فضا نشان دهنده میزان گرانش می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که مقدار کلی گرانش در کیهان در بازه‌های زمانی مختلف، متغیر است.

دهه اخیر و با وجود تلاش‌های گسترده، کماکان محقق نگشته است. در بررسی‌های انجام شده، این ثابت می‌تواند به عنوان مثال به صورت متناوب و سالیانه<sup>۲۱۰</sup> و یا بر اساس محاسبات و داده‌های حاصل از ابرنواخترها، با نرخ معادل  $10^{-10}$  در سال، از ۹ میلیارد سال گذشته تا به اکنون در حال تغییر باشد.<sup>۲۰۲</sup> بی تردید ناسازگاری‌های موجود در مقادیر گزارش شده برای ثابت جهانی گرانش و مشاهده تغییرات در مقدار آن، فهم و شناخت درست این کمیت بنیادین را در مقیاس کیهانی با مشکلاتی مواجه کرده است.

شاید اولین فردی که متغیر بودن ثابت جهانی گرانش با زمان را مطرح کرده باشد، فیزیکدان معروف، پائول دیراک (Paul Dirac) است. وی در سال ۱۹۳۷ و پس از ارائه فرضیه اعداد بزرگ خود (Large Number Hypothesis (LNH)،<sup>۲۰۳</sup> به بررسی تبعات این نظریه در کیهان‌شناسی می‌پردازد و به این موضوع پی می‌برد که با ادغام کردن ثوابت فیزیکی، می‌توان به اعداد بی‌بُعدی با بزرگی بسیار زیاد رسید. به عنوان مثال، در مقیاس زیر اتمی، نسبت نیروی الکتریکی به نیروی گرانشی بین الکترون و پروتون، عددی بدون بُعد با بزرگی حدود  $10^{۳۹}$  می‌باشد. در مقیاس کلان نیز سن کیهان (اگر زمان بر اساس ثوابت اتمی بیان شود) مقدار تقریبی  $10^{۳۹}$  را دارد و یا جرم ماده مرئی در کیهان ضریب نمایی از  $10^{۳۹}$  است ( $10^{۳۹ \times 2}$ ). با توجه به این موارد، دیراک استنتاج کرد که یافتن چنین ارتباطی بین مقیاس زیر اتمی و مقیاس کیهانی نمی‌تواند تصادفی باشد و حاکی از آن است که ثوابت فیزیکی به کار برده شده در این روابط، فقط در دوره فعلی ثابت هستند و با افزایش عمر کیهان تغییر می‌کنند، بنابراین الزاماً مقدار ثابتی ندارند.<sup>۱۰۲</sup> دیراک در محاسبات خود نشان داد که در کیهان با گذر زمان، از میزان ثابت جهانی گرانش کاسته می‌شود. به عبارت دیگر، مقدار این ثابت در ادوار نخستین کیهان بیشتر از زمان کنونی بوده و با روند افزایش عمر کیهان، بزرگی آن رو به کاهش می‌گراید. تئوری دیراک اگرچه نیمه‌کاره ماند، اما دریچه‌ای را به سوی بررسی‌های بیشتر در خصوص ثوابت فیزیکی (از جمله ثابت جهانی گرانش) و تغییر آنها با افزایش عمر کیهان باز کرد.<sup>۲۰۴</sup>

از نخستین کسانی که مدل دیراک را به طور جدی مورد بررسی قرار دادند، می‌توان از پاسکال جردن (Pascual Jordan)، کارل برانز (Carl Brans) و رابرت دیکه (Robert Dicke) نام برد. جردن نظریه دیراک را یکی از بهترین ایده‌ها در زمان خود معرفی کرد و با استفاده از فرضیات او مدلی را ارائه داد که در آن، ثوابت فیزیکی همچون ثابت ساختار ( $\alpha$ ) و ثابت جهانی گرانش به عنوان میدان‌های اسکالر متغیر در نظر گرفته می‌شوند. در مدل وی، ضمن افزایش جرم کیهان با زمان، ثابت جهانی گرانش کاهش پیدا می‌کند.<sup>۲۰۵-۲۰۷</sup> برانز و دیکه نیز به دنبال نظریه جردن، با مطرح کردن تئوری گرانش متغیر به عنوان تعمیمی از نسبیت عام انیشتین، نشان دادند که ثابت جهانی گرانش تحت تاثیر یک میدان اسکالر که خود با گذر زمان افزایش می‌یابد، کاهش پیدا می‌کند.<sup>۱۸۱</sup>

از زمان ارائه فرضیات فوق ذکر تا به اکنون، متغیر بودن ثابت جهانی گرانش در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌های کیهان‌شناسی متعددی نیز بر اساس آن ارائه شده است.<sup>۲۰۸-۲۰۴</sup> به عنوان مثال، در یکی از مطالعات اخیر نشان داده شده که فرضیه دیراک مبنی بر متغیر بودن این ثابت، تنها در

افزایش مداوم قطر کیهان و از طرفی به دلیل کم شدن جرم TAM در کل پوسته که حاصل تجزیه شدن آن می‌باشد، کاهش می‌یابد و دیگری برآیند نیروی گرانشی ایجاد شده حاصل از تمامی اجرام در کیهان است که این برآیند نیرو نیز در روند واگرد فضا، تجزیه همة اجرام و تبدیل آنها به امواج مطلق به صفر میل خواهد کرد.

۲- انرژی تاریک: این نوع انرژی نه تنها حاصل تجزیه TAM در پوسته کیهان است، بلکه در اطراف تمامی اجرام داخل کیهان از زیر اتمی تا بزرگ مقیاس موجود می‌باشد. انرژی تاریک همان توری‌های فضا با ویسکوزیته پایین است و علی‌رغم خاصیت ضعیف گرانشی، در حجم بزرگ کیهانی به عنوان یک نیرو در عملکرد، به ظاهر خلاف نیروی گرانش عمل نموده و چون برآیند آن از برآیند کل نیروی گرانش کیهانی بیشتر است، همانند گاز فشرده در داخل کیهان ایزوله شده با اعمال فشار به پوسته، به عنوان یکی از دلایل واگرد کیهان در این دیدگاه مطرح می‌شود. (شکل ۲۸)

### سرنوشت کیهان کروی (کیهان‌شناسی شعوری) در

با این توصیفات، کیهان‌شناسی شعوری توزیع گرانش عمومی کیهانی را به شکلی متفاوت مطرح می‌کند. بدین صورت که مقدار گرانش در طول عمر کیهان ثابت نبوده و نه تنها در خود سیاهچاله کیهانی و به دنبال افزایش حجم جهان در زمان‌های اولیه به واسطه بالا بودن ویسکوزیته فضا (ماده تاریک با غلظت بالا) بسیار زیاد بوده است، بلکه به صورت محلی نیز با توجه به وجود مقادیر متفاوتی از اجرام در جای جای کیهان، ۲- وجود پوسته از جنس TAM که کیهان را احاطه کرده است نیز متغیر می‌باشد. به همین سبب ویسکوزیته فضا در ادوار مختلف کیهان متغیر است. به عبارتی همانطور که قبلاً نیز بیان شد، میزان گرانش در حال طی کردن سیر نزولی از زیاد در لحظه تولد کیهان تا کم (رسیدن به صفر) در پایان واگرد می‌باشد. با توجه به این موضوع، از این دیدگاه کیهان همواره تحت تاثیر دو نیرو قرار داد:

۱- نیروی گرانش کیهانی که شامل دو نیروی کلی است: یکی نیروی ناشی از گرانش TAM در پوسته کیهان که تمام کره کیهان را احاطه کرده است. این نوع نیروی گرانش از یک طرف به علت

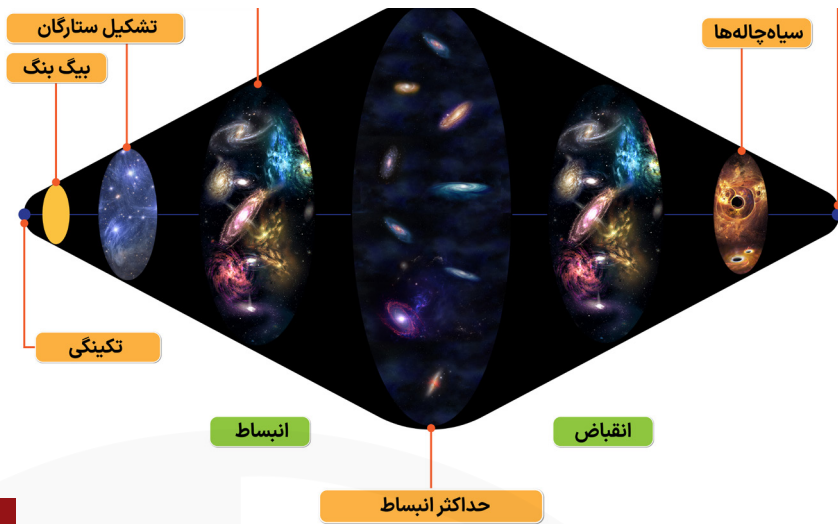


شکل ۲۸  
مفهومی از اثر گرانش کیهانی و انرژی تاریک و تحت تاثیر قرار گرفتن انبساط کیهان از انرژی تاریک

نیروی گرانش نسبت داده می‌شود که با چگالی کل ماده موجود در کیهان رابطه مستقیم دارد. به این معنی که اگر گرانش از عامل انبساط شتابدار کیهان، یعنی انرژی تاریک، قوی‌تر باشد، آنگاه زمانی فرا می‌رسد که روند انبساط کیهان متوقف شده و معکوس می‌گردد. در نتیجه این رخداد، کیهان دوباره به یک نقطه منفرد با ابعادی بسیار کوچک و در نتیجه چگالی و دمای بی‌نهایت رمبش می‌کند، تا اینکه چرخه دیگر و مهانگ (Big bang) دیگری را تجربه کند. در این فرضیه، کیهان مانند یک بالن در نظر گرفته می‌شود که به طور مکرر پر و خالی می‌گردد. (شکل ۲۹)

### مقایسه با رمبش بزرگ کیهان (کیهان‌شناسی رایج)

در کیهان‌شناسی رایج، بسته به چگالی نهایی ماده، سناریوهای متعددی برای سرنوشت نهایی کیهان ارائه شده است، که از جمله آنها می‌توان به فرضیه رمبش بزرگ یا Big Crunch اشاره کرد.<sup>۳۶،۳۷،۳۸</sup> بر اساس این فرضیه که در چارچوب نسبیت عام ارائه شده است، انبساط شتابدار کیهان برای همیشه ادامه پیدا نمی‌کند و زمانی که چگالی ماده در کیهان بیش از مقدار بحرانی شود، این انبساط با احتمال بالایی متوقف می‌گردد و کیهان شروع به انقباض (جمع شدن) می‌کند. توقف انبساط و انقباض کیهان به



شکل ۲۹  
تصویری انتزاعی از نظریه رمبش بزرگ

در این دیدگاه، مادهٔ تاریک و انرژی تاریک، بنابر تعاریف ارائه شده از جنس خود فضا با ویسکوزیته‌های متفاوت هستند که در انتهای لبهٔ نهایی کیهان (پایان واگرد فضا) هر دو به صفر می‌رسند، به عبارتی  $(F_D = F_G = 0)$ . (شکل ۳۱)

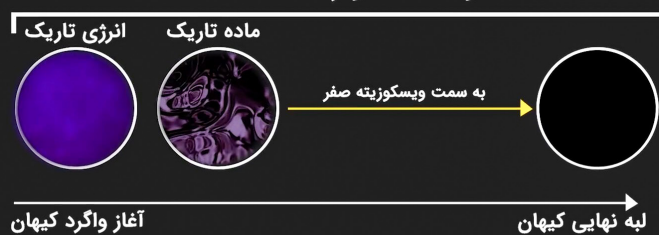
در مدل کیهان کروی کیهان‌شناسی شعوری نیز بازگشت کیهان صورت می‌گیرد، اما بر خلاف آنچه که در کیهان‌شناسی رایج به عنوان یکی از سرنوشت‌های احتمالی برای جهان تصور می‌شود، نیروی گرانش عامل بازگرداندن کیهان به نقطهٔ اولیه خود نیست، بلکه چرخش ذاتی کیهان عامل این بازگشت بوده و تقابل بین دو نیروی ناشی از انرژی تاریک و گرانش کیهانی، سبب افزایش حجم و باز شدن پوستهٔ کیهان می‌شود. (شکل ۳۰)



شکل ۳۰  
تقابل بین نیروی ناشی از انرژی تاریک و گرانش کیهانی در مدل کیهان کروی کیهان‌شناسی شعوری

## ویسکوزیته فضا

شکل ۳۱  
برقراری رابطهٔ  $(F_D = F_G = 0)$  در لبهٔ نهایی کیهان (واگرد نهایی فضا)



### ضریب ویسکوزیته فضا

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد توزیع نیروی گرانش کیهانی همواره تابعی از ماده تاریک و انرژی تاریک است که آنها نیز خود تابعی از انقباض یا ویسکوزیته فضا می‌باشند. بنابراین، می‌توان گفت از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری،  $G$  که به عنوان ثابت جهانی گرانش از آن نام برده شده است، همان ضریب ویسکوزیته فضای کیهان است و برابر است با:

$$G = 6/67430 \times 10^{-11} \left[ \frac{N \cdot m}{kg} \right]$$

ضریب ویسکوزیته کیهان در انتهای واگرد فضا به خاطر از بین رفتن گرانش برابر با صفر خواهد بود. به عبارتی با پیشروی واگرد فضا، به طور مثال ۱۰ میلیارد سال بعد، میزان گرانش بین اجرام کمتر می‌شود و در نهایت با تبدیل اجرام به امواج مطلق، این ضریب به صفر می‌رسد ( $G=0$ ). همچنین اگر در زمان به عقب برگردیم با توجه به قاعده گفته شده، مسلم است که ضریب ویسکوزیته کیهان بسیار بالا بوده تا اینکه در سیاهچاله کیهانی به حد نهایت خود می‌رسد که این ضریب را می‌توان با عدد (یک) نشان داد ( $G=1$ ). به عبارتی از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری ضریب ویسکوزیته کیهان از ۱ تا صفر (طی واگرد فضا) و برعکس (طی بازگشت کیهان جهت تشکیل سیاهچاله کیهانی جدید) متغیر است. (شکل ۳۲)



شکل ۳۲  
 نمایی از تغییرات ضریب ویسکوزیته فضا با توجه به میزان گرانش، از تولد کیهان تا پایان واگرد فضا

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در لحظه انفجار بزرگ نیز ضریب گرانش  $G$ ،  $10^{10} \times 1/49$  برابر مقدار فعلی بوده که نشان دهنده ویسکوزیته فوق العاده زیاد فضا در آن زمان بوده است. به همین علت، فضا نمی‌توانسته، از گرانش وحشتناک سیاهچاله کیهانی به یکباره جدا شده و تورمی که در کیهان‌شناسی رایج به طور عمده پذیرفته شده در آن رخ داده باشد. به عبارتی این موضع هم یکی از دلایلی است که نشان می‌دهد که نظریه تورم با توجه به مقدار بسیار زیاد گرانش، در لحظات اولیه کیهان سازگار نیست. (شکل ۳۳)

از طرفی کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند که موقعیت ما به عنوان ناظر زمینی هم اکنون مابین بازوهای کهکشان راه شیری یعنی جایی است که ویسکوزیته کمی از فضا را تجربه می‌کنیم. اما اگر در نزدیکی سیاهچاله مرکزی این کهکشان که در آن نواحی ویسکوزیته فضا بسیار بالاتر است قرار بگیریم، برای متعادل‌سازی دو طرف معادله گرانش، مقدار ضریب گرانش  $G$  یا همان ضریب ویسکوزیته فضا، افزایش پیدا خواهد کرد.

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$$

شکل ۳۳  
 رابطه ضریب گرانش با میزان ویسکوزیته فضا در طی واگرد کیهان

### ضریب ویسکوزیته فضا $G=$



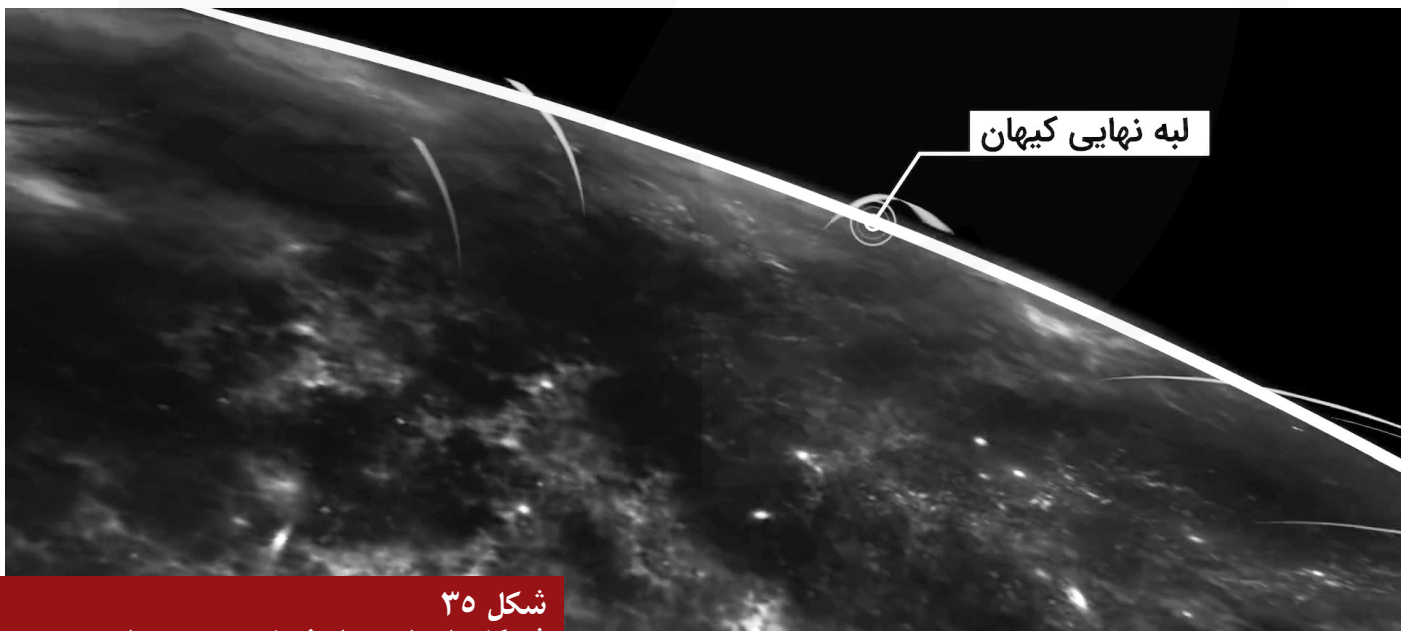
در کل کیهان کمتر می‌شود. شایان ذکر است که توزیع گرانش کیهانی بطور میانگین در هر مقطع زمانی کوتاه مدت، به ناچار ثابت اندازه‌گیری می‌شود. (شکل ۳۴)

با توجه به این توضیحات، توزیع گرانش کیهانی با کاهش ویسکوزیته فضا، بیشتر شدن فاصله اجرام از یکدیگر، کم شدن ضخامت پوسته کیهان و در نهایت رقیق‌تر شدن ماده تاریک، رابطه مستقیم دارد. به این معنی که با کاهش این عوامل، توزیع گرانش



مترکم تبدیل به امواج با طول موج بی‌نهایت می‌شوند و با از بین رفتن کامل گرانش، ماده تاریک نیز عملاً از بین رفته، و فضا به وضعیت طبیعی و اصلی خود برمی‌گردد، یعنی بدون هیچ‌گونه تنش و استرس. (شکل ۳۵)

در بیان کلی می‌توان گفت که در مدل کیهان کروی، نیروی گرانش در مسیر واگرد کیهان با گذشت زمان کمتر می‌شود و از ویسکوزیته ماده تاریک فضا نیز کاسته شده و اجرام نمی‌توانند ثبات خود را حفظ کنند که در نهایت در انتهای واگرد کیهان، دچار واپاشی می‌شوند. در لبه نهایی کیهان (واگرد نهایی فضا) نیز امواج



شکل ۳۵ شکلی انتزاعی از فضایی بدون استرس و تنش در لبه نهایی کیهان یا همان واگرد کامل فضا

1. Dirac, P.A.M. The Cosmological Constants. *Nature* **1937**, *139*, 323–323, <https://doi.org/10.1038/139323a0>.
2. Dirac, P.A.M. A New Basis for Cosmology. *Proc. R. Soc. London. Ser. A. Math. Phys. Sci.* **1938**, *165*, 199–208, <https://doi.org/10.1098/rspa.1938.0053>.
3. Penrose, R. Spacetime. In *The road to reality : a complete guide to the laws of the universe*; Jonathan Cape: London, 2004 ISBN 0224044478.
4. Petley, B.W. New Definition of the Metre. *Nature* **1983**, *303*, 373–376, <https://doi.org/10.1038/303373a0>.
5. Tiesinga, E.; Mohr, P.J.; Newell, D.B.; Taylor, B.N. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2018. *Rev. Mod. Phys.* **2021**, *93*, 025010, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.93.025010>.
6. Li, Q.; Xue, C.; Liu, J.P.; Wu, J.F.; Yang, S.Q.; Shao, C.G.; Quan, L. Di; Tan, W.H.; Tu, L.C.; Liu, Q.; et al. Measurements of the Gravitational Constant Using Two Independent Methods. *Nature* **2018**, *560*, 582–588, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0431-5>.
7. Kawasaki, A. Measurement of the Newtonian Constant of Gravitation G by Precision Displacement Sensors. *Class. Quantum Gravity* **2020**, *37*, 075002, <https://doi.org/10.1088/1361-6382/ab6f80>.
8. *Astrophysics, Clocks and Fundamental Constants*; Karshenboim, S.G., Peik, E., Eds.; Lecture Notes in Physics; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2004; Vol. 648; ISBN 978-3-540-21967-5.
9. Salam, A.; Taylor, J.C. *Unification of Fundamental Forces: The First 1988 Dirac Memorial Lecture*; Cambridge University Press, 1990; ISBN 9780521371407.
10. Berry, M. *V Principles of Cosmology and Gravitation*; Cambridge University Press: Cambridge, 1976; ISBN 0521210615.
11. Newton, I.; Budenz, J. Cohen, I. B., Whitman, A., T. *The Principia: The Authoritative Translation : Mathematical Principles of Natural Philosophy*; University of California Press: Berkeley, 2016; ISBN 9780520964785.
12. Capecchi, D. Epistemology and Science at the Turn of the 18th Century. In; Springer International Publishing: Cham, 2021; pp. 1–88 ISBN 978-3-030-52852-2.
13. Knudsen, J.M.; Hjorth, P.G. Elements of Newtonian Mechanics. **2000**, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57234-0>.
14. Grøn, Ø.; Hervik, S. *Einstein's General Theory of Relativity*; NV-1 onl.; Springer New York: New York, NY, 2007; ISBN 978-0-387-69199-2.
15. Rindler, W. *Essential Relativity*; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 1977; ISBN 978-3-540-10090-4.

16. Rajendra, J.C.N. *Introduction to the Concepts in Modern Physics*; Laxmi Publications Pvt Ltd: New Delhi, 2019; Vol. First edit; ISBN 9789352744060.
17. Krane, K.S. *Modern Physics*; John Wiley & Sons, Inc., 2012; ISBN 9781118061145.
18. Minkowski, H. Die Grundgleichungen Für Die Elektromagnetischen Vorgänge in Bewegten Körpern. **1908**, 53–111.
19. Schutz, J.W. *Independent Axioms for Minkowski Space-Time*; Longman: Harlow SE - 241 pages : illustrations ; 25 cm., 1997; ISBN 978-0-582-31760-4.
20. Walter, S. Minkowski's Modern World. In *Minkowski Spacetime: A Hundred Years Later*; Springer Netherlands: Dordrecht, 2010; pp. 43–61.
21. Deruelle, N.; Uzan, J.-P. Minkowski Spacetime. In *Relativity in Modern Physics*; Oxford University Press Oxford, 2018; pp. 179–189.
22. Deruelle, N.; Uzan, J.-P. The Equivalence Principle. In *Relativity in Modern Physics*; Oxford University Press Oxford, 2018; pp. 405–412 ISBN 9780198786399.
23. Longair, M.S. An Introduction to General Relativity. In *Theoretical Concepts in Physics*; Longair, M.S., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, 2020; pp. 472–524 ISBN 9781108484534.
24. Klainerman, S. Stability of Minkowski Space. In *Encyclopedia of Mathematical Physics: Five-Volume Set*; Elsevier, 2004; pp. 14–19 ISBN 9780125126601.
25. Einstein; Albert Näherungsweise Integration Der Feldgleichungen Der Gravitation. *SPAW* **1916**, 688–696.
26. Schmidt, B.P.; Suntzeff, N.B.; Phillips, M.M.; Schommer, R.A.; Clocchiatti, A.; Kirshner, R.P.; Garnavich, P.; Challis, P.; Leibundgut, B.; Spyromilio, J.; et al. The High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type Ia Supernovae. *Astrophys. J.* **1998**, *507*, 46–63, <https://doi.org/10.1086/306308>.
27. Riess, A.G.; Filippenko, A. V.; Challis, P.; Clocchiatti, A.; Diercks, A.; Garnavich, P.M.; Gilliland, R.L.; Hogan, C.J.; Jha, S.; Kirshner, R.P.; et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *Astron. J.* **1998**, *116*, 1009–1038, <https://doi.org/10.1086/300499>.
28. Perlmutter, S.; Aldering, G.; Goldhaber, G.; Knop, R.A.; Nugent, P.; Castro, P.G.; Deustua, S.; Fabbro, S.; Goobar, A.; Groom, D.E.; et al. Measurements of  $\Omega$  and  $\Lambda$  from 42 High-Redshift Supernovae. *Astrophys. J.* **1999**, *517*, 565–586, <https://doi.org/10.1086/307221>.
29. Komatsu, E.; Smith, K.M.; Dunkley, J.; Bennett, C.L.; Gold, B.; Hinshaw, G.; Jarosik, N.; Larson, D.; Nolte, M.R.; Page, L.; et al. Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP\*) Observations: Cosmological Interpretation. *Astrophys. Journal, Suppl. Ser.* **2011**, *192*, 18, <https://doi.org/10.1088/0067-0049/192/2/18>.
30. Aghanim, N.; Akrami, Y.; Ashdown, M.; Aumont, J.; Baccigalupi, C.; Ballardini, M.; Banday, A.J.; Barreiro, R.B.; Bartolo, N.; Basak, S.; et al. Planck 2018 Results. *Astron. Astrophys.* **2020**, *641*, A6, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833910>.

31. Aghanim, N.; Akrami, Y.; Ashdown, M.; Aumont, J.; Baccigalupi, C.; Ballardini, M.; Banday, A.J.; Barreiro, R.B.; Bartolo, N.; Basak, S.; et al. Planck 2018 Results. *Astron. Astrophys.* **2021**, *652*, C4, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833910e>.
32. Abdullah, M.H.; Wilson, G.; Klypin, A.; Ishiyama, T. Constraining Cosmological Parameters Using the Cluster Mass–Richness Relation. *Astrophys. J.* **2023**, *955*, 26, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ace773>.
33. Tsujikawa, S. Dark Energy: Investigation and Modeling. In *Dark Matter and Dark Energy A Challenge for Modern Cosmology*; Springer: Dordrecht; 2011; pp. 331–402 ISBN 978-90-481-8685-3.
34. Bamba, K.; Capozziello, S.; Nojiri, S.; Odintsov, S.D. Dark Energy Cosmology: The Equivalent Description via Different Theoretical Models and Cosmography Tests. *Astrophys. Space Sci.* **2012**, *342*, 155–228, <https://doi.org/10.1007/s10509-012-1181-8>.
35. Peebles, P.J.E.; Ratra, B. The Cosmological Constant and Dark Energy. *Rev. Mod. Phys.* **2003**, *75*, 559–606, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.75.559>.
36. Perlov, D.; Vilenkin, A. *Cosmology for the Curious*; Springer International Publishing: Cham, 2017; ISBN 978-3-319-57038-9.
37. Steinhardt, P.J.; Wang, L.; Zlatev, I. Cosmological Tracking Solutions. *Phys. Rev. D* **1999**, *59*, 123504, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.59.123504>.
38. Albrecht, A.; Skordis, C. Phenomenology of a Realistic Accelerating Universe Using Only Planck-Scale Physics. *Phys. Rev. Lett.* **2000**, *84*, 2076–2079, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.2076>.
39. Carroll, S.M. Quintessence and the Rest of the World: Suppressing Long-Range Interactions. *Phys. Rev. Lett.* **1998**, *81*, 3067–3070, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.81.3067>.
40. Padmanabhan, T. Accelerated Expansion of the Universe Driven by Tachyonic Matter. *Phys. Rev. D* **2002**, *66*, 021301, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.66.021301>.
41. Bento, M.C.; Bertolami, O.; Sen, A.A. Generalized Chaplygin Gas, Accelerated Expansion, and Dark-Energy-Matter Unification. *Phys. Rev. D* **2002**, *66*, 043507, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.66.043507>.
42. Kamenshchik, A.; Moschella, U.; Pasquier, V. An Alternative to Quintessence. *Phys. Lett. B* **2001**, *511*, 265–268, [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(01\)00571-8](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(01)00571-8).
43. Lucca, M. Dark Energy–Dark Matter Interactions as a Solution to the S8 Tension. *Phys. Dark Universe* **2021**, *34*, 100899, <https://doi.org/10.1016/j.dark.2021.100899>.
44. Poulin, V.; Bernal, J.L.; Kovetz, E.D.; Kamionkowski, M. Sigma-8 Tension Is a Drag. *Phys. Rev. D* **2023**, *107*, 123538, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.107.123538>.
45. Arbey, A.; Mahmoudi, F. Dark Matter and the Early Universe: A Review. *Prog. Part. Nucl. Phys.* **2021**, *119*, 103865, <https://doi.org/10.1016/j.pnpnp.2021.103865>.
46. Zwicky, F. On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae. *Astrophys. J.* **1937**, *86*, 217, <https://doi.org/10.1086/143864>.

47. Rubin, V.C.; Ford, W. Kent, J. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. *Astrophys. J.* **1970**, *159*, 379, <https://doi.org/10.1086/150317>.
48. Rubin, V.C.; Thonnard, N.; Ford, W. Kent, J. Rotational Properties of 21 SC Galaxies with a Large Range of Luminosities and Radii, from NGC 4605 ( $R = 4\text{kpc}$ ) to UGC 2885 ( $R = 122\text{Kpc}$ ). *Astrophys. J.* **1980**, *238*, 471, <https://doi.org/10.1086/158003>.
49. Sahni, V. 5 Dark Matter and Dark Energy. In *Papantonopoulos, E. (eds) The Physics of the Early Universe. Lecture Notes in Physics*; Springer Berlin Heidelberg, 2004; pp. 141–179.
50. Buen-Abad, M.A.; Essig, R.; McKeen, D.; Zhong, Y.-M. Cosmological Constraints on Dark Matter Interactions with Ordinary Matter. *Phys. Rep.* **2022**, *961*, 1–35, <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2022.02.006>.
51. Sofue, Y.; Rubin, V. Rotation Curves of Spiral Galaxies. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **2001**, *39*, 137–174, <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.39.1.137>.
52. Clowe, D.; Bradač, M.; Gonzalez, A.H.; Markevitch, M.; Randall, S.W.; Jones, C.; Zaritsky, D. A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter. *Astrophys. J.* **2006**, *648*, L109–L113, <https://doi.org/10.1086/508162>.
53. Giuliani, A. Dark Matter Direct and Indirect Detection. In *Dark Matter and Dark Energy*; Springer, 2011; pp. 295–328.
54. Frolov, V.P.; Zelnikov, A. Particles and Light Motion in Schwarzschild Spacetime. In *Introduction to Black Hole Physics*; OUP Oxford: Oxford, 2011 ISBN 9780199692293.
55. Penzias, A.A.; Wilson, R.W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/S. *Astrophys. J.* **1965**, *142*, 419, <https://doi.org/10.1086/148307>.
56. Dicke, R.H.; Peebles, P.J.E.; Roll, P.G.; Wilkinson, D.T. Cosmic Black-Body Radiation. *Astrophys. J.* **1965**, *142*, 414, <https://doi.org/10.1086/148306>.
57. White, S.D.M.; Rees, M.J. Core Condensation in Heavy Halos: A Two-Stage Theory for Galaxy Formation and Clustering. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **1978**, *183*, 341–358, <https://doi.org/10.1093/mnras/183.3.341>.
58. Sil'chenko, O.K. Observational Signatures of Dark Matter. *Radiophys. Quantum Electron.* **2021**, *63*, 643–655, <https://doi.org/10.1007/s11141-021-10087-7>.
59. Springel, V.; White, S.D.M.; Jenkins, A.; Frenk, C.S.; Yoshida, N.; Gao, L.; Navarro, J.; Thacker, R.; Croton, D.; Helly, J.; et al. Simulations of the Formation, Evolution and Clustering of Galaxies and Quasars. *Nature* **2005**, *435*, 629–636, <https://doi.org/10.1038/nature03597>.
60. Kragh, H.S.; Overduin, J.M. How Heavy Is the Vacuum? In *The Weight of the Vacuum*; Springer, 2014; pp. 89–99.
61. Bertone, G.; Hooper, D.; Silk, J. Particle Dark Matter: Evidence, Candidates and Constraints. *Phys. Rep.* **2005**, *405*, 279–390, <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2004.08.031>.
62. Efstathiou, G.; Sutherland, W.J.; Maddox, S.J. The Cosmological Constant and Cold Dark Matter. *Nature* **1990**, *348*, 705–707, <https://doi.org/10.1038/348705a0>.

63. Roszkowski, L.; Sessolo, E.M.; Trojanowski, S. WIMP Dark Matter Candidates and Searches—Current Status and Future Prospects. *Reports Prog. Phys.* **2018**, *81*, 066201, <https://doi.org/10.1088/1361-6633/aab913>.
64. Sikivie, P. Axion Cosmology. *Lect. Notes Phys.* 2008, *741*, 19–50.
65. Sikivie, P. Axions. In *Particle Dark Matter*; Cambridge University Press, 2010; pp. 204–227.
66. Carr, B.J.; Hawking, S.W. Black Holes in the Early Universe. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **1974**, *168*, 399–415, <https://doi.org/10.1093/mnras/168.2.399>.
67. Carr, B.; Kühnel, F. Primordial Black Holes as Dark Matter: Recent Developments. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* **2020**, *70*, 355–394, <https://doi.org/10.1146/annurev-nucl-050520-125911>.
68. Bertone, G.; Hooper, D. History of Dark Matter. *Rev. Mod. Phys.* **2018**, *90*, 045002, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.045002>.
69. Waldrop, M.M. Primordial Black Holes Could Hold the Key to Dark Matter Mysteries. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2022**, *119*, <https://doi.org/10.1073/pnas.2211215119>.
70. Bertone, G.; Tait, T.M.P. A New Era in the Search for Dark Matter. *Nature* **2018**, *562*, 51–56, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0542-z>.
71. Blumenthal, G.R.; Faber, S.M.; Primack, J.R.; Rees, M.J. Formation of Galaxies and Large-Scale Structure with Cold Dark Matter. *Nature* **1984**, *311*, 517–525, <https://doi.org/10.1038/311517a0>.
72. Paduroiu, S.; Revaz, Y.; Pfenniger, D. Structure Formation in Warm Dark Matter Cosmologies: Top-Bottom Upside-Down. **2015**, <https://arxiv.org/abs/1506.03789v2>.
73. Abazajian, K.N. Sterile Neutrinos in Cosmology. *Phys. Rep.* **2017**, *711–712*, 1–28, <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2017.10.003>.
74. Schneider, A.; Smith, R.E.; Macciò, A. V.; Moore, B. Non-Linear Evolution of Cosmological Structures in Warm Dark Matter Models. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **2012**, *424*, 684–698, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21252.x>.
75. Gorbunov, D.; Khmel'nitsky, A.; Rubakov, V. Is Gravitino Still a Warm Dark Matter Candidate? *J. High Energy Phys.* **2008**, *2008*, 055–055, <https://doi.org/10.1088/1126-6708/2008/12/055>.
76. Lovell, M.R.; Eke, V.; Frenk, C.S.; Gao, L.; Jenkins, A.; Theuns, T.; Wang, J.; White, S.D.M.; Boyarsky, A.; Ruchayskiy, O. The Haloes of Bright Satellite Galaxies in a Warm Dark Matter Universe. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **2012**, *420*, 2318–2324, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.20200.x>.
77. Diemand, J.; Kuhlen, M.; Madau, P. Dark Matter Substructure and Gamma-Ray Annihilation in the Milky Way Halo. *Astrophys. J.* **2007**, *657*, 262–270, <https://doi.org/10.1086/510736>.
78. Smith, R.E.; Markovic, K. Testing the Warm Dark Matter Paradigm with Large-Scale Structures. *Phys. Rev. D* **2011**, *84*, 063507, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.063507>.
79. Capozziello, S.; Cardone, V.F.; Troisi, A. Reconciling Dark Energy Models with  $f(R)$  Theories. *Phys. Rev. D* **2005**, *71*, 043503, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.71.043503>.

80. Pritchard, P.J.; Fox, R.W.; McDonalds, A.T. *Introduction to Fluid Mechanics*; 8th ed.; John Wiley & Sons, Inc., 2011; ISBN 9780470547557.
81. White, F.M. *Fluid Mechanics*; Lange, M., Ed.; 7th ed.; McGraw-Hill: New York, NY, 2011; ISBN 978-0-07-352934-9.
82. Chassaing, P. *Fundamentals of Fluid Mechanics*; Springer International Publishing: Cham, 2022; ISBN 978-3-031-10085-7.
83. Ramsey, M.S. Rheology, Viscosity, and Fluid Types. In *Practical Wellbore Hydraulics and Hole Cleaning*; Elsevier, 2019; pp. 217–237.
84. Landau, L.D.; Lifshitz, E.M. *Fluid Mechanics*; 2nd ed.; Elsevier, 1987; ISBN 9780080339337.
85. Michaud, G.; Alecian, G.; Richer, J. Macroscopic Transport Processes. In *Atomic Diffusion in Stars*; 2015; pp. 97–128.
86. Cutler, C.; Lindblom, L. The Effect of Viscosity on Neutron Star Oscillations. *Astrophys. J.* **1987**, *314*, 234, <https://doi.org/10.1086/165052>.
87. Andersson, N.; Comer, G.L.; Glampedakis, K. How Viscous Is a Superfluid Neutron Star Core? *Nucl. Phys. A* **2005**, *763*, 212–229, <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2005.08.012>.
88. Clarke, C.; Carswell, B. *Principles of Astrophysical Fluid Dynamics*; Cambridge University Press, 2007; ISBN 9780521853316.
89. Clarke, C.; Carswell, B. Accretion Discs in Astrophysics. In *Principles of Astrophysical Fluid Dynamics*; Cambridge University Press, 2007; pp. 163–178.
90. Pringle, J.E. Accretion Discs in Astrophysics. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **1981**, *19*, 137–160, <https://doi.org/10.1146/annurev.aa.19.090181.001033>.
91. Bardeen, J.M.; Carter, B.; Hawking, S.W. The Four Laws of Black Hole Mechanics. *Commun. Math. Phys.* **1973**, *31*, 161–170, <https://doi.org/10.1007/BF01645742>.
92. Romero, G.E.; Vila, G.S. *Introduction to Black Hole Astrophysics*; Lecture Notes in Physics; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2014; Vol. 876; ISBN 978-3-642-39595-6.
93. Hartle, J.B. Tidal Friction in Slowly Rotating Black Holes. *Phys. Rev. D* **1973**, *8*, 1010–1024, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.8.1010>.
94. Hartle, J.B. Tidal Shapes and Shifts on Rotating Black Holes. *Phys. Rev. D* **1974**, *9*, 2749–2759, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.9.2749>.
95. Weinberg, S. Entropy Generation and the Survival of Protogalaxies in an Expanding Universe. *Astrophys. J.* **1971**, *168*, 175, <https://doi.org/10.1086/151073>.
96. Padmanabhan, T.; Chitre, S.M. Viscous Universes. *Phys. Lett. A* **1987**, *120*, 433–436, [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(87\)90104-6](https://doi.org/10.1016/0375-9601(87)90104-6).
97. Treciokas, R.; Ellis, G.F.R. Isotropic Solutions of the Einstein-Boltzmann Equations. *Commun. Math. Phys.* **1971**, *23*, 1–22, <https://doi.org/10.1007/BF01877593>.

98. Kihara, T.; Sakai, K. Fluid Dynamics for Cosmology. *Publ. Astron. Soc. Japan* **1970**, *22*, 1–12.
99. Dou, X.; Meng, X.-H. Bulk Viscous Cosmology: Unified Dark Matter. *Adv. Astron.* **2011**, *2011*, 1–6, <https://doi.org/10.1155/2011/829340>.
100. Brevik, I.; Grøn, Ø.; de Haro, J.; Odintsov, S.D.; Saridakis, E.N. Viscous Cosmology for Early- and Late-Time Universe. *Int. J. Mod. Phys. D* **2017**, *26*, 1730024, <https://doi.org/10.1142/S0218271817300245>.
101. Natwariya, P.K.; Bhatt, J.R.; Pandey, A.K. Viscosity in Cosmic Fluids. *Eur. Phys. J. C* **2020**, *80*, 767, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-8341-8>.
102. Ashoorioon, A.; Davari, Z. Dark Matter Cosmology with Varying Viscosity: A Possible Resolution to the S8 Tension. *Astrophys. J.* **2023**, *959*, 120, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad0372>.
103. Balakrishnan, V. A Bit of Fluid Dynamics. In *Mathematical Physics*; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp. 97–111.
104. Clarke, C.; Carswell, B. Viscous Flows. In *Principles of Astrophysical Fluid Dynamics*; Carswell, B., Clarke, C., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, 2007; pp. 150–162 ISBN 9780521853316.
105. Bekenstein, J.D. Black Holes and Entropy. *Phys. Rev. D* **1973**, *7*, 2333, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.7.2333>.
106. Hawking, S.W. Particle Creation by Black Holes. *Commun. Math. Phys.* **1975**, *43*, 199–220, <https://doi.org/10.1007/BF02345020>.
107. Jacobson, T. Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State. *Phys. Rev. Lett.* **1995**, *75*, 1260–1263, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.75.1260>.
108. Ashtekar, A.; Krishnan, B. Dynamical Horizons: Energy, Angular Momentum, Fluxes, and Balance Laws. *Phys. Rev. Lett.* **2002**, *89*, 261101, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.261101>.
109. Hayward, S.A. Energy Conservation for Dynamical Black Holes. *Phys. Rev. Lett.* **2004**, *93*, 251101, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.93.251101>.
110. Padmanabhan, T. Thermodynamical Aspects of Gravity: New Insights. *Reports Prog. Phys.* **2010**, *73*, 046901, <https://doi.org/10.1088/0034-4885/73/4/046901>.
111. Bousso, R. The Holographic Principle. *Rev. Mod. Phys.* **2002**, *74*, 825–874, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.825>.
112. Padmanabhan, T. Exploring the Nature of Gravity. **2016**, <https://arxiv.org/abs/1602.01474v2>.
113. Verlinde, E. On the Origin of Gravity and the Laws of Newton. *J. High Energy Phys.* **2011**, *2011*, 29, [https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2011\)029](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2011)029).
114. Padmanabhan, T. Entropy Density of Spacetime and the Navier-Stokes Fluid Dynamics of Null Surfaces. *Phys. Rev. D* **2011**, *83*, 044048, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.83.044048>.

115. Bhattacharyya, S.; Loganayagam, R.; Minwalla, S.; Nampuri, S.; Trivedi, S.P.; Wadia, S.R. Forced Fluid Dynamics from Gravity. *J. High Energy Phys.* **2009**, *2009*, 018–018, <https://doi.org/10.1088/1126-6708/2009/02/018>.
116. Bredberg, I.; Keeler, C.; Lysov, V.; Strominger, A. From Navier-Stokes to Einstein. *J. High Energy Phys.* **2012**, *2012*, 146, [https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2012\)146](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2012)146).
117. Ogilvie, G.I. Astrophysical Fluid Dynamics. *J. Plasma Phys.* **2016**, *82*, 205820301, <https://doi.org/10.1017/S0022377816000489>.
118. Weinberg, S. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*; Wiley: New York, NY, 1972; ISBN 978-0-471-92567-5.
119. Friedman, A. Uber Die Krümmung Des Raumes. *Zeitschrift für Phys.* **1922**, *10*, 377–386, <https://doi.org/10.1007/BF01332580>.
120. Friedman, A. On the Curvature of Space. *Gen. Relativ. Gravit.* **1999**, *31*, 1991–2000, <https://doi.org/10.1023/A:1026751225741>.
121. Lemaitre, A.G.; Eddington, A.S. The Expanding Universe. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **1931**, *91*, 490–501, <https://doi.org/10.1093/mnras/91.5.490>.
122. Robertson, H.P. Kinematics and World-Structure. *Astrophys. J.* **1935**, *82*, 284, <https://doi.org/10.1086/143681>.
123. Walker, A.G. On Milne's Theory of World-Structure. *Proc. London Math. Soc.* **1937**, *s2-42*, 90–127, <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.90>.
124. Misner, C.W. The Isotropy of the Universe. *Astrophys. J.* **1968**, *151*, 431, <https://doi.org/10.1086/149448>.
125. Frautschi, S. Entropy in an Expanding Universe. *Science (80-. )*. **1982**, *217*, 593–599, <https://doi.org/10.1126/science.217.4560.593>.
126. Eckart, C. The Thermodynamics of Irreversible Processes. III. Relativistic Theory of the Simple Fluid. *Phys. Rev.* **1940**, *58*, 919–924, <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.919>.
127. Israel, W. Nonstationary Irreversible Thermodynamics: A Causal Relativistic Theory. *Ann. Phys. (N. Y.)* **1976**, *100*, 310–331, [https://doi.org/10.1016/0003-4916\(76\)90064-6](https://doi.org/10.1016/0003-4916(76)90064-6).
128. Hiscock, W.A.; Salmonson, J. Dissipative Boltzmann-Robertson-Walker Cosmologies. *Phys. Rev. D* **1991**, *43*, 3249–3258, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.43.3249>.
129. Maartens, R. Dissipative Cosmology. *Class. Quantum Gravity* **1995**, *12*, 1455–1465, <https://doi.org/10.1088/0264-9381/12/6/011>.
130. Anand, S.; Chaubal, P.; Mazumdar, A.; Mohanty, S. Cosmic Viscosity as a Remedy for Tension between PLANCK and LSS Data. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **2017**, *2017*, 005–005, <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2017/11/005>.
131. Zimdahl, W. 'Understanding' Cosmological Bulk Viscosity. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **1996**, *280*, 1239–1243, <https://doi.org/10.1093/mnras/280.4.1239>.

132. Barbosa, C.M.S.; Velten, H.; Fabris, J.C.; Ramos, R.O. Assessing the Impact of Bulk and Shear Viscosities on Large Scale Structure Formation. *Phys. Rev. D* **2017**, *96*, 023527, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.96.023527>.
133. Floerchinger, S.; Tetradis, N.; Wiedemann, U.A. Accelerating Cosmological Expansion from Shear and Bulk Viscosity. *Phys. Rev. Lett.* **2015**, *114*, 091301, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.091301>.
134. Mostafapoor, N.; Grøn, Ø. Bianchi Type-I Universe Models with Nonlinear Viscosity. *Astrophys. Space Sci.* **2013**, *343*, 423–434, <https://doi.org/10.1007/s10509-012-1205-4>.
135. Zel'dovich, Y.B.; Novikov, I.D. *Relativistic Astrophysics. Vol. 2. The Structure And Evolution Of The Universe*; The University of Chicago Press: Chicago, 1983
136. Udey, N.; Israel, W. General Relativistic Radiative Transfer: The 14-Moment Approximation. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **1982**, *199*, 1137–1147, <https://doi.org/10.1093/mnras/199.4.1137>.
137. Schweizer, M.A. Transient and Transport Coefficients for Radiative Fluids. *Astrophys. J.* **1982**, *258*, 798, <https://doi.org/10.1086/160127>.
138. Singh, C.P. Bulk Viscous Cosmology in Early Universe. *Pramana* **2008**, *71*, 33–48, <https://doi.org/10.1007/s12043-008-0139-4>.
139. Murphy, G.L. Big-Bang Model Without Singularities. *Phys. Rev. D* **1973**, *8*, 4231–4233, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.8.4231>.
140. Barrow, J.D. String-Driven Inflationary and Deflationary Cosmological Models. *Nucl. Phys. B* **1988**, *310*, 743–763, [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(88\)90101-0](https://doi.org/10.1016/0550-3213(88)90101-0).
141. Waga, I.; Falcão, R.C.; Chanda, R. Bulk-Viscosity-Driven Inflationary Model. *Phys. Rev. D* **1986**, *33*, 1839–1841, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.33.1839>.
142. Grøn, Ø. Viscous Inflationary Universe Models. *Astrophys. Space Sci.* **1990**, *173*, 191–225, <https://doi.org/10.1007/BF00643930>.
143. Maartens, R.; Méndez, V. Nonlinear Bulk Viscosity and Inflation. *Phys. Rev. D* **1997**, *55*, 1937–1942, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.55.1937>.
144. Fabris, J.C.; Gonçalves, S.V.B.; Ribeiro, R. de S. Bulk Viscosity Driving the Acceleration of the Universe. *Gen. Relativ. Gravit.* **2006**, *38*, 495–506, <https://doi.org/10.1007/s10714-006-0236-y>.
145. Brevik, I.; Normann, B.D. Remarks on Cosmological Bulk Viscosity in Different Epochs. *Symmetry (Basel)*. **2020**, *12*, 1085, <https://doi.org/10.3390/sym12071085>.
146. Mohan, N.D.J.; Sasidharan, A.; Mathew, T.K. Bulk Viscous Matter and Recent Acceleration of the Universe Based on Causal Viscous Theory. *Eur. Phys. J. C* **2017**, *77*, 849, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-017-5428-y>.

147. Riess, A.G.; Filippenko, A. V.; Challis, P.; Clocchiatti, A.; Diercks, A.; Garnavich, P.M.; Gilliland, R.L.; Hogan, C.J.; Jha, S.; Kirshner, R.P.; et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *Astron. J.* **1998**, *116*, 1009–1038, <https://doi.org/10.1086/300499>.
148. Padmanabhan, T. Cosmological Constant—the Weight of the Vacuum. *Phys. Rep.* **2003**, *380*, 235–320, [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(03\)00120-0](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(03)00120-0).
149. Zimdahl, W.; Schwarz, D.J.; Balakin, A.B.; Pavón, D. Cosmic Antifriction and Accelerated Expansion. *Phys. Rev. D* **2001**, *64*, 063501, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.64.063501>.
150. Moore, B.; Ghigna, S.; Governato, F.; Lake, G.; Quinn, T.; Stadel, J.; Tozzi, P. Dark Matter Substructure within Galactic Halos. *Astrophys. J.* **1999**, *524*, L19–L22, <https://doi.org/10.1086/312287>.
151. de Blok, W.J.G. The Core-Cusp Problem. *Adv. Astron.* **2010**, *2010*, 1–14, <https://doi.org/10.1155/2010/789293>.
152. Tulin, S.; Yu, H.-B. Dark Matter Self-Interactions and Small Scale Structure. *Phys. Rep.* **2018**, *730*, 1–57, <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2017.11.004>.
153. Spergel, D.N.; Steinhardt, P.J. Observational Evidence for Self-Interacting Cold Dark Matter. *Phys. Rev. Lett.* **2000**, *84*, 3760–3763, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.3760>.
154. Atreya, A.; Bhatt, J.R.; Mishra, A. Viscous Self Interacting Dark Matter and Cosmic Acceleration. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **2018**, *2018*, 024–024, <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2018/02/024>.
155. Bilić, N.; Tupper, G.B.; Viollier, R.D. Unification of Dark Matter and Dark Energy: The Inhomogeneous Chaplygin Gas. *Phys. Lett. B* **2002**, *535*, 17–21, [https://doi.org/10.1016/S0370-2693\(02\)01716-1](https://doi.org/10.1016/S0370-2693(02)01716-1).
156. Colistete, R.; Fabris, J.C.; Tossa, J.; Zimdahl, W. Bulk Viscous Cosmology. *Phys. Rev. D* **2007**, *76*, 103516, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.76.103516>.
157. Piattella, O.F.; Fabris, J.C.; Zimdahl, W. Bulk Viscous Cosmology with Causal Transport Theory. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **2011**, *2011*, 029–029, <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2011/05/029>.
158. Ren, J.; Meng, X.-H. Cosmological Model with Viscosity Media (Dark Fluid) Described by an Effective Equation of State. *Phys. Lett. B* **2006**, *633*, 1–8, <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2005.11.055>.
159. Li, B.; Barrow, J.D. Does Bulk Viscosity Create a Viable Unified Dark Matter Model? *Phys. Rev. D* **2009**, *79*, 103521, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.79.103521>.
160. Velten, H.; Schwarz, D.J. Constraints on Dissipative Unified Dark Matter. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **2011**, *2011*, 016–016, <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2011/09/016>.
161. Brevik, I.; Obukhov, V. V.; Timoshkin, A. V. Dark Energy Coupled with Dark Matter in Viscous Fluid Cosmology. *Astrophys. Space Sci.* **2015**, *355*, 399–403, <https://doi.org/10.1007/s10509-014-2163-9>.

162. Brevik, I.; Gorbunova, O. Dark Energy and Viscous Cosmology. *Gen. Relativ. Gravit.* **2005**, *37*, 2039–2045, <https://doi.org/10.1007/s10714-005-0178-9>.
163. Chetia, C.; Gohain, M.M.; Bhuyan, K. Particle Creation and Bulk Viscosity in Bianchi-I Universe in Saez–Ballester Theory with Different Deceleration Parameters. *Gen. Relativ. Gravit.* **2023**, *55*, 107, <https://doi.org/10.1007/s10714-023-03155-y>.
164. Longair, M.S. *Galaxy Formation*; Astronomy and Astrophysics Library; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2008; ISBN 978-3-540-73477-2.
165. Renaux-Petel, S. Cosmological Inflation. In *The Young Universe*; Taillet, R., Ed.; Wiley: London, 2022; pp. 173–258.
166. Guth, A.H. Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems. *Phys. Rev. D* **1981**, *23*, 347–356, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.23.347>.
167. Linde, A.D. A New Inflationary Universe Scenario: A Possible Solution of the Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems. *Phys. Lett. B* **1982**, *108*, 389–393, [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(82\)91219-9](https://doi.org/10.1016/0370-2693(82)91219-9).
168. Starobinskii, A.A. Spectrum of Relict Gravitational Radiation and the Early State of the Universe. *ZhETF Pisma Redaktsiiu* **1979**, *30*, 719–723.
169. Diosi, L.; Keszthelyi, B.; Lukacs, B.; Paal, G.; Diosi, L.; Keszthelyi, B.; Lukacs, B.; Paal, G. Viscosity and the Monopole Density of the Universe. *Acta Phys. Pol. B* **1984**, *B15*, 909–918.
170. Gupta, R.P. JWST Early Universe Observations and  $\Lambda$ CDM Cosmology. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **2023**, *524*, 3385–3395, <https://doi.org/10.1093/mnras/stad2032>.
171. van Dokkum, P.; Danieli, S.; Cohen, Y.; Merritt, A.; Romanowsky, A.J.; Abraham, R.; Brodie, J.; Conroy, C.; Lokhorst, D.; Mowla, L.; et al. A Galaxy Lacking Dark Matter. *Nature* **2018**, *555*, 629–632, <https://doi.org/10.1038/nature25767>.
172. Pedrotti, F.L.; Pedrotti, L.M.; Pedrotti, L.S. *Introduction to Optics*; 3rd ed.; Cambridge University Press, 2017; ISBN 9781108428262.
173. Avitabile, F.; Nigro, A. What Happens to Light When It Passes through a Prism? The Early History of Spectroscopy. In *Modern Physics*; IOP Publishing, 2020; pp. 4-1-4–16, <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-2678-0ch4>.
174. Magueijo, J.; Moffat, J.W. Comments on “Note on Varying Speed of Light Theories.” *Gen. Relativ. Gravit.* **2008**, *40*, 1797–1806, <https://doi.org/10.1007/s10714-007-0568-2>.
175. Ellis, G.F.R. Note on Varying Speed of Light Cosmologies. *Gen. Relativ. Gravit.* **2007**, *39*, 511–520, <https://doi.org/10.1007/s10714-007-0396-4>.
176. Magueijo, J. Cosmology “without” Constants. *Astrophys. Space Sci.* **2003**, *283*, 493–503, <https://doi.org/10.1023/A:1022560802810>.
177. Magueijo, J. New Varying Speed of Light Theories. *Reports Prog. Phys.* **2003**, *66*, 2025–2068, <https://doi.org/10.1088/0034-4885/66/11/R04>.

178. Einstein, A. Über Den Einfluß Der Schwerkraft Auf Die Ausbreitung Des Lichtes. *Ann. Phys.* **1911**, 340, 898–908, <https://doi.org/10.1002/andp.19113401005>.
179. Dicke, R.H. Gravitation without a Principle of Equivalence. *Rev. Mod. Phys.* **1957**, 29, 363–376, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.29.363>.
180. Sarazin, X.; Couchot, F.; Djannati-Ataï, A.; Urban, M. Can the Apparent Expansion of the Universe Be Attributed to an Increasing Vacuum Refractive Index? *Eur. Phys. J. C* **2018**, 78, 444, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-018-5932-8>.
181. Brans, C.; Dicke, R.H. Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation. *Phys. Rev.* **1961**, 124, 925–935, <https://doi.org/10.1103/PhysRev.124.925>.
182. Albrecht, A.; Magueijo, J. Time Varying Speed of Light as a Solution to Cosmological Puzzles. *Phys. Rev. D* **1999**, 59, 043516, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.59.043516>.
183. Barrow, J.D. Cosmologies with Varying Light Speed. *Phys. Rev. D* **1999**, 59, 043515, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.59.043515>.
184. Barrow, J.D.; Magueijo, J. Can a Changing  $\alpha$  Explain the Supernovae Results? *Astrophys. J.* **2000**, 532, L87–L90, <https://doi.org/10.1086/312572>.
185. Moffat, J.W. Superluminary Universe: A Possible Solution to the Initial Value Problem in Cosmology. *Int. J. Mod. Phys. D* **1993**, 02, 351–365, <https://doi.org/10.1142/S0218271893000246>.
186. Green, M.B.; Schwarz, J.H.; Witten, E. *Superstring Theory*; Cambridge University Press, 2012; ISBN 9781107029118.
187. Zwiebach, B. *A First Course in String Theory*; Cambridge University Press, 2009; ISBN 9780521880329.
188. Polchinski, J. *String Theory*; Cambridge University Press, 1998; ISBN 9780521672276.
189. Barbón, J.L.F. String Theory. *Eur. Phys. J. C* **2004**, 33, s67–s74, <https://doi.org/10.1140/epjcd/s2003-03-009-5>.
190. Aharony, O.; Gubser, S.S.; Maldacena, J.; Ooguri, H.; Oz, Y. Large N Field Theories, String Theory and Gravity. *Phys. Rep.* **2000**, 323, 183–386, [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(99\)00083-6](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(99)00083-6).
191. Cecotti, S. *Introduction to String Theory*; Theoretical and Mathematical Physics; Springer International Publishing: Cham, 2023; ISBN 978-3-031-36529-4.
192. Kiritsis, E. Supergravity, D-Brane Probes and Thermal Super Yang-Mills: A Comparison. *J. High Energy Phys.* **1999**, 1999, 010–010, <https://doi.org/10.1088/1126-6708/1999/10/010>.
193. Alexander, S.H.. On the Varying Speed of Light in a Brane-Induced FRW Universe. *J. High Energy Phys.* **2000**, 2000, 017–017, <https://doi.org/10.1088/1126-6708/2000/11/017>.
194. Ishihara, H. Causality of the Brane Universe. *Phys. Rev. Lett.* **2001**, 86, 381–384, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.86.381>.

195. Chung, D.J.H.; Freese, K. Can Geodesics in Extra Dimensions Solve the Cosmological Horizon Problem? *Phys. Rev. D* **2000**, *62*, 063513, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.62.063513>.
196. Steer, D.A.; Parry, M.F. Brane Cosmology, Varying Speed of Light and Inflation in Models with One or More Extra Dimensions. *Int. J. Theor. Phys.* **2002**, *41*, 2255–2286, <https://doi.org/10.1023/A:1021141328621/METRICS>.
197. Davis, T.M.; Lineweaver, C.H. Expanding Confusion: Common Misconceptions of Cosmological Horizons and the Superluminal Expansion of the Universe. *Publ. Astron. Soc. Aust.* **2004**, *21*, 97–109, <https://doi.org/10.1071/AS03040>.
198. Cornu, M.A.; Baille, J.-B. Détermination Nouvelle de La Constante de l'attraction et de La Densité Moyenne de La Terre. *C. R. Acad. Sci. Paris* **1873**, *76*, 1–4.
199. Kragh, H. *Varying Gravity*; Science Networks. Historical Studies; Springer International Publishing: Cham, 2016; Vol. 54; ISBN 978-3-319-24377-1.
200. Reasenber, R.D. The Constancy of G and Other Gravitational Experiments. *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. A, Math. Phys. Sci.* **1983**, *310*, 227–238, <https://doi.org/10.1098/rsta.1983.0083>.
201. Anderson, J.D.; Schubert, G.; Trimble, V.; Feldman, M.R. Measurements of Newton's Gravitational Constant and the Length of Day. *EPL (Europhysics Lett.)* **2015**, *110*, 10002, <https://doi.org/10.1209/0295-5075/110/10002>.
202. Mould, J.; Uddin, S.A. Constraining a Possible Variation of G with Type Ia Supernovae. *Publ. Astron. Soc. Aust.* **2014**, *31*, e015, <https://doi.org/10.1017/pasa.2014.9>.
203. Dirac, P.A.M. Cosmological Models and the Large Numbers Hypothesis. *Proc. R. Soc. London. A. Math. Phys. Sci.* **1974**, *338*, 439–446, <https://doi.org/10.1098/rspa.1974.0095>.
204. Uzan, J.-P. Varying Constants, Gravitation and Cosmology. *Living Rev. Relativ.* **2011**, *14*, 2, <https://doi.org/10.12942/lrr-2011-2>.
205. Jordan, P. Die Physikalischen Weltkonstanten. *Naturwissenschaften* **1937**, *25*, 513–517, <https://doi.org/10.1007/BF01498368>.
206. Jordan, P. Formation of the Stars and Development of the Universe. *Nature* **1949**, *164*, 637–640, <https://doi.org/10.1038/164637a0>.
207. Jordan, P. *Schwerkraft Und Weltall*; F. Vieweg, 1952;
208. Barrow, J.D.; Parsons, P. Behavior of Cosmological Models with Varying G. *Phys. Rev. D* **1997**, *55*, 1906–1936, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.55.1906>.
209. Wetterich, C. Variable Gravity Universe. *Phys. Rev. D* **2014**, *89*, 024005, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.89.024005>.
210. Fritzs, H.; Solà, J.; Nunes, R.C. Running Vacuum in the Universe and the Time Variation of the Fundamental Constants of Nature. *Eur. Phys. J. C* **2017**, *77*, 193, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-017-4714-z>.

211. Bhattacharjee, S.; Sahoo, P.K. Temporally Varying Universal Gravitational “Constant” and Speed of Light in Energy Momentum Squared Gravity. *Eur. Phys. J. Plus* **2020**, *135*, 86, <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00116-1>.
212. Nassif, C.; Faria, A.C.A. de Variation of the Fundamental Constants over the Cosmological Time: Veracity of Dirac’s Intriguing Hypothesis. *Can. J. Phys.* **2021**, *94*, 89–94, <https://doi.org/10.1139/cjp-2015-0515>.
213. Garcia-Berro, E.; Kubyshin, Y.; Loren-Aguilar, P.; Isern, J. The Variation of the Gravitational Constant Inferred from the Hubble Diagram of Type Ia Supernovae. *Int. J. Mod. Phys. D* **2006**, *15*, 1163–1174, <https://doi.org/10.1142/S0218271806008772>.
214. Costa, R.; Cuzinatto, R.R.; Ferreira, E.G.M.; Franzmann, G. Covariant C-Flation: A Variational Approach. *Int. J. Mod. Phys. D* **2019**, *28*, 1950119, <https://doi.org/10.1142/S0218271819501190>.
215. Gupta, R.P. Cosmology with Relativistically Varying Physical Constants. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **2020**, *498*, 4481–4491, <https://doi.org/10.1093/mnras/staa2472>.
216. Paul, B.C.; Debnath, P.S. Viscous Cosmologies with Variable G and Lambda in  $R^2$  Gravity. **2011**, <http://arxiv.org/abs/1105.3307>
217. Goldsmith, D. *The Runaway Universe: The Race to Find the Future of the Cosmos*; Basic Books: New York, N.Y., 2000; ISBN 0-7382-0429-3.
218. Penrose, R. Speculative Theories of the Early Universe. In *The road to reality : a complete guide to the laws of the universe*; Jonathan Cape: London, 2004 ISBN 0224044478.
219. Paduroiu, S. Structure Formation in Warm Dark Matter Cosmologies, University of Geneva, Geneva, Switzerland, 2015.